

XXVI. REÁL- ÉS HUMÁNTUDOMÁNYI ERDÉLYI TUDOMÁNYOS
DIÁKKÖRI KONFERENCIA, 2023. MÁJUS 18–21.

A kétnyelvű földrajzi atlasz térképeinek vetületanalízise és georeferálása

Szerző:

Lukács László

Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, földrajz szak, alapképzés, II. év

Témavezető:

Dr. Bartos-Elekes Zsombor egyetemi docens

Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Magyar Földrajzi Intézet

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A felhasznált atlaszok	4
2.1. A Diercke Weltatlas és a Diercke Globus Online	4
2.2. Román–magyar kétnyelvű Cartographia atlasz	5
3. Elméleti háttér: georeferálás, vetületanalízis	6
3.1. Georeferálás	6
3.2. Térképvetületek	7
3.3. Vetületanalízis	9
4. Módszerek: a térképek vetületanalízise	10
4.1. Területtartó síkvetület analízise: Ausztrália és Óceánia	10
4.2. Meridiánban hossztartó kúpvetület analízise: Alpok	12
5. Módszerek: a térképek georeferálása	16
5.1. Georeferálás közös tartalmi elemek alapján	17
5.2. Georeferálás földrajzi koordinátákkal	18
5.3. Georeferálás vetületi koordinátákkal	18
6. Eredmények	20
7. Felhasznált irodalom	22
8. Melléklet	23

1. Bevezetés

Földrajz szakos diákként a féléves Térképészetből csak kétheti tananyag a vetülettan, mégis igyekeztem dolgozatomban ezt hasznosítani.

Az utóbbi években végbemenő hatalmas technológiai fejlődésnek köszönhetően a térképhasználat jelentős átalakuláson ment át. Mára már a hagyományos papírtérképek használata visszaszorult és egyre több területen lépnek helyükbe a digitális térképek. Az iskolai földrajzoktatásban is új lehetőségeket hozott ez a változás. A digitális térképek sokkal interaktívabbak, lehetővé teszik a tanulóknak, hogy nagyítsák és kicsinyítsék, forgassák és különböző adatrétegeket jelenítsenek meg a térképen. Ennek ellenére a hazai iskolákban ma is leginkább papír atlaszokat használnak a földrajz órákon, mivel nem elérhető sem magyar, sem román nyelven olyan digitális oktatási segédanyag, ami kihasználja a modern technológiák által nyújtott lehetőségeket. Egy jó példa ilyen, oktatásban használt szoftverre a német *Diercke Weltatlas* digitális változata, a *Diercke Globus Online*, egy digitális földgömb, ahol meg lehet jeleníteni az atlasz térképeit.

Dolgozatom célja bemutatni a tudományos hátterét annak, hogy hogyan lehet elkészíteni, a Diercke Globushoz hasonlóan, egy hagyományos iskolai földrajzi atlasz térképeinek digitális változatát, amelynek eredményeképpen az atlasz térképei virtuális földgömbön szerepelnek.

Munkám során a hazai iskolákban leggyakrabban használt földrajzi atlaszt használtam (a román–magyar kétnyelvű *Cartographia*-atlaszt, Cartographia 2011). Az atlaszban szereplő összesen 90 fő- és melléktérkép közül a legfontosabb 19 térkép (a főterképek legnagyobb részének) vetületét hossz- és szégmérésekkel állapítottam meg (ezt a folyamatot nevezzük vetületanalízisnek). A vetületek ismeretére a térképek georeferálása során volt szükségem, ami lehetővé teszi, hogy egy digitális földgömbön megjelenítsük a térképeket. A georeferálást több módszert alkalmazva végeztem el (tartalmi elemek, földrajzi és vetületi koordináták alapján). A georeferált térképeket KMZ formátumban mentettem el, hogy azok a Google Föld szoftverben megnyithatóak legyenek.

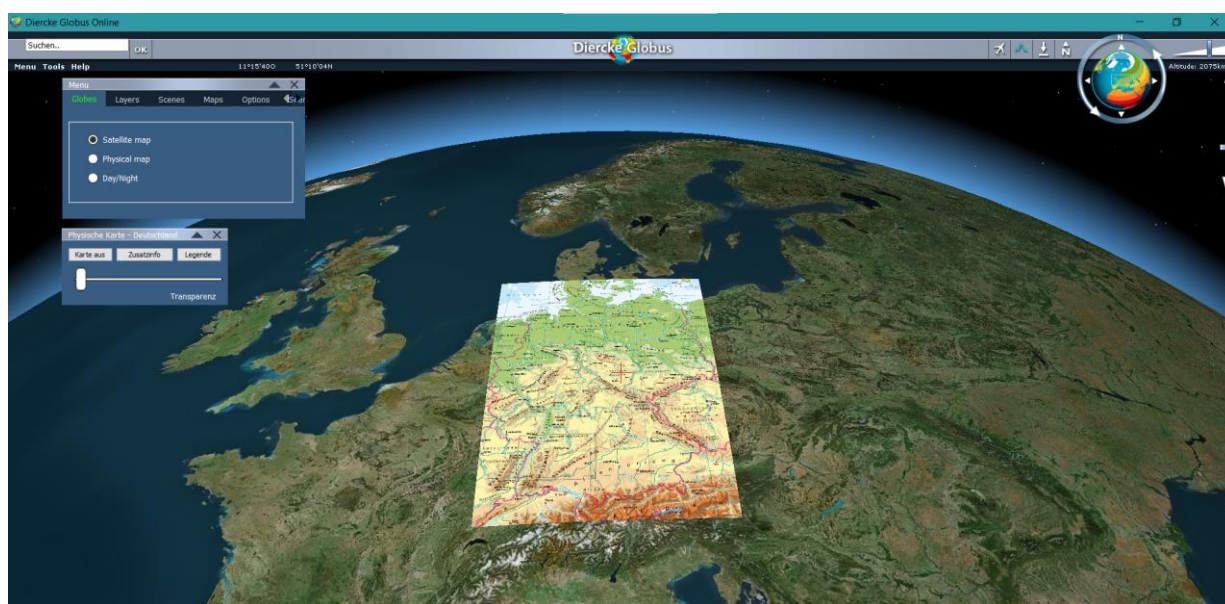
Dolgozatomban először ismertetem a felhasznált atlaszokat és az elméleti hátteret, majd az általam használt módszereket (a térképek vetületanalízisét és georeferálását, ez utóbbi pontosságát), amelyeket példák segítségével mutatok be.

2. A felhasznált atlaszok

E fejezetben bemutatom a mintául szolgáló német Diercke-világatlaszt és az általam feldolgozott kétnyelvű, román–magyar Cartographia-atlaszt.

2.1. A Diercke Weltatlas és a Diercke Globus Online

A Diercke Weltatlas a legismertebb német nyelvű iskolai világatlasz. Először 1883-ban jelent meg, azóta még 10 kiadás készült, legutóbb 2015-ben (Diercke 2015). 2023-ra tervezik az újabb kiadást, amelybe már bele lehet lapozni a weboldalon.¹ Az atlasz 2015-ös kiadásában 320 oldalon több mint 450 térkép szerepel, amik megértését diagramokkal, grafikákkal és fényképekkel segítik. Az atlaszt úgy tervezték meg, hogy a tanulókat 5–6. osztálytól egészen az érettségiig segítse az iskolában, így az egyszerűbb térképek mellett komplexebb folyamatokat bemutató térképek is megjelennek benne.² Az aktuális kiadás mellett több korábbi kiadás térképlapjait és a hozzájuk tartozó leírást, elemzést böngészni lehet a weboldalon, rákeresve a térképekre vagy a tartalomjegyzéküket böngészve.³



1. ábra: A Diercke Weltatlas Németországot ábrázoló papírtérképének georeferált változata a Diercke Globus Online alkalmazás próbaverziójában. Képernyőkép, készítette a szerző.

Azok számára, akik megvásárolják a Diercke Weltatlas papírváltozatát, több prémium szolgáltatás is jár. Ezek közül az egyik a Diercke Globus Online, amely egy számítógépes

¹ <https://blickinsbuch.westermann.de/978-3-14-100900-2/index-h5.html>

² https://diercke.westermann.de/diercke-weltatlas_shop

³ Például a Romániát tartalmazó domborzati térkép itt érhető el: <https://diercke.westermann.de/content/balkanhalbinsel-physische-karte-978-3-14-100800-5-138-1-1>

szoftver. A program próbaváltozatát a kiadó weboldaláról ingyenesen le lehet tölteni.⁴ Azért készült, hogy könnyebbé tegye az iskolai földrajzoktatást. A programban a papír alapú atlasz mindegyik térképét tudjuk megjeleníteni georeferált formában egy Google Földhöz hasonló virtuális földgömbre vetítve. A Diercke Globusban több alaptérkép is elérhető, műholdkép vagy domborzati térkép formájában is megjeleníthetjük a földgömböt. A böngészés mellett lehetővé teszi, hogy távolságokat mérjünk, rajzoljunk, írjunk, ábrákat helyezzünk a térképekre, amiket ezután el is menthetünk. A szemléletesebb domborzatábrázolás érdekében a térképeket akár 3D-ben is megjeleníthetjük. (Lásd 1. ábra).

2.2. Román–magyar kétnyelvű Cartographia atlasz

A Cartographia budapesti térképkiadó vállalat 2011-ben adott ki román–magyar kétnyelvű iskolai világtatlaszt az 5-10. osztályosok számára (Cartographia 2011). Az atlasz 56 oldalon 90 térképen mutatja be az országokat és kontinenseket és érinti a csillagászat, a földtörténet, a hidrográfia, a demográfia, a geomorfológia, a természeti erőforrások, a környezet, a gazdaság témakörét is.⁵ Romániai magyar iskolások körében feltehetőleg a legelterjedtebb iskolai atlasznak tekinthető. Nem ismert a Diercke atlaszhoz hasonló digitális változata.

⁴ <https://diercke.westermann.de/diercke-globus>

⁵ <https://www.abelkiado.ro/hu/konyv/306/foldrajzi-atlasz-romanmagyar-ketnyelvu-atlasz/cr-3011-a-romaniara-vonatkozo-terkepek-ketnyelvuk>

3. Elméleti háttér: georeferálás, vetületanalízis

Céлом tehát, hogy a Diercke Globus Online mintájára a román–magyar kétnyelvű földrajzi atlasz (Cartographia 2011) térképeit egy digitális földgömbre illesszem. Ezt úgy értem el, hogy a szkennelt térképet földi koordinátákkal kapcsoltam össze, tehát georeferáltam. A georeferálás eredménye akkor lehet a legpontosabb, ha ismerjük a térkép vetületét. Mivel az atlaszban nincs elegendő információ a pontos vetületi paramétereiről, ezért a vetületanalízis során azonosítottam ezeket.

3.1. Georeferálás

Ahhoz, hogy egy papírtérképet egy digitális földgömbön megjelenítsünk, több lépés szükséges. Először is szükség van a térképre digitális, raszteres (sorokból és oszlopokból álló adatszerkezet) formában. A térkép raszterre alakítása történhet fényképezéssel vagy szkenneléssel, aminek eredményeként megkapjuk a térképet digitális formában, egy választott képformátumban (pl. JPEG vagy PNG). Az így kapott raszteres képállomány még nem rendelkezik földrajzi helyzetre utaló információkkal, ezért a térinformatikai szoftverek nem tudják térképként kezelni. Ahhoz, hogy ezt lehetővé tegyünk, a képet georeferálnunk kell. (Bartos-Elekes 2015, 7–8.)

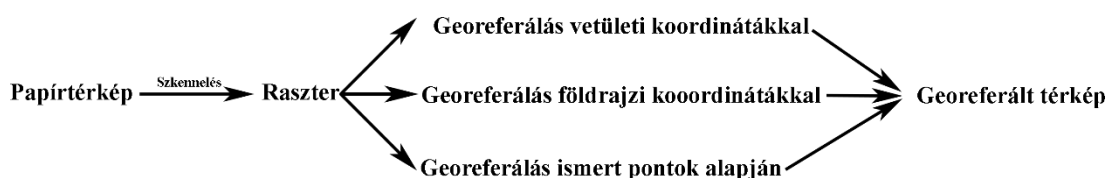
A georeferálás során a raszteres állomány minden képi koordinátájához földi koordinátát rendelünk. Ez úgy történik, hogy a térinformatikai szoftverben megnyitott képen illesztőpontokat (ground control point vagy GCP) helyezünk el, amelyeknek megadjuk a képi koordinátáit, majd a térképi koordinátáit (földrajzi vagy vetületi koordináták). A szoftver ezután az illesztőpontok alapján úgy alakítja át (rektifikálja) a képet, hogy az már a megadott földi koordináta-rendszernek feleljen meg.

Az illesztőpontok háromféleképpen adhatók meg (lásd 2. ábra):

Az első lehetőség, hogy az illesztőpontokat ismert tereptárgyak helyén vesszük fel. Ezt a módszert akkor használják, ha hiányoznak a térképről a koordináta-vonalak. Ez a leggyakrabban használt módszer, ugyanakkor ez is hordozza magában a legnagyobb hibalehetőséget.

Abban az esetben, ha a térképen megjelenik a fokhálózati vonalak, de nem azonosítható a vetület, az illesztőpontokat, földrajzi koordinátákat használva, a koordináta-vonalak metszéspontjában is felvehetjük. Ez a módszer már pontosabb az előzőnél, de a fokhálózati vonalak nem egyenes futása miatt jelentős torzulási hibák keletkezhetnek a térképen.

A harmadik módszert akkor használhatjuk, ha ismerjük a térkép vetületi paramétereit. Ekkor a fókálózat metszéspontjaiban felvett illesztőpontoknak megadhatjuk azok átszámolt vetületi koordinátáit. A három lehetőség közül ezzel a módszerrel érhetjük el a legpontosabb végeredményt. (Timár–Molnár 2013, 44–46.)



2. ábra: A Georeferálás módszerei. Készítette a szerző.

3.2. Térképvetületek

Az előzőekben többször szó esett a vetületekről, vetületi koordinátákról, de mik is azok a térképvetületek?

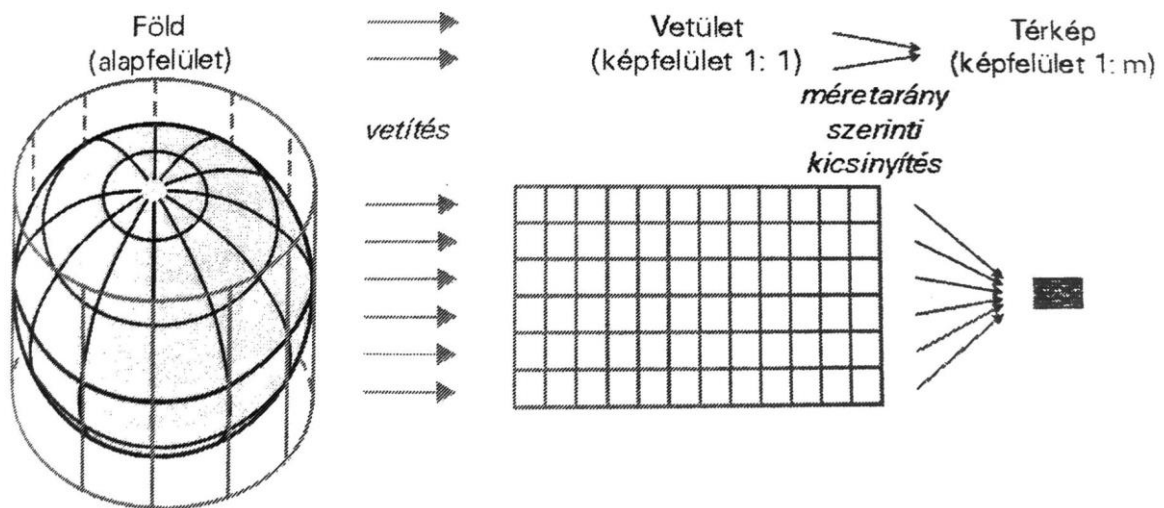
A térképek egyik alapvető tulajdonsága, hogy a rajta szereplő térképi idomok matematikai-geometriai kapcsolatban legyenek a földfelületi megfelelőikkel, vagyis alakjuk és nagyságuk arányos legyen a földi megfelelőikkel. Egy térképen a pontos megfeleltetés két okból nem lehetséges. Az egyik az, hogy a Föld alakja szabálytalan, így egy geoidhoz hasonló, de matematikailag leírható felületet, gömböt vagy forgási ellipszoidot kell használni. A másik ok, hogy görbe felületet síkon megjeleníteni torzulás nélkül nem lehetséges.

A térképek készítésének így az első lépése az, hogy a felszín helyettesítő görbült alapfelületet vetületi egyenletekkel hasonló méretben sík vagy síkba fejthető (forgáshenger vagy forgáskúp palástja) képfelületre képezzük, ennek eredménye az 1:1-es méretarányú vetület. A gyakorlati használhatóság céljából ezt az 1:1-es méretarányú vetületet egy második lépésben arányosan kicsinyítjük (lásd 4. ábra). (Györffy 2012, 15–16., Bartos-Elekes 2007, 17.)

Gömbön és forgási ellipszoidon értelmezhetünk földrajzi koordináta rendszert, ami segítségével egy koordinátapárral (földrajzi szélesség és földrajzi hosszúság) az alapfelület bármely pontja azonosítható.

Az ellipszoid földrajzi koordinátáinak definíciója szintén a fenti, de ez tartalmában már valamelyest mást jelent, jelölésében is eltér, az ellipszoidi szélesség jele Φ , az ellipszoidi hosszúságé pedig Λ . (Lásd 3. ábra).

A vetítés után a vetületet arányosan kicsinyítjük, hogy az a térképlapon elférjen. A méretarányszám fejezi ki a kisebbités mértékét. Mivel a vetületi egyenletek általában azegységnyi méretarányra vonatkoznak, ezért a kicsinyítés utáni térképi síkkoordinátákat úgy kapjuk meg, hogy a vetületi egyenleteket elosztjuk a méretarányszámmal. (Györffy 2012, 73., Bartos-Elekes 2007, 17.)



4. ábra: A térkép készítésének lépései, a vetítés és a méretarány szerinti kicsinyítés. Bartos-Elekes 2007, 17.

3.3. Vetületanalízis

Papírtérképeken gyakran előfordul, hogy csak rövid utalást adnak a térkép vetületére. Ahhoz viszont, hogy vetületi koordináták alapján tudjuk georeferálni, a térkép minden vetületi paraméterére szükségünk van. Ezek azonosítására használják a vetületanalízist, aminek célja az ismeretlen vetületű térképek vetületének megállapítása. Ezt általában térképi mérések (hosszmérés, szögmérés, területmérés) segítségével végezzük. (Györffy 2012, 265–284.)

4. Módszerek: a térképek vetületanalízise

A kétnyelvű atlaszban (Cartographia 2011) található térképek vetületének megállapítása során az első támpont a térkép alatt található szöveg volt, ahol a vetület megnevezése szerepel. Ez a megnevezés egyik térképnél sem ír le mindent, hogy pontosan megismerjük belőle a vetületet, legtöbbször csak a képfelületet (sík, kúp) nevezi meg, néhány esetben a torzulás jellegét is (területtartó). Bizonyos esetekben még ennyi támpont sem szerepel, pl. a képzetes vetületek esetében csupán a vetület megnevezése (pl. Kavrajcszkij-vetület) szerepel a térkép alatt. Ezek segítségével a vetületcsalád azonosítható.

További segítséget nyújt a térképek fókahálózata, ami alapján a vetületcsaládon belüli vetülettípust azonosíthatjuk (pl. területtartó síkvetület) és a méréseket követően a további paramétereket számíthatjuk ki (pl. segédpólus, középmeridián koordinátái).

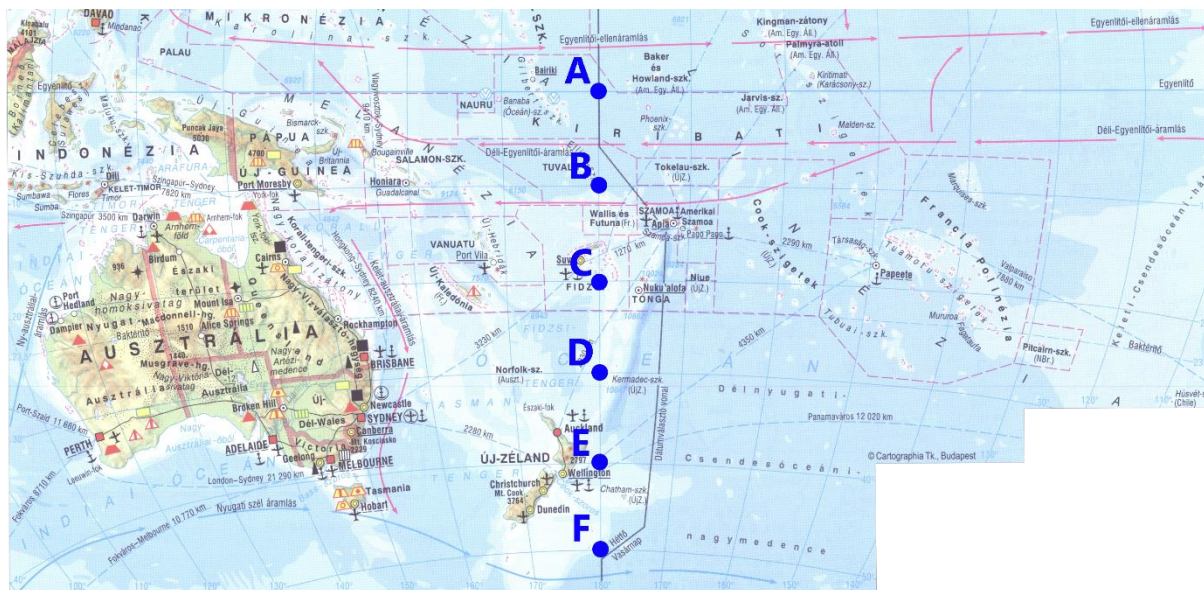
A vetületanalízist tehát a fókahálózat segítségével végeztem. Először a paralelkörök képeit vizsgáltam, mivel ezek sűrűsödéséből vagy ritkulásából lehet következtetni a vetületi torzulásokra. Ha már ismerjük a torzulást, feltételezhetjük, hogy milyen vetületben készült a térkép. Hogy megtudjam, tényleg a feltételezett vetületben készült-e a térkép, távolságméréseket kellett végezni rajta. A méréseket a szkennelt térképeken Adobe Photoshop CC szoftverben végeztem. A mérések eredményeit összehasonlítottam a feltételezett vetület egyenletével kiszámított távolságokkal. Ha a mérések és a vetületi egyenlet eredményei azonosak voltak, vagy csak nagyon kis eltérés volt köztük (feltehetőleg rajzi, papírnyúlási, szkennelési hiba miatt), akkor a feltételezést igaznak vettem. Ha viszont az eredmények között nagy volt a különbség, egy másik vetülettel és egyenlettel próbálkoztam.

A vetületanalízis lépéseit két példán keresztül mutatom be részletesebben. Az elsőben egy területtartó síkvetületű térkép, a másodikban egy meridiánban hossztartó kúpvetületű térkép vetületi paramétereit határozom meg.

4.1. Területtartó síkvetület analízise: Ausztrália és Óceánia

Az *Ausztrália és Óceánia domborzata és országai* című térkép (Cartographia 2011, 46.) alatti szöveg szerint a térkép síkvetületben készült. A valódi síkvetületek közül öt fontosabb ismert (Györffy 2012, 85–104.). A térképszéli megjegyzést figyelembe véve, a fókahálózatot vizsgálva, arra jutottam, hogy a térkép transzverzális elhelyezésű (az Egyenlítő egyenes vonalként jelenik meg) és a középmeridián a 180°-os hosszúság (egyenes vonalként jelenik meg). Tehát a segédpólus koordinátái: $\varphi=0^\circ$, $\lambda=180^\circ$. A vetületi torzulás vizsgálatához a

térképen felvettem az A ($\varphi=0^\circ$, $\lambda=180^\circ$), B ($\varphi=-10^\circ$, $\lambda=180^\circ$), C ($\varphi=-20^\circ$, $\lambda=180^\circ$), D ($\varphi=-30^\circ$, $\lambda=180^\circ$), E ($\varphi=-40^\circ$, $\lambda=180^\circ$) és F ($\varphi=-50^\circ$, $\lambda=180^\circ$) pontokat (lásd 5. ábra).



5. ábra: Térképi távolságok mérésére felvett pontok a térképen. Készítette a szerző.

Ezután lemértem a pontok közötti távolságokat, ezek eredményei: AB=235 px (pixel, képpont), BC=234 px, CD=227 px, DE=223 px, EF=215 px. Látható, hogy a paralelkörök egyre sűrűsödnek a segédpólustól távolodva, így feltételeztem, hogy a térkép vetülete Lambert-féle területtartó valódi síkvetület (Györffy 2012, 102–103.). Hogy kiderüljön, tényleg ez-e a térkép vetülete, össze kell hasonlítani a térképen mért távolságokat a vetületi távolságokkal (a sűrűsödés más mértéke szerint lehetne akár ortografikus síkvetület is, Györffy 2012, 98–99.). Ehhez át kell alakítani a Photoshop-ban mért képponti távolságokat milliméterbe. Tudva, hogy a térképek 300 dpi (képpont per hüvelyk) felbontásban lettek szkennelve átszámoltam a szakaszok hosszát: AB=19,89 mm; BC=19,81 mm; CD=19,21mm; DE=18,88 mm; EF=18,2 mm.

Ezeket az értékeket hasonlítottam össze a vetületi távolságokkal. A Lambert-féle síkvetület egyenlete:

$$\rho = 2 \cdot \sin \frac{\beta}{2},$$

ahol ρ : φ szélességi kör képének térképi sugara, β : pólustávolság (transzverzális és ferdetengelyű elhelyezés esetén távolság a segédpólustól). Az egyenlet az 1:1-es méretarányú leképezését adja meg az alapfelületnek. (Bartos-Elekes 2007, 17.)

A vetületi távolságokat úgy kaptam meg, hogy az egyenletbe behelyettesítettem a pólustávolság értékét, majd beszoroztam az alapfelület sugarának ($R=6\,371\,000\text{ m}$) és a térkép méretarányának ($m=55\,000\,000$) hányadosával.

	Mért képpont- távolság (px)	Mért térképi koordináta (mm)	Számolt térképi koordináta (mm)	Mért és számolt térképi koordináta aránya (%)
AB	235	19,89	20,19	98,51
AC	469	39,70	40,22	98,70
AD	696	58,91	59,96	98,29
AE	919	77,79	79,23	98,18
AF	1134	95,99	97,90	98,04

1. táblázat. Mérési és számítási adatok összehasonlítása a területtartó síkvetületen. Készítette a szerző.

A számított és mért térképi koordináták és ezek aránya az 1. táblázatban található. Az összehasonlításokban látszik, hogy a térképi mérések és a vetületi egyenlet eredményei közel azonosak, a mért térképi koordináták és a számolt térképi koordináták különbsége az összes esetben 1–2% közötti. Ezek alapján kijelenthető, hogy a térkép vetülete Lambert-féle területtartó síkvetület.

4.2. Meridiánban hossztartó kúpvetület analízise: Alpok

Az *Alpok* című térkép (Cartographia 2011, 21.), a vetületről szóló szöveg szerint kúpvetületű. Az 1:36 000 000 méretarányú térképen először a meridiánok hossztartóságát vizsgáltam. A térképen a 11° -os keleti hosszúságú meridián a középmeridián. Ezen, a paralelkörökkel való metszéspontokban, felvettem az A ($\varphi=48^\circ$, $\lambda=11^\circ$), B ($\varphi=47^\circ$, $\lambda=11^\circ$), C ($\varphi=46^\circ$, $\lambda=11^\circ$), D ($\varphi=45^\circ$, $\lambda=11^\circ$) és E ($\varphi=44^\circ$, $\lambda=11^\circ$) pontokat és ezek közti távolságokat mértem (6. ábra).



6. ábra: Térképi távolságok mérésére felvett pontok a térképen. Készítette a szerző.

A mérések eredményei: AB=362 px=30,64 mm, BC=361 px=30,54 mm, CD=362 px, DE=364 px=30,81 mm. Látszik, hogy a paralelkörök egyenközűen metszik a középméridiánt (csak nagyon kis eltérések vannak a szakaszok hosszai között), ezek szerint ez egy meridiánokban hossztartó vetület. Feltételeztem, hogy ez De l'Isle vetülete (meridiánokban és két paralelkörben hossztartó). A De l'Isle vetület sugárfüggvénye (ρ) és sugárhajlása (n):

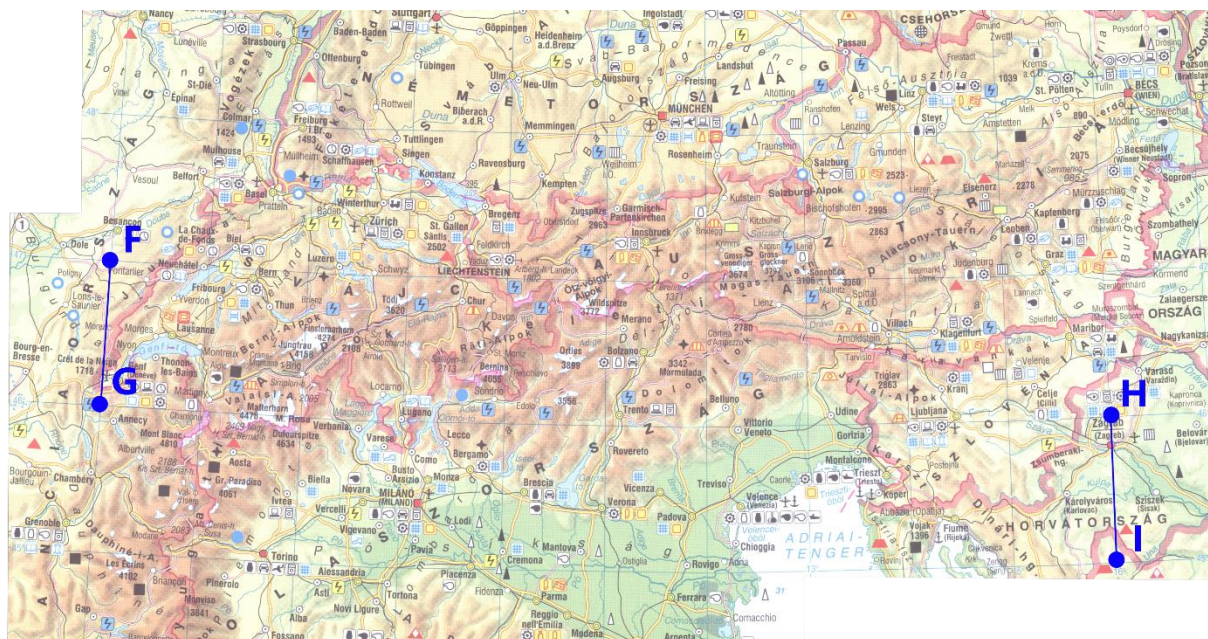
$$\rho = \frac{\arcsin \beta_1 \cdot \sin \beta_2 - \arcsin \beta_2 \cdot \sin \beta_1}{\sin \beta_1 - \sin \beta_2} + \arcsin \beta,$$

$$n = \frac{\sin \beta_1 - \sin \beta_2}{\arcsin(\beta_1 - \beta_2)},$$

ahol β_1 és β_2 a hossztartó paralelkörök pólustávolsága, β pólustávolság. (Györffy 2012, 130–131.)

Először a hossztartó paralelköröket szerettem volna meghatározni, ehhez viszont ismerni kell a sugárhajlást. A sugárhajlás az alapfelületen meridiánok által bezárt $\Delta\lambda$ szög és a neki megfelelő képfelületen levő $\Delta\lambda'$ szög aránya ($n = \frac{\Delta\lambda'}{\Delta\lambda}$). A sugárhajlás kiszámításához újabb pontokat vettem fel a térképen: F ($\varphi=47^\circ$, $\lambda=6^\circ$), G ($\varphi=46^\circ$, $\lambda=6^\circ$), H ($\varphi=46^\circ$, $\lambda=16^\circ$), I ($\varphi=4^\circ$, $\lambda=16^\circ$) (7. ábra).⁶

⁶ Hasonló módszert ír le Huszánk 2019.



7. ábra. Sugárhajlás mérésére felvett szakaszok a térképen. Készítette a szerző.

Az FG szakasz dőlésszöge $85,9^\circ$, a HI szakaszé pedig $93,1^\circ$. Ezeket az értékeket kivonva egymásból megkaptam a $\Delta\lambda'=7,2^\circ$ szöget. Ehhez hasonlóan lett meg a $\Delta\lambda$ értéke is: $\Delta\lambda=16^\circ-6^\circ=10^\circ$. Így már ki lehet számolni a sugárhajlást: $n = 7,2/10 = 0,72$. A sugárhajlást ismerve már megkaphatjuk a hossztartó paralelköröket. Ezt úgy csináltam, hogy kiszámoltam az összes lehetséges hossztartó paralelkör-pár esetében a sugárhajlást (2. táblázat):

β_1	β_2	n
48°	47°	0,737
48°	46°	0,731
48°	45°	0,725
48°	44°	0,719
47°	46°	0,725
47°	45°	0,719
47°	44°	0,713
46°	45°	0,713
46°	44°	0,707
45°	44°	0,700

2. táblázat. Mérési adatok a kúpvetületen.

Látható, hogy az eredmények közül a $48^\circ-44^\circ$ és $47^\circ-45^\circ$ paralelkör-pároknak van a sugárhajlása legközelebb a térképen mért értékhez. Mivel valószínű, hogy a georeferálás

során nem lesz nagy jelentősége annak, hogy melyek a hossztartó paralelkörök, ezért a továbbiakban a 48° és 44° paralelköröket vettem hossztartóknak.

A mért és számított térképi koordináták és arányaik a 3. táblázatban találhatók.

	Mért képpont- távolság (px)	Mért térképi koordináta (mm)	Számított térképi koordináta (mm)	Mért és számított koordináta aránya (%)
AB	362	30,64	30,88	99,22
AC	723	61,18	61,77	99,04
AD	1085	91,82	92,66	99,09
AE	1449	122,63	123,50	99,29

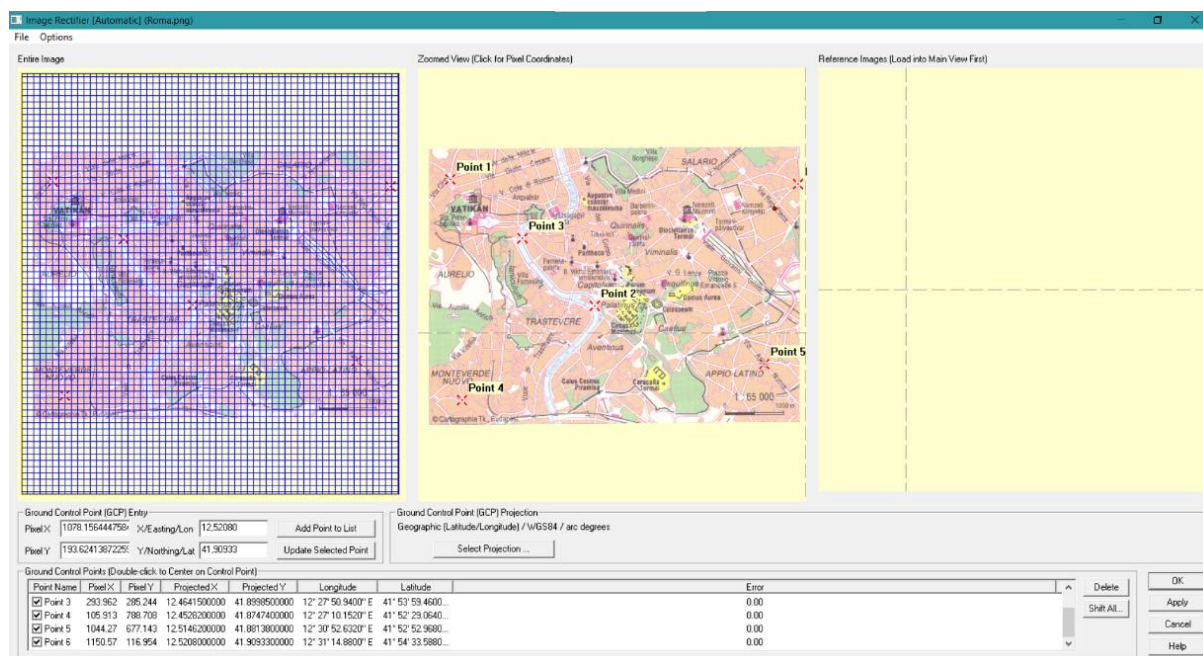
3. táblázat. Mért és számított térképi koordináták összehasonlítása a kúpvetületen.

Látható, hogy a mért térképi koordináta és a vetületi egyenlettel kiszámított térképi koordináták között kisebb mint 1%-os különbségek vannak, így kijelenthető, hogy a térkép vetülete a meridiánokban és két paralelkörben hossztartó kúpvetület, a De l'Isle vetülete.

5. Módszerek: a térképek georeferálása

A térképek georeferálását Global Mapper szoftverben végeztem. Miután a programban megnyitjuk a szkennelt térképet, beállíthatjuk geodéziai dátumot (alapfelületet) és a vetületet, amiben az illesztőpontok koordinátáit meg szeretnénk adni. Ezután a képen elhelyezhetjük az illesztőpontokat. Az illesztőpontokat úgy adjuk meg, hogy a megfelelő pontra kattintva megadjuk a kép pixel-koordinátáit, majd az ennek megfelelő térképi koordinátákat. Ha elég illesztőpontot felvettünk a térképen, georeferálhatjuk a térképet.

Amint már említettem az illesztőpontok és azok koordinátáinak megadása több módon is lehetséges. Helyezhetjük az illesztőpontokat ismert pontokra, amiknek ismerjük a földrajzi koordinátáit, helyezhetjük a földrajzi koordináta-rendszer fókálózatának metszéspontjaira, vagy vetületi-koordináta rendszer vonalai metszéspontjába is. Az atlasz térképeinek georeferálása során mindhárom módszert alkalmaztam, többnyire a vetületi koordinátákat. Mivel volt térkép, aminek vetületét nem sikerült megállapítani pontosan (például az *Észak-Ázsia* című, Kavrajcszkij-vetületű térkép), ott földrajzi koordinátákat használtam. Olyan nagy méretarányú térkép is volt, amin nincs fókálózat (*Róma belvárosa és a Vatikán*), ezen tartalmi elemek voltak az illesztőpontok (lásd 8. ábra).



8. ábra: A Global Mapper georeferáló felülete, a Róma-térkép georeferálása. Képernyőkép, készítette a szerző.

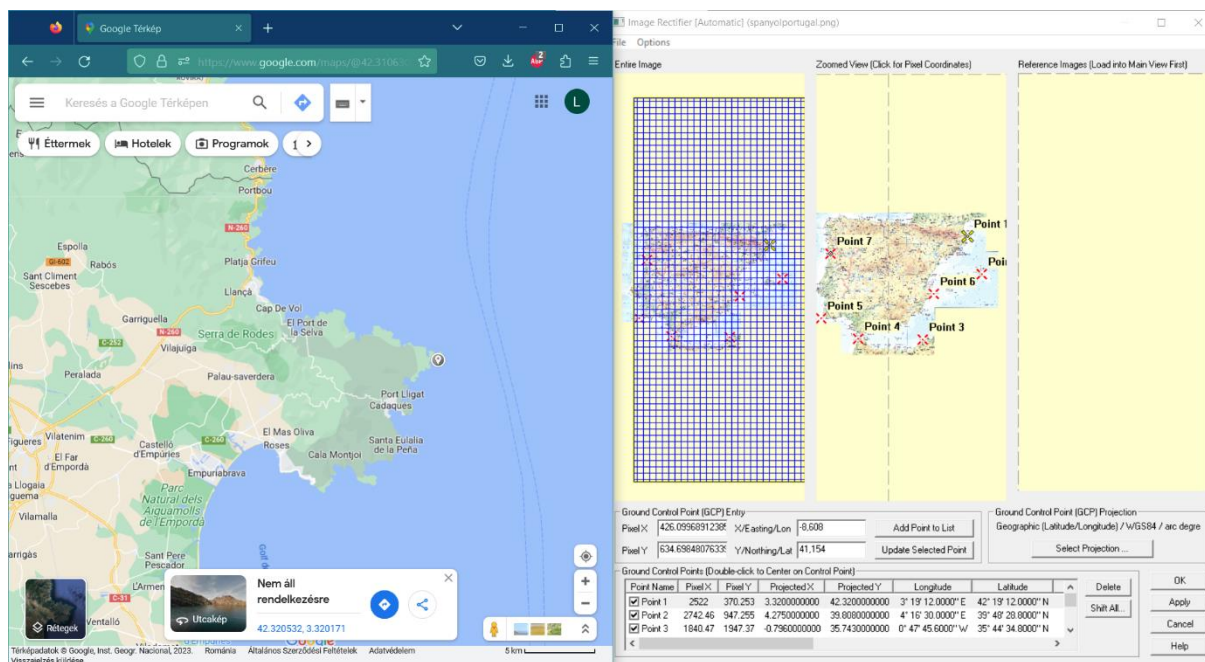
A fenti módszerekkel georeferált térképet KMZ formátumban mentettem el a térképet, hogy a Google Földben megtekinthető legyen.

A továbbiakban a Google Föld programban az általam georeferált térképeken méréseket végeztem, hogy a georeferálás pontosságát azonosítsam. A hiba mértékét úgy azonosítottam, hogy lemértem a térképen szereplő tereptárgy vagy koordináta-vonal távolságát a Google Földben szereplő megfelelőjéhez képest majd ezt elosztottam a térkép méretarányával.

A három georeferálási módszert és azok hibáinak jellegét az alábbiakban bemutatom egy-egy példával. Ahhoz, hogy a hibákat könnyen össze tudjam hasonlítani, a *Pireneusi (Ibériai-félsziget)* című térképet (Cartographia 2011, 23.) georeferáltam a három módszerrel.

5.1. Georeferálás közös tartalmi elemek alapján

A térképet először közös tartalmi elemek alapján georeferáltam. A vetületi paramétereket az alapértelmezetten hagytam. A térképen hét illesztőpontot vettem fel, ezek földrajzi koordinátáit Google Térképben kerestem meg (lásd 9. ábra).



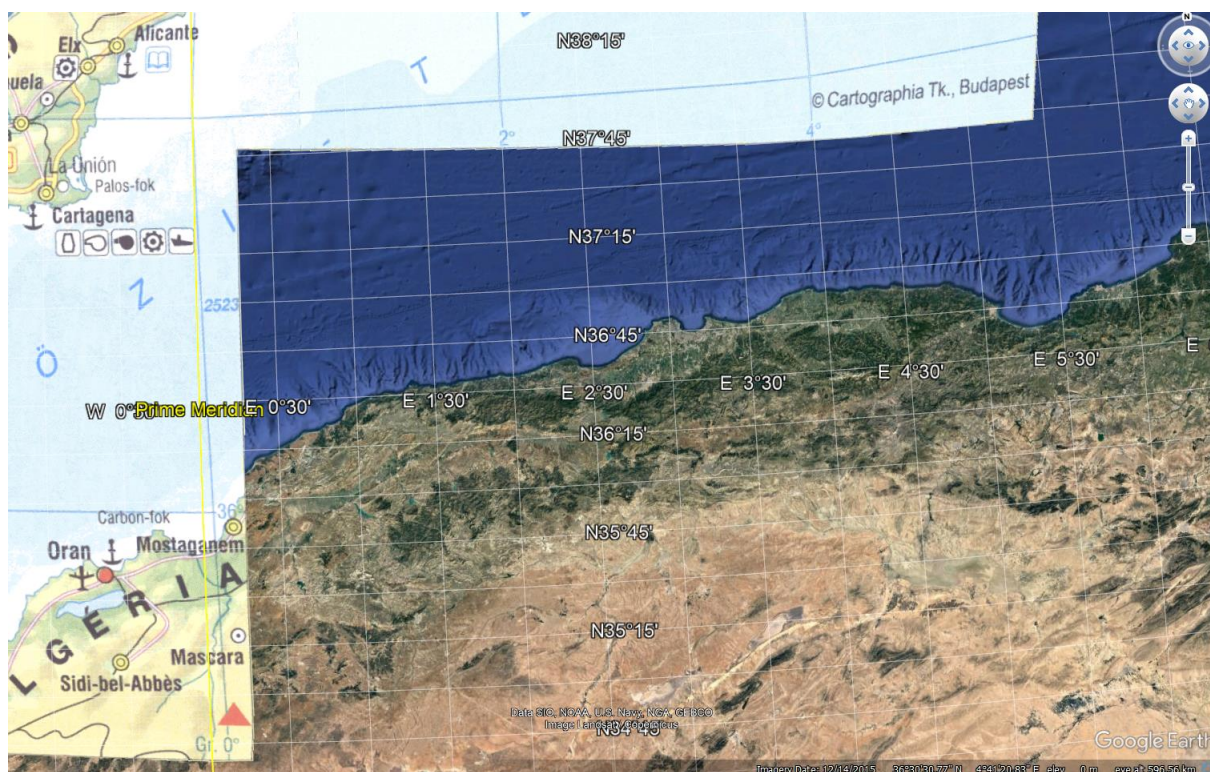
9. ábra: A Google Térkép és a Global Mapper. Közös térképi elemek koordinátájának meghatározása. Képernyőkép, készítette a szerző.

A torzulási hibákat vizsgálva látható, hogy a paralelkörök és meridiánok képei az eredeti térképhez képest jelentősen elcsúsznak, íveik megtörnek. A méréseim alapján a georeferált térképen kb. 2–3 mm-es hibák vannak.

5.2. Georeferálás földrajzi koordinátákkal

Ugyanazon térkép fokhálózatainak metszéspontjaiban tizenegy illesztőpontot vettem fel, ezek koordinátáit a fokhálózatról olvastam le. Geodéziai dátumnak földrajzi koordinátákat vettem, a Google Föld 6 378 137 m-es sugarú gömbjét.

Az ismert pontok alapján való georeferáláshoz hasonlóan itt is elcsúsznak, megtörnek a fokhálózat vonalai, de itt valamivel kisebb hibák vannak (1–2 mm). (Lásd 10. ábra).



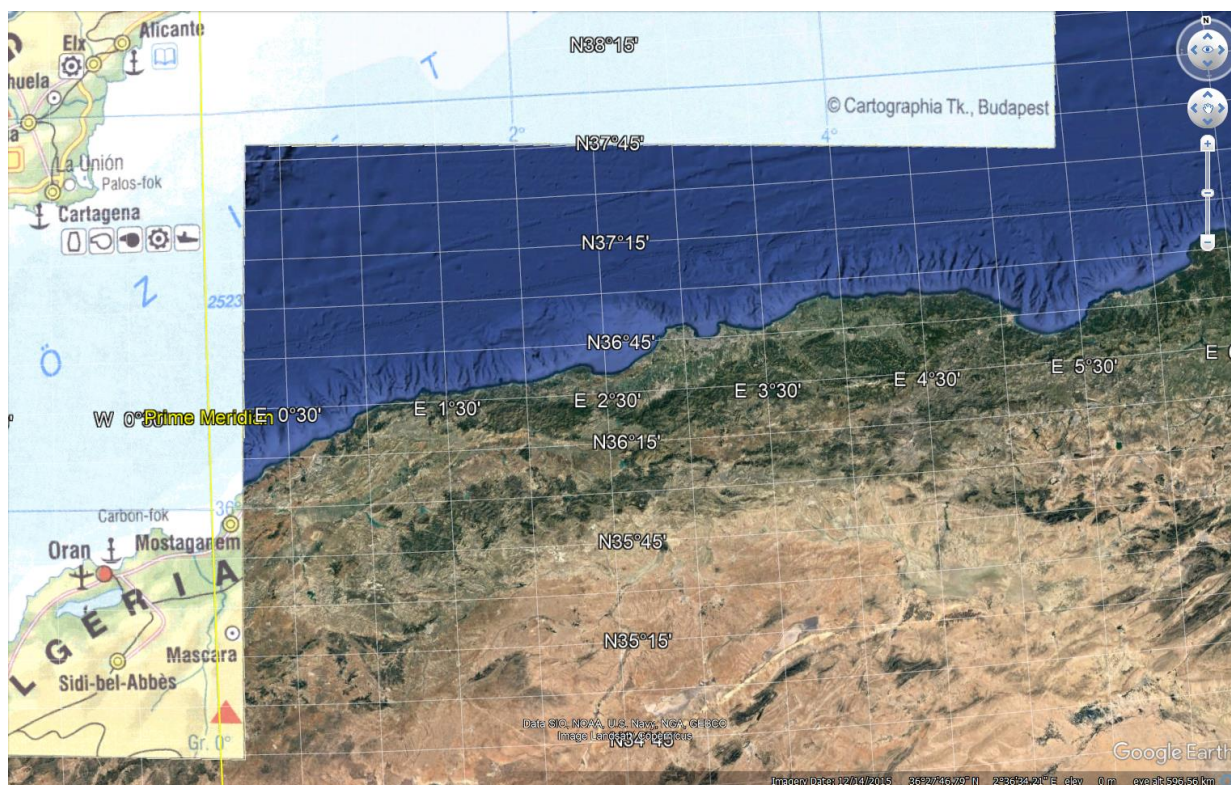
10. ábra: A földrajzi koordinátákkal való georeferálás eredménye. Képernyőkép, készítette a szerző.

5.3. Georeferálás vetületi koordinátákkal

A térkép georeferálását a vetületi paraméterek megadásával kezdtem, amiket a vetületanalízis során kaptam. A vetület az Equidistant Conic B (de l'Isle vetülete), a hosszstartó paralelkörök a 42° és 36°-os szélességek, a kezdőmeridián a 4°-os nyugati hosszúság.

Öt illesztőpontot helyeztem el a térképen, koordináta-vonalak metszéspontjában. Ezek vetületi koordinátáit a Global Mapper Coordinate Convertor eszközével kaptam meg, amivel a vetületi paraméterek megadása után átszámoltam a metszéspontok földrajzi koordinátáit.

A georeferált térkép fokhálózata szinte tökéletesen illeszkedik a Google Föld fokhálózatahoz, a legnagyobb mért torzulás 0,2 mm volt. (Lásd 11. ábra).



11. ábra: A vetületi koordinátákkal való georeferálás eredménye. Képernyőkép, készítette a szerző.

6. Eredmények

Dolgozatomban egy digitális atlasz elkészítésének tudományos háttérét mutatom be. Mintaként a német Diercke Weltatlas (Diercke 2015) digitális változata, a Diercke Globus Online szolgált, ehhez hasonlóan szerettem volna megjeleníteni a Cartographia román–magyar kétnyelvű földrajzi atlasz (Cartographia 2011) térképeit. Munkám első felében a felhasznált atlaszokat ismertettem. Ezután az elméleti háttérrel mutattam be: a georeferálás, a térképvetületek és vetületanalízis fogalmakat tisztáztam. Ezt követik az eredményeim, amelyek az alábbiak:

Vetületanalízis: a hazai magyar nyelvű iskolákban leginkább elterjedt román–magyar kétnyelvű atlaszban (Cartographia 2011) 22 különböző kivágatú főtérkép van (további főtérképeknek a kivágatai ismétlődnek, pl. *Európa domborzata* és *Európa országai* térképek). Legnagyobb részüknek, közülük 19-nek sikerült megállapítani a vetületi paramétereit a fent példázott, vetületanalízisben használt módszerekkel. A dolgozat egyik eredménye a dolgozat mellékletében található táblázat, amely az általam használt vetületi paramétereket (19 térkép) és a megoldatlan vetületű eseteket (3 térkép) tartalmazza.

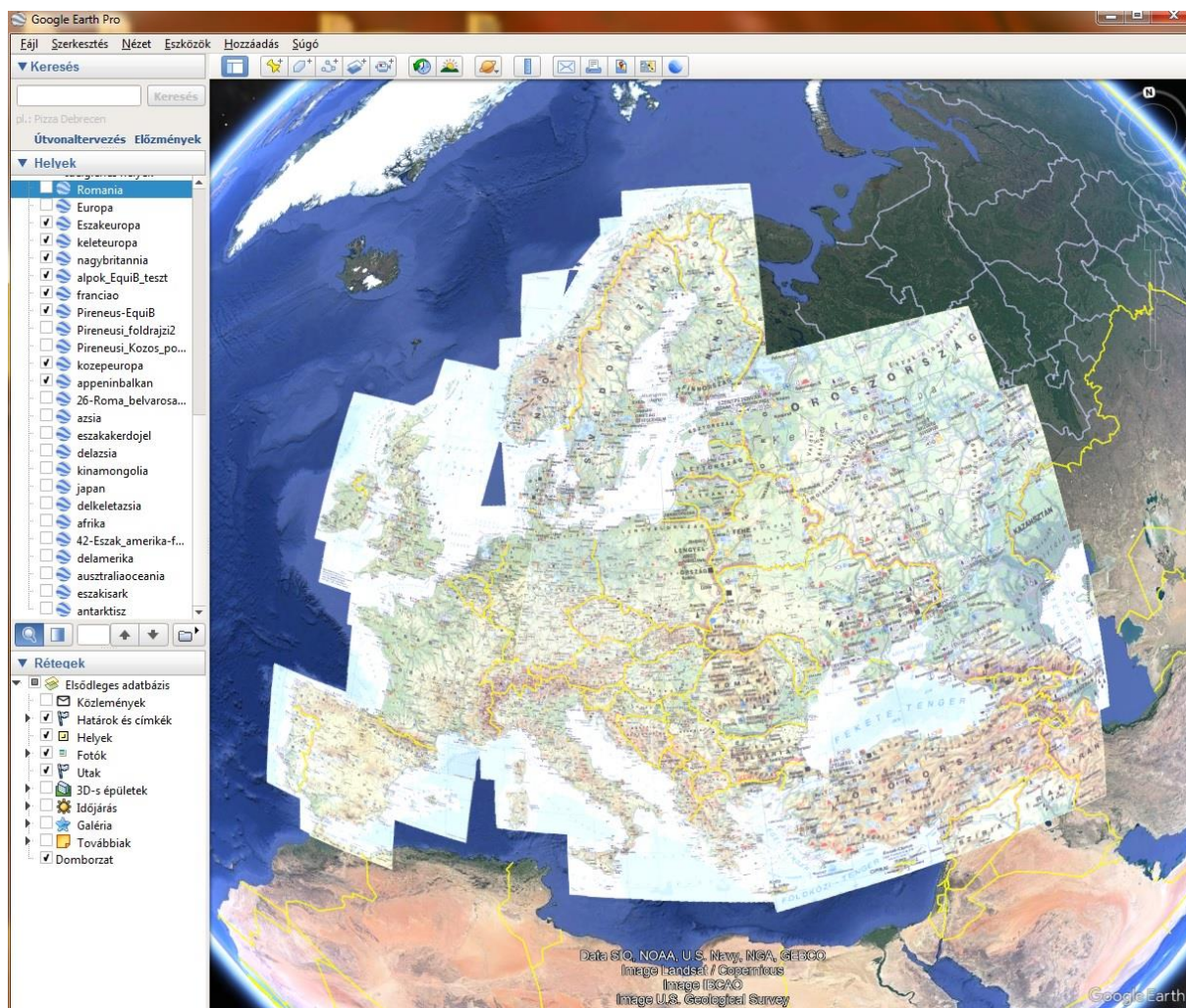
Georeferálás: az előbbi táblázatban jelölt térképeket georeferáltam. A megoldott vetületek esetében (19 térkép) a vetületi koordinátákat használtam, az ismeretlen paraméterű vetületek esetében (3 térkép) a földrajzi koordinátákat. A különböző georeferálási módszerek (közös pontok, földrajzi koordináták, vetületi koordináták) összehasonlítása miatt a *Pireneusi (Ibériai)-félsziget* térképet mindhárom módszerrel georeferáltam (további 2 térkép). Próbaként egy melléktérképet (*Róma belvárosa és a Vatikán*) is georeferáltam közös pontok alapján (1 térkép). Így összesen 25 georeferálás történt. Ezeket KMZ állományokként mentettem el, amely a dolgozat digitális mellékletét képezi. Az összes georeferált állomány összecsomagolva elérhető a következő hivatkozáson:

<https://hagyatek.cholnoky.ro/terkepek/szakkollegium/Lukacs2023digitalismelleklet.zip>

Ezek a KMZ fájlok megjeleníthetők a Google Föld programban (lásd 12. ábra).

A fenti gyakorlati eredmények mellett elméleti eredmény a különféle módszerek hibáinak összehasonlítása: ugyanazon térkép vetületének pontos ismeretében a georeferálás eredménye egy olyan pontos térkép, ahol a torzulási hibák nem haladják meg a 0,2 mm-t. Ezzel szemben a földrajzi koordinátákat használva, még több közös pont mellett is, a térképen nagy, akár 1–2 milliméteres torzulások is megjelennek; sőt tartalmi elemek alapján georeferálva, a torzulások

2–3 milliméteresek. Tehát a hibákat a tizedére lehet csökkenteni a vetületi koordináták használatával, amelyekhez szükségesek a vetületanalízis eredményei, azaz a vetülettani ismeretek nem hiábavalók.



12. ábra: A georeferált térképek közül az Európát fedők Google Földbe behívva. Képernyőkép, készítette a szerző.

7. Felhasznált irodalom

- Bartos-Elekes Zsombor (2007): *Bevezetés a térképészetbe*, Presa Universitară Clujeană, Kolozsvár
- Bartos-Elekes Zsombor (2015): *Kolozsvár régi kataszteri térképei és georeferált közzétételük*, Catastrum, 2. évfolyam, 3. szám
- Cartographia (2011): *Földrajzi Atlasz*. Cartographia. Kolozsvár.
- Diercke (2015): *Diercke Weltatlas*, Westermann, Braunschweig.
- Györffy János (2012): *Térképvetületek*. ELTE–Eötvös Kiadó. Budapest.
- Huszánk Daniella (2019): *A Görög–Kerekes atlasz térképeinek vizsgálata vetületi szempontból*. MSc szakdolgozat, ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék Budapest. http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolg/2019-msc/huszank_daniella.pdf
- Timár Gábor, Molnár Gábor (2013): *Térképi vetületek és alapfelületek*. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/899/book.pdf>.

8. Melléklet

Oldal	Cím	Méretarány	Vetület megnevezése	Képfel.	Torzulás	Típus	Középmér.	Normálpk.	Global Mapper vetület
4–5	Románia domborzata	2 000 000	-	Sík	Szögtartó	Valódi	25	-	Stereo70
14	Európa domborzata és bányászata	20 000 000	„Területtartó síkvetület”	Sík	Területtartó	Valódi	20	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
18	Észak-Európa	8 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	20	70 és 55	Equidistant Conic B
19	Kelet-Európa és Törökország	12 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	35	60 és 45	Equidistant Conic B
20	Nagy-Britannia és Írország	5 500 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	-4	60 és 50	Equidistant Conic B
21	Az Alpok	3 600 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	11	44 és 48	Equidistant Conic B
22	Franciaország és a Benelux államok	5 500 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános		2	52 és 44	Equidistant Conic B
23	A Pireneusi (Ibériai)-félsziget	5 500 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	-4	36 és 42	Equidistant Conic B
24–25	Közép-Európa és a szomszédos területek	5 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	16	54 és 44	Equidistant Conic B
26–27	Az Appennini- és a Balkán-félsziget	5 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	18	46 és 36	Equidistant Conic B
28–29	Ázsia Domborzata és bányászata	40 000 000	-	Sík	Általános	Valódi	90	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
32–33	Észak-Ázsia	24 000 000	„Kavrajzkij-vetület”	Kúp		Képzetes			Geographic
34–35	Nyugat- és Dél-Ázsia	20 000 000	„Területtartó síkvetület”	Sík	Területtartó	Valódi	70	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
36	Kína és Mongólia	22 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	100	50 és 25	Equidistant Conic B
37	Japán és Korea	10 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	140	45 és 30	Equidistant Conic B
38	Délkelet-Ázsia	20 000 000	„Kúpvetület”	Kúp	Általános	Valódi	120	20 és -10	Equidistant Conic B
39	Afrika domborzata és bányászata	40 000 000	„Síkvetület”	Sík	Területtartó	Valódi	0	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
42	Észak-Amerika domborzata és bányászata	40 000 000	„Módosított Goode-féle vetület”			Képzetes			Geographic
43	Közép- és Dél-Amerika domborzata és bányászata	40 000 000	„Módosított Goode-féle vetület”			Képzetes			Geographic
46	Ausztrália és Óceánia domborzata és országai	55 000 000	„Síkvetület”	Sík	Területtartó	Valódi	180	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
47	Az Északi-sarkvidék	40 000 000	„Területtartó síkvetületek”	Sík	Területtartó	Valódi	0	-	Lambert Azimuthal Equal-Area
47	A Déli-sarkvidék	40 000 000	„Területtartó síkvetületek”	Sík	Területtartó	Valódi	0	-	Lambert Azimuthal Equal-Area