Centiméter pontos EOV átszámítás szabadon

TAKÁCS Bence[1], SIKI Zoltán[1]

[1]Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

E-mail: takacs.bence@emk.bme.hu

DOI: 10.30921/GK.77.2025.2.1

Absztrakt

Számos térinformatikai szoftver a vetületi átszámításokhoz a nyílt forráskódú PROJ programot használja. Sokáig a PROJ programban az Egységes Országos Vetület (EOV) koordinátáinak számításához szükséges, az European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) és a Hungarian Datum 1972 (HD72) vonatkoztatási rendszerek közötti transzformációhoz alapértelemezetten országosan egységes paraméterkészlettel végzett térbeli hasonlósági transzformációt alkalmaztunk, amely jellemzően deciméter pontos. Néhány centiméteres pontossági igény esetén a transzformáció a VITEL 2014 (Valós Idejű Transzformációs ELjárás) néven ismert módszerrel és a hozzá tartozó javító rácshálóval pontosítható, mely térítés ellenében szerezhető be. Még 2014-ben létrehoztuk és publikáltuk a VITEL 2014 eljárással praktikusan azonos eredményt biztosító vízszintes és magassági javító rácshálókat, amelyek a PROJ programba beilleszthetők. Az elmúlt hónapokban a javító rácshálókon kisebb formai átalakítást végeztünk, majd a szükséges adminisztratív folyamaton keresztül a javító rácshálókat CC-BY licensszel nyilvánossá tettük a PROJ adatkönyvtárában (PROJ-data). A PROJ szoftver 9.5.1 és adatkönyvtárának 1.20 változatai, illetve az ezeket alkalmazó térinformatikai szoftverek (pl. a QGIS 3.40.3) már a javító rácshálóink alapján, néhány centiméteres pontossággal végzik az ETRS89 és HD72 közötti transzformációt.

Abstract

Most geospatial software uses the open-source PROJ for transformation between different map projections. For a long time, to calculate Hungarian EOV (Uniform National Projection system of Hungary) coordinates of the national map projection, the necessary transformation between the Hungarian Datum 1972 (HD72) and the European Terrestrial Reference System 1989 could have been completed using a single parameter set of similarity transformation, which can be characterized by pure, decimetre accuracy. Centimetre-accurate transformation is achievable by applying the VITEL 2014 procedure and their grid shift files; however, VITEL 2014 is not freely available. In 2014, we developed and published our VITEL-like, PROJ-compatible grid shift files, having practically the same results. Over the recent months, we made some minor and formal updates to our grid shift files. After completing the necessary administrative procedures, our files were published in the PROJ-data repository with a CC-BY license. GIS software applying PROJ v9.5.1 and the PROJ-data v1.20 or higher, like QGIS 3.40.3, computes Hungarian EOV coordinates with centimetre-accurate datum transformation.

1. Bevezetés

Az Országos GPS Hálózatot az állami földmérés 1995 és 1997 között hozta létre. A hálózat 1166 pontból áll, a pontokat az Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózat (EOVA) pontjai közül választották ki, és három kampány keretében határozták meg a pontok koordinátáit GPS-technikával, az ETRS89 rendszerben. A GPS-koordináták hibája nem haladja meg a 2 centimétert (Borza 1998). A pontokat kezdetben gyors statikus, majd RTK-mérések saját bázisaként használtuk. Ma saját bázisú méréseket csak speciális feladatokhoz használunk, de ma is az OGPSH pontok alapján transzformáljuk a GNSS technikával meghatározott koordinátákat a HD72 forgási ellipszoidjára és számítjuk a pontok EOV vetületi koordinátáit, illetve Balti magasságait.

Az ETRS89 és HD72 rendszerek közötti országosan egységes paraméterekkel végzett transzformáció sajnos csak deciméter pontos, elsősorban a hagyományos geodéziai alapponthálózatok kerethibái miatt (Virág 1995, Timár-Molnár 2002). Több kísérlet is történt a pontosság fokozására a transzformáció matematikai modelljének finomításával, pl. affin transzformációk vagy neurális hálózatokon alapuló transzformációk alapján, de a gyakorlatban megkívánt néhány centiméteres pontosságot így sem sikerült elérni (Barsi 1999, Zaletnyik et. al. 2004).

Az EOV támogatása viszonylag későn jelent meg a térinformatikai szoftverekben Ezt elsősorban az indokolta, hogy a kettős vetítést alkalmazó, a szakirodalomban a ferdetengelyű hengervetületek, pl.: Swiss Oblique Mercator (somerc) közé tartozó vetületünk kevésbé elterjedt, Európában csak Svájcban és Magyarországon alkalmazzák, és a matematikai összefüggései is összetettebbek. A gyakorlatban az EOV vetület közelíthető Hotine-féle ferdetengelyű hengervetülettel (Oblique

Mercator, omerc) is. A kétféle megoldás hibája az ország területén elhanyagolható (Tóth 2022).

A mérnöki gyakorlatban szükséges néhány centiméter pontos transzformáció megvalósítható lokális transzformációval, amikor a transzformációhoz az azonos pontokat a közeli OGPSH pontok közül választjuk ki (Ádám et. al. 2004). Az eljárás hátrányának tekinthető, hogy a közeli pontok kiválasztása nem egyértelmű, illetve a transzformáció paraméterei függenek az azonos pontok kiválasztásától. Szélsőséges esetben ez azt is jelenti, hogy két közeli pont transzformációja különböző azonos pontok alapján a transzformáció néhány centiméteres hibája miatt pontonként eltérő is lehet, így maga a transzformáció torzíthatja a két közeli pont távolságát és magasságkülönbségét. A gyakorlatban ma már sokkal jobban elterjedt második módszer szerint az országosan egységes transzformációval végzett átszámítás hibáit javító rácsháló alapján vesszük figyelembe. A javító rácshálókat igen gyakran NTv2 (National Transformation version 2) formátumban teszik közzé. A formátumot a Kanadai Geodéziai Szolgálat dolgozta ki, melyet később több ország is átvett. A Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumban (KGO) kidolgozott, VITEL (Valós Idejű Transzformációs Eljárás) néven ismert eljárást alkalmazzuk Magyarországon a geodéziai GNSS-vevőkben és a GNSS-mérések utófeldolgozását végző szoftverekben (Virág-Borza, 2007). A VITEL javító rácshálóknak több változatát is publikálták már, az utolsót 2014-ben (Fábián et. al. 2014). A VITEL eljáráshoz szükséges javító rácshálókat a Lechner Tudásközpont térítés ellenében biztosítja, a hazai geodéziában elterjedt GNSS-vevők, feldolgozó szoftverek, térinformatikai és CAD szoftverek által támogatott formátumokban.

A nyílt forráskódú PROJ a térinformatikai szoftverekben általánosan használt programkönyvtár, amellyel koordináták számíthatók át különböző térbeli referenciarendszerek között. A program számos transzformációt, vetületi számítást, konverziókat és dátum transzformációkat támogat. A PROJ adatkönyvtárán keresztül nagyon sok ország térképészeti hivatala vagy más szervezete publikálta már a nemzeti vetületi rendszerekbe történő átszámításokhoz szükséges javító rácshálóit. A publikált javítórácshálók automatikusan beépülnek a PROJ programot használó térinformatikai rendszerekbe, pl. a népszerű QGIS szoftverbe is. A PROJ programot használja számos térinformatikai segédprogram is (pl. gdal), amelyekkel különböző állományok, mint pl. adatbázisok, vektoros és raszteres állományok transzformálhatók.

Még 2014-ben elkészítettük és publikáltuk github oldalukon (https://github.com/OSGeoLabBp/eov2etrs) a VITEL 2014 eljárással lényegében azonos eredményt adó javító rácshálóinkat a PROJ program által támogatott formátumokban (Takács-Siki 2017). A javító rácshálóink alapján készítettünk egy webes felületen elérhető átszámító alkalmazást is (http://www.agt.bme.hu/on_line/etrs2eov/), amely a PROJ program cs2cs segédprogramját használja. A javító rácshálóinkat azonban kisebb formai átalakítások után, csak 2024-ben töltöttük fel a PROJ adatkönyvtárába (https://github.com/OSGeo/PROJ-data/tree/master/hu_bme).

Az EPSG adatbázisa geodéziai dátumokat, vonatkoztatási rendszereket, forgási ellipszoidokat, koordináta-transzformációkat és vetületeket tartalmazó, általánosan használt nyilvántartás, amelyet az European Petroleum Survey Group egyik tagja hozott létre 1985-ben. Magyar felhasználók bizonyára fejből tudják a 23700 EPSG kódot, amely a HD72 geodéziai dátum EOV vetületét tartalmazza. A BME-n kidolgozott javító rácsháló alkalmazásához további transzformációkat (1. táblázat) és összetett (Compound) rendszereket is regisztráltunk az EPSSG adatbázisába, bővebben: https://epsg.org.

1. Táblázat Transzformációk forrás- és cél rendszerének EPSG kódjai

transzformáció	forrás rendszer	cél rendszer
10666	7931	5787
10667	7931	10659
10668	9067	4237

ahol

- 4237: HD72 2D vonatkoztatási rendszer,
- 5787: EOMA 1980 magassági rendszer,
- 7931: az ETRS89 rendszer ETRF2000 realizációja, 3D rendszer,
- 9067: az ETRS89 rendszer ETRF2000 realizációja, 2D rendszer,
- 10659: összetett koordináta-rendszer, amely a 9067 és 5789 EPSG kódú rendszerekből áll.

2. Módszertan

A javító rácshálóval az országosan egységes paraméterkészlettel végzett transzformáció hibáit vesszük figyelembe. A rácsháló létrehozásának alapvető módszere, hogy a javítórács pontjait az egyik irányba átszámítjuk országosan egységes paraméterkészlettel, majd a vissza irányba az átszámítást lokális transzformációval végezzük. A kiinduló és a végeredményként kapott koordináták eltérései lesznek a javítási értékek. A gyakorlatban léteznek ellipszoidi és vetületi javítórácsok. Előbbi esetében egy forgási ellipszoidon földrajzi koordinátákkal-, míg utóbbi esetén a vetületen sík koordinátákkal hozzuk létre az adott térközű rácshálót.

Az ellipszoidi javítórács alkalmazása esetén nincs külön szükség az országos paraméterek ismeretére. A javítások közvetve elvégzik a forrás és cél rendszerek közötti transzformációt, amelyet követően a vetületi egyenletek segítségével kaphatunk pontos sík koordinátákat.

Vetületi javítórács esetén a forrás és a cél rendszerek között előbb országos paraméterekkel transzformált földrajzi koordinátákból a vetületi egyenletekkel vetületi koordinátákat számítunk, majd ezeket a sík koordinátákat javítjuk.

Magassági értelemben mindkét módszer esetén szükséges egy geoidmodell, amely a rácspontokban az ellipszoid és a tengerszint feletti magasságok különbségét tartalmazza.

A korrekciók a rácspontok között, tetszőleges pontban bilineáris transzformációval számíthatók, amelynek egyenlete a következő:

$$f(x,y) = \sum_{i=0}^{1}\sum_{j=0}^{1} T_{ij} \cdot f(x_i, y_j) \qquad (1)$$

ahol

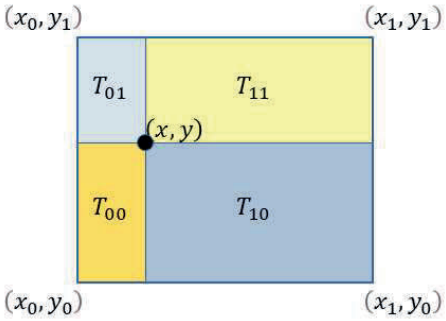
$$T_{00} = (x - x_0) \cdot (y - y_0)$$

$$T_{01} = (x - x_0) \cdot (y_1 - y)$$

$$T_{10} = (x_1 - x) \cdot (y - y_0)$$

$$T_{11} = (x_1 - x) \cdot (y_1 - y)$$

A képletben szereplő mennyiségek magyarázata az 1. ábrán látható.



1. ábra Bilineáris transzformáció

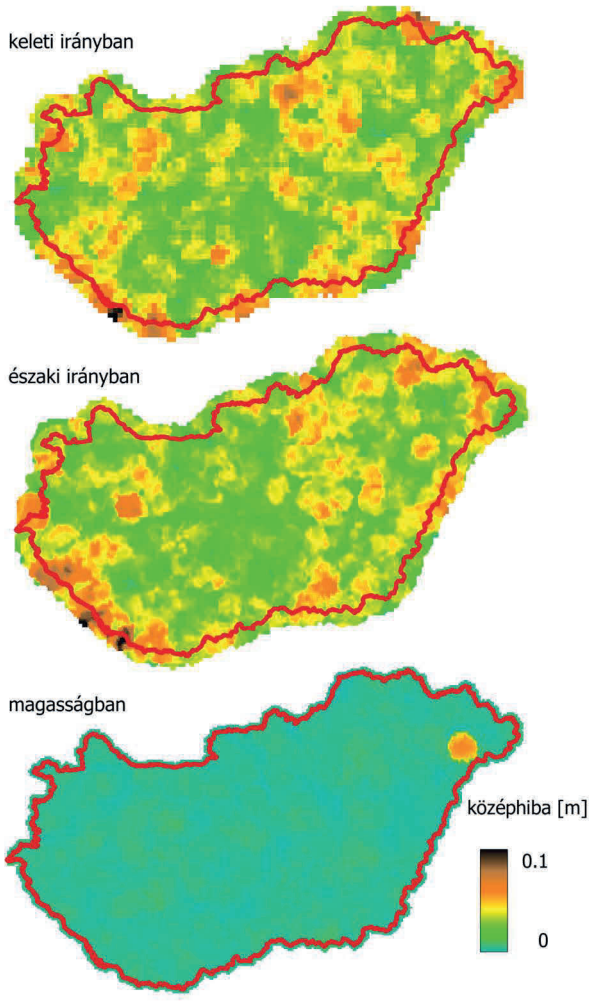
3. Adatok bemutatása

A VITEL 2014 eljáráshoz mind az ellipszoidi, mind a vetületi javítórácsok rendelkezésre állnak, a tapasztalatok szerint a két módszerrel végzett számítások azonos eredményre vezetnek. A VITEL 2014 eljárásban a javítórácsok felbontása ellipszoidi javítórács esetén a szélességben 60”, a hosszúságban 90”, azaz mintegy 1,8 km mindkét irányban. A vetületi javítórács esetén a felbontás mindkét irányban 2 km.

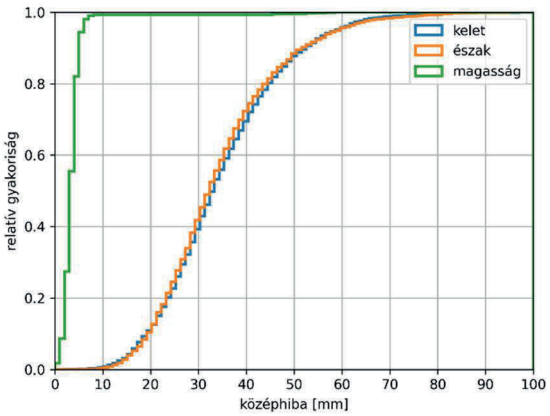
A BME-n ellipszoidi javítórácsokat vezettünk le. Ehhez a rácsháló pontjait az ETRS89 rendszerhez tartozó forgási ellipszoidon vettük fel. Mivel ellipszoidi javítórács esetén térbeli hasonlósági transzformáció nem szükséges, így a javítórács a dátumtranszformáció és a kerethiba hatását egyben veszi figyelembe. A HD72-re történő átszámításhoz használt térbeli hasonlósági transzformáció több paraméterkészlete is ismert a szakirodalomból (pl. Timár-Molnár, 2002). Ezért is döntöttünk az ellipszoidi javítórács mellett, hiszen kevesebb félreértésre adhat okot, ha egyiket sem használjuk. Ezután a vetületi egyenletek segítségével EOV vetületi koordinátákat számítottunk, majd a rácspontok EOV vetületi koordinátáit, lokális transzformációval, a Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumban fejlesztett és ingyenesen használható EHT^2 v4.1 szoftverrel visszaszámoltuk ETRS89 rendszerbe, eredményül földrajzi koordinátákat kaptunk. A szoftver a lokális transzformációhoz az azonos pontokat az OGPSH közeli pontjaiból választja ki. Az eredeti és a lokális transzformációval kapott földrajzi koordináták különbségei a rácspontokban értelmezett korrekciók. A magassági javítórács levezetéséhez a rácspontok földrajzi koordinátáit EHT 2014 v.1 szoftverrel számítottuk át, eredményül kaptuk a rácspontok tengerszint feletti magasságát. Az ellipszoidi és a tengerszint feletti magasságok különbségei, a geoidmagasságok, egyben a javítások is.

A BME-n kidolgozott vízszintes javító rácsháló felbontása 100 szögmásodperc, ami földrajzi szélességben kb. 3 km, földrajzi hosszúságban kb. 2 km. A magassági rácsháló felbontása kb. 2 km, mind a földrajzi szélességben, mind a földrajzi hosszúságban.

Ismert, hogy a lokális hasonlósági transzformáció sem hibátlan (Busics 2005). A rácspontok EHT^2 v4.1 szoftverrel végzett transzformációja során elmentettük a lokális transzformáció maradék ellentmondásaiból számított középhibákat, amelyek eloszlását a 2. és 3. ábrán mutatjuk be. A középhibák vízszintes értelemben helyenként, bár az ország határán kívül, elérik a 100 mm-t.



2. ábra EHT^2 szoftverrel végzett lokális transzformáció vízszintes értelmű középhibái



3. ábra EHT[2] szoftverrel végzett lokális transzformáció vízszintes értelmű középhibáinak tapasztalati sűrűségfüggvénye

Az EHT[2] v4.1 szoftver által kiadott transzformációs jegyzőkönyvben (4. ábra) a maradék ellentmondások és a becsült középhibák alapján a felhasználók információt kaptak a pontosságra vonatkozóan, jóllehet a napi gyakorlatban előforduló feladatok többségénél a lokális transzformációk hibája elhanyagolható. A javító rácshálók alapján végzett transzformáció sem pontosabb, ugyanakkor a pontosságra vonatkozó információ a gyakorlatban alkalmazott megoldásoknál már nem érhető el, még az irodában, utólag végzett számítások esetén, pl. a napjainkban alkalmazott EHT 2.0 webes felületen sem (https://eht2.gnssnet.hu/).

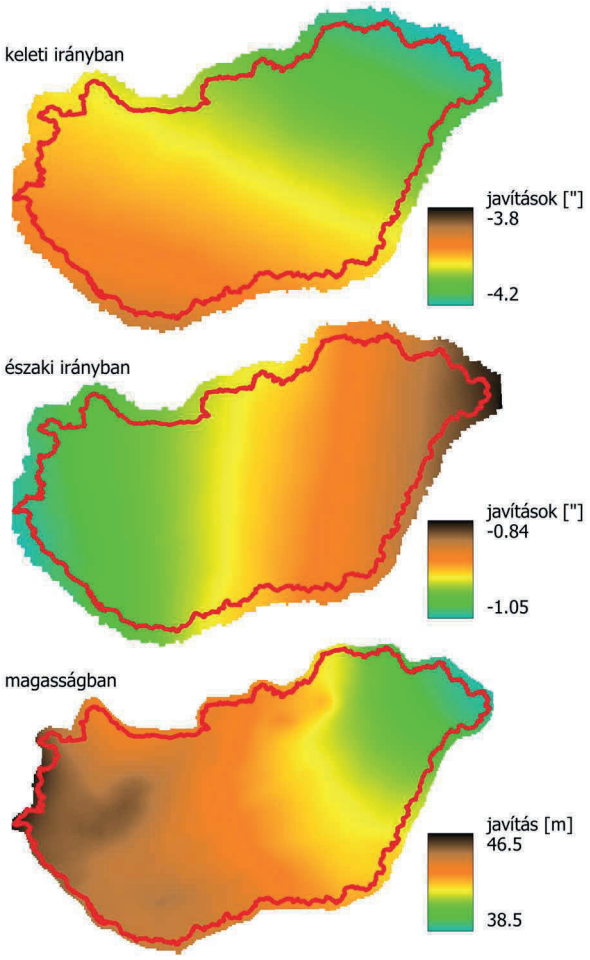
```
_____________________________________________________________
          Földmérési és Távérzékelési Intézet
EEHHTT 4.1 ETRS89 EOV HIVATALOS HELYI TÉRBELI TRANSZFORMÁCIÓ
            OGPSH 2007 (ETRS89) ------> EOV
Az átszámítandó pont koordinátái az OGPSH2007 rendszerben:
 Pont        FI             LA                 he
1       47.0000000000   19.0000000000       150.0000
 Pont        X              Y                  Z
1       4120371.4021   1418757.6508       4641874.4919

 A transzformació maradék ellentmondásai (EOV)
 Pont         dy             dx              dH
45-1230      0.003          0.002          -0.001
45-2324      0.015          0.025          -0.002
45-1011A    -0.023         -0.014          -0.002
45-1402      0.007          0.008           0.000
55-4336      0.034         -0.028          -0.006
55-3416      0.004         -0.009           0.005
45-1001     -0.031          0.000           0.001
45-2321     -0.009          0.017           0.004
_____________________________________________________________
Középhiba:  0.027          0.022           0.005

Az átszámított pont koordinátái EOV rendszerben:

 Pont        y              x                  H
1       646390.870      183979.357          106.468
_____________________________________________________________
```

4. ábra EHT[2] v 4.1 szoftverrel végzett transzformáció (szerkesztett) jegyzőkönyve (példa)

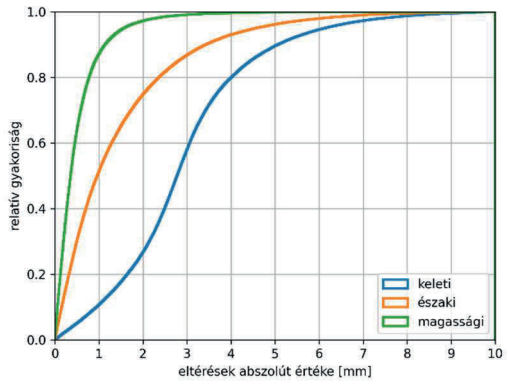
4. Eredmények ismertetése

A BME-n kidolgozott javító rácshálókat az 5. ábrán jelenítjük meg. A korrekciók keleti irányban -4,2” (~88,0m) és -3,9” (~81,8m), északi irányban -1,05” (30,8m) és -0,84” (24,6m) között változnak, magassági értelemben a javítások, azaz a geoidmagasságok 38,5 és 46,5 méter közöttiek (Biró, et. al. 2013).

A javító rácshálók ellenőrzése céljából felvettünk egy 1×1 km sűrűségű rácshálót, amelynek pontjai nem azonosak sem a VITEL 2014 rácshálók, sem a BME-n kidolgozott javító rácshálók pontjaival. A rácspontokat átszámítottuk mindkét eljárással EOV vetültre és Balti magasságra, és elemeztük a két eljárással kapott eredmények eltéréseit (6. ábra).



5. ábra A BME-n kidolgozott javító rácshálók



6. ábra A VITEL 2014 eljárással és a BME-n kidolgozott javító rácshálókkal végzett átszámítások eltérései

Az eltérések vízszintes értelemben 99,4%-ban, magassági értelemben 100%-ban 10 mm alattiak. A legnagyobb eltérés a keleti koordinátákban 29mm, az északi koordinátákban 26mm, a magasságokban 11mm. Ez alapján kijelenthető, hogy a BME-n kidolgozott javító rácshálókkal praktikusan azonos eredmények érhetők el, mint VITEL 2014 eljárással.

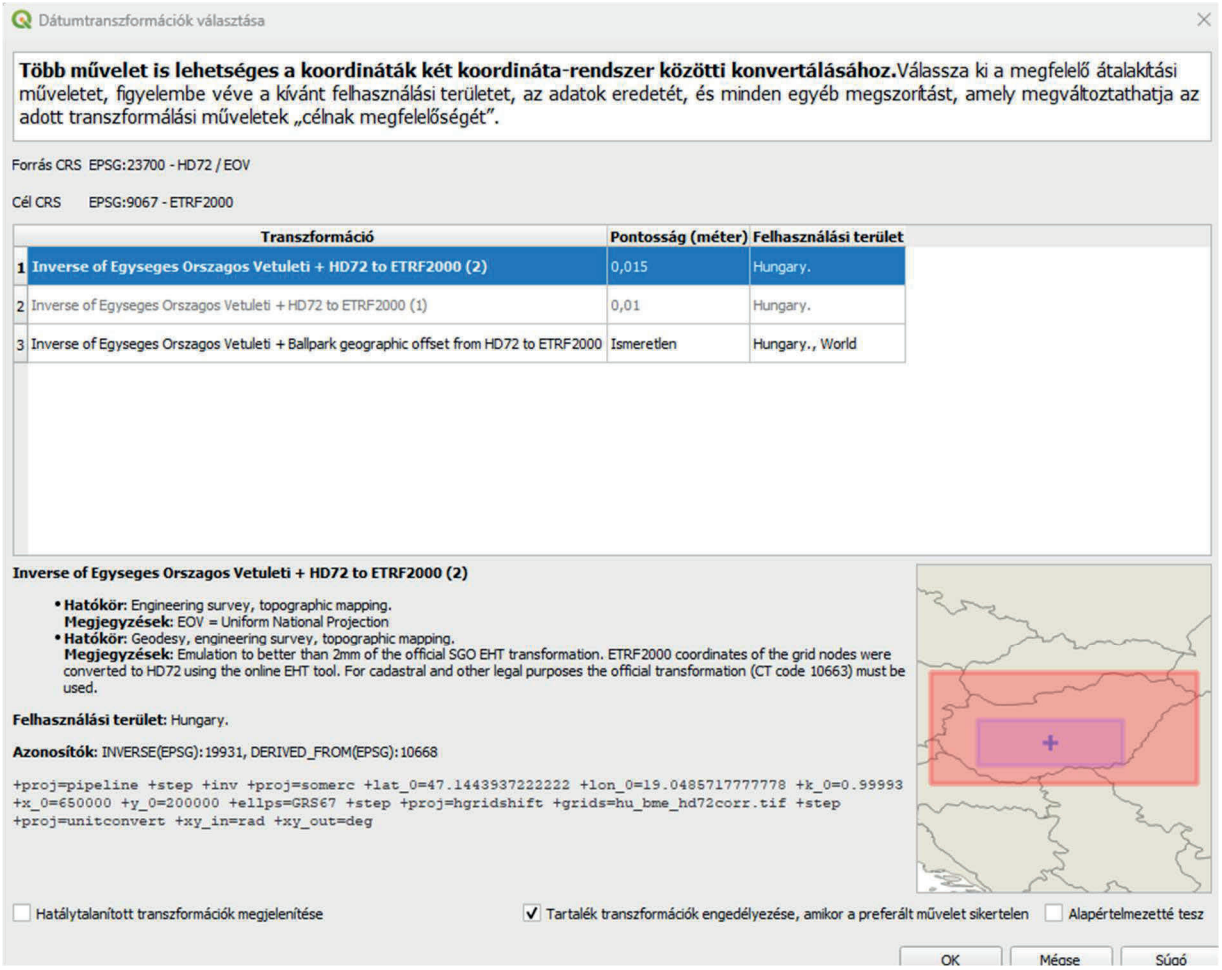
A térinformatikai szoftverekben, pl. a QGIS-ben, érdemes a 10660 EPSG kódú összetett vonatkoztatási rendszert beállítani, amely a 23700 és az 5787 EPSG kódú rendszerekből áll, azaz a HD72 geodéziai dátum EOV vetületét és az EOMA 1980 magassági rendszerét tartalmazza. A koordináta-rendszerek közötti transzformációhoz a 10668 EPSG kódú transzformációt használja, amelyek alapértelmezetten tartalmazza a BME-n kidolgozott javító rácshálót (7. ábra).

```
+proj=pipeline +step +proj=axisswap
+order=2,1 +step +proj=unitconvert
+xy_in=deg +xy_out=rad +step
+proj=hgridshift +grids=hu_bme_hd72corr.tif
+step +proj=unitconvert +xy_in=rad
+xy_out=deg +step +proj=axisswap +order=2,1
```

7. ábra A 10668 EPSG kódú, ETRF2000 és HD72 közötti vízszintes transzformáció definíciója PROJ.4 formátumban, amely tartalmazza a BME-n kidolgozott javító rácshálót

A már megszokott 23700 EPSG kód esetén a szoftver az első alkalmazáskor rákérdez, hogy melyik transzformációt alkalmazza, tekintettel arra, hogy több is elérhető. A centiméteres pontosság érdekében válasszuk a 10668 EPSG kódú transzformációt (8. ábra).

A PROJ cs2cs segédprogramjával parancssorban számíthatjuk át pl. az ETRS89 rendszer ETRF2000 realizációjában (az OGSPH



8. ábra A 10668 EPSG kódú transzformáció kiválasztása QGIS-ben

```
C:\OSGeo4W>cs2cs -f "%.3f" +init=epsg:7931
+to +init=epsg:10660
19.0000000000 47.0000000000 150.000
646390.870      183979.358 106.470
```

9. ábra Átszámítás centiméter pontosan parancssori alkalmazásban

és egyben a gnssnet.hu vonatkoztatási rendszerében) adott földrajzi koordinátáinkat EOV vetületre, illetve Balti magasságra (9. ábra).

5. Összefoglalás

A BME-n kidolgozott, a VITEL 2014 eljárással praktikusan azonos eredményt adó javítórácsokat CC BY 4.0 licenc alatt tettük közzé. Mint minden kreatív közös licenc lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy felhasználják, terjesszék, átalakítsák a javítórácsokat bármilyen formátumban vagy médiumban, feltéve, hogy megnevezik a szerzőket. A licenc lehetővé teszi a kereskedelmi célú felhasználást is.

Ez a licenc és az EPSG regisztráció tette lehetővé, hogy a PROJ-data csomagba bekerüljön a javítórácsunk, és így a nyílt forráskódú térinformatikai szoftverek többségébe is (mint például QGIS, GRASS, MapServer stb.), amelyek a PROJ program könyvtárat használják a referencia rendszerek közötti transzformációra. A BME-n kidolgozott javító rácshálókkal praktikusan azonos eredmények érhetők el, mint a VITEL 2014 eljárással.

Irodalomjegyzék

Ádám, József – Bányai, László – Borza, Tibor – Busics, György – Kenyeres, Ambrus – Krauter, András – Takács, Bence 2004. Műholdas helymeghatározás. Budapest, Műegyetemi Kiadó.

Biró, Péter – Ádám, József – Völgyesi, Lajos – Tóth, Gyula 2013. A felsőgeodézia elmélete és gyakorlata. Budapest, HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft.

Barsi, Árpád 1999. Koordináta-transzformáció megoldása neurális hálózattal. *Geodézia és Kartográfia*, 51(10), 12-18.

Borza, Tibor 1998. Elkészült az országos GPS-hálózat. *Geodézia és Kartográfia*, 50(1), 13-18.

Busics, György 2005. Az ETRS89 és a HD72 rendszerek közötti térbeli hasonlósági transzformáció néhány gyakorlati kérdése. *Geodézia és Kartográfia*, 57(5), 14-19.

Fábián, András – Kenyeres, Ambrus - Virág Gábor 2014. Az EHT és a VITEL fejlesztése. GISOPEN 2014, Székesfehérvár 2014. április 17.

Takács, Bence, Siki Zoltán 2017. Centiméter pontosságú ETRS89-EOV/Balti átszámítás nyílt forráskódú környezetben. In: Balázs, B (szerk.) Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII. = Theory meets practice in GIS. Debreceni Egyetemi Kiadó, 355-362.

Timár, Gábor – Molnár, Gábor 2002. A HD72-ETRS89 transzformáció szabványosítási problémái. *Geodézia és Kartográfia*, 54(12), 28-30.

Tóth, Sándor 2022. Az EOV vetületi egyenletében szereplő k1 állandó helyes értéke. *Geodézia és Kartográfia*, 74(5), 20-26. https://doi.org/10.30921/GK.74.2022.5.3

Virág, Gábor 1999. Az Egységes Országos Vízszintes Alaphálózat vizsgálata az OGPSH tükrében. *Geodézia és Kartográfia*, 51(5), 22-26.

Virág G. – Borza, T. 2007: Speciális transzformációs eljárások a valós idejű GNSS helymeghatározásnál. Geomatikai közlemények X, 59-65

Zaletnyik, P – Völgyesi, L – Paláncz B 2004. Approach of the Hungarian geoid surface with sequence of neural networks. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (2002-)* 35(B8), 119-122.