

Uurimustöö “InSAR andmete tugineva kaugseire võimalused Tallinna kõrgusvõrgu monitooringuks”

Koostanud: A. Gruno

Kinnitas: A. Kiik

Tallinn 2020

Sisukord

Lühikokkuvõte	4
Sissejuhatus	4
InSAR mõõtmised	4
SAR Interferomeetriline analüüs (InSAR)	5
Deformatsiooni arvutamine PSI meetodil	6
PSI analüüsipunktide valik	7
Ruumiline koherentsus	8
Atmosfääriparandi arvutamine	8
PSI analüüs	8
Vertikaal- ja horisontaalmuutuse arvutamine InSAR meetodil	8
Satelliitandmed	9
Uuringuala	10
Punktipõhised (reeperite) kõrguste muutused	11
Nivelleerimisandmed	11
Nivelleerimisparandid	12
Gravimeetrilised parandid	12
Maatõusu parand	14
Tasandusarvutused	14
Võrgustamise meetod	17
Võrdlus	18
Sobivus standardhälbe kaudu	19
Ülehinnatud tulemused	19
Alahinnatud tulemused	19
Tulemuste kokkuvõte	20
Kokkuvõte	21
Kasutatud kirjandus	22
Lisa 1 Arvutustabel	23

Lisa 2 Kasutatud deformatsiooni kaart.....	27
Lisa 3 Nivelleerimise deformatsioonide arvutus	28

Lühikokkuvõte

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli analüüsida InSAR kaugseire meetodi kasutusvõimalusi Tallinna kõrgusvõrgu jälgimiseks, et avastada maapinna ja hoonete liikumisest põhjustatud reeperite kõrgusväärtuste muutusi. Töös kasutati PSI (*i.k. Persistent Scatterer Interferometry*) meetodit, tööpiirkond hõlmas aastatel 2007/2008 ja 2019 läbiviidud kõrgtäpse kordusnivelleerimistega kaetud ala. PSI analüüsi põhines Sentinel-1 satelliitide andmetel, mis on kogutud ajavahemikul 06.2016 – 11.2019. Kahelt vastassuunaliselt orbiitidelt mõõdetud deformatsioonidest arvutati muutuste vertikaalkomponent H, selle standardhälve ja deformatsioonikiirus. Selle puhul kasutati eelnevat deformatsioonide võrgutamist sammuga 0.0001 kraadi. PSI tulemuste valideerimiseks kasutati eelmainitud kõrgtäpse kordusnivelleerimise andmestikku. Uurimustöö tulemusel selgus, et kahel eri meetodil arvatud deformatsioonid kattusid 80.1% ulatuses. 5.2% oli PSI deformatsiooni ülehinnanud ja 14.7% jäid PSI deformatsioon alahinnatuks.

Käesolevas teadus- ja arendustegevusega seotud uurimustöös osales ka Andres Rüdja Phd. Tema arvutas nivelleerimise deformatsioonid, mis olid uurimistöö võrdlusmaterjaliks.

Sissejuhatus

Käesoleva aruande koostamisel lähtuti Tallinna LV ostuhanke „InSAR andmete tugineva kaugseire võimalused Tallinna kõrgusvõrgu monitooringuks“ tingimustest.

Uurimustöö eesmärgiks oli InSAR (*i.k. Interferometric Synthetic Aperture Radar*) ja kõrgtäpse nivelleerimise teel kogutud kõrgusandmete võrdlus, mille tulemusel selgitatakse välja InSAR andmete kasutatavus kõrgusvõrgu muutuste jälgimiseks. Uurimustöö võrdlusandmeteks kõrgusvõrguosas on 2007/2008 ja 2019 mõõtmisandmed. Kaugseire andmete osas kaasati uurimustöösse Copernicus programmi raames tasuta kättesaadavaid Sentinel-1 missiooni SAR andmeid Tallinna haldusterritooriumi alas perioodil 06.2016 kuni 11.2019.

Töös esitletakse kasutatud PSI meetodit, kasutatud satelliitandmeid ja uuringuala. Tuuakse ülevaade referentsandmeteks kasutatud kõrgtäpse nivelleerimisest ja nende puhul kasutatud paranditest. Kirjeldatakse kahe ajavahemiku mõõtmistulemustest arvatud reeperite kõrgusväärtuste muutusi ja antud muutuste täpsushinnaguid. Järgnevalt näidatakse kuidas PSI meetodil mõõdetud deformatsioone saab viia referentsandmetega võrreldavale kujule. Teostatakse reeperite põhine võrdlus ja analüüsitakse saadud tulemusi. Töö lõpus tuuakse kokkuvõte ja ettepanekud järgnevateks sammudeks.

Töö tulemused esitatakse aruandena digitaalsel kujul, millele lisatakse analüüsi tabel .xlsx kujul ning H deformatsioonimudel .tif formaadis. Tabelid, koos päiste kirjeldustega ja illustreeritud mudel on aruande Lisades 1 ja 2.

InSAR mõõtmised

SAR (*i. k. Synthetic-Aperture Radar*) on aktiivne kaugseire meetod, mida kasutatakse liikuval sõidukil (lennuk, satelliit). SAR'i erinevus tavalisest radarist on suhtelise liikumise kasutamine mõõtmistel. See võimaldab vähendada vastuvõtuantenni mõõtmeid ruumilist lahutatavust kaotamata. SAR kasutab radari põhimõtet, kus saadetakse välja impulss ja mõõdetakse aega impulsi lähetamisest kuni

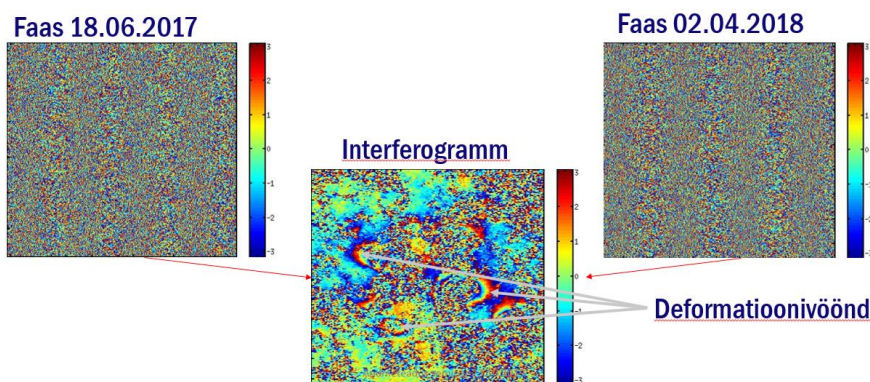
vastuvõtmiseni. Kasutatav mikrolaine sagedusala võimaldab teostada mõõtmisi ka sõltumata pilvkatte tihedusest. See annab SAR'ile eelise optiliste piltide ees, mille kasutamist piirab tugevasti pilvkatte esinemine uuritava objektidel.

SAR mõõtmise tulemuseks on kaks pilti. Esimene sisaldab amplituudi ja teine faasi väärtusi. Amplituud on kajastab tagasipeegeldunud signaali tugevust satelliidi vaatesuunal. Faasi pilti salvestatakse tagasi peegelduste viimaste lainete pikkused. Faasi väärtus saab kõikuda vahemikus 0-1 lainepikkust ehk ka vahemikus $\pm \pi$. Kui tegelik kaugus satelliidi ja objekti vahel on teada ligikaudu, siis viimase lainepikkus salvestatakse väga täpselt. Just faasiväärtus võimaldab teostada mm suurusjärgus mõõtmisi. Samas on tegemist suhtelise mõõtmisega, mis kajastab kuni lainepikkuse suurusi mõõtmisi.

Kuna SAR kasutab mõõtmiseks erinevaid lainepikkusi, siis ei saa kasutada interferomeetriliseks analüüsiks erinevate satelliidi andmeid koos, vaid need peavad olema kogutud ühe ja sama lainepikkusega satelliidi poolt. Näiteks ei saa teostada interferomeetrilist analüüsi ühe X sagedusala ja ühe C sagedusala pildi vahel. Samas on võimalik teha analüüs Sentinel-1A ja Sentinel-1B faasi piltide vahel, sest lainepikkused on samad ja nad tiirlevad samal orbiidil. Lisaks peavad pildid olema tehtud võimalikult samast kohast, et vaatesuunad oleks sarnased. Seega saab ühte interferomeetrilist analüüsi teha vaid samalt orbiidilt tehtud SAR piltidega.

SAR Interferomeetriline analüüs (InSAR)

Kui kaks faasipilti asetada üksteisega väga täpselt kohakuti, siis tekib nende vahel interferents. Tekib pilt, kus on kajastatud pikslite faaside erinevus. Seda pilti nimetatakse interfereogrammiks. Faasi muutused kajastuvad deformatsiooni interfereogrammil lainepikkuse muutustena vahemikus $\pm \pi$. Seda suurust nimetatakse interferomeetriliseks faasiks (ϕ). Deformatsioon avaldub vöönditena, mille suurus on pool lainepikkust. InSAR mõõtmised on alati relatiivsed. Üks punkt loetakse interfereogrammil teiste suhtes muutumatuks, referentspunktiks. Loendades vööndite arvu teiste pikslite ja referentspunkti vahel saadakse deformatsiooni väärtus pikslile referentspunkti suhtes.



Joonis 1. Kui kaks faasi pilti kohakuti asetada ja liita tekib interferentsipilt, mida nimetatakse interfereogrammiks ja tekkivat faasi interferomeetriliseks faasiks (ϕ). Suure müraga alad on kujutatud säbrulise mustriaga, kus deformatsioonivöönde näha ei ole.

Interferomeetriline faas koosneb mitmest komponendist: satelliidi asukohast tingitud nihe, topograafiast, deformatsioonist, atmosfääri komponendist (Ferreti jt. 2001).

$$f = f_{orb} + f_{topo} + f_{def} + f_{atm} + f_{müra} \quad (1)$$

kus, f_{orb} – orbiidi mõju

f_{topo} – topograafia mõju

f_{def} – deformatsioon

f_{atm} – atmosfääri mõju

$f_{müra}$ – müra

f_{orb} tekib sellest, et faasipildid, mida kasutatakse interferomeetrilisel analüüsil ei ole tehtud samast kohast vaid igal pildil tegemise ajal on satelliit natuke erinevas kohas. Kuna satelliidi asukohad on teada, siis on see komponent arvutatav ja selle saab ka eemaldada. f_{topo} on topograafiast tekkiv komponent, mida saab vajadusel kasutada madala eraldusvõimega DEM mudelite arvutamiseks. Deformatsiooni analüüsil tuleb see eemaldada, kasutades väljastpoolt kaasatavat DEM mudelit. Selle abil arvutatakse kõrgused f_{topo} ümber signaali komponendiks ja eemaldatakse. f_{def} on deformatsiooni komponent, mis on antud analüüsis leitav suurus. f_{atm} on atmosfääri mõju, sest Maa atmosfäär ei ole homogeenne. Iseäranis troposfääris esinev heterogeene niiskuse hulk põhjustab SAR laine kiiruse vähenemist ja seetõttu mõjutab tulemust. f_{atm} mõju on võimalik analüüsi käigus hinnata ja eemaldada. $f_{müra}$ on muud häired, mis võivad põhjustada faasi kõikumisi.

Seega, valemist (1) saab tuletada deformatsioonihinnanguteks olulised järeldused:

$$f_{def} = f - f_{orb} - f_{topo} - f_{atm} - f_{müra} \quad (2)$$

kus, f_{orb} – on määratav ja eemaldatav

f_{topo} – kasutatakse välist DEM mudelit

f_{atm} – hinnatakse analüüsi käigus ja eemaldatakse

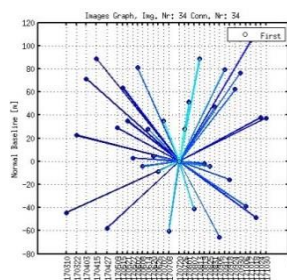
$f_{müra}$ – on hinnatav

Joonisel 1. on kujutatud deformatsiooni interferogramm, kust on eemaldatud orbiidi ja topograafilise komponent. Lisaks selgetele deformatsioonivöönditele, on näha ka säbrulisi alasid. Need on analüüsi teostamiseks liiga mürased.

Deformatsiooni arvutamine PSI meetodil

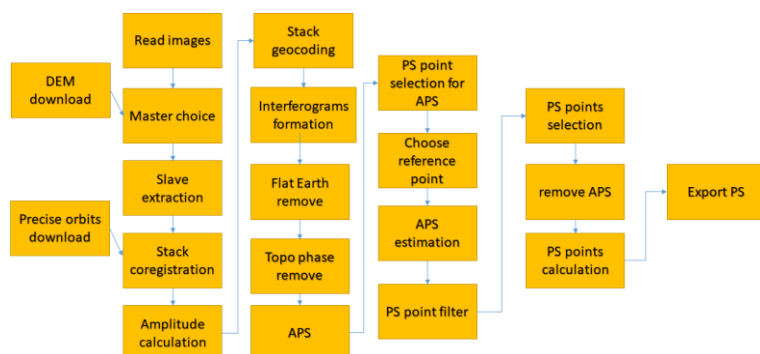
InSar analüüs, mis põhineb kahel faasipildil, on kasulik vahend näiteks maavärinate poolt põhjustatud deformatsioonide arvutamiseks. Kuid, kui soovitakse analüüsida objekte pikema ajavahemiku jooksul siis on vajalik analüüsida deformatsioone mitme interferogrammi abil. Seda nimetatakse ajaliseks InSar'iks (i.k. *Multi-temporal InSar*). Meetodeid, kuidas interferogramme omavahel siduda, on mitmeid (Crosetto jt. 2016). Antud töös kasutatakse PSInsar (*PSI - i.k. Persistent Scatterer Interferometry*) meetodit (Ferreti jt. 2001).

PSI meetodi puhul tekitatakse interferogrammide võrk ühe pildi suhtes. Graafiliselt on see tähe kujuline (Joonis 2). Antud võrk võimaldab siduda interferogrammide ka ajaliselt, kuna kõik interferogrammide kajastuvad muutust ühe referentsaja suhtes.



Joonis 2. PSI meetodi interferogrammide võrk. Võrgu moodustamisel kasutatakse alati ühte juhtpilti

PSI andmetöötluse tööprotsess on toodud Joonisel 3. Väliseks DEM mudeliks, et eemaldada topograafia mõju, kasutati Maa-ameti poolt genereeritud 10 m LIDAR andmetel põhinevat maapinna mudelit¹.



Joonis 3. PSI meetodi tööprotsess

PSI analüüsipunktide valik

Mitte kõigile huviala pikslitele ei ole võimalik teha usaldusväärset analüüsi. Seetõttu on mõttekas teha eelnev pikslite valik, mis on analüüsiks piisavalt usaldusväärsed. PSI meetodi puhul kasutatakse sobivate pikslite valikuks kõige enam amplituudi dispersiooni väärtust, mis arvutatakse valemiga:

$$D_a = S_a / m_a \quad (3)$$

kus, S_a – piksli amplituudi standardhälve

m_a - piksli keskmine hälve

Mida madalam on D_a , seda kõrgema stabiilsusega on piksli amplituud ajas. Lihtsamaks mõistmiseks kasutatakse ka normaliseeritud amplituudi stabiilsusindeksit (ASI).

$$ASI = 1 - D_a \quad (4)$$

Mida kõrgem on ASI väärtus seda stabiilsem on punkt (piksel).

¹ DEM mudel on vabalt allalaetav aadressilt

<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed/Laadi-korgusandmed-alla-p614.html>

Ruumiline koherentsus

Kui ASI on sõltuv pinna reflektiivsusest, siis võib jääda vähe peegelduvad kuid samas stabiilsed pinnad sisendvalikust välja. Selle vältimiseks võib sisendparameetriks kasutada ka ruumilist koherentust, kus arvutatakse piksli korrelatsioon sama interferogrammi naaberpikslite suhtes. Kõikidest interferogrammide koherentsuspiltidest võetakse keskmine väärtus, mis annab ülevaate eeldatavalt ajas stabiilsetest peegeldustest. Mida kõrgem koherentsuse väärtus seda stabiilsem on piksel.

Atmosfääriparandi arvutamine

Atmosfääriparand (APS) arvutuse puhul hinnatakse atmosfääri heterogeensusest tingitud mõju faasi väärtusele. APS tuleb arvutada huvialadele, mille suurus on üle 2 km². Väiksemate alade puhul võib atmosfääri lugeda homogeenseks ning APS määrata ei ole vaja. APS hindamisel eeldatakse, et atmosfääri muutused on madalasageduslik signaal. Seega saab APS'i hinnata, filtreerides välja madala sagedusliku komponendi interferogrammidele. Täpsemaks määramiseks kasutatakse ainult kõrgema kvaliteedihinnanguga pikseleid. APS'i hindamiseks valitud pikslitest moodustatakse ruumiline võrk. Võrgustikule teostatakse PSI analüüs, kus määratakse kõikidele pikslitele deformatsioon ajas referentspunkti suhtes. APS'i hinnaguks on analüüsi võrgustatud deformatsiooni määranu jääkväärtuste madalasageduslik osa. APS parandusmudel arvutatakse igale analüüsis kasutatud interferogrammidele.

PSI analüüs

Peale APS määranu saab arvutada igale sisendparameetrit ületavale pikslile deformatsiooni referentspunkti suhtes. See toimub periodogrammi abil, kus sisendiks on eeldatav deformatsiooni kiirus. Kiirus ajas on lineaarne ja hilisema väljundfiltri abil on võimalik valida vaid pikslid (punktis), mis vastavad valitud mudelile kõige paremini.

Vertikaal- ja horisontaalmuutuse arvutamine InSAR meetodil

InSAR deformatsiooni väärtused, sõltumata kasutatavast meetodist, on alati satelliidi vaatesuunas ($LOS - i.k Line Of Sight$). LOS on ühemõõtmeline väärtus, mis iseloomustab deformatsiooni suurust piksli alal. Ainult LOS väärtus on mm suurusjärgus. Piksli asukoht kolmemõõtmelises ruumis sõltub satelliidi geometriast, kasutatavatest DEM mudeli täpsusest ning ka objekti kõrgusest maapinnast. Seega võib piksli asukoht plaaniliselt olla tunduvalt väikesema täpsusega kui LOS väärtus.

See tõik, et LOS väärtus on ühemõõtmeline, ei võimalda selle otsest transformatsiooni kolmemõõtmelisse ruumi (ENH). Samas kui objekti jälgitakse kahelt vastassuunaliselt orbiidilt (ASC ja DESC) on võimalik arvutada ida-lääne suunaline komponent E ja vertikaalkomponent H . Põhjasuunalise komponendi N määranu on InSAR meetodi puhul ebatäpne, tulenevalt satelliidi orbiidi peaaegu polaarset konfiguratsioonist. E ja H komponendid arvutatakse vastavalt valemile (6) (isiklik suhtlus D. Perissin 2016). Kasutatakse LOS orientatsiooninurka φ ja tõusunurka θ , mille seosed on toodud Joonisel 4. Juhul kui on kasutada ainult üks orbiit, saab ligikaudse H deformatsiooni arvutada ka ühelt orbiidilt. See aga eeldab, et horisontaalset liikumist ei toimu.

Valemi (6) arvutus kehtib rangelt ainult siis, kui on täidetud tingimus, et mõlemad suunad jälgivad ühte ja sama objekti. Kasutades looduslike peegeldusi, on seda aga raske saavutada. Sellisel juhul on mõttekas valemit (6) kasutada võrgustatud pindadega. LOS väärtused võrgustatakse eelnevalt regulaarse sammuga võrguks ja EH analüüs teostatakse võrgupunktidele.

$$\begin{bmatrix} disp_{LOS,1} \\ disp_{LOS,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 \cos \varphi_1 & \cos \theta_1 \\ \sin \theta_2 \cos \varphi_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ H \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} E \\ H \end{bmatrix} \quad (5)$$

kust,

$$\begin{bmatrix} E \\ H \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} disp_{LOS,1} \\ disp_{LOS,2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

kus, $disp_{LOS,1}$ – LOS deformatsioon esimene orbiit

$disp_{LOS,2}$ – LOS deformatsioon teine orbiit

θ_1 – tõusunurk esimene orbiit

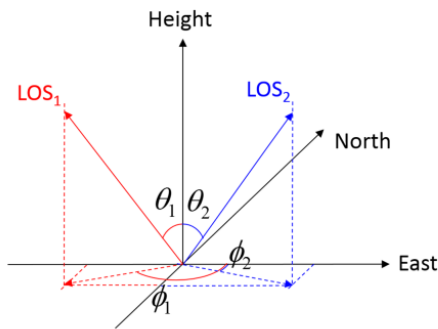
φ_1 – esimese orbiidi suunanurk

θ_2 – tõusunurk teine orbiit

φ_2 – teise orbiidi suunanurk

E – ida suuna komponent

H – vertikaalkomponent



Joonis 4. Kahe vastasuunise LOS väärtuse arvutamine E ja H komponendiks

Käesoleva töös kasutati võrdluseks ainult vertikaalkomponenti², sest referentsandmeteks olid nivelleerimistulemused, kus mõõdetakse ka ainult H komponenti.

Satelliitandmed

Antud analüüsis on kasutatud Sentinel-1 SAR IW SLC pilte, mis on vabalt saadaval andmelaos aadressil <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Sentinel-1 satelliit kasutab mõõtmiseks mikrolaineala sagedusega 5.405 GHz, mis vastab lainepikkusele 5.546 cm. Tagasi peegelduv signaal jagatakse ca 5x20 m piksliteks, kus 5 m on vaatesuunas ja 20 m satelliidi liikumise suunas. Sentinel-1 missioon koosneb kahest, 1A ja 1B satelliidist, mis tiirlevad samal sünkroonsel orbiidil. Ühe satelliidi mõõtmiste tsükkel on 12 päeva. Samas on Sentinel 1A ja 1B satelliitide mõõtmistsüklid omavahel sünkroniseeritud nihkega, mis tagab mõõtmise 6 päeva tagant³.

² E komponent arvutatakse ikka, kuid hilisemas analüüsis seda ei kasutata.

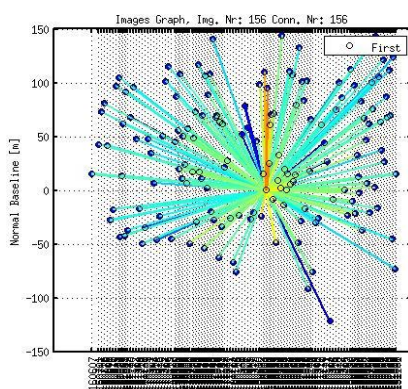
³ Maksimaalset mõõtmistsüklit kasutatakse ainult kindlaks määratud aladel, kuhu kuulub ka Eesti.

Tabel 1. Kasutatud satelliitandmete põhi parameetrid

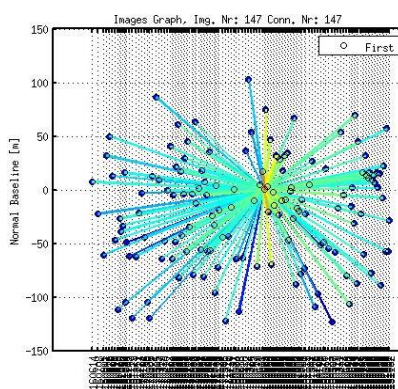
Relatiivse orbiidi number	Suund	Ajavahemik	Piltide arv	Tõusunurk (°)	Asimuut (°)
80	Langev (DESC)	14.06.2016-02.11.2019	147	43.5179	189.3537
160	Tõusev(ASC)	07.06.2016-01.11.2019	156	33.5389	347.9874

Tabel 1 toodud ajavahemiku pildid koregistreeriti orbiiditi kahte projekti. Interferomeetriliste paaride moodustamiseks kasutati ühte peapilti, mille suhtes joondati teised pildid. Joonis 5 on toodud interferomeetriliste paaride graafik normaal baasjoone ja ajavahemiku lõikes.

a)



b)

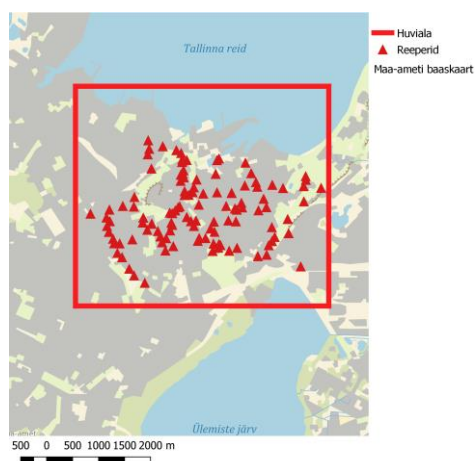


Joonis 5. Analüüsiks moodustatud interferomeetriliste paarid a) ASC peapilt 16.05.2018 ja b) DESC peapilt 8.05.2018

Deformatsioonid arvutati PSI meetodi abil, kasutades PS valiku sisendparameetriks amplituudi stabiilsusindeksi (ASI) ja ruumilise koherentsuse summat väärtusega >1.4 . Kuna ala oli suur, siis arvutati eelnevalt ka APS kasutades sisendparameetriks väärtusi $ASI > 0.8$. Analüüside väljundiks loeti deformatsioonid, kus ajaline koherentsus oli suurem kui 0.7.

Uuringuala

Uuringuala on toodud Joonis 6. Ala suurus valiti lähtuvalt reeperite asukohtadest. See katab suurema osa Tallinna sadama ja kesklinna territooriumist.



Joonis 6. Uuringuala

Punktipõhised (reeperite) kõrguste muutused

Nivelleerimisandmed

Käesoleva uurimustöö võrdlusandmeteks kõrgusvõrgu osas on aastatel 2007/2008 ja 2019 läbiviidud mõõtmiste tulemused. Kahe nivelleerimise tulemuse vahe loetakse aja jooksul toimunud deformatsiooniks. Nivelleerimistel kasutati digitaalnivelliire Trimble DiNi 12, mille peamised tehnilised spetsifikatsioonid on loetletud Tabelis 2.

Tabel 2. Nivelliiri Trimble DiNi 12 peamised tehnilised spetsifikatsioonid

Täpsus (DIN 18723)	
kõrguskasvud, mõõtmine edasi-tagasi suunas 1 km	$\pm 0.3 \text{ mm}$
vahemaade mõõtmine, viseerimiskaugus 20 m	$\pm 20 \text{ mm}$
Väikseim ühik	
kõrguskasvud	0.01 mm
vahemaad	1 mm
Pikksilma suurendus	$32^{\times}$
Kompensaatori horisonteerimistäpsus	$\pm 0.2''$
Vajalik maksimaalne lati kujutise pikkus	$\leq 30 \text{ cm}$

Mõõtmiskomplekti kuulusid invar-koodlatid NEDO pikkusega 3 (LD13), 2 (LD12) ja 1 meetrit (LD11) ning jäik (ühes tükis) tugevdatud konstruktsiooniga puidust statiiv pikkusega 1.7 m. Nivelleerimislattide invarskaala temperatuurid mõõdeti kahe kanaliga digitaalsete termomeetrite COMET S0121 ja väliste Pt1000 tüüpi anduritega T822-02 (pind). Käigud nivelleeriti kõrgetäpse nivelleerimise meetodika (Kõrgusvõrgu rekonstrueerimise ja rajamise juhend, Maa-amet 2016) kohaselt edasi-tagasi suundades.

Käesoleva uurimustöö käigus selekteeriti 2007/2008.a Tallinna kõrgusvõrgu mõõtmisandmed, toodud aruandes „Tallinna kõrgusvõrgu rekonstrueerimine. Mõõtmisaruanne (AS Planserk 2008)“, 2019.a mõõtmiste alale (Kesklinn ja piirnevad alad).

2019 a mõõtmisandmed võeti aruandest „Tallinna kõrgussüsteemi rekonstrueerimine. Mõõtmis- ja tasandusaruanne (OÜ Metricus 2019)“. Ka nende andmete puhul viidi läbi selektsioon, siin jäeti välja võrgu äärealad, mis ei kattunud 2007/2008 aasta mõõtmistega.

Võrreldavuse saavutamiseks viidi 2007/2008 a mõõtmisandmetesse sisse alljärgnevad parandid:

- Nivelleerimislattide skaala ja temperatuuri parandid. Parandite arväärtused saadakse kasutades lattide skaalaparandeid, latiskaalade joonpaisumistegureid ning mõõtmis- ja kalibreerimistemperatuuride erinevusi.
- Gravimeetrilised parandid, mis rakendati läbi normaalparandite.
- Maatõusu parand.

Ülevaade parandite rakendamisel kasutatud meetodikast on toodud alljärgnevalt. 2019 a mõõtmiste puhul kasutati aruandes „Tallinna kõrgussüsteemi rekonstrueerimine. Mõõtmis- ja tasandusaruanne (OÜ Metricus 2019)“ toodud, juba sama meetodika kohaselt arvutatud parandeid sisaldavaid mõõtmisandmeid.

Nivelleerimisparandid

Nivelleerimislattide skaala- ja temperatuuriparandite arvutamisel kasutati Soome Ruumiandmete Uurimisinstituudis regulaarselt läbiviidud kalibreerimiste tulemusi. Kalibreerimistulemused on esitatud Tabelites 3 ja 4. Kuna ühe ja kahe meetri pikkuste lattide (vastavalt NEDO LD11 ja LD12) puhul on joonpaisumistegurite määramise mõõtemääramatus eeltoodust oluliselt suurem, kasutati nende puhul tootja (NEDO) standardväärtust $0.8 \mu\text{m} / \text{m}^{\circ}\text{C}$. Parandite arvutamisel kasutati Tabelites 5 ja 6 toodud kalibreerimistulemuste keskmisi väärtusi.

Tabel 3. Kalibreerimistulemused, lattide invarskaalade skaalaparandid [$\mu\text{m} / \text{m}$]

Lati tüüp	Lati nr	Keskmine	Ruutkeskviga	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2017	2018	2019
NEDO LD 13	10246	-0.62	0.59	-1.0	-1.2		-0.3	-0.1		-0.1	0.1	-1.5			-0.8	
NEDO LD 13	10199	-4.80	1.02	-3.7	-5.7		-6.1	-5.9	-3.5	-3.7	-4.9	-4.9			-4.0	-5.6
NEDO LD 12/b	10252	-14.63	1.57		-12.9		-14.7	-17.0	-14.3	-14.9	-14.2	-17.1		-13.1		-13.5
NEDO LD 12	74106	-1.70														-1.7
NEDO LD 11/b	76258	-3.50														-3.5

Tabel 4. Kalibreerimistulemused, lattide invarskaalade joonpaisumistegurid [$\mu\text{m} / \text{m}^{\circ}\text{C}$]

Lati tüüp	Lati nr	Keskmine	Ruutkeskviga	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2017	2018	2019
NEDO LD 13	10246	0.77	0.03	0.77	0.72		0.80	0.78	0.78	0.77	0.83			0.72	0.77	0.71
NEDO LD 13	10199	0.77	0.06	0.72	0.72		0.74	0.73	0.84	0.70	0.83	0.79			0.88	0.70

Parandid viidi sisse latilugemitesse. Parandite arväärtused saadi kasutades lattide skaalaparandeid, latiskaalade joonpaisumistegureid ning mõõtmis- ja kalibreerimistemperatuuride erinevusi. Arvutustes lähtuti latiskaala üla- ja alaosa temperatuuride keskmisest väärtusest jaamas.

Korrigeeritud latilugem saadi valemist:

$$\hat{a} = a \left[1 + m + \alpha \left(\bar{t} - t^{ref} \right) \right] \quad (7)$$

- kus,
- $\hat{a}$ – latilugem, korrigeeritud
 - a – latilugem, mõõdetud
 - m – skaalaparand
 - α – joonpaisumistegur
 - $\bar{t}$ – latiskaala temperatuur, keskmine
 - t^{ref} – kalibreerimise referentstemperatuur, 20°C

Gravimeetrilised parandid

Kõrguskasvudest normaalkõrguste juurdekasvudele üleminekuks kasutati Maa-ameti gravimeetrilist andmestikku. Andmestik tugineb I klassi gravimeetrilise võrgu punktide raskuskiirenduse absoluutmõõtmiste väärtustel (GV-EST95) ja Eesti gravimeetrilise võrgu 2006. a tasandusel. Detailne kirjeldus

on leitav aruandes „Gravimeetriline andmestik Eestis ja Eestiga piirnevatel aladel. Lühüülevaade, ver. 2017-03-24“ (Tõnis Oja, Maa-amet. 2017) ja seal toodud viidetes.

Andmed edastati gravimeetriliste anomaaliade mudelina (NKGv03_FAA-SBA23_EST_KRIG-PsphVG.BLg), mis on kombineeritud lahend merealade vabaõhu- ja maismaa *Bouguer'* anomaaliatest (vahekihi tihedus 2.3 g/cm^3). Anomaaliade punktipilvest võrgustatud andmemassiivi loomisel kasutati *kriging* meetodit, kirjeldus on leitav eelmainitud aruandes (Oja 2017).

Üleminekuks mõõdetud kõrguskasvudelt normaalkõrguste juurdekasvudele lisati esimestele nn normaalparandid:

$$H_B^* - H_A^* = dh_{AB} + f_{AB} \quad (8)$$

kus, H_A^*, H_B^* – punktide A ja B normaalkõrgused
 dh_{AB} – mõõdetud kõrguskasv punktide A ja B vahel
 f_{AB} – normaalparand

Normaalparand saadakse alljärgnevalt:

$$f_{AB} = -\frac{1}{\gamma_m}(\gamma_{oB} - \gamma_{oA})H_m + \frac{1}{\gamma_m}(g - \gamma)_m h_{AB} \quad (9)$$

kus, γ_m – normaalraskuskiirenduse ligilähedane väärtus, kogu Eesti territooriumi jaoks kasutati väärtust $981818.4426 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ($\phi = 57.45^\circ$)
 γ_{oA}, γ_{oB} – normaalraskuskiirenduse väärtus sektsiooni otspunktides A ja B
 H_m – punktide A ja B keskmine kõrgus
 g – mõõdetud raskuskiirendus
 γ – normaalraskuskiirendus
 $(g - \gamma)_m$ – sektsiooni otspunktide A ja B keskmine raskuskiirenduse vabaõhuanomaalia

Referentsellipsoidi GRS80 normaalraskuskiirenduse väärtused leiti *Somigliana* valemist:

$$\gamma_0 = \gamma_e \frac{1 + k \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (10)$$

kus, γ_e – normaalraskuskiirendus ekvaatoril, $978032.67715 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 e^2 – ellipsoidi esimese ekstsentrilisuse ruut, $6.6943800229 \cdot 10^{-3}$
 k – koefitsient, $1.931851353 \cdot 10^{-3}$
 φ – punkti laiuskraad, EUREF-EST97

Vabaõhuanomaaliad saadi reeperitele interpoleeritud *Bouguer'* anomaaliatest alljärgnevalt:

$$(g - \gamma) = \Delta g_B + 0.0419 \sigma H \quad (11)$$

kus, Δg_B – Bouguer' anomaalia
 H – punkti absoluutkõrgus
 σ – vahekihi tihedus $2.3g / cm^3$

Maatõusu parand

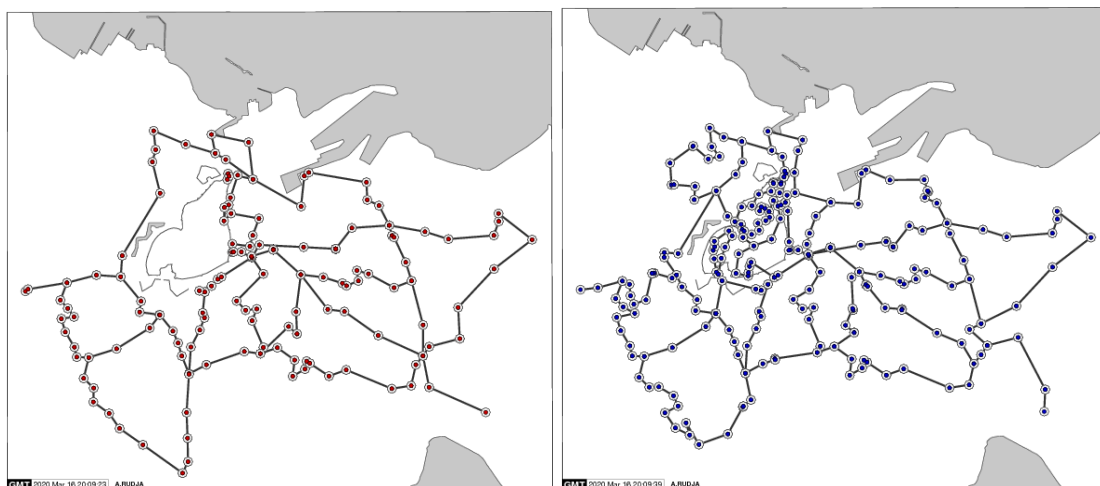
Mõõdetud kõrgussuhete viimiseks ühtsesse ajaepohhi 30.09.2007 (nivelleerimise käigupikkuste kaudu kaalutud 2007 – 2008.a keskmine epohh) kasutati maatõusu mudelit NKG2005LU (Vestøl 2007; Ågren et.al 2007) (täpsemalt selle versioon NKG2005LU_APP, *apparent*, mis kirjeldab nivelleerimisandmetega seonduvaid vertikaalliikumisi keskmise merepinna suhtes. Mudeli võrgustatud andmemassiivist interpoleriti maatõusu väärtused GMT⁴ mooduli *gdtrack* abil reeperitele. Kasutati *bicubic* meetodit. Seejärel arvutati suhtelised kõrgusmuutused nivelleerimissektsioonides. Nivelleerimis- ja gravimeetrilisi parandeid sisaldavad kõrguskasvud viidi epohhi 2000 järgmiselt:

$$dh_{2000} = dh_t + d\dot{h}_{NKG\ 2005\ LU} \cdot (2000 - t) \quad (12)$$

kus, dh_t – ajahetkel t mõõdetud sektsiooni kõrguskasv
 $d\dot{h}_{NKG\ 2005\ LU}$ – maatõusu mudeli NKG2005LU põhine suhteline kõrguste aastane muutus sektsioonis
 t – mõõtmise ajahetk

Tasandusarvutused

Peale nivelleerimis- ja gravimeetriliste parandite rakendamist ning mõõtmiste keskmisesse epohhi viimist tasandati aastatel 2007/2008 ja 2019 mõõdetud kõrguskasvud tõenäolisemate kõrgusväärtuste ja nende statistiliste täpsushinnangute saamiseks eraldiseivate võrkudena vähimruutude meetodil⁵. Võrkude konfiguratsioonid on kujutatud Joonisel 7.



Joonis 7. Võrkude konfiguratsioonid, aastatel 2007/2008 (vasakul) ja 2019 (paremal) läbiviidud mõõtmised

⁴The Generic Mapping Tools, gmt.soest.hawaii.edu

⁵Vähimruutude meetodi kohta vaata lähemalt nt Strang, G., Borre, K. (1997) Linear Algebra, Geodesy, and GPS. Wellesley-Cambridge Press.

Mõlema lahenduse puhul fikseeriti lähtekõrgusena Viru reeperite kambris paikneva süvareeperi nr 2 (niv nr 267_6, ID 63-843-90002) EH2000 kõrgusväärtus 3.73537 m, mis võeti aruandest „Tallinna linna kohaliku kõrgusvõrgu tasandamine“ (Eesti Maaülikool Metsandus- ja maaehitusinstituut Geomaatika õppetool, OÜ Metricus 2017). Tasandusarvutustele eelnevalt viidi tahke Maa null-loodelises püsiloodete süsteemis olev lähtekõrgus kokku sobivaks mõõdetud kõrguskasvudega, so tahke Maa keskmisesse püsiloodete süsteemi. Tulemuseks saadi 3.85566 m. Arvutustes kasutati valemit (Mäkinen 2008):

$$C_{\text{null-loodeline}} = C_{\text{keskmine loodeline}} - (-0.29494 \sin^2 \varphi - 0.00183 \sin^4 \varphi + 0.0994) [m] \quad (13)$$

Tasandusse kaasatud kõrguskasvude kaalud arvutati pöördvõrdelisena mõõtmistäpsusega, mis arvutati alljärgnevalt:

$$m_{\Delta h} = A \cdot \sqrt{L} \quad (14)$$

kus, A – konstant, mm
 L – sektsiooni pikkus, km

Konstandi A väärtust täpsustati tasandamise käigus iteratiivselt seni kuni *a priori* ja *a posteriori* täpsushinnangud olid χ^2 -testi põhjal võrdsed. Tulemuseks saadi 2007/2008 aasta mõõtmiste puhul $\pm 0.30 \text{ mm} \sqrt{L [km]}$, 2019 aasta puhul $\pm 0.25 \text{ mm} \sqrt{L [km]}$. Sellisel viisil saadud suurus väljendab juhuslike ja süstemaatiliste vigade koosmõju, võrkudesse kaasatud kõrguskasvude keskmist täpsust.

Antud juhul on täpsushinnangud määratletud vaid võrku kaasatud kõrguskasvude täpsuse ja võrgu geomeetriaga. Tasandavateks suurusteks olid edasi – tagasi suundades mõõdetud sektsioonide kõrguskasvude keskmised väärtused.

Tasandusarvutuste käigus olid suurimate parandite väärtusteks, vastavalt 2007/2008 ja 2019, 0.19 mm/0.18 mm. Tasandusarvutuste kokkuvõtvad täpsushinnangud on alljärgnevad:

2007/2008

Kõrguste *a posteriori* suhteline täpsus, keskmine: $m_{\Delta H} = \pm 0.13 \text{ mm}$

Kõrguste *a posteriori* täpsus, keskmine: $m_H = \pm 0.30 \text{ mm}$

2019

Kõrguste *a posteriori* suhteline täpsus, keskmine: $m_{\Delta H} = \pm 0.09 \text{ mm}$

Kõrguste *a posteriori* täpsus, keskmine: $m_H = \pm 0.22 \text{ mm}$

Lähtekõrguse kui tõenäolise stabiilse väärtuse väljaselgitamiseks võrreldi tasandustulemusi eeldatavasti stabiilsete reeperite kõrgusväärtustega. Erinevused on toodud Tabelis 4. Erinevuste keskmiseks väärtuseks on 0.2 mm, suurimaks erinevuseks on 1.2 mm, väikseimaks -1.0 mm, erinevustest arvutatud ruutkeskveaks on $\pm 0.6 \text{ mm}$. Erinevused jäävad mõõtemääramatuse piiresse. Ka aastatel 2007 – 2008 ja 2019. a läbi viidud antud piirkonna mõõtmistel kõrguste täpsushinnangud,

vastavalt ± 0.30 mm ja ± 0.22 mm, annavad kõrguste erinevuste määramatuseks ± 1.11 mm (3σ), mis ületab toodud erinevusi. Siit tulenevalt võib lähtepunkti mõõtemääramatuse piires hinnata stabiilseks.

Kõrguste ajaliste muutuste hindamiseks jäeti kahe perioodi ühiste punktide nimistust kõrvale stabiilsesse aluspinnasesse ankurdatud süvareeperid. Ülejäänute, 116 reeperi kõrguste erinevused ja erinevuste statistilised hinnangud on toodud käesoleva aruandes allpool, Lisas 3.

Tabelis 6 on toodud reeperite kõrguste muutuste kokkuvõte. Tabelist nähtub, et 74 % reeperite puhul jääb muutus vahemikku 0-5 mm, 15 % puhul vahemiku 5-10mm ja 11% puhul üle 10mm. Muutuste üldvahemik on -75.9 kuni +2.4 mm, kus 28%-il on täheldatav väike positiivne väike (0-2.4 mm) ja 72% negatiivne muutus, vajumine. Nivelleerimis põhiste muutuste täpsushinnagud jäävad 0.1-1.7 mm piiresse. Reeperitüüpe on neli ja kõige sagedasemaks neist on seinareeper, vt Tabel 7.

Tabel 5. Eeldatavasti stabiilsete reeperite kõrgusväärtused ja nende erinevused

Jrk nr	Niv nr	ID	Punkti nr	Liik	H 2007/2008 [m]	mH 2007/2008 (1 σ) [mm]	H 2019 [m]	mH 2019 (1 σ) [mm]	D H [mm]	mD H (3 σ) [mm]	Asukoht
1	226_2	63-941-91022	1022	R	2.97487	0.37	2.97612	0.24	1.2	1.3	Kalaranna 7 parklas
2	226_3	63-843-91064	1064	R	3.41411	0.36	3.41499	0.23	0.9	1.3	Linnahalli parklas
3	256_9	63-843-90007	7	R	6.52719	0.15	6.52780	0.12	0.6	0.6	Tammsaare pargis
4	263_3	63-843-91000	1000	R	2.42022	0.32	2.41983	0.23	-0.4	1.2	Uus-Sadama 13 ja 15 vahelisel haljasalal
5	264_3	63-843-91076	1076	R	2.52848	0.29	2.52926	0.23	0.8	1.1	Karu 20 parklas
6	264_9	63-843-97008	8	R	5.60285	0.27	5.60290	0.22	0.0	1.0	Pronksi reeperite kamer
7	266_3	63-843-91072	1072	R	6.43689	0.28	6.43589	0.22	-1.0	1.1	F.R.Faehlmanni 7 idas, haljasalal
9	268_6	63-843-91080	1080	R	11.82182	0.25	11.82147	0.20	-0.4	1.0	Liivalaia 38, Kaasani kiriku aias
11	242_2	63-843-90005	5	FR	27.80352	0.34	27.80357	0.22	0.1	1.2	Kaarli kiriku lõnaseina ääres, haljasalal
12	218_2	63-843-90782	782	SR	14.00167	0.39	14.00147	0.29	-0.2	1.5	Kalma sauna idapoolses vundamendis
13	239_2	63-843-574	574	SR	17.61401	0.27	17.61413	0.19	0.1	1.0	Jaani kiriku idapoolses seinas
14	243_2	63-843-90320	320	SR	29.73235	0.34	29.73280	0.23	0.5	1.2	Kaarli kiriku lõunapoolses seinas

Tabel 6. Reeperite deformatsioonid vahemikul 2007 – 2019

Muutus (mm)	Reeperite arv
0- 5mm	86
5-10mm	17
10-15mm	5
15-20mm	4
>20mm	4

Tabel 7. Reeperite tüübid ja nende arv

Tüüp	Arv
Seinareeper (SR)	95
Pinnasereeper (PS)	10
Polügonomeetriapunkt (PP)	9
Fundamentaaloreeper (FR)	2

Võrgustamise meetod

Võrdluse teostamiseks arvutati kahe PSI analüüsi tulemustes H komponent kasutades valemit 6. Selleks tuli eelnevalt LOS väärtused võrgustada regulaarseks võrguks. Võrgustussammu määramiseks leiti esmalt ASC ja DESC orbiidi lähimate punktide kaugus reeperitest. Tabelis 8 on toodud tulemustest lähtuvalt valiti võrgustamise sammuks pool keskmisest kaugusest, milleks on 10 m. Kuna võrgustamine toimus geograafilistes koordinaatides kasutati sammu 0.0001 kraadi.

Tabel 8. Lähimate PSI analüüsipunktide kaugus reeperitest

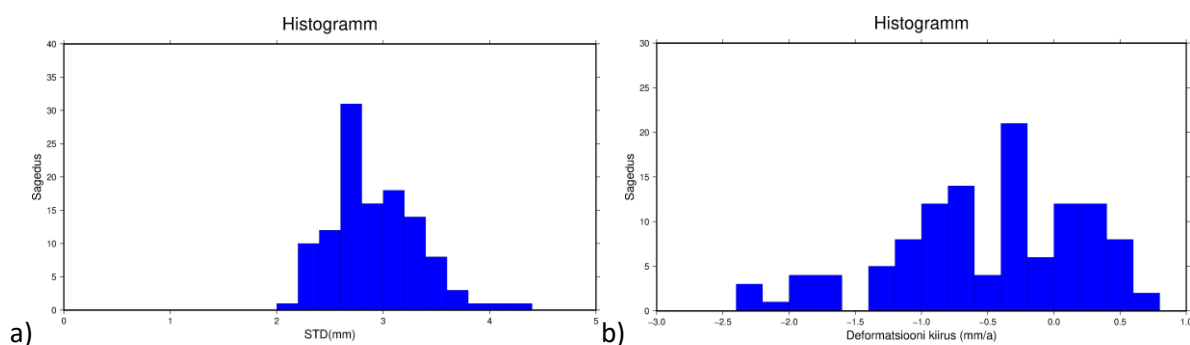
Väärtus	ASC (m)	DESC (m)
Min	1.6	0.8
Keskmine	20.5	19.4
Max	114.8	63.9

Võrgustatud tulemusi kasutades arvutati igale võrgupunktile H komponent. Nivelleerimise reeperitele interpoleeriti mudelist väärtused kasutades GMT moodulit *grdtrack*. Interpoleeritud H komponenti võrreldi nivelleerimise tulemusel saadud deformatsiooni väärtustega. Lisaks erinevusele hinnati ka deformatsiooni suunda. Tabelis 9 toodud PSI mudelistest valiti üks, millega jätkati põhjalikumat analüüsi. Kõige suurema kaaluga oli deformatsiooni suuna õigsus. Sellest tulenevalt sobib kõige paremini surface_3s, kus suuna õigsus oli 94 juhul 116 ehk 81%. Lisaks on näha, et mudeldatud H tulemused on paremad kui orbiiditi eraldi. See tähendab, et võimalusel tuleb alati kasutada kahte vastassuunalist orbiiti.

Tabel 9. Kasutatud empiirilised mudelite erinevused nivelleerimise deformatsioonidega võrreldes. Lisaks on näha, et ASC ja DESC orbiidi puhul on deformatsiooni suuna õigsus väiksem kui mudelite puhul

Mudel	Keskmine erinevus (mm)	Max erinevus (mm)	Min erinevus (mm)	Õige suund	Vale suund	Alahinnang	Ülehinnang
ASC	1.7	70.0	-6.2	84	32	43	73
DESC	3.7	66.4	-7.4	77	39	34	82
Triangulatsioon	2.5	68.3	-6.2	86	30	40	76
surface_1s	2.5	69.2	-6.1	91	25	40	76
surface_3s	2.5	70.0	-6.2	94	22	44	72
surface_5s	2.7	71.7	-5.5	90	26	40	76

Statistiliste näitajate, iseäranis deformatsiooni suuna õigsuses, valiti põhjalikumaks analüüsiks mudel surface_3. Sama meetodiga võrgustati ja interpoleeriti reeperitele, ka hilisemas analüüsis kasutatud väärtused standardhälve (STD) ja deformatsiooni kiirus, mille tulemused on toodud Joonisel 8⁶.



Joonis 8. Võrgustatud STD ja kiirused reeperite asukohas. a) STD b) deformatsiooni kiirus (mm/a)

Võrdlus

Põhjalikum analüüs teostati mitmes järgus.

1. Esmalt kontrolliti, kas nivelleerimise teel arvutatud deformatsioon jäi vahemikku PSI +/- STD (Joonis 8). Deformatsioonid, mis ei jäänud nimetatud vahemikku jagati ülehinnatud ja alahinnatud deformatsiooniks.
2. Ülehinnatud punkte käsitleti, kui valepositiivseid tulemusi, sest nende PSI deformatsioon on suurem kui nivelleerimise teel saadud deformatsioon.

⁶ Kuna deformatsiooni kiiruse väärtused arvutati sarnaselt H väärtusele, võrgustamise teel, siis range lineaarne seos H väärtuse ja deformatsiooni kiiruse vahel ei kehti.

3. Juhul kui PSI on tulemust alahinnanud siis võis deformatsioon tekkida pikema aja vältel või enne PSI analüüsi algust. Alahinnatud tulemusi ekstrapoleeriti, kasutades PSI poolt arvutatud deformatsioon kiirust, kogu nivelleerimis perioodile. Tulemuste standardhälve jäeti samaks. Ekstrapoleeritud tulemusi kontrolliti analoogselt punktis 1 toodud meetodiga. Tulemustest lähtub kas reeperite deformatsioon allus lineaarsele ekstrapoleerimisele või mitte.

Sobivus standardhälbe kaudu

Lisaks PSI deformatsioonile interpoleeriti igale reeperile standardhälbe mudelist STD väärtus, sarnaselt deformatsioonile. Selle väärtused jäid vahemikku 2.0-4.3 mm, keskmise väärtusega 2.9mm. Kontrolli tulemusel hinnati, kas nivelleerimise deformatsiooni väärtus jäi vahemikku PSI +/- STD. Kõik tulemused, mis vastasid antud tingimustele loeti õigeks. Tulemustele vastas 83 tulemust ehk 71 %. Tulemuste statistikud on toodud Tabelis 10. Sealt on näha, et tulemuslikult hinnati maksimaalselt kuni 7 mm deformatsiooni.

Tabel 10. 83 punkti statistikud, mille deformatsioonide erinevus jäi +/- PSI STD vahemikku

Väärtus	DH (mm)	PSI (mm)	STD (mm)
Keskmine	-1.4	-1.3	2.8
Min	-7.0	-6.7	2.0
Max	2.4	2.3	4.0

Ülehinnatud tulemused

Allesjäänud 33 punkti puhul hinnati, kas PSI oli võrreldes nivelleerimispõhise deformatsiooniga tulemust üle- või alahinnanud. Neist oli PSI ülehinnatud deformatsiooni väärtus viiel reeperil. Tabelist 11 on näha, et suurim ülehindamine on 5.2 mm.

Üheks ülehindamise põhjuseks võib olla looduslikest peegeldite jaotises reeperi ümber. PSI või tajuda deformatsiooni, mis ei ole reeperiga seotud. Näiteks võib seinareeperi läheduses asuv PSI deformatsiooni punkt asuda hoopis maja teises küljes või kõrval majal, mis liigub rohkem reeper. Võrgustamisel kandub aga see deformatsioon üle ka reeperi deformatsiooniks.

Tabel 11. PSI poolt ülehinnatud tulemused

Punkti nr	DH (mm)	PSI (mm)	STD (mm)	PSI-DH (mm)	Tüüp
262_4	-3.4	-8.6	3.1	-5.2	SR
133_8	-2.2	-6.0	3.2	-3.8	SR
263_2	-1.4	-5.2	2.9	-3.8	SR
268_7	-1.2	-5.9	3.1	-4.7	PR
269_3	-0.5	-5.0	3.4	-4.5	SR

Alahinnatud tulemused

PSI tulemus jäi alahinnatuks 28'al juhul 33'st. See võib olla tingitud sellest, et deformatsiooni tulemused võrdluses on saadud eri ajavahemike jooksul. PSI analüüsi katab 3.4 aasta pikkust

vahemikku ja nivelleerimise ajavahemikuks on 12 aasta. See tähendab, et nivelleerimisel teel arvatud deformatsioon on tekkinud enne PSI analüüsi algust. (Joonis 9) PSI analüüsil on võimalus ekstrapoleerida tulemuse nivelleerimise ajavahemikule kasutades PSI analüüsil arvatud ja võrgustatud deformatsiooni kiirust. Juhul kui nivelleerimise deformatsioon jäi ekstrapoleeritud tulemus +/- STD vahemikku, siis saab järeldada, et reeperi deformatsioon allub PSI poolt ennustatud deformatsioonikiiruse väärtusele. Ekstrapoleeritud tulemuste kontrollil ilmnes, et 10 tulemuse puhul 18 juhust ei jäänud kiiruse ekstrapolatsiooni tulemuse etteantud piiride vahele. Ühel korral tekkis PSI ekstrapoleerimisel ülehinnang, 17 juhul jäid tulemused alahinnatuks. Alahinnatuks jäänud tulemustel oli deformatsiooni suund õige 9 juhul ja 9 juhul oli alahinnangu põhjuseks erinev deformatsiooni suund⁷.



Joonis 9. Maksimaalse hõlbega reeperi nr 269_4 suure liikumise põhjuseks võib olla vahemikul märts.2014 (a) – aprill 2015 (b) reeperi kõrval toimunud ehitustegevus. Antud ajavahemikku PSI analüüs ei katnud ja seetõttu ei kajastunud ka PSI tulemustes. Pildid Google Earth.

Tulemuste kokkuvõte

Analüüsi tulemused on esitatud kahel viisil, mis on toodud Tabelis 12. Esmalt hinnang deformatsiooni suuruse järgi ja teiseks reeperi tüübi järgi.

Tabel 12. Hinnatud reeperite tulemused a) Nivelleerimise deformatsiooni suuruse järgi b) reeperi tüübi järgi

a)						
Muutus (mm)	Reeperite arv	PSI +/- STD	Kiirus	Sobivus (%)	Ülehinnatud	Alahinnatud
0- 5mm	86	75	-	87.2	5	6
5-10mm	17	8	6	82.4	-	3
10-15mm	5	-	3	60.0	-	2
15-20mm	4	-	1	25.0	1	2
>20mm	4	-	-	-	-	4
b)						
Tüüp						
Seinareeper (SR)	95	69	10	83.2	5	11
Pinnasreeper (PR)	10	6	-	60.0	1	3
Polügonomeetriapunkt (PP)	9	6	-	66.7	-	3
Fundamentaalseeper (FR)	2	2	-	100.0	-	-

⁷ Ekstrapoleerimisel loeti alahinnatuks ka tulemused, mille deformatsiooni suund ei olnud samane.

Deformatsiooni suuruse järgi vaadates hindas PSI meetod kõige paremini deformatsioone suurus järgus 0-10 mm. Selles vahemikus leiti samasus 83 % ulatuses. Suuremate deformatsiooni korral samasus väheneb, kuid samas jäävad tulemused alahinnatuks. See tähendab, et ajaline erinevus suuremate deformatsioonide korral on võimalik. PSI kiiruse ekstrapoleerimisel leiti samasus kümnel juhul.

Reeperitüüpide järgi hinnates olid fundamentaalreeperid PSI analüüsi põhjal stabiilsed. Teiste reeperitüüpide puhul oli tulemuslikum seinareeper, kus tulemused olid samased 83.2% juhtudest. Pinnasereeperite ja polügonomeetriapunktide puhul langes samasuse protsent ca 60% juurde. See on põhjendatav sellega, et pinnasereeperitel puudub võimalus otse peegelduseks ja muutust hinnatakse ümbritsevate peegelduste suhtes. Seinareeperitel on aga vajalik kontaktpind, hoone näol olemas.

Kokkuvõte

Antud töö tulemuste põhjal saab öelda, et uurimustöö tulemused võimaldavad saada ülevaadet reeperite seisundist. Nivelleerimise ja PSI tulemused olid samased 80% ulatuses, mida saab pidada väga heaks tulemuseks. Seda enam, et hinnatavad muutused olid PSI resolutsiooni arvestades absoluutväärtustelt väikesed.

Järgnevateks sammudeks on ettepanek arvutada PSI deformatsioonikaart kvartali kaupa, et saada ülevaade reeperite seisundist ja lokaalsetest hälvetest. Peale aastast jälgimist hinnata suurimaid deformatsioone ja teostada kontroll nivelleerimise teel reeperitele, mille deformatsioon on suurim. Kvartaalne analüüs on vajalik selleks, et hinnata deformatsioone ka lühema aja vältel ja hinnata järjestikuste analüüside käigus deformatsiooni arengu kulgu. Kuna PSI tundlikus on väga kõrge, siis võivad kvartaalsed mõõtmised olla mõjutatud sesoonsetest liikumistest. Selle väljaselgitamiseks on otstarbekas koondada kvartaalsed tulemused ja läbi viia analüüs aastases tsüklis.

Kasutatud kirjandus

- M. Crosetto; O. Monserrata; M. Cuevas-González; N. Devanthery; B. Crippa „Persistent Scatterer Interferometry: A review“ ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Volume 115, May 2016, Pages 78-89
- Ferretti, C. Prati, F. Rocca „Permanent scatterers in SAR interferometry“ IEEE TGRS, 39 (1) (2001), pp. 8-20
- Moritz, H. (1988) Geodetic Reference System 1980. Bulletin Ggéodésique, The Geodesists Handbook, 1988, International Union of Geodesy and Geophysics
- Vestøl, O. (2007) Determination of Postglacial Land Uplift in Fennoscandia from Levelling, Tide-gauges and Continuous GPS Stations using Least Squares Collocation. J Geod 80: 248-258.
- Ågren J., Svensson R. (2007) Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000. LMV-Rapport 2007:4. Gävle, Sweden.
- Mäkinen, J. (2008) The treatment of the permanent tide in EUREF products. Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Brussels, Belgium, June 18, 2018.

Lisa 1 Arvutustabel

Digitaalselt failis Arvutused.xlsx

Veerud

Punkti_nr (2019) – 2019. a nivelleerimispunkti number

Long – punkti idapikkus

Lat – punkti põhjalaius

DH – Nivelleerimise teel saadud deformatsiooni väärtus (mm)

sH – Nivelleerimise teel saadud deformatsiooni täpsushinnang (mm)

PSI_H – PSI meetodil arvutatud deformatsiooni väärtus (mm)

STD – PSI_H standardhälve (mm)

Vel – võrgustatud deformatsiooni kiirus (mm/a)

PSI_H- DH – Nivelleerimistulemuste ja PSI erinevus

Tüüp – Reeperi tüüp

Õige suund – Kas DH ja PSI on samasuunalised (TRUE) või erisuunalised (FALSE)

Hinnang – Kas PSI on üle või alahinnatud DH suhtes. „Ülehinnang“ – deformatsiooni suund on True ja PSI absoluut väärtus on suurem. Vastasel juhul „Alahinnang“

Värvid

Tekst – reeperid, mille nivelleerimisel saaduddeformatsioon jäi vahemikku PSI +/- STD

Tekst – reeperid, mille ekstrapolatsioonitulemus jäi vahemiku PSI_ext +/- STD

Tekst – Tulemused, kus PSI oli deformatsiooni ülehinnanud

Tekst – tulemus, kus ekstrapolatsioon andis ülehinnatud tulemuse

Tekst – PSI tulemused, mis jäid alahinnatuks

Punkti_nr (2019)	Long	Lat	DH mm	sH mm	PSI_H mm	STD mm	Vel mm/a	PSI_H- DH mm	Tüüp	Suund	Hinnang
264_13	24.761061	59.437081	-7.0	0.9	-4.5	3.0	-1.3	2.5	SR	TRUE	Alahinnang
263_9	24.761193	59.442667	-6.4	1.3	-4.5	2.8	-1.4	1.9	SR	TRUE	Alahinnang
263_8	24.761866	59.442943	-6.2	1.3	-6.3	3.6	-1.8	-0.1	SR	TRUE	Ülehinnang
263_10	24.760677	59.440279	-5.9	1.2	-4.1	3.3	-1.1	1.8	SR	TRUE	Alahinnang
262_3	24.753218	59.437998	-5.7	0.9	-6.3	3.2	-2.1	-0.6	SR	TRUE	Ülehinnang
256_6	24.750708	59.432856	-5.6	1.0	-3.4	2.4	-1.0	2.2	SR	TRUE	Alahinnang

267_5	24.756381	59.436895	-5.5	0.1	-4.2	2.6	-1.1	1.3	PR	TRUE	Alahinnang
238_2	24.746824	59.434034	-5.2	0.9	-2.6	3.1	-0.8	2.6	SR	TRUE	Alahinnang
264_10	24.765988	59.436945	-4.4	1.0	-3.9	2.5	-1.2	0.5	SR	TRUE	Alahinnang
262_2	24.752779	59.437150	-4.1	0.9	-6.7	3.4	-2.3	-2.6	SR	TRUE	Ülehinnang
270_2	24.778389	59.427821	-3.9	1.1	-1.5	3.0	-0.4	2.4	SR	TRUE	Alahinnang
269_6	24.759654	59.428201	-3.8	1.1	-1.4	3.3	-0.1	2.4	PR	TRUE	Alahinnang
279_6	24.727056	59.426777	-3.8	1.4	-5.8	3.3	-1.9	-2.0	PP	TRUE	Ülehinnang
264_4	24.766031	59.436945	-3.8	1.0	-3.9	2.5	-1.2	-0.1	PR	TRUE	Ülehinnang
266_5	24.769515	59.434422	-3.7	1.0	-2.8	2.5	-0.9	0.9	SR	TRUE	Alahinnang
263_6	24.770805	59.442167	-3.6	1.2	-5.5	3.4	-1.6	-1.9	SR	TRUE	Ülehinnang
256_5	24.752103	59.432127	-3.3	1.0	-1.4	2.9	-0.5	1.9	SR	TRUE	Alahinnang
258_7	24.749507	59.440406	-3.2	1.1	-2.7	2.4	-0.9	0.5	SR	TRUE	Alahinnang
256_4	24.753814	59.432220	-3.1	1.0	-1.1	2.6	-0.4	2.0	SR	TRUE	Alahinnang
253_2	24.732613	59.422840	-2.9	1.5	-3.6	4.0	-1.1	-0.7	PP	TRUE	Ülehinnang
272_6	24.767351	59.432010	-2.8	1.0	-1.1	3.1	-0.5	1.7	SR	TRUE	Alahinnang
266_6	24.767696	59.434035	-2.8	1.0	-4.2	2.7	-1.3	-1.4	PR	TRUE	Ülehinnang
266_7	24.767049	59.434245	-2.7	1.0	-2.4	2.7	-0.8	0.3	PR	TRUE	Alahinnang
256_3	24.753088	59.431298	-2.3	1.0	-0.1	2.8	-0.1	2.2	SR	TRUE	Alahinnang
249_6	24.724226	59.430428	-2.2	1.5	-1.9	2.9	-0.6	0.3	PP	TRUE	Alahinnang
237_8	24.747794	59.434561	-2.1	0.9	-2.8	2.4	-0.8	-0.7	SR	TRUE	Ülehinnang
266_4	24.769290	59.435215	-2.0	1.0	-2.9	2.5	-0.9	-0.9	SR	TRUE	Ülehinnang
39_5	24.730987	59.424021	-1.9	1.5	-1.3	2.8	-0.4	0.6	SR	TRUE	Alahinnang
268_3	24.759884	59.432008	-1.9	0.9	-3.2	2.4	-0.9	-1.3	SR	TRUE	Ülehinnang
258_3	24.750218	59.436705	-1.8	0.8	-2.1	2.7	-0.7	-0.3	SR	TRUE	Ülehinnang
257_2	24.748356	59.434734	-1.8	0.8	-3.4	2.7	-1.0	-1.6	SR	TRUE	Ülehinnang
243_3	24.735715	59.431988	-1.8	1.3	0.0	2.6	0.0	1.8	SR	TRUE	Alahinnang
255_4	24.746015	59.427839	-1.8	1.1	-0.1	3.0	0.0	1.7	SR	TRUE	Alahinnang
271_2	24.767628	59.427421	-1.8	1.3	-0.6	3.1	-0.2	1.2	SR	TRUE	Alahinnang
249_7	24.725637	59.429245	-1.7	1.5	-0.3	3.0	-0.1	1.4	SR	TRUE	Alahinnang
33_5	24.718065	59.433623	-1.7	1.7	-2.6	3.2	-0.8	-0.9	FR	TRUE	Ülehinnang
258_6	24.749869	59.439740	-1.6	1.1	-3.6	2.7	-1.1	-2.0	SR	TRUE	Ülehinnang
272_4	24.764786	59.432180	-1.6	1.0	-2.3	3.2	-0.9	-0.7	SR	TRUE	Ülehinnang
55_3	24.736219	59.421548	-1.5	1.5	-2.8	2.6	-1.0	-1.3	PP	TRUE	Ülehinnang
271_3	24.774656	59.425940	-1.4	1.2	-0.2	2.9	-0.1	1.2	SR	TRUE	Alahinnang
251_5	24.743336	59.427099	-1.4	1.1	1.3	2.8	0.2	2.7	SR	FALSE	Alahinnang
264_2	24.770522	59.438210	-1.2	1.1	-3.7	2.9	-1.2	-2.5	SR	TRUE	Ülehinnang
269_2	24.762006	59.427943	-1.2	1.2	-3.6	3.3	-1.0	-2.4	SR	TRUE	Ülehinnang
250_2	24.737276	59.430733	-1.0	1.3	0.0	2.4	0.0	1.0	SR	FALSE	Alahinnang
254_4	24.745019	59.430573	-0.8	1.1	-1.2	2.7	-0.4	-0.4	SR	TRUE	Ülehinnang
265_4	24.777738	59.434414	-0.6	1.0	-0.9	2.7	-0.3	-0.3	SR	TRUE	Ülehinnang
271_4	24.777651	59.426170	-0.6	1.2	-0.1	2.9	0.0	0.5	SR	TRUE	Alahinnang
251_4	24.742226	59.428534	-0.3	1.1	0.6	2.0	0.1	0.9	SR	FALSE	Alahinnang
249_5	24.723625	59.431469	-0.2	1.5	-1.3	3.2	-0.4	-1.1	PP	TRUE	Ülehinnang
218_2	24.737707	59.443798	-0.2	1.5	-0.7	2.7	-0.2	-0.5	SR	TRUE	Ülehinnang
250_3	24.732147	59.429098	-0.2	1.4	0.9	2.9	0.2	1.1	SR	FALSE	Alahinnang

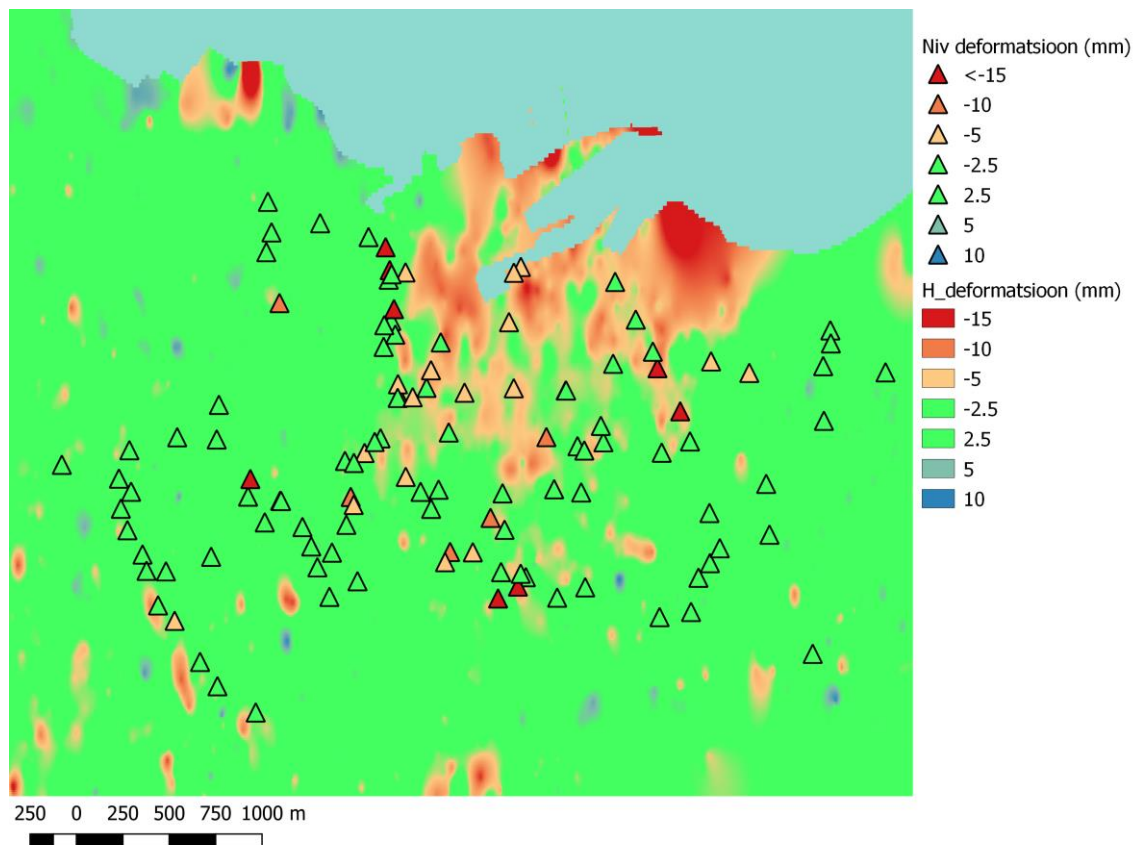
218_4	24.738218	59.444750	-0.1	1.4	-0.1	2.9	-0.2	0.0	SR	TRUE	Ülehinnang
254_5	24.743625	59.429237	0.0	1.1	1.2	2.9	0.2	1.2	SR	FALSE	Alahinnang
245_10	24.724495	59.434293	0.0	1.5	-1.2	2.6	-0.4	-1.2	SR	TRUE	Ülehinnang
258_4	24.750027	59.436679	0.1	0.8	-0.8	2.6	-0.3	-0.9	SR	FALSE	Alahinnang
239_2	24.745800	59.433560	0.1	1.0	1.2	2.5	0.4	1.1	SR	TRUE	Ülehinnang
274_2	24.779508	59.430944	0.1	1.1	1.9	3.0	0.5	1.8	SR	TRUE	Ülehinnang
242_2	24.738846	59.431761	0.1	1.2	0.8	3.0	0.3	0.7	FR	TRUE	Ülehinnang
251_2	24.740848	59.430488	0.2	1.2	1.0	2.5	0.4	0.8	SR	TRUE	Ülehinnang
251_3	24.741663	59.429546	0.2	1.2	1.4	2.8	0.4	1.2	SR	TRUE	Ülehinnang
142_6	24.764957	59.426937	0.3	1.3	-0.1	2.5	-0.1	-0.4	SR	FALSE	Alahinnang
278_2	24.785182	59.429862	0.4	1.3	2.3	2.5	0.6	1.9	SR	TRUE	Ülehinnang
219_3	24.742844	59.445165	0.4	1.3	-2.4	2.8	-0.8	-2.8	SR	FALSE	Alahinnang
243_6	24.732798	59.434768	0.5	1.4	0.7	2.7	0.2	0.2	SR	TRUE	Ülehinnang
243_2	24.738760	59.431770	0.5	1.2	0.7	3.0	0.3	0.2	SR	TRUE	Ülehinnang
273_2	24.780450	59.429235	0.5	1.2	0.7	2.4	0.1	0.2	SR	TRUE	Ülehinnang
249_8	24.725999	59.428455	0.5	1.4	-1.8	3.3	-0.4	-2.3	PP	FALSE	Alahinnang
244_2	24.733040	59.436439	0.6	1.4	0.0	2.3	0.0	-0.6	SR	TRUE	Alahinnang
276_5	24.791222	59.439075	0.6	1.4	1.5	3.0	0.4	0.9	SR	TRUE	Ülehinnang
249_3	24.724612	59.432285	0.7	1.5	-1.0	2.6	-0.5	-1.7	SR	FALSE	Alahinnang
152_6	24.796383	59.437644	0.7	1.5	1.5	3.2	0.8	0.8	SR	TRUE	Ülehinnang
227_2	24.749581	59.442661	0.7	1.2	0.3	3.2	0.2	-0.4	SR	TRUE	Alahinnang
249_9	24.727843	59.428418	0.7	1.4	0.3	2.5	0.0	-0.4	SR	TRUE	Alahinnang
276_6	24.791194	59.439703	0.8	1.4	0.9	3.0	0.2	0.1	PR	TRUE	Ülehinnang
266_2	24.775038	59.433887	0.8	1.1	-0.9	2.8	-0.3	-1.7	SR	FALSE	Alahinnang
146_3	24.789154	59.424077	0.8	1.7	0.2	2.5	0.0	-0.6	SR	TRUE	Alahinnang
259_5	24.748830	59.440201	1.0	1.1	-0.8	2.4	-0.3	-1.8	SR	FALSE	Alahinnang
277_2	24.790476	59.435337	1.0	1.5	-1.3	3.7	-0.6	-2.3	SR	FALSE	Alahinnang
220_2	24.747430	59.444470	1.1	1.3	1.9	2.9	0.5	0.8	SR	TRUE	Ülehinnang
216_2	24.737907	59.446227	1.3	1.4	2.0	3.0	0.4	0.7	SR	TRUE	Ülehinnang
227_3	24.749297	59.442399	1.7	1.2	1.0	2.9	0.3	-0.7	SR	TRUE	Alahinnang
259_3	24.748748	59.439152	2.1	1.1	0.8	2.6	0.1	-1.3	SR	TRUE	Alahinnang
277_3	24.784925	59.432318	2.4	1.4	0.4	3.0	0.2	-2.0	SR	TRUE	Alahinnang
265_3	24.776843	59.435875	-16.2	1.1	-4.9	2.8	-1.6	11.3	SR	TRUE	Alahinnang
266_8	24.764106	59.434704	-12.0	0.9	-4.4	2.9	-1.2	7.6	SR	TRUE	Alahinnang
254_2	24.745463	59.431918	-11.2	1.1	-2.6	2.5	-0.8	8.6	SR	TRUE	Alahinnang
268_5	24.758715	59.430829	-11.0	1.0	-3.2	3.1	-1.0	7.8	SR	TRUE	Alahinnang
258_2	24.751452	59.436703	-9.7	0.7	-3.2	3.5	-1.0	6.5	SR	TRUE	Alahinnang
254_3	24.745734	59.431529	-9.2	1.1	-1.8	2.2	-0.6	7.4	SR	TRUE	Alahinnang
226_5	24.750905	59.442742	-8.0	1.2	-2.2	3.5	-0.9	5.8	SR	TRUE	Alahinnang
258_5	24.750067	59.437340	-7.9	0.9	-2.3	2.6	-0.7	5.6	SR	TRUE	Alahinnang
276_2	24.779827	59.438271	-7.7	1.2	-1.4	2.9	-0.6	6.3	SR	TRUE	Alahinnang
279_5	24.728618	59.426023	-6.4	1.5	-1.1	3.5	-0.5	5.3	SR	TRUE	Alahinnang
262_4	24.754175	59.439338	-3.4	1.0	-8.6	3.1	-2.4	-5.2	SR	TRUE	Ülehinnang
133_8	24.774309	59.438774	-2.2	1.1	-6.0	3.2	-1.8	-3.8	SR	TRUE	Ülehinnang

263_2	24.772721	59.440333	-1.4	1.2	-5.2	2.9	-1.6	-3.8	SR	TRUE	Ülehinnang
268_7	24.760034	59.430246	-1.2	1.0	-5.9	3.1	-1.8	-4.7	PR	TRUE	Ülehinnang
269_3	24.761518	59.428113	-0.5	1.2	-5.0	3.4	-1.3	-4.5	SR	TRUE	Ülehinnang
265_2	24.774729	59.437973	-17.5	1.1	-7.6	2.9	-2.4	9.9	SR	TRUE	Alahinnang
269_5	24.759344	59.426928	-29.6	1.1	0.5	4.3	0.1	30.1	PR	FALSE	Alahinnang
256_8	24.754835	59.434980	1.2	0.8	-5.0	2.9	-1.4	-6.2	PR	FALSE	Alahinnang
249_2	24.723473	59.432926	-4.6	1.5	0.6	3.7	-0.1	5.2	PP	FALSE	Alahinnang
239_3	24.744952	59.433661	2.3	1.0	-3.0	2.8	-0.8	-5.3	SR	FALSE	Alahinnang
245_5	24.729050	59.434896	-4.5	1.4	0.4	2.4	0.0	4.9	SR	FALSE	Alahinnang
144_5	24.779497	59.428521	2.4	1.1	-0.8	3.1	-0.3	-3.2	SR	FALSE	Alahinnang
228_3	24.749405	59.442862	-24.0	1.2	-0.7	3.4	-0.2	23.3	PP	TRUE	Alahinnang
260_2	24.749770	59.440976	-17.4	1.1	-2.3	2.6	-0.7	15.1	SR	TRUE	Alahinnang
243_4	24.735952	59.432836	-15.6	1.3	-0.4	2.9	-0.2	15.2	SR	TRUE	Alahinnang
228_2	24.749040	59.443969	-30.3	1.2	-1.0	3.4	-0.4	29.3	PP	TRUE	Alahinnang
256_2	24.754840	59.429204	-13.4	1.0	-1.3	2.6	-0.4	12.1	SR	TRUE	Alahinnang
280_2	24.756996	59.429176	-7.6	1.0	-0.4	3.2	-0.3	7.2	SR	TRUE	Alahinnang
224_4	24.738900	59.441328	-14.9	1.4	-1.6	2.7	-0.4	13.3	SR	TRUE	Alahinnang
276_4	24.790469	59.437980	-1.6	1.4	1.9	3.2	0.3	3.5	SR	FALSE	Alahinnang
135_4	24.754351	59.428715	-5.1	0.9	0.9	2.8	0.2	6.0	SR	FALSE	Alahinnang
276_3	24.783444	59.437692	-7.2	1.3	1.1	2.5	0.4	8.3	SR	FALSE	Alahinnang
269_4	24.761242	59.427492	-75.9	1.2	-5.9	3.9	-1.7	70.0	PR	TRUE	Alahinnang

Lisa 2 PSI deformatsioonikaart

Digitaalselt fail H_deformatsiooni_mudel.tif. Koordinaadid WGS84 süsteemis, deformatsiooni väärtuste ühik mm.

Mere tulemused on aruandes toodud kaardil kaetud maskiga (fail mask.tif)



Lisa 3 Nivelleerimise deformatsioonide arvutus

Fail digitaalselt Nivelleerimine.xlsx

Niv nr 2007/08	Niv nr 2019	Pnkt nr	MA ID nr	Liik	x [m]	y [m]	H2007/08 [m]	mH [mm]	H2019 [m]	mH [mm]	DH [mm]	mDH (3δ) mm
131_11	262_4	77	63-843-90077	SR	6589297.04	542793.06	4.1966	0.29	4.1932	0.17	-3.4	1.0
143_3	269_6	1	63-843-90801	PR	6588060.00	543118.00	13.6369	0.29	13.6331	0.22	-3.8	1.1
143_4	269_5	3	63-843-90803	PR	6587918.00	543102.00	14.6318	0.30	14.6023	0.23	-29.6	1.1
136_2	256_8	8	63-843-90008	PR	6588812.00	542836.00	7.4517	0.20	7.4530	0.16	1.2	0.8
131_3	227_3	38	63-843-90038	SR	6589635.00	542512.49	14.5136	0.34	14.5153	0.21	1.7	1.2
131_7	258_7	42	63-843-90042	SR	6589413.07	542526.88	7.0014	0.33	6.9982	0.18	-3.2	1.1
131_9	259_3	43	63-843-90043	SR	6589272.97	542485.37	6.7972	0.32	6.7993	0.20	2.1	1.1
131_16	258_3	70	63-843-10533	SR	6589001.27	542571.84	6.8590	0.21	6.8572	0.16	-1.8	0.8
131_14	258_5	69	63-843-90069	SR	6589071.88	542562.49	6.2603	0.23	6.2525	0.17	-7.9	0.9
131_13	262_2	79	63-843-90079	SR	6589052.43	542716.57	6.8733	0.26	6.8692	0.13	-4.1	0.9
132_11	257_2	82	63-843-90082	SR	6588780.51	542468.60	13.2413	0.22	13.2395	0.16	-1.8	0.8
132_9	238_2	83	63-843-90083	SR	6588701.56	542382.53	16.5452	0.24	16.5401	0.18	-5.2	0.9
149_4	265_3	455	63-843-90455	SR	6588926.00	544083.69	8.5508	0.28	8.5346	0.22	-16.2	1.1
38_7	249_7	667	63-843-90667	SR	6588154.84	541185.98	8.7210	0.39	8.7193	0.29	-1.7	1.5
134_2	264_13	555	63-843-555	SR	6589050.07	543186.62	4.5083	0.24	4.5014	0.19	-7.0	0.9
149_2	265_2	453	63-843-453	SR	6589158.30	543961.02	4.8103	0.28	4.7928	0.22	-17.5	1.1
134_11	264_2	558	63-843-558	SR	6589182.01	543722.03	3.4332	0.28	3.4320	0.23	-1.2	1.1
133_8	133_8	559	63-843-90559	SR	6589247.26	543936.18	3.3068	0.28	3.3046	0.21	-2.2	1.1
144_3	272_6	562	63-843-90562	SR	6588489.25	543550.00	9.0606	0.27	9.0578	0.22	-2.8	1.0
39_5	39_5	660	63-843-90660	SR	6587576.26	541496.02	11.3977	0.40	11.3957	0.30	-1.9	1.5
39_3	279_5	662	63-843-90662	SR	6587797.81	541359.08	9.9465	0.39	9.9401	0.29	-6.4	1.5
132_3	254_5	242	63-843-90242	SR	6588165.19	542206.92	23.7499	0.29	23.7498	0.21	0.0	1.1
152_5	276_6	885	63-843-90885	PR	6589362.00	544893.00	7.5160	0.38	7.5168	0.29	0.8	1.4
38_2	249_2	337	63-843-337	PP	6588563.65	541058.75	7.6219	0.40	7.6173	0.30	-4.6	1.5
142_6	142_6	337	63-843-90337	SR	6587922.54	543420.56	18.4958	0.34	18.4961	0.26	0.3	1.3
145_8	266_2	381	63-843-90381	SR	6588703.35	543983.86	8.3126	0.28	8.3134	0.22	0.8	1.1
132_8	239_3	215	63-843-90215	SR	6588658.87	542276.79	17.6196	0.26	17.6219	0.20	2.3	1.0
147_3	271_3	323	63-843-90323	SR	6587817.80	543972.37	19.8442	0.32	19.8428	0.25	-1.4	1.2
147_5	270_2	231	63-843-91231	SR	6588029.77	544181.84	21.9780	0.29	21.9740	0.23	-3.9	1.1
31_2	245_5	211	63-843-90211	SR	6588786.45	541372.85	15.6676	0.39	15.6631	0.27	-4.5	1.4
30_6	243_6	213	63-843-90213	SR	6588774.61	541585.69	17.8665	0.37	17.8670	0.26	0.5	1.4
153_3	278_2	228	63-843-90228	SR	6588261.68	544564.71	35.6782	0.34	35.6787	0.29	0.4	1.3
36_3	243_3	227	63-843-90227	SR	6588466.70	541754.66	20.5917	0.36	20.5899	0.24	-1.8	1.3
38_3	249_3	231	63-843-90231	SR	6588492.89	541124.20	8.8350	0.40	8.8358	0.30	0.7	1.5
144_5	144_5	232	63-843-90232	SR	6588108.55	544243.80	20.7720	0.28	20.7744	0.23	2.4	1.1
36_4	243_2	320	63-843-90320	SR	6588444.26	541927.69	29.7324	0.34	29.7328	0.23	0.5	1.2
38_5	249_5	338	63-843-338	PP	6588401.40	541069.16	7.2255	0.40	7.2253	0.30	-0.2	1.5
131_2	228_3	522	63-843-522	PP	6589686.63	542518.06	11.4008	0.34	11.3768	0.21	-24.0	1.2
131_6	260_2	485	63-843-90485	SR	6589476.74	542541.07	6.8114	0.33	6.7940	0.19	-17.4	1.1
30_5	244_2	340	63-843-91340	SR	6588960.85	541597.41	14.8071	0.38	14.8077	0.26	0.6	1.4

55_3	55_3	345	63-843-345	PP	6587304.00	541796.00	12.8286	0.39	12.8270	0.29	-1.5	1.5
138_4	268_5	378	63-843-90378	SR	6588352.13	543061.38	13.2149	0.25	13.2039	0.20	-11.0	1.0
29_13	216_2	386	63-941-90386	SR	6590054.29	541861.57	12.8892	0.39	12.8905	0.27	1.3	1.4
131_10	258_6	486	63-843-90486	SR	6589339.09	542548.24	6.3146	0.31	6.3130	0.18	-1.6	1.1
136_5	256_4	405	63-843-90405	SR	6588503.98	542781.52	13.0076	0.26	13.0044	0.21	-3.1	1.0
55_2	253_2	344	63-843-344	PP	6587445.65	541589.71	11.1128	0.40	11.1100	0.30	-2.9	1.5
39_2	279_6	341	63-843-341	PP	6587880.83	541269.50	8.5581	0.39	8.5544	0.28	-3.8	1.4
145_9	265_4	456	63-843-456	SR	6588763.81	544136.39	9.9098	0.27	9.9092	0.21	-0.6	1.0
36_2	243_4	425	63-843-90425	SR	6588561.29	541767.05	23.0902	0.37	23.0745	0.25	-15.6	1.3
132_10	237_8	573	63-843-90573	SR	6588760.92	542436.96	14.5371	0.23	14.5350	0.17	-2.1	0.9
131_15	258_4	533	63-843-533	SR	6588998.26	542561.04	7.5131	0.22	7.5133	0.16	0.1	0.8
132_7	239_2	574	63-843-574	SR	6588648.07	542325.04	17.6140	0.27	17.6141	0.19	0.1	1.0
131_17	258_2	534	63-843-534	SR	6589001.81	542641.88	7.4540	0.19	7.4443	0.14	-9.7	0.7
131_12	262_3	543	63-843-90543	SR	6589147.20	542740.43	6.0589	0.27	6.0532	0.15	-5.7	0.9
53_4	251_4	577	63-843-577	SR	6588085.94	542128.39	23.9996	0.31	23.9992	0.22	-0.3	1.1
34_4	228_2	540	63-843-540	PP	6589809.69	542495.95	8.7946	0.35	8.7643	0.22	-30.3	1.2
144_2	272_4	565	63-843-90565	SR	6588506.51	543404.24	8.5008	0.26	8.4992	0.21	-1.6	1.0
132_6	254_2	575	63-843-575	SR	6588464.98	542307.94	19.9693	0.28	19.9581	0.21	-11.2	1.1
132_4	254_4	576	63-843-576	SR	6588314.85	542284.39	20.3102	0.29	20.3094	0.21	-0.8	1.1
145_5	266_5	580	63-843-90580	SR	6588759.38	543669.75	6.7075	0.27	6.7039	0.21	-3.7	1.0
145_6	266_4	585	63-843-90585	SR	6588847.57	543655.94	5.8212	0.27	5.8192	0.21	-2.0	1.0
145_2	266_8	587	63-843-90587	SR	6588787.28	543362.44	5.4505	0.24	5.4385	0.18	-12.0	0.9
53_2	251_2	588	63-843-588	SR	6588302.75	542047.77	31.1212	0.33	31.1214	0.23	0.2	1.2
135_2	255_4	593	63-843-593	SR	6588010.93	542344.35	24.1874	0.28	24.1855	0.21	-1.8	1.1
152_6	152_6	852	63-844-90852	SR	6589136.01	545190.15	21.9496	0.40	21.9502	0.30	0.7	1.5
53_3	251_3	204	63-843-90204	SR	6588198.38	542095.19	30.6384	0.32	30.6386	0.23	0.2	1.2
143_7	269_2	598	63-843-598	SR	6588032.71	543251.79	16.3565	0.33	16.3553	0.25	-1.2	1.2
136_3	256_6	608	63-843-90608	SR	6588572.77	542604.44	13.9113	0.25	13.9057	0.21	-5.6	1.0
136_7	256_2	595	63-843-90595	SR	6588168.57	542843.52	16.7539	0.25	16.7405	0.20	-13.4	1.0
136_6	256_3	606	63-843-90606	SR	6588400.77	542741.43	14.4755	0.26	14.4733	0.21	-2.3	1.0
147_2	271_2	600	63-843-90600	SR	6587978.17	543571.59	17.8808	0.34	17.8789	0.26	-1.8	1.3
143_2	280_2	596	63-843-596	SR	6588166.85	542965.92	15.3182	0.27	15.3105	0.20	-7.6	1.0
133_7	263_2	615	63-843-615	SR	6589419.93	543844.05	2.1746	0.31	2.1732	0.23	-1.4	1.2
136_4	256_5	607	63-843-90607	SR	6588492.43	542684.49	14.7564	0.26	14.7531	0.21	-3.3	1.0
145_3	266_7	812	63-843-90812	PR	6588738.00	543530.00	6.3853	0.26	6.3826	0.19	-2.7	1.0
132_5	254_3	686	63-843-90686	SR	6588421.86	542323.81	19.7030	0.28	19.6938	0.21	-9.2	1.1
131_5	226_5	762	63-843-90762	SR	6589674.20	542603.30	7.8009	0.33	7.7929	0.20	-8.0	1.2
30_2	218_4	781	63-843-90781	SR	6589889.92	541881.07	13.0631	0.39	13.0630	0.28	-0.1	1.4
131_4	227_2	944	63-843-90944	SR	6589664.30	542528.30	12.6412	0.33	12.6420	0.21	0.7	1.2
30_3	218_2	782	63-843-90782	SR	6589783.53	541853.20	14.0017	0.39	14.0015	0.29	-0.2	1.5
30_4	224_4	784	63-843-90784	SR	6589509.10	541923.91	15.5814	0.39	15.5665	0.23	-14.9	1.4
152_3	276_4	858	63-843-90858	SR	6589169.52	544854.15	11.1965	0.37	11.1949	0.28	-1.6	1.4
145_4	266_6	813	63-843-90813	PR	6588715.00	543567.00	6.9133	0.26	6.9105	0.20	-2.8	1.0
152_4	276_5	857	63-843-90857	SR	6589291.98	544895.44	11.1192	0.38	11.1198	0.29	0.6	1.4
31_3	245_10	687	63-843-90687	SR	6588716.49	541115.12	9.8550	0.40	9.8550	0.30	0.0	1.5

133_2	263_10	919	63-843-90919	SR	6589406.03	543160.77	2.4455	0.35	2.4395	0.21	-5.9	1.2
153_2	273_2	977	63-843-90977	SR	6588188.68	544296.98	21.2078	0.30	21.2083	0.24	0.5	1.2
37_2	250_2	981	63-843-981	SR	6588327.90	541844.77	23.4362	0.35	23.4352	0.24	-1.0	1.3
138_2	268_7	1081	63-843-91081	PR	6588288.00	543137.00	11.8620	0.25	11.8608	0.20	-1.2	1.0
133_4	263_8	2411	63-843-92411	SR	6589703.66	543224.87	2.3151	0.35	2.3089	0.23	-6.2	1.3
146_3	146_3	8066	63-843-98066	SR	6587619.92	544797.77	40.1207	0.41	40.1215	0.39	0.8	1.7
34_3	220_2	8710	63-843-98710	SR	6589864.49	542403.99	12.9134	0.36	12.9145	0.22	1.1	1.3
34_2	219_3	8736	63-843-98736	SR	6589939.08	542142.94	14.0684	0.37	14.0689	0.24	0.4	1.3
135_4	135_4	3929	63-843-93929	SR	6588113.80	542816.35	17.9968	0.24	17.9917	0.20	-5.1	0.9
133_3	263_9	8752	63-843-98752	SR	6589672.45	543187.07	2.3986	0.35	2.3921	0.23	-6.4	1.3
133_5	263_6	8770	63-843-98770	SR	6589623.01	543733.03	2.0421	0.33	2.0385	0.24	-3.6	1.2
134_3	264_10	8785	63-843-98785	SR	6589038.06	543466.36	5.2734	0.27	5.2690	0.22	-4.4	1.0
132_2	251_5	7935	63-843-97935	SR	6587926.78	542193.20	20.2297	0.28	20.2283	0.21	-1.4	1.1
153_4	277_3	8732	63-843-98732	SR	6588535.10	544546.93	21.4672	0.39	21.4695	0.27	2.4	1.4
138_5	268_3	8709	63-843-98709	SR	6588484.16	543126.25	6.2981	0.24	6.2962	0.19	-1.9	0.9
150_2	276_2	8721	63-843-98721	SR	6589194.84	544249.90	4.8161	0.31	4.8084	0.25	-7.7	1.2
148_2	274_2	8755	63-843-98755	SR	6588378.41	544241.33	14.5193	0.29	14.5194	0.23	0.1	1.1
36_5	242_2	5	63-843-90005	FR	6588443.30	541932.60	27.8035	0.34	27.8036	0.22	0.1	1.2
38_8	249_8	90	63-843-10090	PP	6588067.05	541207.51	8.9366	0.38	8.9371	0.28	0.5	1.4
131_8	259_5	500	63-843-90500	SR	6589389.86	542488.73	9.0239	0.32	9.0249	0.19	1.0	1.1
152_2	276_3	8723	63-843-98723	SR	6589132.78	544455.93	8.3359	0.33	8.3286	0.26	-7.2	1.3
33_5	33_5	201	63-843-91201	FR	6588638.00	540751.00	5.6024	0.45	5.6007	0.34	-1.7	1.7
143_6	269_4	4	63-843-90804	PR	6587982.00	543209.00	14.2570	0.33	14.1810	0.25	-75.9	1.2
37_3	250_3	8782	63-843-98782	SR	6588142.56	541555.66	16.5177	0.37	16.5175	0.26	-0.2	1.4
143_5	269_3	326	63-843-90326	SR	6588051.38	543223.90	15.0571	0.32	15.0566	0.25	-0.5	1.2
37_4	249_9	666	63-843-90666	SR	6588064.09	541312.20	11.1026	0.37	11.1033	0.27	0.7	1.4
153_5	277_2	8794	63-843-98794	SR	6588875.10	544858.03	20.1828	0.40	20.1838	0.29	1.0	1.5
38_6	249_6	339	63-843-339	PP	6588285.77	541104.48	7.3404	0.40	7.3381	0.29	-2.2	1.5
147_4	271_4	534	63-843-90534	SR	6587845.39	544142.06	23.9720	0.31	23.9715	0.24	-0.6	1.2
137_5	267_5	5	63-843-96005	PR	6589026.40	542921.30	3.8510	0.03	3.8455	0.02	-5.5	0.1
134_9	264_4	7	63-843-97007	PR	6589038.10	543468.80	5.6504	0.27	5.6466	0.22	-3.8	1.0