

Projekti
„Algoritmi koostamine niitmise kontrolli läbiviimiseks Sentinel 1 andmete baasil,
lõpparuanne:

Projektijuht: *Kaupo Voormansik*

Asutus: *Tartu Observatoorium*

Projektijuhi kontaktandmed: +372 56 669 225, *kaupo.voormansik@ut.ee*

Projektitulemuste lühikokkuvõte:

2015 vegetatsiooniperioodil viidi Rannu ja Kambja testaladel Sentinel-1 aegridadega läbi välitöödega toetatud eksperiment. Leiti kolm Sentinel-1 põhist parameetrit, millel on arvestatav potentsiaal niitmise tuvastamise algoritmis rakendamiseks. Pakuti välja algoritmi esialgne versioon ja testiti seda Kambja testala rohumaadel – PRIA välitööde järgi on kokkulangevus satelliidipiltidelt arvatud niitmise info ja tegelike oludega väga hea. Piiratud mahus uuriti ka sademete ja tuule mõju Sentinel-1 põhiste parameetrite väärtustele.

(tulemused, soovitusel, kuni 600 tähekohta)

Projektitulemuste lühikokkuvõte inglise keeles:

During vegetative season of 2015 a field survey supported experiment was run on Rannu and Kambja test areas studying Sentinel-1 measurements' time series sensitivity to grassland conditions. Three Sentinel-1 based parameters were found, which have high potential for being used in grass cutting detection. The initial version of the algorithm was proposed and tested on Kambja grasslands. The algorithm predicted cutting status corresponded very well to actual conditions in the fields according to ARIB survey. Precipitation and wind effects to Sentinel-1 measurements were also briefly studied.

(tulemused, soovitusel, kuni 600 tähekohta)

Kogu projektiperioodi finantsaruanne, koos kulude selgitusega¹:

Kululiik	Periood: mai – oktoober 2015 (eurot)	KOKKU (eurot)
personalikulud, puhkusetasu		
1) <i>Kaupo Voormansik (0.4 koormus, mai – oktoober)</i>	5 082.06	5 082.06
2) <i>Karlis Zalite (0.6 koormus, mai – oktoober)</i>	6 480.-	6 480.-
töövõtulepingu alusel makstud tasud	-	-
palga ja töötasuga seotud maksud		
1) <i>Kaupo Voormansik (0.4 koormus, mai – oktoober)</i>	1717.74	1 717.74
2) <i>Karlis Zalite (0.6 koormus, mai – oktoober)</i>	2 190.24	2 190.24
Transpordikulu	250.-	250.-
1) <i>kütusekulu välitööde läbiviimiseks</i>		

¹ Projekti elluviimiseks tehtavad kulud peavad olema tegevustega otseselt seotud ja elluviimiseks vältimatult vajalikud

Lähetuskulud	0	0
<i>1) osalemine IGARSS 2015 rahvusvahelisel kaugseire konverentsil uusimate rohumaaude kaugseire-alaste teadmiste hankimiseks</i>		
hoonete, maa, vahendite, teadusaparatuuri, instrumentide, seadmete, inventari ostmise, liisimise, kaasajastamise, paigalduse kulud	-	-
teadusaparatuuri, instrumentide, seadmete, inventari hoolduskulud	25.-	25.-
<i>1) uued patareid mulla-niiskusemõõtjale ja biomassi kaalule, muud väikevahendid</i>		
lepingulise teadustegevuse, välistest allikatest ostetud, litsentsitud teadmiste ja patentide kulud	-	-
ostetud tööde (analüüside) kulud	2 700.-	2 700.-
<i>1) Sentinel-1 satelliidipiltide andmetöötlus ja tulemuste eelanalüüs OÜ Geolabilt</i>		
muud tegevuskulud	-	-
tarkvaralitsentsid, juurdepääsumaksud	-	-
erialaspetsiifilise tarkvara kulud	-	-
üldkulud ²	922.25	922.25
<i>1) Tartu Observatooriumi üldkulu – 5%</i>		
Käibemaks (20%)	3 873.46	3 873.46
KOKKU	23 240.75	23 240.75

Projektis esitatud eesmärkide saavutamine (sh kasutatud meetoodika):

Projekti põhieesmärgid:

„1. Töötada välja algoritm niitmise tuvastamiseks Sentinel-1 IW režiimi VV/VH mõõtmiste aegseeria ja meteoroloogiliste andmete abil.

2. Selgitada välja Sentinel-1 andmete probleemkohad ja piirangud antud ülesande lahendamisel.“

said täidetud. Välja on pakutud esialgne versioon Sentinel-1 põhisest algoritmist niitmiste kontrolliks ning seda ka piiratud alal edukalt testitud. Uuriti probleemkohti ja piiranguid, sh ilma mõju Sentinel-1 põhiste mõõtmiste ja algoritmi täpsusele. Järgmisena tuleks algoritmi edasi arendada, suurematel aladel valideerimise abil leida kõige optimaalsemad parameetrid algoritmi niitmise tuvastamise läviväärtusteks ning töötada välja meetoodika ilma mõju (tuul ja sademed) arvesse võtmiseks algoritmis.

Kasutatud meetoodika

Projekti uurimismeetodiks oli Sentinel-1 satelliidipiltide aegridade analüüs, mida toetati välitöödega. Uuritavaks ajavahemikuks oli 1. mai 2015 – 31. august 2015, mille kohta kasutati kokku 62 Sentinel-1 satelliidipilti. Sentinel-1 mõõtmiste toorandmetest tuletati järgmised parameetrid: VV ja VH polarimeetrilise kanali kalibreeritud tagasihajumine, VH/VV kanalite tagasihajumise suhe, VH/VV polarimeetriline koherentsus ning 12 päevase

² Üldkulud on projekti elluviimise kaudselt seotud kulud (kontoritarvete ja -tehnikate kulud), sealhulgas taristu ülalpidamise kulud (vee, kütte jm kulud) ja amortisatsioonikulu. Üldkulu ei tohi arvestada teistelt teadus- ja arendusasutustelt või laboratooriumitelt tellitud tööde maksumuselt (allhankelt).

sammuga interferomeetriline koherentsus nii VV polarimeetrilise kanali kohta. Arvutatud Sentinel-1 parameetrite ajalisi käike võrreldi välitööde andmetega, korrelatsioonide leidmiseks koostati hajuvusdiagramme, et leida millised Sentinel-1 põhised parameetrid on kõige tundlikumad niitmisele ja ka segavatele asjaoludele (nt. tuul ja vihm).

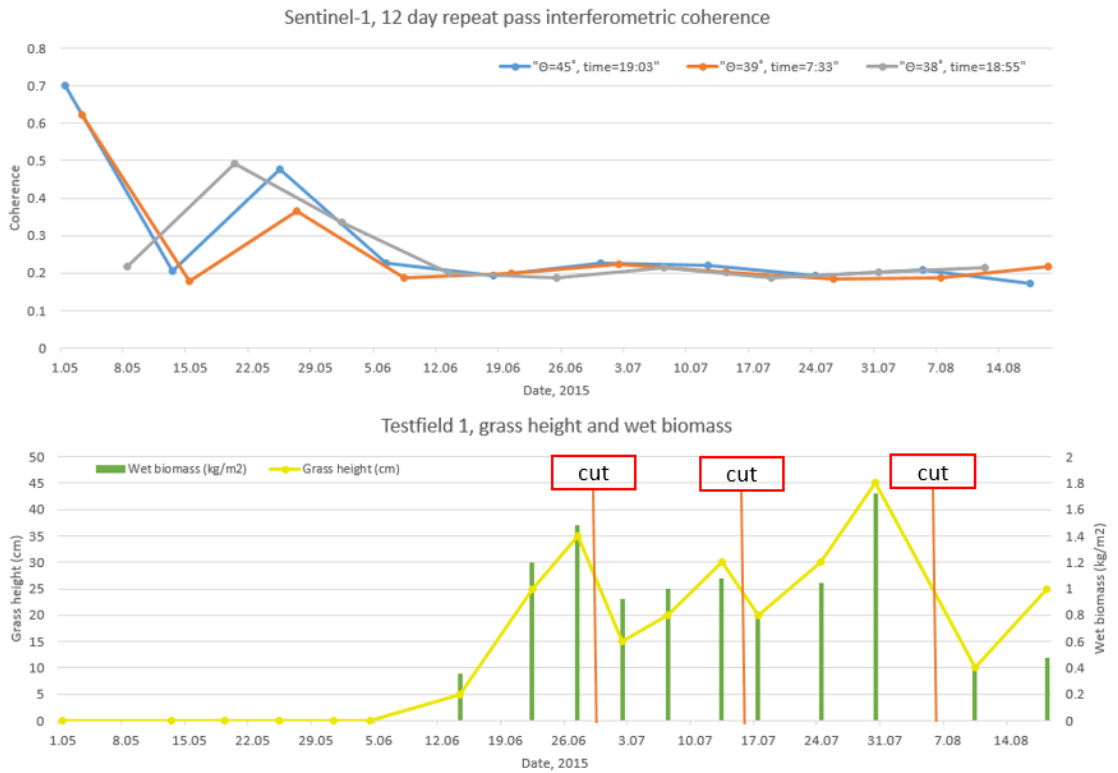
Välitööd tehti nädalase ajalise sammuga kuuel Rannu testala põllul ettevõtete OÜ Rannu Seeme ja OÜ Rannu Mõis maadel. Välitöödel mõõdeti märg ja kuiv- biomass (märg biomass ühikruudult taimestiku lõikamise järel kohese kaalumiseega põllul ja kuiv biomass peale selle kuivatamist laboris), rohu kõrgus, mullaniiskus (elektrijuhtivuse põhiste kontaktsensoritega Delta-T Theta Probe ML2x ja Extech MO750, mille mõõtmised arvutati otsese võrdluse võimaldamiseks samale skaalale), iga kord tehti ka igast põllust pildid dokumenteerimaks olukorda ja võimaldamaks hilisemat üksikasjade täpsustamist, kui mõõdetud arvanded tekitavad kahtlusi. Mõõtmiste subjektiivsuse elimineerimiseks tehti välitööde mõõtmised läbilõike meetodil 250 m põldu läbival sirgel iga 25 m järel (10 mõõtmispunkti), millest arvutati põllu keskmised väärtused.

Uuringu tulemused:

Välja on pakutud esialgne versioon Sentinel-1 põhised algoritmist niitmiste kontrolliks ning seda ka piiratud alal edukalt testitud. Uuringu üksikasjalised tulemused ilmuvad rahvusvahelise eelretsenseeritava teadusajakirja artiklina 2016-2017 aasta jooksul. Järgnevalt on esitatud lühikäsitluse peamistest tulemustest.

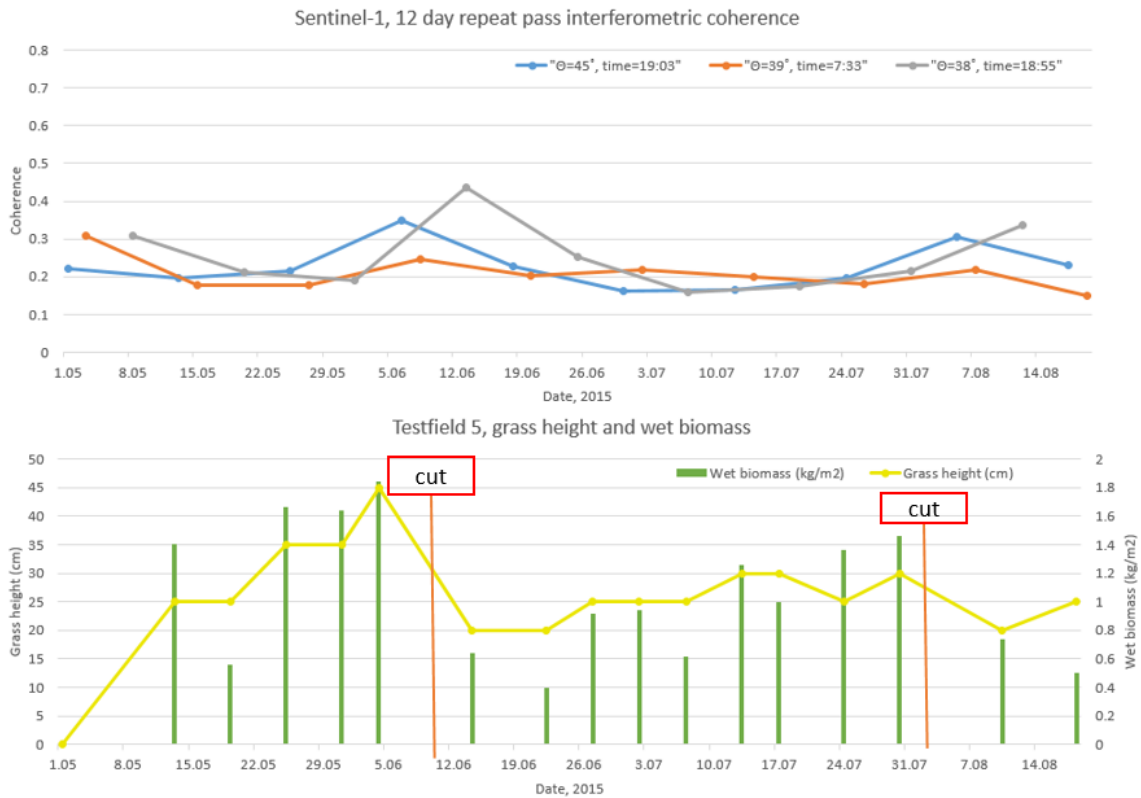
Uuritud parameetritest näitas niitmise suhtes selgeimat käitumist interferomeetriline koherentsus, mis reeglina niitmise järel tõusis, sest koherentne maapind sai radari jaoks rohkem nähtavaks ning ajas muutliku taimestiku osakaal mõõdetud radarisignaalis langes. VH/VV polarimeetriline koherentsus oli teooriaga kooskõllaliselt peaaegu kõikjal rohu- ja põllumaadel ühtlase müra tasemel, välja paistsid ainult hooned ja elektripostid. VH ja VV tagasihajumine ning VH/VV tagasihajumise suhe selget otsest seost niitmise sündmuste või rohu kõrguse ja biomassi hulga suhtes ei näidanud. Kolme ühikulise aknaga ajaliselt silutud VH tagasihajumine teatavat suundumust siiski näitas. Niitmise järel VH tagasihajumine reeglina kasvas (7 kasvamise juhtu 2 kahanemise vastu). Võimalik põhjendus on seotud rohu eemaldamise järgse radarisignaali sumbumise vähenemises ja ebatasase maapinna selgemalt nähtavale tulekus. Teiseks VH tagasihajumise kasvu põhjuseks võib olla rohukõrte korrastatuse rikkumist niitmise järel, mis tõstis tagasihajumise juhuslikku (VH kanalile vastavat) komponenti. Kuigi VV tagasihajumises endas niitmisele või rohu kõrgusele/hulgale vastavat otsest seost ei leitud, tundub infot pakkuvat VV kanali muutlikkus. Kõrgema rohu korral muutus VV tagasihajumine ajas oluliselt rohkem kui värskelt niidetud madala rohu korral (vt Joonis 4). Kuue ühiku laiuse aknaga arvutatud VV kanali tagasihajumise ajaline standardhälve reeglina niitmise järel langes (7 langust vs 1 tõus).

Joonis 1 ja Joonis 2 kujutavad interferomeetrilise koherentsuse ajalisi käike võrreldes rohu kõrguse ja märja biomassiga testpõldudel Ro1 ja Ro2. Joonisel 1 on selgelt näha lagedale küntud põllule vastav oluliselt kõrgem koherentsus mais ja juuni alguses. Ajutine koherentsuse langus 10. mai ümber on tõenäoliselt seotud antud põllu kündmisega, mis mõjutab teooriaga kooskõllaliselt kõigi kolme erineva vaategeomeetria aegridu. Esimesele niitmisele juuni lõpus vastab nõrk 3% koherentsuse tõus. Teisele ja kolmandale niitmisele vastavat koherentsuse tõusu aegread nii selgelt ei näita – põhjuseks on tõenäoliselt asjaolu, et teine niitmine tehti suhteliselt kõrgelt (20 cm), kolmas niitmine oli häiritud vihmast, mis viis koherentsuse languseni.



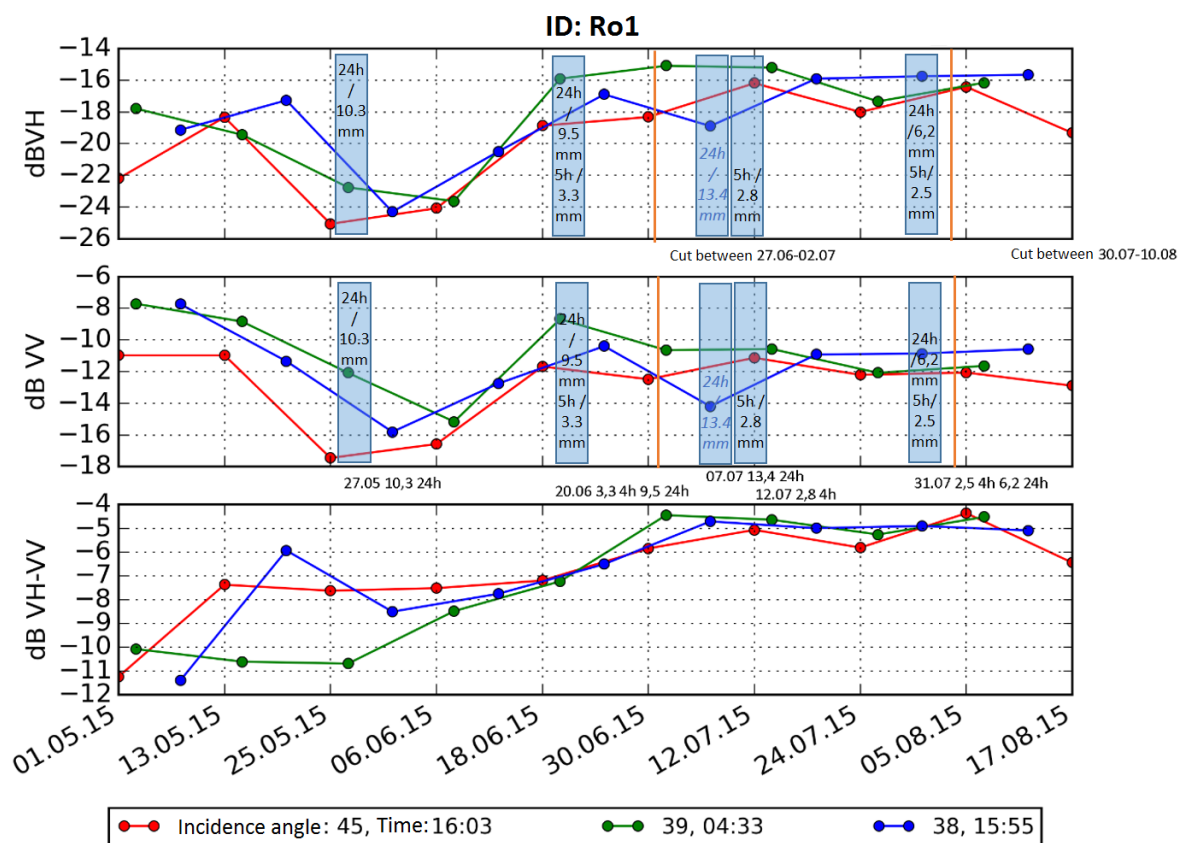
Joonis 1 Sentinel-1 interferomeetriline koherentsus (ülemine graafik) võrreldes rohu kõrguse ja märja biomassiga (alumine graafik) testpõllul Ro1. Punased vertikaalsed jooned alumisel graafikul tähistavad niitmist. Erinevad värvid ülemisel graafikul tähistavad Sentinel-1 erinevate orbiitide langemisnurkadele ja vaatesuundadele vastavaid aegridu.

Testpõllu Ro5 koherentsuse aegread (Joonis 2) näitavad niitmise oluliselt selgemini. Esimesele niitmisele vastab umbes 24% koherentsuse kasv ning teisele 12%.

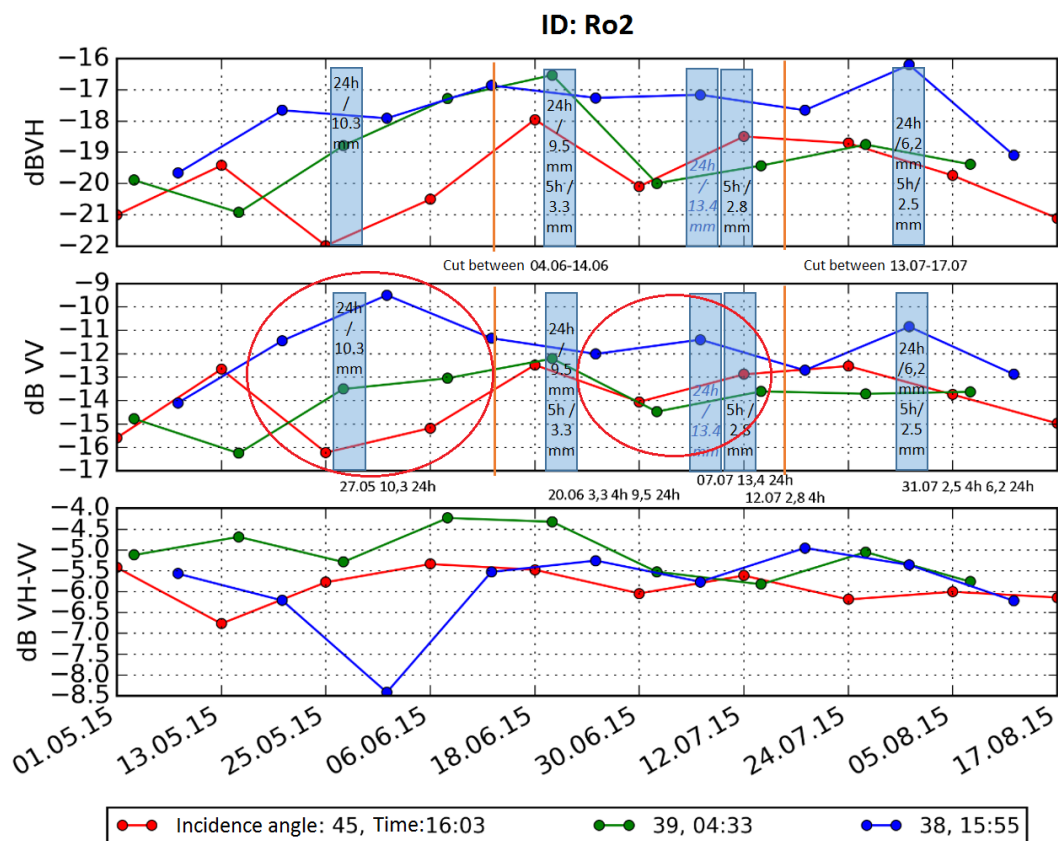


Joonis 2 Sentinel-1 interferomeetriline koherentsus (ülemine graafik) võrreldes rohu kõrguse ja märja biomassiga (alumine graafik) testpõllul Ro5. Punased vertikaalsed jooned alumisel graafikul tähistavad niitmist. Erinevad värvid ülemisel graafikul tähistavad Sentinel-1 erinevate orbiitide langemisnurkadele ja vaatesuundadele vastavaid aegridu.

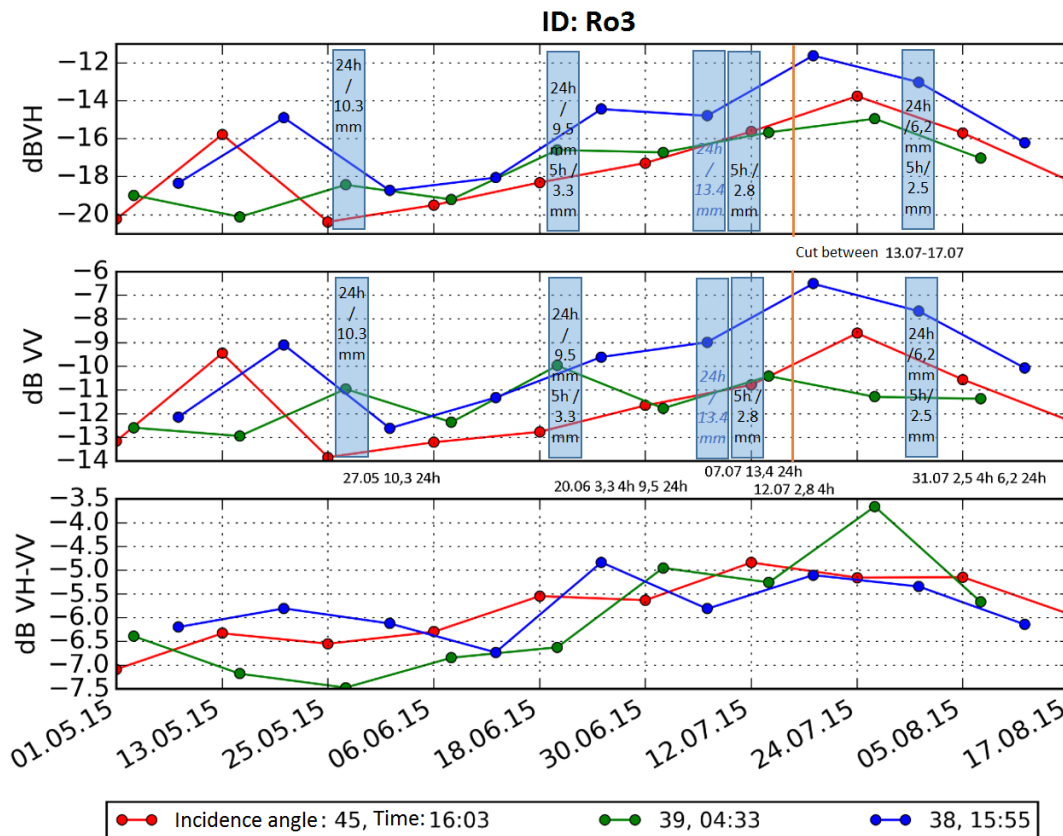
Joonistel 3-5 on kujutatud VH ja VV tagasihajumiste ning VH/VV tagasihajumise suhte aegread testpõldudel Ro1, Ro2 ja Ro3. Väga selgeid ja otseseid trende seoses niitmise sündmustega välja ei paista, kuid ajalise silumise järel on täheldatav siiski kerge VH kanali tagasihajumise tõus ning VV tagasihajumise muutlikkuse langus niitmise järel (eriti testpõllul Ro2 – Joonis 4). VV kanali suurem muutlikkus ajas on seotud tõenäoliselt tuulega. Kõrge rohu paindub tuules enam ning seetõttu saavad rohukõrred (kui vett sisaldavad dipoolid radari jaoks) võtta rohkem erinevaid asendeid viies kord tugeva (rohukõrred on radari vaatesuuna suhtes risti) kord nõrgema (rohukõrred on radari vaatesuuna suhtes peaaegu paralleelsed) tagasihajumiseni. Selle parameetri praktikas kasutamiseks tuleb siiski arvesse võtta, et muutlikkus sõltub tuulest ning täpsete otsuste tegemiseks on vaja kasutada ka tuule kiiruse ja suuna andmeid.



Joonis 3 Sentinel-1 VH (ülemine graafik), VV (keskmise graafik) tagasihajumine ning VH/VV tagasihajumise suhe (alumine graafik) testpõllul Ro1 maist augustini 2015. Punased vertikaaljooned tähistavad niitmist ja sinistes kastides on toodud viimase 24h ja 5h sademete summad vahetult enne satelliidi ülesvõtet juhul kui sademeid esines. Punane graafik vastab Sentinel-1 langemisnurgale 45° ja ülelennu ajale 16:03 UTC, roheline 39° ja 4:33 ning sinine 38° ja 15:55.



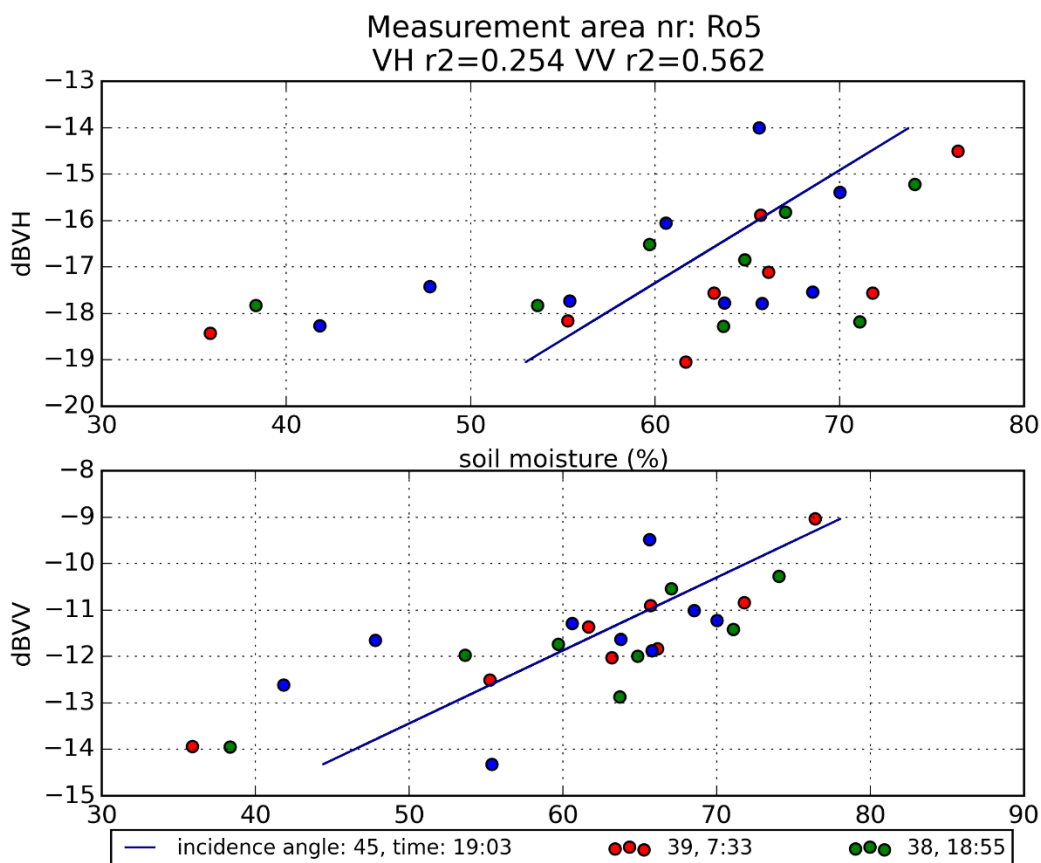
Joonis 4 Sentinel-1 VH (ülemine graafik), VV (keskmise graafik) tagasihajumine ning VH/VV tagasihajumise suhe (alumine graafik) testpõllul Ro2 maist augustini 2015. Punased vertikaaljooned tähistavad niitmist ja sinistes kastides on toodud viimase 24h ja 5h sademete summad vahetult enne satelliidi ülesvõtet juhul kui sademeid esines, punased ovaalid tähistavad tagasihajumise suuremat hajuvust kõrge rohu korral. Punane graafik vastab Sentinel-1 langemisnurgale 45° ja ülelennu ajale 16:03 UTC, roheline 39° ja 4:33 ning sinine 38° ja 15:55.



Joonis 5 Sentinel-1 VH (ülemine graafik), VV (keskmine graafik) tagasihajumine ning VH/VV tagasihajumise suhe (alumine graafik) testpõllul Ro3 maist augustini 2015. Punased vertikaaljooned tähistavad niitmist ja sinistes kastides on toodud viimase 24h ja 5h sademete summad vahetult enne satelliidi ülesvõtet juhul kui sademeid esines. Punane graafik vastab Sentinel-1 langemisnurgale 45° ja ülennu ajale 16:03 UTC, roheline 39° ja 4:33 ning sinine 38° ja 15:55.

Lisaks põllumajanduslikele tegevustele rohumaadel (kündmine, niitmine, külv) mõjutab Sentinel-1 radaripõhiste parameetrite aegridade käike veel vahetu ilm ja mullaniiskus. Värske vihmasadu vahetult enne radaripildi ülesvõtmist muudab oluliselt maastikku tagasihajumist (VV ja VH tagasihajumine ja VH/VV suhe). Olenevalt tuulest on rohukõrte asend erinev ning seegi mõjutab tagasihajumist, järelikult on vaja operatiivse niitmise tuvastamise infosüsteemi loomisel nii sademete kui ka tuulekiiruse ja –suuna andmeid arvesse võtta ja Sentinel-1 parameetrite aegridade käiku vastavalt korrigeerida, et saada võimalikult täpseid tulemusi.

Lisaks muutustele taimestikus sisaldab rohumaade tagasihajumise info alati ka mullaniiskuse mõju. Mullaniiskuse mõju on seda suurem, mida vähem biomassi antud põllul on. C- ja X-laineala radarite puhul (Sentinel-1 on C-laineala radar) on biomassi piir kust mullaniiskuse mõju võib arvestamata jätta umbes 0,5-1,0 kg/m². Käesoleva uurimistöo raames väga selget seost mullaniiskuse ja Sentinel-1 tagasihajumise vahel ei leitud, enamiku rohumaade korral jäi korrelatsioonikoeffitsient vahemikku 0,1-0,3, sest biomassi tase oli suhteliselt kõrge ja mullaniiskuse muutlikkus madal. Erandiks oli vaid väga märg ja suhteliselt madala biomassi tasemega testpõld Ro5, kus VV tagasihajumise ja mullaniiskuse vahel tuvastati korrelatsioon tugevusega 0,56 (vt Joonis 6).



Joonis 6 Mullaniiskus vs VH ja VV polarimeetrilise kanali tagasihajumine rohumaal Ro5. Sinised andmepunktid vastavad langemisnurgale 45° ja ülelennu ajale 19:03 EET, punased 39° ja 7:33 ning rohelised 38° ja 18:55.

Tulemuste lühikokkuvõte

Käesoleva projekti eesmärgiks oli uurida radarsatelliit Sentinel-1 mõõtmistest tuletatud parameetrite tundlikust taimestiku parameetritele rohumaaadel ja pakkuda välja algoritm niitmise tuvastamiseks. Eesmärgi täitmiseks korraldati 2015 suvel Rannu ja Kambja testalal välitöödega toetatud eksperiment, töödeldi kokku 32+30 (Rannu+Kambja) satelliidipilti ning tulemusi analüüsiti koos välitööde andmetega.

Leiti kolm Sentinel-1 põhist parameetrit, mis on rohu kõrgusele ja biomassi hulgale või niitmisega seotud korrastatuse kaole tundlikud: interferomeetriline koherentsus, ajaliselt silutud VH-kanali tagasihajumine ja VV-kanali ajaline muutlikkus. Nimetatud parameetrite põhjal pakuti välja algoritm Sentinel-1 aegrea põhiseks niitmise tuvastamiseks.

Arvestades, et 2015 oli esimene vegetatsiooni-periood, mil Sentinel-1 mõõtmised olid saadaval ning käesoleva projekti piiratud aja ja eelarve piirides ei saanud kõik küsimused vastuseid, tuleks järgnevate projektidega: 1) uurida põhjalikumalt tuule ja vihma mõju Sentinel-1 mõõtmistele kasutades ilmaradarite ja numbriliste ilmaennustusmudelite pindandmeid, mitte ainult meteoroloogia jaamade punktmõõtmisi nagu käesoleva projekti raames, 2) töötada välja meetodika vihma ja tuule mõju arvesse võtmiseks niitmise tuvastamise algoritmis, 3) uurida Sentinel-2 optiliste satelliidipiltide põhiste vegetatsiooniindeksite tundlikkust niitmise suhtes, valida välja parimad indeksid ja pakkuda välja meetodika Sentinel-2 andmete kasutamiseks niitmise tuvastamisel, 4) valideerida välja pakutud algoritmi suuremal alal, et leida optimaalsed väärtused algoritmis välja pakutud

läviväärtustele X, Y ja Z ning kohandada niitmise tuvastamise algoritmi otsustusprotsessi vajadusel ümber.

Projekti elluviimiseks kasutatud töökohtade arv, tööülesannete kirjeldus ja jaotus uurimisgrupi liikmete vahel:

Projekti elluviimise nimel töötasid kaks Tartu Observatooriumi radarkaugseire tööühma liiget: Kaupo Voormansik ja Karlis Zalite. Välitöid aitas läbi viia Dr. Liina Talgre Eesti Maaülikoolist. Kuna kaks tööühma liiget, Anni Sisas ja Martin Valgur, lahkusid meeskonnast, telliti andmetöötlus ja selleks vajaliku töötusahela väljatöötamine ettevõttelt OÜ Geolab, kes sai oma ülesannetega väga hästi hakkama.

Rollide jaotus projektis oli järgmine:

Kaupo Voormansik – projekti juhtimine, teaduslik nõustamine, välitööd, dokumenteerimine ja algoritmi koostamine

Karlis Zalite – andmetöötluse juhtimine ja läbiviimine, välitööd, algoritmi koostamine

OÜ Geolab – Sentinel-1 andmetöötlusahela väljatöötamine ja 2015 mai-augusti andmete töötlemine (kokku 32+30 satelliidipilti)

Liina Talgre – konsultatsioonid rohumaade välitööde läbiviimiseks, välitööde läbi viimine ja biomassi kuivaine sisalduse mõõtmised (Liina Talgre töö kaeti Eesti Maaülikooli omavahenditest, kavas on ühise teadusartikli avaldamine)

Projektiga seotud taristu kasutamine projekti elluviimisel:

Projekti elluviimiseks kasutati Tartu Observatooriumi arvutustehnikat (lauaarvutid ja server) ning välitööde varustust, mida käesoleva projekti tarbeks uuendati ja hooldati (uued biomassi koguste mõõteraamid, uus riputuskaal ja patareide vahetamised).

Soovitused ja ettepanekud:

- 1. Jätkata Sentinel-1 põhise algoritmi täpsustamise uurimis- ja arendustööga, et selle saaks võtta operatiivkasutusse rohumaade niitmise kontrolliks kogu Eesti ulatuses. PRIA esialgsete arvutuste järgi oleks üle-eestilise rakendamise majanduslik kasu üle 400 000 €/aastas (peamiselt toetusraha säästmine oma kohustusi mitte täitvatelt taotlejatelt ning selle ümber jaotamine ausatele ja aktiivsetele talunikele).*
- 2. Uurida värskelt 2015. a. orbiidile saadetud teise Copernicus seeria süsteemi, Sentinel-2, põhiseid vegetatsiooni-indekseid ja nende sobivust niitmise tuvastamiseks. Töötada välja Sentinel-1 (radarsatelliit) ja Sentinel-2 (optiline satelliit) andmete põhine hübriidalgoritm, mis annaks ilmselt kõige täpsemaid tulemusi.*
- 3. Töötada välja meetodika ilma mõju (tuul ja sademed) arvesse võtmiseks Sentinel-1 mõõtmiste põhises niitmise tuvastamise algoritmis.*

Muud olulised asjaolud: -

Ants Noot
Kantsler