



Pro gradu -tutkielma
Ilmakehätieteiden maisteriohjelma
Meteorologia

Sääsuureiden vaikutus polanteen muodostumiseen

Tomi Laurinen

14.8.2019

Ohjaaja(t): FM Marjo Hippinen ja Prof. Heikki Järvinen

Tarkastaja(t): Prof. Heikki Järvinen ja Dos. Marja Bister

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2a)
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Koulutusohjelma — Utbildningsprogram — Degree programme	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Ilmakehätieteiden maisteriohjelma Meteorologia	
Tekijä — Författare — Author			
Tomi Laurinen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Sääsuureiden vaikutus polanteen muodostumiseen			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidantal — Number of pages
Pro gradu -tutkielma		14.8.2019	41
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Polanne on hyvin yleinen ilmiö talvisen Suomen teillä. Sille ei ole olemassa tarkkaa tieteellistä määritelmää, mutta se on vakiintunut tarkoittamaan tienpintaan tamppaantunutta kovaa lumikerrosta. Polanne voi ajoittain urautua ja olla epätasainen, mikä voi aiheuttaa tienkäyttäjille vaaratilanteita ja pahimmassa tapauksessa henkilövahinkoja.</p> <p>Suomen tieverkko on jaettu eri talvihoitoluokkiin, jotka määrittelevät kyseisen tien hoidon laadun. Osalla Suomen vähäliikenteisemmistä pääteistä polannetta annetaan talvella muodostua. Vilkkaamman liikenteen teillä tienpinta tulisi olla aina paljaana, joten polanne pyritään poistamaan nopeasti sen muodostuttua tai muodostuminen pyritään estämään ennakoivilla toimenpiteillä. Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia polanteen muodostumisen sääolosuhteita ja tuottaa niiden avulla polanteen muodostumista ennustava tuote ja siten auttaa tienhoidon tehostamisessa. Liikenteellä on myös merkittävä vaikutus polanteen muodostumiseen, mutta sitä ei pystytty tässä tutkielmassa huomioimaan.</p> <p>Polanteen muodostumista tutkittiin talvikaudella 2017-2018. Polanteen muodostuminen pyrittiin havaitsemaan Intelligent Traffic Management Finland Oy:n kelikameroiden kuvista. Havaittujen polanteen muodostumispaikkojen läheltä kerättiin säähavainnointia ja eri polannetapauksia verrattiin keskenään yrityksenä löytää yhtäläisyyksiä näiden tilanteiden sääolosuhteille. Polanteen muodostumiselle löydettiin suurpiirteiset olosuhteet, joissa sitä todennäköisimmin tapahtuu. Näiden todettujen suureiden keskimääräisten arvojen perusteella rakennettiin polanneindeksi kuvaamaan polanteen muodostumistodennäköisyyttä. Päättely sisällytettiin Ilmatieteen laitoksen tiesäämalliin. Polannepäättelyä kokeiltiin sekä kolmella eri havaintojaksolla että ennusteena ja päättelyn todettiin antavan lisäarvoa polanteenmuodostumisalueiden määrittelyssä.</p> <p>Tämän työn yhteydessä todettiin polanteen muodostumisen havainnoinnissa ja tutkimisessa olevan vielä puutteita. Nykyisin polannetta havainnoidaan manuaalisesti kenttähavainnoista tai silmämääräisesti kelikamerakuvista. Tulevaisuudessa polanteen muodostumisen tutkiminen muuttunee helpommaksi kun polanteen muodostumisen havainnointikäyttöön valjastetaan uudenlaista teknologiaa ja menetelmiä.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
polanne, tiesää, tiesäämalli, teiden talvihoito			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Polanne ja tienhoito	3
3	Havaintomenetelmät	11
4	Havainnot	15
4.1	Esimerkkitapaus 1: 12.-13. joulukuuta 2017	15
4.2	Esimerkkitapaus 2: 1. helmikuuta 2018	18
4.3	Havaintojen yhteenveto	20
5	Ilmatieteen laitoksen tiesäämalli RoadSurf	25
5.1	Polanneindeksi	26
5.2	Polannealgoritmin tuottama polanne-ennuste	28
6	Polannehavainnoinnin sekä ennustamisen jatkokehittely	33
7	Yhteenveto	35
	Kiitokset	37
	Kirjallisuutta	39

1. Johdanto

Polanteella tarkoitetaan tienpintaan liikenteen toimesta pakkautunutta lunta. Ajoradoilla polanne on kiusallinen ja ajoittain vaarallinen ilmiö ja saattaa aiheuttaa esimerkiksi ulosajoja. Jalankulkijoille polanne on vaarallinen muun muassa liukastumisvaaran takia. Ilman lämpötilan, tienpinnan lämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden sekä sateen intensiteetin oletetaan olevan avainroolissa polanteen muodostumisessa.

Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää edellä mainittujen sääsuureiden vaikutusta polanteen muodostumiseen Suomen teillä sekä selvittää tämän tiedon hyödyntämismahdollisuuksia polanteen ennustamisessa. Tutkielmassa selvitetään polanteen syntymisajankohdan sääolosuhteita eri polannetapauksissa. Vertaamalla näitä säätietoja toisiinsa tarkoituksena on selvittää, onko polanteen syntymisolosuhteissa yhtäläisyyksiä ja selvittää, pystyykö tätä tietoa hyödyntää polanteen muodostumisen ennakoinnissa.

Tienhoidon ammattilaiset tietävät suurpiirteiset olosuhteet, joissa polannetta muodostuu. Tarkempaa tutkimusta aiheesta on hyvin vähän. Tämän vuoksi käytetyistä viitteistä suuri osa on henkilökohtaisia tiedonantoja. Tutkielmassa esitellään jokunen aiheita sivuava tutkimus, mutta niidenkin välillä on ristiriitoja. Tutkielman tarkoituksena on korvata tätä puuttuvaa tutkimusta ja selvittää tarkemmin, missä olosuhteissa polanne tielle syntyy ja näin helpottaa sen ennakointia.

2. Polanne ja tienhoito

Polanteella ei varsinaisesti ole olemassa minkäänlaista virallista tieteellistä määritelmää, mutta nykyään meteorologian sekä tienhoidon piirissä polanne on yleisessä käytössä vakiintunut termi, joka tarkoittaa nimenomaan tienpintaan tamppaantunutta kovaa lumikerrosta tai siihen muodostunutta uraa. Kielitoimiston sanakirjan mukaan polanteen määritelmä on "kovaksi tallautunut tai pakkautunut lumi- tai jääharjanne tiessä tai muussa vastaavassa". Suomalaisissa murteissa määritelmä hieman vaihtelee. Muun muassa Lapissa yhden määritelmän mukaan polanne on yleisnimitys lumihankeen tehdylle polulle.

Polanne on varsin yleinen ilmiö talvisessa Suomessa. Polannetta synnyttävät niin jalankulkijat jalankulkuväylille kuin erinäiset kulkuneuvot ajoradoille. Tiiviiksi pakkautuneen polanteen pinta on usein hyvin liukas ja joissain tilanteissa melko epätasainen, mikä aiheuttaa vaaratilanteita sekä jalankulkijoille että muulle liikenteelle. Ajoradalle keräytyneeseen lumeen voi varsinkin nastarenkaiden aiheuttamana kulua syvätkin ajourat, jotka vaikeuttavat ajoneuvon hallintaa. Polanne voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa henkilövahinkoihinkin johtavia kolareita autoilijan menettäessä ajoneuvon hallinnan (Savon Sanomat).

Suomessa maanteiden talvihoidosta vastaavat yritykset toimivat Väyläviraston (ent. Liikennevirasto, viitataan tästä eteenpäin nimellä Väylä) laatimien teiden talvihoidon laatuvaatimusten mukaisesti. Suomen tieverkko Väylän toimesta jaettu talvihoitoluokkiin (Ise, Is, I, Ib/TIb/Ic, II ja III), sillä kaikkia teitä ei pystytä taloudellisista syistä hoitaa välittömästi. Luokittelu toimii priorisointiperiaatteella ja seuraa melko hyvin suhteellisia liikennemääriä (Ise korkein ns. palvelutaso, III matalin). Toisin sa-

noen korkeimman prioriteetin tieosuuksia (Ise ja Is) on suhteellisesti vähemmän kuin matalan prioriteetin (Ib/TIb/Ic, II ja III), mutta niiden läpi kulkee kuitenkin huomattavasti suurempi määrä liikennettä. Luokat Ib, TIb sekä Ic on suurelta osin liitetty yhteen vuoden 2019 alussa tehdyn tienhoitoluokkapäivityksen yhteydessä. (Väylä: Teiden talvihoito)

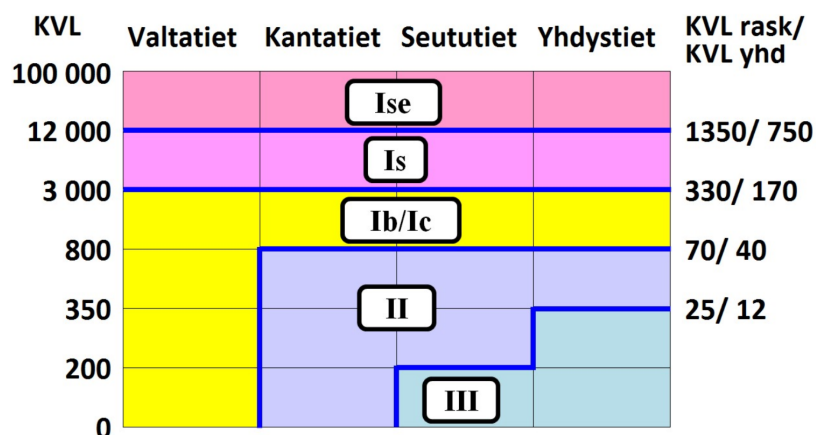
Ise- ja Is-luokan tieosuuksia on Suomen tieverkosta 12%, mutta näillä tieosuuksilla kulkeva keskimääräinen vuorokausiliikenne vastaa 67% koko maan liikenteestä ja 70% raskaasta liikenteestä (kuva 2.1). Väylän määräämien talvihoidon laatuvaatimusten mukaisesti näiden teiden suurin sallittu epätasaisuus on 0 cm ja kylminä kausina, kun suolaaminen ei ole mahdollista, suurin sallittu epätasaisuus on 1 cm (taulukko 2.1). Tämä käytännössä tarkoittaa hoitoluokkien Ise ja Is kohdalla, että polanteen syntyminen on kyettävä ennakoimaan ja tarvittavat toimenpiteet tekemään jo ennen polanteen muodostumista. Alempien luokkien kohdalla, joilla liikennettä on suhteellisesti vähemmän, myös polannetta annetaan esiintyä. I- sekä Ib/TIb/Ic-luokkien tieosuuksilla polannetta esiintyy talvella ajoittain muun muassa vähennetyn suolankäytön vuoksi, mutta II- ja III-luokan teillä tienpinnan annetaan pääosin olla polannepintainen ja osin urautunut. I- sekä Ib/TIb/Ic- luokan tiet kattavat Suomen tieverkosta 21%, kokonaisliikenteestä 22% ja raskaasta liikenteestä 22%. II- sekä III-luokan tiet taas kattavat tiepituudesta jopa 68%, mutta kokonaisliikennemäärästä vain 11% ja raskaan liikenteen määrästä vain 9% (kuva 2.1). Näiden suhteessa hyvin vähäisten liikennemäärienkin vuoksi nämä matalamman prioriteetin tieosuudet jätetään huomiotta polanteen muodostumista tutkittaessa. (Väylä: Teiden talvihoito)

Kuten kuvasta 2.2 nähdään, varsinkin Lapissa suurin osa pääteistä on hoitoluokkaa Ib tai alempaa luokkaa tarkoittaen ja Lapin alueella teiden annetaan joko kokonaan tai osan talvesta olla lumi- tai polannepintaisia. Tällaista menettelyä on ainakin aiemmin Suomen lisäksi käytetty myös muissa pohjoisissa maissa kuten Ruotsi, Norja ja Kanada (Leijonhufvud *et al.*, 1960). Näiden talvikaudella pääosin polannepintaisten teiden tutkiminen polanteen muodostumisen suhteen on hankalaa, sillä polanteen muo-

KESKEISET LAATUVAATIMUKSET AJORADAN TASAISUUDELLE

Talvihoitoluokka	Ise ja Is	I	Ib	TIb	II	III
Suurin sallittu epätasaisuus	-	1 cm	1,5 cm	2 cm	2 cm	2 cm

Taulukko 2.1: Väylän laatimat rajat ajoradan suurimmalle sallitulle epätasaisuudelle eri talvihoitoluokan teillä. Kylminä kausina, kun suolaus ei ole mahdollista, luokan Is tasaisuusvaatimus on 1 cm. Kapeat polanneurat tai muut polanteen epätasaisuudet eivät saa kuitenkaan häiritä merkittävästi ajamista. (Liikennevirasto, 2017)



Kuva 2.1: Suomen tieverkon jako eri tienhoitoluokkiin sekä niitä vastaavat liikennemäärät. (Väylä: Teiden talvihoito)

dostumista on huomattavasti haastavampaa seurata jo valmiiksi polanteiselle pinnalle kuin paljaalle asfalttipinnalle. Tämän takia tässä tutkielmassa tutkittaviksi tieosuukiksi valittiin pääosin Ise-, Is- tai I-luokan teitä.

Suurimpien sallittujen epätasaisuuksien lisäksi hoitoluokilla on suurimmat sallitut lumensyvyydet sekä niin kutsuttu lumen ja sohjonpoiston toimenpideaika. Toimenpideaajalla tarkoitetaan aikaa sateen loppumisesta siihen, kun lumi ja sohjo täytyy olla poistettu tieltä. Toimenpideaajat vaihtelevat tienhoitoluokasta riippuen nolasta tunnista aina kahdeksaan tuntiin. Tämä johtaa suurempiin ja pitempiaikaisempiin lumikeritymiin alemman prioriteetin teillä. Korkeimman prioriteetin hoitoluokissa toimenpide

aika on pisimmillään kaksi tuntia.

Sääolosuhteiden ennakoiminen on keskeisessä roolissa maanteiden talvihoidosta vastaavien yritysten keskuudessa, muun muassa taloudellisista syistä. Suomessa suurin osa maanteiden talvihoidosta tehdään Destia Oy:n toimesta, joka tekee tiivistä yhteistyötä Ilmatieteen laitoksen kanssa kyetäkseen kohdentamaan talvihoidon toimenpiteet mahdollisimman tehokkaasti.

Tiehoidon ammattilaisilla toimii hypoteesi, jonka mukaan polannetta syntyy todennäköisimmin, kun "pikkupakkasessa tuleva kohtalainen lumisade sataa kostealle, pakkasen puolella olevalle tienpinnalle" (Kaarto, 2018). Tällainen tilanne on melko yleinen varsinkin talvisten lämpimien rintamien kohdalla. Myös lämpimässä sektorissa satava lumi on voi aiheuttaa ongelmia tienkäyttäjille ilman tarvittavia tienhoitotoimenpiteitä. Sataneesta lumesta syntynyt polanne saattaa jäätyä tienpintaan kiinni kylmän rintaman ylitettyä kyseisen paikan, minkä seurauksena polanteen poistaminen tienpinnasta muuttuu entistä hankalammaksi (Kaarto, 2018).

Yleisimpiä tiehoidon toimenpiteitä polanteen muodostumisen ehkäisemiseksi sekä liukkaudentorjuntaan ovat tien suolaaminen (natriumkloridi) sekä lumen auraaminen. Tienpinnan suolaaminen ennen lumen satamista sulattaa ensimmäisenä satavan lumen ja estää jälkeinpäin satavan lumen tarttumisen tienpintaan ennen lumen auraimista pois ajoradalta. Varsinaista alinta lämpötilaa teiden suolaamiselle ei ole määriteltä. Suolaa suositellaan kuitenkin käytettäväksi kun tienpinnan lämpötila on -6°C tai lämpimämpi. Tätä kylmemmissä lämpötiloissa jään sulattamiseen tarvittavan suolan määrä alkaa kasvaa niin suureksi, ettei suolaaminen ole enää ympäristön kannalta eikä taloudellisesti kannattavaa. Näissä kylmissä lämpötiloissa suola yleensä sulattaa vain lumen tai jään päällimmäisen kerroksen, jonka jälkeen se laimennuttuaan jäätyy ja vain pahentaa liukkautta tiellä. Tämän vuoksi liukkauden torjuntaan kylmissä olosuhteissa suositellaan käytettäväksi mieluummin hiekkaa. (Kaarto, 2018, ELY-keskus: Talvihoito)

Polanteen poistamismenetelmät saattavat usein vaurioittaa ajoratamerkintöjä se-

kä tienpintaa, mikä nostaa tienhoidon taloudellisia kuluja. Ennakoivat tiehoitotoimenpiteet polanteen muodostumiselle ovat siis varsin olennaisia tienhoidon tehokkuuden kannalta.

Polanteen muodostumista on tutkittu varsin vähän varsinkin näkökulmasta, josta tämä tutkielma yrittää sitä selvittää. Lisäksi aiheesta tehtyjen tutkimusten löytämisestä tekee hankalaa se, ettei englanninkielessä ole suoraa vakiintunutta vastinetta ilmiölle, jota Suomessa kutsutaan polanteeksi. Englanninkielessä polannetta kutsutaan muun muassa termeillä *hard compacted snow*, *hard packed snow*, *compacted snow* sekä *compressed snow*. Ongelmana on myös osittain se, ettei polanteelle ole olemassa minkäänlaista tarkkaa tieteellistä määritelmää. Aiheeseen liittyvän tieteellisen kirjallisuuden vähyydestä johtuen on liikkeelle lähdettävä niin sanotusta näppituntumasta polanteen muodostumisen olosuhteille.

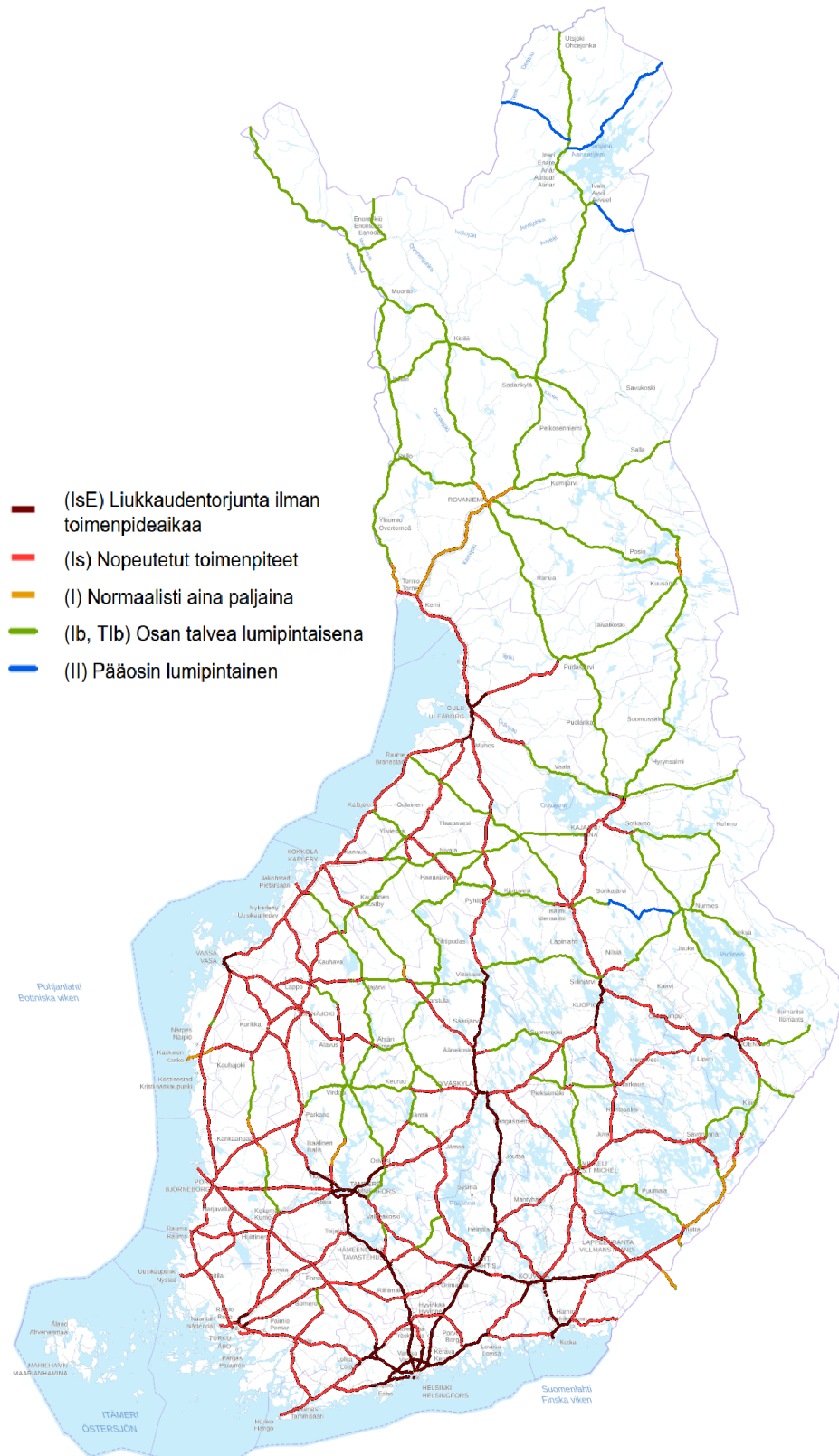
Tiedeyhteisöllä on selvästi motivaatiota tutkia polanteen muodostumisen estämistä tai sen poistamista. Sen muodostumiseen ei kuitenkaan oteta kovin yleisesti kantaa. Muun muassa Wählin *et al.* (2014) tutkivat natriumkloridiliuoksen vaikutusta pakkautuneen lumen kovuuteen. He totesivat natriumkloridiliuoksen sekoitettuna lumen heikentävän merkittävästi lumen pakkautuessa jääkiteiden välisiä sidoksia näin pehmentäen polannetta huomattavasti. Tämä taas edelleen helpottaa sataneen ja pakkautuneen lumen poistamista tien pinnasta.

Myös puhtaan lumen pakkautumisominaisuuksia on tutkittu. Abele ja Gow (1976) totesivat satavan lumen tiheydellä olevan huomattavan suuri rooli pakkautuvan lumen lopulliseen tiheyteen. Tutkimuksessaan he tarkkailivat myös lämpötilan vaikutusta lumen pakkautumisominaisuuksiin, mutta totesivat pakkautuneen lumen kovuuden lämpötilariippuvuuden olevan suhteellisen pieni. Tämä voisi antaa vaikutelman, että tässäkin tutkielmassa tarkasteltavissa tilanteissa polanteen muodostuminen ei olisi riippuvainen lämpötilasta. Edellä mainitussa tutkimuksessa lumi kuitenkin pidettiin muuttumattomissa laboratorio-olosuhteissa, joita ei voi täysin verrata olosuhteisiin luonnossa, missä satavaan lumeen sekoittuu huomattavia määriä erinäisiä

epäpuhtauksia.

Abele ja Haynes (1979) tutkivat lumen vesisisällön vaikutusta pakatun lumen tiheyteen, joka periaatteessa vastaa olosuhteiltaan säätä lähellä nollaa. He huomasivat pakatun lumen tiheyden kasvavan vesisisällön kasvaessa. Tämä kuitenkin ei varsinaisesti edistä polanteen muodostumista tielle, sillä mitä enemmän lumessa on vettä, sitä suuremman määrän energiaa lumipaketin jäädyttäminen vaatii.

Edellä mainittujen kaltaisten tutkimusten lisäksi polanteesta on tehty myös joitakin kenttätutkimuksia, mutta suuri osa niistä keskittyy polanteisten teiden kestoon raskaan kuorman alla (toisin sanoen raskaan liikenteen alla). Leijonhufvud *et al.* (1960) tutkivat hieman myös sataneen lumen pakkautumista paineen alla. Tutkimuksessa todettiin lumen tiheyden menevän suuremmaksi lämpimässä ($-1,3^{\circ}\text{C}$) kuin kylmässä lämpötilassa ($-10,8^{\circ}\text{C}$). Tämä tulos on kuitenkin ristiriidassa Abelen ja Gow'n (1976) edellä mainittuun tutkimustulokseen, jonka mukaan lumen pakkautumistiheys ei juurikaan ole riippuvainen lämpötilasta.



Kuva 2.2: Suomen valta- ja kantateiden talvihoitoluokat. Näiden teiden joukossa ei ole lainkaan III-luokan teitä. Väylävirasto. (Liikennevirasto, 2017)

3. Havaintomenetelmät

Toistaiseksi ei ole olemassa havaintolaitetta, joka olisi tarkoitettu erityisesti polanteen havainnointiin. Tämän vuoksi on polanteen havainnointiin käytettävä jo olemassa olevia välineitä. Vaihtoehtoina polanteen havainnoimiseen todettiin olevan joko kenttähavainnot tai jollakin keinolla etänä tehtävät havainnot. Varsinkin kenttähavaintojen kohdalla suurin ongelma on löytää oikeiden olosuhteiden sijainti etukäteen, jotta nimenomaan polanteen muodostumishetken olosuhteet saataisiin dokumentoitua. Parhaaksi metodiksi polanteen muodostumisen havainnointiin todettiin Intelligent Traffic Management Oy:n kelikameraverkon kuvamateriaali.

Kelikameraverkon etuna on sen kattavuus varsinkin korkeamman prioriteetin tieverkon kohdalla. Tieverkon kelitilanteen seuraamiseen tarkoitettujen kelikameroiden kuvaa Suomen alueelta yli 700:sta kamerasta on nähtävillä kelikamera.info-palvelussa. Kyseinen palvelu hyödyntää Liikenneviraston vanhaa avointa lisenssin alaista Digitraffic-aineistoa, jota nykyään ylläpitää Traffic Management Finland.

Vaikka kelikameroita on paljon, niistä suurin osa ei kuitenkaan ole suunnattu tietä kohti polanteen havainnoimisen kannalta otollisella tavalla. Parhaiksi kameroiksi osoittautuivat suoraan tienpintaa kuvaavat kamerat (kuva 3.1). Yhdeksi ongelmaksi kelikameroiden kanssa kuitenkin todettiin se, ettei kelikamerakuvia ollut saatavilla kuin kolme viikkoa menneisyyteen. Tämä estää tapaustutkimustyyllisen polanteen tutkimisen kauempaa menneisyydestä.

Säähavaintodatan lähteenä käytettiin Väylän tiesääjärjestelmään kuuluvilta tiesääasemilta saatavaa säähavaintodataa. Suomen tieverkon alueella on 611 tiesääasemaa 388 eri pisteessä (Saarinen, 2015). Asemat tuottavat havaintoja kymmenen minuutin

aikaresoluutiolla. Tiesääasemina käytetään Vaisala Oyj:n valmistamia sääasemia, jotka eroavat toisistaan hieman riippuen tiesääasemalla käytössä olevista instrumenteista. Suurin osa käytössä olevista tiesääasemista on Vaisalan ROSA-tiesääasemia, mutta joukossa on myös pienemmällä anturivalikoimalla olevia asemia (Ilmatieteen laitos, Avoin data: Tiesäähavainnot). ROSA-asemiin pystyy liittämään monipuolisesti eri suureita mittaavia instrumentteja. Asema toimii yksinkertaisimmillaan jo esimerkiksi vain yhdellä tienpinta-anturilla (Vaisala DRS511), joka mittaa pinnan sekä maaperän lämpötilaa, pinnan ominaisuuksia sekä erinäisiä pinnan vesisisältöön liittyviä ominaisuuksia. Laajimmillaan asemaan voi liittää kuitenkin anturit mittaamaan samanaikaisesti edellä mainittujen lisäksi myös sadetta sekä sen tyyppiä, ilman lämpötilaa sekä kosteutta, tuulta, näkyvyyttä, painetta, lumen syvyyttä sekä auringonsäteilyä. (Vaisala Oyj, 2001)

Tässä tutkielmassa hyödynnettiin tiesääasemia riippumatta niiden varustuksesta.

Polannehavainnot pyrittiin löytämään kelikameroista, jotka ovat sijainniltaan mahdollisimman lähellä tiesääasemaa. Tämä mahdollisti säähavaintodatan taltioimisen polanteen muodostumishetkellä mahdollisimman läheltä polanteen muodostumispaikkaa. Tiesääasemilta kerättiin talteen havaintodata ilman lämpötilasta, tienpinnan lämpötilasta, ilman suhteellisesta kosteudesta sekä sateen intensiteetistä jokaisesta tilanteesta, jolloin polannetta oli tienpinnalla havaittavissa.



(a)



(b)

Kuva 3.1: (a) Esimerkki niin sanotusta normaalista laajempaa aluetta kuvaavasta kelikamerasta. Kuva valtatieltä 4 Sodankylän Torvisista 13. joulukuuta 2017. (b) Esimerkki tienpintaa kuvaavasta kelikamerasta. Kuva valtatieltä 4 Tervolan Louelta 13. joulukuuta 2017.

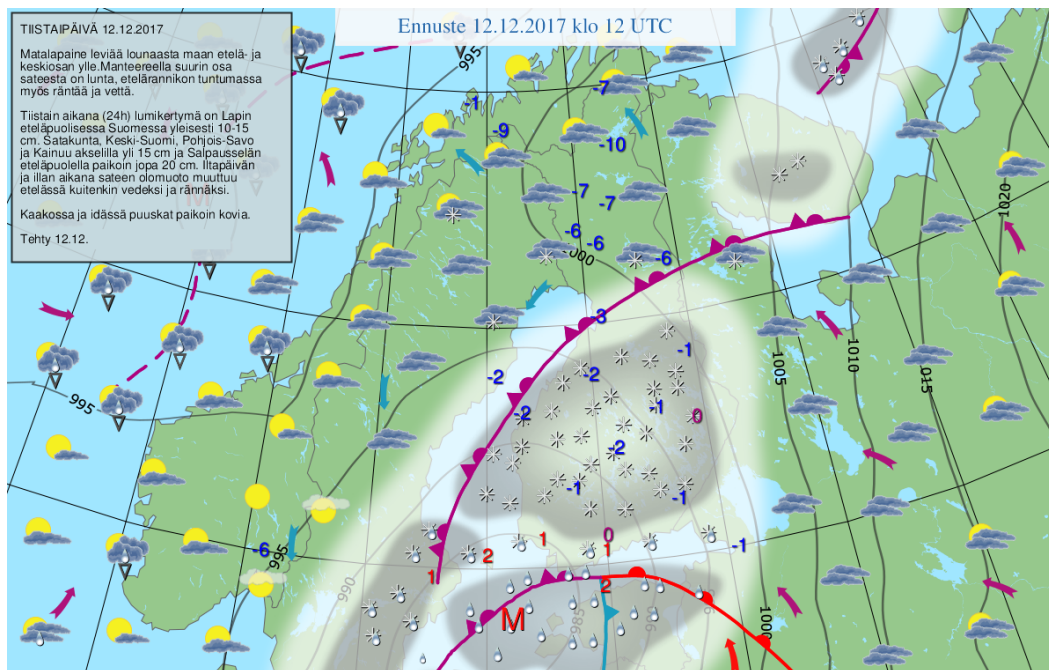
4. Havainnot

Käyttökelpoisia polannehavaintoja talvelta saatiin 2017-2018 talteen kaikkiaan viideltä eri säätilanteesta yhteensä 14:stä eri paikasta ympäri Suomea. Kaiken kaikkiaan havaintoja saatiin 21 kappaletta. Näistä havainnoista kuitenkin kuusi (kolmesta eri tilanteesta) oli kahdesta suhteellisen lähekkäin toisiaan sijaitsevasta kelikamerasta. Tämä johti siihen, että näissä tapauksissa jouduttiin käyttämään säähavaintodataa samalta tiesääasemalta. Näistä havainnoista päädyttiin hylkäämään käytetystä tiesääasemasta katsottuna kauemmasta kelikamerasta tehdyt kolme havaintoa tulosten väärentymisen minimoimiseksi.

Seuraavassa käydään läpi kaksi eri säätilannetta, joissa polannetta havaittiin.

4.1 Esimerkkitapaus 1: 12.-13. joulukuuta 2017

Ensimmäisenä esimerkkinä esitellään 12.-13. joulukuuta välisenä aikana tapahtunut polannetapaus. Synoptinen tilanne oli melko tyypillinen Suomen alkutalveen: lounaasta saapunut jo pitkälti okludoitunut matalapaine toi mukanaan kosteutta sekä lauhaa ilmaa, minkä yhteydessä Suomen alueella saatiin sadetta kaikissa olomuodoissa. Aivan Suomen etelärannikolla lämpötilat olivat plussan puolella ja sade tuli räntänä ja vetenä. Koko muun Suomen alueella lämpötila pysyi pakkasen puolella ja sade tuli koko ajan lumena, mikä mahdollisti potentiaalin polanteen muodostumiselle (kuva 4.1). Etelä-Lapin alueella heikohko lumisade jatkui alkuiltaan 13. joulukuuta saakka ja polannehavaintoja saatiinkin parhaiten nimenomaan merkittävimmän sateen lakattua, kun tienpinnat alkoivat paljastua joko liikenteen tai tienhoidon toimenpiteiden



Kuva 4.1: Joulukuun 11. ja 12. päivän välisenä yönä tuotettu ennuste ajalle 12.12. klo 12 UTC.

© Ilmatieteen laitos, Sää- ja turvallisuuskeskus

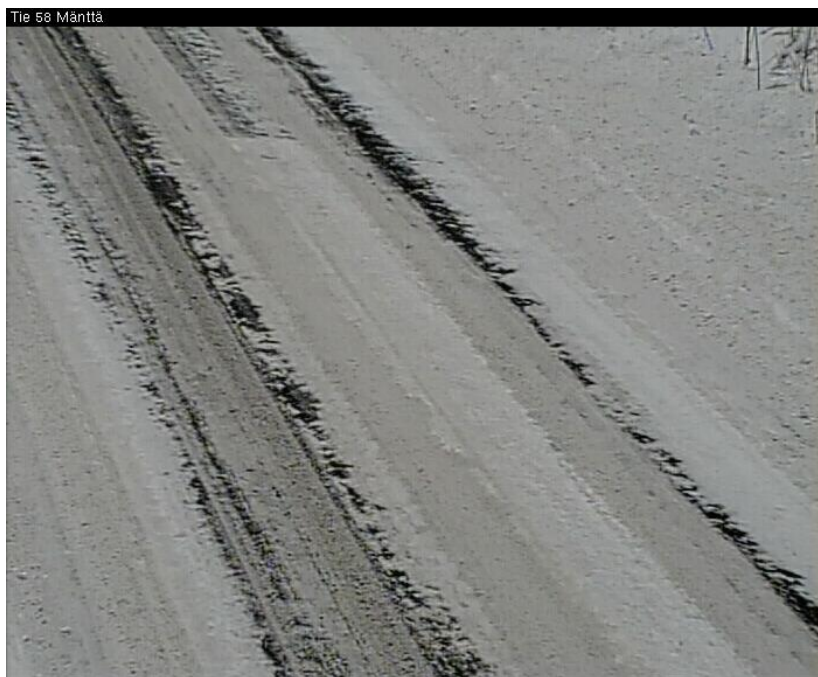
vaikutuksesta. Tänä ajankohtana kelikamerakuvia oli käytettävissä neljältä paikalta Etelä-Lapista sekä yhdeltä Keski-Suomesta, Pirkanmaalta ja Etelä-Savosta.

Polannehavaintoja saatiin sekä Etelä-Lapista että Mäntästä Pirkanmaalta. Kuvasssa 4.1 näkyvä koko Suomen eteläisen puoliskon peittävä lumisadealue väistyi Mäntän tienoilta aamuyöstä 13. joulukuuta. Silti selviä havaintoja polanteesta saatiin sieltä vasta iltapäivästä irtonaisen lumen ajaututtua pois tieltä (kuva 4.2). Nojaten polanteen muodostumisen oletettuihin suurpiirteisiin olosuhteisiin (Kaarto, 2018, Kuusela, 2018), polanteen oletettiin muodostuneen Mäntässä jo lumisateen aikana 12. päivän iltana sekä 13. päivän vastaisena yönä. Tässä tapauksessa polanteen tarkaksi muodostumisajankohdaksi Mäntässä arvioitiin 12.12. klo 17 - 13.12. klo 1.

Säähavainnot polanteen muodostumisajankohdalta saatiin kelikameran välittömässä läheisyydessä sijaitsevasta tiesääasemasta (taulukko 4.1).

Aika	T (°C)	T _s (°C)	RH (%)	Int (mm/h)	Sum (mm)
17.02	-1,9	-1,6	100	1,5	0
18.02	-1,7	-1,7	100	0,7	1,1
19.02	-1,7	-1,7	100	0,2	1,5
20.02	-1,7	-1,7	100	0,2	1,9
21.02	-1,2	-1,8	100	0,2	2,1
21.52	-2,1	-1,7	100	0,2	2,3
22.55	-2,8	-2,1	100	0	2,4
0.05	-3,2	-2,3	100	0	2,4
1.02	-3,2	-2,5	100	0	2,4
ka	-2,13	-1,86	100	0,30	

Taulukko 4.1: Havaintodataa Mäntän tiesääasemalta kantatieltä 58. Taulukossa nähdään polanteen oletetulta muodostumisajalta (noin klo 17-1) ilman lämpötilan (T), tienpinnan lämpötilan (T_s), ilmankosteuden (RH), sateen intensiteetin (Int) sekä kumulatiivisen sademäärän arvot noin tunnin välein sekä keskiarvot kaikista kyseisen ajanjakson havainnoista.

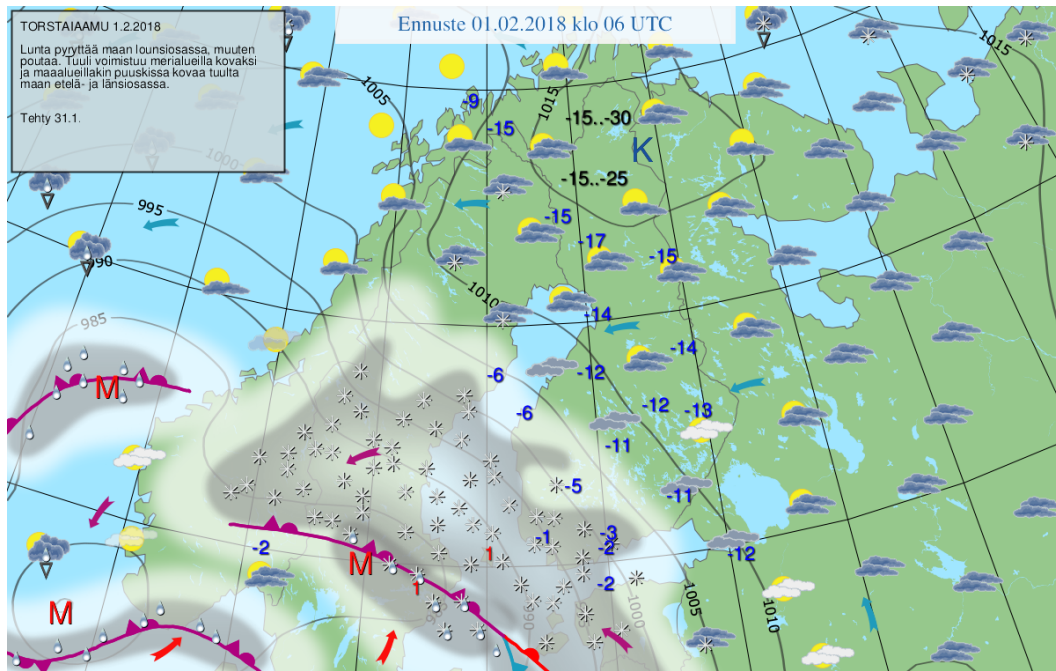


Kuva 4.2: Polannetta havaittavissa tienpinnalla tienpintaa kuvaavan kelikameran kuvassa Mänttä-Vilppulan Mäntässä 13. joulukuuta klo 14.49. Polanne havaitaan helposti tien tummasta asfalttipinnasta epätasaisena valkoisena lumikerroksena.

4.2 Esimerkkitapaus 2: 1. helmikuuta 2018

Toinen hieman samankaltainen säätilanne kuin edellisessä kappaleessa oli helmikuun 1. päivänä 2018. Tässä tilanteessa Suomen säähän vaikutti maan pohjoisosassa sijainnut korkeapaine ja ilmassa oli verrattain kylmää. Helmikuun 1. päivän vastaisen yön aikana nousi etelästä lauhaa, kosteaa ilmaa pitkälti okludoituneen matalapaineen mukana (kuva 4.3). Lunta satoi maan eteläosaan paikoin jopa 15 cm. Avonainen Suomenlahti lienee edesauttanut vielä omalta osaltaan kohtalaisen lumisateen ylläpitämistä eteläisessä Suomessa.

Tässä tapauksessa kelikamerakuvia oli käytettävissä Tampereen seudulta, valtieltä 2 sekä pääkaupunkiseudulta. Näillä sijainneilla lumisade kesti aamusta pitkälle iltapäivään. Erityistä tässä tapauksessa oli varsinkin Helsingin Pirkkolan kohdalla tiellä 101 eli Kehä I:llä muodostunut polanne. Kelikamerakuvasta nähdään selvästi hyvin säännölliseksi kuvioksi tienpintaan tamppautunut lumikerros (kuva 4.4). Varsinkin



Kuva 4.3: Tammikuun 31. päivä tuotettu ennuste ajalle 1.1. klo 6 UTC.

© Ilmatieteen laitos, Sää- ja turvallisuuskeskus



Kuva 4.4: Polannetta havaittavissa tienpinnalla tiellä 101 eli Kehä I:llä Helsingin Pirkkolassa 1. helmikuuta klo 13.43. Polanne havaitaan helposti tien tummasta asfalttipinnasta tien oikeanpuoleisella kaistalla poikittaisena säännöllisinä valkoisina raitoina.

vilkkaan liikenteen vuoksi kyseisen tien pinta pysyy ainakin osittain paljaana koko lumisateen ajan, joten polanteen muodostumisajankohta on nähtävissä melko tarkkaan. Polannetta voidaan tässä tapauksessa olettaa muodostuneen noin klo 11-14.

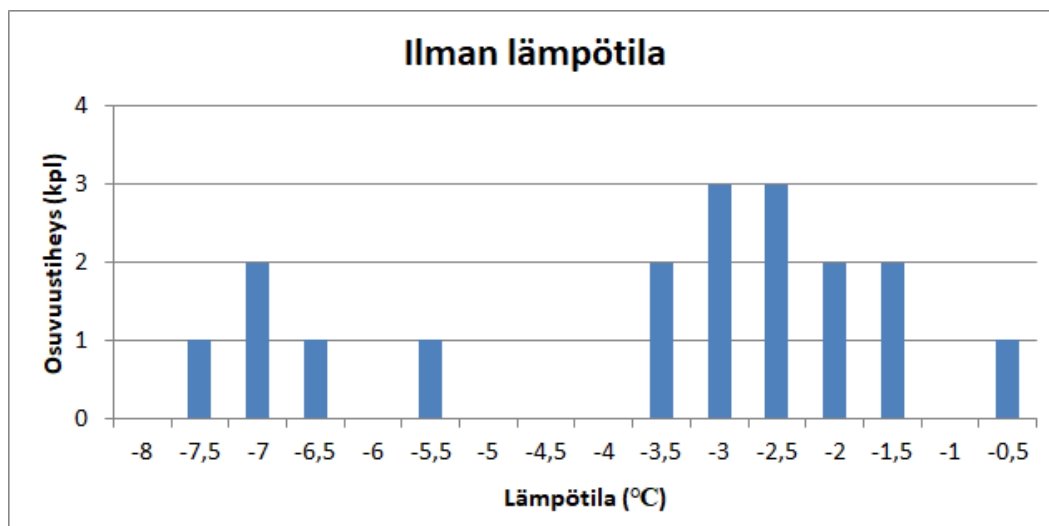
Tässä tapauksessa lähin tiesääasema ei ollut samassa pisteessä kelikameran kanssa vaan sijaitsi noin 700 metriä kelikamerasta etelään. Sääolosuhteiden voidaan siis olettaa olevan samat kelikameran kuvaamalla tieosuudella sekä tiesääaseman kohdalla. Säähavaintodata on esitetty taulukossa 4.2.

Aika	T (°C)	T _s (°C)	RH (%)	Int (mm/h)	Sum (mm)
10.59	-1,8	-1,1	99	1,3	0
11.59	-1,7	-1,0	100	0,9	1,1
13.04	-1,4	-1,0	100	1,7	2,1
13.59	-1,1	-1,1	100	2,4	3,6
ka	-1,58	-0,98	98,3	1,20	

Taulukko 4.2: Havaintodataa tiesääasemalta valtatieltä 3 Helsingin Pirkkolasta. Taulukossa nähdään suureiden arvot polanteen oletetulta muodostumisajalta (noin klo 11-14) samoin kuin taulukossa 4.1.

4.3 Havaintojen yhteenveto

Alun perin säähavaintodataa kerättiin tiesääasemilta tarkasteltavista suureista kerran tunnissa. Tämän kuitenkin huomattiin tuottavan erinäisiä ongelmia. Esimerkiksi Lapissa pääteiden hoitoluokka on muun Suomen teihin verrattuna prioriteetiltaan alemmaa, mikä tarkoittaa myös, että toimenpideajat ovat Lapissa yleisesti pidempiä muuhun Suomeen verrattuna. Tämä johti Lapin alueella (sekä muualla alempien hoitoluokkien teillä) havaittujen polanteiden muodostumisen keston olemaan huomattavasti pidempiä muun Suomen vastaaviin verrattuna. Ero oli suurimmillaan jopa yhdeksän tuntia.

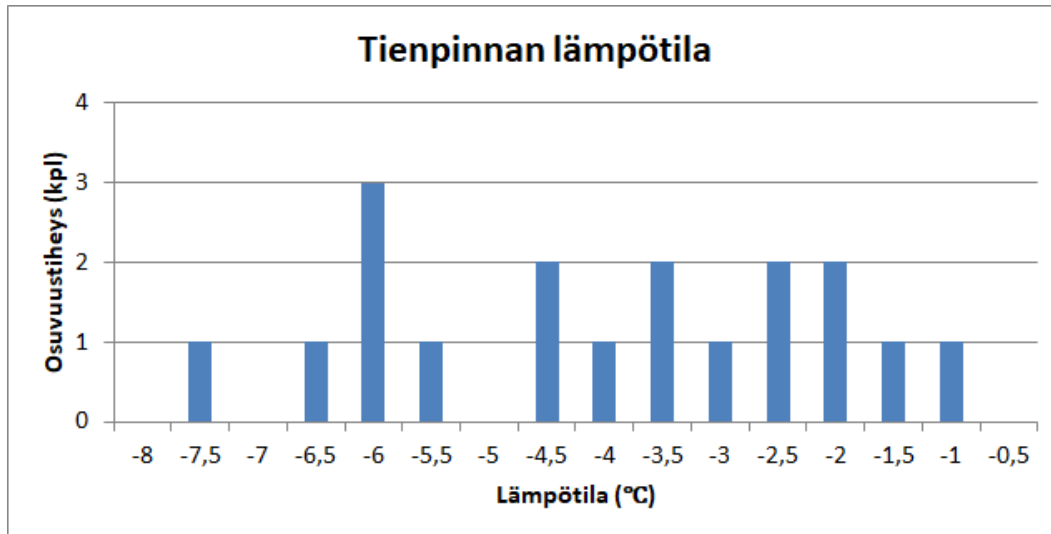


Kuva 4.5: Polannehavaintojen ilman lämpötilan jakauma (n=18).

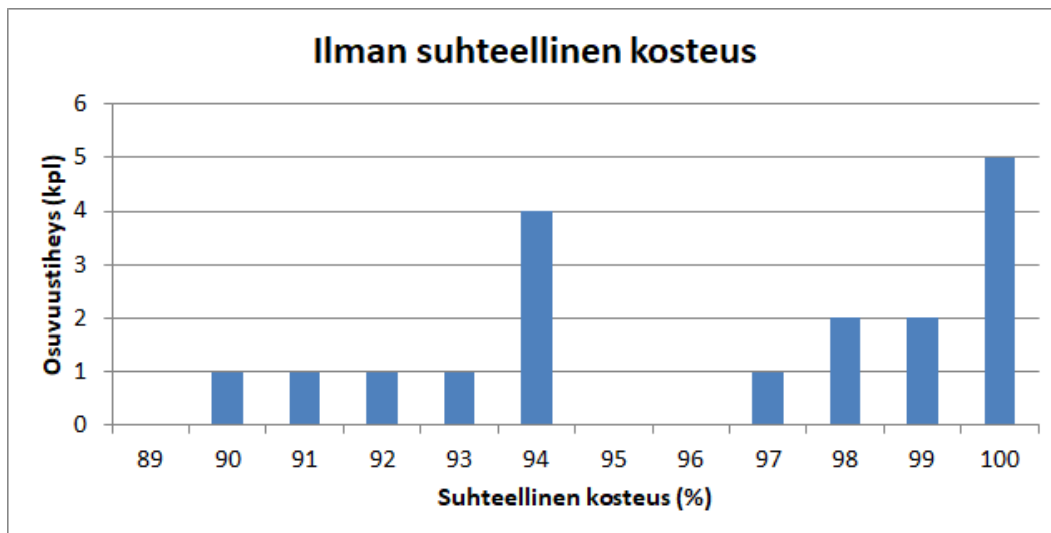
Tämän huomattiin johtavan ajaltaan pidempien havaintojen suurempaan painoarvoon. Havaintoajankohdista päädyttiin tämän takia ottamaan vain yksi, koko havaintoajankohdan yli oleva keskiarvo havaintosuureista, jotta ongelma saatiin poistettua. Toisaalta tämä toimenpide johti osittain datan köyhtymiseen, mutta sen ei huomattu vaikuttavan tuloksiin juurikaan.

Jokaiselle todetulle polannehavaintoajankohdalle ja -paikalle tehtiin edellä esitetyjen kahden polannetapauksen mukainen analyysi. Polannetapauksista saadut havaintosuureiden keskiarvot päädyttiin pyöristämään lämpötilan osalta lähimpään puoleen aseeseen ja suhteellisen kosteuden osalta lähimpään kokonaiseen prosenttiyksikköön. Näin saatiin visualisoitua tiettyjen arvojen esiintyvyyksiä. Ilman lämpötilan, tienpinnan lämpötilan sekä ilmakehän kosteuden osalta yhteenvetot havainnoista on esitetty kuvissa 4.5, 4.6 ja 4.7.

Varsinkin lämpötilan sekä ilman suhteellisen kosteuden kohdalla havainnoissa on kaksi melko selvää aluetta, joissa havaintoja on tiheimmin. Ilman lämpötilan kohdalla (kuva 4.5) selvimmät "huiput" havainnoissa ovat -7°C sekä -3 ja -2°C tienoilla. Suhteellisen kosteuden tapauksessa havainnot ovat 90-94 sekä 97-100 prosentin alueilla. Tienpinnan lämpötilan tapauksessa havainnot ovat melko tasaisesti jakautuneet koko havaintoalueelle, mutta $-4,5^{\circ}\text{C}$ ja -1°C välissä havaintoja on silti eniten.



Kuva 4.6: Polannehavaintojen tienpinnan lämpötilan jakauma (n=18).



Kuva 4.7: Polannehavaintojen ilman suhteellisen kosteuden jakauma (n=18).

Varsinkin lämpötilasuureiden kohdalla maantieteellisellä sijainnilla oli melko selvä merkitys polanteen muodostumishetkellä havaittuun lämpötilaan. Suurin osa kylmimmistä lämpötilahavainnoista on peräisin Lapin alueen polannetilanteista. Tämä saattoi kuitenkin olla vain sattumaa johtuen Lapin muuhun Suomeen nähden kylmemmästä ilmastosta tai siellä sattumalta vallinneesta säätilasta. Ilman suhteellisen kosteuden havaintojen kohdalla ei samankaltaista maantieteellistä riippuvuutta ollut.

Tämä miltei mitätön lämpötilariippuvuus polanteen muodostumiseen vaikuttaa tuloksena melko samanlaiselta kuin Abelen ja Gow'n (1976) tulos. Sen sijaan Leijonhufvudin (1960) tutkimuksen tulos, jonka mukaan lumi pakkautuisi tiheämmäksi lämpimissä lämpötiloissa kuin kylmissä ja näin olettaen aiheuttaisi polannetta helpommin nollan lähellä olevissa lämpötiloissa, ei ole saadun tuloksen kanssa täysin samoilla linjoilla.

Merkittävien johtopäätösten tekeminen näin pienestä otannasta on haastavaa. Osa tuloksesta on todennäköisesti myös sattumaa. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavina.

5. Ilmatieteen laitoksen tiesäämalli

RoadSurf

Ilmatieteen laitoksen tiesäämallia alettiin kehittää 1990-luvun lopulla vastaamaan erinäisten tienkäyttäjien sekä muun muassa meteorologien tarpeita saada lisätietoa Suomen tieverkon pääteiden tienpinnan meteorologisista olosuhteista. Tiesäämalli on ollut operatiivisessa käytössä vuodesta 2000 asti (Heikinheimo *et al.*, 2000). Mallin toiminta on selitetty Kangas *et al.* (2015) artikkelissa.

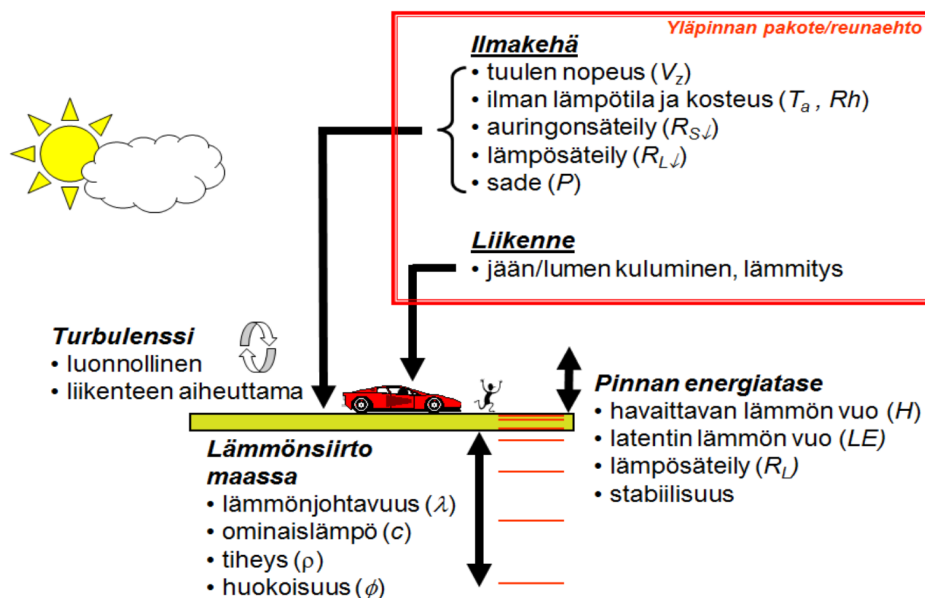
RoadSurf-tiesäämalli on yksiulotteinen energiatasapainomalli mallintaen energian siirtymistä maaperän ja tienpinnan sekä tienpinnan ja ilmakehän välillä (kuva 5.1). Malli ottaa myös huomioon tienpintaan satavat hydrometeorit (sekä kiinteät että nestemäiset) ja muodostaa osasta niistä sekä tienpintaan kertyvistä jäästä ja lumesta niin sanotut varastosuureet. Esimerkiksi lumivarasto lisääntyy aina lumen sataessa ja vähentyy liikenteen tai tuulen, sulamisen tai jäätyvän vaikutuksesta. Viimeisessä tapauksessa lumivaraston sisältöä siirtyy jäävarasatoon.

Liikenteen vaikutus tien olosuhteisiin siis otetaan myös huomioon. Liikenne aiheuttaa tiehen sekä mekaanista lämmitystä että turbulenssia pinnan lähelle.

Tiesäämalli voi käyttää pohjadataan havaintoja sekä numeerista ennustemallidataa. Havaintoina malli käyttää SYNOP- ja tiesääasemahavaintoja sekä sadetutkahavaintoja ja mobiilihavaintoja ajoneuvoista (Lovén *et al.*, 2019). Ennustepohjana malli voi käyttää mitä tahansa numeerista säämallidataa. Perus säämallidatan lisäksi se voi käyttää ennustepohjana myös sadetutkaennustetta. Operatiivisessa käytössä tiesäämalli saa alkuarvonsa havaintodatasta ja käyttää ennustepohjanaan Ilmatieteen

laitoksen päivystävän meteorologin editoimaa ennustemallidataa, joka pohjautuu vahvasti ECMWF:n mallidataan.

Malli tuottaa tuloksena tienpinnan lämpötilan lisäksi myös tulkinnan keliolosuhteista sekä niin sanotun liikenneindeksin, joka kertoo, millainen ajokeli tiellä vallitsee (normaali ajokeli, huono ajokeli tai erittäin huono ajokeli). Näitä tietoja hyödyntävät varsinkin tienhoidon ammattilaiset (Destia Oy:n kelikeskus) suunnitellessaan tiehoidon toimenpiteitä (Kaarto, 2018).



Kuva 5.1: Havainnekuva tiesäämallin energiatasapainoperiaatteesta sekä reunaehdoista. (Kuva suomennos Kangas *et al.* (2015) artikkelissa esitetystä kuvasta.)

5.1 Polanneindeksi

Saatujen keskiarvoisten olosuhteiden (osio 4.3) pohjalta tehtiin karkea raja-alue oletetuille todennäköisimmille polanteen muodostumisolosuhteille (taulukko 5.1). Sateen intensiteetin kohdalla huomattiin, ettei sen hetkittäisellä arvolla ole lähes mitään kytköstä polanteen muodostumiseen, vaikka näin aluksi oletettiin. Tämän takia sateen hetkellisen intensiteetin käyttämisestä polanteen muodostumisen osatekijänä luovuttiin. Sen sijaan tilalle otettiin edellisen kolmen tunnin sadekertymä. Polanteen muodostumi-

Painoarvo	1	2	3
T (°C)	$-7,5 \leq T \leq 0,5$	$-4,0 \leq T \leq 0,0$	$-1,5 \leq T \leq -0,5$
T _s (°C)	$-7,5 \leq T_s \leq 0,0$	$-4,5 \leq T_s \leq 0,0$	$-3,0 \leq T_s \leq -0,5$
RH (%)	$85 \leq RH \leq 100$	$93 \leq RH \leq 100$	$97 \leq RH \leq 100$
Sum _{3h} (mm)	$\geq 1,0$	$\geq 1,5$	$\geq 2,0$

Taulukko 5.1: Suureille annettavat painoarvot sekä niitä vastaavat lämpötilan (T), tienpinnan lämpötilan (T_s), ilmankosteuden (RH) sekä kolmen tunnin sadekertymän (Sum_{3h}) arvot.

sen oletetaan olevan siis mahdollista tilanteessa, jossa uutta lunta on satanut kolmen edellisen tunnin aikana. Tämä oletus on melko pätevä varsinkin teillä, joiden tienhoituluokka mahdollistaa tienhoitotoimenpiteiden alkamisen vasta tuntien jälkeen sateen alkamisesta. Kolmen tunnin sadekertymän käyttö mahdollistaa myös viiveellä sateen loppumisen jälkeen muodostuvan polanteen huomioimisen.

Tarkoituksena on sisällyttää polannepäätely tiesäämalliin, joten sääparametreistä muodostettiin neliportainen polanneindeksi. Ensin jokaisen havaintosuureen arvolle annettiin taulukon 5.1 mukaisesti painoarvot. Painoarvon 3 saa siis suureen arvo, joka on lähimpänä osiossa 4.3 selvitetyjä olosuhteita. Hieman kauempana painoarvo on 2 ja löysimmillä rajoilla painoarvo on 1. Näiden rajojen ulkopuolella havainto saa painoarvon 0.

Kun yhden havaintohetken havaintosuureet ovat kaikki saaneet omat painoarvonsa, otetaan näistä neljästä havaintojen painoarvoista keskiarvo, jonka mukaan määräytyy kyseisen ajankohdan ja paikan polanneindeksin arvo (5.2).

Esimerkiksi jos $T = -3,8^{\circ}\text{C}$, $T_s = -2,5^{\circ}\text{C}$, $RH = 87\%$ ja $\text{Sum}_{3h} = 1,2\text{mm}$, saavat suureet seuraavat painoarvot taulukon 5.1 mukaisesti: $T \rightarrow 2$, $T_s \rightarrow 3$, $RH \rightarrow 1$ ja $\text{SUM}_{3h} \rightarrow 1$. Näiden painoarvojen keskiarvon perusteella ($k_a = 1,75$) polanneindeksi saa taulukon 5.2 mukaan arvon 1.

Keskiarvo	Polanneindeksin arvo
$ka = 3$	3
$2 \leq ka < 3$	2
$1 \leq ka < 2$	1
$ka < 1$ tai jos yhden tai useamman havaintosuureen painoarvo on 0	0

Taulukko 5.2: Polanneindeksin rakentuminen havaintosuureille annettujen indeksien arvojen keskiarvon perusteella. Polanneindeksin arvot vastaavat seuraavia keliolosuhteita: 3 = polanteen muodostuminen todennäköistä, 2 = kohtalainen todennäköisyys polanteen muodostumiselle, 1 = pieni todennäköisyys polanteen muodostumiselle, 0 = ei polanteen muodostusta.

5.2 Polannealgoritmin tuottama polanne-ennuste

Edellä esiteltyä algoritmia testattiin kolmena eri ajankohtana. Tiesäämallille annettiin alkuarvoksi havaintodataa 2 vuorokauden ajalta, jonka jälkeen mallia ajettiin ennusteena. Ennustetta verrattiin tehtyihin polannehavaintoihin ja ennusteen todettiin vastaavan vähintään kohtalaisesti havaittua polanteen muodostusta. Päättelyä kokeiltiin myös ajanjaksolle, jolta ei dokumentoituja polannehavaintoja ole olemassa.

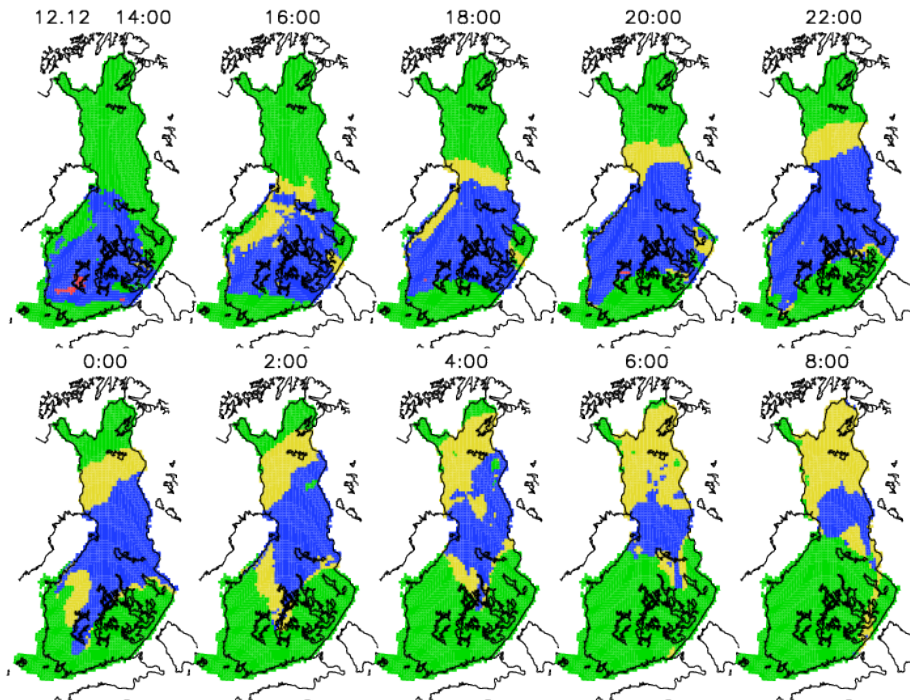
Mäntän polannetilanteessa joulukuun 12.-13. päivä polanteen oletettiin muodostuneen klo 17-01 välillä, joka vastaa melko hyvin tiesäämallin tulkintaa polanteen muodostumisesta. Tosin tilanne vaikuttaa kuvan 5.2 mukaan olleen käynnissä jo ennen klo 17, mutta tätä ei voitu varmasti todeta kelikameran kuvista lumisateen sekä tiellä olleen lumen vuoksi. Myös Lapin alueen polannehavaintojen perusteella kuva 5.2 vaikuttaa varsin järkevältä. Tiesäämallin tulkinnan perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että merkittävimmät polanteen muodostumisalueet olisivat olleet Keski-Suomen ympäristössä. Kyseiseltä alueelta ei havaintoja saatu kuin Mäntästä, joten polanteen

muodostumisen merkittävyyteen ei voida ottaa sen tarkemmin kantaa.

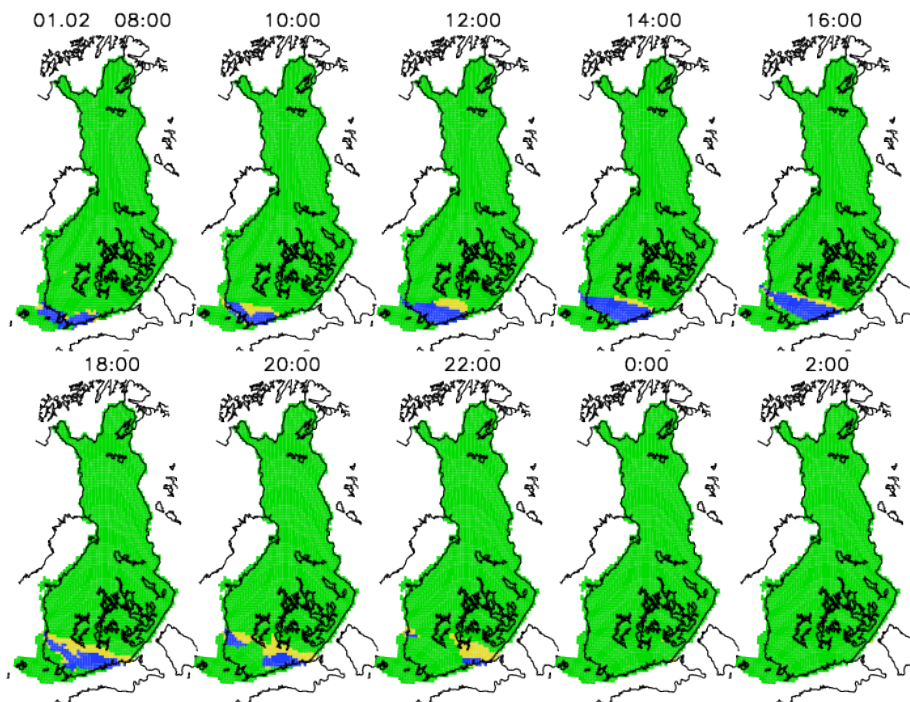
Helmikuun polannetapauksessa eteläisestä Suomesta saatujen polannehavaintojen perusteella kuvan 5.3 polanteen muodostumisalueet vaikuttavat järkeviltä. Pääkaupunkiseudulla polanteen muodostumisen havaittiin loppuneen noin klo 14, mutta kuvan 5.3 perusteella polannetta olisi voinut muodostua myös tämän jälkeen. Tässä on hyvä esimerkki siitä kuinka oikeilla tienhoidon toimenpiteillä on merkittävin polanteen muodostuminen voitu pysäyttää ja polanne poistaa tieltä ennen suurempien vahinkojen syntymistä.

Sekä joulukuun 2017 että helmikuun 2018 polannetilanteista tehtyjen uusanalyysien tulkinnassa on suurimpana ongelmana se, etteivät havainnot ole riippumattomia uusanalyysin toiminnasta. Toisin sanoen näiden havaintojen vertaaminen tiesäämallin tulkintaan polanteen muodostumisesta todistaa ainoastaan havaintojen perusteella rakennetun algoritmin toimivuuden ylipäättään. Ainoastaan huhtikuun 2.-3. päivän polannetapaus on algoritmin kehittämisestä riippumaton. Tässä ongelmana taas on kuitenkin se, ettei tältä ajalta ole saatavilla kuin tienkäyttäjän kertoma oma havaintonsa (Kaarto, 2018), jota ei suoraan voi verrata kelikameroista saatuihin havaintoihin. Lisäksi tämä tienkäyttäjän havainto oli Salosta ja kuvan 5.4 perusteella merkittävimmät polanteen muodostumiset olisivat olleet tältä alueelta pohjoiseen. Tässä tilanteessa voidaan siis sanoa polannealgoritmin toimivan lähinnä suuntaa antavasti.

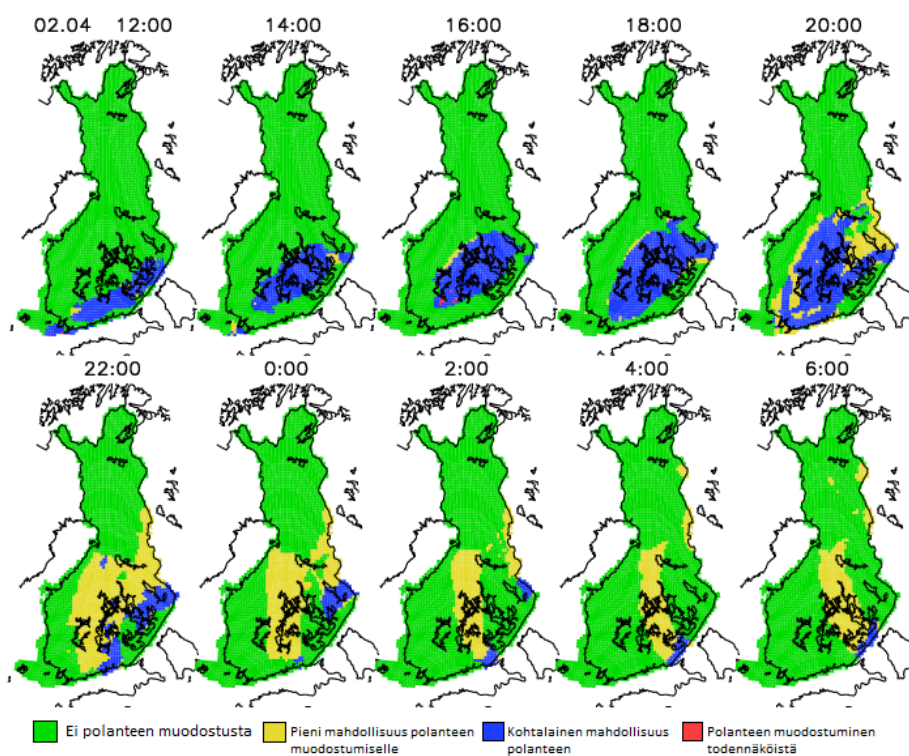
Polanneindeksin ennustuskyvyn toimivuutta ei päästy tutkimaan vielä laajemmin, mutta suppean käyttäjätutkimuksen mukaan ennustuskyky vaikutti lupaavalta.



Kuva 5.2: Polannealgoritmin testausta joulukuun 12. päivän havainnoilla. Kuvan värit (vihreä-keltainen-sininen-punainen) vastaavat polanne indeksin arvoja 0-3. Kellonajat UTC-aikaa.



Kuva 5.3: Polannealgoritmin testausta helmikuun 1. ja 2. päivän havainnoilla.



Kuva 5.4: Polannealgoritmin testausta huhtikuun 2. ja 3. päivän havainnoilla.

6. Polannehavainnoinnin sekä ennustamisen jatkokehittely

Tämän tutkielman ohessa huomattiin polanteen havainnoimiseen sekä siitä edelleen sen ennustamiseen liittyviä puutteita. Tulevaisuudessa polanteen tutkimisesta tulee kuitenkin Suomen alueella helpompaa muun muassa kelikamerakuvien arkistoinnin aloittamisen myötä. Vuoteen 2018 asti kamerakuvia oli saatavilla vain edellisen kolmen viikon ajalta, mikä vaikeutti aiemmin tilanteiden tutkimista historiasta. Polanteen havainnointia ja ennakointia helpottaa myös tässä tutkielmassa kehitetty numeerinen ennustetuote, jota ajetaan jatkossa Ilmatieteen laitoksella operatiivisesti.

Uudet havainnointimenetelmät mahdollistaisivat laajemman ja tarkemman havainnoinnin ja ennusteen verifoinnin. Esimerkiksi liikenteessä ajoneuvojen mukana liikkuvat havaintolaitteistot sallivat tarkemman havainnoinnin. Muun muassa Jalonne Oy tuottaa kamerakuvaa auton tuulilasin läpi, joka helpottaa tienpinnan havainnointia (kuva 6.1). Lisäksi Jalonne Oy on kehittänyt matkapuhelimella käytettävän sovelluksen, joka hyödyntää matkapuhelimen omaa kiihtyvyyssanturia tien tasaisuuden tai epätasaisuuden mittaamiseen (Malmivuo, 2018). Kamerakuvan ja autossa mukana kulkevan kiihtyvyyssanturin avulla voitaisiin havainnoida myös polannetta tiellä. Tasaisuusmittaussovelluksella sekä kameroilla varustettuja autoja (mm. joitakin Postin jakeluajoneuvoja) on jo käytetty Suomen teillä Jalonne Oy:n toimesta (kuva 6.1). Toistaiseksi niitä ei kuitenkaan ole vielä hyödynnetty polanteen tunnistamiseen tiessä ja tämä menetelmä vaatiikin vielä jatkotutkimusta ja -kehittämistä. (Jalonne Oy)

Kuvamateriaalin hyödyntäminen polanteen havainnointiin on kuitenkin manu-



Kuva 6.1: Kuva auton kojelautakamerasata Jalonne Oy:n kuvapankista. Kuva otettu lähellä Tamperetta 12.2.2018.

aalisesti tehtynä verrattain työlästä. Ongelmaa helpottaisi havainnoimisen automatisointi. Sen voisi mahdollistaa esimerkiksi kuvantunnistus koneoppimisen avulla. Tätä menetelmää on tutkittu muun muassa Ilmatieteen laitoksella yhteistyössä Jyväskylän ammattikorkeakoulun kanssa (Hippi *et al.*, 2018). Tutkimuksen yhteydessä tuotettiin algoritmi, joka kykeni havainnoimaan näkyvyyttä kelikamerakuvasta. Samankaltaista menetelmää voitaisiin hyödyntää myös polanteen tapauksessa.

7. Yhteenveto

Polanne on varsin yleinen ja ajoittain liikenneturvallisuutta heikentävä ilmiö talvisen Suomen teillä. Toistaiseksi polanteen ennustaminen on ollut vain kokeneiden teinheidon ammattilaisten "näppituntuman" tulosta ja yleensä polanteen muodostuminen ollaan voitu todeta vasta sen muodostuttua. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää ilman lämpötilan, tienpinnan lämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden sekä sateen intensiteetin vaikutusta polanteen muodostumiseen.

Soveltuvimmaksi polanteen havainnointimenetelmäksi todettiin Intelligent Traffic Management Finland Oy:n kelikameraverkon kelikamerakuvat. Kamerakuvista saatiin polannehavaintoja yhteensä 18 kappaletta viideltä eri ajanjaksolta talvelta 2017-2018. Suurimman osan havainnoituista polanteista todettiin syntyneen keskenään melko samankaltaisissa synoptisissa tilanteissa, joissa kuitenkin tutkittavien suureiden arvoissa oli jonkin verran varianssia.

Kyseisistä tapauksista kerättiin säähavaintodataa kelikameroita lähimmiltä tiesääsemiltä polanteen syntymisajanhetkeltä. Sateen hetkellisen intensiteetin todettiin olevan käytännössä merkityksetön polanteen muodostumiselle. Siksi sateen hetkellisen intensiteetin sijasta tarkasteltavaksi otettiin edellisen kolmen tunnin sadekertymä.

Tienhoitoluokat ja siten myös toimenpideaika vaihtelee merkittävästi eri teiden välillä. Tämän huomattiin johtavan tiettyjen havaintopaikkojen eriarvoistumiseen. Sen vuoksi jokaisen polannetapauksen jokaisesta tarkastellusta havaintosuureista otettiin keskiarvo, joka edusti aina yhtä tapausta. Näiden saatujen tulosten perusteella tehtiin karkea oletus keskimääräisille polanteen muodostumisolosuhteille. Tulosten avulla muodostettiin niin sanottu polanneindeksi kuvaamaan polanteen muodostumisen to-

dennäköisyyttä. Polanteen päättelyketju sisällytettiin Ilmatieteen laitoksen tiesäämalliin.

Polanneindeksin toimintaa kokeiltiin tuottamalla kahdelle polannehavaitoajanjaksolle polanne-ennuste. Ennusteen toimivuutta kokeiltiin myös ajankohdalle, jolta oli saatavilla ainoastaan tienkäyttäjän oma polannehavainto. Kaikissa tapauksissa polanneindeksin avulla voitiin todeta suuntaa antavasti polanteen todennäköinen muodostumisalue.

Polannealgoritmia on tarkoitus Ilmatieteen laitoksen tiesäämalliin sisällyttämisen kautta käyttää ennustetuotteena. Sen toimivuutta päästiin alustavasti kokeilemaan talvikaudella 2018-2019 ja suppean käyttäjäkyselyn perusteella polanneindeksin toimivuus on koettu hyväksi ja uutta tietoa tuottavaksi.

Tulevaisuuden mahdollisuuksia polanteen havainnointiin ja siten ennustamisen parantamiseen tuovat muun muassa ajoneuvoihin kiinnitettävät kamerat ja kuvien tulkinta tekoälyn avulla sekä ajoneuvojen mukana kulkevat kiihtyvyyssanturit. Näiden osalta kuitenkin kulunee vielä aikaa ennen kuin menetelmää voitaisi käyttää polanteen tunnistamiseen. Näiden menetelmien hyödyntäminen voisi kuitenkin tukea polanteen ennustamisen kehittämistä.

Kiitokset

Tämä tutkielma toteutettiin osana Ilmatieteen laitoksen sekä yhteistyökumppanien 5G-Safe-hanketta, jonka tarkoituksena on muun muassa lisätä liikenneturvallisuutta sekä optimoida logistiikkaa ja tienhoitoa. Haluaisinkin kiittää Ilmatieteen laitosta mahdollisuudesta tuottaa tämä tutkielma osana hanketta ja etenkin Destia Oy:tä mahdollisuudesta työskennellä heidän rahoituksellaan. Haluan kiittää Destia Oy:n Rauno Kuuselaä sekä Oiva Huuskosta saamastani avusta työn alkumetreillä, sekä Seppo Kaartoa kaikesta avusta erityisesti kelikamerakuvien poiminnasta Destian palvelusta. Lisäksi haluaisin kiittää työnantajaani mahdollisuudesta työskennellä tutkielmani parissa heidän tiloissaan.

Kirjallisuutta

Jalonne Oy. <https://www.jalonne.fi/>, viitattu: 1.7.2019.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus: Talvihoito. <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/talvihoito>, viitattu: 20.3.2019.

Kielitoimiston sanakirja. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/netmot.exe?motportal=80>, viitattu: 20.3.2019.

Väylä: Teiden talvihoito. <https://vayla.fi/tieverkko/talvihoito>, viitattu: 20.3.2019.

Kelikamerat. <https://www.kelikamerat.info/>, viitattu: 23.4.2018.

Savon sanomat: Polanteinen tie koitui kohtaloksi. <https://www.savonsanomat.fi/kotimaa/Polanteinen-tie-koitui-kohtaloksi/509221>, viitattu: 23.6.2019.

Intelligent Traffic Management Finland Oy. <https://tmfg.fi/fi/road>, viitattu: 2.7.2019.

Traffic Management Finland: Digitraffic. <https://www.digitraffic.fi/>, viitattu: 2.7.2019.

Ilmatieteen laitos, Avoin data: Tiesäähavainnot. <http://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data-tiesaaHAVAINNOT>, viitattu: 4.7.2018.

Gunars Abele ja Anthony J. Gow. Compressibility characteristics of compacted snow. Tekninen raportti, Cold Regions Research and Engineering Lab Hanover, New Hampshire, 1976.

- Gunars Abele ja F. Donald Haynes. Effect of water content on the compressibility of snow-water mixtures. Tekninen raportti, Cold Regions Research and Engineering Lab Hanover, New Hampshire, 1979.
- M Heikinheimo, M Kangas ja A Venäläinen. Tests with a new road temperature model for selected winter weather conditions in Finland, 22nd Nordic Meteorologists' Meeting, Mariehamn, Finland 27.6 - 1.7. 2000.
- Marjo Hippi, Antti Mäkelä ja Mika Rantonen. Visibility estimation based on camera data and weather parameters. 19th SIRWEC conference, Smolenice, Slovakia 31st May 2018. http://develop.sirwec.org/wp-content/uploads/Presentations/2018-smolenice/7.6_Hippi.pdf, 2018.
- S. Kaarto (Destia Oy). Henkilökohtainen tiedonanto. 2018.
- Markku Kangas, Martti Heikinheimo ja Marjo Hippi. Roadsurf: a modelling system for predicting road weather and road surface conditions. *Meteorological applications*, **22**, no. 3, 544–553, 2015.
- R. Kuusela (Destia Oy). Henkilökohtainen tiedonanto. 2018.
- A.C. Leijonhufvud *et al.* Compacted Snow Road. III. Field Tests and Practical Applications. 1960.
- Liikennevirasto. Maanteiden talvihoito - Menetelmätieto, https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-01_maanteiden_talvihoito_web.pdf. *Liikenneviraston ohjeita 1/2017*, 2017.
- Lauri Lovén, Virve Karsisto, Heikki Järvinen, Mikko J. Sillanpää, Teemu Leppänen, Ella Peltonen, Susanna Pirttikangas ja Jukka Riekkö. Mobile road weather sensor calibration by sensor fusion and linear mixed models. *PloS one*, **14**, no. 2, e0211702, 2019.

Mikko Malmivuo. Soratien tasaisuusmittausteknologian arviointi: Digitalisaatiohanke 3-maanteiden ennakoiva kunnon hallinta. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2018*, https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-22_soratien_tasaisuusmittaus_web.pdf, 2018.

Heidi Saarinen. Kelin seurannan palvelutasojen määrittely. Tiesääpäivät, 3.6.2015. https://ely-keskus.fi/documents/10191/9777941/Kelin_seurannan_palvelutasojen_maarittely.pdf/e9ee2d66-76ba-4565-b749-044daf1353d1. 2015.

Vaisala Oyj. Vaisala ROSA Road Weather Station. 2001.

Johan Wåhlin, Sabine Leisinger ja Alex Klein-Paste. The effect of sodium chloride solution on the hardness of compacted snow. *Cold Regions Science and Technology*, **102**, 1 – 7, 2014.