

TEIDEN SIVUOJEN KUNNOSTUKSEN VAIKUTUKSEN
SEURANTA LASERKEILAINTEKNIIKALLA

Lari Moilanen

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Lari Moilanen	Vuosi 2022
Ohjaaja	Janne Poikajärvi	
Toimeksiantaja	Roadscanners Oy, Timo Saarenketo	
Työn nimi	Teiden sivuojien kunnostuksen seuranta laserkeilaintekniikalla	vaikutuksen
Sivu- ja liitesivumäärä	71 + 3	

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa tutkimukseen perustuvaa tietoa sekä ohjeistoa ja menetelmäkuvauksia siitä, miten sivuojien kunnostuksen jälkeisiä vaikutuksia urakasvuun voidaan seurata objektiivisella menetelmällä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, kuinka teiden sivuojien syvyys ja muoto vaikuttavat tien päällysteen urautumiseen, urakasvuun sekä pinnan rikkoutumiseen.

Työssä on käytetty tutkimusaineistona Roadscanners Oy:n PEHKO-projektin yhteydessä kerättyä laserkeilainaineistoa teiden sivuojien kunnosta sekä teiden päällysteen urakasvusta. Tutkimuskohteena on tieosia, joille on tehty vuosien aikana ojankunnostustoimenpiteitä sekä yksi tieosa, jolle ei ole tehty ojankunnostustoimenpiteitä.

Aineistoa on kerätty tieosilta seitsemän vuoden ajalta, pois lukien Uudenmaan alueen tieosat, joilta aineistoa on kerätty neljän vuoden ajalta. Laserkeilainaineistosta on todettavissa toimimattoman tien kuivatusjärjestelmän aiheuttamat seuraukset tien päällysteen urautumiselle sekä urakasvun kiihtymiselle. Teissä, joissa ojankunnostustoimenpiteitä on tehty, on todettavissa päällysteen urakasvun hidastuminen sekä routavaurioiden väheneminen.

Avainsanat

laserkeilain, tien sivuoja, urautuminen, urakasvu

Study Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Lari Moilanen	Year 2022
Supervisor	Janne Poikajärvi	
Commissioned by	Roadscanners Oy, Timo Saarenketo	
Subject of thesis	Monitoring the Effect of Road Side Ditch Renovation with Laser Scanner Technology	
Number of pages	71+ 3	

The purpose of this thesis was to produce research-based information, as well as guidelines and methodological descriptions on the effects of roadside ditches on the rutting of the road surface. This can be monitored with an objective method. In addition, the aim was to find out how the depth and shape of the roadside ditches affect the rutting, deformation and breakage of the road surface.

The material for this thesis study was collected by Roadscanners in connection with a project named PEHKO (Improving productivity of paved road asset management). The data was mainly collected with a laserscanner (LIDAR). Twelve road sections from three different counties; Lapland, Central-Finland and Uusimaa district, were researched in this study. The data was collected from road sections for a period of seven years, with the exception of road sections from Uusimaa district from which data was collected for a period of four years.

The laser scanner data indicated the observable consequences of a malfunctioning road drainage system, which were road rutting and rutting increase. In the roads where ditch repair procedures have been carried out, a slowdown in the rut growth and a reduction in frost damage can be observed

Key words

Laserscanner, Roadside ditch, Rutting, Rutting per year

SISÄLLYS

KUVIOT JA TAULUKOT

KÄYTETYT LYHENTEET

1	JOHDANTO	9
2	TIEN KUIVATUKSEN OSAT JA NIIDEN KUNNOSTUS	10
2.1	Tien kuivatusjärjestelmä	10
2.2	Kuivatustavat	10
2.3	Kuivatustoimia edellyttäviä kohteita	11
2.4	Tien sivuojat	12
2.5	Tien sivukaltevuus	13
2.6	Laskuojat	14
2.7	Päätierummut	15
2.8	Liittymärummut	17
2.9	Tien päällyste	18
2.10	Tierakenteen paksuus	19
3	TIEN URAUTUMISTYYPIT	20
3.1	Tyypin 0 urautuminen	20
3.2	Tyypin 1 urautuminen	20
3.3	Tyypin 2 urautuminen	21
3.4	Tyypin 3 urautuminen	22
4	TUTKIMUSMENETELMÄT	23
4.1	Laserkeilain	23
4.2	Mittausolosuhteet	25
4.3	Tierakenteen alapinnan määrittäminen	25
4.4	Kuivatusluokkien määrittäminen	26
4.5	Datan analyysimenetelmät	27
5	TUTKIMUSKOHTEET	29
5.1	Tutkimuksessa mukana olleet tiet Lapin alueelta	29
5.2	Tutkimuksessa mukana olleet tiet Keski-Suomen alueelta	34
5.3	Tutkimuksessa mukana olleet tiet Uudenmaan alueelta	39
6	TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI	42
6.1	Tieosakohtainen analysointi	42
6.1.1	Tie 58 tieosa 28	42

6.1.2	Tie 81 tieosa 6.....	44
6.1.3	Tie 648 tieosa 5 & tie 697 tieosa 19.....	46
6.1.4	Tie 11489 tieosa 2.....	48
6.1.5	Tie 11513 tieosa 1.....	50
6.1.6	Tie 16777 tieosa 5.....	52
6.1.7	Tie 16863 tieosa 4.....	53
6.1.8	Tie 19520 tieosa 1 & tie 19559 tieosa 1 & Tie 19508 tieosa 1.....	55
6.1.9	Tie 19583 tieosa 1.....	58
6.2	Aluekohtainen analysointi.....	59
6.2.1	Lappi.....	59
6.2.2	Keski-Suomi.....	61
6.2.3	Uusimaa.....	63
6.3	Tieluokan mukainen analysointi.....	63
6.3.1	Valta- sekä kantatiet.....	64
6.3.2	Seutu- sekä yhdystiet.....	65
6.4	Tilastollinen tarkastelu kaikista tutkimuskohteista.....	66
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	68
	LÄHTEET.....	
	LIITTEET	

KUVIOT

Kuvio 1. Tien kuivatusjärjestelmä.....	10
Kuvio 2. Uuden rummun asennus ojituksen seurauksena.....	12
Kuvio 3. Tienpinnan sivukaltevuus	13
Kuvio 4. Tienpinnan yksipuolinen sivukaltevuus	14
Kuvio 5. Laskuojan kunnostamisen vaiheet.....	15
Kuvio 6. Veden virtauksen sovittaminen tiehen.....	16
Kuvio 7. Jäätynyt liittymärumpu.....	17
Kuvio 8. Tukkeutunut liittymärumpu ja seuraukset.....	18
Kuvio 9. Tyypin 0 urautuminen.....	20
Kuvio 10. Tyypin 1 urautuminen.....	20
Kuvio 11. Urautumistyyppi 2 ääritapaus.....	21
Kuvio 12. Tyypin 2 urautuminen.....	22
Kuvio 13. Tyypin 3 urautuminen.....	22
Kuvio 14. RDSV-mittausklinikka.....	23
Kuvio 15. RDSV-laserkeilaimen toimintaperiaate.....	24
Kuvio 16. Tierakenteen alapinnan tulkinta.....	26
Kuvio 17. Ojanpohjalaskennan periaate.....	28
Kuvio 18. QGIS-näkymä Lapin alueen teistä.....	29
Kuvio 19. Urakasvu tiellä 81 tieosa 6.....	30
Kuvio 20. Urakasvu tiellä 19508 tieosa 1.....	31
Kuvio 21. Urakasvu tiellä 19520 tieosa 1.....	32
Kuvio 22. Urakasvu tiellä 19559 tieosa 1.....	33
Kuvio 23. Urakasvu tiellä 19583 tieosa 1.....	33
Kuvio 24. QGIS-näkymä Keski-Suomen alueen teistä.....	34
Kuvio 25. Urakasvu tiellä 58 tieosa 28.....	35
Kuvio 26. Urakasvu tiellä 648 tieosa 5.....	36
Kuvio 27. Urakasvu tiellä 697 tieosa 19.....	37
Kuvio 28. Urakasvu tiellä 16777 tieosa 5.....	38
Kuvio 29. Urakasvu tiellä 16863 tieosa 4.....	39
Kuvio 30. QGIS-näkymä Uudenmaan alueen teistä.....	39
Kuvio 31. Urakasvu tiellä 11489 tieosa 2.....	40

Kuvio 32. Urakasvu tiellä 11513 tieosa 1.....	41
Kuvio 33. Kuvakaappaus tievideoista tie 58 tieosa 28 paalulukema 2690.....	43
Kuvio 34. Ojanpohjan syvyyden muutos tie 58 tieosa 28.....	43
Kuvio 35. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 58 tieosa 28.....	44
Kuvio 36. Kuvakaappaus tievideoista tie 81 tieosa 6 paalulukema 6580.....	45
Kuvio 37. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 81 tieosa 6.....	46
Kuvio 38. Kuvakaappaus tievideoista tie 697 tieosa 19 paalulukema 195...	47
Kuvio 39. Ojanpohjan syvyyden muutos tie 697 tieosa 19.....	47
Kuvio 40. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 648 tieosa 5.....	48
Kuvio 41. Kuvakaappaus tievideoista tie 11489 tieosa 2 paalulukema 380.....	49
Kuvio 42. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 11489 tieosa 2.....	50
Kuvio 43. Kuvakaappaus tievideoista tie 11513 tieosa 2 paalulukema 695.....	50
Kuvio 44. Ojanpohjan syvyyden muutos tie 11513 tieosa 1.....	51
Kuvio 45. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 11513 tieosa 1.....	52
Kuvio 46. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 16777 tieosa 5.....	53
Kuvio 47. Kuvakaappaus tievideoista tie 16863 tieosa 4 paalulukema 1500...	54
Kuvio 48. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 16863 tieosa 4.....	54
Kuvio 49. Kuvakaappaus tievideoista tie 19559 tieosa 1 paalulukema 470.....	55
Kuvio 50. Ojanpohjan syvyyden muutos tie 19520 tieosa 1.....	56
Kuvio 51. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 19520 tieosa 1.....	57
Kuvio 52. Urakasvu oja pohjaindeksillä tie 19520 tieosa 1.....	57
Kuvio 53. Ojanpohjan syvyyden muutos tie 19583 tieosa 1.....	58
Kuvio 54. Urakasvu ojanpohjaindeksillä tie 19583 tieosa 1.....	59
Kuvio 55. Urakasvu ojanpohjaindeksillä Lapin alue.....	60
Kuvio 56. Urakasvu ojanpohjaindeksillä Keski-Suomen alue.....	62
Kuvio 57. Urakasvu ojanpohjaindeksillä Keski-Suomen alue.....	62
Kuvio 58. Urakasvu ojanpohjaindeksillä Valta- sekä kantatiet.....	65
Kuvio 59. Urakasvu ojanpohjaindeksillä Seutu- sekä yhdystiet.....	66
Kuvio 60. Urakasvu ojanpohjansyvyydellä kaikki tiet.....	67
Kuvio 61. Urakasvu ojanpohjaindeksillä kaikki tiet.....	67

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

PEHKO-projekti	Päällysteiden ennakoivan hoidon ja kunnostuksen ohjelmointi-projekti
Ojanpohjaindeksi 90 % arvo	ojanpohjan syvyyden ja tierakenteen alapinnan erotus urakasvulaskennan hajonnan 90 % lukuarvo
Urakasvu mm/ v	lähtövuoden sekä vertailuvuoden urien syvyyden erotus millimetriä vuodessa
Urakasvu 10m	10 metrille keskiarvoistettu urakasvuarvo
KVL	keskimääräinen vuorokausittainen liikennemäärä
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

1 JOHDANTO

Teiden kunnan heikkenemisen yksi isoimpia tekijöitä on toimimaton tien kuivatusjärjestelmä. Mikäli vesi ei pääse kulkeutumaan pois tiealueelta, vesi suotautuu tierakenteeseen heikentäen tien kantavuutta ja tierakenteen ollessa märkää se on herkempi pysyville muodonmuutoksille.

Roadscanners Oy on tutkinut PEHKO-projektissa päällysteiden ennakoivan hoidon ja kunnostuksen ohjelmointia Väyläviraston hallinnoimilla teillä jo seitsemän vuoden ajan Lapin, Keski-Suomen sekä Uudenmaan läänien alueilla.

Tutkimusaineisto on peräisin saman projektin mittausaineistosta. Projektin tarkoitus on kehittää ja testata uudenlaisia menetelmiä päällystettyjen teiden ylläpitoon sekä hoitoon. Ennakoivalla maanteiden kunnossapidolla on tarkoitus päästä pienempiin vuosikustannuksiin kunnossapidossa.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, onko tehdyillä ojitustoimenpiteillä ollut vaikutusta tien päällysteen urakasvun hidastumiseen ja jos on ollut, niin minkälaisia vaikutuksia sekä sitä, ovatko hyödyt olleet pitkäikäisiä. Lisäksi on tarkoitus selvittää, onko oja alkanut tukkeutua ojituksen jälkeen ja jos on niin kuinka paljon.

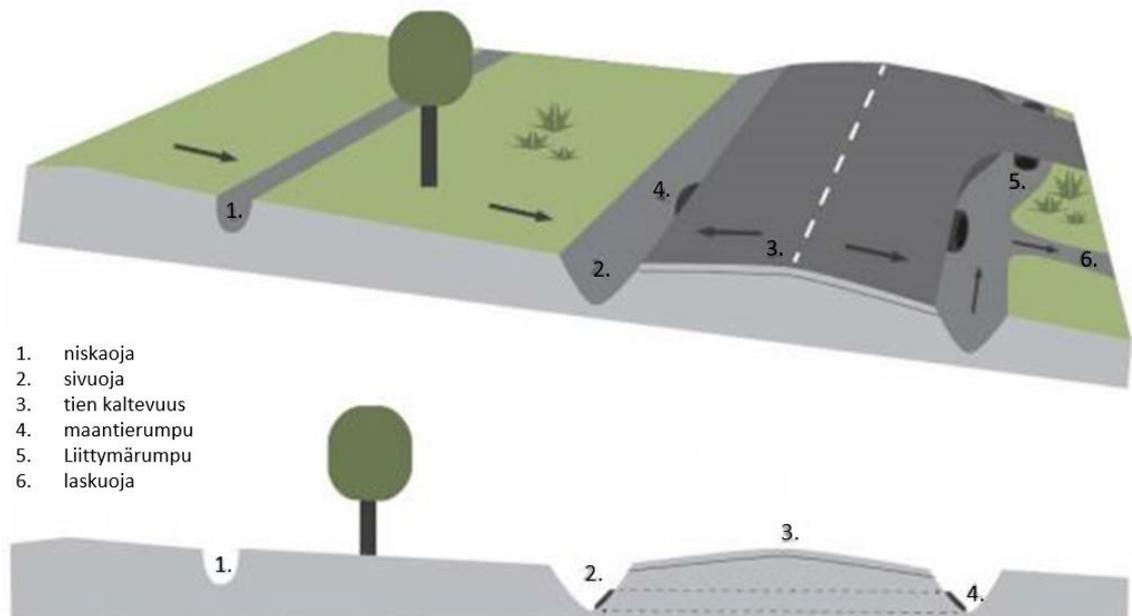
Tutkimusta on tehty laskemalla PEHKO-projektissa mukana olleilta 12 tieosalta urakasvut, sekä ojanpohjan syvyydet seitsemän vuoden ajalta. Vertailua tehdään pääasiassa ennen ojitusta sekä muutaman vuoden ajalta sen jälkeen.

2 TIEN KUIVATUKSEN OSAT JA NIIDEN KUNNOSTUS

2.1. Tien kuivatusjärjestelmä

Tien toimivan kuivatuksen tavoitteena on estää veden pääsy tierakenteisiin sekä johtaa sadevedet pois tien pinnoilta. Kuivatustoimenpiteillä poistetaan pinta-, hule- sekä pohjavesien pääsy tierakenteeseen (Kuvio 1). (Eskola ym. 2019, 10.)

Toimiva kuivatus ylläpitää tierakenteen kantavuutta sekä estää tierakenteen routimista. Lisäksi se estää tien päällysteen rikkoutumista, routaheittojen syntymistä sekä ehkäisee päällysteen urautumista. (Eskola ym. 2019, 10.)



Kuvio 1. Tien kuivatusjärjestelmä (Eskola ym. 2019, 10)

2.2 Kuivatustavat

Tien kuivatus jaetaan kahteen eri kuivatustapaan, joita ovat pinta- ja syväkuivatus. Pintakuivatuksen tavoitteena on ohjata tien pintaan kertyvät sade- ja sulamisvedet sekä tien ympäristöstä valuvat hulevedet sivuojiin. Pintakuivatusmenetelmiä ovat sivu-, niska- ja laskuojitus, ehjä päällyste sekä tien kaltevuus, rummut ja hulevesiviemäröinti. Syväkuivatuksen tavoitteena on johtaa vesi pois tie- ja

alusrakenteesta salaojitusten sekä syvien avo-ojien avulla. (Eskola ym. 2019, 10.)

Toimiakseen tien kuivatuksen tulee olla yhtenäinen ja toimiva kokonaisuus. Yksikin heikko kohta tien kuivauksessa heikentää koko tien kuivatusjärjestelmän toimivuutta. Tällöin tien kuivatus ei toimi suunnitellusti ja tie voi vaurioitua. Hyvin suunniteltu, rakennettu sekä ylläpidetty kuivatusjärjestelmä on kannattava investointi. Toimivan sade- ja hulevedenpoiston järjestäminen tien ympäristöstä auttaa tierakenteen pysymistä kuivana, jolloin tierakenteen kantavuus säilyy, päällyste pysyy ehjänä ja tie on turvallinen sekä miellyttävä ajaa. (Saarenketo, Matintupa & Pyhähuhta 2001–2014a, 4.)

2.3 Kuivatustoimia edellyttäviä kohteita

Vähäisiä toimia edellyttäviä kohteita

Vähäisiä kuivatuksen parantamistoimenpiteitä voidaan suorittaa maastossa ilman kuivatussuunnitelmaa. Vähäisien toimenpiteiden kohteet edellyttävät, että kohteiden kuivatus toimii suunnitelmien mukaan ja kuivatusrakenteet ovat selkeästi nähtävillä. Vähäisiä toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi tien reunapalteen poisto, liittymä- ja päätierumpujen puhdistus sekä ojien osittainen perkaaminen. (Eskola ym. 2019, 24.)

Korjaustoimenpiteitä edellyttäviä kohteita

Korjaustoimenpiteitä edellyttäviä tieosuuksia ovat kohteet, joissa tien kuivatusrakenteet eivät ole enää nähtävissä selkeästi ja kohteen kuivatusrakenteista on todettavissa ongelmakohtia. Kuivatusjärjestelmän korjaustoimenpiteet vaativat aina korjaussuunnitelman ennen toteutusta. Suunnitelmasta tulee ilmetä veden virtaamissuunnat purkukohtineen (laskuoja, rumpu) sekä ohjeet rumpujen alentamiseen tai uusimiseen. Korjaustoimenpiteitä vaativissa kohteissa alkuperäistä kuivatusjärjestelmää ei vielä muuteta. (Eskola ym. 2019, 24.)

Ongelmallisia kohteita

Ongelmallisissa kohteissa kuivatusrakenteissa on nähtävissä selkeästi isompia puutteita. Nämä voivat johtua esimerkiksi valuma-alueiden kasvamisesta, muuttumisesta, maankäytön muutoksista tai muista syistä johtuvasta tieympäristön muuttumisesta. Näiden johdosta tiealueella voi syntyä vesipusseja, jotka ovat seurausta valumaveden virtauksen ylittäessä tierakenteen suunnitellun kuivatuskapasiteetin. Ongelmallisten kohteiden parannus edellyttää uusien kuivatussuunnitelmien ja -ratkaisujen laatimista. Erilaisia kuivatusratkaisuja ovat esimerkiksi korkeustasojen muutokset, rumpujen suurentamiset ja lisäämiset tai siirrot sekä ojien siirrot (Kuvio 2). (Eskola ym. 2019, 24.)



Kuvio 2. Uuden rummun asennus ja siirto ojitusta seuranneen ojanpohjan alenemisen seurauksena. (Eskola ym. 2019, 36)

2.4 Tien sivuojat

Sivuojien tehtävä tien kuivatusjärjestelmässä on estää veden lammikoituminen tien reunoille, sekä johtaa vesi pois tierakenteesta. Suomessa tien suunnitteluvaiheessa ojat pyritään sijoittamaan n. 0,25 m tierakenteen alapinnan alapuolelle. Kunnossapitotoimenpiteitä tehdessä sivuojien kunnostuksen jälkeinen syvyys määräytyy yleensä liittymärumpujen tai muiden sellaisten paikkojen, joihin vedet

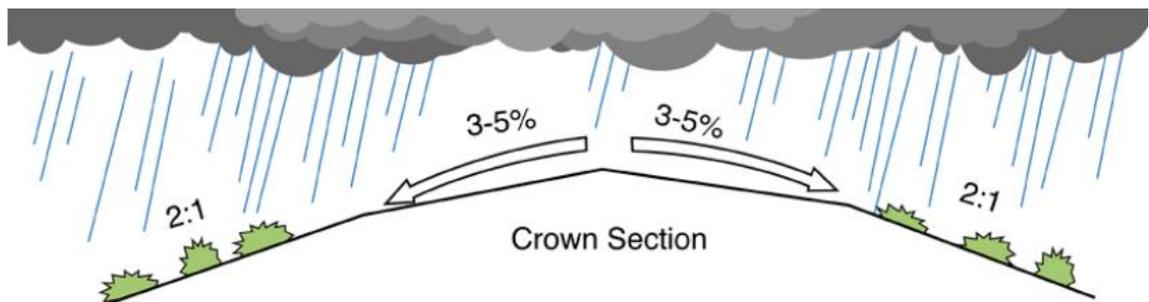
on ehdottomasti johdettava, mukaan. Tyypillisiä ongelmia sivuojen veden virtauksen estymiselle ovat esimerkiksi sivuojan liian jyrkkäreunaiset luiskat, jolloin luiskamassat valuvat ojaan tukkien sen. Tielle voi myös syntyä reunapainumia ja/tai reunapalletta, joka estää veden pääsyn päällysteeltä sivuojaan. (Eskola ym. 2019, 22.)

Yleisin toimenpide sivuojen kunnostuksessa on ojan perkaus, jossa ojan luiskia muotoillaan ja kasvillisuus poistetaan. Perkauksella saadaan paikasta ja olosuhteista riippuen kustannustehokkaasti korjattua sivuojaa useaksi vuodeksi eteenpäin. Muita toimenpiteitä voivat olla ojan siirtäminen kauemmaksi tiestä, sisäluisikan loiventaminen sekä routimisesta kärsineen rummun vaihtamisen uuteen. Jälkimmäiset vaihtoehdot ovat tehokkaita toimenpiteitä kuivatuksen kunnan parantamiseen, mutta vaativat suurempia investointeja ja uuden kuivatussuunnitelman. (Eskola ym. 2019, 22.)

2.5 Tien sivukaltevuus

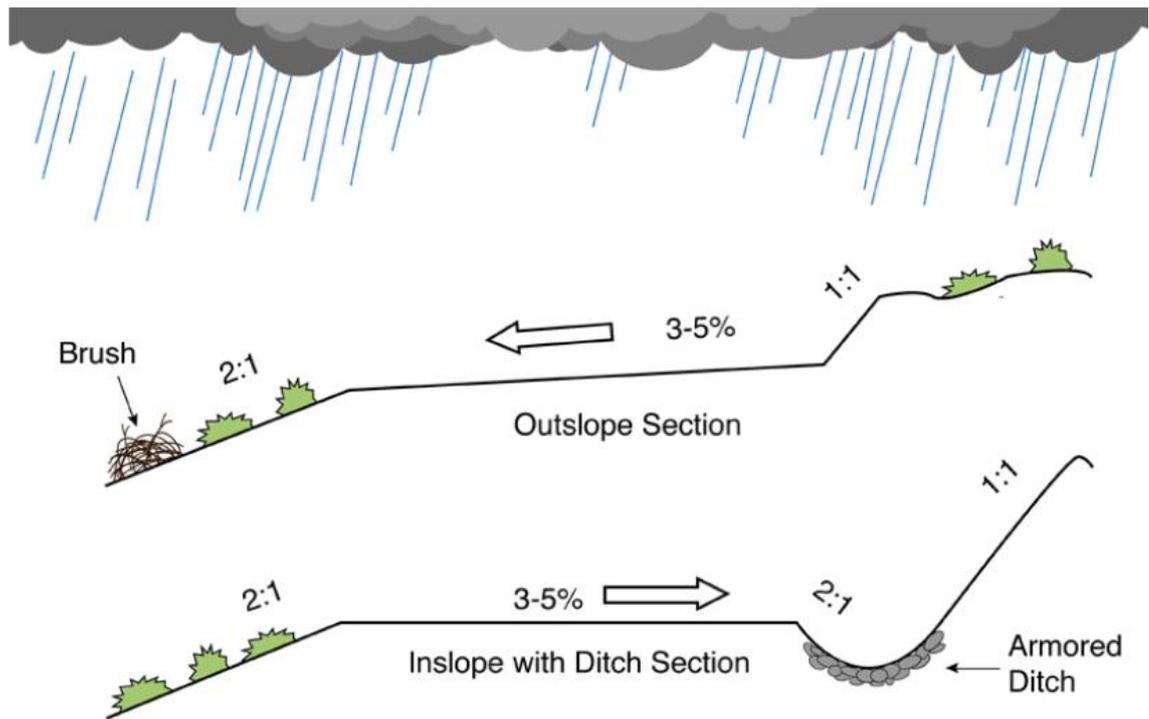
Tien sivukaltevuutta käsitellään tässä luvussa suoralla tiellä, sekä tien kaarteissa. Tien oikea sivukaltevuus on merkittävä tekijä sille, ettei tierakenne pääse kostumaan.

Päällysteellä on oltava tarpeeksi sivukaltevuutta, jotta vesi valuu välittömästi pois tien pinnalta. Päällysteen sivukaltevuus toteutetaan huomioiden tietyyppin sekä ylimmän kerroksen materiaalit huomioiden. Asfalttipäällysteisellä suoralla tiellä on kaksipuolinen kaltevuus, jolloin tien korkein kohta on tien keskilinjan kohdalla ja normaali sivukaltevuus molempiin suuntiin on n. 3–5 % (Kuvio 3). (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)



Kuvio 3. Tierakenteen sivukaltevuus (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4)

Paikoissa, joissa tiessä on kaarre, tien päällyskerroksen sivukaltevuus on toispuoleinen. Tällöin tien korkein kohta on kaarteeseen ulkoreunan pientareella ja tien kaltevuus on vain toiseen suuntaan n. 3–5 % (Kuvio 4). Sivukaltevuuden liian äkillinen muutos lyhyellä matkalla voi aiheuttaa huojuntaa erityisesti raskaalla liikenteellä sekä vaaratilanteita liikenteessä. (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)



Kuvio 4. Yksipuolinen sivukaltevuus (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4)

2.6 Laskuojat

Laskuojien tehtävä toimivan kuivatusjärjestelmän kokonaisuudessa on johtaa sivuoista tuleva vesi pois tiealueelta luonnollisiin vesistöihin. Jos luonnonvesistöjä ei ole lähistöllä, tulisi laskuoja kaivaa tarpeeksi kauas tiestä. Laskuojan toimintaan ei yleensä kiinnitetä tarpeeksi huomiota siitä huolimatta, että se on tärkeä osa koko tien kuivatusta. Laskuojan tukkeutuminen voi aiheuttaa huomattavia ongelmia pitkällekin tiejaksolle. (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)

Laskuojien kunnostustoimenpiteisiin ryhdyttäessä asiaa vaikeuttaa niiden sijaitseminen tiealueen ulkopuolella. Usein tienpitäjä ei omista maita, jossa laskuoja sijaitsee. Tukkeutuneen laskuojan avaamiseen tarvitaan maanomistajan lupa. Laskuojien sijainnin määrittäminen pelkästään optisella tarkastelulla voi olla haastavaa. Laskuojat sijoitetaan parhaan hyödyn saamiseksi kahdesta suunnasta alkavilta vedenjakajilta niiden yhtymäkohtaan, eli notkon alimpaan kohtaan. Laskuojan kunnostaminen (Kuvio 5), aloitetaan raivaamalla puusto pois umpeen kasvaneen laskuojan ympäristöstä. Tämän jälkeen laskuoja tarvittavine kaatoineen syvennetään ja muotoillaan. Kaivumaat läjitetään yleensä maastoon kauemmas sivuojan luiskasta niiden ojaan valumisen estämiseksi. Jotta vesi kulkeutuu pois tiealueelta, laskuojan pituuskaltevuuden ohje-arvo on n.0,4%. (Eskola ym. 2019, 26.)

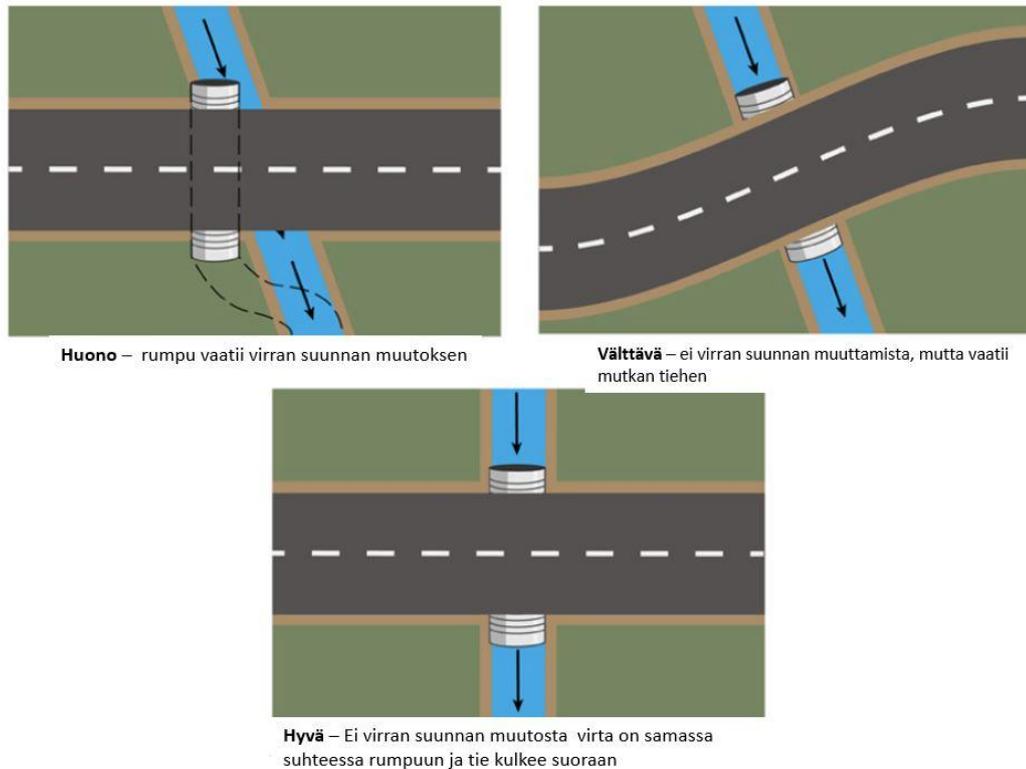


Kuvio 5. Laskuojan kunnostamisen vaiheet (Eskola ym. 2019, 26)

2.7 Päätierummut

Päätierummuilla siirretään vesi tien toisesta sivuojasta tien ali joko laskuojaan tai toiseen sivuojaan. Päätierumpuja käytetään myös luonnonmukaisten purojen ja ojien alittaessa tien. Käytettäviä rumpumateriaaleja on muoviset, teräksiset sekä betoniset rummut. Merkittävimmät seikat rummun suunnittelussa ovat tulvimisen huomioiva mitoitus sekä asennus, joka on ensisijaisesti kohtisuorassa tien linjaan

nähdessä. Luonnonmukaisten ojien alittaessa tien, rumpu tulee asentaa mahdollisimman vähillä muokkauksilla ojan virtauksen linjaukseen sekä virran kokoon (Kuvio 6). (Saarenketo, Matintupa. & Pyhähuhta. 2001–2014b, 4.)



Kuvio 6. Veden luonnollisen virtauksen soveltaminen tien rummuun (Saarenketo ym. 2001–2014b, 5)

Jos päätierummulla alitetaan sivuojien vesien virtaus, rummunpohja tulee olla sivuojanpohjan kanssa samalla tasolla. Liian alhaalla olevalla rummulla on vaarana tukkeutua, ja liian ylhäällä olevaan rumpuun vesi ei luonnollisesti pääse. Tierumpujen hyvällä suunnittelulla ja asennustarkkuudella vältetään ylimääräisiltä rummunpuhdistustoimenpiteiltä. (Saarenketo ym. 2001–2014b, 5.)

Rumpujen kunnossapito tapahtuu yleensä puhdistamalla rumpu tai ujuttamalla vanhan putken sisään uusi putki. Uuden putken lisäämisen suunnittelussa tulee arvioida onko uuden rummun kapasiteetti enää riittävä. (Eskola ym. 2019, 28.)

2.8 Liittymärummut

Liittymärummuilla johdetaan vesiä päätien sivuojen ylittävien liittymien lävitse. Liittymärummun tehtävänä on jatkaa sivuojan vedenvirtausta niin, kuin liittymää ei olisi olemassakaan (Eskola, ym 2019, 10).

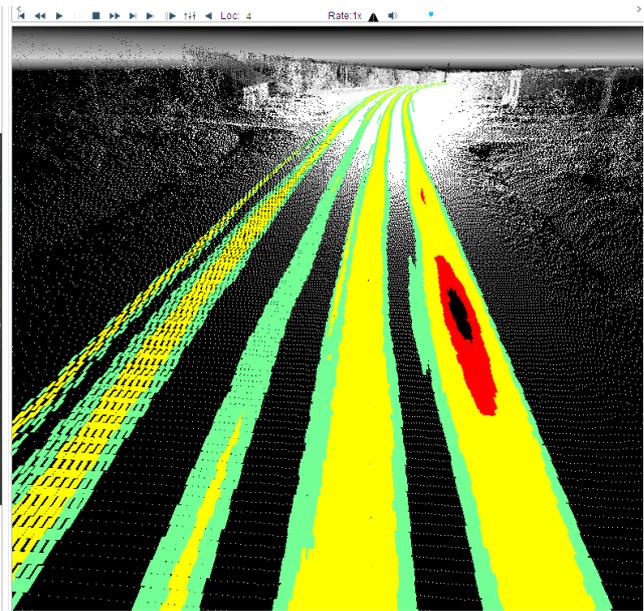
Liittymärumpujen rakentaminen ja kunnossapito on ollut yleensä liittyvän tien omistajan vastuulla. Tämä on ollut yksi haittatekijä tien kuivatukselle, sillä joissain tapauksissa liittymärumpujen puhtaanapitoa ei hoideta ja se tukkeutuu. Kuviossa 7 on esitetty liittymärummun jäätyminen, jossa myös ns. ”hätäputki” on tukossa, joka aiheuttaa päätien sivuojan tulvimista liittymän yläpuolella. Tulviva vesi imeytyy tierakenteeseen ja aiheuttaa routavaurioita, urakasvun kiihtymistä sekä eroosion aiheuttamaa liittymän syöpymistä. Rummut voivat olla myös liian pieniä, väärin rakennettuja tai niitä ei ole lainkaan kuten kuviossa 8. Tästä aiheutuu ongelmia tien kuivatusjärjestelmälle sekä vaurioitumista päätielle. Elokuussa 2018 astui voimaan laki, joka mahdollistaa liittymärumpujen hoidon valtion toimesta. (Eskola ym 2019, 10.)



Kuvio 7. Jäätynyt liittymärumpu. (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)

Tukkeutunut liittymärumpu aiheuttaa erityisesti keväisin ongelmia, kun sulamisvedet kerääntyvät tien sivuojiin. Kun liittymärumpu on tukossa tai jäässä,

sulamisvesi voi jäädä tai lammikoitua sivuojaan pitkäksikin ajaksi ja imeytyä tierakenteeseen. Tämä voi aiheuttaa urakasvua sekä muita vaurioita päätiehen erityisesti liittymärumpujen yläpuolella. Lisäksi vaarana on tien luiskien valuminen ojanpohjalle, sekä jäälinsien aiheuttamat routaheitot päätiessä. Tukkeutunut rumpu voi aiheuttaa myös sivuojan täyttymisen, jolloin tulviva vesi virtaa lopulta liittyvän tien yli vieden, varsinkin päällystämättömillä teillä, tien päällysrakennetta mukanaan. (Saarenketo ym. 2001–2014b, 5.)



Kuvio 8. Kuvakaappaus tievideosta sekä pistepilvi aineistosta Road Doctorissa, johon lisätty urakasvukartat.

2.9 Tien päällyste

Tien ylimpänä kerroksena toimii sorateillä kulutuskerros ja maanteillä päällyste. Tässä osiossa tarkastellaan tien kuivatuksen vaikutuksia ainoastaan päällystetyllä tiestöllä. Päällysteen tärkein tehtävä kuivatuksen kannalta on olla vettä läpäisemätön suoja tierakenteen alemmille kerroksille. (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)

Tämä edellyttää, että päällyste on hyvin tiivistettyä ja vettä läpäisemätöntä materiaalia, eikä siinä ole halkeamia tai reikiä, josta vesi pääsisi tierakenteen alempiin kerroksiin. (Saarenketo ym. 2001–2014a, 4.)

2.10 Tierakenteen paksuus

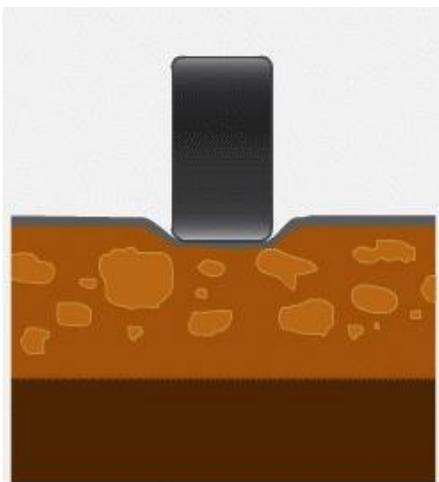
Ojan syvyyden vaikutus suhteessa tierakenteen alapintaan on tärkeä huomioida suunniteltaessa kuivatusta etenkin vettä läpäisemättömällä maaperällä. Ojanpohjan syvyys tulisi olla tierakenteen alapinnan alapuolella, mieluiten enemmän kuin +0,25 m. Jos ojanpohja jää tierakenteen alapinnan yläpuolelle, toimimattomasta sivuojasta vesi suotautuu suoraan tierakenteeseen, joka aiheuttaa routimisen seurauksena pysyviä vaurioita tierakenteeseen. Aikaisemmista tutkimuksista käy ilmi, että tierakenteen ollessa märkää, myös urakasvu kiihtyy. Kun sivuojan pohja on tierakenteen alapinnan alapuolella, toimimattomaan sivuojaan kertynyt vesi suotautuu pohjamaahan. Tällöin vesi ei aiheuta suuria routavaurioita tierakenteeseen, eikä tierakenteen kostumisesta aiheutuvaa urautumista. (Saarenketo 2021.)

3 TIEN URAUTUMISTYYPIT

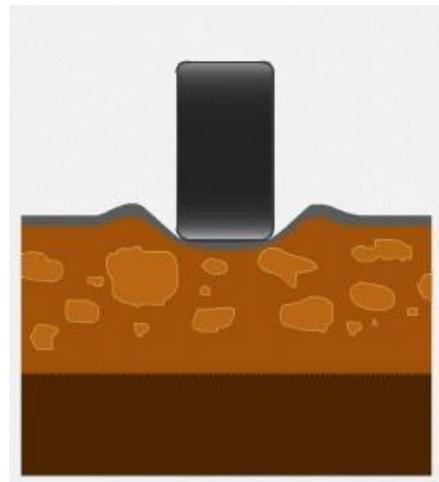
Tien urautumistyyppien luokittelu on tärkeää, koska sen perusteella tehdään päätökset tuleviin kunnostustoimenpiteisiin. Seuraavissa luvuissa esitellään erilaisia urautumistyyppiejä.

3.1 Tyypin 0 urautuminen

Tyypin 0 urautuminen on tierakenteen tiivistymisestä johtuvaa urautumista. Tämän tyypin urautumista tapahtuu käytännössä aina jonkun verran tien rakentamisen jälkeen. Tierakenteen huolellinen tiivistäminen ennen tien avaamista yleiselle liikenteelle on paras keino välttää jälkeempää tapahtuvaa tiivistymistä. Tiivistäminen myös lisää materiaalin kantavuutta, kun kuormitus jakautuu laajemmalle alalle ja pohjamaahan kohdistuva rasitus pienenee. Tällöin myös todennäköisyys myöhempään urautumiseen vähenee (Kuvio 9). Urautumistyyppi 0 taasaantuu yleensä itsestään. (Saarenketo, Matintupa & Munro 2001–2014d, 3.)



Kuvio 9. Tyypin 0 urautuminen
(Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)



Kuvio 10. Tyypin 1 urautuminen
(Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)

3.2 Tyypin 1 urautuminen

Tyypin 1 urautuminen on tienpinnan välittömässä läheisyydessä tapahtuvaa deformaatiota. Urautuminen johtuu yleensä heikkolaatuisen sitomattoman kantavan kerroksen riittämättömästä leikkauslujuudesta. Tyypin 1 urautumisessa

tierakenteen materiaali löyhtyy ja aiheuttaa tienpinnan kohoamista ajourien lähis- tössä. Tämän tyyppisessä urautumisessa on tyypillistä myös palteen nousu ren- gasuran viereen, joka heikentää tien kuivatuksen toimivuutta (Kuvio 10). Parannuskeinona tyyppin 1 urautumiseen on esimerkiksi kantavan kerroksen stabilointi käsittelyaineilla, teräsverkkojen lisääminen tierakenteeseen tai vaikuttamalla olo- suhteisiin, jotka määräävät tierakenteen käyttäytymistä, kuten kuivatuksen pa- rantaminen. (Saarenketo ym. 2001–2014b, 3.)

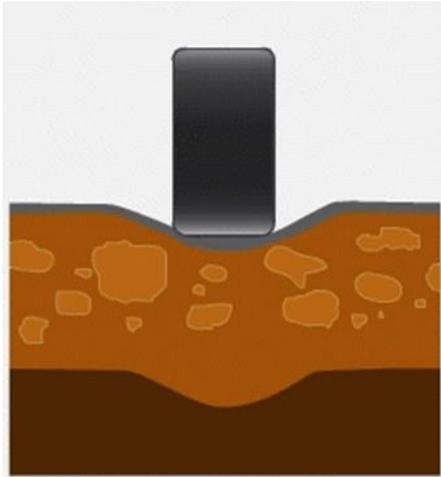
3.3 Tyyppin 2 urautuminen

Tyyppin 2 urautumista tapahtuu sellaisella tiestöllä, jossa tierakenne ei jaa kuor- maa tarpeeksi laajalle alalle heikon pohjamaan vuoksi. Tyyppin 2 urautumisessa tien pintaan muodostuu leveä ura ja pohjamaan siirtymisestä aiheutuu etääm- pänä urasta tapahtuvaa kohoamista (Kuvio 12). Tyyppin 2 urautumista yritetään korjata usein lisäämällä uraan kiviainesta. Näin urat saadaan hetkittäin parannet- tua. Urautuminen kuitenkin jatkuu pohjamaassa, joka johtaa pohjamaan puristu- miseen ylöspäin ajourien väliin sekä tien reunoille (Kuvio 11) (Saarenketo ym. 2001–2014b, 3).

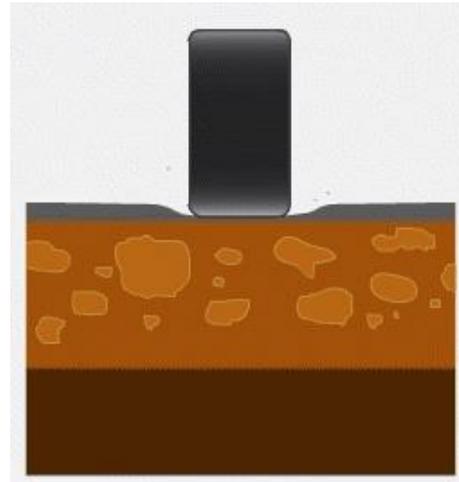


kuvio 11. Urautumistyyppin 2 ääritapaus. pitkälle kehittynyt pohjamaan muodon- muutos) (Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)

Merkittävin parannuskeino tyyppin 2 urautumiseen on pyrkiä vähentämään tien- pinnasta pohjamaalle siirtyviä rasituksia. Tämä voidaan toteuttaa kasvattamalla tien rakennekerrosten paksuutta. Jos rakennekerrosten paksuuden lisääminen ei ole mahdollista, päällysrakenteen kuormituksen jakokykyä voidaan lisätä asenta- malla kantavaan kerrokseen teräsverkkoja tai kantavaa kerrosta stabiloimalla. Jälkimmäiset keinot eivät kuitenkaan vastaa sitä hyötyä, joka saavutetaan lisää- mällä rakennekerrosten paksuutta. (Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)



Kuvio 12 Tyypin 2 urautuminen
(Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)



Kuvio 13 Tyypin 3 urautuminen
(Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)

3.4 Tyypin 3 urautuminen

Tyypin 3 urautumista aiheuttaa ajoneuvojen nastarenkaista johtuva päällysteen kuluminen. Tämän tyyppistä urautumista ilmenee pääasiassa teillä, joilla ajetaan nastarenkailla ja joissa KVL on yli 3000 ajoneuvoa vuorokaudessa (Kuvio 13). Tyypin 3 urautumista voidaan ehkäistä käyttämällä päällysteessä sellaista kiviainesta, joka kestää paremmin kulutusta. Toinen vaihtoehto on kieltää nastarenkaiden käyttö, mutta se ei ole tällä hetkellä varteen otettava vaihtoehto Suomessa. (Saarenketo ym. 2001–2014b, 3)

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä luvussa on kuvattu tutkimuksen tekemiseen käytettyjä tapoja. Kaikki tutkimuksessa tehdyt mittaukset on suoritettu Kuviossa 14 esitetyllä, Roadscanners Oy:n kehittämällä Road Doctor Survey Van -mittausklinikalla. (Roadscanners 2021.)

Kaikkien mittauslaitteiden toiminnan tai tarkoituksen selvittäminen tämä työn yhteydessä ei ole tarpeellista, koska lähes kaikki työssä käytetty data on laserkeilainaineistoa.



Kuvio 14. RDSV-mittausklinikka (Roadscanners 2016)

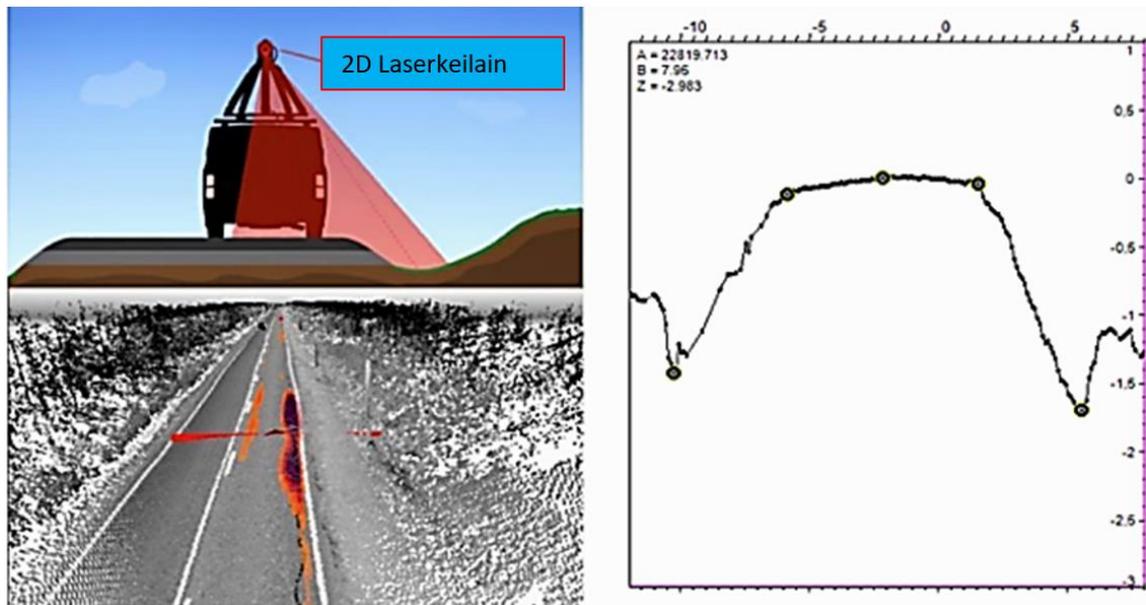
4.1 Laserkeilain

Laserkeilaimen toimintaperiaate on yksinkertaisesti selitettynä seuraavanlainen: Lasertykki, tuottaa lasersäteen jonka keilainosa levittää, jokaisen säteen signaali palautuu laserkeilaimen ilmaisinosaan saavutettuaan rajapinnan. Ilmaisinosaa määrittää säteen etäisyyden kohteeseen. Laserkeilain määrittää etäisyyden valonnopeudella, vaihesiirtymällä tai näiden yhdistelmällä. (Saarenketo ym. 2001–2014c.)

Laserkeilain luo mitattaessa pistepilveä ympäristöstä, jolloin aineistosta saadaan luotua Road Doctor -tietokoneohjelmalla 3D-pistepilvimalli sekä profiili tien poikkileikkauksesta. Pistepilvestä voidaan laskea tien reunapalle, ojanpohjansyvyys, ojan sisäluisikan kaltevuus, tienpinnan kaltevuus sekä tien urautuminen antamalla Road Doctor -tietokoneohjelmalle laskenta-alueen.

Tietokoneohjelma tuottaa laskenta-alueesta korkeuserot ja urien syvyydet millimetreinä (LIITE 1). Näitä vuosittaisia urakasvulaskentoja vertaamalla saadaan laskettua vuotuinen urakasvu.

Kun laserkeilain on kiinnitetty ajoneuvoon, se tunnistaa ajoneuvon sijainnin ja lasersäteen lähtökulman (Kuvio 15). Näistä laskennoista saadaan objektiivista tietoa tienpinnasta sekä tien ympäristöstä. Jos laskennoissa havaitaan merkittäviä arvoja esimerkiksi urakasvun kiihtymiselle, voidaan laserkeilain- sekä maatumalkaluotaustuloksia yhdistämällä etsiä syytä urautumiselle tai muille ongelmille ja puuttua ongelmiin jo ennen kuin merkittäviä vaurioita ehtii tapahtua. (Saarenpää 2017, 5.)



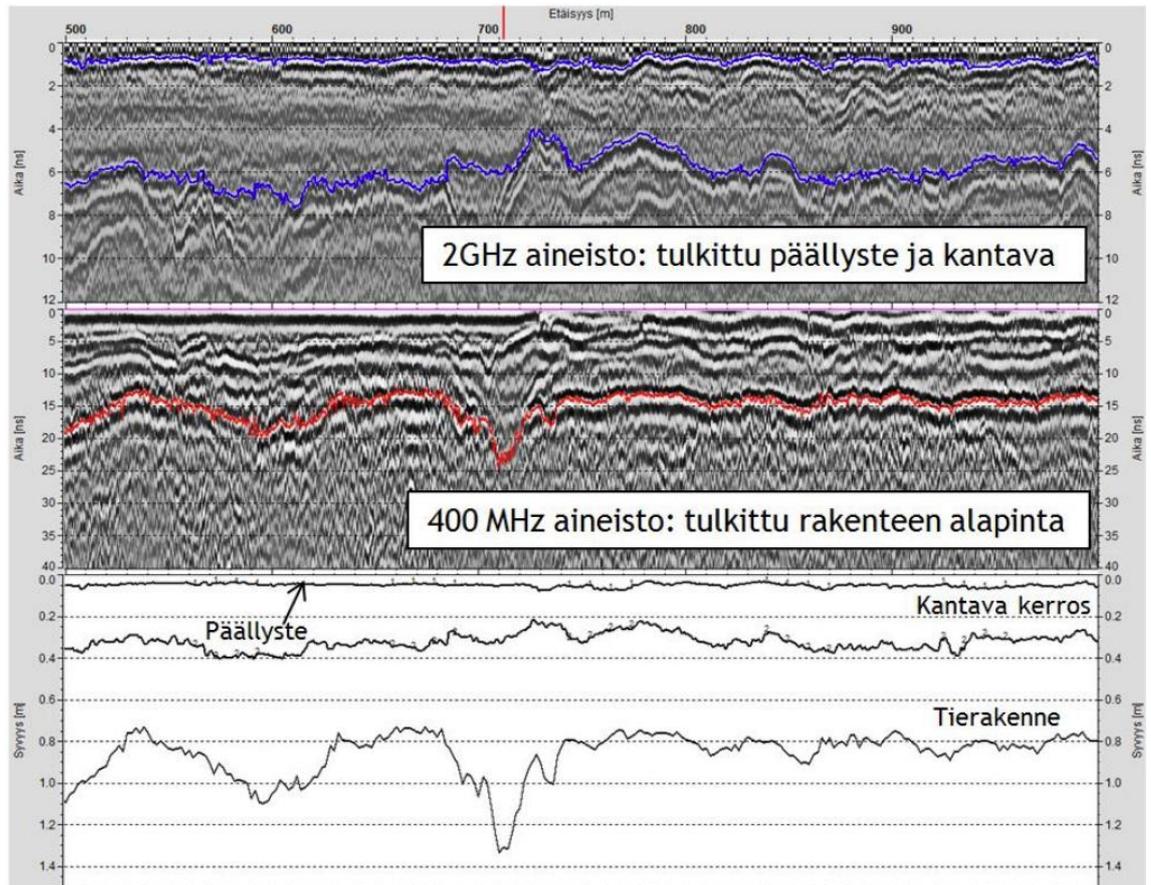
Kuvio 15. RDSV laserkeilaimen toimintaperiaate, keilauksesta saatava 3D-pistepilvimalli sekä tien poikkileikkausprofiili. (Saarenpää 2017, 5)

4.2 Mittausolosuhteet

Tutkimuksessa käytettyä laserkeilainaineistoa ei ole kerätty ojanpohjadatan analysointiin, vaan mittauksien pääpaino on ollut päällysteen urissa. Tämän vuoksi laserkeilain ei ole ollut kalibroitu keräämään parasta mahdollista dataa ojanpohjasta. Toinen olennainen tekijä tuloksien analysoinnissa on mittausajankohta, joka sijoittui keskikesään. Tarkempien tulosten saamiseksi parempi mittausajankohta olisi ollut keväällä tai alkukesästä heti lumien sulettua, ennen kuin ojiin tulee kasvillisuutta, tai loppusyksyllä kun kasvillisuus on alkanut painumaan lakoon. Mittauksien pääpainon ollessa urakasvun selvittäminen, roudan tuli olla tierakenteesta sulanut ennen mittauksen suorittamista. Tästä johtuen kasvillisuus alkoi kasvamaan ennen kuin mittaaminen oli mahdollista (Herronen 2021).

4.3 Tierakenteen alapinnan määrittäminen

Tierakenteen alapinnan määrittäminen on suoritettu Roadscanners Oy:llä vuonna 2016, koko PEHKO-projektin tieverkolle. Tätä tietoa on hyödynnetty työtä tehdessä. Tierakenteen alapinta on tulkittu maatutkamittausaineistosta. Maatutkamittaus perustuu antennista lähetettävään sähkömagneettiseen pulssiin, joka tunkeutuu mitattavaan materiaaliin. Pulssin palautuvasta signaalista mitataan kulku-aika ja amplitudi. Mittaustiheyden ollessa korkea rakenteesta saadaan jatkuva profiili, josta voidaan tulkita mm. eri rakennekerrokset. Kuviossa 16 on esitetty maatutkamittauksesta saatava aineisto sekä aineistosta tulkitut päällysteen, kantavan kerroksen sekä tierakenteen alapinnat (PEHKO- projekti 2015–2025 2015, 21)



Kuvio 16. Kahdessa ylimmässä ikkunassa eri taajuuksien maatutka-antennien mitausaineisto. Alimmassa ikkunassa molemmista aineistoista tulkitut kerrosten rajapinnat. (PEHKO- projekti 2015–2025 2015, 22)

4.4 Kuivatusluokkien määrittelyminen

Kuivatusinventointi on tehty tieosakohtaisesti vuonna 2016 ROADEX-projektin sen hetkisten kuivatusluokkien mukaan. Seuraavaksi on esitetty kuivatusluokat 1-3 sekä lyhyet selostukset eri luokista.

Kuivatusluokassa 1 kuivatuksessa ei ole parannettavaa. Veden virtaus ojissa on esteetöntä ja sujuvaa. Vesi virtaa päällysteeltä ojaan ilman esteitä sekä tien poikkileikkaus on säilyttänyt muotonsa. (Saarenketo, Matintupa & Pyhähuhta 2001–2014c, 6.)

Kuivatusluokassa 2 ojien kasvillisuus hidastaa veden virtausta aiheuttaen ojaan patoja. Tien poikkileikkauksen muodossa on pientä muutosta kuten reunapalletta, joka estää veden virtausta päällysteeltä ojaan. (Saarenketo ym 2001–2014c, 6.)

Kuivatusluokassa 3 kasvillisuus sekä luiskasta valunut maa-aines ojassa hidastaa veden virtausta, sekä patouttaa ojaa tukkien veden kulkua. Tien poikkileikkauksen muutokset ja vauriot päällysteessä ovat selkeästi nähtävissä ja tienreunoilla on tiheää kasvillisuutta sekä reunapalletta, joka estää veden kulkua ojaan tai jopa lammikoituu ajouraan. Tukkeutuneet rummut tai laskuojat estävät veden virtausta ojassa. (Saarenketo ym 2001–2014c, 6.)

4.5 Datan analyysimenetelmät

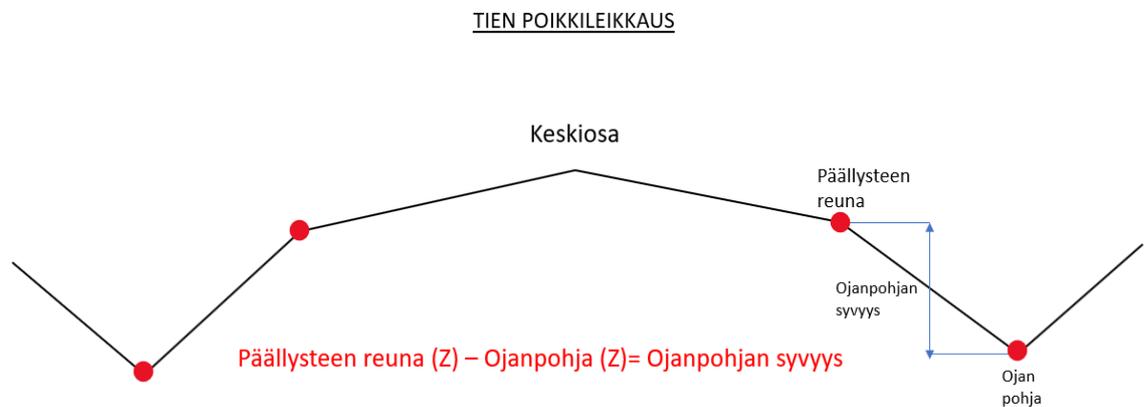
Datan analysointi tähän työhön on suoritettu valmiiksi ennakkokäsittelystä aineistosta. Jotta välttyttäisiin virhetuloksilta, kunkin linjan alusta sekä lopusta on poistettu arvot 100 metrin matkalta, koska mittauksen aloituksessa ja lopetuksessa auto voidaan joutua ajamaan liikenteestä johtuen tien sivuun vaaratilanteiden välttämiseksi. Nämä arvot poistamalla minimoidaan virhetulosten mahdollisuus arvoissa.

Urasvyvyys on laskettu kymmenelle metrille keskiarvostetusta urakasvuaineistosta joka on muunnettu tauluun, josta on valittu ne arvot, jota milloinkin haluttiin analysoida. Tässä selvityksessä näitä arvoja olivat paalulukema- sekä ura-arvot. Analysoitavat arvot on siirretty taulusta Excel-laskentaohjelmaan, jossa on tuotettu taulukoita havainnollistamaan tuloksia.

Uralaskenta on tehty joka vuosi PEHKO- projektin koko tieverkolle. Laserkeilainaineistosta muodostettavan pistepilven avulla saadaan laskettua päällysteen pinnan urasyvyys. Vertaamalla sitä aiemman vuoden ura-arvoihin saadaan vuotuinen urakasvu (mm/v). Mittausten toistettavuus varmistetaan paikantamalla laserkeilainaineistosta tiemaalaukset tai päällysteen reuna. Maalauksia tai päällysteen reunaa käytetään rajoina urakasvulaskennoissa, tämän vuoksi ei ole haittaa,

vaikka mittausajoneuvon ajolinjat olisivatkin mittausten välillä vaihdellut. (PEHKO-projekti 2015—2025 2015, 24)

Ojanpohjan syvyyden laskenta on suoritettu laserkeilanaineistosta saatavilla olevasta poikkileikkausprofiilista. Poikkileikkausprofiiliin tulee määrittää tien päällysteen reuna tai mahdollisesti levenneen tienreunan jatke, sekä ojanpohja kyseisestä poikkileikkauskohdasta. Tämän jälkeen Road Doctor -tietokoneohjelma laskee kyseisille pisteille muun muassa tämän työn kannalta tärkeät korkeusarvot halutulta tiejaksolta. Päällysteen reunan sekä ojanpohjan z-koordinaattiarvojen erotuksella saadaan selville ojanpohjan syvyys tien päällysteen reunasta (Kuvio 17).



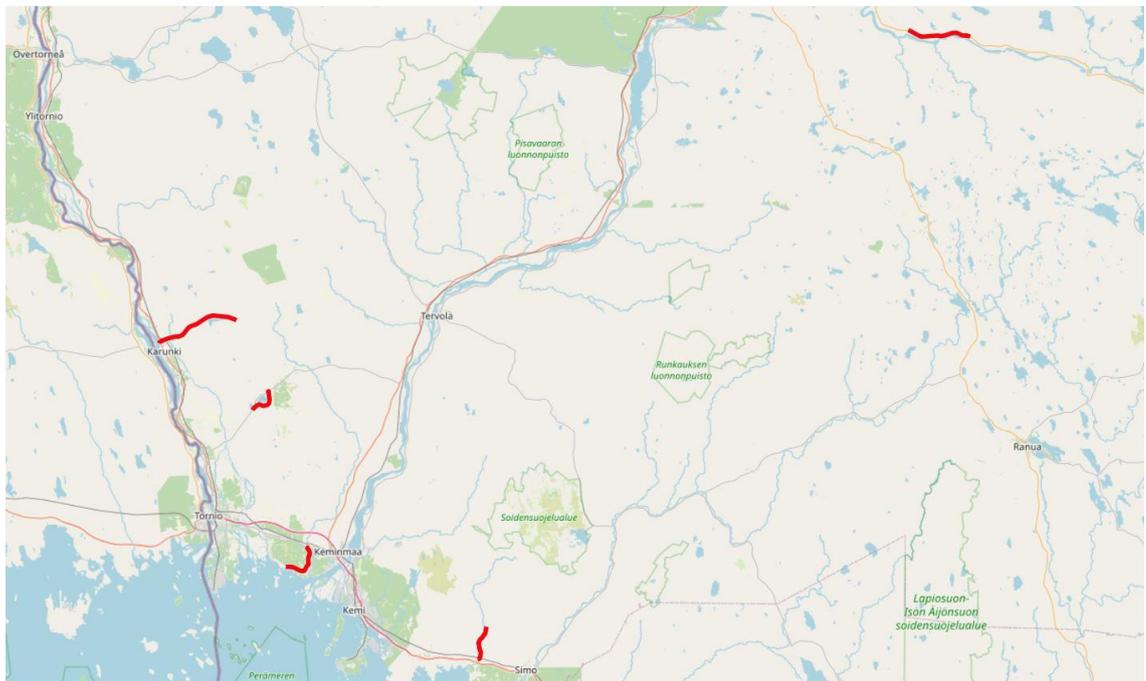
Kuvio 17. Ojanpohjalaskennan periaate.

5 TUTKIMUSKOHTEET

Tässä luvussa on esitetty tutkimuksessa mukana olleet tieosat sekä niiden tarkemmat sijainnit, pituudet sekä vuorokausittaiset liikennemäärät (KVL). Lisäksi tuodaan ilmi muut syyt näiden kohteiden valinnalle tutkimukseen sekä kohteiden kunto ennen ojitustoimenpiteitä. Tutkimuksessa mukana olleet tieosat Lapista, Keski-Suomesta sekä Uudeltamaalta sijaitsevat kolmen eri ELY-keskuksen hoitoalueilla. Tutkimuksessa mukana olleen tieverkon kokonaispituus on n. 61 kilometriä. Kaikista tieosista on analysoitu vain toisen suunnan ojanpohjat sekä urakasvut.

5.1 Tutkimuksessa mukana olleet tiet Lapin alueelta

Lapin alueelta tutkimuksessa oli mukana 5 tieosaa, Kuviossa 18 on esitetty alueen tieosat.

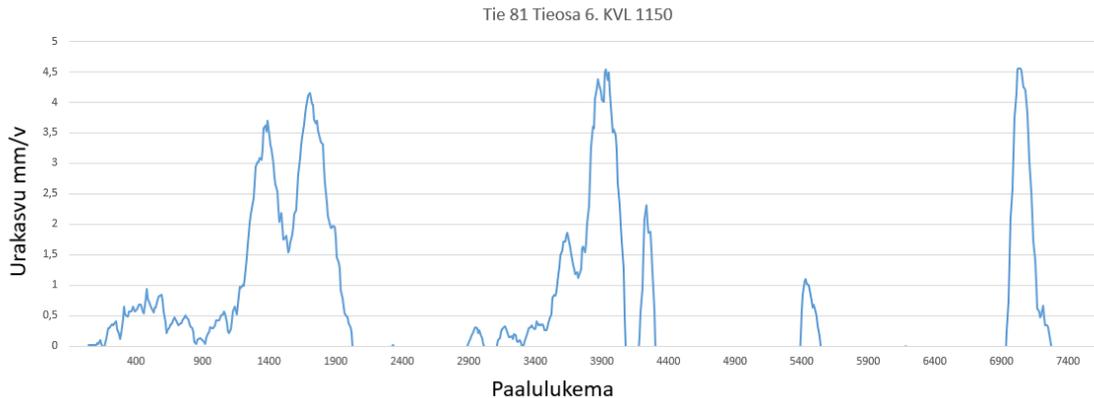


Kuvio 18. Lapin alueelta mukana olleet tieosat (QGIS, Open Street Map)

Tie 81 Tieosa 6 sijaitsee Lapin ELY:n alueella Oikaraisen kylän kohdalla Rovaniemellä ja tie kulkee Rovaniemeltä Posiolle. Tieosan pituus on 7,7 km.

Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 1150 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 7 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

Tieosa valikoitui tutkimukseen havaitun, paikoin jopa 4 mm/v (Kuvio 19) urakasvun sekä todennäköisesti kuivatustoimenpiteillä aikaansaadun urakasvun hidastumisen vuoksi. Vuosien 2015–2021 aikana urakasvu on ollut tasaista. Suurimman urakasvuvarvon paikat nivoutuvat liittymien molemmin puolin tien samalla puolen. Tämä kertoo siitä, että ongelmat juontavat juurensa yksityistieliittymärumpujen heikkoon toimintaan. Maatutkatadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,75–1 m. Ojan syvyys on karkearakeisilla mailla alle 0,7 m ja hienorakeisimmilla mailla n. 1 m. Tie kulkee pääosin tasamaalla. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 1, mutta nopean urakasvun paikoilla kuivatusluokka oli 3. Vuonna 2020 suoritettulla luiskanmuotoilulla ja rumpujen korjauksilla urakasvua on saatu hallintaan. Viimeisimpien mittausten mukaan urakasvu on keskimäärin enää alle 0,5 mm/v ja paikoittain enää maksimissaan 2 mm/v.

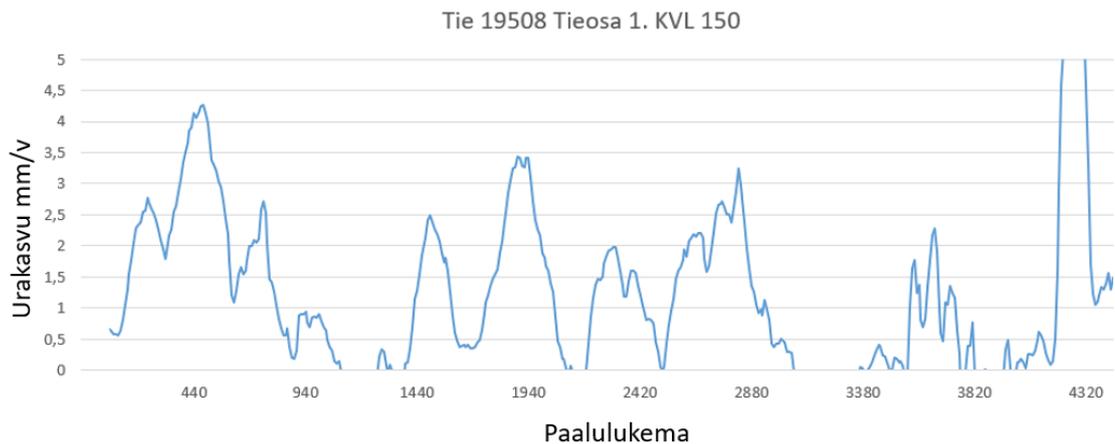


Kuvio 19. Vuotuinen urakasvu ennen luiskien muotoilua ja reunapalteen poistoa, tie 81 tieosa 6.

Tie 19508 Tieosa 1 sijaitsee Lapin ELY:n alueella Simon kunnassa ja kulkee Viantieltä Puutteenperälle. Tieosan pituus on 4,4 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 150 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:2.

Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa yli 5 mm/v (Kuvio 20), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2021 aikana urakasvu on ollut tasaista.

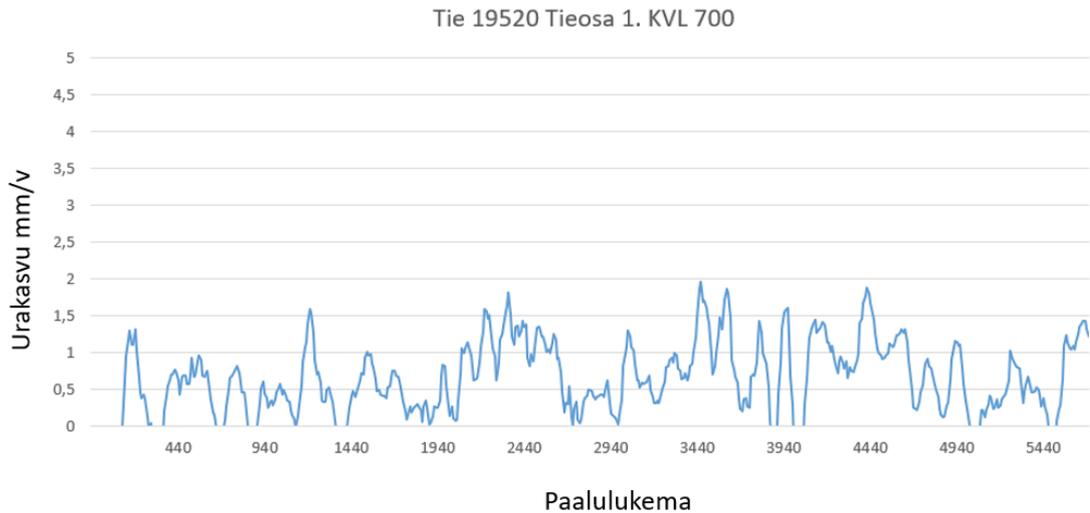
Urakasvulaskennat osoittivat että ojankunnostustoimenpiteillä ei ole todennäköisesti ollut vaikutusta urakasvun taittumiseen. Tieosan urakasvu on kovinta yksityistieliittymien alueella. Maatutkatadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,7 m. Ojan syvyys on laserkeilainaineistosta laskettuna keskimäärin alle 0,7 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi.



Kuvio 20. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 19508 tieosa 1.

Tie 19520 Tieosa 1 sijaitsee Lapin ELY:n alueella Tornion kunnassa ja kulkee Kaakamosta Ala-Kaakamoon. Tieosan pituus on 5,7 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 700 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä, Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:2.

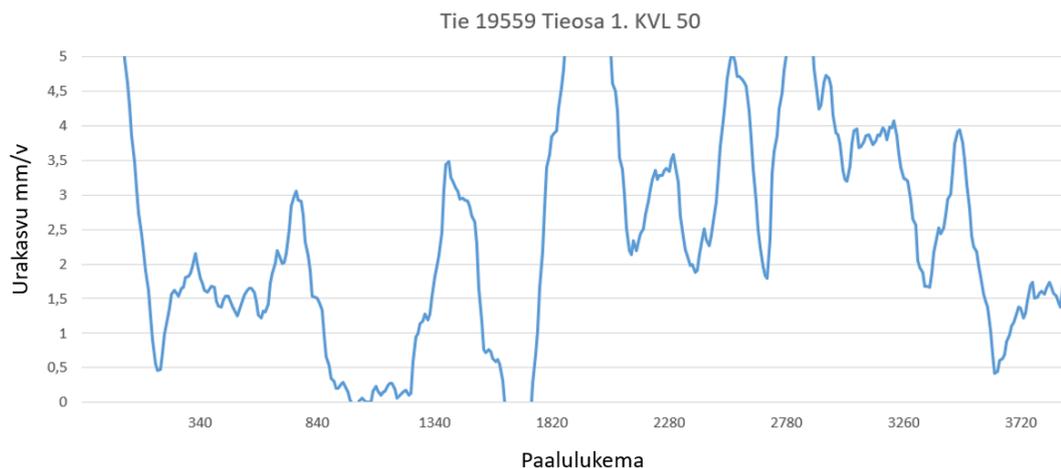
Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa yli 2 mm/v (Kuvio 21), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2020 aikana urakasvu on ollut tasaista. Vuonna 2020 tehdyillä kuivatustoimenpiteillä on todennäköisesti saatu urakasvua hallintaan, sen ollen enää keskimäärin alle 0,5 mm/v ja paikoittainkin enää alle 2 mm/v. Urakasvulaskennat osoittivat että ojankunnostustoimenpiteillä on todennäköisesti ollut vaikutusta urakasvun taittumiseen. Tieosan urakasvu on ollut kovinta yksityistieliittymien alueella. Maatutkatadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,75 m. Ojan syvyys on laserkeilainaineistosta laskettuna keskimäärin alle 0,7–0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:2.



Kuvio 21. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 19520 tieosa 1.

Tie 19559 Tieosa 1 sijaitsee Lapin ELY:n alueella Tornion kunnassa ja kulkee Kantojärven ympäri. Tieosan pituus on 3,8 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 50 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluisikan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

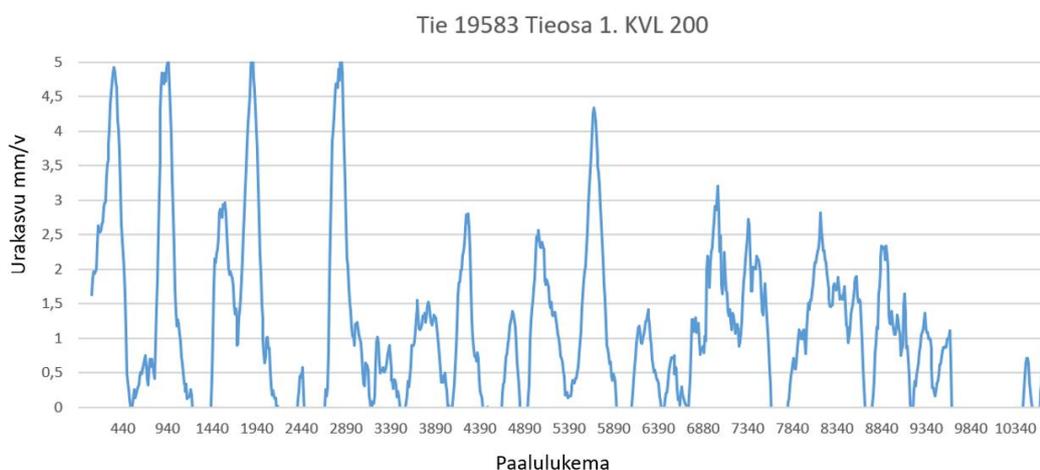
Tieosa valikoitui tutkimukseen havaitun, paikoin jopa yli 5 mm/v (Kuvio 22), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2019 aikana urakasvu on ollut tasaista. Vuonna 2019 tehdyillä kuivatustoimenpiteillä on todennäköisesti saatu urakasvua hallintaan, ollen enää keskimäärin alle 0,5 mm/v ja paikoittain enää alle 2mm/v. Urakasvulaskennat osoittavat että ojankunnostustoimenpiteillä on todennäköisesti ollut vaikutusta urakasvun taittumiseen. Tieosan urakasvu on ollut kovinta yksityistieliittymien alueella. Maatutkadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,75 m. Ojan syvyys on laserkeilainaineistosta laskettuna keskimäärin 0,7–0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi. Tieosalla ojan sisäluisikan kaltevuus on keskimäärin 1:3.



Kuvio 22. Urakasvu tie 19559 tieosa 1.

Tie 19583 Tieosa 1 sijaitsee Lapin ELY:n alueella Tornion kunnassa ja menee Karungista Aapajärvelle. Tieosan pituus on 10,5 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 200 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä, Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

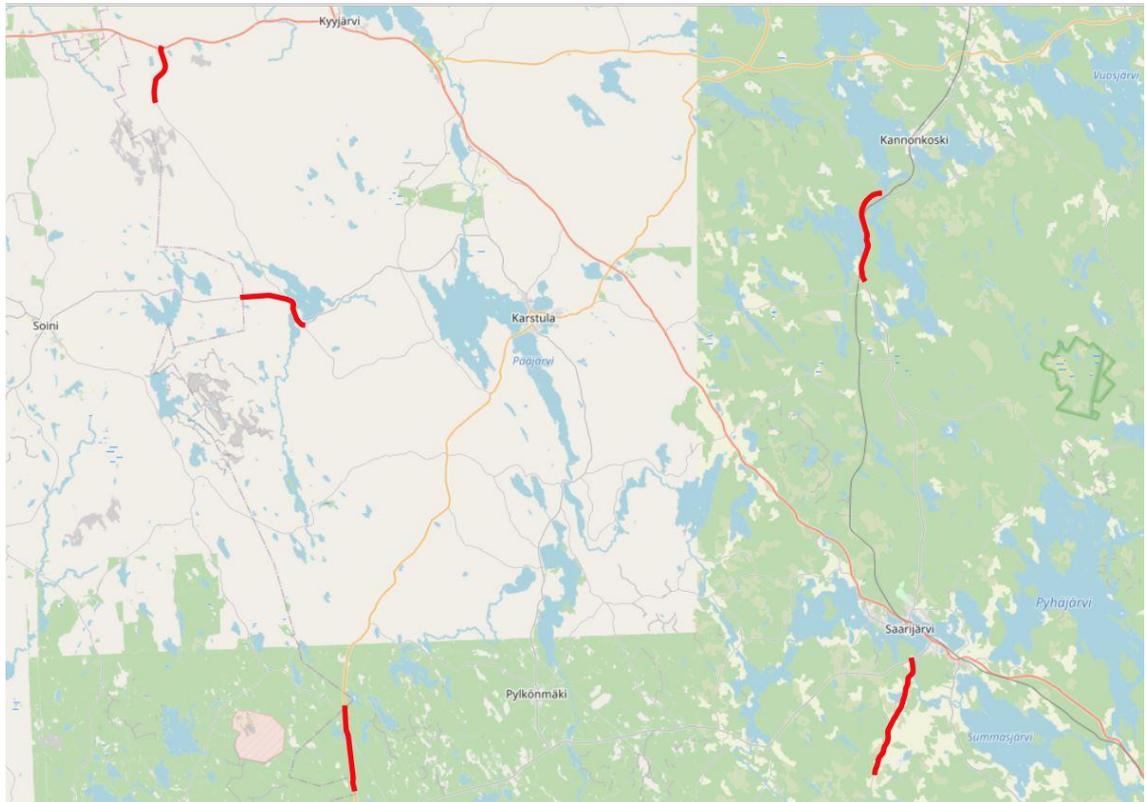
Tieosa valikoitui tutkimukseen havaitun, paikoin yli 3 mm/v (Kuvio 23), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2021 aikana urakasvu on ollut tasaisesti kiihtyvää. Tieosalla ei ole tehty kuivatustoimenpiteitä. Tieosan urakasvu on keksittynyt yksityistieliittymien alueille. Maatutkadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,75 m. Ojan syvyys on laserkeilainaineistosta laskettuna keskimäärin alle 0,7-1 m Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi.



Kuvio 23. Vuotuinen urakasvu 2019-2020 , tie 19583 tieosa 1.

5.2 Tutkimuksessa mukana olleet tiet Keski-Suomen alueelta

Keski-Suomen alueelta tutkimuksessa oli mukana 5 tieosaa, Kuviossa 24 on esitetty alueen tieosat.

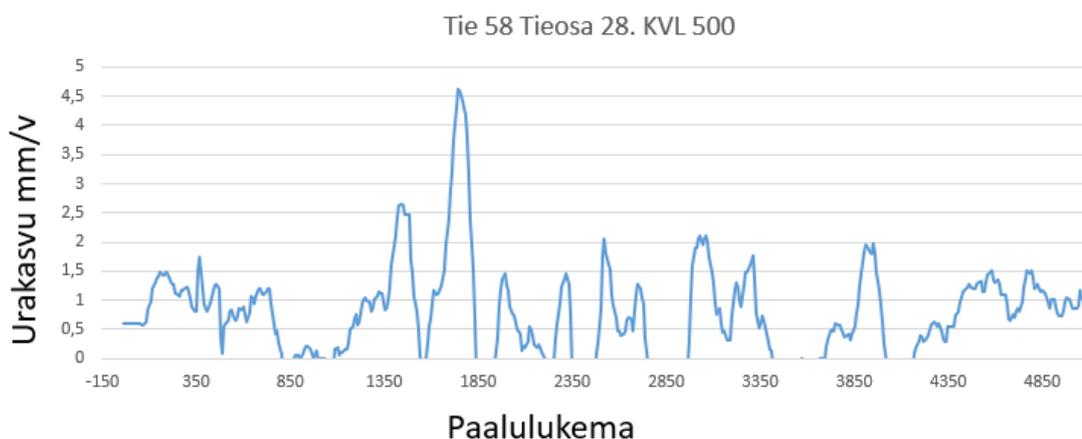


Kuvio 24. Keski-Suomen alueen tiet (QGIS, Open Street Map)

Tie 58 tieosa 28 sijaitsee Keski-Suomen ELY:n alueella ja kulkee Kangasalalta Kärsämäelle. Tieosa 28 on Väättäiskylän kohdalla Saarijärvellä. Pituus on 5,1 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 500 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 7 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa 4 mm/v (Kuvio 25), urakasvun sekä todennäköisesti kuivatustoimenpiteillä aikaansaadun urakasvun hidastumisen vuoksi. Vuosien 2015–2021 aikana urakasvu on ollut vaihtelevaa

johtuen vuonna 2018 suoritetuista rakenteenparantamistoimenpiteistä, päällystämisestä sekä haastavasta talvesta 2018–2019 talvikunnossapidon kannalta. Isoimman urakasvun paikat ovat märillä kohdilla, joka kertoo siitä, että ongelmat ovat lähtöisin toimimattomasta kuivatuksesta. Maatutkadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,9–1,1 m. Ojan syvyys on laserkeilainaineistosta laskettuna keskimäärin 0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Väliaikaisesti kuivatusluokka saatiin parannettua luokkaan 1, mutta muutaman vuoden päästä kuivatusluokka palautui luokkaan 2 ojan tukkeutumisen vuoksi. Vuonna 2017 suoritetulla ojituksella on todennäköisesti saatu urakasvu väli-aikaisesti hallintaan. Vuoden päästä ojituksesta mittausten mukaan urakasvu oli keskimäärin enää alle 0,5 mm/v ja paikoittain enää vain maksimissaan 1 mm/v. Kahden vuoden kuluttua ojituksesta urakasvu on kuitenkin jo paikoittain jopa yli 2 mm/vuosi.



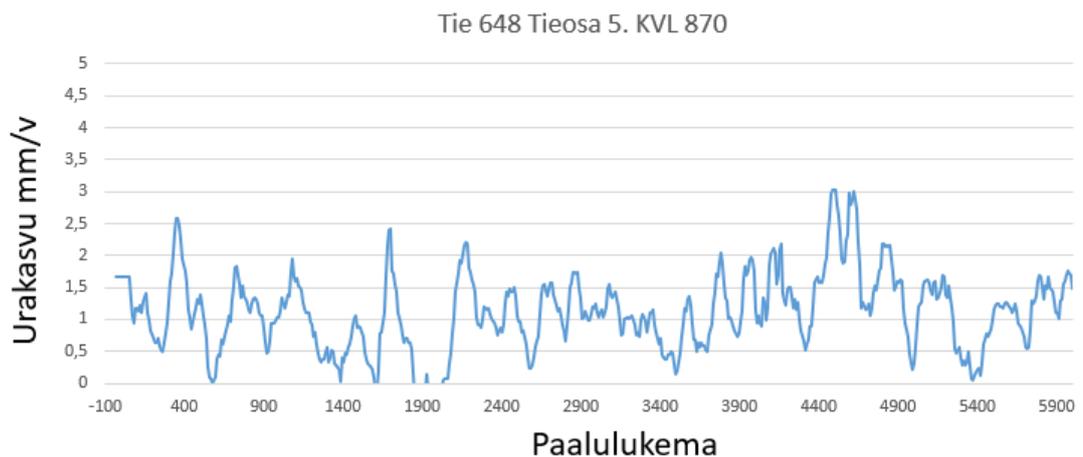
Kuvio 25. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 58 tieosa 28.

Tie 648 Tieosa 5 sijaitsee Keski-Suomen ELY:n alueella Kannonkosken kunnassa ja kulkee Kannonsahan kylän kohdalla. Tieosan pituus on n. 6 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 870 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 7 metriä. Tieosalla ojan sisäluisikan kaltevuus on keskimäärin 1:2 ja 1:3:n välillä.

Tieosa valikoitui tutkimukseen havaitun, paikoin 3 mm/v (Kuvio 26), urakasvun sekä todennäköisesti kuivatustoimenpiteillä aikaansaadun urakasvun

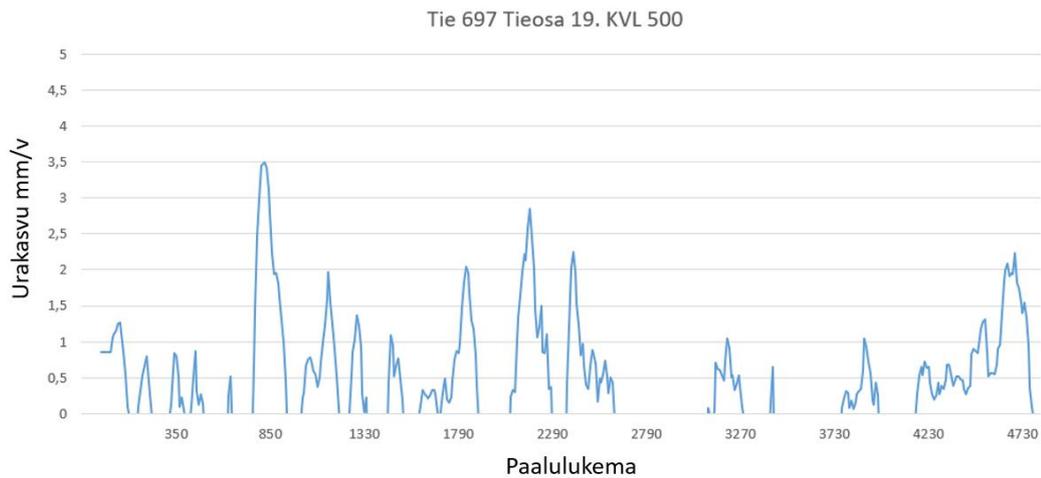
hidastumisen vuoksi. Vuosien 2015–2021 aikana tällä tieosalla urakasvu on ollut tasaista koko tieosalla. Isoimman urakasvun paikat ovat liittymien molemmin puolin, joka kertoo siitä, että ongelmat johtuvat yksityistieliittymärumpujen heikosta toiminnasta.

Maatukadadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,75–1 m. Ojan syvyys tieosalla on pääosittain hyvä, yli 1 m. Tie kulkee pääosin tasamaalla. Tien kuivatusluokka oli puolittain luokkia 1&2. Ojituksella kuivatusluokka 2 on saatu parannettua kuivatusluokkaan 1. Tehdyllä ojituksella on todennäköisesti saatu hidastettua paikoittaista urakasvua. Vuosi ojituksen jälkeen urakasvu on koko tieosalla ollut jo alle 0,5 mm/vuosi. Viimeisimpien, eli vuonna 2021 suoritettujen mitausten mukaan urakasvu on keskimäärin vieläkin alle 0,5 mm/v ja paikoittainkin enää liittymäalueilla maksimissaan 2 mm/v.



Kuvio 26. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 648 tieosa 5.

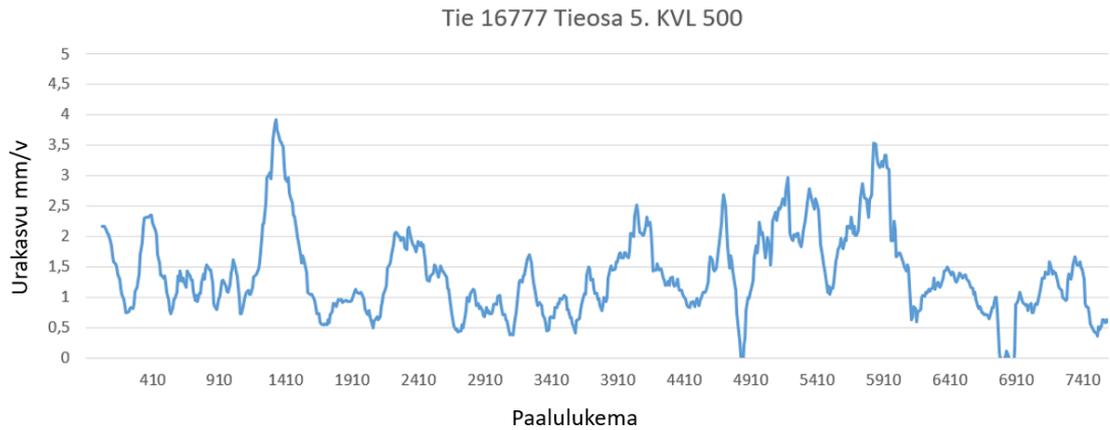
Tie 697 Tieosa 19 sijaitsee Keski-Suomen ELY:n alueella Karstulan kunnassa ja kulkee Karstulan kunnan rajalta Vahangan kylää kohti. Tieosan pituus on n. 4,8 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 260 (Väylävirasto 2020). Tieosalla on samanlaiset yleispiirteet kuin kohteella 648. Ainoastaan vuorokausittainen liikennemäärä on huomattavasti pienempi. Tieosa valikoitui tutkimukseen havaitun, paikoin 3 mm/v (Kuvio 27), urakasvun sekä todennäköisesti kuivatustoimenpiteillä aikaansaadun urakasvun hidastumisen vuoksi.



Kuvio 27. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 697 tieosa 19.

Tie 16777 Tieosa 5 sijaitsee Keski-Suomen ELY:n alueella Saarijärven kunnan alueella ja kulkee Uraisilta Pajupurolle. Tieosan pituus on 7,5 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 500 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

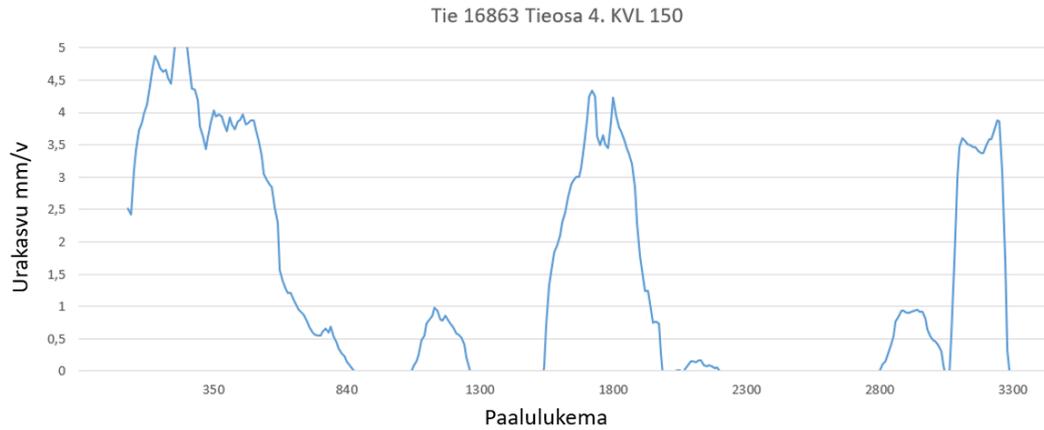
Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa 4 mm/v (Kuvio 28), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2018 aikana urakasvu on ollut tasaista. Urakasvuhuiput jaksottuvat yksityistieliittymien alueille. Ojituksen jälkeisen urakasvulaskennan tuloksista ilmenee, että urakasvua ei ole juuri ollut, pois lukien muutamia yksityistieliittymien kohdat. Ojanpohjalaskennoista ilmenee ojan pysyneen auki ojituksen jälkeen. Maatutkadatusta tulkittuna tierakenteen paksuus on tieosalla n. 0,7–0,9 m. Ojan syvyys tieosalla laserkeilain datasta laskettuna on keskimäärin 0,7–0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi. Huomattavaa urakasvua ei ole havaittavissa enää muualla kuin yksityistieliittymien alueilla.



Kuvio 28. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 16777 tieosa 5.

Tie 16863 Tieosa 4 sijaitsee Keski-Suomen ELY:n alueella Kyyjärven kunnassa ja kulkee Kortejärveltä Vehkaperälle. Tieosan pituus on 3,4 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 150 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:3.

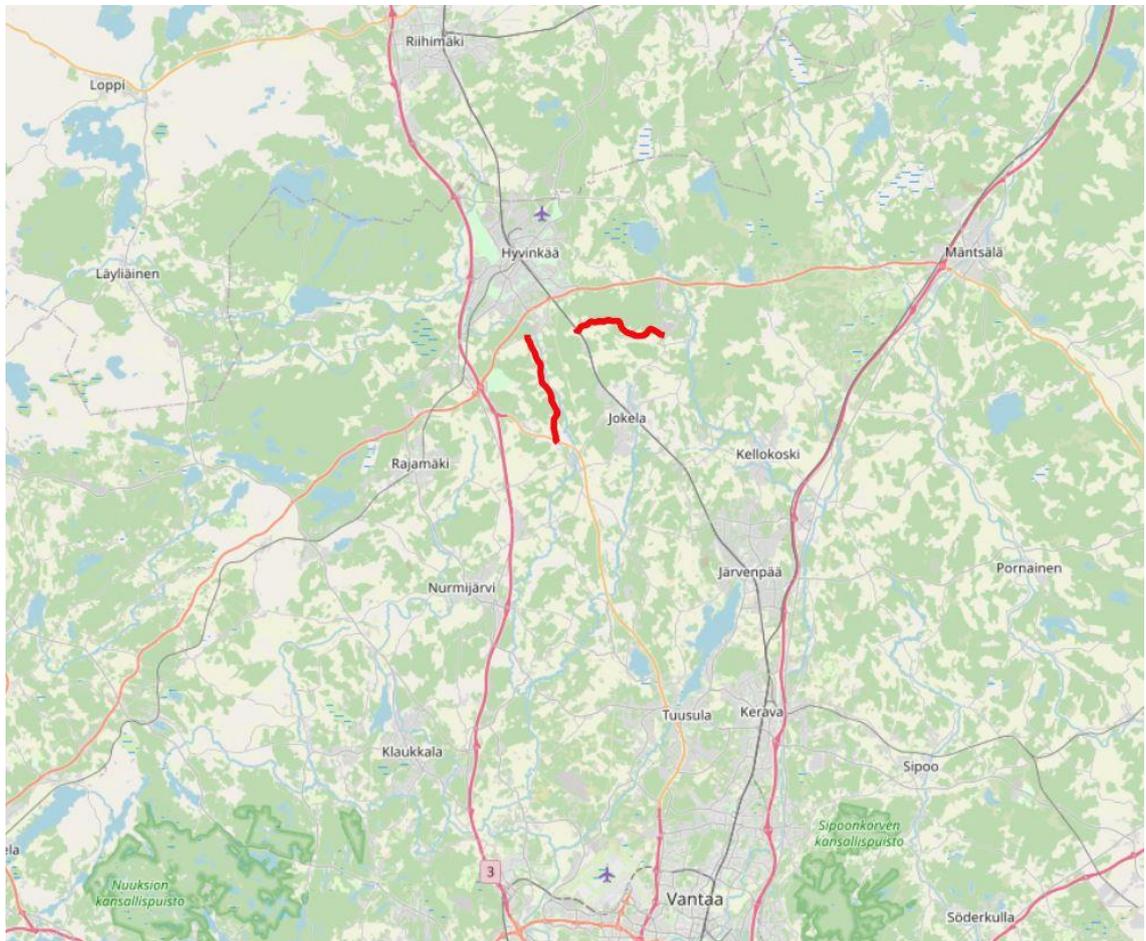
Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa yli 5 mm/v (Kuvio 29), urakasvun vuoksi. Vuosien 2015–2020 aikana urakasvu on ollut kiihtyvää. Alkuvuosina urakasvua oli ainoastaan yksityistieliittymien alueilla, mutta viimevuosien aikana lisääntyvä urakasvu on levinnyt koko tieosalle. Viimeisimpien urakasvulaskentojen tulokset osoittavat, että urakasvua ei ole enää ollut tieosalla suoritettujen kuivatustoimenpiteiden jälkeen. Maatutkadatista tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,7 m. Ojan syvyys tieosalla laserkeilain datasta laskettuna on keskimäärin 0,5–0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Kuivatustoimenpiteillä on saatu kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi. Huomattavaa urakasvua ei ole havaittavissa enää kuivatustoimenpiteiden suorittamisen jälkeen muualla kuin yksityistieliittymien alueilla.



Kuvio 29. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 16863 tieosa 4.

5.3 Tutkimuksessa mukana olleet tiet Uudenmaan alueelta

Tutkimuksessa oli mukana Uudenmaan alueelta 2 tieosaa, Kuviossa 30 on esitetty alueen tieosat.



Kuvio 13. Tieosat Uudenmaan alueelta (QGIS, Open Street Map)

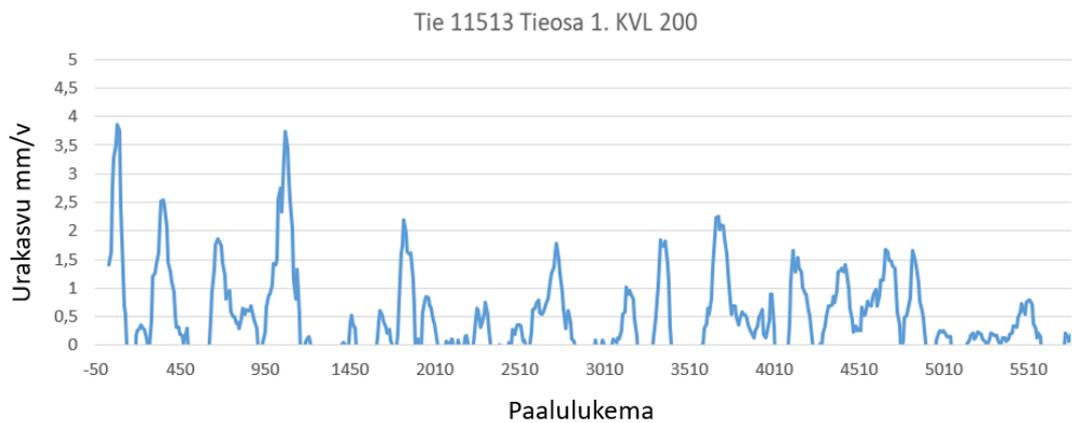
Tie 11489 tieosa 2 Tieosa sijaitsee Uudenmaan ELY:n alueella Hyvinkään kaupungin alueella ja kulkee Kirvunkylän kohdalla. Tieosan pituus on 4,6 km. Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 400 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluisikan kaltevuus on keskimäärin 1:2. Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa 4 mm/v (Kuvio 31), urakasvun sekä kuivatustoimenpiteillä aikaansaadun urakasvun hidastumisen vuoksi. Vuosien 2018–2020 aikana urakasvu on ollut tasaisesti kiihtyvää. Urakasvuhuiput jaksottuvat yksityistieliittymien alueille. Vuosien 2020–2021 välistä urakasvulaskennasta ilmenee, että urakasvu on kiihtynyt rajusti ollen koko tieosalla 3 mm/v luokkaa. Maatutkadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,9–1,1 m. Ojan syvyys tieosalla laserkeilainaineistosta laskettuna on keskimäärin 0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2. Väliaikaisesti kuivatusluokka on saatu parannettua luokkaan 1, mutta jo parin vuoden päästä kuivatusluokka palautui luokkaan 2 ojan tukkeutumisen vuoksi. Vuoden päästä ojituksesta mittausten mukaan urakasvu on keskimäärin enää alle 0,5 mm/v ja paikoitainkin enää vain maksimissaan 1 mm/v. Kahden vuoden kuluttua ojituksesta on kuitenkin urakasvu jo koko tieosalla jopa yli 3 mm/vuosi.



Kuvio 31. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta tie 11489 tieosa 2.

Tie 11513 Tieosa 1 sijaitsee Uudenmaan ELY:n alueella Hyvinkään kaupungissa ja kulkee Palopurolta Haapasaareen. Tieosan pituus on 5,6 km.

Vuorokausittainen liikennemäärä tiellä on n. 200 (Väylävirasto 2020). Tien leveys tieosalla on n. 6 metriä. Tieosalla ojan sisäluiskan kaltevuus on keskimäärin 1:2. Tie valikoitui tutkimukseen tieosalla havaitun, paikoin jopa 4 mm/v (Kuvio 32), urakasvun vuoksi. Vuosien 2018–2021 aikana urakasvu on ollut tasaista. Urakasvuhuiput jaksottuvat yksityistieliittymien alueille. Viimeisemmän urakasvulasennan tuloksista ilmenee, että urakasvuun ei ole tullut muutoksia tieosalle kohdistetuista kuivatustoimenpiteistä huolimatta. Maatutkadatasta tulkittuna tierakenteen paksuus tieosalla on n. 0,5–0,9 m. Ojan syvyys tieosalla laserkeilainaineistosta laskettuna on keskimäärin 0,75–0,9 m. Tien kuivatusluokka oli pääosiltaan 2, mutta osittain 3. Kuivatustoimenpiteillä on saatu paikoittain kuivatusluokkaa parannettua luokkaa paremmaksi.



Kuvio 32. Vuotuinen urakasvu ennen ojitusta, tie 11513 tieosa 1.

6 TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

Tuloksia on analysoitu alue-, tieosa- ja tieluokkakohtaisesti, sekä kaikkia tieosia yhdessä. Analyysissani on keskitytty tien päällysteen urakasvuun pääasiassa vuosi ennen ojitusta ja heti ojituksen jälkeen, sekä 2 vuotta ennen ja kaksi vuotta jälkeen ojituksen. Ojanpohjan syvyyden tuloksien analysoinnissa on pääasiassa seurattu ojanpohjan pitkäaikaiskäyttämistä ojitusvuodesta eteenpäin.

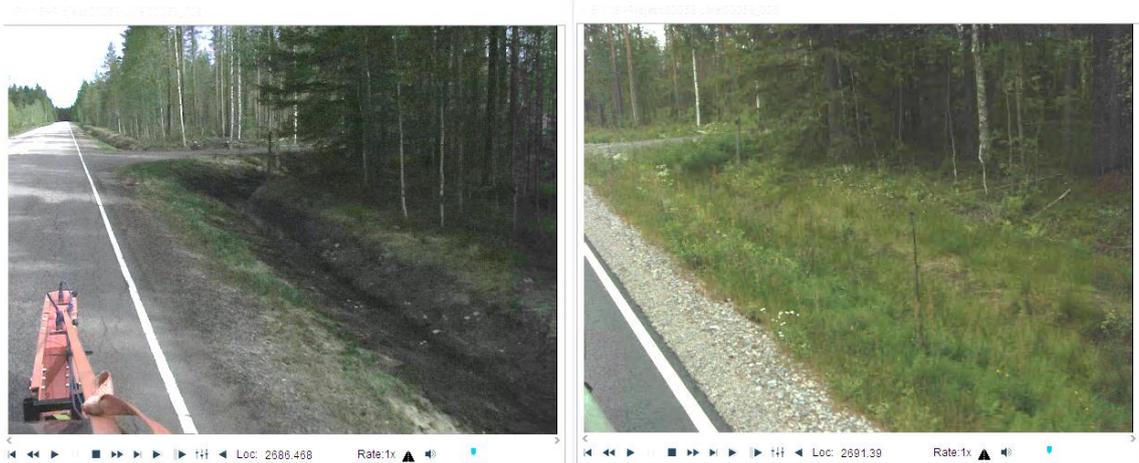
Tieosilla voi olla myös muita tekijöitä, joiden vaikutuksesta tierakenteen kunto poikkeaa normaalista, kuten esimerkiksi tierakenteen liian ohuista rakennekerroksista.

6.1 Tieosakohtainen analysointi

Tieosakohtaisessa tarkastelussa pääpainona on urakasvun arvot ennen ojitusta sekä ojituksen jälkeen, jotta nähdään ojituksen vaikutus urakasvun taittumiseen. Toisena tärkeänä tarkastelun kohteena on mahdollisen urakasvun taittumisen pysyväisvaikutus. Jos pysyväisvaikutusta ei ole, selvitän, kauanko urakasvu on pysynyt laskussa ja mitkä syyt ovat vaikuttaneet siihen, että urakasvu on lähtenyt uudelleen kasvuun. Tämä liittyykin kolmanteen pääteemaan tarkastelussa, joka on ojanpohjan syvyyden pitkäaikaiskäyttämisen seuraaminen.

6.1.1 Tie 58 Tieosa 28

Tällä tieosalla on tehty ojitustoimenpiteitä vuonna 2017. Ojituksessa on perattu/syvennetty ojaa niiltä osin, joissa tie kulkee vettä läpäisemättömällä pohjamaalla. Oja on videolta tarkasteltuna tukkeutunut silmännähtävästi jo vuosien 2017–2019 aikana (Kuvio 33). Ojassa on myös nähtävissä veden virtausta estävää patoutumista. Visuaalisesti tarkasteltuna ojituksen hyödyt olivat jäämässä lyhytkestoisiksi johtuen todennäköisesti siitä, että maasto on hankalaa ja ojitus on jouduttu uusimaan vuonna 2020. Tässä ojituksessa ojaa on myös levennetty ja luiskia muotoiltu uusiksi. Oja näyttää sen jälkeen pysyneen auki.



Kuvio 33. Kuvakaappaus tievideoista tieltä 58 tieosalta 28 paalulukemalta 2690. Ojan muutos kahden vuoden aikana. Vasemmalla olevassa kuvassa ojitusvuoden 2017 kuva ja oikealla puolella vuoden 2019 kaksi vuotta ojituksen jälkeen.

Ojanpohjan syvyyden seurannasta ilmenee, että jos ojitetaan tai ojia perataan kuten kuvion 33, vasemmanpuoleisessa kuvassa on nähtävillä, siitä voi seurata ojanpohjan tukkeutuminen ojituksen jälkeen ja ojan pohjan nousu n. 0,1 m jo yhden vuoden aikana (Kuvio 34).

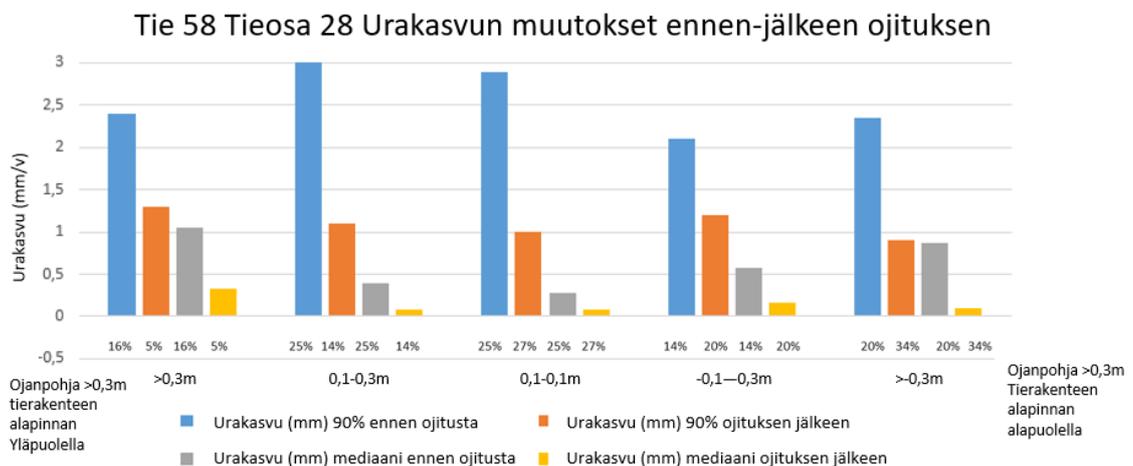


Kuvio 34. Tie 58 Osa 28 Ojanpohjan syvyyden muutos vuosi ojituksen jälkeen. Pystyakselilla kuvattu ojanpohjan nousua metreinä. Vaaka-akselilla kuvattu paalulukema.

Tieosan 28 arvioinnissa tulee huomioida, että tielle on tehty rakenteenparantamistoimenpiteitä 2018. Tämän työn urakasvulaskennoissa ei ole käytetty vuosien 2018–2019 urakasvulaskentoja päällysteen uusimisen vuoksi.

Urakasvulaskennoista ilmenee, että todennäköisesti ojitustoimenpiteiden vaikutuksesta urakasvu on lähtenyt taittumaan (Kuvio 35). Urakasvu ojanpohjaindeksin arvoilla 0,1–0,3 m 90 %:n jakauman arvo on pudonnut 3 mm/ v:ssa jopa 1 mm/ v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 25 %:sta 14 %:iin.

Myös ojanpohjaindeksin parhaassa luokassa, jossa urakasvu on pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on pudonnut 2,4 mm/v -> alle 1 mm/v joka on hyvä. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 20 %:sta 35 %:iin, ojitus on siis onnistunut.

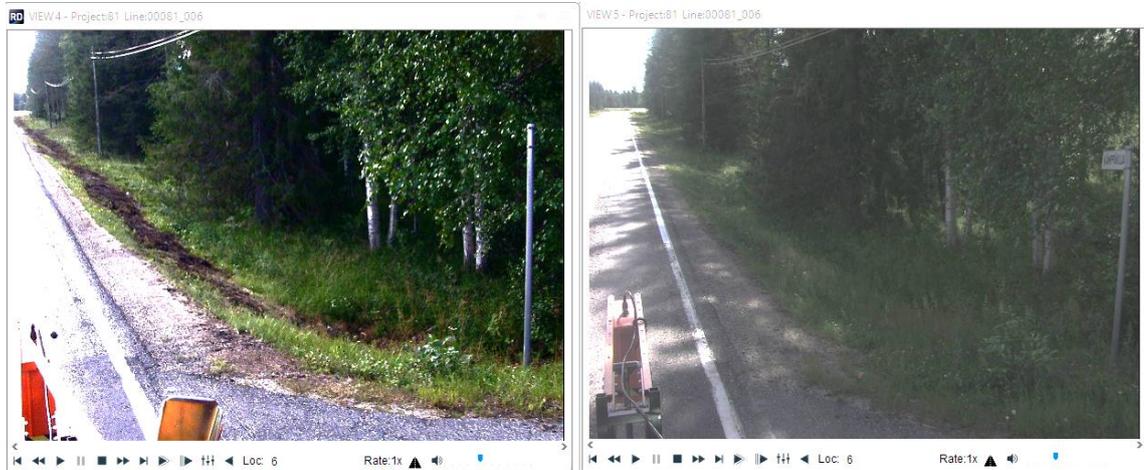


Kuvio 35. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 58 tieosalla 28. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu, kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.2 Tie 81 Tieosa 6

Tällä tieosalla on tehty vuonna 2020 reunapalteen poistoa ja luiskan muotoilua todennäköisesti kaapelityömaan johdosta. Ojanpohjiin ei ole juuri koskettu. Tieosa toimii esimerkkinä siitä, miten pienillä ja oikein ajoitetuilla toimenpiteillä (Kuvio 36), saadaan urakasvua laskuun ja pidennettyä päällysteen käyttöikä. Tie kulkee jokivarressa ja on rakennettu sivukaltevaan maastoon. Joen puoleinen kaista on rakennettu penkereelle ja metsän puoleisella kaistalla on oja. Tällaiset

kohteet voivat olla haastavia kuivatuksen kannalta pohjaveden pyrkiessä virtaamaan tierakenteen ali tai läpi. (Saarenketo ym. 2001-2014c, 6.)



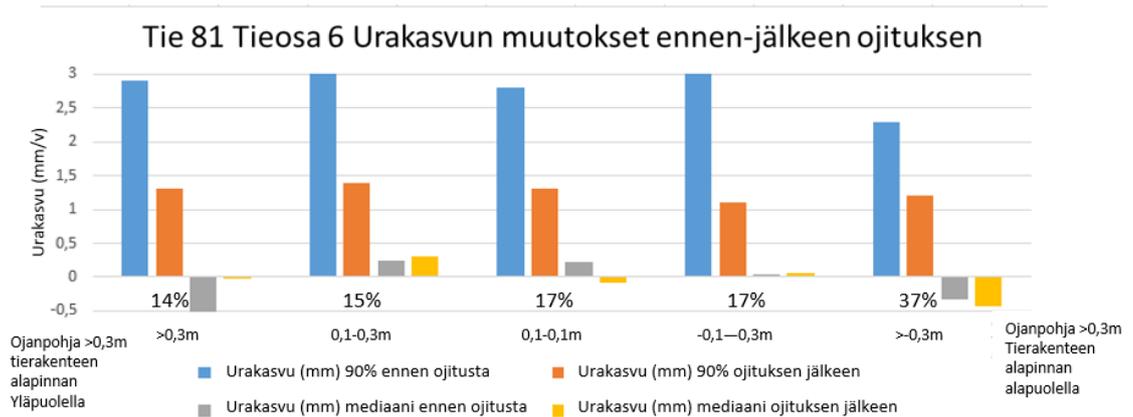
Kuvio 36. Kuvakaappaus tien 81 tieosalta 6 paalulukemalta 6580.

Vasemmalla puolella kuva toimenpidevuodelta, oikealla vuosi toimenpiteiden jälkeen.

Tulokset osoittavat, että urakasvu on lähtenyt merkittävästi taittumaan pienillä toimenpiteillä (Kuvio 37). Tällä tiejaksolla ojanpohjaindeksin prosenttiosuudet tiejaksolla eivät ole muuttuneet, koska oja ei ole syvennetty. Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa 0,1–0,3 m 90 %:n jakauman arvo on pudonnut 3 mm/v:stä ollen reunapalteen poiston ja luiskan muotoilun jälkeen 1,4 mm/v.

Myös ojanpohjaindeksin parhaassa luokassa >-0,3 m, jossa urakasvu on pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on pudonnut 2,1 mm/v -> 1,2 mm/v joka on hyvä.

Myös muut tekijät ovat voineet vaikuttaneet urakasvun taittumiseen. Sivukaltevaa maastoon rakennetulla tiellä vesi voi pyrkiä kulkemaan tierakenteen läpi. Tällöin ojan luiskan siistimisellä voi olla suuriakin vaikutuksia tierakenteen kuntoon. Tästä aiheesta ei kuitenkaan ole saatavilla tutkimustietoa.



Kuvio 37. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 81 tieosalla 6. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu, kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.3 Tie 648 tieosa 5 & Tie 697 Tieosa 19

Tieosilla on suoritettu samanlaiset toimenpiteet saman vuoden aikana. Tieosilla oli samanlaisia ongelmia ennen ojitustoimia sekä samanlaiset seuraukset ojituksen jälkeen. Lisäksi molemmat tiet sijaitsevat Keski-Suomessa, joten niiden tuloksia on avattu samassa luvussa.

Tieosilla on tehty ojitusta vuonna 2017. Ojat on perattu ja niitä on syvennetty n. 0,2 m. Ojituksen jälkeiset hyödyt ovat olleet monivuotisia ja ojat ovat pysyneet pääosin auki (Kuvio 38) lukuun ottamatta muutamia ongelmakohtia, joissa tie kulkee turvemaiden lävitse. Näissä kohdissa on nähtävissä ojan patoutumista, veden kertymistä ojiin sekä suurimmat urakasvut.



Kuvio 38 Kuvakaappaus tievideoista tieltä 697 tieosalta 19 paalulukemalta 195. Vasemmalla olevassa kuvassa ojitusvuoden kuva ja oikealla kaksi vuotta ojituksen jälkeen.

Ojanpohjalaskennoissa kahden vuoden päästä ojituksesta ilmenee ojan pysyneen auki kuten visuaalisessa tarkastelussa todettiin, pois lukien paikat jossa pohjamaa on turvetta, ojanpohjan korko on noussut (Kuvio 39).

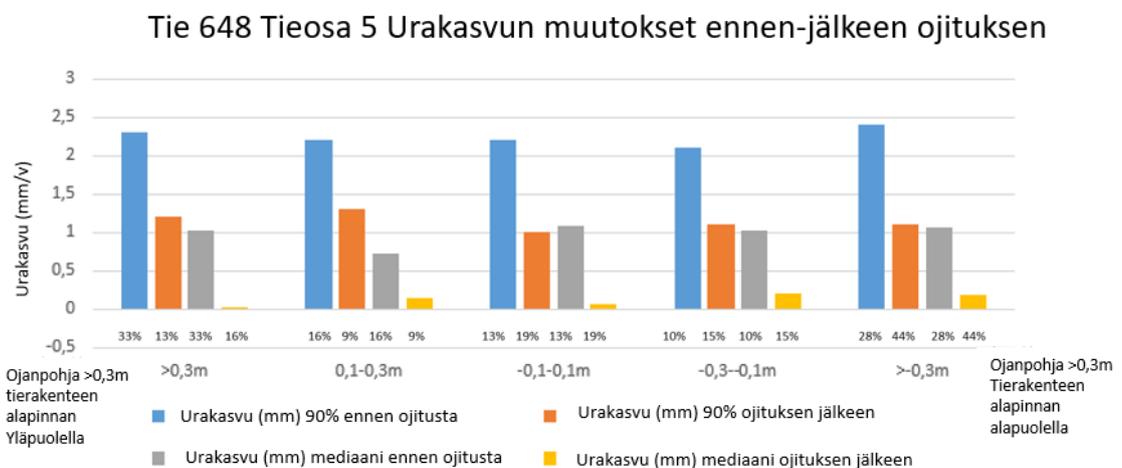


Kuvio 39. Tie 697 Osa 19 Ojanpohjan syvyyden muutos kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Pystyakselilla kuvattu ojanpohjan nousua metreinä, vaakakselillä paalulukema.

Urakasvulaskennoista on nähtävissä urakasvun taittuminen ojitusvuoden jälkeen. Todennäköisin syy urakasvun hidastumiselle on kuivatustoimenpiteet. Ojitusvuoden jälkeisen urakasvun 90 % arvo on saatu taittumaan samoihin lukemiin kuin mikä oli mediaani ennen ojitusta (Kuvio 40). Pitemmän aikavälin tarkastelua ei voi tehdä kohteiden uudelleen päällystämisen vuoksi. Urakasvu ojanpohjaindeksin huonoimmassa luokassa $>0,3$ m 90 %:n jakauman arvo on pudonnut

2,4 mm/ v:ssa 1 mm/ v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 33 %:sta 13 %:iin.

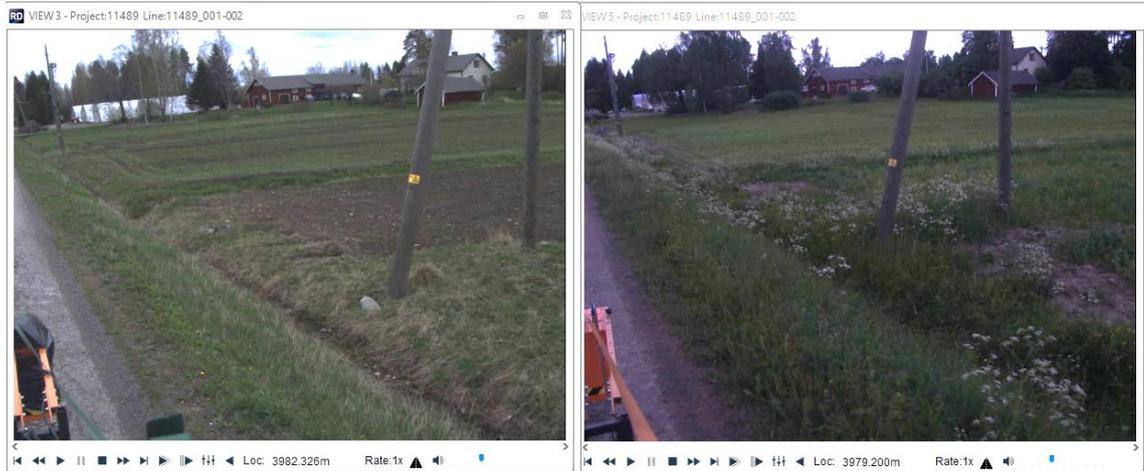
Myös ojanpohjaindeksin parhaassa luokassa, jossa urakasvu on pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on pudonnut 2,4 mm/v -> 1 mm/v joka on hyvä. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 28 %:sta 44 %:iin, ojitus on siis onnistunut.



Kuvio 40. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 648 tieosalla 5. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.4 Tie 11489 Tieosa 2

Tieosalla on tehty ojan perkausta sekä syvennystä vuonna 2019. Matala oja ja sen korkoon nivotut liittymärummut ovat rajoittaneet ojan syventämistä, hyvin tehty luiskan muotoilu on pelastanut ojituksen. Perkauksen jälkeen oja on pysynyt auki vielä kahden vuoden jälkeenkin. (Kuvio 41).

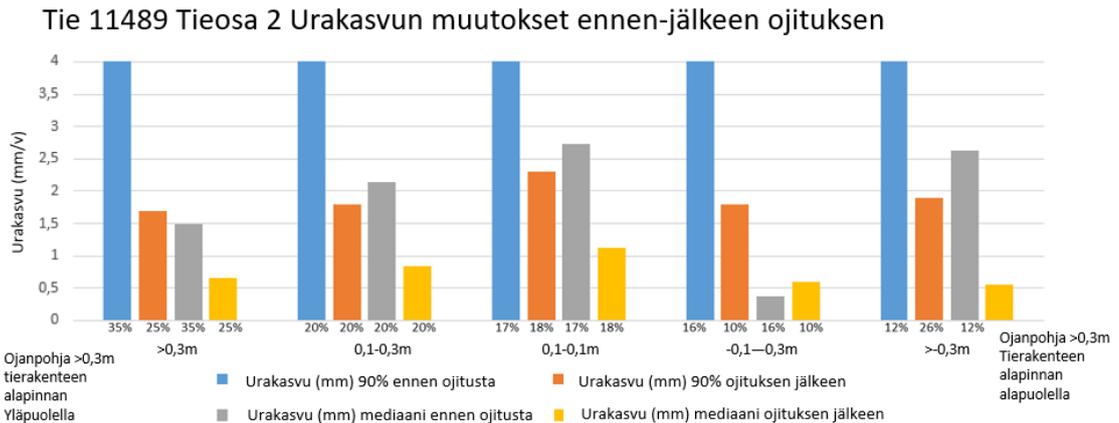


Kuvio 41. Kuvakaappaus tievideoista tieltä 11489 tieosalta 2 paalulukemalta 380. Vasemmalla puolella kuva ojitusvuodelta ja oikealla kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Sakea kasvillisuus vaikeuttaa ojanpohjalaskentaa, mutta oikeanpuoleisesta kuvasta on kuitenkin nähtävissä, että ojanpohjalla ei kasva kasvillisuutta.

Kuviossa 42 on esitetty tilastostatiikkaa urakasvun muutoksista sekä ojanpohjaindeksin osuuden muutoksista ojituksen jälkeen

Tieosalla urakasvu on ollut ennen ojitusta merkittävää, mediaanin ollessa n. 2 mm/v, ja vielä ojituksen jälkeenkin 90 % arvo n. 2 mm/v. Urakasvu ojanpohjaindeksin huonoimmassa luokassa >0,3 m, 90 %:n jakauman arvo on pudonnut >4 mm/v:ssa 1,5 mm/v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 35 %:sta 25 %:iin. Myös ojanpohjaindeksin parhaassa luokassa, urakasvun 90 % jakauman arvo on pudonnut >4 mm/v -> 2 mm/v. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 12 %:sta 26 %:iin, (Kuvio 42).

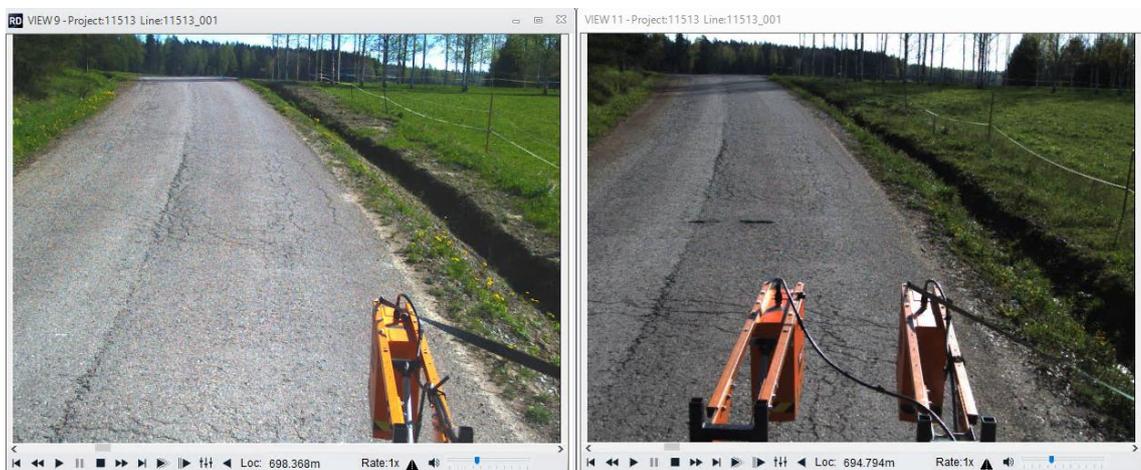
Urakasvu on saatu puolitettua, todennäköisesti ojitustoimenpiteillä. Urautumista on voinut aiheuttaa myös muut tekijät, kuin ainoastaan tien kuivatusjärjestelmä. Yhtenä monista mahdollisista tekijöistä mainittakoon, että tie kulkee osittain silttimäisellä pohjamaalla (GTK Maankamara) ja tierakenteen vahvuus on näillä osin paikoin vain 0,6 m. Tämä voi olla syy urautumiselle ja päällystevaurioille.



Kuvio 42. Pystyakselilla kuvattu urakasvua (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 11489 tieosalla 2. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.5 Tie 11513 Tieosa 1

Tällä tieosalla on tehty ojan perkausta sekä luiskanmuotoilua vuonna 2019. Ojituksen ryhdyttyä matala oja ja siihen nivotut liittymärummut ovat rajoittaneet ojan syventämistä. Oja on jouduttu haastavien olosuhteiden vuoksi jättämään matalaksi sekä kapeaksi ja luiskat ovat jääneet liian jyrkiksi aiheuttaen ojan luis-kamassojen valumista ojaan (Kuvio 43).



Kuvio 43. Kuvankaappaus tievideoista tieltä 11513 tieosalta 2 paalulukemalta 695. Vasemmalla olevassa kuvassa ojitusvuoden kuvaa ja oikealla puolella vuosi

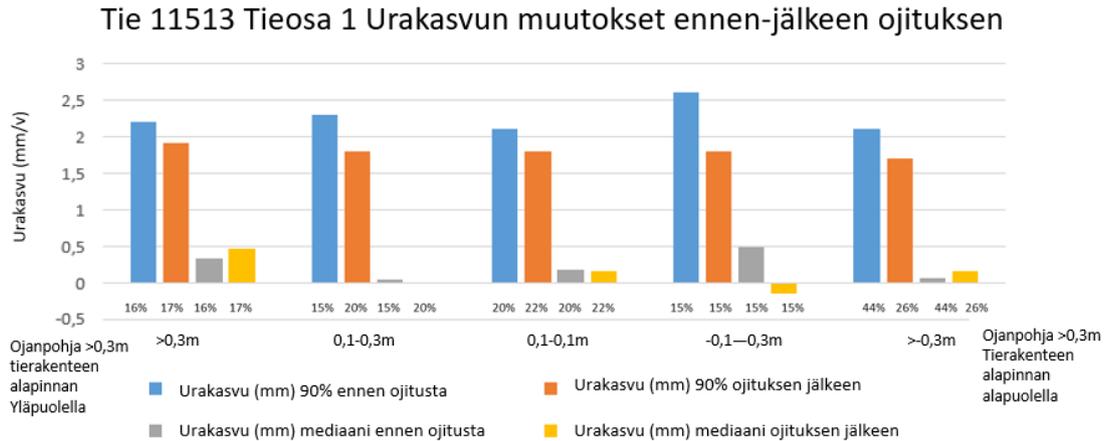
ojituksen jälkeen. Kuvasta näkyy kuinka kapea ja jyrkkäluiskainen oja tukkeutuu luiskan valumisen myötä jo yhden vuoden aikana.

Ojanpohjalaskennoissa kahden vuoden päästä ojituksesta ilmenee, että ojanpohjan korko on noussut paikoin n. 0,2 m (Kuvio 44). Paikoissa, joissa korko on muuttunut eniten, tie kulkee pellon laidassa.



Kuvio 44. Tie 11513 tieosa 1 Ojanpohjan syvyyden muutos kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Pystyakselilla ojankoron nousu metreinä. Vaaka-akselilla paalulukema.

Urakasvu ei ole hidastunut ojitustoimenpiteiden jälkeen sen vertaa, että sen voitaisiin olettaa johtuneen ojitustoimenpiteistä. Urakasvun 90 % arvo on edelleen samaa luokkaa, kuin ennen ojitusta sekä kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Kuviossa on nähtävissä kahdet ojituksen jälkeen mitatut urakasvutulokset (Kuvio 45). Tästä voidaan päätellä, että jo valmiiksi matalan ja jyrkkäluiskaisen ojan perkauksella (Kuvio 43), saavutettavat hyödyt eivät ole pitkäaikaisia. Ojan luiskat valuvat ojaapohjaan patouttaen tai jopa tukkien sen.

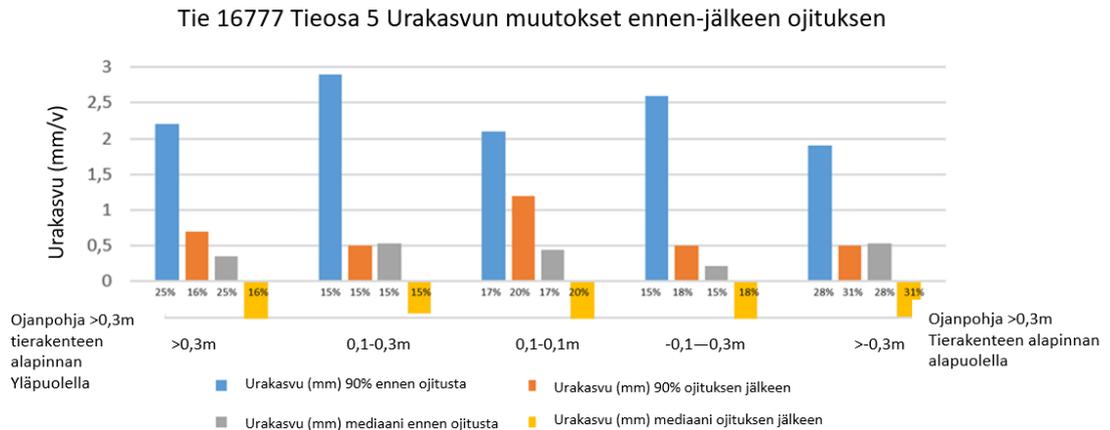


Kuvio 45. Pystyakselilla kuvattu urakasvua (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 11513 tieosalla 1. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeassa laidassa ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.6 Tie 16777 Tieosa 5

Tieosalla on tehty ojan syvennystä sekä luiskien muotoilua vuonna 2018. Oja on pysynyt auki säilyttäen muotonsa vielä kolme vuotta ojituksen jälkeenkin. Ojitus on ollut kokonaisuudessaan onnistunut. Ojanpohjalaskentojen vertailu toisiinsa tällä tieosalla on mahdotonta sakean vesakon sekä eriaikaisten tienlaitojen rai-vausvuoksi. Vertailumittauksen aikaan toisella tieosuudella tielaitojen rai-vaus oli tehty ja toisella tieosuudella se oli vielä tekemättä.

Urakasvulaskennoista on nähtävissä urakasvun kääntyminen laskuun todennäköisesti ojitustoimenpiteiden vuoksi. Ojituksen jälkeen mediaani on jo negatiivista, joka kertoo, että päällyste on alkanut palautua ojituksen jälkeen. (Kuvio 46). Pidemmän aikavälin seurauksena, ollaan vuonna 2021 vieläkin samassa urakasvu vauhdissa kuin heti ojituksen jälkeen, joten toimenpiteillä on ollut myönteinen vaikutus urakasvun taittumiseen jo kolme vuoden ajan. Tuloksista ei myöskään ole nähtävillä sellaisia tekijöitä jotka aiheuttaisivat ojassa ongelmia vastedeskään.



Kuvio 46. Pystyakselilla kuvattu urakasvua (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 16777 tieosalla 5. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeassa laidassa ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

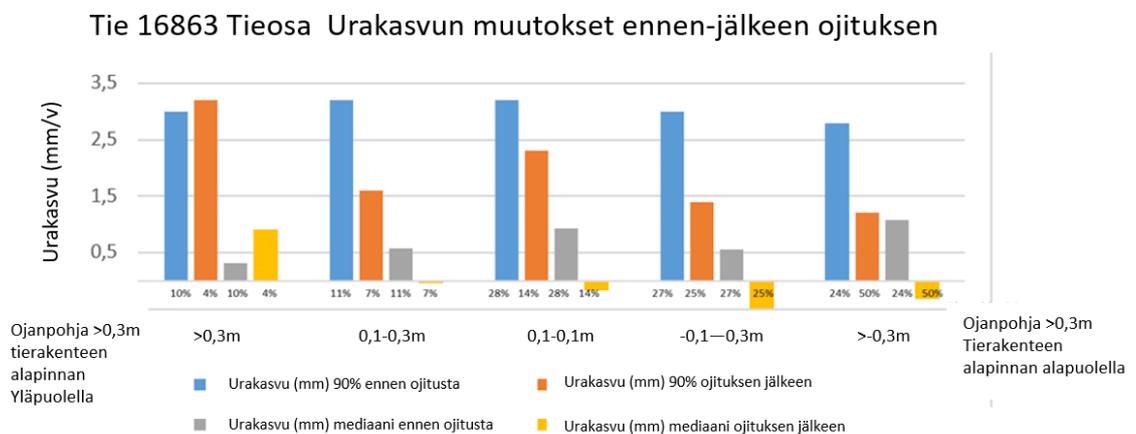
6.1.7 Tie 16863 Tieosa 4

Tieosalla on tehty ojitusta vuonna 2021. Tieosan ojituksen vaikutuksista päällysteen urakasvuun ei ole saatavilla tietoa seurantamittausten osalta johtuen siitä, että ojitusvuosi on viimeinen vuosi, miltä on saatavilla dataa tätä työtä tehdessä. Ojitustoimenpiteillä on kuitenkin nähtävissä samanlaisia ominaisuuksia sekä toimintatapoja, kuin muilla tutkimuksessa mukana olleilla tieosilla, joista on pääteltävissä mahdollisia seurauksia. Oletettavat seuraukset ovat; jyrkkäluiskaiset ojat on perattu olosuhteiden vuoksi ojanpohjalta vieläkin jyrkkäreunaisemmiksi. Ojaa syvennettäessä luiskia ei ole voitu muotoilla vastaamaan syvempää ojanpohjaa, joka aiheuttaa luiskan valumisen ojaan patouttaen tai tukkien veden virtauksen ojassa. Kuviossa 47 on ennakoitu mahdollisia seurauksia ojanpohjan tukkeutumiselle.



Kuvio 47. Kuvakaappaus laserkeilainaineistosta poikkileikkausnäkyssä sekä tievideosta tieltä 16863 tieosalta 4 paalulukemalta 1500. Punaisella viivalla kuvattu vanha ojanpohja ja vihreällä viivalla uusi ojanpohja. Nuolet osoittavat kuinka luiska voi alkaa valua ojaan tukkien sen ja palauttaen ojan samaan olomuotoon kuin ennen ojitusta.

Urakasvulaskennan arvot osoittavat vuosina 2015–2018 tasaista kasvua, 90 % arvoltaan n. 3mm/v koko tieosalla. Ojitusvuoden jälkeen urakasvu on lähtenyt taittumaan ollen enää 90 % arvoltaan 1,5 mm/v luokkaa. Urakasvun mediaani on tippunut nollan tuntumaan (Kuvio 48). Ojituksen hyödyt ovat todennäköisesti jäämässä lyhytkestoisiksi ojitusta rajoittaneiden tekijöiden johdosta. Rajoittavia tekijöitä ovat mm. olemassa olevien rumpujen korot sekä kehotus olla leventämättä ojan ulkoluiskaa.

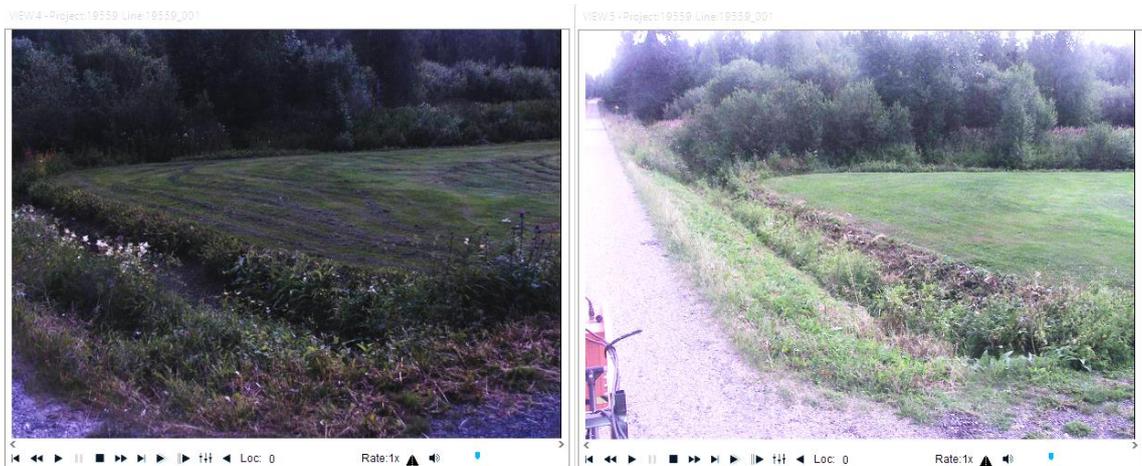


Kuvio 48. Pystyakselilla kuvattu urakasvua (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin tien 16863 tieosalla 4. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeassa laidassa ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.8. Tie 19520 Tieosa 1 & Tie 19559 Tieosa 1 & Tie 19508 Tieosa 1

Tieosilla on suoritettu samanlaiset toimenpiteet. Niillä oli samanlaisia ongelmia ennen ojitustoimia ja samanlaisia seurauksia ojituksen jälkeen. Lisäksi kaikki tiet sijaitsevat Meri-Lapissa, joten niiden tuloksia on avattu samassa luvussa.

Tieosilla on tehty ojanperkausta sekä osittaista syvennystä vuosina 2019–2020. Visuaalisesti tarkasteltuna ojitus ei ole kaikilta osin aivan onnistunut (Kuvio 49). Laserkeilainaineistoa sekä jälkivuosisien tievideoita tarkasteltaessa selvisi tämänkaltaisen ojitustavan ongelmat. Tällöin liittymät/tierummut toimivat pakkopisteinä ojitukselle, joten vedet on johdettava sinne. Tästä johtuen oja ei voi rajattomasti syventää. Ojaan on kuitenkin vaikea saada uutta muotoa syventämättä sitä. Muodoton, matala sekä jyrkkäluiskainen oja aiheuttaa luiskien valumista ojaan täytäten tai patouttaen sen. Tämä taas estää veden virtausta, sekä nostaa ojanpohjan syvyyden takaisin tilaan, jossa se oli ennen ojitusta.



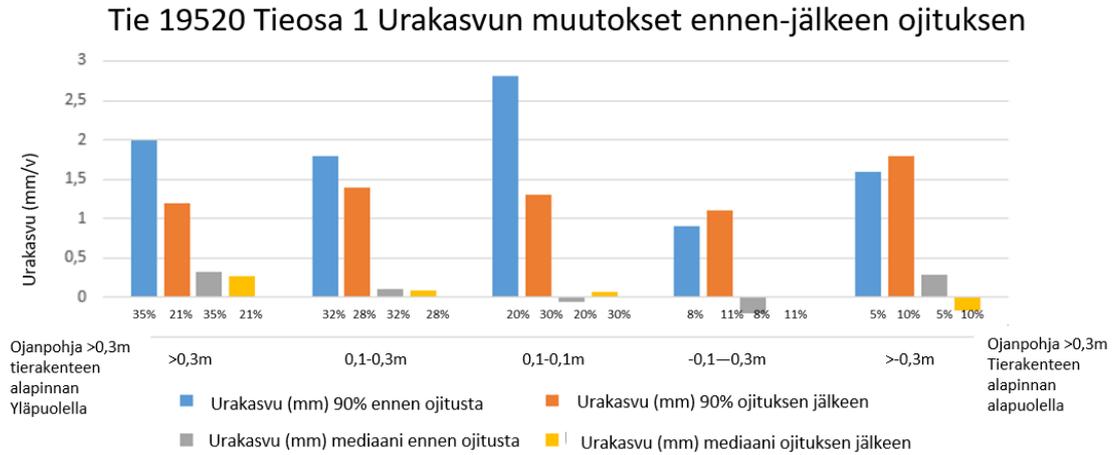
Kuvio 49. Kuvakaappaus tievideoista tieltä 19559 tieosalta 1 paalulukemalta 470. Vasemmalla olevassa kuvassa ojitusvuoden kuva ja oikealla puolella kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Samanlainen ilmiö nähtävissä tien 19520 tievideoista.

Ojanpohjan syvyyden seurannasta ilmenee, että kyseisestä tavasta ojittaa tai perata ojia voi seurata ojanpohjan tukkeutuminen ojituksen jälkeen n. 0,2 m jo yhden vuoden aikana (Kuvio 50).



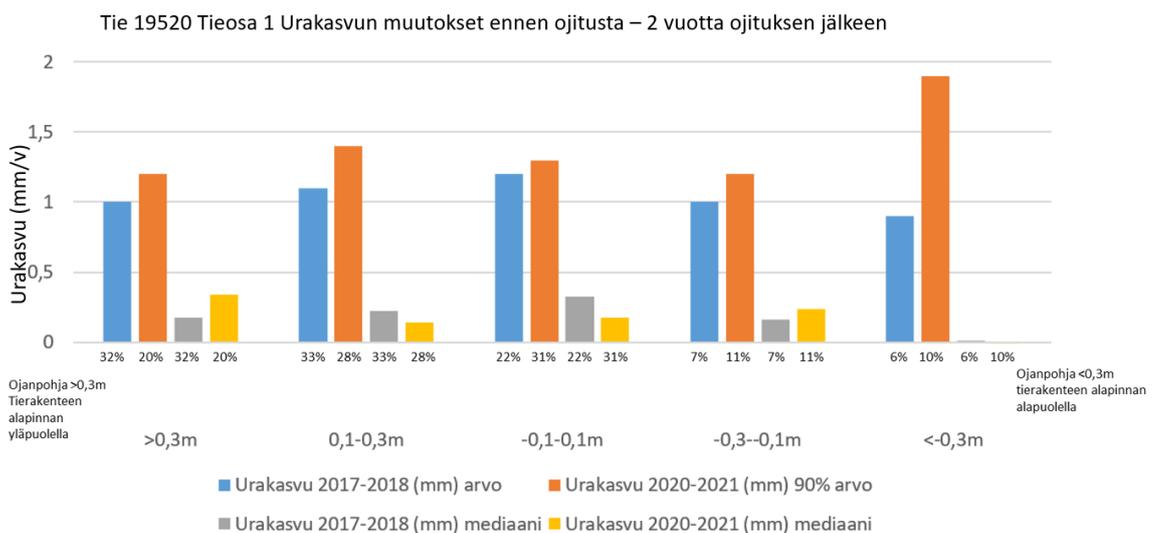
Kuvio 50. Tie 19520 tieosa 1 Ojanpohjan syvyyden muutos vuosi ojituksen jälkeen. Pystyakselilla ojanpohjan nousu metreinä, vaaka-akselilla paalulukema.

Tieosien ojitustoimenpiteiden jälkeen urakasvu on lähtenyt osittain taittumaan (Kuvio 51). Odotettavissa kuitenkin on, että ojan tukkeutumisen edetessä n.0,2 m vuodessa, ojituksen hyödyt tieosan urautumisen- sekä routimisen ehkäisemiseksi jäävät vähäisiksi ja kohta on todennäköisesti tarvetta uudelle ojitukselle. Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa $>0,3$ m 90 %:n jakauman arvo on pudonnut 2 mm/ v:ssa 1,2 mm/ v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 35 %:sta 21 %:iin, tulosta voidaan pitää verrattain hyvänä Ojanpohjaindeksin luokassa -0,1– -0,3 m, jossa urakasvu on tällä tiejaksolla pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on noussut 0,8 mm/v -> 1,2 mm/ v joka on huono suunta ojituksen jälkeen. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 8 %:sta 11 %:iin, ojitus ei siis tilastollisesti tarkasteltuna ollut aivan onnistunut.



Kuvio 51. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) tierakenteen alapintaan tutkimuskohteella 19520. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

Urakasvulaskentojen vertailussa vuosi ennen ojitustoimenpiteitä sekä 2 vuotta ojitustoimenpiteiden jälkeen on nähtävissä, että urakasvun trendi on yhä ojien perkauksen jälkeenkin noususuhdanteessa (Kuvio 52). Vaikka urakasvu olikin osittain taittunut laskuun ennen ja jälkeen ojituksen vertailussa. Tämän ojituksen hyödyt eivät ole olleet pitkäikäisiä.



Kuvio 52. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) ojanpohjaindeksiin tiellä 19520 tieosalla 1. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin

tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

6.1.9 Tie 19583 Tieosa 1

Tieosalla ei ole tehty ojitustoimenpiteitä vuosien 2016–2021 aikana, otin tiejakson mukaan tutkimukseen vertailukohteeksi, jotta nähdään seurauksia minkälaisia muutoksia tienpinnassa tapahtuu kun tien kuivatusjärjestelmän kuntoon ei tehdä muutoksia. Tien sivuojan pitkäaikaisseurannasta ilmenee, että ojan tukkeutuessa tiettyyn pisteeseen, sen tukkeutuminen lakkaa. Kasvillisuus jatkaa kasvuaan, joka huonontaa tien kuivatusjärjestelmän kuntoa vuosi vuodelta, vaikka ojanpohjan korossa ei enää tapahtuisikaan muutoksia. Ojanpohjan korko on noussut kuuden vuoden aikana keskimäärin 0,25 m koko tieosalla (Kuvio 53).

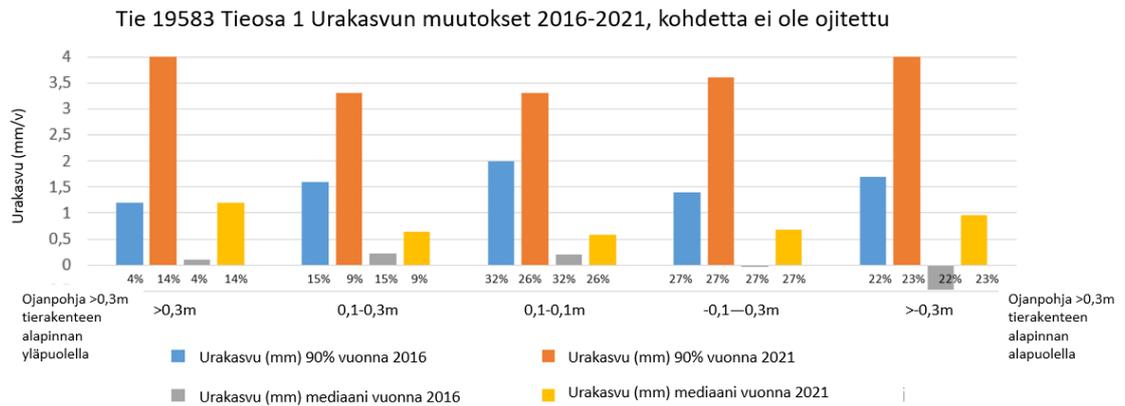


Kuvio 53. Tie 19583 tieosa 1 Ojanpohjan syvyyden muutos vuosi ojituksen jälkeen. Pystyakselilla ojanpohjan nousu metreinä. Vaaka-akselilla paalulukema.

Urakasvu on ollut tasaisen kiihtyvää koko seurannan ajalta. Mediaaniltaan n. 0,3–1 mm/v sekä 90 % arvot ojanpohjaindeksin huonoimmissa kohdissa 1–4 mm/v. Oja on todennäköisesti jo ennen seurannan aloittamista saavuttanut sellaisen olomuodon, joka ei enää vaikuta urakasvuun tavalla, että se muodostaisi jollekin vuodelle varsinaisen urakasvuhipun tai poikkeaman tasaiseen urakasvunopeuteen. (Kuvio 54). Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa >0,3 m 90 %:n jakauman arvo on noussut viidessä vuodessa 1 mm/ v:ssa >4 mm/ v:ssa. Samalla

tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on noussut 4 %:sta 14 %:iin, tulokset ovat huonoja, mutta kuvastavat hyvin seurauksia mitä tapahtuu, kun tien kuivatusjärjestelmä pääsee huonolle tasolle.

Ojanpohjaindeksin luokassa 0,1– -0,1 m, jossa urakasvu on tällä tiejaksolla pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on noussut 2 mm/v -> 3,3 mm/ v.



Kuvio 54. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) ojanpohjaindeksiin tiellä 19583 tieosalla 1. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

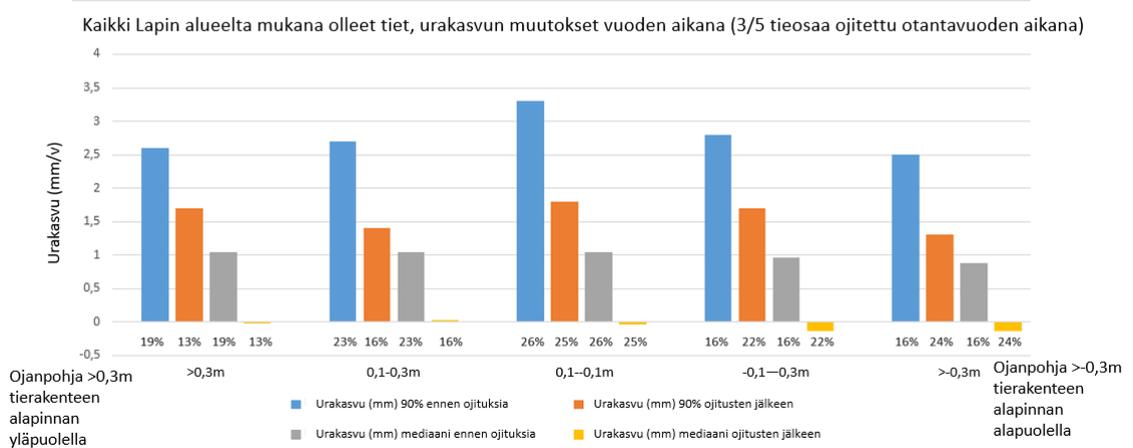
6.2 Aluekohtainen analysointi

6.2.1 Lappi

Lapin alueella tutkimuksessa mukana olleilla tieosilla urakasvu on ollut hyvin tasaista. Mediaaniltaan se on n. 0,3 mm/v ja 90 % arvoltaan n. 2 mm/v. Lapin alueella urakasvun huippu ajoittuu laskentoihin vuodelta 2019–2020.

Tämän aikavälin ojanpohjaindeksin ollessa maksimissaan 0,1 m alapuolella, urakasvuvarvon mediaani oli yli 1 mm/v ja 90 % arvoltaan 3 mm/v.

Seuraavissa laskennoissa vuosina 2020–2021, ojanpohjaindeksin ollessa maksimissaan 0,1 m alapuolella, urakasvuarvon mediaani oli laskenut ollen 0 mm/v ja 90 % arvoltaan 1,5 mm/v (Kuvio 55).



Kuvio 55. Pystyakselilla kuvattu urakasvu 10 m mm/v. Taulukossa kuvattu urakasvua ojanpohjaindeksiin Lapissa. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta.

Vuosina 2019–2020 Lapissa sijaitsevista, tutkimuksessa mukana olleista viidestä tieosasta kolmessa ojia on perattu tai tehty uudelleenojituksia. Ojitustoimenpiteiden myötä ojanpohjaindeksin parantuminen on todennäköisesti ollut merkittävin tekijä siihen, että urakasvu on taittunut huomattavasti.

Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa >0,3 m 90 %:n jakauman arvo on pudonnut 2,5 mm/v:ssa 1,5 mm/v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 19 %:sta 13 %:iin, tulosta voidaan pitää verrattain hyvänä. Ojanpohjaindeksin luokassa >-0,3 m, jossa urakasvu on tällä tiejaksolla pienintä, urakasvun 90 % jakauman arvo on pudonnut 2,5 mm/v -> 1,3 mm/v. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 16 %:sta 24 %:iin, Tulosta voidaan pitää todella hyvänä. Urakasvu on pienentynyt, sekä sen ojanpohjaindeksin luokka jossa urakasvua on vähiten, on kasvanut kattaen nyt aiemman 16 %:in sijaan jo neljänneksen kaikista Lapin alueelta mukana olleilta tieosilta.

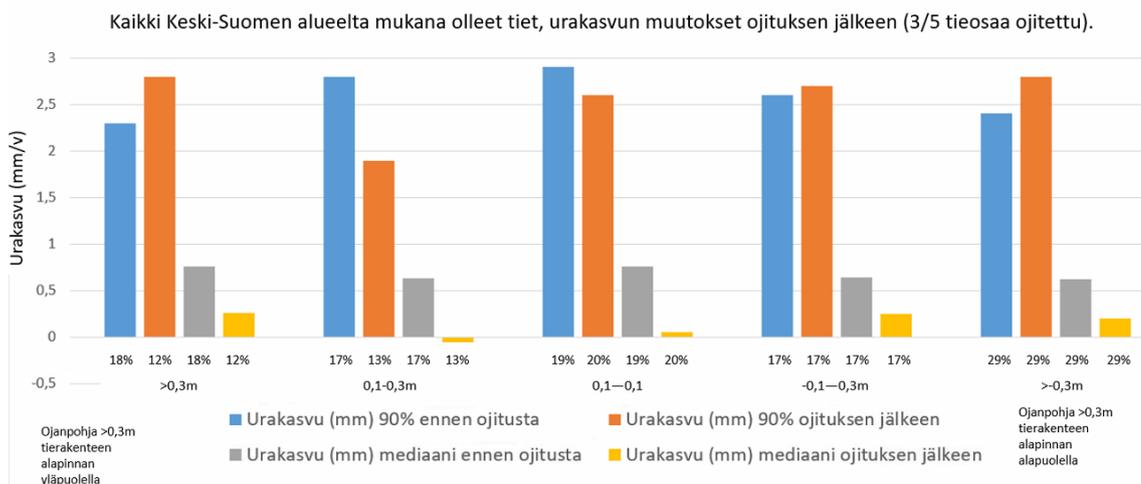
Lapin alueella urakasvun vertaaminen ojan syvyyteen päällysteen reunasta mitattuna osoittaa vuosittain toistaen, että ojan syvyyden ollessa yli 1 m, ojan toimimattomuudesta johtuvaa urautumista ei enää tapahdu. Tällöin urautumisongelmat johtuvat muista tekijöistä, kuten tukkeutuneista liittymärummuista, penkereelle rakennetun tien ongelmista tai liian ohuista päällyste-, sekä rakennekerroksista.

6.2.2 Keski-Suomi

Keski-Suomen alueella sijaitsevien tieosuuksien urakasvunopeus on ollut vaihtelevaa, johtuen todennäköisimmin tieosilla tehdyistä rakenteenparannustoimenpiteistä sekä erityisesti talven 2018–2019 haastavista talvikunnossapito-olosuhteista. Urakasvuhiippu on vuosien 2019–2020 uralaskennoissa, joissa edellisen vuoden jäljiltä tapahtunut päällysten palautuminen aiheuttaa 2 vuoden urakasvun ilmenemisen tuloksissa. Koska tutkin pitkän aikavälin seurantaan vuosittaiseen urakasvuun perustuen, en ottanut vuosien 2019–2020 urakasvu-arvoja mukaan tutkimusaineistooni.

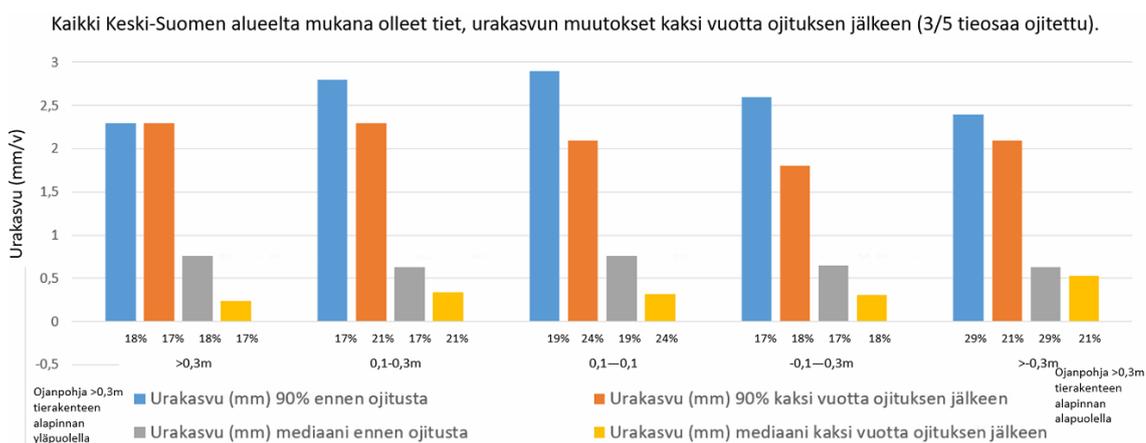
Alueella oli tehty vuonna 2017 ojitustoimenpiteitä kolmelle viidestä, tutkimuksessa mukana olleelle tieosalle. Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa $>0,3$ m 90 %:n jakauman arvo on noussut 2,3 mm/ v:ssa 2,8 mm/ v:ssa. Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 18 %:sta 12 %:iin, tulosta voidaan pitää verrattain hyvänä siinä mielessä, että missä urautuminen on jatkunut kovimpana, on sen ojanpohjaindeksin luokan osuus koko tiejaksolta pienentynyt.

Ojanpohjaindeksin luokassa $>0,3$ m, urakasvu on tällä tarkastelujaksolla jatkunut kasvua, urakasvun 90 % jakauman arvo on noussut 2,4 mm/v \rightarrow 2,8 mm/ v. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on pysynyt samana (Kuvio 56).



Kuvio 56. vuotuinen urakasvu ojitusten jälkeen 10 m mediaani sekä 90 % arvo mm/v. Keski-Suomessa kunkin ojanpohjaindeksin alalla. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

Seuraavissa laskennoissa kolmen tieosan ojituksen jälkeen 2017–2018, ojanpohjaindeksi ollessa 0,1 m tierakenteen alapuolella, urakasvun mediaani oli lasketun ollen 0,1 mm/v ja 90 % arvoisen urakasvun arvot keskimäärin enää n. 2,2 mm/v (Kuvio 57). Tuloksista voitiin päätellä, että ojituksen hyödyt ovat alkaneet vaikuttaa vasta toisena vuotena ojitusten jälkeen, olosuhteilla voi myös olla vaikutusta urakasvun taittumiseen.



Kuvio 57. 2016–2017 vuotuisen urakasvun 10 m mediaani sekä 90 % arvo mm/v. Keski-Suomessa kunkin ojanpohjaindeksin alalla. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella kolmen tieosan ojituksen jälkeen.

Keski-Suomen alueella urakasvun vertaaminen ojan syvyyteen päällysteen reunasta mitattuna osoittaa, vuosittain toistaen, että ojan ollessa yli 0,9 m syvä, ojan toimimattomuudesta johtuvaa urautumista ei enää tapahdu. Tätä teoriaa tukee myös Roadscanners Oy:llä aiemmin tehdyt tutkimukset. Tällöin urautumisongelmat johtuvat muista tekijöistä, kuten tukkeutuneista liittymärummuista, penkereelle rakennetun tien ongelmista tai liian ohuista päällyste-, sekä rakennekerrokista.

6.2.3 Uusimaa

Uudenmaan alueella tutkimuksessa mukana olevilla tieosilla urakasvunopeus on ollut kovaa. Urakasvu oli mediaaniltaan ennen ojituksia keskimäärin n. 1 mm/v ja 90 % arvoltaan n. 2,5 mm/v. Urakasvun huippu ajoittuu vuoden 2019–2020 laskentoihin. Seuraavissa, vuoden 2020–2021 laskennoissa, ojanpohjaindeksin ollessa maksimissaan 0,1 m tiepinnan alapuolella, urakasvun mediaani laski jonkin verran ollen 0,5 mm/v ja 90 % arvoisen urakasvun arvot olivat enää n. 1,5 mm/v.

Vuonna 2019 molempien tieosien ojia on perattu ja tehty uudelleenojituksia. Ojitoimenpiteiden myötä ojanpohjaindeksin sekä ojien veden virtauksen parantuminen on todennäköisesti ollut merkittävin tekijä urakasvun merkittäväille taittuksille. Ojituksen hyödyt ovat kuitenkin jääneet lyhytkestoisiksi, joka ilmenee luvuista 5.3.4 & 5.3.5.

6.3 Tieluokan mukainen tarkastelu

Tutkimuksessa mukana olleet tieosat on jaettu vielä tieluokan mukaisesti kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa ovat valta- sekä kantatiet. Toisessa osassa ovat seutu- ja yhdystiet. Näiden teiden urakasvua tarkastellaan ojanpohjaindeksillä, sillä pelkällä ojanpohjansyvyydellä analysointi ei olisi vertailukelpoista. Valta- sekä kantateilla on huomattavasti paksummat rakennekerrokset kuin seutu- ja yhdysteillä. Seutu- ja yhdysteillä taas on huomattavasti matalammat ojat, kuin

suuremmilla teillä. Tämän vuoksi ojanpohjaindeksi sopii parhaiten tieluokankin mukaiseen vertailuun.

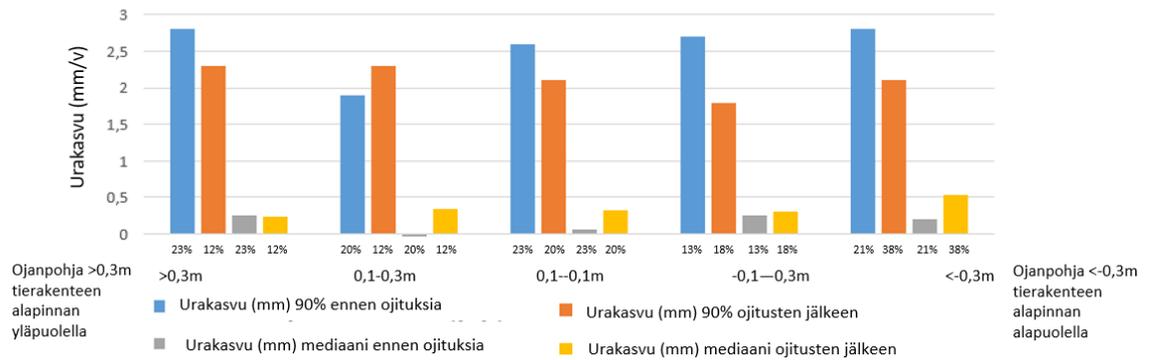
6.3.1 Valta- sekä kantatiet

Tutkimuksen kohteena olevien valta- sekä kantateiden yhteispituus on 21,5 km. Neljästä tieosasta kolmeen on tehty ojitustoimenpiteitä vuosina 2016–2017. Tarkastelun otanta tehtiin näiden vuosien urakasvulaskennoista, sekä kaksi vuotta myöhemmin, jotta ojitustoimenpiteistä syntyvien hyötyjen kestoikä selviää.

Tarkastelussa selvisi, että jopa 22 % ojanpohjaindeksin alapuolella olevista ojista, oli ojituksien jälkeen ojanpohjaindeksin yläpuolella.

Urakasvu ojanpohjaindeksin luokassa $>0,3$ m 90 %:n jakauman arvo on laskenut 2,8 mm/ v:ssa 2,3 mm/ v:ssa, urakasvun hidastuminen ei ole ollut suurta, mutta Samalla tämän luokan ojanpohjaindeksi luokan osuus on pudonnut 23 %:sta 12 %:iin, tulosta voidaan pitää verrattain hyvänä siinä mielessä, että missä urautuminen on jatkunut suurimpana, on sen ojanpohjaindeksin luokan osuus koko tiejaksolta pienentynyt merkittävästi, sama tapahtunut ojanpohjaindeksin luokassa 0,1-0,3 m jossa myös suurehkoa urautumista, on sen luokan osuus saatu lasketua 20 %:ista 12 %:iin. Ojanpohjaindeksin luokassa $>0,3$ m, urakasvu on tällä tarkastelujaksolla myös laskenut, urakasvun 90 % jakauman arvo on laskenut 2,7 mm/v -> 2,1 mm/ v. Tämän ojanpohjaindeksi arvon luokan osuus tiejaksolla on noussut 21 %:ista 38 %:iin (Kuvio 58).

Kaikki Valta,- sekä kantatiet tutkimuksessa mukana olleista teistä, Urakasvun muutokset



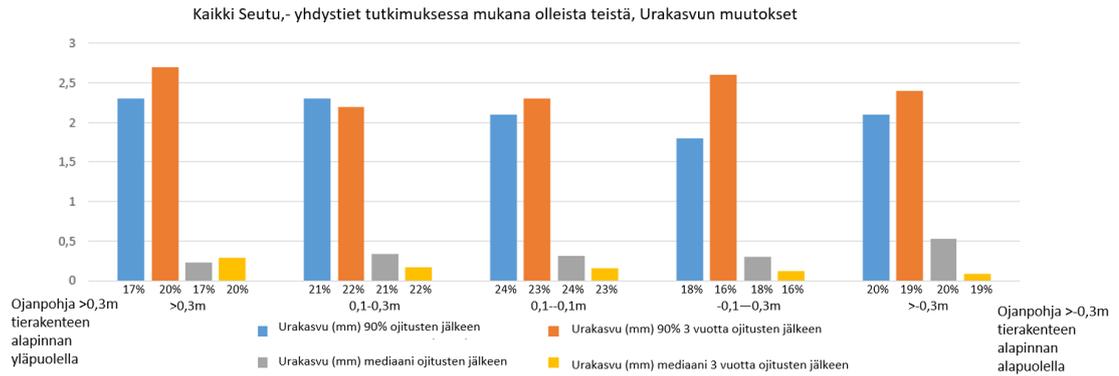
Kuvio 58. Vuotuisen urakasvun 10 m mediaani sekä 90 % arvo mm/v. Vasemmassa laidassa ojanpohja 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjan syvyyttä on otannan alueella.

Vuosien 2018–2019 urakasvulaskennoista selviää, että ojituksien jälkeen tapahtunut urakasvun taittuma ei ole lähtenyt kasvuun ojitusta seuraavien kahden vuoden aikana. Ojitus-toimenpiteiden voidaan näin todeta luokkakohtaisessa tarkastelussa onnistuneen. Olennaista on myös huomioida, että useimmiten valta- ja kantateillä on paremmat mahdollisuudet tehdä ojitusta leveämpien luiskien sekä leveämmän tiealueen johdosta.

6.3.2 Seutu- sekä yhdystiet

Tutkimuksessa mukana olleiden seutu- sekä yhdysteiden yhteispituus on 39 km. Kahdeksasta tieosasta neljälle on tehty ojitus-toimenpiteitä vuosina 2018–2019. Tarkastelun otanta tehtiin kuitenkin vuosilta 2017–2018 ja 2020–2021, jotta voidaan tarkastella ojituksien hyötyä urakasvun taittumiseen ja onko hyödyt olleet pitkäkestoisia vai eivät.

Syy vuosien 2018–2020 urakasvulaskentojen poisjättämiseen otannasta on esitetty luvussa 5.1.2. Ojituksen jälkeisessä tarkastelussa ojanpohjaindeksi ei ole merkittävästi parantunut ja urakasvu on hieman noussut. (Kuvio 59)



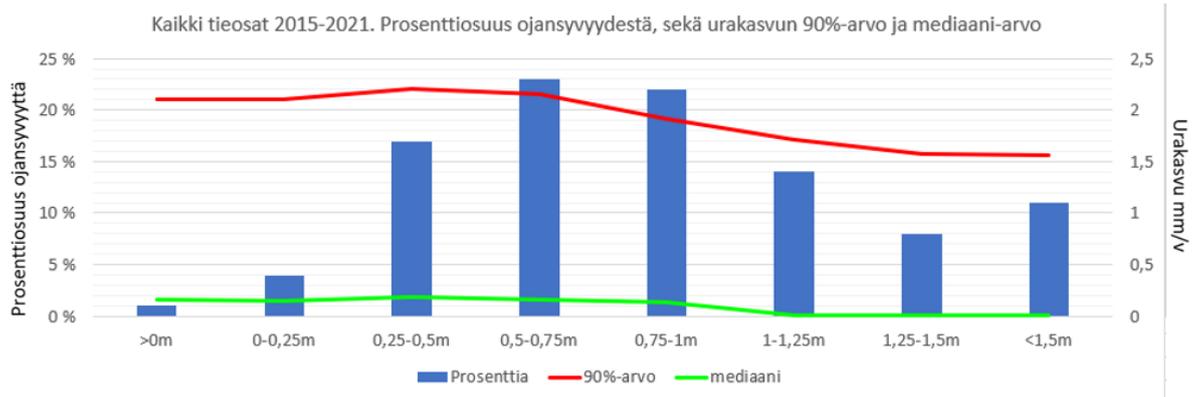
Kuvio 59. Pystyakselilla kuvattu urakasvu (mm/v) verrattuna ojanpohjaindeksiin seutu- ja yhdysteillä. Vasemmassa laidassa ojanpohja on 0,3 m ylempänä kuin tierakenteen alapinta. Oikeaan laitaan päästessä ojanpohja on 0,3 m alempana kuin tierakenteen alapinta. Prosentteina ilmaistu kuinka paljon kutakin ojanpohjaindeksiä on otannan alueella.

Seutu- ja yhdystiet ovat pieniä teitä, joissa ojitusta rajoittaa jo ennestään matalat ojat sekä jyrkät luiskat. Tässä luvussa aiemmin ilmoitettujen syiden vuoksi ainut vertailukelpoinen otanta voidaan tehdä vasta 3 vuoden kuluttua siitä, kun puolet kohteista oli ojitettu. Ojan perkauksen hyödyt, edellä mainittujen syiden vuoksi, ovat tutkimuksessa osoittaneet kestävän vain muutaman vuoden, ennen kuin oja taas tukkeutuu. Todennäköisesti tämän vuoksi ojien perkauksella ei ollut nähtävillä hyötyjä pitkäaikaisseurannassa seutu- ja yhdysteillä.

6.4 Tilastollinen tarkastelu kaikista tutkimuskohteista

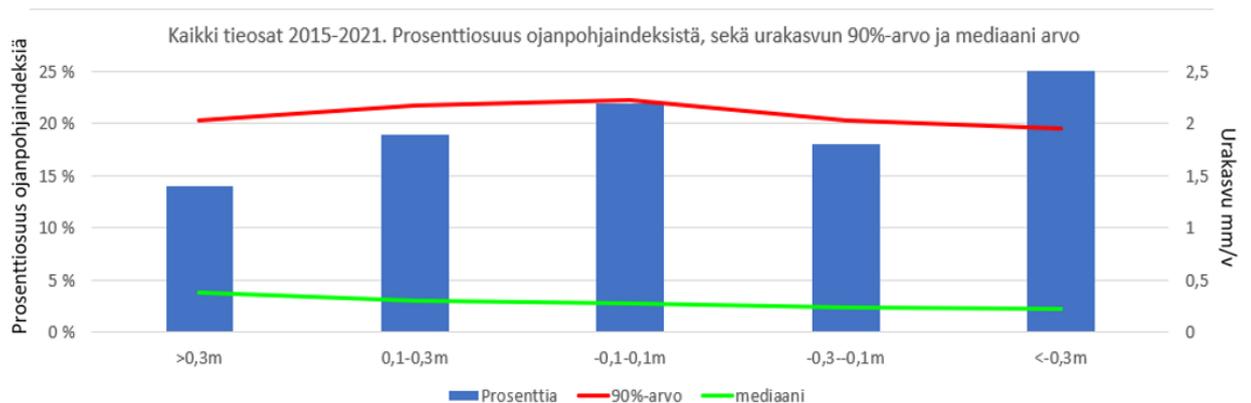
Tilastollista tarkastelua tein sekä ojanpohjan syvyydellä että ojanpohjaindeksillä. Ojanpohjalla vertailua tein sen vuoksi, että se on paremmin vertailukelpoinen kaikille erikokoisille teille, joita tutkimuksessa oli mukana.

Tilastollinen tarkastelu ojanpohjansyvyydellä osoittaa, että ojanpohjan ollessa yli metrin syvyydessä mitattuna päällysteen reunasta tai tien reunajatkkeesta se alkaa vaikuttamaan myönteisesti urakasvun taittumiseen (Kuvio 60).



Kuvio 60. Palkeilla prosenttiosuus kyseistä ojanpohjaa otannan alueelta, sekä viivoilla urakasvun 90 %-arvo ja mediaani.

Tilastojen tarkastelu ojanpohjaindeksillä osoittaa, että ojanpohjan ollessa $\pm 0,1$ m tierakenteen alapinnasta, urautuminen on suurinta (kuvio 61). Olennaista on myös huomioida, että ojien ollessa matalat tierakenteen alapintaan verrattuna, ojien pohjamaa on usein sellainen, johon vesi suotautuu tierakenteen sijaan.



Kuvio 61. Palkeilla prosenttiosuus kyseistä ojanpohjaindeksiä otannan alueelta, sekä viivoilla urakasvun 90 %-arvo ja mediaani.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työtä aloittaessa oli selvillä kuivatuksen puutteellisen toimivuuden suora vaikutus tien kuntoon. Jos kuivatus ei toimi, on ongelmia myös tierakenteessa. Tutkimuksessa selvisi, että ojituksen olosuhteista tai tavasta riippumatta tien päällysteen urakasvu on ojituksen jälkeisenä mittausvuonna lähtenyt taittumaan. Kahden kolmen vuoden kuluttua suoritetuista uralaskennoista on nähtävillä ojituksen hyödyn kestoikä tai onko hyödyillä ylipäättään ollut pitempiaikaista kestoä. Ojan on tärkeää säilyttää muotonsa sekä toimiva kunto osana tien kuivatusjärjestelmää. Tutkimuksessa selvisi, että jos urakasvu lähti kasvuun, oli ojanpohjalaskennoista nähtävillä ojan tukkeutuminen. Jos ensiksi huomattiin ojan tukkeutuneen, oli niin ikään todettavissa myös urakasvun nousu. Urakasvun pysyessä samassa tasossa tai taittuessa laskuun, ojanpohjalaskennat näyttivät ojanpohjan syvyyden pysyneen lähes samassa tasossa kuin ojituksen jälkeen.

Tien kuivatuksen ja erityisesti ojituksen parantamisen vaikutukset päällysteen urautumisen taittumiseen ovat merkittävät. Erityisesti pienillä seutu- sekä yhdysteillä on ongelmana, että teiden olemassa olevan kuivatusjärjestelmän korkoon on sidottu kaikki liittymä- ja päätierummut sekä laskuojat, jotka toimivat pakkopisteinä ojan kunnostustoimenpiteille. Ojia ei tästä syystä voi rajattomasti leventää tai syventää.

Tuloksista on urakasvun taittumisen lisäksi nähtävissä se, että siellä missä urakasvu on ojituksen jälkeenkin vielä verrattain suurta, on sen osuus tiejaksoilla pienentynyt merkittävän osuuden koko tiejakson pituudesta.

Tilastollisessa tieosien tarkastelussa ojanpohjansyvyys osoittautui aiheuttavan urakasvua sen ollessa alle metrin. Eniten urakasvua on ojanpohjansyvyyden ollessa 0,5–0,75 m, joka on tyypillinen ojansyvyys pienemmillä teillä.

Ojanpohjaindeksiä vertailtaessa ilmeni, että urakasvu on verrattain suurta ojanpohjan ollessa tierakenteen alapinnasta $+0,1$ m. Tierakenteen alapinnan ollessa tiedossa, kuivatussuunnitelmaa laatiessa tulisi varmistaa, että ojanpohja kulkee $+0,2$ m tierakenteen alapinnan alapuolella. Tämä pienentää mahdollisuutta veden imeytymiselle tukkeutuneesta ojasta tierakenteeseen. Tutkimuksessa

selvisi, että ojanpohjaindeksin ollessa +0,2 m alapuolella, urakasvun mediaani on n. 0 mm/v.

Ojanpohjan syvyyden pitkäaikaisseurannassa ilmeni, että eniten ojanpohjan korko muuttuu sellaisilla teillä, joissa ojien luiskat ovat liian jyrkät ja tie on ojitettu kuten kuviossa 39 on esitetty. Tällaisen ojan korko voi vuoden aikana nousta jopa 0,15 m, palautuen muutaman vuoden aikana samaan tasoon, jossa se oli jo ennen ojitusta.

Yhtä toimivaa, toimenpiteitä ja raja-arvoja sisältävää toimintamallia, jonka ansiosta tienpito parantuu merkittävästi, on opinnäytetyön laajuudessa työssä tai muutenkaan mahdotonta selvittää. Tienpidossa on paljon muuttujia, jotka vaikuttavat suoritettaviin kunnostustoimenpiteisiin tai siihen, miksi jotain toimenpidettä ei voida suorittaa. Kaikkien teiden kuivatusjärjestelmät vaativat kohteeseen perehtymistä, jonka mukaan tien kuivatus tulee suunnitella.

Tutkimusta voidaan pitää luotettavana urakasvulaskentojen sekä ojanpohjalaskentojen osalta, tavoitteena oli millimetrien erojen vertailu tienpinnalta. Laskennoissa ei ilmennyt sellaisia arvoja, joille ei olisi löytynyt syytä. Esimerkiksi urakasvun lähtiessä laskuun joitain millimetrejä, tievideoista sekä ojanpohjalaskennoista oli nähtävissä ojanpohjan syventyneen ja siellä suoritettaneen kuivatustoimenpiteitä. Kun taas urakasvun lähtiessä nousuun joitain millimetrejä oli ojanpohjalaskennoista nähtävillä ojan tukkeutuneen tai patoutuneen.

Ojanpohjalaskentojen tuloksia ei voida pitää yhtä luotettavina kuin urakasvulaskentojen, koska mittaukset on tehty keskikesän aikana, jolloin luiskissa ja ojissa on kasvillisuutta. Ojien tarkastelu olikin tästä syystä senttimetrien vertailua, näin voidaan todeta, että virhemarginaali on niin pieni, että se ei vaikuta kyseenalaistaen tutkimuksen luotettavuutta.

Jatkotutkimuksena voisi tehdä otantaa tieosilta, joissa tien ojat on kaivettu yli metrin syvyyteen, sekä ojanpohja on +0,25 m tierakenteen alapinnan alapuolella ja ojien luiskiin on tehty tarvittavat levennykset ja muotilut, jotta oja ei pääse täyttymään valuvista luiskamassoista. Tällöin olisi mahdollista tutkia, saadaanko tien päällysteen urautuminen näillä tavoin taittumaan pysyvästi laskuun.

LÄHTEET

Eskola, K., Lappalainen H., Nuuja, K., Knuutila, J., Larsén, F., Hämäläinen, M., Pöyhönen, A., Ruuskanen, J., Tiikkanen, K., Pirinen, J. & Arola, A. 2019. Maantien kuivatuksen kunnossapidon hallinta. Väyläviraston ohjeita 6/2019.

Geologian tutkimuskeskus 2022. Karttapalvelut. Viitattu 17.1.2022
<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>.

Herronen, T. 2021 Roadscanners Oy. Yksikönpäällikön haastattelu 25.11.2021 & 13.12.2021.

Herronen, T. 2022. Roadscanners Oy. Yksikönpäällikön haastattelu 11.1.2022.

Roadscanners Oy 2015. PEHKO-projekti 2015–2025. Toimintasuunnitelma. Ei julkinen.

Roadscanners Oy 2022a. PEHKO-projekti. Viitattu 30.12.2021.
<https://www.roadscanners.com/fi/reference/pehko-pehko-2015-2025-2028/>.

– 2022b. Tieklinikka RDSV. Viitattu 30.12.2021.
<https://www.roadscanners.com/fi/tuotteet/tieklinikka-rdsv/rdsv-kokonaisuus/>

Saarenketo, T. 2021. Roadscanners Oy. Toimitusjohtajan haastattelu. 25.11.2021 & 13.12.2021

Saarenketo, T. 2022. Roadscanners Oy. Toimitusjohtajan haastattelu. 11.1.2022

Saarenketo, T., Matintupa, A. & Pyhähuhta M. 2001–2014a. Tien kuivatusjärjestelmän osat. ROADDEX. Viitattu 28.12.2021 <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/4-tien-kuivatusjarjestelman-osat/>.

– 2001–2014b. Kuivatusongelmat ja kuinka niitä voidaan välttää. ROADDEX. Viitattu 29.12.2021 <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/5-kuivatus-ongelmatat-ja-kuinka-niita-voidaan-valttaa/>.

– 2001–2014c. Kuivatus Analyysi ja luokittelut. ROADDEX. Viitattu 22.12.2021 <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/6-kuivatusanalyysi-ja-luokittelut/>.

Saarenketo, T. Pyhähuhta, M. & Munro, R. 2001–2014. Pysyvät muodonmuutokset, urautumisen luokittelu. ROADDEX. Viitattu 3.1.2022 <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/pysyvat-muodonmuutokset/3-pysyvat-muodonmuutokset-urautumisen-luokittelu/>.

Saarenpää T. 2017. Tiealueen monitorointi. Viitattu 11.1.2022

<https://vayla.fi/documents/25230764/0/Tiealueen+monitorointi+-kokeilun+raportti.pdf/97bfdca5-d9e9-4cf1-a994-0b5e87d6d94e>.

Saarenpää, T. 2021. Roadscanners Oy. Ohjelmisto- ja laitteistopuolen päällikön haastattelu. 17.12.2021.

Saarenpää, T. 2022. Roadscanners Oy. Ohjelmisto- ja laitteistopuolen päällikön haastattelu. 11.1.2022.

Väylävirasto 2020. Avoindata. Viitattu 5.2.2022 <https://julkinen.vayla.fi/oskari/>

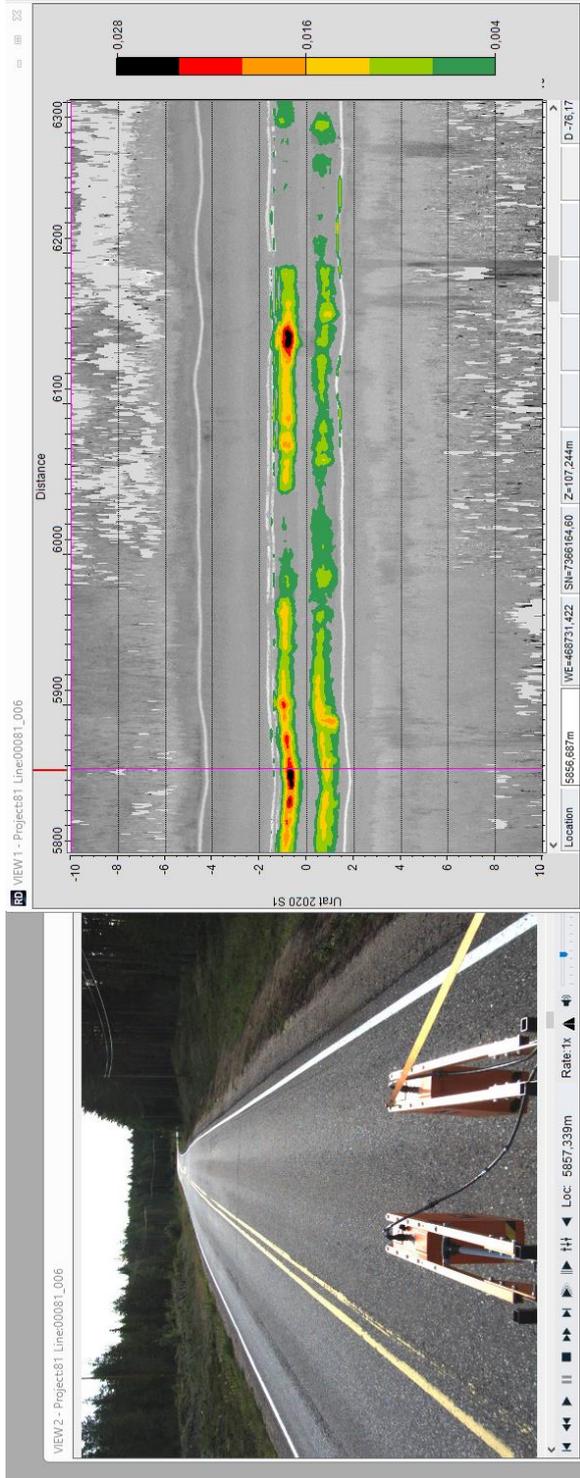
LIITTEET

Liite 1. Urakasvulaskenta esimerkinäkymä

Liite 2. Urakasvun ja ojanpohjan syvyyden vertailu ennen-jälkeen ojituksen

Urakasvulaskenta esimerkinäkymä

LIITE 1



Urakasvun ja ojanpohjan syvyyden vertailu ennen-jälkeen ojituksen

LIITE 2

