



Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Routavaurioiden tunnistaminen satelliittikuvista, Ilmatieteen laitos

Päivitetty loppuraportti 11.12.2017

Hanne Suokanerva, Juval Cohen ja Timo Sukuvaara

Ilmatieteen laitos

Sisällys

1. Tavoite	2
2. Tehtävät ja aikataulu	3
3. Toteutus.....	5
3.1. Satelliitit.....	6
3.2. Kulmaheijastimet.....	7
3.3. Routavauriot.....	9
3.4. Sääolosuhteet.....	17
4. Kokeilun tulokset.....	20
4.1. Kuva-aineisto	20
4.2. Kuva-aineiston ensimmäisen vaiheen analyysi	20
4.3. Kuva-aineiston toisen vaiheen analyysi.....	23
4.4. Yhteenveto tuloksista.....	24
5. Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	26
6. Liitteet.....	27
7. Lähteet.....	27



1. Tavoite

Kokeilun tarkoituksena oli selvittää routavaurioiden tunnistamismahdollisuus SAR-satelliittikuvilla (Synthetic Aperture Radar – Synteettisen apertuurin tutka). Tämä toteutettiin mallintamalla routavaurioita asfalttipintaiseen tiehen tarkasti määriteltyihin kohtiin, jotka pyritään tunnistamaan SAR-satelliittikuvista.

Kohdealueeksi valittiin Sodankylän lentoasemalta käytöstä poistunut asfaltoitu tieosuus, johon vauriot voitiin toteuttaa häiritsemättä liikennettä.

SAR-satelliittikuvat otettiin käyttäen Cosmo SkyMed -satelliittijärjestelmää. Kaupallinen Cosmo SkyMed mahdollistaa kuvauskohteiden ja kuvaushetken vapaamman määrittelyn verrattuna tarjolla oleviin maksuttomiin satelliittituotteisiin, kuten EU:n Copernicus-ohjelman Sentinel-satelliitit. Ohessa Cosmo SkyMedin tarjoamat kuvatuotteet ja niiden hintatiedot taulukossa Taulukko 1.

Taulukko 1. Cosmo SkyMed kuvatuotteet ja hinnasto.

Tuote	Kuva-alue	Resoluutio	Polarisaatiot	Hinta [0%VAT]
ScanSAR Huge	200 x 200 km	100m pixel	VV / HH	1 345 €
ScanSAR Wide	100 x 100 km	30m pixel	VV / HH	1 345 €
Maritime package (min 12 kuvaa/3 kk)	ScanSAR HUGE/WIDE			904 €
Stripmap HIMAGE	40 x 40 km	3-5m pixel	VV / HH	2 556 €
Stripmap PingPong	30x30 km	15m pixel	HH / VV / VH / HV	1 678 €
Spotlight 2	10x10 km	1m pixel	VV / HH	5 724 €

Hankkeeseen valittiin käytettäväksi StripMap HIMAGE tuote, jonka kuva-ala on 40x40km erotuskyvyn ollessa 3-5m. Tämän oletettiin olevan riittävä erotuskyky routavaurioiden tunnistamiseen. Lisäksi alueesta otettiin syksyllä 2016 TerraSAR-X satelliitilla EU:n SEN3APP-projektin kuvauskiintiötä käyttäen tarkemmat, Spotlight 2:sta vastaavat, noin 1m erotuskyvyllä olevat kuvat (Staring Spotlight, kuva-ala 7.7x2.8 km) ennen ja jälkeen vaurioituksen. Satelliitissa on samantapainen SAR-mittalaite kuin Cosmo SkyMed -satelliiteissa, näin aineistot tukevat ja täydentävät toisiaan.

Kokeiluun valittu Stripmap HIMAGE kuva kattaa 40x40km suuruisen alan, kun vastaavasti tarkempi Spotlight 2 kuva, 1m erotuskyvyllä, kattaa 10x10km alan. Stripmap HIMAGE kuvatuotetta käyttämällä pyritään saavuttamaan kustannushyöty tarvittavien kuvien pienemmällä määrällä kuvattaessa suuria alueita. Hinnastosta nähdään, että Spotlight 2 on yli kaksi kertaa kalliimpi kuin Stripmap HIMAGE. Teoriassa yhden Stripmap HIMAGE kuvan alueen kattamiseen tarvitaan vähintään 16 Spotlight 2 kuvaa, jolloin alueen kattavien kuvien hintaero eri kuvatuotetta käyttäen olisi jopa 36-kertainen.



2. Tehtävät ja aikataulu

Hanke toteutettiin 1.9.2016 – 30.10.2017 välisenä aikana. Toteutuksen tehtäväkohtainen aikataulusuunnitelma on esitetty alla olevassa Taulukko 2:ssa.

Taulukko 2. Tehtäväkohtainen aikataulusuunnitelma

Tehtävä	Tarkempi kuvaus	Milloin	Kuka
Kulmaheijastimien asennus	6 kpl kulmaheijastimia asennetaan Sodankylän lentokentälle ja tehdään niihin lumisuojuukset.	lokakuu 2016	Markku Ahponen, Jyrki Mattanen
Cosmo Skymed - satelliittikuvat tiestä, tilaus ja vastaanotto	Kohdetiistä tilataan satelliittikuvat samoilla asetuksilla kaksi kuvaa sekä ennen että jälkeen vaurioituksen. Kun tilaukset on hyväksytyt, vastaanotetaan kuvat Ilmatieteen laitoksen Sodankylän satelliittivastaanottokeskuksessa.	loka-marraskuu 2016	Timo Pirttijärvi, Hanne Suokanerva
TerraSAR-X-satelliittikuvien tilaus	Kohdetiistä tilataan tarkemmat 1m resoluution satelliittikuvat ennen ja jälkeen vaurioituksen	loka-marraskuu 2016	Juval Cohen
Ilmakuvaus	Kohdetie valokuvataan ilmasta ennen ja jälkeen routavaurioita mallintavien urien tekemisen.	loka-marraskuu 2016	Kari Korvanen, DATES-hanke
Tien vaurioitus	Vaurioitus tehdään leikkaamalla n. 5 m pituisia keskimäärin 5-10 cm syviä ja leveitä uria tien pintaan, joiden suunta on satelliitin lentoratojen suhteen joko samansuuntainen tai kohtisuora. Lisäksi tehdään leveämpi epäsäännöllinen ura, sekä reikää simuloiva ura sekä kohoumaa vastaava keko.	lokakuu 2016	Markku Ahponen, Jyrki Mattanen, Hanne Suokanerva, Sami Suopajarvi
Tien lakaisu	Tieltä lakaistaan pois ajan saatossa kerääntyneet ylimääräiset sorat ja kasvit. Tie lakaistaan uudelleen routavauriomallinnuksen jälkeen, jotta saadaan vaurioituksessa tielle kertynyt ylimääräinen sora ja asfaltinpalaset pois. Myös satanut lumi lakaistaan tienpinnalta pois ennen kuvien ottoa.	loka-marraskuu 2016	Heikki Heinonen, DATES-hanke
Koordinaatit	Mitataan tarkkuus GPS:llä tarkat koordinaatit kulmaheijastimille sekä tien vauriokohdille.	marraskuu 2016	Juha Lemmetyinen
Satelliittikuvien tulkinta	Kuvapareista pyritään löytämään interferometristä kuvatulkinntaa käyttäen routamallinnukset.	joulukuu 2016 – helmikuu 2017	Juval Cohen



Tehtävä	Tarkempi kuvaus	Milloin	Kuka
Tien vaurioitus	Edellisenä syksynä tehtyjä vauriokohtia syvennetään ja mahdollisesti levennetään. Sen lisäksi voidaan tehdä myös uusia vaurioituksia. Pohjana käytetään otettujen kuvien tulkinnasta saatuja tuloksia.	toukokuu 2017	Markku Ahponen, Jyrki Mattanen, Hanne Suokanerva
Tien lakaisu	Tieltä lakaistaan pois uudelleen vaurioituksen yhteydessä tielle kertynyt ylimääräinen sora ja asfaltinpalaset.	toukokuu 2017	Heikki Heinonen, DATES-hanke
Ilmakuvaus	Kohdetie valokuvataan uudelle ilmasta käsin uudelleen vaurioituksen jälkeen	toukokuu 2017	Kari Korvanen, DATES-hanke
Cosmo SkyMed - satelliittikuvat tiestä, tilaus ja vastaanotto	Kohdetiestä tilataan satelliittikuvat samoilla asetuksilla kaksi kuvaa sekä ennen että jälkeen uudelleen vaurioituksen. Kun tilaukset on hyväksytyt, vastaanotetaan kuvat Sodankylän vastaanottoantennilla.	touko- kesäkuu 2017	Timo Pirttijärvi, Hanne Suokanerva
Satelliittikuvien tulkinta	Kuvapareista pyritään löytämään interferometristä kuvatulkintaa käyttäen routamallinnukset.	kesäkuu 2017	Juval Cohen



3. Toteutus

Projektin aikana otettiin Sodankylän lentokentän alueelta 2016 syksyllä 2 Stripmap HIMAGE kuvaa ennen ja jälkeen kohdetien vaurioituksen. Lisäksi yhdet TerraSAR-X Staring Spotlight kuvat ennen ja jälkeen tarkemmalla 1m resoluutiolla kattaen kuva-alan 21.6 km² (7.7 x 2.8 km). Lisäksi kohdetiestä otettiin ilmakuvat ennen ja jälkeen vaurioituksen. Syksyllä 2017 tiehen tehtiin uudet isommat vauriot ja niistä otettiin 2 Stripmap HIMAGE kuvaa ennen ja 2 kuvaa jälkeen vaurioiden.

Taulukko 3. Toteutunut aikataulu

Type	Start	End	Satellite	SensorMode	Pass
Kulmaheijastimien asennus	7.10.2016				
StripMap (HIMAGE) – Right	18.10.2016 3:03	18.10.2016 3:04	Cosmo-SkyMed-2	H4-0A	ASCENDING
EL20161018_7246_445998.6.2_9685108.tar.gz					
TSX kuva	18.10.2016 15:22				
TX01_SAR_ST_SSC_20161018T152228_20161018T152228_NSG_035094_4559.TSX.tar					
StripMap (HIMAGE) – Right	26.10.2016 3:03	26.10.2016 3:04	Cosmo-SkyMed-1	H4-0A	ASCENDING
EL20161026_7266_448279.6.2_9727108.tar.gz					
Ilmakuvat tiestä	26.10.2016				
Routavauriot	27.-28.10.2016				
Tienpinnan lakaisu	28.10.2016				
TSX kuva	29.10.2016 15:22				
TX01_SAR_ST_SSC_20161029T152228_20161029T152229_NSG_035261_1339.TSX.tar					
Tienpinnan lakaisu, lumet	2.11.2016				
Ilmakuvat kohdetiestä	2.11.2016				
Tienpinnan lakaisu, lumet	6.11.2016				
StripMap (HIMAGE) - Right	7.11.2016 3:03	7.11.2016 3:03	Cosmo-SkyMed-4	H4-0A	ASCENDING
EL20161107_7290_451683.6.2_9777108.tar.gz					
StripMap (HIMAGE) - Right	11.11.2016 3:03	11.11.2016 3:03	Cosmo-SkyMed-1	H4-0A	ASCENDING
EL20161111_7299_452769.6.2_9795108.tar.gz					
Kulmaheijastimien paikanmäärittäminen	8.12.2016				
Routavaurioiden paikanmäärittäminen	20.6.2017				
Kulmaheijastimien uudelleen suuntaus	5.10.2017				
StripMap (HIMAGE) - Right	11.10.2017 3:12	11.10.2017 3:12	Cosmo-SkyMed-2	H4-0A	ASCENDING
EL20171011_8147_546344.6.2_12053108.tar.gz					
StripMap (HIMAGE) - Right	12.10.2017 3:12	12.10.2017 3:12	Cosmo-SkyMed-3	H4-0A	ASCENDING
EL20171012_8147_546615.6.2_12055108.tar.gz					
Routavauriot	23.10.2017				
StripMap (HIMAGE) - Right	27.10.2017 3:12	27.10.2017 3:12	Cosmo-SkyMed-2	H4-0A	ASCENDING
EL20171027_8175_550727.6.2_12141108.tar.gz					
StripMap (HIMAGE) - Right	28.10.2017 3:12	28.10.2017 3:12	Cosmo-SkyMed-3	H4-0A	ASCENDING
EL20171028_8175_551027.6.2_12143108.tar.gz					



3.1. Satelliitit

a) *Cosmo SkyMed*

Interferometristä vertailua varten otettiin 2 ennen ja 2 jälkeen kuvaa Cosmo-SkyMed satelliitta käyttäen. Kuvatuote oli Stripmap HIMAGE, jonka koko on 40x40km ja tarkkuus 3-5m. Kuvissa haluttiin käyttää mahdollisimman pientä kohtauskulmaa, koska se vaikuttaa satelliitin mittaamaan intensiteettiin. Näin ollen syksyllä 2016 kuvatilaukseen valittiin Stripmap HIMAGE:n pienin mahdollinen kohtauskulma 20.1° (SensorMode H4-0A). Syksyllä 2017 käytettiin hieman suurempaa kohtauskulmaa 32.23° (SensorMode H4-04), jotta saatiin parempi kuvausaikataulu.

Kuvat tilattiin VV-polarisaatiolla. Polarisaatio tarkoittaa aaltoliikkeen värähtelyjen suuntariippuvuutta aallon etenemissuuntaan nähden kohtisuorassa tasossa. Tässä tapauksessa mitataan vertikaalista polarisaatiota.

Kuvien prosessointitasoksi valittiin L1A (SCS_B), joka on yleinen taso SAR-tutkakuvia käytettäessä.

Kuvia tilatessa kohde on ollut 1km säteinen ympyrä, jonka keskikohdan koordinaatit ovat: 67.399596N, 26.612905E.

Cosmo SkyMed satelliitit (CSK1-4) muodostavat 16 päivän interferometrisen syklin, jolloin satelliiteilla on sama kiertoradan suunta, sama kohtauskulma ja katsovat samalle puolen. CSK1 -> 8 päivää -> CSK2 -> 1 päivä -> CSK3 -> 3 päivää -> CSK4 -> 4 päivää -> CSK1.

Tavoite oli saada kuvaparit CSK2 ja CSK3 satelliitteja käyttäen, jolloin kuvaparit saadaan otettu vuorokauden sisällä. Lopulta monien sattumusten kautta syksyllä 2016 (mm. kadonnut tilaus, antennin huolto/päivitys, satelliitin huolto, häiriö vastaanotossa, häiriö satelliitissa, hylätty tilaus) saatiin vastaanotettua Taulukko 3 mukaiset ylilennot. Samasta taulukosta nähdään, että syksyllä 2017 kuvaparit onnistuivat suunnitelman mukaisesti.

b) *TerraSAR-X*

Alueesta haluttiin kokeilun aikana myös tarkemman resoluution kuvat. Nämä kuvat ennen ja jälkeen vaurioituksen otettiin TerraSAR-X satelliitilla. Kuvatyyppi oli Staring Spotlight, kuvan koko 7.7 x 2.8 km, tarkkuus 1.1 m ja polarisaatio VV. Kuvissa käytettiin pientä 24.1° kohtauskulmaa. TerraSAR-X kuvia ei otettu syksyllä 2017.

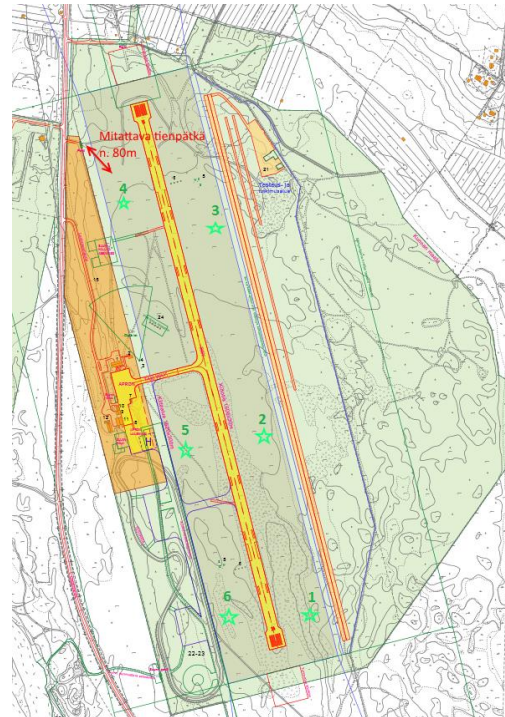


3.2. Kulmaheijastimet

Kulmaheijastimia (Kuva 1) asennettiin 6 kpl lentokentän alueelle oheisen kartan (Kuva 2) mukaisesti. Heijastimien paikat on numeroitu ja merkitty vihreillä tähdillä. Kohdealueen läheisyyteen lentokentän alueelle asennettiin 6 kulmaheijastinta, joita käytetään kuva-analyyseissä kiinteinä kalibrointi- ja referenssipisteinä. Näiden on tarkoitus näkyä kirkkaina pisteinä kaikissa otetuissa SAR-tutkakuvissa. Mikäli projektissa kokeiltu menetelmä routavaurioiden tunnistukseen otettaisiin operatiiviseen käyttöön, ei erillisiä kulmaheijastimia tarvita.



Kuva 1. Kulmaheijastin numero 4



Kuva 2. Kulmaheijastimien paikat

Kulmaheijastimien paikat (Taulukko 4) käytiin mittaamassa tarkkuus-GPS:llä joulukuussa 2016.

Taulukko 4. Kulmaheijastimien paikat.

Sodankylä airport CRs								
8.12.2016								
Name	lat	min	sec	lon	min	sec	alt	description
kentta1	67	23	20.27664	26	37	32.0679	203.038	close to south gate
kentta2	67	23	31.9905	26	37	26.085	203.475	next towards north, east side
kenta3	67	23	53.98	26	37	9.237	203.9	
vaurio1	67	23	59.882	26	36	46.2704	202.06	between pothole and mound
kentta4	67	23	58.161	26	36	46.938	201.994	northwest corner
kentta5	67	23	35.887	26	37	0.745	202.892	middle west
kentta6	76	23	19.592	26	37	15.097	201.47	southwest

All measurements taken from ground level + ~1.5 m; position of 'eastern edge' of reflectors



Kulmaheijastimien suunnat laskettiin Taulukko 5 mukaisesti.

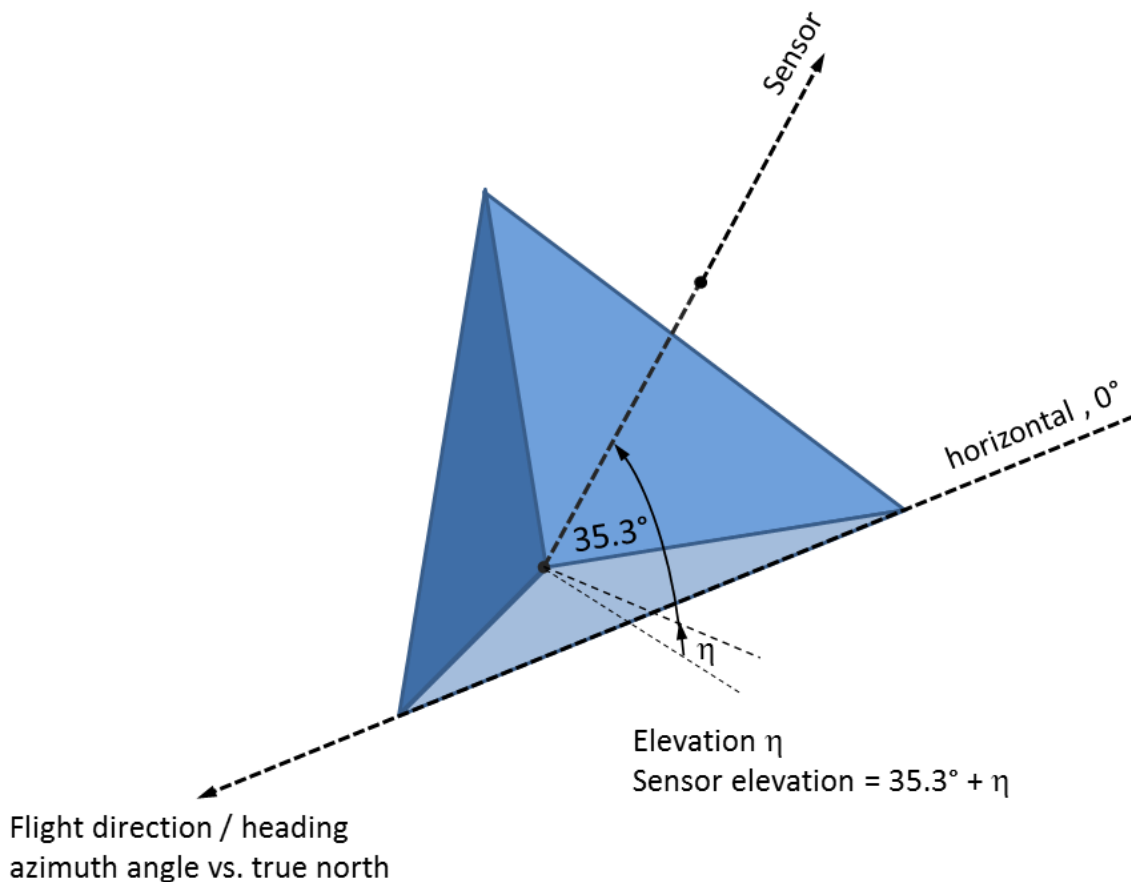
Taulukko 5. Kulmaheijastimien suunnat 2016 ja 2017.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Look Angle	Azimuth	Min Incid	Max Incid	MAG DEC	CR MAP AZI	CR MAG AZI	CR CNT ELE	CR BASE ELE
2016	19.06	72.77	18.04	22.25	11	252.77	241.77	70.94	35.64
						D2+180	H2-G2	90-C2	J2-35.5
2017	28.25	255.51	30.74	33.88	11	75.51	64.51	61.75	26.25
						D2+180-360	H2-G2	90-C2	J2-35.5

2017 kaavassa täytyi H sarakkeella vähentää 360 astetta, koska azimuutti oli alun perin yli 180 astetta.

Heijastimien suuntaamisessa teline suunnattiin pohjois-eteläsuunnassa, eli 90 astetta lasketusta atsimuuttisuunnasta, eli tässä tapauksessa suunnat olivat 2016 syksyllä 152° ja 2017 vastaavasti 335°. Suuntauksen periaate on esitetty Kuva 3:ssa. Jotta lumi ei pääse kertymään heijastimiin sisälle, on niiden päälle asennettu pleksi, joka ei häiritse SAR-mittausta.

How to place a CR?



Kuva 3. Kulmaheijastimien suuntauksen periaate



3.3. Routavauriot

Routavaurioitettava tie on Sodankylän lentoasemalla. Tien keskikohdan koordinaatit: 67.399596N, 26.612905E. Vasemmalla Kuva 4:ssä on ilmakehän lentokentästä, johon on merkitty kohdealueena toimiva tien. Oikealla on lähempi kuva tiestä, mittakaavojen kera.



Kuva 4 Routavaurioalue ilmakehän kuvina

a) Routavauriot 2016

Routavauriot tehtiin suurin piirtein Kuva 5 mukaisiin kohtiin. Kuvan paikat on mitattu Garmin GPSmap 62s GPS:llä kahtena eri päivänä, joten sijainneissa on hieman heittoa.



Kuva 5. Routavauriokohtat merkittynä ilmakuvaan

Taulukko 4. Routavaurioiden koordinaatit mitattuna käsikäyttöisellä Garmin GPSmap 62s GPS:llä.

Name	Position	Altitude	Date Modified	Note
Random_a	N67.40039 E26.61189	187 m	10/27/2016 2:02:40 PM	Satunnainen suunta, leveys 5cm
Random_b	N67.40035 E26.61194	184 m	10/27/2016 2:03:22 PM	
KS5_a	N67.40034 E26.61195	184 m	10/27/2016 2:07:29 PM	Kohtisuora, leveys 5cm
KS5_b	N67.40033 E26.61208	184 m	10/27/2016 2:08:22 PM	
SS5_a	N67.40029 E26.61210	183 m	10/27/2016 2:09:08 PM	Saman suuntainen, leveys 5cm
SS5_b	N67.40027 E26.61212	186 m	10/27/2016 2:09:56 PM	
SS10_a	N67.40026 E26.61220	184 m	10/27/2016 2:10:52 PM	Saman suuntainen, leveys 10cm
SS10_b	N67.40021 E26.61222	184 m	10/27/2016 2:11:35 PM	
KS10_a	N67.40019 E26.61224	184 m	10/27/2016 2:12:36 PM	Kohtisuora, leveys 10cm
KS10_b	N67.40019 E26.61241	184 m	10/27/2016 2:13:18 PM	
KS10_a1	N67.40018 E26.61226	181 m	10/28/2016 10:46:27 AM	Sama kuin edellinen, mutta
KS10_b1	N67.40019 E26.61240	181 m	10/28/2016 10:46:02 AM	toisena päivänä mitattu
R11	N67.40008 E26.61261	181 m	10/28/2016 10:45:02 AM	Iso railo, leveys n. 30cm
R12	N67.40005 E26.61252	181 m	10/28/2016 10:45:27 AM	
KUOPPA	N67.39999 E26.61269	182 m	10/28/2016 10:38:14 AM	Kuoppa, jonka ristimitta n. 80cm
KEKO	N67.39994 E26.61286	182 m	10/28/2016 10:36:41 AM	Keko, halkaisa n.55cm, korkeus max. 15cm.

Vauriokohtien tarkempi mittaus tehtiin lumien sulettua, koska ennen lumen tuloa ei ollut mahdollista käyttää tarkkuus-GPS:ää. Mittauksissa käytettiin Trimble R8 tarkkuus GPS:ää, käyttäen näytteenotossa asetusta 3 näytettä 3 sekunnin aikana. Tulokset löytyvät Taulukko 6:sta.



Taulukko 6. Routavaurioiden koordinaatit mitattuna Trimble R8 tarkkuus GPS:llä.

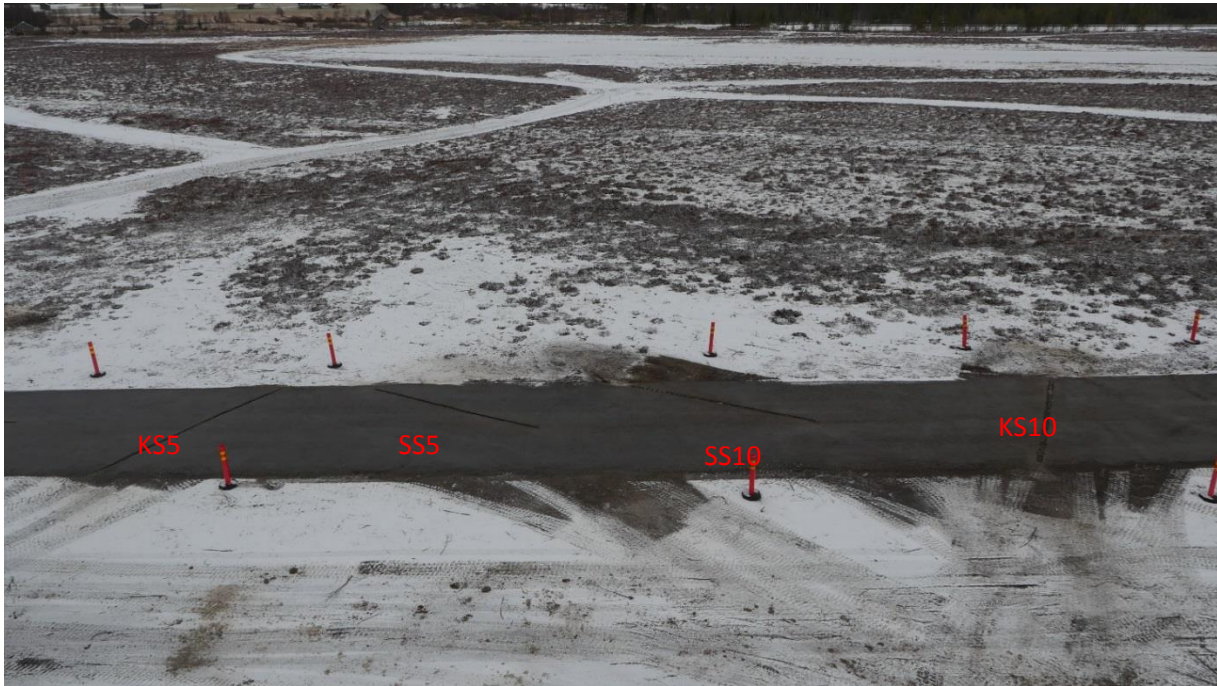
Pisteen nimi	Nro	Leveysasteet	Pituusasteet	Korkeus
Testipiste	2028	67.40038397N	26.61182901E	201.999
Random_a	2029	67.40038399N	26.61182948E	201.993
Random_kp	2030	67.40036741N	26.61185785E	202.004
Random_b	2031	67.40034754N	26.61189258E	202.071
KS5_a	2032	67.40030982N	26.61190407E	202.081
KS5_kp	2033	67.40031304N	26.61195021E	202.170
KS5_b	2034	67.40031656N	26.61201755E	202.196
SS5_a	2035	67.40029773N	26.61205041E	202.250
SS5_kp	2036	67.40027972N	26.61205959E	202.283
SS5_b	2037	67.40025410N	26.61207400E	202.310
SS10_a	2038	67.40025037N	26.61215307E	202.321
SS10_kp	2039	67.40023210N	26.61216433E	202.326
SS10_b	2040	67.40020904N	26.61217765E	202.359
KS10_a	2041	67.40016641N	26.61220858E	202.346
KS10_kp	2042	67.40017044N	26.61225589E	202.397
KS10_b	2043	67.40017687N	26.61232669E	202.354
R11_a	2044	67.40006666N	26.61258204E	202.512
R11_b	2045	67.40006429N	26.61258901E	202.514
R11_kp_1	2046	67.40005560N	26.61255551E	202.549
R11_kp_2	2047	67.40005236N	26.61256088E	202.556
R12_a	2048	67.40003833N	26.61251791E	202.492
R12_b	2049	67.40003643N	26.61252353E	202.503
Kuoppa_a	2050	67.39998174N	26.61270098E	202.636
Kuoppa_b	2051	67.39998537N	26.61270923E	202.668
Kuoppa_c	2052	67.39998244N	26.61271680E	202.673
Kuoppa_d	2053	67.39997909N	26.61270826E	202.651
Keko_a	2054	67.39993711N	26.61293784E	202.759
Keko_b	2055	67.39993528N	26.61294590E	202.725
Keko_c	2056	67.39993803N	26.61295113E	202.719
Keko_d	2057	67.39994051N	26.61294659E	202.732
Kulmaheijastin_a	2058	67.39948393N	26.61297732E	202.996
Kulmaheijastin_b	2059	67.39947437N	26.61298228E	203.022
Kulmaheijastin_c	2060	67.39947716N	26.61301338E	202.985
Kulmaheijastin_d	2061	67.39948668N	26.61300675E	202.998

Vaurioitus tehtiin leikkaamalla timanttileikkurilla n. 5 metrin pituisia, keskimäärin 5-10 cm syviä uria tien pintaan. Suorien urien leveydet olivat 5 ja 10 cm. Kiemurtelevan uran leveys keskimäärin oli 30cm. Lisäksi vahingoitettiin n. 80cm ristimitaltaan oleva neliön muotoinen alue sekä koottiin raijien teosta tulleet ylimääräiset asfaltin palaset n. 55cm halkaisijaltaan olevaksi ja 15 cm korkeaksi keoksi tien laitaan. Urien suorat leikatut reunat vahingoitettiin taltalla epätasaisiksi. Osa urista suunnattiin valittujen satelliittien lentoratojen mukaan, joko samansuuntaisiksi tai kohtisuoraan lentorataan nähden.

Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Routavaurioiden tunnistaminen satelliittikuvista, Ilmatieteenlaitos



Routavauriot on esitelty tarkemmin seuraavissa kuvissa. (Kuva 6 - Kuva 9)



Kuva 6. Routavauriot KS5, SS5, SS10 ja KS10



Kuva 7. Routavaurio R11



Kuva 8. Routavauriot KUOPPA ja KEKO



Kuva 9. Routavaurio Random



b) Routavauriot 2017

Koska edelliset routavauriot eivät näkyneet satelliittikuvissa, päätettiin tehdä isompia vaurioita, jotta nähtäisiin varmemmin tien vauriot. Päädyttiin tekemään painauma, kohouma ja iso kuoppa. Vauriot tehtiin samalle tieosuudelle, mutta entisten raitojen väliin tosin kohoumassa hyödynnettiin entistä raitoa.



Kuva 10. Kuva KS5 ja SS5 raitojen välissä.

Kuoppa KS5 ja SS5 välissä (Kuva 10) on noin 1m halkaisijaltaan ja syvimmältä kohdalta n. 10-15 cm syvä. Kuopan toinen reuna on jyrkempi, toisen ollessa kiilamaisempi. Kuoppa kaivettiin kauhalla tienpintaan niin syväälle, että myös sora-ainesta kaivettiin pois.



Kuva 11. Kohouma, jossa kohotettiin vanhaa raitioa KS10.

Kohouma (Kuva 11) tehtiin kohottamalla vuoden takaista vauriota KS10. Kohouma tehtiin työntämällä trukkiä raitioalle, jolloin suurimmaksi osaksi maa nousi, myös hieman kauempaakin. Kohtia, jotka eivät nousseet, kohotettiin lapiolla ja rautakangella ja joihinkin kohtiin pistettiin alle toisesta vauriosta yli jääneitä asfaltin palasia.



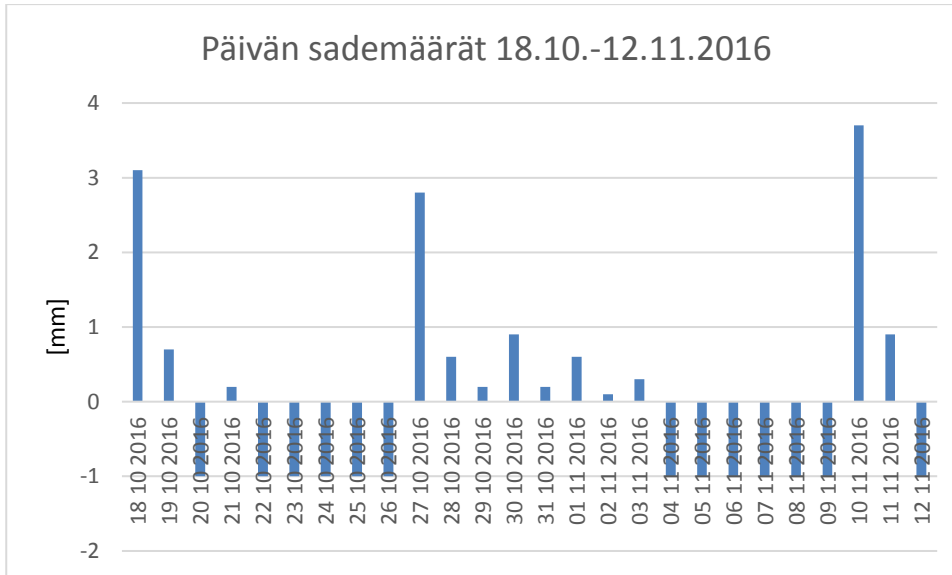
Kuva 12. Painauma viimevuotisten KEKO ja KUOPPA vaurioiden välissä.

Painauma (Kuva 12) tehtiin viimevuotisten KUOPPA ja KEKO vaurioiden väliin kaivamalla ensin varovasti asfalttikerros pois, mutta säästään palaset. Tämän jälkeen poistettiin reilusti alla olevaa maa-ainesta, jonka jälkeen asfaltin palaset pistettiin takaisin painaumaan.

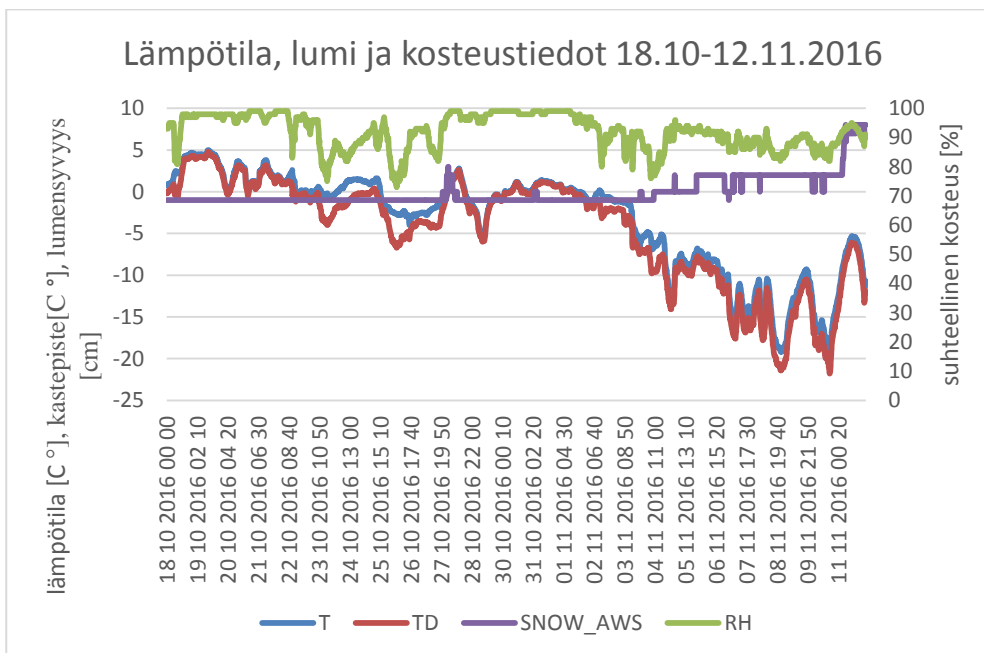


3.4. Sääolosuhteet

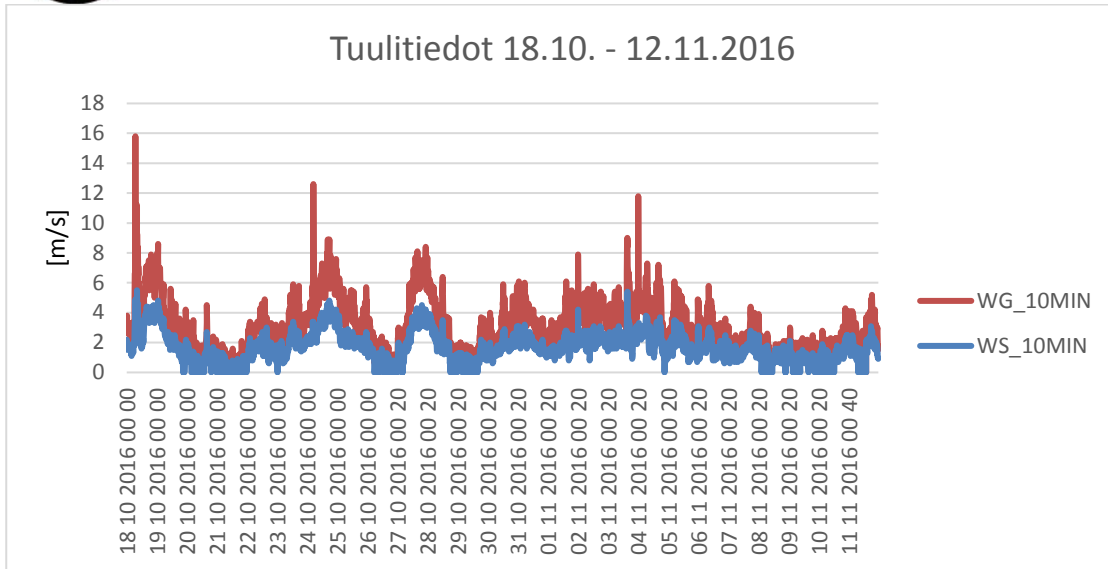
Ohessa säädataa Ilmatieteen laitoksen sääasemalta Sodankylän Tähtelästä, LPNN=7501. Data on haettu CLDB-tietokannasta.



Kuva 13. Päivän sademäärät kuvauspäivinä, -1 = ei sadetta



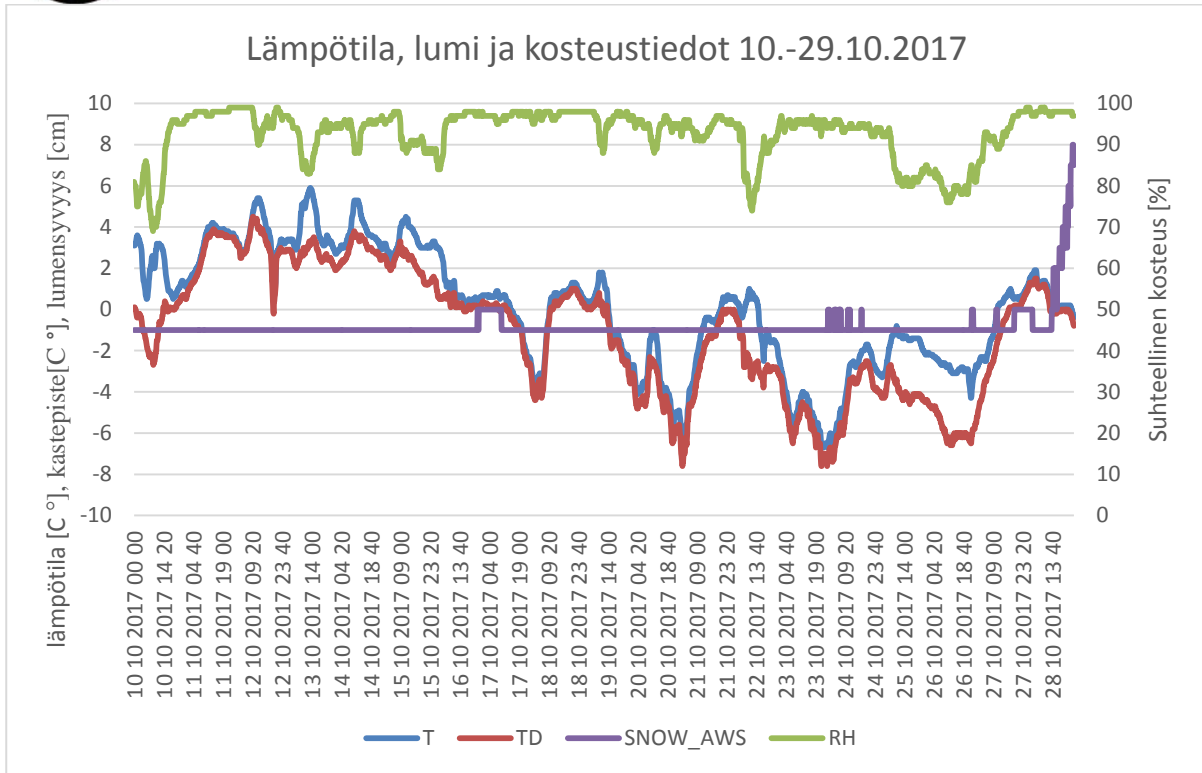
Kuva 14. Lämpötila(T), kastepisteen lämpötila(TD), lumensyvyys(SNOW_AWS) ja suhteellinen kosteus(RH) kuvausajanjaksolla



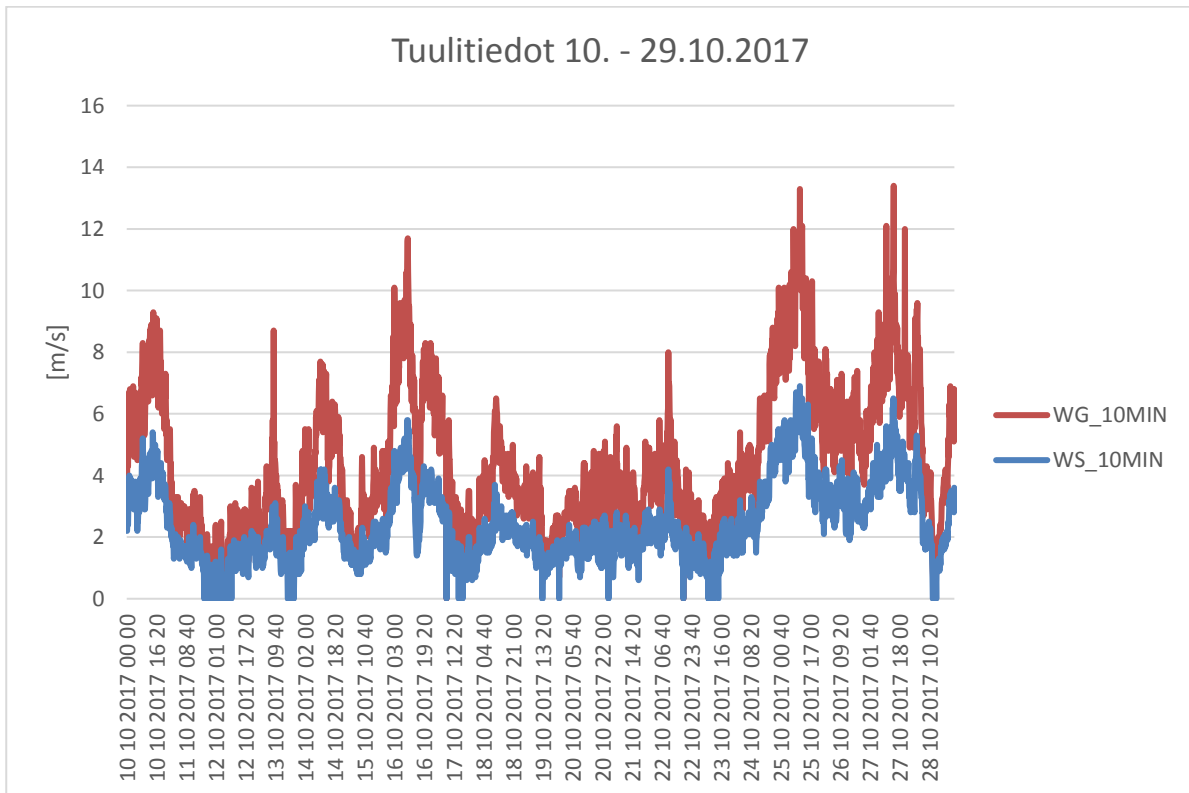
Kuva 15. Tuulennopeus 10 minuutin keskiarvona (WS_10MIN) ja 3 sekunnin maksimipuuskat 10 minuutin aikana (WG_10MIN) kuvausajanjaksolla



Kuva 16. Päivän sademäärät kuvauspäivinä, -1 = ei sadetta



Kuva 17. Lämpötila(T), kastepisteen lämpötila(TD), lumensyvyys(SNOW_AWS) ja suhteellinen kosteus(RH) kuvausajanjaksolla



Kuva 18. Tuulennopeus 10 minuutin keskiarvona(WS_10MIN) ja 3 sekunnin maksimipuuskat 10 minuutin aikana (WG_10MIN) kuvausajanjaksolla



4. Kokeilun tulokset

Yksittäisessä satelliittikuvassa nähdään takaisin sironneen säteilyn intensiteetti, joka vaihtelee kuva-alueella tapahtuneiden muutosten myötä.

Interferometrisessä kuvatulkinnassa käytetään kahden samasta alueesta otetun kuvan vaihetietoa, jolloin routavauriot havaitaan muutoksina kuvien välillä. Kuva-analysissä kuvat käsitellään numeerisessa muodossa, näin ollen niiden välille voidaan laskea erotus.

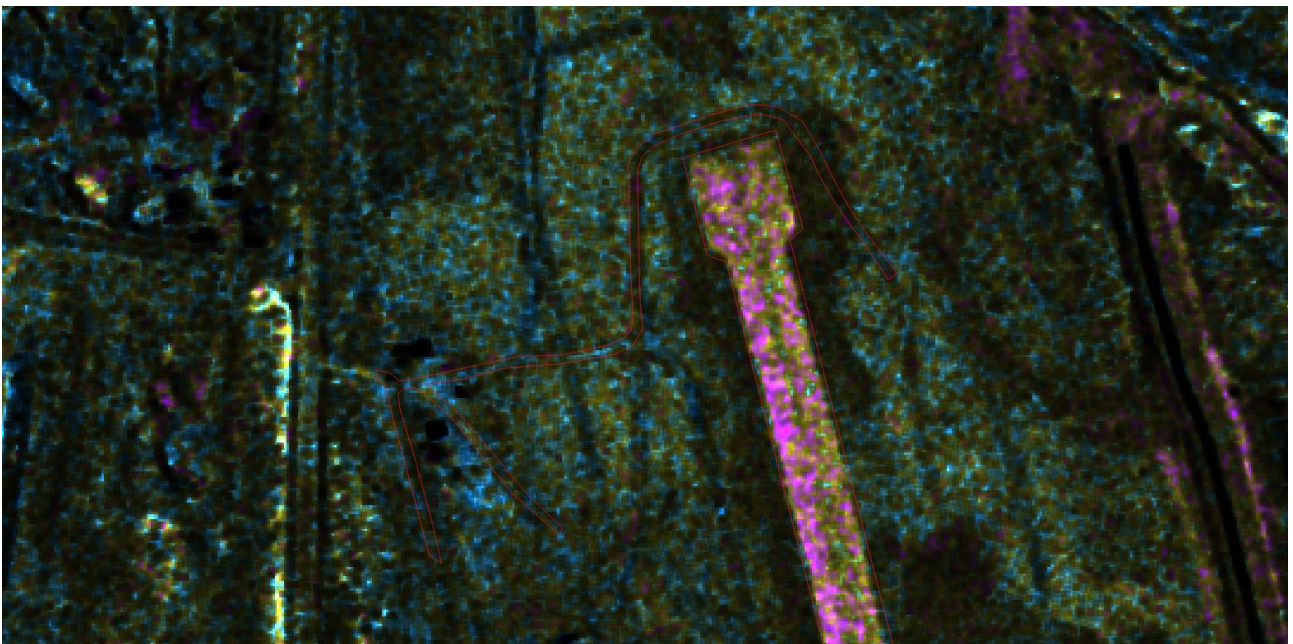
SAR-kuvien tulkinta ei kuitenkaan ole suoraviivaista, vaan siihen vaikuttavat monet tekijät kuten kohteen koko, muoto ja materiaali.

4.1. Kuva-aineisto

Kokeilussa on tutkittavalta alueelta otettu kahdeksan Cosmo Skymed StripMap HIMAGE kuvaa sekä kaksi TerraSarX Staring Spotlight kuvaa taulukon 1 mukaisesti.

4.2. Kuva-aineiston ensimmäisen vaiheen analyysi

Alla olevissa kuvissa (Kuva 19 - Kuva 21) on esitelty satelliittikuvien pohjalta tehtyjä kuva-analyysejä, joilla on pyritty löytämään havaintoalueen routavaurioita. Lopullinen julkaistava analyysi-aineisto toimitetaan erillistiedostoina.

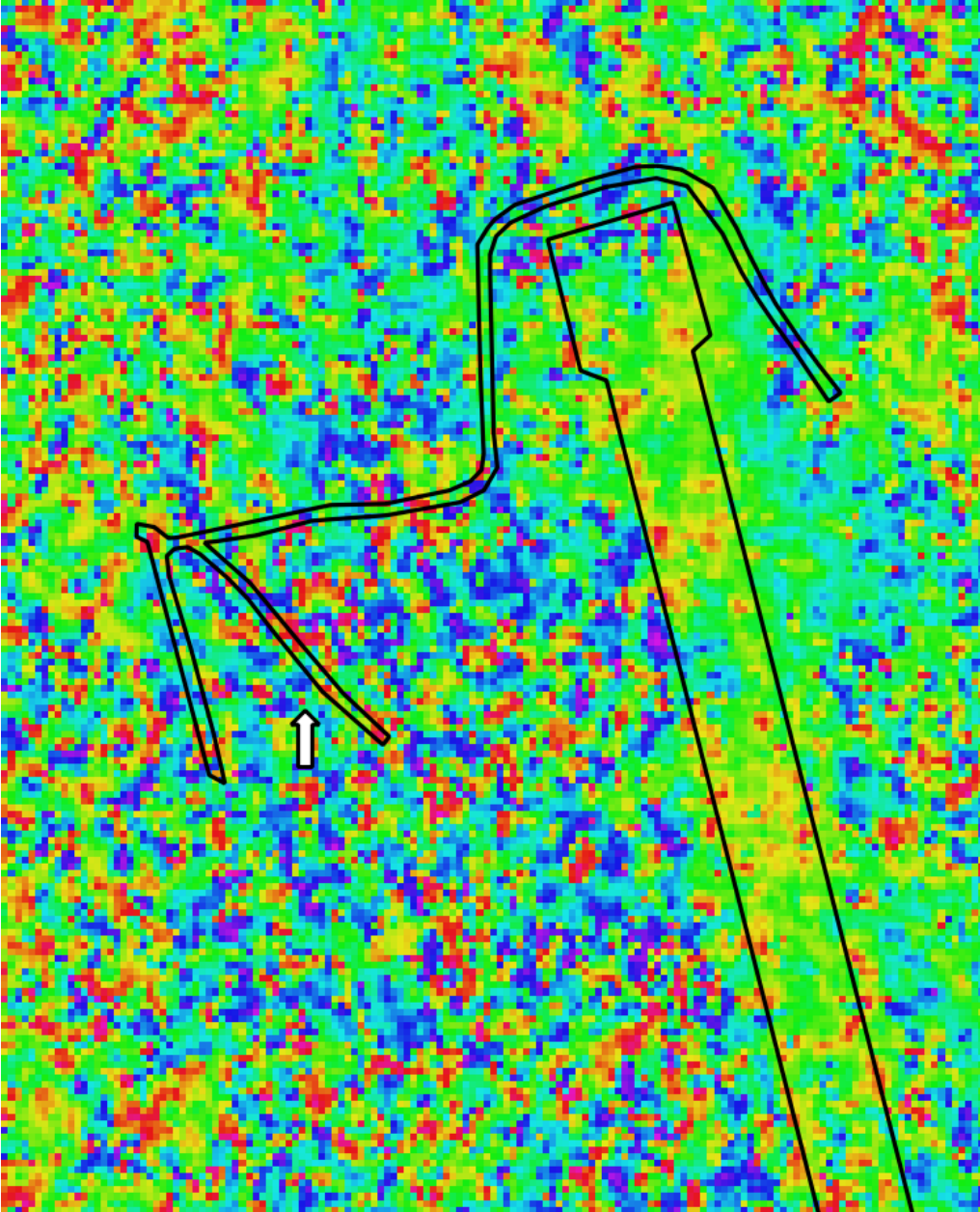


Kuva 19. TerraSAR-X kuvista tulkittu käännteinen RGB muutoskuva testialueesta. Ennen vaurioita otettu kuva on sinisellä, vaurioiden jälkeen otettu kuva vihreällä, ja absoluuttinen kuvien välinen erotus punaisella.

Kuva 19 on TerraSAR-X kuvista saatu käännteinen RGB muutoskuva, jossa sininen väri edustaa ennen vaurioita, ja vihreä vaurioiden jälkeen otettua kuvaa. Vahvempi sininen tai vihreä väri tarkoittaa että takaisinsironna kuvissa oli matalampaa. Vahvempi punainen väri taas tarkoittaa että kuvien välinen erotus oli suurempi. Esimerkiksi kiitorata, jossa hallitseva väri on magenta (sininen ja punainen vahvoja) tarkoittaa että erotus kuvien välillä oli suuri, ja että ennen vaurioita takaisinsironna oli matalampaa kuin vaurioiden jälkeen. Keltainen väri, jota näkyy esimerkiksi kuvan vasemmalla puolella huoltotien reunassa tarkoittaa sitä että punainen ja vihreä ovat hallitsevia, eli muutos kuvien välillä on suurta, ja vaurioiden jälkeen otetussa



kuvassa takaisinsironta oli matalampaa. Tummat alueet kuvassa edustavat sellaisia kohteita joissa muutos oli pieni, ja takaisinsironta molemmissa kuvissa oli suhteellisen korkea. Tummat kohteet voivat esimerkiksi olla testialueen läheisyydessä olleet paljon heijastavat kohteet kuten metallikontit, peräkärri tai, jotka olivat samassa paikassa molemmissa kuvissa. Kuvasta huomataan että vaurioitettun tien päällä oleva väritys ei olennaisesti poikkea ympäristöstä, mikä tarkoittaa sitä, että vaurioita ei pystytty varmuudella tunnistamaan tarkan resoluution TerraSAR-X kuvista.



Kuva 20. Cosmo Sky-Med kuvaparista tulkittu interferometrinen vaihekuva testialueesta.

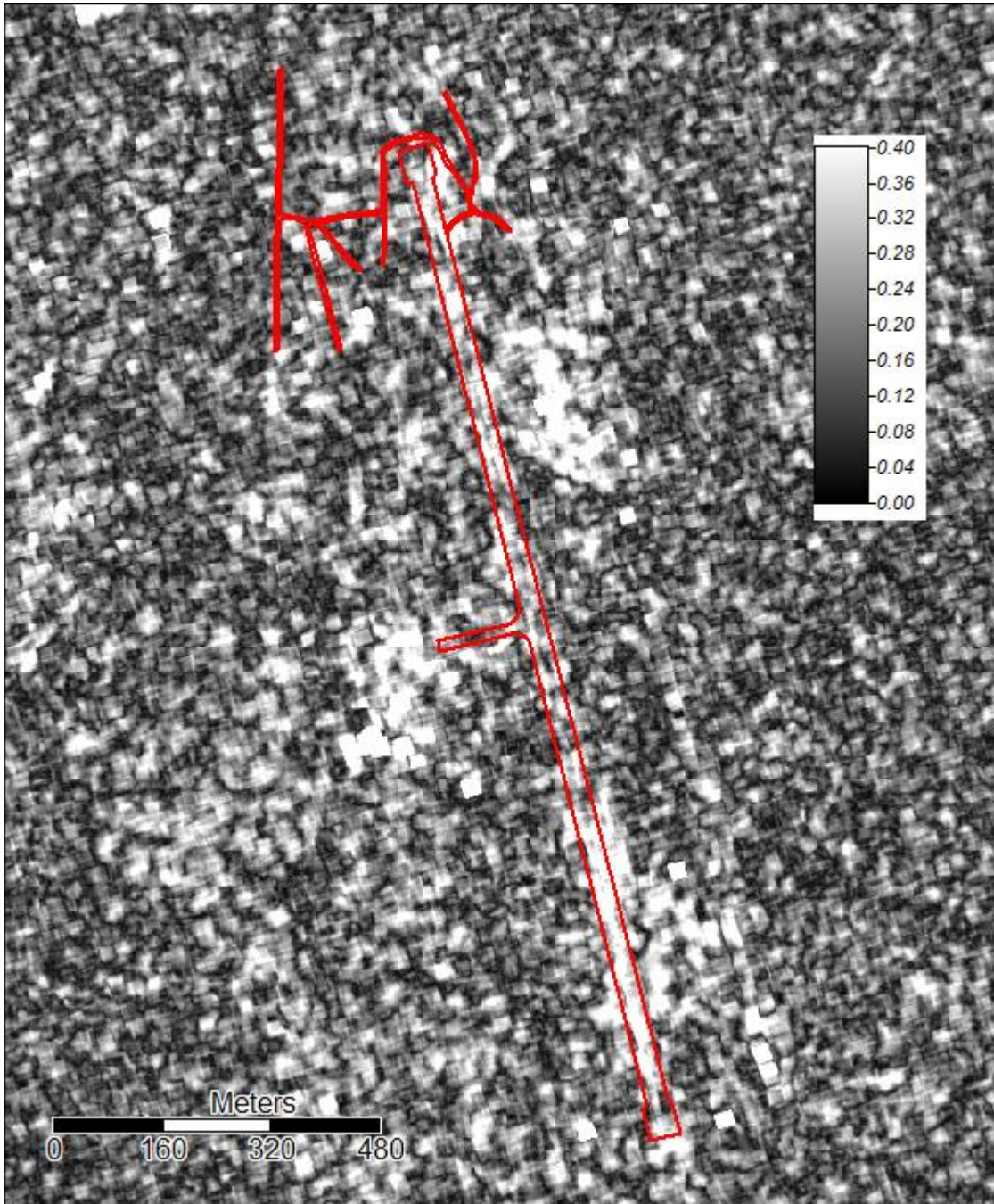
Kuva 17 esittää Cosmo SkyMed kuvaparista laskettua interferometrinen vaihekuva, joka saadaan laskemalla vaihe-ero ennen ja jälkeen kuvien välillä. Ideaalitalanteessa tasainen väri tarkoittaa sitä että vaihe-ero kuvien välillä ei muutu, eli että kohteen etäisyys satelliittiin ei ole muuttunut kuvausaikojen välillä. Maan pinnan liikkumisen pitäisi ideaalitalanteessa näkyä värin tasaisena muutoksena kuvassa.

Onnistuneen interferogrammin saamisen vaatimuksena on kuitenkin korkea koherenssitaso, joka

Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Routavaurioiden tunnistaminen satelliittikuvista, Ilmatieteenlaitos



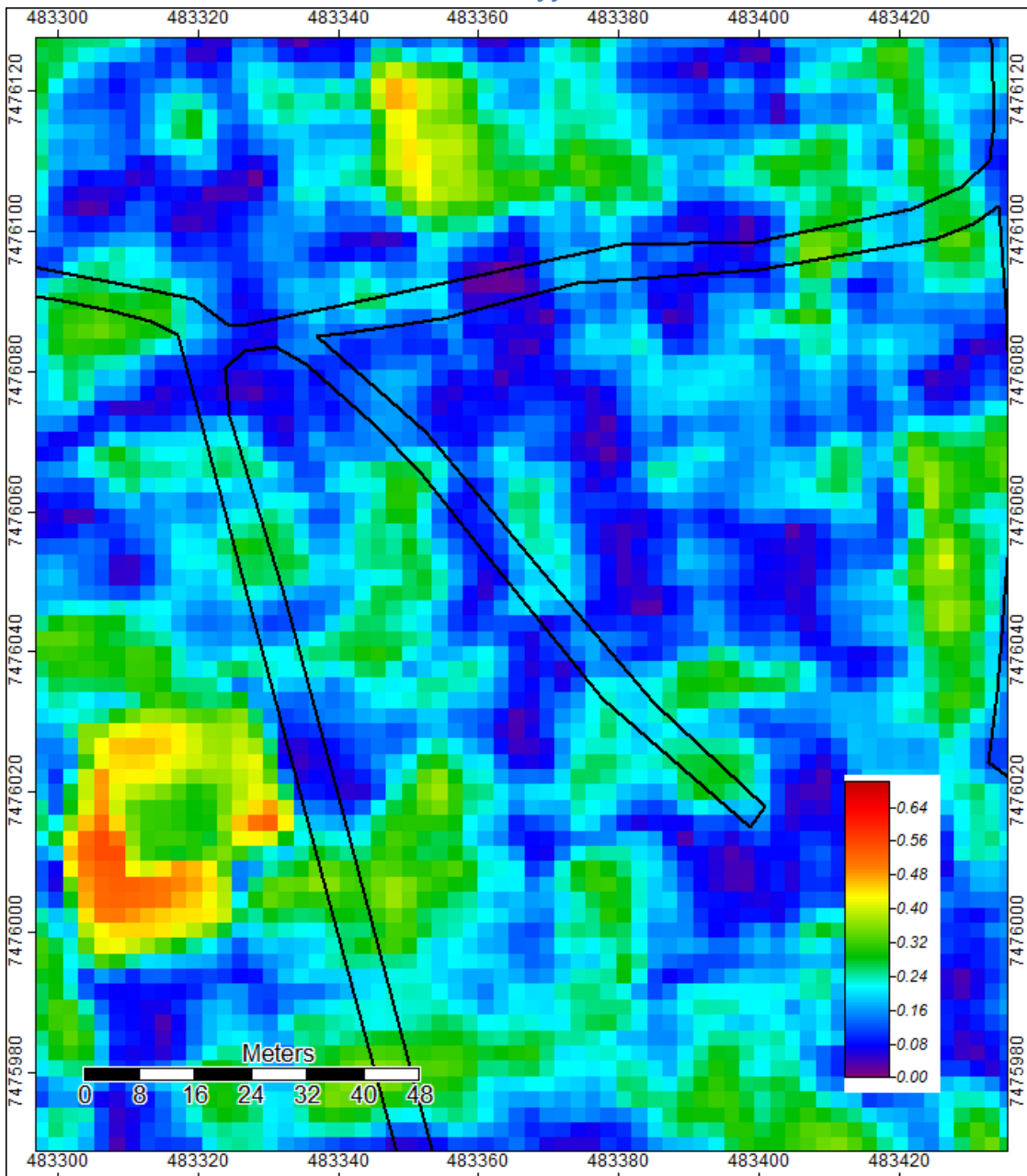
saavutetaan silloin kuin kohteen heijastusominaisuudet pysyvät samanlaisina. Esimerkiksi kasvillisuudella on matala koherenssi, koska sen oksat, varret ja lehdet liikkuvat jatkuvasti. Kuva 21 näyttää interferometrisen koherenssin, joka voi olla välillä 0-1. Kuvassa näkyy että esimerkiksi kiitoradalla on suhteellisen korkea koherenssi, koska asfalttipinta ei muutu kuvausten välillä. Muualla koherenssi on kuitenkin selvästi matalampaa, minkä seurauksena interferometristä analyysia on vaikea tehdä.



Kuva 21. Cosmo Sky-Med kuvaparista tulkittu koherenssikuva testialueelta. Tumma tarkoittaa matalampaa, ja vaalea korkeampaa koherenssia.

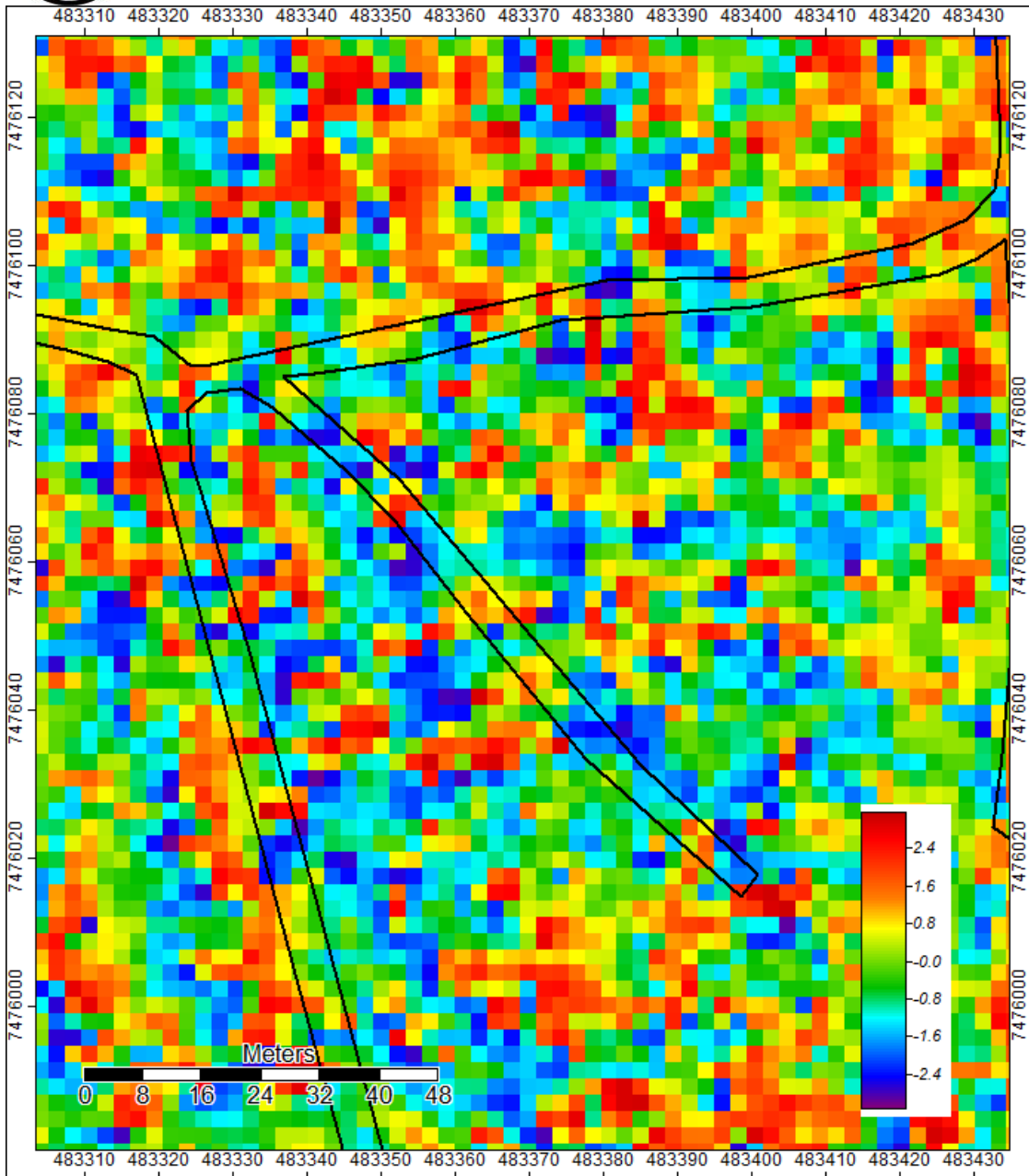


4.3. Kuva-aineiston toisen vaiheen analyysi



Kuva 22 Koherenssikuva testialueesta 2017.

2017 otetuissa kuvissa koherenssi oli pienu ennen- ja jälkeen vaurioita otettujen kuvien vertailussa. Selkeästi paras koherenssi oli ensimmäisen kuvaparin välillä, eli 11.10 vs. 12.10, keskimäärin 0.7 lentokenttäalueen sisäpuolella. Tämä ei kuitenkaan ole relevanttia vaurioiden tunnistamisen kannalta, mutta kannustavaa, sillä esimerkiksi digitaalisen korkeusmallin muodostaminen suuremmalle alueelle voisi onnistua näiden tulosten pohjalta.



Kuva 23 Interferometrikuva kohdealueesta 2017.

Syksyn 2017 interferogrammissa (Kuva 23) ei näy värin tasaista muutosta, joka viittaisi ideaalilanteessa maan pinnan liikkumiseen. Sen sijaan erittäin kohinainen ja epätasainen värien muutos osoittaa että koherenssi oli matalaa, jolloin interferometrinen muutostulkinta ei onnistu.

4.4. Yhteenveto tuloksista

Interferometristä SAR-tekniikkaa on aikaisemmin menestyksekkäästi käytetty havainnoimaan niin laajassa mittakaavassa maan pinnan muodonmuutoksia ja siirtymiä sekä pienemmässä mittakaavassa yksittäisten rakenteiden muodonmuutoksia, kuten rakennusten ja siltojen. Tältä pohjalta oli vahva syy olettaa, että myös tasaisessa asfalttipinnassa olevat selkeät poikkeamat olisi havainnoitavissa interferometrisellä SAR-tekniikalla. Kokeilun aikana otettujen SAR-satelliittikuvien prosessoinnin jälkeen ei kuitenkaan havaittu keinotekoisesti tehtyjä routavaurioita.



Uudetkin tulokset vahvistavat pääasiassa sen, että keinotekoisten vaurioiden täytyy olla huomattavasti suurempia. Esimerkiksi pyöreän muotoisen kohouman täytyisi olla halkaisijaltaan ainakin 20 metriä, jotta se voisi näkyä riittävän hyvin tällaisen datan avulla. Kohouman korkeuden ei välttämättä tarvitse olla suuri, muutaman sentin kohoumat voisi jo tunnistaa hyvin.

Myös temporaalisella dekkorrelaatiolla oli tässä huomattava vaikutus, eli jopa kiitoradalla, joka on suhteellisen muuttumaton kohde, koherenssi oli huomattavasti parempi ensimmäisen kuvaparin välillä kuin ennen- jälkeen vaurioiden kuvien välillä. Tähän on voinut vaikuttanut esimerkiksi lumisade (märkä lumi) tai muut sirontaominaisuuksia muuttaneet tekijät.



5. Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Kuten kohdassa 4.4 Yhteenveto tuloksista todettiin, kokeilun aikana otettujen SAR-satelliittikuvien perusteella keinotekoisia routavaurioita ei pystytty havaitsemaan prosessoituista kuvista. Tämä ei kuitenkaan poissulje mahdollisuutta havaita luonnollisia routavaurioita

Syynä keinotekoisien routavaurioiden näkymättömyyteen voivat olla muun muassa liian pienet vauriot, sekä alhainen koherenssi ympäristön kasvillisuudesta johtuen, minkä vuoksi testikentältä ei pystytty muodostamaan kunnollista interferogrammia.

Lisäksi koealueen läheisyyteen oli syksyllä 2016 vahingossa jätetty kokeilun ulkopuolisten tahojen laitteita, joilla on suuri vaikutus SAR takaisinsirontaan. Näin ollen näiden kohteiden suuri vaikutus sirontaan häiritsi mahdollisten tien vaurioitusten aiheuttamien signaalimuutosten havaitsemista. Kohdealueen ympäristö siivottiin ennen syksyn 2017 kuvia, lähin mahdollinen häiriötekijä oli metallinen kontti, noin 45-50m etäisyydellä uusista vaurioista.

Näyttää todennäköiseltä, että tiehen tehdyt keinotekoiset routavauriot ovat edelleenkin liian pieniä suhteessa satelliittidatan spatiaaliseen erotuskykyyn. Käytännössä tiehen muodostunut routavaurio johtuu tien eri alueiden liikkumisesta toisistaan pois päin vauriokohdan verran. Näin ollen on liikkunut vauriokohtaa isompi alue, joka näkyy SAR interferometrisessä kuvaparissa muuttuneena vaihe-erona. Näin ollen paikalleen hakattu 5cm railo ei välttämättä näy tutkakuvassa, mutta esimerkiksi 20m² alue, joka on siirtynyt hiukan sivuun tai kohonnut edellisen kuvan ottamisen jälkeen, näkyykin interferometrisessä tulkinnassa selkeästi.

Mikäli testejä haluttaisiin jatkaa, tarvittaisiin iso alue, iso parkkipaikka-alue tai ehkä lentokentän kiitorata, jossa pystyttäisiin tekemään laajuudeltaan tarpeeksi isoja maankohoumia tai painaumia. Tämän kokoluokan vaurioita olisi kuitenkin hankala toteuttaa kontrolloidusti.

Yksinkertaisempi mutta pitkäaikaisempi tapa jatkaa työtä olisi valita routavaurioille herkkä todellinen tiealue, josta lähdettäisiin analysoimaan todellisia routavaurioita tien kunnostamisen jälkeen. Tällainen projekti vaatisi kuvaparin tien kunnostuksen jälkeen, sekä toisen kuvaparin todellisten vaurioiden havaitsemisen jälkeen. Oletettavasti kuitenkin kuvaparien ottamisen välinen aika on vähintäänkin talvijakson mittainen, jopa useita vuosia. Projektiluontoisena työnä tällainen olisi siten hankala toteuttaa, mutta tutkimuksellisenä haasteena mielenkiintoinen.



6. Liitteet

Satelliittikuvien pohjalta tehdyt kuva-analyysit, joilla on pyritty löytämään havaintoalueen routavaurioita. Koko analyysi-aineisto (syksyiltä 2016 17 kuvaa ja 8 syksyiltä 2017.) erillisenä kuvapakettina "Kuvia_Analyysi_2016_2017.zip".

7. Lähteet

<http://www.liikennevirasto.fi/tieverkko/kunnossapito/paallysteiden-kunto#.WazWn1FLfiv> (30.08.2017)

http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/15-tien_vauriokartoitus.pdf (30.08.2017)

- Shan, W., C. J. Wang and Q. Hu, 2012. Expressway and Road Area Deformation Monitoring Research Based on InSAR Technology in Isolated Permafrost Area, *2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering*, Nanjing, 2012, pp. 1-5. doi: 10.1109/RSETE.2012.626057
- Tarchi, D., H. Rudolf, G. Luzi, L. Chiarantini, P. Coppo, A.J. Sieber, 1999. SAR interferometry for structural changes detection: a demonstration test on a dam Proc. International Geosci. Remote Sens. Symposium, IGARSS, Hamburg Germany (1999), pp. 1522–1524.
- Yu, B., Liu, G., Zhang, R. et al., 2013. Monitoring subsidence rates along road network by persistent scatterer SAR interferometry with high-resolution TerraSAR-X imagery. *J. Mod. Transport.* (2013) 21: 236. doi:10.1007/s40534-013-0030-yng
- Engdahl, M., Pulliainen, J., and Hallikainen, M. (2008), Segment-based stem volume retrieval in boreal forests using multitemporal ERS INSAR data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34:46-55.
- Engdahl, E., Pulliainen, J., and Hallikainen, M. (2004), Boreal forest coherence-based measures of interferometric pair quality for operational stem volume retrieval. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1:228-231.
- Pulliainen, J., Engdahl, M., and Hallikainen, M. (2003), Feasibility of multi-temporal interferometric SAR data for stand-level estimation of boreal forest stem volume. *Remote Sensing of Environment*, 85:397-409.
- Koskinen, J., Pulliainen, J., Hyypä, J., Engdahl, M., and Hallikainen, M. (2001), The seasonal behavior of interferometric coherence in boreal forest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39:820-829.