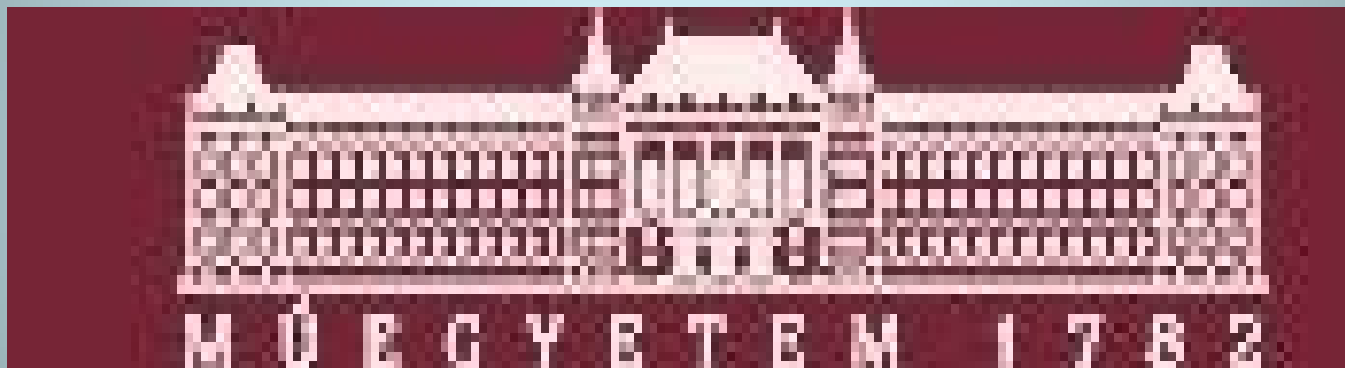


Földi lézerszkennelés alkalmazhatósági vizsgálata mikrodomborzati felszínmodellezésre

szerző: Joó Péter

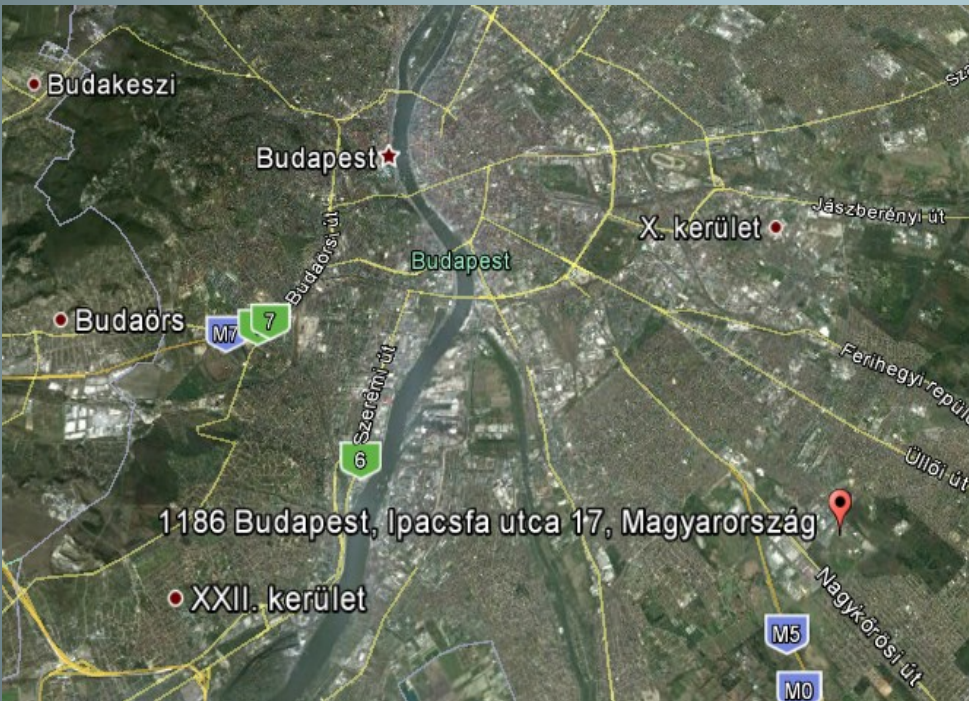
konzulens: dr. Takács Bence

dr. Lovas Tamás



Célterület: FTSZV. Telephelye

(Fővárosi Településtisztasági, és Környezetvédelmi kft)



Esetünkben használt lézerszkennер



Labormérések

- Kilépési pont meghatározása



Lézerszkennő mérési paramétere

- Felbontás (mm/10m)
- Pontosság

| Resolution | Quality | Speed (kpt/sec) | Noise Compression | Net Scan Time (full scan) | pt/360° | Eye safety distance [m] | |
|------------|---------|--------------------|----------------------|---------------------------------|---------|-------------------------|--------|
| | | | | | | Focus 3D 20/120 | |
| | | | | | | axial | radial |
| 1/1 | 1x | 976 | - | 0:14:19 | 40,960 | 6.50 | 3.25 |
| 1/1 | 2x | 488 | - | 0:28:38 | 40,960 | 10.61 | 5.61 |
| 1/1 | 3x | 244 | - | 0:57:16 | 40,960 | 16.56 | 8.68 |
| 1/1 | 4x | 122 | - | 1:54:32 | 40,960 | 23.98 | 11.66 |
| 1/2 | 1x | 976 | - | 0:03:35 | 20,480 | 3.91 | 1.63 |
| 1/2 | 2x | 488 | - | 0:07:09 | 20,480 | 6.50 | 2.83 |
| 1/2 | 3x | 244 | - | 0:14:19 | 20,480 | 10.61 | 4.55 |
| 1/2 | 4x | 122 | - | 0:28:38 | 20,480 | 16.56 | 6.33 |
| 1/2 | 6x | 122 | 2x | 1:54:32 | 20,480 | 23.98 | 11.66 |
| 1/4 | 1x | 976 | - | 0:00:54 | 10,240 | 2.34 | 0.82 |
| 1/4 | 2x | 488 | - | 0:01:47 | 10,240 | 3.91 | 1.42 |
| 1/4 | 3x | 244 | - | 0:03:35 | 10,240 | 6.50 | 2.30 |
| 1/4 | 4x | 122 | - | 0:07:09 | 10,240 | 10.61 | 3.24 |
| 1/4 | 6x | 122 | 2x | 0:28:38 | 10,240 | 16.56 | 6.33 |
| 1/4 | 8x | 122 | 4x | 1:54:32 | 10,240 | 23.98 | 11.66 |
| 1/5 | 2x | 488 | - | 0:01:09 | 8,192 | 3.31 | 1.13 |
| 1/5 | 3x | 244 | - | 0:02:17 | 8,192 | 5.53 | 1.85 |
| 1/5 | 4x | 122 | - | 0:04:35 | 8,192 | 9.09 | 2.60 |
| 1/5 | 6x | 122 | 2x | 0:18:20 | 8,192 | 16.6 | 6.4 |
| 1/8 | 2x | 488 | - | 0:00:27 | 5,120 | 2.33 | 0.71 |
| 1/8 | 3x | 244 | - | 0:00:54 | 5,120 | 3.91 | 1.16 |

Illesztőgömbök

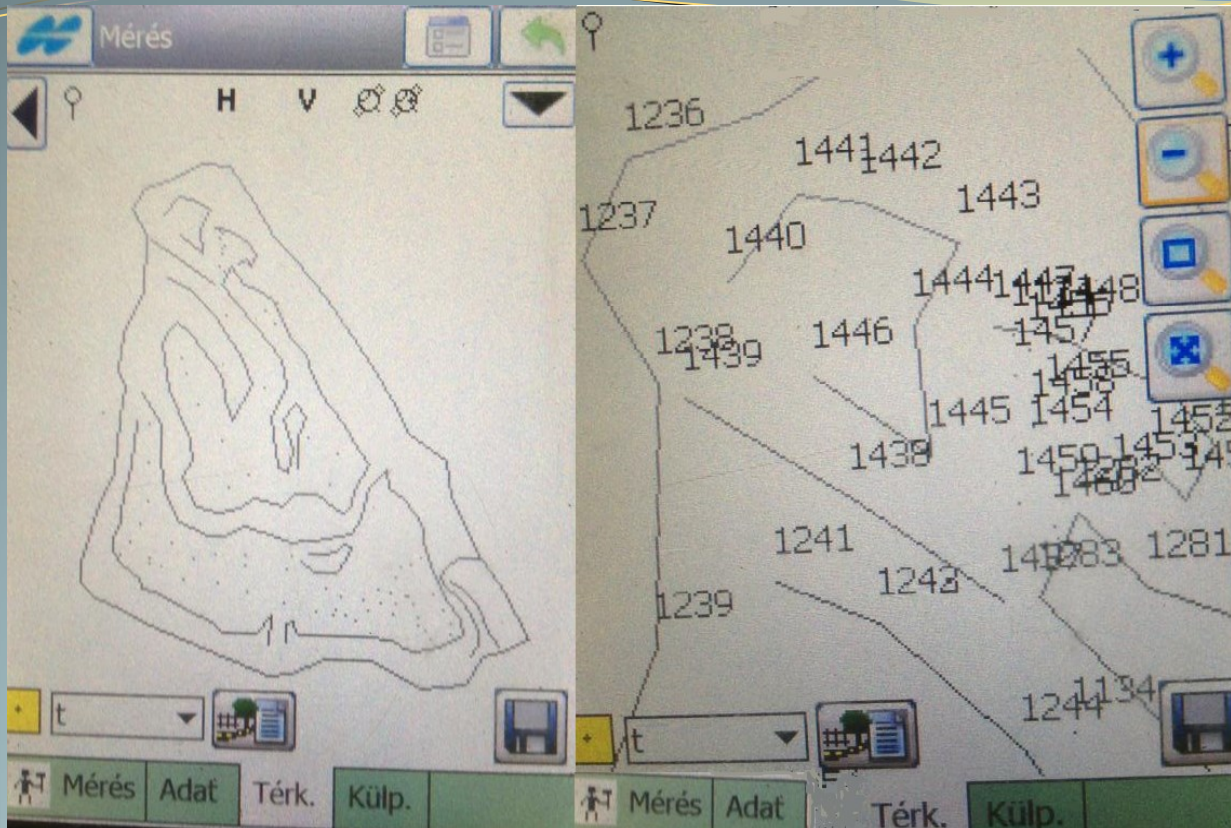
- 7cm sugarú fehér gömb
- Terepen használt jelmagassága 17 cm



Mérések

- Műszerek szerinti csoportosítás
 - RTK GPS
 - Lézerszkenner
- Mérések szerinti csoportosítás
 - Összekapcsolt pontfelhők
 - Transzformáció álláspontonként

RTK mérések leírása



Mérések összegzése

| | |
|---------------------------------|-----------------------|
| terepi munka | kb. 2 óra |
| létrehozott nyers adatmennyiség | 300Kb |
| mért pontok száma | 272 |
| lehatárolt terület nagysága | 4714.5 m ² |

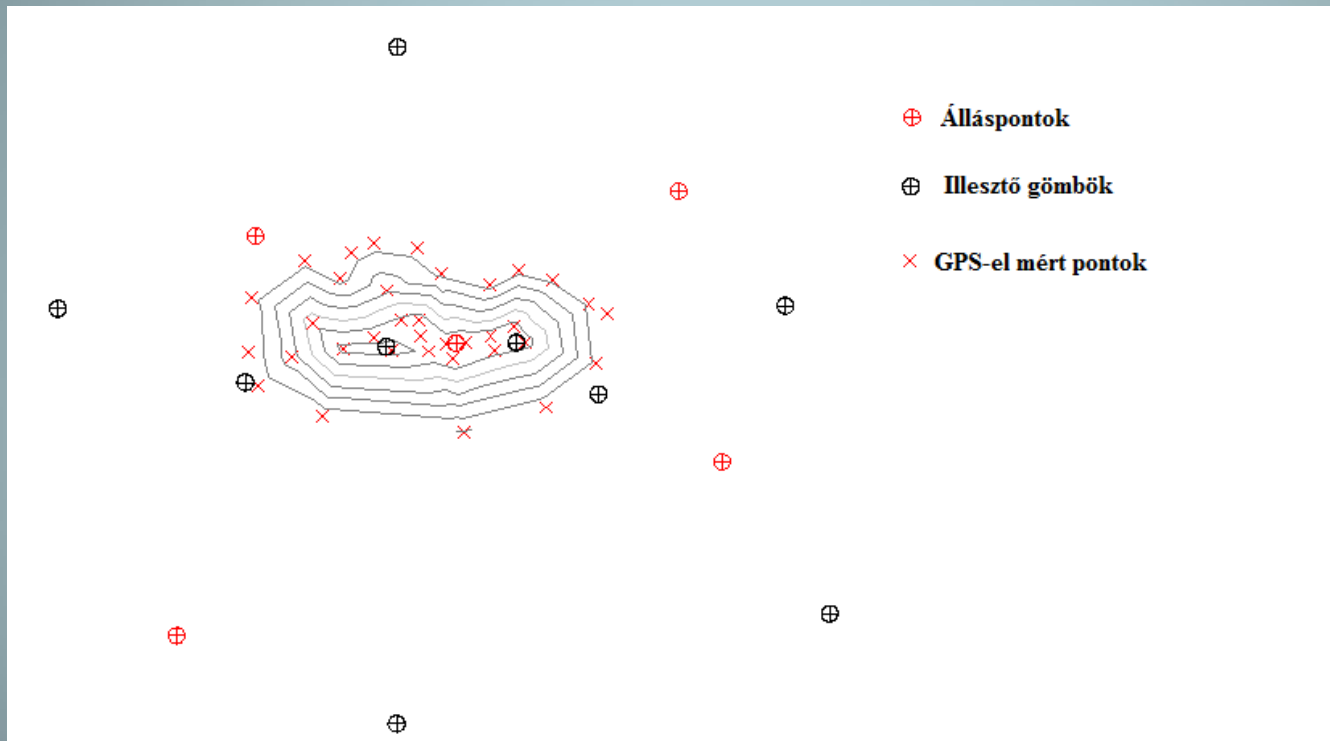
Lézerszkennéssel végzett mérések

- Összekapcsolt pontfelhők
- Álláspontonkénti transzformáció



Próbadepónia mérése

- Illesztőpontok megfelelő elhelyezése (pontfelhők kapcsolásához)
- Illesztőpontok mérése mérőállomással



Problémák

Gömbillesztés (felbontás kérdése)

Nagy adattartalom kis területre – lassú feldolgozás

Illesztőgömbök nehézkes elhelyezése

Tényleges munkaterület felmérése

- Nincs szükség kapcsolásra (álláspontonkénti transzformáció)
- Gömbök (illesztőpontok) mérése GPS-szel (3/álláspont)




Mérések összegzése

| | |
|--|------------------|
| terepi munka | 12 óra |
| megmért pontok száma | $4.2 \cdot 10^9$ |
| létrehozott nyers adatmennyiség | 37 Gb |
| megmért pontokból generált rácsponatok száma | 4726 |
| álláspontok száma | 15 |

Álláspontonkénti transzformáció előnyei

- Gömbök könnyebb elhelyezése a terepen
- 3 gömböt elég látnia a műszernek
- Egy állománnyal könnyebb dolgozni a mérete miatt.

| Álláspont | Látható gömbök | Egyéb |
|------------------|----------------|--|
| 1123 (1,460m) | 1124 |  |
| | 1125 | |
| | 1126 | |
| | | |

Lézerszkennelés adatainak feldolgozása

- Gömbillesztés
- Szűrések
- Transzformáció
- Exportálás

Gömbillesztés, és szűrés

- Gömbillesztés:

automatikus gömbkeresés

manuális (adatok, elnevezés, osztályozás)

- Szűrés

adatcsökkentésre próbáltuk használni

Transzformáció

- Ismert álláspont és gömbkoordináták (illesztőpontok)
- Irányszögek és azok különbségeinek számítása GPS és lézerszkenner adatai alapján (tájékozási szög)
- Lépések: 1. álláspont eltolása vízszintesen és magasságilag
2. Tájékozása a kiszámított tájékozási

| álláspont- irányzott pont | irányszögek Faro (fok) | irányszögek GPS (fok) | távolságok GPS (m) | tájékozási szög (fok) | lineáris eltérés (m) | magasság eltérések (m) |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1100-1101 | 102.4625 | 105.0446 | 7.636 | -2.5820 | -0.015 | -0,02 |
| 1100-1102 | 127.8396 | 130.6621 | 35.543 | -2.8225 | 0.078 | -0,01 |
| 1100-1103 | 147.4483 | 150.1328 | 17.438 | -2.6845 | -0.004 | -0,01 |
| | | | | -2.6963 | | |

Exportálás

```
660118.05690000 230841.12100000 123.06440000 213 213 213
660120.41200000 230841.79400000 123.18620000 217 217 217
660122.22500000 230841.72120000 123.26220000 212 212 212
```

- XYZ formátumba (végére 76GB)
- Koordinátákat, és intenzitásértékeket tartalmazza
- Problémák:
 - Túl nagy élesség (nagy fölös adatmennyiség)
 - Intenzitásértékek esetünkben nem kellettek
- Előnyök
 - Könnyen felhasználható további feldolgozásra
 - Adatcsökkentés lehetősége (nem használtuk)

További feldolgozások és elemzések

- Grid létrehozása
- Elemzése QGIS-ben

Grid létrehozása

```
f
    y=$1
    x=$2
    z=$3

# index
    i=sprintf("%6.0f %6.0f", y, x)

# rácsmezőre eső pontok száma
    n[i]++

# szórás rekurzív összefüggéssel
    T[i]=T[i]+(n[i]-1)/n[i]*(x-atlag[i])*(x-atlag[i])
    if (n[i]>1) szoras[i]=sqrt(T[i]/(n[i]-1))
    else szoras[i] = 0

# számtani középérték rekurzív összefüggéssel
    atlag[i]=atlag[i]+1/n[i]*(x-atlag[i])

# legnagyobb és legkisebb magasság
    if (z > zmax[i]) zmax[i]=z
    if (n[i] == 1) zmin[i]=z
    if (z < zmin[i]) zmin[i]=z
}
END {
    for (i in n) {
        printf("%6s %6s ", substr(i,1,6), substr(i,8,6))
        printf("%6.2f %6d %8.2f ", atlag[i], n[i], szoras[i])
        printf("%10.2f\n", zmax[i]- zmin[i])
    }
}
```

Matematikai háttér

- Rekurzív átlagszámítás
- Jó, mert soronként olvassa be az adatokat

| rekurzív átlagszámítás | | |
|------------------------|-------|----------------|
| adatok | átlag | képlet |
| 2 | 2 | $0+1/1*(2-0)$ |
| 4 | 3 | $2+1/2*(4-2)$ |
| 6 | 4 | $3+1/3*(6-3)$ |
| 8 | 5 | $4+1/4*(8-4)$ |
| 10 | 6 | $5+1/5*(10-5)$ |
| 12 | 7 | $6+1/6*(12-6)$ |
| 14 | 8 | $7+1/7*(14-7)$ |

Matematikai háttér

- Rekurzív szórás

| rekurzív szórás számítás | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-----------------|
| adatok | Ti képlettel | Ti értékkel | szórás képlettel | szórás értékkel |
| 2 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 4 | $0+(2-1)/2*(4-2)^2$ | 2.00 | $\text{GYÖK}(2/2-1)$ | 1.41 |
| 6 | $2+(3-1)/3*(6-3)^2$ | 8.00 | $\text{GYÖK}(8/3-1)$ | 2.00 |
| 8 | $8+(4-1)/4*(8-4)^2$ | 20.00 | $\text{GYÖK}(20/4-1)$ | 2.58 |
| 10 | $20+(5-1)/5*(10-5)^2$ | 40.00 | $\text{GYÖK}(40/5-1)$ | 3.16 |
| 12 | $40+(6-1)/6*(12-6)^2$ | 70.00 | $\text{GYÖK}(70/6-1)$ | 3.74 |
| 14 | $70+(7-1)/7*(14-7)^2$ | 112.00 | $\text{GYÖK}(112/7-1)$ | 4.32 |

Grid összefűzése

- Átlagos magasság elemszám szerint súlyozva
- Szórás elemszámok négyzetével súlyozva

```
{
    y=$1
    x=$2
# index
    i=sprintf("%6.0f %6.0f", y, x)

# aktuális sorból beolvasott értékek
    m = $3      # átlag magasság
    n = $4      # elemszám
    s = $5      # szórás

# aktuális érték és korábbi érték összefűzése
    szoras[i]=elemszam[i]*elemszam[i]*szoras[i]*szoras[i]+n*n*s*s
    szoras[i]=sqrt(szoras[i] / (elemszam[i]+n) / (elemszam[i]+n))
    atlag[i]=(atalag[i]*elemszam[i]+m*n) / (elemszam[i]+n)
    elemszam[i]=elemszam[i]+n
} END {
    for (i in atlag) if (elemszam[i]>10) {
        printf("%6s %6s ", substr(i,1,6), substr(i,8,6))
        printf("%10.2f %8d %10.2f\n", atlag[i], elemszam[i], szoras[i])
    }
}
```

Elemzések QGIS-ben

- Kontúr alapján vágás, majd
- Pontok megjelenítése
- Elemszámok megjelenítése
- Szórásértékek megjelenítése
- Magassági adatok megjelenítése
- Szintvonalak megjelenítése

Pontok megjelenítése

Quantum GIS 1.8.0-Lisboa - ujra

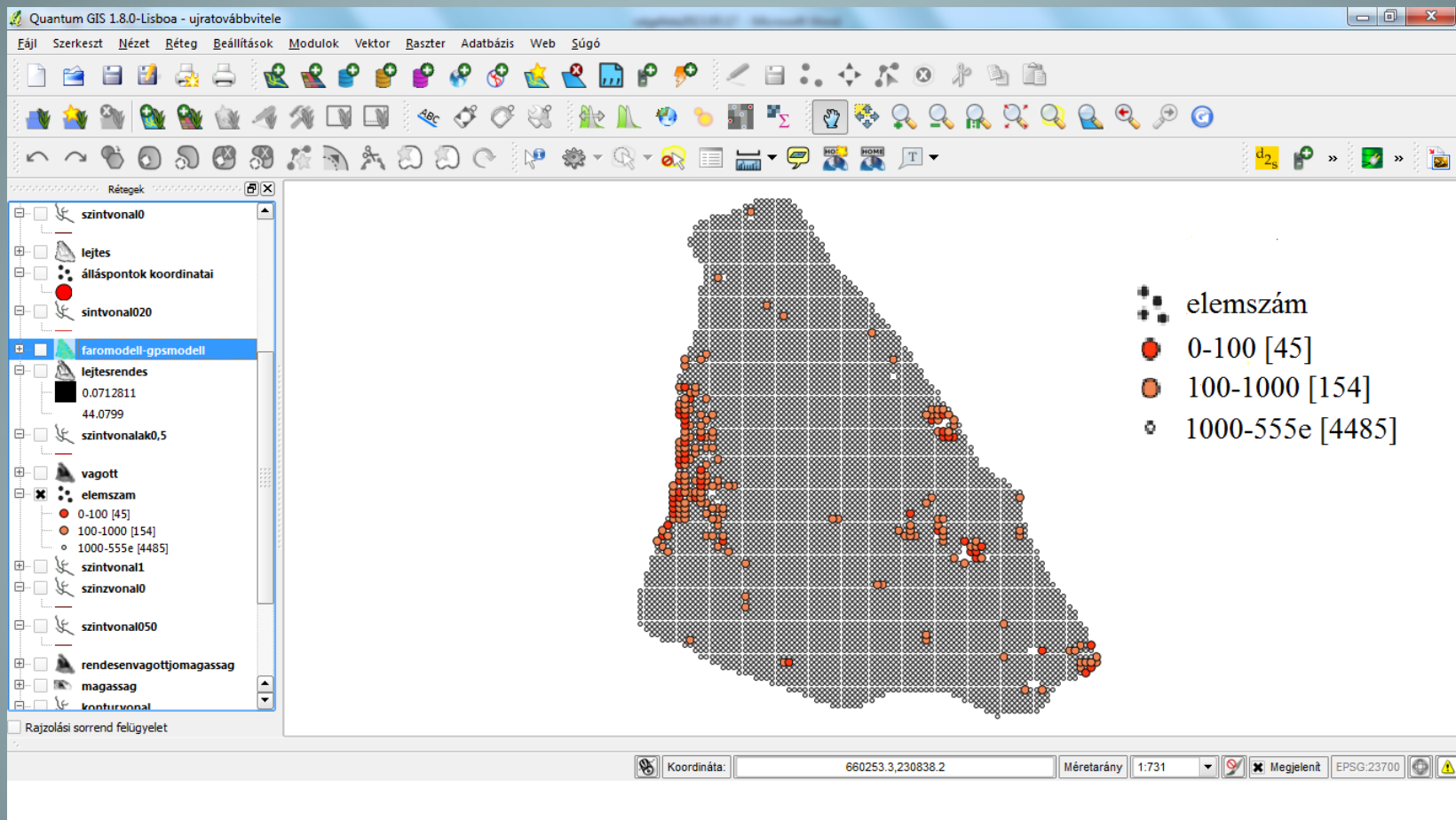
Fájl Szerkeszt Nézet Réteg Beállítások Modulok Vektor Raster Adatbázis Web Súlyó

álláspontok koordinatai
középhiba
0.0000 - 0.0900
0.0900 - 0.1800
0.1800 - 0.6300
lejtés
álláspontok koordinatai
konturvonal
201303081115grid
201303081109grid
201303081121grid
sintvonal020
vagott
elemszam
0-100 [45]
100-1000 [154]
1000-555e [4485]
magassag
konturfelulet
grid

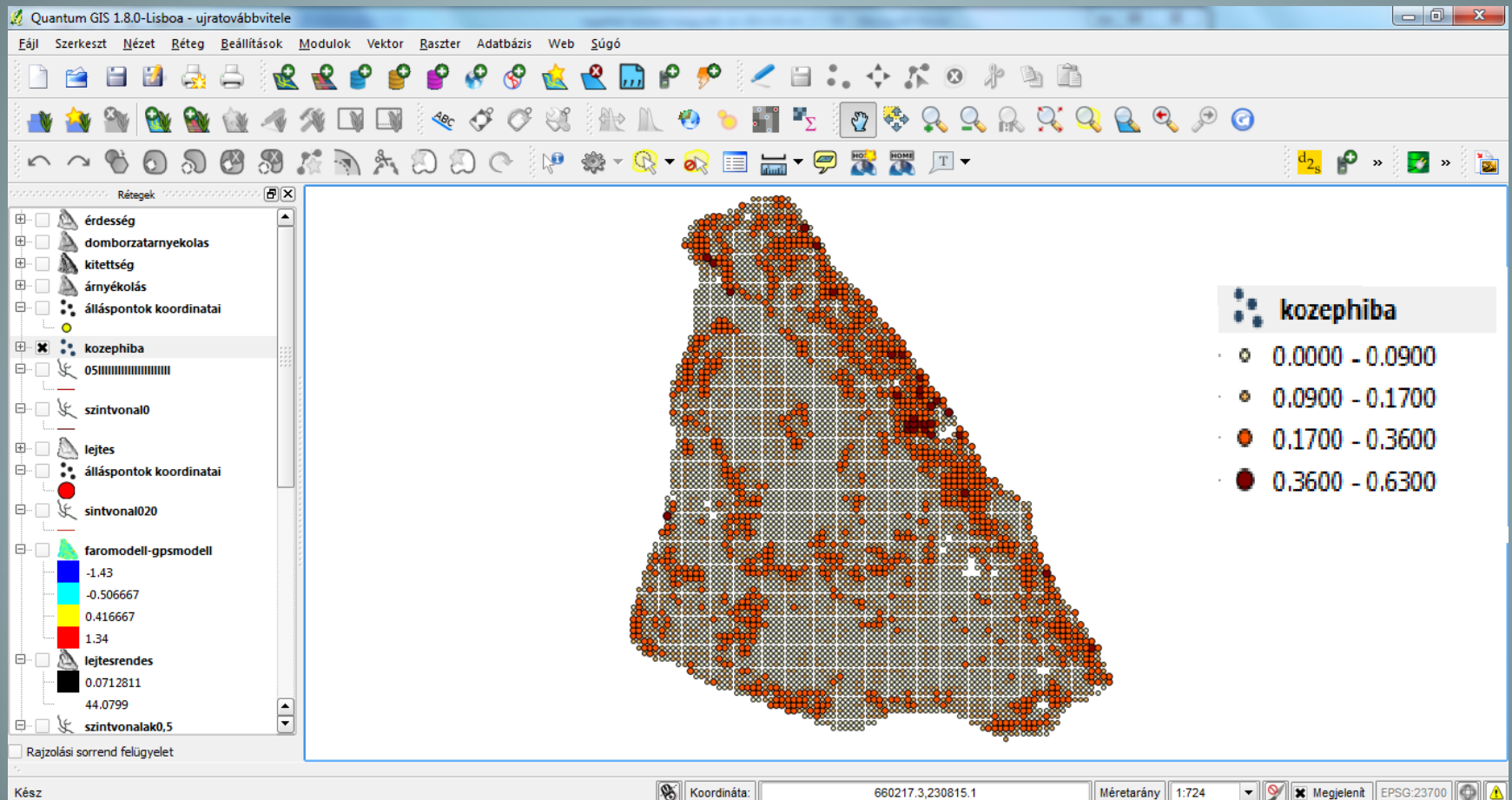
Rajzolási sorrend felügyelet

Koordináta: 660211.4,230830.2 Méretarány: 1:724 Megjelenít: EPSG:23700

Elemszámok megjelenítése



Szórásértékek megjelenítése



Magassági adatok megjelenítése

The screenshot displays the Quantum GIS 1.8.0 interface. The main window shows a 3D elevation map of a terrain. The layer list on the left includes the following layers:

- álláspontok koordinatai
- kozephiba
 - 0.0000 - 0.0900
 - 0.0900 - 0.1700
 - 0.1700 - 0.3600
 - 0.3600 - 0.6300
- szintvonal0
- lejtés
- álláspontok koordinatai
- sintvonal020
- vagott** (selected)
- elemszam
- szintvonal1
- szintvonal0
- szintvonal050
- magassag
- konturvonal
- ujravagva
- konturfelulet
- grid

The status bar at the bottom shows the following information:

- Projekt mentés: C:/Users/kelc0a/bme/8.félév/diploma munka/lézerscanner mérések eredményei, és általa készített modelle
- Koordináta: 660156.5,230809.0
- Méretarány: 1:724
- Megjelenít: EPSG:23700

Szintvonalak megjelenítése

The screenshot displays the Quantum GIS 1.8.0 interface. The title bar reads "Quantum GIS 1.8.0-Lisboa - újratöbbsvitele". The menu bar includes "Fájl", "Szerkeszt", "Nézet", "Réteg", "Beállítások", "Modulok", "Vektor", "Raszter", "Adatbázis", "Web", and "Súgó". The toolbar contains various icons for file operations, editing, navigation, and analysis. The "Rétegek" (Layers) panel on the left lists several layers, with "szintvonalak0,5" selected and highlighted in blue. Other layers include "álláspontok koordinatai", "kozephiba", "05", "szintvonal0", "lejtés", "álláspontok koordinatai", "szintvonal020", "vagott", "elemszam", "szintvonal1", "szintvonal0", "szintvonal050", "rendesenvagottjomagassag", "magassag", "konturvonal", and "ujravagva". The main map area shows a topographic map with red contour lines. The status bar at the bottom indicates the coordinate "660237.6,230808.9", a scale of "1:719", and the projection "EPSG:23700".

Rétegek

- álláspontok koordinatai
- kozephiba
 - 0.0000 - 0.0900
 - 0.0900 - 0.1700
 - 0.1700 - 0.3600
 - 0.3600 - 0.6300
- 05
- szintvonal0
- lejtés
- álláspontok koordinatai
- szintvonal020
- szintvonalak0,5**
- vagott
- elemszam
- szintvonal1
- szintvonal0
- szintvonal050
- rendesenvagottjomagassag
- magassag
- konturvonal
- ujravagva

Rajzolási sorrend felügyelet

Koordináta: 660237.6,230808.9 Méretarány: 1:719 Megjelenít: EPSG:23700

Terepmodellek létrehozása geoeasy-ben

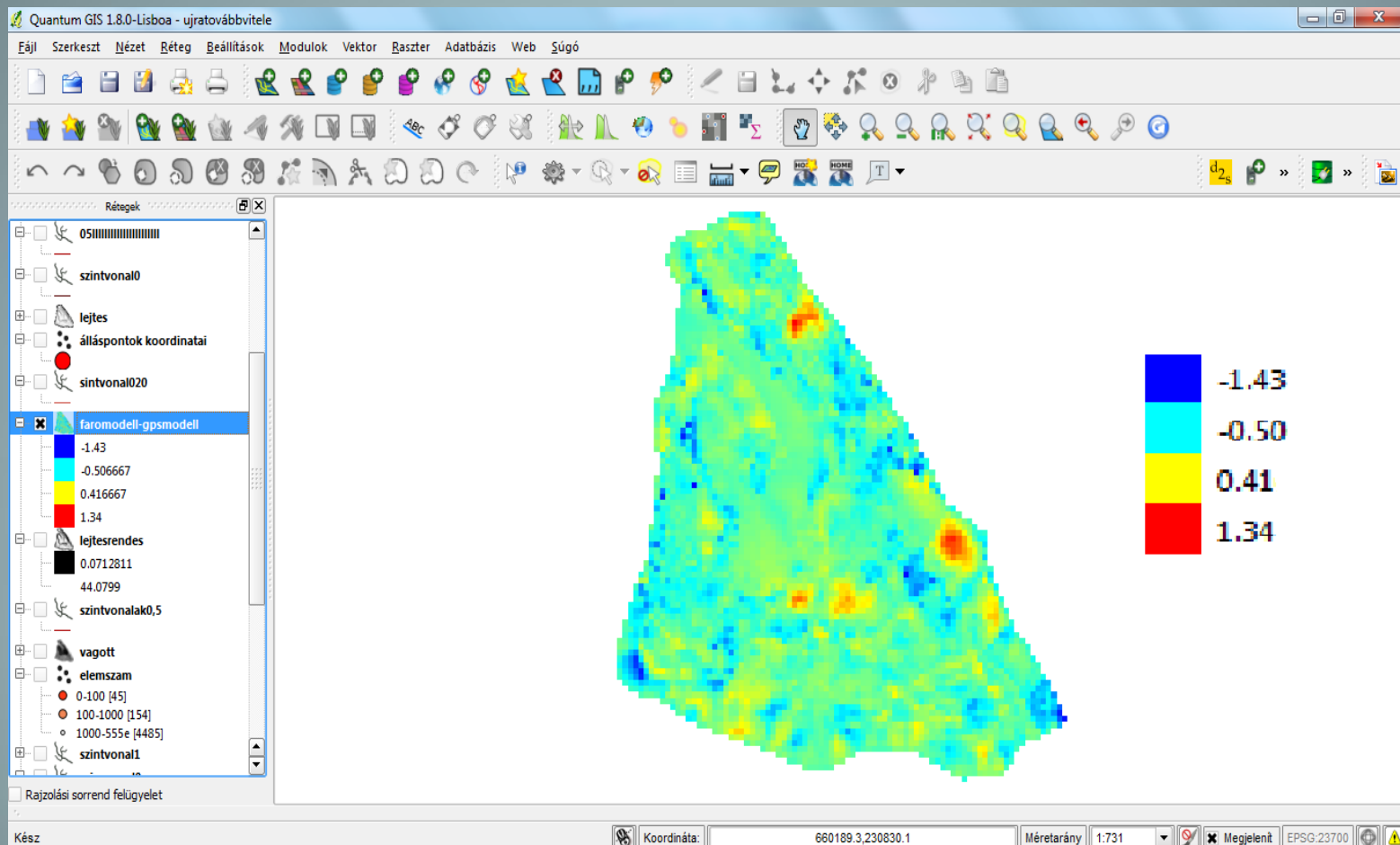
- Létrehozás (GPS, lézerszkenner, alapfelület)
- GPS (14760,8 m³),
- két felület közötti különbség (14793,9 m³)
- Lézerszkenner (15242,7 m³)
- Két felület közötti különbség (15202,9 m³)

Terepmodellek összehasonlítása

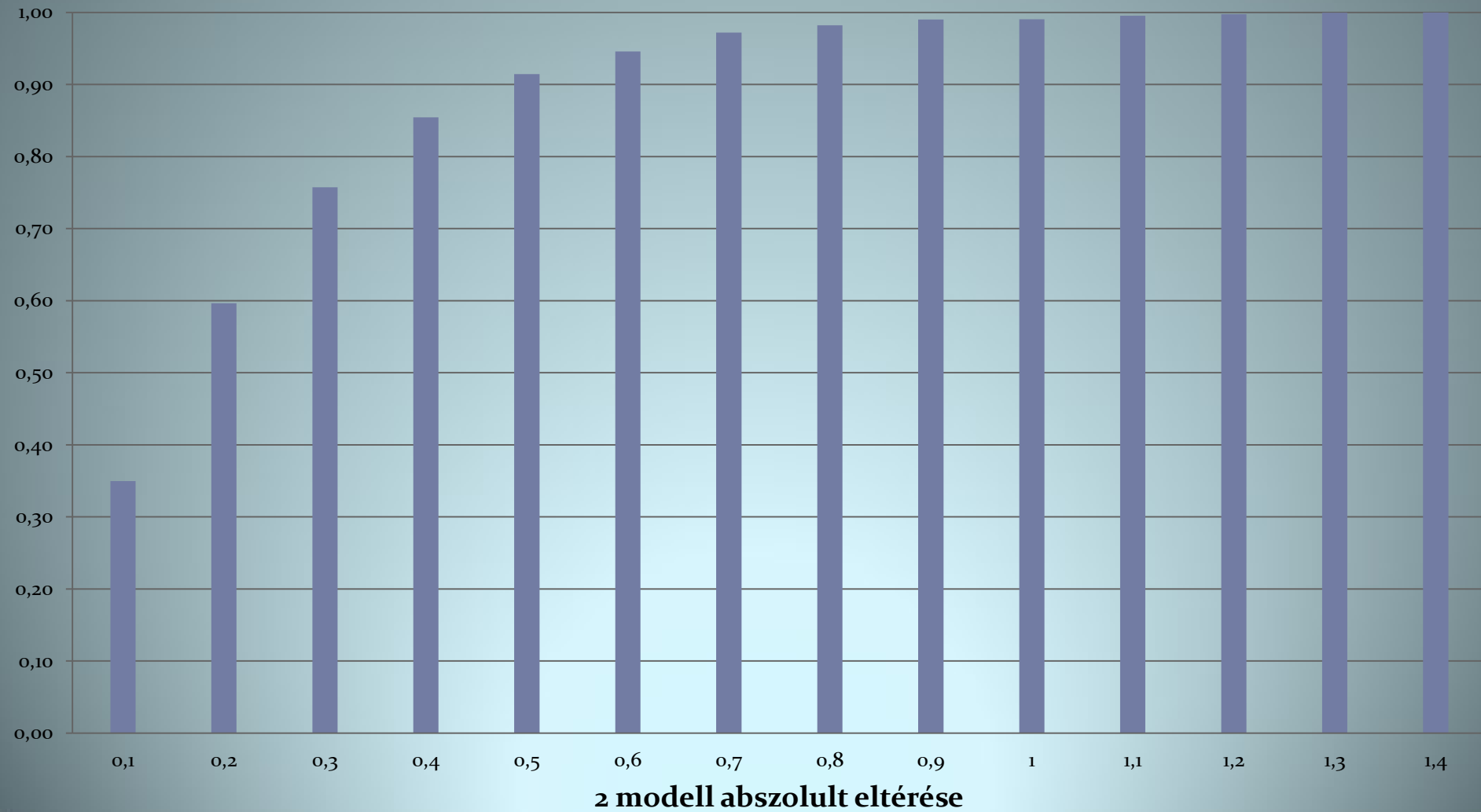
- Térfogat különbség: 482 m³, teljes térfogat 3,2 százaléka
- Eltérések megszínezése QGIS-ben
- Szintvonalak megjelenítése

Területkülönbségek megszínezése

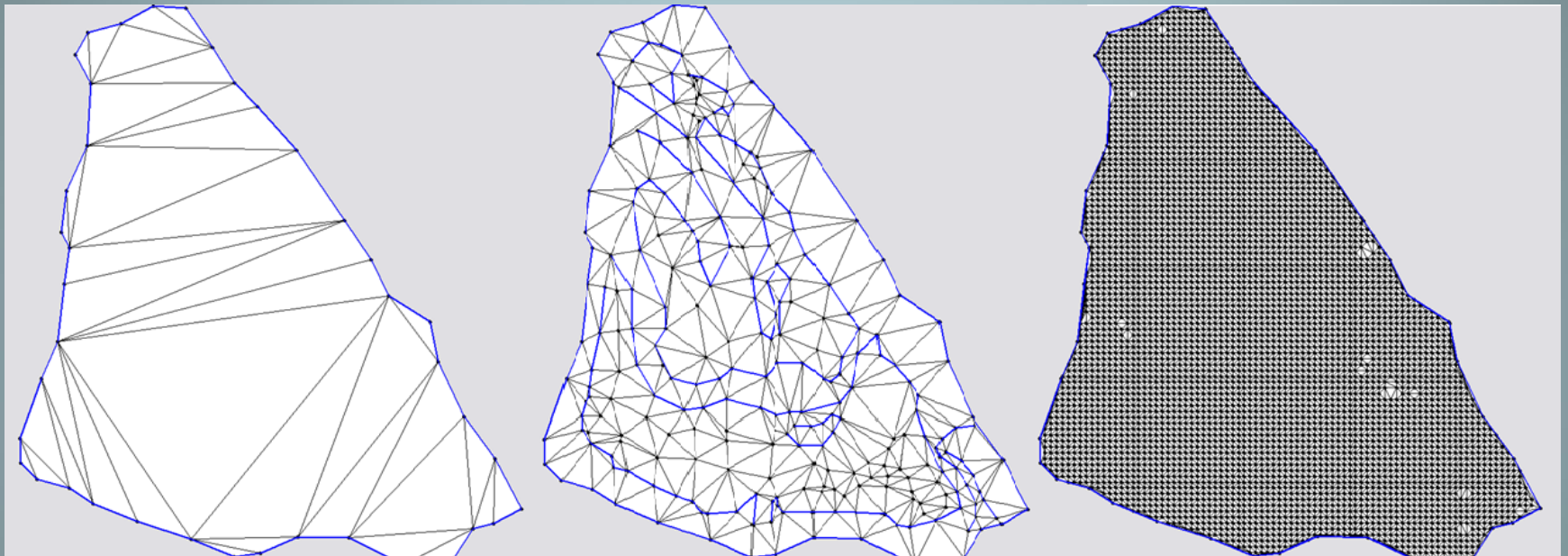
- 50 cm alatti, és +41 cm feletti eltérések aránya teljes területhez képest mindössze 9%



Két modell eltérésének tapasztalati eloszlásfüggvénye



TIN és rácsmodellek összehasonlítása



Alapfelület

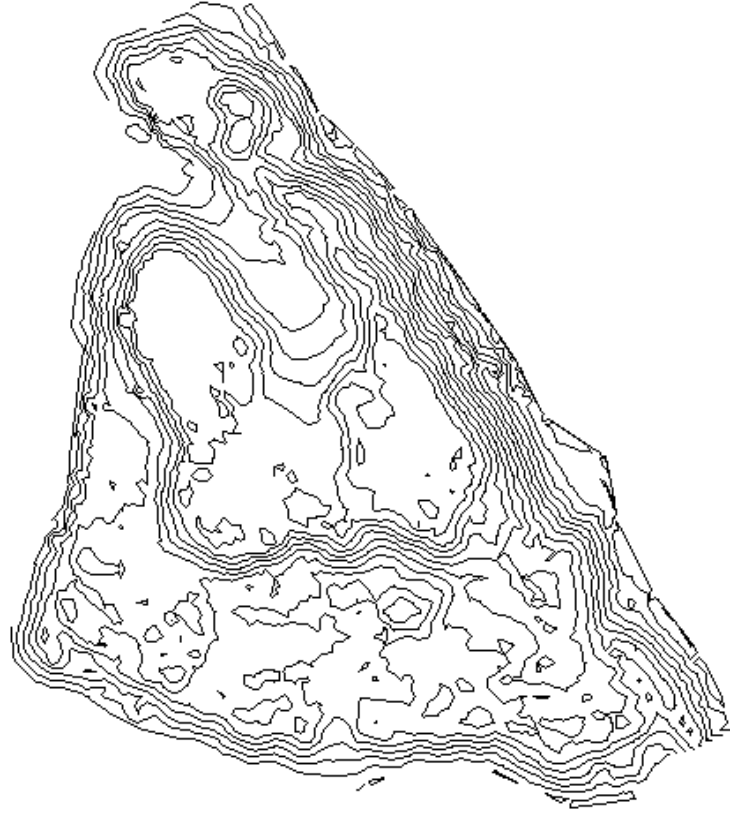
GPS

Lézerszkennő(GRID)

Szintvonalak összehasonlítása



GPS



Lézerszkener

Két mérési módszer összehasonlítása esetünkben

| Vizsgált paraméterek | GPS | Lézerszkener |
|--|---------------|---------------|
| Terepen eltöltött munkaidő | fél mérnöknap | egy mérnöknap |
| feldolgozás munkaideje | fél mérnöknap | egy mérnöknap |
| Nyersmérési adatok nagysága | 170 KB | 37.2 GB |
| Munkaerő igény | 1 fő | 2 fő |
| Felhasznált programok száma | 2 | 5 |
| Terepmodell építéshez felhasznált pontok száma | 273 | 4726273 |
| Időjárástól függés | Nem | Igen |
| Kettő közötti térfogat különbség %-ban | 3,2% | |

Innovációs lehetőségek

- Ablakolás módszerének kialakítása
- Magaspontról végzett mérés (álláspontok csökkentése)
- Automatizáltság lehetősége