



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

TIEN KUIVATUS JA ROUDAN VAIKUTUS SEN TOIMIVUUTEEN

Johanna Sirviö

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Helmikuu 2018



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Tien kuivatus ja roudan vaikutus sen toimivuuteen

Johanna Sirviö

Ohjaaja: Heini Postila

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Helmikuu 2018

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala	
Tekijä Sirviö, Johanna		Työn ohjaaja yliopistolla Postila, Heini	
Työn nimi Tien kuivatus ja roudan vaikutus sen toimivuuteen			
Opintosuunta	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Helmikuu 2018	Sivumäärä 31
Tiivistelmä <p>Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan tien kuivatusta ja roudan vaikutusta kuivatukseen. Lisäksi työssä perehdytään syvemmin tien rakenteeseen. Työn tavoitteena on selvittää millä tavoin tierakennetta kuivatetaan ja vaikuttaako routa kuivatukseen. Työ tehtiin kirjallisuusselvityksenä.</p> <p>Tietä pyritään kuivaamaan ohjaamalla valuma-, sulamis- ja pintavesiä pois tierakenteesta ojilla ja oikealla tienmitoituksella. Sijoittamalla suodatinkerros routakerroksen alle, saadaan katkaistua veden nousu pohjamaasta eristeeseen. Kuivatusta voidaan tehdä myös rumpujen ja sadevesiviemäreiden avulla.</p> <p>Routa vaikuttaa kuivatukseen erityisesti sulamisvaiheessa. Jos roudan sulamisvesien poistumisesta ei huolehdita, vesi jää vielä sulamattoman roudan päälle muodostaen vesialtaan. Tällöin pohjamaa pysyy veden kyllästämänä ja tien kantavuus alenee. Routa voi myös vaurioittaa rumpuja, jolloin vettä pääsee tierakenteeseen.</p>			
Muita tietoja			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme Environmental engineering		Major Subject	
Author Sirviö, Johanna		Thesis Supervisor Postila, Heini	
Title of Thesis Drying the road and the effect of the frost on its functionality			
Major Subject	Type of Thesis Bachelor's work	Submission Date February 2018	Number of Pages 31
<p>Abstract</p> <p>This bachelor's thesis examines the drying of the road and the effect of frost on drying. The work also takes a closer look at the structure of the road. The aim of the thesis is to find out how the road structure will dry and does the frost effect on drying. The work was done as literature review.</p> <p>The road is dried by controlling leachate, melt water and surface water from the road structure through ditches and right road design. By placing the filter layer under the frost layer, it is possible to cut off the water from the bottom to insulator. Drying can also be done by drums and drains for rainwater.</p> <p>Frost affects the drying process especially in the melting place. If there is no escape from the melting water of the frost, the water remains on unmistakable frost to form the water pool. In this case, the basin will remain saturated with water and the bearing capacity of the road will be reduced. Frost can also damage drums, allowing water to reach the road structure.</p>			
Additional Information			

ALKUSANAT

Haluan kiittää Aleksii Hurstia ideasta alkaa tekemään kandidaatintyötä toisena opiskeluvuotena. Ilman hänen ehdotustaan en olisi todennäköisesti tehnyt tätä tässä vaiheessa. Kiitokset omaopettajalleni Lea-Juhani Meriölle, joka ohjasi minua oikeaan suuntaan kysyessäni mahdollisuudesta tehdä kandidaatintyö. Loistavaa ohjausta työhöni olen saanut Heini Postilalta.

Oulussa 30.1.2018

Johanna Sirviö

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	6
2 Tien rakenne.....	7
2.1 Tien suunnittelu.....	7
2.2 Tien kerrokset.....	9
2.3 Tien tekeminen.....	11
3 Tien kuivatus.....	14
3.1 Kuivatuksen perusteet.....	14
3.2 Vesi tierakenteissa.....	15
3.2.1 Tien pinnalle jäävä vesi.....	15
3.2.2 Sivojissa ja rakennekerroksissa vapaana tai padottuneena oleva vesi.....	15
3.2.3 Veden kapillaarinen nousu.....	16
3.2.4 Vesihöyryn kulkeutuminen ja tiivistyminen.....	17
3.3 Kuivatustoimenpiteet.....	17
3.3.1 Valumavesien ja pintavesien ohjaus.....	17
3.3.2 Sulamisvesien ohjaus.....	18
3.3.3 Pohjavesivirtauksen hallinta.....	18
3.3.4 Kapillaarivesi ja vesihöyry.....	19
3.3.5 Rummut.....	20
3.3.6 Sadevesiviemärit.....	20
4 Routa.....	22
4.1 Perustietoa roudasta.....	22
4.2 Routanousujen aiheuttamat halkeamat.....	23
5 Roudan vaikutus tien kuivatukseen.....	25
Lähdeluettelo.....	29

1 JOHDANTO

Tien kuivatuksella pyritään poistamaan liikenteelle tai tien rakenteelle haitallinen vesi (Metsäteho Oy 2001, s. 16). Kuivausjärjestelyillä pyritään estämään valumavesien pääsy rakenteisiin, pinta- ja pohjavesien nousu haitallisen korkealle, routivan pohjamaan epätasainen ja suunnittelematon kastuminen ja vesihöyryn siirtyminen. Kuormituskestävyyden kannalta hieman kostea routimaton rakennusmateriaali on parempi kuin täysin kuiva materiaali. (Tammirinne 2002, s. 67) Vesi tulee poistaa tien pinnalta, sivuojista ja rakennekerroksista sekä estää kapillaariveden ja vesihöyryn nouseminen (Rantanen ym 2005, s. 12, 13 ja 14).

Routaantuminen tarkoittaa tierakenteessa ja pohjamaassa olevan veden routaantumista. Routuminen sen sijaan tarkoittaa tilavuuden kasvamista routaantuneessa tierakenteessa ja pohjamaassa. Routiviin kerrokseen voi muodostua talvella jäälinsejä, jos pohjamaassa on riittävästi vettä eikä sellaisia kerroksia, jotka estäisivät veden kapillaarisen nousun. Tien pinta voi kohota epätasaisesti jäälinssien vaikutuksesta. Erityisesti rinne- ja maastot ovat alttiita epätasaiselle routanousulle, jos vettä kulkeutuu tierakenteen alla olevaan pohjamaahan routaantumissyvyyden alapuolella. (Liikennevirasto 2014, s. 13)

Työn tavoitteena on tutkia erilaisia keinoja tien kuivatukseen. Tien kuivatusmahdollisuuksien taustaksi työssä on käyty läpi tien rakennetta. Työssä selvitetään myös mitä routa on, ja mitkä ovat sen vaikutukset routaan. Työ suoritetaan kirjallisuuskatsauksena.

2 TIEN RAKENNE

2.1 Tien suunnittelu

Tiesuunnitelma on laadittava ja hyväksyttävä ennen maantien rakentamista. Jos kyseessä on maantien parannus, jossa ei tehdä merkittäviä muutoksia, kuten oteta lisäaluetta käyttöön, ei tiesuunnitelman tekeminen ole tarpeellista. Maantielain 21 § mukaan tiesuunnitelmaa ei myöskään tarvita silloin, jos kiinteistön omistaja tai omistajaan verrattavissa oleva henkilö on antanut kirjallisen suostumuksen lisäalueen ottamiseen. Tiesuunnitelmassa täytyy osoittaa tien sijainti ja korkeus sekä poikkileikkaus siten, että tiealue pystytään merkitsemään maastoon. Suunnitelmassa tulee olla arvio tien vaikutuksista sekä siinä on selitettävä, miten poistetaan tai estetään tiestä mahdollisesti aiheutuvat haittatekijät. (MTL 2005, 22 §) Suunnitelmassa täytyy olla tarkalleen määritettyinä tien sijainti ja muut yksityiskohtat kuten melusuojaus ja muut kulkuyhteydet. (Liikennevirasto ja ELY-keskus 2010)

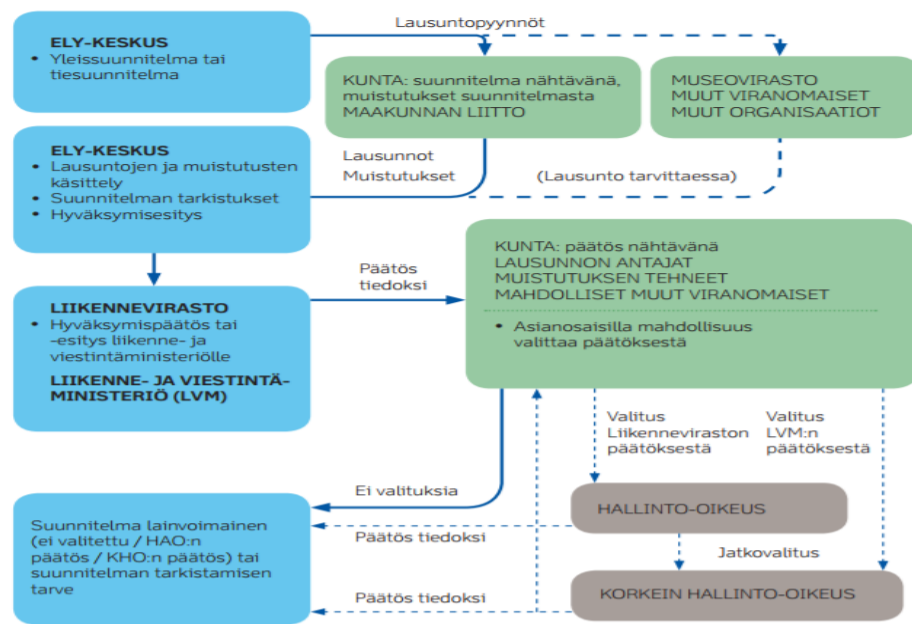
Tien suunnittelussa on neljä eri vaihetta: esiselvitys, yleis-, tie- ja rakennussuunnitteluvaiheet. Uusia teitä tai nykyisten teiden parantamista suunniteltaessa on huomioitava maankäyttö- ja rakennuslain mukainen kaava. Maankäyttö ja tiensuunnittelu ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa. Esiselvitysvaiheessa kartoitetaan tiehankkeiden tarvetta ja ajoitusta maakuntakaavan ja yleiskaavan tarkkuudella. Yleissuunnitteluvaiheessa määritetään tien likimääräinen sijainti ja tilantarve sekä suhde ympäröivään maankäyttöön. Se vastaa yleiskaava- tai asemakaavatasoista maankäytön suunnittelua. Tiesuunnittelu on yksityiskohtaista suunnittelua. Se vastaa asemakaavan tarkkuutta. Hankkeen toteuttaminen on rakennussuunnittelua, ja se tehdään rakentamisen yhteydessä. (Liikennevirasto 2010, s. 7)

Esiselvitysten sisältö vaihtelee hankkeen mukaan. Tyypillisimpiä esiselvityksiä ovat kehittämis-, tarve- ja toimenpideselvitys. Esiselvitysvaiheessa selvitetään liikkumistarpeiden ja liikenneolosuhteiden muutokset ja suunnitellaan toimenpiteitä, joilla vastataan liikenneolojen kehittämiseksi vaadittuihin tavoitteisiin. Esiselvityksestä selviää hankkeen tavoitteet, vaihtoehdot, likimääräiset toimenpiteet, alustavat vaikutusarvioinnit ja kustannusennusteet. (Liikennevirasto 2010, s. 9)

Yleissuunnitelmassa selvitetään tien likimääräinen sijainti, ja tien kytkennät nykyiseen sekä tulevaan tiestöön ja maankäyttöön. Yleissuunnitelma havainnollistaa myös tekniset ja liikenteelliset perusratkaisut sekä ympäristöhaittojen torjumisen perusteet. Hanke voidaan sisällyttää lähivuosien toteuttamishjelmiin, kun yleissuunnitelmasta on tehty hyväksymispäätös. Yleissuunnitelman tuloksena esitetään muun muassa liikenne- ja tietekniset perusratkaisut, tieympäristön maisemoinnin ja viheralueiden käsittelyn perusvaiheet, kustannusarvio sekä rakentamisen tavoitteellinen ajoitus ja rakentamisvaiheet. (Liikennevirasto 2010, s. 10)

Tiesuunnitelmassa pyritään ratkaisemaan maanomistajiin ja muihin asianomaisiin välittömästi vaikuttavat tekijät. Tiesuunnitelmasta tehtävän hyväksymispäätöksen myötä tienpitäjä saa oikeudet tietä varten tarvittavan alueen haltuun ottamiseen. Tiesuunnitelman tuloksena muodostetaan tarkka tiealue, yksityiskohtaiset ratkaisut ja kustannusarvio sekä mahdollinen kustannusten jako. Rakennussuunnittelu luodaan tien rakentamisvaiheessa, ja se kattaa rakentamisessa tarvittavien asiakirjojen laatimisen. Pääsääntöisesti urakoitsija tekee rakentamissuunnitelman. Ulkopuoliselle omaisuudelle mahdollisesti aiheutuneista vahingoista maksetaan korvaus, mikäli vahingot tapahtuvat tie- ja rakennussuunnittelun tai rakentamisen aikana. (Liikennevirasto 2010, s. 11)

Suunnitelmia varten tarvitaan useiden tahojen lausuntoja ja kannanottoja. Jos arvioidut vaikutukset ovat merkittäviä tai laajalle kohdentuvia, tulee esiselvitystä varten hankkia lausuntoja. Yleis- ja tiesuunnitelman hallinnollisessa käsittelyssä (kuva 1) tulee noudattaa maantielain ja -asetuksen mukaisia menettelytapoja. (Liikennevirasto 2010, s. 16)

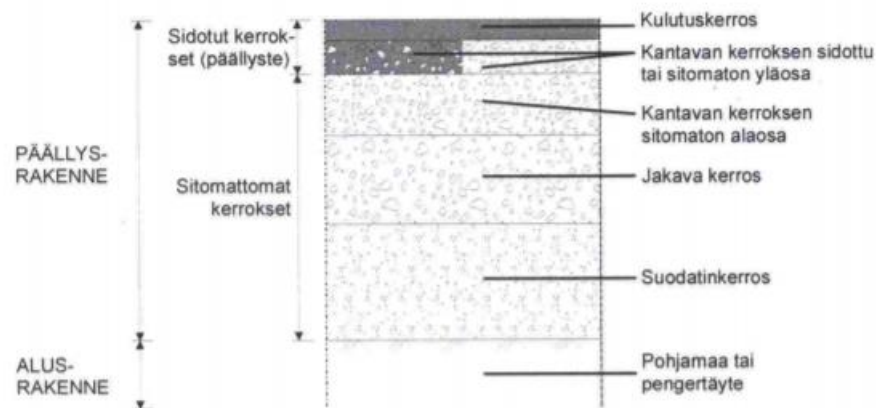


Kuva 1. Yleis- ja tiesuunnitelman hallinnollinen käsittely. (Liikennevirasto 2010, s. 17)

2.2 Tien kerrokset

Tierakenne koostuu alusrakenteesta ja päällysrakenteesta. Alusrakenteen tehtävänä on muodostaa riittävän tasalaatuinen, kantava ja painumaton alusta päällysrakenteelle. Alusrakenteen päälle tulee päällysrakenne. Päällysrakenne ottaa vastaan tien kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle mahdollisimman tasaisesti laajalle alueelle. Päällysrakenteen tehtävänä on lisäksi routanousujen rajoittaminen ja pienentäminen. (Belt ym. 2002, s.11)

Joustava päällysrakenne (kuva 2) on yleinen päällysrakennetyyppi Suomessa. Se on kerroksellinen rakenne, jonka ylimpänä kerroksena on bitumisella sideaineella sidottu joustava kerros. Muut kerrokset ovat sitomattomia eli niissä ei ole käytetty sideaineita. (Belt ym. 2002, s.11)



Kuva 2. Tyyppillinen joustava päällysrakenne (Belt ym. 2002, s. 11)

Sidotuun kerrokseen kuuluu tyypillisesti kulutuskerros ja kantavan kerroksen yläosa (Belt ym. 2002, s. 11). Sidotun kerroksen tulee liimaantua yhteen. Yleisesti käytettävien mitoitusteorioiden johdosta sidotun ja sitomattoman kerroksen välille on saatava kitkaa. Vedenläpäisevyyden tulee parantua tien pinnasta alaspäin, joten rakenteeseen ei saa jättää ylempää kerrosta selvästi vesitiiviimpää kerrosta, kun tierakenne on alle 0,7 metrin etäisyydelle tienpinnasta. Vesi kertyy vesitiiviin kerroksen pintaan, mikäli vesitiiviin päällyste- tai alusrakenteen päälle tehdään vähemmän vesitiivis päällyste. (Tiehallinto 2004, s. 20 ja 21) Sitomattomaan rakenteeseen kuuluu kantavan kerroksen alaosa, jakava kerros ja suodatinkerros. Alusrakenteen laatu määrittää sen, tarvitaanko jakavaa kerrosta ja suodatinkerrosta. (Belt ym. 2002, s. 11)

Kulutuskerros muodostaa sellaisen pinnan, jossa pystyy ajamaan turvallisesti, miellyttävästi ja taloudellisesti. Se myös rakentaa vettä pitävän suojan, jonka tarkoituksena on minimoida veden pääsy tierakenteeseen. Lisäksi päällysrakenteen yläosan jäykkyys lisääntyy kulutuskerroksen avulla. (Belt ym. 2002, s. 12)

Kantava ja jakava kerros muodostavat niin jäykän kerroksen, että liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset eivät pääse kasvamaan liian suuriksi päällysrakenteessa. Myöskään pohjamaahan ei saa syntyä suuria pysyviä muodonmuutoksia. Lisäksi jakavan kerroksen avulla kuivatetaan kantavaa kerrosta. (Belt ym. 2002, s.12)

Suodatinkerros estää päällysrakenteen ja alusrakenteen materiaalien sekoittumisen keskenään. Se myös katkaisee veden kapillaarisen nousun alusrakenteesta.

Suodatinkerroksen avulla routimaton päällysrakenne paksunee, jolloin alusrakenteen routimisesta aiheutuvat routanousut vähenevät. (Belt ym. 2002, s. 12)

2.3 Tien tekeminen

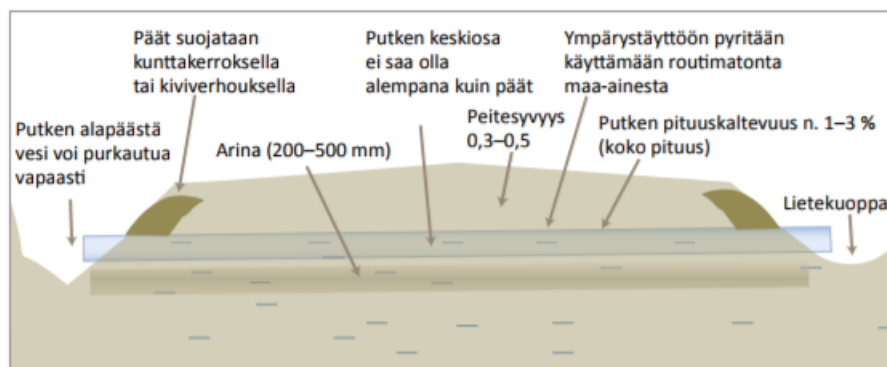
Tien rakentaminen aloitetaan puuston poistolla alueelta ja tarvittavilla mittauksilla sekä tiealueen ja liitännäisalueiden pintaraivuulla. Tien pohja täytyy muotoilla, tasoittaa ja tiivistää. Hyvän kaivutekniikan tunnuspiirteisiin kuuluu esimerkiksi se, että sivuojat eivät ole suurempia kuin kuivatus edellyttää sekä se, että raivausjätteet, kivet ja maanottokuopat on maisemoitu. Kaivuussa täytyy huomioida myös alusrakenteen tiiviyys ja muotoilu, jotta ei syntyisi vettä kerääviä painaumia, ja ettei päällysrakennemassoja tarvitse käyttää tasaukseen. Pengerosuuksilla eli pehmeiköissä ja notkelmissa kivet ja kannot tulee poistaa siten, että ne eivät yletä alueilla 0,7 metriä ja varsiteilla 0,5 metriä lähemmäksi valmista tien pintaa. Pengertäytteinä voi käyttää kaikkia tiivistettävissä olevia kivennäismaalajeja hienoja silttejä lukuun ottamatta. Korkeat penkereet (korkeus yli 1,0 metriä) tulee rakentaa kerroksittain tiivistäen. (Metsäteho Oy 2004, s. 23)

Pohjamaa tulee lujittaa kitkamaalla. Materiaalina käytetään kiviä, someroa, kivistä soraa tai kivistä moreenia. Vahvistusrakenteina voidaan käyttää risumattoa, näretelaa tai telalavaa. (Metsäteho Oy 2004, s. 23) Risumatto koostuu pienpuustosta, risuista, oksista ja latvustoista. Ne ladotaan ristiin ja limittäin siten, että kerros on vähintään 0,5 metriä paksu. Näretela muodostuu karsimattomista, läpimitaltaan noin 8-10 senttimetriä paksuista havupuista. Rungot tulee latoa kerroksittain. Telalava koostuu yli 10 senttimetrin vahvaisista, karsituista aluspuista ja poikkipuista, jotka katkotaan määrämittaan. Aluspuut asetellaan tien pituussuuntaisesti, toisiinsa nähden limittäin. Telapuut tulee asettaa 90 asteen kulmaan asetettujen aluspuiden päälle. Yleislinjauksen tulee olla suora ja puiden päät aseteltu tasaisesti (kuva 3). (Kiiskinen ym. 2014, s. 26) Maarakennuskankailla ja lujiteverkoilla voidaan korvata edellä mainitut vahvistusrakenteet (Metsäteho Oy 2004, s. 23).



Kuva 3. Telalavan rakenne. (Kiiskinen ym. 2014, s. 28)

Laskuojan tulee olla valmiiksi kaivettu ennen rumpukaivannon tekoa. Rumpujen päihin voidaan kaivaa lietekuoppia vesien selkeytystä varten (kuva 4). Rumputöiden yhteydessä riskinä voi olla lietteiden kulkeutuminen ja liettyminen, jotka pyritään estämään väliaikaisilla padoilla ja työn oikealla ajoittamisella. Rumpu tulee asentaa kaarevaksi, jotta se olisi suorassa liikenteen aiheuttaman painauman jälkeen. Rumpujen päät pyritään suojaamaan tavallisesti turvemuurauksella tai turpeella saumatulla kiviverhouksella. (Metsäteho Oy 2004, s. 23)



Kuva 4. Rumpuputki (Kiiskinen ym 2014, s. 35)

Päällysrakennetta aloittaessa täytyy varmistaa, että alusrakenne on tiivistetty, tasoitettu, muotoiltu ja kuiva. Päällysrakenne tehdään pääsääntöisesti murskatusta kivirakenteesta. Suodatinkerros tulee tehdä mahdollisimman tasavahvuiseksi, ja yli 50 millimetriä suuremmat kivet täytyy poistaa hiekasta. Suodatinkerros pystytään korvaamaan

kuitukankaalla. Vetämällä kuorma paksuksi matoksi saadaan muodostettua jakava kerros. Jakavan kerroksen päälle tehdään kulutuskerros ohuena mattona. Kulutuskerroksen päälle tehdään pintakerros esimerkiksi sorasta tai asfaltista. (Metsäteho Oy 2004, s. 25 ja 26)

3 TIEN KUIVATUS

3.1 Kuivatuksen perusteet

Tien kuivatuksen tarkoituksena on saada poistettua liikenteelle tai tien rakenteelle haitallinen vesi tien pinnalta, rakenteen sisältä ja tien lähiympäristöstä (Metsäteho Oy 2001, s. 16). Erinäisillä kuivatusjärjestelyillä tulee taata vesipitoisuuden tavoitepitoisuudet (taulukko 1). Tavoitepitoisuuksia ei saa ylittää, ellei rakenteen mitoituksia tarkisteta vastaavasti. Kuivausjärjestelyillä pyritään estämään valumavesien pääsy rakenteisiin, pinta- ja pohjavesien nousu haitallisen korkealle, routivan pohjamaan epätasainen ja suunnittelematon kastuminen ja vesihöyryn siirtyminen. Lisäksi tulee järjestää roudan sulamisvesien poistuminen maakerroksista. (Tammirinne 2002, s. 67)

Taulukko 1. Sitomattomien rakennemateriaalien ja pohjamaan/alusrakenteen vesipitoisuuden tavoitepitoisuudet (paino-%), joita ei saa ylittää. (Tammirinne 2002, s.

64)

	Vesipitoisuuden TPPT-raja-arvo, paino-%		
	Hyvin kuivatettu rakenne (alapinnan etäisyys kuivatustasosta tai pvp:stä yli 1,5 m)	Normaalisti kuivatettu rakenne (alapinnan etäisyys kuivatustasosta tai pvp:stä 0,8 - 1,5 m)	Huonosti kuivatettu rakenne (alapinnan etäisyys kuivatustasosta tai pvp:stä alle 0,8 m)
Kantava, murske (tai sora)	2	3	4
Jakava, murske tai sora	3	4	5
Suodatin/eristys, hiekka tai sora	4	8	12
Penger, karkearakeinen maa	4	8	12
Penger, Hk- tai Sr- moreeni	5	10	115
Penger, silttimoreeni	10	14	18
Penger, hienorakeinen maa	25	30	35
Pohjamaa, karkearakeinen maa	5	8	12
Pohjamaa, Hk- tai Sr- moreeni	6	10	15
Pohjamaa, silttimoreeni ¹⁾	15	20	25
Pohjamaa, hienorakeinen ¹⁾	30	35	yli 40

¹⁾ Vesipitoisuus ei riipu rakenteen kuivatuksesta vaan materiaalin vedenpidätyskyvystä.

Veden pääsyä tierakenteeseen ei ole tarpeen kokonaan estää, koska kuormituskestävyyden kannalta hieman kostea routimaton rakennemateriaali on parempaa kuin täysin kuiva. Tien kuivatus täytyy toteuttaa siten, että roudan tunkeutuminen pohjamaahan jää mahdollisimman pieneksi. Tämä onnistuu, kun ylimmät kerrokset pyritään pitämään mahdollisimman kuivana syksyn ja talven ajan. Alimpien rakennekerrosten tai pohjamaan kuivattamisella ei ole erityistä merkitystä roudan tunkeutumissyvyyteen. Kuivatuksella ei tarkoituksellisesti pyritä alentamaan vesipitoisuutta routivassa pohjamaassa, jolla on suuri kapillaarinen nousukorkeus. Routivan, vanhan tierakenteen kuivatuksella saadaan parannettua tien kuormituskestävyyttä. (Tammirinne 2002, s. 67)

3.2 Vesi tierakenteissa

3.2.1 Tien pinnalle jäävä vesi

Sade- ja sulamisvedet jäävät tien päälle, jos pinnan kaltevuus on liian pieni tai tiessä on painaumia. Vesi päätyy tielle todennäköisesti myös silloin, kun tiellä on reunapalteet tai sivuojat ovat tukossa. Soratiet reikiintyvät herkästi, jos tien pinnalle jää vettä. Liikenteen takia kuopat syvenevät, koska tien hienoaaines karkaa roiskevesien mukana. (Rantanen ym. 2005, s.11)

3.2.2 Sivuojissa ja rakennekerroksissa vapaana tai padottuneena oleva vesi

Vesi voi jäädä seisomaan sivuojiin, jos ojan vietto on liian pieni, ojassa on veden kulkua haittaavia esteitä tai laskuoja on tukossa, ja pohjamaa on heikosti vettä läpäisevää. Korkealla sivuojassa oleva vesi pyrkii useimmiten purkautumaan tierakenteeseen, koska yleensä tierakenne johtaa vettä paremmin kuin pohjamaa. Tästä johtuen tien kantavuus heikkenee, joka näkyy tien nopeana urautumisena, reunapainaumina ja luiskien sortumisena. Lisäksi hienorakeisilla pohjamailla ja heikkolaatuisilla kerrosmateriaaleilla routimisen riski kasvaa, mikäli päällys- ja alusrakenne ovat jatkuvasti märkänä. Ongelmat ovat sitä suurempia, mitä pidempään vesi viipyy ojassa, mitä heikompi tierakenne on ja mitä lähempänä tien tasausta vesipinta on. (Rantanen ym. 2005, s.12)

Jos maasto on tiehen nähden sivukalteva, pääsee pohja- ja orsivesi siirtymään suoraan tien sivulta tien alle. Märkyys riippuu esimerkiksi pohjaveden korkeudesta, tien

korkeusasemasta ja vettä johtavien kerrosten sijainnista. (Tammirinne 2002, s. 63) Myös tien sivussa sijaitseva kallio tai kivi ohjaa vettä suoraan sivuojusta tierakenteeseen. Sivukaltevasta maastosta aiheutuu routaheittoja, pituushalkeamia ja sorateillä kelirikkoja. (Rantanen ym. 2005, s. 12)

Riski vapaan veden padottumisesta tierakenteeseen kasvaa, jos veden pois pääsy estyy tiiviin pohjamaan tien alle vähitellen muodostaman altaan takia tai jos tien alle kallioon on muodostunut painanne. Allas muodostuu etenkin pehmeillä pohjamailla, koska heikko tierakenne ei kykene jakamaan kuormitusta tasaisesti ja pohjamaa syrjäytyy pyöräkuorman alta sivulle. Rakenteeseen päätyvä vesi ei pääse tämän takia poistumaan kuivatusjärjestelmiin. Sivuojan täyttyminen yhdistyy usein tähän ongelmaan. (Rantanen ym. 2005, s. 13)

3.2.3 Veden kapillaarinen nousu

Maa-aineksen ja vesimolekyylien välinen vetovoima ja veden pintajännitys aiheuttavat niin sanotun kapillaariveden imeytymisen (Rantanen ym. 2005, s. 14). Vesi voi nousta kapillaarisesti syvemmällä olevasta vesivarastosta jopa useita metrejä. Nousukorkeus riippuu maamateriaalista ja sen huokoskoosta (taulukko 2). Kapillaarinen nousukorkeus on kapillaarisesti vedellä kyllästyvän maakerroksen korkeus suhteessa vedenpinnan tasoon. Tätäkin korkeammalle pienimmät maahuokokset täyttyvät vedellä, jolloin yhtenäisen vesikalvovyhteys säilyy pohjavedestä routarajalle saakka, vaikka näiden väli olisi kapillaarista nousukorkeutta suurempi. (Tammirinne 2002, s. 63)

Tauluko 2. Veden kapillaarinen nousukorkeus (Rantanen ym. 2005, s. 14)

	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
	löyhä	tiivis
Hiekka	0,03...2,0	0,04...3,5
Siltti	1,5...10,0	2,5...12,0
Savi	> 8,0	> 10,0

Pohjaveden syvyys ja pohjamaan kapillaarisuus vaikuttavat siihen, miten suureksi routanousu muodostuu. Lisäksi routaantumisenopeus ja pohjamaan vedenläpäisevyys vaikuttavat routanousuun. Parhaiten vettä nostavat hienorakenteiset maalajit, mutta ne ovat heikommin vettäläpäiseviä, jolloin roudan edetessä nopeasti syvemmälle, ei vettä

ehdi kuitenkin nousta kapillaarisesti kovinkaan paljoa routarajalle. Tällöin paksut routalinssit eivät pääse muodostumaan. (Rantanen ym. 2005, s. 14)

3.2.4 Vesihöyryn kulkeutuminen ja tiivistyminen

Kosteus voi siirtyä höyrynä huokoisissa materiaaleissa. Hyvin avonaisissa kerroksissa, kuten louhe ja kevytsora, vesihöyryn siirtymisen aiheuttaa lämpötilaeroista johtuva ilmakierto. Sen sijaan tiiviimmissä kerroksissa vesihöyry siirtyy lämpövirran suuntaan eli jäätyvässä maassa alhaalta ylöspäin. Ylemmissä ja kylmemmissä kerroksissa vesihöyry tiivistyy vedeksi. Tällöin höyry luovuttaa höyrystymislämpönsä ja roudan edetessä luovuttaa myös jäätyislämpönsä. Näin ollen höyryn ja ilman siirtyminen kasvattaa routimisriskiä. (Tammirinne 2002, s. 63)

3.3 Kuivatustoimenpiteet

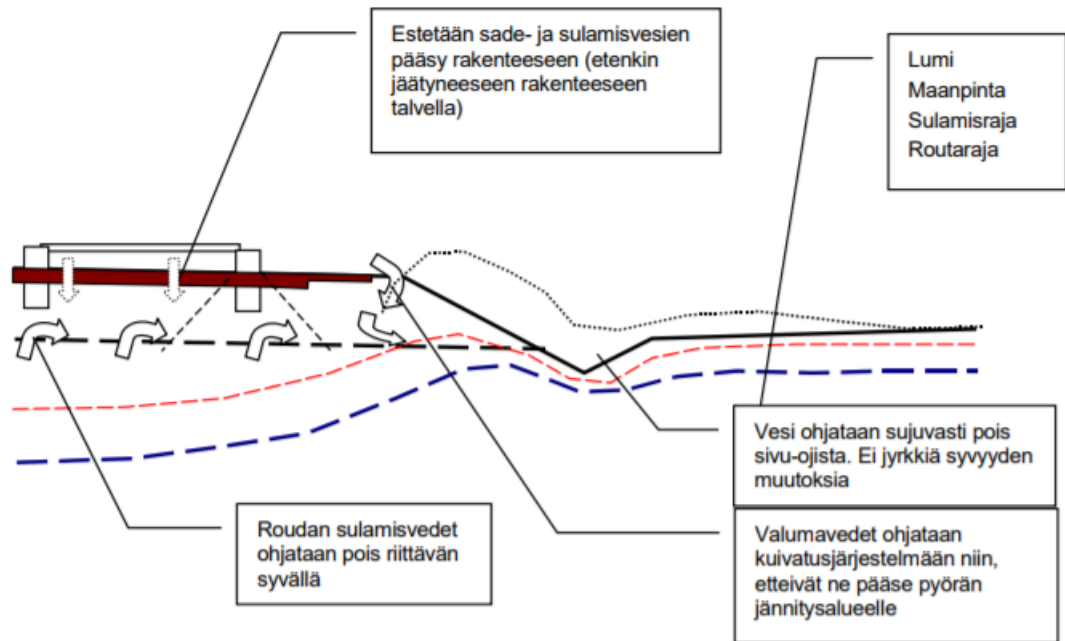
3.3.1 Valumavesien ja pintavesien ohjaus

Jotta valumavedet eivät rikkoisi tien päällystettä, täytyy tierakenne mitoittaa oikein. Esimerkiksi pientareiden päällystyksen tulee ulottua riittävän etäälle oikeasta pyöräurasta. Oikealla mitoituksella saadaan varmistettua myös tienpinnan riittävä viettokaltevuus ottaen huomioon ennakoitavissa olevat routanousut ja painaumat. (Tammirinne 2002, s. 68)

Tien erilaiset ojat tulee mitoittaa ja rakentaa siten, että vesi ei pääse nousemaan hallitsemattomasti rakennekerrokseen. Rakenne kuivatetaan vähintään 0,8 metrin syvyyteen siten, että kuormituskestävyyssmitoituksen vaatima syvyys toteutuu. (Tammirinne 2002, s. 68) Sivuoja täytyy olla kaikilla leikkausosuuksilla, matalilla penkereillä sekä korkeilla penkereillä, jos ympäröivä maasto viettää tielle päin. Niskaolja tulee rakentaa silloin, kun leikkausluiskien yläpuolisesta rinteestä valuvan veden määrä on niin suuri, että se syövyttää liuskan. Laskuojia tehdessä täytyy huomioida, että se ei saa laskea suoraan vesistöön vaan tulee pyrkiä siihen, että vesi siirtyy vesistöön pintavaluntana. Laskuojat sijoitetaan tilusten tai muilla tavoin erilaisen maaston rajalle. Laskuojia ei saa rakentaa ilman maanomistajan lupaa tontille, varastopaikalle, uimarannalle tai salaojitetulle pellolle. (Metsäteho Oy 2001, s. 19)

3.3.2 Sulamisvesien ohjaus

Päällysrakenteen ehjänä pysyminen on tärkeää, jotta lumen sulaessa vesi ei pääse tierakenteeseen. Tierakenteen sulaessa vapautuva vesi johdetaan pois tierakenteen alaosaan (kuva 5). Vesi pyritään ohjaamaan sivuojilla pois ilman suuria jyrkkyyden muutoksia. (Tammirinne 2002, s. 68)



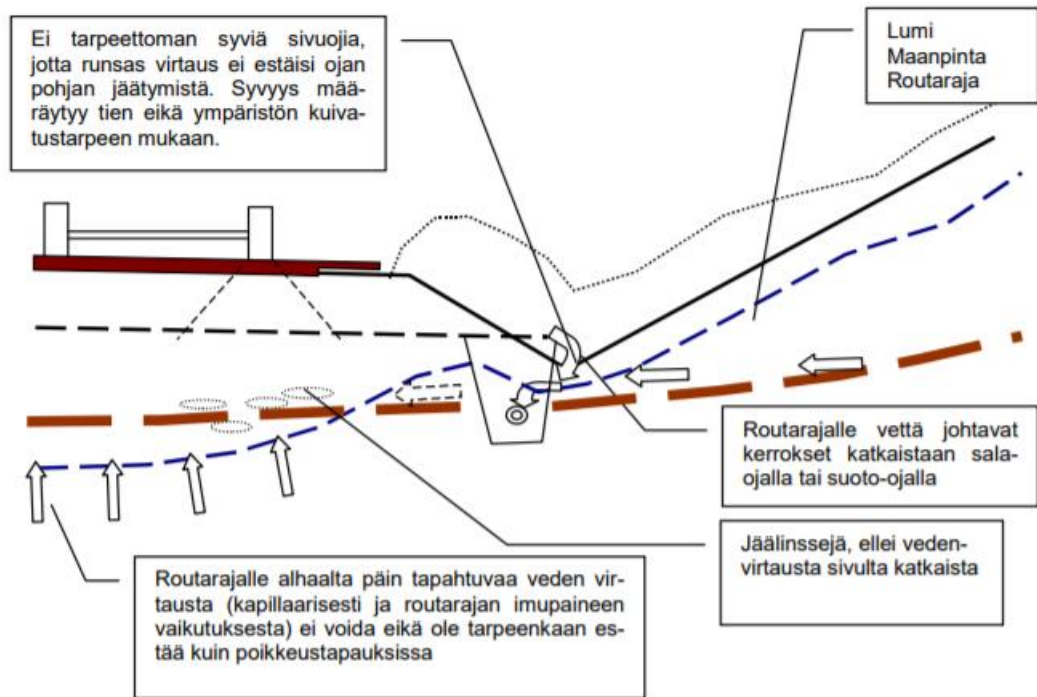
Kuva 5. Tien pinnan ja rakenteen kuivatuksen periaatteita. (Tammirinne 2002, s. 69)

3.3.3 Pohjavesivirtauksen hallinta

Pohjamaata ei normaalitilanteessa kuivateta enempää kuin tierakenteen kuivattamiseksi on tarpeellista. Routamitoitusta tehdessä pohjamaan oletetaan olevan veden kyllästämää routiintumisen alkaessa syksyllä. Paikoitellen on kuitenkin syytä rajoittaa tai tasoittaa veden pääsyä routarajalle. Jos routa pääsee tunkeutumaan syvälle, se estää virtauksen luonnollisen viettosuunnan, jolloin rakenteeseen alkaa muodostua paannejäättä. Salaojia käyttämällä saadaan huolehdittua pohjamaan kuivatuksesta (kuva 6). (Tammirinne 2002, s. 70)

Veden virtausta alhaalta routarajalle ei pystytä kokonaan estämään eikä se ole tarpeenkaan. Tärkeämpää on estää sivultapäin kulkeutuvan veden virtaus, koska muuten pohjarakenne routii paljon pahemmin. Jos tarve vaatii routanousun pienentämistä,

voidaan alentaa pohja- ja orsivedenpintaa. Kuivatusta järjestäessä tulee huomioida, että kuivatusoloissa ei saa tapahtua jyrkkiä muutoksia, ei tien pituus- eikä poikkitasossa. (Tammirinne 2002, s. 70)



Kuva 6. Pohjamaan ja alusrakenteen kuivatuksen perusteita (Tammirinne 2002, s. 70)

3.3.4 Kapillaarivesi ja vesihöyry

Jotta routaeristeet saadaan pidettyä kuivana, täytyy kapillaarisen veden nousu estää. Routaeristeiden alla tulee olla suodatinkerros, joka katkaisee veden nousun pohjamaasta eristeeseen ja näin vähentää huomattavasti roudan tunkeutumista pohjamaan. (Tammirinne 2002, s. 70) Hiekalla, soralla ja karkearakenteisilla moreeneilla saadaan alennettua tien alla olevan maakerroksen vesipitoisuutta oja syventämällä. Ojasyvyys riippuu pohjaveden syvyydestä, pohjamaan kapillaarisuudesta ja vedenläpäisevyydestä. On kuitenkin huomioitava luiskien jyrkentymisestä aiheutuva reunakantavuuden heikkeneminen ja tien keski- ja reunaosien välisen routanousueron kasvaminen. (Rantanen ym. 2005 s. 15)

3.3.5 Rummut

Rumpu määritellään vapaalta aukoltaan alle 2 metrin levyiseksi putkirakenteeksi, jonka avulla tie tai rata ylittää vesiuoman (Liikennevirasto 2013, s. 68). Rumpujen mitoitus perustuu valuma-alueen kokoon ja tulva-ajan vesimäärään. Rumpua mitoittaessa tulee ottaa huomioon valuma-alueen nykyiset ja tulevat kuivatusjärjestelyt. Rummun pituus määräytyy penkereen korkeuden mukaan ja sen halkaisija tulee mitoittaa maastoluokan ja valuma-alueen koon mukaan. (Metsäteho Oy 2001, s. 18) Rummut jaetaan kahteen pääryhmään. Maantierumpu on suunniteltavana tai parannettavana olevan tien tai radan alittava pumppu, jonka vesiuomana on tavallisesti laskuoja. Liittymärumpu on maantiehen liittyvän tien alittava pumppu, jonka vesiuomana on sivuoja. (Liikennevirasto 2013, s. 68)

Rummuista aiheutuu tierakenteeseen epäjatkuvuuskohtia, joiden vaikutusta tasataan yleensä siirtymärakenteilla. Rummun kohdalla kuivatustaso on normaalia syvemmillä. Rumpu voi vaikuttaa tien routautumiseen kahdella eri tavalla. Jos rummun läpi virtaa koko talven vettä, se estää pohjamaan routiintumisen ja tienpinnan routanousun rummun kohdalla. Jos rummun kautta ei virtaa vettä koko talvena ja rummun päät ovat auki, voi routa tunkeutua rummun kohdalla varsin syväälle. Toisinaan rummun alle täytyy rakentaa erillinen routasuojaus. (Tammirinne 2002, s. 71)

3.3.6 Sadevesiviemärit

Pintakuivatusta saadaan hoidettua myös viemäröinnillä. Viemäröinti tehostaa myös syväkuivatusta, koska täyttömateriaali on vettä läpäisevää. Tienkuivatuksessa viemäröintiä käytetään yleensä silloin, kun ulkonäkösyistä tai tilan puutteen vuoksi ei käytetä avo-ojaa. Viemäröintiä hyödynnetään myös kaksiajorataisten teiden keskialueella, kun vettä ei haluta tai voida johtaa riittävästi tien ali. Viemäröintiä käytetään usein alikulkukäytävien, alikulkusiltojen ja toisinaan risteyssiltojen yhteydessä sekä yksittäiskohteissa, joissa ei saada riittävää pintakaltevuutta tai vesiä ei saada jostain muusta syystä pois. Kaivon kansista ja putkiston erilaisista huoltotöistä ei saa aiheutua merkittävää haittaa liikenteelle. (Liikennevirasto 2013, s. 61)

Tien pituussuunnassa sadevesikaivot tulee sijoittaa ennen suojatietä, jotta tien käytettävyyden on mahdollisimman hyvä, saarekkeen alapäähän estämään veden virtaus tien

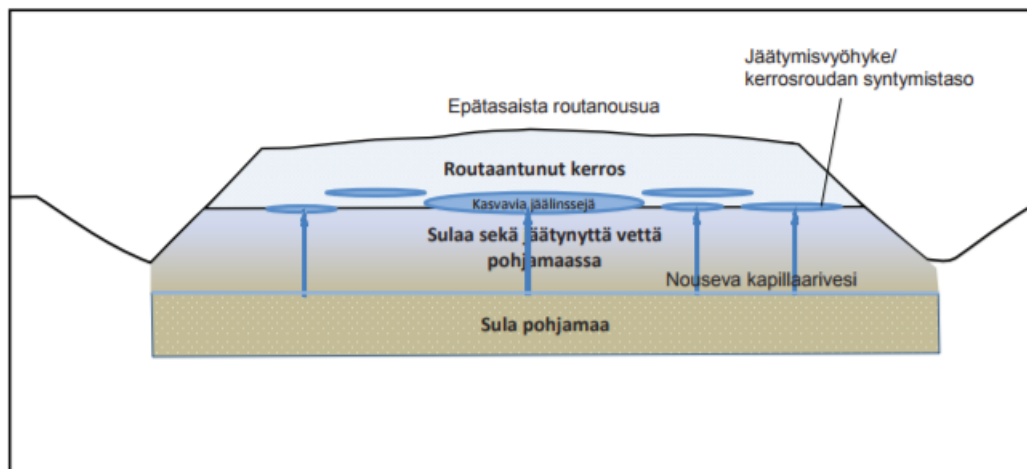
yli ja liittyvän tien alapäähän estämään veden virtaus päätielle. Pehmeiköllä kaivon tulee olla eniten painautuvassa kohdassa tai ennen paalutettua viemäriä tai muuta painumatonta rakennetta. Kaivojen tulee olla riittävän etäällä valaisinpylväistä, portaaleista ja muista rakenteista ja veden virtausmatka kaivoihin saa olla enintään 100 metriä. Kaivoa kohti ei saa tulla yli 600-800 m^2 päällystettyä pintaa. Sadevesiviemäriin päätyvät vedet puretaan laajempaan viemäriverkkoon, ojaan tai syöpymiseltä suojattuun liuskaan. (Liikennevirasto 2013, s. 62)

4 ROUTA

4.1 Perustietoa roudasta

Kun tierakenteessa ja pohjamaassa oleva vesi jäätyy, puhutaan routaantumisenesta. Routiminen tarkoittaa sitä, että tierakenteen ja pohjamaan routaantuessa sen tilavuus kasvaa. Routiminen voi tapahtua tasaisesti tai epätasaisesti riippuen maa-aineksen ominaisuuksista. (Liikennevirasto 2014, s. 13)

Tien routiviin kerroksiin ja pohjamaan voi muodostua talvella jäälinssejä, joiden paksuus vaihtelee millimetreistä kymmeneen sentteihin. Jäälinssejä muodostuu, jos jäätymisvyöhykkeessä oleva maa imee kapillaarisesti vettä, joka jäätyy jäälinsseiksi (kuva 7). Jäälinsien muodostumisen ehtona on se, että pohjamaassa on riittävästi vettä eikä esimerkiksi karkearakenteista maakerrosta, joka estäisi veden kapillaarisen nousun. (Liikennevirasto 2014, s. 13)



Kuva 7. Jäälinsien muodostuminen (Liikennevirasto 2014, s. 13)

Roudalla on neljä erilaista esiintymismuotoa: pintarouta, onkalorouta, massiivirouta ja kerrosrouda. Pintarouta eli rouste muodostuu pystysuorista jääneulasista ja -sälöistä. Niiden yläpäässä on ohut maakerros ja alla sulaa maata. Erityisesti pelloilla ja ojien varsilla pintaroutaa esiintyy ensimmäisillä syyspakkasilla ja keväällä yöpakkasten aikaan. Pintaroudan tuho vaikutus voi olla huomattava, koska syysviljapelloilla ja nuorilla nurmikoilla rouste nostaa oraat irti alustastaan. Löyhän ja muokatun maan pintakerroksen

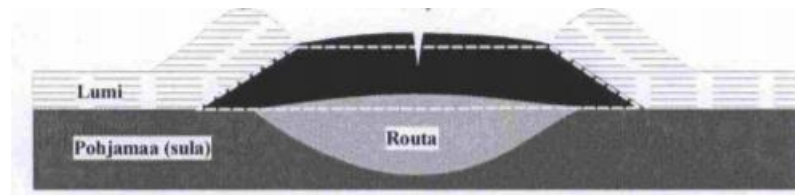
onkaloiden seinämiin muodostuu onkalorouta jäätyneestä vedestä jään ollessa pieninä neulasina. Massiivinen routa on koko talvikauden aikana syntynyt routakerros, jonka kokonaistilavuudessa ei tapahdu muutoksia. Kerrosroudassa jäälinsit vuorottelevat osittain sulan tai massiivisesti routaantuneiden kerrosten kanssa. (Rantamäki ym. 1979, s. 115 ja 116)

Tien pinta voi kohota epätasaisesti jäälinsien vaikutuksesta etenkin epähomogeenisessa tierakenteessa. Tierakenteen routaantuminen ei kuitenkaan välttämättä synnytä jäälinssejä eikä aiheuta epätasaista routanousua. Rinnemaastot ovat erityisen alttiita epätasaiselle routanousulle, jos vettä kulkeutuu tierakenteen alla olevaan pohjamaahan routaantumissyvyyden alapuolelle. Kapillaarista veden nousua ei voi aina estää ojituksilla varsinkaan silloin, jos materiaali on hienorakenteista ja sen luontainen kapillaarikorkeus suuri. (Liikennevirasto 2014, s. 13)

4.2 Routanousujen aiheuttamat halkeamat

Pituushalkeamat ja muut ajokaistahalkeamat ovat routanousujen aiheuttamia ja ne voivat esiintyä vinosti, poikkisuuntaisesti tai muuten epämääräisesti tien pituussuuntaa vastaan. Halkeamat ulottuvat syvälle tierakenteeseen. Ne muodostuvat epätasaisten routanousujen aiheuttamasta vetorasituksesta päällysrakenteen yläosassa. Kun vetorasitus ylittää rakenteen lujuuden, tierakenteeseen muodostuu halkeamia päällysrakenteen yläosasta alkaen. (Belt ym. 2002, s. 52)

Tien pituussuuntainen routahalkeama muodostuu, kun tien poikkileikkaus routii epätasaisesti, joka aiheutuu tien reunoille ja sivuojiin kertyneistä lumikinoksista (kuva 8). Roudan syvyys ja routanousut ovat pienempiä tien reunassa kuin ajoradan keskiosassa, koska kinokset toimivat lämpöeristeenä. Kapea pituushalkeama tien keskellä ei ole iso haitta liikenteelle, mutta liikennekuormituksen seurauksena halkeaman alue voi vaurioitua lisää. Tien reunaosan ja lähes sulana pysyvän pientareen ulkoreunan välille voi muodostua merkittävä routanousuero johtuen tien reunoilla olevan lumen eristysvaikutuksista. Halkeama on tällöin yleensä tien reuna-alueella päällysteen reunaan. (Belt ym. 2002, s. 52 ja 53)

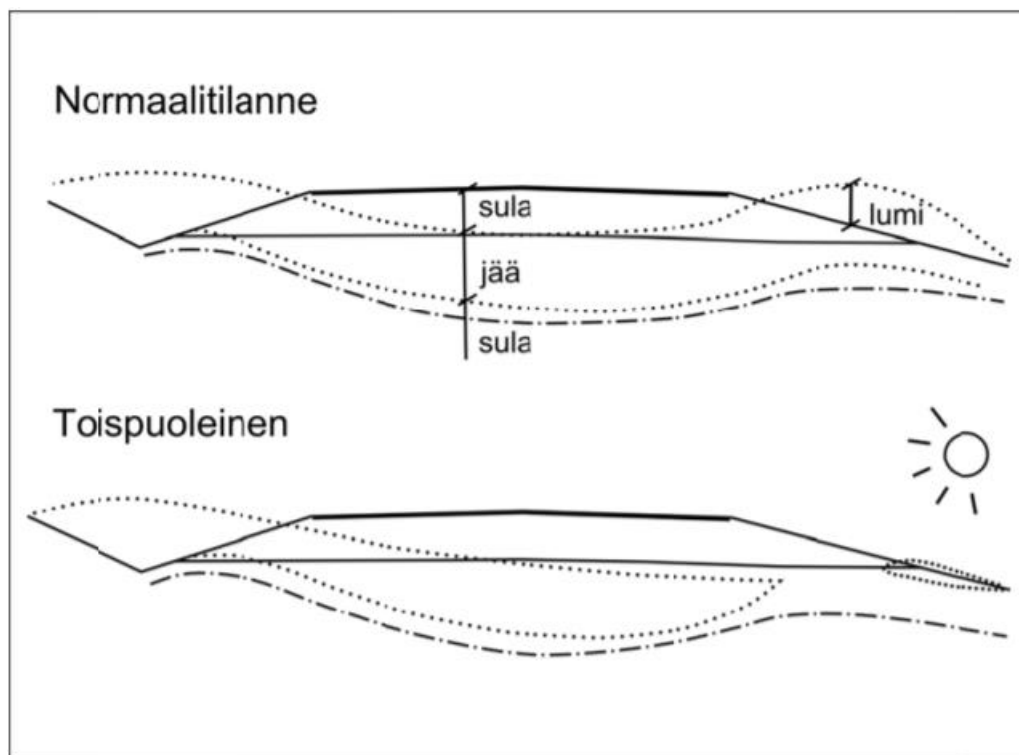


Kuva 8. Tien pituussuuntainen routahalkeama. (Belt ym. 2002, s. 54)

Lumikinokset aiheuttavat erilaisia vaikutuksia poikkileikkauksen routaantumiseen ja routiintumiseen riippuen tien leveydestä. Leveillä teillä (11-12 metriä) lumikinokset vaikuttavat vain tien reunaosiin. Tämän takia tien keskiosan routaantuminen ja routanousu pysyvät tasaisena, mutta routanousueroja ja täten halkeamia voi muodostua tien reunaosaan. Myös kapeilla teillä (5-6 metriä) halkeamat muodostuvat useimmiten tien reunaan. Kapeissa teissä epätasaisesta routimisesta huolimatta tierakenne nousee ylös yhtenä laattana, jolloin halkeamat muodostuvat tien reunaan. Suomessa tiet ovat tavallisesti 7-9 metriä leveitä, jolloin halkeamat muodostuvat useimmiten tien keskialueelle. Ajokaistalle halkeamia muodostuu tiekohdissa, missä tierakenteessa on jokin epäjatkuvuuskohta, mikä aiheuttaa paikallisesti huomattavia routivuuseroja. Epäjatkuvuuskohta voi olla esimerkiksi rumpu tai salaoja. Myös alusrakenteen huomattava muuttuminen tai tien leventäminen voivat aiheuttaa epäjatkuvuuskohdan. (Belt ym. 2002, s. 54)

5 ROUDAN VAIKUTUS TIEN KUIVATUKSEEN

Routaantumisvaiheessa routivaan maahan muodostuu jäälinssiä. Jäälinssit synnyttävät maahan imupaineen, joka kuljettaa lisää vettä routarajalle alemmista maakerroksista. Roudan sulaminen tapahtuu pääsääntöisesti ylhäältä päin, mikä aiheuttaa sen, että vesi ei pääsee poistumaan alempiin maakerroksiin ja jää muodostaa lähes vesitiiviin kaukalon (kuva 9). Mikäli veden pääsyä sivuilta pois ei ole järjestetty, pohjamaa pysyy pitkään veden kyllästäjänä ja huonosti kantavana. (Tammirinne 2002, s. 62 ja 63)



Kuva 9. Tie jäätyy routarajaan (pistekatkoviiva). Koska sulaminen tapahtuu ylhäältä alas, jää voi muodostaa vesikaukalon (pisteviiva) tierakenteeseen. Kaukalon reuna liittyy yleensä lumivallin reunaan, mutta toispuolisesti aurinkoisella paikalla lumivalli ja jääpato voivat sulaa toisesta reunasta yhtä nopeasti kuin keskitie. (Liikennevirasto 2013, s. 105)

Tien kuivatuksessa käytettävä rumpu voi roudan vaikutuksesta nousta ja taipua, jos rumpu on sijoitettu routarajan yläpuolelle ja erityisesti silloin, kun ympärystäyttö on routivaa. Routarajan alapuolella oleva rumpu tai sen routimaton ympärystäyttö pienentävät routanousua rummun kohdalla, jolloin aiheutuu haitallinen painanne talvella,

jos tien routanousu on suurta. (Liikennevirasto 2013, s. 105) Routa voi aiheuttaa vanhoissa betonirummuissa rumpurenkaiden liikkumista epätasaisesti, jolloin renkaiden saumakohdat saattavat avautua, ja tien rakennekerroksia pääsee valumaan rummun sisään (Liikennevirasto 2014, s. 14).

6 YHTEENVETO

Tien rakentaminen alkaa yksityiskohtaisella suunnittelulla. Tiesuunnitelma on hyväksyttävä ennen maantien rakentamista. Tiesuunnitelmassa tulee osoittaa tien sijainti ja korkeus, sekä poikkileikkaus siten, että tiealue pystytään merkitsemään maastoon. Suunnitelmaan on myös sisällytettävä arvio tien vaikutuksista sekä siinä on selitettävä, miten tiestä aiheutuvat haitat poistetaan tai estetään. Tien suunnittelun vaiheet ovat esiselvitys, yleis-, tie- ja rakennussuunnitteluvaiheet. Tien tekemisessä täytyy ottaa huomioon maantielaki.

Tierakenne koostuu alus- ja päällysrakenteesta. Alusrakenteen täytyy muodostaa riittävän tasalaatuinen, kantava ja painumaton alusta päällysrakenteelle. Päällysrakenteen tehtävänä on vastaanottaa liikenteen kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle mahdollisimman tasaisesti laajalle alueelle. Lisäksi päällysrakenne rajoittaa ja pienentää routanousuja. Tien rakentamisen alussa täytyy poistaa puustoa alueelta, suorittaa tarvittavat mittaukset sekä pintaraivata tiealue ja liitännäisalueet. Pohjamaa lujitetaan kitkamaalla, johon käytetään esimerkiksi kiviä ja kivistä moreenia. Laskuoja tulee kaivaa valmiiksi ennen rummun asettamista tierakenteeseen. Ennen päällysrakenteen tekemistä täytyy varmistaa, että alusrakenne tiivistetty, tasoitettu, muotoiltu ja kuiva.

Tien kuivatuksella pyritään poistamaan liikenteelle tai tien rakenteelle haitallinen vesi tien pinnalta, tierakenteesta ja tien lähiympäristöstä. Erilaisilla kuivausjärjestelyillä pyritään estämään valumavesien pääsy rakenteisiin, pinta- ja pohjavesien nousu liian korkealle, routivan maan pohjamaan kastuminen ja vesihöyryn nouseminen. Kuivatusjärjestelyissä olennaista on saada hallintaan erilaiset vesivirrat, kuten valumavesi ja sulamisvesi, vesihöyryn nouseminen ja kapillaarivesi. Keinoja ovat esimerkiksi erilaiset ojat, rummut, viemäröinti ja oikeat rakennemateriaalit.

Tien routaantuessa tierakenteessa ja pohjamaassa oleva vesi jäätyy. Routimisessa jäätyneen veden tilavuus kasvaa. Tien routiviin kerroksiin ja pohjamaahan voi muodostua jäälinsskejä, jos jäätymisvyöhykkeessä oleva maa imee kapillaarisesti vettä, joka jäätyy jäälinssiksi.

Routa voi aiheuttaa ongelmia kuivatukseen roudan sulamisvaiheen aikana. Routa sulaa ylhäältä alas, jolloin sulamisvettä kertyy sulamattoman roudan päälle. Jos sulamisvedelle ei ole tehty poistumisreittiä, se jää tierakenteeseen muodostaen vesitiiviin kaukalon. Routa voi rikkoa rumpurakenteita, jolloin rummussa oleva vesi voi päätyä tierakenteeseen. Rumpu saattaa myös nousta ja taipua roudan vaikutuksesta.

LÄHDELUETTELO

Belt J., Lämsä V-P., Savolainen M., Ehrola E., 2002. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139074/4276tie.pdf?sequence=1> [viitattu 16.12.2017] 72 s.

Kiiskinen P., Savonen H., Tomperi T., 2014. Metsätien rakentaminen [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.idanmetsatieto.info/tiedostot/tiedotteet/metsatie_sec.pdf [viitattu 17.12.2017] 45 s.

Laki 503/2005. Maantielaki [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>

Liikennevirasto, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010. Tiesuunnitelma [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiesuunnitelma_esite.pdf [viitattu 29.12.2017]

Liikennevirasto, 2010. Tiensuunnittelun kulku [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiesuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4 [viitattu 17.12.2017] 20 s.

Liikennevirasto, 2013. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-05_teiden_ja_ratojen_web.pdf [viitattu 2.1.2018] 114 s.

Liikennevirasto, 2014. Sorateiden kunnossapito [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf [viitattu 3.1.2018] 61 s.

Metsäteho Oy, 2001. Metsätieohjeisto [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.puuhuolto.info/Opas/Tieohjeisto_osa_3_Koulutusaineisto.pdf [viitattu 17.12.2017] 40 s.

Rantamäki M., Jääskeläinen R., Tammirinne M., 1979. Geotekniikka. 3. muuttumaton painos. Otaniemi: Otakustantamo, 293 s. ISBN 951-671-342-4

Rantanen T., Turunen J., Nousiainen A., 2005. Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <http://www.doria.fi/pc124152.oulu.fi:8080/bitstream/handle/10024/139293/4497/tie.pdf?sequence=1> [viitattu 28.12.2017] 38 s. + liit. 18 s.

Tammirinne M., 2002. Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/suunjarj_kuv_7.pdf [viitattu 27.12.2017] 206 s.

Tiehallinto, 2004. Tierakenteen suunnittelu [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf> [viitattu 16.12.2017] 69s.