

GNSS arengud

Harli Jürgenson, geodeesiadotsent
Eesti Maaülikool
Geomaatika õppetool

EGÜ aastakonverents 2021

Teemad

- ▶ GPS arengud
- ▶ Beidou-3 signaalide kättesaadavus Eestis (sh seadmete tugi),
- ▶ Sideprobleemid RTK mõõtmises
- ▶ Automaatne kaldeparand GNSS seadmetes
- ▶ Fotode sidumine punktiga, Exif koordinaadid

GNSS arengud

- ▶ Satelliitsüsteemidest on siin käsitletud rohkem USA GPS ja Hiina BeiDou süsteemi, kuna seal on uued signaalid ja satelliidid, mis mõjutavad otseselt meie mõõteseadmeid.
- ▶ Ka Galileo ja GLONASS on uuenenud, kuid mitte nii oluliselt.

GPS satelliitsüsteemi areng

- ▶ GPS – praegu on 31 satelliiti töös, uusim on aastast 2020
- ▶ 2005. aastal alustas tööd esimene IIR–M seeria satelliit, millele oli lisatud L2C võimekus, neid saadeti orbiidile 2009. aastani.
- ▶ Alates 2010. aastast orbiidile saadetud IIF põlvkonna satelliidid edastavad lisaks ka kolmandat sagedust L5

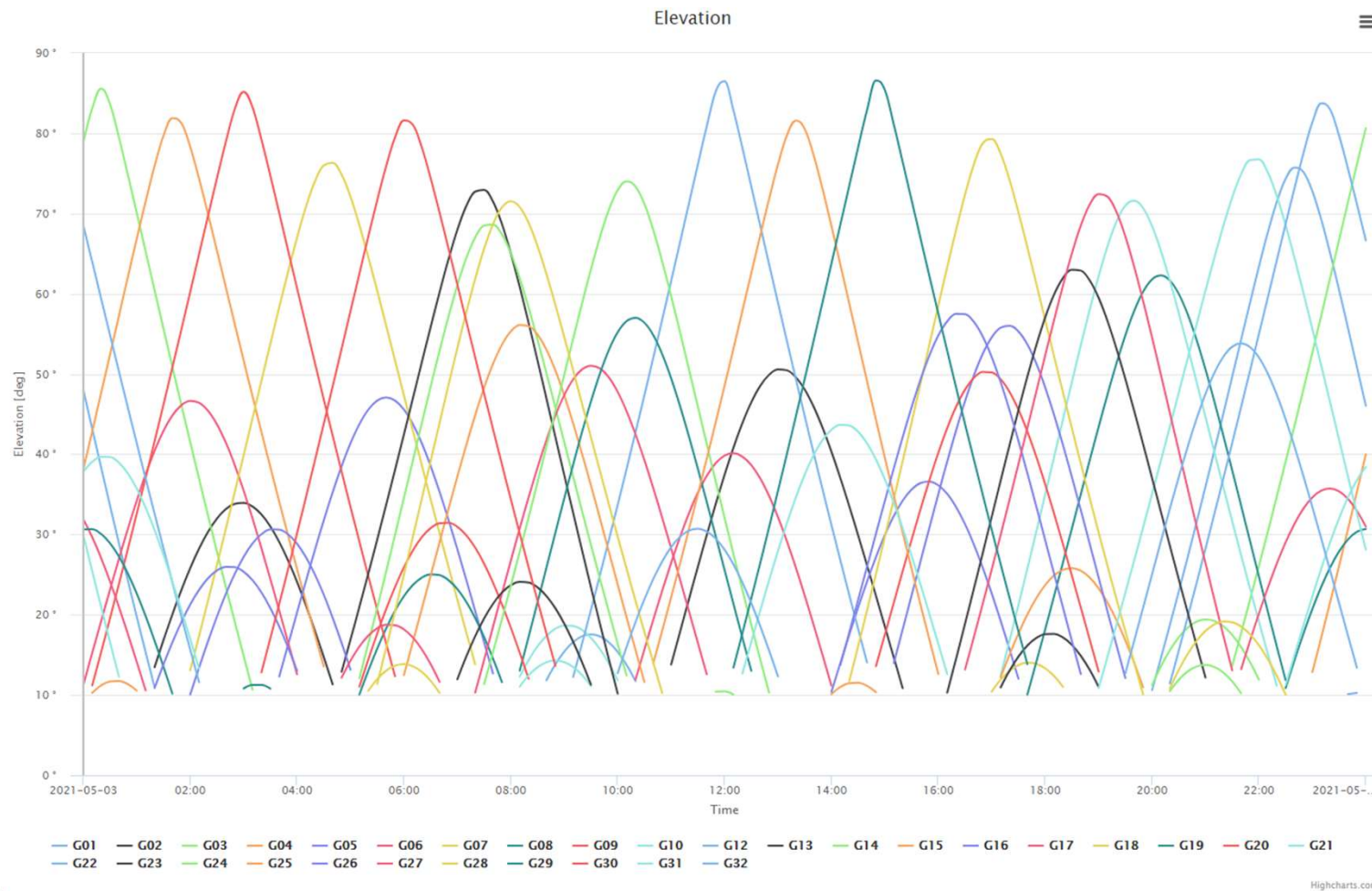
GPS satelliitsüsteemi areng

- ▶ Nüüdseks toetab 23 satelliiti L2C signaali ja juba 16 satelliiti L5 signaali.
- ▶ Neli satelliiti toetab täiesti uut L1C signaali
- ▶ Vaid kaheksa satelliiti on veel vanemast IIR põlvkonnast (puudub nii L2C kui L5),

Mõju sedmetele

- ▶ GPS L2C ja L5 toega GNSS seadmed on muutunud ajas üha efektiivsemaks, ilma et seda väga rõhutatud oleks. Ja need muutuvad edaspidi veelgi paremaks.
- ▶ Seega, seoses uute satelliitide saatmisega orbiidile areneb GPS süsteem jätkuvalt, mis ühtlasi parendab L2C ja L5 toega seadmete suutlikust.

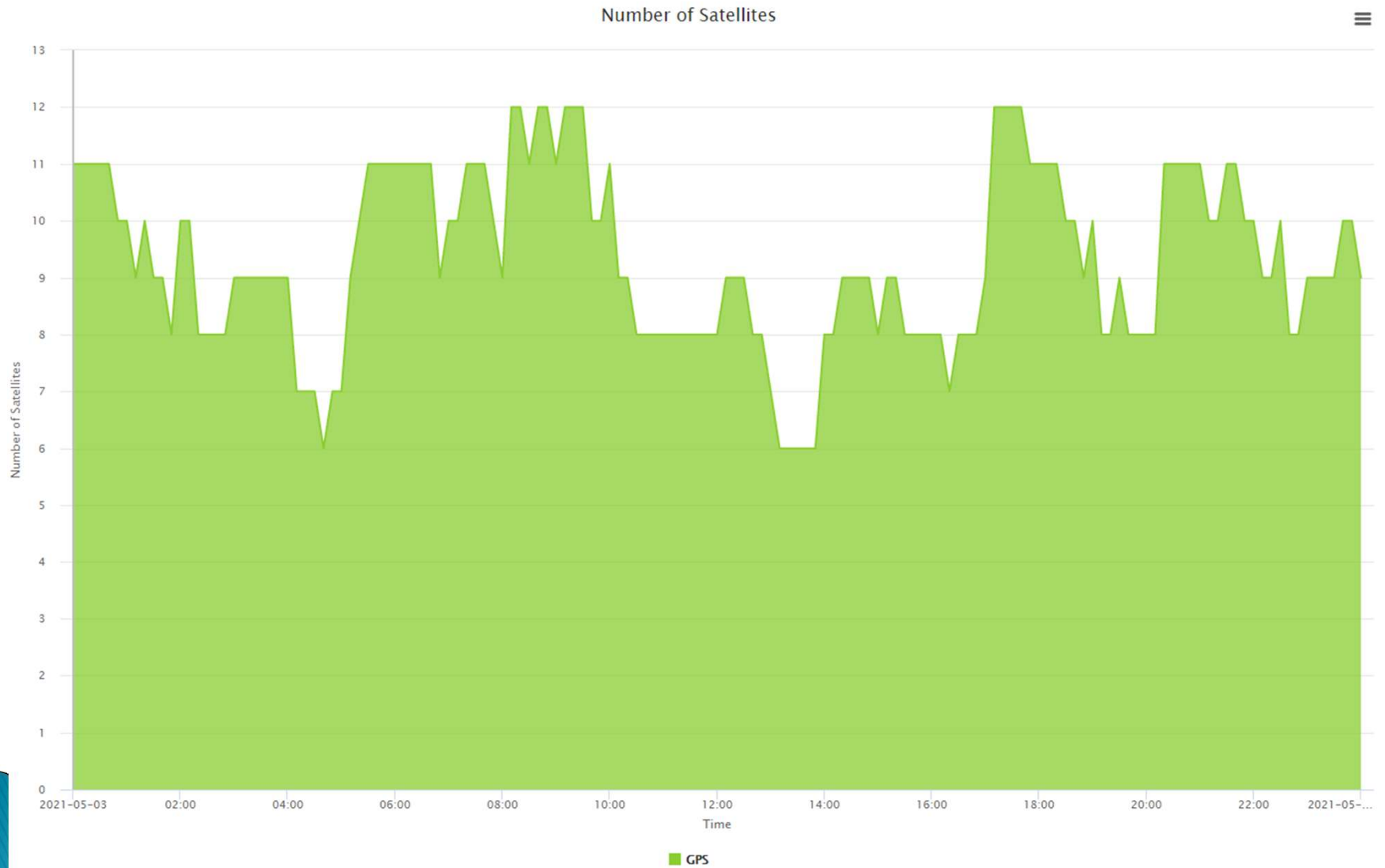
GPSi satelliitide kõrgused on head. (Trimble „GNSS Planning“ tarkvara.



Number of Satellites

EGÜ aastakonverents 2021, HJ

GPS satelliitide nähtavus (6-12)



GPS näide- väga hea PDOP

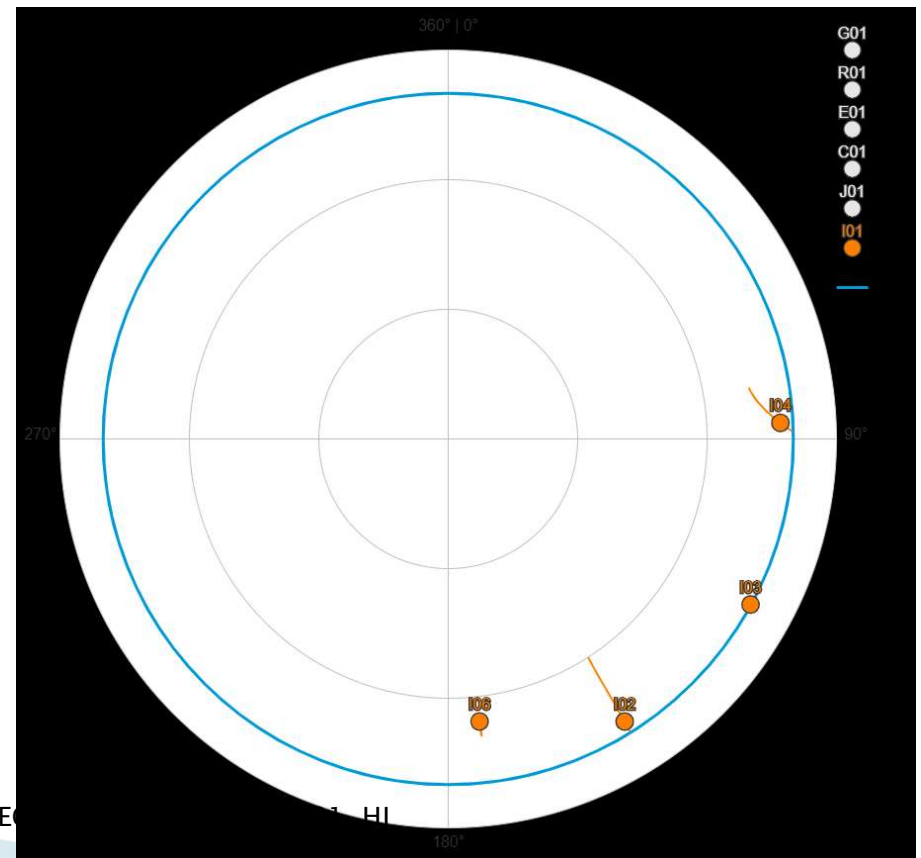


GPS uus signaal L1C

- ▶ GPSi uusim satelliitide põlvkond IIIA (orbiidil on aktiivsena juba neli satelliiti) edastab signaali L1C. Selle toetamiseks läheb vaja uusimaid GNSS seadmeid, mis tulid turule viimase paari aasta jooksul.

Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)

Kokku 7 kohalikku satelliiti,
Eestis näeb madalal
1–4 satelliiti,
päeval ühte.
Pilt on kell 18 pl.



Beidou – Kas saame sellest kasu?

- ▶ Praegu on u 48 satelliiti töös, uusimad on aastast 2020

Beidou omapärad

- ▶ Satelliidid on:
 - ▶ 1. Geostatsionaarsel orbiidil (GEO, 36 000km)
 - ▶ 2. Geosünkroonsel orbiidil (IGSO 36 000km))
 - ▶ 3. Tavalisel GNSS “kesk” orbiidil (MEO, u 20 000 km)
 - ▶ 4. Uus probleem: eri põlvkonna satelliitidel on erinevad sagedused

Geostatsionaarne (GEO) ja geosünkroonne (IGSO) orbiit

- ▶ Satelliidi paigalpüsimine tagatakse lihtsa tõsiasjaga, et satelliit liigub ekvaatori tasandil ümber maakera samas tempos kui maakera pöörleb ümber oma telje.
- ▶ Veel on kasutusel geosünkroonne orbiit (IGSO, samuti u 36 000 km). Selle orbiidiga satelliidid ei ole ekvaatori tasandil (nurk 55 kraadi), mistõttu satelliit teeb n-ö kaheksaid mingi territooriumi kohal.

Beidou põlvkonnad (tänapäevane seis)

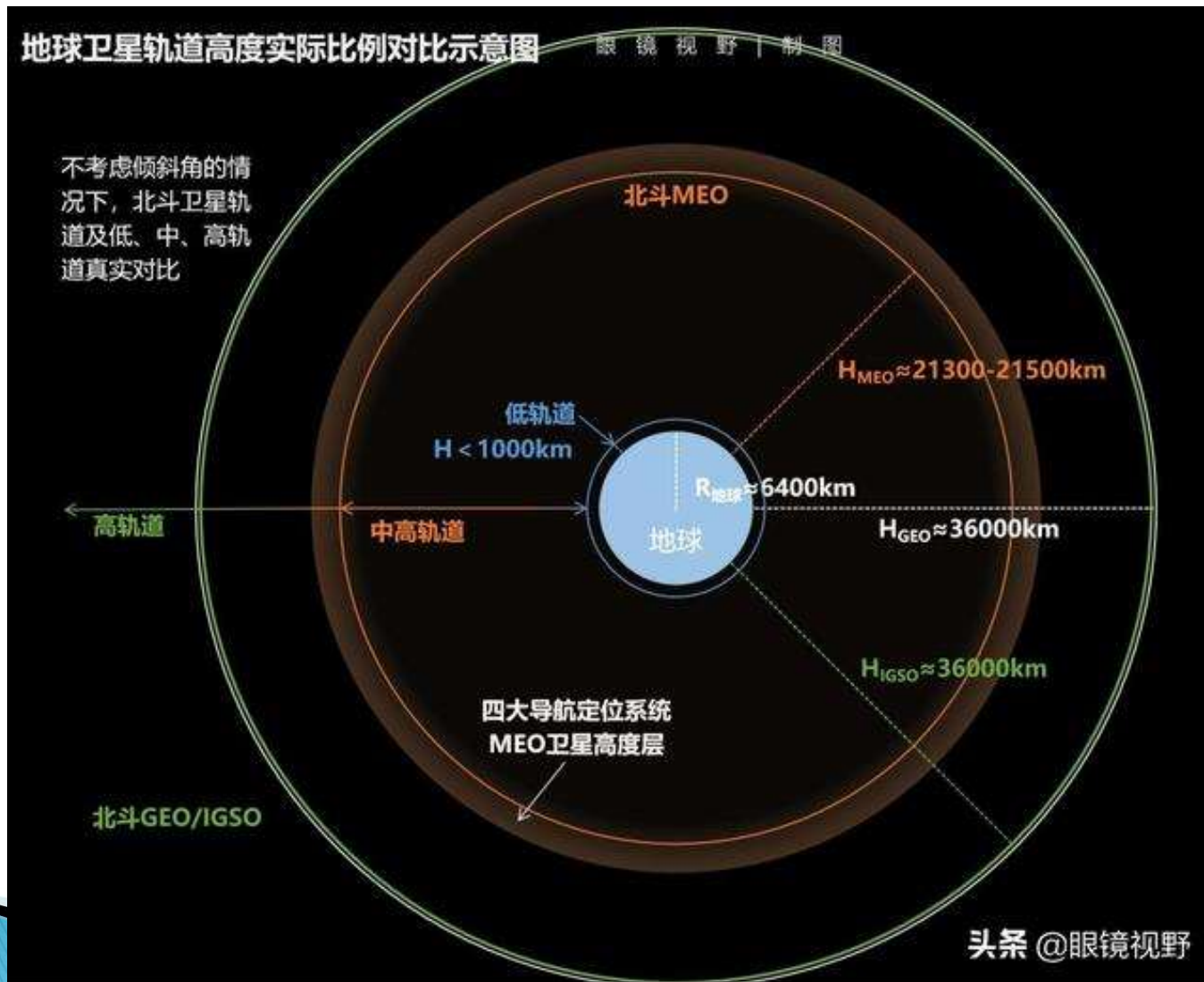
- ▶ **Beidou2 (u 2010–2016,2018)**
- ▶ 5 satelliiti GEO orbiidil
- ▶ 5 satelliiti IGSO orbiidil
- ▶ 3 satelliiti MEO orbiidil (ülemaailmne trajektor)

- ▶ **Beidou3 (2016–2020)**
- ▶ 4 satelliiti GEO orbiidil
- ▶ 5 satelliiti IGSO orbiidil
- ▶ 28 satelliiti on MEO orbiidil

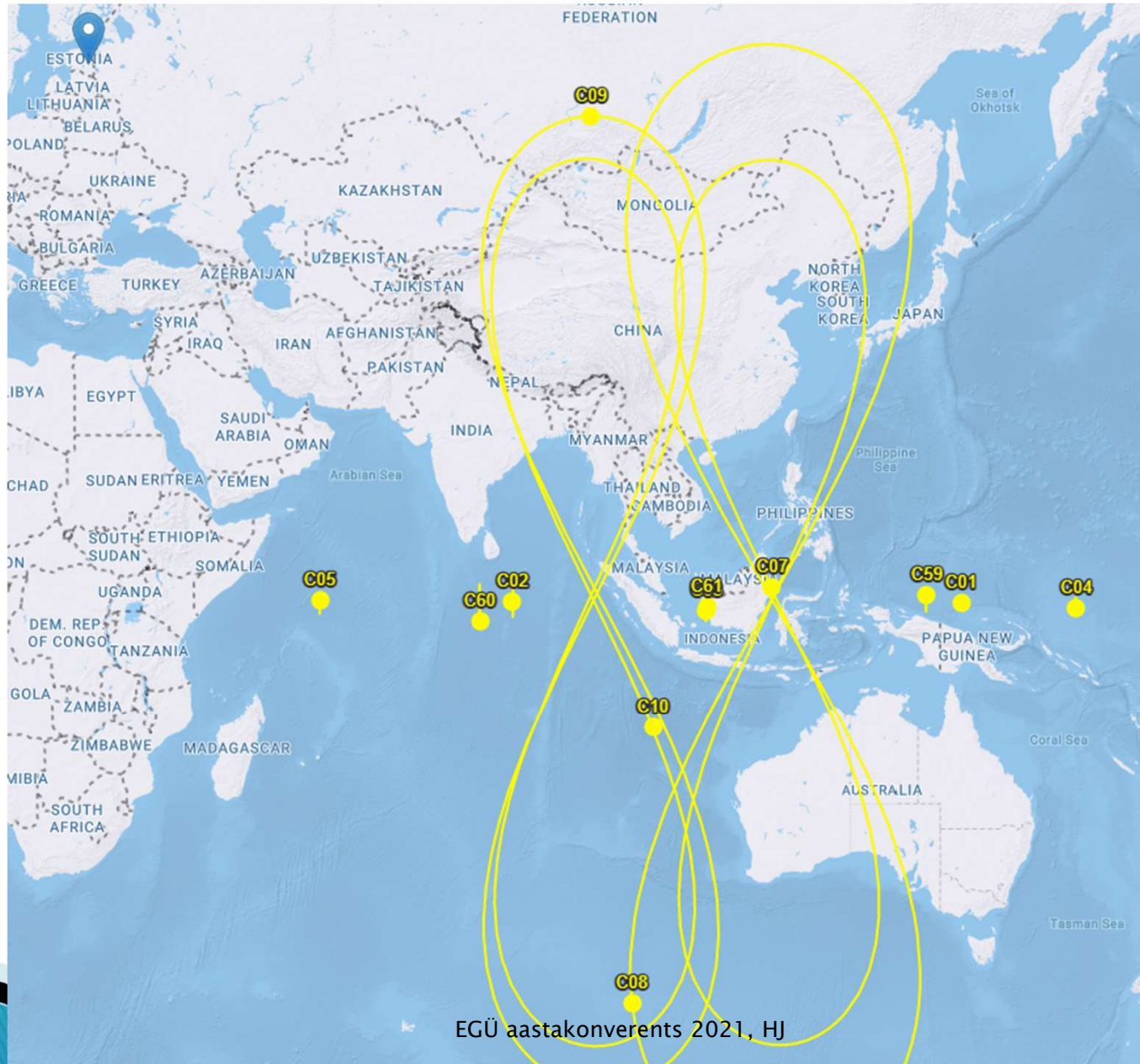
MEO, GEO ja IGSO orbiit



GEO on kõrgemal kui MEO



Beidou satelliidid GEO ja IGSO orbiidil



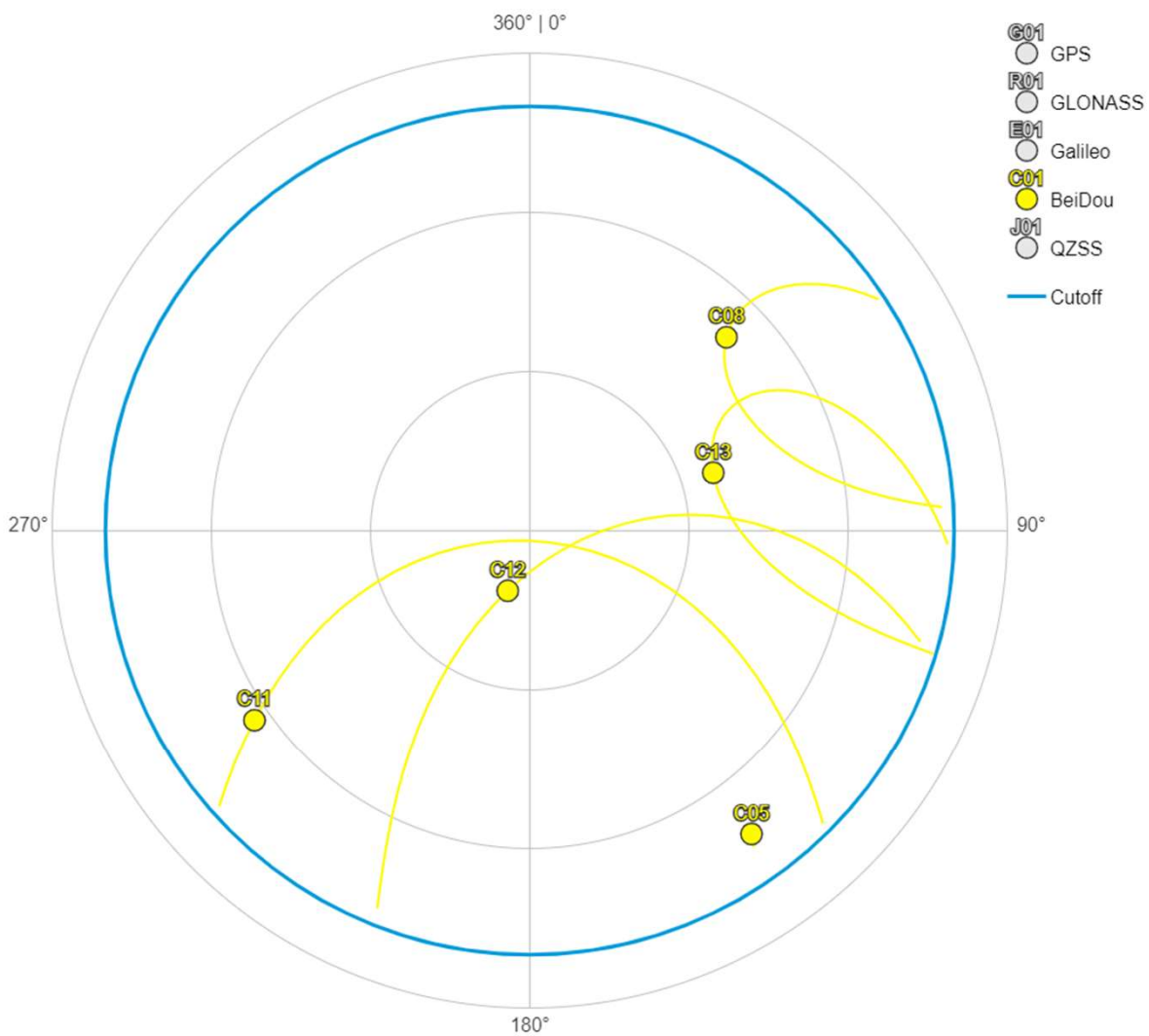
Beidou2 hetkeseis

- ▶ Praegu on orbiidil neid 14. Ja mitte kõik nendest ei „paista“ Eestisse.
- ▶ Keskmise Maa orbiidiga MEO satelliite on vähe (kokku veel vaid kolm),
- ▶ Viiest geostatsionaarsest satelliidist „paistab“ Eestisse vaid üks (C05), seegi madalalt (tõusunurk u 17–20 kraadi, joonis 2).
- ▶ Viis geosünkroonset satelliiti tulevad meile nähtavaks „kaheksa“ põhjapoolses osas – see on meie eelis võrreldes Lääne Euroopaga

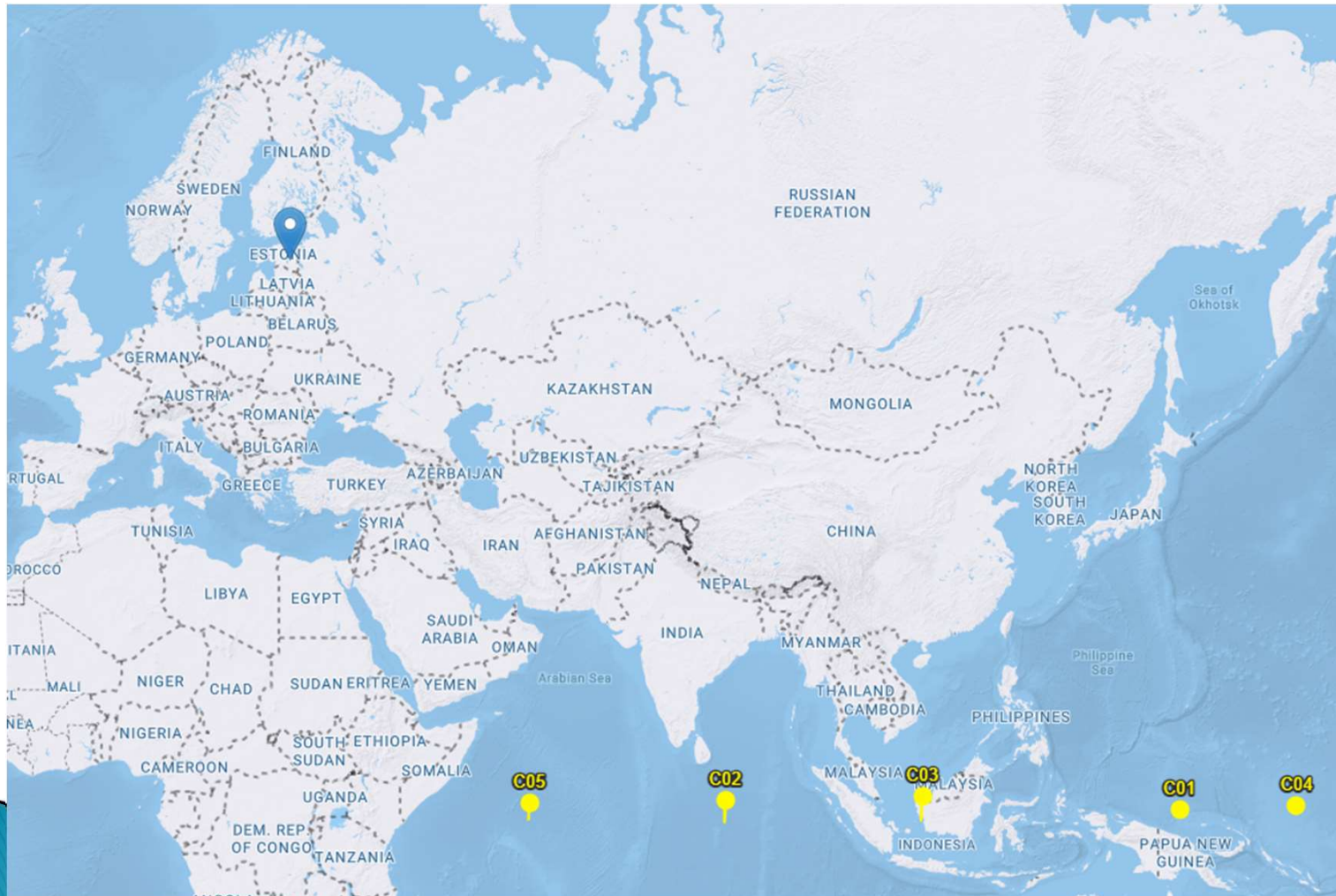
Beidou2 Eestis

- ▶ Neid on toetanud ka Trimble VRS–Now võrk Eestis juba aastaid.
- ▶ BeiDou satelliite numbritega kuni 16 on mõõtmisel näha, Eestis samaaegselt 2–5 ning abi neist on, kuid sõltub palju kellaajast ja sellest, kas idakülg on avatud.

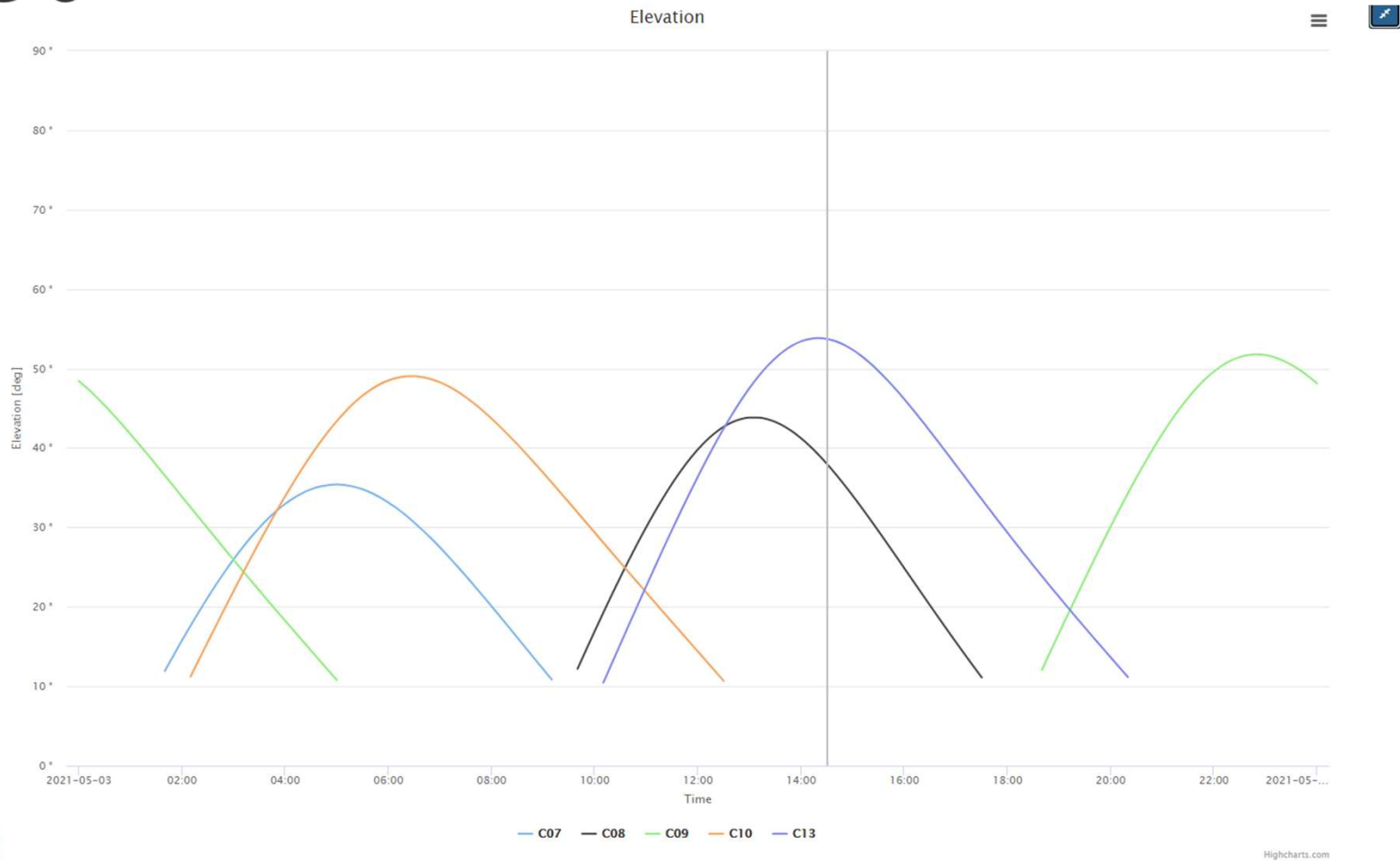
Beidou2 satelliidid Eestis kell 15pl, juhuslik päev



Beoidu2 geostatsionaarsed satelliidid – meie “paistab” vaid nr 5



Beidou2 geosünkroonsed satelliidid – Eestis tõusunurk kuni 50°



Number of Satellites

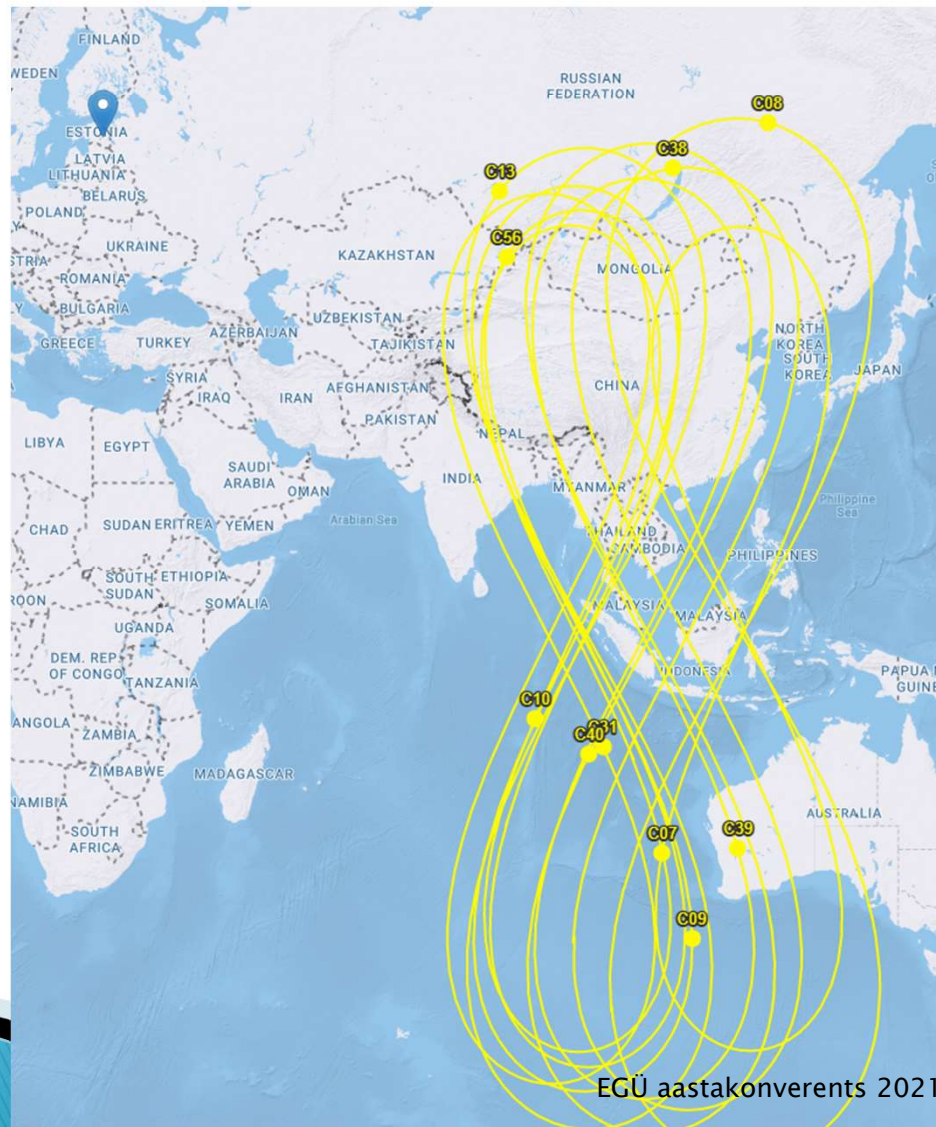
Beidou3

- ▶ Aastal 2015 algas kolmanda põlvkonna (BeiDou3) satelliitide orbiidile saatmine, mis on lõpetatud „kuus kuud enne tähtaega“ aastal 2020.
- ▶ Orbiidile on saadetud 36 BeiDou3 satelliiti, neist 28 on muutuva asukohaga keskmisel Maa orbiidil (MEO)

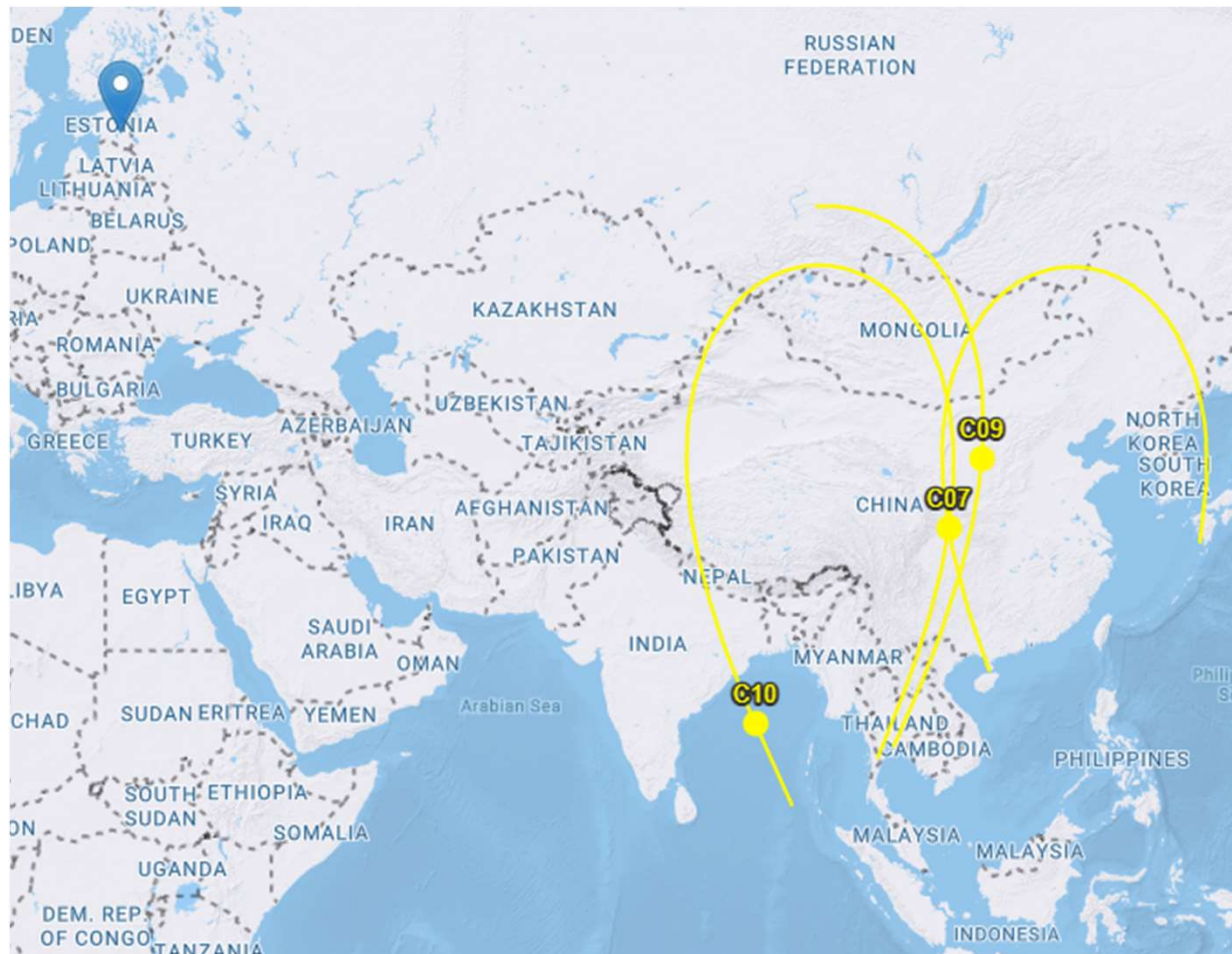
Beidou geosünkroonsed satelliidid

- ▶ Eestis on jälgitavad 10 BeiDou geosünkroonset satelliiti (viis BeiDou2 + viis BeiDou3 satelliiti).
- ▶ Need kõik on Eestis kasutatavad, maksimaalne tõusunurk on 40–53 kraadi, korraga on näha 4–5 satelliiti.

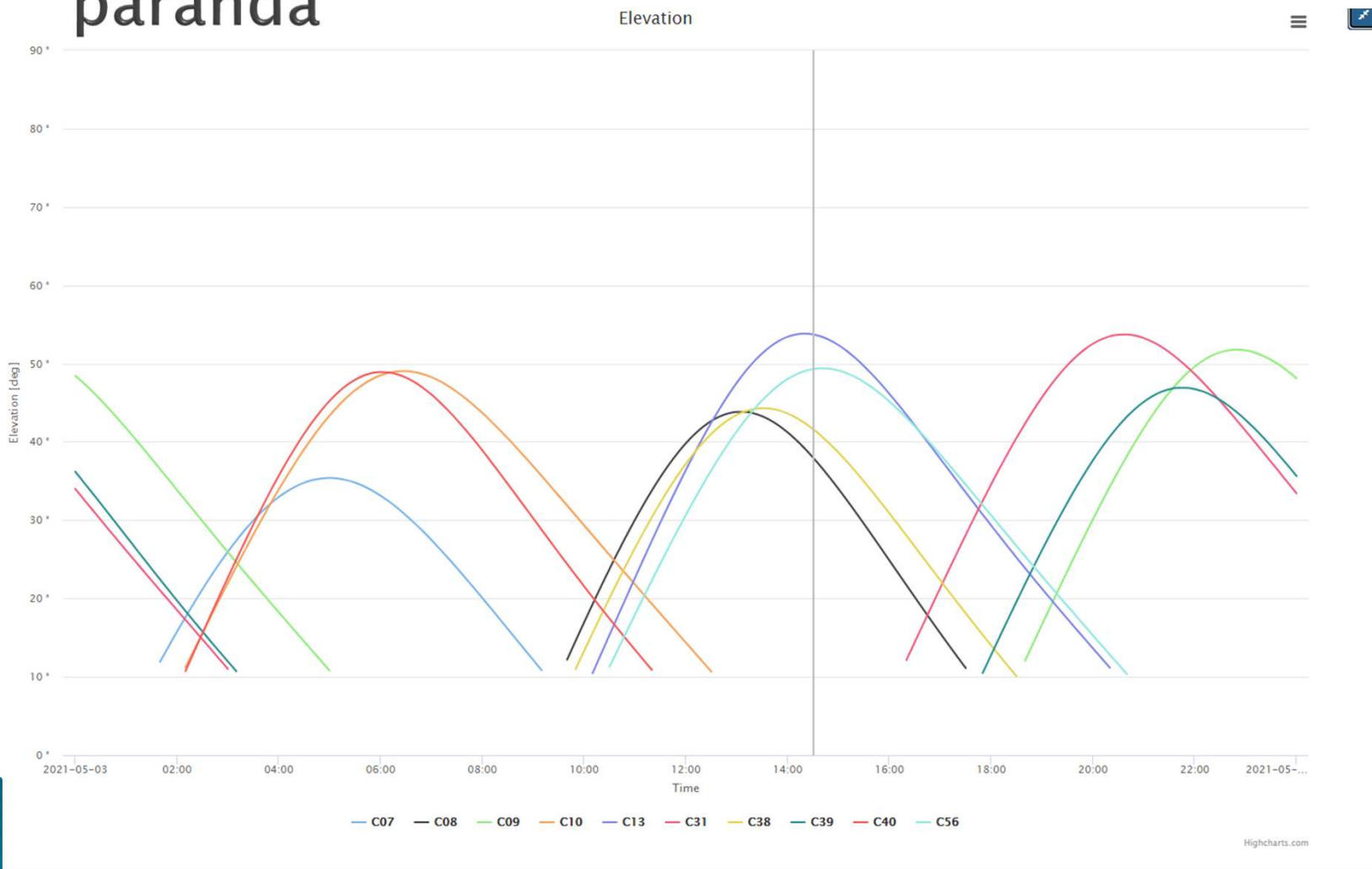
北斗-2 ja北斗-3 geosünkroonne orbiidiga satelliidid – Aasia kohal terve “parv”



IGSO nähtavus Eestis – “kaheksa” põhjapoolne osa ja sellest ka osa



Beidou2,3 geosünkroonsed satelliidid – Eestis tõusunurk kuni 50°. Kahjuks sõidavad kolmeneljakesi koos, mis pdop väärtust meil väga ei paranda

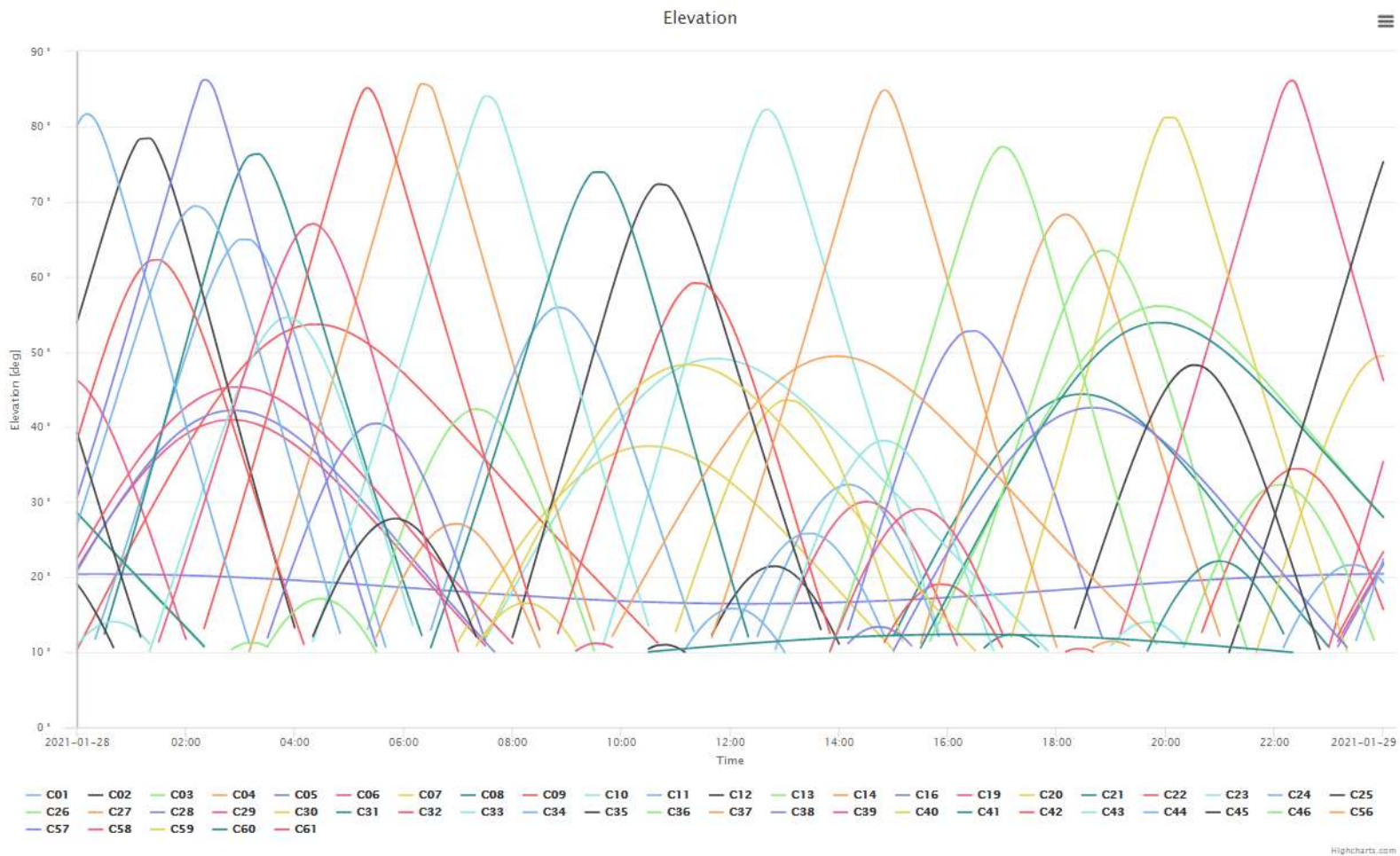


Number of Satellites

Beidou2,3 satelliidid Eesti suhtes – suvaline hetk



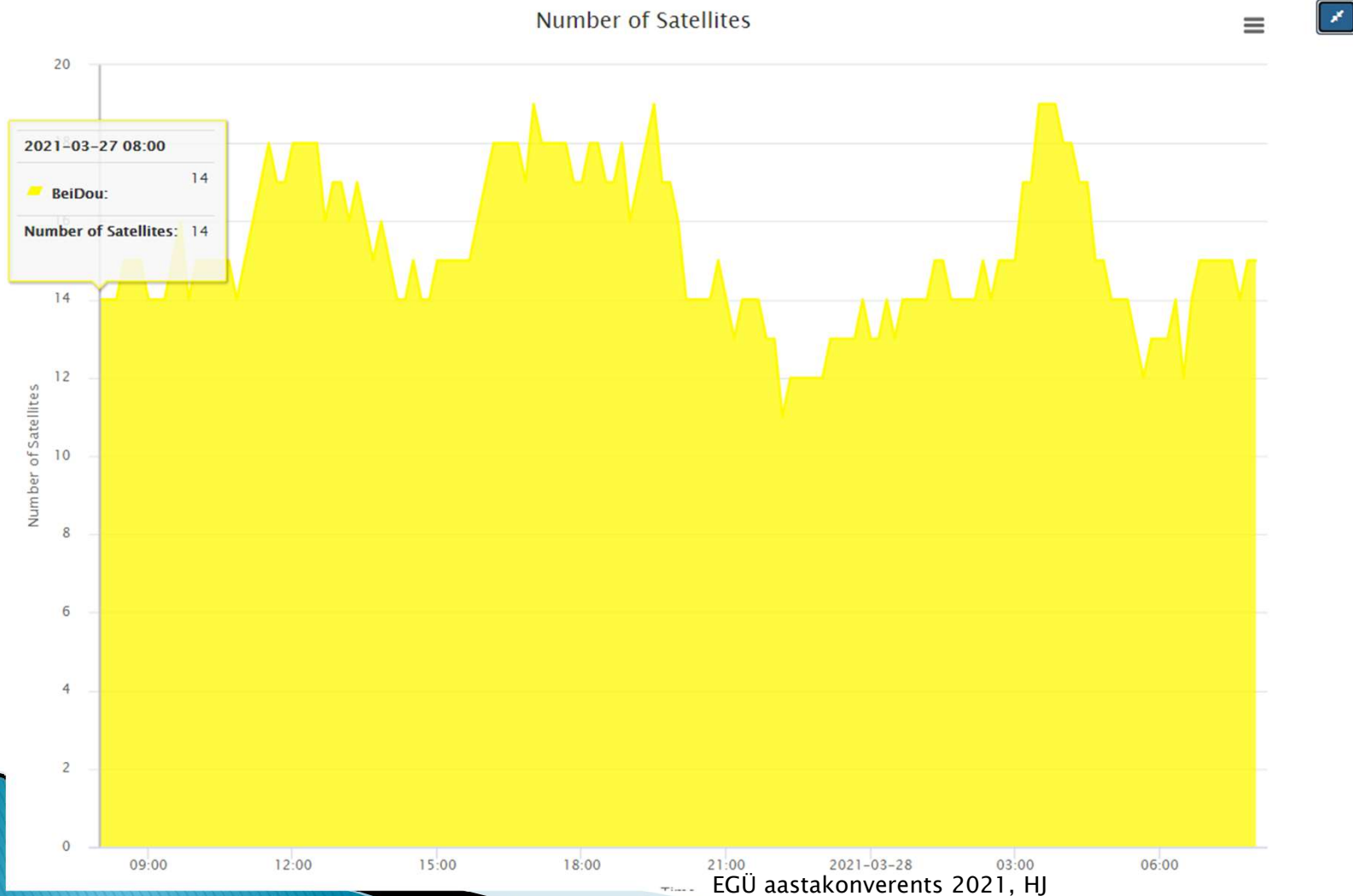
BEIDOU2,3 satelliitide kõrgused MEO+GEO+IGSS



Number of Satellites

EGÜ aastakonverents 2021, HJ

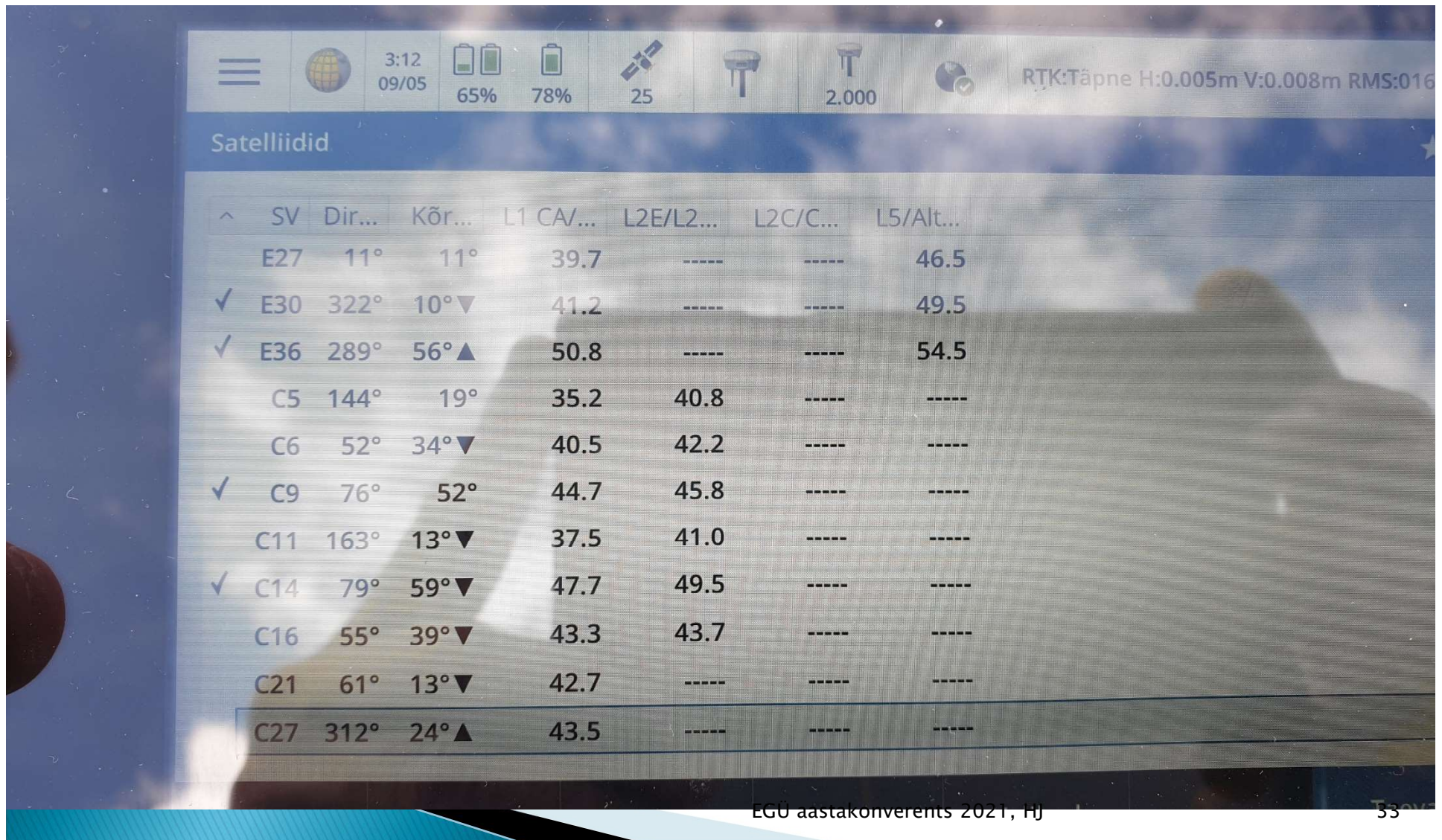
Beidou teoreetiline nähtavus Eestis, 10–16 satelliiti korraga



Beidou3 probleem – uued signaalid ja sagedused

- ▶ BeiDou3 süsteem kasutab osalt erinevaid sagedusi ja signaale kui BeiDou2.
- ▶ Senistele B1, B2, B3 signaalidele lisati ka uusi (B1C, B2A, B2B) ning senine B2 ei ühildu uue B2A signaaliga.
- ▶ Beidou2 – B1, B2, B3
- ▶ Beidou3 – B1, B1C, B2A, B2B, B3

Vanemad seadmed: Beidou2 tuleb arvutusse, Beidou3 puhul ei ole B2 signaali



^	SV	Dir...	Kõr...	L1 CA/...	L2E/L2...	L2C/C...	L5/Alt...
	E27	11°	11°	39.7	----	----	46.5
✓	E30	322°	10°▼	41.2	----	----	49.5
✓	E36	289°	56°▲	50.8	----	----	54.5
	C5	144°	19°	35.2	40.8	----	----
	C6	52°	34°▼	40.5	42.2	----	----
✓	C9	76°	52°	44.7	45.8	----	----
	C11	163°	13°▼	37.5	41.0	----	----
✓	C14	79°	59°▼	47.7	49.5	----	----
	C16	55°	39°▼	43.3	43.7	----	----
	C21	61°	13°▼	42.7	----	----	----
	C27	312°	24°▲	43.5	----	----	----

EGÜ aastakonverents 2021, HJ

53

Joonis 8. Mõlema põlvkonna BeiDou signaalid Trimble R12 sensorilt koos signaalitugevustega, Trimble Access 2020 vaade. Autonoomne režiim. Pilt: Markus Kaukula, Geosoft OÜ.

Satelliidid							
SV	D...	Kõrgus...	L1 CA/P/B1/CBOC/C	L2E/L2P/B2	L2C/CA/B1C	L5/AltBOC/B3	
✓ E8	143°	51°▼	35.5	----	----		35.7
✓ E12	358°	13°	37.7	----	----		41.5
✓ E25	45°	23°	45.2	----	----		45.5
✓ C7	56°	34°	41.2	43.3	----		42.7
✓ C10	87°	47°	40.0	43.0	----		42.7
✓ C11	15°	14°	45.0	40.2	----		43.3
✓ C19	238°	64°▼	35.2	36.5	34.5		34.7
✓ C37	76°	54°▼	46.2	51.7	47.5		46.2
✓ C40	70°	48°	46.7	44.2	47.2		43.3
✓ C43	39°	11°	40.2	46.2	39.7		38.7

Miks ei tule parandusvoogu Beidou3 satelliidid???

- ▶ Sest paljud vastuvõtjad ei toeta uusi signaale
- ▶ Sest tugijaamade parandusvoog ei toeta neid.
- ▶ Turul liigub palju GNSS seadmeid, mis toetavad küll Beidou2 süsteemi, aga ei toeta Beidou3 signaale.

Beidou süsteemi summaarne kasu Eestis

- ▶ Kuus geostatsionaarset satelliiti pole Eestis kunagi nähtavad (1–4, 59, 61), üks vaid väljaspool päevast aega (60) ja üks madalal (5). Geostatsionaarsed satelliidid on seega Eesti jaoks sisuliselt kasutud.
- ▶ IGSO satelliidid liiguvad osalt paralleelselt ja on üle poole ajast peidus. Kasutada on neist umbes 2–4 satelliiti korraga.
- ▶ MEO satelliite on 28, kuid arvestama peab ka, et mõni satelliit võib olla n-ö hoolduses.
- ▶ Seega samaaegselt võib arvestada Eestis umbes 7–10 „mõistlikul kõrgusel“ oleva BeiDou 2+3 satelliidiga.
- ▶ Beidou3 annab juurde u 3–5 satelliiti samaaegselt võrreldes Beidou2-ga

Tugijaamade võrk

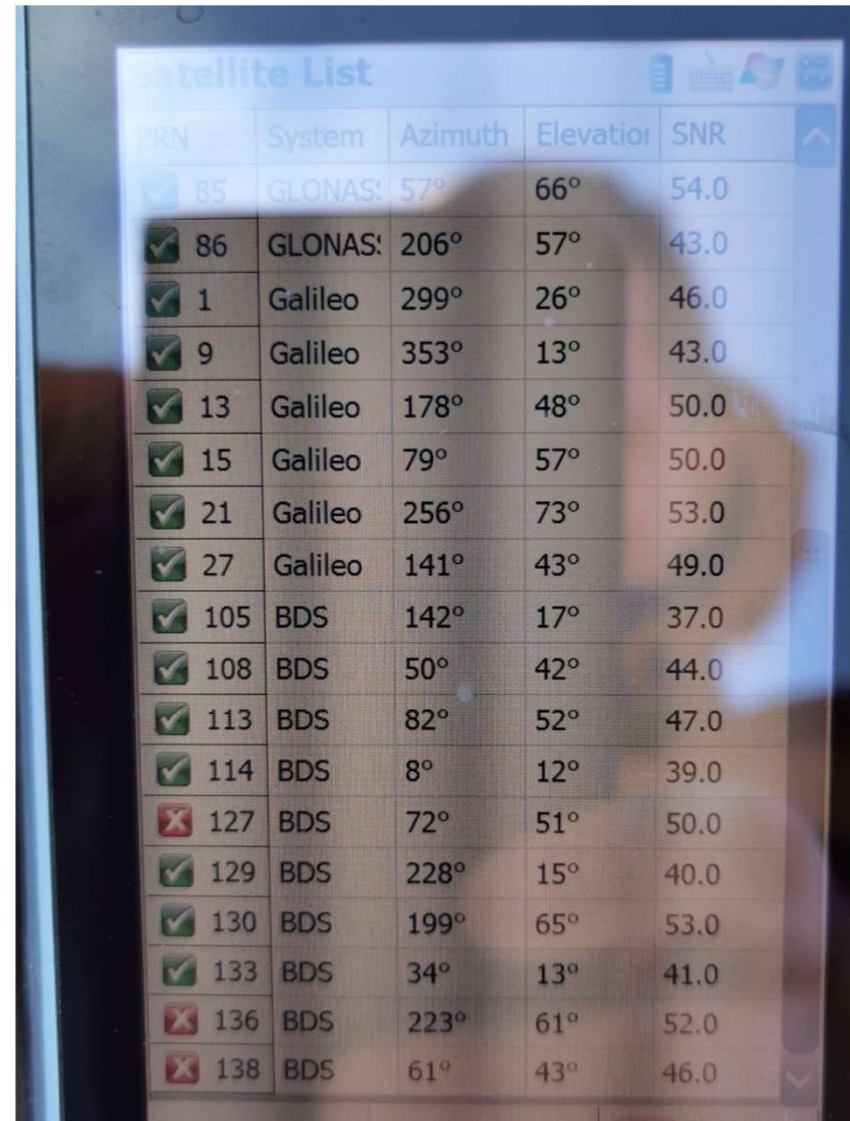
- ▶ VRSNow võrgu haldaja Geosoft OÜ tegeleb tugijaamade seadmete uuendamisega. 2 uut jaama on paigas (Tallinn, Kunda)
- ▶ Hadnet võrgu omanik Hades Invest OÜ tegeleb tugijaamade seadmete uuendamisega. Tallinnas on uus Beidou3 toega jaam paigas ja Beidou3 on avalikult kasutatav.

GNSS seadmed

- ▶ Arvestama peaks, et neid GNSS seadmeid, mis toetavad ka Beidou3 satelliitide kõiki signaale, hakati tootma aastal 2018.

Test Fieldgenius tarkvaraga, seade South INNO7

- ▶ Ühendusega Hadnet Tallinna tugijaama tulid fixed lahendusse ka osad Beidou3 satelliidid: (1)29, (1)30, (1)33
- ▶ 28 satelliiti FIXED lahenduses
- ▶ Ka GEO 05 on kasutuses



The screenshot shows the 'Satellite List' interface of the FieldGenius software. The table displays the following data:

PRN	System	Azimuth	Elevation	SNR
<input checked="" type="checkbox"/> 85	GLONAS	57°	66°	54.0
<input checked="" type="checkbox"/> 86	GLONAS	206°	57°	43.0
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Galileo	299°	26°	46.0
<input checked="" type="checkbox"/> 9	Galileo	353°	13°	43.0
<input checked="" type="checkbox"/> 13	Galileo	178°	48°	50.0
<input checked="" type="checkbox"/> 15	Galileo	79°	57°	50.0
<input checked="" type="checkbox"/> 21	Galileo	256°	73°	53.0
<input checked="" type="checkbox"/> 27	Galileo	141°	43°	49.0
<input checked="" type="checkbox"/> 105	BDS	142°	17°	37.0
<input checked="" type="checkbox"/> 108	BDS	50°	42°	44.0
<input checked="" type="checkbox"/> 113	BDS	82°	52°	47.0
<input checked="" type="checkbox"/> 114	BDS	8°	12°	39.0
<input type="checkbox"/> 127	BDS	72°	51°	50.0
<input checked="" type="checkbox"/> 129	BDS	228°	15°	40.0
<input checked="" type="checkbox"/> 130	BDS	199°	65°	53.0
<input checked="" type="checkbox"/> 133	BDS	34°	13°	41.0
<input type="checkbox"/> 136	BDS	223°	61°	52.0
<input type="checkbox"/> 138	BDS	61°	43°	46.0

WMS teenus õues eeldab 4G levi

The screenshot displays a surveying software interface. At the top, a toolbar includes icons for a hard hat, a satellite dish, a battery, a compass, binoculars, a person with a staff, and a red 'X' button. The main area shows a map with a scale bar of 80 m. A red triangle labeled 'STK1' is positioned at the center of two concentric circles (green and blue). The green circle is labeled 'GNSS Resection #1' and the blue circle is labeled 'GNSS Resection #2'. The map shows streets including East 2nd Street, Cherry Alley, and Kenton Memorial Bridge. A data panel at the bottom provides the following information:

Pt: 7 **STK1** 2.046 m

N:4281250.5531m E:259565.1960m Z:121.3021m

HRMS:0.005m VRMS:0.010m PDOP:1.37 GDOP:1.60 TDOP:0.83

Kaldeparandi seaded ja kasutus

- ▶ On kahesugused kaldeandurid
- ▶ Magneetilist põhja kasutatav meetod
- ▶ IMU põhine meetod



EGÜ aastakonverents 2021, HJ

Kalle kuni 60 kraadi on parandatav

800 Channels
Super GPS RTK Receiver

IMU Tilt Survey
60 degree

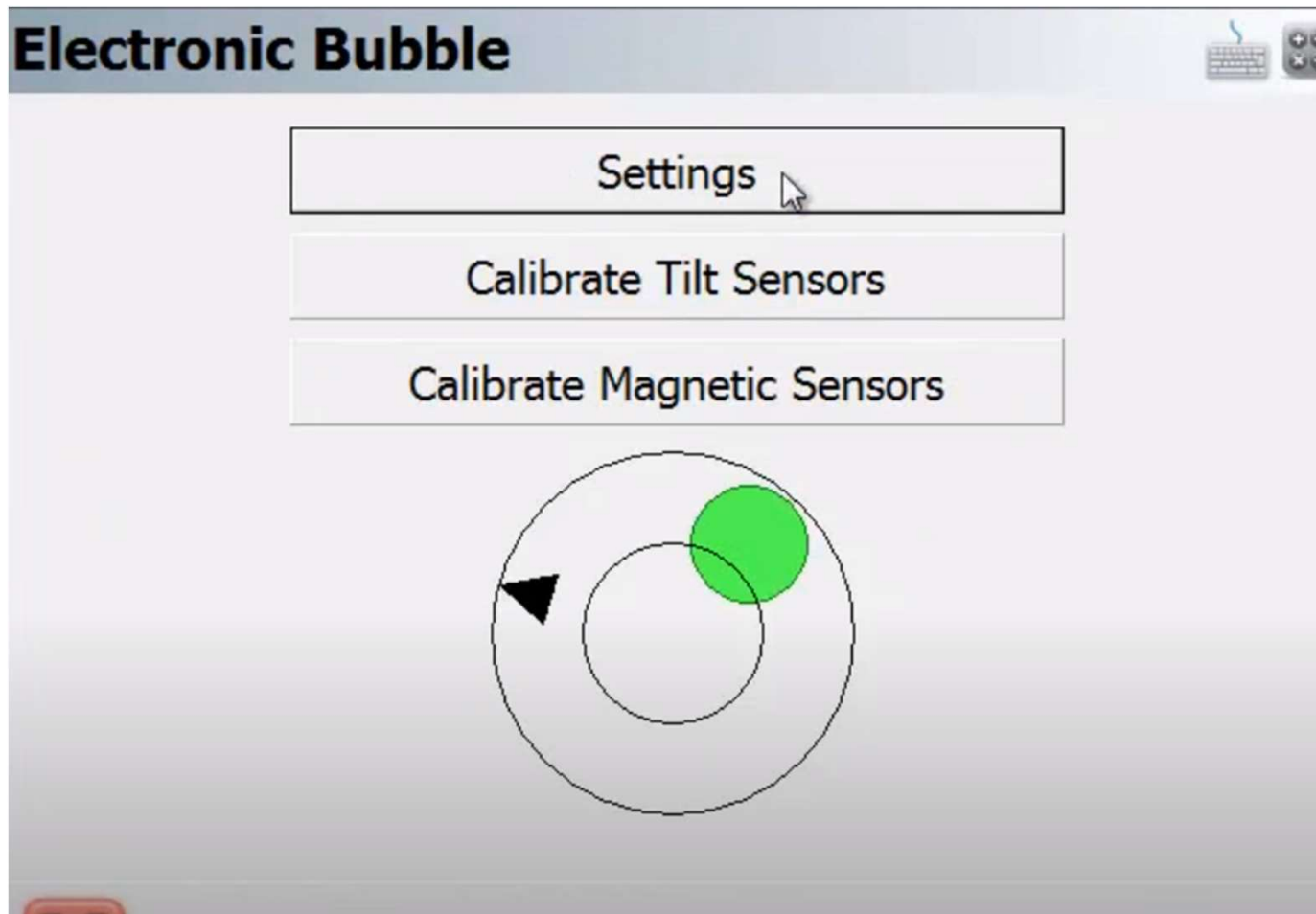
0616720




IMU ja magnetpõhja meetod

- ▶ Magneetilise põhja abil on lubatud kaldeparand tavaliselt kuni 15–30 kraadi
- ▶ IMU põhjal rohkem
- ▶ Magneetilise põhja abil toimivat süsteemi on vaja kalibreerida (magnetsensor)



Magnetsensori kalibreerimine



Kaldeparandi seaded

Electronic Bubble	
 Settings	
Electronic Bubble	<input checked="" type="checkbox"/>
Tilt Compensated	<input checked="" type="checkbox"/>
Tilt Rejection	<input type="checkbox"/>
Magnetic Declination	Computed

Kaldeparandi seaded

Electronic Bubble	
 Settings	
Electronic Bubble	<input checked="" type="checkbox"/>
Tilt Compensated	<input type="checkbox"/>
Tilt Rejection	<input checked="" type="checkbox"/> 
Tilt Rejection (Deg)	5
Magnetic Declination	Computed

Kaldeanduriga GNSS

- ▶ 2 m saua korral 1 kraad parandamata kallet annab vea 3,5 cm
- ▶ Saame määrata, et keeldu punkti salvestamast, kui kalle on näiteks üle 1 kraadi
- ▶ Saame käskida parandada kaldest tulenev viga – tarkvara hindab ka jääkvea suurust

Kalle ja kalde asimuut

GNSS Measurement

Solution: **RTK Fixed**

Satellites: **8**

PDOP: **3.80**

Real Time

Status: **Accepted**

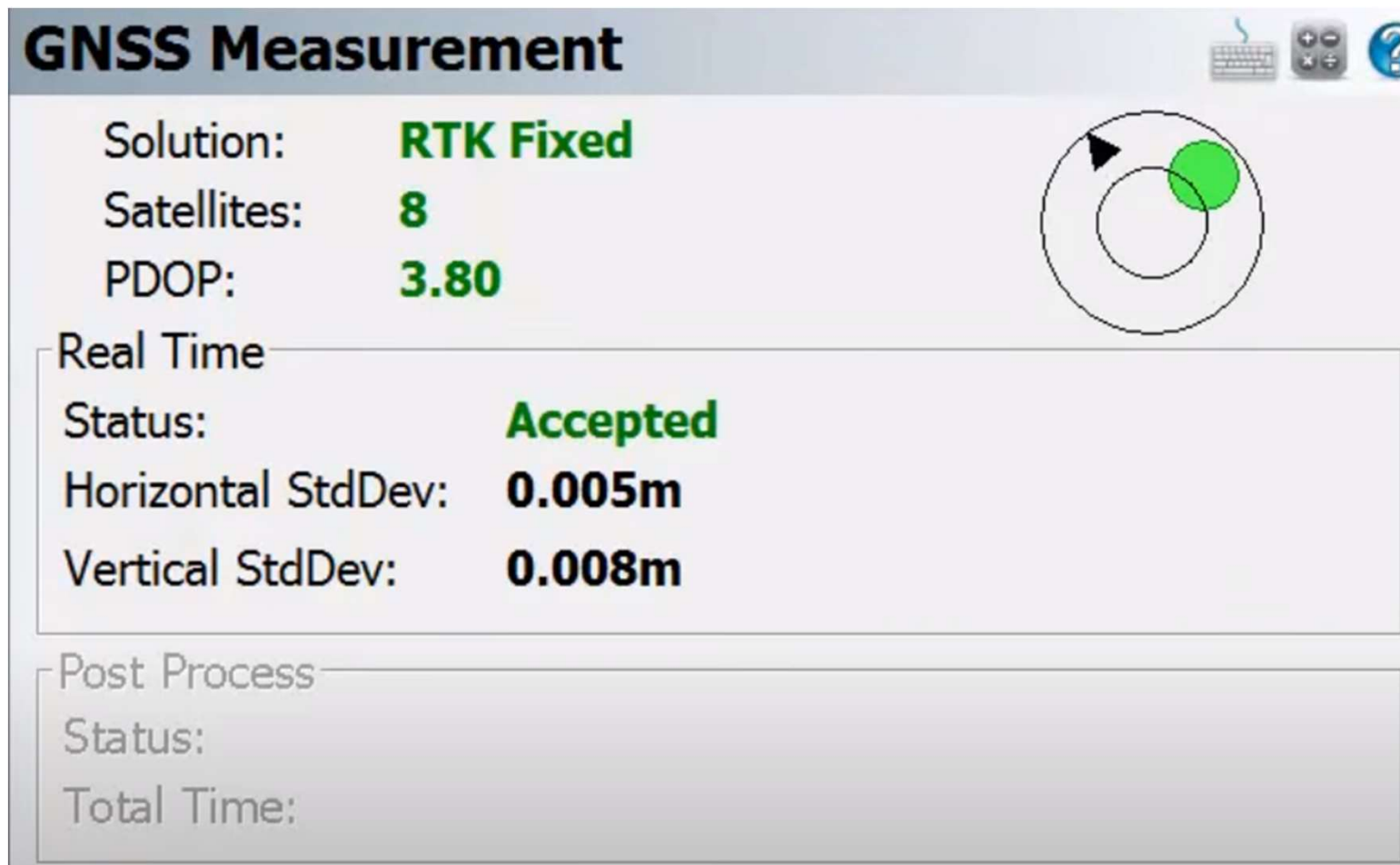
Horizontal StdDev: **0.005m**

Vertical StdDev: **0.008m**

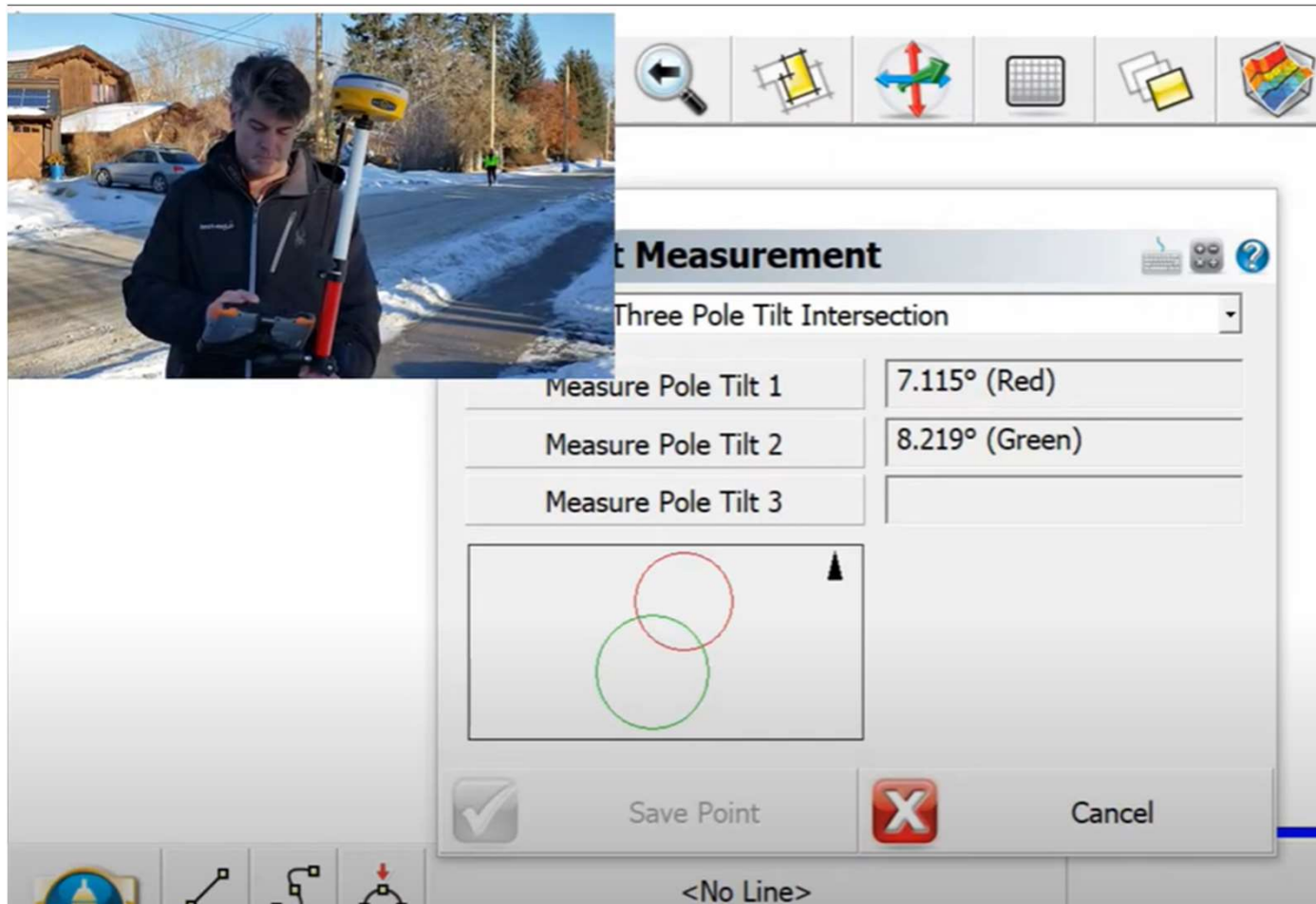
Post Process

Status:

Total Time:



Kaldega mõõtmise täpne erimeetod – sama punkt, kolm korda eri suunas kalde all mõõtmist

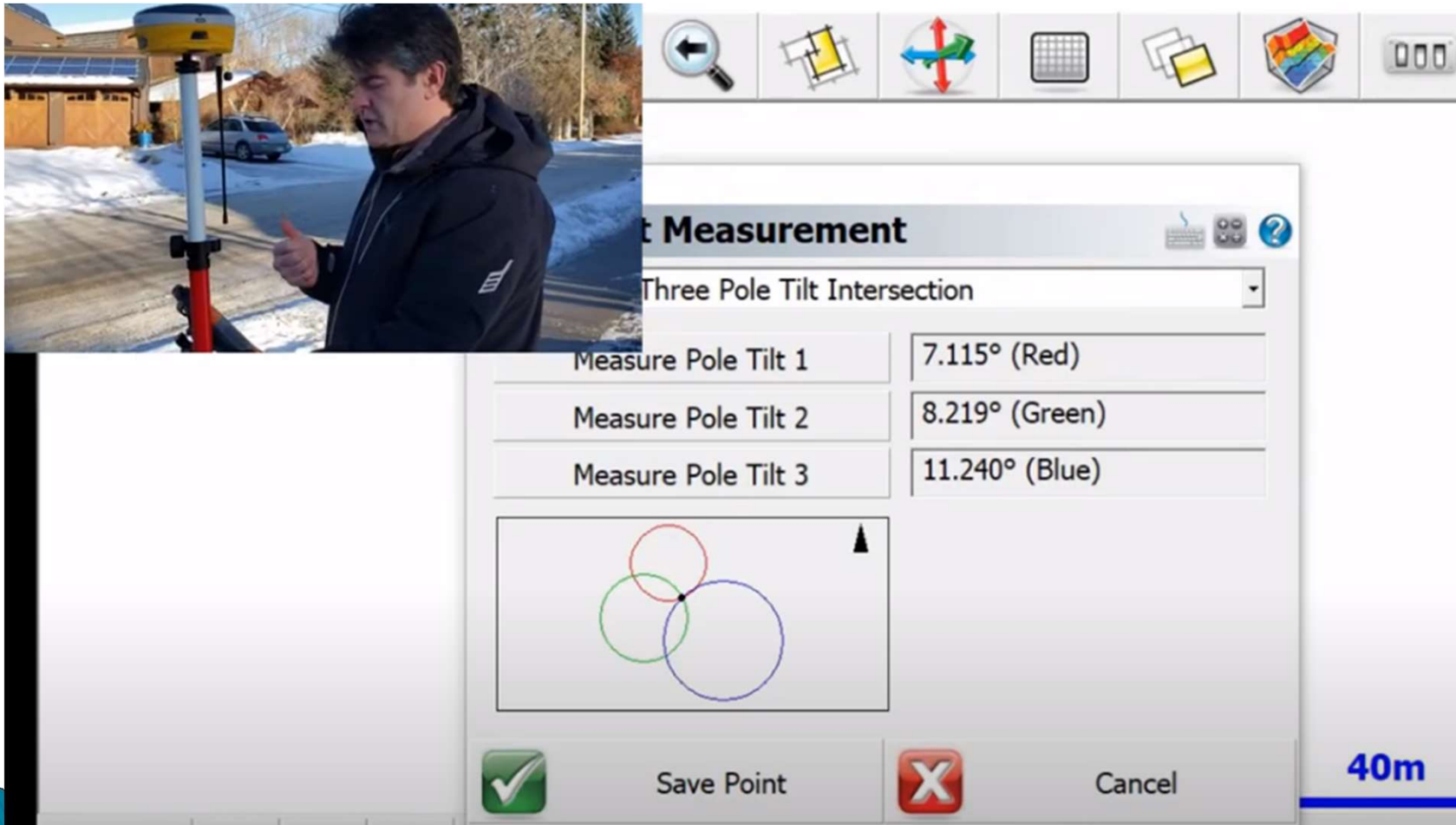


The image is a composite showing a surveyor in the field on the left and a software interface on the right. The surveyor is wearing a dark jacket and holding a yellow and black surveying instrument on a tripod. The background is a snowy residential street. The software interface is titled 'Three Pole Tilt Intersection' and displays the following data:

Measure Pole Tilt	Value
Measure Pole Tilt 1	7.115° (Red)
Measure Pole Tilt 2	8.219° (Green)
Measure Pole Tilt 3	

Below the table is a diagram showing two overlapping circles, one red and one green, representing the intersection of two measurement points. The interface also includes a 'Save Point' button with a checkmark icon and a 'Cancel' button with a red 'X' icon. At the bottom, there is a '<No Line>' status indicator.

Kaldega mõõtmise täpne erimeetod – kolm mõõtmist annavad ühese lahenduse

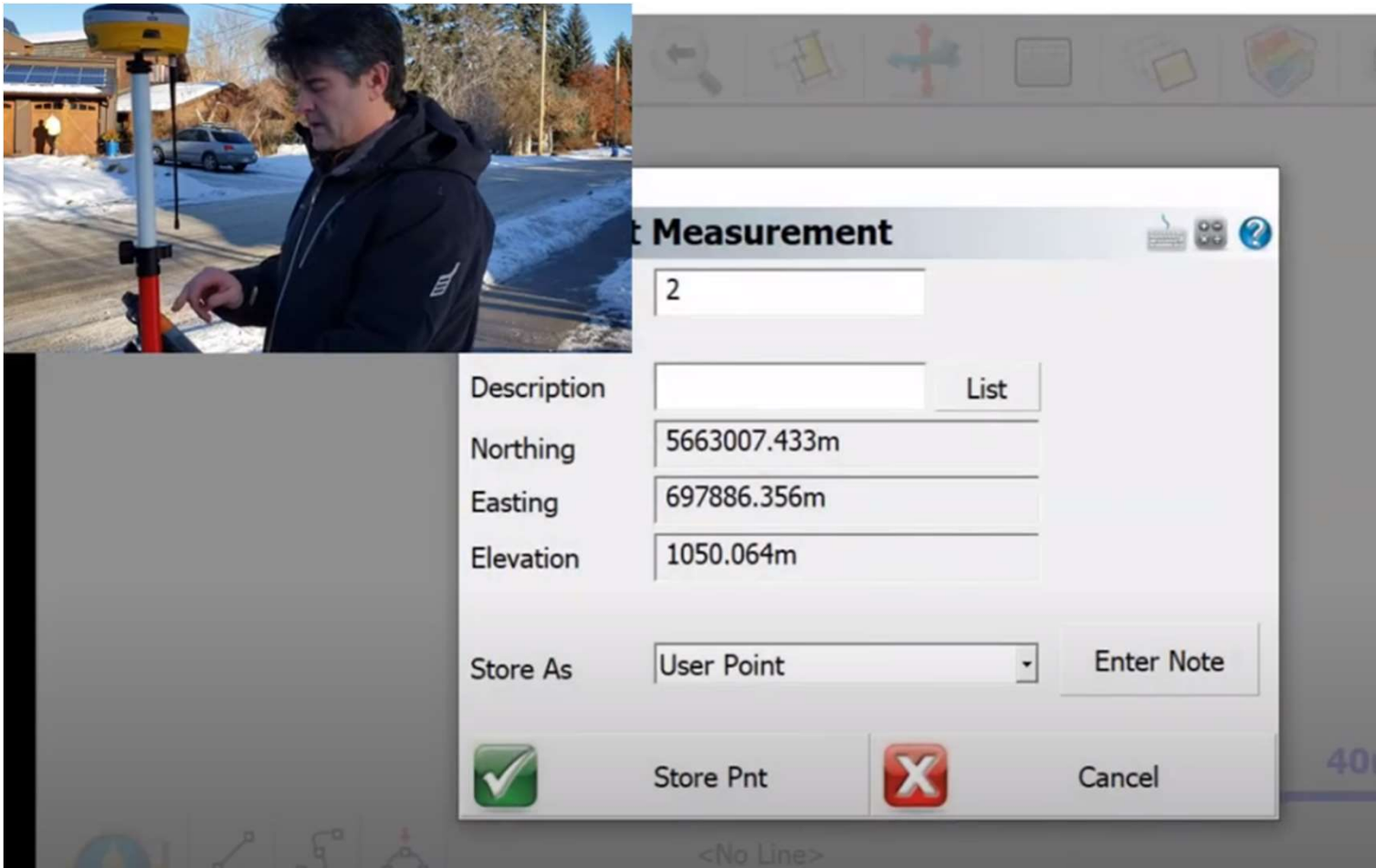


The image is a composite. On the left, a man in a dark jacket stands in a snowy field, holding a surveying instrument on a tripod. On the right, a software interface is overlaid. The interface has a toolbar at the top with icons for navigation and data management. The main window is titled 'Three Pole Tilt Intersection' and contains a table of measurements:

Measure Pole Tilt	Value
Measure Pole Tilt 1	7.115° (Red)
Measure Pole Tilt 2	8.219° (Green)
Measure Pole Tilt 3	11.240° (Blue)

Below the table is a diagram showing three overlapping circles in red, green, and blue, representing the intersection of three poles. At the bottom of the interface are buttons for 'Save Point' (with a green checkmark icon) and 'Cancel' (with a red X icon). A distance indicator '40m' is visible in the bottom right corner.

Tulemus



Interneti seaded

- ▶ Kas sisemine või väline modem
- ▶ APN “internet” töötab kõigi kolme operaatoriga
- ▶ Android põhised GNSS seadmed toetavad 4G ühendust

Side probleemid

- ▶ 3g sagedused on mõnel seadmel (enne 2015) toetatud osaliselt
- ▶ Eestis levib 3G eeskätt sagedusel 900Mhz, linnades ka 1800mhz
- ▶ Soovitus, kui on probleem sidega: akuga 4G wifi taskuruuter saua külge

Foto sidumine punktiga

- ▶ Saame siduda Foto punktiga
- ▶ EXIF määrangud
- ▶ Saame lisada foto ka tagantjärele tabeli punkti külge, salvestub punkti numbriga ja LAT-LON koordinaatidega