



**SZTAKI**

**Drónokkal történő vonalas infrastruktúra monitorozás,  
az abból származó adatok kiértékelése**

**Dr. Vanek Bálint ([vanek@sztaki.hu](mailto:vanek@sztaki.hu)) SZTAKI SCL & Ventus-Tech kft.**

***VI. Magyar Közlekedési Konferencia – 47. Ütügyi Napok***

**LÉGIKÖZLEKEDÉS Szekció**

**2023. október 18.**

# SZTAKI Leader of the Artificial Intelligence National Laboratory Hungary

5 Universities, 4 Research Centers

A **Medical University** and Institutes for **Experimental Medicine** and Social Sciences

**Special Service for National Security**

**Hungarian State Treasury**

**External partners: Hungary sites of Audi, Bosch, Continental, Ericsson, Nokia, ...**

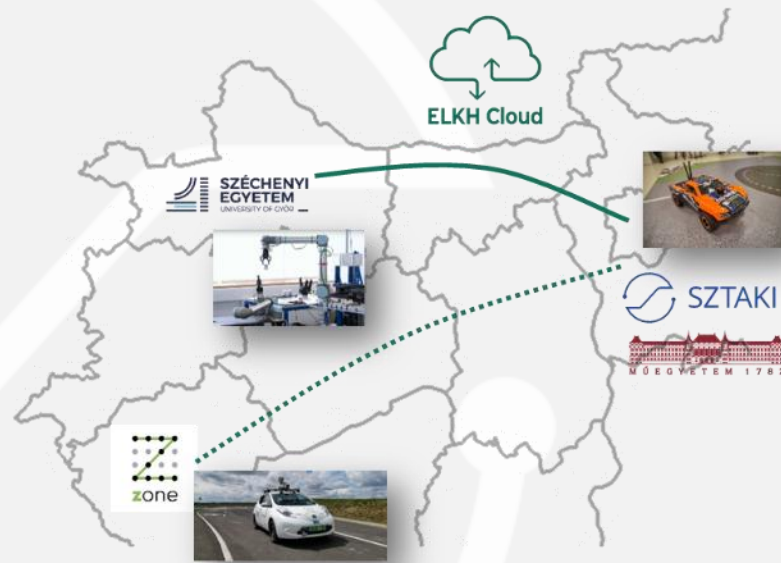
Applied AI research in 6 subprojects:

- Mathematical foundations – **Our strength**
- Machine vision, deep learning
- Human Language Technologies
- Medical, health
- Sensors, Industrial IoT – **Audi, Bosch, Ericsson, Nokia, ...**
- Security, privacy



# SZTAKI Leader of the Autonomous Systems National Laboratory

- Component and functional design of vehicles
- Cyber-physical manufacturing and logistics systems
- Infrastructure development related to Zalazone
- Operation of autonomous systems
- Testing and validation in industrial environment



The screenshot shows the website for the AUTONOMOUS SYSTEMS National Laboratory. The header includes the logo, navigation menus for 'Discover', 'Research & development', 'Resources', and 'Partners', and language options for 'EN' and 'HU'. The main content area features a large article titled 'AUTONOMOUS SYSTEMS DO WATCH, DECIDE, PRODUCE, DRIVE, AND EVEN FLY' with a sub-image of a white autonomous car. Below the article is a 'READ MORE' link. The 'LATEST NEWS' section contains three news items with dates and titles: 'The University of Győr further enhances its scientific and industrial cooperations' (Apr 13, 2022), 'The Autonomous Systems National Laboratory, coordinated by SZTAKI, presented in Germany' (Apr 07, 2022), and 'Test of safety critical electronics on redundant experimental aircraft' (Apr 05, 2022). An 'All news' link is also present.

# Tartalom

Drónok precíziós távérzékelési alkalmazásai

1. Mi a célunk?

2. Repülő eszközök és fedélzeti szenzorok

3. Utófeldolgozás

4. Felhasználási példák

5. Konklúzió





# Miben egészíti ki a hagyományos infrastruktúra felmérési módszereket a drónos technológia?

- Az unalmas, koszos és veszélyes feladatok kiváltása autonóm (légi) járművekkel
  - **Unalmas** – a geodéta jól tudja mit kell felmérnie de a terepi nap végére már lankadhat a figyelme, a gép automatikusan gyűjti az adatokat (50-100 km/h sebességgel) nem fog elfáradni
  - **Koszos** – a levegőben 50-250 m magasan repülőgép csizmája nem lesz sáros, a felszállási pont rugalmasabban kialakítható, hegyek között / erdőben nem működik nagyon más módszer
  - **Veszélyes** – forgalmas utak/vasutak felmérése forgalomkorlátozás mellett is balesetveszélyes a felmérést végzőknek, ráadásul a forgalom is gyakrabban balesetezik,
- A légifelvétel nem tud és nem is akar minden földi mérést kiváltani
- Ha egyszer digitálisan felvettünk mindent az jó lehet a jövőben is
  - Dokumentáció (műszaki, jogi aspektusok)
  - Utólagos adatokért nem kell újra kimenni a terepre
  - Az irodában lehet értelmezni, megosztani és továbbdolgozni az adatokat
  - Változások követése két digitális állomány között – geolokáció abszolút fontos
  - Kezeleni kell a nagy mennyiségű adatot

## 2. Repülő Eszközök



Forgószárnyas (multikopter):  
20 – 30 perc hasznos idő,  
20Ha LIDAR egy repüléssel (5 m/s),  
akár 1 cm/pixel fotó

50-100 m-es repülési magasság

VTOL:  
40 - 60 perc hasznos  
idő,  
Bonyolult és  
nehezebben irányítható  
Alacsonyabb hasznos  
teher

Merevszárnyas platform:  
60-90 perc maximális repülési idővel,  
18-25 m/s sebességgel,  
+5km<sup>2</sup> (250m-es repülési magasság, 5  
cm/pixel)

- **Fotók: 20 cm mozgás 0.01 mp alatt (20 m/s)**
- **LIDAR: 0.1 fok orientáció hiba 13 cm eltérés (75 m)**

# Műszaki háttér: RGB merevszárnyas

- 5 kg, 1960 mm, 90 perc repidő @ 18 m/s
- Akár 1 cm/pixel felbontás (80 m , 35mm obj, 0,5 s)
- PPK GNSS utófeldolgozás (+ lever arm korrekció)
- Kamera – GPS szinkron, robotpilóta vezérelt kamera
- Sony A6400 vagy A7 kamera, Zeiss MF Lencsével
- Saját fejlesztésű GPS + IMU + képek összefűzésére alkalmas szoftver full pix4d integrációval
- 1 gép nem gép, 2 gép fél gép.....

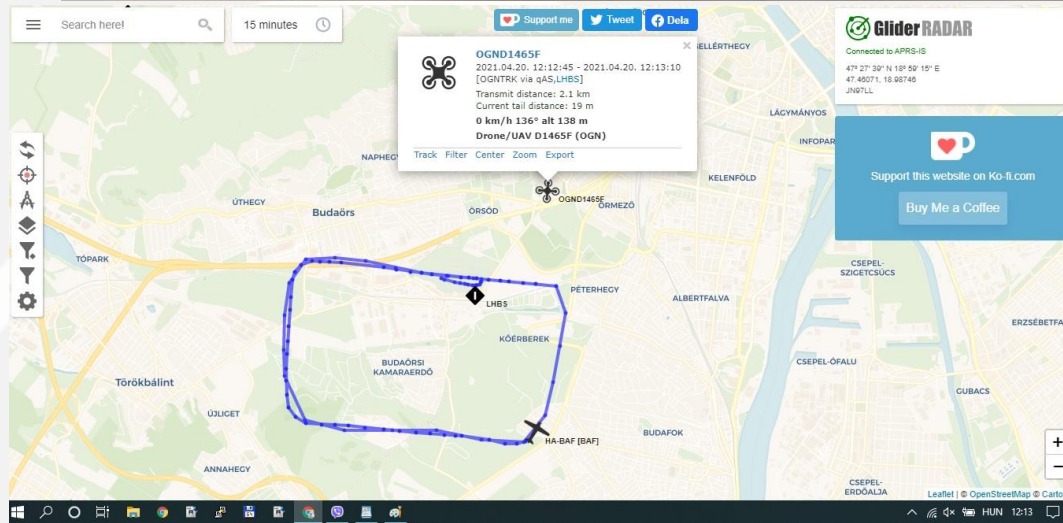
- Redundáns meghajtás, független szárnyfelületek
- 433 Mhz + 4G telemetry
- OGN (Open Glider Network) jeladó
- Pixhawk 2.1 robot, Ardupilot FW
- Ejtőernyő
- Saját fejlesztésű útvonal tervező szoftver
- Eseti légtér + vészhelyzeti forgatókönyvek





# Műszaki háttér: RGB merevszárnyas

- Látótávolságon túli repülés
- Repülésbiztonság: OGN jeladó, 868 Mhz + 4G telemetria, ejtőernyő, redundáns robotpilóta
- Kooperatív elkerülési kísérletek, ejtőernyő nyitás tesztek, telemetria elvesztés és vészleszállás forgatókönyvek



# TKP\_V projekt: Hidrogén Meghajtású, Kooperatív Vezető Nélküli Távérzékelési Eszközök és Kapcsolódó Adatfeldolgozó Keretrendszer Kutatása

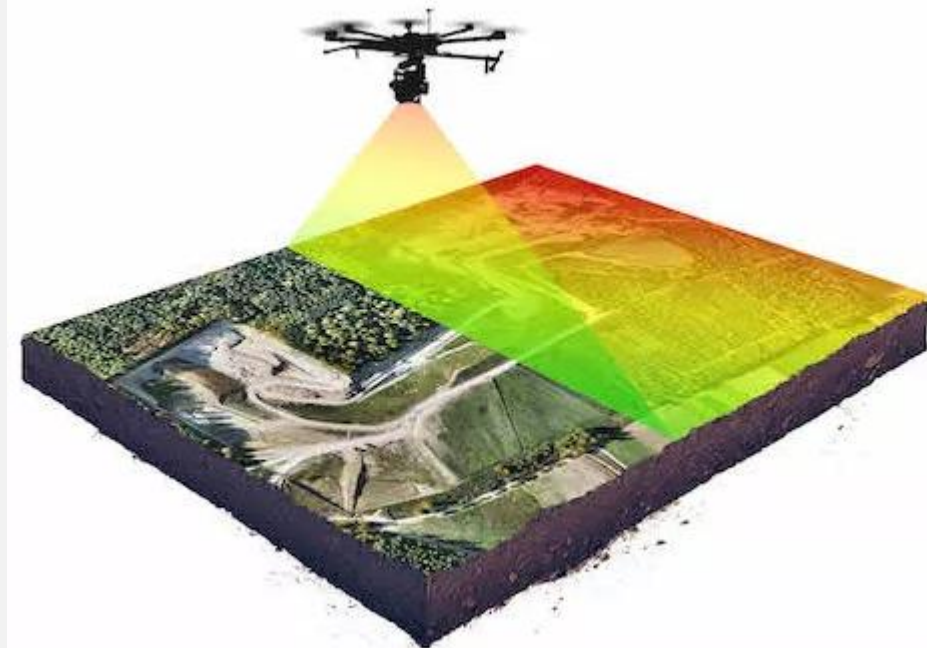
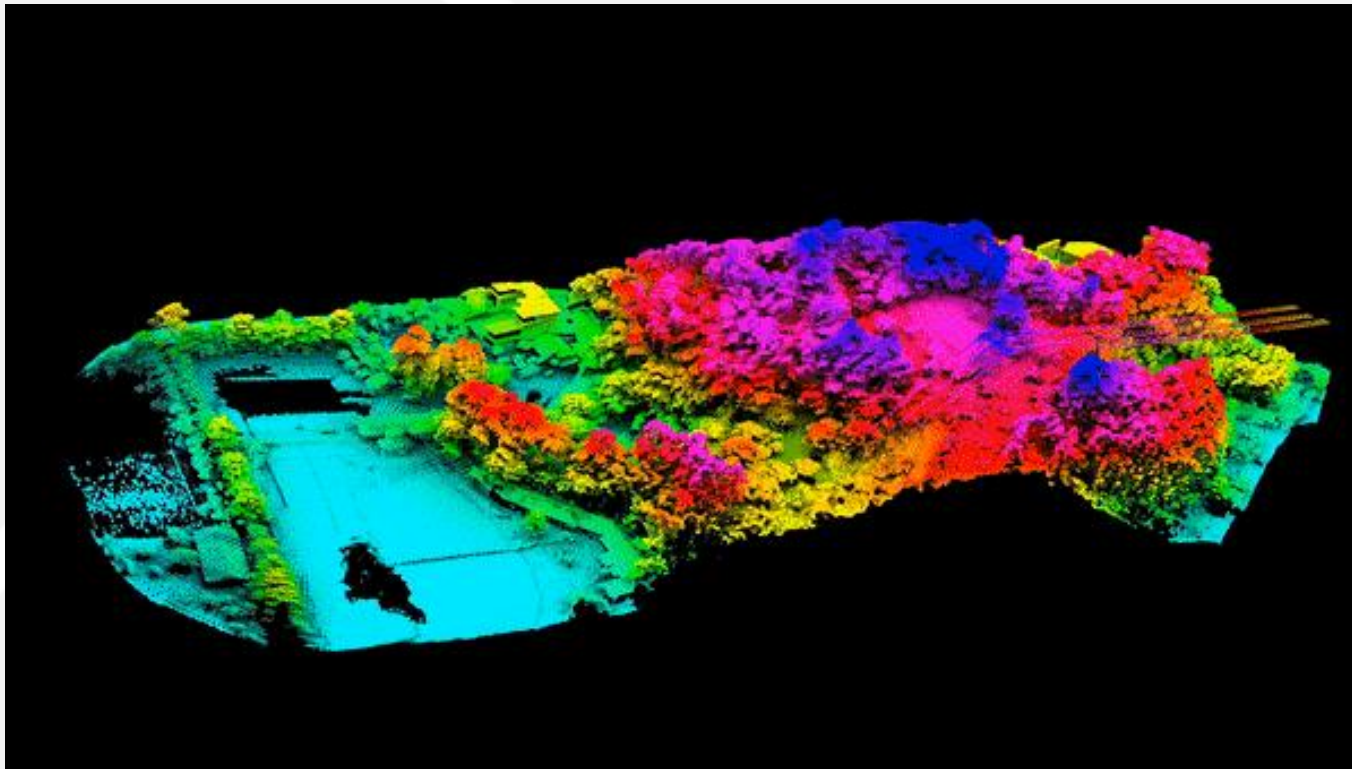
- A kutatás célja olyan, iparilag releváns távérzékelésre épülő felvételező és változásdetektáló keretrendszer kialakítása, ahol a pályázat során kidolgozott kutatásokban szereplő rendszereket és módszereket magasabb technológia fejlettségi szintre emeljük
- Módszerek kutatását kifejezetten a védelmi feladatok szempontjait figyelembe véve és releváns piaci szereplők (MVM, MOL, NBSZSZS, ZalaZONE, OVF, etc.) bevonásával kívánjuk folytatni
- Két konkrét felhasználási eset során a prototípus szintig jutunk el



Gryphon UAS 4,5 kg hasznos teherrel akár 100 percig is lebeg

## 2. Fedélzeti Érzékelő Eszközök

- Elektro optikai szenzor
  - RGB fényképezőgép (akár 1cm/pixel felbontás)
  - Fényviszonyok, repülési magasság, látható (vízszintes) objektumok
  - Fotogrammetriai feldolgozással válik mérnöki hasznossá
- LIDAR
  - Aktív szenzor – több 100.000 pont/mp, több visszaverődés, 1-2 cm pontosság, 905 nm (nem látható), belát a lombok alá
  - Rendkívül pontos pozíciót (GPS) és orientációt (IMU) igényel



# 3. Utófeldolgozás

LIDAR esetében IMU-GNSS mélyfúzió – minden kibocsátott nyaláb ideje és pozíció+orientáció kell a rekonstrukcióhoz

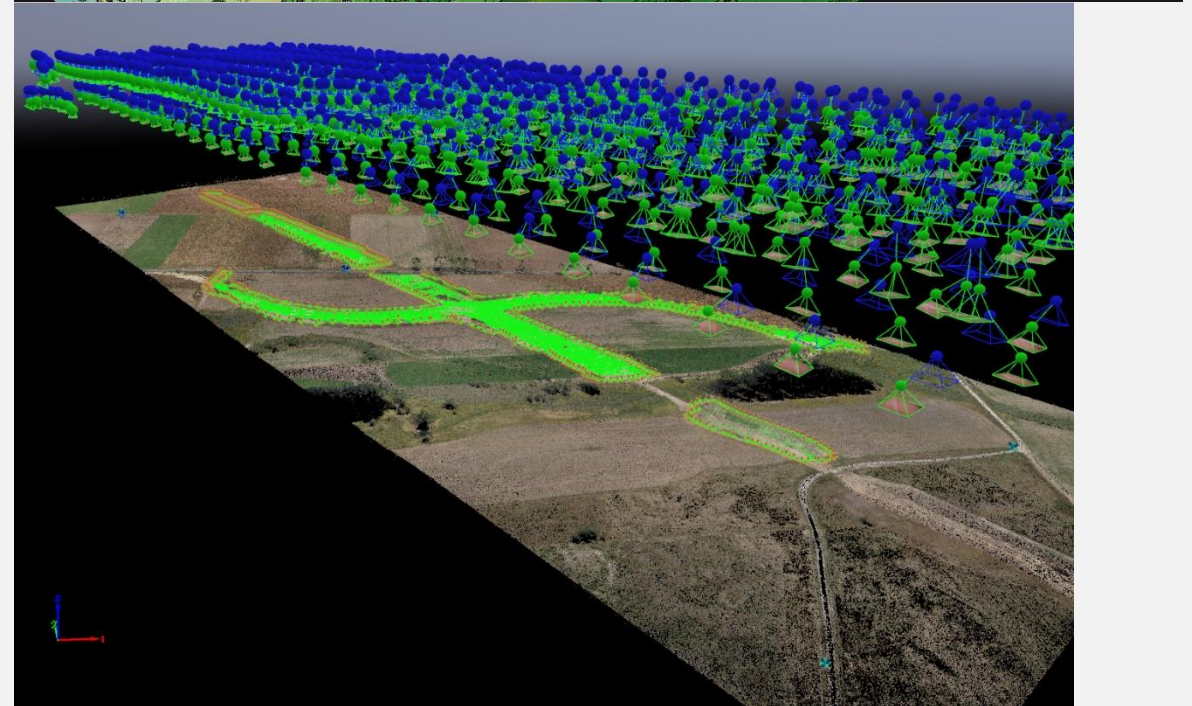
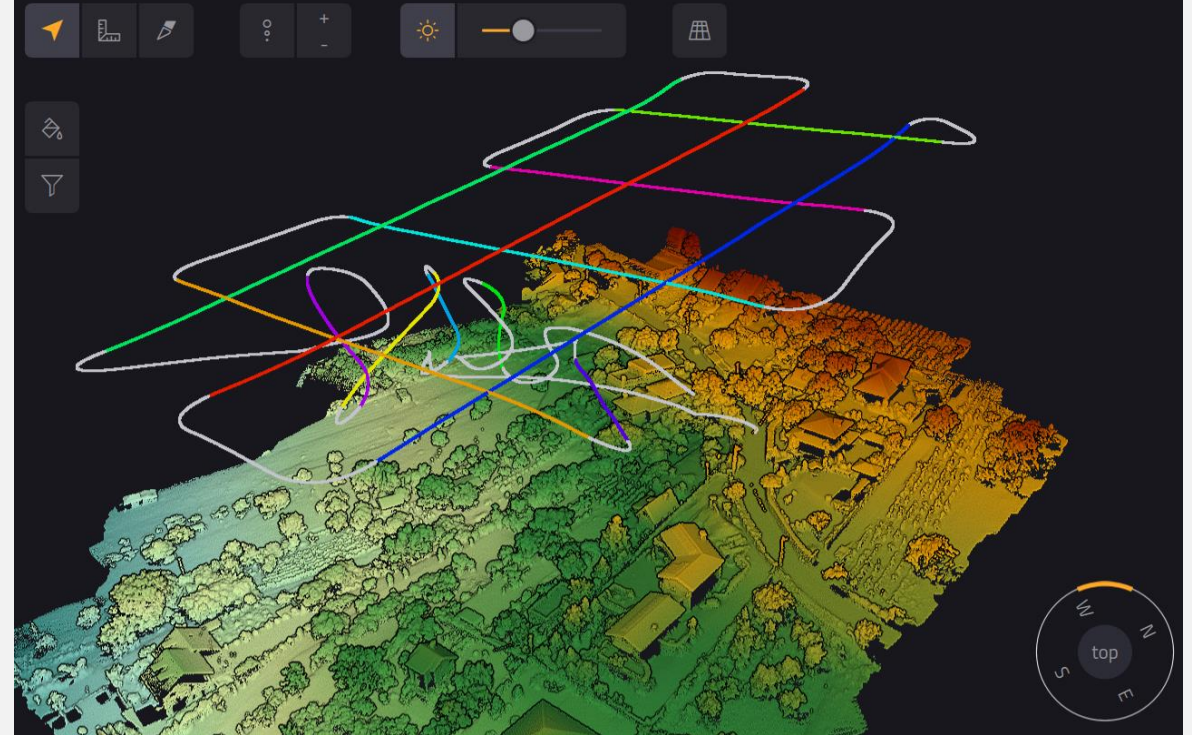
- Line matching a pontosság javításához
- Szinezés fotók alapján – elvárt abszolút pontosság
- Klasszifikáció (talaj, növények, épületek, ...)

Képi adatok főként GNSS alapon (de a robotpilóta szög adatai is hasznosak)

- PPK utófeldolgozás
- Fotogrammetria gyorsabb a pontos pozíció és szögek ismeretében
- Szögek utólagos pontosítása
- Földi kapcsolópontok

Repülési terv minden esetben kulcsfontosságú:

- Átfedések sorok között
- Szélirány
- Fordulók (IMU drift, terület lefedés hatékonysága)



# Valódi (true) ortofotó jelentősége

Az épület „rálóg” az utcára, ezért az a terület nem mérhető



True Ortho alapján valódi mérések

Georeferált és torzításoktól mentes

## 4.1 Kecskemét esettanulmány

Negyedéves előrehaladás dokumentálása

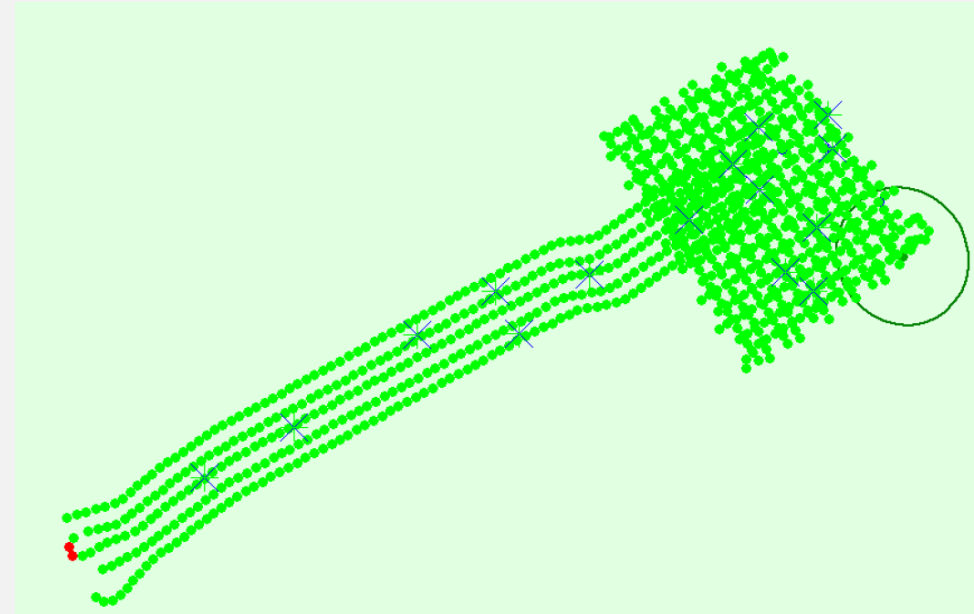
- Terület: 2,7 km<sup>2</sup>, 4,33 cm GSD
- Repülés: 240 m, 18 m/s, 51 perc
- Sony a6400 (24Mp) – Zeiss Ventum 21 mm

Fotogrammetria (Ortofotó) készítés:

- Pusztán földi kapcsoló pontokkal (GCP)
- Utófeldolgozott PPK GPS + lever arm + időszinkron + Pix4D Accurate beállítás

Szemponatok:

- Pontosság
- Terepi idő, számítási idő
- Ellenőrizhetőség és hibamentesség



# Képek geolokáció nélkül

- Fotogrammetriai szoftver képes a képeket GPS pozíció nélkül is összeilleszteni
- GCP-k bejelölése sokkal bonyolultabb (nincs előzetes szoftveres javaslat)
- Terepi idő jelentős
- Feldolgozási idő igen jelentős
- Az eredmények a GCP-ktől távolodva egyre kevésbé megbízhatóak
- Nincs mód a folyamat közben fellépő hibák/anomáliák kezelésére



Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.32 cm / 1.70 in
Area Covered	2.397 km <sup>2</sup> / 239.6829 ha
Time for Initial Processing (without report)	01h:52m:22s

Images	median of 60640 keypoints per image
Dataset	1081 out of 1090 images calibrated (99%), all images enabled
Camera Optimization	0.09% relative difference between initial and optimized internal camera parameters
Matching	median of 24323.4 matches per calibrated image
Georeferencing	yes, 10 GCPs (10 3D), mean RMS error = 0.141 m

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
2		0.0121	0.0084	0.0471
4		-0.0118	0.0042	-0.0202
6		-0.0822	-0.0089	0.0380
8		-0.0094	-0.0009	0.0080
10		-0.0613	0.0086	0.0834
12		-0.0429	0.0124	-0.0011
14		-0.0308	0.0141	-0.0380
16		-0.0345	0.0259	0.0508
18		-0.1526	-0.3036	-0.1968
Mean [m]		-0.045956	-0.026646	-0.003193
Sigma [m]		0.046159	0.098357	0.077272
RMS Error [m]		0.065135	0.101902	0.077338

# Képek Pontos Geolokációval GCP Nélkül

Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.33 cm / 1.70 in			
Area Covered	2.711 km <sup>2</sup> / 271.0887 ha			
Time for Initial Processing (without report)	34m:59s			
7		0.047	0.041	-0.071
8		0.004	0.028	-0.036
9		0.006	0.026	-0.042
10		-0.047	0.027	0.045
11		0.031	0.026	-0.022
12		-0.027	0.013	-0.036
13		0.035	-0.070	-0.054
14		-0.007	-0.029	-0.097
15		0.042	-0.036	-0.011
16		-0.024	0.041	-0.020
18		0.010	0.013	-0.032
19		-0.014	0.003	-0.076
Mean [m]		0.003061	0.005822	-0.030457
Sigma [m]		0.027237	0.028432	0.034829
RMS Error [m]		0.027408	0.029022	0.046268

- **Drónos** fotogrammetriai szoftverek (Pix4D, Agisoft) ebbe az irányba haladnak
- GCP-k bejelölése nem szükséges, csak ellenőrző mérésekre
- Terepi idő alacsony
- Feldolgozási idő alacsony (34 p)\*\*\*
- Az eredmények mintha 1000 GCP-nk lenne
- Utófeldolgozva (PPK) belátást enged a folyamat közben fellépő hibák/anomáliák kezelésére

## ? Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.007	0.006	0.002	0.002	0.002
Sigma	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002



## 4.2 Megvalósult állapot felmérése

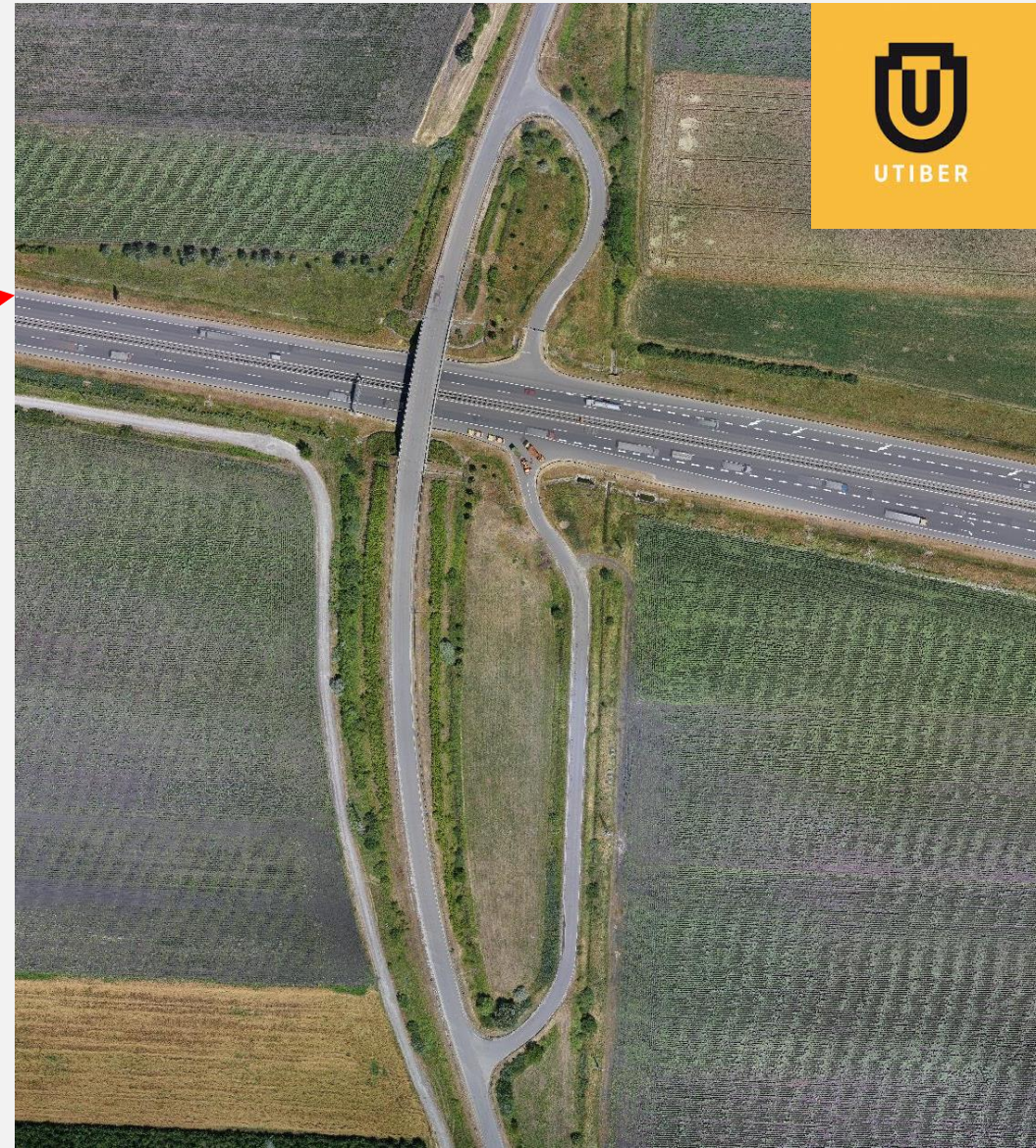
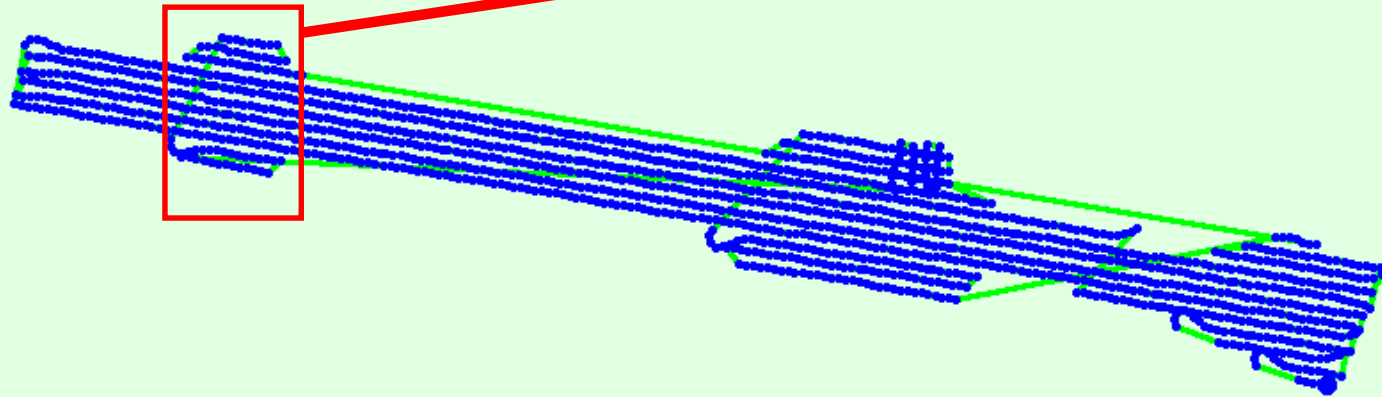
RGB felvételek 3cm/pixel felbontással

PPK pozíció + orientáció

Egyedileg tervezett útvonal

Légi LIDAR felvételekkel kiegészített állomány

Vektoros feldolgozás



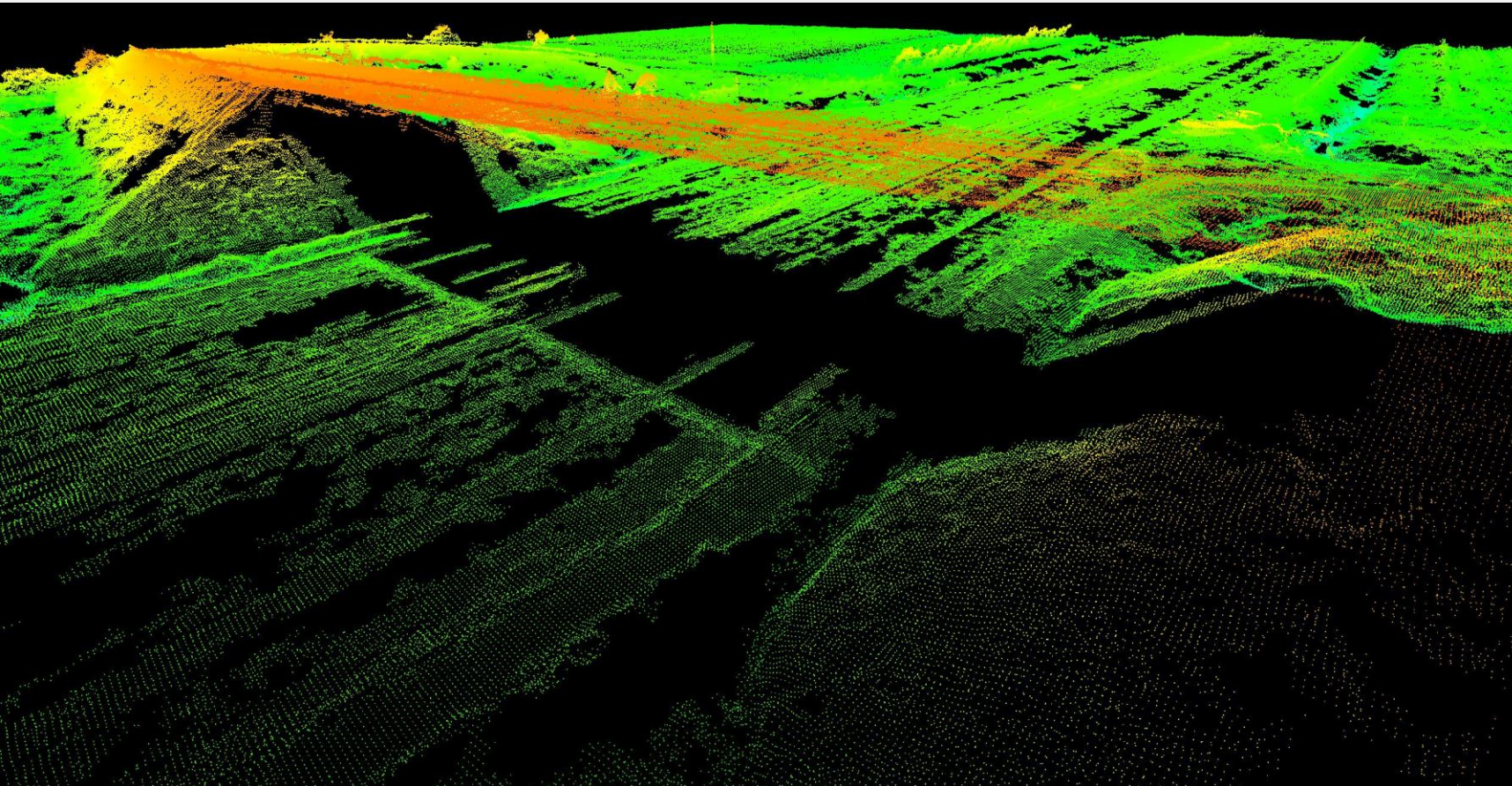
# Felüljáró RGB pontfelhő

A pontfelhő minősége függ a képek minőségén túl a feldolgozó szoftver beállításain



- Különböző típusú felmérésekhez és végtermékhez más-más beállítások

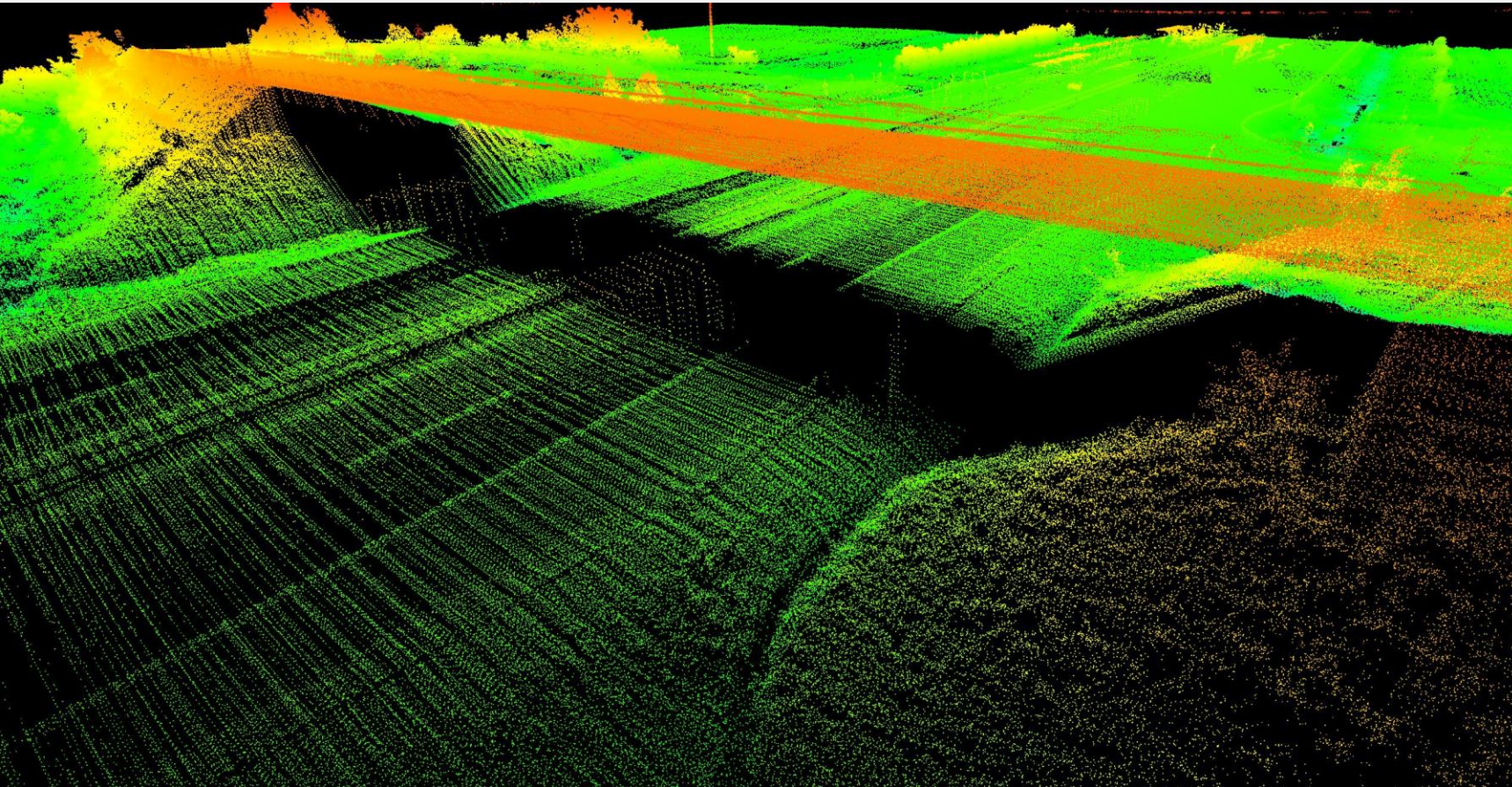
# Felüljáró RGB pontfelhő magasság



- Kitakarásmentes területen jó alapot ad a kiértékelésnek
- Pontfelhő vastagsága és zaja jelentős

# LIDAR

- Belát a lombozat alá → jól kiegészíti a fotogrammetriát



- Részletgazdagabb és sokkal pontosabb és precízebb (magasság)

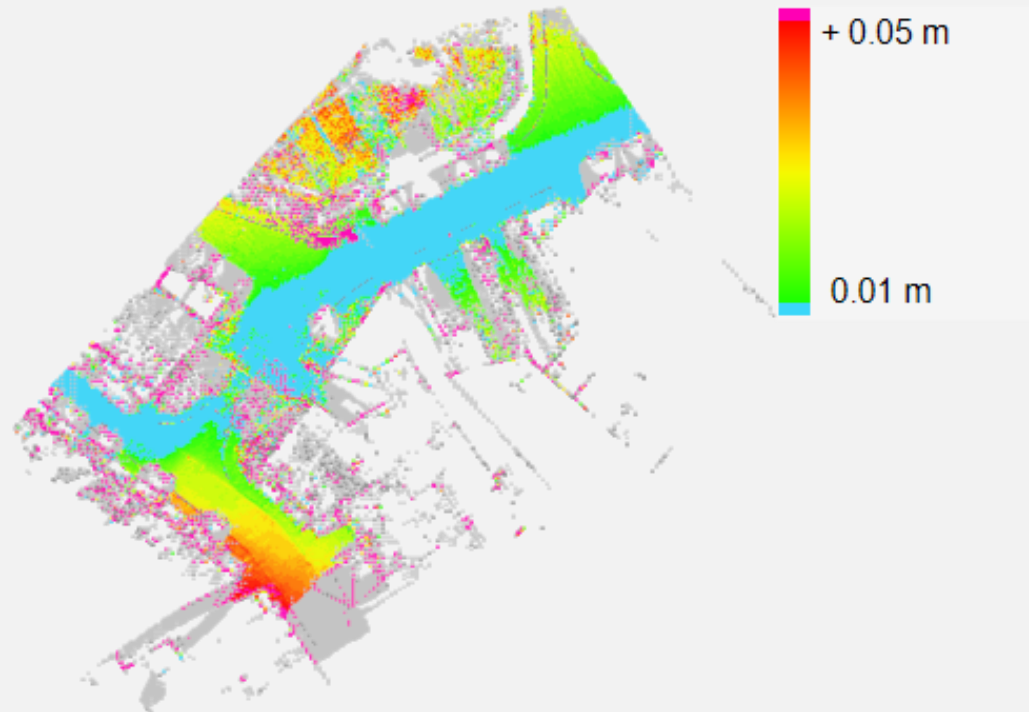
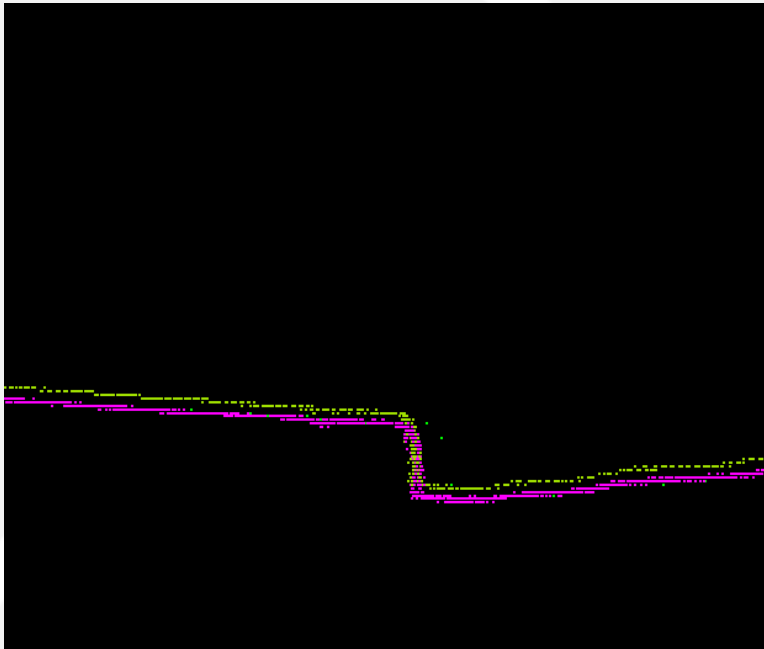
# Adatok ellenőrzése

Pontsűrűség: (miből értékelhetőek ki a részletgazdag elemek)

Lefedettség: (mely scanból mely felületek értékelhetőek ki), ezért fontos az átfedés

Egymáshoz való pontossági vizsgálat (főleg magasságbeli eltérések vizsgálata, metszetfelvétel)

Földi mérések és a légifelvétel összevetése



# Kiértékelési specifikációk: szakmai konszenzus alapján

- Autópálya projektekre 38 oldalas dokumentum (megrendelőnként különböző fólia struktúrával)

## Kiértékelési útmutató:

### Felfestések

#### *Folyamatos felfestés*

Minden folyamatos felfestést, melynek fő célja az elválasztás, és ennél több funkciója nincs, (tehát például nem fekvőrendőrt jelöl) folyamatos vonallal jelölünk a felfestés közepén.

Réteg: [Felfestes\\_folytonos](#)

#### *Szaggatott felfestés*

Minden szaggatott felfestést, melynek fő célja az elválasztás, és ennél több funkciója nincs, folyamatos vonallal húzunk meg a felfestés közepén.

Réteg: [Felfestes\\_szaggatott](#)



Réteg: - [Vizvezeto\\_termesko\\_alja](#)

- [Vizvezeto\\_termesko\\_teteje](#)

- [Vizvezeto\\_eloregyartott\\_alja](#)

- [Vizvezeto\\_eloregyartott\\_teteje](#)

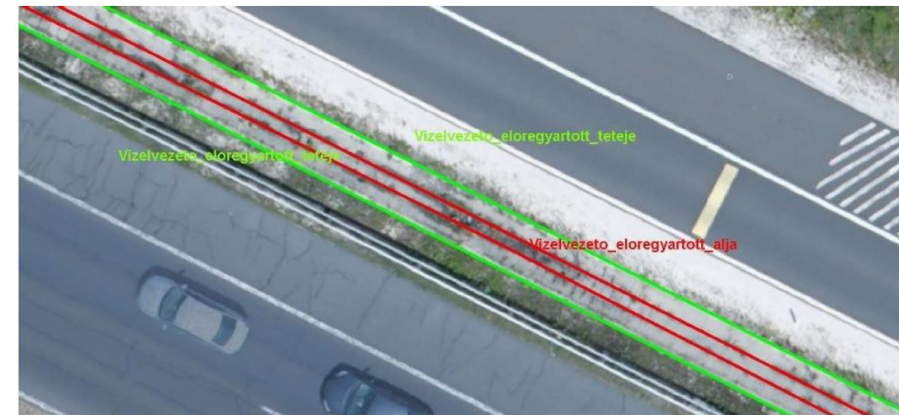
- [Vizvezeto\\_monolit\\_alja](#)

- [Vizvezeto\\_monolit\\_teteje](#)

- [Vizvezeto\\_csatorna\\_alja](#)

- [Vizvezeto\\_csatorna\\_teteje](#)

Előregyártott:



# 2D Megvalósulási térkép

- Az infrastruktúra fejlesztésben megszokott perspektívában prezentált
- Tervezett és megvalósult közötti „ütközések” jól szemléltethetőek



# Vektoros adat létrehozás

3D CAD állomány lényegesen nehezebb mint a 2D

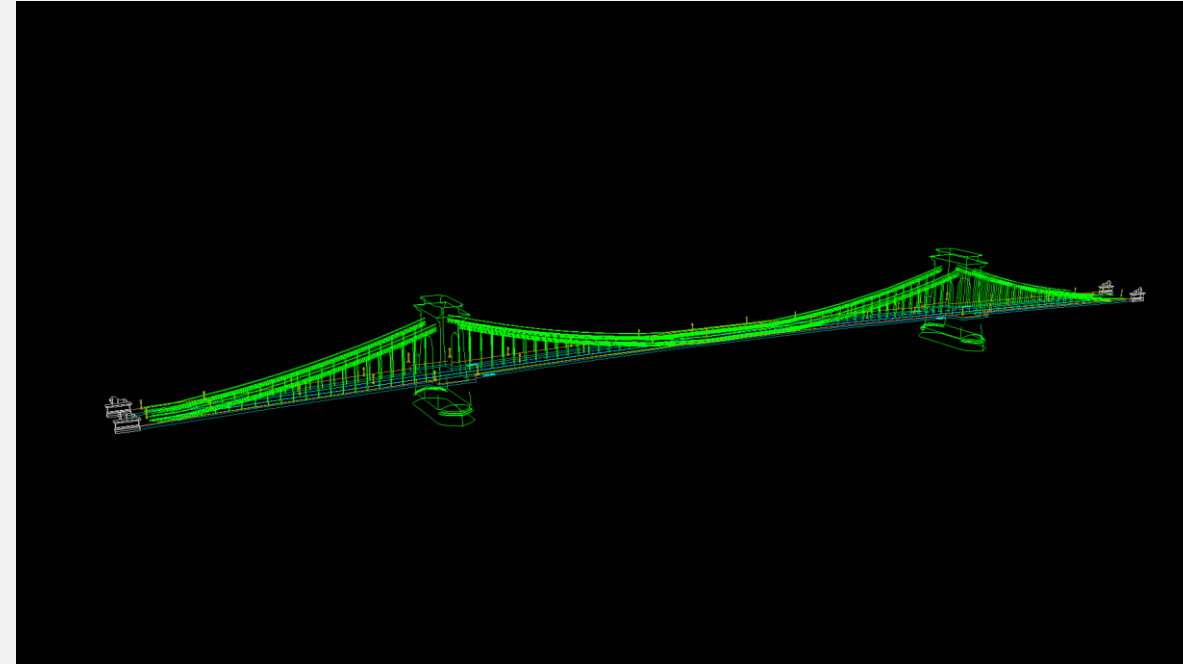
A repüléseket is úgy kell megtervezni, hogy

meglegyen a kellő felvétel (hálós repülés, etc.)

Ez egyben előkészíti a 3D revit modellezést (vezető vonalak)

Fotogrammetria + ALS (+TLS)

Esetenként kiegészítve földi geodéziával (nem minden látható)





# Revit model

Family létrehozás (másolható, többszörösíthető, attribútumozható)

- Így egyszerre több ember tud dolgozni egy projekten

Modellben vektorok használata segítette a folyamatot

- profil Topodotból amit végig lehet vezetni a revit-ben

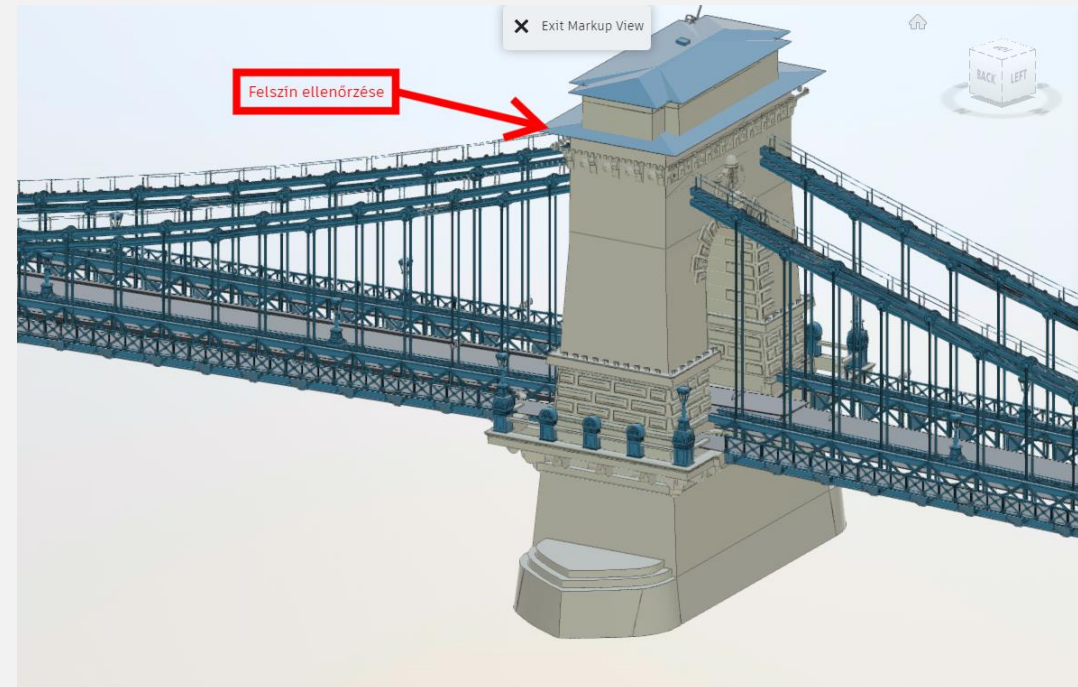
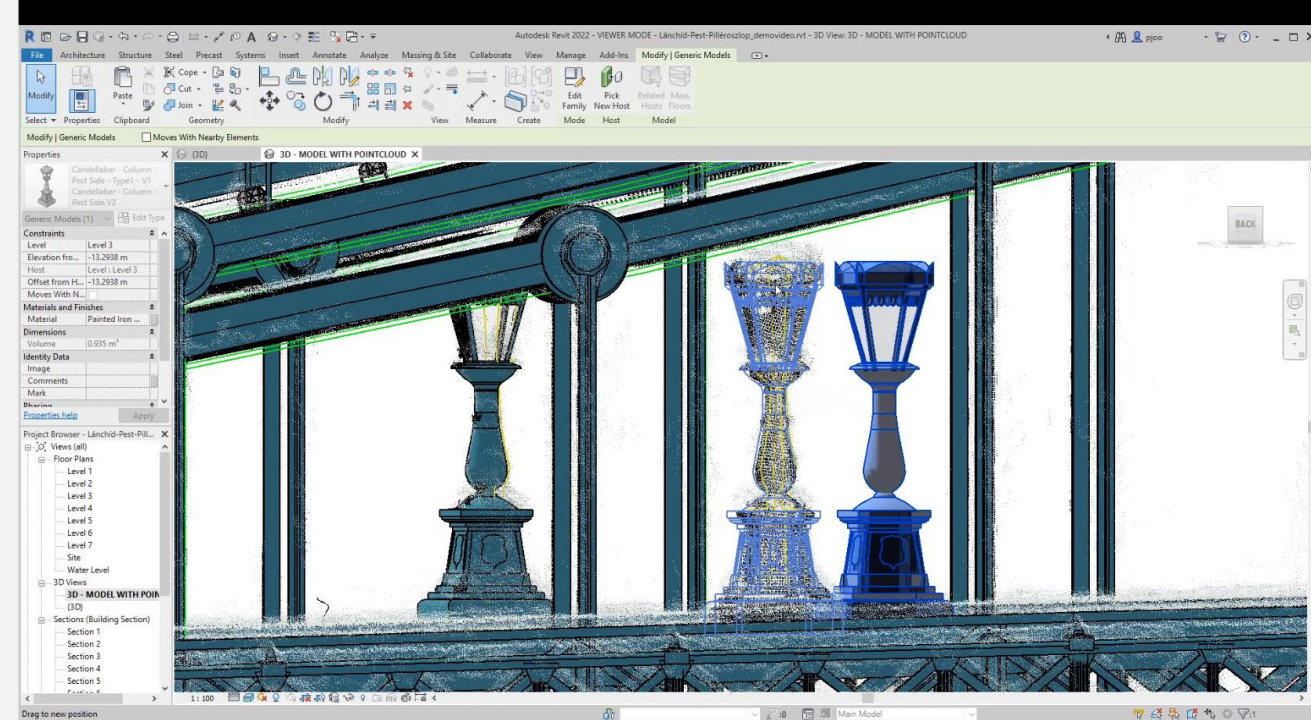
Meshek használata nehezen modellezhető felületeknél

BIM360 használata csapatmunkához nélkülözhetetlen

- Megfelelő csatorna (verziókövetés, issue-zás)

Minőségellenőrzés (cloudcompare)

Tileozás

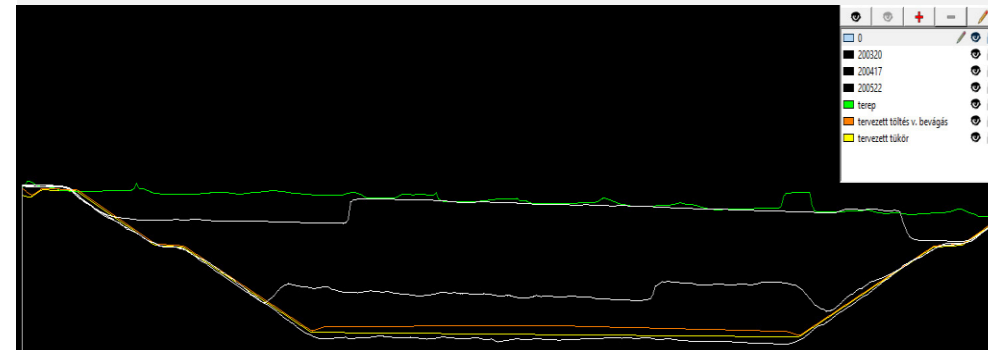


## 4.3 Automatikus változáskövetés (BIM Munkafolyamat)

Digitális terepmodellből kinyert adatok és a megszokott munkafolyamatok összeegyeztetése



	Szelvény szám	Bevágás (m2)	Bevágás (m3)	Töltés (m2)	Töltés (m3)
39	89+760	8.0	330.0	6.0	60.0
40	89+780	25.0	580.0	0	0
41	89+800	33.0	790.0	0	0
42	89+820	46.0	1310.0	0	0
43	89+840	85.0	4290.0	0	0
44	89+860	344.0	6840.0	0	0
45	89+880	340.0	7540.0	0	0
46	89+900	414.0	9160.0	0	0



## 5. Konklúzió

- Jó minőségű távérzékeléshez elengedhetetlen a nagy pontosságú navigáció (pozíció és orientáció)
- Modern légi platformokkal feldolgozási és terepi idő megtakarítás
- True Ortho technológia a mérnöki feladatokhoz: hatékonyan csak precíz geolokációval és nagy átfedéssel (drónok előnyben)
- Nagy mennyiségű adat automatikus (alacsonyabb emberi beavatkozást igénylő) kiértékelése a jövő
- Fontos megtartani a mérnöki intuíciót és a belátást a rendszerekbe (Murphy)
- Adat az új olaj

