



InSAR kiiruste arvutus Tallinna kesklinna reeperitele 2016-2022. ja 2021-2022. a

(Ver. 2023-02-23)

Koostas: T. Oja
Kinnitas: O. Stimmer

Tallinn 2023

Sisukord

1	InSAR analüüs uuringualas	1
1.1	Uuringuala	1
1.2	Satelliitandmed	1
1.3	InSAR vertikaalkiiruste arvutus	3
1.3.1	LOS suunalised kiirused ja nende mudelpinnad	3
1.3.2	<i>EH</i> liikumispindade arvutus	4
1.4	Suuremad liikumised Tallinnas	7
1.5	Lühiajaliste vertikaalkiiruste lahenduste aegrida	8
2	Nivelleeritud ja InSAR vertikaalkiiruste võrdlus	9
2.1	Kiiruste erinevuste statistiline analüüs	9
2.2	Võrdluste kokkuvõte	11
3	Kokkuvõte	12
	Viited	13
	Lisad	14
L.1	Nivelleeritud ja InSAR vertikaalkiirused reeperitel	14
L.2	Kaasnevate failide nimekiri	17

Enimkasutatavad lühendid:

- APS** – parand (ingl *Atmospheric Phase Screen*), mis arvutatakse deformatsiooni mudelile atmosfääri mõju kompenseerimiseks;
- ASC** – tõusva orbiidi suund (ingl *Ascending*), SAR pilt on tehtud satelliidi liikumisel lõunast põhja;
- ASI** – statistiline väärtus (ingl *Amplitude Stability Index*), mida kasutatakse PSI analüüsi piirväärtusena, et filtreerida välja analüüsiks sobivad pikslid;
- DEM, DTM** – maapinna digitaalne kõrgusmudel (ingl *Digital Elevation Model, Digital Terrain Model*);
- DESC** – langev orbiidi suund (ingl *Descending*), SAR pilt on tehtud satelliidi liikumisel põhjast lõunasse;
- E** – koordinaattelg, mille positiivne suund on ida suunas (ingl *East*), ühik m, tähistatakse ka *Y*;
- GPA** – geodeetiliste punktide andmekogu, gpa.maaamet.ee;
- GNSS** – globaalne asukohamääramise/satelliitnavigatsiooni süsteem (ingl *Global Navigation Satellite System*);
- H** – koordinaattelg, mille positiivne suund on mööda ellipsoidi normaali (ingl *Height*);
- InSAR** – interferomeetriline tehisavaradar (ingl *Interferometric Synthetic Aperture Radar*);
- IW** – SAR pildi mood (ingl *Interferometric Wide swath*);
- Lat** – geodeetiline laius ellipsoidil, ühik kraadides (ingl *Geodetic Latitude*);
- Long** – geodeetiline pikkus ellipsoidil, ühik kraadides (ingl *Geodetic Longitude*);
- LOS** – vaatesuund satelliidi sensorist peegeldava objektini maapinnal (ingl *Line-of-sight*);
- N** – koordinaattelg, mille positiivne suund on põhja suunas (ingl *North*), ühik m, tähistatakse ka *X*.
- PS** – püsiv peegeldi/hajuti (ingl *Persistent/Permanent Scatterer*);
- PSI** – SAR interferomeetria meetod, mis arvutab deformatsioonid ajas interferogrammide aegridade analüüsist (ingl *Persistent Scatterer Interferometry*);
- RP** – LOS arvutuse referentspunkt;
- SAR** – tehisavaradar (ingl *Synthetic Aperture Radar*);
- SARPROZ[®]** – tarkvara SAR andmetöötluseks, sh PSI analüüsiks (www.sarproz.com);
- SD** – standardhälve (ingl *Standard Deviation*);
- SLC** – SAR pildi tüüp (ingl *Single Look Complex*), mille iga piksli kompleksarvuline väärtus esitab tagasipeegeldunud mikrolaine amplituudi ja faasi.

Sissejuhatus

Käesoleva aruande koostamisel lähtuti Tallinna Linnaplaneerimise Ameti os-
tuhanke “Uurimustöö *InSAR andmete tuginev analüüs Tallinnas perioodidel
2021-2022 ja 2016-2022*” tingimustest.

Uurimistöö eesmärk on arvutada vertikaalsuunalised liikumiskiirused ja lii-
kumiste mudelpinnad Tallinna uuringualas, võttes aluseks Sentinel-1 satel-
liitmissiooni kaugseire andmete InSAR analüüsi tulemused ajaperioodidele
juuni 2016 – nov. 2022 ja nov. 2021 – nov. 2022. Uurimustöö läbiviimisel,
võrdlusandmete koostamisel ja töö vormistamisel juhindutakse varasematest
aruannetest Gruno (2020); Oja jt (2020); Oja ja Gruno (2021).

Aruandes antakse ülevaade satelliitandmetest, esitatakse InSAR liikumiskii-
ruste mudelpinnad ning vertikaalkiiruste võrdleva analüüsi tulemused Tallin-
na kõrgusvõrgu reeperitel. Töö lõpeb kokkuvõtte ja ettepanekutega edasisteks
sammudeks.

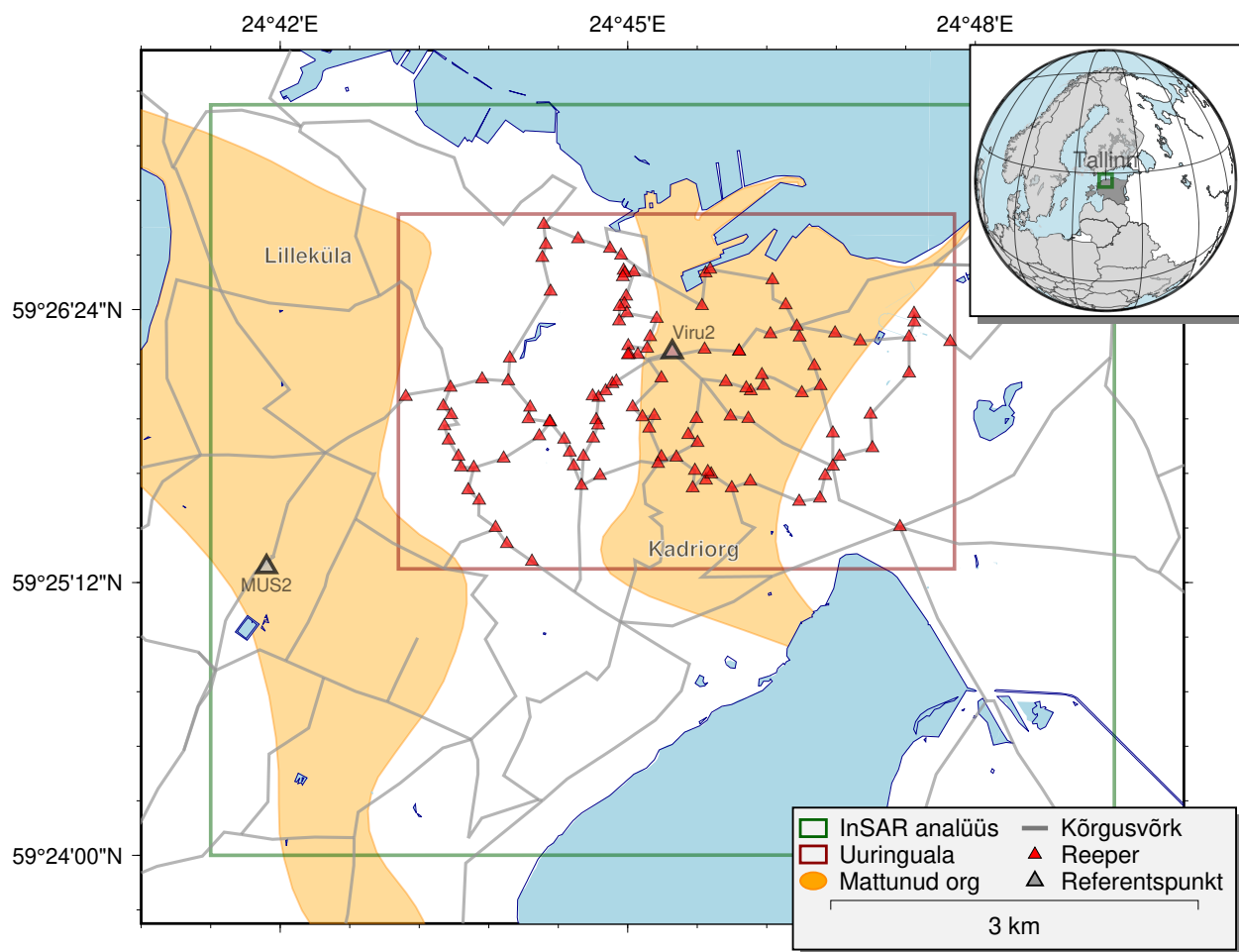
Töö tulemused esitatakse aruandena digitaalselt, millele lisatakse andmeta-
bel failiformaadis **.xlsx*, LOS kiirused mõõtmispunktides (**.csv* ja **.shp*
failid), LOS ja vertikaaldeformatsioonide võrgustatud mudelpinnad (*geotiff*
failid **.tif*). LOS analüüsid tehakse kättesaadavaks SILLE rakenduses. Aru-
andega kaasnevate failide lühikirjeldused on toodud lisas L.2.

1 InSAR analüüs uuringualas

InSAR analüüs viidi läbi PSI meetodil, mida on põhjalikumalt tutvustatud varasemates uurimistöo aruannetes (Gruno, 2020; Oja jt, 2020). Järgnevalt antakse lühiülevaade InSAR analüüsi sisend- ja väljundandmetest, uuringualast ning esitatakse olulisemad tulemused nii kaardipiltide kui statistiliste hinnangute kaudu.

1.1 Uuringuala

Uuringuala Tallinna haldusterritooriumil ehk täpsemalt kõrgusvõrgu uuringuala suurus on määratud uurimise all olevate 116 reeperite asukohtadega (joon. 1), mis põhiosas jäävad kesklinna alasse. InSAR analüüsi ala valikul lähtuti varasemast tööaruandest Oja ja Gruno (2021).



Joonis 1: Ülevaatekaart Tallinna kõrgusvõrgu käikudest, käesoleva töö InSAR arvutus- ning uuringualast. Esitatud on 2007-2019. a kordusnivelleerimiste lähtepunkti “Viru2” ning GNSS püsijaama “MUS2” asukohad (GPA, 2022). Siin ja edaspidi aluskaart: Maa-amet 2022.

1.2 Satelliitandmed

InSAR analüüsis kasutati Sentinel-1 satelliitide S1A ja S1B SAR IW SLC pilte (tabel 1), mille ruumiline lahutus on ca 5x20 m pikslit, kus 5 m on vaatesuunas ja 20 m satelliidi liikumise suunas.

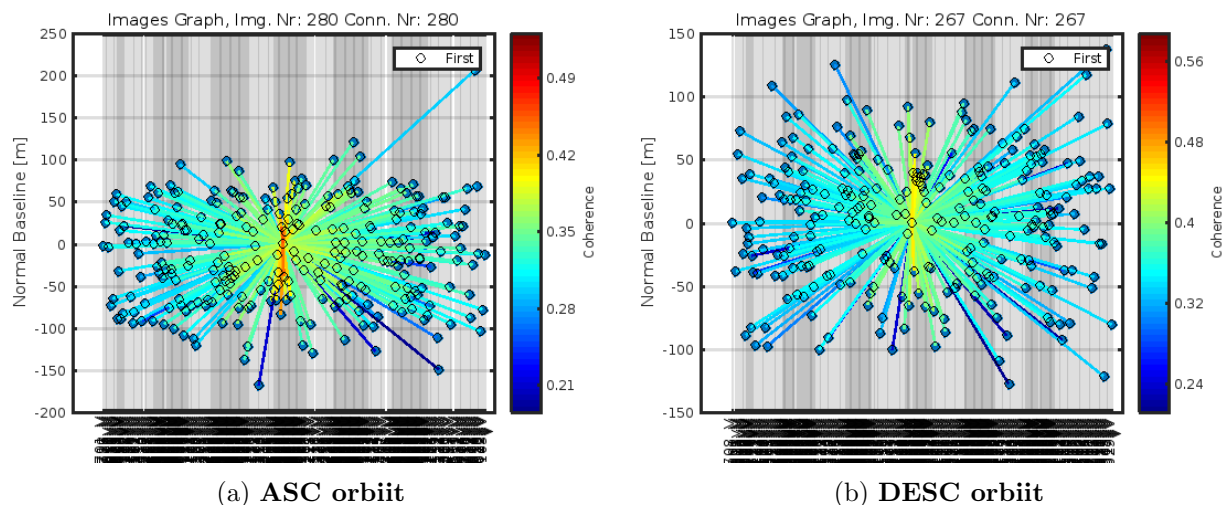
Võrreldes varasemate lahendustega (Gruno, 2020; Oja jt, 2020; Oja ja Gruno, 2021), sisaldavad lühiajalised lahendused vähem pilte. Selle põhjuseks on probleemid S1B riistva-

raga 23. dets. 2021. a ja konkreetse satelliidi mõõtmiste lõppemisega peale seda (vt sentinels.copernicus.eu). Tagajärjeks oli taas ainult 12-päevane mõõtettsükkel varasema 6-päevase tsükli asemel¹.

Tabel 1: InSAR analüüsis kasutatud Sentinel-1 radarpiltide arv ja orbiitide parameetrid. Asimuut α (põhjasuunast päripäeva) arvutatakse suunanurgast φ (lõunasuunast vastupäeva) valemiga: $\alpha = 180 - \varphi$.

Orbiidi number	Suund	Ajavahemik	Piltide arv	Tõusunurk θ (°)	Suunanurk φ (°)	Asimuut α (°)
160	Tõusev (ASC)	2016.07.01-2022.11.03	280	33.5513	-168.1086	348.1086
		2021.11.02-2022.11.03	32	33.5513	-168.1086	348.1086
80	Langev (DESC)	2016.07.08-2022.10.29	267	43.4441	-9.3907	189.3907
		2021.10.28-2022.10.29	33	43.4441	-9.3907	189.3907

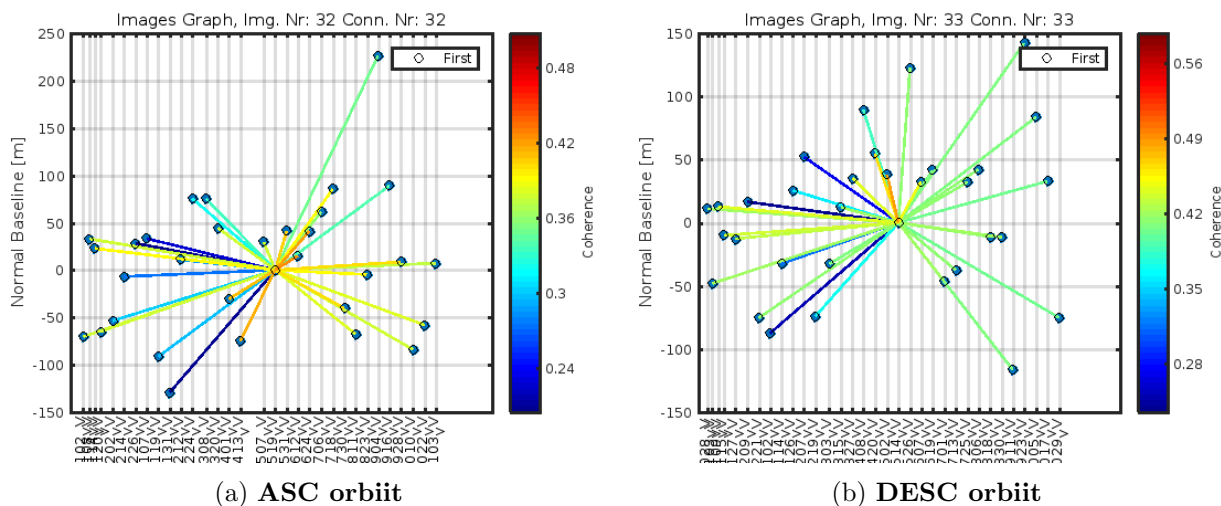
Tabelis 1 nimetatud SAR pildid kaasregistreeriti orbiitide ja ajavahemike kaupa ASC ja DESC projektidesse. PSI analüüsid viidi läbi aastatel 2016-2022 ja 2021-2022, eraldiseisvate projektidena. InSAR analüüs sisaldas interferogrammide paaride moodustamist peapildi suhtes (joonised 2 ja 3). Arvutustes rakendati kõrgusmodelina 10 m eraldusvõimega DTMi, mis on koostatud aerolaserskaneerimine meetodil LiDAR-möödistuste tulemusena ja alla laetud Maa-ameti geoportaalist 2019. a (geoportaal.maaamet.ee).



Joonis 2: Analüüsiks moodustatud interferogrammide paarid peapildi suhtes ajaperioodil 2016.07-2022.11.

Kogufeformatsioonid ja kiirused arvutati PSI meetodi abil punktidele, kus amplituudi stabiilsusindeksi (ASI) ja ruumilise koherentsuse summa (ASI+SpC) oli väärtusega ≥ 1.6 . Huvialale arvutatud APS parandite jaoks selekteeriti punktid, kus sisendparameetri ASI väärtus ≥ 0.75 . Analüüsides väljundandmetest filtreeriti ehk jäeti välja arvutuspunktid, kus ajaline koherentsus < 0.8 . Ruumilist koherentsust hinnati eraldi MST graafi kaudu, koos “Multi-Temporal Adaptive (MTA)” filtriga. Antud meetodika (ruumiline koherentsus koos MTA filtriga) võimaldas lõpptulemusena mitmekordistada punktide arvu võrreldes varasemate analüüsidega. Detailsema info leiab SARPROZ[©] tarkvara manuaalist (sarproz.com/manual).

¹Lisaks juba 2014. a üles saadetud satelliidile S1A saadeti 2016. a aprillis orbiidile S1B, mis tegi võimalikuks 6-päevase SAR piltide mõõtettsükli varasema 12-päevase asemel.



Joonis 3: Analüüsiks moodustatud interferogrammide paarid peapildi suhtes ajaperioodil 2021.11-2022.11.

1.3 InSAR vertikaalkiiruste arvutus

Sisendandmeteks võeti InSAR andmeanalüüsi järgselt tarkvarast eksporditud *.csv and-mefailid. Nendest mahukatest failidest selekteeriti välja vajalik info eraldi *.csv failidesse, kus lisaks koordinaatidele ja muule infole esitati analüüsitud PS punktide/pikslite LOS-suunalised kiirusväärtused (veerg „VEL“) analüüsi referentspunkti (RP) suhtes (vt failide kirjeldust lisas L.2). Samuti kaasati kiiruste standardhälbed (veerg „SIGMA VEL“), et hinnata edasiste arvutustulemuste määramatusi ja kaasata neid kaaludena ka mudelpindade võrgustamisse.

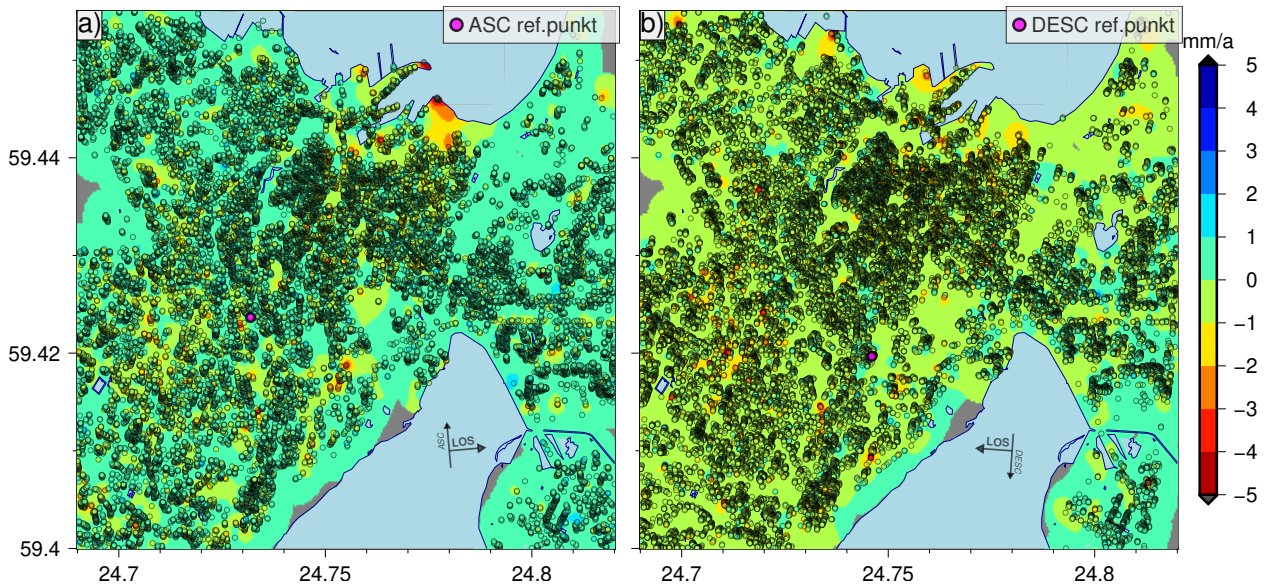
1.3.1 LOS suunalised kiirused ja nende mudelpinnad

Arvutusse kaasati kahelt vastassuunaliselt orbiidilt mõõdetud LOS andmed (joon. 4, 5), nimetades need L_1 (vastab ASC ehk tõusvale orbiidile) ja L_2 (DESC ehk langev orbiit). LOS väärtused L_1 , L_2 arvutati pikale 2016.06–2022.11 ajaperioodile (pikkusega 6.4 aastat), ning lühemale 2021.11-2022.11 perioodile (1 aasta). Siin ja edaspidi kasutatakse ajaformaati aaaa.kk. Sarnaselt varasematele analüüsidele, jäävad ka seekord LOS kiirused nii tõusva kui langeva orbiidi puhul pikas analüüsis enamasti ± 5 mm/a, lühikeses analüüsis ± 10 mm/a vahemikku.

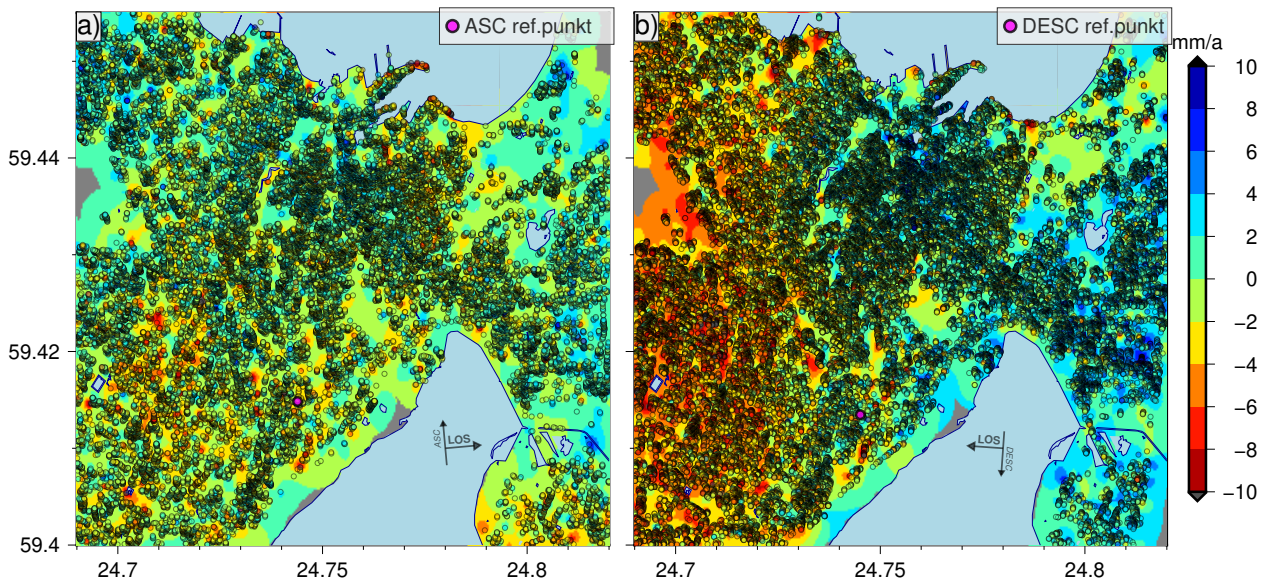
Mudelpindade moodustamiseks võrgustati L_1 , L_2 punktandmed (kiirused), rakendades 2D splinepinda (tarkvara GMT6² moodul `gmt surface`). Enne võrgustamist keskmistati LOS andmed üle võrgu (mooduliga `gmt blockmean`) sammuga $d\text{Lon}/d\text{Lat} = 1.44''/0.72''$ (LEST97 tasapinnal vastavalt $\approx 23/22$ m)³, kusjuures keskmistamisel kaasati kaaludena kiiruste standardhälbed. Antud võrgustamismeetodi juures on oluline fikseerida veel splinepinna jäikust kirjeldavat parameetrit T (reaalarv vahemikus 0...1), mis käesolevas arvutuses fikseeriti $T = 0.3$. Samade parameetritega võrgustati ka LOS kiiruste standardhälvete väärtused. Kiiruste mudelpindade moodustamisel filtreeriti välja võrgustiku punktid, mis mõõtmispunktidest jäävad rohkem kui 300 m kaugusele, et mitte näidata kiiruspindasid aladele, kus interpoleerimise/ekstrapoleerimise vead on suured.

²GMT – vabatarkvara geoandmete töötlemiseks ja analüüsiks, vt [generic-mapping-tools.org](https://www.generic-mapping-tools.org).

³Erinevad sammude väärtused laia/pikkuse suundades võtavad arvesse meridiaanide koonduvust ellipsoidi pooluste suunas.



Joonis 4: PS punktide L_1 (ASC), L_2 (DESC) suunalised kiirused InSAR analüüsist ja võrgustatud mudelpinnad ajaperioodile 2016.06–2022.11. Siin ja edaspidi on näidatud nii analüüsi referentspunktide asukohad kui orbiitide suunad (vektor) koos nende suhtes paremale jäävate vaatesuundadega.



Joonis 5: PS punktide L_1 (ASC), L_2 (DESC) suunalised kiirused InSAR analüüsist ja võrgustatud mudelpinnad ajaperioodile 2021.11–2022.11.

1.3.2 EH liikumispindade arvutus

Asjaolu, et mõõtmise LOS suunal on ühemõõtmeline (1D), ei võimalda selle teisendamist kolmemõõtmeliseks (3D) liikumiseks (N , E , H suundadel). Kuna Sentinel-1 satelliidi tiirlemis-orbiit on peaaegu polaarne⁴, siis jääb paratamatult madalaks põhja-lõunasuunalise komponendi (N) määramise täpsus. Seetõttu N komponenti käesolevas InSAR analüüsis ei arvatud, nii nagu ka varasemates analüüsid.

Ida-lääne (E) ja vertikaalsuunalise (H) kiiruste (v_E , v_H) arvutamiseks kahest vastassuuna-

⁴Sentinel-1 orbiidi elemendid/parameetrid: inklinatsioon 98.18° , periood 98.6 m ja apogees kõrgus 693 km.

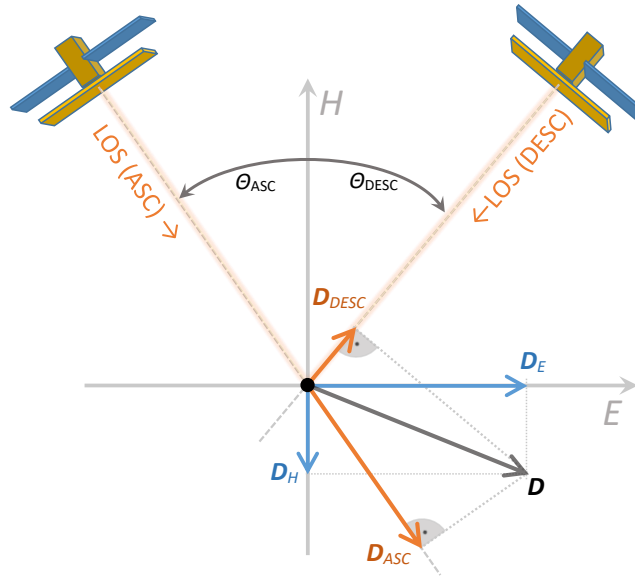
lisest LOS orbiidi kiiruskomponendist v_{L1} (ASC) ja v_{L2} (DESC) rakendati valemit

$$\begin{bmatrix} v_E \\ v_H \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} v_{L1} \\ v_{L2} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

kus M^{-1} on 2x2 transformatsioonimaatriksi M ($E, H \rightarrow \text{LOS}$)

$$M = \begin{bmatrix} \sin \theta_1 \cos \varphi_1 & \cos \theta_1 \\ \sin \theta_2 \cos \varphi_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

pöördmaatriks. Satelliitide orbiitide parameetrid maatriksi M moodustamiseks on esitatud tabelis 1. LOS liikumite (1D) geomeetrilisi seosed E, H liikumitega (2D) ja valemite sisu kirjeldab joonis 6.



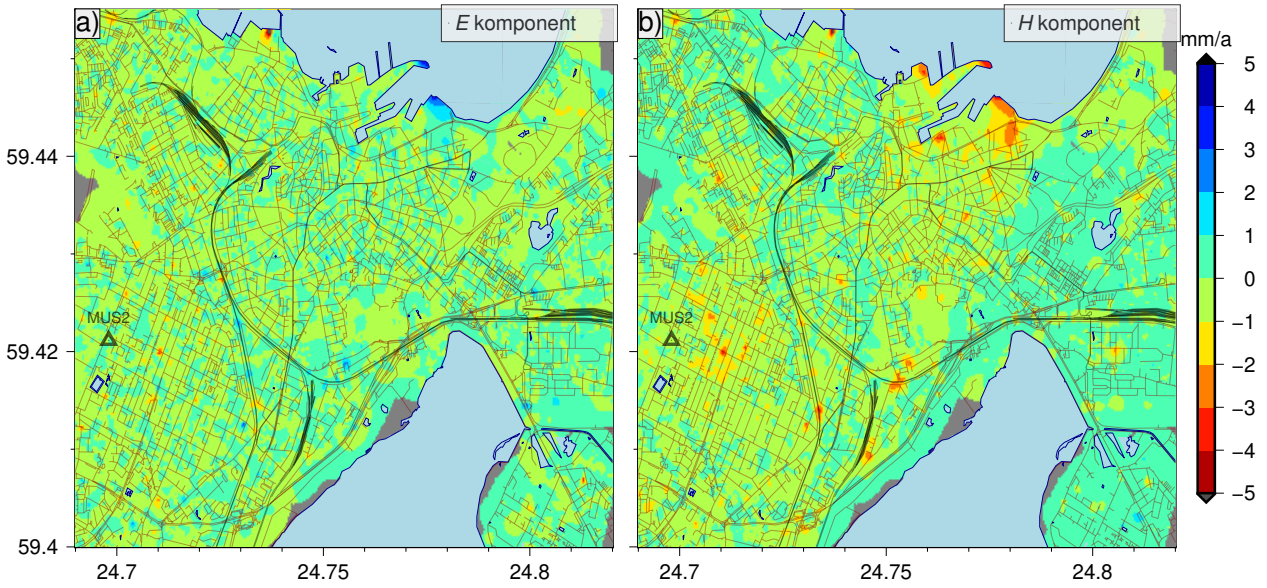
Joonis 6: LOS suunaliste liikumiste skemaatiline seos horisontaal- ja vertikaallikumisega (E, H -telgede suunas) vaadates lõunast põhja (mööda N -telge).

E, H kiiruspindade referentspunktiks (RP) valiti geodeetiline GNSS püsijaam “MUS2” Maaameti peahoone katusel (aadressiga Mustamäe tee 51), mille geodeetilised koordinaadid ja kõrgus on vastavalt: $lat = 59.42115^\circ$, $long = 24.69803^\circ$, $h = 44.538$ m (GPA, 2022).

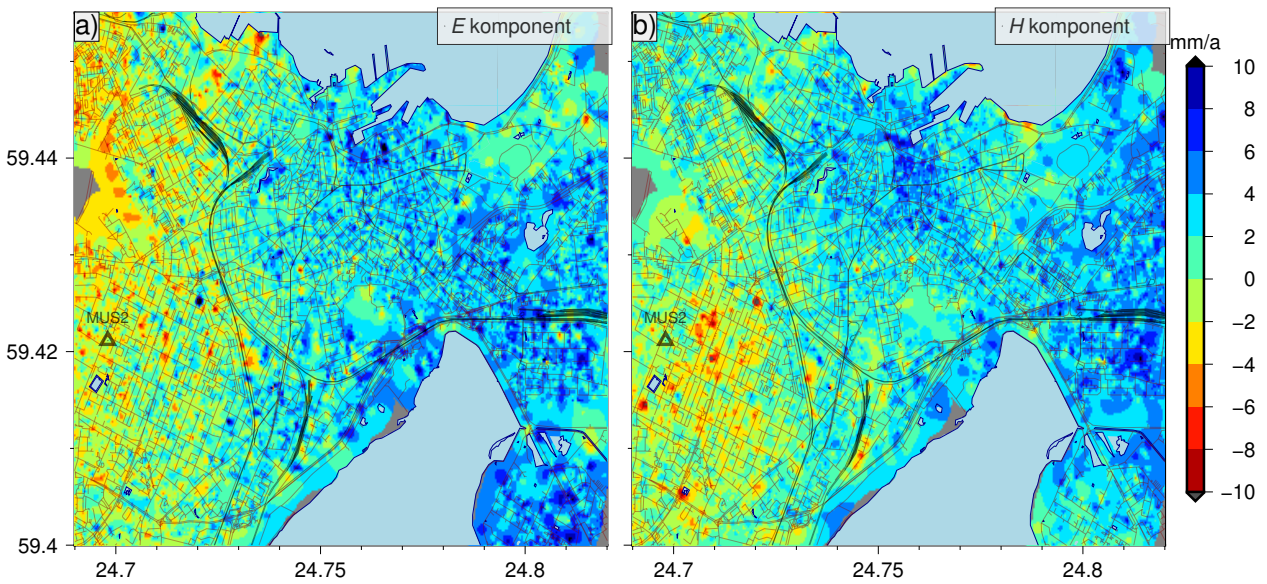
Kiiruspindade väärtusi nihutati konstandi võrra nii, et kiirused RP asukohas on $v = 0$ mm/a. Selline RP valik võimaldab vajadusel siinesitatud kiiruspinnad lihtsalt teisendada kiirusteks riiklikus (EUREF-EST97) või globaalses referentsraamistikus (ITRF, IGS). Näiteks “MUS2” E, H kiirused on globaalses referentsraamistikus IGS14 järgmised: $v_E = 0.60 \pm 0.19$ mm/a (Euraasia laama suhtes) ja $v_H = 3.08 \pm 0.74$ mm/a (NGL, 2023). Jaama koordinaatide aegread ajavahemikus apr. 2012 – veebr. 2023 (10.8 a) arvutati PPP (Precise Point Positioning) meetodil GipsyX tarkvaraga, millele järgnes kiiruste arvutus MIDAS (Median Interannual Difference Adjusted for Skewness) meetodiga (Blewitt jt, 2018). InSAR põhised kiiruspinnad saab nüüd teisendada IGS14 raamistikku, liites kiiruspinna võrgustiku iga punkti väärtusele “MUS2” vastava komponendi kiirusväärtuse. Teisisõnu, kiiruspinda nihutatakse konstandi võrra vajalikus suunas.

Valemiga (1) arvutatud E, H kiiruspindade kaardipildid on esitatud joonistel 7, 8. Vertikaal- ehk H kiiruspinna kõrval võiks huvi pakkuda ka horisontaal- ehk E -kiiruspind, mis näiteks võrdlusanalüüsis plaanilise võrgu lahendustega ja linna planeerimises üldisemalt võivad samuti kasulikuks osutada.

Edaspidi tulevad vaatluse alla ainult vertikaalkiiruste lahendused.



Joonis 7: InSAR mõõtmistest arvutatud E , H suunalised kiiruste mudelpinnad (2016.06–2022.11), mis on fikseeritud GNSS püsijaama “MUS2” asukohas.

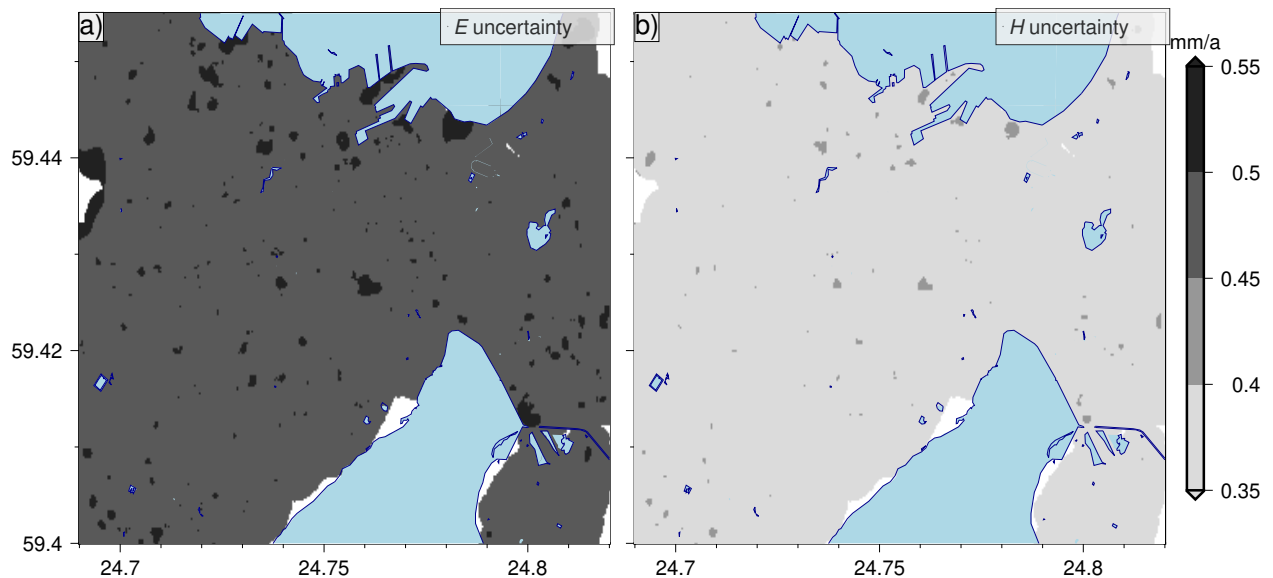


Joonis 8: InSAR mõõtmistest arvutatud E , H suunalised kiiruste mudelpinnad (2021.11–2022.11), mis on fikseeritud GNSS püsijaama “MUS2” asukohas.

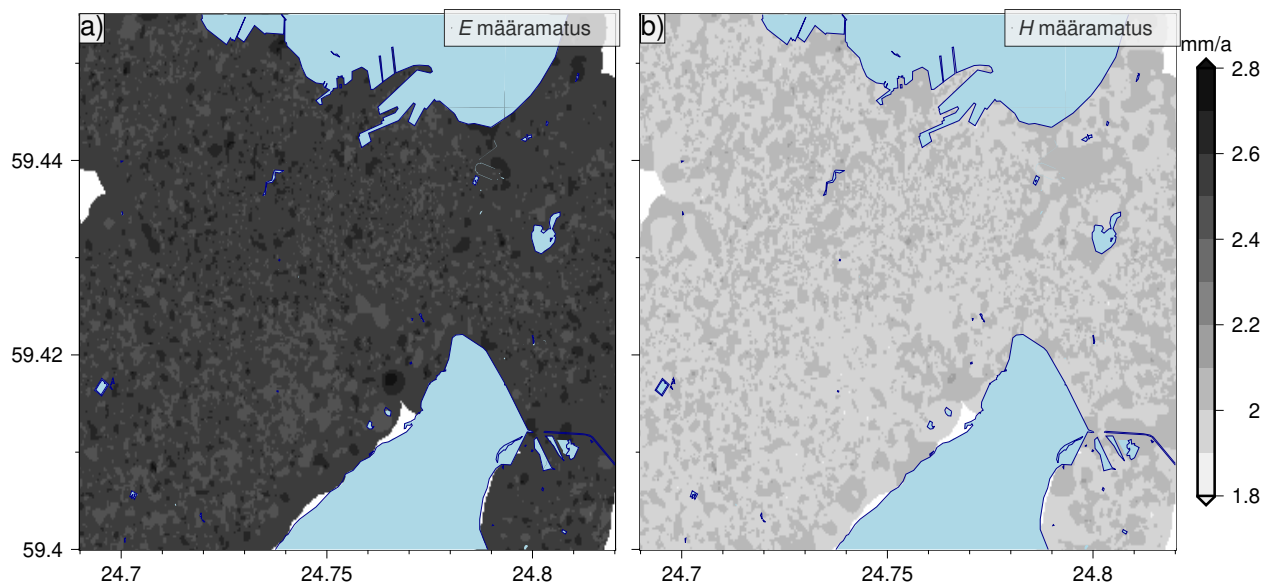
E , H kiiruste standardmääramatused hinnati valemiga

$$\begin{bmatrix} D(v_E) \\ D(v_H) \end{bmatrix} = M^{-1} \begin{bmatrix} D(v_{L1}) \\ D(v_{L2}) \end{bmatrix} (M^{-1})^T, \quad (3)$$

kus sisendiks on LOS kiiruste dispersioonid (standardhälbed ruudus) $D(v_{L1}) = u^2(v_{L1})$, $D(v_{L2}) = u^2(v_{L2})$ ja väljundiks E , H kiiruste määramatused $u(v_E) = \sqrt{D(v_E)}$, $u(v_H) = \sqrt{D(v_H)}$. Valem tuletati vastavalt liitmääramatuse hindamise metoodikale (JCGM, 2011). E , H kiiruste standardmääramatuste pinnad on arväärtuste poolest üsna homogeensed (Joon. 9 ja 10). Samuti jääb H määramatus selgelt väiksemaks E määramatusest.



Joonis 9: InSAR mõõtmistest arvatatud E , H kiiruste standardmääramatuste pinnad (2016.06–2022.11).



Joonis 10: InSAR mõõtmistest arvatatud E , H kiiruste standardmääramatuste pinnad (2021.11–2022.11).

1.4 Suuremad liikumised Tallinnas

InSAR kiiruse pika-ajalise lahenduse põhjal (joon. 7) võib Tallinnas välja tuua mitmed piirkonnad, kus esineb suuremaid 4-5 mm/a või üle selle liikumisi:

- lennusadam;
- reisisadama piirkond;
- Nautica keskus;
- Reidi tee, Pikksilma, Tuukri tänavad;
- Kristiines Tedre tn 61, 63, 65;
- Veerenni 40a, 53a.

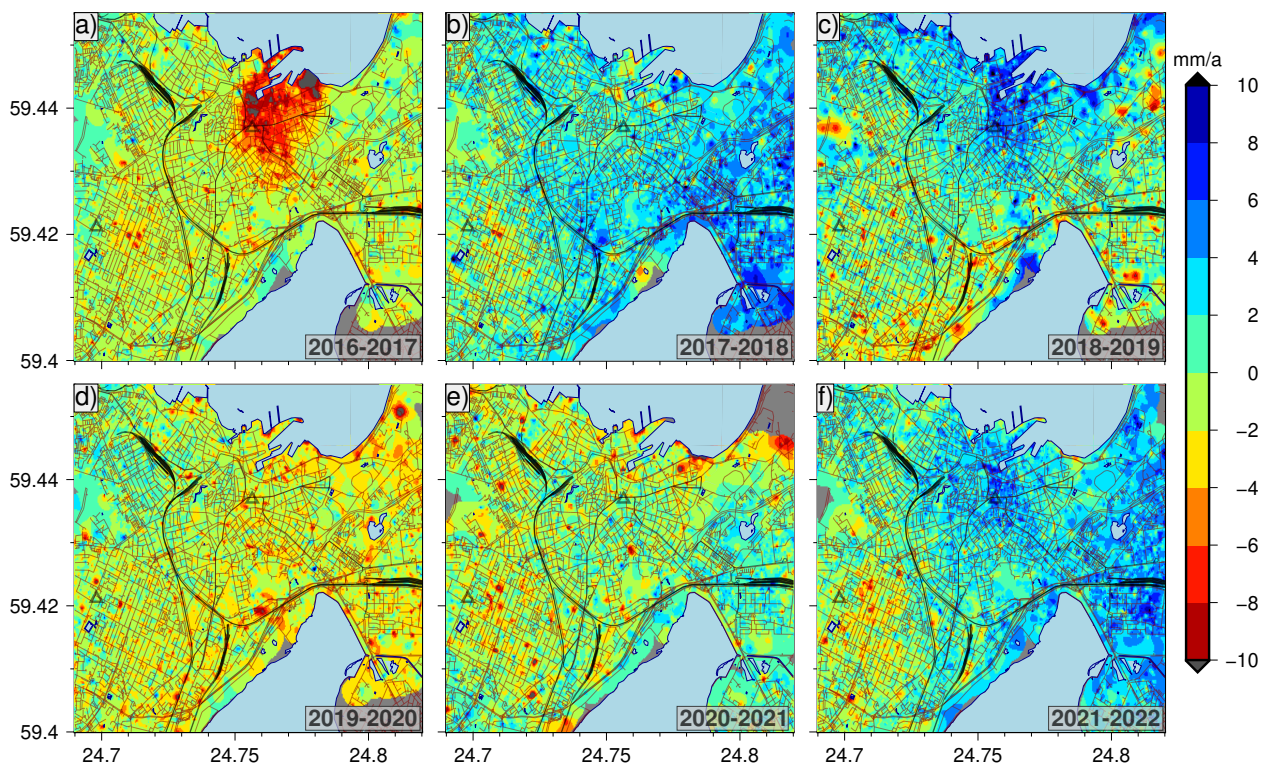
See nimekiri kattub eelmise analüüsi tulemusega. Erinevuseks on vajumiste puudumine Tondi kasarmute kandis (aadressil Tondi tn 53).

1.5 Lühiajaliste vertikaalkiiruste lahenduste aegrida

Lisaks uutele vertikaalkiiruste pindadele esitame uuesti ka varasemalt arvutatud lühikeste analüüside kiiruspinnad, mis võimaldab moodustada ühtse lahenduste aegrea (joon. 11).

Lahendustest eristuvad selgelt ajavahemikud 2016-2017 (a) ja 2018-2019 (c), vajumiskiirusega 10 mm/a ja üle selle kesklinnas ning hilisema tagasiliikumisega. Ka viimane 2021-2022. a lahendus (f) näitab kesklinna kerkimist. Vajumised domineerivad jätkuvalt Kristiine linnaosas.

Pika-ajalise verikaalkiiruse lahenduse (joon. 7, b) põhjal saab järeldada, et hilisemad kerkmisperioodid pole algset vajumist täielikult kesklinnas kompenseerinud.



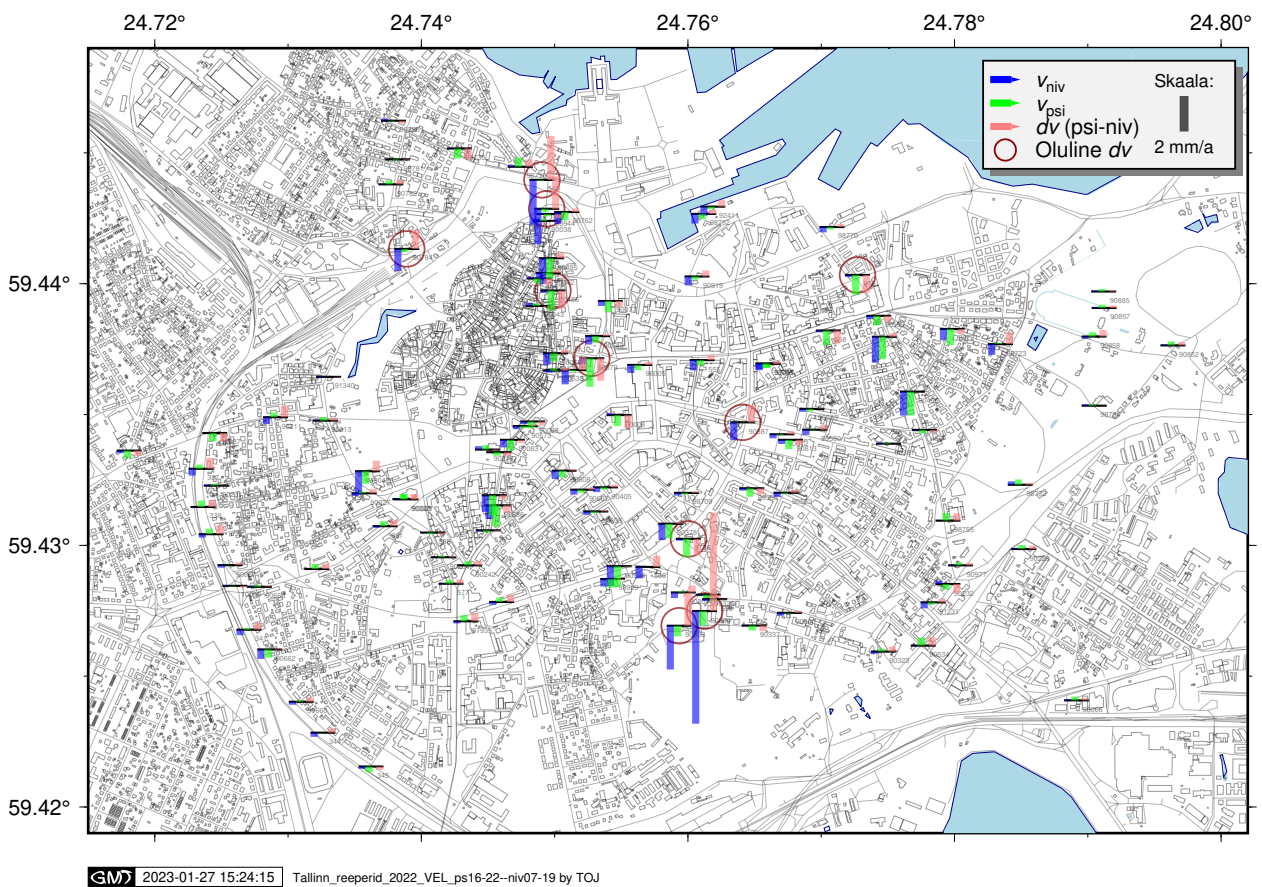
Joonis 11: InSAR kiiruste lühiajaliste vertikaalkiiruspindade aegrida Tallinnas. Kõik lahendused fikseeriti GNSS püsijaama “MUS2” asukohas (tähistatud kolmnurgaga vasakus servas).

2 Nivelleeritud ja InSAR vertikaalkiiruste võrdlus

Võrdleva analüüsi läbiviimiseks reeperitel interpoleeriti reeperite asukohtadesse InSAR vertikaalkiirused, lähtudes võrgustatud mudelpindadest (joon. 7, 8) ja rakendades bikuup interpolatsioonimeetodit (GMT `grdtrack`) koos silumisega (ingl *antialiasing*). Pikast ja lühikestest InSAR lahendustest interpoleeritud kiirused on esitatud joonistel 12, 13 ja 14.

Nivelleerimised Tallinna kõrgusvõrgul 2007/2008 ja 2019. a koos andmetöötamise ja tulemustega on põhjalikult kirjeldatud aruandes Gruno (2020). Kordusnivelleerimiste lähtereeper ning nivelleeritud kiiruste standardmääramatused (usaldusvahemikus 1σ , millele vastab usaldatavus 68.3%) täpsustati üle aruandes Oja ja Gruno (2021). Edasises analüüsis rakendatakse laiendmääramatusi veel ka 2σ (usaldatavusega 95.5%) ja 3σ (usaldatavusega 99.7%) usaldusvahemike korral.

Reeperite koordinaadid ning neile interpoleeritud InSAR kiirused on esitatud lisas L.1.

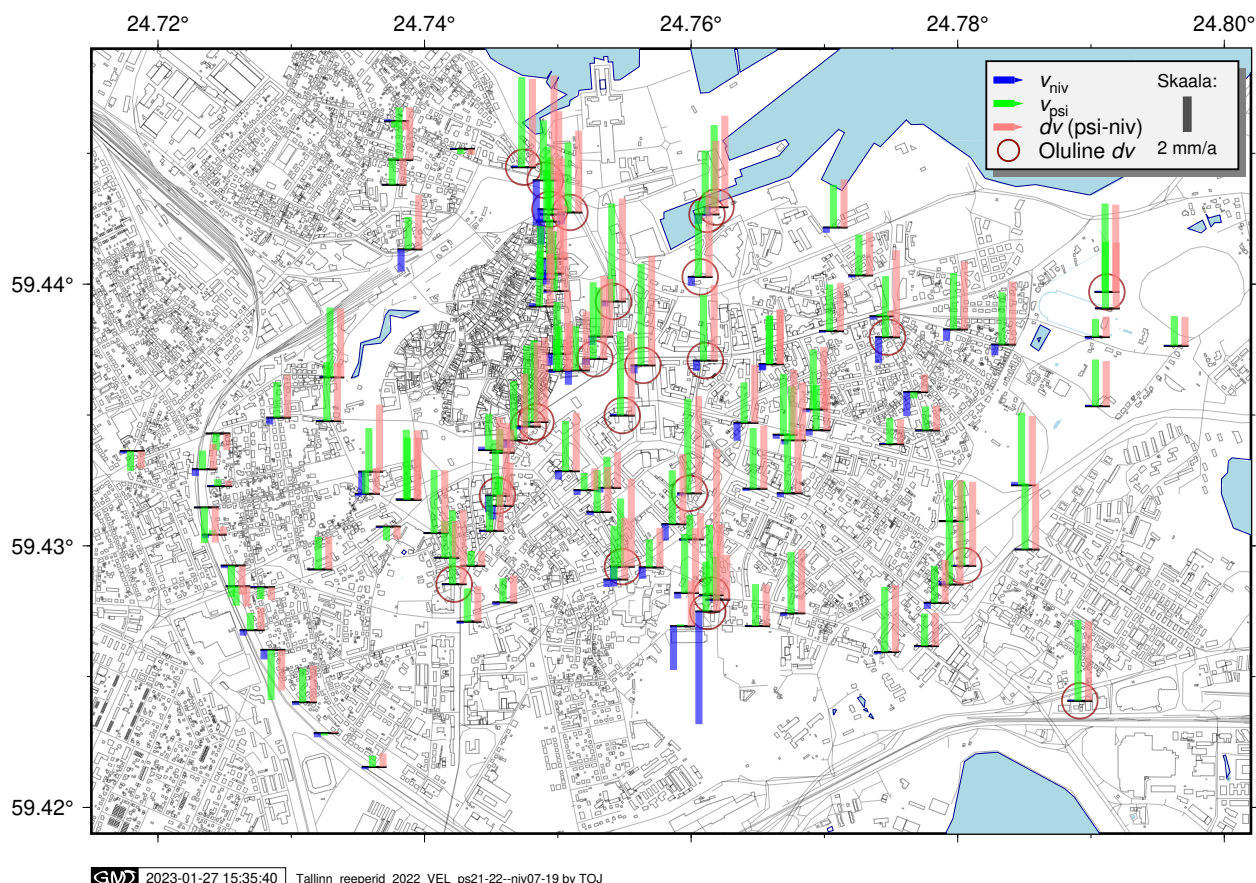


Joonis 12: Nivelleeritud V_{niv} ja InSAR pika lahenduse V_{psi} kiiruste võrdlused Tallinna reeperitel. Punase sõõriga on ümbritsetud reeperid, kus erinevused $dv(\text{psi-niv})$ on statistiliselt olulised usaldusvahemikus 2σ (vt ptk. 2.1).

2.1 Kiiruste erinevuste statistiline analüüs

Järgnevalt analüüsitakse, kas nivelleeritud ja InSAR vertikaalkiiruste erinevused on *statistiliselt olulised* ehk suuremad kui nende liitmääramatused 1σ , 2σ ja 3σ usaldusvahemike korral. Kiiruste erinevused koos 1σ liitmääramatustega on esitatud lisas L.1 olevas tabelis. 2σ ja 3σ liitmääramatuste arvutamiseks tuleb tabeli 1σ väärtused läbi korrutada vastavalt kas koefitsiendiga 2 või 3.

Võrdlev analüüs aitas välja selgitada, et 1σ korral on erinevus (nivelleeritud ja InSAR 2016-



Joonis 13: Nivelleeritud V_{niv} ja InSAR lühikese lahenduse V_{21-22} kiiruste võrdlused Tallinna reeperitel. Punase sõõriga on ümbritsetud reeperid, kus erinevused $dv(\text{psi-niv})$ on statistiliselt olulised usaldusvahemikus 2σ (vt ptk. 2.1).

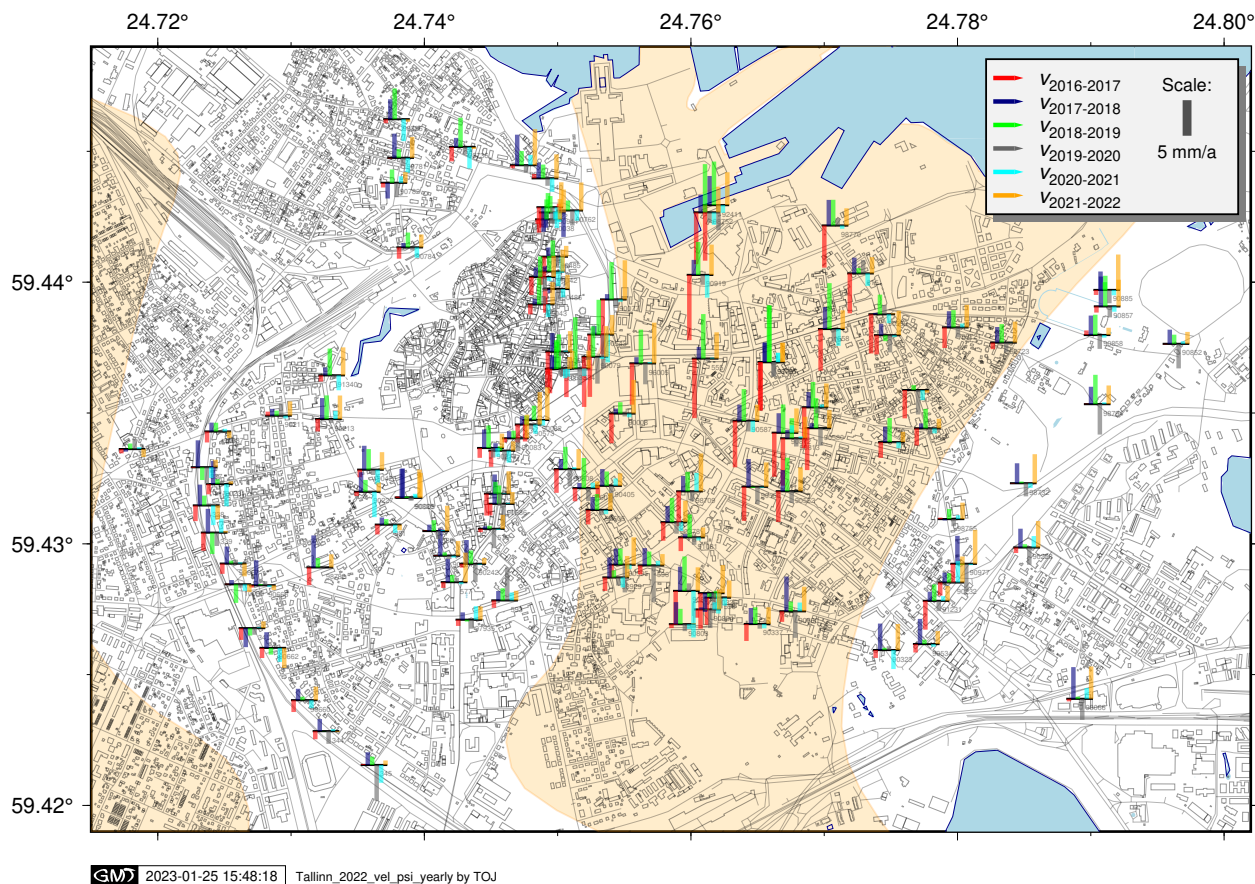
2022. a vertikaalkiiruste vahel) oluline 30 reeperil (26%), seega kiirused on kooskõlas 86 reeperil (74%). 2σ ja 3σ korral on erinevus oluline vastavalt 10 (9%) ja 5 (4%) reeperil, kooskõla leidub seega 106 (91%) ja 111 (96%) reeperil.

Nimekiri 10 reeperiga, kus erinevused on olulised (2σ usaldusvahemikus):

- 1) 63-843-90804
- 2) 63-843-540
- 3) 63-843-90803
- 4) 63-843-522
- 5) 63-843-90784
- 6) 63-843-90587
- 7) 63-843-90486
- 8) 63-843-90079
- 9) 63-843-615
- 10) 63-843-91081

Nendest 7 esimest reeperit kattuvad eelmises, 2021. a analüüsis välja valitud reeperite nimekirjaga.

Analoogne 2σ -põhine võrdlus nivelleeritud ja InSAR 2021-2022. a vertikaalkiiruste vahel selgitas välja 24 reeperit, mille kaardipilt on esitatud joon. 13. Nii kaardilt ja eespool esitatud tulemustest on näha, et märgatav kerkimine kesklinnas ajavahemikus 2021-2022. a põhjustas suuri erinevusi nivelleeritud kiirustest. Sellise lühiajalise kerke võrdlus pika-ajalise nivelleeritud liikumisega pole otstarbekas ega üheselt tõlgendatav. Samuti tuleb siin arvestada lühikese



Joonis 14: InSAR vertikaalkiiruste lühikeste analüüside (2016-2017, ..., 2021-2022) võrdlused Tallinna reeperitel. Taustal on näidatud mattunud ürgorgude kontuurid, vt joon. 1.

InSAR lahenduse suuremate määramatustega (joon. 10, b). Seetõttu neid erinevusi siin eraldi välja ei tooda.

2.2 Võrdluste kokkuvõte

Nii kaardipilt (joon. 12) kui erinevuste statistiline analüüs kinnitavad head kooskõla nivelleeritud ja InSAR pika lahenduse (2016-2022) kiiruste vahel, mis 2σ määramatuse korral leidis kinnitust 91% reeperitel.

Lühike InSAR lahendus (2021-2022) näitab suuremat kerkimist, kuid ka müra suureneb (joon. 12). Sama järelduseni jõuti ka varasemates analüüsides (Oja jt, 2020; Oja ja Gruno, 2021). Kõigi lühikeste InSAR analüüside võrdlus reeperitel (joon. 14) näitab Tallinna kesklinnas selget vajumistrendi 2016-2017. a ja tagasikerget mitmel järgneval perioodil, sh ka 2021-2022. a. Nagu ka vertikaalsete kiiruspindade juures järeldati, võib 2016-2017. a vajumine jätkuvalt domineerida reeperite pika-ajalistes liikumistes, seda eriti Kadrioru mattunud ürgoru piirkonnas.

3 Kokkuvõte

Uurimistöö tulemusena arvutati InSAR analüüsis LOS kiirused PS mõõtmispunktides ning ida-lääne (E) ja vertikaalsuunaliste (H) liikumiskiiruste võrgustatud pinnad Tallinna kesklinna ja sellega piirnevatele aladele. Selleks analüüsiti Sentinel-1 radarpilte PSI meetodil nii pikale (juuni 2016 – nov. 2022, 6.4 aastat) kui lühikesele (nov 2021 – nov 2022, 1 aasta) ajaperioodile. Kiiruspindade referentspunktiks valiti riiklik GNSS püsijaam nimetusega “MUS2” (aadressiga Mustamäe tee 51, Tallinn).

Arvutatud kiiruspindadest ilmnes, et analüüsi alas jäävad pika lahenduse (2016-2022) LOS kiirused vahemikku $-10...2$ mm/a, lühikese lahenduse (2021-2022) korral $-26...15$ mm/a. LOS väärtustest tuletatud vertikaalsed ehk H suunalised kiirused referentspunkti suhtes jäävad pikal ja lühikesel perioodil vastavalt vahemikku $-6...2$ mm/a (keskmise määramatusega ± 0.4 mm/a 1σ usaldusvahemikus) ja $-18...11$ mm/a (± 2.0 mm/a 1σ).

InSAR vertikaalkiiruste lühikeste lahenduste aegrida (uus kiiruspind kombineerituna varasemate pindadega) näitab kesklinnas lisaks varasemale vajumisperioodile (2016-2017) ja kerkimisele (2018-2019) uut kerkeperioodi ka 2021-2022. a. Pika-ajalises lahenduses domineerivad jätkuvalt vajumisliikumised, seda nii kesklinna piirkonnas kui Kristiines. Suuremate liikumistega piirkonnad on eraldi välja toodud.

Veel võib järeldada, et pika-ajalist lahendust mõjutavad uued andmed üha vähem, toimub nõ stabiliseerumine. Lühemate, kuni paariaastaste trendide väljatoomiseks võiks edaspidi InSAR analüüsi ajaperioodi hakata lühendama. Näiteks võiks kasutusele võtta nn libiseva aknaga analüüs, kus kaasatakse ainult 3 viimase aasta SAR andmed.

Võrgustatud InSAR kiiruspinnad võimaldasid vertikaalkiiruste interpoleerimist testala reeperite asukohtades ning edasisi võrdlusi nivelleeritud ning InSAR kiiruste vahel. Võrdlevast analüüsist 2σ usaldusvahemikus selgus, et 91% reeperite puhul olid nivelleeritud ning InSAR kiirused kooskõlas. Eraldi toodi välja reeperid, kus erinevused osutusid olulisteks ning seega vajaksid eraldi tähelepanu.

On soovitatav jätkata InSAR analüüsiga sagedusega kord aastas, et saada parem ülevaade reeperite stabiilsusest. Nii pika- kui lühiajalised InSAR lahendused võimaldavad jälgida reeperite liikumisi, mis aitavad selgitada, kas vajumised aeglustuvad, toimub üleminek kerkimisele või leiab aset stabiliseerumine. Näiteks 2021-2022. a PSI lahendus näitas taas kesklinna reeperite kerkimist.

InSAR kiiruslahendusi aitaks täpsustada ja fikseerida (globaalses geodeetilises referentsraamistikus) täiendavate kombineeritud püsijaamade (GNSS + SAR passiivsed püsipeegeldid) paigaldamine uuringualale. Võrdlusanalüüsi tuleks täiendada ka uuemate kordusnivelleerimistega, et kontrollida väljatoodud reeperite stabiilsust ning täiendavalt valideerida InSAR tulemusi. Võttes arvesse uusi nivelleerimisi 2022. a võiks kaaluda InSAR analüüsi, mis ajaliselt kattuks viimase kordusnivelleerimise perioodiga 2019-2022. a (3 aastat).

Võiks kaaluda InSAR analüüsi perioodiga alla 1 aasta. Hetkel küll kvartaalsed ega pooleaastased analüüsid ei võimalda piisavat piltide arvu (alla 15 SAR pildi) täpse lahenduse arvutamiseks Sentinel-1 praeguse konfiguratsiooni tõttu, vt ptk 1.2. Hetkel on ainult 1 S1A satelliit töös, mille ülelend toimub iga 12 päeva tagant. Olukord paraneb 2023. a, kui orbiiidile saadetakse satelliit S1C ning taastub 6 päevane kordus. Ajalooliselt oleks pooleaastane InSAR analüüs võimalik ajavahemikus mai 2016 – dets. 2021. a.

2022. a koostati teadusartikkel, kus uuriti InSAR liikumiste seoseid mattunud orgude asukohtade ja põhjavee taseme kõikumistega. Artikkel peaks ilmuma sellel aastal pealkirjaga:

Oja, T., Gruno, A. (2023) Monitoring of millimeter-scale deformations in Tallinn using repeated leveling and PS-InSAR analysis of Sentinel-1 data. *Advances in Geodesy and Geoinformation*.

Viited

Blewitt, G., Hammond, W. C., ja Kreemer, C. (2018). Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science. *Eos*, 99.

GPA (2022). Geodeetiliste punktide andmekogu, <https://gpa.maaamet.ee>. Maa-amet. Külastatud: 2022-05-11.

Gruno, A. (2020). InSAR andmete tugineva kaugseire võimalused Tallinna kõrgusvõrgu monitooringuks. Uurimustöö, AS Datel. 30 lk.

JCGM (2011). Evaluation of measurement data. Supplement 2 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement”. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) 102:2011.

NGL (2023). NGL Data Products, <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/MUS2.sta>. The Nevada Geodetic Laboratory. Külastatud: 2022-02-22.

Oja, T. ja Gruno, A. (2021). InSAR kosmoseseire vertikaalliikumiste võrdlusanalüüs Tallinna kõrgusvõrgul aastatel 2016-2021. Uurimistöö, AS Datel. 27 lk.

Oja, T., Gruno, A., ja Palmas, M. (2020). InSAR kaugseire andmete tuginevate deformatsioonide võrdlusanalüüs Tallinna kõrgusvõrgu testalas. Uurimistöö, AS Datel. 39 lk.

Lisad

L.1 Nivelleeritud ja InSAR vertikaalkiirused reeperitel

Tabel Tallinna testala reeperite koordinaatide ja InSAR vertikaalkiiruste ning nende erinevusega nivelleeritud kiirustest. Tabeli veerud:

- 1) Jknr – järjekorranumber
- 2) ID nr – GPA ID number (gpa.maaamet.ee)
- 3) *Lat* – idapikkus (kraadides)
- 4) *Long* – põhjalaius (kraadides)
- 5) $V_1 = V_{\text{psi16-22}}$ – InSAR kiirus ajavahemikule 2016.07 - 2022.11
- 6) $u(V_1)$ – InSAR kiiruse V_1 määramatus (1σ)
- 7) $V_2 = V_{\text{psi21-22}}$ – InSAR kiirus ajavahemikule 2021.11 - 2022.11
- 8) $u(V_2)$ – InSAR kiiruse V_2 määramatus (1σ)
- 9) dV_1 – InSAR (2016-2022) kiiruse erinevus nivelleeritud kiirusest: $dV_1 = V_1 - V_{\text{niv}}$
- 10) $u(dV_1)$ – kiiruste erinevuse dV_1 määramatus (1σ): $u(dV_1) = \sqrt{u^2(V_1) + u^2(V_{\text{niv}})}$
- 11) dV_2 – InSAR (2021-2022) kiiruse erinevus nivelleeritud kiirusest: $dV_2 = V_2 - V_{\text{niv}}$, mille määramatus on väärtuselt praktiliselt võrdne $u(V_2)$ väärtusega.

Jknr	Reeperi ID nr	Koordinaadid EUREF-EST97		Kiirused [mm/a]				Kiiruste erinevused [mm/a]		
		<i>Lat</i> (°)	<i>Long</i> (°)	V_1	$u(V_1)$	V_2	$u(V_2)$	dV_1	$u(dV_1)$	dV_2
1	63-843-90804	24.76124	59.42749	-0.80	0.40	2.81	1.94	5.53	0.40	9.14
2	63-843-540	24.74904	59.44397	-0.05	0.39	3.37	2.04	2.48	0.39	5.89
3	63-843-90803	24.75934	59.42693	-0.60	0.40	0.12	2.01	1.86	0.40	2.57
4	63-843-522	24.74941	59.44286	-0.17	0.38	3.51	2.01	1.83	0.38	5.51
5	63-843-453	24.77473	59.43797	-1.26	0.38	3.44	1.99	0.20	0.38	4.89
6	63-843-90485	24.74977	59.44098	-1.15	0.37	1.52	1.98	0.30	0.37	2.97
7	63-843-90455	24.77684	59.43588	-1.35	0.38	-0.35	1.96	0.01	0.38	1.00
8	63-843-90425	24.73595	59.43284	-0.71	0.37	2.46	2.00	0.60	0.37	3.77
9	63-843-90784	24.73890	59.44133	-0.17	0.37	1.82	1.95	1.07	0.37	3.06
10	63-843-90595	24.75484	59.42920	-1.15	0.37	3.84	1.95	-0.04	0.37	4.95
11	63-843-90587	24.76411	59.43470	-0.01	0.37	2.27	1.97	0.99	0.37	3.27
12	63-843-575	24.74546	59.43192	-1.13	0.38	3.15	1.97	-0.20	0.38	4.08
13	63-843-90378	24.75872	59.43083	-0.83	0.37	3.03	2.02	0.09	0.37	3.95
14	63-843-534	24.75145	59.43670	-0.09	0.37	2.51	1.95	0.72	0.37	3.32
15	63-843-90686	24.74573	59.43153	-1.20	0.39	1.67	1.97	-0.43	0.39	2.43
16	63-843-90762	24.75091	59.44274	-0.47	0.38	3.94	1.94	0.20	0.38	4.60
17	63-843-90069	24.75007	59.43734	-0.46	0.38	2.90	2.04	0.19	0.38	3.55
18	63-843-98721	24.77983	59.43827	-0.91	0.38	3.18	2.01	-0.26	0.38	3.82
19	63-843-596	24.75700	59.42918	-0.01	0.38	1.59	2.03	0.63	0.38	2.23
20	63-843-98723	24.78344	59.43769	0.07	0.37	2.94	1.97	0.67	0.37	3.55
21	63-843-555	24.76106	59.43708	-0.30	0.38	3.69	1.99	0.28	0.38	4.26
22	63-843-98752	24.76119	59.44267	-0.30	0.37	3.59	1.98	0.24	0.37	4.13
23	63-843-90662	24.72862	59.42602	-0.47	0.38	-2.82	2.02	0.07	0.38	-2.28
24	63-843-92411	24.76187	59.44294	-0.13	0.37	4.62	1.99	0.38	0.37	5.14
25	63-843-90919	24.76068	59.44028	-0.17	0.39	4.26	2.02	0.33	0.39	4.76
26	63-843-90543	24.75322	59.43800	-0.38	0.38	2.76	1.96	0.10	0.38	3.23
27	63-843-90608	24.75071	59.43286	-0.38	0.37	2.82	1.96	0.09	0.37	3.29
28	63-843-96005	24.75638	59.43690	-0.29	0.37	5.71	1.98	0.17	0.37	6.17
29	63-843-90083	24.74682	59.43403	-0.60	0.38	3.32	2.02	-0.18	0.38	3.75
30	63-843-93929	24.75435	59.42872	-0.48	0.37	3.02	1.97	-0.06	0.37	3.45
31	63-843-337	24.72347	59.43293	0.23	0.38	1.05	2.00	0.62	0.38	1.43
32	63-843-90211	24.72905	59.43490	0.27	0.37	2.00	1.97	0.65	0.37	2.38
33	63-843-98785	24.76599	59.43695	-0.25	0.37	2.71	2.02	0.12	0.37	3.08

Jätkub järgmisel lk...

Jätkub eelmisel lk...

34	63-843-90079	24.75278	59.43715	-1.61	0.37	4.31	2.01	-1.26	0.37	4.65
35	63-843-91231	24.77839	59.42782	-0.13	0.37	2.08	2.02	0.21	0.38	2.41
36	63-843-97007	24.76603	59.43695	-0.25	0.37	2.73	2.02	0.07	0.37	3.05
37	63-843-90801	24.75965	59.42820	0.07	0.39	3.32	1.97	0.38	0.39	3.64
38	63-843-341	24.72706	59.42678	0.09	0.37	0.97	1.97	0.39	0.37	1.28
39	63-843-98770	24.77081	59.44217	-0.14	0.37	2.41	1.94	0.16	0.37	2.71
40	63-843-90580	24.76952	59.43442	-0.04	0.37	2.53	2.00	0.27	0.38	2.83
41	63-843-90077	24.75418	59.43934	-0.63	0.38	5.51	2.02	-0.35	0.38	5.79
42	63-843-90607	24.75210	59.43213	-0.17	0.37	0.96	1.95	0.10	0.37	1.23
43	63-843-90042	24.74951	59.44041	-0.08	0.37	3.06	2.01	0.19	0.37	3.33
44	63-843-90405	24.75381	59.43222	-0.12	0.37	1.75	1.99	0.15	0.37	2.02
45	63-843-344	24.73261	59.42284	0.01	0.38	-0.14	2.00	0.25	0.38	0.10
46	63-843-90562	24.76735	59.43201	-0.06	0.37	3.36	1.99	0.17	0.37	3.59
47	63-843-90813	24.76770	59.43404	-0.53	0.37	3.02	1.98	-0.30	0.37	3.26
48	63-843-90812	24.76705	59.43425	-0.05	0.37	3.43	1.97	0.18	0.37	3.65
49	63-843-339	24.72423	59.43043	0.31	0.38	0.26	2.03	0.50	0.38	0.45
50	63-843-90606	24.75309	59.43130	-0.10	0.37	2.35	1.97	0.09	0.37	2.53
51	63-843-90559	24.77431	59.43877	-0.53	0.38	0.14	1.97	-0.35	0.38	0.32
52	63-843-90573	24.74779	59.43456	-0.11	0.37	4.56	1.99	0.06	0.37	4.73
53	63-843-90660	24.73099	59.42402	0.08	0.37	1.90	1.97	0.24	0.37	2.07
54	63-843-90585	24.76929	59.43522	-0.14	0.37	3.36	1.98	0.03	0.37	3.52
55	63-843-98709	24.75988	59.43201	-0.09	0.38	5.32	2.00	0.07	0.38	5.48
56	63-843-593	24.74602	59.42784	0.25	0.37	1.36	1.99	0.41	0.37	1.52
57	63-843-90600	24.76763	59.42742	-0.04	0.38	3.45	1.99	0.12	0.38	3.61
58	63-843-90082	24.74836	59.43473	-0.38	0.37	4.59	1.98	-0.23	0.38	4.74
59	63-843-10533	24.75022	59.43671	-0.04	0.37	2.47	1.95	0.11	0.37	2.62
60	63-843-90227	24.73572	59.43199	0.09	0.37	1.30	2.02	0.24	0.38	1.45
61	63-843-91201	24.71807	59.43362	-0.43	0.37	-1.11	1.98	-0.29	0.37	-0.97
62	63-843-90667	24.72564	59.42925	0.02	0.37	-1.79	1.99	0.16	0.38	-1.65
63	63-843-90486	24.74987	59.43974	-1.12	0.37	1.99	1.98	-0.99	0.37	2.12
64	63-843-90565	24.76479	59.43218	-0.48	0.37	3.41	1.99	-0.35	0.37	3.55
65	63-843-90858	24.79047	59.43798	0.24	0.38	1.02	1.99	0.37	0.38	1.15
66	63-843-345	24.73622	59.42155	-0.32	0.37	0.63	1.99	-0.19	0.37	0.77
67	63-843-97935	24.74334	59.42710	0.34	0.37	1.88	1.98	0.45	0.37	2.00
68	63-843-90323	24.77466	59.42594	0.16	0.37	3.66	1.97	0.28	0.37	3.78
69	63-843-615	24.77272	59.44033	-1.10	0.38	2.30	2.01	-0.99	0.38	2.42
70	63-843-91081	24.76003	59.43025	-1.01	0.38	1.38	1.97	-0.91	0.38	1.48
71	63-843-598	24.76201	59.42794	-0.12	0.37	2.42	1.95	-0.02	0.38	2.52
72	63-843-558	24.77052	59.43821	-0.82	0.37	2.62	1.98	-0.72	0.38	2.72
73	63-843-981	24.73728	59.43073	0.29	0.37	-0.78	1.97	0.37	0.37	-0.70
74	63-843-576	24.74502	59.43057	-0.11	0.37	1.97	1.95	-0.05	0.38	2.03
75	63-843-456	24.77774	59.43441	-0.20	0.37	1.35	1.96	-0.15	0.37	1.40
76	63-843-90534	24.77765	59.42617	0.44	0.37	1.83	1.97	0.48	0.37	1.87
77	63-843-90326	24.76152	59.42811	-0.19	0.38	3.95	1.98	-0.15	0.38	3.99
78	63-843-577	24.74223	59.42853	0.21	0.37	4.15	1.97	0.24	0.37	4.18
79	63-843-98782	24.73215	59.42910	0.28	0.39	1.84	2.00	0.30	0.39	1.86
80	63-843-338	24.72363	59.43147	0.36	0.38	-1.99	1.98	0.38	0.38	-1.97
81	63-843-90782	24.73771	59.44380	0.21	0.37	1.50	1.99	0.23	0.37	1.51
82	63-843-90781	24.73822	59.44475	-0.05	0.38	2.95	1.99	-0.05	0.38	2.96
83	63-843-90242	24.74363	59.42924	0.24	0.37	0.83	2.02	0.25	0.38	0.84
84	63-843-90687	24.72450	59.43429	-0.48	0.37	-0.93	2.00	-0.48	0.37	-0.93
85	63-843-574	24.74580	59.43356	-0.20	0.37	1.31	1.94	-0.21	0.37	1.30
86	63-843-90005	24.73885	59.43176	0.30	0.37	3.49	2.01	0.29	0.38	3.49
87	63-843-98755	24.77951	59.43094	0.42	0.37	2.31	1.96	0.41	0.37	2.30
88	63-843-588	24.74085	59.43049	-0.07	0.38	3.55	2.00	-0.09	0.38	3.54
89	63-843-90204	24.74166	59.42955	0.08	0.37	2.07	2.00	0.06	0.37	2.06
90	63-843-533	24.75003	59.43668	0.11	0.37	1.70	1.96	0.09	0.37	1.68
91	63-843-90337	24.76496	59.42694	-0.28	0.37	2.36	1.99	-0.30	0.37	2.33
92	63-843-90320	24.73876	59.43177	0.29	0.37	3.93	2.02	0.26	0.37	3.89

Jätkub järgmisel lk...

Jätkub eelmisel lk...

93	63-843-98736	24.74284	59.44517	-0.56	0.38	-0.29	2.00	-0.60	0.38	-0.33
94	63-843-10090	24.72600	59.42846	-0.04	0.39	-1.09	2.02	-0.08	0.39	-1.13
95	63-843-90213	24.73280	59.43477	0.20	0.37	3.32	2.03	0.16	0.37	3.28
96	63-843-90977	24.78045	59.42924	0.17	0.37	4.77	1.97	0.12	0.38	4.72
97	63-843-90228	24.78518	59.42986	0.23	0.37	3.73	2.00	0.19	0.37	3.68
98	63-844-90852	24.79638	59.43764	0.23	0.37	1.68	2.04	0.18	0.37	1.63
99	63-843-91340	24.73304	59.43644	0.01	0.37	3.93	1.98	-0.04	0.37	3.88
100	63-843-90857	24.79122	59.43908	0.19	0.37	3.75	2.04	0.14	0.38	3.70
101	63-843-90666	24.72784	59.42842	0.09	0.37	-0.67	1.97	0.03	0.37	-0.73
102	63-843-98066	24.78915	59.42408	0.21	0.37	4.55	1.97	0.15	0.37	4.48
103	63-843-90944	24.74958	59.44266	-0.14	0.38	3.22	2.04	-0.21	0.38	3.16
104	63-843-90231	24.72461	59.43229	0.08	0.38	0.39	2.00	0.01	0.38	0.32
105	63-843-90381	24.77504	59.43389	0.06	0.38	1.46	2.07	-0.01	0.38	1.40
106	63-843-90885	24.79119	59.43970	0.14	0.37	4.98	2.06	0.07	0.37	4.91
107	63-843-90500	24.74883	59.44020	-0.27	0.37	2.97	1.98	-0.35	0.37	2.88
108	63-843-98794	24.79048	59.43534	0.08	0.40	2.62	1.96	-0.01	0.40	2.54
109	63-843-98710	24.74743	59.44447	0.51	0.37	5.06	1.96	0.42	0.37	4.97
110	63-941-90386	24.73791	59.44623	-0.04	0.37	-0.36	2.02	-0.15	0.37	-0.47
111	63-843-90008	24.75484	59.43498	-0.62	0.38	4.72	2.01	-0.73	0.38	4.62
112	63-843-90038	24.74930	59.44240	0.11	0.37	2.87	2.08	-0.03	0.38	2.73
113	63-843-90043	24.74875	59.43915	0.14	0.39	3.12	1.98	-0.04	0.39	2.95
114	63-843-90215	24.74495	59.43366	0.24	0.37	2.03	1.97	0.05	0.37	1.84
115	63-843-98732	24.78493	59.43232	0.30	0.37	4.08	1.97	0.11	0.38	3.89
116	63-843-90232	24.77950	59.42852	-0.31	0.37	3.66	2.03	-0.51	0.37	3.46
KESKV.				-0.19	0.37	2.39	1.99	0.16	0.38	2.74
SD				0.43	0.01	1.67	0.03	0.70	0.01	1.84
MIN.				-1.61	0.37	-2.82	1.94	-1.26	0.37	-2.28
MAKS.				0.51	0.40	5.71	2.08	5.53	0.40	9.14

L.2 Kaasnevate failide nimekiri

1. LOS failid csv formaadis, kus veergusid eraldab koma. Faili nimes on määratud orbiidi nr ja vaatesuund (asc, desc).
 - (a) CSV failide nimekiri eraldi pikale ja lühikesele analüüsile (kokku pakituna failides `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_LOS.csv.zip`, `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_LOS.csv.zip`):
 - i. `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_LOS_DESC-80.csv`
 - ii. `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_LOS_ASC-160.csv`
 - iii. `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_LOS_DESC-80.csv`
 - iv. `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_LOS_ASC-160.csv`
 - (b) CSV failide sisu veergude kaupa:
 - i. LAT – punkti geograafiline laiuskraad [°]
 - ii. LON – punkti geograafiline pikkuskraad [°]
 - iii. CUMUL. DISP. – kogudeformatsioon ajavahemiku jooksul [mm]
 - iv. VEL – kiirus lineaarsest mudelist [mm/a]
 - v. SIGMA VEL – kiiruse standardhälve [mm/a]
 - vi. COHERENCE – ajaline koherentsus vahemikus 0...1
 - vii. STDEV – lineaarse kiirusmudeli jääkhälvete standardhälve [mm]
 - viii. ID – punkti number, mis pannakse automaatselt
2. LOS failid shp formaadis, tuletatud csv failidest. Kuna faile on mitu, siis on need kokku pakitud.
 - (a) SHP failide nimekiri:
 - i. `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_LOS_ASC-160.SHP.zip`
 - ii. `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_LOS_DESC-80.SHP.zip`
 - iii. `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_LOS_ASC-160.shp.zip`
 - iv. `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_LOS_DESC-80.shp.zip`
3. Võrgustatud H , E suunalised kiiruspinnad „geotiff“ rasterformaadis koos veahinnangutega (laiendiga `*_UNC.tiff`), ühik mm/a, faili nimes kajastub ajavahemik:
 - (a) `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_H.tiff`
 - (b) `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_E.tiff`
 - (c) `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_H.tiff`
 - (d) `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_E.tiff`
 - (e) `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_H_UNC.tiff`
 - (f) `Tallinn_InSAR_2016-2022_VEL_E_UNC.tiff`
 - (g) `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_H_UNC.tiff`
 - (h) `Tallinn_InSAR_2021-2022_VEL_E_UNC.tiff`
4. Sille analüüside lingid (vajalik eelnev sisselogimine):
 - (a) ASC #160 orbiit, pikk lahendus: www.sille.space/app/#/map/498/3730
 - (b) DESC #80 orbiit, pikk lahendus: www.sille.space/app/#/map/498/3728
 - (c) ASC #160 orbiit, lühike lahendus: sille.space/app/#/map/498/3846
 - (d) DESC #80 orbiit, lühike lahendus: www.sille.space/app/#/map/498/3845