

Työmaan aikaisesta liikenteestä aiheutuvat tierakenteen painumat

Juha Typpö

2010

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Työmaan aikaisesta liikenteestä aiheutuvat tierakenteen painumat

Juha Typpö

Insinöörityö

2.2.2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

| | | |
|---|--------------------|--------------------|
| Koulutusohjelma | Opinnäytetyö | Sivuja + Liitteitä |
| <u>Rakennustekniikka</u> | <u>Insinööriyö</u> | <u>45 + 12</u> |
| Suuntautumisvaihtoehto | Aika | |
| <u>Ympäristö- ja yhdyskuntatekniikka</u> | <u>2.2.2011</u> | |
| Työn tilaaja | Työn tekijä | |
| <u>Destia Oy</u> | <u>Juha Typpö</u> | |
| Työn nimi | | |
| <u>Työmaan aikaisesta liikenteestä aiheutuvat tierakenteen painumat</u> | | |
| Asiasanat | | |
| <u>Tienrakennus, painuma, tietyö</u> | | |

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mahdolliset liikenteen aiheuttamat tien painumat tietyön aikana. Samalla pyrittiin selvittämään, vaikuttavatko liikenteen määrä ja vanhan tien rakennetyyppi tien painumiseen. Lisäksi tutkittiin, millä keinoilla painumista voidaan ehkäistä. Tutkimuskohteena oli kolme Destia Oy:n rakennustyömaata; Valtatie 8 ja Kurkitie Limingassa sekä Aleksanterinkatu Oulun keskustassa.

Opinnäytetyöhön valittujen tiejaksojen painumat tutkittiin maastomittauksilla, jotka tehtiin ennen työmaan aloittamista ja rakennustyön valmistuttua. Mittaustuloksia verrattiin kohteiden liikennemääriin, tien rakenteeseen ja työmaan aikaisiin liikennejärjestelyihin. Mittaustuloksilla pyrittiin selvittämään edellä mainittujen asioiden vaikutus tierakenteen painumiseen.

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että tien rakennetyyppi ja pohjaolosuhteet vaikuttavat liikennemääriä enemmän tien painumiseen. Työmaan aikaisilla liikennejärjestelyillä ja työn suunnittelulla voidaan myös vaikuttaa tierakenteen painumaan.

| | | |
|---|-------------------|-------------------|
| Degree Programme | Thesis | Pages+ Appendices |
| <u>Civil Engineering</u> | | <u>45 + 12</u> |
| Line | Time | |
| <u>Municipal Engineering</u> | <u>2.2.2011</u> | |
| Commissioned by | Author | |
| <u>Destia Ltd</u> | <u>Juha Typpö</u> | |
| Thesis title | | |
| <u>Imprints on the road caused by the traffic during the roadwork</u> | | |
| Keywords | | |
| <u>Roadbuilding, Imprint, Roadwork</u> | | |

The main target of this thesis is to find out the possible imprints on the road caused by the traffic during the roadwork. In addition we are trying to figure out whether the amount of traffic and the construction type of the old road have any effect when it comes to the origin of the imprints, and what are the ways to prevent these imprints on the road. Were three Destia corporation construction sites; Highway 8 and Kurkitie in Liminka and Aleksanterinkatu in central Oulu.

Imprints on the roads chosen for this thesis were examined with ground measurements that were made not only in the beginning, but also in the end of the roadwork. Test results were compared to the number of traffic, structure of the roads and the traffic arrangements during the roadwork on the chosen locations. Test results were used to find out the aforementioned factors' effects concerning the pressing of the structure of the road.

Based on the results we can conclude that the structure type of the road and the ground circumstances have more effect on the pressing of the road than the amount of traffic. Traffic arrangements and careful planning of the roadwork also have effect when it comes to the imprints of the road.

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ..... | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| 1 JOHDANTO..... | 6 |
| 2 TEIDEN PAINUMINEN JA KORJAAMINEN | 7 |
| 2.1 Tierakenteen painumien korjaaminen..... | 12 |
| 2.2 Korjausmenetelmiä..... | 13 |
| 3 PAINUMAMITTAUSTEN TUTKIMUSKOHTEET | 17 |
| 3.1 Valtatie 8..... | 17 |
| 3.2 Kurkitie | 21 |
| 3.3 Aleksanterinkatu | 22 |
| 4 PAINUMIEN MITTAUSTULOKSET | 25 |
| 4.1 Mittaustulosten luotettavuus..... | 25 |
| 4.2 Aleksanterinkadun painumamittaukset..... | 27 |
| 4.3 Liminka, Valtatie 8:n painumamittaukset..... | 28 |
| 4.4 Kurkitien painumamittaukset..... | 30 |
| 5 PAINUMIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ | 33 |
| 5.1 Liikennemäärien vaikutus painumiin | 33 |
| 5.2 Koneiden ja työmenetelmien vaikutus painumiin | 33 |
| 5.3 Tierakenteiden vaikutukset painumiin..... | 35 |
| 6 PAINUMIEN ENNALTA EHKÄISEMINEN | 40 |
| 7 POHDINTA..... | 42 |
| LÄHTEET | 44 |
| LIITTEET | 46 |

1 JOHDANTO

Tasainen ja painumaton tie parantaa liikenneturvallisuutta ja ajomukavuutta. Tien pinnan tasaisuudella ja painumattomuudella varmistetaan myös tien pinnan kuivatuksen toimivuus. Painumavauriot tierakenteessa lisäävät liikennöinti- ja kunnossapitokustannuksia. (Ehrola 2006, 27-28.)

Tavoitteena oli selvittää mahdolliset liikenteen aiheuttamat tien painumat työn aikana. Samalla pyrittiin selvittämään, vaikuttavatko liikenteen määrä ja vanhan tien rakennetyyppi tien painumiseen ja millä keinoilla painumista voidaan ehkäistä.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan työmaan aikaisesta liikenteestä aiheutuvia tierakenteen painumia. Painumatarkasteluun valitaan erityyppisiä tieosuuksia, joiden avulla pyritään selvittämään eri tekijöiden vaikutusta painumiseen.

Opinnäytetyöhön valittujen tiejaksojen painumat tutkitaan maastomittauksilla. Mittaustuloksia verrataan kohteiden liikennemääriin, tien rakenteeseen ja työmaan aikaisiin liikennejärjestelyihin. Mittaustuloksilla pyritään selvittämään edellä mainittujen asioiden vaikutus tierakenteen painumiseen.

Työn tilaajana on Destia Oy Infrahoito Pohjois-Suomen palveluyksikkö. Yksikkö toteuttaa hoito- ja kunnossapitourakoita kunnille ja ELY-keskukselle. (Destia Oy. 2010.)

Tutkimuskohteena on kolme Destia Oy:n rakennustyömaata; Valtatie 8 ja Kurkitie Limingassa sekä Aleksanterinkatu Oulun keskustassa. Nämä mittauskohteet valittiin tutkittavaksi kohteiden soveltuvuuden vuoksi.

2 TEIDEN PAINUMINEN JA KORJAAMINEN

Painuvalla tiellä tien käyttäjälle aiheutuvat aikakustannukset ovat suuremmat kuin painumattomalla tiellä. Ajonopeutta joudutaan rajoittamaan, jolloin syntyy aikakustannuksia. Painuvaa tietä joudutaan korjaamaan, ja siitä aiheutuu haittaa liikenteelle. Painumaton tai vähän painuva tie on yleensä rakennuskustannuksiltaan kalliimpi kuin heikosti kantava tie, mutta sen ylläpito- ja kunnossapitokustannukset ovat edullisemmat. (Ehrola 2006, 27-28.)

Tierakenteen painumaan vaikuttavia tekijöitä ovat liikenteen määrä ja sen koostumus, ajonopeus, pohjamaan laatu, rakennekerrosten paksuus, pohjavedenpinnan taso ja päällysteen tasaisuus. Näiden lisäksi tien rakennuksessa käytetyillä työmenetelmillä ja työkoneilla voidaan vaikuttaa tierakenteen kestävyYTEEN. (Kujala 2009.)

Tierakenteiden painumat lasketaan 30 vuoden ajanjaksolle. Suunnittelulla pyritään varmistamaan, että painumat eivät aiheuta sallittua suurempaa poikkisuuntaista kaltevuuden muutosta ja pituussuuntaista epätasaisuutta, eikä päällystevaurioita tai muuta tierakenteen vaurioitumista. Painumaa laskettaessa on otettava huomioon pohjavedenpinnan lasku, joka on laskennassa oletettava vähintään 0,5 m:n suuruiseksi. Todellisuudessa pohjavedenpinnan lasku voi olla paljon laskennassa käytettyä arvoa pienempi. Tiellä ei sallita sellaisia painumia tai kaltevuuden muutoksia, jotka estävät sadeveden poistumisen ajoradalta. (InfraRYL. 2006, 64.)

Tierakenteen penkereen painumisella voi olla haitallisia vaikutuksia muihin rakenteisiin. Tierakenteessa olevat putkistot tai tien päällysrakenne voivat vaurioitua. Esimerkiksi viereiseen siltaan voi kohdistua tarpeettomia kuormituksia. Tien pinnan tasaisuudella voidaan vaikuttaa myös melun ja tärinän syntyyn. Merkittäviä liikenteen aiheuttamia tärinähaittoja ei yleensä esiinny tasaisella tiellä. (RIL 165-2. 2006, 208.)

Painumisesta aiheutuu haittaa tien kuivatukselle, koska sadevesi ei pääse poistumaan tien pinnalta suunnitellulla tavalla. Vesi kertyy ajoradalle aiheuttaen

vaaraa liikenteelle ja tierakenteen toimivuudelle. Teille rakennetaan sivukaltevuutta yleensä 2–3 %, jotta vesi valuu pois ajoradalta läheiseen ojaan tai kaivoon. Pituuskaltevuuden arvo riippuu maaston muodosta. Pituuskaltevuutta pyritään tekemään aina myös tasaisille maasto-osuuksille kuivatuksen varmistamiseksi. (Sipilä 2009.)

Painunut tierakenne vaikeuttaa tien kunnossapitoa. Talvella tien pinnassa olevaan painanteeseen kertyy lunta ja jäätä, minkä poistaminen hidastaa normaalia tien kunnossapitoa. Tästä aiheutuu urakoitsijalle lisäkustannuksia. Keväällä hiekoitushiekka poistettaessa painuneeseen tien kohtaan jää roskia, jotka eivät välttämättä irtoa normaalin lakaisun yhteydessä.

Joskus voidaan hyväksyä tavallista suurempia painumia, mikäli tierakenteen painumat ovat tasaisia. Rajoittavia tekijöitä ovat kuitenkin esimerkiksi kuivatus ja liikennetekniset seikat. Painumia määräävämpi tekijä on epätasainen painuma, jonka haitallisuus riippuu siitä, miten pitkällä matkalla painumaero muodostuu. Esimerkiksi siltojen ja tierumpujen kohdalla jo muutamien senttien painuma voi olla erittäin haitallinen. (RIL 156. 1995, 223.)

Tierakenteille haitallisia ovat epätasaiset painumat, koska ne aiheuttavat rakenteisiin jännityksiä ja murtumia. Epätasaisia painumia voivat aiheuttaa esimerkiksi vaihtelevat pohjaolosuhteet ja maaperän epähomogeenisuus. Painuvien rakennekerrosten paksuudet vaihtelevat, painumaominaisuudet ovat epätasaiset tai rakennekerrosten tiiviys vaihtelee. Epätasaisista painumaa syntyy myös esimerkiksi rakennustoiminnasta aiheutuvan pohjavedenpinnan tason vaihtelun seurauksena. (Kujala 2009.)

Tierakenteen painumia synnyttäviä ja lisääviä tekijöitä ovat myös esimerkiksi tierakenteessa olevat epäjatkuvuuskohdat, kuten rummut. Tämän lisäksi painumien suuruuteen vaikuttaa päällysrakenteen laatu ja koostumus, kuten rakennepaksuuksien erot, materiaalien vaihtelut, puutteellinen ja epätasainen tiivistys. (Ehrola 2006, 317.)

Tien pinnan painumista ja vaurioitumisnopeutta voidaan pienentää esimerkiksi stabiloinnilla, sekoitusjyrsinnällä tai uudelleen päällystyksellä (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 15).

Ajoneuvojen kuormitusta tierakenteeseen kuvataan kaistakohtaisella kuormituskertaluvulla (KKL). Se tarkoittaa standardiakselin ylityskertojen lukumäärää eli sitä, kuinka useasti ajoneuvo ylittää laskentapisteen mitoitusajanjaksolla. Kaikilla akseli- ja ajoneuvotyypeillä on oma vastaavuuskerroin, jolla tämä ajoneuvotyyppi kuormittaa rakennetta suhteessa standardiakselia vastaavaan kuormitukseen. Rakenteisiin kohdistuva liikennekuormitus määritetään suunnitteluvaiheessa yleensä vastaavuuskerroinmenetelmällä (kaava 1). Kuormituskertaluku lasketaan 20 vuoden ajalta, vaikka päällyste kestää todellisuudessa lyhemmän ajan ja muu rakenne pidemmän ajan. Kuormituskertaluvun laskennassa käytetään lähtötietoja, jotka ovat voimassa 10 vuoden kuluttua tien avaamisesta. (RIL 165-2. 2006, 187, 202.)

$$KKL_{KAISTA} = L \times (2,9 \times KA_{YHD} + 0,8 \times KA_{MUU}) \times 7300 \quad \text{KAAVA 1}$$

L = tien levennyskerroin

KA_{YHD} = ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa

KA_{MUU} = muiden raskaiden ajoneuvoyhdistelmien määrä vuorokaudessa

Ajoneuvojen kuormitus tierakenteeseen jakautuu tien poikkileikkauksessa hyvin epätasaisesti. Kuormitus keskittyy ajolinjojen muodostamiin ajouriin. Ajolinjojen keskittyminen vaihtelee tien leveyden mukaan. Kapeilla teillä ajolinjat keskittyvät voimakkaasti, kun taas leveillä teillä ajolinjat vaihtelevat enemmän tien poikkileikkauksessa. (Ehrola 2006, 32.)

Tiellä liikkuvat ajoneuvot ovat yleisin kuormitus tierakenteelle. Tämän lisäksi tiehen aiheutuu rasitusta ympäristötekijöiden vaikutuksesta. Tietä kuormittavia tai rasittavia ympäristötekijöitä ovat routa, lämpötilan muutokset, sade, lumi,

lumen sulamisvedet ja auringon säteily. Tien kunnossapitotoimet, kuten suolaus ja lumenpoisto, lisäävät ympäristötekijöiden kuormituksia. (Ehrola 2006, 31.)

Ilmaston ja liikenteen aiheuttamat kuormitukset tierakenteelle poikkeavat luonteeltaan toisistaan. Liikennekuormitus on lyhytaikaista, mutta usein toistuvaa kuormitusta. Ilmastokuormitus on hidasvaikutteista ja toistuu pääasiassa vuodenaikojen mukaan. Merkittävin tierakenteen kuormituskestävyyteen vaikuttava tekijä on raskaan liikenteen aiheuttama liikennekuormitus. (Tierakenteen rappeutuminen ja kunnon ennustaminen. 2006, 7.)

Tien levennyksen yhteydessä tien reunaosien vakavuus heikkenee, jolloin tulee kiinnittää erityistä huomiota maaleikkauksen kaivuun ja siinä käytettyihin työmenetelmiin tien reunan painuman estämiseksi. Maaleikkauksen kaivu tehdään siten, että varmuus sortumista vastaan säilyy kaikissa olosuhteissa. Luiskien kaltevuus ja tukemistarve selvitetään muun muassa maan laadun, kaivannon syvyyden ja ulkopuolisen kuormituksen perusteella. Luiskan kaltevuutta valittaessa otetaan maalajin lisäksi huomioon olosuhdetekijät, kuten kaivannon aukioloaika, pitkäaikainen sade, pohjaveden korkeus ja suotautuminen sekä liikenteen aiheuttama tärinä. Talvella kaivettaessa on huomioitava myös routiminen ja roudan sulaminen. (InfraRYL. 2006, 291.)

Kuvassa 1 on maaleikkaus Valtatie 8:n levennyksestä. Kaivannon reunat on pystytty tekemään jyrkiksi, koska maaleikkauksen syvyys oli suhteellisen pieni ja kaivanto oli auki hyvin lyhyen aikaa.



KUVA 1. Maaleikkaus Valtatie 8:n työmaalla

Kaivutyöstä on tehtävä kaivantosuunnitelma, jos on olemassa sortumavaara, sekä kaikista yli 2 m syivistä kaivannoista. Kaivantosuunnitelman avulla tarkistetaan kaivussyvyys, luiskan kaltevuus ja tuentatarve tapauskohtaisesti paikallisten olosuhteiden mukaan ja ulkopuolisen kuormitustekijöiden perusteella. Kaivaminen tehdään kaivantosuunnitelman mukaisesti. Tässä työssä käsitellyissä tutkimuskohteissa Aleksanterinkadulla on tehty kaivantosuunnitelma, mutta Valtatiellä 8 Limingassa se ei ollut tarpeen, koska kaivussyvyys oli alle 2 metriä eikä maa-aines ollut helposti sortuvaa. (InfraRYL. 2006, 291- 292.)

Luiskan kaltevuuden tulee olla loiva, jotta varmuus sortumista vastaan säilyy, jos liikenteestä aiheutuu tärinää tai ympäristössä on esimerkiksi louhinnasta tai paalutuksesta aiheutuvaa tärinää. Myös ympäristössä olevat rakennukset ja rakenteet on huomioitava luiskan kaltevuudessa. Kaivanto tuetaan, jos luiskan

vakavuus on liian pieni tai jos ei ole tilaa tehdä luiskattua kaivantoa. (InfraRyl. 2006, 291- 292.)

2.1 Tierakenteen painumien korjaaminen

Painumien ennaltaehkäiseminen on tärkeää, koska painumien korjaamisen kustannusvaikutus on huomattava sekä tienpitäjälle että tienkäyttäjille. Korjausmenetelmää valittaessa tulee ottaa huomioon liikenteellisten ja kuivatusnäkökohtien lisäksi rakenteen kunnossapito- ja korjauskustannukset.

Mitä suurempi tien liikennemäärä on, sitä tärkeämpää on, että vaurioitumisen syyt poistetaan vaurioiden aikaisessa syntyvaiheessa. Tällöin muodonmuutokset eivät pääse syvemmälle kerrokseen tai pohjamaahan saakka.

Ennen painumien korjaamista tierakenteen vaurioiden syyt ja korjaustapa selvitetään esimerkiksi maastoinventoinneilla, maatutkalla, näytteenotolla ja pudotuspainolaitteella. Pudotuspainolaitetta käytetään tierakenteen ja pohjamaan kantavuuden mittaamiseen. Tämän lisäksi sitä voidaan hyödyntää heikompien kerrosten sijainnin selvittämiseen tien syvyysuunnassa. Maatutkalla selvitetään tien kerrosrakenteet sekä niiden paksuus, tasaisuus, kosteuspitoisuus. Maatutkalla voidaan tutkia myös pohjamaan laadun vaihtelua. Näytteenottokairauksilla tutkitaan tierakenteen kerrospaksuuksia sekä pohjamaan ja rakennekerrosten maalajien ominaisuuksia. Tierakenteen kestävyys kannalta on tärkeää selvittää vaurioiden syntyminen, jotta voidaan välttää vaurioiden uusiutuminen tai pahempien vaurioiden syntyminen korjauksen jälkeen. (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 36.)

Tien painumien korjausta suunniteltaessa valitaan hankkeelle sopiva parantamistaso kustannusten ja tiessä olevien vaurioiden perusteella. Helpoin ja kustannustehokkain vaihtoehto on usein tien uudelleen päällystys. Toinen vaihtoehto on painuneen kohdan kevyt parantaminen esimerkiksi sekoitusjyrsinnällä, stabiloinnilla tai asentamalla tierakenteeseen teräsverkkoja

rakenteen jäykistämiseksi. Edellisiä tehokkaampi korjaustoimenpide on niin kutsuttu rakenteen raskas parantaminen, kuten massanvaihto tai siirtymäkiilojen ja reunavahvistusten rakentaminen. Näiden lisäksi voidaan tehdä tielinjan tasauksen nosto ja luiskien loiventaminen. Viimeisenä vaihtoehtona on siirtää tielinja uuteen paikkaan ja rakentaa uusi tie, jos edellä mainitut korjaustoimenpiteet eivät tehoa. (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 29.)

2.2 Korjausmenetelmiä

Painuneen tierakenteen korjausmenetelmiä ovat

- uudelleen päällystys
- sekoitusjyrsintä
- stabilointi
- teräsverkkojen asentaminen tierakenteeseen
- massanvaihto
- siirtymäkiilojen rakentaminen
- reunavahvistusten rakentaminen
- tielinjan tasauksen nostaminen
- luiskien loiventaminen.

(Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 46-48.)

Stabiloitaessa tien kuormituskestävyyttä parannetaan sekoittamalla tierakenteeseen kalkkia, sementtiä, lentotuhkaa tai niiden sekoituksia. Sideaineen määrä vaihtelee maaperän ominaisuuksien mukaan. Stabilointi voi olla joko massastabilointia tai syvästabilointia. Massastabiloinnissa käsitellään noin 0,5 – 3,5 metrin syvyinen kerros kaivinkoneeseen asennettavalla sekoitinrummulla, joka syöttää sideainetta kaivinkoneen lähellä olevasta säiliöautosta. Syvästabiloinnissa kaivinkone painaa sekoitusterän haluttuun syvyyteen ja ylösnostettaessa pyörivä sekoitusterä levittää sideaineen, jolloin syntyy luja pilari. Syvästabilointia käytetään yleensä 10–12 metrin syvyyteen

asti. Stabilointi on suositeltava painuneen tierakenteen korjausmenetelmä, jos luiskia ei mahduta loiventamaan eikä tien tasausta voida nostaa. (Jääskeläinen 2009, 211; Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 49.)

Sekoitusjyrsinnässä päällysteen alapuoliset sidottu ja sitomaton kerros jyrsitään halutulta syvyydeltä. Tarvittaessa uutta kiviainesta lisätään sekoitusjyrsinnän yhteydessä tien muodon tai rakeisuuden parantamiseksi. Sekoitusjyrsitty kerros muotoillaan ja tiivistetään valmiiksi päällystepohjaksi. Sekoitusjyrsinnässä tierakenteeseen ei lisätä sideainetta, kuten stabiloinnissa. (Jääskeläinen 2009, 210-213.)

Painunutta tierakennettä voidaan vahvistaa teräsverkoilla. Verkot asennetaan vähintään 20 cm:n syvyyteen päällysteen pinnasta. Teräsverkkojen avulla vähennetään tierakenteeseen syntyviä pysyviä muodonmuutoksia, sidottujen kerrosten väsymistä ja routanousueroista aiheutuvia halkeamia. Teräsverkkojen käyttökohteita ovat muun muassa halkeamien estäminen, sorateiden vahvistaminen, tien stabiliteetin parantaminen, pohjan vahvistaminen ja urautumisen vähentäminen. Suurin vaikutus teräsverkoilla saavutetaan kapeilla jyrkkäluiskaisilla teillä, joiden ongelmana on heikko kantavuus ja tien reunojen painuminen. (Kanerva-Lehto 2009, 14; Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 48-51.)

Massanvaihto tehdään kaivamalla pehmeät, tierakenteeseen kelpaamattomat maakerrokset pois. Yleensä massanvaihto kannattaa tehdä 2–3 metrin syvyyteen asti, koska syvemmälle mentäessä kustannukset kasvavat nopeasti. Osittaisessa massanvaihdossa tierakenteesta poistetaan ainoastaan huonosti kantava pintakerros. (Jääskeläinen 2009, 206.)

Jos painumista on tapahtunut vain päällysteen pinnalla eivätkä alapuoliset rakennekerrokset ole antaneet periksi, korjaustoimenpiteeksi riittää uudelleenpäällystys. Tarvittaessa vanhan päällysteen pinnasta jyrsitään ohut kerros pois ja uusi asfaltti levitetään vanhan jyrsityn pinnan päälle.

Tielinjan tasauksen nostamisella voidaan parantaa tierakenteen kuivatusta ja tien kantavuutta, jos ongelmana on, että vesi jää seisomaan sivuojiin ja vedenpinta on lähellä tien tasausta. Kaikkialla tämä korjausvaihtoehto ei onnistu, koska tien varrella olevien talojen pihojen kuivatus ja liittymien toimivuus saattavat muodostua ongelmaksi. Tasauksen nostaminen voidaan tehdä vain, jos on mahdollista rakentaa riittävän loivat luiskat. Vilkasliikenteisillä pääteillä luiskan minimi kaltevuus on 1:2. (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 47.)

Painumia korjattaessa tulee huolehtia tierakenteen kuivatuksesta, koska tierakenteen kuormituskestävyys pienenee. Pintavesien päätyminen sivuojaan voidaan varmistaa riittävällä tien sivukaltevuudella. Sivuojat suositellaan rakennettavaksi 25 cm tierakenteen alimman kerroksen alapuolelle. Veden virtaaminen sivuojoissa varmistetaan tarkistamalla sivuoja- ja päätierumpujen kunto. Samalla on hyvä selvittää myös laskuojien perkaustarve. (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 64.)

Painumaa korjattaessa päällyste joudutaan usein leikkaamaan pois huomattavasti painumaa suuremmalta alueelta. Tätä varten paikalle täytyy hankkia kalusto, jolla asfaltti voidaan leikata. Yleensä työ tehdään asfalttisahalla tai kaivinkoneeseen asennettavalla leikkurilla. Poistettu asfaltti on ongelmajätettä ja se pitää kuljettaa asfalttiasemalle tai kaatopaikalle, missä se voidaan varastoida ja jatkojalostaa. Kun asfaltti on poistettu, painuneeseen kohtaan lisätään mursketta joka tiivistetään huolellisesti. Ennen tätä täytyy varmistaa, ettei painuminen aiheudu syvemmillä rakennekerroksissa piilevistä ongelmista, kuten vääristä rakennusmateriaaleista tai liian ohuista rakennekerroksista. Tällöin ongelmakohtaan täytyy tehdä massanvaihto.

Painuman korjaamista vaikeuttaa, jos painunut tien kohta sijaitsee vilkkaasti liikennöidyllä tiellä. Liikenne hidastaa korjaustyötä ja tämä lisää korjauskustannuksia. Kohteeseen täytyy järjestää liikenteenohjaus, ajonopeuksia joudutaan laskemaan ja ajoratoja pitää mahdollisesti sulkea. Tarvittaessa liikenteelle tehdään kiertotie tai liikenne ohjataan kulkemaan

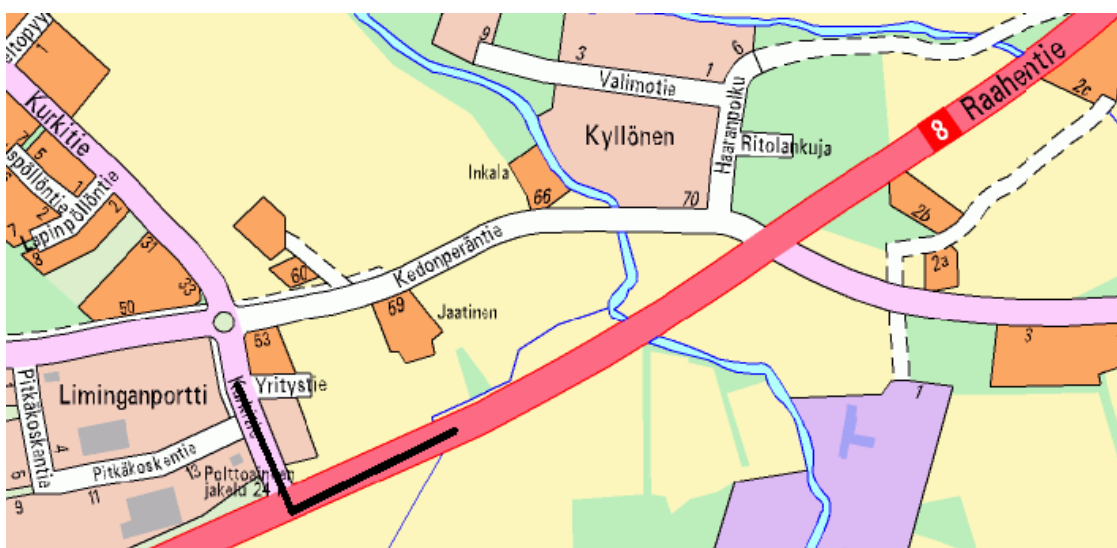
työmaan ohi vaihtoehtoista reittiä. Autoilijoiden ajoaika sekä liikennöintikustannukset kasvavat.

Tiessä oleva painuma saattaa aiheutua myös tien alittavan rummun liikkumisesta. Tämän seurauksena rumpu täytyy kaivaa esille ja ympäröivät maa-ainekset joudutaan vaihtamaan. Painuma saattaa olla hyvin lyhyellä matkalla, jos rummun siirtymäkiila puuttuu tai se on liian lyhyt. Ongelman korjaamiseksi tie pitää aukaista pidemmältä matkalta, jotta rummulle voidaan rakentaa riittävän pitkät siirtymäkiilat painumaerojen tasoittamiseksi. Siirtymäkiilat tehdään kaikkiin routivuudeltaan ja kantavuudeltaan erilaisten rakenteiden muutoskohtiin sekä rumpujen ja siltojen yhteyteen.

Vähäliikenteisillä teillä, missä tierakenne on painunut runsaasti eikä korjaaminen ole taloudellisesti kannattavaa, korjaustoimenpiteenä voi olla päällysteen poistaminen ja tien muuttaminen soratieksi. (Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005, 55.)

3 PAINUMAMITTAUSTEN TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteena olivat seuraavat kolme Destia Oy:n rakennustyömaata: Valtatie 8 ja Kurkitie Limingassa sekä Aleksanterinkatu Oulun keskustassa. Nämä mittauskohteet valittiin tutkittavaksi kohteiden soveltuvuuden vuoksi, koska tutkimukseen haluttiin saada mahdollisimman laaja ja monipuolinen tutkimusaineisto erityyppisistä teistä. Kuvaan 2 on merkitty Limingassa sijaitsevat tiejaksot, joissa painumamittaukset tehtiin.



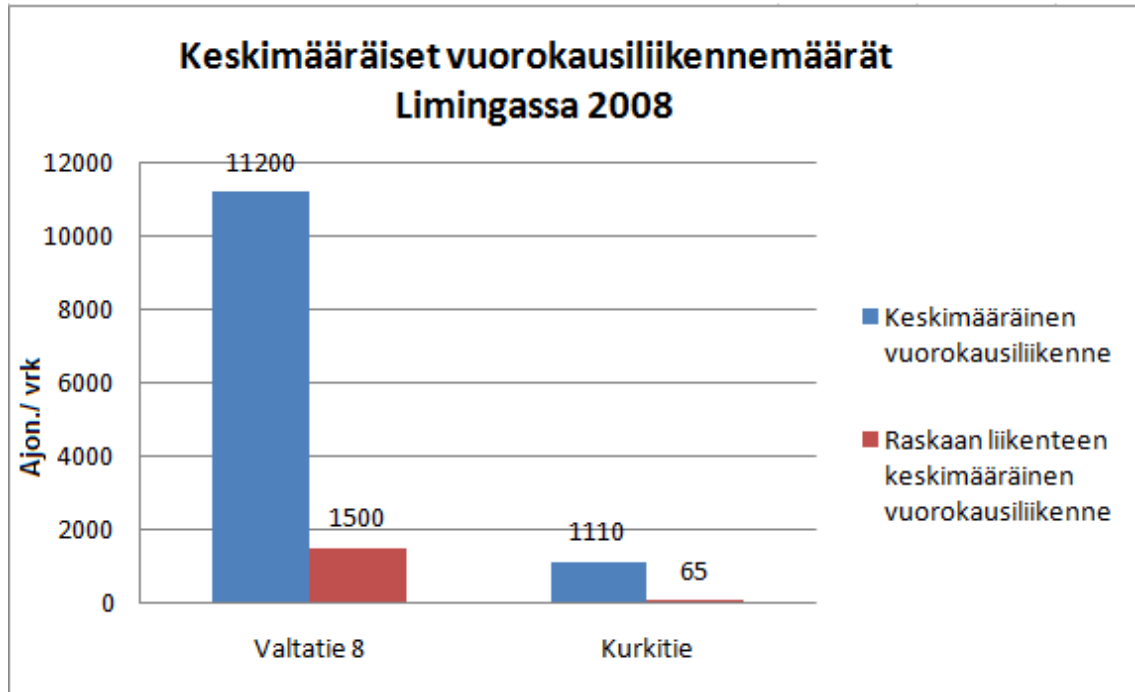
KUVA 2. Kurkitien ja Valtatie 8:n mittausjaksot

3.1 Valtatie 8

Valtatien 8 liikenneturvallisuutta ja sujuvuutta parannettiin kanavoinnilla ja liikennevalo-ohjauksella. Valtatielle 8 rakennettiin kääntymiskaistat Kurkitielle Oulun ja Raahen suuntaan. Lisäksi Kurkitielle tehtiin kääntymiskaista Raahen suuntaan kääntyville.

Valtatie 8 on merkittävä maan sisäinen pääväylä pohjois–eteläsuunnassa. Tie on Limingan kohdalla erittäin vilkasliikenteinen. Vuoden 2008 liikennelaskenta tietojen mukaan Valtatiellä 8 kulkee keskimäärin 11 200 ajoneuvoa vuorokaudessa (KVL). Raskaan liikenteen osuus on 10 %. Valtatie 8:n

henkilöautoliikenteen ja raskaanliikenteen liikennemäärät on esitetty kuvassa 3. (Liikennemääräkartta. 2008.)



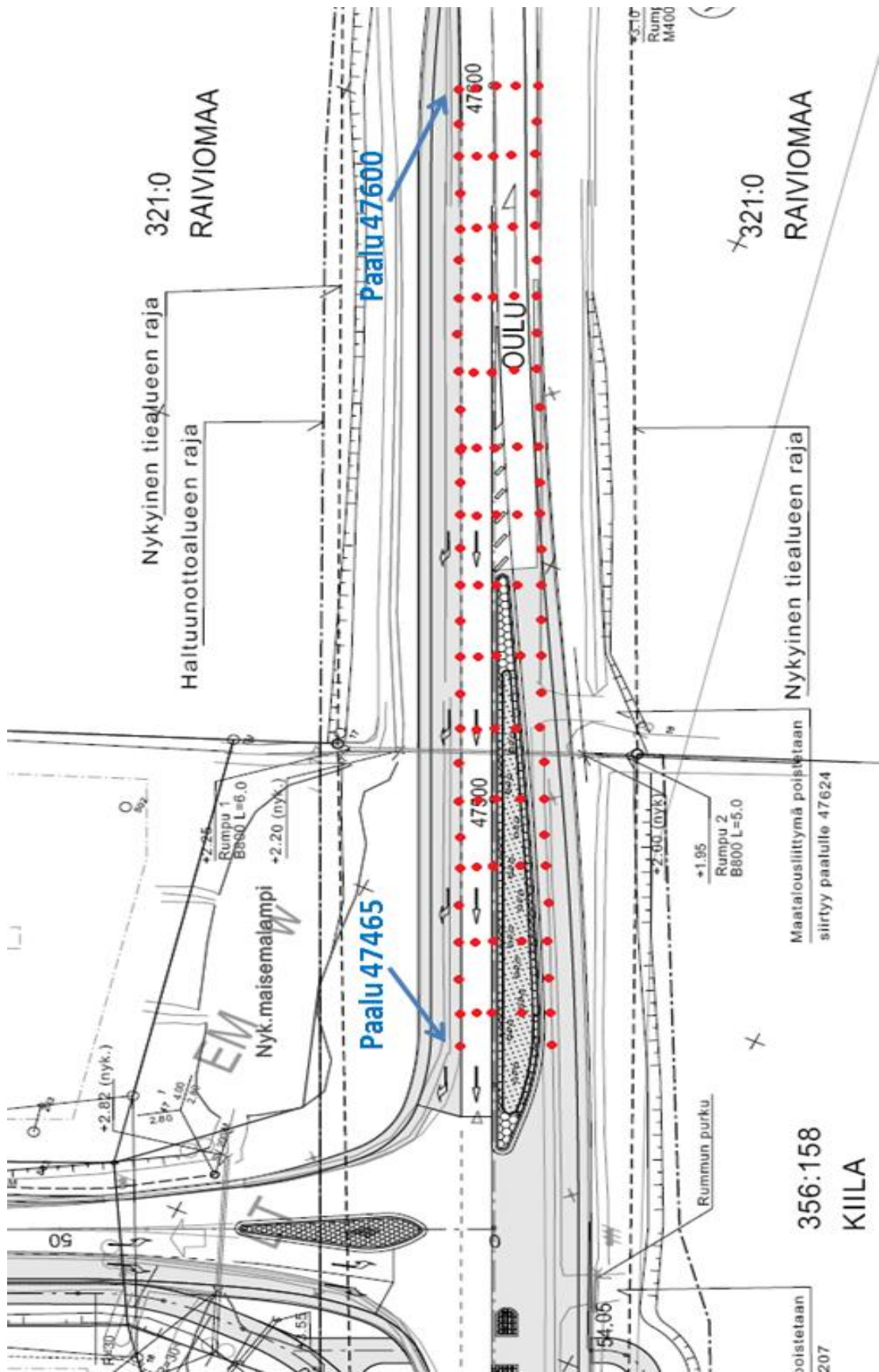
KUVA 3. Limingan liikennemäärät (Liikennemääräkartta. 2008)

Työmaan aikana liikennettä ei ohjattu vaihtoehtoisille reiteille tai kiertoteille. Liikenne ohjattiin sulkupylväiden ja lamelleiden avulla kulkemaan tavallista kapeammassa tilassa. Kummankin ajoradan leveys oli pienimmillään 3 metriä. Työmaanaikana valtatie 8 nopeusrajoitus oli 40 km/h. Ennen työmaan aloitusta nopeusrajoitus tiellä oli 80 km/h. Työmaan valmistuttua pysyvä nopeusrajoitus laskettiin 60 km/h:iin.

Työmaalla työskenteli yksi tela-alustainen kaivinkone, joka painoi 21 tonnia. Tämän lisäksi työmaalla oli yksi 7 000 kiloa painava jyrä sekä kaksi pyöräalustaista 18 tonnin kaivinkonetta. Työmaalla liikkui päivittäin useita kuorma-autoja, jotka kuljettivat hiekkaa ja mursketta tien levennykseen.

Painumaa koskevat mittaukset tehtiin Valtatiellä 8 Kurkitien liittymän kohdalta Pohjoiseen 125 metrin pituiselta matkalta. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin kesäkuun alussa 2010 ennen tien levennystä ja toisen kerran mittaukset tehtiin, kun tien levennys oli valmis heinäkuun lopussa 2010.

Kuvaan 4 on merkitty punaisella pisteellä kaikki Valtatie 8:n kohdat, missä painumamittaukset on tehty. Mittaukset tehtiin ennen kuvassa näkyvän liikenteenjakaajan rakentamista. Mittaukset alkavat paalulta 47 465 ja päättyvät paalulle 47 600. Pientareilla pisteet ovat viiden metrin välein ja muualla 10 metrin välein. Mittaustulokset ovat liitteessä 1.



KUVA 4. Valtatie 8:n mittauspisteet

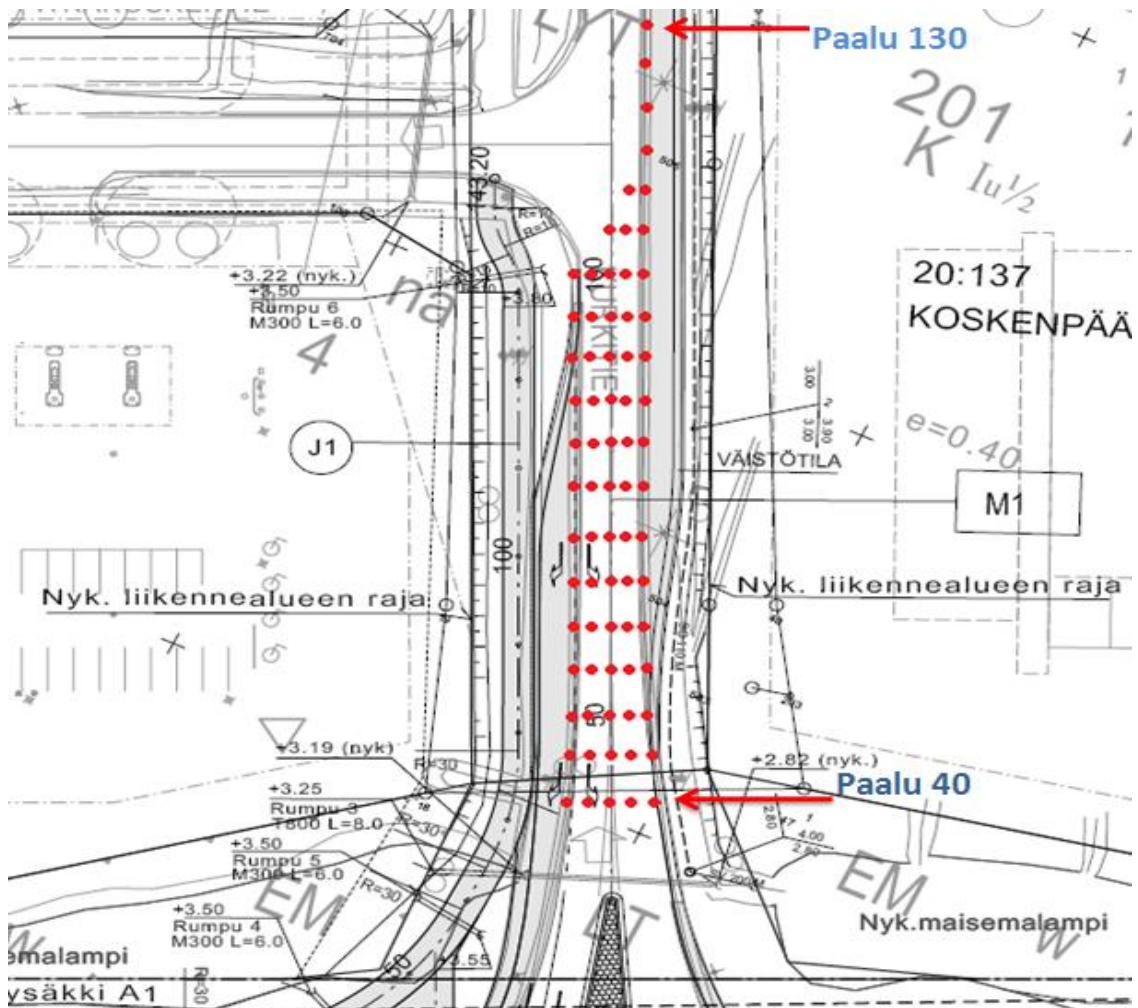
3.2 Kurkitie

Kurkitie on Valtatielle 8 johtava kokoojakatu, josta on kulku Limingan keskustaan, Lintupuiston asuinalueelle sekä Liminganportin kauppakeskukseen. Vuoden 2008 liikennelaskenta tietojen mukaan Kurkitien liikennemäärä on keskimäärin 1 500 ajoneuvoa vuorokaudessa. Raskaiden ajoneuvojen määrä on keskimäärin 65 kappaletta vuorokaudessa. Kurkitien liikennemäärät ovat kuvassa 3. (Liikennemääräkartta. 2008.)

Kurkitiellä levennykset tehtiin molemmin puolin rakentamalla kääntymiskaistat Kurkitieltä Raaheen suuntaan kääntyville ja Kurkitieltä Pitkäkoskentielle kääntyville. Työmaan aikana molemmat ajoradat Kurkitiellä olivat liikenteen käytössä. Nopeusrajoitus Kurkitiellä oli työmaan aikana 40 km/h. Tavallisesti nopeusrajoitus kohteessa on 50 km/h.

Kurkitien painumat mitattiin 90 metrin pituiselta matkalta Kurkitien alusta Limingan keskustaan päin. Ensimmäiset mittaukset tehtiin ennen tien levennyksen ja kaivutyön aloittamista kesäkuun lopussa 2010. Toisen kerran painumat mitattiin, kun kääntymiskaistat oli rakennettu valmiiksi heinäkuun lopussa 2010.

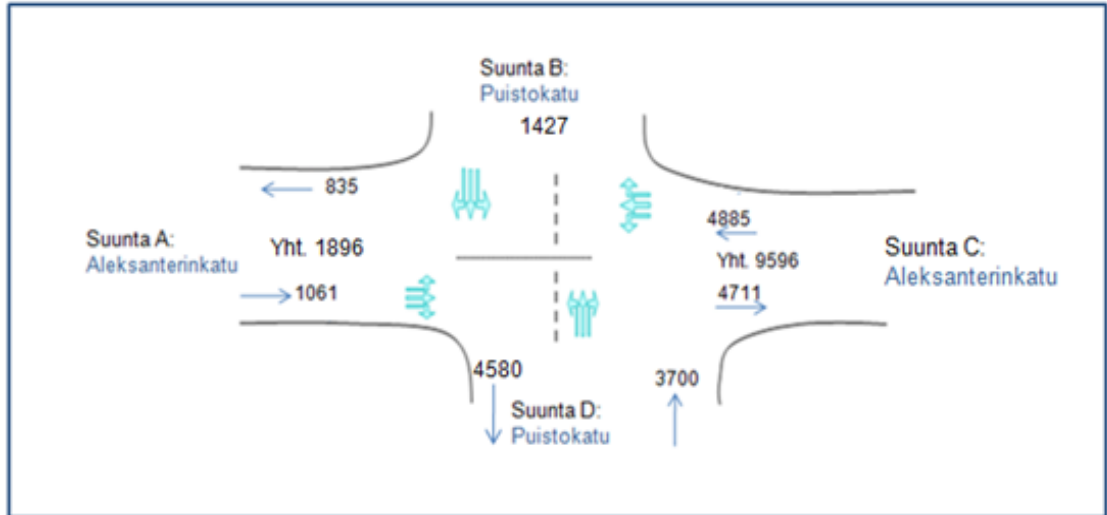
Kuvaan 5 on merkitty punaisella pisteellä kaikki kohdat, missä Kurkitien painumamittaukset on tehty. Mittaukset alkavat paalulta 40 ja päättyvät paalulle 130. Pisteet ovat 5 metrin välein. Mittaustulokset ovat liitteessä 2.



KUVA 5. Kurkitien mittauspisteet

3.3 Aleksanterinkatu

Painumaa koskevat mittaukset tehtiin myös Oulun keskustassa Aleksanterinkadulla. Aleksanterinkatu on vilkasliikenteinen läpikulkureitti Oulun keskustan halki. Lisäksi Aleksanterinkatu palvelee keskustan sisäistä liikennettä. Raskaan liikenteen osuus on vähäinen. Kadun liikennemäärä vuorokaudessa on keskimäärin 9 596 ajoneuvoa (Hintsala 2010). Kuvassa 6 näkyvät Aleksanterinkadun molempien ajoratojen liikennemäärät Puistokadun liittymässä.

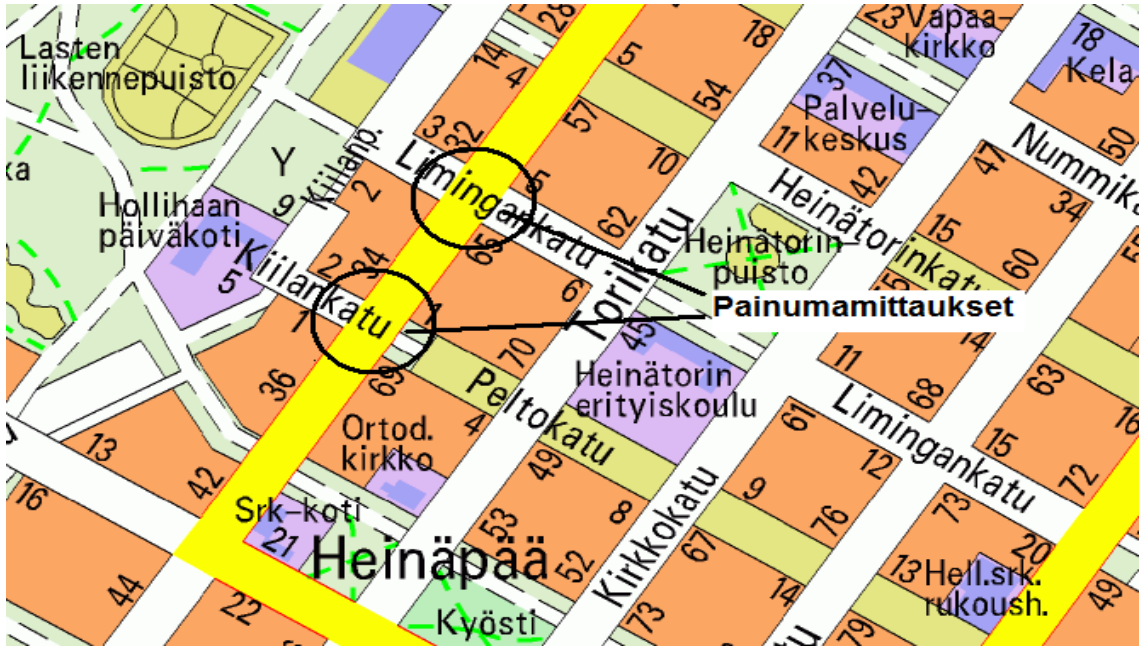


KUVA 6. Aleksanterinkadun liikennemäärät (Hintsala 2010)

Kesän 2010 aikana Aleksanterinkadulla korjattiin vesi- ja viemäriverkostoa. Uusi vesijohto asennettiin sujuttamalla. Tämän takia kaikkien Aleksanterinkadulle tulevien sivukatuojen kohdalle kaivettiin noin kolmen metrin syvyinen kuoppa. Kortteleiden välistä katuosuutta ei kaivettu auki. Työn aikana Aleksanterinkadulla oli käytössä vain yksi ajokaista. Ajoittain katu oli kokonaan suljettu ulkopuoliselta liikenteeltä. Keskustasta Heinäpäähän suuntaan menevä liikenne ohjattiin kulkemaan kiertotietä. Työmaan aikana Aleksanterinkadun nopeusrajoitus oli 30 km/h. Tavallisesti kadun rajoitus on 40 km/h.

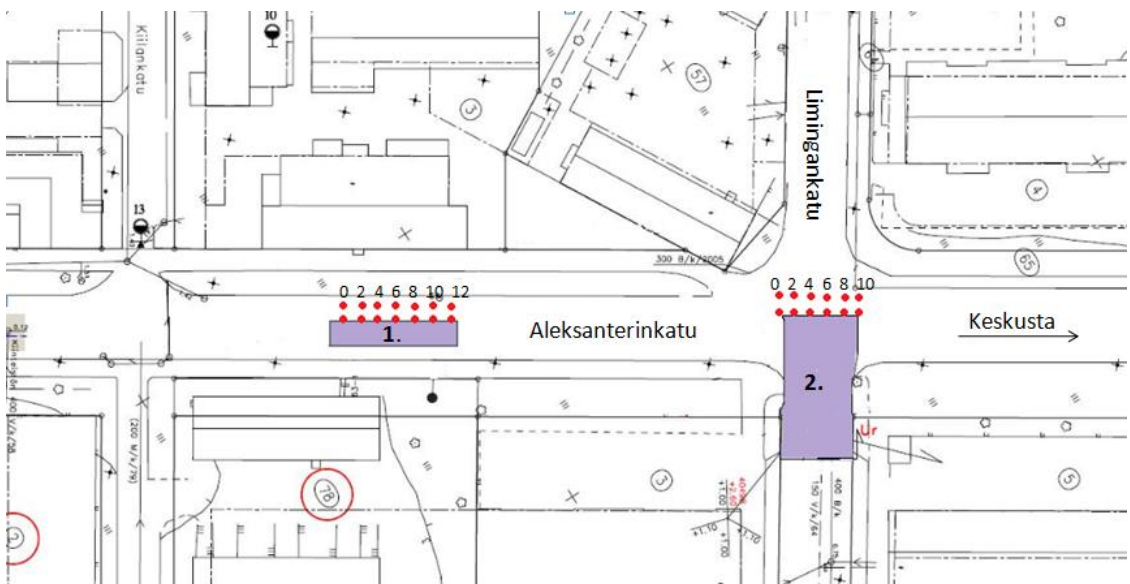
Työmaalla liikuttiin pyörä-alustaisilla 18 tonnia painavilla kaivinkoneilla ja kuorma-autoilla. Kaivannot tiivistettiin tärylevyllä. Työmaalla ei käytetty teläalustaisia kaivinkoneita.

Aleksanterinkadulla mittaukset tehtiin Limingankadun ja Kiilankadun liittymien kohdalla olevien kaivantojen reunalta. Mittauskohteiden tarkka sijainti on ympäröity kuvassa 7.



KUVA 7. Aleksanterinkadun mittauskohteet

Kuvaan 8 on merkitty punaisella pisteellä kaikki Aleksanterinkadun kohdat, joissa painumamittaukset tehtiin. Pisteet ovat 2 metrin välein. Kaivannot on merkitty numeroilla 1 ja 2. Mittaustulokset ovat liitteessä 3.



KUVA 8. Aleksanterinkadun mittauspisteet

4 PAINUMIEN MITTAUSTULOKSET

Opinnäytetyötä varten tarvittavat maastomittaukset tehtiin kesän 2010 aikana. Tienpinnan korkeusaseman mitattiin tasolaser-laitteella (Topcon RL-H2Sa) ennen kaivutöiden alkua. Rakennustyön valmistuttua mittaukset tehtiin uudelleen samoista pisteistä kuin ensimmäisellä kerralla. Mittaukset tehtiin Limingassa Kurkitiellä ja Valtatiellä 8 viiden metrin välein. Jokaisesta tien poikkileikkauksen kohdasta mitattiin pinnan korkeus viidestä eri pisteestä; molempien ajoratojen pientareelta, ajoratojen keskeltä ja tien keskilinjalta. Mittauspisteiden sijainti tien pituussuunnassa tarkistettiin ojan luiskassa olevista mittapaaluista.

Aleksanterinkadulla Oulussa mittaukset tehtiin kahden metrin välein. Mittauspisteiden oikea sijainti tarkistettiin rullamitalla. Yhdestä tien poikkileikkauksen kohdasta tehtiin kaksi mittausta; kuopan reunalta vanhan päällysteen päältä ja viereisen ajoradan keskeltä.

Mittaustulokset kirjattiin maastossa mittauspöytäkirjaan. Lopulta lukemat kirjattiin tietokoneelle ja painuman suuruus saatiin vertailemalla keskenään ensimmäisen ja toisen mittauskerran tuloksia.

4.1 Mittaustulosten luotettavuus

Mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttaa tasolaserin mittaustarkkuus. Laitteiden tarkkuus on valmistajasta ja mallista riippuen noin 2–10 millimetriä sadan metrin matkalla. Mittaustuloksiin voi syntyä virhe, jos laserin vastaanotin tai lattamitta on vinossa esimerkiksi kovan tuulen tai käyttäjän huolimattomuuden takia. Mittaustuloksiin voi tulla epätarkkuutta, jos tienpinnan korkoa ei mitata tarkasti samasta kohtaa kuin ensimmäisellä kerralla. Mittaustuloksiin tulee virhe, koska tienpinnan korkeus saattaa muuttua merkittävästi lyhyelläkin matkalla. (Tikka 2007.)

Opinnäytetyössä tehdyissä mittauksissa päästiin noin kahden sentin mittatarkkuuteen. Mittaustuloksiin voi tulla virhe, jos mittaaja kirjaa tulokset väärin tehdessään mittaustyötä maastossa tai kirjatessaan niitä tietokoneelle. Mittausten luotettavuuden kannalta on tärkeää, että korkopiste maastossa on mitattu oikein, jotta mittaustuloksia voidaan verrata suunnitelmissa esitettyihin mittoihin.

Opinnäytetyötä koskevat mittaukset menivät suunnitelmien mukaisesti. Mittauksia vaikeuttivat vilkas liikenne erityisesti Valtatiellä 8 ja Aleksanterinkadulla. Mittaustulosten virhemahdollisuutta olisi voitu vähentää sulkemalla liikenne mittausten ajaksi.

Aleksanterinkadun ja Valtatie 8:n mittaukset tehtiin pääosin virka-ajan ulkopuolella, kun työmatkaliikenne oli rauhoittunut. Limingassa Valtatiellä 8 mittaukset tehtiin aamuyöllä, koska tällöin liikenne oli vähäisintä. Nopeusrajoitus työmaan kohdalla oli neljäkymmentä kilometriä tunnissa, mutta havaintojen mukaan todelliset ajonopeudet olivat huomattavasti tätä suurempia. Erityisesti raskaat ajoneuvot eivät hidastaneet työmaa-alueella. Tästä huolimatta mittaukset oli helpointa tehdä aamuyöllä, kun työmaalla ei ollut muuta toimintaa. Päivällä autoilijoiden huomio saattaa kiinnittyä työmaalla liikkuviin työkoneisiin, jolloin ajoradalla olevan mittaajan turvallisuus voi vaarantua. Kurkitien mittaukset pystyttiin suorittamaan päivällä, koska liikennemäärät olivat pieniä ja ajonopeudet alhaisia.

Mittauksissa käytettyä tasolaseria tarkemmat mittaustulokset voidaan tehdä esimerkiksi maatutkalla. Sitä käytetään pohjatutkimuksiin, päällysteiden ja rakennekerrosten paksuuksien mittaukseen sekä materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien määrittämisen apuna. Maatutkamittauksesta aiheutuva haitta liikenteelle on vähäistä, koska mittaukset voidaan tehdä liikkuvasta autosta. (Kujala 2009.)

Mittauksista saatujen **tulosten** perusteella tierakenteen painuminen oli suurinta tien reunoilla. Tämä johtuu siitä, että tien painuminen ajoratojen

kohdalla on tapahtunut jo aiemmin liikenteen kuormituksen takia. Tien rakennusvaiheessa rakenteen tiivistäminen on huomattavasti helpompaa tien keskialueella verrattuna tien reuna-alueeseen. Työaikainen työmaaliikenne rasittaa vanhaa päällysteen reunaa normaalista poikkeavalla tavalla painavien työkoneiden liikkeessä pientareella. Työmaanaikana ohikulkeva liikenne ohjataan tarvittaessa tavallista kapeampaan tilaan, jolloin myös tien pientareella oleva tila hyödynnetään tehokkaasti. Tällöin liikenteen synnyttämä kuormitus jakaantuu kapealle alueelle, koska autojen ajolinjat keskittyvät hyvin voimakkaasti. Merkittävää painumaa ajoratojen kohdalla ja keskellä tietä ei havaittu missään tutkimuskohteessa.

4.2 Aleksanterinkadun painumamittaukset

Aleksanterinkadun mittauspisteillä ei havaittu merkittävää tien painumaa työaikana, vaikka ennen työmaan aloittamista kohteessa oli paikoin havaittavissa suuriakin painumia. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran tulosten ero on ± 1 cm, mikä voidaan selittää mittausvirheellä. Aleksanterinkadulla painumat vanhan päällysteen pinnasta mitattuna olivat pieniä tai niitä ei syntynyt ollenkaan, joten korjaavia toimenpiteitä ei tarvita. Painumat eivät ylittäneet taulukossa 1 esitettyjä raja-arvoja. Sallitun painuman maksimiarvot eivät ylittyneet eikä tien kaltevuus muuttunut.

Syynä siihen, että painumia ei havaittu, on se, että Aleksanterinkatu on hyvin vanha, vilkasliikenteinen tie, missä ajonopeudet ovat pieniä. Raskaan liikenteen osuus on vähäinen. Aleksanterinkadulla ei ole avo-ojia, kuten muissa tutkimuskohteissa, joten tien reunaosien kantavuus on parempi. Katu on todennäköisesti tiivistynyt vuosien saatossa liikenteen aiheuttaman tärinän ja rakenteen oman painon vaikutuksesta.

Kuvassa 9 näkyy Aleksanterinkatu kesäkuussa 2010, jolloin kohteessa tehtiin ensimmäiset painumamittaukset.



KUVA 9. Aleksanterinkatu kesäkuussa 2010

4.3 Liminka, Valtatie 8:n painumamittaukset

Valtatiellä 8 Limingassa painuma oli suurinta tien pientareella. Ajoratojen kohdalla ja keskellä tietä painumaa ei tapahtunut tai se oli hyvin vähäistä. Etelään johtavan ajoradan pientareella painuma oli päällysteen pinnasta mitattuna keskimäärin noin 2 cm. Suurimmillaan painuma oli 4,5 cm. Pohjoiseen menevän ajoradan pientareella painuma oli huomattavasti vähäisempää kuin tien toisella puolella.

Etelään johtavan ajoradan pientareen painuma oli suurempaa, koska maaleikkauksen luiska vanhan tien reunalla oli jyrkempi kuin toisella puolella. Lisäksi kuorma-autot kippasivat kuorman ajamalla auton ajoradalle poikittain. Kuorma-autojen takarenkaat olivat kipattaessa vanhan päällysteen reunalla, jolloin pientareelle kohdistui normaalia suurempi kuormitus (kuva 10). Työmaan aikana ohikulkeva liikenne jouduttiin ajoittain ohjaamaan tavanomaista kapeampaan tilaan, osittain pientareelle, jotta toisella puolella mahduttaisiin

turvallisesti työskentelemään. Pientareelle ei ole kohdistunut ennen työmaan alkua mitään säännöllistä kuormitusta, joten se ei ole välttämättä aiemmin tiivistynyt liikenteen aiheuttaman tärinän vaikutuksesta.



KUVA 10. Valtatie 8, Liminka

Taulukossa 1 on esitetty asfalttipäällysteisen tien sallitut laskennalliset kaltevuuden muutokset, enimmäispainumat ja sivukaltevuuden muutokset 30 vuoden aikana.

TAULUKKO 1. Tienpinnan sallitut muutokset 30 vuoden aikana (InfraRYL. 2006, 64)

| Tien toiminnallinen luokka, Mitoitusnopeus (km/h) | Sallittu pituuskaltavuuden muutos Δpk (%) | Sallittu painuman maksimiarvo (mm) | Rajapituuden arvo (m) | Sallittu sivukaltevuuden muutos (%) |
|---|---|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Mottoriväylät (120 km/h) Pääties | 0,6 | 400 | 67 | 1,5 |
| (105km/h) Seudulliset tiet (90km/h) | 0,8 | 500 | 63 | 1,5 |
| Paikallisväylät (80 km/h) (60km/h) | 1,1 | 600 | 55 | 2,0 |
| Kadut | 1,6 | 700 | 44 | 2,0 |
| | 2,2 | 800 | 36 | 2,0 |

Verrattaessa Valtatie 8:n painumia taulukossa 1 esitettyihin painumien ja kaltevuuden muutosten maksimiarvoihin havaitaan, että painumat eivät missään kohtaa ylittäneet asetettuja raja-arvoja. Sallittuun painuman raja-arvoon vaikuttaa kohteen suurin sallittu ajonopeus. Hitaasti ajettavilla paikallisväylillä sallitaan suuremmat painumat kuin esimerkiksi moottoriteillä. Limingassa Valtatiellä 8 nopeusrajoitus on 60 km/h Kurkitien liittymän kohdalla. Mitattu painuma oli suurimmillaan 4,5 senttimetriä etelän suuntaan menevän ajoradan pientareella paalun 47 535 kohdalla. Suurin sallittu painuman maksimiarvo 30 vuoden aikana on 8,0 cm. Suurin sallittu sivukaltevuuden muutos on 2,0 %. Valtatiellä 8 sivukaltevuuden muutos oli enimmillään noin 1 prosentti paalujen 47 530–47 550 välillä. Työmaan aikana Valtatielle 8 tulleet painumat eivät vaadi korjaustoimenpiteitä, koska niistä ei ole haittaa liikenteelle tai kuivatukselle eivätkä painumat ylitä sallittuja raja-arvoja.

4.4 Kurkitien painumamittaukset

Kurkitien rakennekerroksissa on käytetty muista tutkimuskohteista poiketen masuunihiekkaa jakavan kerroksen materiaalina. Masuunihiekasta tehdyn tien kantavuus lisääntyy ajan kuluessa sitoutumisen seurauksena. Tästä huolimatta mittaushetkellä Kurkitiellä painuma oli suurinta. Kurkitien painuma oli pientareilta enimmillään 5,5 cm, mutta yleisin painuman suuruus oli 1–3 cm.

Pohjamaan kantavuus Kurkitiellä on heikko, koska maaperä on hyvin savista. Savinen maaperä häiriintyy helposti esimerkiksi liiallisen maan muokkauksen tai tiivistämisen seurauksena. Kuvassa 11 näkyvät Kurkitien märät ja saviset pohjaolosuhteet, kun tietä levennettiin kesäkuussa 2010.



KUVA 11. Kurkitien maaleikkaus

Kurkitien painumat ovat tyypillisiä reunapainumia, mitä esiintyy varsinkin kapeilla teillä. Erityisesti siltti- ja savipohjaisilla mailla tien painuma voi yltää pohjamaahan saakka, jonka seurauksena pohjamaan syrjäytyy ajouran kummallekin puolelle. Tämän seurauksena tien reuna painuu. Osaltaan Kurkitien reunan painumat voidaan selittää jyrkemmillä ojan luiskilla kuin Valtatiellä 8. Kurkitiellä luiskien kaltevuus on 1:3 ja Valtatiellä 8 luiskakaltevuus on 1:4. Luiskakaltevuudet näkyvät poikkileikkauksissa, jotka ovat liitteissä 4 ja 5. Ajoratojen kohdalta ja tien keskeltä mitattuna ei tiellä tapahtunut merkittävää painumaa.

Kurkitiellä oli tietä levennettäessä käytössä molemmat ajoradat. Tiellä liikkui päivittäin useita raskaita ajoneuvoja, jotka kuljettivat tavaraa läheiselle huoltoasemalle tai työmaalle. Liikenne joutui kulkemaan hyvin läheltä kaivannon reunaa, jolloin maaleikkauksen reunalta murtui maata liikenteen aiheuttaman värinän vaikutuksesta. Liikenteestä aiheutuvaa värinävaikutusta lisäsi Kurkitien epätasaisen päällyste.

Kurkitien rakennekerrokset ja niissä käytetyt materiaalit on esitetty liitteen 5 poikkileikkauksuvasta.

Suunnitelmista poiketen Kurkitien sivukaltevuus on 6–7 %, vaikka sen pitäisi olla 3 %. Liian suuri sivukaltevuus johtuu joko siitä, että se on alun perin rakennettu väärin, tai sitten Kurkitien reunat ovat painuneet. Kurkitien leventämisen aikana vanha tie painui pientareelta enimmillään 5,5 senttimetriä paalulla 40. Myös muualla Kurkitien alussa painumaa tapahtui noin 2–3 senttimetriä. Sivukaltevuuden arvo tällä kohtaa oli noin 1 prosentti. Kurkitie on paikallisväylä, jonka nopeusrajoitus on 40 km/h. Suurin sallittu painuman maksimiarvo paikallisteillä on 8 senttimetriä. Suurin sallittu sivukaltevuuden muutos on 2,0 %. Painuman sallitut maksimiarvot eivät ylittyneet, mutta tilanne vaatii tarkkailua, koska sallitut painuman arvot on ilmoitettu 30 vuoden ajanjaksolle. Tämän mukaan Kurkitien pientareet eivät saa enää painua merkittävästi, jotta sallitut painuman maksimiarvot eivät ylittyisi.

5 PAINUMIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

5.1 Liikennemäärien vaikutus painumiin

Liikennemäärien ei voida suoraan osoittaa vaikuttaneen tässä opinnäytetyössä mukana olleiden tutkimuskohteiden painumaan. Aleksanterinkadulla ja Valtatiellä 8 liikennemäärät ovat moninkertaiset verrattuna Kurkitielle, mutta siitä huolimatta Kurkitiellä tierakenteen painuma oli tutkimuskohteista suurinta. Aleksanterinkadun ja Valtatie 8:n liikennemäärät ovat lähellä toisiaan, mutta siitä huolimatta Valtatie 8:n painumat olivat Aleksanterinkatua suurempia erityisesti Etelään johtavan ajoradan pientareella.

Raskaanliikenteen vaikutusta painumaan on vaikea arvioida, koska Aleksanterinkadulta ei ole saatavissa tarkkaa tietoa raskaan liikenteen vuorokausiliikennemääristä.

Liikenteen aiheuttamaan tierakenteen painumaan vaikuttavat liikenteen määrän lisäksi ajonopeudet. Ajonopeuden kasvaessa liikenteen aiheuttama rasitus tierakenteeseen lisääntyy.

5.2 Koneiden ja työmenetelmien vaikutus painumiin

Tutkimuskohteissa tierakenteen painuminen oli pienintä siellä, missä liikuttiin vähiten painavilla työkoneilla. Tien reuna painui eniten Kurkitiellä, missä työmaan aikainen kuorma-autoliikenne oli vilkasta. Työmaan aikana työmenetelmät tulisi suunnitella siten, että työkoneiden liikkuminen yleisellä tiellä on mahdollisimman vähäistä. Tierakenteen vaurioiden välttämiseksi työmaan liikenne työkoneilla kannattaa keskittää yhteen kohtaan, jotta työmaan aikana syntyneet mahdolliset vauriot on helpompia ja edullisempia korjata.

Maaleikkausten kaivannot tulisi pyrkiä täyttämään mahdollisimman nopeasti, jotta tien reuna ei painu esimerkiksi tien leventämisen yhteydessä. Mittausten

mukaan painumaa tapahtui eniten siellä, missä kaivanto oli auki pisimpään ja vanhan tien reuna oli leikattu jyrkkäreunaiseksi. Työmaan aikana on syytä huolehtia riittävästä luiskakaltevuudesta, koska sillä on suuri vaikutus tien reunan vakauteen ja painumiseen. Kuvassa 12 on käynnissä maaleikkauksen täyttö Valtatiellä 8 kesäkuussa 2010.



KUVA 12. Valtatie 8:n leventäminen

5.3 Tierakenteiden vaikutukset painumiin

Tierakenteen laskennallinen kantavuus voidaan laskea **Odemarkin kaavalla** (kaava 2), jota käytetään yleisesti teiden kuormitusmitoitukseen. Mitoituksen lähtötiedoiksi tarvitaan tien tavoitekantavuus, päällysteen paksuus ja pohjamaankantavuus. Rakennekerroksissa käytettävien materiaalien vaadittua lujuutta kuvaavat E-moduulit on ilmoitettu kohteen suunnitelma-asiakirjoissa. (Tietoa tiensuunnitteluun nro 73. 2004, 9.)

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}} \quad \text{KAAVA 2}$$

E_A = mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)

E_p = mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (MPa)

E = mitoitettavan kerroksen materiaalin E – moduuli (MPa)

h = mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

Taulukossa 3 on esitetty **Valtatie 8:n** laskennallinen **kantavuus** toteutuneilla rakennekerroksilla. Laskelmat on tehty Odemarkin kaavalla. Valtatie 8:n mitoituksessa käytetyt tiedot näkyvät liitteen 4 poikkileikkauskuvasta.

TAULUKKO 3. Valtatie 8:n kantavuuden mitoitus

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
| Mitoitettava tie = | Valtatie 8, Liminka | | | | |
| Pohjamaan kelpoisuusluokka= | U1 | tasalaat | | | |
| Routanousu mm = | 131,2 | | | | |
| Siirtymäkiilasyvyys (m) = | 1,9 | | | | |
| turpoamaprosentti (%) = | 16 | | | | |
| | Kerroksen paksuus m | E-a MN/m ² | E-moduuli MN/m ² | E-max MN/m ² | Kantavuus kerroksen päältä MN/m ² |
| Pohjamaa | | 20 | | | |
| Suodatinkerros | 0,2 | 20 | 50 | | |
| Suodatinkerros | 0,1 | 30 | 50 | 50 | 29,9 |
| Suodatinkerros | 0 | 33 | 50 | 50 | 33,2 |
| Suodatinkerros | 0 | 33 | 50 | 50 | 33,2 |
| Suodatinkerros | 0 | 33 | 50 | 50 | 33,2 |
| Suodatinkerros | 0 | 33 | 50 | 50 | 33,2 |
| Eristekerros | 0 | 33 | 100 | 50 | 33,2 |
| Eristekerros | 0 | 33 | 100 | 100 | 33,2 |
| Eristekerros | 0 | 33 | 100 | 100 | 33,2 |
| Eristekerros | 0 | 33 | 100 | 100 | 33,2 |
| Jakava kerros | 0,2 | 33 | 200 | 100 | 33,2 |
| Jakava kerros | 0,2 | 69 | 200 | 199 | 69,4 |
| Jakava kerros | 0 | 110 | 600 | 200 | 109,9 |
| Jakava kerros | 0 | 110 | 600 | 600 | 109,9 |
| Jakava kerros | 0 | 110 | 600 | 600 | 109,9 |
| Jakava kerros | 0 | 110 | 600 | 600 | 109,9 |
| Jakava kerros | 0 | 110 | 600 | 600 | 109,9 |
| Kantava kerros | 0,25 | 110 | 280 | 600 | 109,9 |
| Kantava kerros | 0,05 | 179 | 280 | 280 | 178,8 |
| Kantava kerros | 0 | 184 | 280 | 280 | 184,1 |
| Päällysteet yht. | 0,1 | 184 | 2500 | 280 | 184,1 |
| Päällyste varaus | 0,05 | 314 | 2500 | | 313,9 |
| Rakenne yht. | 1,10 | | | | 363,0 |

Taulukossa 4 on esitetty **Kurkitien** laskennallinen **kantavuus** toteutuneilla rakennekerroksilla. Laskelmat on tehty Odemarkin kaavalla. Kurkitien mitoituksessa käytetyt tiedot näkyvät liitteen 5 poikkileikkauskuvasta.

TAULUKKO 4. Kurkitien kantavuuden mitoitus

| Mitoitettava tie = | | Kurkitie, Liminka | | | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
| Pohjamaan kelpoisuusluokka= | U1 | tasalaat | | | |
| Routanousu mm = | 163,2 | | | | |
| Siirtymäkiilasyvyys (m) = | 1,9 | | | | |
| turpoamaprosentti (%) = | 16 | | | | |
| | Kerroksen paksuus m | E-a MN/m ² | E-moduuli MN/m ² | E-max MN/m ² | Kantavuus kerroksen päältä MN/m ² |
| Pohjamaa | | 20 | | | |
| Suodatinkerros | 0,15 | 20 | 50 | | |
| Suodatinkerros | 0 | 27 | 50 | 50 | 27,1 |
| Suodatinkerros | 0 | 27 | 50 | 50 | 27,1 |
| Suodatinkerros | 0 | 27 | 50 | 50 | 27,1 |
| Suodatinkerros | 0 | 27 | 50 | 50 | 27,1 |
| Suodatinkerros | 0 | 27 | 50 | 50 | 27,1 |
| Eristekerros | 0 | 27 | 100 | 50 | 27,1 |
| Eristekerros | 0 | 27 | 100 | 100 | 27,1 |
| Eristekerros | 0 | 27 | 100 | 100 | 27,1 |
| Eristekerros | 0 | 27 | 100 | 100 | 27,1 |
| Jakava kerros | 0,2 | 27 | 600 | 100 | 27,1 |
| Jakava kerros | 0,2 | 57 | 600 | 163 | 56,6 |
| Jakava kerros | 0,1 | 118 | 600 | 340 | 118,3 |
| Jakava kerros | 0 | 163 | 600 | 600 | 162,9 |
| Jakava kerros | 0 | 163 | 600 | 600 | 162,9 |
| Jakava kerros | 0 | 163 | 600 | 600 | 162,9 |
| Jakava kerros | 0 | 163 | 600 | 600 | 162,9 |
| Kantava kerros | 0,15 | 163 | 280 | 600 | 162,9 |
| Kantava kerros | 0,05 | 196 | 280 | 280 | 196,2 |
| Kantava kerros | 0 | 201 | 280 | 280 | 200,8 |
| Päällysteet yht. | 0,05 | 201 | 2500 | 280 | 200,8 |
| Päällyste varaus | 0,05 | 243 | 2500 | | 242,9 |
| Rakenne yht. | 0,90 | | | | 288,0 |

Laskennallisiin kantavuusmittaustuloksiin liittyy epävarmuutta, koska tarkkaa pohjamaan kantavuutta ei ole tiedossa. Pohjaolosuhteet ovat kuitenkin molemmissa kohteissa samat, joten laskelmat ovat keskenään vertailukelpoisia.

Valtatiellä 8 rakennekerrosten kokonaispaksuus on 110 cm ja Kurkitiellä 90 cm. Merkittävin ero teiden välillä on jakavan kerroksen materiaaleissa. Kurkitiellä jakavan kerroksen materiaalina on 50 cm paksu kerros masuunihiekkaa. Valtatiellä 8 on jakavassa kerroksessa 40 cm paksu kerros murskettä, jonka raekoko on 0–90 mm. Kohteille ei ole ilmoitettu tavoitekantavuutta, joka rakennusvaiheessa tulee saavuttaa. Rakenteen tiiveyttä tarkkailtiin levykuormituskokeella tehdyillä tiiveysmittauksilla.

Verrattaessa teiden laskennallisia kantavuuksia huomataan, että Valtatie 8:n kantavuus on pienempi kuin Kurkitiellä. Kantavan kerroksen pinnassa Valtatiellä 8 kantavuutta pitäisi olla 184,1 MN/m² ja Kurkitiellä vastaava lukema on 200,8 MN/m². Tien rakennekerroksissa olevilla eroavaisuuksilla ei siis voida selittää sitä, että Kurkitien painumat olivat suuremmat kuin Valtatiellä 8, koska masuunihiekka rakenteella totutetun Kurkitien laskennallinen kantavuus on suurempi.

Kurkitien suurempi painuma selittyy osaltaan Valtatietä 8 ohuemmalla päällysteen paksuudella. Valtatiellä 8 on kaksi asfalttikerrosta; alla on ABK-päällyste ja pinnassa on AB-päällyste. Päällystekerrosten yhteispaksuus on 10 cm. Kurkitiellä on vain 5 cm paksu kerros AB-päällystettä. Paksu päällyste lisää tien pinnan jäykkyyttä, jolloin painuminen ja tien pinnan muodonmuutokset ovat vähäisempiä.

Tien alusrakenteeseen syntyy helposti pysyviä muodonmuutoksia, jos päällyste on ohut ja alusrakenne on routivaa materiaalia. Päällysteen alapuolella olevien sitomattomien kerrosten pysyvät muodonmuutokset ovat yleensä suuria ohutpäällysteisillä alemman luokan teillä, missä on kapea poikkileikkaus ja ohut päällysrakenne. Liikenteen kuormittaessa kapeilla teillä reunan puoleinen osa materiaalista liikkuu pääasiassa vaakasuunnassa, mikä edesauttaa pysyvien muodonmuutosten kehittymistä päällysteen alapuolisessa rakenteessa. Ohuen päällysteen takia liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset ovat suuria varsinkin ylimmässä sitomattomassa kerroksessa, mikä myös lisää pysyviä

muodonmuutoksia.(Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen. 2006, 11-14.)

Vuonna 1984 tehtyjen pohjatutkimusten mukaan sekä Kurkitiellä että Valtatiellä 8 maan pinnassa olevan 0,2–0,4 m humuskerroksen alla on 1,2–1,7 m paksu kerros savista silttiä. Tämän kerroksen alla on 1,4–3,7 m paksu kerros erittäin löyhää savista silttiä. Tiivis kerros löytyy väliltä -3,9...-9,33. (Työselostus, Valtatien 8 liittymäjärjestelyt Kurkitien kohdalla. 2010.)

Pehmeiköillä tiehen syntyy rakenteen oman painon seurauksena painumia, jotka aiheuttavat tiehen pituussuuntaista epätasaisuutta ja poikkigeometrian muutoksia. Alusrakenteen pysyvät muodonmuutokset aiheuttavat myös pituussuuntaista epätasaisuutta. (Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen. 2006, 9.)

Todellisuudessa kantavuus voi poiketa merkittävästi laskennallisesta kantavuudesta. Tien kantavuus riippuu esimerkiksi tierakenteeseen käytettyjen materiaalien laadusta ja siitä, kuinka hyvin rakenne on tiivistetty. Joillakin seuduilla kalliosta louhittu murske saattaa olla niin huokoista ja helposti särkyvää, että se murtuu tiivistämisen aikana, jolloin murskeen vaadittu raekoko pienenee ja kantavuus heikkenee. Kiviaineksen rakeiden murenemisen ja rikkoutumisen seurauksena materiaalin hienoainespitoisuus lisääntyy. Kiviaineksen lujuuden merkitys korostuu tierakenteen ylimmissä kerroksissa, missä liikennekuormituksen aiheuttama rasitus on suurin. Tierakenteen kantavuuteen vaikuttaa myös se, kuinka huolella eri rakennekerrosten vaaditut kerrospaksuudet on tehty. (Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen. 2006, 16-19.)

Aleksanterinkadulle ei pystytty laskemaan tien laskennallista kantavuutta, koska rakennekerrosten paksuudet vaihtelivat suuresti lyhyelläkin matkalla eikä pohjamaan laadusta ollut käytettävissä luotettavaa tietoa. Aleksanterinkadulle kaivetut kuopat täytettiin vanhoilla tierakenteesta kaivetuilla maa-aineksilla.

6 PAINUMIEN ENNALTA EHKÄISEMINEN

Yksinkertaisin keino painumien ehkäisemiseksi on asettaa tielle painorajoitus tai kieltää raskailla ajoneuvoilla ajo. Painorajoitus voi olla voimassa aina tai se voidaan asettaa esimerkiksi keväällä lumien sulaessa, jolloin tien kantavuus on heikko.

Työn aikaisilta painumilta voidaan välttyä, jos rakennustyömaan ohitse rakennetaan kiertotie tai liikenne ohjataan vaihtoehtoisille reiteille. Aleksanterinkadulla liikenne ohjattiin ajoittain kiertämään viereisen Rantakadun kautta. Tämä saattoi osaltaan vaikuttaa siihen, ettei Aleksanterinkadulla tapahtunut painumista.

Limingassa kiertotiejärjestelyt eivät olisi onnistuneet, koska alueen paikallisten kokoojakatujen liikenteellinen välityskyky ei olisi riittänyt Valtatie 8:n suurten liikennemäärien tarpeisiin. Lähialueen asukkaiden viihtyisyys ja turvallisuus olisi häiriintynyt, jos valtatie liikenne olisi ohjattu pienemmille teille. Työmaalle ei voitu rakentaa uutta kiertotietä, koska se olisi tullut kalliiksi.

Mittausten mukaan painuma oli suurinta siellä, missä kaivanto oli auki pisimpään. Painuma olisi ollut vähäisempää, jos maaleikkaus pystytään täyttämään mahdollisimman nopeasti. Tällöin kaivannon reuna ei ehdi sortua liikenteen aiheuttaman tärinän vaikutuksesta. Myös rankkasateen aiheuttama sortumavaara on sitä pienempi mitä nopeammin kaivanto täytetään.

Painuma oli suurinta kaivannon reunalla. Painumista voidaan vähentää, kun työmaan ohi menevää liikennettä ei ohjata lähelle kaivannon reunaa. Kaikkialla tämä ei välttämättä onnistu, jos nykyinen ajorata on kapea ja liikenteen täytyy päästä kulkemaan molempiin suuntiin yhtä aikaa.

Tien rakennusvaiheessa pitää huolehtia riittävästä tiivistämisestä. Kiinnitetään huomiota oikeaan tiivistämismenetelmään. Laajoilla alueilla kannattaa ensin tehdä koekenttä, missä tutkitaan maan tiivistymistä ja vaadittavien

tiivistyskertojen lukumäärä. Kastelulla saavutetaan parempi tiiviys. Lopulta mitataan rakenteen tiiviyssaste esimerkiksi Troxler-mittalaitteella tai levykuormituskokeella. Täytyy muistaa, että liian paksuja rakennekerroksia ei saa tiivistää kerralla, vaan tiivistetään enintään 30 cm paksuja kerroksia yhdellä kerralla.

Maaleikkausta tehtäessä tien reunan painumista voidaan vähentää tekemällä kaivannon luiskasta mahdollisimman loiva, jolloin luiskan vakavuus sortumista vastaan on suurempi. Kaikkialla loivan luiskan tekeminen ei onnistu, koska vanhat maa-ainekset täytyy kaivaa pois uuden rakenteen tieltä.

Rakennettaessa huonosti kantavan pohjamaan varaan tulee maarakenteen vahvistustavat suunnitella siten, että painumat pysyvät sallituissa rajoissa. Perustamistapaa valittaessa tutkitaan eri vaihtoehtoisten ratkaisujen teknillinen ja taloudellinen toteutuskelpoisuus. Korkeampia rakennuskustannuksia joudutaan usein vertaamaan painumista aiheutuviin liikennehaittoihin ja korjauskustannuksiin.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tierakenteen painumia tietyön aikana. Tarkoitus oli myös selvittää, vaikuttavatko tien rakenne ja liikenteen määrä tien painumiseen. Tierakenteen painumat mitattiin ennen työmaan aloitusta ja työn valmistuttua. Mittaustuloksia verrattiin kohteen liikennemääriin, tien rakennetyyppiin ja työn aikaisiin järjestelyihin. Opinnäytetyössä perehdyttiin myös painumien korjaamiseen esittelemällä erityyppisiä korjausmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta erilaisiin käyttökohteisiin.

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että tien rakennetyyppi ja pohjaolosuhteet vaikuttavat liikennemääriä enemmän tien painumiseen. Vilkkaasti liikennöidyllä tieosuudella liikenne nopeuttaa tierakenteen painumista varsinkin, jos tien pohjamaa on heikosti kantavaa savea tai silttiä. Tierakenteen painuminen lisääntyy, jos tie on kapea ja jyrkkäluiskainen. Raskasliikenne lisää myös tien painumista. Limingassa sijaitseva Kurkitie on tästä hyvä esimerkki. Se on kapea tie, joka on tehty heikosti kantavan savikerroksen päälle. Työmaan aikana Kurkitiellä liikkui runsaasti raskaita ajoneuvoja, jotka rasittivat tierakennetta. Tien painumista edesauttoivat myös jyrkät ojan luiskat. Kaikkien näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta painuminen oli Kurkitiellä tutkimuskohteista suurinta.

Muilla tutkimuskohteilla painuminen oli vähäisempää. Valtatiellä 8 painumien suuruus oli Kurkitietä pienempää, vaikka liikennemäärät ovat moninkertaiset. Valtatie 8 on leveämpi ja siinä on loivemmat ojan luiskat, mikä parantaa tien reunaosien kantavuutta.

Aleksanterinkadulla tierakenteen painumaa ei tapahtunut lainkaan. Kohteesta ei saatu pohjatutkimusaineistoa, joten pohjaolosuhteita oli vaikea verrata muihin tutkimuskohteisiin. Raskaan liikenteen vaikutusta Aleksanterinkadun painumiin on myös vaikea arvioida, koska raskaan liikenteen määrää Aleksanterinkadun vuorokausiliikenteestä ei ole eroteltu muun ajoneuvoliikenteen määrästä.

Havaintojen mukaan tyypillisiä työaikana syntyviä tierakenteen vaurioita ovat pienet päällysteen painumat ja murtumat. Nämä voidaan välttää huolellisella työmaan työnsuunnittelulla, jotta työkoneiden ei tarvitse tarpeettomasti liikkua vanhalla päällysteellä.

Työnaikaisia tierakenteen painumia tulisi tutkia pidemmällä aikavälillä. Viimeiset painumamittaukset pitäisi tehdä esimerkiksi vuoden päästä työmaan valmistumisesta, jotta nähdään, onko tierakenteen painuminen jatkuvaa vai onko painuminen pysähtynyt. Ennen työmaan aloittamista olisi hyvä kartoittaa tien sen hetkinen kunto ja mahdolliset vauriot. Tietoja voitaisiin verrata urakan valmistuttua tierakenteen nykytilanteeseen.

Painumien mittausta varten ei ole olemassa yksinkertaista laitetta tai seurantaohjelmaa, jolla voidaan tarkkailla tien painumia työmaaolosuhteissa. Menetelmän tulisi olla sellainen, että sillä voidaan tutkia rakennekerrosten ja päällysteen painumia. Tähän opinnäytetyöhön liittyvät mittaukset tehtiin tasolaserilla, mutta sen tarkkuus ei välttämättä riitä kaikissa tapauksissa. Maatutkalla pystytään tutkimaan tien pinnan ja rakennekerrosten painumia tarkasti, mutta kustannussyistä sen käyttö työn aikaisten painumien selvittämiseksi on vähäistä. Päällystystyön laatu ja pinnan tasaisuus voidaan varmistaa PTM:llä, eli palvelutasomittauksella, mutta sillä ei voida tutkia tierakenteessa tapahtuvaa painumista.

Tierakenteen painumisesta aiheutuviin kustannusvaikutuksiin ei tässä opinnäytetyössä kiinnitetty huomiota. Painumien kustannusvaikutusten vertailu olisi tulevaisuudessa hyödyllinen tutkimusaihe, koska eri korjausmenetelmien välisten kustannusten suuruus voi olla merkittävä.

LÄHTEET

Destia Oy:n verkkosivut. Saatavissa: <http://www.destia.fi/>. Hakupäivä 26.10.2010.

Ehrola, Esko 2006. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Tampere: Rakennustieto Oy.

Hintsala, Jouko 2010. Projektipäällikkö, Liidea OY. Opinnäytetyöhön liittyvä haastattelu 27.9.2010.

InfraRYL. 2006. Osa 1, Väylät ja alueet. Tampere: Rakennustieto Oy.

Jääskeläinen, Raimo 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Jyväskylä: Tammertekniikka.

Kanerva-Lehto, Heli 2009. Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa. Helsinki: Edita Prima OY. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201134-v-terasverkkojen_kaytto.pdf. Hakupäivä 28.10.2010.

Kujala, Kauko 2009. Pohjarakennuksen perusteet 4op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Liikennemääräkartta. 2008. Oulun tiepiiri. Saatavissa: <http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/24066.PDF>, <http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/24072.PDF>. Hakupäivä 20.9.2010.

RIL 156-1995. Maarakennus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RIL 165-2006. Liikenne ja väylät. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Sipilä, Terttu 2009. Katutekniikka 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Tietoa tiensuunnitteluun nro 73. 2004. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ttiens/tts73.pdf>. Hakupäivä 13.10.2010.

Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen. 2006. Oulu: Oulun yliopisto. Saatavissa: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514280520/isbn9514280520.pdf>
Hakupäivä 10.10.2010.

Tikka, Raimo 2007. Rakennusmittausten perusteet 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2007. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Rakenteen parantamisen suunnittelu. 2005. Helsinki: Edita Prima Oy.
Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100035-v-05rakentparantsuun.pdf>.
Hakupäivä 17.9.2010.

LIITTEET

Liite 1. Valtatie 8:n mittaustulokset

Liite 2. Kurkitien mittaustulokset

Liite 3. Aleksanterinkadun mittaustulokset

Liite 4. Valtatie 8:n tyyppipoikkileikkaus

Liite 5. Kurkitien tyyppipoikkileikkaus

Liite 6. Aleksanterinkadun suunnitelmakartta

| Vt. 8 piennar Pohjoiseen | | | |
|--------------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 47465 | 4,8 | 4,795 | 0,5 |
| 47470 | 4,81 | 4,805 | 0,5 |
| 47475 | 4,805 | 4,805 | 0 |
| 47480 | 4,83 | 4,82 | 1 |
| 47485 | 4,835 | 4,825 | 1 |
| 47490 | 4,81 | 4,79 | 2 |
| 47495 | 4,795 | 4,78 | 1,5 |
| 47500 | 4,79 | 4,78 | 1 |
| 47505 | 4,82 | 4,805 | 1,5 |
| 47510 | 4,83 | 4,82 | 1 |
| 47515 | 4,855 | 4,845 | 1 |
| 47520 | 4,845 | 4,825 | 2 |
| 47525 | 4,835 | 4,835 | 0 |
| 47530 | 4,835 | 4,835 | 0 |
| 47535 | 4,83 | 4,83 | 0 |
| 47540 | 4,815 | 4,815 | 0 |
| 47545 | 4,82 | 4,815 | 0,5 |
| 47550 | 4,815 | 4,81 | 0,5 |
| 47555 | 4,825 | 4,825 | 0 |
| 47560 | 4,83 | 4,815 | 1,5 |
| 47565 | 4,825 | 4,825 | 0 |
| 47570 | 4,805 | 4,81 | 0,5 |
| 47575 | 4,81 | 4,8 | 1 |
| 47580 | 4,805 | 4,79 | 1,5 |
| 47585 | 4,8 | 4,795 | 0,5 |
| 47590 | 4,785 | 4,78 | 0,5 |

| Vt. 8 piennar Etelään | | | |
|-----------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 47465 | 4,95 | 4,925 | 2,5 |
| 47470 | 4,95 | 4,93 | 2 |
| 47475 | 4,93 | 4,925 | 0,5 |
| 47480 | 4,905 | 4,89 | 1,5 |
| 47485 | 4,89 | 4,88 | 1 |
| 47490 | 4,87 | 4,855 | 1,5 |
| 47495 | 4,87 | 4,85 | 2 |
| 47500 | 4,875 | 4,86 | 1,5 |
| 47505 | 4,865 | 4,845 | 2 |
| 47510 | 4,845 | 4,82 | 2,5 |
| 47515 | 4,845 | 4,805 | 4 |
| 47520 | 4,855 | 4,825 | 3 |
| 47525 | 4,875 | 4,855 | 2 |
| 47530 | 4,89 | 4,86 | 3 |
| 47535 | 4,925 | 4,88 | 4,5 |
| 47540 | 4,905 | 4,88 | 2,5 |
| 47545 | 4,865 | 4,835 | 3 |
| 47550 | 4,825 | 4,825 | 0 |
| 47555 | 4,83 | 4,82 | 1 |
| 47560 | 4,825 | 4,805 | 2 |
| 47565 | 4,81 | 4,795 | 1,5 |
| 47570 | 4,8 | 4,79 | 1 |
| 47575 | 4,795 | 4,79 | 0,5 |
| 47580 | 4,795 | 4,775 | 2 |
| 47585 | 4,79 | 4,78 | 1 |
| 47590 | 4,78 | 4,77 | 1 |
| 47595 | 4,77 | 4,77 | 0 |
| 47600 | 4,75 | 4,74 | 1 |

| | Ajorata etelään | | |
|-------|-----------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 47470 | 4,88 | 4,88 | 0 |
| 47480 | 4,89 | 4,885 | 0,5 |
| 47490 | 4,9 | 4,9 | 0 |
| 47500 | 4,89 | 4,88 | 1 |
| 47510 | 4,88 | 4,88 | 0 |
| 47520 | 4,88 | 4,87 | 1 |
| 47530 | 4,87 | 4,865 | 0,5 |
| 47540 | 4,845 | 4,845 | 0 |
| 47550 | 4,825 | 4,82 | 0,5 |
| 47560 | 4,825 | 4,82 | 0,5 |
| 47570 | 4,82 | 4,82 | 0 |
| 47580 | 4,825 | 4,825 | 0 |
| 47590 | 4,81 | 4,805 | 0,5 |
| 47600 | 4,795 | 4,79 | 0,5 |

| | Ajorata pohjoiseen | | |
|-------|--------------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 47470 | 4,965 | 4,96 | 0,5 |
| 47480 | 4,95 | 4,95 | 0 |
| 47490 | 4,925 | 4,92 | 0,5 |
| 47500 | 4,905 | 4,9 | 0,5 |
| 47510 | 4,88 | 4,875 | 0,5 |
| 47520 | 4,88 | 4,87 | 1 |
| 47530 | 4,895 | 4,89 | 0,5 |
| 47540 | 4,89 | 4,89 | 0 |
| 47550 | 4,87 | 4,87 | 0 |
| 47560 | 4,85 | 4,85 | 0 |
| 47570 | 4,82 | 4,815 | 0,5 |
| 47580 | 4,81 | 4,81 | 0 |
| 47590 | 4,81 | 4,8 | 1 |
| 47600 | 4,79 | 4,785 | 0,5 |

| paalu | Keskellä tietä | | |
|-------|----------------|---------|--------------|
| | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 47470 | 5,025 | 5,02 | 0,5 |
| 47480 | 5,02 | 0,02 | 0 |
| 47490 | 5,015 | 5,015 | 0 |
| 47500 | 5 | 4,99 | 1 |
| 47510 | 4,98 | 4,975 | 0,5 |
| 47520 | 4,97 | 4,97 | 0 |
| 47530 | 4,96 | 4,96 | 0 |
| 47540 | 4,95 | 4,945 | 0,5 |
| 47550 | 4,935 | 4,93 | 0,5 |
| 47560 | 4,925 | 4,925 | 0 |
| 47570 | 4,915 | 4,91 | 0,5 |
| 47580 | 4,89 | 4,89 | 0 |
| 47590 | 4,89 | 4,88 | 1 |
| 47600 | 4,88 | 4,87 | 1 |

| piennar, Oulun puoli | | | |
|----------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 40 | 4,33 | 4,32 | 1 |
| 45 | 4,285 | 4,255 | 3 |
| 50 | 4,26 | 4,245 | 1,5 |
| 55 | 4,245 | 4,215 | 3 |
| 60 | 4,225 | 4,2 | 2,5 |
| 65 | 4,235 | 4,21 | 2,5 |
| 70 | 4,24 | 4,215 | 2,5 |
| 75 | 4,25 | 4,215 | 3,5 |
| 80 | 4,25 | 4,22 | 3 |
| 85 | 4,255 | 4,24 | 1,5 |
| 90 | 4,27 | 4,26 | 1 |
| 95 | 4,31 | 4,295 | 1,5 |
| 100 | 4,34 | 4,32 | 2 |
| 105 | 4,35 | 4,35 | 0 |
| 110 | 4,355 | 4,365 | 1 |
| 115 | 4,36 | 4,375 | 1,5 |
| 120 | 4,375 | 4,37 | 0,5 |
| 125 | 4,38 | 4,375 | 0,5 |
| 130 | 4,38 | 4,375 | 0,5 |

| piennar, Liminganportin puoli | | | |
|-------------------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 40 | 4,295 | 4,24 | 5,5 |
| 45 | 4,235 | 4,21 | 2,5 |
| 50 | 4,21 | 4,17 | 4 |
| 55 | 4,2 | 4,18 | 2 |
| 60 | 4,205 | 4,195 | 1 |
| 65 | 4,235 | 4,22 | 1,5 |
| 70 | 4,235 | 4,22 | 1,5 |
| 75 | 4,26 | 4,255 | 0,5 |
| 80 | 4,28 | 4,27 | 1 |
| 85 | 4,295 | 4,265 | 3 |
| 90 | 4,315 | 4,295 | 2 |
| 95 | 4,355 | 4,33 | 2,5 |
| 100 | 4,38 | 4,36 | 2 |

| ajorata Liminkaan | | | |
|-------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 40 | 4,41 | 4,4 | 1 |
| 45 | 4,37 | 4,37 | 0 |
| 50 | 4,335 | 4,36 | 0,5 |
| 55 | 4,32 | 4,32 | 0 |
| 60 | 4,34 | 4,33 | 1 |
| 65 | 4,33 | 4,325 | 0,5 |
| 70 | 4,34 | 4,34 | 0 |
| 75 | 4,36 | 4,355 | 0,5 |
| 80 | 4,365 | 4,365 | 0 |
| 85 | 4,385 | 4,39 | 0,5 |
| 90 | 4,4 | 4,4 | 0 |
| 95 | 4,415 | 4,41 | 0,5 |
| 100 | 4,43 | 4,425 | 0,5 |
| 105 | 4,45 | 4,445 | 0,5 |
| 110 | 4,45 | 4,45 | 0 |

| ajorata Ouluun | | | |
|----------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 40 | 4,39 | 4,385 | 0,5 |
| 45 | 4,37 | 4,355 | 1,5 |
| 50 | 4,365 | 4,355 | 1 |
| 55 | 4,34 | 4,345 | 0 |
| 60 | 4,34 | 4,335 | 0,5 |
| 65 | 4,335 | 4,33 | 0,5 |
| 70 | 4,37 | 4,37 | 0 |
| 75 | 4,37 | 4,38 | 0 |
| 80 | 4,41 | 4,4 | 1 |
| 85 | 4,42 | 4,415 | 0,5 |
| 90 | 4,435 | 4,42 | 1,5 |
| 95 | 4,43 | 4,42 | 1 |
| 100 | 4,415 | 4,41 | 0,5 |
| 105 | 4,42 | 4,415 | 0,5 |
| 110 | 4,42 | 4,42 | 0 |

| Kurkitie, keskellä tietä | | | |
|--------------------------|-------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 40 | 4,58 | 4,58 | 0 |
| 45 | 4,56 | 4,555 | 0,5 |
| 50 | 4,555 | 4,545 | 1 |
| 55 | 4,55 | 4,55 | 0 |
| 60 | 4,525 | 4,52 | 0,5 |
| 65 | 4,515 | 4,5 | 1,5 |
| 70 | 4,525 | 4,515 | 1 |
| 75 | 4,525 | 4,51 | 1,5 |
| 80 | 4,55 | 4,535 | 1,5 |
| 85 | 4,57 | 4,56 | 1 |
| 90 | 4,575 | 4,565 | 1 |
| 95 | 4,595 | 4,56 | 0,5 |
| 100 | 4,605 | 4,595 | 1 |

Aleksanterinkadun ja Kiilankadun liittymä

| | Kaivannon reuna | | |
|-------|-----------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 0 | 2.490 | 2.480 | 1 |
| 2 | 2.460 | 2.460 | 0 |
| 4 | 2.465 | 2.460 | 0,5 |
| 6 | 2.460 | 2.460 | 0 |
| 8 | 2.460 | 2.450 | 1 |
| 10 | 2.490 | 2.475 | 1,5 |
| 12 | 2.505 | 2.495 | 1 |

| | Tien keskeltä | | |
|-------|---------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 0 | 2.480 | 2.475 | 0,5 |
| 2 | 2.465 | 2.470 | 0 |
| 4 | 2.460 | 2.470 | 0 |
| 6 | 2.455 | 2.450 | 0,5 |
| 8 | 2.430 | 2.435 | 0 |
| 10 | 2.450 | 2.450 | 0 |
| 12 | 2.470 | 2.460 | 1 |

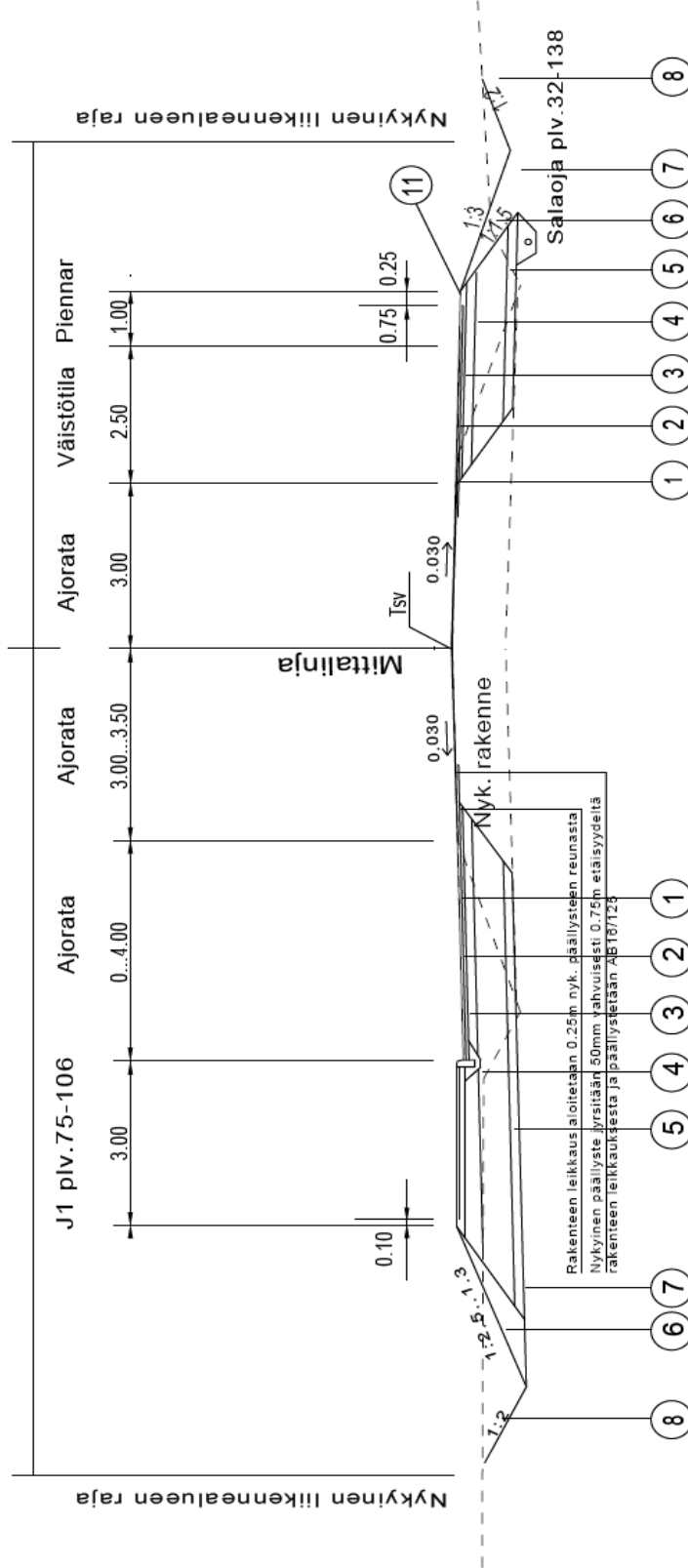
Aleksanterinkadun ja Limingankadun liittymä

| | Kaivannon reuna | | |
|-------|-----------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 0 | 2.745 | 2.735 | 1 |
| 2 | 2.735 | 2.730 | 0,5 |
| 4 | 2.725 | 2.720 | 0,5 |
| 6 | 2.715 | 2.720 | 0 |
| 8 | 2.735 | 2.730 | 0,5 |
| 10 | 2.745 | 2.750 | 0 |

| | Tien keskeltä | | |
|-------|---------------|---------|--------------|
| paalu | ennen | jälkeen | painuma (cm) |
| 0 | 2.725 | 2.720 | 0,5 |
| 2 | 2.705 | 2.710 | 0 |
| 4 | 2.690 | 2.690 | 0 |
| 6 | 2.705 | 2.700 | 0,5 |
| 8 | 2.715 | 2.715 | 0 |
| 10 | 2.715 | 2.720 | 0 |

KURKITIE (MAANTIE 19628) 7/6

Vasemmalle kääntyvän kaistan kohdalla Väistötien kohdalla



| | | | |
|--|-------------|--------------------------|--------|
| 1. Päällyste | AB 16/125 | E=2500 MN/m ² | 50 mm |
| 2. Profiilointi | SrM 0-32 mm | E=280 MN/m ² | 50 mm |
| 3. Kantava | SrM 0-56 mm | E=280 MN/m ² | 150 mm |
| 4. Jakava | KuHk | E=600MN/m ² | 500 mm |
| 5. Suodatin | Hk | E=50MN/m ² | 150 mm |
| 6. Luiskatäyttö | | | |
| 7. Suodatinkangas | | | |
| 8. Nurmetus | II-luokka | | |
| 9. Betoninen reunakivi | Upotettava | Tb | 12/120 |
| 10. Kenttä/betonikiveys ympäristösuunnitelman mukaan | | | |
| 11. Piennartäyte | SrM 0-20 mm | | |

Rakenteen leikkaus ajoitetaan 0.25m nyky. päällysteen reunasta
Nykyinen päällyste jyrkistään 50mm vahvuisesti 0.75m etäisyydeltä
rakenteen leikkauksesta ja päällystetään AB16/125

