

Nyugat-magyarországi Egyetem
Geoinformatikai Kar

Az Alpi orogenezis lehetséges hatása a nagy pontosságú gravimetriai mérésekre

TDK dolgozat



Konzulens:
Dr. Földváry Lóránt
egyetemi docens (BME – NYME-GEO)
Dr. Benedek Judit
tudományos munkatárs (MTA CSFK GGI)

Készítette:
Hanó Péter
földmérő és földrendező
mérnök BSC IV. évfolyam

Székesfehérvár
2013

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
1.1.	A probléma	3
1.2.	A szupravezető graviméterek	4
1.3.	Szupravezető mérések az Alpokban	5
2.	A feladat megoldásának módja: Prizmamodell számítás	6
3.	A számítás menete	9
4.	A számítás kiinduló adatai	10
5.	A számítás lépései	11
5.1.	Adatok beolvasása és szinkronizálása	11
5.2.	Az interpoláció és a mintaterület lehatárolása	11
5.3.	A prizmaelemek kialakítása és a hatásuk számítása egy külső pontba	14
6.	Eredmények	15
	Felhasznált irodalom	17
	Köszönetnyilvánítás	18
	Melléklet	19

1. Bevezetés

1.1. A probléma

A nagy időállandójú tektonikai, geodinamikai folyamatok megfigyelésére jelenleg rendelkezésre álló technológiák általában elkülönülnek vízszintes (GNSS, pl. európai lemez mozgása) és magassági (szintezés, InSAR, esetleg GNSS) módszerekre. A tömegátrendeződéssel járó geodinamikai folyamatok megfigyelésének egyik lehetséges eszközeként tekinthetők a szélső pontosságú ismételt gravimetriai mérések. Napjainkban a rendelkezésre álló obszervatóriumi és terepi, abszolút valamint relatív műszerek ezeket a pontossági igényeket (néhány μGal) már teljesítik, így a geodinamikai-gravimetriai mérések kiegészítik a hagyományos szintezési módszerrel nyert felszínmozgás adatokat, sőt, a geometriai információn túl a lezajló folyamat fizikai jellegéről is adnak információt, hozzájárulva ezzel a geodinamikai, geofizikai modellek pontosításához. Európában az egyik legjobban ismert és kutatott tömegátrendeződéssel járó geodinamikai folyamat Fennoskandináviában az eljegesedés megszűnése után lejátszódó felszínemelkedés, amelynek mértéke az ismételt geodéziai mérések alapján eléri évente a néhány mm-es értéket is.

Regionális méretű, bár sokkal kisebb mértékű tömegátrendezéssel járó folyamatot figyelhetünk meg az Alpok területén, ahol a hegység emelkedése a lemeztektonikai folyamatok következtében mind a mai napig tart. Tanulmányunkban azt vizsgáljuk, hogy a meghatározott magasságváltozásoknak megfelelő tömegátrendeződések kimutathatók-e nagy pontosságú gravimetriai mérésekkel rövid, 10-15 éves időbázison. A számításokat a környék egyik legnagyobb jelentőségű szupravezető gravimétere, Conrad Obszervatóriumban (ZAMG), a GWR C025 sorszámú szupravezető műszer [Meurers, 2012] működési helyére vonatkoztatjuk.

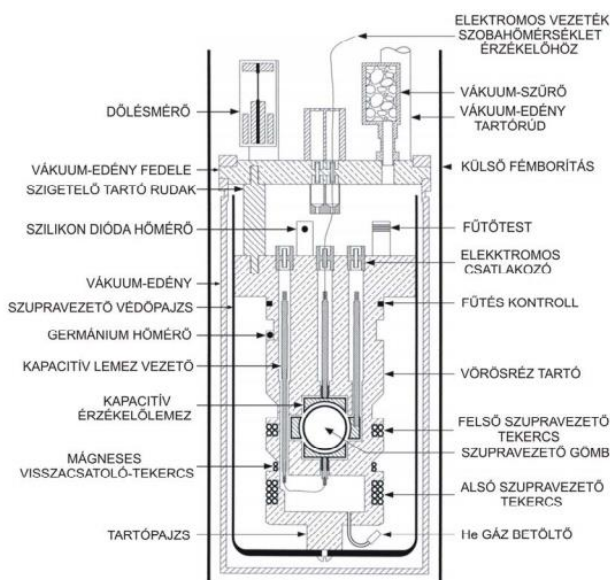
A relatív elven működő szupravezető graviméterek mellett bizonyos mértékű változások a rugós relatív graviméterekkel is kimutathatók, így például jól vizsgálhatók a földi nehézségi erőter árapály jellegű változásai. Rugós graviméterekkel a múlt század közepétől világszerte folynak a nehézségi tér árapály jellegű változását regisztráló obszervatóriumi észlelések (pl. Bonatz 1966, Varga et al. 2011, Meurers et al. 1990). A 70-es évek végétől a szupravezető relatív gravimétereknek köszönhetően az obszervatóriumi mérési pontosság két nagyságrenddel megnőtt (Goodkind, 1979). Sopronban az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet (röviden GGI) Sopronbánfalvi Obszervatóriumában évek óta folyik az árapály nehézségi erőterre gyakorolt hatásának mérése és modellezése, melynek kapcsán az Észak-atlanti térségben zajló hidrodinamikai-légköri folyamatoknak a gravitációs árapálymérésekben mutatkozó hatás tanulmányozása is folyamatban van. (Papp et al.

2009, Papp et al. 2011). A szabályos árapály jelenségeken kívül a mért jel tartalmaz egyéb változásokat is, amelyek magyarázata további vizsgálatokat igényel.

1.2. A szupravezető graviméterek

A hagyományos relatív graviméterekben egy rugóra felfüggesztett mérőtömegnek a nehézségi erő hatásának következtében történő elmozdulása képes meghatározni a nehézségi gyorsulás értékének különbségét, míg a szupravezető graviméterekben ez a tömeg egy ultrastabil mágneses térben lebeg. A rugós relatív graviméterekre jellemző az úgynevezett műszerjárás (drift), amely a rugó folyamatos kismértékű, de maradandó alakváltozásaiból adódik. A szupravezető graviméterek is relatív graviméterek, tehát csak egy másik mérési ponthoz illetve időponthoz képest tudják meghatározni a nehézségi gyorsulás különbségét, de a rugó driftjéből fakadó jelenség nem áll fent. A szupravezető graviméterek kb. 2 nagyságrenddel érzékenyebbek ($0.01\text{--}0.04 \mu\text{Gal}$), mint a rugós graviméterek.

A szupravezető graviméterek esetében a mérőtömeg két nóbium tekercs között lebeg, melyek folyékony héliummal állandó „szupravezető” állapotban vannak tartva. A nehézségi erő megváltozása esetén a mérőtömeg kis mértékben elmozdul, ezt a mérőhídba épített kapacitív érzékelők érzékelik és visszacsatolással a mérőtömeg egyensúlyi helyzetét visszaállítják. Az a visszacsatolási feszültség, amely képes visszaállítani az eredeti, elviekben mozdulatlan helyzetet, egyenesen arányos a nehézségi erő megváltozásával, így képes a műszer akár $n\text{Gal}$ -os ($1n\text{Gal}=10^{-3} \mu\text{Gal}$, $1 \mu\text{Gal}=10^{-8}\text{m/s}^2$) pontossággal meghatározni a nehézségi erőter megváltozásának értékét. A műszer laboratóriumi, obszervatóriumi körülmények között használható.



1. ábra: A szupravezető graviméter elvi felépítése (Völgyesi, 2011)

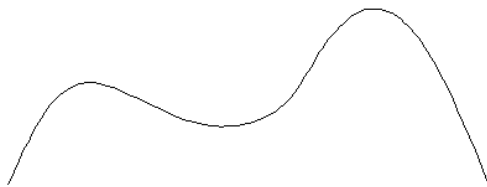
1.3.Szupravezető mérések az Alpokban

Szupravezető graviméterrel az osztrák Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) intézmény rendelkezik. A műszert 1995-ben üzemelték be Bécsben, majd mintegy 12 év mérés után, 2007-ben áthelyezték a Bécstől 50 km-re lévő Pernitz település közelében újonnan felépített Conrad Obszervatóriumba (Conrad Observatory) [Meurers, 2012]. Az új helyen a szupravezető graviméter beüzemelése megkívánta a műszer szabályos hibáinak meghatározását, úgy mint méretarány tényező (scale factor) és műszerjárás (drift). Ismert, hogy a szupravezető graviméterek egészen kicsi műszerjárással bírnak a rugós graviméterekhez képest. Az átköltözés után a vizsgálatok azt mutatták, hogy az új helyen a műszer műszerjárása megváltozott [Meurers, 2012]. Ezt részben a műszer szét- és összeszerelése is okozhatta, de nem kizárt, hogy az új környezet szabályos jellegű tömegátrendeződései is szerepet játszottak benne, illetve az obszervatóriumi stabil körülmények (közel állandó hőmérséklet, páratartalom, légnyomás, városi zajtól mentes környezet). A továbbiakban a műszer helyén az Alpok emelkedése okozta nehézségi anomália szabályos jellegű időbeli megváltozását vizsgáljuk, és összevetjük egy szupravezető graviméter mérési élességével, elemezzük esetleges hatását a műszerjárás értékében.

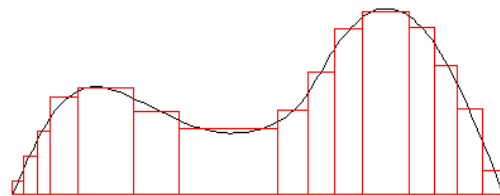
Magyarországon folyamatos nehézségi gyorsulás mérést a Sopronbátfalvi Obszervatóriumán (MTA CSFK GGI) kívül a Mátyáshegyi barlangban (MFGI) végeznek. Mindkét helyen a mérést LaCoste-Romberg relatív graviméterrel végzik. Tekintettel, hogy a soproni helyszín közelebb fekszik az Alpokhoz, gyors kísérletet teszünk a GGI Obszervatóriumában érezhető hatás becslésére is.

2. A feladat megoldásának módja: Prizmamodell számítás

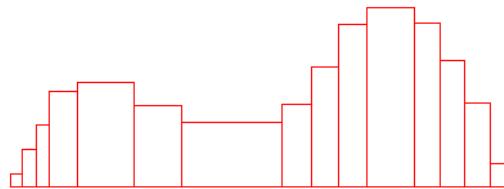
Az Alpokban meglévő vizsgálati pontjaink ellipszoid feletti magassága, és az ezekben a pontokban rendelkezésre álló mozgásvizsgálati adatok alapján előállítható egy három dimenziós (3D) prizmaelemekből álló sűrűségmodell. Prizma alatt a gravimetriában derékszögű hasábot értenek. Ennek megfelelően a prizmamodell olyan derékszögű hasábelemekből összeállított modellt jelent, mely, ha pontosan nem is, de (a modell felbontásának függvényében) kellően realisztikus közelítését adhatja a topográfiának (lásd 2.-4. ábrák). Minden egyes prizmaelemhez egy jellemző sűrűségadatot hozzárendelve a topográfia 3d modelljének tömegvonzásának a hatása analitikusan számítható.



3. ábra: egy sematikus hegyvonulat 2D-s keresztmetszete



2. ábra: A prizmaelemekkel közelített hegyvonulat

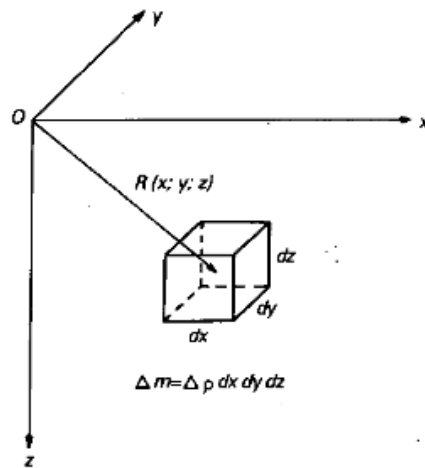


4. ábra: A prizmamodell

Pontszerű objektumok között Newton tömegvonzási törvénye alapján a fajlagos nehézségi erő (vagy nehézségi gyorsulás) nagysága a következő képlettel számítható ki.

$$\bar{f} = k \frac{m}{r^2}$$

Ha egy hasáb tömegét a tömegközéppontjába koncentráljuk, akkor egy külső pontban kiszámítható a test gravitációs hatása Newton tömegvonzási törvényének alapján. Amennyiben a tömegpont helyén elemi hasábként képzeljük el a tömeget, a tömegvonzási törvényt ki kell integrálni a kocka három merőleges oldaliránya mentén.



5. ábra: Végtelen kicsiny test tömegvonzása R távolságra (Mesko, 1989)

Egy végtelen kicsiny oldalhosszúságú (dx, dy, dz) test tömegvonzása egy külső pontban az alábbi határozott integrállal számítható:

$$\bar{f} = k \iiint_V \frac{\Delta \rho}{r^2} dx dy dz$$

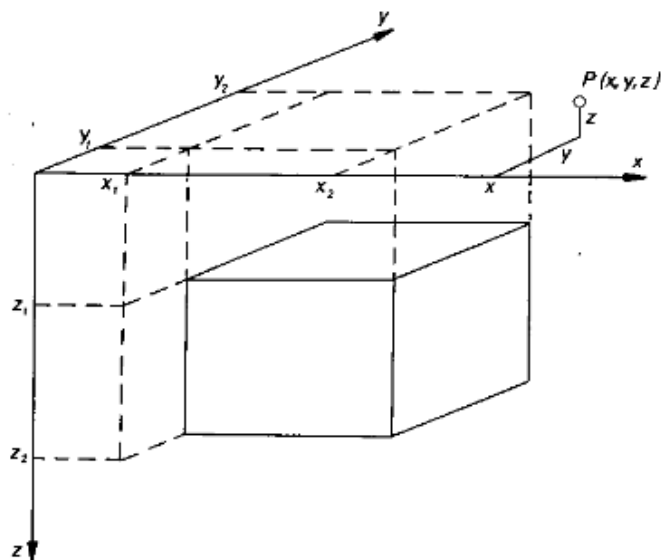
Az egyenletben a $\Delta \rho$ a prizmaelem sűrűsége, az r a külső ponttól mért távolság, míg a k a Newton-i tömegvonzási állandó. Az összefüggésben szereplő sűrűségkülönbség érték teszi lehetővé, hogy az emelkedés tömegvonzásra gyakorolt hatását meghatározhassuk; az emelkedés során kialakult tömegtöbbletet levegő sűrűségéről kéregsűrűségű megváltozásként definiálva. Így a mozgásvizsgálati adatok alapján a vertikális mozgásokból prizmamodell számítással a nehézségi erőtérré gyakorolt hatás modellezhető.

Ha a prizmaelem nem végtelen kicsiny, tehát már nem pontszerű testként kell kezelni, akkor egy helyett tetszőleges $P(x, y, z)$ pontban a test tömegvonzása homogén sűrűségeloszlást feltételezve Nagy (1966)) és Goodacre (1973) nyomán:

$$g(x, y, z) = -G\Delta\rho \left[\left[\left[u \ln(v+r) + v \ln(u+r) - w \arctg \frac{uv}{wr} \right] \right] \right]_{u_1, v_1, w_1}^{u_2, v_2, w_2}$$

$$\begin{aligned} u_1 &= x - x_1, & u_2 &= x - x_2, \\ v_1 &= y - y_1, & v_2 &= y - y_2, \\ w_1 &= z - z_1, & w_2 &= z - z_2. \end{aligned}$$

Az r az $r = (u^2 + v^2 + w^2)^{\frac{1}{2}}$ kifejezés rövidítése. A 6. ábra mutatja, hogy az alsó és a felső integrálási határok hogyan értelmezendők a képletben.

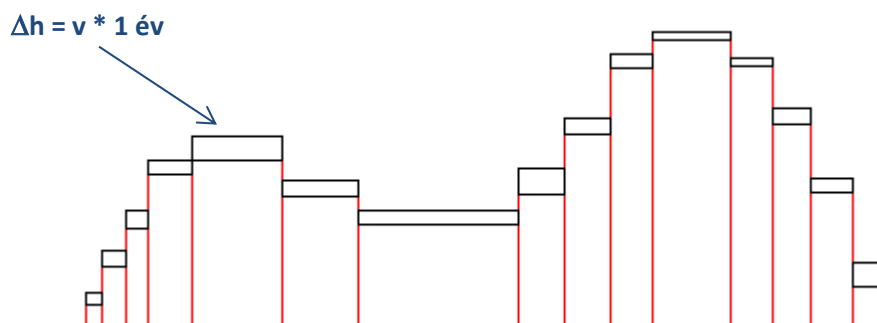


6. ábra: Egy derékszögű, koordinátatengelyekkel párhuzamos prizma gravitációs hatását megadó összefüggésben szereplő mennyiségek magyarázata (Meskó, 1989)

A prizmaelemekből egy tetszőleges alakú test egy közelítése , és egy külső pontban az egyes prizmaelemek g -értékeit összegezve (szuperpozíció elve alapján) megkapjuk az idom tömegvonzását az adott pontban..

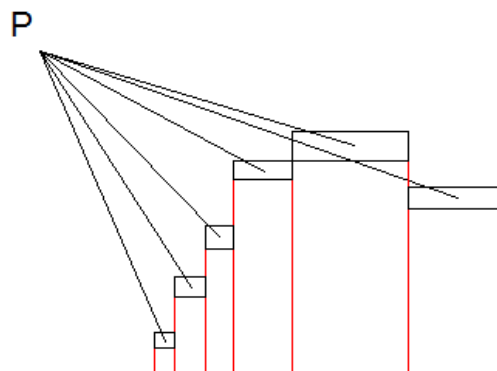
3. A számítás menete

Ahhoz, hogy az Alpok felszínének időbeli változásait tudjuk modellezni, különböző adatokra volt szükség. Ezek az Alpok topográfiáját leíró pontok térbeli derékszögű (X, Y, Z) vagy földrajzi (φ, λ, h) koordinátái, mely alapján felépíthető az Alpok topográfiája téglatestekből, továbbá ugyanezekben a pontokban a vertikális felszínmozgás sebessége, mm/év mértékegységben, mely alapján a topográfia **megváltozásának** prizmamodellje építhető fel valamilyen időtávlatra vonatkoztatva. Tanulmányomban a rendelkezésre álló sebességértékeket 1 évre állandónak feltételezve, az 1 év alatt bekövetkezett felszínmozgásnak a nehézségi erőterre gyakorolt hatásait vizsgálom. A kialakított prizmamodell csak a vertikális változásokat írja le: a modell térfogatelemei az Alpok felszínének egyes modellpontjainak magasságába becsült, $\Delta h = (mm/év) \times 1 \text{ év}$ [mm] mértékű magasságváltozásnak felelnek meg (7. ábra).



7. ábra: A DTM-re illesztett magasságváltozások

A topográfia pontjainak vertikális irányú elmozdulásból származó tömegtöbblet gravitációs hatásának a számítását a vizsgálati pontokban a korábbiakban ismertetett összefüggéssel az egyes prizmaelemek tömegvonzásának összegzésével végezzük (8. ábra). A szemléletesség kedvéért a P pont egy külső pont, ám a számítás során a P pont a prizmaelem tetején helyezkedik el, mivel esetünkben a vizsgálati pontok (regisztráló graviméterek helye) a Föld felszínén találhatók.



8. ábra: Prizmaelemek tömegvonzása

4. A számítás kiinduló adatai

Az adatokat két forrásból tudtuk beszerezni:

- Az első csoportba Ausztria területére és kismértékben Magyarország területére vonatkozó adatok tartoznak, amelyekkel a Sopronbánfalvára végzett vizsgálat sokkal megbízhatóbb, mintha csak osztrák területre vonatkozó adatokon alapulna a számítás. Az említett adatokat Dr. Kenyeres Ambrus a Földmérési és Távérzékelési Intézet munkatársa bocsátotta rendelkezésünkre, mely az osztrák aktív GNSS hálózat (APOS) mérési eredményein és a magyar permanens hálózat mérésein alapult. A kapott adatok ITRS rendszerben tartalmaztak X, Y, Z koordinátákat, illetve az adott pontok mozgássebesség vektorait mm/év mértékegységben. [Kenyeres et al., 2013].

- A második csoport sokkal részletesebb. Ezek az adatok Svájc területére vonatkoznak. A svájci adatok az ország permanens állomásainak állandó méréseiből, illetve felsőrendű szintezések eredményeiből származnak. Ezeket az adatokat a Swisstopo (gyakorlatilag a svájci állami földmérés) részéről Dr. Urs Marti szolgáltatta. Az adatállomány tartalmazta a mérés helyét, ETRS89 koordinátáit, illetve az adott pont mozgását mm/év mértékegységben [Brockmann et al., 2012].

A modellezés hiányossága, hogy olaszországi területekről nem állnak adatok a rendelkezésre. Az Alpok felszínváltozásának prizmamodellje így részben hiányos, ám a tanulmányban használt vizsgálati pontok szempontjából ez a hiány csak kismértékű hatással van a számítás végeredményére, mivel valamennyi távol esik az Alpok olaszországi részéhez. A továbbfejleszthetőség lehetőségét szem előtt tartva a program úgy készült, hogy akármikor egyszerűen bővíthető további adatokkal, így a tanulmányba bevonhatók később olasz adatok is.

Ahhoz hogy a vertikális elmozdulás értékek alapján előállított prizmamodellt egységes rendszerben az Alpokra tudjuk helyezni, szükségünk volt egy digitális domborzatmodellre (DTM). A használt digitális domborzatmodell az SRTM ami egyrészt szabadon hozzáférhető (link: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>), másrészt a vizsgált feladat szempontjából kellően részletes ahhoz, hogy az Alpok modelljét jó felbontással elő lehessen állítani.

5. A számítás lépései

Az adatok mennyisége miatt célszerű egy automatizált számítási eljárást alkalmazni. A számításaim a MATLAB programrendszerével végeztem. A MATLAB egy matematikai programrendszer és programozási nyelv, amit arra fejlesztettek ki, hogy bonyolult matematikai számításokat minél egyszerűbben és gyorsabban lehessen végrehajtani. A MATLAB előnye a többi lehetséges megoldással szemben, (pl.: Microsoft Excel, egyéb programozási nyelvek) hogy alapvetően mátrix változókat alkalmaz, így nagyon leegyszerűsítetté válik számos feladat. További előnye, hogy elterjedt, így könnyen beszerezhetőek kisebb feladatokra megírt alprogramok, pl. interneten könnyen található mások által írt és optimalizált transzformációs függvény az ellipszoidi és térbeli derékszögű koordináták között.

5.1. Adatok beolvasása és szinkronizálása

Az első lépésben a meglévő adatokat be kellett olvasni a programba, illetve a svájci és osztrák adatokat azonos vonatkoztatási rendszerbe transzformálni. Míg a svájci koordináták ETRS89 rendszerben, addig az osztrák koordináták ITRS rendszerben állnak rendelkezésünkre. Ezek ugyan nem térnek el nagymértékben egymástól, de az egzakt megoldáshoz az ETRF89 rendszerben lévő koordinátákat ITRS rendszerbe transzformáltam, így az osztrák és svájci pontok ugyanazon rendszerbe kerültek. A transzformációt az alábbi linken lévő weboldal segítségével végeztem:

http://www.epncb.oma.be/products_services/coord_trans/

Ezt követően az azonos változókat közös vektorba rendeztük, tehát összefűztük úgy a meglévő adatokat, hogy az X , Y , Z , φ , λ , h koordináták és az elmozdulás értékek a svájci és osztrák adatcsoportból egy vektorba kerüljön. Lényeges volt, hogy a (számunkra ismeretlen okokból) duplán szereplő adatokat kiszűrjük, mivel ezek feleslegesen jelentek volna meg az adathalmazban.

5.2. Az interpoláció és a mintaterület lehatárolása

Mivel koordináták és az elmozdulás értékek „véletlenszerű” elrendezésben állnak rendelkezésre, az egységes modell felépítéséhez elő kellett állítani egy rácshálót, melyek a későbbi prizmatestek alaplapját adják. A prizmák magasságát az elmozdulás értékekből interpolációval határozzuk meg.

Először fel kellett venni egy olyan rácshálót, amely elég részletes ahhoz, hogy visszaadja az Alpok topográfiáját. Előzetes vizsgálatok alapján a 0.1°-os raster felbontás megfelelőnek bizonyult. A szükséges interpolációt a griddata paranccsal hajtottuk végre. Az interpoláció többféle módszerrel végrehajtható:

- linear: A lineáris interpoláció esetén a pontok között lineáris felületet alakítunk ki, és ezek mentén interpolálunk a rácsháló sarokpontjaira.
- cubic: A köbös interpoláció esetünkben már sokkal előnyösebb, mivel ez az adott pontokra egy harmadfokú felületet illeszt, és a rácsháló sarokpontjait ezzel határozza meg.

Ezekon kívül ugyan állnak még további lehetőségek a rendelkezésünkre, ám ezt a tanulmányban nem tárgyaljuk, ugyanis ezeknél a megoldásoknál az extrapoláció olyan mértékű, hogy tévesen befolyásolja az eredményt, míg mind a lineáris- mind a köbös interpoláció esetében a program nem extrapolál, így a vizsgálati pontok által lehatárolható területen kívül nem generál félrevezető értékeket. Mivel a köbös interpoláció sokkal realisztikusabban írja le a hegység felületét, így ezt választottam a feladat megoldásához. Az interpolációt ugyanazon rácsháló pontjaira végeztük el, mind a digitális domborzatmodell magassági értékei és mind az elmozdulásértékek esetén, amivel az egyes elmozdulásokhoz ellipszoid feletti magasságot rendeltünk.

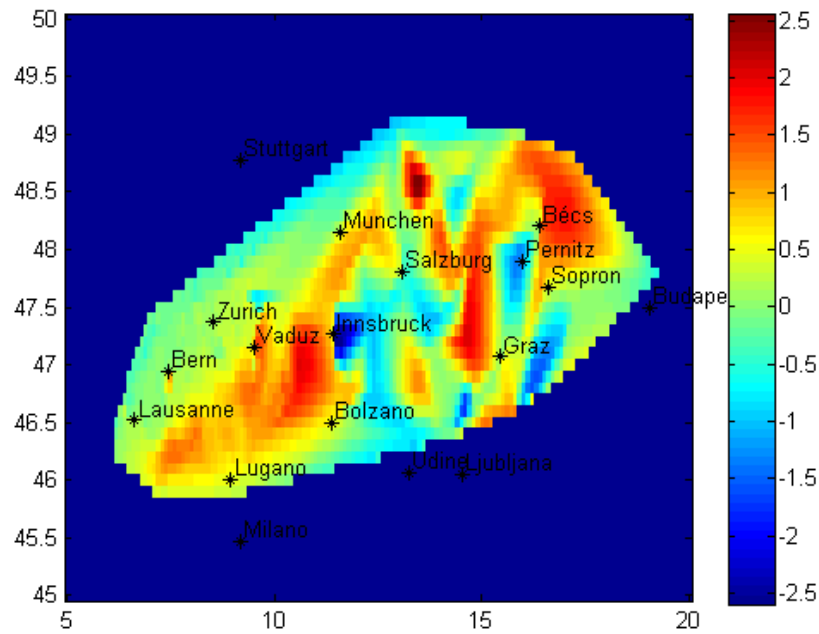
A digitális domborzatmodellt az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) szolgáltatta, melyet az alábbi linkről töltöttem le:

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

Az letöltés során az alábbi beállításokat alkalmaztam:

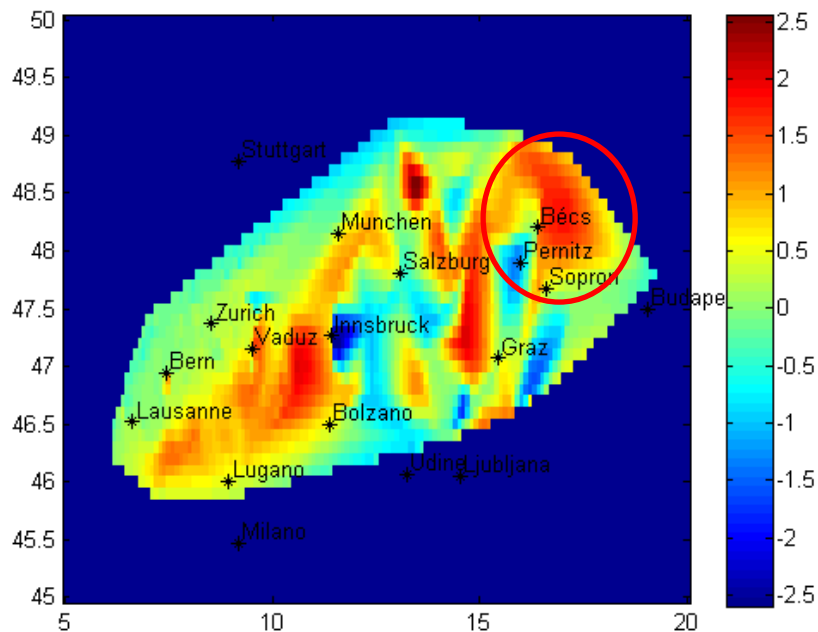
- Szerver: CGIAR-CSI (USA)
- Adat kiválasztásának módja: Input coordinates (Koordináta bevitellel)
- Koordináták megadásának típusa: Decimal degrees
- Földrajzi hosszúság - min: 5 max: 20
- Földrajzi szélesség - min: 45 max: 50
- Fájl formátum: ArcInfo ASCII

Ahhoz, hogy a számítást folytathassuk, meg kellett határoznunk azt a területet, amelyre a vizsgálat vonatkozik. Ezen területen kívül az elmozdulás értékeket zérusnak feltételezzük. Vizsgálati területnek az elmozdulás értékekkel rendelkező pontok által lehatárolt területet fogadtuk el, illetve azokat a területeket, melyeken az interpoláció, illetve az extrapoláció megbízható eredményt szolgáltatott.



9. ábra: Interpolált elmozdulás értékek

A 9. ábrán a jobb vizualizáció érdekében nagyobb városokat megjelenítettük; az interpolált elmozdulás értékek mm/év mértékegységben értendők. Ugyan a tanulmány témája az Alpok emelkedésének lehetséges hatása a nagypontosságú gravimetriai mérésekre, a meglévő adatokból arra lehet következtetni, hogy a Bécsi-medence területén jelentős emelkedés történik, amely szintén hatással lehet a környező obszervatóriumok észleléseire (10. ábra). A lehatárolt terület így szélességi értelemben a $\varphi = 45^\circ$ -tól a $\varphi = 50^\circ$ -ig terjedt, míg hosszúsági értelemben a $\lambda = 5^\circ$ -tól a $\lambda = 20^\circ$ -ig.

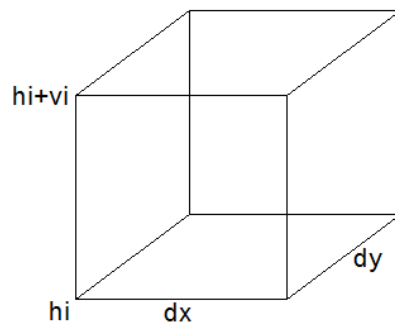


10. ábra: A Bécsi-medence hatása a regisztráló g-mérésekre

5.3.A prizmaelemek kialakítása és a hatásuk számítása egy külső pontba

A prizmaelemek kialakítását és a tényleges számítást egy már meglévő programsor saját programba való beillesztésével végeztük el. A gra3d.m programot Dr. Tóth Gyula, a BME docense készítette, a második fejezetben bemutatott képlet alapján.

A prizmaelemek létrehozásához először meg kellett határozni a felbontást, tehát egy prizmaelem alsó lapjának méreteit. Ez a már említett 0.1° -os rácsméret. A λ irányú felbontást a dy , míg a φ irányú felbontást a dx változó adja meg, amelyekből egy bővebb területre ($\lambda=5^\circ$ - 20° és $\varphi=45^\circ$ - 50° értékek között) meghatároztuk a sarokpontok vízszintes koordinátáit. A DTM-ből előállított ellipszoidi magasságok (h_i) és az elmozdulás értékek (v_i) alapján határoztuk meg az egyes prizma elemek alsó és felső határoló felületeit (11. ábra).



11. ábra: Egy prizmaelem felépítése általánosan

Ezt követően a grav3d.m által írt programmal lehet számítani a prizmaelemek tömegvonzását egy tetszőleges pontban. A futtatáshoz meg kellett adni a prizmaelemek sarokpontjainak koordinátáit, a számítás helyének koordinátáit (esetünkben ez a Conrad Observatórium, illetve Sopronbánfalvi Observatórium közelítő koordinátái), illetve a prizmaelemek sűrűségét. A vizsgálati pontok ellipszoidi földrajzi koordinátáit a Google Térképekről határoztuk meg, sűrűségértékként a földkéreg átlagos sűrűségével, 2670 kg/m^3 -rel számoltunk.

6. Eredmények

A fent említett programrendszerrel három pontba kiszámoltam az előállított 3d prizmamodell gravitációs hatását. Az egyik vizsgálat a Sopronbátfalvi Geodinamikai Obszervatóriumra vonatkozik az ottani relatív regisztráló mérések kapcsán. A másik vizsgálat tárgya Bécs és Pernitz, amely két helyszín között a GRW C025 szupravezető gravimétert áthelyeztek 2007-ben [Meurers, 2012]. A programban az alábbi koordinátákkal adtuk meg a vizsgálati pontokat:

```
% 5) számítás helye
% számítás helye: Sopron
loc=[16.582657,47.68274];
% számítás helye: Pernitz
loc1=[15.960018,47.895053];
% számítás helye: Wien
loc2=[16.470773,48.301795];
```

A koordináták a programrészletben λ, φ sorrendben szerepelnek. A kapott eredmények pedig a következők:

Kapott gravitációs hatás Sopron területén: 0.062302 mikroGal értékű

Kapott gravitációs hatás Pernitz területén: 0.1395 mikroGal értékű

Kapott gravitációs hatás Bécs területén: 0.18124 mikroGal értékű

A kapott értékek azt mutatják, hogy a gravitációs hatás 1 év alatt mennyit változik az adott pontban. Mivel az értékek 0,1-0,01 μGal nagyságrendűek, így a szupravezető graviméterek nGal-os élességgel történő méréseire észlelhető hatással van az Alpok emelkedése. Ha a két helyszín (Bécs és Pernitz) különbségét nézzük, $(181,24 - 139,50 =) 41,74$ nGal eltérés tapasztalható egy év alatt csak az ismert felszínmozgások következtében. Ez pedig azt jelenti, hogy a szupravezető graviméter átköltöztetése következtében az Alpok és a Bécsi medence tömegátrendeződése kimutatható mértékben befolyásolja a graviméter driftjét (műszerjárását).

A Sopronbátfalvi Geodinamikai Obszervatórium helyén az éves változás 62,30 nGal volt, ami az ottani műszerezettség (LCR-graviméter) mérési pontossága mellett (2-5 μGal) rövidtávon nem

befolyásolja a méréseket. A regisztráló graviméter mérési idősorában elviekben az Alpok emelkedése csak 50-100 év alatt érezteti a hatását.

Ki kell hangsúlyozni azonban, hogy ez is egy erősen merész kijelentés, hiszen ez is csak akkor igaz, ha az elmozdulások értékei nem változnak. Ilyen hosszútávra pedig a földtudományokban reálisan extrapolálni nem lehet.

Felhasznált irodalom

- Brockmann, E., Ineichen, D. , Marti, U., Schaer, S., Schlatter, A., Villiger, A., 2012: Determination of Tectonic Movements in the Swiss Alps using GNSS and Levelling, *Kötet: Geodesy for Planet Earth, Proceedings of IAG Symposium in Buenos Aires, IAG Symposia, Vol. 131.*, p. 689-695, 2012
- Kenyeres A, Jámboor T, Caporali, A, Drosčak, B, Garayt, B, Georgiev, I, Jumare, I, Nagl, J, Pihlak, P, Ryczywolski, M, Stangl, G, 2013: Integration of the EPN and the dense national permanent networks, előadás anyag, (link: http://www.euref.eu/symposia/2013Budapest/03-02_Kenyeres_EPNdensvelo.pdf)
- Meurers, B, 2012: Superconducting Gravimeter Calibration by CoLocated Gravity Observations: Results from GWR C025, *International Journal of Geophysics Volume 2012 (2012)*, Article ID 954271, 12 pages (link: <http://www.hindawi.com/journals/ijge/2012/954271/>)
- Nagy D, 1966: The gravitational acceleration of a right rectangular prism, *Geophysics*, 31: 363-371
- Goodacre, A K, 1973: Some comments by the calculation of the gravitational and magnetic attraction of a homogeneous rectangular prism, *Geophysical Prospecting*, 21: 66-70
- Papp G, Szűcs E, Benedek J, 2011: A gravimetriai kutatások újabb eredményei az MTA Geodéziai és eredményei az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetében, előadás anyag (link: http://mta.hu/data/cikk/12/71/67/cikk_127167/3_PappGabor_MTA_110216.pdf)
- Völgyesi L, 2011: Fizikai Geodézia és Gravimetria, Oktatási segédlet M.Sc. kurzus számára, BME (link: http://www.agt.bme.hu/volgyesi/msc_gr_fg/gr-fg_02.pdf)
- Bonatz M. (1966): Ergebnisse der Schwereregistrierungen in der Station Bonn: (1964/1965), Verlag d. Bayer. Akad. d. Wiss., pp. 75
- Goodkind, J. M. (1979): Continuous measurements with the superconducting gravimeter, *Tectonophysics*, 52, p. 99-105.
- Meurers B., Steinhauser P., Zych D (1990): Berechnung der Bougueranomalie im Hochgebirge unter Anwendung eines geologischen Dichtemodells. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 133, 99-109
- Papp G. Szeghy E. Benedek J. (2009): The determination of potential difference by the joint application of measured and synthetical gravity data: a case study in Hungary. *Journal of Geodesy*, 83(6), pp. 509-522. DOI: 10.1007/s00190-008-0257-2

<http://www.fomi.hu/honlap/magyar/szaklap/2006/07/4.pdf>

<http://meip.x5.hu/files/1574>

<http://hu.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

<http://gji.oxfordjournals.org/content/152/2/468.full.pdf>

http://sas2.elte.hu/mg/foldkutatas_v3/11radar3srtm.htm

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Dr. Urs Marti a Swisstopo részéről, hogy rendelkezésünkre bocsátották a kért felsőrendű szintezésből meghatározott vertikális mozgás adatokat. Köszönjük továbbá Dr. Kenyeres Ambrusnak és a FÖMI KGO-nak az osztrák részekre (és azon túl is) számunkra bocsátott adatokat. Végezetül köszönöm Dr. Földvály Lórántnak és Dr. Benedek Juditnak, a téma felvetését, a folyamatos magas szintű szakmai támogatást és a tanulmány ellenőrzését!

Melléklet

Az alábbi melléklet tartalmazza az általam írt programot, mellyel a számításaim végeztem.

```
%
%   TDK számítások
%

% 1) BEOLVASAS
load coast1;
phc=phi;
lac=lam;
%
pth='C:\Users\Peti\Desktop\TDK_2013\program';
f11=['FL_ETRS89.crd'];
f12=['FL_upvel.dat'];
f13=['rcm0406_red_WGS.txt'];
f14=['ITRF.txt'];

% FL_ETRS89.crd
fid=fopen([pth '\\' f11]);
line=fgetl(fid);
line=fgetl(fid);
line=fgetl(fid);
line=fgetl(fid);
j=0;
while line(1)>0;
    j=j+1;
    id(j,1:4)=line(33:36);
    x(j)=str2num(line(39:49));
    y(j)=str2num(line(52:62));
    z(j)=str2num(line(65:75));
    line=fgetl(fid);
end
fclose(fid);
[phi,lam,h]=xyz2blh(x,y,z,'wgs84');

% FL_upvel.dat
fid=fopen([pth '/' f12]);
line=fgetl(fid);
j=0;
while line(1)==' ';
    j=j+1;
    id1(j,1:4)=line(66:69);
    phil(j)=str2num(line(3:7));
    lam1(j)=str2num(line(15:19));
    vel(j)=str2num(line(31:35));
    line=fgetl(fid);
end
fclose(fid);

% rcm0406_red_WGS.txt
fid=fopen([pth '/' f13]);
line=fgetl(fid); line=fgetl(fid); line=fgetl(fid); line=fgetl(fid);
line=fgetl(fid);
line=fgetl(fid); line=fgetl(fid);
```

```

j=0;
while line(1)>0;
    j=j+1;
    id2(j,1:4)=line(102:105);
    phi2(j)=str2num(line(44:56));
    lam2(j)=str2num(line(28:40));
    h2(j)=str2num(line(72:80));
    vel2(j)=str2num(line(85:92));
    line=fgetl(fid);
end
fclose(fid);
[x2,y2,z2]=blh2xyz(phi2,lam2,h2); % convert to ETRF Cartesian

% % Coordinate transformation from ETRF89 to ITRF89 at:
% % http://www.epncb.oma.be/\_productsservices/coord\_trans/
% % Epoch: 2007.01.
% % Input data for that:
% for i=1:length(id2); ind=find(id2(i,:)==' '); if ~isempty(ind);
id2(i,ind)='_'; end; end;
% for i=1:length(id2);
%     qx=length(num2str(x2(i)));
%     qy=length(num2str(y2(i))); DISPLAY
%     qz=length(num2str(z2(i)));
%     if qx==12 & qy==11 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==12 & qy==11 & qz==11;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i)) '0'];
%     elseif qx==11 & qy==11 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '0 ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==12 & qy==10 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) '0 '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==12 & qy==10 & qz==11;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) '0 '
num2str(z2(i)) '0'];
%     elseif qx==11 & qy==11 & qz==11;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '0 ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i)) '0'];
%     elseif qx==11 & qy==10 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '0 ' num2str(y2(i)) '0 '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==11 & qy==10 & qz==11;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '0 ' num2str(y2(i)) '0 '
num2str(z2(i)) '0'];
%     elseif qx==10 & qy==11 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '00 ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==10 & qy==9 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) '00 ' num2str(y2(i)) '00 '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==12 & qy==9 & qz==12;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) '00 '
num2str(z2(i))];
%     elseif qx==12 & qy==11 & qz==10;
%         data(i,:)=[id2(i,:) ' ' num2str(x2(i)) ' ' num2str(y2(i)) ' '
num2str(z2(i)) '00'];
%     end
% end

```

```

% clc
% disp(data)

% rcm0406_ITRF.txt
fid=fopen([pth '\\' fl4]);
line=fgetl(fid);
j=0;
while line(1)>0;
    j=j+1;
    %id3(j,1:4)=line(1:4)
    x3(j)=str2num(line(1:12));
    y3(j)=str2num(line(14:25));
    z3(j)=str2num(line(27:end));
    line=fgetl(fid);
end
fclose(fid);
z3=z2;
[phi3,lam3,h3]=xyz2blh(x3,y3,z3,'wgs84');
%
%if min(min(id2==id3)); disp('Az id2 és az id3 vektorok identikusak');
else; disp('Vigyázat! id2 és id3 eltérő vektorok!'); end
figure; plot(x3-x2); hold on; plot(y3-y2,'r'); plot(z3-z2,'g');
title('ITRS-ETRS eltérő sek'); legend('x','y','z')

% 2) AZONOS VÁLTOZÓK KÖZÖS VEKTORBA RENDELÉSE
I=1; ID='XXXX';
for i=1:length(id1)
    for j=1:length(id)
        ind=(id(j,:)==id1(i,:));
        ind0=[];
        id0=1;
        if sum(ind)==4;
            for k=1:size(ID,1);
                ind0=(ID(k,:)==id(j,:));
                if sum(ind0)==4; id0=0; end
            end
        end
        if (sum(ind)==4&id0);
            ID(I,:)=id(j,:);
            X(I)=x(j); Y(I)=y(j); Z(I)=z(j);
            Phi(I)=phi(j); Lam(I)=lam(j); H(I)=h(j);
            Vel(I)=vel(i);
            I=I+1;
        end
    end
end
end
%
x=[X x3];
y=[Y y3];
z=[Z z3];
phi=[Phi phi3];
lam=[Lam lam3];
h=[H h3];
vel=[Vel vel2];

% 3) MEGJELENITES
figure; hold on; plot(lam,phi,'g*'); plot(lac,phc);
axis([0 25 40 55])
% % DTM-mel együtt

```

```

% load('/home/fl/ubuC/Documents and Settings/Lorant Foldvary/My
Documents/Research/TDK, Diploma/2007 - MÃ©szÃ©ros
PÃ©ter/matlab/etopold.z');
% DTM=reshape(etopold,360,180);
% H = DTM';
% figure; imagesc(H); colorbar
% figure; imagesc(0.5:25.5,55.5:-1:40.5,H(35:50,1:26)); axis xy; colorbar;
hold on;
% plot(lam3,phi3,'*'); plot(lam,phi,'g*'); plot(lac,phc);
figure; hold on; plot3(lam,phi,h,'g*');
XI=[]; YI=[];
dx=5:0.1:20;
dy=45:0.1:50;
for i=1:length(dy); XI(i,:)=dx; end
for i=1:length(dx); YI(:,i)=dy; end
hi=griddata(lam,phi,h,XI,YI,'cubic');
figure; imagesc(dx,dy,hi); colorbar; axis xy;
vi=griddata(lam,phi,vel,XI,YI,'cubic');
figure; imagesc(dx,dy,vi); colorbar; axis xy;
hold on;
plot(16.370773,48.201795,'k*'); text(16.470773,48.301795,'Bécs');
plot(19.032898,47.494937,'k*'); text(19.132898,47.594937,'Budapest');
plot(16.589127,47.677409,'k*'); text(16.689127,47.777409,'Sopron');
plot(15.960018,47.895053,'k*'); text(16.060018,47.995053,'Pernitz');
plot(15.440369,47.070122,'k*'); text(15.540369,47.170122,'Graz');
plot(14.509735,46.050361,'k*'); text(14.609735,46.150361,'Ljubljana');
plot(13.061829,47.805776,'k*'); text(13.161829,47.905776,'Salzburg');
plot(11.408386,47.26432,'k*'); text(11.508386,47.36432,'Innsbruck');
plot(9.516706,47.14875,'k*'); text(9.616706,47.24875,'Vaduz');
plot(8.958435,46.000778,'k*'); text(9.058435,46.100778,'Lugano');
plot(7.447815,46.946512,'k*'); text(7.547815,47.046512,'Bern');
plot(6.64032,46.517296,'k*'); text(6.74032,46.617296,'Lausanne');
plot(8.546448,47.368594,'k*'); text(8.646448,47.468594,'Zurich');
plot(11.370049,46.500756,'k*'); text(11.470049,46.600756,'Bolzano');
plot(9.189148,45.467836,'k*'); text(9.289148,45.567836,'Milano');
plot(13.236694,46.065608,'k*'); text(13.336694,46.165608,'Udine');
plot(9.183655,48.774293,'k*'); text(9.283655,48.874293,'Stuttgart');
plot(11.573181,48.151428,'k*'); text(11.673181,48.251428,'Munchen');
% szintvonalas megjelenítés
figure; [c,h] = contour(dx,dy,vi,[-2:2]); clabel(c,h); hold on;
plot(16.370773,48.201795,'k*'); text(16.470773,48.301795,'Bécs');
plot(19.032898,47.494937,'k*'); text(19.132898,47.594937,'Budapest');
plot(16.589127,47.677409,'k*'); text(16.689127,47.777409,'Sopron');
plot(15.440369,47.070122,'k*'); text(15.540369,47.170122,'Graz');
plot(14.509735,46.050361,'k*'); text(14.609735,46.150361,'Ljubljana');
plot(13.061829,47.805776,'k*'); text(13.161829,47.905776,'Salzburg');
plot(11.408386,47.26432,'k*'); text(11.508386,47.36432,'Innsbruck');
plot(9.516706,47.14875,'k*'); text(9.616706,47.24875,'Vaduz');
plot(8.958435,46.000778,'k*'); text(9.058435,46.100778,'Lugano');
plot(7.447815,46.946512,'k*'); text(7.547815,47.046512,'Bern');
plot(6.64032,46.517296,'k*'); text(6.74032,46.617296,'Lausanne');
plot(8.546448,47.368594,'k*'); text(8.646448,47.468594,'Zurich');
plot(11.370049,46.500756,'k*'); text(11.470049,46.600756,'Bolzano');
plot(9.189148,45.467836,'k*'); text(9.289148,45.567836,'Milano');
plot(13.236694,46.065608,'k*'); text(13.336694,46.165608,'Udine');
plot(9.183655,48.774293,'k*'); text(9.283655,48.874293,'Stuttgart');
plot(11.573181,48.151428,'k*'); text(11.673181,48.251428,'Munchen');

% 4) DTM
% 4b) DTM betöltése: SRTM
if 0;

```

```

%load srtm_37_03.asc
load SRTM/srtm_38_03.asc
load SRTM/srtm_39_03.asc
load SRTM/srtm_40_03.asc
srtm=[srtm_38_03 srtm_39_03(:,2:end) srtm_40_03(:,2:end)];
[i,j]=find(srtm==-9999); for k=1:length(i); srtm(i(k),j(k))=0; end
%figure; imagesc(5:20,45:50,srtm); colorbar
dz=interp2(5:1/1200:20,45:1/1200:50,srtm,XI,YI);
end
load('C:\Users\Peti\Desktop\TDK_2013\program\srtm.mat')
figure; imagesc(5:20,45:50,dz); colorbar
% 4c) interpolált DTM: hi, interpolált sebesség: vi
if 0;
    dz=hi;
end

% 5) számítás helye
% számítás helye: Sopron
loc=[16.582657,47.68274];
% számítás helye: Pernitz
loc1=[15.960018,47.895053];
% számítás helye: Wien
loc2=[16.470773,48.301795];

% Magasság meghatározása
[i,j]=find((XI-loc(1)).^2+(YI-loc(2)).^2==min(min((XI-loc(1)).^2+(YI-loc(2)).^2)));
loc(3)=dz(i,j)+vi(i,j)/1000;

% 6) A GRAVITÁCIÓS HATÁS SZÁMÍTÁSA AZ ADEKVÁT PRIZMA KÉPLETÉVEL
res=mean([diff(dx),diff(dy)]);
dx2=res/2;
g=[];
for i=1:size(dz,1)
    for j=1:size(dz,2)
        if ~isnan(vi(i,j))
            Face = zeros(6,5);
            Face(:,1) = 4; % 4 vertices for each face
            % anticlockwise from outside on each face
            Face(:,2:5) = [1,2,3,4; 1,5,6,2; 1,4,8,5; 4,3,7,8; 3,2,6,7;
5,8,7,6];
            %
            Corner(1,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(2,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(3,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(4,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(5,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(6,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(7,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            Corner(8,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            %
            [V,Gx,Gy,Gz] = grav3d(Corner,Face,loc(2),loc(1),loc(3));
            %,rho);
            %gr(i)=sqrt(Gx.^2+Gy.^2+Gz.^2);
            %pot(i)=V;
            g=[g;Gx,Gy,Gz];
        end
    end
end
end
%
sg=sqrt(sum(sum(g).^2)); % eredmény mikroGalban értendő.

```

```

%clc
disp(' ');
disp(['Kapott gravitációs hatás Sopron területén: ' num2str(sg) ' mikroGal
értékű']);
disp(' ');

% Magasság meghatározása
[i,j]=find((XI-loc1(1)).^2+(YI-loc1(2)).^2==min(min((XI-loc1(1)).^2+(YI-
loc1(2)).^2)));
loc1(3)=dz(i,j)+vi(i,j)/1000;

% 6) A GRAVITÁCIÓS HATÁS SZÁMÍTÁSA AZ ADEKVÁT PRIZMA KÉPLETÉVEL
res=mean([diff(dx),diff(dy)]);
dx2=res/2;
g=[];
for i=1:size(dz,1)
    for j=1:size(dz,2)
        if ~isnan(vi(i,j))
            Face = zeros(6,5);
            Face(:,1) = 4; % 4 vertices for each face
            % anticlockwise from outside on each face
            Face(:,2:5) = [1,2,3,4; 1,5,6,2; 1,4,8,5; 4,3,7,8; 3,2,6,7;
5,8,7,6];
            %
            Corner(1,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(2,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(3,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(4,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(5,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(6,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(7,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            Corner(8,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            %
            [V,Gx,Gy,Gz] = grav3d(Corner,Face,loc1(2),loc1(1),loc1(3));
%,rho);
            %gr(i)=sqrt(Gx.^2+Gy.^2+Gz.^2);
            %pot(i)=V;
            g=[g;Gx,Gy,Gz];
        end
    end
end
%
sg=sqrt(sum(sum(g).^2)); % eredmÁony mikroGalban ÁrtendÍ\'.
%clc
disp(' ');
disp(['Kapott gravitációs hatás Pernitz területén: ' num2str(sg) ' mikroGal
értékű']);
disp(' ');

% Magasság meghatározása
[i,j]=find((XI-loc2(1)).^2+(YI-loc2(2)).^2==min(min((XI-loc2(1)).^2+(YI-
loc2(2)).^2)));
loc2(3)=dz(i,j)+vi(i,j)/1000;

```

```

% 6) A GRAVITÁCIÓS HATÁS SZÁMÍTÁSA AZ ADEKVÁT PRIZMA KÉPLETÉVEL
res=mean([diff(dx),diff(dy)]);
dx2=res/2;
g=[];
for i=1:size(dz,1)
    for j=1:size(dz,2)
        if ~isnan(vi(i,j))
            Face = zeros(6,5);
            Face(:,1) = 4; % 4 vertices for each face
            % anticlockwise from outside on each face
            Face(:,2:5) = [1,2,3,4; 1,5,6,2; 1,4,8,5; 4,3,7,8; 3,2,6,7;
5,8,7,6];
            %
            Corner(1,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(2,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(3,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(4,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)+vi(i,j)/1000];
            Corner(5,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(6,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)+dx2,dz(i,j)];
            Corner(7,:)=[XI(i,j)-dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            Corner(8,:)=[XI(i,j)+dx2,YI(i,j)-dx2,dz(i,j)];
            %
            [V,Gx,Gy,Gz] = grav3d(Corner,Face,loc2(2),loc2(1),loc2(3));
            %,rho);
            %gr(i)=sqrt(Gx.^2+Gy.^2+Gz.^2);
            %pot(i)=V;
            g=[g;Gx,Gy,Gz];
        end
    end
end
%
sg=sqrt(sum(sum(g).^2)); % eredmény mikroGalban értendő\
%clc
disp(' ');
disp(['Kapott gravitációs hatás Bécs területén: ' num2str(sg) ' mikroGal
értékű'])
disp(' ');

```