

Digitális domborzatmodell és ortografikus felvételek készítése pilóta nélküli légijárművekkel földi kapcsoló pontok nélkül

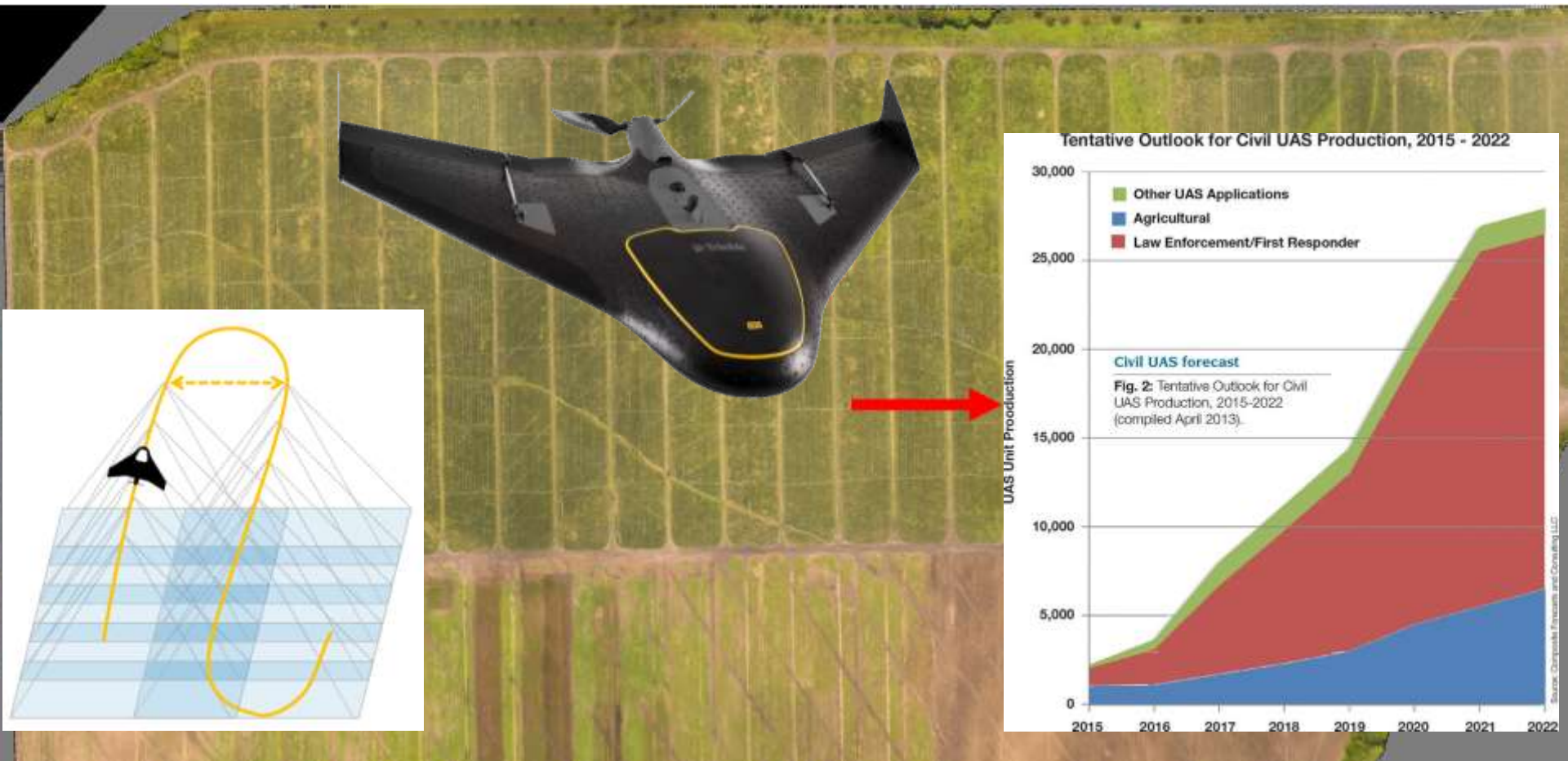
Vanek Bálint, PhD
Tudományos főmunkatárs MTA SZTAKI
és
Ventus-Tech Kft.

balint.vanek@gmail.com

Tartalom

- Bevezető
- Műszaki háttér
 - Repülést megelőző
 - Repülés közben
 - Repülés után
- Esettanulmány
- Végtermékek hasznosítása

UAV-k alkalmazási területei



Kamera a levegőben: ortofotó készítése nagy mennyiségű fénykép alapján

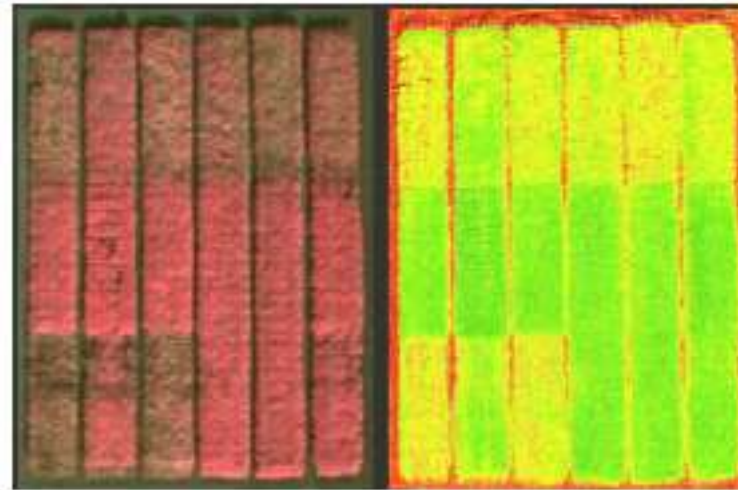
Digitális 3D model (a képekből közvetlenül kinyerhető)

NDVI (közvetlen kép a növények állapotáról) → termésátlag prognosztizálható

Platformok közti különbségek

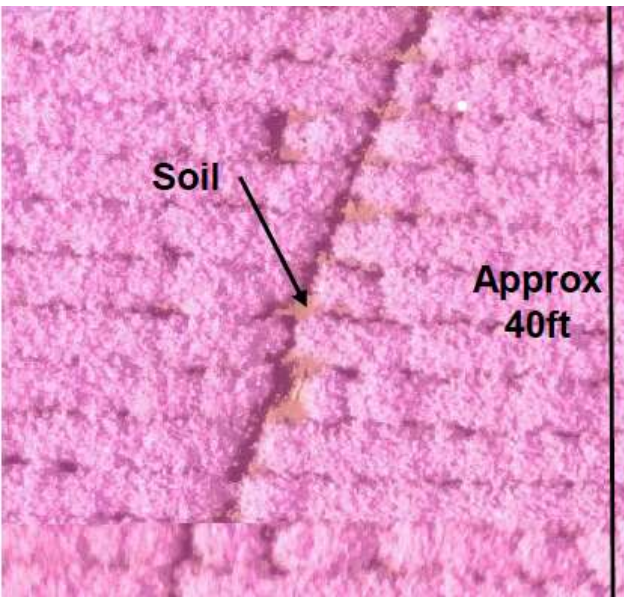
Pilóta nélküli légi járművek:

- Azonnal bevezethető
- Napi, heti, havi ellenőrzés
- Rugalmasan változtatható repülési útvonal
- Különböző feladatokra gyorsan és rugalmasan felkészíthető
- Költséghatékony

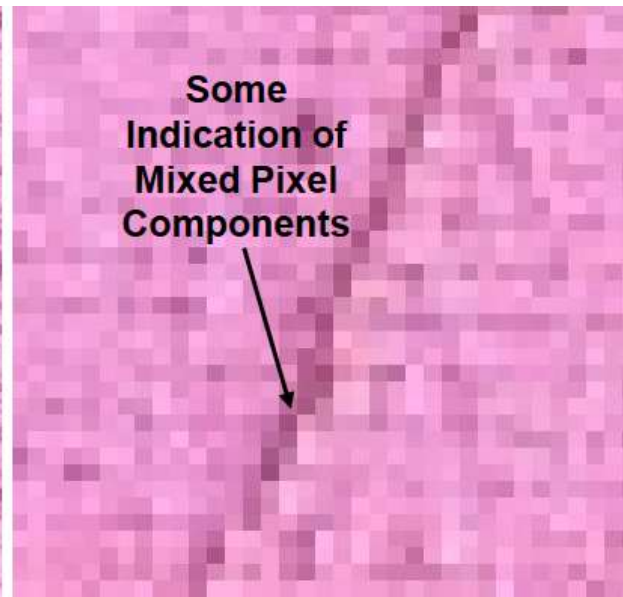


Dinamikus
változások
nyomonkövetése
látható és egyéb
(infra) képek
alapján

UAV 60 m (2cm felb.)



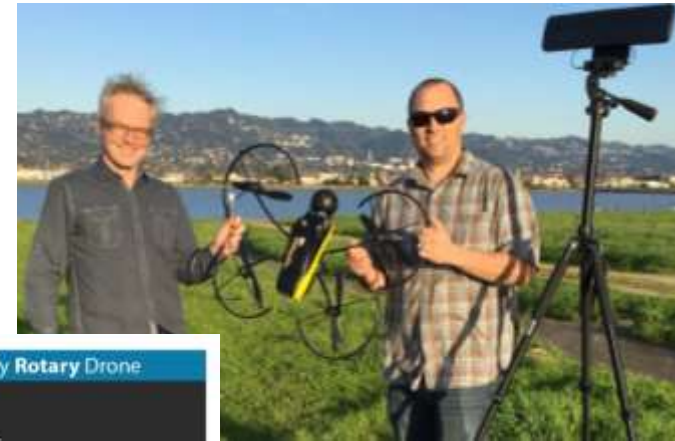
Repülő 2100 m (30 cm felb.)



Műhold, (5m felb.)

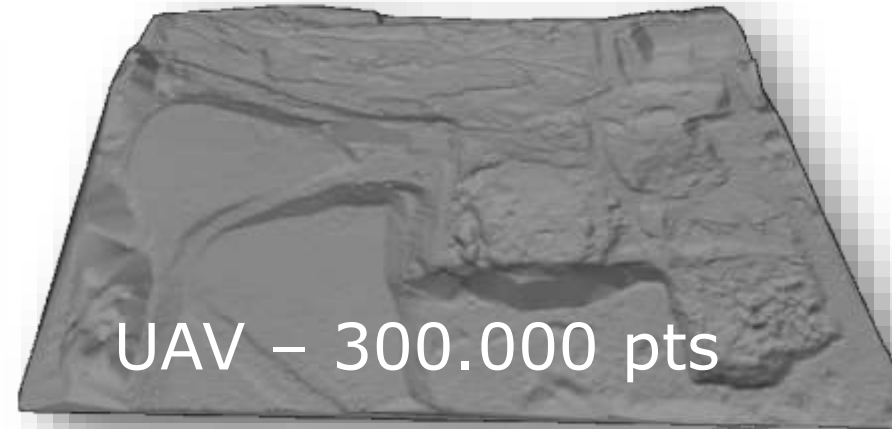


Merevszárnyas vagy Multi rotoros



	senseFly Fixed Wing Drone	senseFly Rotary Drone
	eBee	albris
Ground Sampling Distance (GSD)	Down to 1.5 cm/pixel (0.6 in/pixel)	Down to 0.1 cm/pixel (0.04 in/pixel)
Nominal cruise speed	40-90 km/h (11-25 m/s or 25-56 mph)	14-43 km/h (4-12 m/s or 8-26 mph)
Wind resistance	12 m/s or 28 mph	10 m/s or 22 mph
Maximum flight time	50 minutes	22 minutes
Maximum coverage (single flight)	12 km ² (4.6 mi ²)*	0.3 km ² (0.038 mi ²)**
Landing	Approach sectors ~ 5 m accuracy (16.4 ft)	Vertical ~ 2 m accuracy (6.6 ft)

UAV és manuális felmérés geodéták által



Hagyományosan a megfelelő pontosság eléréséhez UAV esetében is 5 vagy annál több földi kapcsoló pont szükséges – *földi geodézia nem váltható ki teljesen*

Releasand control

Walter J. Cragg

Zurich (Zürich)

Telefonnummern

E-mail: clyde.

Tevékenységre vonatkozó adatok:

A newberry's big megaverse:

A nevelérség végrehajtásának helye

A nyelvkönyv végrehajtásának kezdete-vége (időtartam, óra, perc)

A nyilvánosság védelméért felfedés személy adatai

Palmer

Telefonnummern

E-mail: cin@math.berkeley.edu

A tevékenység végrehatásának hasznai és károsai nékül megkísérülve, ha veszélyes az életre.

Pedraza, M. & M. J. Rodríguez. 2008. 2008. 2008.

Myokatekronet.

- ☐ A fenntartóval egyeztetésre a képzőművész/Levelező képzésében foglalt szakt. szert. a gyárt. ábrák elv. módosításai sz.
- ☐ A fenntartóval kétféleképpen álltunk egyetértésben, amely szerint a bejelentésben foglalt adatokat, a korábbi ártásokról foglaltak.
- ☐ A bejelentő kijelenti, hogy a bejelentésben foglalt adatok a valóságnak megfelelnek.

Adres:

- ☐ Ez az igény engedély (mennyiben szükséges, a kéréshez látni engedély)

Porter

depression and anxiety

© Copyright 1999 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

A légi közlekedési hatóság a bejelentést nyilvántartásba vette.

References

References

Authors

Jogi Háttér



Kérelmező neve:

Circuit

Telefon száma:

Fax száma: _____

KÉRELEM

korlátozott létszámú igénybevétele transz-

A kitöltendő légtér neve, azonosítója

A korlátozott légtér igénybevételeinek célja

A repülés során használt legjellemzőbb típusa: lejáratok vagy azonosítók:

A légtér igénybevételeinek tervezett kezdő dátuma és időpontja UTC-ben, valamint időtartama

Külföldi jogszabályok szerinti kötelező jelölés esetén, amennyiben ismert, a repülés útvonala és magassága, vagy a kérelmezés időpontjában, az igénybe venni kívánt légtérhez oldalsó távolság WGS-84 rendszerű földrajzi koordináták szerint, valamint az az életpályát a földfelszíni szélvonal, mértékben

Meßblatt

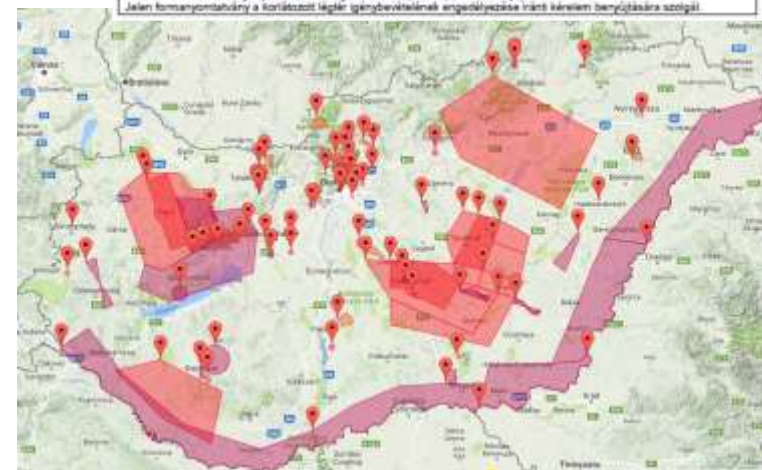
- 3.3000P1 érintett állatokon a vizsgálati lelet, [Baktériaművelés](#), amelyben a kórokozó előzetes vizsgálata nem állami szerv, vagy nem társadalmi szervet.
- 3.4Kárpénész való meghatározás, amelyben nem a jogi személy közlekedésére jogosult személy jár el.
- 3.5Képzésmegvalósításon történő közlekedés illegálisan végrehajtott esetén, a szakképzés eljárás díj (a képzésmegvalósítás és termékek előállításához szükséges igazgatási szolgáltatási díj)ról szóló 14/2015. (II.12.) PM rendelet VI. melléklet 3.1. alaptáblán meghatározott díj befizetéséről szóló igazolás

Name: _____

Klausurausschuss

(continued from page 10)

Megjegyzés: A korlátozott leírás igénylésének és igénybevételének szabályait a magyar leírás legközzétételére előírt határidőig kiemelt kiadványi száma 20/2007 (II.1.) GKM-HM-HVVM együttes rendelet 6. §-a, valamint a 6. §-a szabályozza.



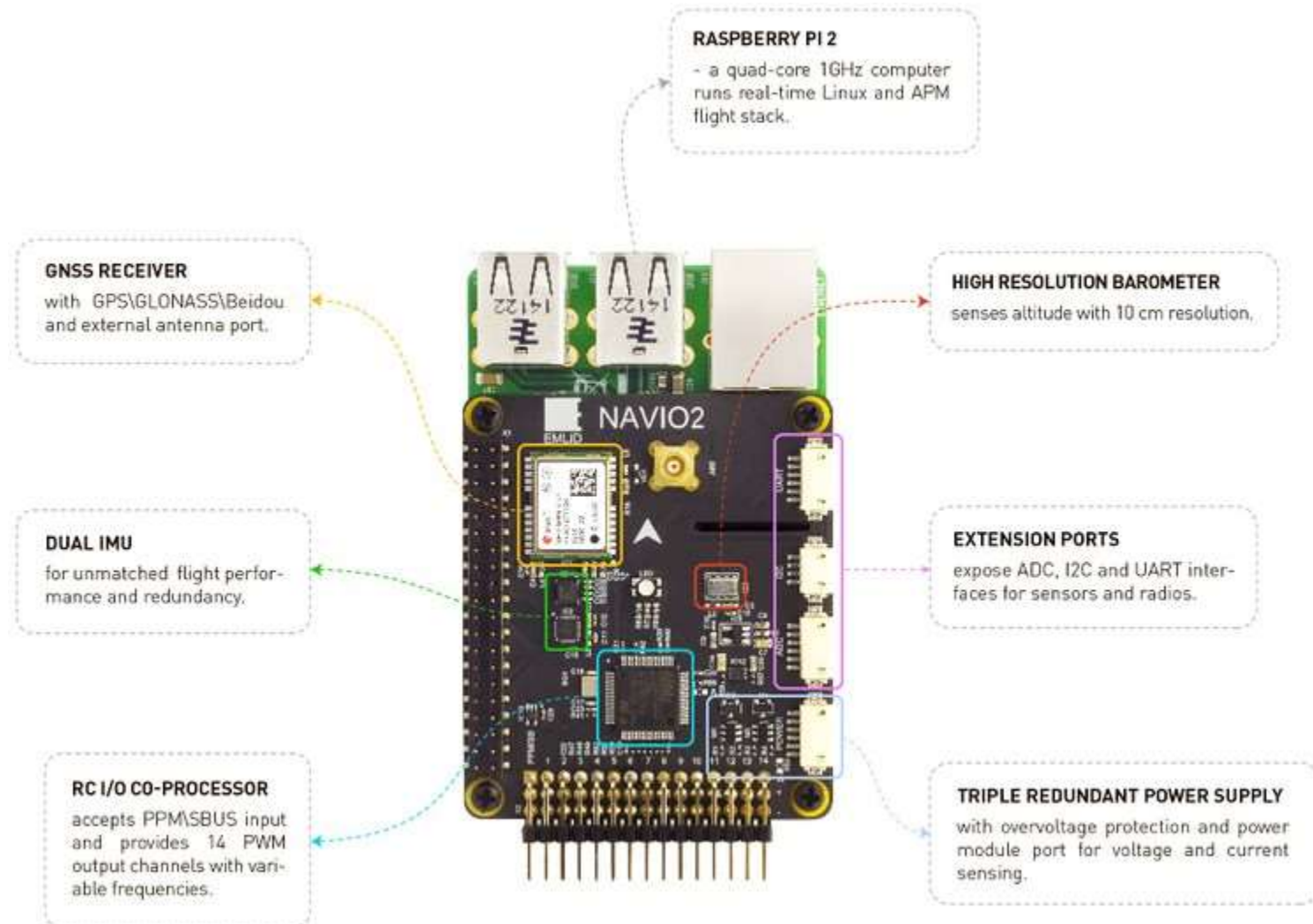
NKH, HM Állami Légügyi Főosztály, MH Geoinformációs Szolgálat, Hungarocontrol, Repülőterek szolgáltatói hozzájárulása, Biztonsági elemzés, Biztosítás, etc.

Műszaki háttér

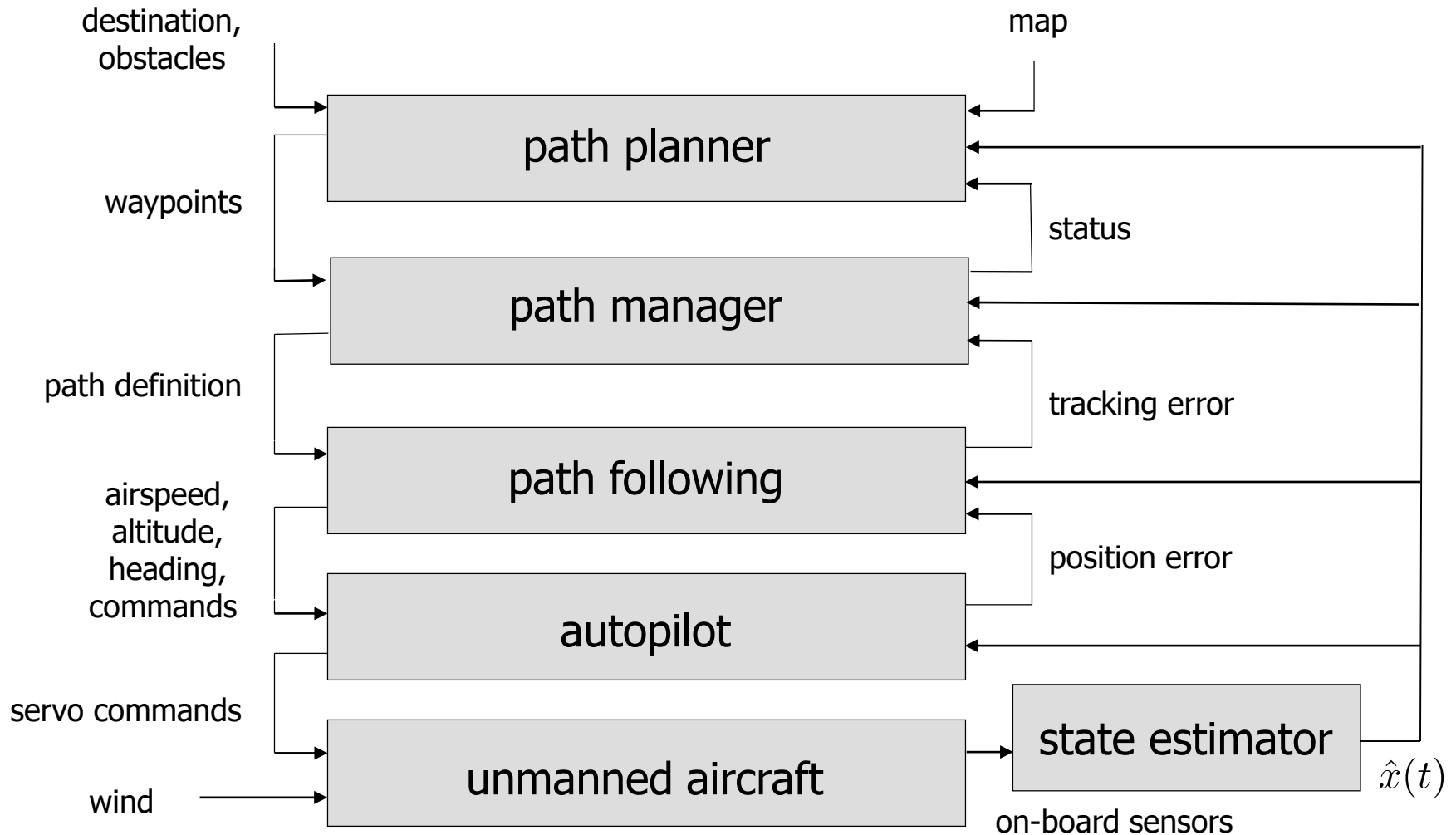


- Merevszárnyas platform: 40-50 perc maximális repülési idővel, +2,5km² (200m-es repülési magasság, 4-5 cm/pixel)
- Képek utólagos feldolgozása asztali szoftverrel (300 kép 40 perc alatt)
- Folyamatos kézi irányítás lehetősége biztonságos üzemeltetés követelményeit figyelembe véve

NAVIO2 Robotpilóta Hardver



Szabályozási Rendszer



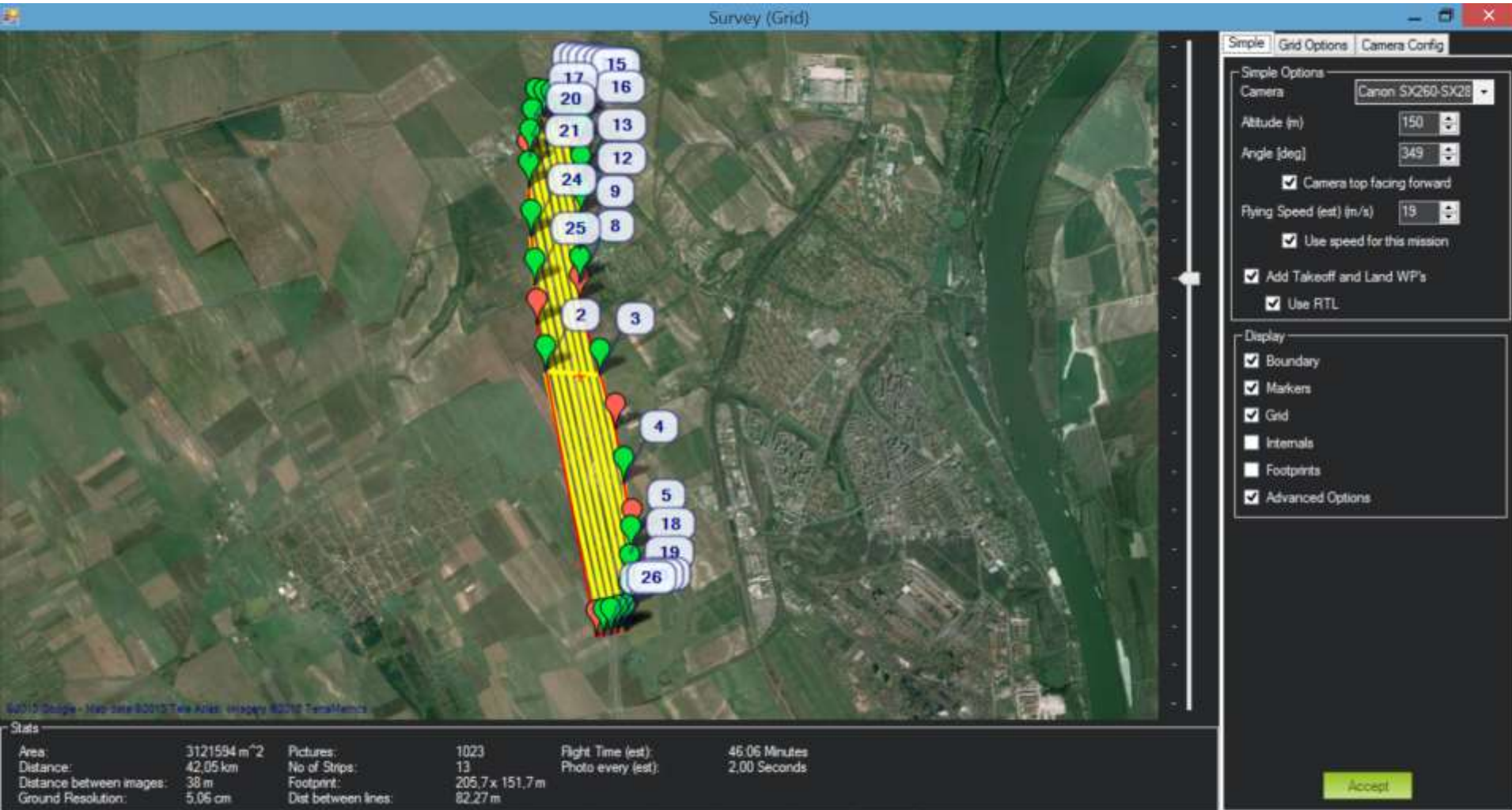
Földi irányító állomás



- Útvonal feltöltése, repülési adatok letöltése
- Folyamatos adatkapcsolat a repülővel
- Főbb paraméterek ellenőrzése
- Feladatok végrehajtásának nyomon követése
- Útvonal módosítás és paraméterek hangolása
- Telemetrián keresztül az RC távirányító meghibásodása után is „hazarendelhető” a gép



Műszaki háttér



A repülések megtervezése mind a repülőgép mind a felmérés követelményeit figyelembe véve: szél irányának figyelembe vétele, túllövések, elaprózódó sarkok, nem megfelelő átfedés, fel és leszállási valamint vészleszállási hely

Repülések után azonnali helyszíni ellenőrzés a megismételt repülések elkerülése érdekében

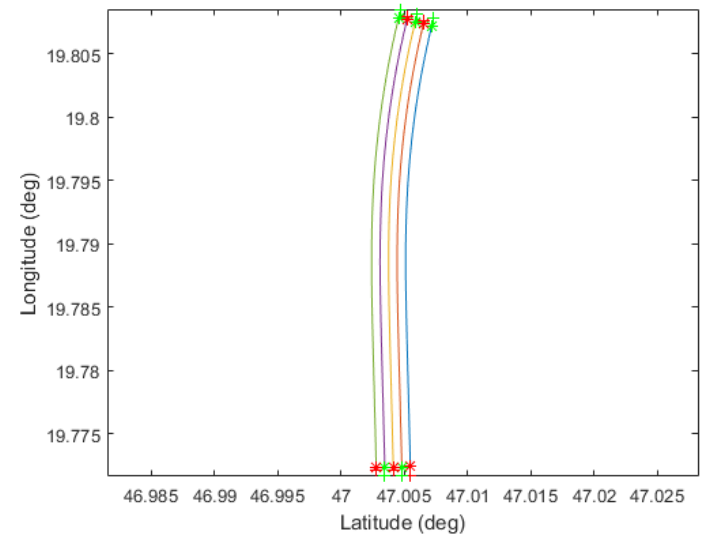
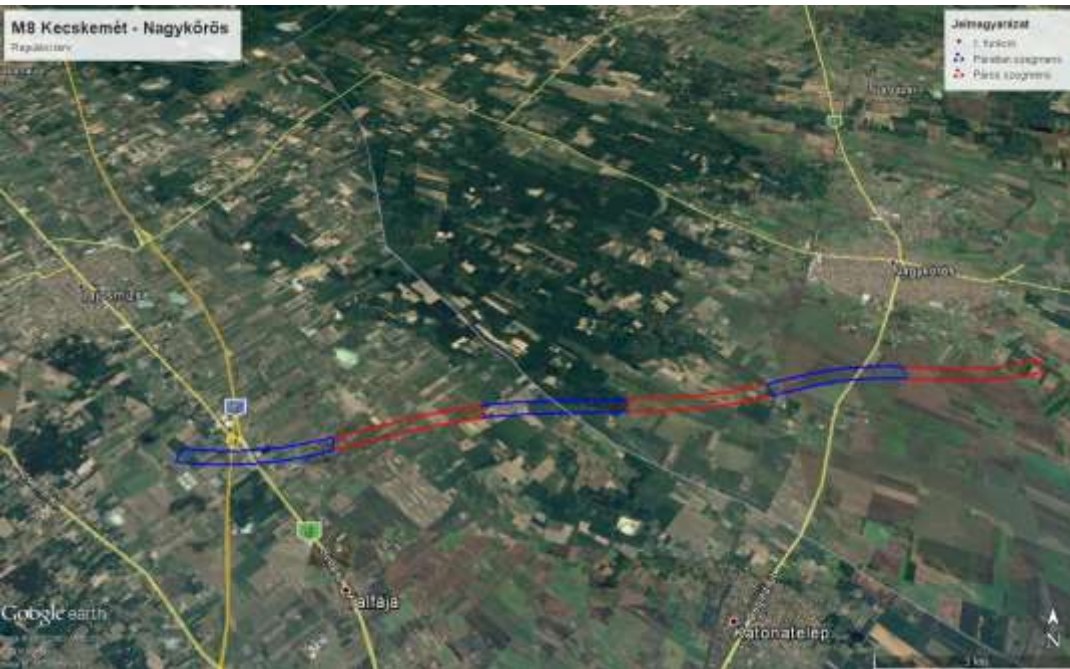
Autópálya specifikumok



- Tervek EOVS koordináta rendszerben (robotpilóta útvonal tervek WGS84-ben)
- Hosszú vonalas létesítmények (20-40 km hossz 200-300 m szélesség)
- Lakott területeket ritkán érint
- Tervezési fázisban gyakori növényzet
- Kivitelezési fázisban sok szabad, nyers földfelület
- A GCP-k kihelyezése igen körülményes



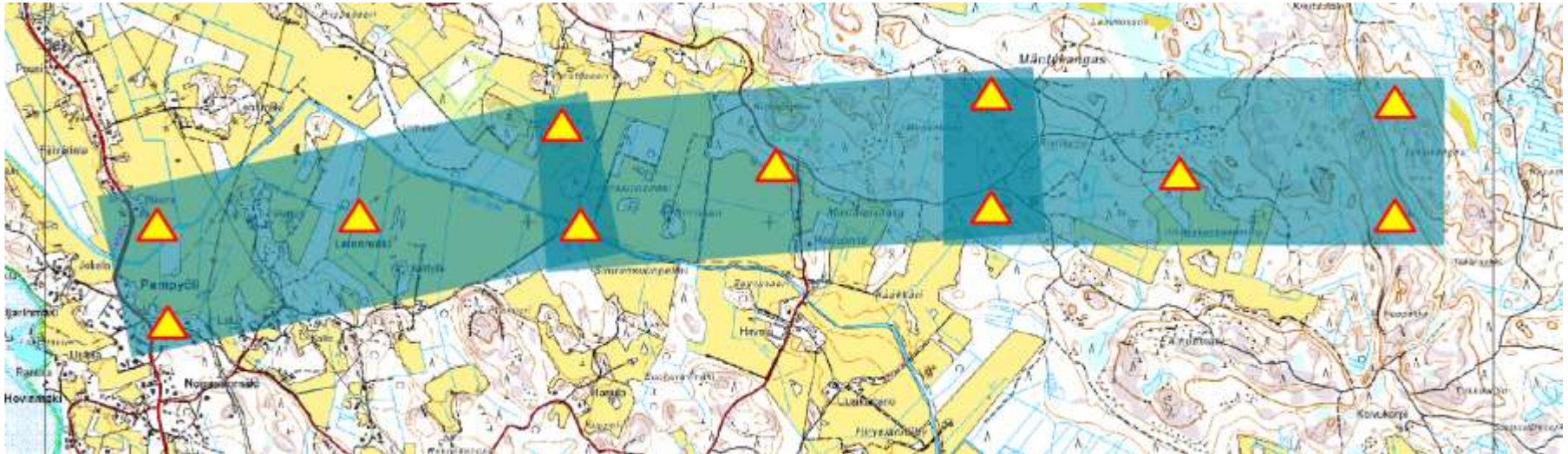
Útvonal tervezés



A teljes terület egyben nem repülhető le (repülési idő és légtér biztonság)

- A fényképek átfedésének garantálása
- Zökkenőmentes átmenet az egymást követő párhuzamos repülési vonalak között
- Kellően sűrű útvonalpontok a hirtelen manőverek elkerülésére
- A szegmensek közötti átfedés garantálása esetleges együttes feldolgozás esetén

Minőség ellenőrzés



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP34 (3D)	0.020/ 0.020	0.028	-0.011	0.014	1.283	3/3
GCP35 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	0.018	0.020	0.904	5/5
GCP36 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	-0.026	-0.007	0.360	2/2
GCP37 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.009	-0.115	1.511	3/3
Mean		0.004375	-0.006969	-0.022267		
Sigma		0.016141	0.015906	0.054731		
RMS Error		0.016724	0.017365	0.059087		



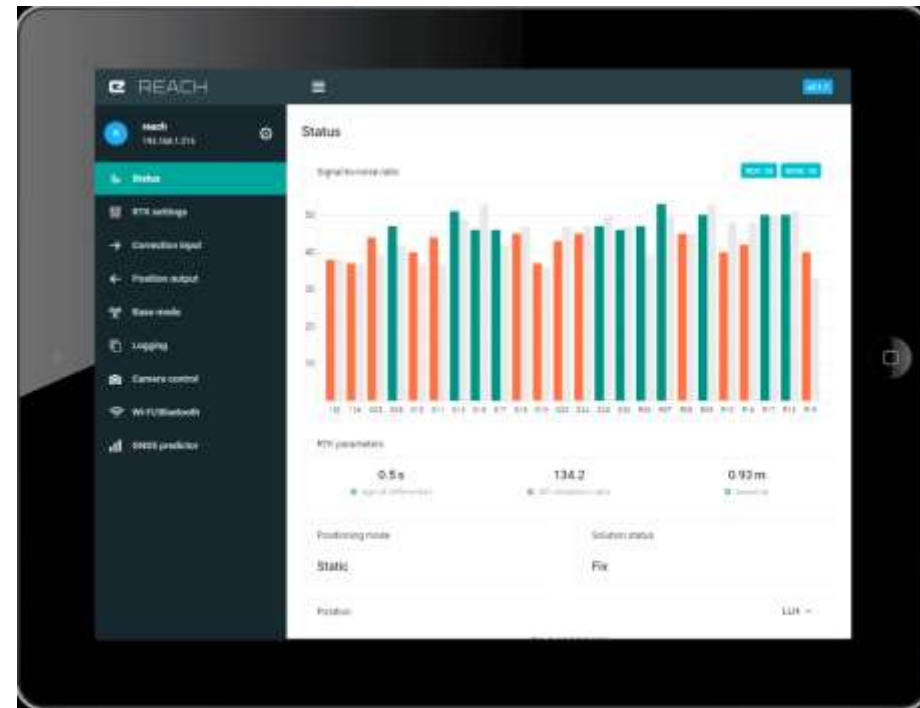
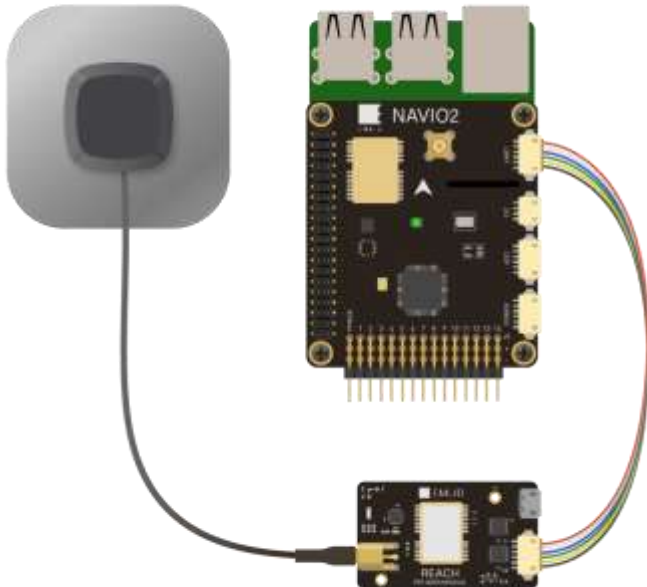
Képek direkt RTK georeferálása



- A képek készítésének idejét és a nyers adatokat rögzítjük
- A földi korrekciókat a Fömi (gnssnet.hu) vagy telepített bázis szolgáltatója
- Az utófeldolgozás során a teljes útvonal (5Hz-es frissítéssel) és az elkészült képek is 3cm alatti abszolút pontossággal rendelkeznek
- A képek feldolgozása után az elkészült domborzati modell pontosságát is nagyban meghatározza ez (azonban a fotogrammetriai feldolgozás szintén fontos)

Emlid Reach

- L1 frekvenciájú u-blox LEA-M8T alapú önálló egység
- Intel Edison beágyazott számítógép – WiFi és Bluetooth képes
- Intuitív webes kezelőfelület
- RINEX Version 3.03 (RTCM3 és UBX adatokban)
- GPS+Glonass+SBAS+Galileo nyers adatok 5 Hz frissítéssel
- GPS+SBAS 14 Hz frissítéssel
- Megoldható a fedélzeti RTK egy mobilnet routerrel
- RTKLIB utófeldolgozás (az események kezelésére speciális verzió)
- 20 ns késleltetés a vakucsatlakozó és GNSS egység között
- Tallysman patch antenna



GNSS Utófeldolgozás Módosított RTKLIB-el

RTKCONV ver.2.4.3 Emlid b26

☐ Time Start (GPST) ? ☐ Time End (GPST) ? ☐ Interval ☐ Unit

2000/01/01 00:00:00 2000/01/01 00:00:00 1 s 24 H

RTCM, RCV RAW or RINEX OBS ?

C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.ubx

Output Directory

☐ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\Test

RINEX OBS/NAV/GNAV/HNAV/QNAV/LNAV and SBS

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.obs

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.nav

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.gnav

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.hnav

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.qnav

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.inav

☒ C:\Users\A\Desktop\docs-reach\flightlogs\rover\raw\rov_201612080728.sbs

Format

u-blox

Auto

RTCM 2

RTCM 3

Nov

Nov

u-blox

Super

Hem

Sky1

GW

Jav

NVS

BIN

Trim

Sepl

CMR

RINEX

Plot... Process... Options... Convert

GNSS Szolgáltató Központ // Webszolgáltatások - Google Chrome

utolagos.gnssnet.hu

GNSS Szolgáltató Központ

www.gnssnet.hu

Geo++® GNWEB

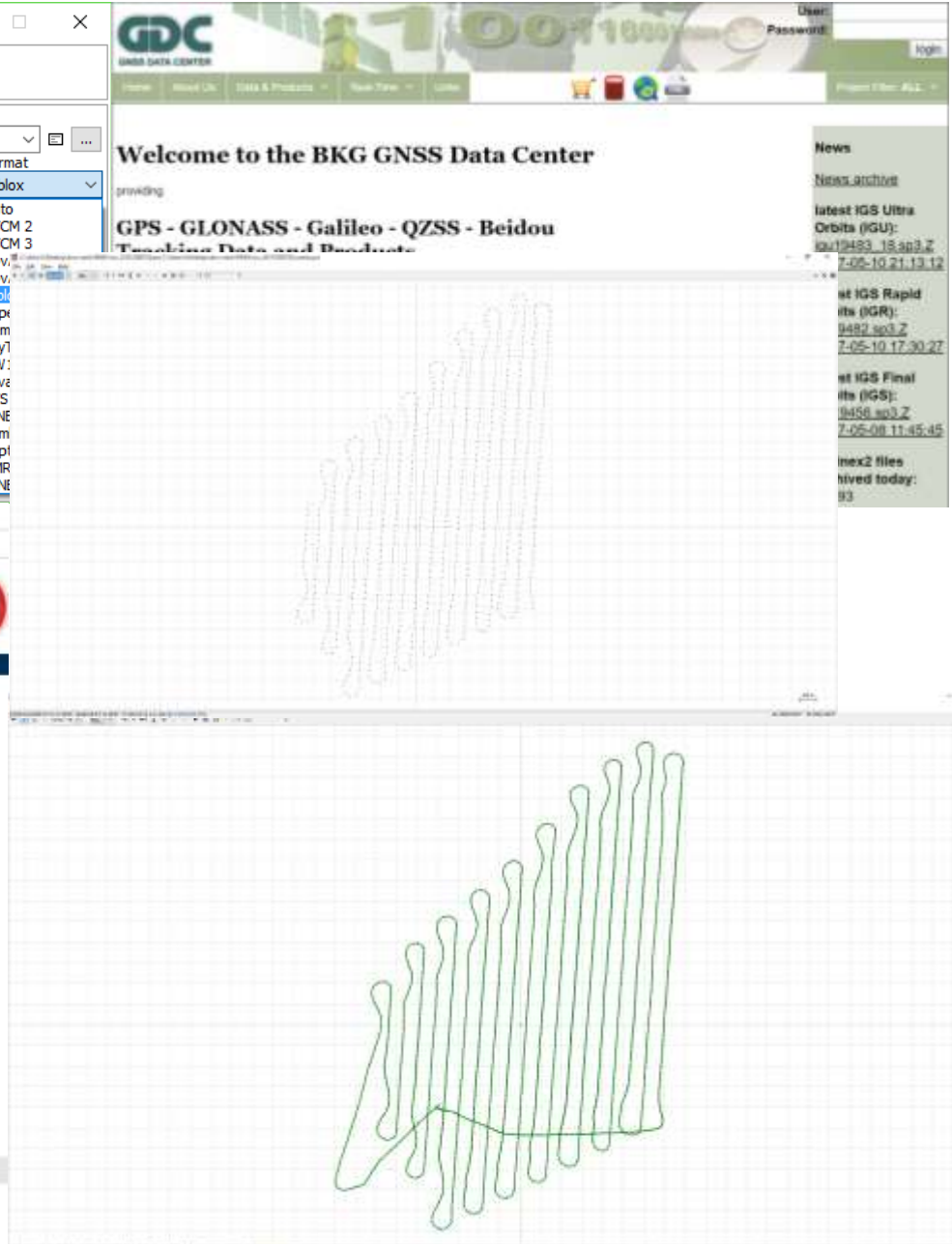
Adatfeltöltés utolagos feldolgozáshoz

A feltöltés kizárólag Internet Explorer böngészővel működik!

- RINEX és Virtuális RINEX adatok online szolgáltatása.
- RINEX adatok elérhetőségének megjelenítése.
- Grafikus ábrák és időtartam választás.
- Részletes információ az összes állomásról.
- Különböző file formátumok, file nevek és tömörítési eljárások támogatása.
- Java™ Applet futtatásával egy böngészőben.

Indítás

Copyright © 2006 by Geo++ GmbH. Alle Rechte vorbehalten.



Utófeldolgozás lehetőségei

Reach: GPS+Glonass+
SBAS (+Galileo) 5Hz

Nyers földi mérés

.sp3 és .clk
fileok

Leica: GPS+Glonass+ SBAS 20Hz

Nyers fedélzeti
mérés

Repülés közben
gyűjtött
korrekciók

Forward,
backward,
combined

GPS+Glonass+
SBAS (+Galileo) 5Hz

VRS 1Hz, néha kihagy

GNSSNet utólagos
korrekciók

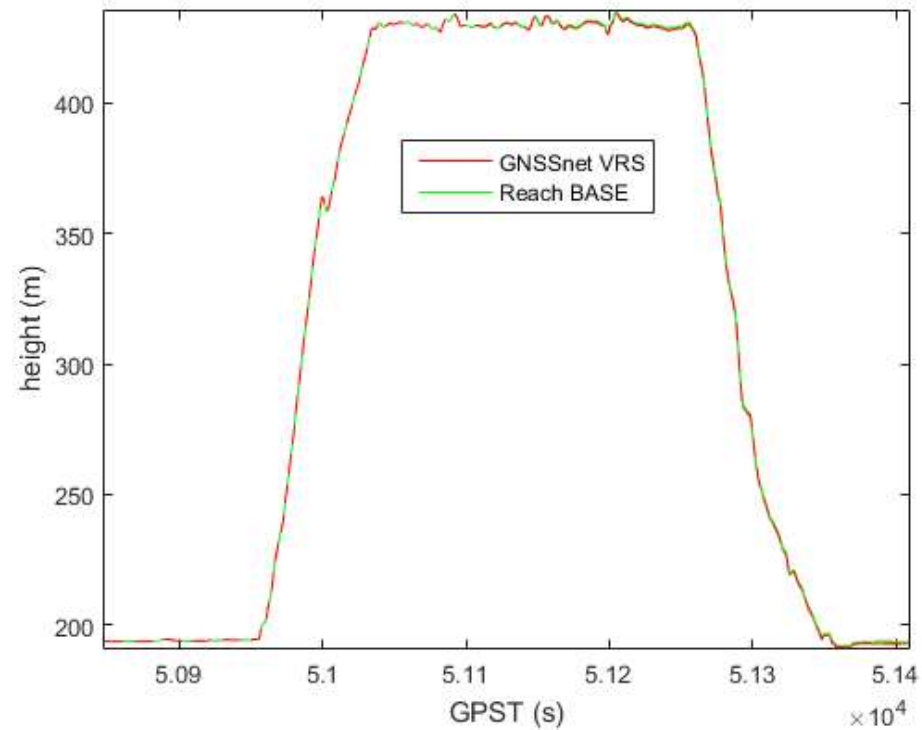
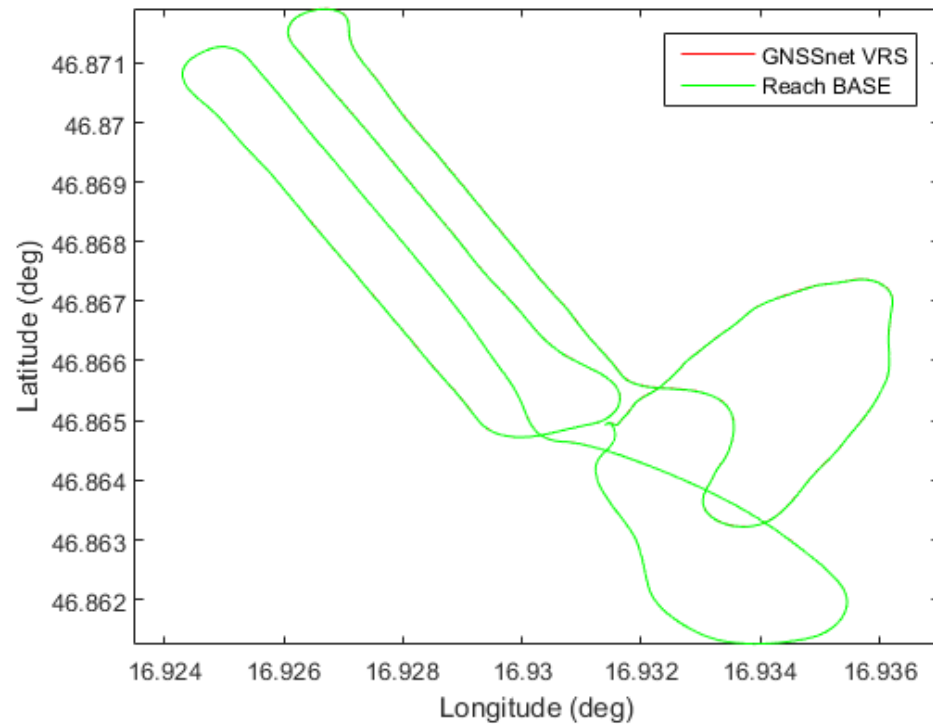
Fix-and-hold/
continuous

VRS 1Hz

	Reach Base	Leica Base	GNSSNet	Reach Base	Leica Base
Rep 1.	4mm	1mm	46.9%	92.5%	89.5%
Rep 2.	No fix	<1mm	83%	n/a	91.1%

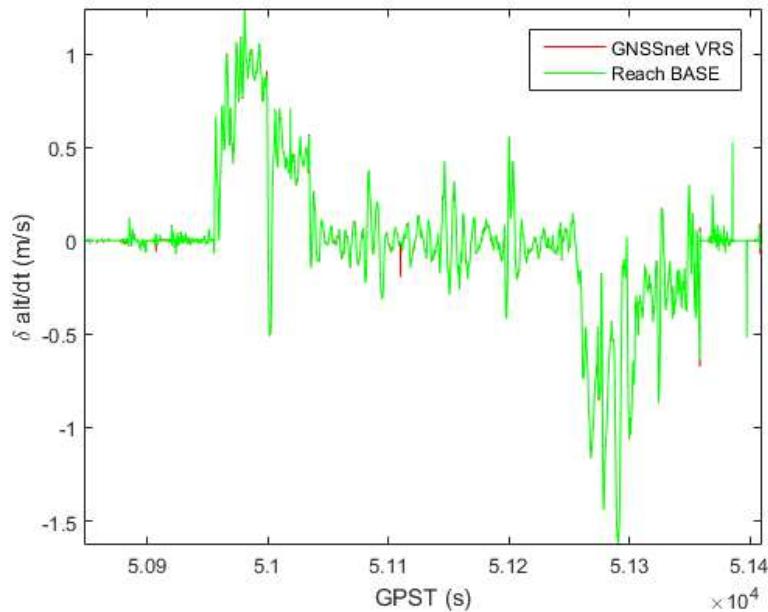
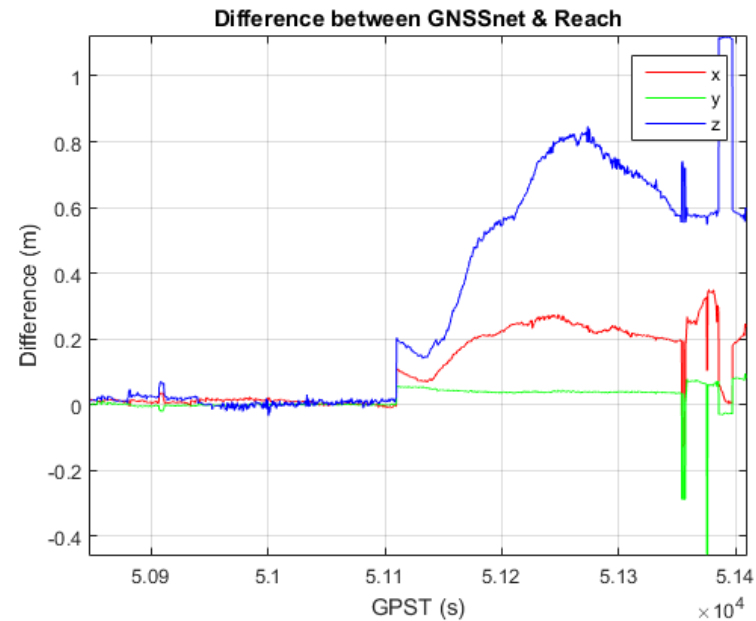
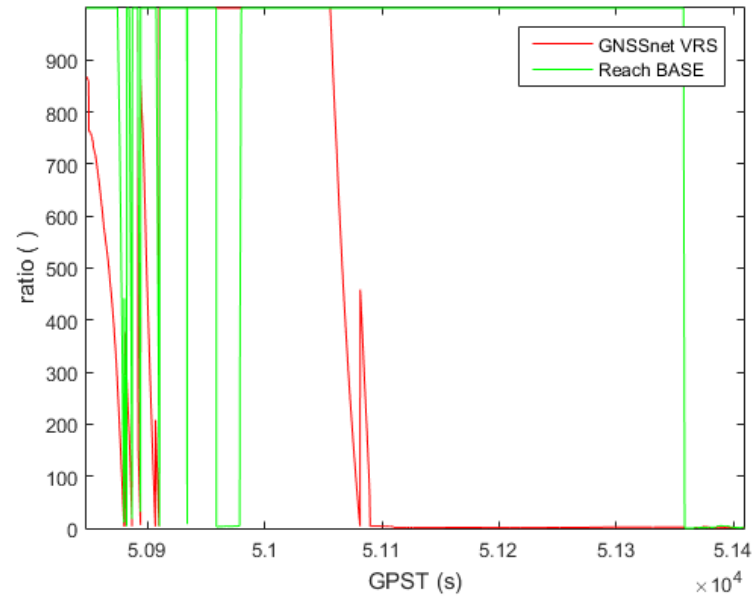
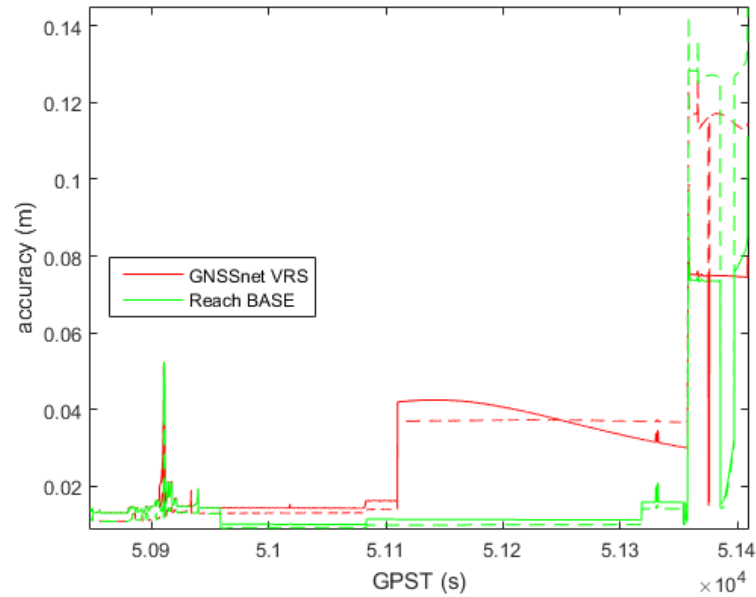
PPK Feldolgozás RTKLIB-el

virtuális és valós bázis összehasonlítás

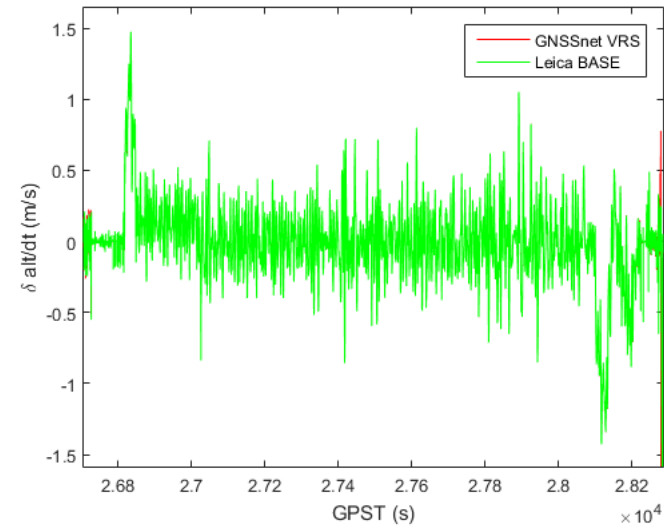
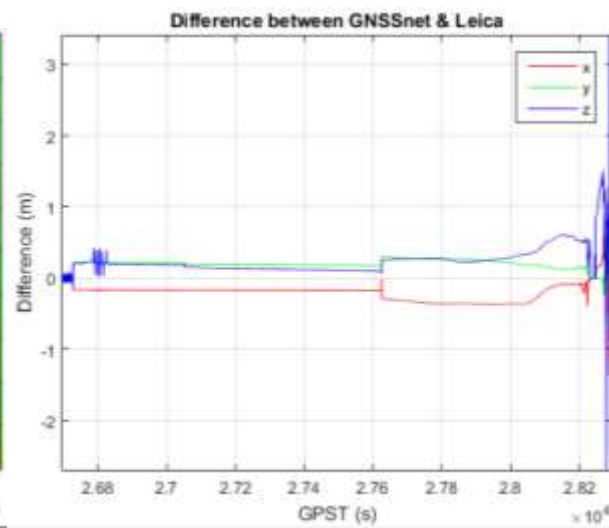
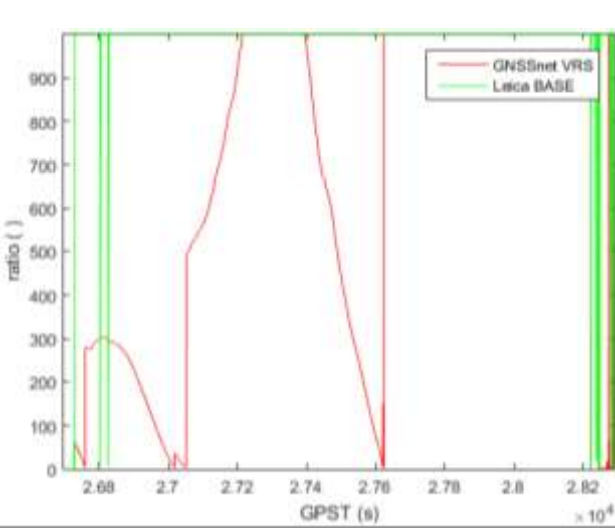
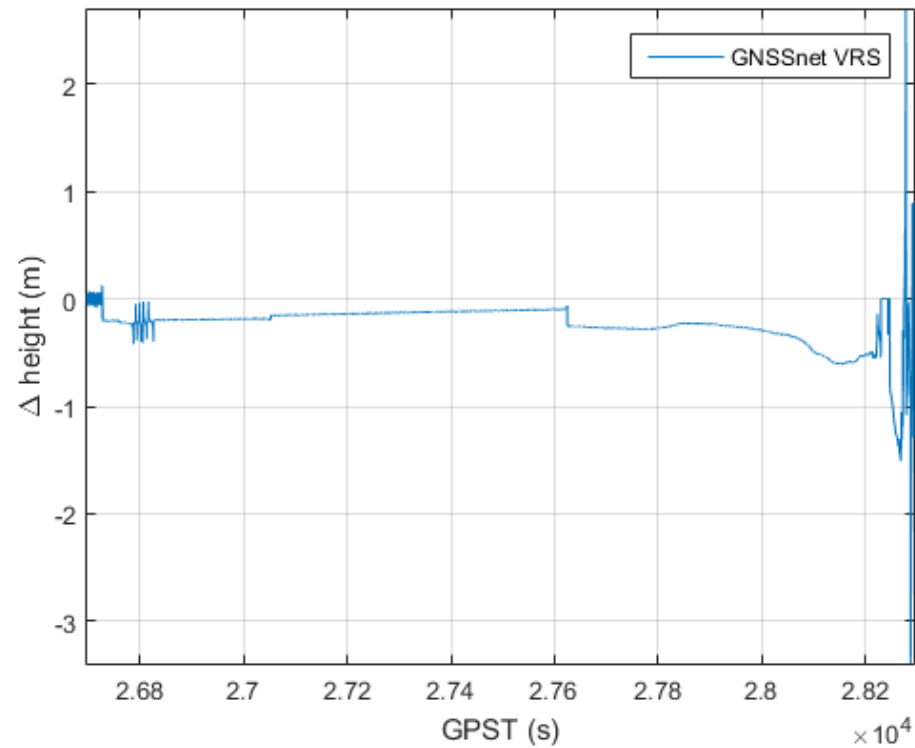
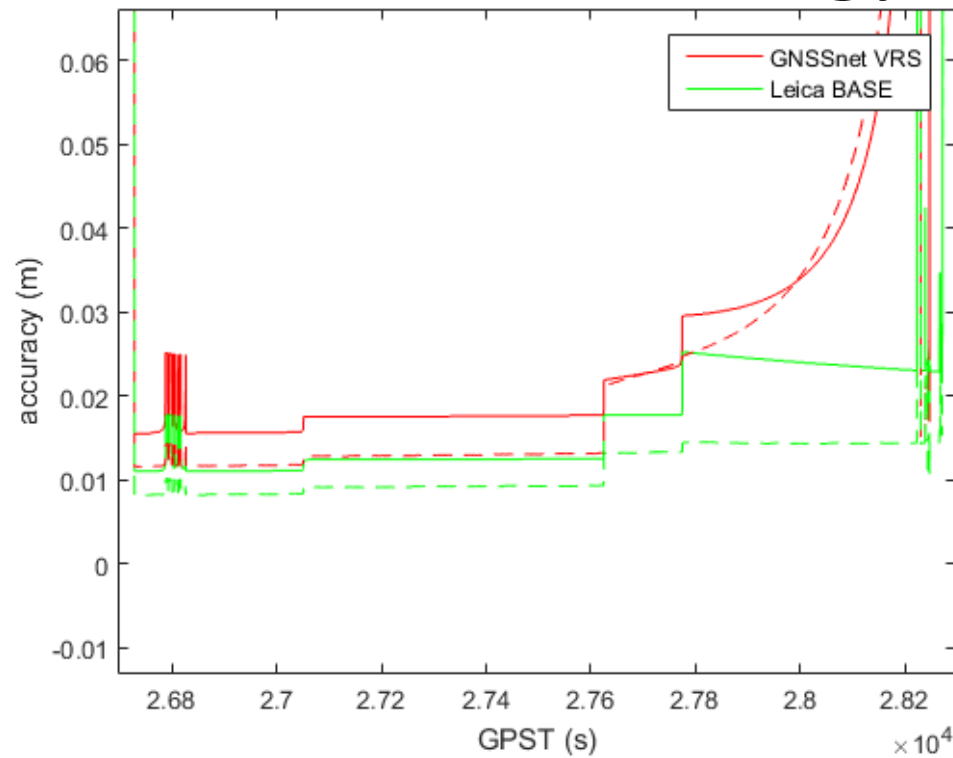


PPK Feldolgozás RTKLIB-el virtuális és valós bázis

(ratio factor of ambiguity validation – ratio of squared residuals of the best integer vector to the second-best vector)



VRS és Valós, egy „kis” anomáliával



WGS84 → HD72/EOV konverzió

- A végtermékeket EOV rendszerben (is) kell leszállítani
- A földi GCP-ket EOV rendszerben mérjük
- Pix4d ismeri az **EPSG:23700** rendszert de a hozzá tartozó magasságot már nem kezeli
- A Pix4d-t több ízben győzködtük a proj4 könyvtár implementációjára
- Repülésenként 2-300 kép koordinátáinak konverziója
- A koordináták kiegészítése az orientációval
- Repülőgépes konvenció és fotogrammetriai konvenció különbsége:

Navigation	Photogrammetry
roll, pitch and heading angles: φ, θ, ψ	phi, omega and kappa: ϕ, ω, κ
vector in body coordinate system (b-System): $\mathbf{r}^b = \begin{bmatrix} x^b \\ y^b \\ z^b \end{bmatrix}$	vector in image coordinate system (i-System): $\mathbf{r}^i = \begin{bmatrix} x^i \\ y^i \\ z^i \end{bmatrix}$
vector in navigation coordinate system (n-system): $\mathbf{r}^n = \begin{bmatrix} x^n \\ y^n \\ z^n \end{bmatrix}$	vector in terrain or object coordinate system (t-system): $\mathbf{r}^t = \begin{bmatrix} x^t \\ y^t \\ z^t \end{bmatrix}$
transformation matrix from body to navigation system: $\mathbf{C}_b^n = (\mathbf{C}_n^b)^T$	transformation matrix from terrain to image system: $\mathbf{C}_{t,i}^i = (\mathbf{C}_i^t)^T$

← localhost/on_line/etrs2eov/

ETRS89 <--> EOV/Balti konverzió

- ☒ Egy pont ☐ EOV -> ETRS89
☐ Fájl ☒ ETRS89 -> EOV

Lambda:

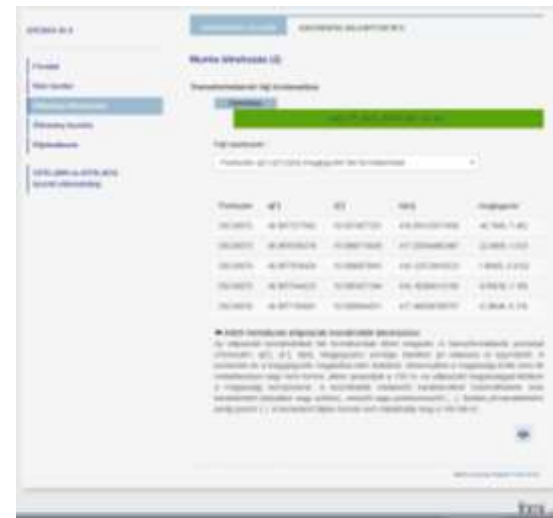
Fi:

h:

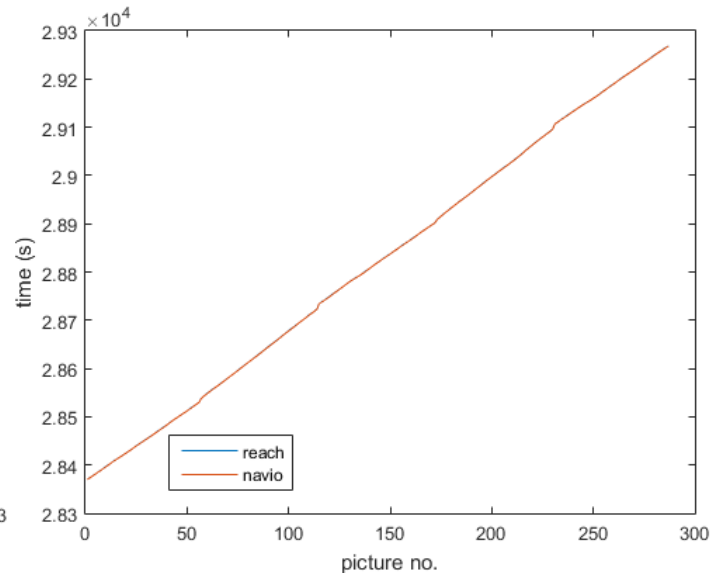
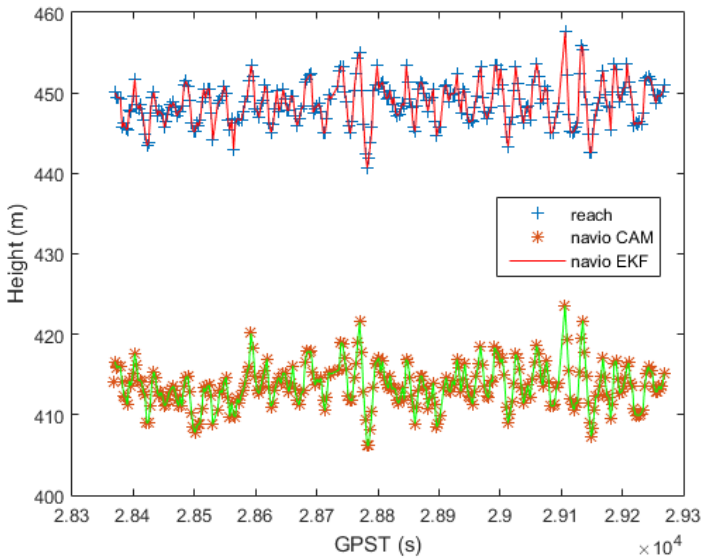
Formátum:

[Dokumentáció](#)

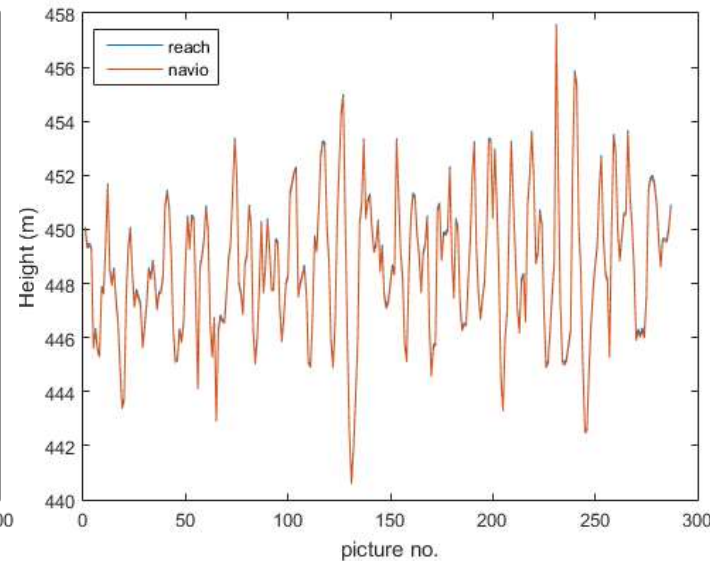
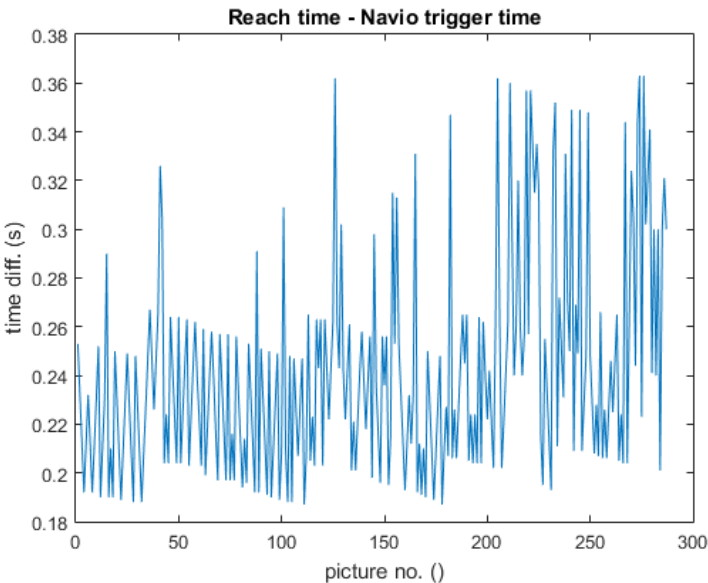
Küld



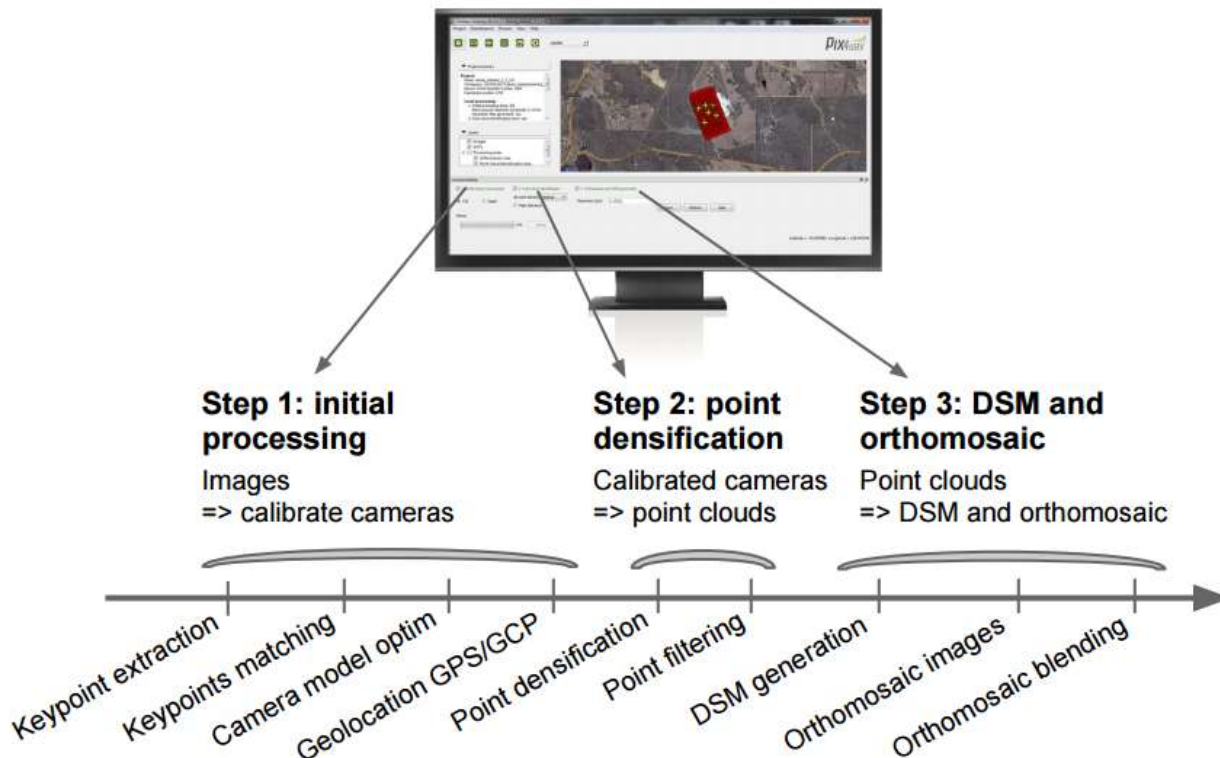
Robotpilóta és GNSS feldolgozása



- Reach és Navio időbélyeg különbség
- Kimaradt képek miatti korrekció
- GNSS antenna és Kamera közti távolság kompenzáció



Pix4D Fotogrammetriai Feldolgozás



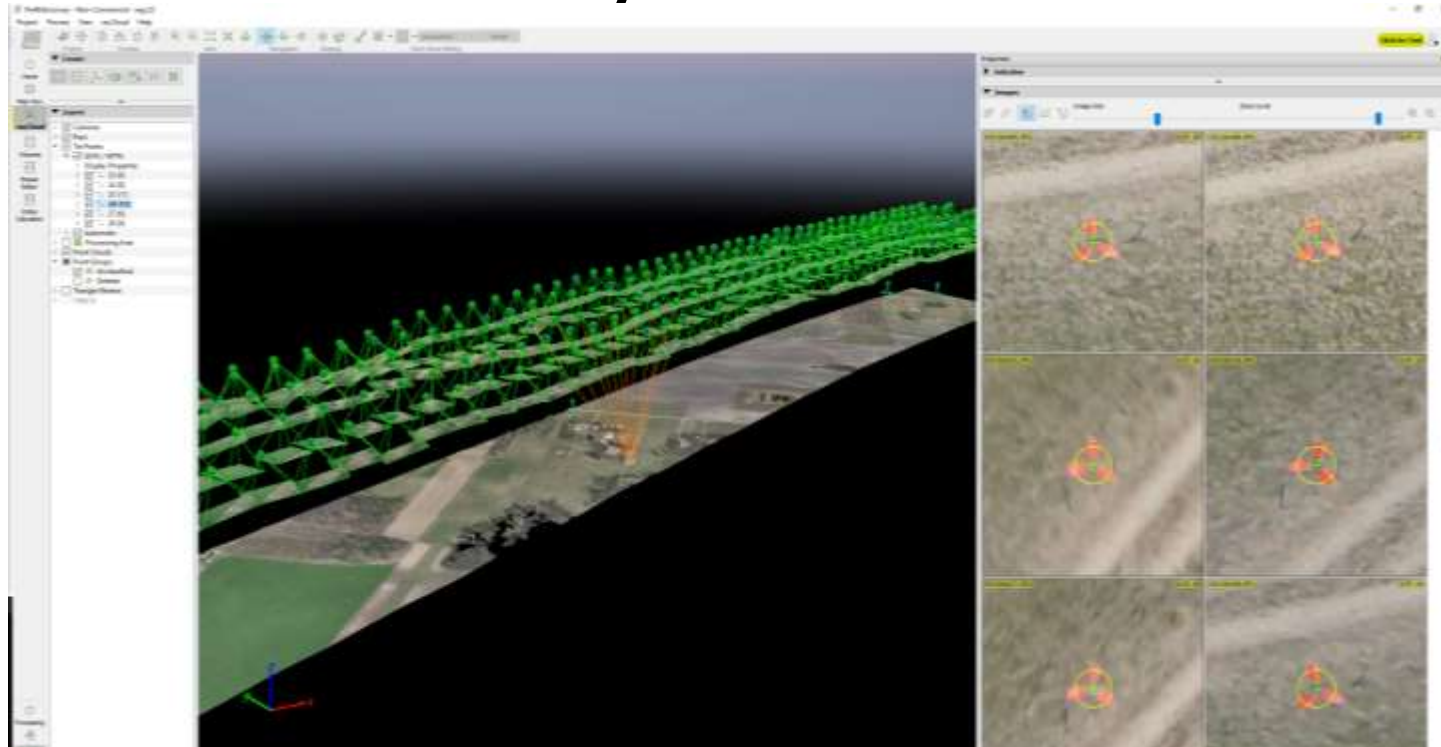
- Nagy számú, megfelelő átfedéssel készült (hossz és keresztirány) fénykép
- Pontos geolokáció
- Jó fényviszonyok és kamera beállítások
- Kellő textúra a képeken és statikus környezet (víz, szeles időben lombkorona problémás)
- Rezgésmentes, sima repülési útvonal (alacsony bedöntés)

Esettanulmány M8 Kecskemét Észak



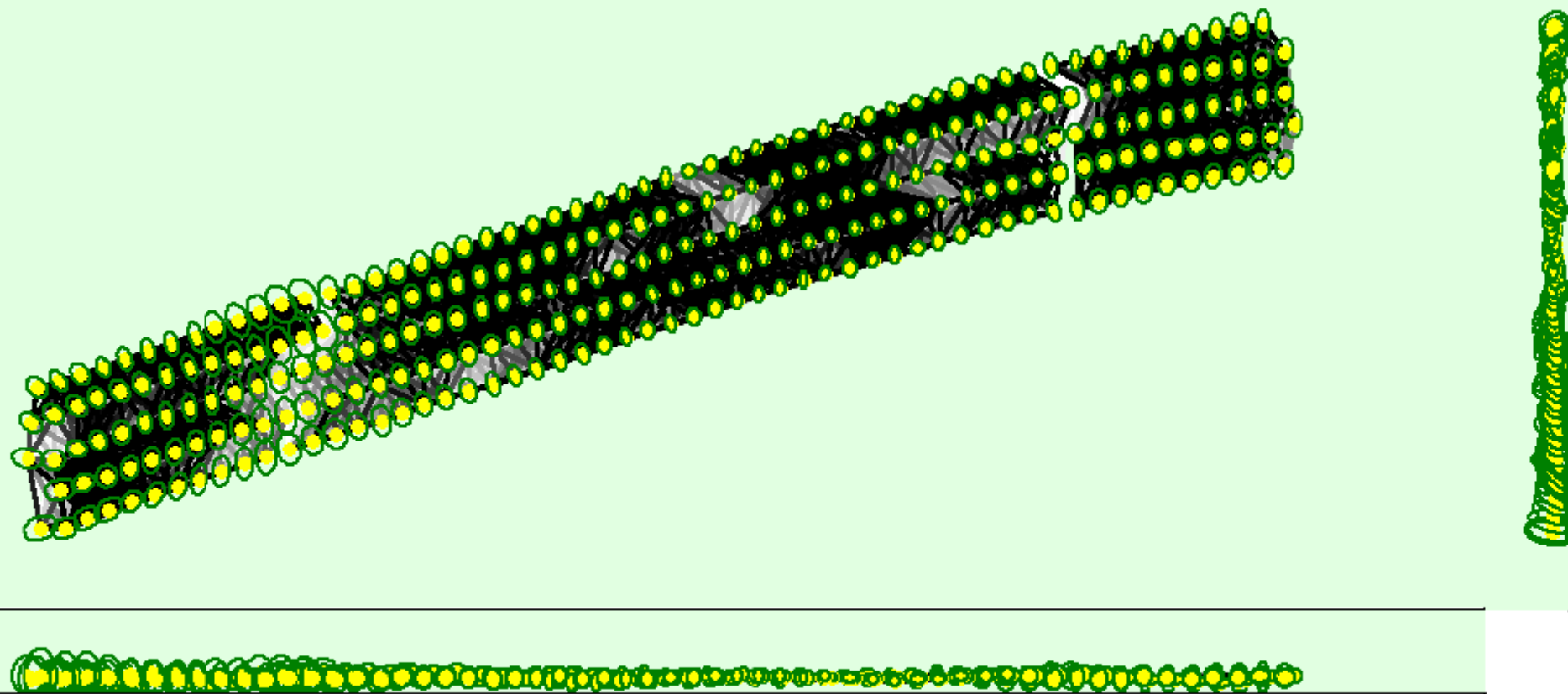
- 20 perces repülés, 278 kép, 250m repülési magasság – 4.7cm/pixel felbontás
- 1.49 km²
- 77998 kulcsponként képenként (Sony A6000, 24Mp)
- Első lépés feldolgozása: 39 perc (i7, 32GB, GTX 660)
- Pontfelhő sűrítés: 52 perc 28 pont/m², 3D textúra 44 perc
- Ortomozaik: 1óra 19 perc

Esettanulmány M8 Kecskemét Észak



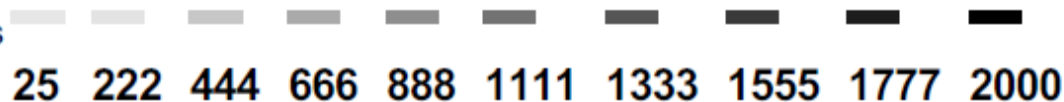
0 out of 6 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
23	0.020/0.020	-0.059	0.001	-0.072	0.976	9 / 9
24	0.020/0.020	-0.080	-0.027	0.019	0.811	8 / 8
25	0.020/0.020	0.065	-0.037	-0.101	0.665	11 / 11
26	0.020/0.020	0.000	-0.041	-0.049	0.720	12 / 12
27	0.020/0.020	0.083	-0.057	-0.112	0.388	6 / 6
28	0.020/0.020	0.128	-0.038	0.055	0.631	9 / 9
Mean [m]		0.022970	-0.032911	-0.043111		
Sigma [m]		0.075448	0.017668	0.061076		
RMS Error [m]		0.078867	0.037354	0.074759		



Uncertainty ellipses 50x magnified

Number of matches

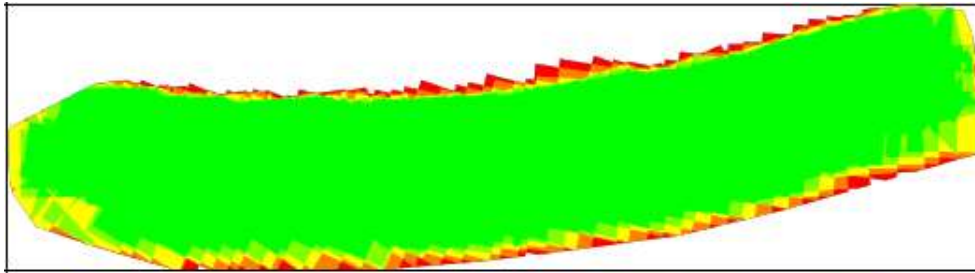


? Relative camera position and orientation uncertainties

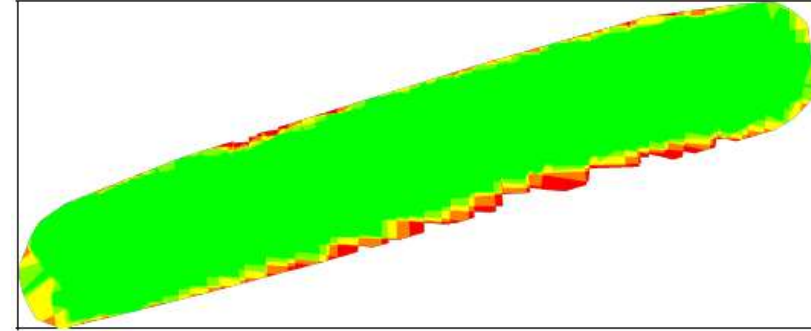


	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.324	0.440	0.385	0.121	0.087	0.052
Sigma	0.096	0.116	0.164	0.060	0.042	0.029

Összehasonlítás (GCP-vel)



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
27 (3D)	0.020/ 0.020	0.018	0.052	0.006	0.673	8 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	-0.022	0.016	0.620	6 / 6
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.005	-0.002	0.754	22 / 22
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.007	0.007	0.646	14 / 15
32 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.001	0.032	0.652	13 / 13
36 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	-0.006	-0.014	0.405	8 / 8
38 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	-0.020	-0.010	0.854	18 / 18
39 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.017	-0.003	1.106	12 / 12
Mean [m]		-0.001300	0.000192	0.003856		
Sigma [m]		0.014994	0.022280	0.013757		
RMS Error [m]		0.015050	0.022281	0.014287		

0 out of 1 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
35	0.0200/0.0200	-0.0089	0.0681	1.3524	0.6076	8 / 8

Alkalmazhatóság

Előnyök:

- Nagy felbontás (skálázható)
- **Nehezen elérhető területek lefedése**
- Gyorsaság
- Jól illeszkedik a tervező szoftverekhez – járulékos funkciók beépítése

Hátrányok:

- Időjárás függő (csapadék, szél)
- A növényzet alá nem lát
- **Georeferenciát igényel**
- Jogi környezet jelenleg alakul

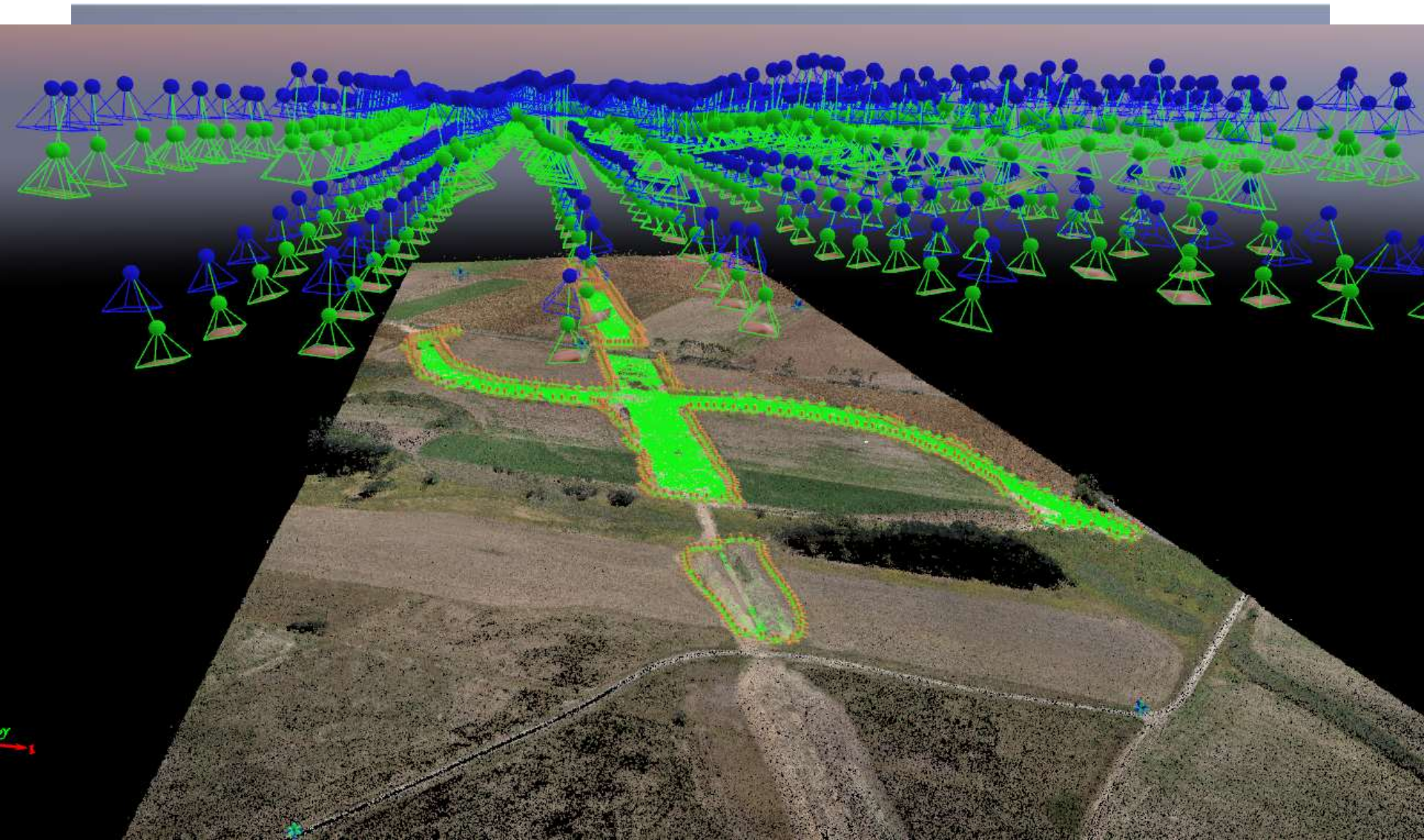
Földi referencia pontok nélküli repülés:

- Némileg alacsonyabb pontosság
- Hosszabb feldolgozási fázis és folyamatos ellenőrzés
- Meglévő infrastruktúra
- Jelentős időmegtakarítás ahol a némileg alacsonyabb pontosság megengedhető

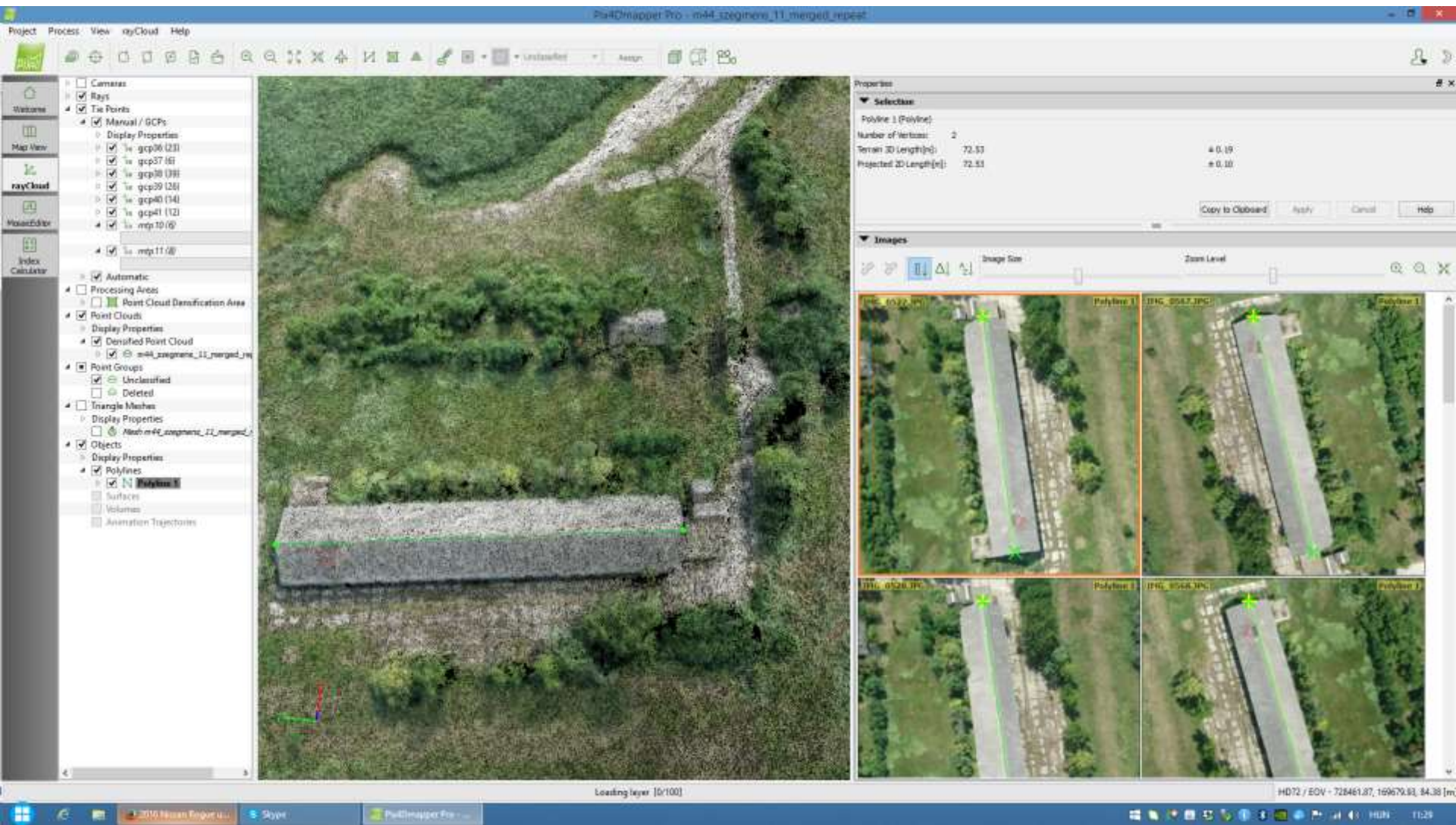
Végtermékek

Végtermék	Formátum	Felhasználás	Szoftver kompatibilitás
Raszter ortomozaik	geoTIFF (.tiff) KML csempék (.png/.kml)	Terület áttekintés, épület digitalizáció, GIS szoftver integráció, spektrális mérések	ARCGIS, Global Mapper, QuantumGIS, AutoCAD, Google Earth
Torzításmentes képek	TIFF (.tiff)	Sztereoó látás	ImageMaster
Egyenkénti ortófotók, felülnézeti képek	geoTIFF (.tiff)	Folytonos vonalak szerkesztése	OrthoVista
3D pontfelhő	.las, .ply, .ascii, .xyz	Vizualizáció, felület szerkesztés, Domborzati modell generálás (DSM, DTM),	ARCGIS, Global Mapper, AutoCAD, Quick Terrain Reader, 3D Reshaper, Trimble RealWorks
Raszter digitális felület model (DSM)	geoTIFF (.tiff)	Felület analízis, térfogat számítás, kontúr vonalak generálása	ARCGIS, Global Mapper, AutoCAD, Quick Terrain Reader, 3D Reshaper, Trimble RealWorks
Szintvonalak	.dxf, .pdf	Domborzat kisebb méretű fileokkal, kevesebb részlettel	AutoCAD,

M4 Repülés 2015



Távolság Mérés



Terület Mérés

Project Process View rayCloud Help

rayCloud

Map View

rayCloud

VisualEditor

Index Calculator

- ☐ Cameras
- ☒ Rays
- ☒ Tie Points
 - ☒ Manual / GCPs
 - Display Properties
 - ☒ gcp36 (23)
 - ☒ gcp37 (6)
 - ☒ gcp38 (399)
 - ☒ gcp39 (20)
 - ☒ gcp40 (14)
 - ☒ gcp41 (12)
 - ☒ mtp10 (8)
 - ☒ mtp11 (8)
 - ☒ mtp12 (4)
 - ☒ mtp13 (4)
 - ☒ mtp14 (2)
 - ☒ mtp15 (2)
 - ☒ Automatic
 - ☐ Processing Areas
 - ☐ Point Cloud Denoising Area
 - ☒ Point Clouds
 - Display Properties
 - ☒ Denoised Point Cloud
 - ☒ mesh-m44_szegehere_11_merged_repeat
 - ☒ Point Groups
 - ☒ Unclassified
 - ☐ Deleted
 - ☐ Triangle Meshes
 - Display Properties
 - ☐ Polyline 1
 - ☒ Objects
 - Display Properties
 - ☐ Polyline 1
 - ☒ Surfaces
 - ☒ Surface 1
 - Display Properties
 - ☐ Volumes
 - ☐ Animation Trajectories

Surface 1 (Surface)

Number of Vertices:	4
Terrain 3D Length[m]:	162.61 ± 2.03
Projected 3D Length[m]:	156.51 ± 0.54
Indoors 3D Area[m²]:	621.65
Projected 3D area[m²]:	588.31 ± 20.79

[Copy to Clipboard] [Apply] [Cancel] [Help]

Images

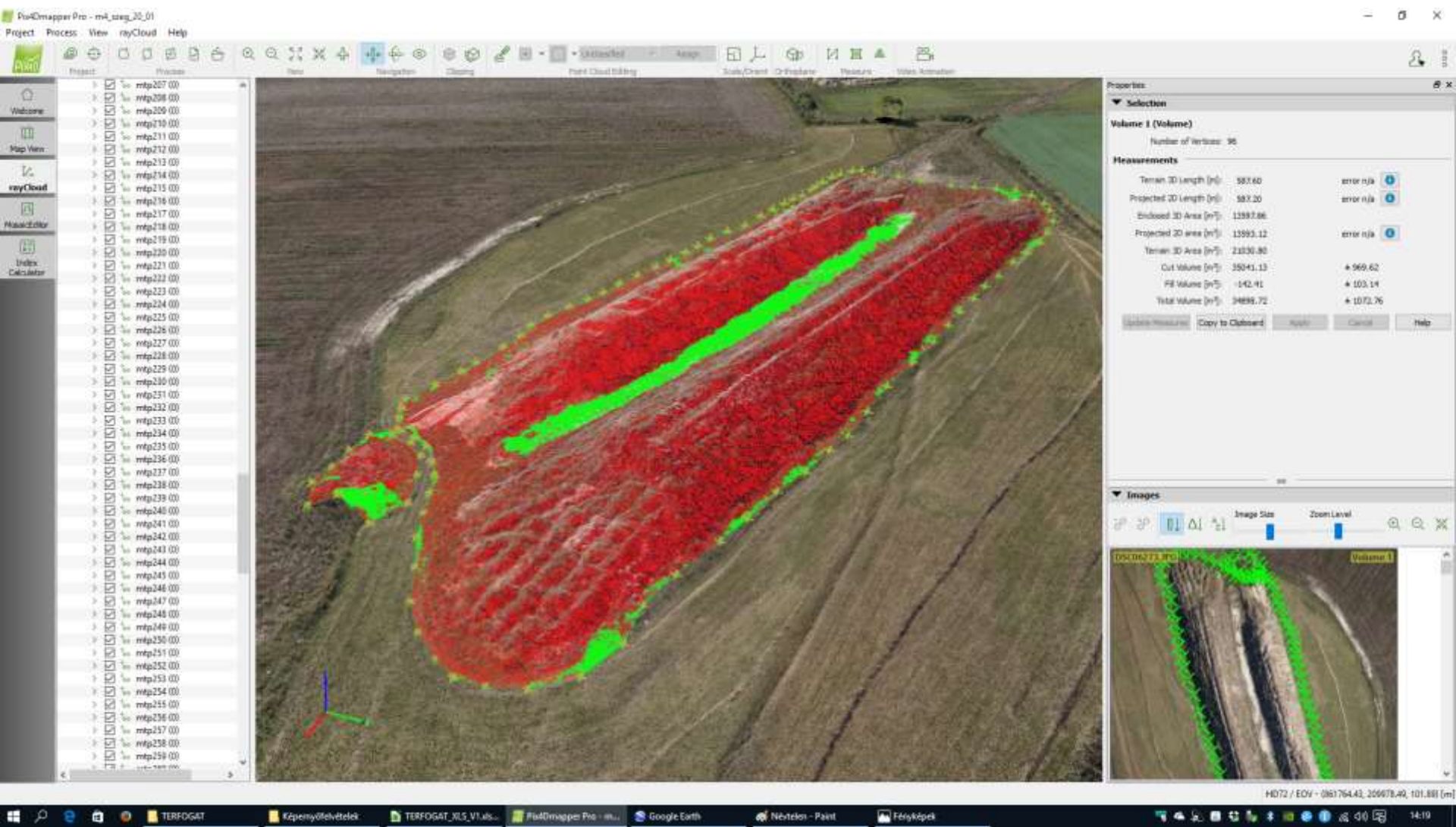
Image Size

Zoom Level

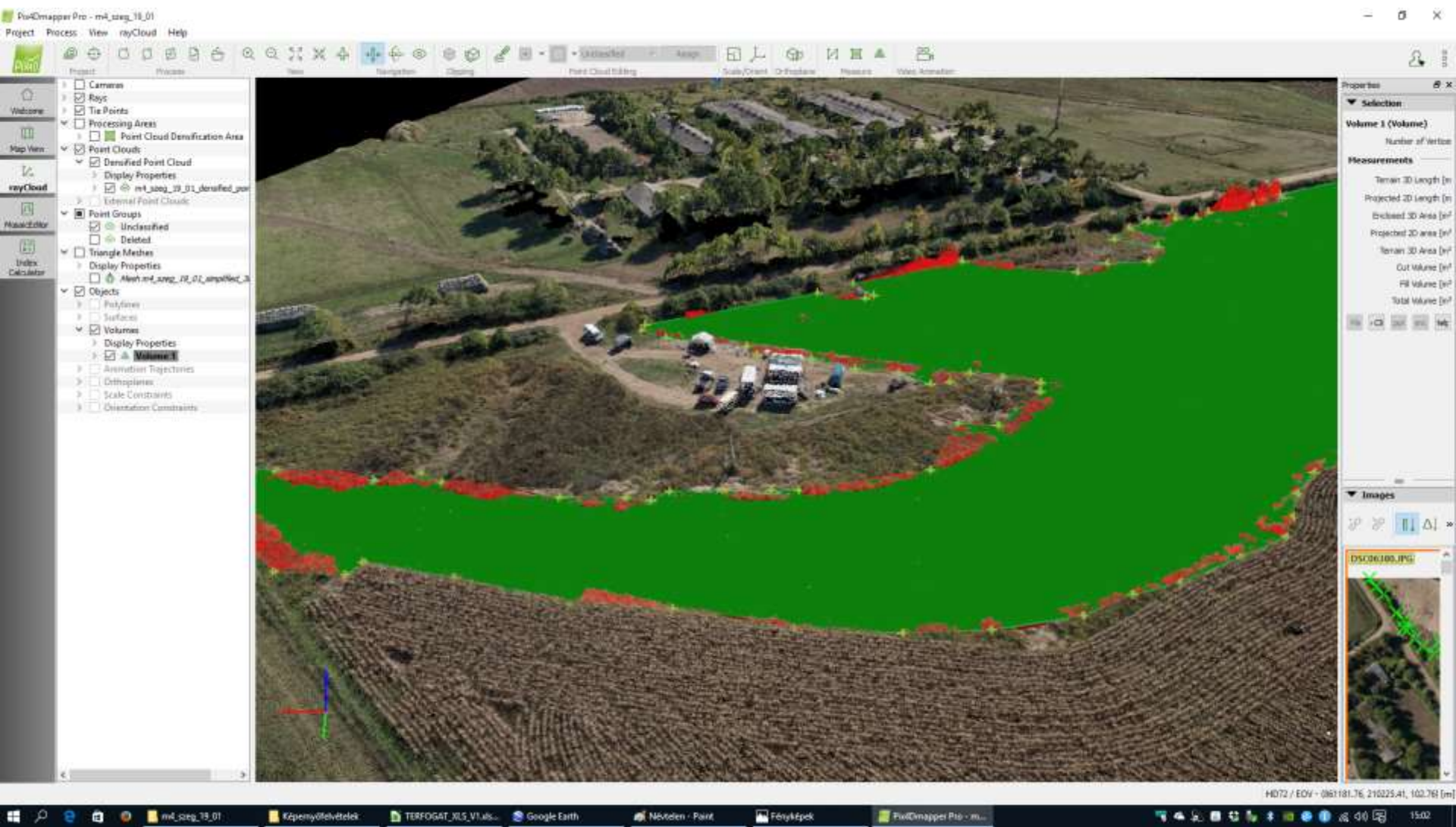
HD72 / EOY - 728350.07, 169584.55, 88.22 [m]

2016 Nissan Rogue u... Skype Pu4Chnapper Pro

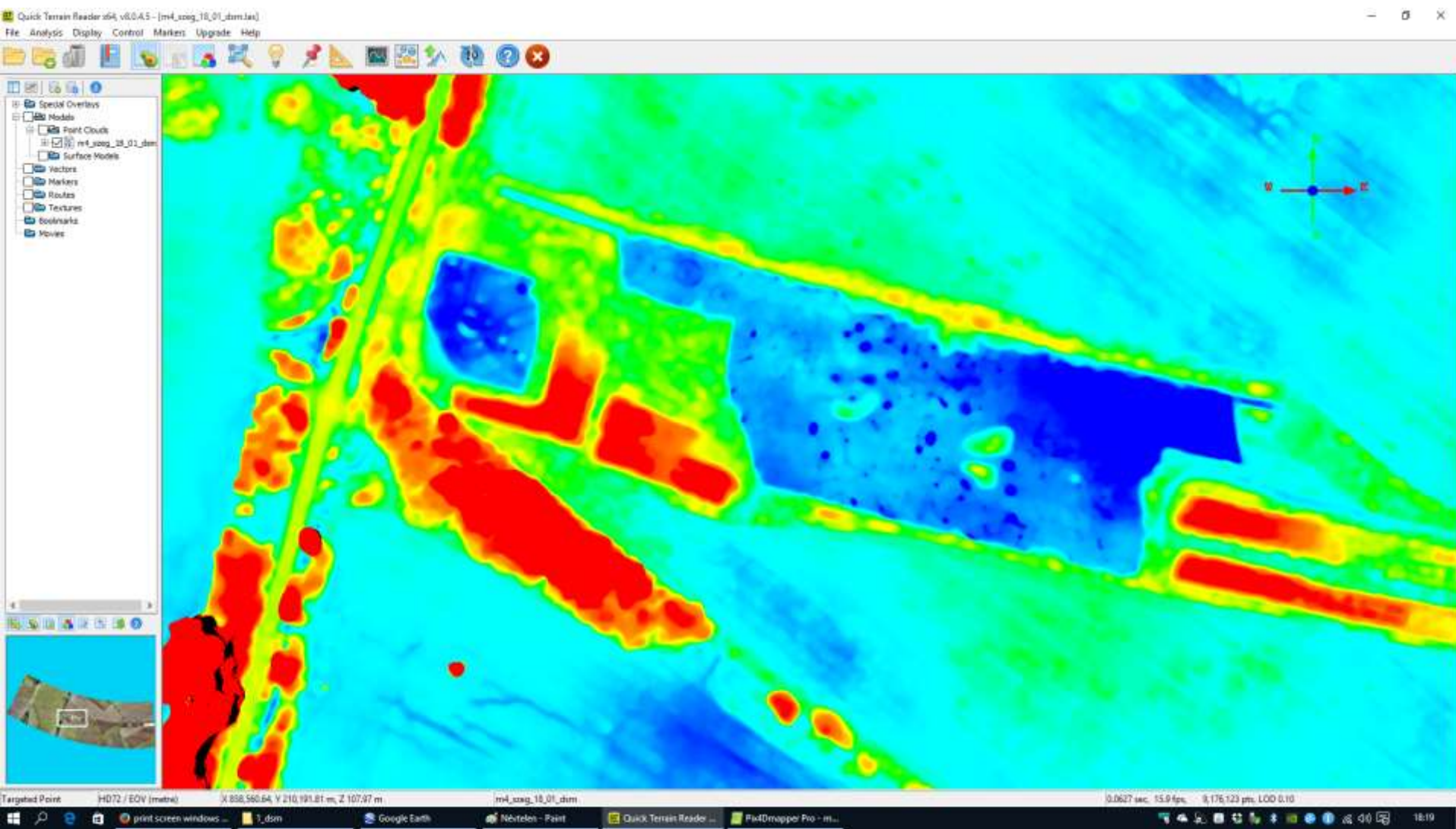
Térfogat Mérés



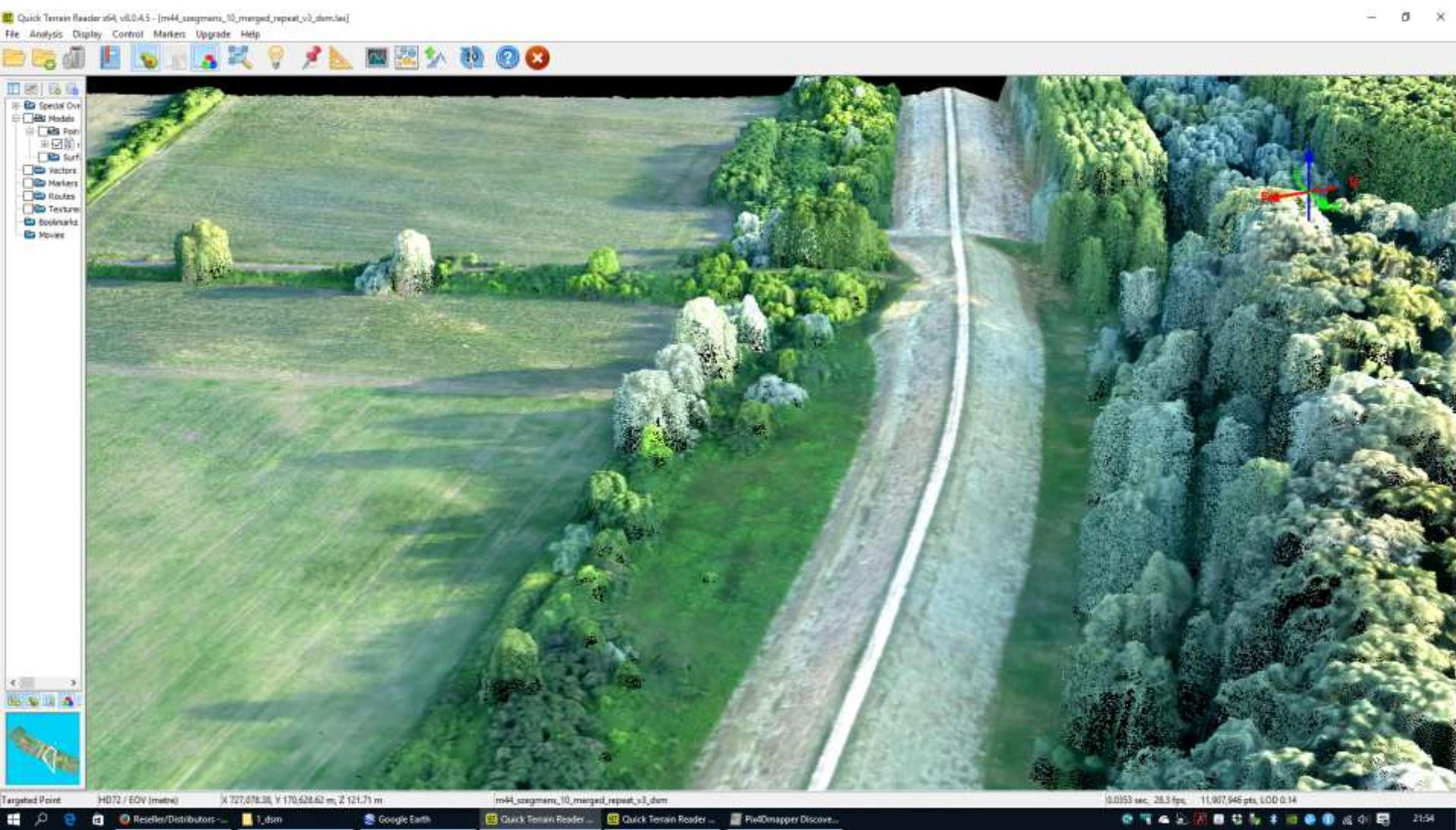
Kitermelt Mennyiség Ellenőrzése



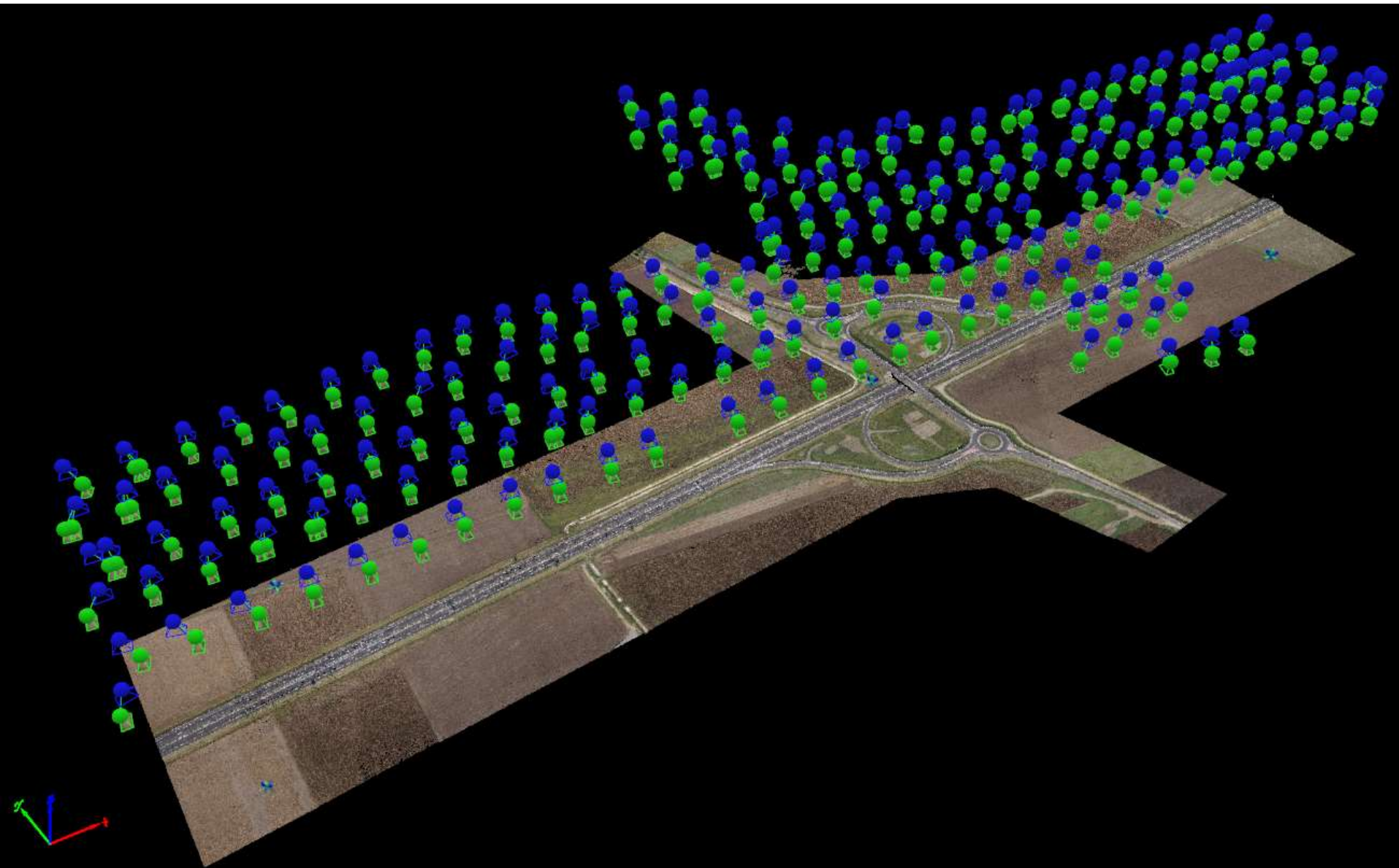
Régészeti Célú Felvételek

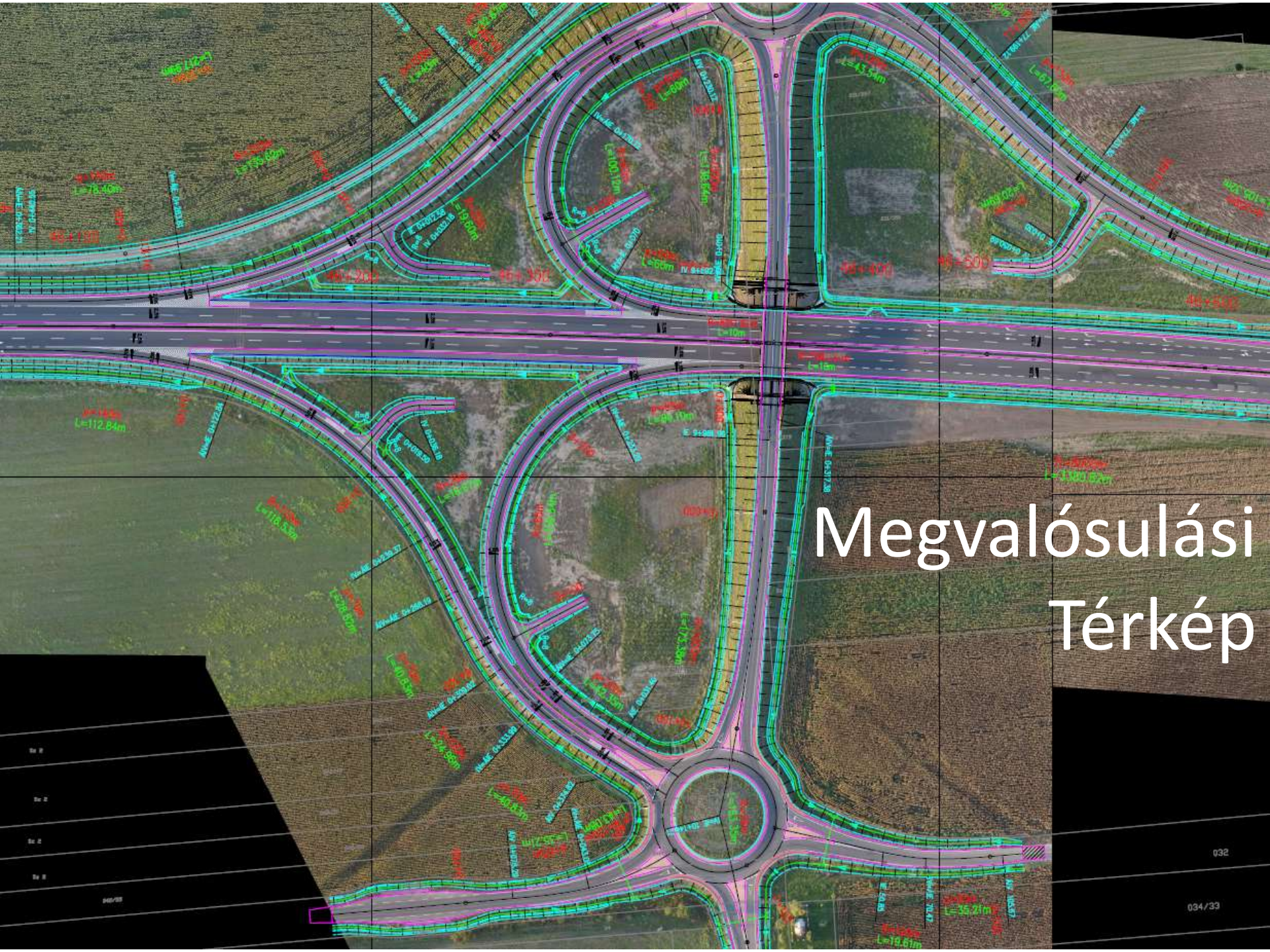


Gát Állapotának Felmérése



M43 Projekt





Megvalósulási Térkép





Köszönöm a figyelmet!

