

Mérésadatgyűjtés és adatfeldolgozási feladatok

A WIGNER-BME EXPERIMENTAL GRAVITY GROUP-NÁL

GY. SZONDY¹, L. VÖLGYESI¹, GY. TÓTH¹, P. VÁN²,
P. KOVÁCS², E. FENYVESI²

1. Department of Geodesy and Surveying, Faculty of Civil Engineering,
Budapest University of Technology and Economics
2. HUN-REN Wigner FKK

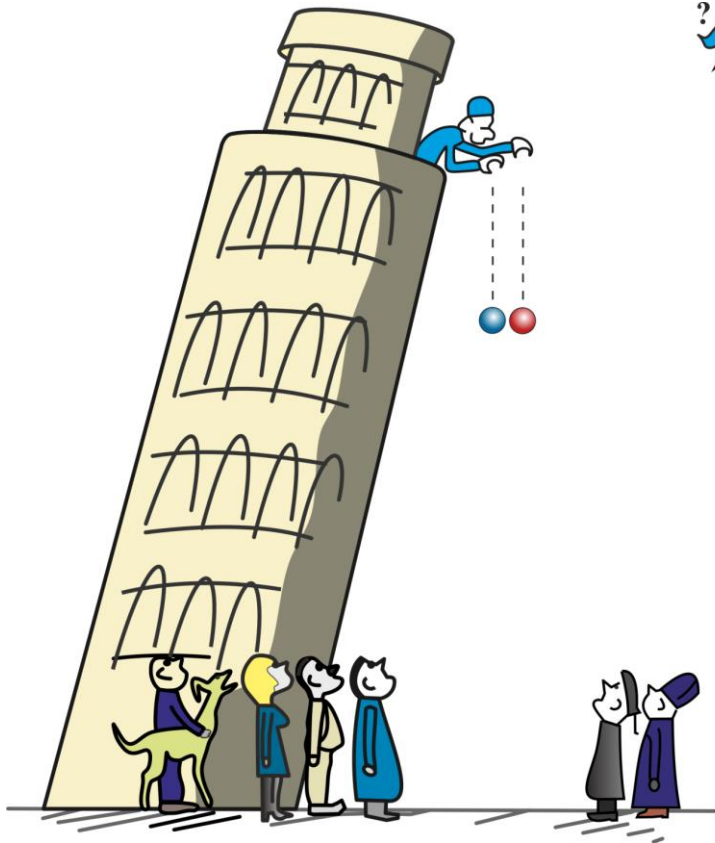
Tartalom

- Ekvivalencia-elv mérés - Miért?
- Eötvös-inga modernizálás és mérés-adatgyűjtés
- Kiegészítő mérések
 - Kalibrációs feladatok
 - Környezeti adatok mérése és gyűjtése
 - Környezeti hatások elemzése
- Leágazások
 - Földrengésdetektálás
 - Torziós-szál relaxáció
 - Stb.
- Igény a komplex adatmenedzsment

Ekvivalencia-elmérés?

MIÉRT?

Az Ekvivalencia-elv



A lényeg:

$$m_{tehetetlen} \cdot a = G \frac{m_{gravitációs} \cdot M}{r^2}$$

$$m_{tehetetlen} = m_{gravitációs}$$

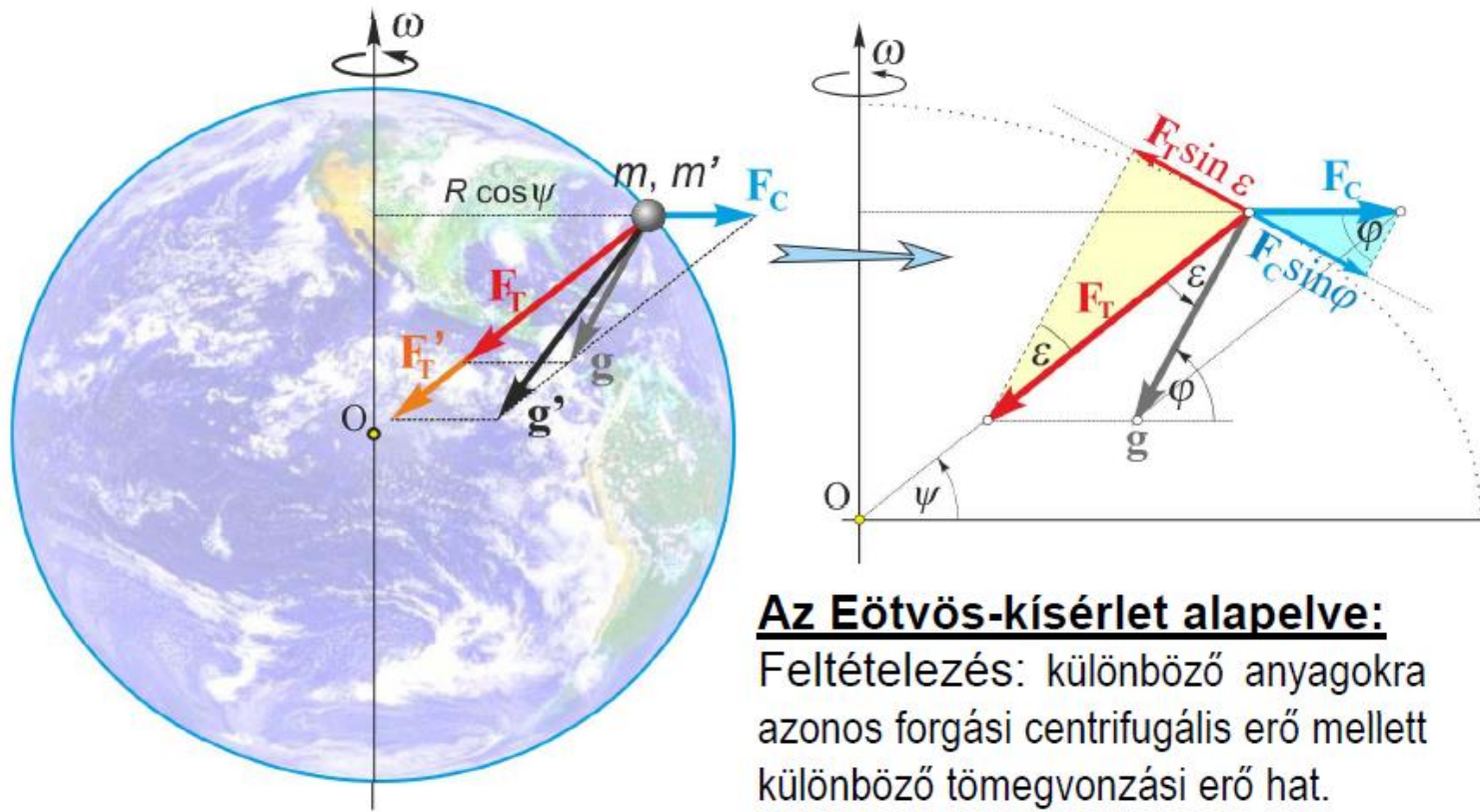
Akkor m-mel lehet egyszerűsíteni

- és a gravitáció tehetetlenségi erőnek tekinthető, mint a centrifugális és a Coriolis erő

$$a_G = G \frac{M}{r^2}; a_{cf} = m\omega^2 r; a_C = -2\vec{\omega} \times \vec{v}$$

- a gravitáció geometrizálható, vagyis a téridő geometriájának (görbületének/dinamikájának) tekinthető
- a szabadon eső testet tekintjük nyugalomban lévőnek

Az Eötvös-Pekár-Fekete ekvivalencia-elv mérés



Eötvös-ék mérése szerint az ekvivalencia elv 10^{-8} pontossággal teljesül! (1906-1908)

Ephraim Fischbach és az Ötödik-erő


1985-ben Ephraim Fischbach és csapata elemezte Eötvös mérési eredményeit.

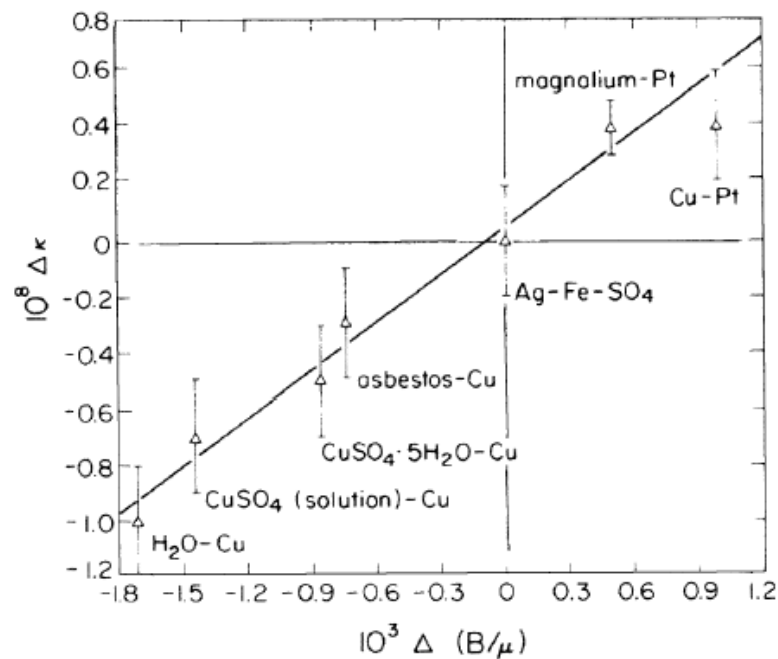
Konklúzió:

- Az apró eltérések nem véletlenszerűek, hanem
- az atommagok kötési energiájával egyenesen arányosak

Az eltérések okát azóta sem sikerült igazolni.

Mi ennek akartunk utánajárni.

 Fischbach et al. (PRL 1986)



Az Eötvös kísérlet megismétlése

EÖTVÖS-INGA MODERNIZÁLÁS ÉS
MÉRÉS-ADATGYŰJTÉS

Az Eötvös kísérlet Kezdeti lépések

Informális kutatócsoport felállítása

- Wigner FKK
- BME – Általános és Felsőgeodézia Tsz
- BME – Irányítástechnika és Informatika (IIT) tanszék

Jánossy földalatti labor (Wigner)

Eötvös-inga modernizálás feladatai

- Automatikus leolvasás
- Automatikus, nagy pontosságú forgatás
- Különböző teszt-tömegek gyártása
- Mérésvezérlés és adatgyűjtés



Ván P.



Völgyesi L.



Szondy Gy.



Tóth Gy.



Kovács P.



Fenyvesi E.



Kiss B.



Lévai P.



Barnaföldi G.



Égető Cs.

...
és
még
sokan
mások

Mit és hogyan mérünk?

Az ingát adott irányba állítjuk

- Megvárjuk a lengés csillapodását ($\geq 1h$)
- Leolvassuk a skálát
- Tovább forgatjuk az ingát és megismételjük mind a 4 irányban (Észak/Kelet/Dél/Nyugat)

50-100 x megismételjük a 4 irányú mérést (mérési sorozat)

Egy mérési sorozat 1-2 hét!

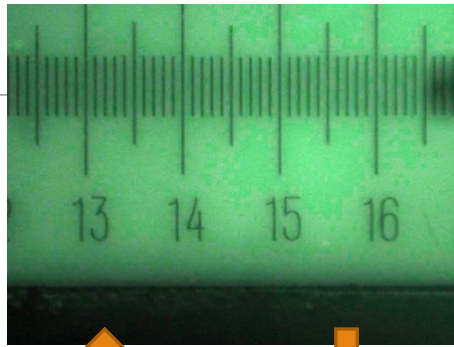
Teljes automatizálás szükséges!



Leolvasás

A felbontás 1 mp és 10^{-3} - 10^{-4} osztás

25px / osztás



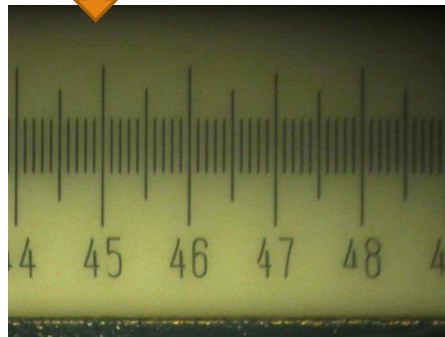
H_20190218_114726.544	jpg,	155.8435,	0.0202,	0.86,	1.7386
H_20190218_114727.606	jpg,	152.7628,	0.0176,	1.83,	2.4534
H_20190218_114728.566	jpg,	149.6436,	0.0203,	1.10,	2.5621
H_20190218_114729.572	jpg,	153.9009,	0.0262,	1.11,	2.2506
H_20190218_114730.562	jpg,	153.0890,	0.0281,	0.78,	2.8987
H_20190218_114731.603	jpg,	148.3597,	0.0249,	1.29,	2.8036
H_20190218_114732.594	jpg,	149.9744,	0.0309,	1.00,	2.1401
H_20190218_114733.585	jpg,	152.7125,	0.0206,	1.92,	2.8343
H_20190218_114734.552	jpg,	147.9093,	0.0243,	0.72,	2.1567



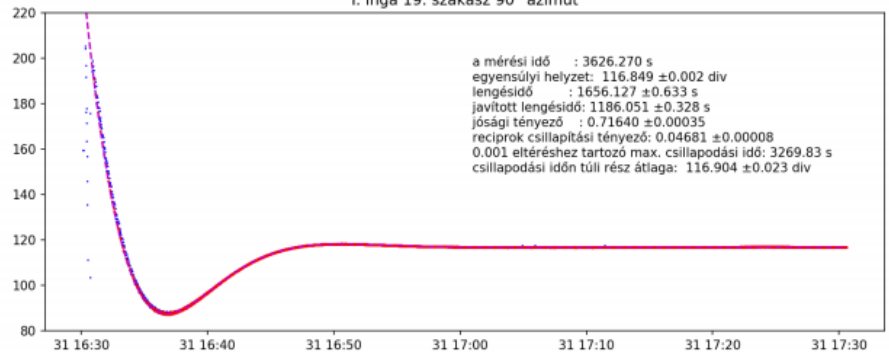
Java
sarxos
2x 1-4fps
1280x960

Python
Numpy, Matplotlib, OpenCV

Python



I. inga 19. szakasz 90° azimut

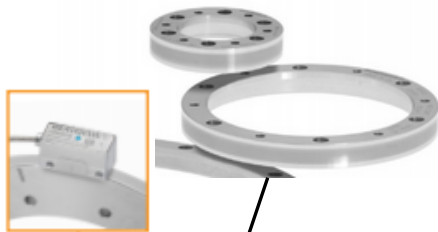


Forgatás és iránymérés

LabView



Precíziós iránymérés



RS 422



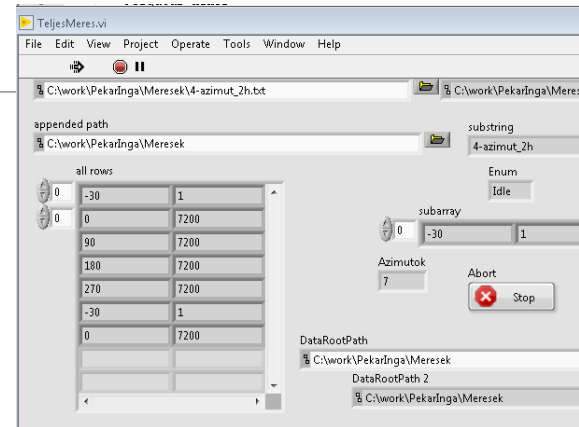
Serial over USB

Vezérlés

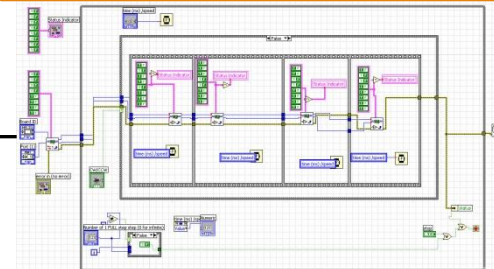
Arduino C++

```
PekarRev2018_12_03 | Arduino 1.8.7
Fájl Szerkesztés Vázlat Eszközök Súgó

PekarRev2018_12_03 | UniBotLowLevel.h
#include "driver/pntr.h"
#include "driver/uart.h"
#include "UniBotLowLevel.h"
// #include "PekarPendulum.h"
#include "driver/ledc.h"
//-----Modify below values to fine tune the pendulum rote
// #define DEBUG //Replace serial message with debug message
// #define SIMULATION //Replace real pendulum with simulated pendul
#define SPEED_MAX 280 //Travel speed
#define SPEED_MIN 250 //Ramped speed
#define ANGLE_THRESHOLD 20 //Dead band width
#define RAMPING_WITHIN_THRESHOLD 10 //Motor shutdown steepness par
```



Mérési koreográfia



A megnövelt felbontás

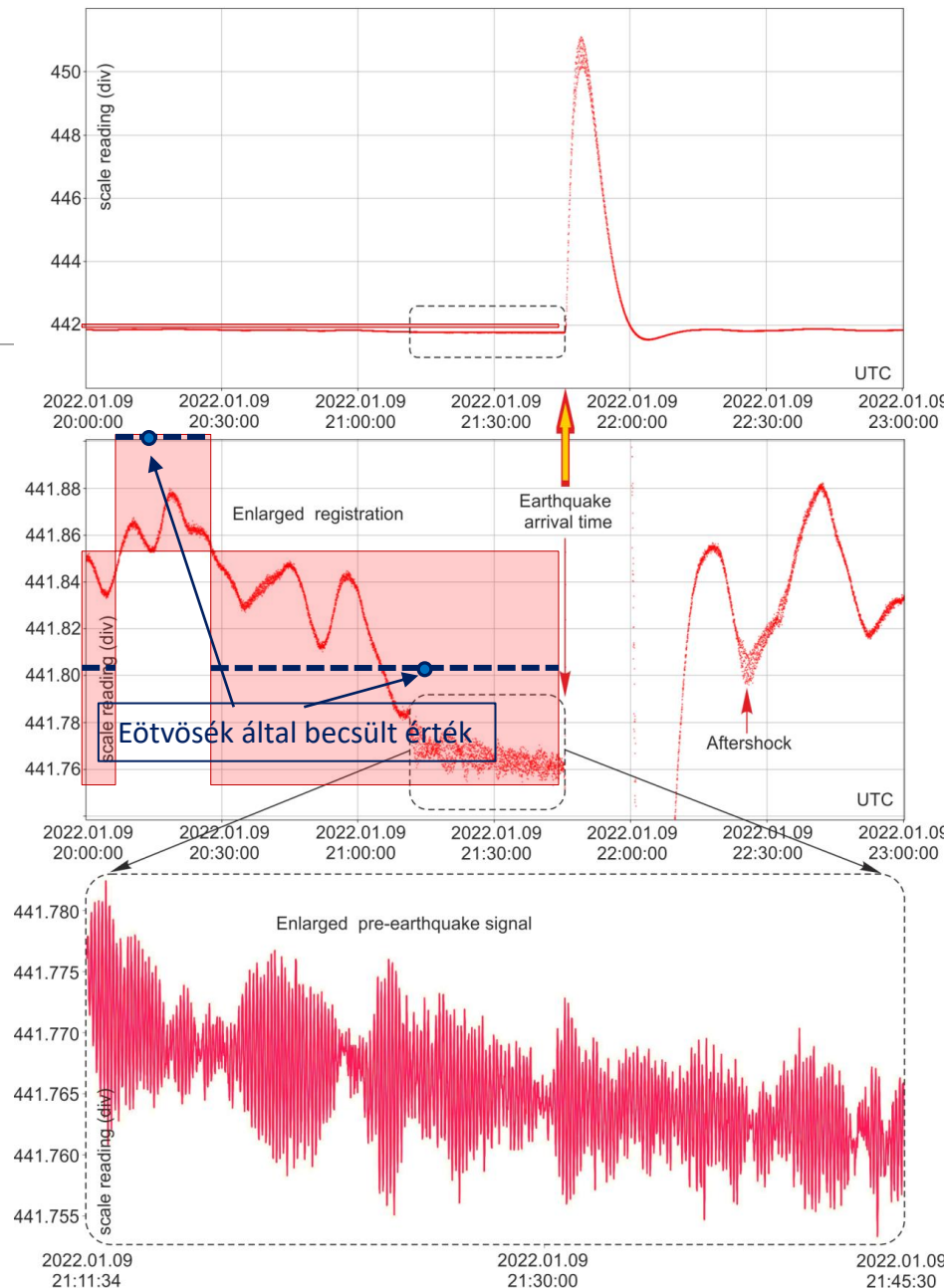
1 mp-es időbeli felbontásunk van, így látjuk

- a **csillapodási** folyamatot
- és olyan eseményeket, mint pl. **földrengés**

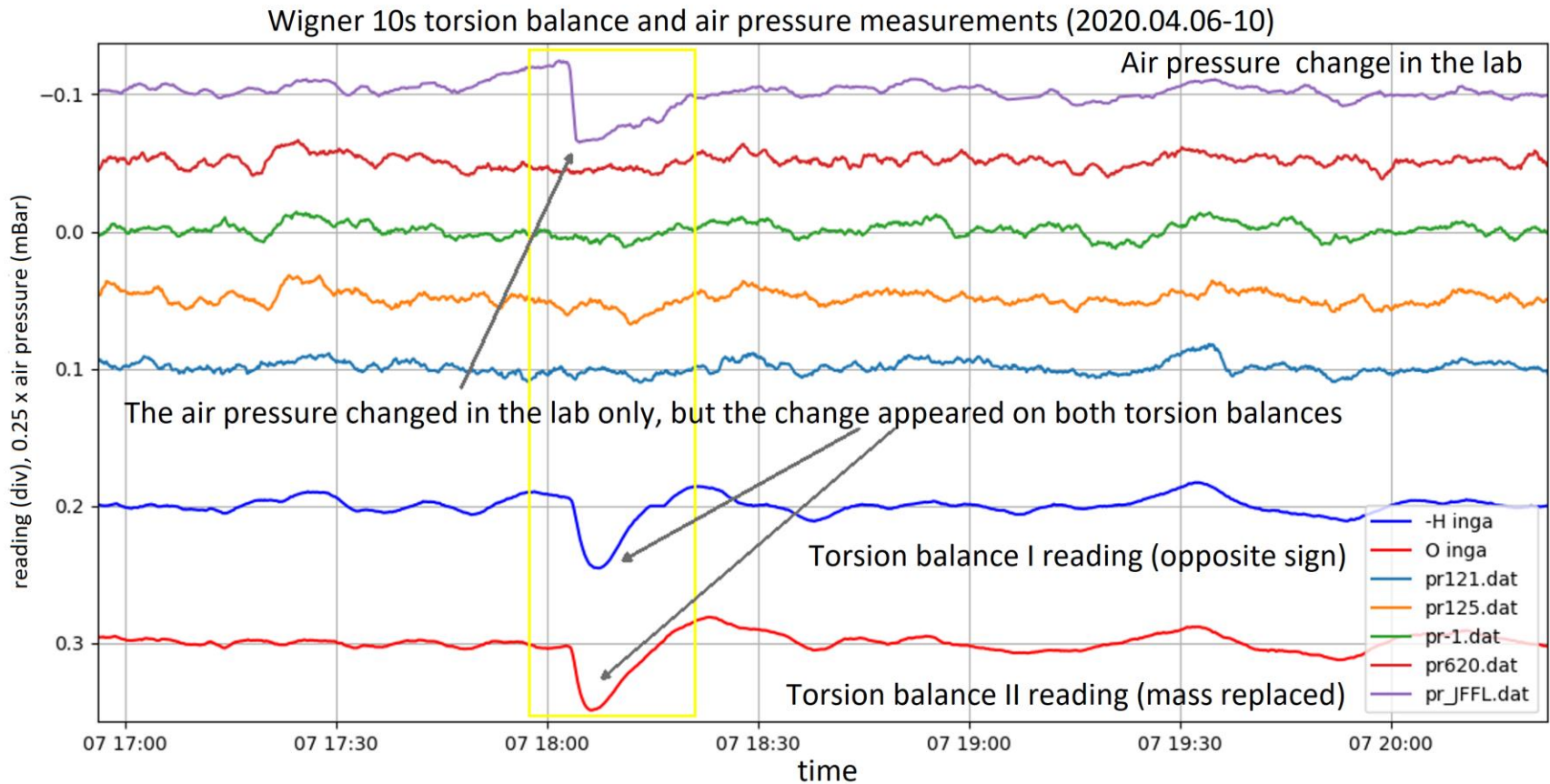
10^{-2} - 10^{-3} x jobb a leolvasás felbontása, mint Eötvös-ék esetén...

Ezért látunk

- környezeti hatásokat, mint pl. a **nyomásváltozás** hatása
- vagy más érdekes eseményeket, pl. gyanús **földrengés előjelet**



Az egyensúlyi helyzet nem stabil!



Kiegészítő mérések

KALIBRÁCIÓS MÉRÉSEK,
KÖRNYEZETI ADATOK MÉRÉSE ÉS GYŰJTÉSE,
KÖRNYEZETI HATÁSOK ELEMZÉSE

Kalibrációs mérések

Tájékozás (Északi irány)

Helyi gravitációs gradiensek

Mágneses tér hatása

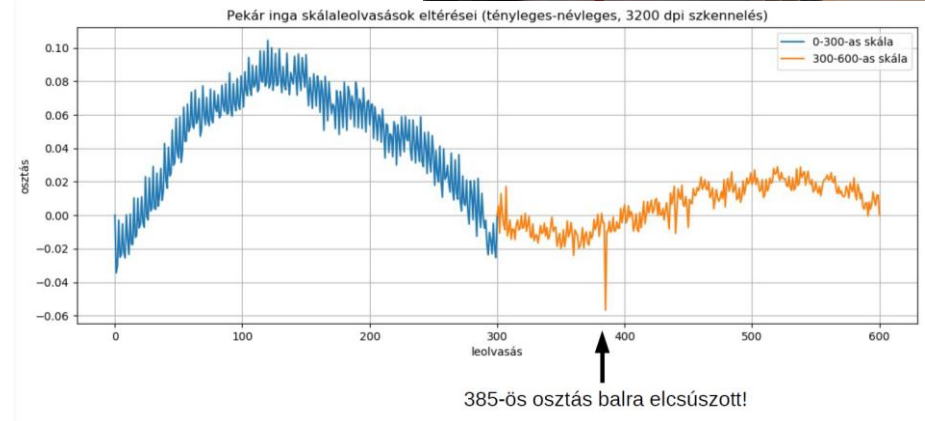
Próbatest paraméterek mérése

Lelőgatási hossz pontos mérése

Skála kalibrálás

Kódgyűrű excentricitás

Az inga-kar pozíció és a leolvasott érték kapcsolata



Környezeti adatok mérése és gyűjtése

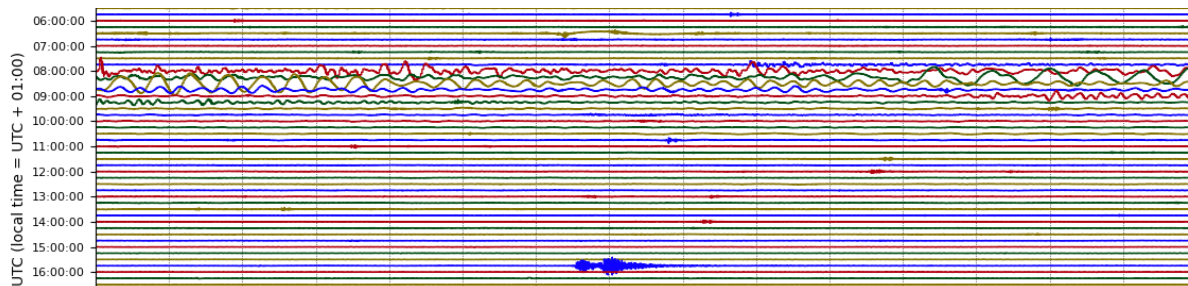
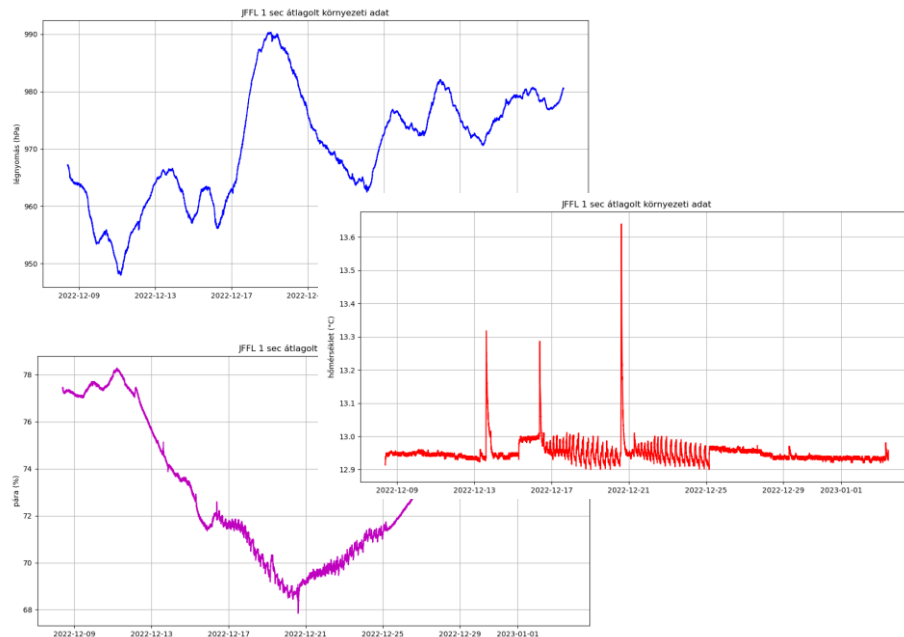
Elsődleges környezeti adatok:

- (labor) nyomás
- (labor) hőmérséklet
- (labor) páratartalom

KFKI telephely 10 perces időjárás adatok:

- Nyomás, Hőmérséklet, Páratartalom
- Csapadék, szélirány és szélesség

Szeizmikus adatok

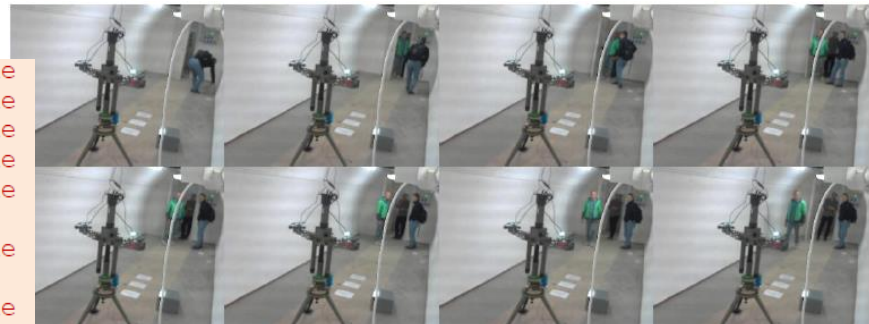
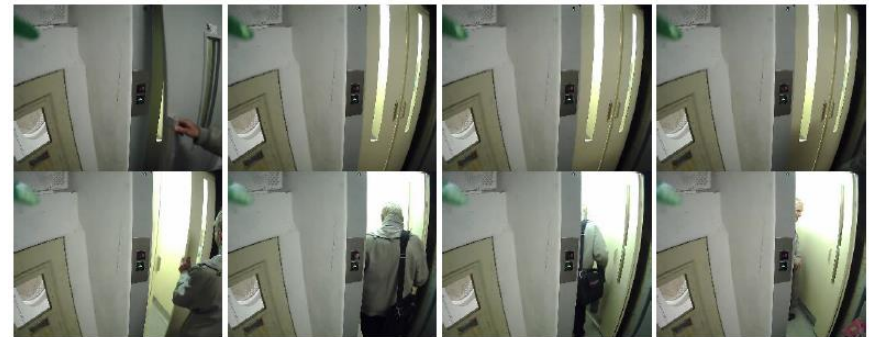
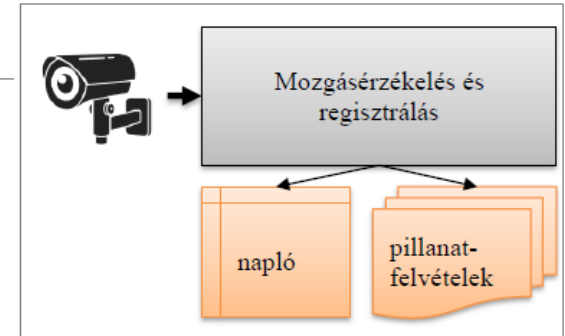


Emberi jelenlét detektálása

Kamera segítségével automatikusan naplóztuk a jelenlétet és a mozgást.

- a liftnél, és
- a laborban

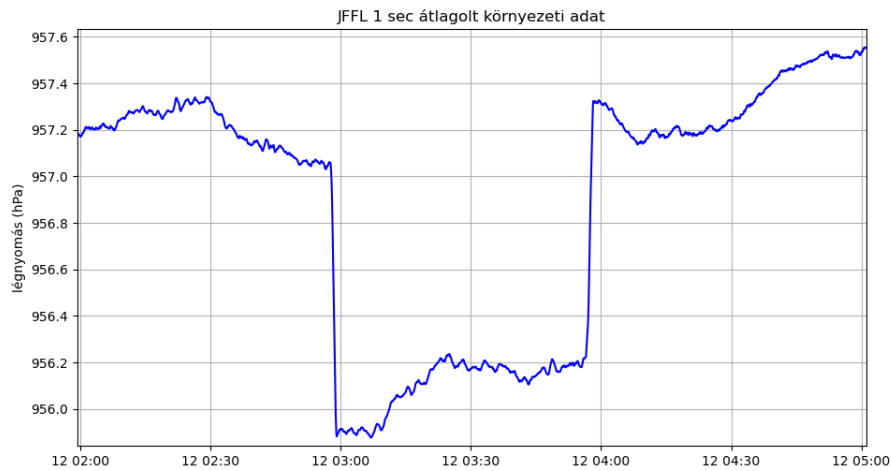
Szükséges lesz az események automatikus kiértékelése, klasszifikálása.



```
2024.10.15 12:23:54.990;0;mc-0_20241015_122354.990.jpg;true
2024.10.15 12:23:56.187;0;mc-0_20241015_122356.187.jpg;true
2024.10.15 12:23:57.392;0;mc-0_20241015_122357.392.jpg;true
2024.10.15 12:23:58.595;0;mc-0_20241015_122358.595.jpg;true
2024.10.15 12:23:59.788;0;mc-0_20241015_122359.788.jpg;true

2024.10.15 12:24:09.508;0;mc-0_20241015_122409.508.jpg;true
[...]
2024.10.15 12:25:29.493;0;mc-0_20241015_122529.493.jpg;true
```

Nyomás változás (légkondi)

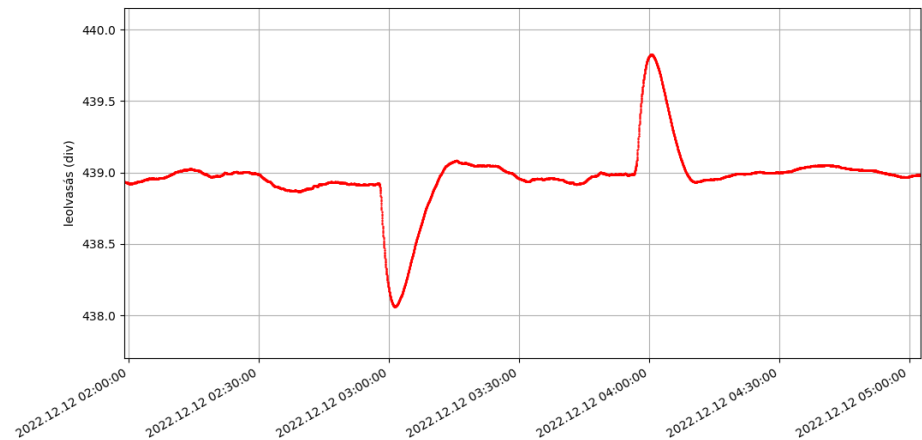
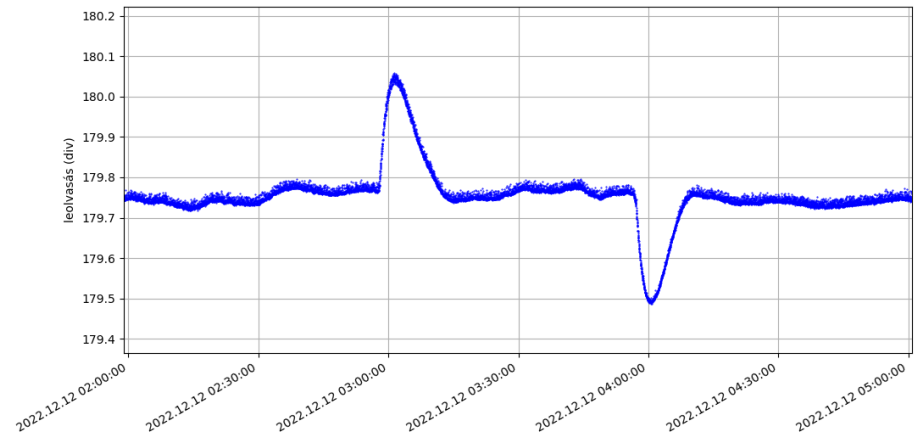


1mbar nyomás ugrás a légkondi miatt

Az inga reagál rá

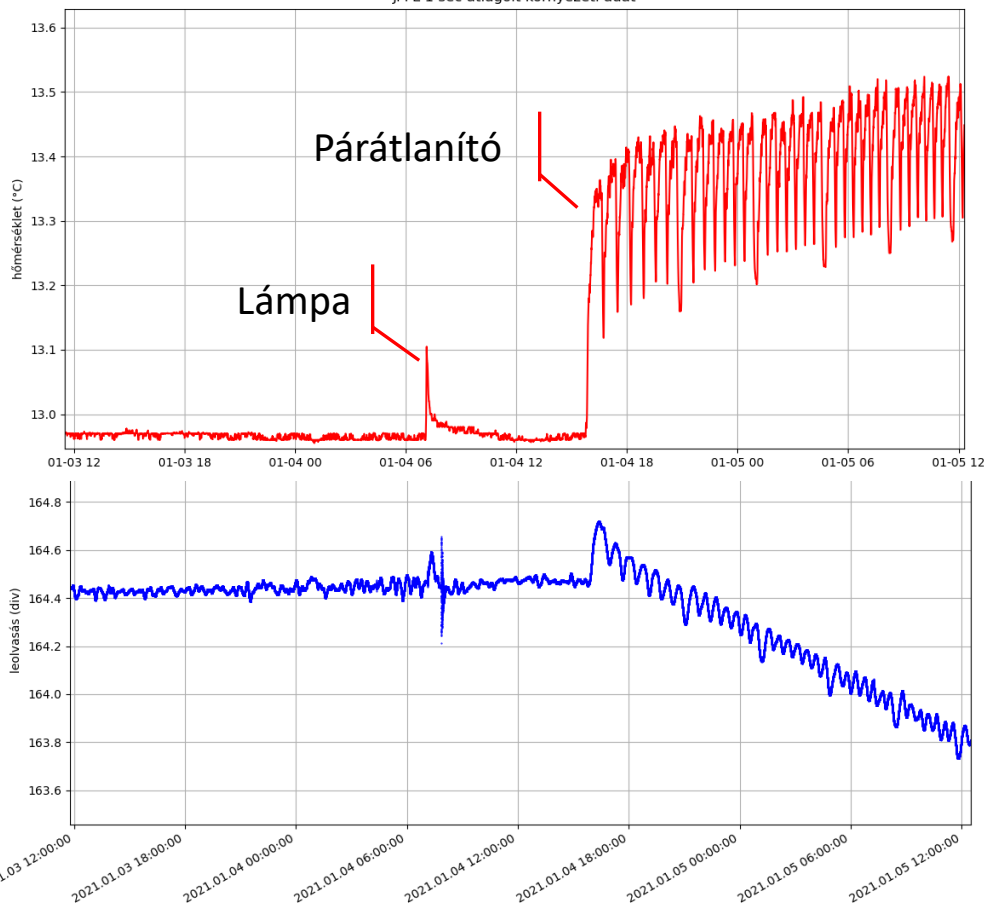
- I. inga-kar – 0.3 osztás, antikorrelált
- II. inga-kar – 0.8 osztás, korrelált

A pontos mechanizmust még vizsgáljuk



Ember által okozott zajok

JFFL 1 sec átlagolt környezeti adat



Az ember által okozott zajok relevánsak

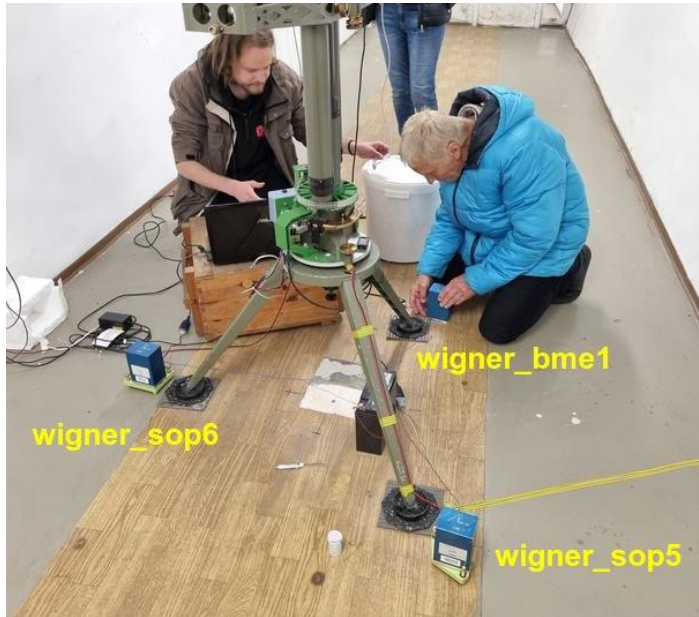
- Jelenlét
- Világítás
- Párátlanítás
- Légkondi/hőmérséklet szabályozás

A hőmérséklet szabályozás jóval nagyobb zavart kelt, mint a nyomászaj!

Megoldás:

- Izoláció
- Hagyjuk, hogy megtörténjenek a dolgok
- Kompenzálunk

Nyomás-dőlés vizsgálat



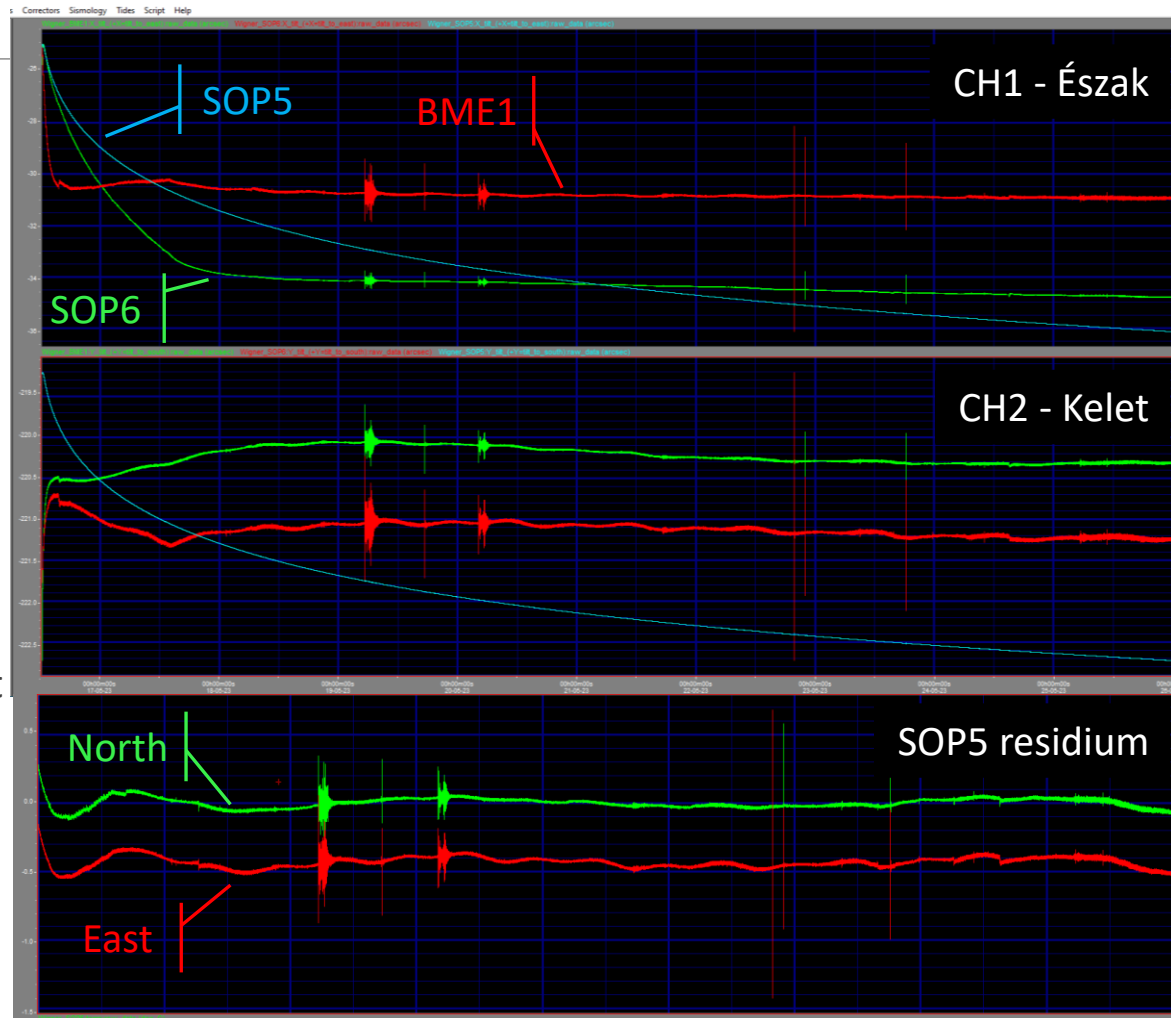
BME1 & SOP6 mutatja az ár-apály erőket

- 0.01-0.02" periodikus dőlés (Papp, G.)

SOP5: extrém drift → relaxáció

A relaxációs görbe illesztés és levonás után

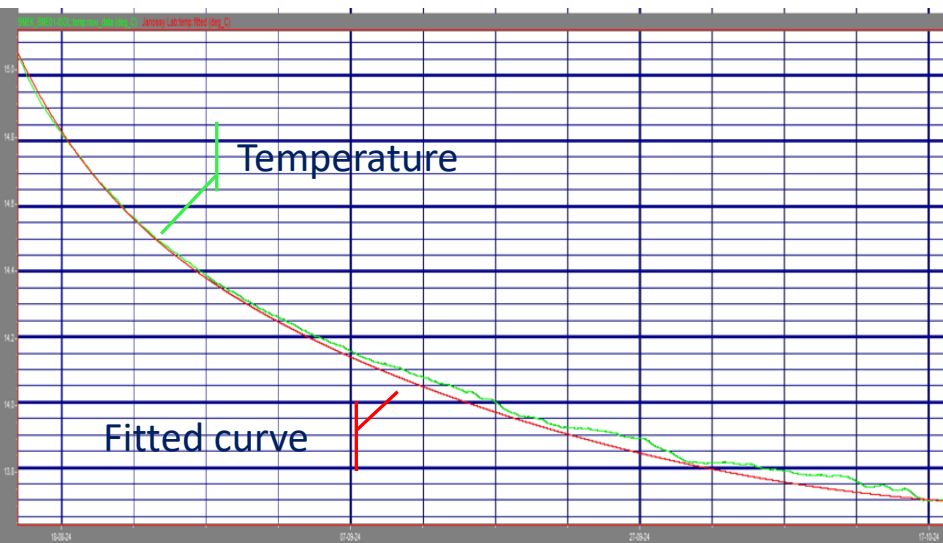
- a SOP5 is mutatja az ár-apály erőket



Hőmérséklet kiegyenlítődés

Az „eset”:

- A labor a beázás utáni szárításkor fel lett fűtve



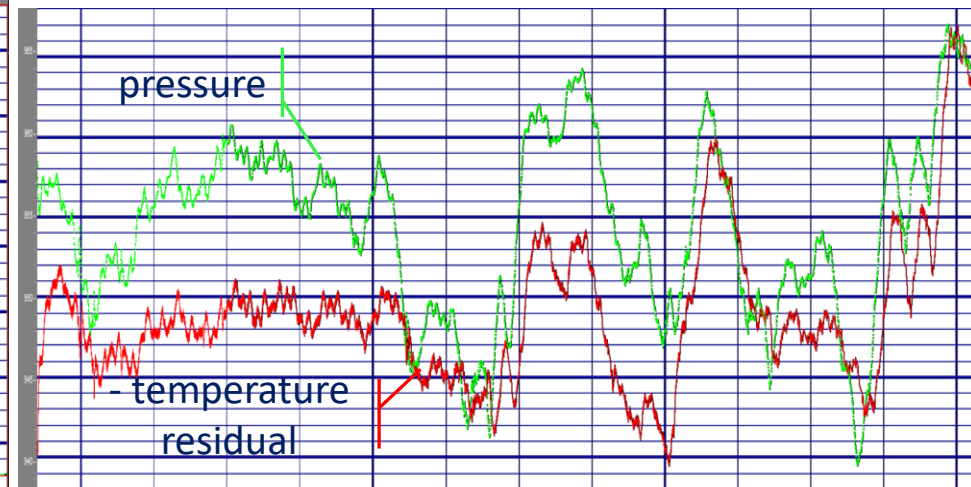
~70 napos hőmérséklet változás (15.1 → 13.7°C)

- (~2024.08.10 - 2024.10.20)

A hőmérséklet látszólag exponenciálisan csökkent

Kiszámítottuk az illeszkedő hűlési görbét...

És levontuk a hőmérsékletből



Amit találtunk:

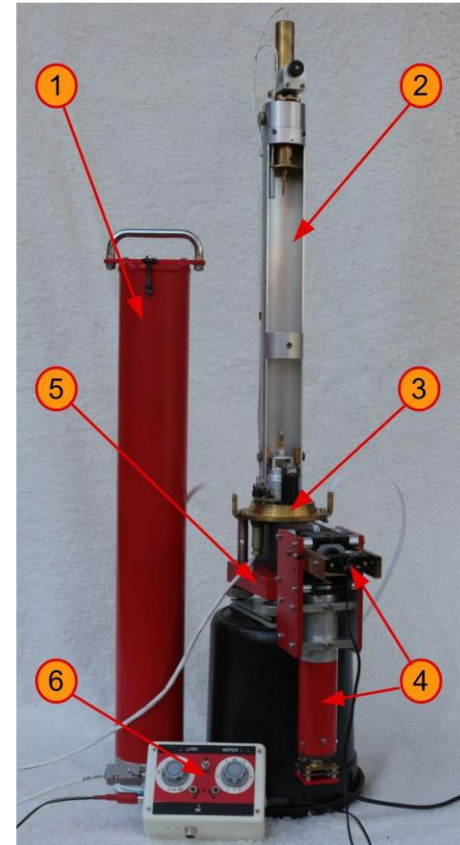
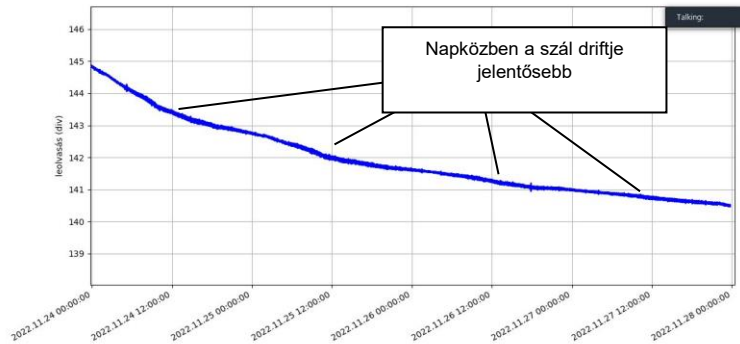
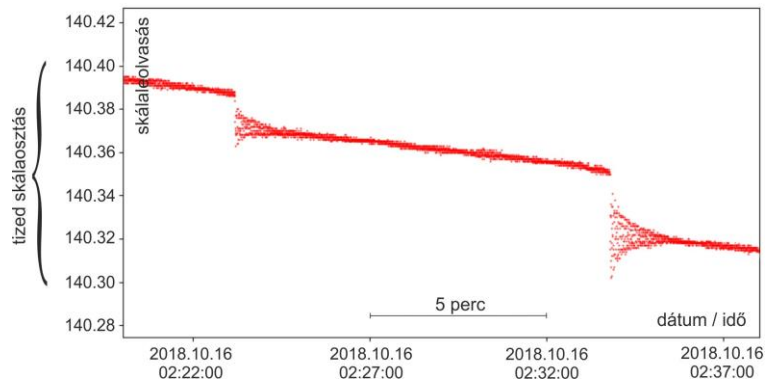
- A reziduál -1x-ese korrelál a nyomással

Konklúzió:

- A nyomás hatással van a „self-heating”-re
- A környezeti hatásokat jóval 1mk alatti felbontással vizsgálni lehet

Egyéb leágazások pl. szál-teszter

Torziós szál diszlokációk vizsgálata



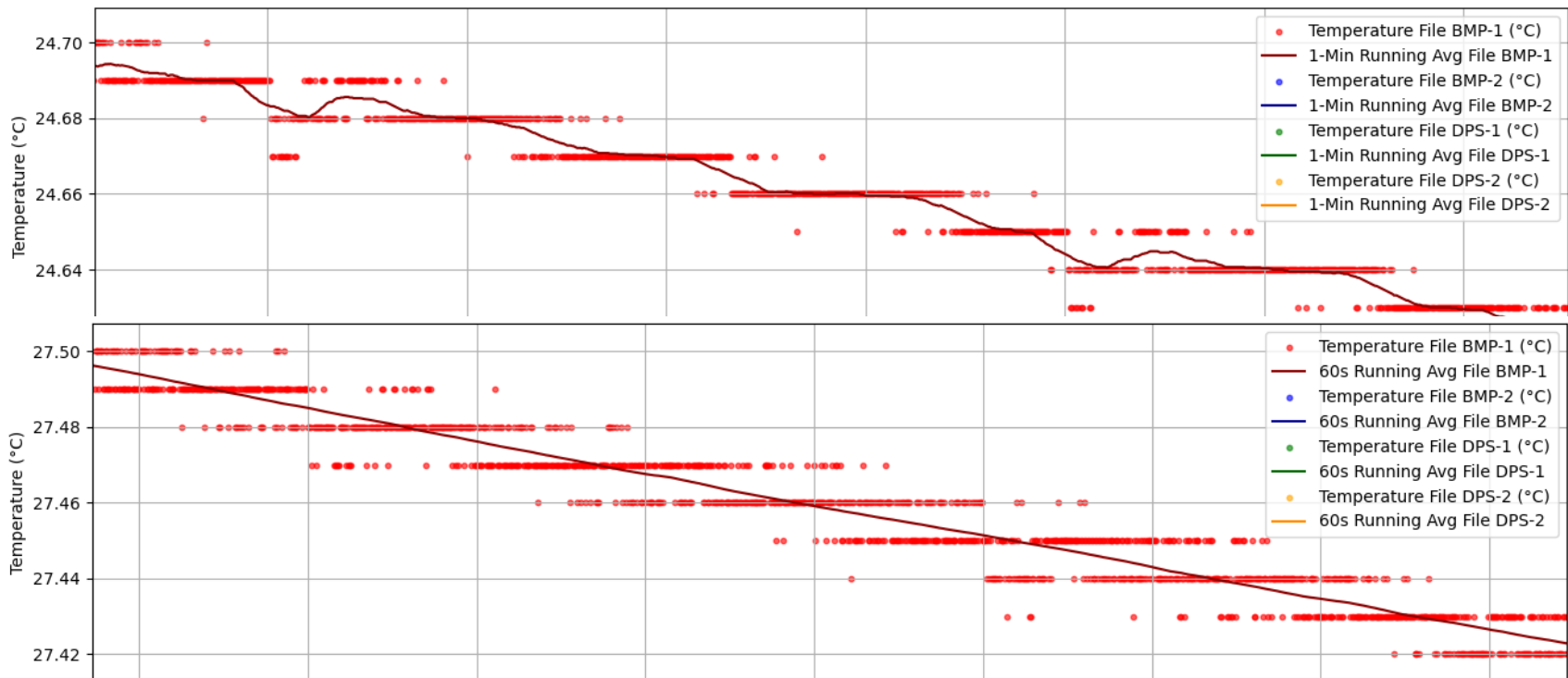
Kvantálási hibák elkerülése

A jelek kvantálása praktikus zaj hozzáadást jelent.

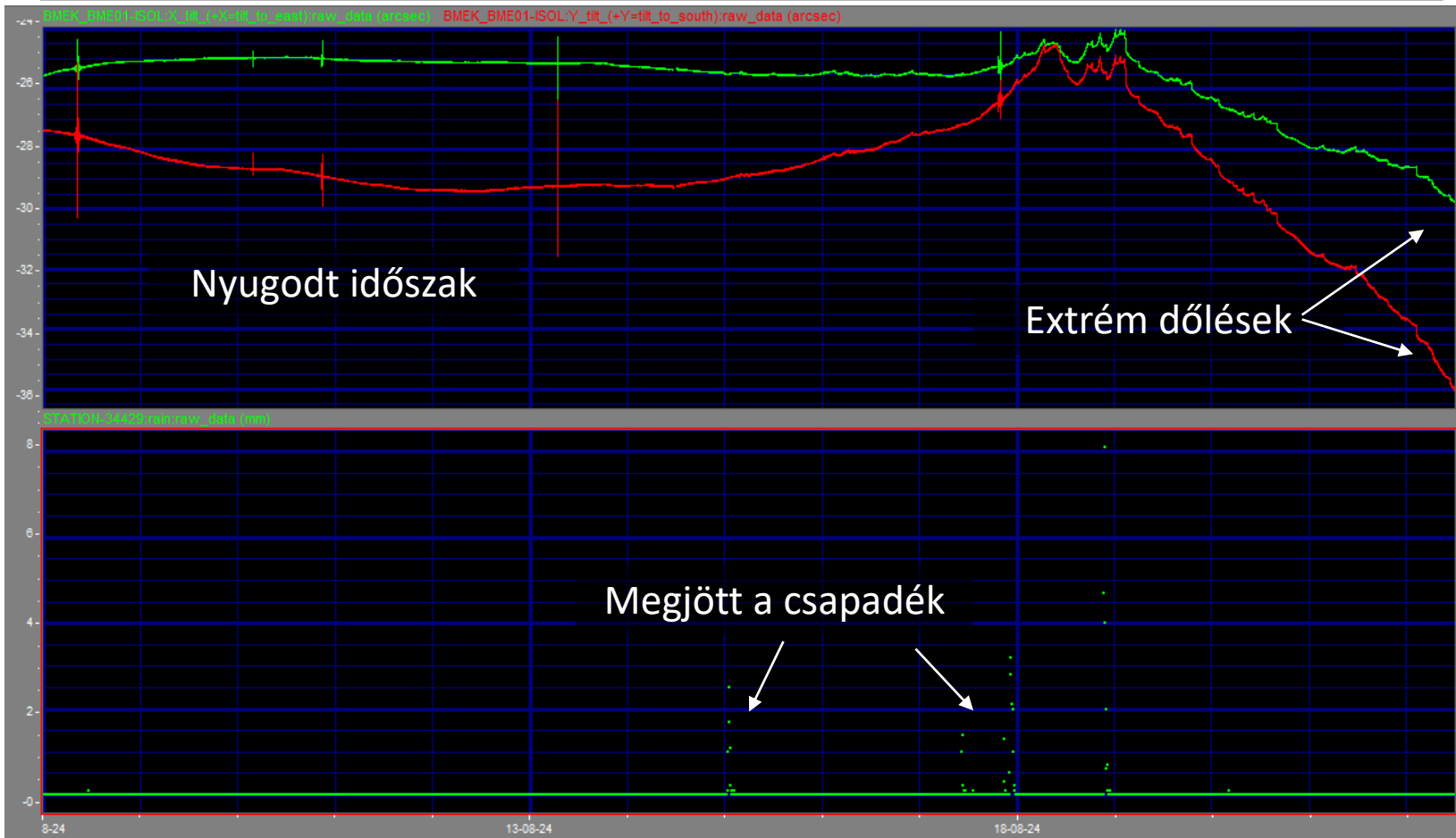
- A zaj véletlenszerű kell legyen!

A véletlenszerűség feltétele:

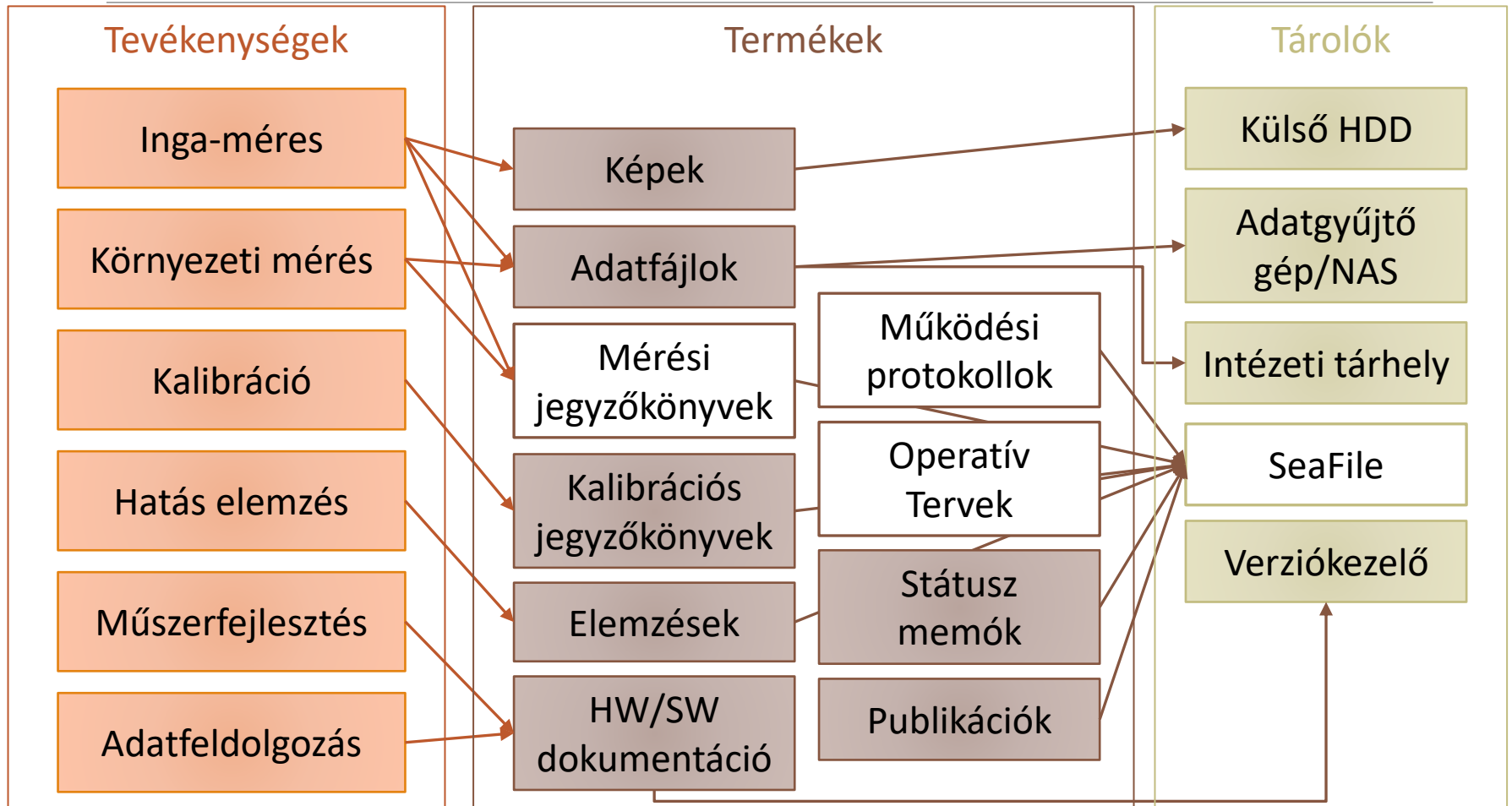
$$\sigma > 0.7 q$$



Csapadék hatása a dőlésre



Komplex adatmenedzsment



Konklúzió

A kutatási projekt pozitívumai

- Sokrétű, szerteágazó
- Rengeteg forrásból sokfajta adatot gyűjtünk
- Sok önálló kísérletet, kalibrálást, hatáselemzést végzünk
- Érdekes, értékes tapasztalatok és eredmények születtek
- Folyamatosan haladunk előre

Ugyanakkor

- Az adatok formátuma, feldolgozása nagyon sokféle, nehezen átlátható
- A projekt túlnőtt az informális kereteken (szervezettség, személyi háttér, finanszírozás – a legtöbb tagnak a projekt „szabadidős tevékenység”)
- A haladás lassú, az eredmények kevésbé tervezhetőek

Keressük a megoldást: Hogyan lehet jól/jobban csinálni?