

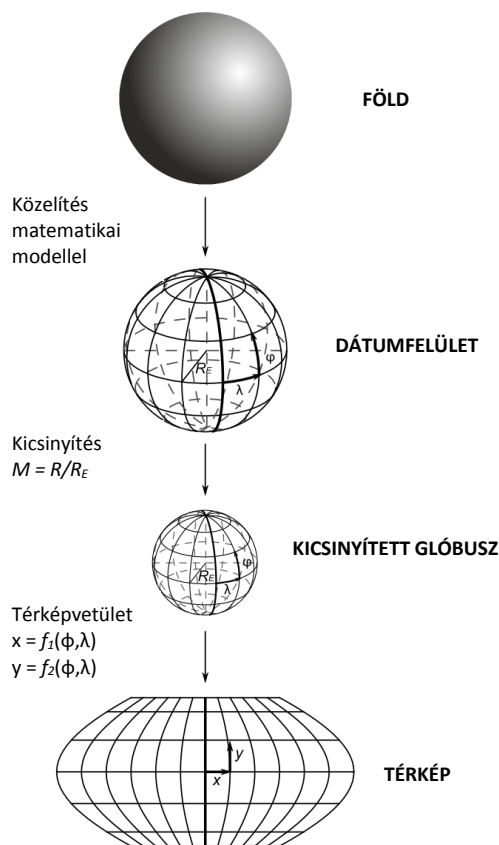
9 TÉRKÉPVETÜLETEK ÉS KOORDINÁTARENDSZEREK

Miljenko Lapaine, Horvátország és E. Lynn Usery, USA – fordította és átdolgozta Gede Mátyás

9.1 Bevezetés

A térkép a Föld, vagy más égitest (esetleg elképzelt világ) felszínéhez köthető adatok síkba vetített, papíron, vagy valamilyen digitális képernyőn való megjelenítése. A térképek általában úgy készülnek, hogy a Föld felszínéről az adatokat egy kicsinyített glóbuszra transzformáljuk, majd onnan tovább a síkra. A kicsinyített glóbusz olyan, hogy az azon mért szögek, távolságok, felületek arányosak az alapfelületi párjaikkal. A görbült felületről a síkba való leképezést a térkép vetületének hívják, amely sokféle lehet, de mindenképpen valamilyen szög-, terület- és/vagy hossztorzulást eredményez. Bizonyos torzulások kiküszöbölhetők, de ez mindig azzal jár, hogy más torzulások megnőnek. A térképészet egyik fő problémája, hogy nem lehet torzulások nélkül a gömbről vagy ellipszoidról a síkba vetíteni. Kizárólag egy gömb, vagy ellipszoid felület tudja a Föld vagy más égitest egész felszínét hűen visszaadni.

A térképvetület megvalósítása három lépésben történik: 1) az égitest (pl. a Föld) alakjának matematikai modellel – gömbbel vagy ellipszoiddal – való közelítése; 2) a matematikai modell lekicsinyítése a méretaránynak megfelelően, azaz a kicsinyített és az eredeti modell átmérőjének aránya a síktérkép névleges méretarányával legyen egyenlő; 3) a kicsinyített modell síkba vetítése egy térképvetület segítségével. (9.1. ábra).



9.1. ábra. A Földtől a kicsinyített modellen keresztül a végső térképig (Canters, 2002 után).

A térképvetületek nagyban függenek az égitestet (a Földet) leíró paraméterektől, mint amilyenek a gömb vagy ellipszoid alak, a gömb sugara (vagy az ellipszoid nagy és kis féltengelyei), a dátum, azaz a koordináta-rendszer pontos elhelyezése. Ezeknek az értékeknek a meghatározásával a geodézia tudománya foglalkozik, és manapság azok többnyire műholdas méréseken

alapulnak, melyeket a GPS (Global Positioning System) a Glonass vagy a Galileo rendszer biztosít (lásd 9.2. szakasz). Ezeknek az értékeknek a megállapítása után az ellipszoidi helyzetet szélességi és hosszúsági koordinátákkal adjuk meg. Ezeket a koordinátákat aztán a vetületi egyenletek segítségével alakítjuk síkbeli derékszögű koordinátákká. Ennek az átalakításnak az általános egyenletei a következőképpen néznek ki:

$$x = f_1(\phi, \lambda), \quad y = f_2(\phi, \lambda)$$

ahol

x a kelet-nyugati irányú síkkoordináta
y az észak-déli irányú síkkoordináta
 ϕ a szélesség
 λ a hosszúság

Az f_1 és f_2 függvények alakján múlik, hogy pontosan milyen lesz a leképezés, és hogy az ellipszoidi vagy gömbi reprezentáció különböző jellemzőit milyen mértékben torzítja.

Az egyes konkrét vetületek, és azok jellemzőinek tárgyalása előtt fontos megérteni az ellipszoidi koordináták geodéziai jellemzőit, és hogy ezek a koordináták hogyan hozhatók létre modern műholdas helyzetmeghatározó eszközökkel.

9.2 A geodézia és a globális műholdas helyzetmeghatározó rendszerek (GNSS)

A térképvetületeket leggyakrabban a Föld felszínének kisebb-nagyobb darabjait ábrázoló térképek készítése során alkalmazzák. Egy térkép elkészítéséhez a területen geodéziai felmérést kell végezni, és a felmérés eredményeit megjeleníteni. A *geodézia* a Föld felszínén

való méréseknek, a Föld alakjának, méreteinek és gravitációs mezejének meghatározásával foglalkozó tudomány és technológia. Ágai az alsó- felső- és a műholdas geodézia.

Az *alsógeodézia* a földmérést, mérnökgeodéziát és a térbeli adatok kezelését foglalja magába. A földmérés során a földfelszíni objektumok egymáshoz viszonyított relatív helyzetét határozzuk meg úgy, hogy a Föld görbületét nem vesszük figyelembe. A mérnökgeodézia építményekhez (pl. utak, hidak, alagutak) és építkezésekhez kapcsolódó mérésekkel foglalkozik.

A *felsőgeodézia* a geodéziának a Föld gravitációs mezejével, és annak a mérésekre gyakorolt hatásával foglalkozó része. A felsőgeodézia fő célja, a geoid – a Földet modellező, konstans gravitációjú szintfelület – pontos méreteinek a meghatározása. A *geometriai geodézia* a Föld alakjának, méreteinek, az egyes részek pontos helyzetének meghatározásával foglalkozik, beleértve a földgörbület nyilvántartását is.

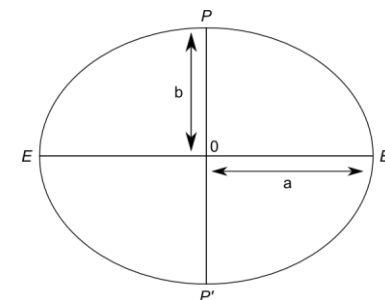
A *műholdas geodézia* a mérésekhez műholdakat használ. A múltban elszigetelt pontok helyzetének meghatározásához csillagászati geodéziát használtak, azaz a csillagok helyzetét mérték. A műholdas geodézia mérési technikai geodéziái célú felhasználásai a különféle globális műholdas helyzetmeghatározó rendszerek (Global Navigation Satellite Systems, GNSS), mint például a GPS, a Glonass vagy a Galileo. A *műholdas navigációs rendszerek* olyan műholdakon alapuló rendszerek, melyek a Föld bármely pontján független helymeghatározást tesznek lehetővé. A rendszerekhez tartozó kisméretű elektronikus vevőkészülékekkel pár méteres pontossággal megállapítható a földrajzi hely (szélesség, hosszúság, magasság) a készülékek látómezejében lévő műholdakról érkező időbélyegzőt tartalmazó rádiójelek

alapján. A vevők a pozíciójuk kívül a pontos időt is meghatározzák. A globális lefedettséget biztosító rendszerek hívhatók globális műholdas helyzetmeghatározó rendszernek vagy GNSS-nek. 2013 áprilisában még csak az amerikai NAVSTAR Global Positioning System (GPS) és az orosz GLONASS rendszer van ezen a szinten. A kínai Beidou regionális navigációs rendszer kiterjesztése folyamatban van; várhatóan 2020-ra válik globálissá. Az Európai Unió Galileo rendszere a kiépítés kezdeti fázisában lévő GNSS, amely leghamarabb 2020-tól less használható. Franciaország, India és Japán regionális navigációs rendszerek kiépítésén dolgozik. Egy navigációs rendszer globális lefedettségét általában 20-30 középmagas Föld körüli pályán, több különböző pályasíkban keringő műhoddal érik el. Az egyes rendszerek adatai különbözőek, de a pályasíkok dőlésszöge általában 50°-nál nagyobb, a keringési idő 12 óra körül vannak, 20000 km körüli magassággal.

A *fotogrammetria* segítségével különféle tárgyakra vagy a környezetünkre vonatkozó, megbízható mennyiségi adatok nyerhetők fényképek vagy különféle érzékelő-rendszerekkel rögzített elektromágneses sugárzási adatok mérésével, értelmezésével. *Távérzékelés* a neve közvetlen fizikai kontaktus nélküli – távolból végzett - adatgyűjtési eljárásoknak. Leggyakrabban repülő- vagy űreszközökről végzik.

A földfelszínről (vagy a gömbfelületről) a síkba történő vetítéshez tisztázni kell az ellipszoid, a (geodéziái) dátum és a koordináta-rendszer fogalmakat.

A *földi ellipszoid* egy olyan ellipszoid, mely a föld alakját közelíti. Bár egy általános ellipszoidnak három különböző hosszúságú tengelye lehet, a geodéziában és a térképészetben általában egy kis lapultságú forgási ellipszoidot használunk (9.2. ábra)



9.2. ábra. Forgási ellipszoidhoz kapcsolódó alapfogalmak: EE' a nagytengety, PP' a kistengely és egyben a forgástengely; „ a ” a nagy féltengely és „ b ” a kis féltengely.

A forgási ellipszoid egy ellipszis valamelyik tengelye körül való körforgatásával keletkező felület, amit előszeretettel használnak a földalak modellezésére. Példák a földi ellipszoidokra a Bessel által 1841-ben kidolgozott ellipszoid, vagy az újabban használt WGS84 és GRS80 ellipszoidok. A lapultságú az ellipszoid eltérését

mutatja a gömb formától és a $f = \frac{a-b}{a}$ képlet

definiálja, ahol a és b a nagy és a kis féltengelyek. A nagy féltengely a egyben az egyenlítői sugár is (mivel az Egyenlítő egy kör). A kis féltengely nem sugár, mivel az ellipszoid bármelyik olyan síkmetszete, amely tartalmazza a P és P' pólusokat, egy ellipszis és nem kör.

Általánosságban a dátum paraméterek egy halmaza, melyek referenciaként szolgálnak más paraméterek meghatározásához. A *geodéziái dátum* egy koordináta-rendszer origójának és tengelyeinek helyzetét írja le a Földhöz viszonyítva. Egy földi dátum definiálásához legalább 8 paraméterre van szükség: három az origó helyzetének meghatározásához, három a tengelyek

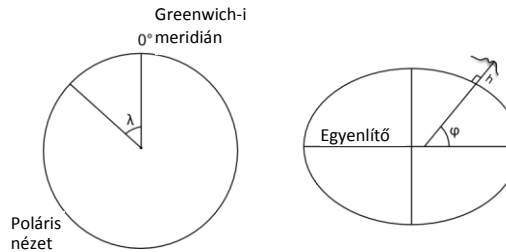
irányának meghatározásához, és kettő az ellipszoid méreteinek meghatározásához. A kétdimenziós dátum egy felületen kétdimenziós koordináták megadásához szükséges referencia. A felület lehet ellipszoid, gömb de akár sík is, ha a szóban forgó terület kicsi. Az egydimenziós dátum vagy magassági dátum a magasságok megadásának alapja, és általában valamilyen közepes tengerszinthez kapcsolódik.

A WGS84 és a GRS80 ellipszoidokat műholdas helyzetmeghatározó technikákkal állapították meg. Ezek az ellipszoidok a föld tömegközéppontjához illeszkednek (geocentrikusak) és elég jól közelítik az egész Föld alakját. A WGS84 dátum biztosítja az alapot a GPS rendszerek által meghatározott koordinátákhoz, bár a modern vevőkészülékek többsége képes a koordinátákat más, a felhasználó által választott rendszerbe is átszámítani.

Ha adataink más dátumhoz tartoznak, mint amiben szükségünk van rájuk, akkor dátum-transzformációt kell végeznünk. (pl. WGS84-ből North American Datum 1927-be vagy fordítva). Az ilyen átszámításnak számos módja van, ezek a különféle geodéziai szakkönyvekben (lásd ajánlott irodalom) vagy a készülékek használati utasításában megtalálhatók.

9.3 Háromdimenziós koordináta-rendszerek

A geodéziai koordináták (vagy más néven ellipszoidi koordináták) a geodéziai szélesség és hosszúság, magassággal vagy anélkül.



9.3. ábra: Geodéziai vagy ellipszoidi koordináta-rendszer.

A *geodéziai szélesség* a parallelkörök helyzetét a földi ellipszoidon megadó paraméter, amit az adott pontban az ellipszoid felszínére bocsátott merőleges vonalnak az egyenlítő síkjával bezárt szöge definiál. Értéke általában a $[-90^\circ, 90^\circ]$ intervallumba esik és a görög ϕ betű jelöli. A geodéziai szélesség északi irányban nő, dél felé pedig csökken. A geodéziai hosszúság a meridiánok helyzetét megadó paraméter, mely a kezdőmeridián (a londoni Greenwich obszervatóriumon áthaladó meridián) és az adott ponthoz tartozó meridián síkja által bezárt szög. Értéke általában a $[-180^\circ, 180^\circ]$ intervallumba esik, és a görög λ betű jelöli. A geodéziai hosszúság kelet felé nő és nyugat felé csökken (9.3. ábra).

A geodéziai dátum adja meg a geodéziai koordinátáknak a Földhöz való kapcsolatát. A ϕ , λ és h magasság átszámíthatók egy, a Föld középpontjába helyezett derékszögű koordináta-rendszerbe a következő képletekkel:

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cos \phi \sin \lambda \\ Z &= (N(1 - e^2) + h) \sin \phi \end{aligned}$$

ahol

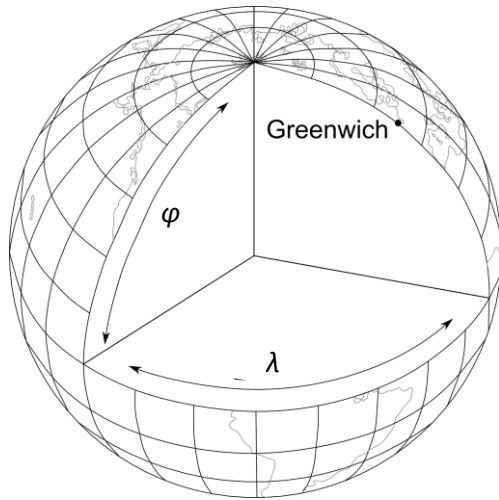
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}.$$

Ha a Föld egy nagyobb részét szeretnénk bemutatni (egy kontinent vagy az egész Földet), akkor a lapultságú elhanyagolható. Ilyen esetben a geodéziai koordináta-rendszer helyett földrajzi koordináta-rendszerrel beszélünk. A földrajzi koordinátákat (más néven gömbi koordinátákat) a földrajzi szélesség és hosszúság alkotják, magassággal vagy anélkül. A *földrajzi szélesség* a parallelkörök helyzetét a gömbön megadó paraméter, melyet az adott pontból a gömb középpontjába mutató irány és az Egyenlítő síkja által bezárt szög definiál. Értéke általában a $[-90^\circ, 90^\circ]$ intervallumba esik és a görög ϕ betű jelöli. A földrajzi szélesség északi irányban nő, dél felé pedig csökken. A *földrajzi hosszúság* a meridiánok helyzetét megadó paraméter, mely a kezdőmeridián és az adott ponthoz tartozó meridián síkja által bezárt szög. Értéke általában a $[-180^\circ, 180^\circ]$ intervallumba esik, és a görög λ betű jelöli. A földrajzi hosszúság kelet felé nő és nyugat felé csökken (9.4. ábra).

A ϕ , λ földrajzi koordináták és a h magasság átszámíthatók egy, a Föld középpontjába helyezett derékszögű koordináta-rendszerbe a következő képletekkel:

$$\begin{aligned} X &= (R + h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y &= (R + h) \cos \phi \sin \lambda \\ Z &= (R + h) \sin \phi \end{aligned}$$

ahol R a gömbölyűnek tekintett Föld sugara.



9.4. ábra. Földrajzi (vagy gömbi) koordináta-rendszer: φ földrajzi szélesség és λ földrajzi hosszúság.

A gömbi koordináta-rendszer tekinthető az ellipszoidi koordináta-rendszer egy különleges esetének, ha a lapultság nulla ($f = 0$), vagy, ami ezzel egyenértékű, a második excentricitás nulla ($e = 0$).

A geodéziai és térképészeti gyakorlatban előfordul, hogy a derékszögű koordinátákból kell gömbi vagy akár ellipszoidi koordinátákra átszámolni, továbbá arra is szükség lehet, hogy két háromdimenziós koordináta-rendszer között számítsuk át. Erre a megfelelő módszerek a szakirodalomban megtalálhatók (lásd ajánlott irodalom).

9.4 Síkbeli koordináta-rendszerek

A téradatok felhasználáskor szükség van valamilyen közös referencia-rendszerre, ami az esetek többségében egy síkbeli koordináta-rendszer. Mivel a térképek síkban vannak, a műholdas helyzetmeghatározásból vagy egyéb forrásokból származó gömbi vagy ellipszoidi koordinátákat síkba kell transzformálnunk. A legegyszerűbb ilyen transzformáció, ha a síkbeli x koordinátát ϕ -vel, az y koordinátát pedig λ -val tesszük egyenlővé (vagy fordítva). Az eredményt négyzetes hengervetületnek hívják (a külföldi szakirodalomban gyakran Plate Carrée), és bár a leképezés nagyon egyszerű, a torzulásai meglehetősen kedvezőtlenek: a területek, hosszok és irányok torzultan jelennek meg a síkon.

Bonyolultabb transzformációkkal megőrizhetjük a területeket vagy szögeket, bizonyos hosszúságokat vagy egyéb jellemzőket, de olyan leképezés nincs, ami mentes minden torzulástól. Valójában általában egyszerre csak egy bizonyos jellemző (pl. a terület vagy a szögek) pontos leképezése valósítható meg, miközben más jellemzők torzulni fognak. Emiatt aztán számos különböző térképvetületet dolgoztak ki, melyek más és más torzulási jellemzőkkel bírnak. A következő szakaszokban bemutatunk néhány gyakran használt leképezést, melyek között vannak szögpartók, területpartók, bizonyos irányokban hosszpartók is.

Az UTM (Universal Transverse Mercator) koordináta-rendszer hat fok kelet-nyugati szélességű, a déli szélesség 80° -tól az északi 84° -ig tartó sávok (zónák) leképezésein alapul. Az UTM redukciós tényezője $0,9996$; ennyivel kisebbek a távolságok a zónák középmeridiánjai

mentén. Ennek köszönhetően egy zónán belül mindenütt $1/2500$ alatt van a maximális eltérés. Az északi félgömbön a középmeridián x koordinátája 0 helyett $500\,000$ m-re van állítva (False Easting). Az y koordináta ez egyenlítő mentén 0 . A déli félgömbön a False Easting szintén $500\,000$ m, de itt az Egyenlítő y koordinátája $10\,000\,000$ m (False Northing). Ezeknek az eltolásoknak köszönhetően az UTM koordináták mindig pozitív számok.

Az UTMGS-ben (Universal Military Grid System) a pólusok környékét (Az é.sz. 84° -on, ill. a d.sz. 80° -on túl) az UPS (Universal Polar Stereographic) vetületben ábrázolják. Ennek a vetületnek az adott pólus a középpontja, a redukciós tényező $0,9994$, a nevük "North Zone" ill. "South Zone".

A térképvetület választását az ábrázolandó terület alakja is befolyásolja. Az USA-ban használt State Plane koordináta-rendszerek például a Lambert-féle szögpartó kúpvetületet használják olyan államokban amelyek nagy kelet-nyugati kiterjedésűek (pl. Tennessee), míg a nagy észak-déli kiterjedésű államokban (pl. Illinois) a transzverzális Mercator vetületet. Nem csak a térképvetület és a méretarány fontos egy térképnél, hanem a koordináták mértékegysége is. A térképről való minél pontosabb adatlevétel érdekében mindig alaposan olvassunk le minden vonatkozó információt a térkép keretéről vagy címezeijéből; szükség esetén keressük fel az adott ország vagy terület térképkészítésért felelős szervét.

A földrajzi modellezés és analízis végső síkkoordináta-rendszere, különösen a műholdképek és légifotók esetében egy képi koordináta rendszer. A digitális képeket kezelő rendszerek általában nem jobbsodrású derékszögű koordináta-rendszerek, mivel a kezdőpontjuk

(0,0) általában a kép bal felső sarkában van. Az x koordináta (oszlop) jobbra nő, míg az y koordináta (sor) lefelé. Az egység legtöbbször képelemekben (pixelekben) van kifejezve. A pixel egy (többnyire négyzet alakú) meghatározott felszíni területesség, melynek méretét általában méterben adják meg.

A geodéziai és térképészeti gyakorlatban sokszor kell átszámítani síkbeli derékszögű koordinátákat valamilyen más koordináta-rendszerbe. A közvetett módszer esetében a kiindulási koordináta-rendszerből először kiszámítjuk a gömbi vagy ellipszoidi koordinátákat az ún. inverz vetületi egyenletek segítségével, majd ezekből a másik síkkoordináta-rendszerhez tartozó vetületi egyenletekkel az abban a rendszerben érvényes koordinátákat. A közvetlen módszer esetén az egyik síkkoordináta-rendszerből a másikba közvetlenül számolunk át, forgatással, eltolással nagyítással, vagy más síkbeli transzformációkkal.

9.5 Térképvetületek osztályozása

A vetületeket osztályozhatjuk a geometriai alap, az alak, a különleges tulajdonságok, a vetületi paraméterek és a nevezéktan alapján is. A geometriai osztályozás a fokhálózat (a szélességi körök és a meridiánok által alkotott hálózat) képén alapul. Eszerint az osztályozás szerint a vetületek lehetnek *hengervetületek*, *kúpvetületek* vagy *síkvetületek*, de vannak további kategóriák is. A geometriai osztályozás teljes leírása megtalálható az ajánlott irodalomban.

Egy síkvetület a Föld képét egy síklapra vetíti. Egy hengervetületű térkép tényleg hengerré hajlítható, egy kúpvetületű térkép pedig kúppá. Ennek ellenére fogadjuk el, hogy szinte az összes térképvetület matematikai (főleg differenciálszámítási) levezetések

alapul. Ez a megközelítés teszi lehetővé a különféle jellemzők megőrzését a vetítés során, pl. a területtartást vagy szög tartást.

9.5.1 Hengervetületek

A hengervetületek a Földet téglalap alakúra képezik le. Ez a téglalap úgy képzelhető el, mintha a Föld képét egy, a bolygót körülölelő hengerfelületre vetítenénk, majd a hengert a síkba terítenénk. Normál állású hengervetületek esetén a szélességi körök vízszintes, míg a meridiánok függőleges egyenesekként jelennek meg. A hengervetületeken lehet egy vagy két olyan vonal, amely mentén nincsenek hossztorzulások. A hengervetületek klasszikus példái a szög tartó Mercator-vetület, vagy a Lambert-féle terület tartó hengervetület (9.5. ábra).

A hengervetületeket gyakran használják világtérképekhez úgy, hogy az északi és a déli pólus környékét leahagyják az ott jelentkező nagy torzulások miatt. A normál állású Mercator-vetületet világszerte alkalmazzák tengerészeti térképekhez, transzverzális változatát pedig a topográfiai térképezésben – ez az alapja az UTM vetületi rendszernek is.

9.5.2 Kúpvetületek

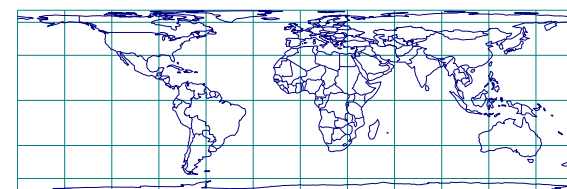
A kúpvetületek képét egy síkba terített kúp felület adja. Legtöbbjük azonban matematikai levezetéssel definiálható, nem pedig kúpra való perspektív vetítéssel. Egy vagy két hossztorzulás nélküli vonaluk lehet.

A kúpvetületek klasszikus példái a Lambert-féle szög tartó és az Albers-féle terület tartó kúpvetület (9.6. ábra). A kúpvetületek nem alkalmasak az egész Föld ábrázolására; a legjobban nagy kelet-nyugati kiterjedésű, közepes szélességeken fekvő területekhez használhatók.

Emiatt ideálisak az északi félteke olyan területeinek bemutatására, mint az USA, Európa vagy Oroszország.



a.



b.

9.5. ábra. A szög tartó Mercator-hengervetület (a) és a Lambert-féle terület tartó hengervetület (b).



a.



b.

9.6. ábra. Lambert-féle szögtartó kúpvetület (a) és Albers-féle területtartó kúpvetület (b).

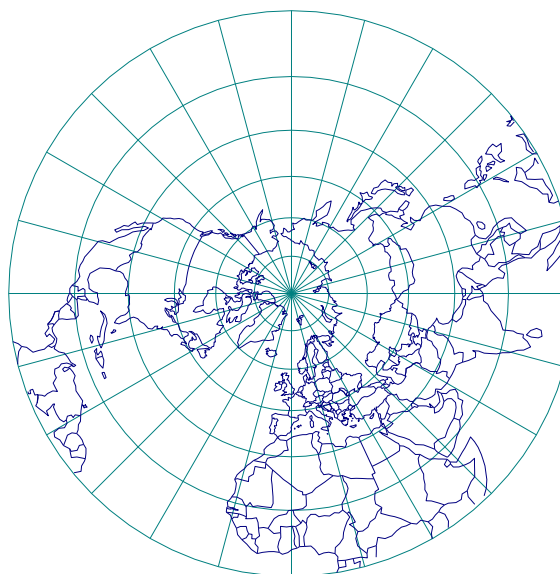
A kúpvetületek klasszikus példái a Lambert-féle szögtartó és az Albers-féle területtartó kúpvetület (9.6. ábra). A kúpvetületek nem alkalmasak az egész Föld ábrázolására; a legjobban nagy kelet-nyugati kiterjedésű, közepes szélességeken fekvő területekhez használhatók. Emiatt ideálisak az északi félteke olyan területeinek bemutatására, mint az USA, Európa vagy Oroszország.

9.5.3 Síkvetületek

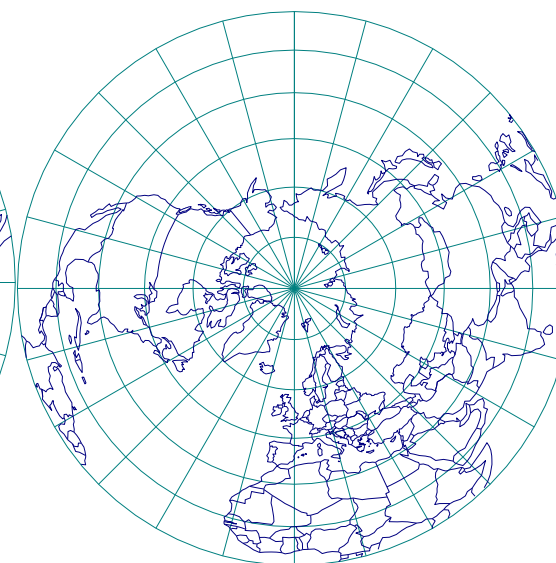
A síkvetületek vagy azimutális vetületek megtartják vetületi kezdőpontból kiinduló irányok által bezárt szöget. Egy pontjukban, vagy egy kör mentén torzulásmentesek is lehetnek. A síkvetületek tipikus példái a sztereografikus vetület vagy a Lambert-féle területtartó vetület (9.7. ábra).

9.5.4 Egyéb osztályozások

A térképvetületeket nézet (a fokhálózat, a pólusok és az Egyenlítő megjelenése a vetületen) alapján is csoportosíthatjuk. A nézet lehet poláris, egyenlítői, normál, transzverzális vagy ferdetengelyű. Ennek megfelelően vannak poláris, normál, egyenlítői, transzverzális és ferdetengelyű vetületek. Ezek a nevek azonban nem egy szisztematikus csoportosítást jelentenek, hanem egyedi vetülethalmazokat. Egy vetület lehet például egyszerre poláris és normál.

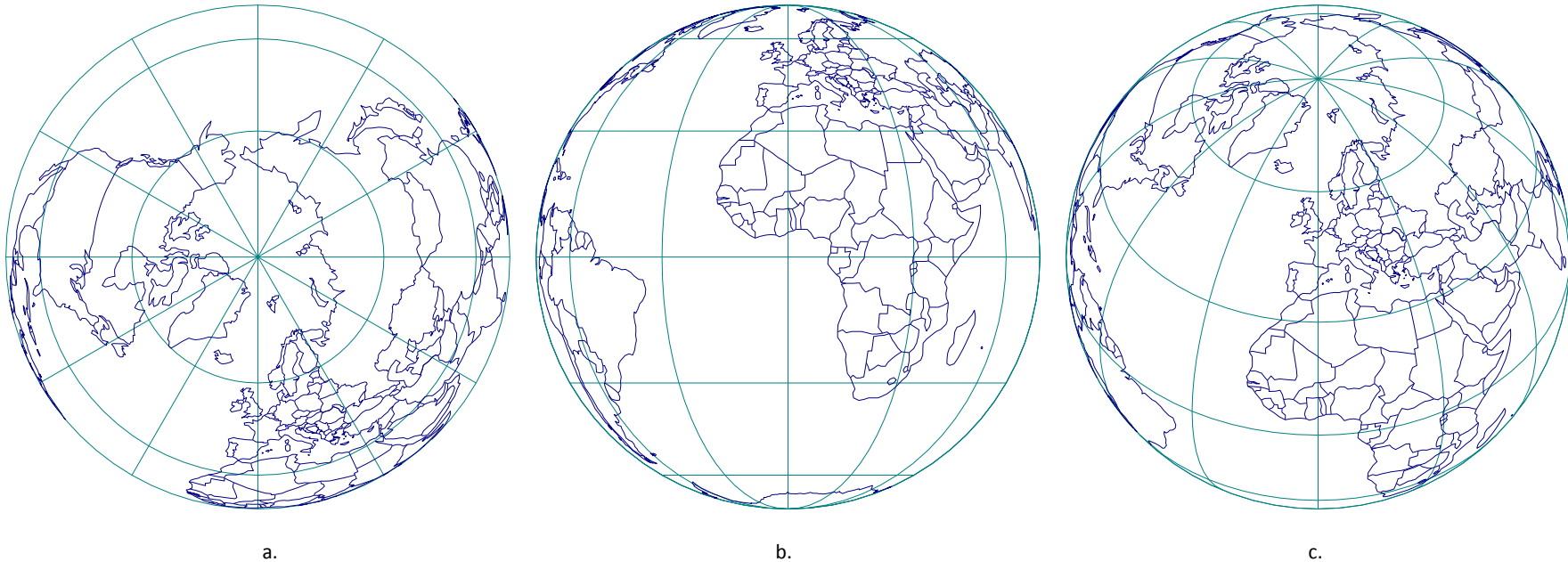


a.



b.

9.7. ábra. A sztereografikus vetület (a) és a Lambert-féle területtartó vetület (b).



9.8. ábra. Ortografikus vetület normál (a), transzverzális (b) és ferdetengelyű (c) helyzetben.

Elméletileg bármelyik vetület előállítható bármelyik nézetben. A legtöbb vetületet azonban csak bizonyos nézetekben alkalmazzák, mivel így lehet leginkább kihasználni kedvező tulajdonságaikat.

Sok jellemző (mint a hőmérséklet, különféle szennyeződések, biodiverzitás) függ a földrajzi szélességtől. Azoknál a vetületeknél, melyeknél szélességi körök közti távolság konstans, egyenlítői helyzetben a szélesség arányos a függőleges távolsággal, ami megkönnyíti az összehasonlítást. Bizonyos vetületek fokhálózata normál nézetben egyszerű, mértanilag szerkeszthető görbékkel áll.

Ami a legtöbb transzverzális és ferdetengelyű vetületet illeti, ezeket nem elemezték szisztematikusan a számítógépek kora előtt. Ferdetengelyű vetületek kiszámítása egy adott ellipszoidhoz általában nagyon bonyolult, és nincs is minden vetülethez kidolgozva. Ennek ellenére a ferdetengelyű vetületeket is használják a gyakorlatban.

Egy térképvetület normális vetület (vagy normál nézetben van), ha a fokhálózat, a pólusok és az egyenlítő vetületi helyzete a legtermészetesebb. Ezt leggyakrabban a legegyszerűbb számításokhoz vagy a fokhálózat legegyszerűbb megjelenéséhez kötik.

Síkvetületeknél a poláris helyzet a normális, míg hengervetületeknél az egyenlítői. Normál helyzetű síkvetületeknél és kúpvetületeknél a fokhálózat képe egyenesekből és körvekből áll; normál állású hengervetületeknél egymást derékszögben metsző egyenesekből.

Egy térképvetület transzverzális, ha a vetületi kép úgy néz ki, mintha a normál helyzetű vetületi egyenletek alkalmazása előtt a glóbuszt 90°-kal elforgatva a pólusok az egyenlítő síkjába kerültek volna.

Egy vetület poláris vetület, ha a pólus képe van középen. Ezt a kifejezést szinonimaként használják a normál

helyzetű síkvetület helyett.

Egy vetület egyenlítői, ha az Egyenlítő képe a térkép egyik (többnyire a vízszintes) tengelyével egybeeső, a kép közepén elhelyezkedő egyenes. Az "egyenlítői vetület" kifejezést sokszor a normál állású hengervetület helyett használják.

Egy vetület ferdetengelyű, ha se nem poláris, se nem egyenlítői, se nem normál, se nem transzverzális. (9.8. ábra).

9.6 Bizonyos jellemzők megtartása térképvetületekkel

A vetületeket általában úgy alkotják meg, hogy bizonyos alapfelületi tulajdonságokat megőrizzenek (pl. területek, szögek, távolságok), vagy, hogy valamilyen vonalak, pl. az alapfelületi főkörök (a Föld középpontján áthaladó síkok és a felszín metszetei) egyenesekké képeződjenek le. A szögeket nem torzító térképek vetületét *szögtartónak* hívjuk. A területeket megőrző vetületeket pedig *területtartó* vagy *ekvivalens* vetületeknek.

9.6.1 Szögtartás

Gerardus Mercator 1569-ben kifejlesztett egy szögtartó hengervetületet, amely azóta az ő nevét viseli. A célja az volt, hogy a loxodromák – azok a vonalak, melyek minden pontjukban ugyanakkora szöget zárnak be az északi iránnyal – egyenesként jelentkezzenek, ezzel megkönnyítve a térképre húzott vonalak mentén hajózást. A Mercator-vetületben a meridiánok egyenlő távolságra lévő párhuzamos egyenesek, míg a szélességi körök ezekre merőleges egyenesek, melyek egymástól való távolsága a pólusok felé haladva nő. Az Északi- és a Déli-sark nem ábrázolható a térképen. Az Egyenlítő, vagy

két másik, az Egyenlítőtől egyenlő távol fekvő paralelkör hossztartó. A magasabb szélességeken jelentős a területek torzulása, emiatt a Mercator-vetület nem ajánlott világtérképekhez (9.5. ábra). A vetületet navigációs térképekhez tervezték, és a legjobban ilyen célra használható.

Transzverzális Mercator

A transzverzális helyzetű Mercator-vetület, mely Gauss–Krüger vetület néven is ismert, egy olyan vetület, mely az Egyenlítő helyett egy meridián mentén hossztartó. A középmeridián és az Egyenlítő egyenes, míg a többi fokhálózati vonal olyan görbe, mely a középponttal ellentétes irányban görbül. A vetületben a középmeridián, vagy annak két oldalán egy-egy azzal párhuzamos egyenes mentén lehet hossztartó. Gyakran használják nagy méretarányú, kis területeket ábrázoló térképekhez. A torzulások eloszlása miatt nagyobb területeken alkalmazva azokat általában három vagy hat fok széles zónákra osztják a meridiánok mentén. A vetület nagyon elterjedt a topográfiai térképezésben 1 : 25 000 és 1 : 250 000 méretarányok között. Az UTM vetületi rendszernek is ez az alapja.

Lambert szögtartó kúpvetület

A Lambert-féle szögtartó kúpvetületet (Lambert Conformal Conic, LCC) Johann Heinrich Lambert dolgozta ki 1772-ben. A vetületben a meridiánok egy pontba összetartó egyenesek (9.6a. ábra). A meridiánok által bezárt szög a térképen kisebb, mint a valóságban. A paralelkörök koncentrikus körívek, melyek közt a távolság a pólustól távolodva nő. Az egyik pólus a körök középpontjában található, míg a másik nem ábrázolható a térképen. Egy vagy két paralelkör (az ún. *normálpárhuzamosok*) mentén hossztartó a vetület, és

bármely adott paralelkör mentén a hossztorzulás állandó. Ezt a vetületet kiterjedten használják olyan területek nagy méretarányú térképeihez, melyek közepes szélességeken helyezkednek el, és nagy kelet-nyugati kiterjedésűek. Sok országban az 1 : 500 000 méretarányú térképek szabvány vetülete, és egyben a léginavigációs térképeké is, ugyanilyen méretarányban.

Sztereografikus vetület

A sztereografikus vetületet az i.e. második században dolgozták ki. Ez egy szögtartó, perspektív síkvetület. Ez az egyetlen olyan vetület, mely minden gömbi kört körként képez le. A poláris, egyenlítői és ferde nézetek fokhálózati képe különbözőképpen néz ki. A poláris nézetet úgy kapjuk, ha az egyik pólust vetítési középpontnak használva a gömböt a másik pólusnál érintő síkra vetítjük. Ebben a nézetben a meridiánok képei egy pontban (a pólusban) összefutó egyenesek, melyek ugyanakkora szöget zárnak be egymással, mint alapfelületi párjaik. A paralelkörök képei koncentrikus körök, melyek egymástól való távolsága a pólustól távolodva nő. Ezt a vetületet használják a poláris területek topográfiai térképeihez. Az UPS (Universal Polar Stereographic) vetület az UTM kiegészítő vetülete a katonai térképezésben. Ferdetengelyű helyzetben, ellipszoid alapfelülettel is használják a sztereografikus vetületet nagyjából kör alakú területek térképezéséhez, többek között Kanadában, Lengyelországban, Romániában vagy Hollandiában. A különböző országokban más és más változatait használják a vetületnek.

9.6.2 Területtartás

Lambert területtartó hengervetület.

A területtartó hengervetületet először Johann Heinrich Lambert mutatta be 1772-ben. Ez az alapja sok más területtartó vetületnek, pl. a Gall ortografikus, a Behrmann és a Tystan-Edwards vetületeknek is. Lambert eredeti vetületének egy hossztartó parallelköre van, az Egyenlítő (9.5b. ábra), de létezik hasonló vetület két hossztartó parallelkörrel is. A Lambert-féle területtartó vetületben a meridiánok egymástól egyforma távolságra elhelyezkedő párhuzamos egyenesek, és az Egyenlítő π -szer hosszabb a meridiánoknál. A szélességi körök az Egyenlítővel párhuzamos egyenesek; a köztük lévő távolságok a pólusok felé csökkennek a területtartás érdekében. A hossz- és szögtorzulások jelentősen megnőnek a magasabb szélességeken. A vetületet ritkán használják közvetlen térképkészítésre, viszont előszeretettel használják tankönyvekben a vetülettan alapelveinek bemutatására, és számos vetületet származtattak belőle.

Mollweide

Carl Brandan Mollweide 1805-ben kifejlesztett egy területtartó képzetes hengervetületet, melyen a középmeridián egy, az Egyenlítő felével megegyező hosszúságú egyenes, és az egész Földet ellipszis alakban ábrázolja. A középmeridiántól keletre és nyugatra 90° -ra fekvő meridiánok egy kört formáznak. A többi meridián egymástól egyenlő távol eső fél ellipszis, melyek a pólusokban érintik egymást. A parallelkörök a középmeridiánra merőleges egyenesek, melyek nem egyenközűen helyezkednek el. A köztük lévő távolság az Egyenlítőnél a legnagyobb.



9.9. ábra. Az ICA logója Mollweide-vetületben.

A pólusok pontok, és a $40^\circ 44'$ északi és déli szélességi körök mentén hossztartó a vetület. Az egész Föld greenwichi középmeridiánnal a 9.9. ábrán látható. A Mollweide-vetületet időnként használják világtérképekhez, elsősorban tematikus térképekhez, ahol a területtartás fontos. Oktatási célokra készültek térképek a vetület normáltól eltérő nézeteiben is. Az ICA logójául is ezt a vetületet választották.

9.6.3 Általános torzulású vetületek

Azokat a vetületeket, melyek se nem szögtartók sem területtartók, általános torzulású vetületeknek nevezzük. Ez egy rendkívül változatos vetületecsoport, sok hasznos és fontos vetülettel.

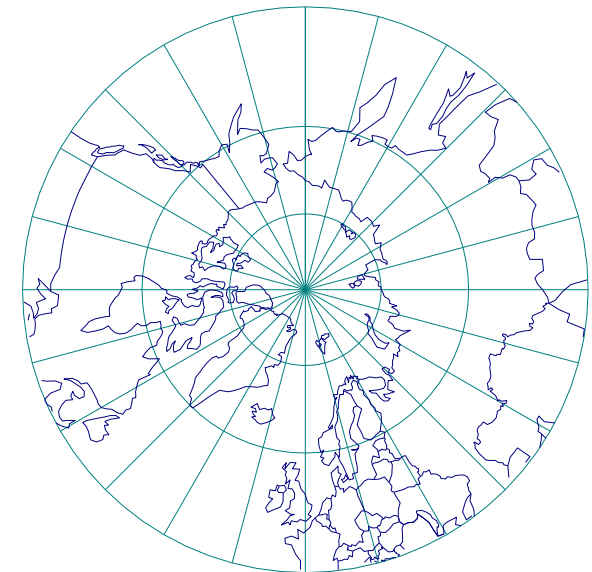
Ortografikus vetület

Az i.e. II. században kifejlesztett ortografikus vetület egy általános torzulású perspektív síkvetület. Használják poláris, egyenlítői és ferde helyzetben is, és egy félgömböt ábrázolhatunk vele. Poláris helyzetben a meridiánok a pólusban összefutó egyenesek, melyek közötti szögek az alapfelületivel megegyeznek. A parallelkörök képei a póluspont körüli koncentrikus körök, a köztük lévő távolság a pólustól távolodva

csökken. A vetület képe egy glóbuszra hasonlít (9.8. ábra), és lényegében a glóbusz végtelen távolságból való (azaz párhuzamos vetítősugarakkal, ortogonálisan) síkra vetítése. Gyakran használják a Föld úrbéli látványának képszerű ábrázolására.

Gnomonikus vetület

A gnomonikus vetület is általános torzulású vetület; egy olyan perspektív síkvetület, melynél a vetítési középpont a Föld középpontjában van, innen a név eredete (a gnómonok, azaz törpék lakhelye). A görög Thálész dolgozta ki, valószínűleg i.e. 580 körül. A vetületben minden főkör – beleértve a meridiánokat és az Egyenlítőt is – egyenesre képeződik le, ami csak erre a vetületre jellemző (9.10. ábra)



9.10. ábra. A főköröket egyenesekre leképező gnomonikus vetület.

A fokhálózat képe a nézettől függ, akárcsak a többi síkvetületnél. Poláris nézetben a meridiánok a pólusban összefutó egyenesek, melyek között a szög az alapfelületivel megegyezik. A paralellkörök a póluspont körüli koncentrikus körök, melyek egymástól való távolsága a pólustól távolodva nő. Ebben a vetületben csak félgömbnél kisebb terület ábrázolható. A középponttól távolodva gyorsan nő a hossztorzulás. A hajózásban és a repülésnél van gyakorlati haszna a nagykörök egyenesre való leképezése miatt a legrövidebb útvonalak tervezésekor.

Meridiánokban hossztartó síkvetület

Poláris nézetben a meridiánok a pólusban összefutó egyenesek, melyek között a szög az alapfelületivel megegyezik. A paralellkörök a póluspont körüli koncentrikus körök, melyek között állandó a távolság. Az egész Föld ábrázolható, de ilyenkor az ellentétes pólus a térképet határoló körvonal, melynek sugara az Egyenlítőének kétszerese. Egyenlítői nézetben a meridiánok összetett görbék, melyek az egyenlítőnél egyenlő távolságra vannak egymástól, és a pólusokban metszik egymást. A paralellkörök is görbék, melyek a közelebbi pólus irányába homorúak, és egyenlő távolságra vannak egymástól a kezdőmeridián, illetve az attól 90°-ra fekvő meridiánok mentén. Bármelyik, a vetületi középponton áthaladó egyenes hossztartó, az ezekre merőleges irányokban viszont a középponttól távolodva nőnek a hossztorzulások, melyek a félgömbön belül még mérsékeltek, azonban az egész glóbuszt ábrázolva a térkép szélein rendkívül nagyok. A vetületi középponton áthaladó egyenesekre eső pontok közti távolság a térképen nem torzul; ez különösen akkor hasznos, ha az egyik pont a középpont.

A vetületet poláris nézetben rendszeresen használják a pólusok környékének ábrázolására, az északi és a déli félteke, és a „repülés kori Föld” bemutatására. A ferde nézet elterjedt olyan világtérképek készítésére, melyeknél egy-egy fontos város van a középpontban, és időnként kontinensek bemutatására. A meridiánokban hossztartó síkvetület az ENSZ zászlaján is szerepel (9.11. ábra)



9.11. ábra. Meridiánokban hossztartó síkvetület az ENSZ zászlaján.

Winkel Tripel

A Winkel Tripel vetület se nem szögtartó, se nem területtartó; a német Oswald Winkel mutatta be 1921-ben.



9.12. ábra. A Winkel Tripel vetület.

A vetületet a négyzetes hengervetület és az Aitoff-féle vetület koordinátáinak átlagolásával kapjuk. Winkel azért adta a „Tripel” (tripla) nevet, mert célja mindhárom torzulásfajta (terület- szög- és hossztorzulás) minimalizálása volt.

A középmeridián egyenes. A többi meridián térkép szélei felé domborodó ív, melyek az Egyenlítőt egyenlő darabokra vágják.

Az Egyenlítő és a pólusok egyenes vonalak. A többi paralellkör a közelebbi pólus felé görbülő ív. A pólusvonalak hossza az Egyenlítő hosszának kb. 0,4-szerese, a hossztartó paralellkör megválasztásától függően. A középmeridián hossztartó; az Egyenlítő mentén konstans a hossztorzulás. A torzulások kedvezőek, kivéve a szélső meridiánok közelében a pólusok környékén. A Winkel Tripel vetületet világtérképekhez használják (9.12. ábra).

9.7 Újabb vetülettani eredmények

9.7.1 Web Mercator

A legtöbb nagy online autótérkép (Bing Maps,

OpenStreetMap, Google Maps, MapQuest, Yahoo Maps, stb.) a Mercator-vetület egy változatát használja térképeikhez. A kis méretarányokban jelentkező nagyfokú torzításai ellenére a vetület jól használható interaktív, tetszőlegesen nagyítható világtérképekhez, mivel beleszűrésre egy kisebb területen relatíve kicsi lesznek a torzulások annak köszönhetően, hogy ez a vetületváltozat is közel szögártó.

A hossztorzulás egy szögártó térkép (mint amilyen a gömbi vagy az ellipszoidi Mercator-vetület) egy adott pontján független az irányoktól. Ez azonban nem igaz a Web Mercatorra.

A Web Mercator vetületnél egy, a WGS84 ellipszoid fél nagytengelyével egyenlő sugarú gömbről vetítünk a (szögártó) gömbi Mercator-vetület segítségével a síkra. Azonban WGS84-es ellipszoidi koordinátákból a gömbi koordinátákat átalakítás nélkül kapjuk; ez a leképezés azonban nem szögártó – az ellipszoid lapultsága miatt. elsősorban a magasabb szélességeken szögtorzulás lép fel. Emiatt a Web Mercator vetület nem szögártó, hiszen a két egymást követő leképezés (Ellipszoid–gömb, gömb–sík) közül az első nem szögártó.

Amíg valaki arra használja a Web Mercator vetületet, hogy kinyomtassa az útvonalat a város túlsó felén lévő étteremhez, vagy bármilyen más webes vagy képernyőn való megjelenítéshez, addig nincs semmi baj. Viszont a vetületet elkezdtek a térinformatikában is használni, ahol önálló életre kelt, amire bizonyosság a vetület EPSG, ESRI és FME kódjai. A térinformatikai szakembereknek tisztában kell lenniük azzal, hogy a Web Mercator nem szögártó. Ha a különféle irányszámításokat egyszerűen végezzük (ahogy egy szögártó vetület esetén szokásos), az eredmény hibás lesz. Ha korrektül számolunk, akkor pedig bonyolult lesz a számítás menete.

Egy Észak-Amerika nagyságú területen az eltérések aprónak tűnnek. Az egyenlítő mentén nincs is különbség a koordinátákban, de a 70°-os északi szélességnél már 40 km-es észak-déli eltérés adódik. Ez a nyúlás a magyarázat a szögártás elvesztésére a Web Mercator vetületben.

A Mercator-vetület azért hasznos a hajózásban, mert a loxodromák egyenesek. Ezek azok az állandó azimutú (az északi iránnyal konstans szöget bezáró) vonalak, amelyek mentén a GPS-korszak előtt a hajósok haladtak. Emiatt fontos megjegyeznünk, hogy a Web Mercator vetületben az egyenesek nem a loxodromák képei.

Összefoglalva, a Web Mercator vetület:

- Hengervetület;
- A meridiánok egymástól egyenlő távolsága lévő egyenesek
- A paralellkörök nem egyenközű egyenesek, kiosztásuk nem azonos a szögártó Mercator-vetületével;
- A loxodromák nem egyenesek;
- Nem perspektív;
- A pólusok a végtelenben vannak;
- Nem Mercator vezette be 1569-ben, hanem a Google az elmúlt években;
- Nem szögártó.

9.7.2 Map Projection Transitions

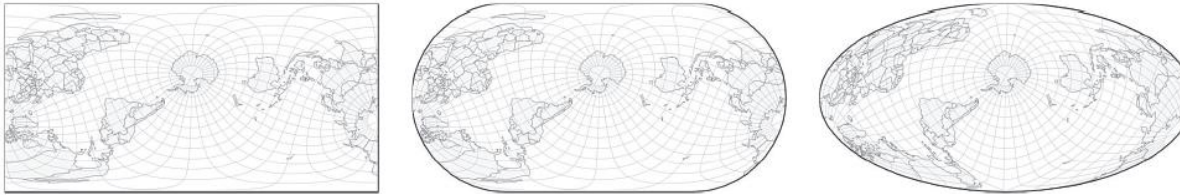
A *Map Projection Transitions (térképvetület-átmenetek)* egyike Jason Davies térképes alkalmazásainak. A weboldalon (<http://www.jasondavies.com/maps/transition>) egy világtérképet láthatunk fokhálózattal és országhatárokkal, ferdetengelyű Aitoff-vetületben, a Déli-sarkkal a térkép aló harmadánál. A térkép nem

statikus, hanem animált. A Déli-sark lefelé mozog, miközben a Föld forog a tengelye körül. Az animáció 5 másodpercig tart, ami után a vetület megváltozik; ismét 5 másodpercnyi animáció, majd újból vetületváltás. A vetületek nevei egy különálló ablakban jelennek meg. Összesen 56 vetület van. A Déli-sark időnként eltűnik és helyette felülről bekúszik az Északi-sark. A forgás következtében a Föld különböző pontjai kerülnek a térkép közepére (9.13. ábra).

A „Pause” gombra kattintva az animáció megáll, és kiválaszthatunk egy másik vetületet. Bal egérgombbal elmozdíthatjuk a térképet, és beállíthatjuk a vetület nézetét – poláris, egyenlítői, vagy tetszőleges ferde nézetet. Ilyen módon tisztán láthatók a különbségek két vetület között. Például kiválaszthatjuk a Ginzburg VI. vetületet, és annak normál nézetét az egérrel. Ha kíváncsiak vagyunk, hogy miben különbözik a vetület fokhálózata a hasonló Winkel Tripel vetületétől, egyszerűen megtehetjük a legördülő menüből a Winkel Tripel-re kattintva. A képernyőn a vetület átalakul a kiválasztottra, és a különbségek jól nyomon követhetők.

A *Maps* linkre kattintva egy sor érdekes alkalmazást láthatunk megszakított vetületekkel, pillangóformájú térképekkel, retroazimutális vetületekkel és egyéb vetületi érdekességekkel. Mindegyik alkalmazásnál használható az egér a nézet beállítására. Például, a megszakított szinuszos vetületnél a világtérkép három szegmensben jelenik meg. Az egérrel áthúzzhatjuk a világ egy részét egyik szegmensből a másikba, míg a képernyő alján látható csúszkával beállíthatjuk a szegmensnek számát a megszakítatlan térképtől a 24 osztatú világtérképig.

Hasonlóan beállíthatjuk a Berghaus (Snyder and Voxland, 1989) csillagvetületet is. Az *“Azimuth and Distance from*



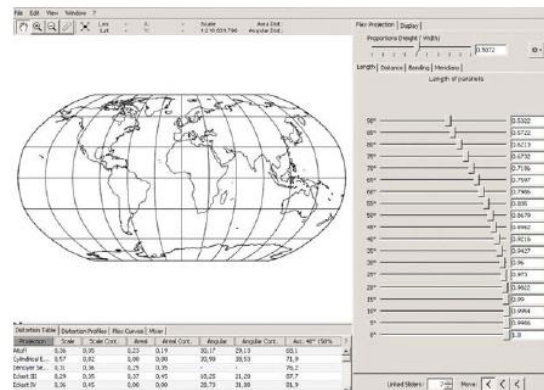
9.13. ábra. A Map Projection Transitions alkalmazásból (<http://www.jasondavies.com/maps/transition>)

London” alkalmazásban az egérrel Londontól mért távolságokat és irányokat olvashatunk le a ferdetengelyű négyzetes hengervetületű, vagy meridiánokban hossztartó vetületű világtérkép bármely pontján. Ha egy alkalmazás kísérő szövege utal egy vetületre, akkor egy link is mutat a Wikipedia megfelelő cikkére, ahol részletes információt kaphatunk az adott vetületről

9.7.3 Új térképvetületekkel kapcsolatos kutatások

Robinson módszeréből kiindulva 2007-ben B. Jenny, T. Patterson és L. Hurni megalkotta a Flex Projector nevű interaktív programot, mellyel egyszerűen alkothatunk új vetületeket. A program képzetes hengervetületekkel dolgozik, ingyenes, nyílt forrású és Linux, Mac OS X és Windows rendszereken működik. Indítás után egy világtérképet látunk Robinson vetületében (9.14. ábra). A képernyő jobb oldalán csúszkákkal lehet beállítani az egyes paralellkörök hosszát. A „Distance” fültre kattintva a paralellkörök Egyenlítőhöz való távolsága állítható be. Hasonló módon beállíthatjuk görbék típusát, és meridiánok közti távolságot is. A „Linked Sliders” beállítástól függően a csúszkákat külön-külön, vagy egyszerre is változtathatjuk. A „Move” opciónál meghatározhatjuk, hogy milyen görbe mentén mozogjanak az együtt mozgó csúszkák. A térkép arányai a „Proportions (Height/Width)” csúszka segítségével

állíthatók be. A Robinson vetület módosítása helyett kiindulhatunk sok más vetületből is. Ha az eredmény nem kielégítő, a képernyő jobb felső sarkában található „Reset Projection” gombbal visszatérhetünk a kiindulási vetülethez.



9.14. ábra. A the Flex Projector program felhasználói felülete.

A „Display” fültre kattintva további opciók állíthatók be. Megváltoztathatjuk a kezdőmeridiánt, a fokhálózati sűrűségét, felrajzoltathatjuk a torzulási ellipsziseket a fokhálózati metszéspontokban, területtorzulási és maximális szögtorzulási izogrammok rajzolhatók. Az újonnan létrehozott vetületünk háttérben akár milyen másik vetületben is megjeleníthetjük a fokhálózatot és a

partvonalakat (Show Second Projection). A bal alsó sarokban táblázatos terület- és szögtorzulási adatokat láthatunk a beépített vetületekre és az újonnan létrehozott vetületünkre (9.14. ábra).

A Flex Projector-ral számos raszteres és vektoros formátumban importálhatunk és exportálhatunk adatokat. A program ajánlott mindenki számára, aki szívesen alkotna új vetületeket, és a vetülettani oktatásban is használható.

Két kiindulási vetület kombinálásával nagy számú új vetületet hozhatunk létre, és az előbb említett technikák is kiegészíthetők ilyen módon. A Maphematics cég Geocart programja például képes két vetület paramétereit egymással vegyíteni, vagy akár kettőnél több vetület kombinálásával is kialakíthatunk új vetületet. A legextrémebb eset végtelen számú, különbözőképpen paraméterezett vetület lenne, ami a polikónikus és a policilindrikus vetületeknél is alkalmazott alapelv. Különböző módokon is létrehozhatjuk az új vetületet; levezethetjük létező vetületekből, vagy megadhatjuk a vetületi paramétereiket. Ezen technikák egy részét felhasználják a vetülettani kutatások egy új területén is, a webtérképekhez kifejlesztett adaptív összetett vetületeknél. Ezen kutatások célja a Web Mercator vetület kiváltása kis méretarányú térképeknél úgy, hogy a térkép automatikusan kiválassza az adott méretarányhoz és nézethez tartozó optimális vetületet.

9.8 Javasolt vetületek

Azért van olyan sok térképvetület, mert egyik sem tökéletes mindenféle célra. Azt, hogy egy adott

térképhez mi a legalkalmasabb vetület, számos dolog befolyásolja: a térkép célja, az ábrázolandó terület, a térkép méretaránya. Több nyomtatott és webes forrás is foglalkozik a vetületválasztással (lásd ajánlott irodalom). A térinformatikában a nagy méretarányú (kis térbeli kiterjedésű, pl. egy vízgyűjtő vagy egy ország területére eső) adathalmazoknál általában szögtartó vetületek alkalmaznak. Ezeknél a felhasználásoknál a területtorzulások a kis térbeli kiterjedés miatt elhanyagolhatóak, ezért nincs szükség területtartó vetületre. A leggyakrabban használt ilyen vetületek a Lambert-féle szögtartó kúpvetület és a transzverzális Mercator. Általános célú világtérképekhez valamilyen képzetes hengervetület alkalmazását javasoljuk (pl. a Winkel Tripel).

9.9 Következtetések

A térképvetületek és a koordináta-transzformációk biztosítják az alapot a földrajzi adatok egységes rendszerben való kezeléséhez. A közös ellipszoid, dátum, vetület és síkkoordináta-rendszer lehetővé teszi, hogy együtt kezelhessünk és elemezhessünk a síkon bármilyen típusú térbeli adatot. Az ellipszoidról a síkba vetítés mindig szög- terület- vagy hossztorzulásokkal jár. A vetület megfelelő megválasztásával minimalizálhatjuk valamelyik torzulástípust, a többi rovására. Ebben a fejezetben röviden felvázoltuk a térképvetületek és térképi koordináta-rendszerek alapelveit. Azoknak, akik szeretnének jobban elmélyedni a témában, javasoljuk az ajánlott irodalmak listáját.

9.10 Ajánlott irodalom

További hivatkozások, és egy gyakorlat kérdésekkel és válaszokkal található a 18. fejezetben.

Google e-könyvek a térképvetületek témájában

- Bureau of Navigation (1869): *Projection Tables for the Use of the United States Navy Comprising A New Table of Meridional Parts for the Mercator Projection*, Government Printing Office, Washington.
- De Morgan, A. (1836): *An Explanation of the Gnomonic Projection of Sphere*, Baldwin and Cradock, London.
- Department of the Army (1967): *Grids and Grid References*. United States Headquarters, Department of Army.
- Snyder, J. P. (1987): *Map Projections Working Manual*. US Geological Survey, Professional paper 1395, Washington.
- Snyder, J. P. and H. Steward (1988): *Bibliography of map projections*, US Geological Survey Bulletin 1856.
- Spielhaus, A. (1991): *Atlas of the World Geophysical Boundaries—Ocean, Continents and Tectonic Plates Their Entirety*. American Philosophical Society, Philadelphia.

Egyéb, az Interneten található vetülettani témájú könyvek

- Anoni, A., C. Luzet, E. Gubler, and J. Ihde (Eds.) (2003): *Map projections for Europe*. Institute for Environment and Sustainability, European Communities.
<http://www.ec-gis.org/sdi/publist/pdfs/annoni-et-al2003eur.pdf>
- Frankich, K. (1982): *Optimization of geographic map projections for Canadian territory*. Simon Fraser University, Vancouver.
<http://summit.sfu.ca/item/4135>
- Hager, J. W., J. F. Behensky, and B.W. Drew (1989): *The universal grids: Universal Transverse Mercator*

(UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS).
 Tech. Rep. TM 8358.2, Defense Mapping Agency.
http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.2/TM8358_2.pdf

- Krüger, J. H. L. (1912): *Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene*. New Series 52. Royal Prussian Geodetic Institute, Potsdam.
<http://bib.gfz-potsdam.de/pub/digi/krueger2.pdf>
- Snyder, J. P. and M. P. Voxland (1989): *Album of Map Projection*, US Geological Survey, Professional Paper 1453. <http://pubs.usgs.gov/pp/1453/report.pdf>
- Thomas, P. D. (1952): *Conformal projections in geodesy and cartography*. Special Publication 251. US Coast and Geodetic Survey.
http://docs.lib.noaa.gov/rescue/cgs_specpubs/QB275U35no2511952.pdf
- Tobler, W. R. (1961): *Map transformation of geographic space*. University of Washington, Seattle.
http://www.geog.ucsb.edu/~tobler/publications/pdf_docs/cartography/projections/cartograms/Transformations.pdf