

# A Balaton LIDAR felmérése

Zlinszky András

MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézet



Közép-dunántúli  
Környezetvédelmi és  
Vízügyi Igazgatóság

# Vázlat

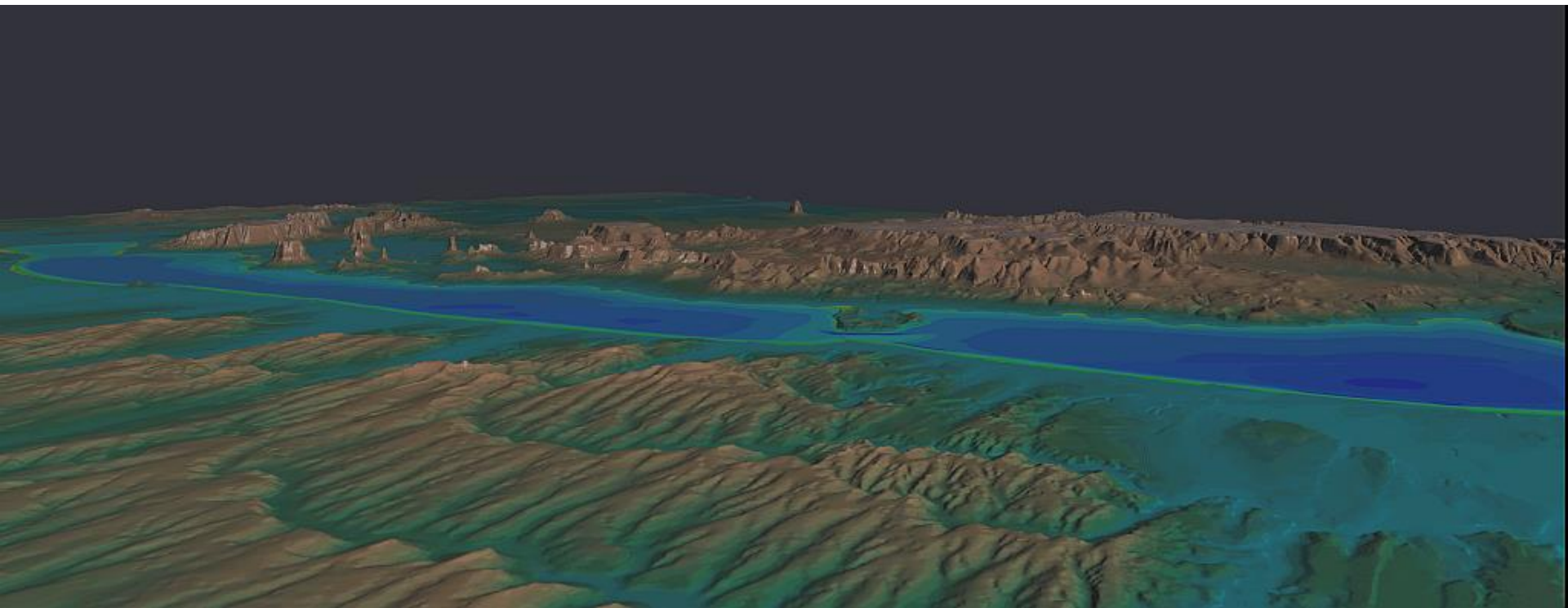
The true story :~)

- Előzmények
- A felmérés célja
- LIDARRól röviden
- A repülés és az adatfeldolgozás
- Termékek és projektek
  - Nádas térképezés és osztályzás
  - A Balaton felsőgeodéziája
  - Domborzatmodellelés a Balaton környékén
- Következtetések és kitekintés

# A kutatórepülés eredeti célja

A Balaton parti növényzetének vizsgálata,  
különös tekintettel a nádpusztulásra

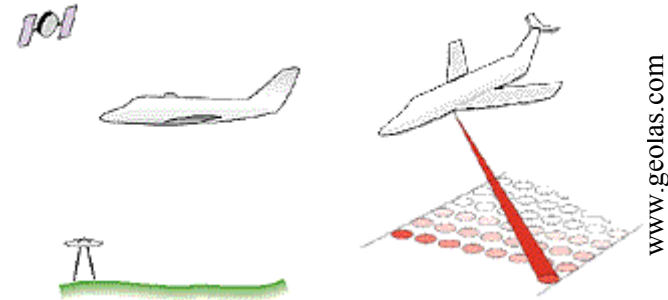
A Balaton környékének topográfiai térképezése



# Előzmények

- Légifotók a Balaton-kutatásban
  - Nádas és vízparti növényzet dinamika
- Geomorfológiai vizsgálatok a Balaton körül
  - A nagy kérdés: hogyan keletkezett a Balaton, milyen tektonikai folyamatok zajlanak ma is a tó körül, ezek alapján hogyan tudunk a Kárpát-medence és az Alpok tektonikájára következtetni

# Miért LIDAR



- Aktív, optikai, de nem képalkotó távérzékelési eljárás
- A lézer által kibocsátott jelek futásidejéből számított távolság mérésén alapszik
- A távolságmérés pásztázó mozgással történik a hordozó repülőgép haladása közben, így egy sávban történik a felmérés
- A mért távolságokat a szenzor pozíciójának és irányának, valamint a pásztázó tükör szögének ismeretében, GPS és IMU adatok alapján számítják át topográfiai pozíciókká
- Az eredmény földrajzi koordinátákkal és esetleg attributum adatokkal rendelkező pontok térben rendezett halmaza (pontfelhő), amely a felmért terület felszínének mintavételezéséből áll elő.

# Miért kell új módszer?

	földi geodézia	légifényképezés	légi hiperspektrális	légi lézershakennelés
<b>mért változó</b>	növényzet pontokban	reflektancia 3 csatornán	reflektancia >100 csatornán	felszín magassága
<b>térbeli felbontás</b>	1000-10 m	2-0,02 m	10-2 m	2-0,2 m
<b>térbeli lefedettség</b>	helyi mérések	országos lefedettség	célzott repülések	célzott/országos
<b>felmérés költsége</b>	alacsony	alacsony	magas	magas
<b>adat beszerzés költsége</b>	magas	alacsony	magas	alacsony
<b>feldolgozás módja</b>	kész adat	csak kézi	automatizálható	automatizálható



# LIDAR

- Nagy felbontású domborzat adatok lombkorona alatt is
- Pontos ortofotóhoz pontos domborzat kell
- Mikrotopográfia, lefolyási viszonyok
- Nagy információtartalom, nagy felbontás → automatikus feldolgozás lehetséges
- Adatintegráció más szenzorokkal
- Egy országos repülés pilotja?

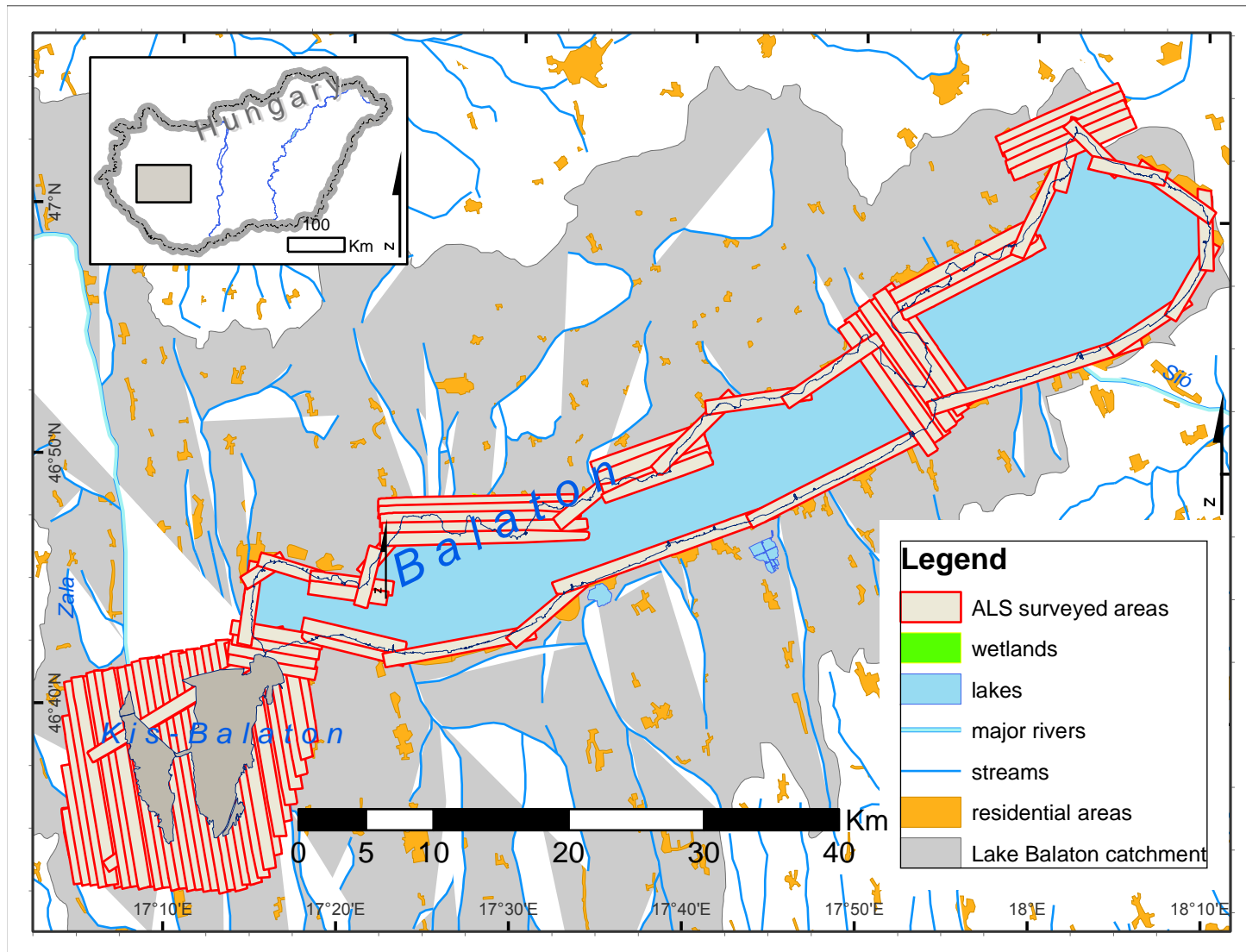
# A repülés

- 2010 augusztus 16-16
- NERC ARSF Dornier Do 228
- LIDAR, HS, Légifotó, DGPS trajektória
- Sármelléki reptér (amúgy akkor félig-meddig használaton kívül)
- Összesen majdnem 2000 km<sup>2</sup> a Balaton és a Kis-Balaton körül, addig valószínűleg a legnagyobb magyarországi LIDAR felmérés



# A LIDAR repülés

- Paraméterek:
  - 1064 nm (Leica ALS 50)
  - Egyedi pontok mérése (nincs FWF)
  - 1 pt/m<sup>2</sup>
  - 1200 m AGL
- 1000 km<sup>2</sup> felmért terület
- Kb.100 km<sup>2</sup> nádas



# A kész LIDAR adatok

+

- Teljes lefedettség
- Nagyon jó radiometriai felbontás
- A vártnál több pont a vízfelszínről

-

- Sűrű nádas vagy szántóföldi növényzet alatt nagyon kevés pont
- A sávok relatív georeferenciájának hibája viszonylag nagy
- A vártnál kisebb pontsűrűség

# Kutatások, termékek, projektek

- A Balatoni nádasok állapotának és növényzetének térképezése
- A Balaton felsőgeodéziai vizsgálata
- A Balaton környékének domborzati felmérése
  
- Módszertani fejlesztések a LIDAR feldolgozásban



VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

INSTITUTE OF  
PHOTOGRAMMETRY  
AND REMOTE SENSING

# Vegetációtérképezés közepes pontsűrűségű LIDAR adatokból a Balatoni nádasokban

András Zlinszky, Werner Mücke, Hubert Lehner,  
Christian Briese, Norbert Pfeifer

[az;wm;hl;cb;np]@ipf.tuwien.ac.at

Institute of Photogrammetry and Remote Sensing (I.P.F.)  
Vienna University of Technology  
[www.ipf.tuwien.ac.at](http://www.ipf.tuwien.ac.at)

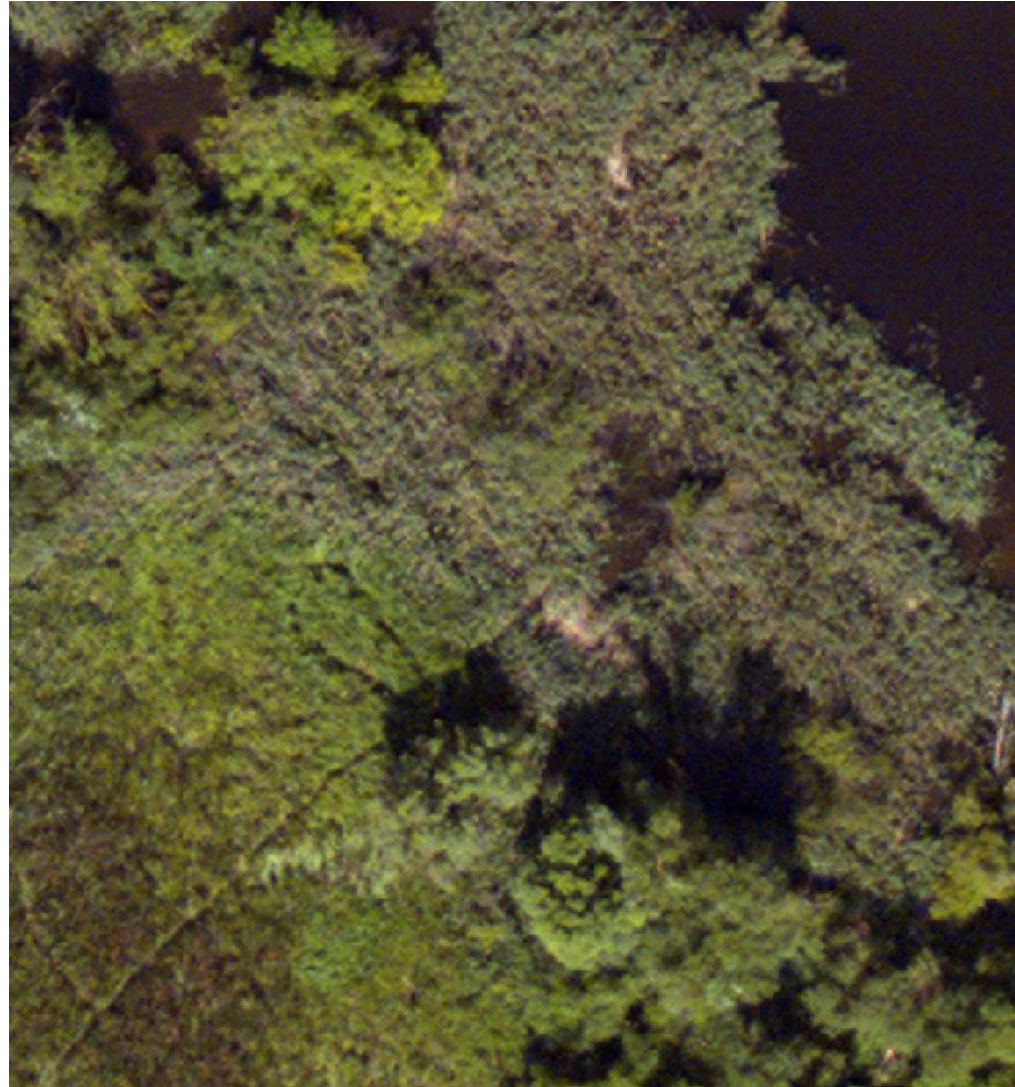
# Miért pont a nádasok

- Nehéz terepi hozzáférés →
  - Érintetlen élőhelyek
  - Földi kutatások nehezen kivitelezhetőek
- Emergens makrofiton dominancia
- Gyakoriak a jól körülhatárolt foltok, de előfordul keveredés
- A nádpusztulás egy Európa-szerte elterjedt probléma



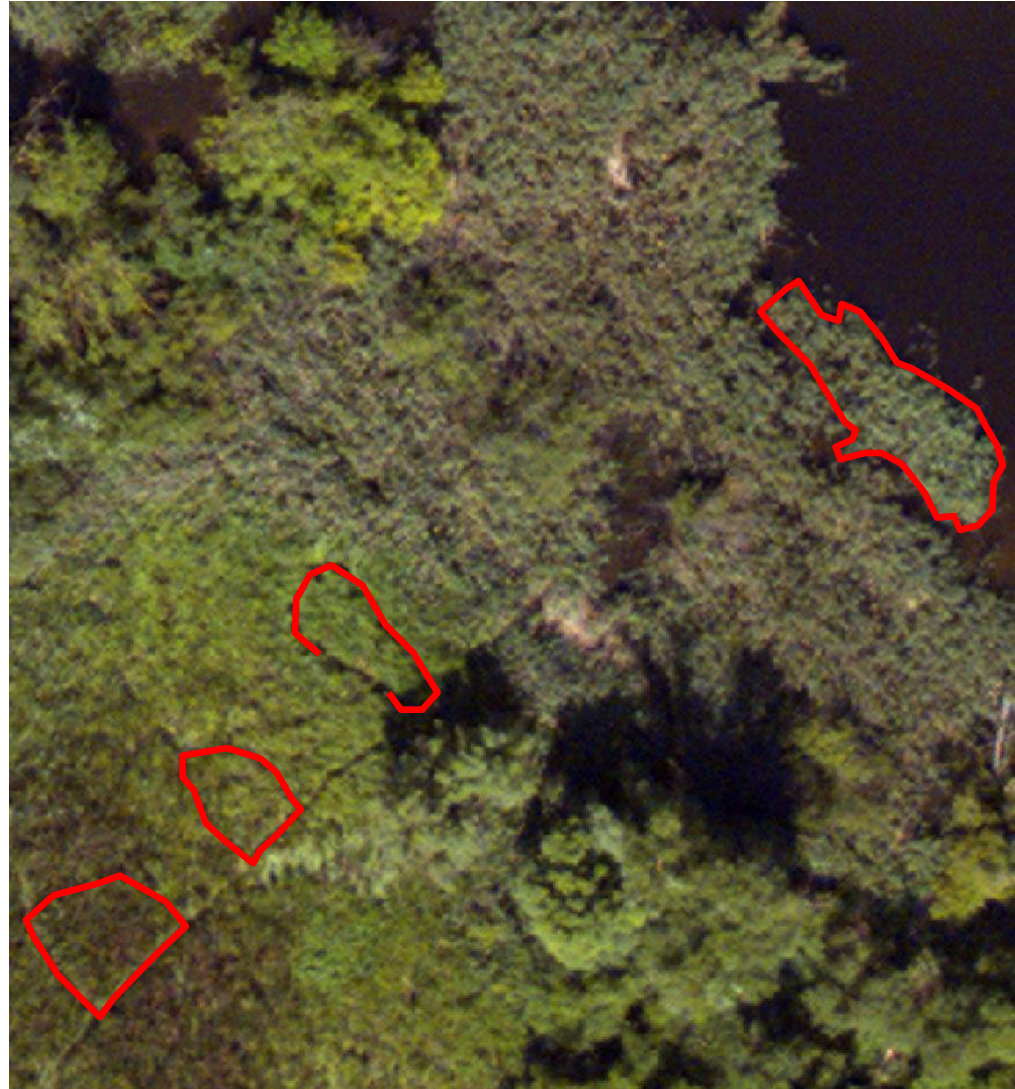
# Földi referencia adatok

- Szempontok az osztályzás kategóriáinak kijelöléséhez:
  - Ökológiai relevancia
  - Terepi azonosíthatóság
  - Terjedjen ki a vízparti növényzet összes típusára (nincs „egyéb” kategória)
- 10×10 m homogén foltok( $\Sigma=82$ ) felmérése DGPS segítségével
- 46 monodomináns folt (szubdomináns fajok kézi eltávolítása)



# Földi referencia adatok

- Szempontok az osztályzás kategóriáinak kijelöléséhez:
  - Ökológiai relevancia
  - Terepi azonosíthatóság
  - Terjedjen ki a vízparti növényzet összes típusára (nincs „egyéb” kategória)
- 10×10 m homogén foltok( $\Sigma=82$ ) felmérése DGPS segítségével
- 46 monodomináns folt (szubdomináns fajok kézi eltávolítása)



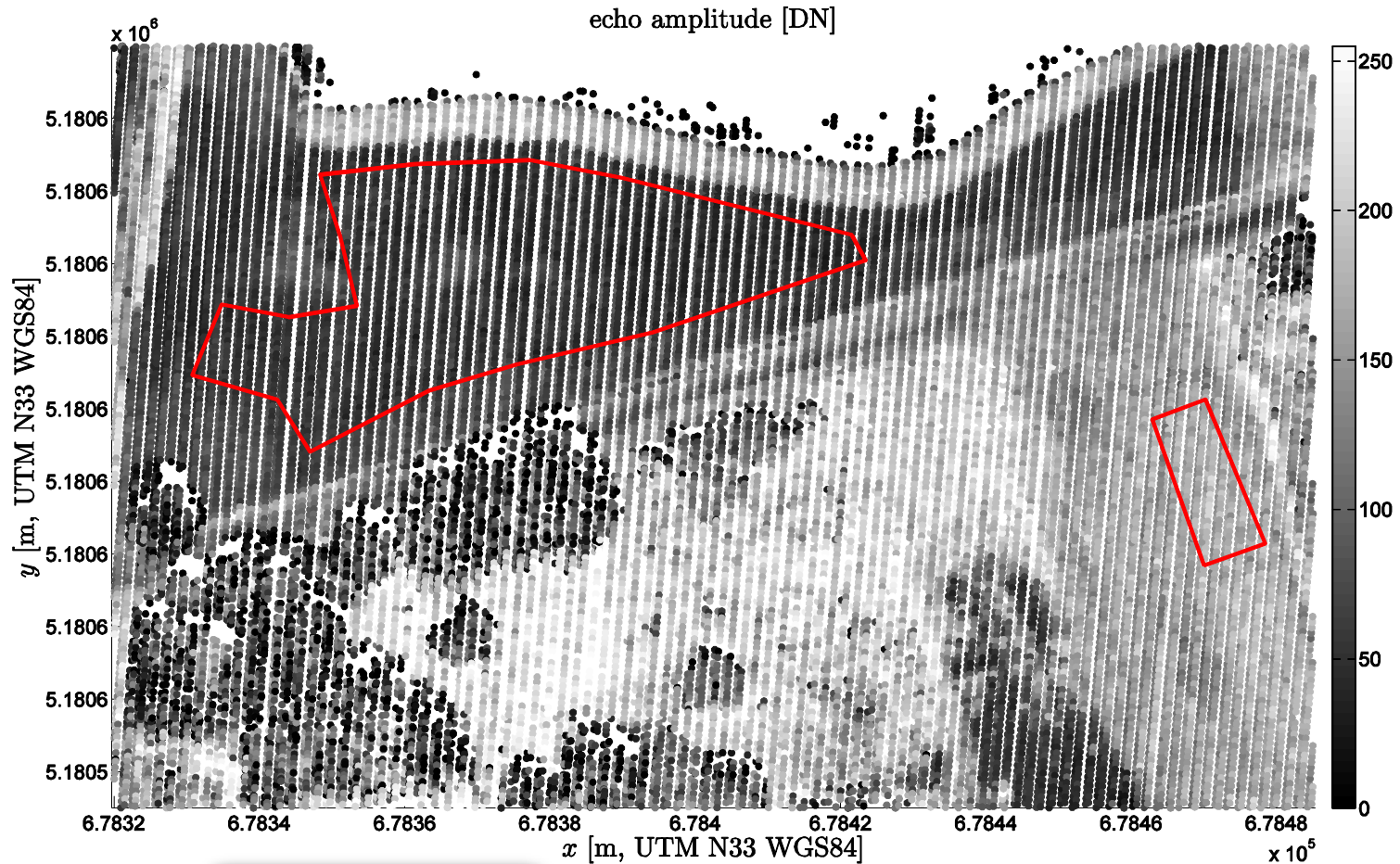
# Növényzet osztályozása LIDAR adatokból

- 4 pont attributum (x,y,z,Amp); 9 kategória (hierarchiába rendezve)
  - Víz/Burkolt, Fák, Nádas; */ezek a fő felszínborítási kategóriák/*
  - Nádas: → Carex (Sás), Typha (Gyékény), Nád; */ezek a domináns növények/*
  - Nád:→ Ép, Stresszelt, Ruderális, Pusztuló */a nád állapota/*
- **Ez lehetséges ?**
  - Elég információt tartalmaz a pontfelhő?
- Nem a domborzatot vizsgáljuk → nincs szükség a pontok osztályzására
- A raster-alapú osztályzás tekintettel lehet a pontok egymáshoz képesti helyzetére is

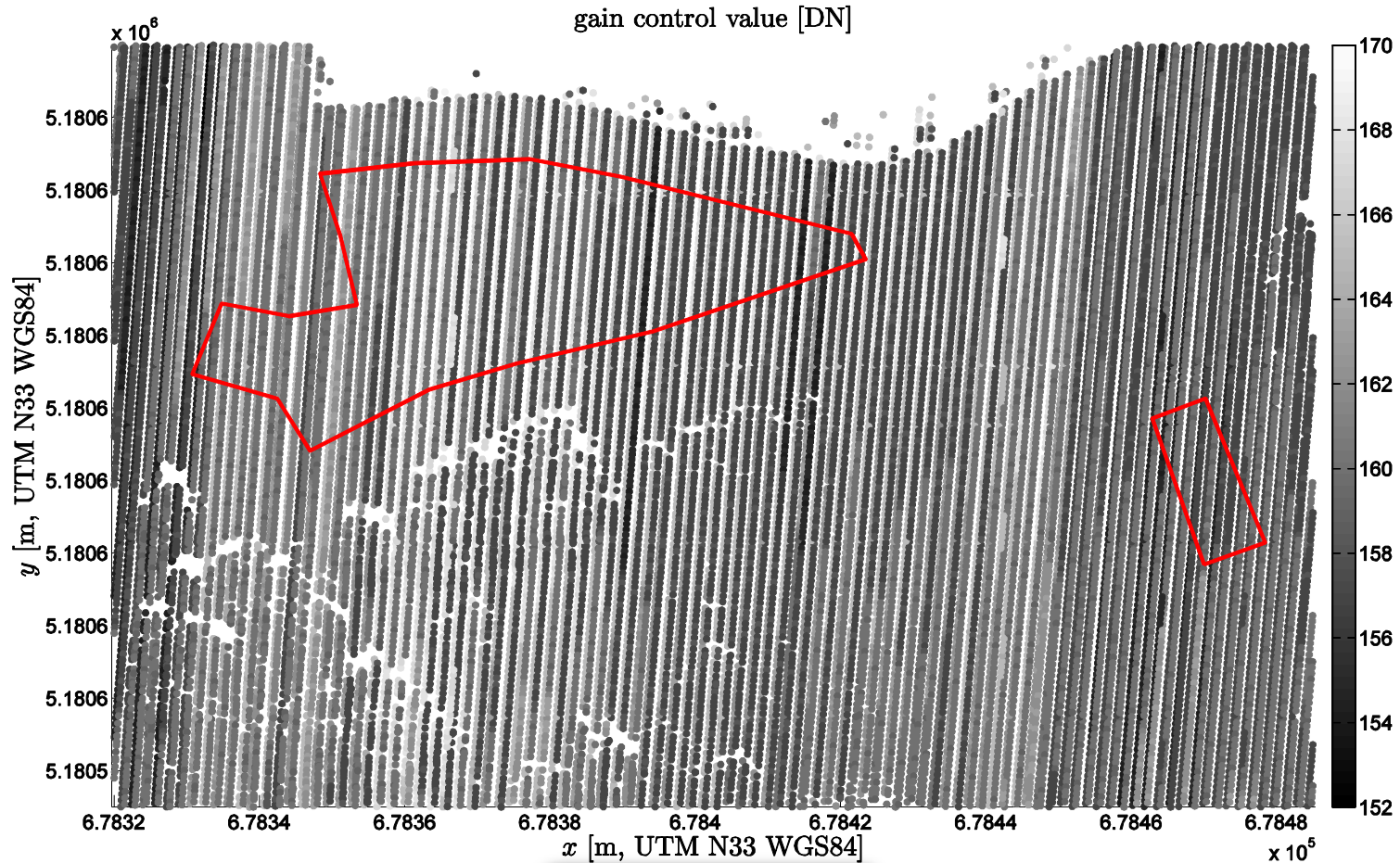
A növényzet szerkezete és az osztályzási eredménye között szoros kapcsolatot szeretnénk teremteni



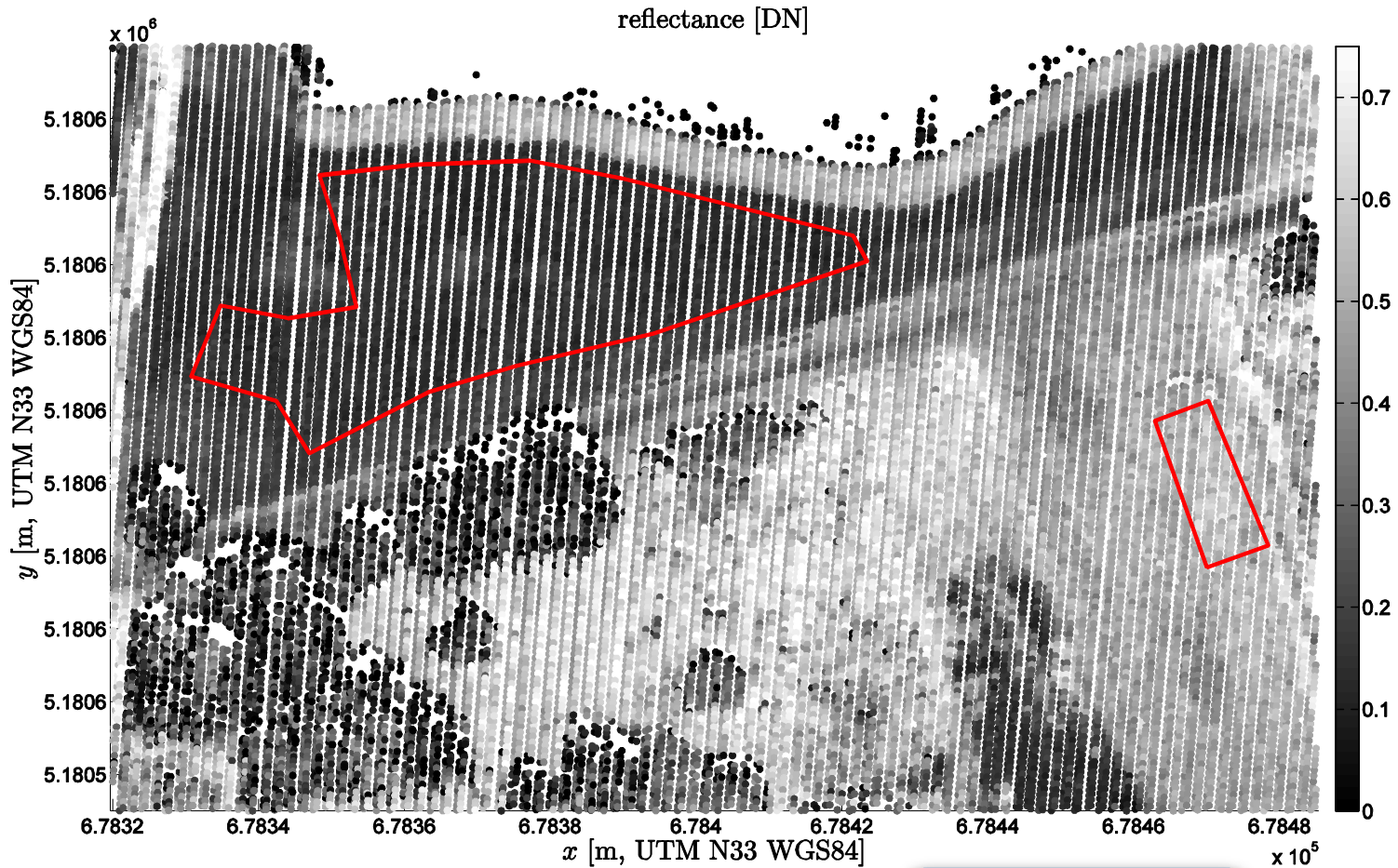
# A pontok információtartalmának növelése: amplitudó



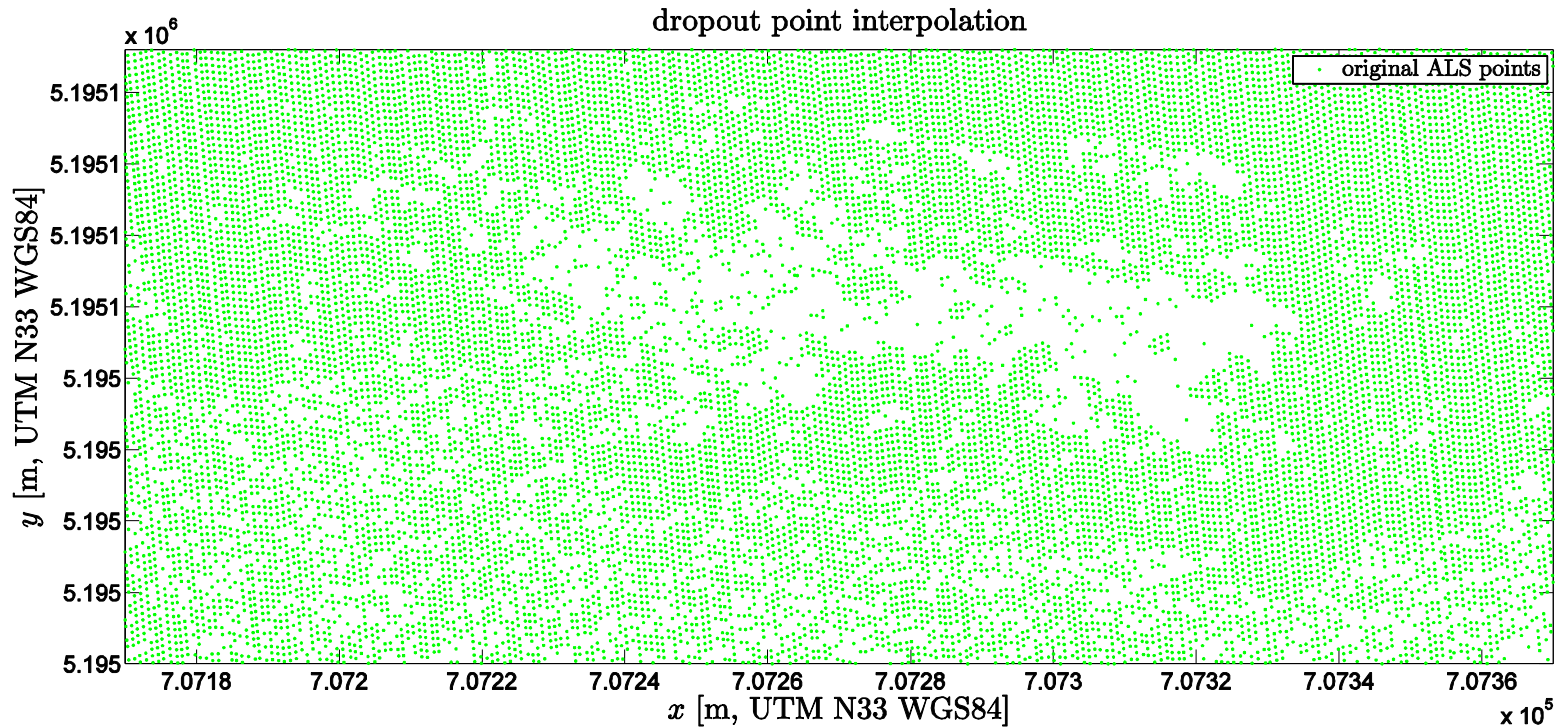
# Szenzor érzékenység (gain control)



# Kalibrált reflektancia

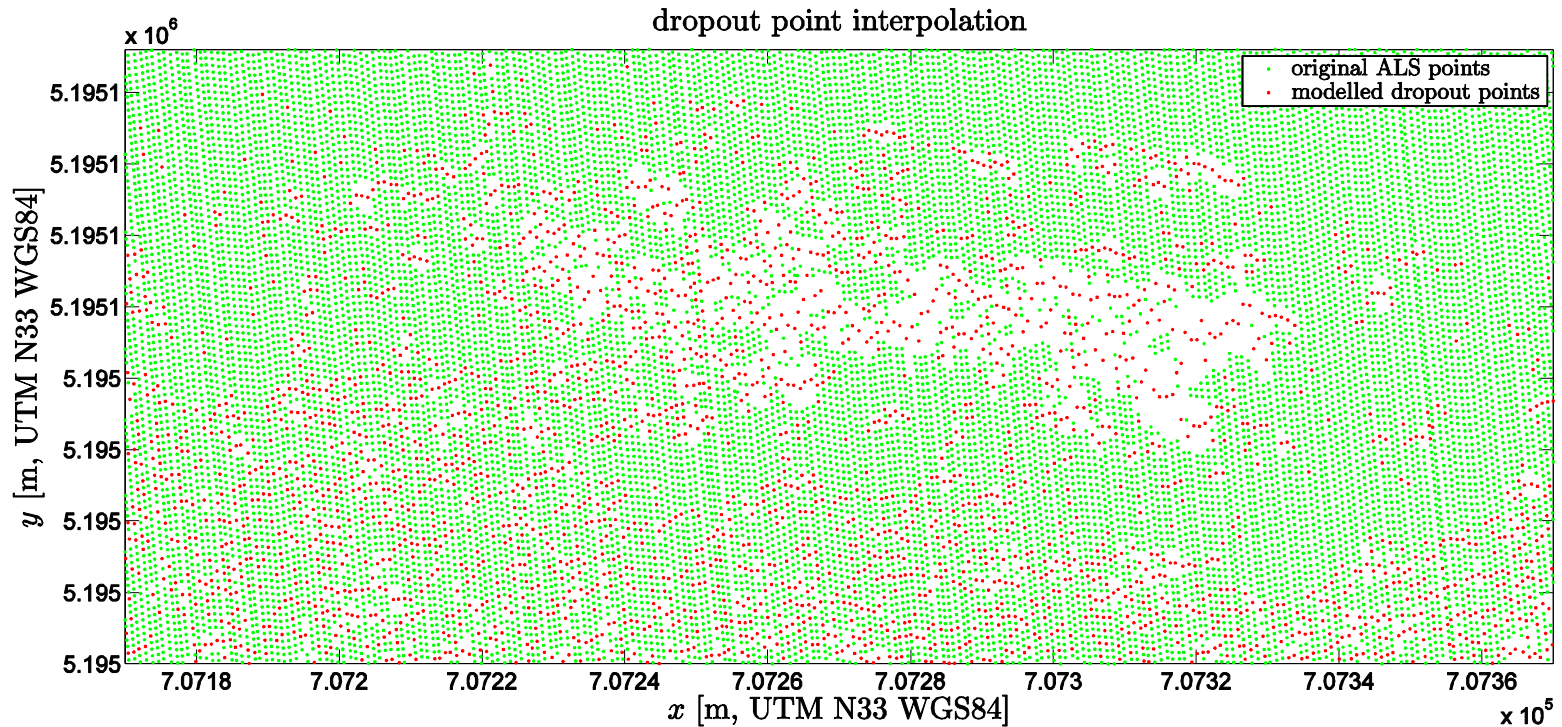


# Információtartalom növelés: víz felszínek



A víz tükröződik → hiányzó pontok a pontfelhőben

# Információtartalom növelés: víz felszínek

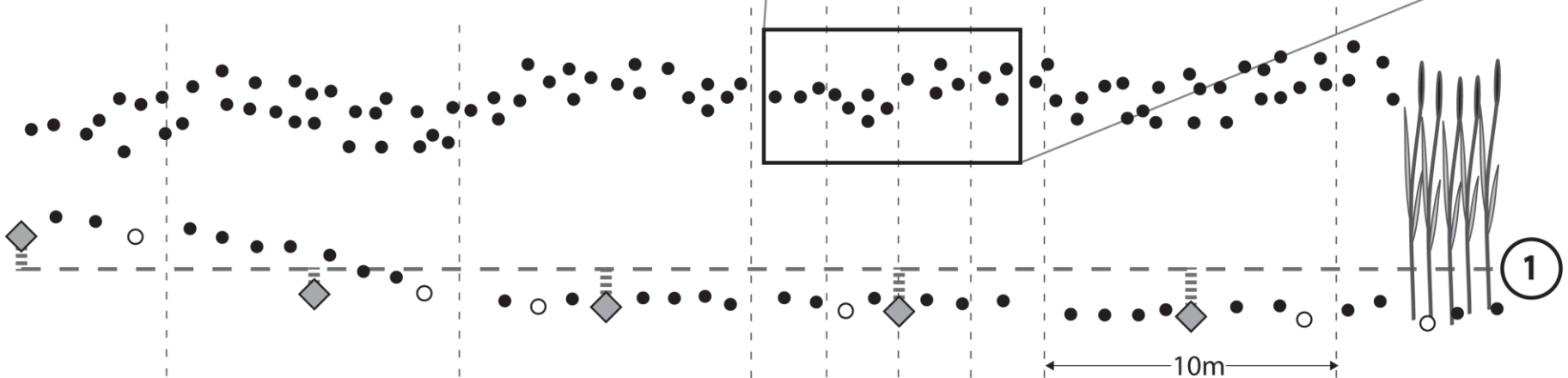


A pontok GPS időcímkéje alapján modellezzük a hiányzókat



# A felszín leíró paraméterek

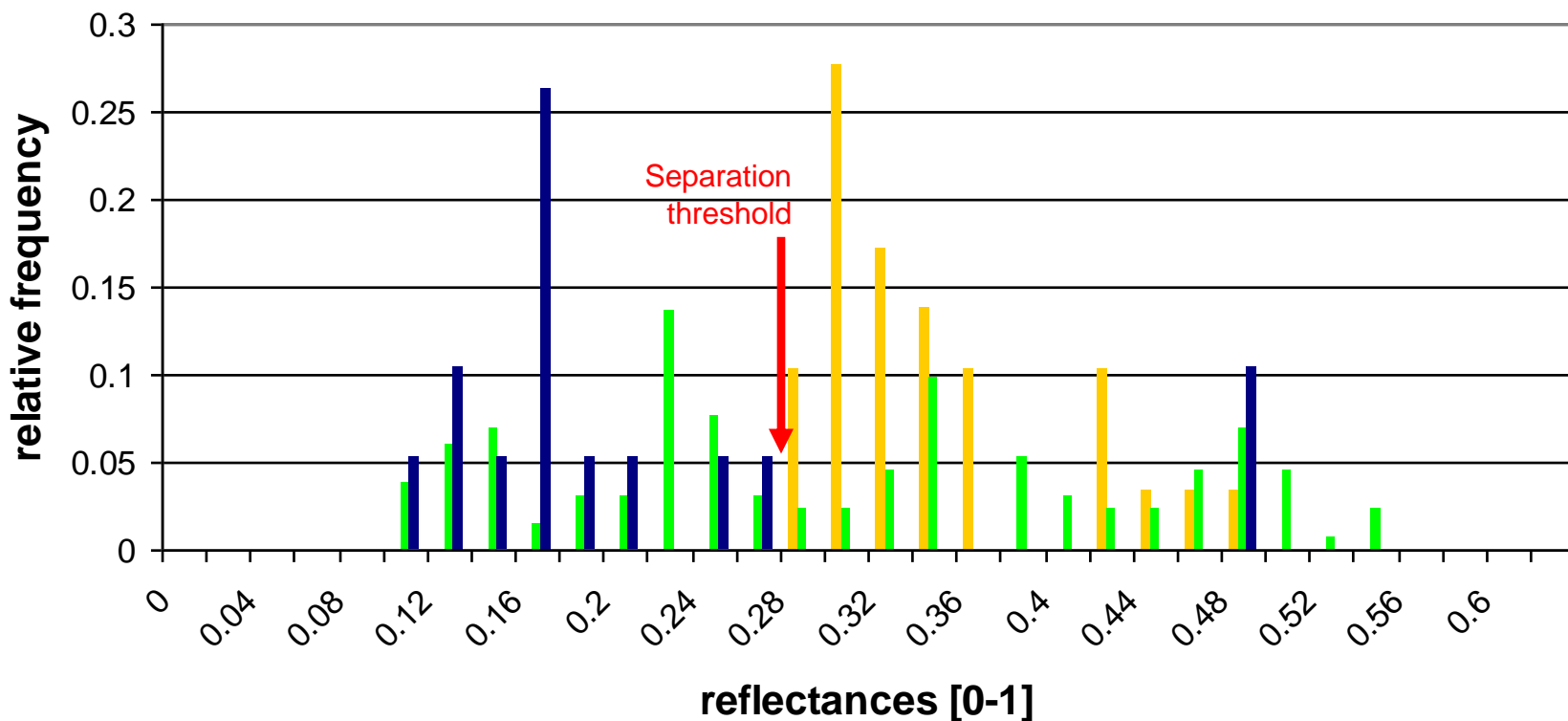
- ALS Points
- Selected lowest ALS points per 10m grid cell
- ◆ 10m cell elevations
- ① 10m grid variance
- 8 neighbouring ALS points
- ◇ 2.5m grid points
- ② 2.5m grid variance



A pontfelhő függőleges metszete

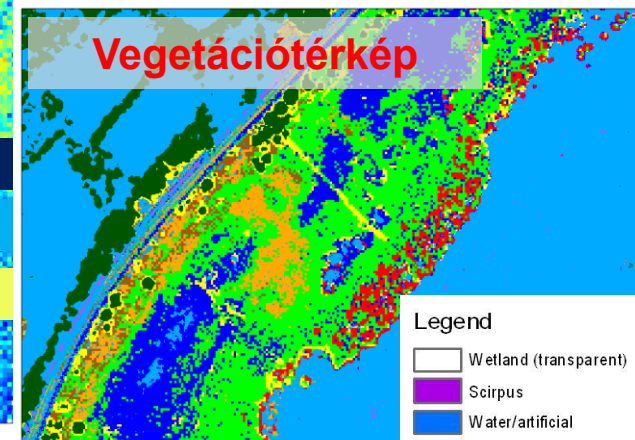
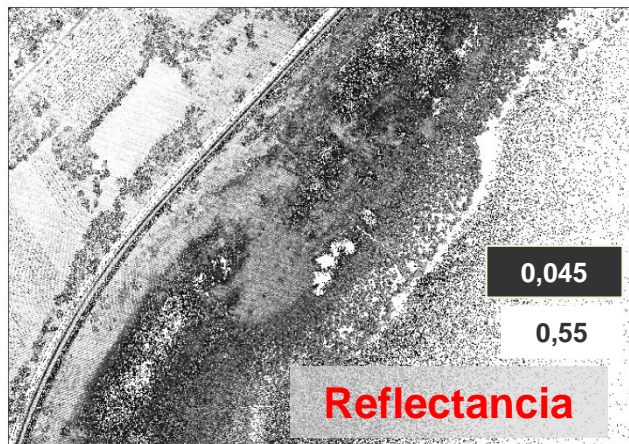
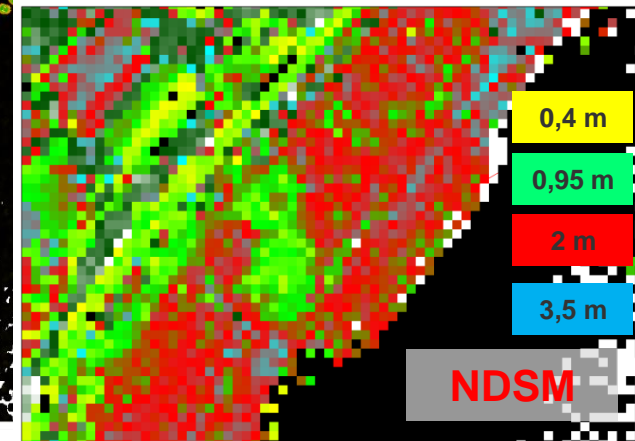
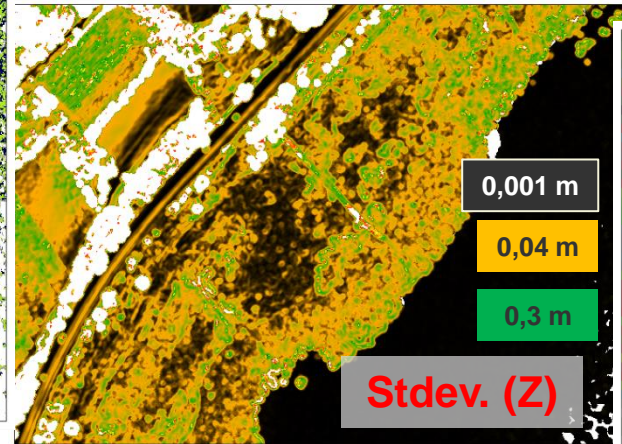
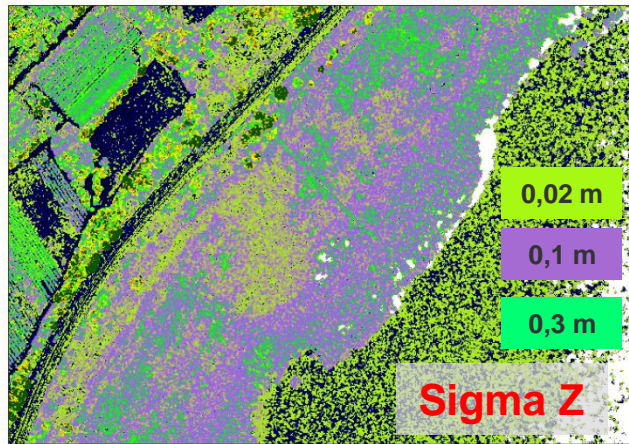
# Az osztályzás küszöbértékei

## Calibrated reflectances of Typha, Carex and reed ground truth areas



■ Carex ■ Reed ■ Typha

# Osztályzás döntési fa algoritmussal



- Legend**
- Wetland (transparent)
  - Scirpus
  - Water/artificial
  - Trees
  - Typha
  - Carex
  - Die-back reed
  - Stressed reed
  - Ruderal reed
  - Healthy reed

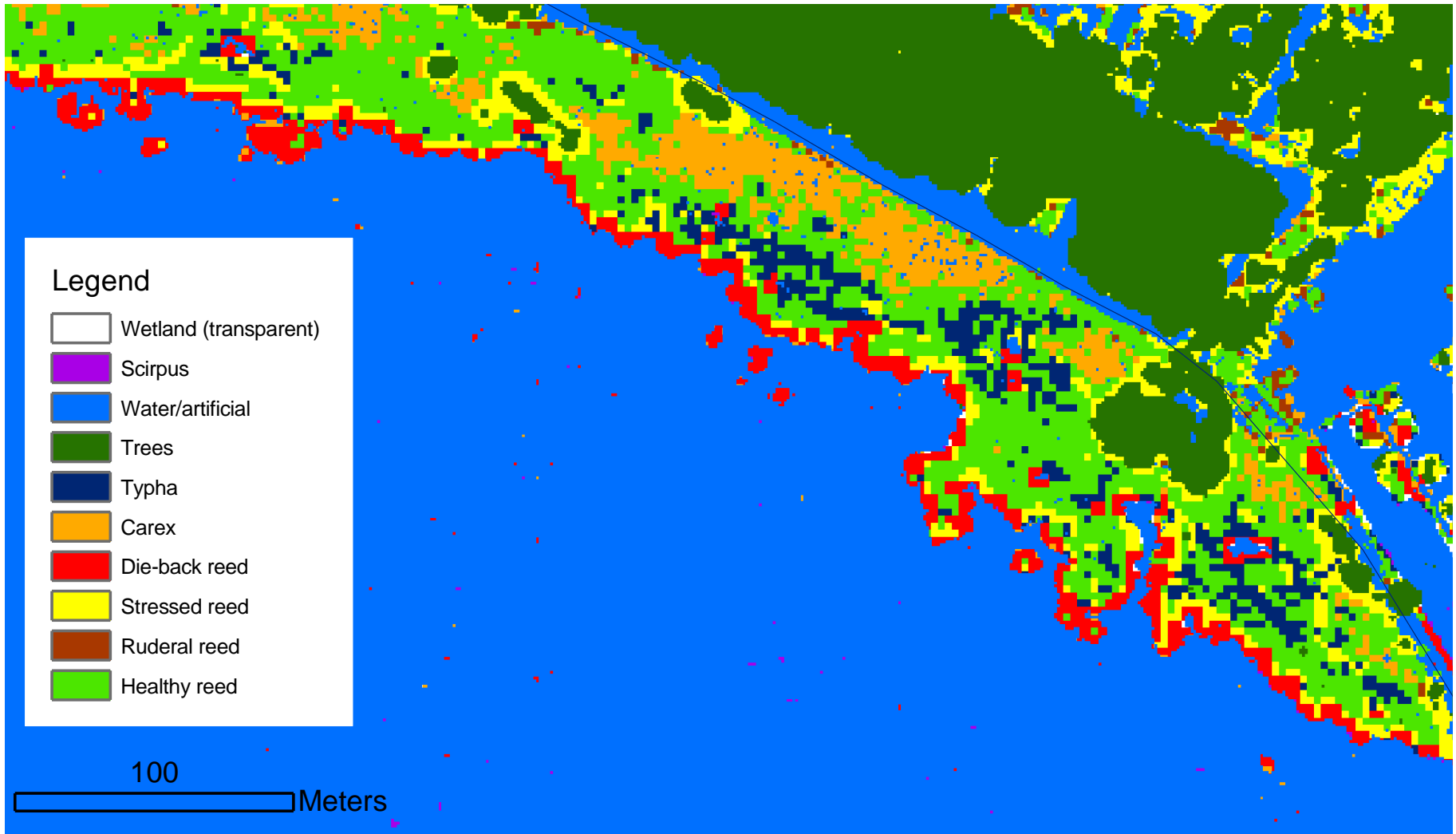


23.04.2012 11:45

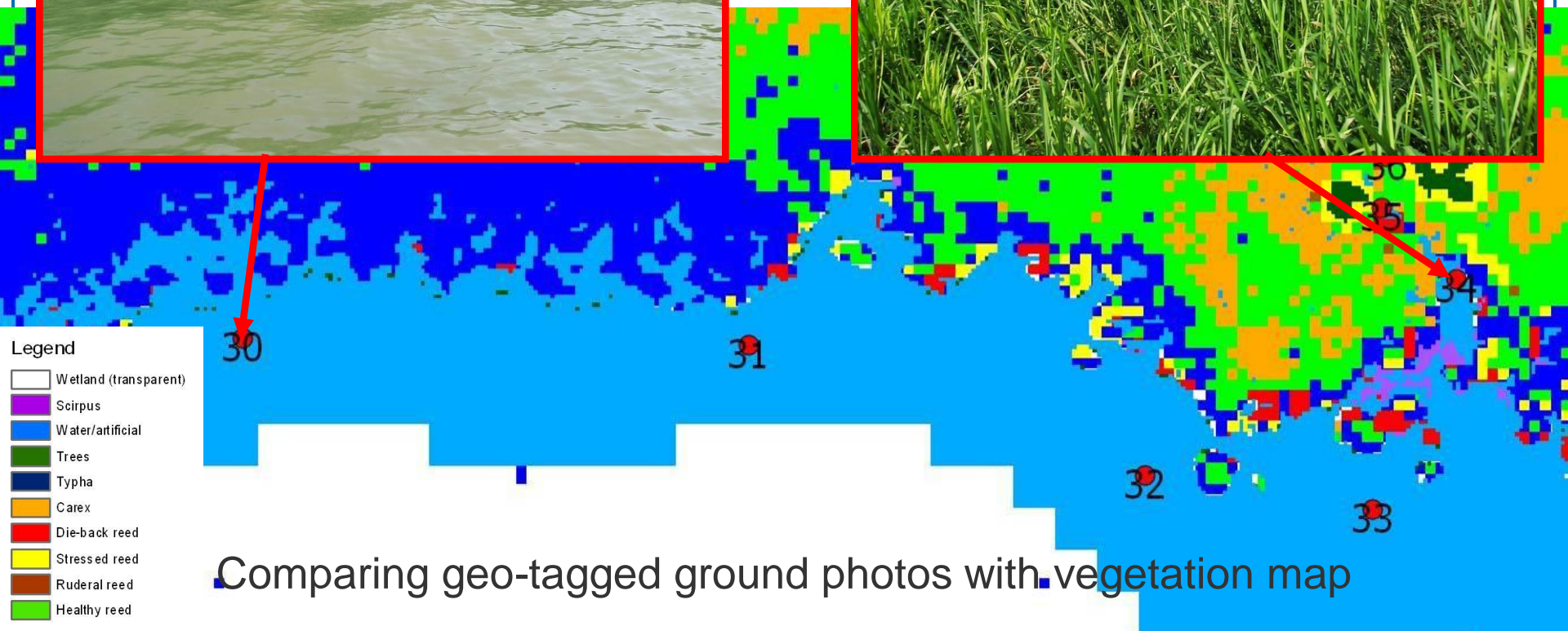
Laser Scanning: 3D Spatial Data, Analysis, and Infrastructures in Geosciences @ EGU 2012



# A kész vegetációtérkép



# A pontosság ellenőrzése



## Legend

- Wetland (transparent)
- Scirpus
- Water/artificial
- Trees
- Typha
- Carex
- Die-back reed
- Stressed reed
- Ruderal reed
- Healthy reed

Comparing geo-tagged ground photos with vegetation map

# Az osztályzás pontossága

classified as	reference field photographs									Totals	User's accuracy
	Typha	Carex	Die-back reed	Stressed reed	Ruderal reed	Healthy reed	Tree	Water/flat	Scirpus		
Typha	78	7	6	7	0	8	0	1	0	107	72.90
Carex	1	29	0	1	1	0	0	3	0	35	82.86
Die-back reed	7	0	75	16	2	13	0	6	1	120	62.50
Stressed reed	0	3	6	78	1	5	2	2	0	97	80.41
Ruderal reed	0	5	0	1	33	0	0	0	0	39	84.62
Healthy reed	2	4	11	4	5	109	0	0	1	136	80.15
Tree	0	0	0	0	0	0	99	0	0	99	100.00
Water/artificial	0	0	0	0	0	0	0	104	1	105	99.05
Scirpus	0	0	0	0	0	0	0	1	36	37	97.30
Totals	88	48	98	107	42	135	101	117	39	775	
Producer's accuracy	88.64	60.42	76.53	72.90	78.57	80.74	98.02	88.89	92.31		

Total accuracy		Cohen's Kappa	
82.71	%	κ	0.80

# Következtetések

## A LIDAR adatok közvetlenül alkalmasak nádasok térképezésére

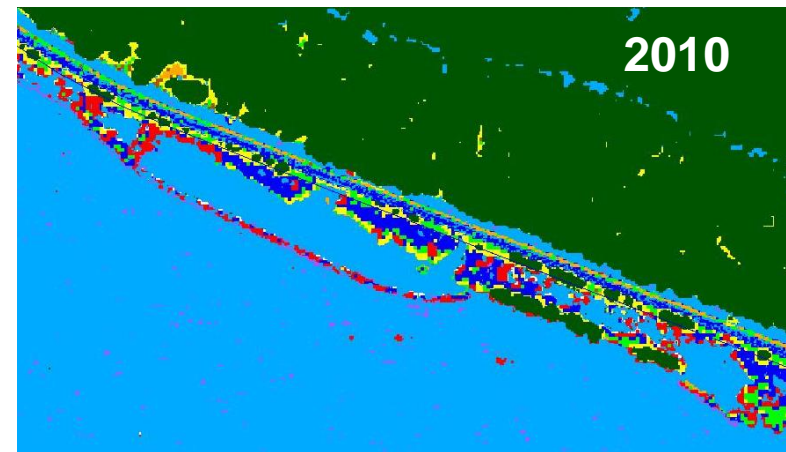
- A döntési fa alapú algoritmus egyértelműen definiált változókat és osztályzási lépéseket használ. **A pontosság számszerű következtetések levonását teszi lehetővé**
- Az egész folyamat automatizálható egyetlen script-ben → **olcsó technológia, nem munkaigényes**
- A módszer várhatóan átvihető más területekre és élőhely-típusokra



# A térkép jelentősége, nyitott kérdések

**Milyen környezeti hatások befolyásolják a nádas terjeszkedését és pusztulását?**

- Milyen növénytársulások tartoznak a nádashoz (sás, gyékény, bokorfüzesek), hogyan intézményesíthető ezek védelme?
- Milyen mértékű a nádpusztulás a Balatonon?
- Hol vannak a legfontosabb, a leginkább védendő nádasok, sikeres-e ezek védelme?



# A Balaton fizikai geodéziája

- Azért kezdtünk el ezzel foglalkozni, mert a relatív georeferencia egyre csak nem akart stimmelni, majdnem 80 cm eltérés volt ellipszoidi magasságban a tó két vége között
- A vízfelszín adatokban látszik a geoidunduláció
- Lehet így gravitációs mintázatokat vizsgálni?

# Előzmények: Eötvös (1908)



# A Balaton vízszintjének, mint gravitációs izofelszínnek LIDAR felmérése

András Zlinszky<sup>1,2</sup>, Camillo Ressler<sup>1</sup>, Gábor Timár<sup>3</sup>, Robert Weber<sup>1</sup>, Balázs Székely<sup>3,1</sup>, Christian Briese<sup>1</sup>, Norbert Pfeifer<sup>1</sup>

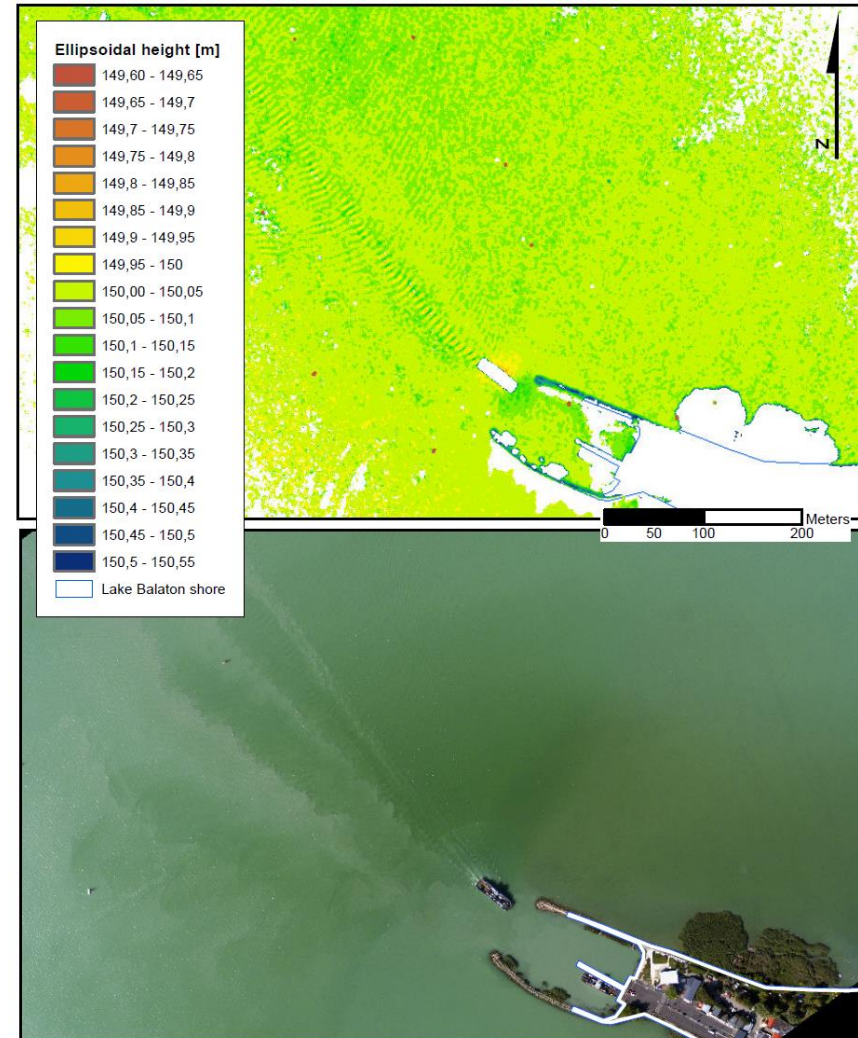
az@ipf.tuwien.ac.at

1: Department of Geodesy and Geoinformation  
Vienna University of Technology

[www.ipf.tuwien.ac.at](http://www.ipf.tuwien.ac.at)

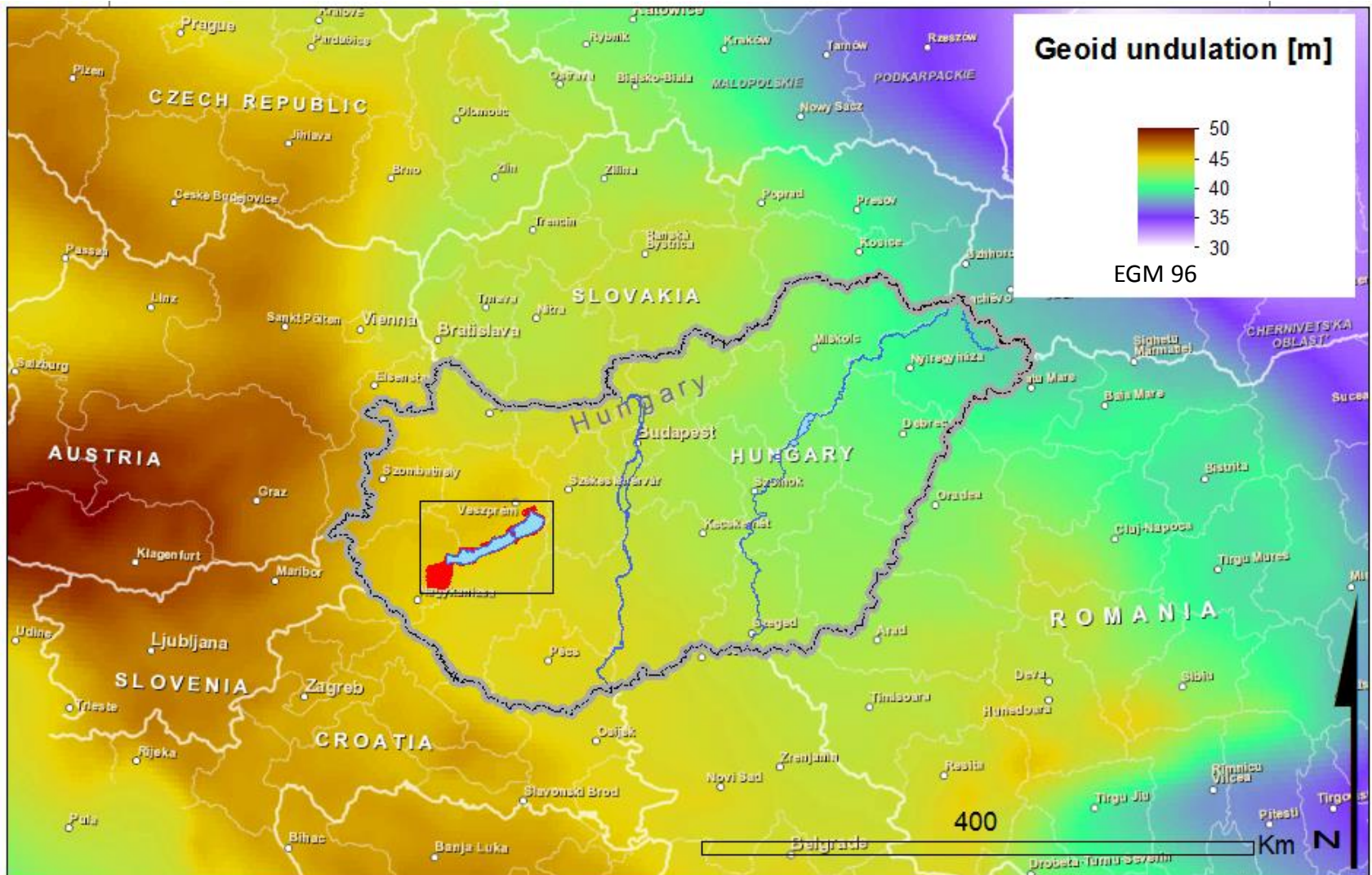
2: Balaton Limnological Institute, Centre for Ecological Research, Hungarian  
Academy of Sciences

3: Department of Geophysics and Space Science, Institute for Earth  
Sciences, Eötvös Loránd University

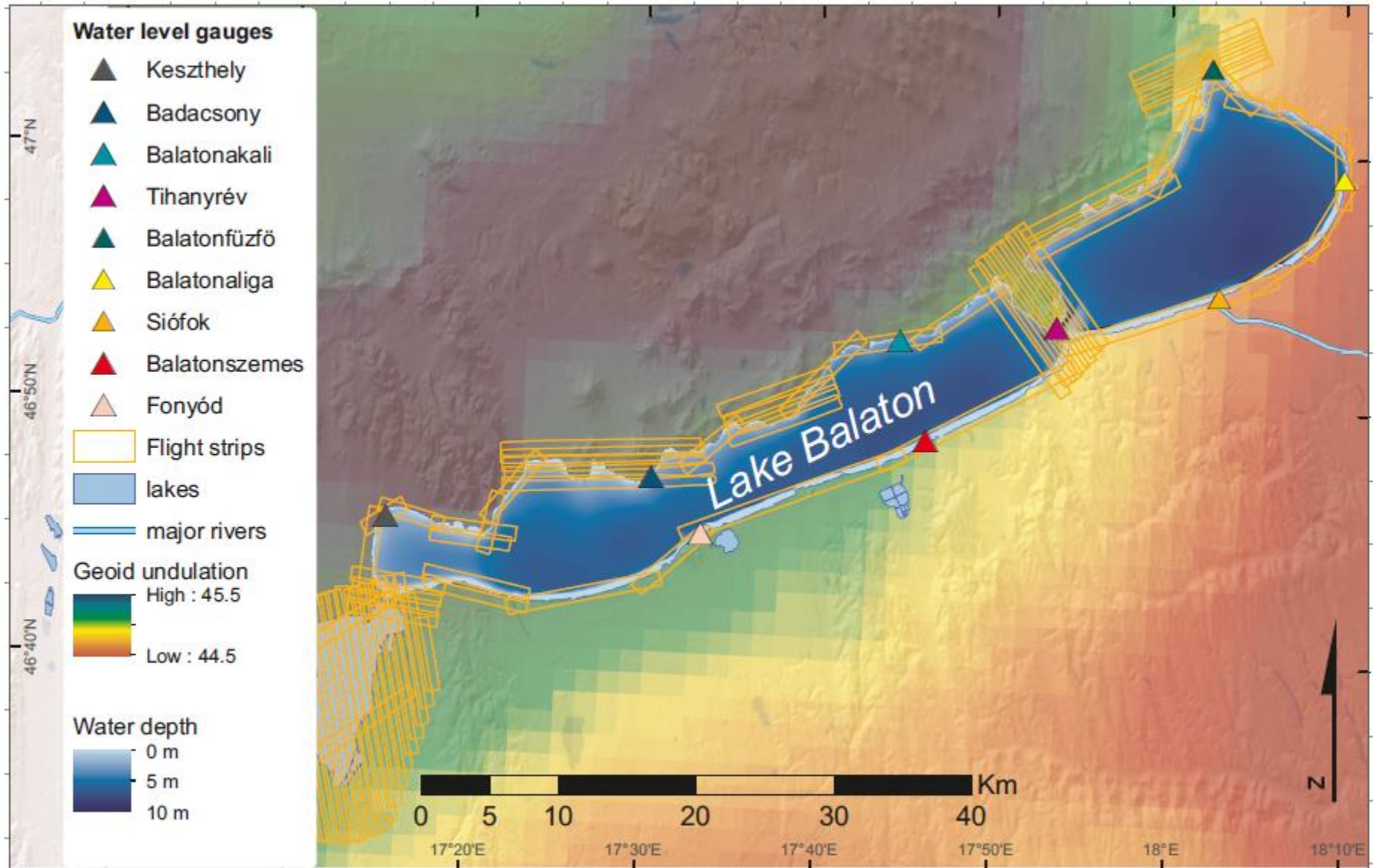




# Geoidunduláció a Kárpát-medencében

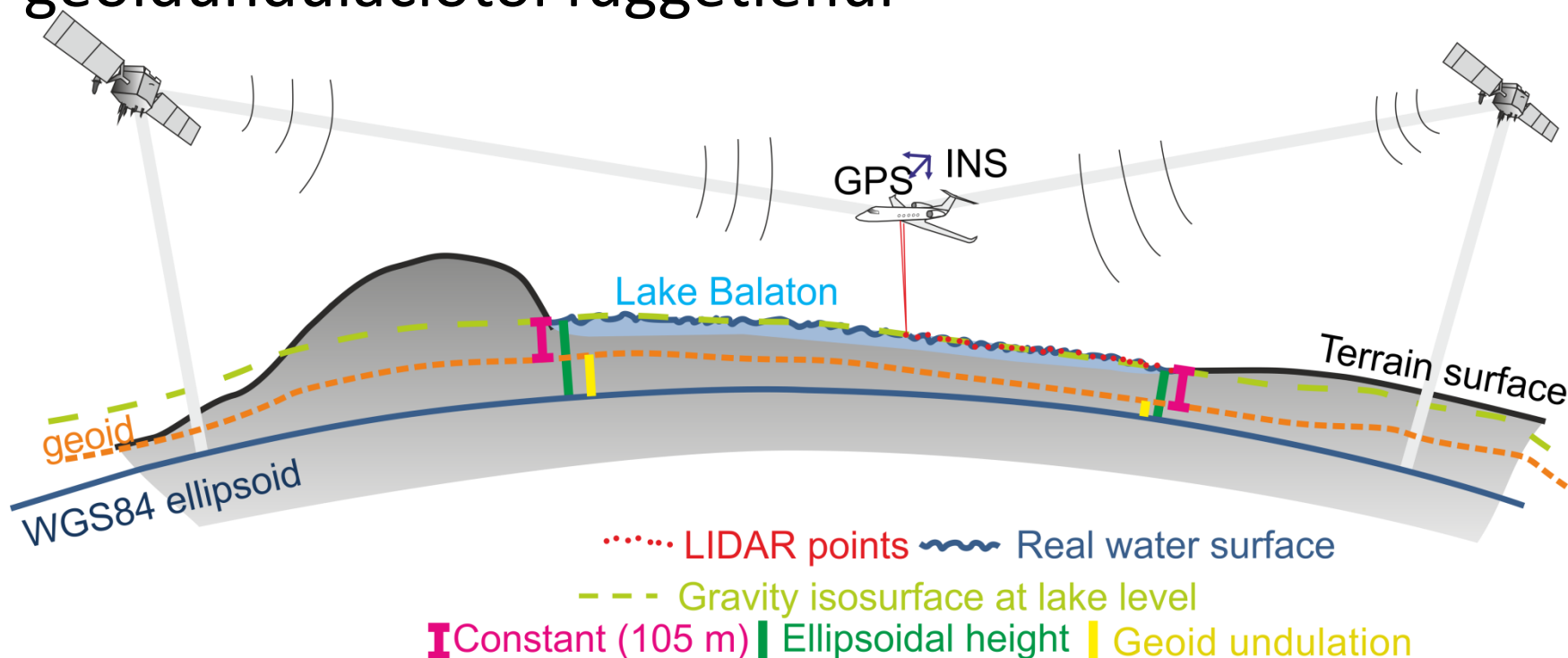


# HGTUB2007 Geoid modell, Tóth Gyula et al 2008

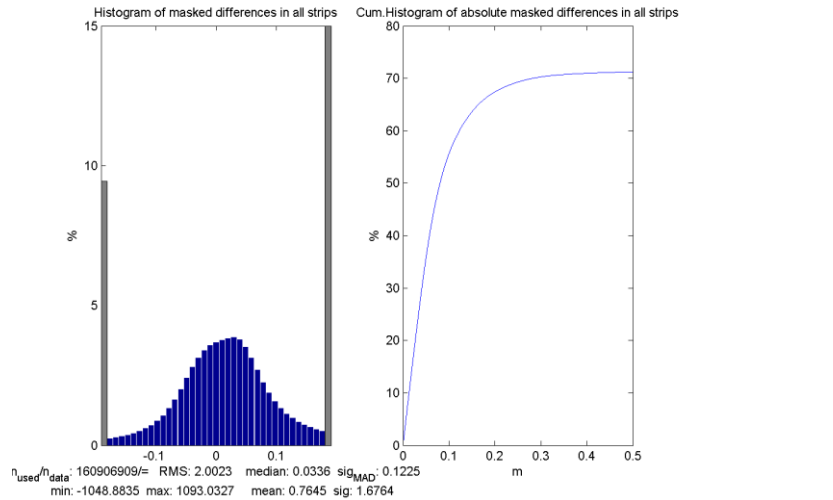


# A vízfelszín LIDAR felmérése

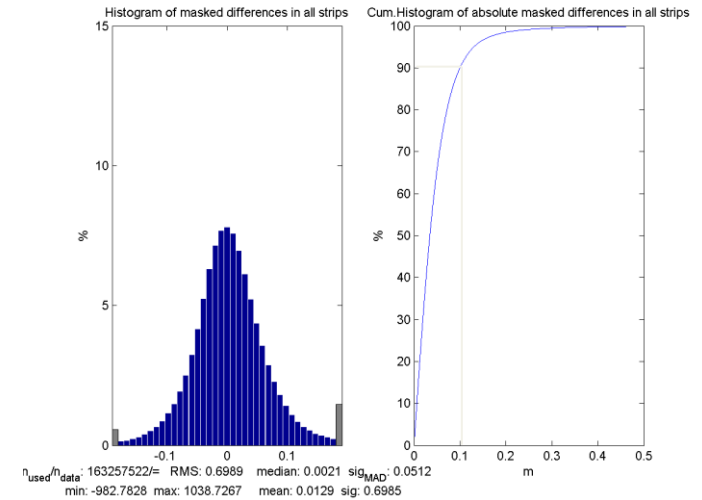
- Távolság a vízfelszín és a szenzort hordozó repülőgép között
- A repülőgép pozíciója GPS alapján
- Így ellipszoidi magasságokat mérünk a geoidundulációtól függetlenül



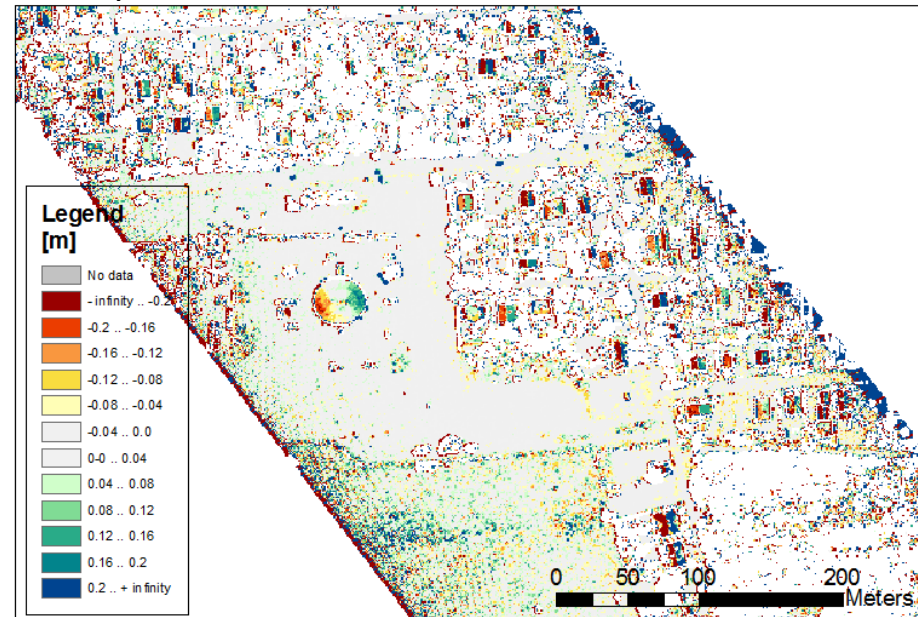
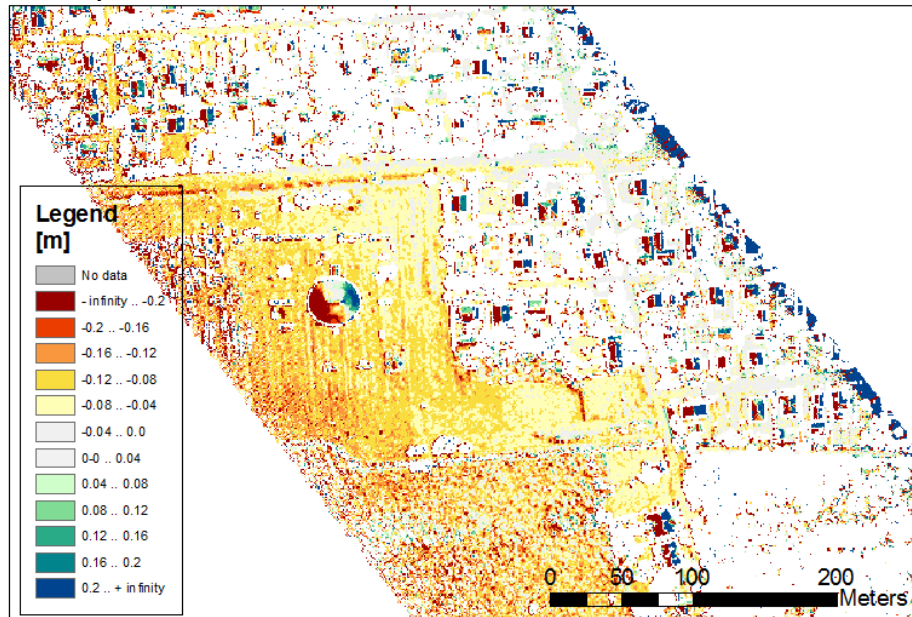
# A LIDAR sávok relatív georeferenciájának korrekciója



Strip surface model differences **before** correction



Strip surface model differences **after** correction



# A vízlengés korrekciója

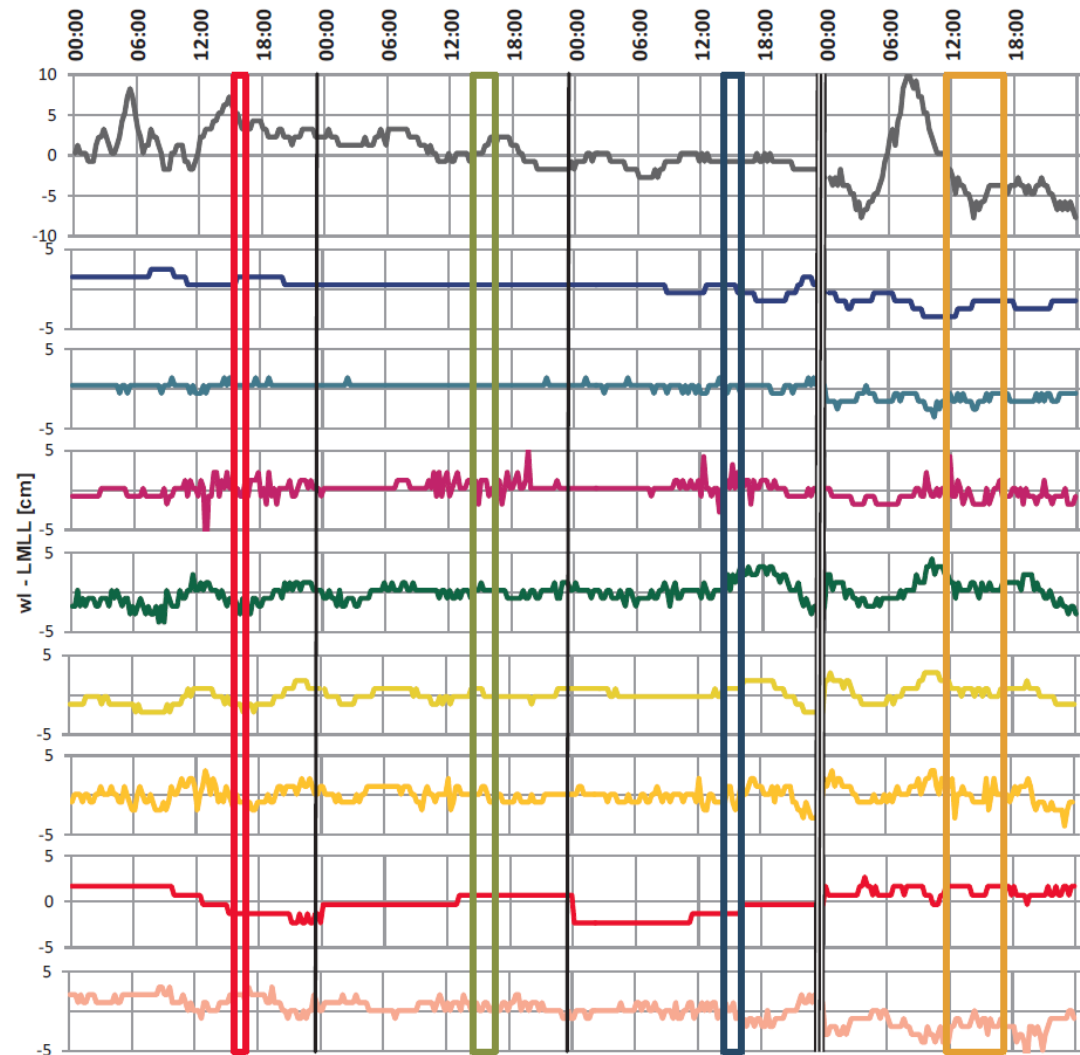
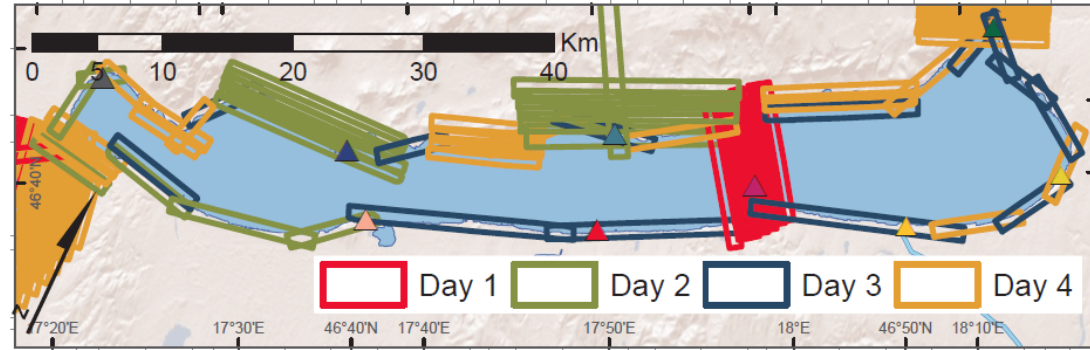
A Balaton 9 vízmércéjén, 15 percenként regisztrált helyi vízszint alapján

LMLL: Local Mean Lake Level, a mérés 4 napja alatti helyi átlag vízszint

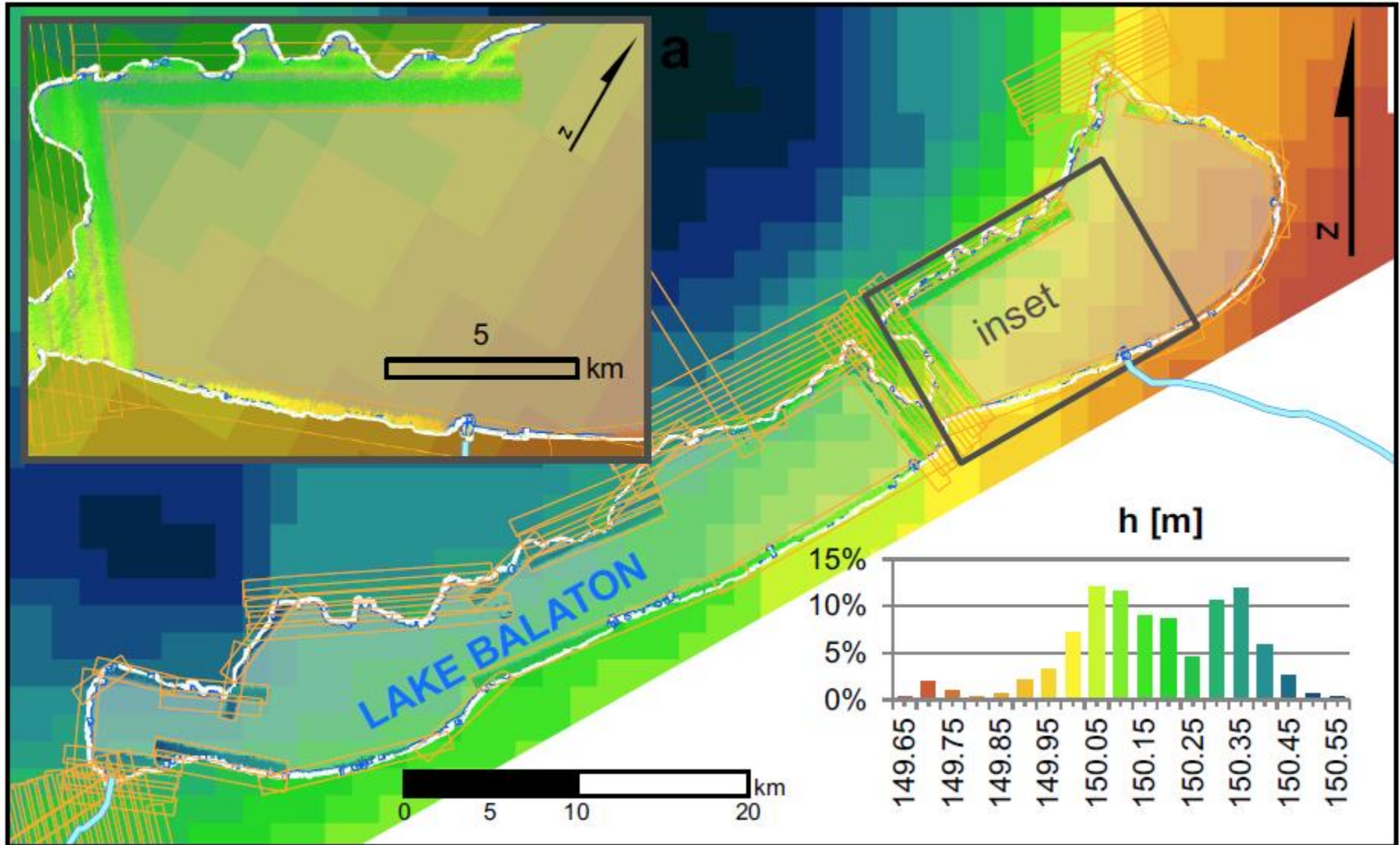
Az ettől való eltérés mutatja az áramlásokat és a vízlengés okozta magasságváltozásokat

Minden repült sáv magasságát az időben és térben legközelebbi vízmérce értéke alapján korigáltunk

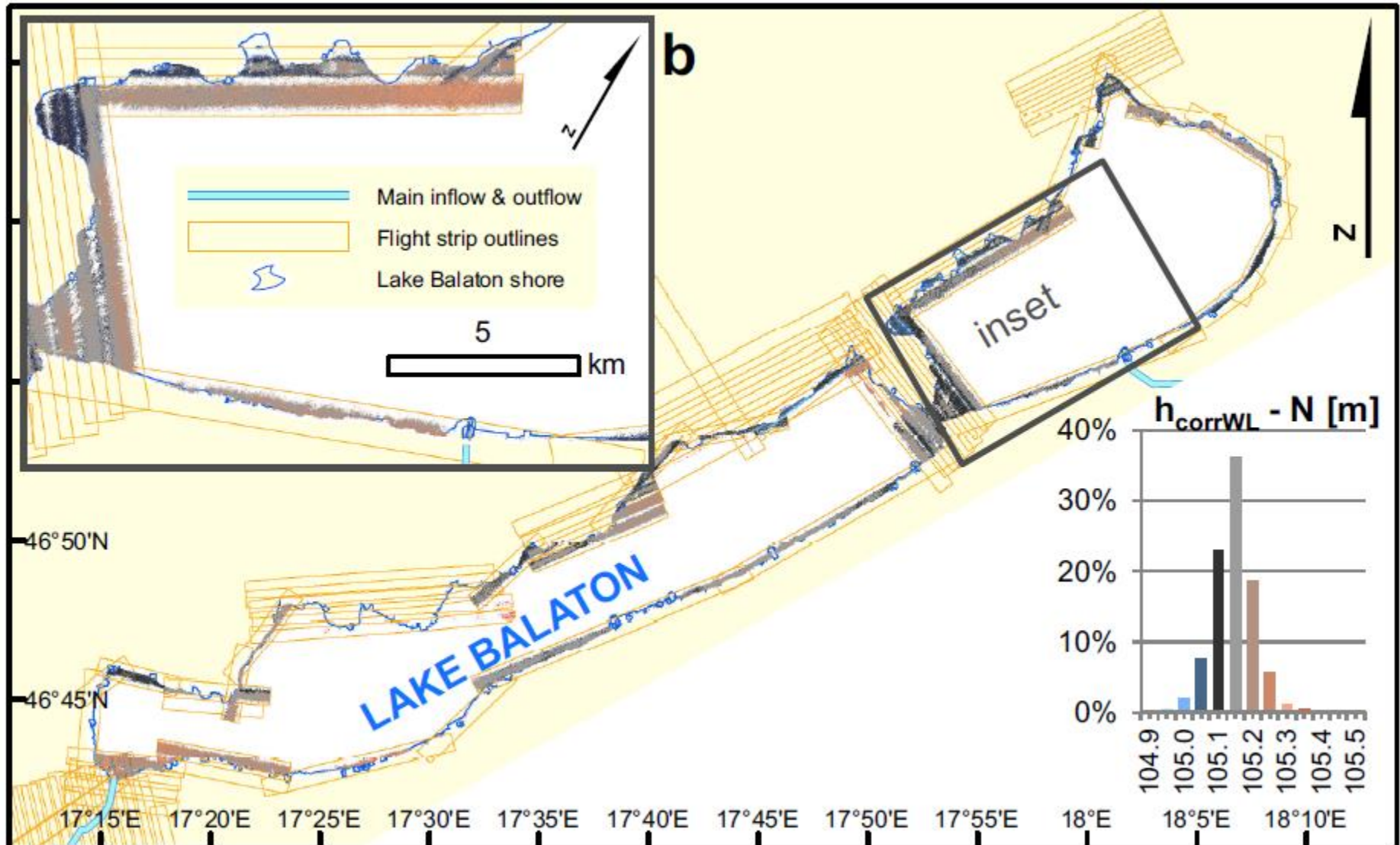
A korrekció tipikusan 2 cm alatt volt, egyes ritka esetekben 7 cm-t is elért



# Eredmények: gravitációs izofelszín modell és mért ellipszoidi magasságok



# Eredmények: A normálmagasság eloszlása

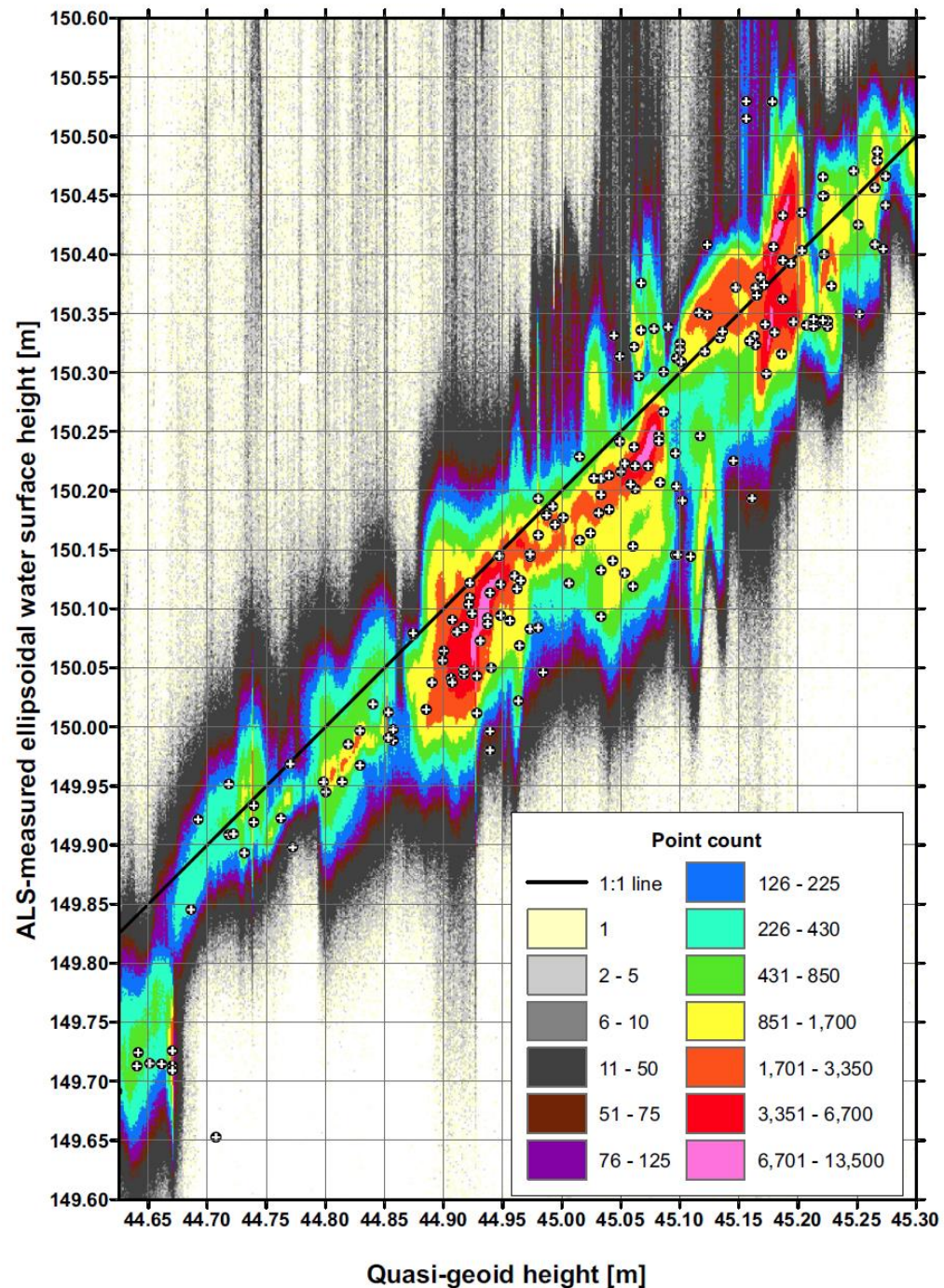


# Statisztikai kiértékelés

Átmintavételezve a vízfelszín magasságokat a geoid modell felbontására:  $R^2=0.906$   
191 adatpont

Átmintavételezve a geoid modellt a vízfelszín magasság modell felbontására:  
87 millió adatpont, a pontok 36%-ában 5 cm alatt van a különbség az elméleti és a mért magasság között

Az alacsony geoidunduláció-tartományban a mért vízfelszín magasságok még alacsonyabbak → itt a geoid modell feltehetően túlságosan simít, és a vízfelszín felel meg a valóságos izofelületnek



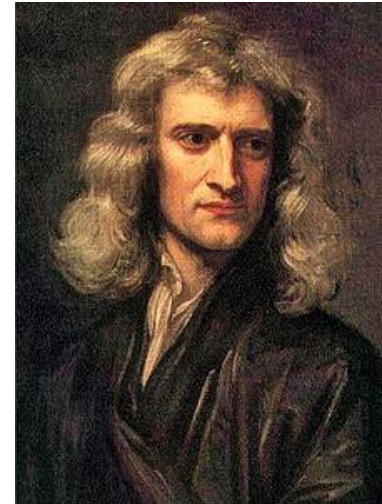


# Pontosság és hibaforrások

Estimated error budget, individual height sources in cm					
		Standard deviation	Median	spatial distribution of error	source of value
Airborne LIDAR system	Absolute point vertical accuracy	8	0	systematic point error within each strip	Leica Geosystems (2006)
	Point accuracy after strip adjustment	5	0	mainly random except for strips with georeferencing artefacts	Measured for strip adjustment quality control
Water surface height effects	Waves (in 40% of the strips, no waves in the rest)	9	0	periodic systematic	Estimated from LIDAR quality control
	Total impact of waves on full dataset	4	0		
	Specular reflection (influencing ca. 10% strip area in 30% of the strips surveyed)	5	15	systematic	
	Total impact of specular reflection on full dataset	0.15	0.45		
	Smile artefact (influencing ca. 20% strip area in 30% of the strips)	2.5	-7		
	Total impact of smile artefact on full dataset	0.15	-0.35		
	Dynamic water topography	3	0		
estimated error budget, total effect of height error sources on data [cm]					
		Standard deviation	Median		
	Total impact of water as target surface	5	0		
	Total estimated height error budget	7.1	0		
	True total error budget (from measurement data, Fig 2.b)	5.6	-2.2		

# Következtetések és kitekintés

- A LIDAR pontossága lehetővé teszi a vízfelszín, mint gravitációs izofelszín felmérését
- Newtonnak igaza volt, egy nagy felületű tó is lehet gyakorlatilag hidrosztatikus egyensúlyban. Az ettől való eltéréseket a meglévő vízmércék segítségével korrigálni tudjuk
- Ezekkel az adatokkal pontosítani lehet a Balaton környéki geoid modellt, és ezt éppen Eötvös adataival lehet ellenőrizni

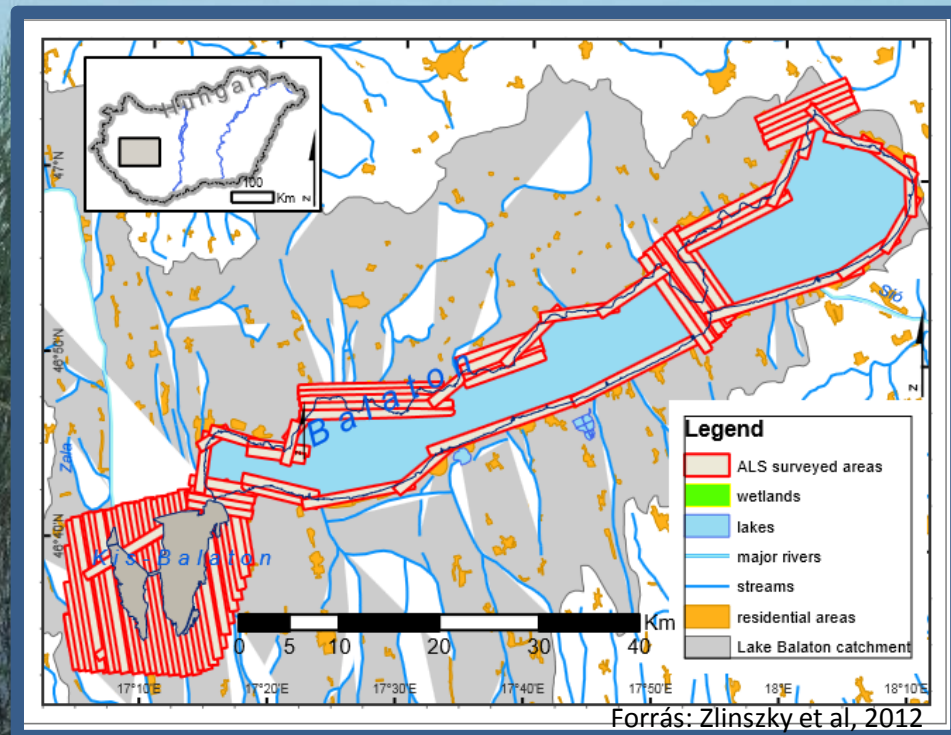


# A Balaton domborzatmodellezése légi lézerekkel lézerszkennelt adatok alapján

Készítette: **Koma Zsófia**  
ELTE TTK Geofizika MSc

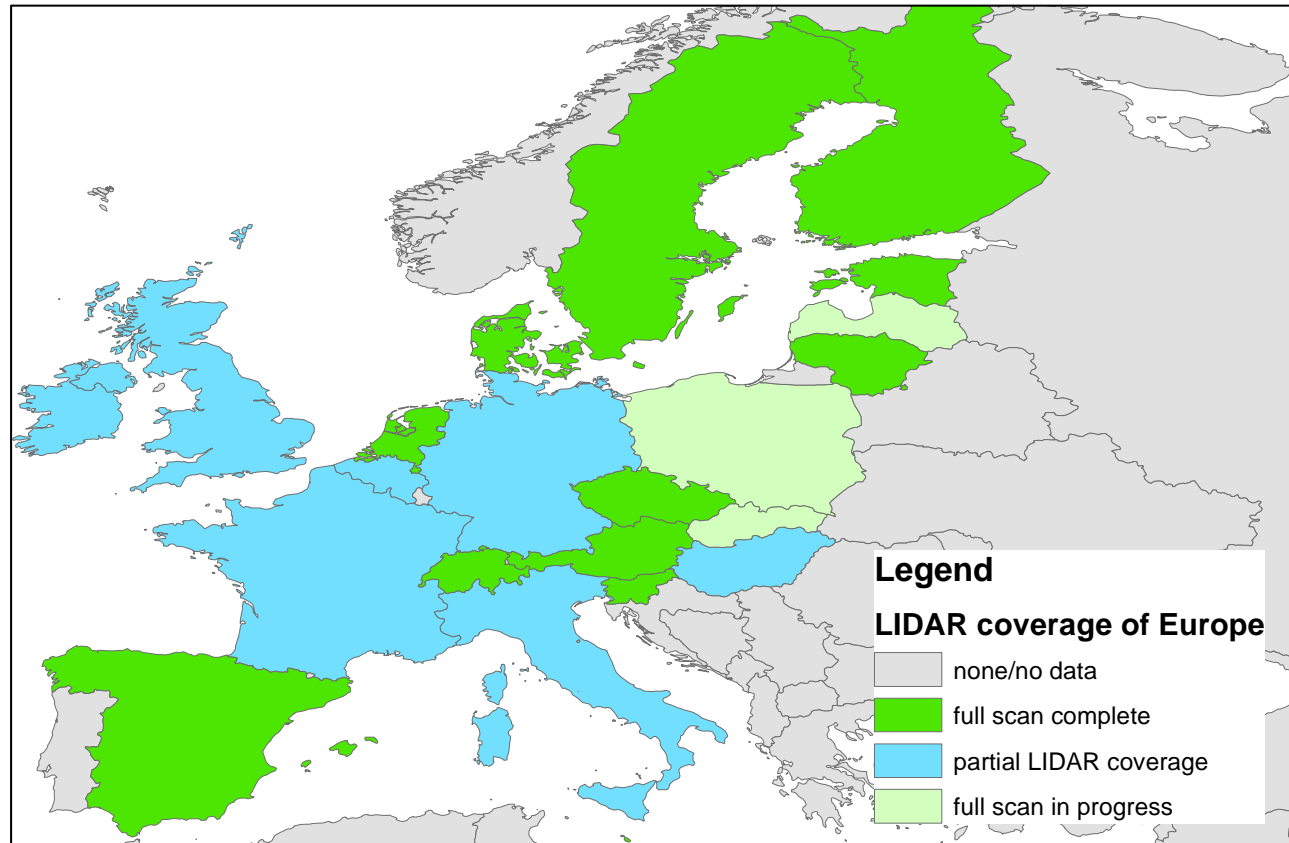


Témavezető: **Dr. Zlinszky András**  
GEO TU-WIEN,  
MTA ÖK Balatoni Limnológiai  
Intézet



# Előzmények

- Egyre több Európai országban készülnek regionális vagy országos LIDAR felmérések
- Ezekből nem könnyű domborzati modellt előállítani (alacsony pontsűrűség)
- A meglévő algoritmusok általában egyféle terepen működnek jól (pl vagy házak vagy fák között)



# Az ötlet: felszínborítás-érzékeny talajpont-szűrés és interpoláció

- Először kategorizáljuk a felmért területet automatikus osztályzással (erre a LIDAR pont jó!), aztán az egyes cellákban a kategóriától függő talajpontszűrést alkalmazunk
- Végül az egészet összerakjuk
- Ezt viszont ellenőrizni kell, ehhez valódi terepi pontokat gyűjtöttünk

# Osztályok a domborzatmodellezés szemszögéből

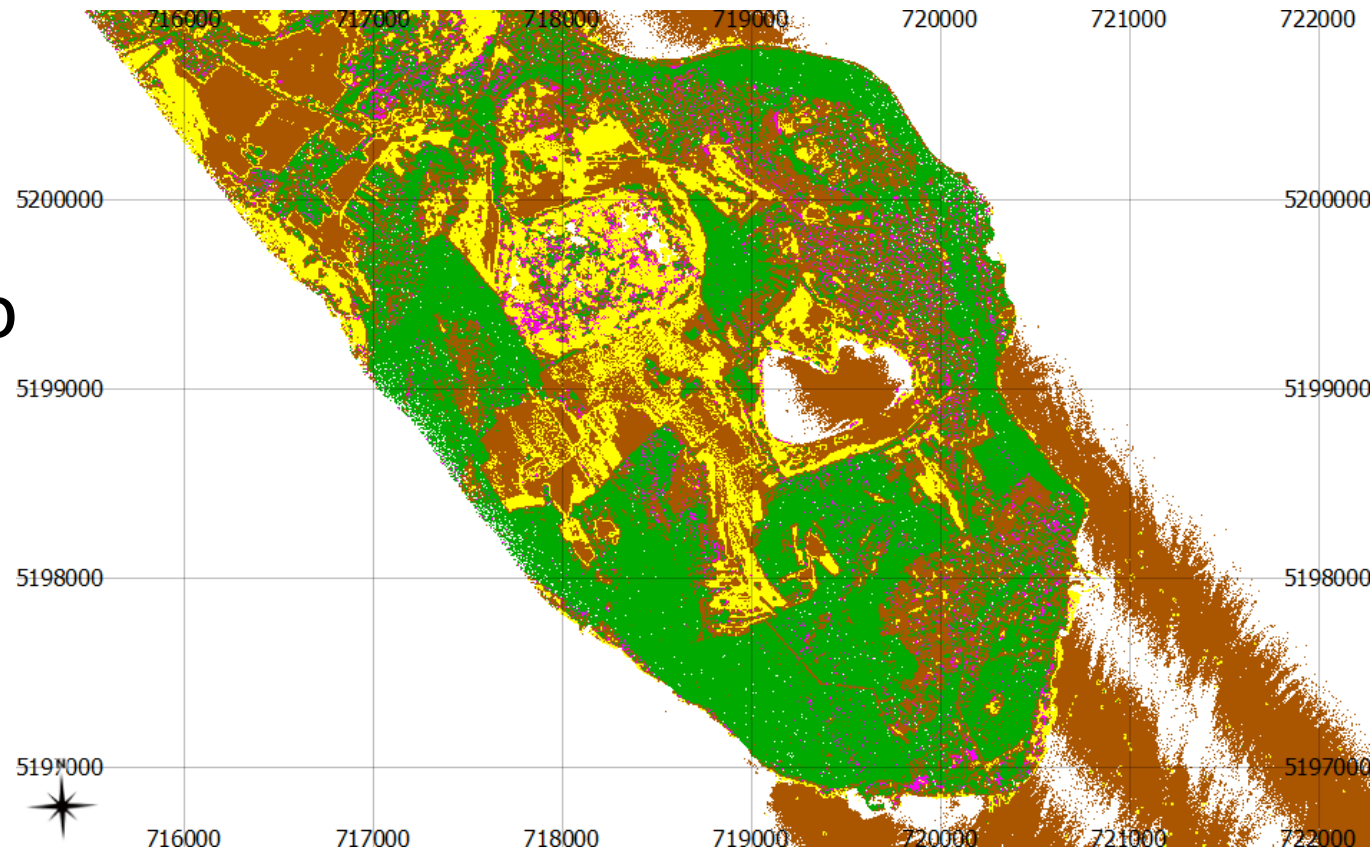
- Nyílt: a visszaverődések nagy része a talajról érkezik, alig vannak nem-talaj objektumok, az összes pont alapján interpolálhatunk
- Házak: Meredek összefüggő sík felületek, amelyek alatt nincs talajpont, közöttük viszont lehet

# Osztályok a domborzatmodellezés szemszögéből

- Erdő: az utolsó LIDAR visszaverődés általában talajpontnak tekinthető, de nem minden LIDAR jel ad visszaverődést a talajról
- Nádas/szántó: nagyon ritkák a talajról érkező visszaverődések, viszont a növényzet magassága viszonylag egyenletesnek tekinthető

# Osztályzás LIDAR paraméterek alapján

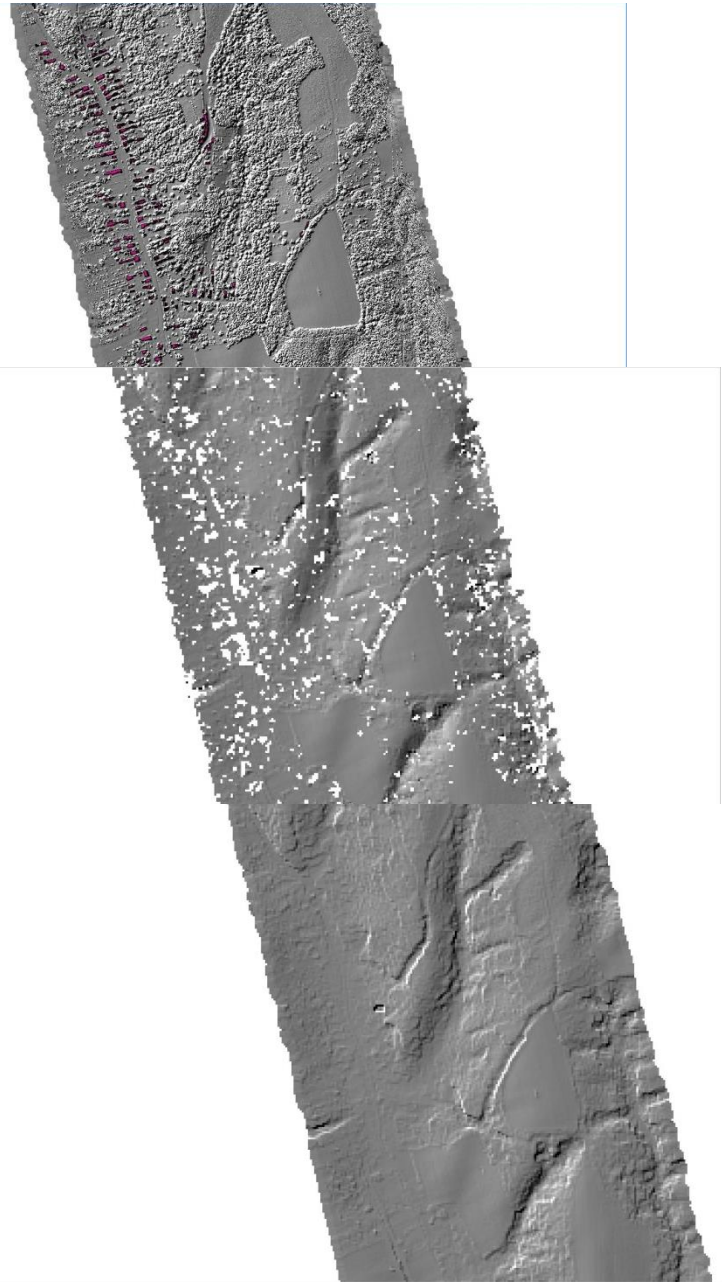
- Normalizált magasság (nyers DTMhez képest)
- SigmaZ
- Lejtőszög
- Echo Ratio
- Range

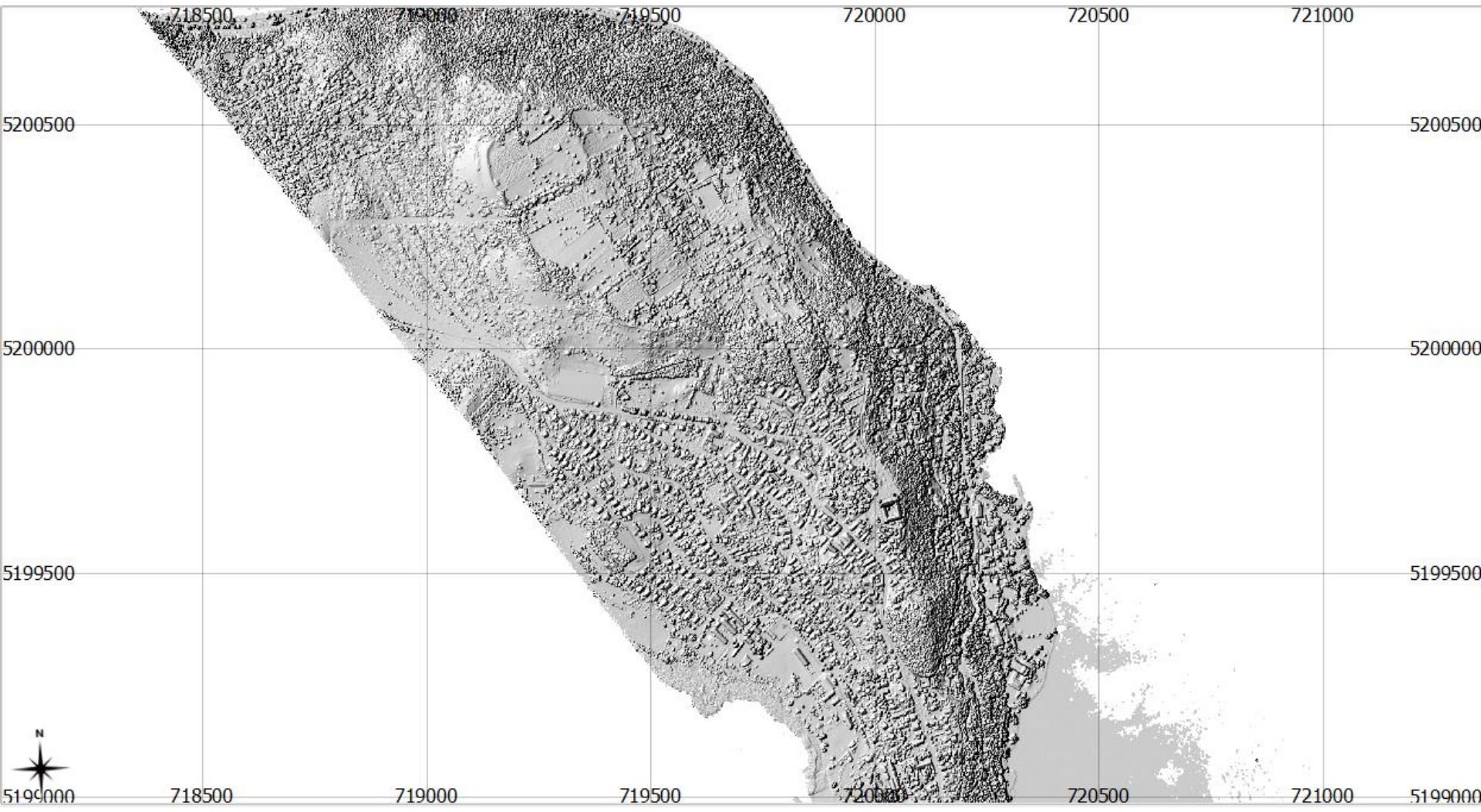


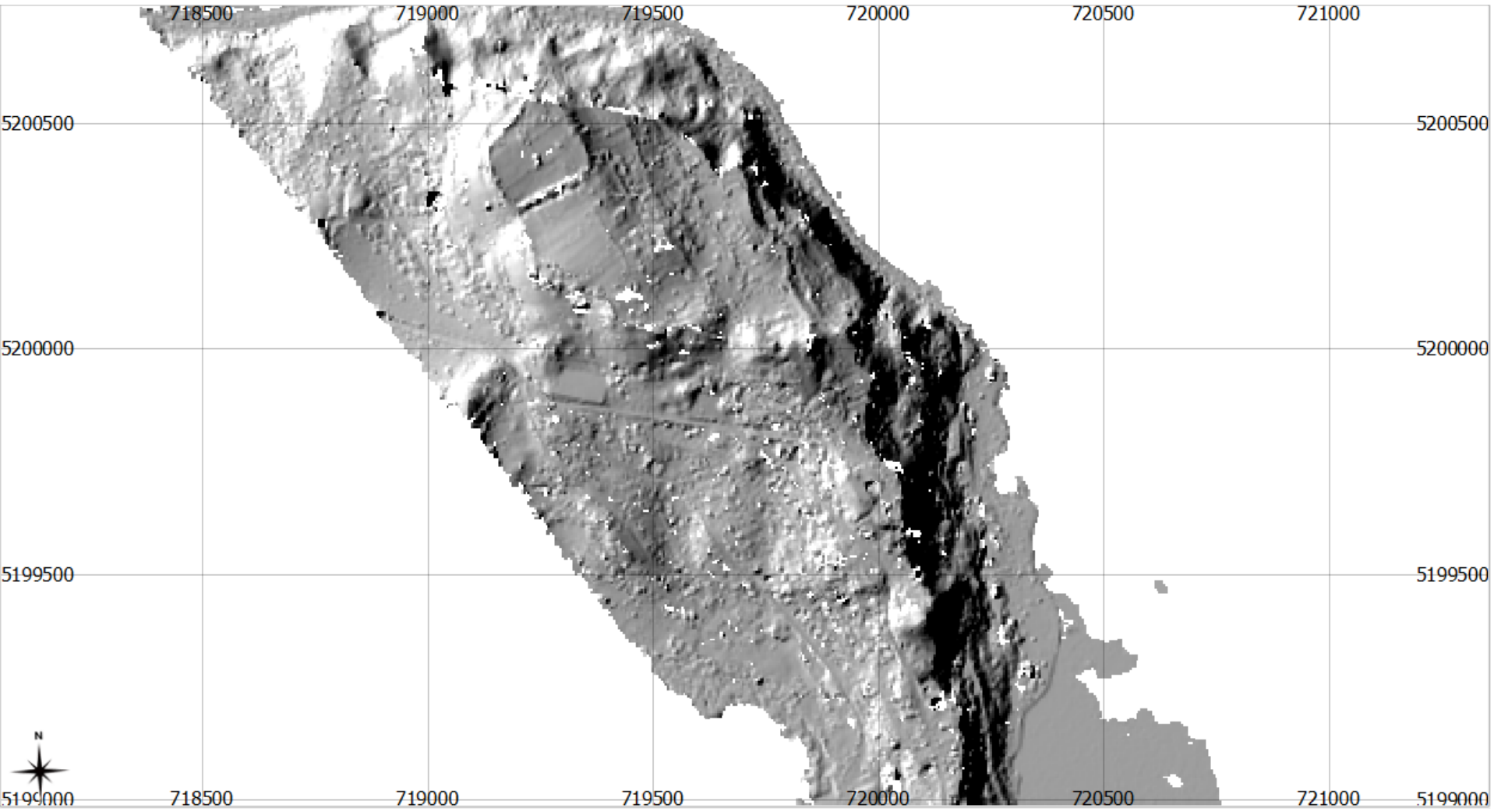


# Interpoláció

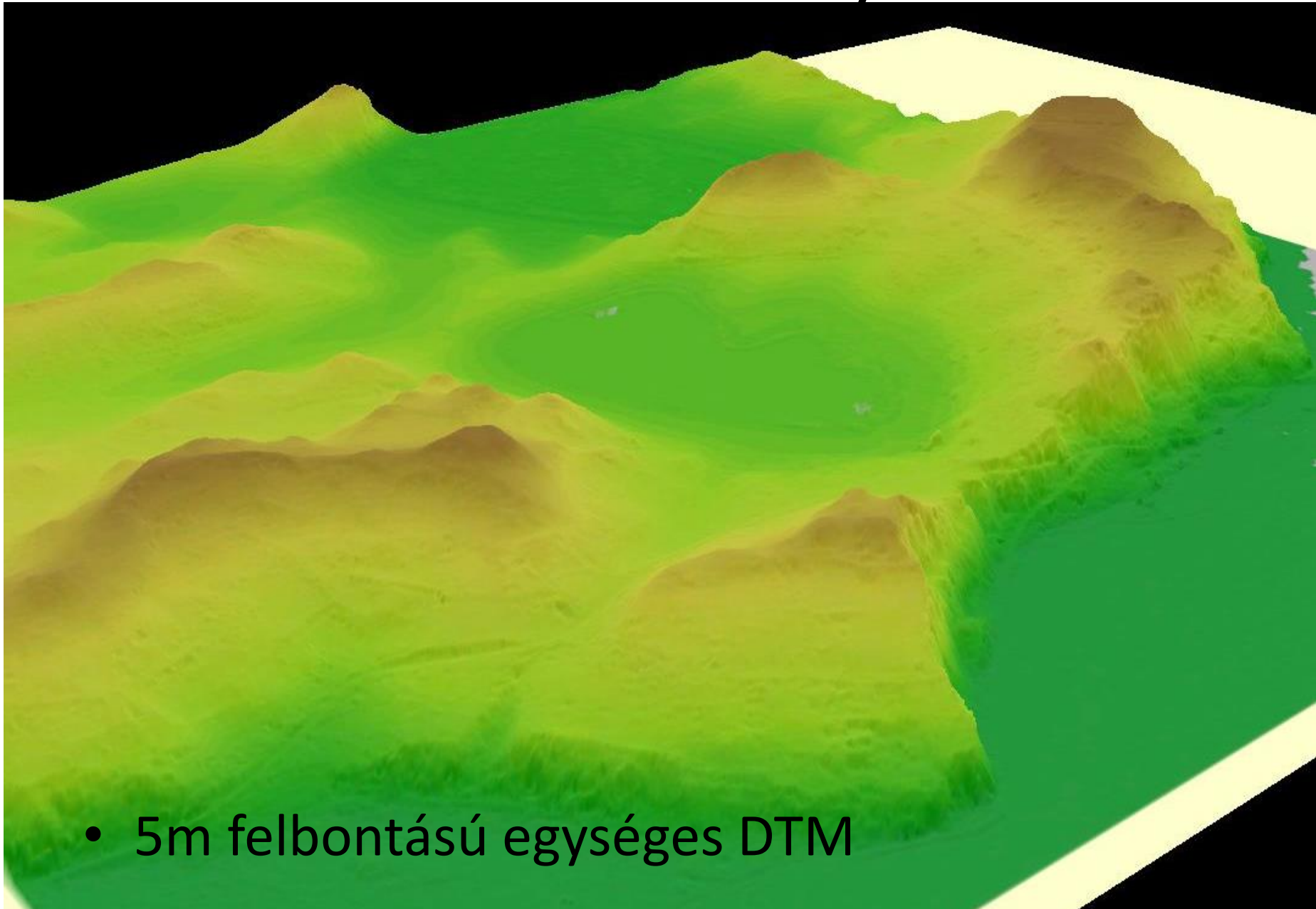
- Talajpontok azonosítása, egyéb pontok szűrése
- Lyukak kitöltése
- Sávok összedolgozása





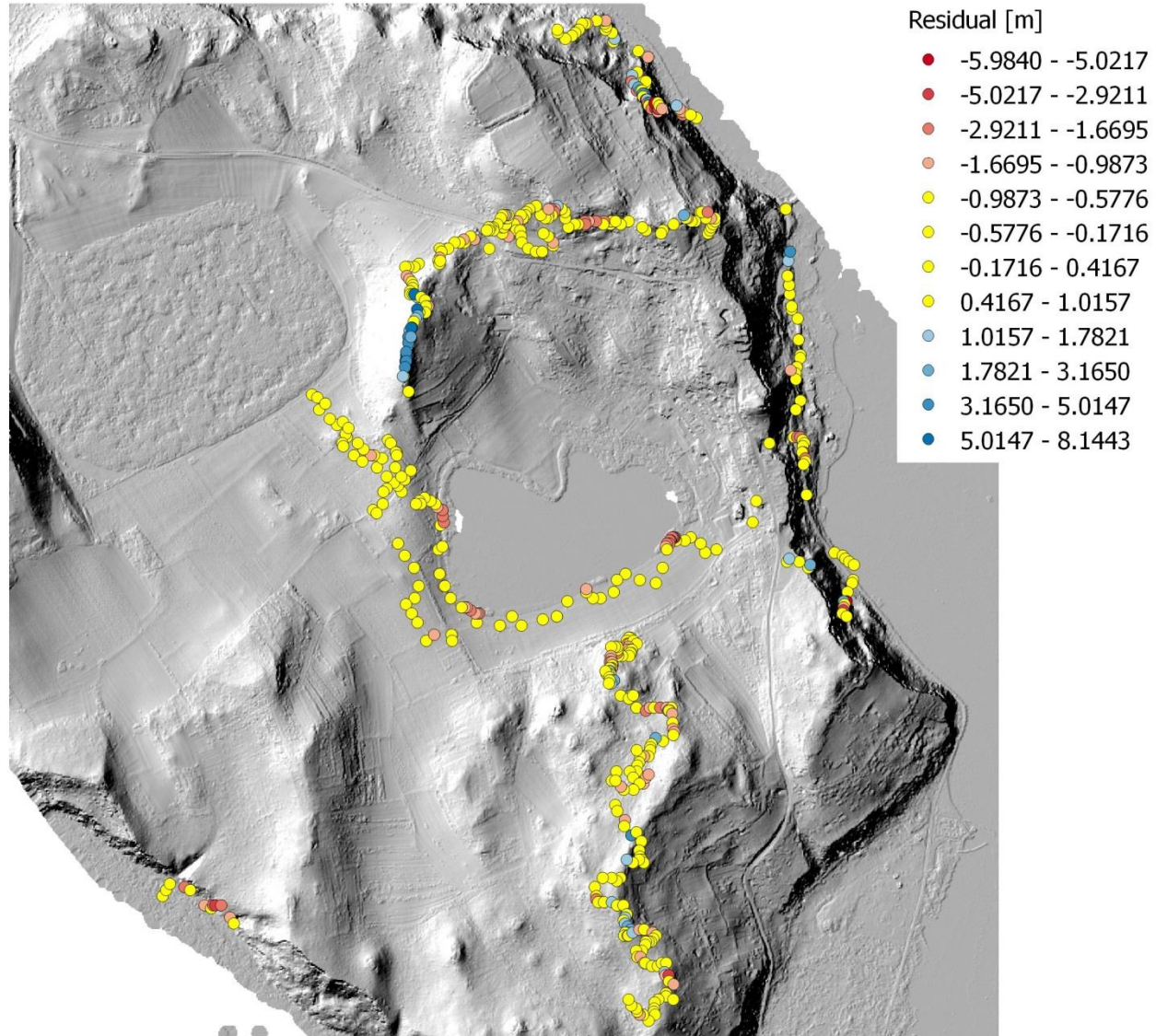


# Az eredmény



- 5m felbontású egységes DTM

# Pontosság



# Kitekintés

- Csuszamlásveszélyes területek azonosítása
- A tó keletkezésének, a tó körüli magaspartoknak vizsgálata
- Vulkanológia
- Településtervezés

# Összefoglaló következtetések

- A LIDAR egy nagyon fiatal technológia

Módszertani fejlesztésekre volt szükség ahhoz, hogy a keresett adatrendszereket előállíthassuk, ezeket viszont nagyjából lezártuk

A következő fázis az adatok kiértékelése, összehasonlítása más adatrendszerekkel, köztük a 2014-es LIDAR repüléssel

**Az adatok kutatási célra szabadon felhasználhatók!**