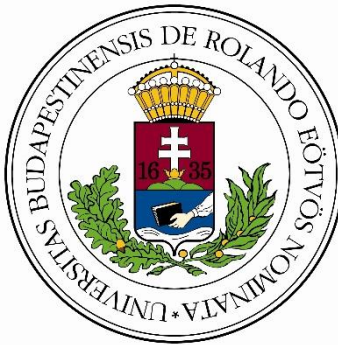


EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TÉRKÉPTUDOMÁNYI ÉS
GEOINFORMATIKAI TANSZÉK



ZSOLDI KATALIN

3D-s térképészeti alkalmazások

Doktori (Ph.D.) értekezés

Földtudományi Doktori Iskola,
Térképészet és Geoinformatika program

FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Dr. NEMES-NAGY JÓZSEF, egyetemi tanár

TÉRKÉPÉSZET PROGRAM

Dr. ZENTAI LÁSZLÓ, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ

Dr. JOSÉ JESÚS REYES NUÑEZ, egyetemi docens

2016

Tartalomjegyzék

Bevezetés	5
1. 3D-s térképészeti módszertan elméleti kidolgozása, ábrázolási módszerek továbbfejlesztése	7
Animáció.....	8
1.1 Tematikus térképészet.....	8
1.1.1 Analitikus térképek	9
Jelmódszer:	9
Pontmódszer:	12
Kartogram módszer:	14
Diagram módszer:.....	15
Izovonal módszer:.....	20
Mozgásvonal módszer:	21
Felületi módszer:.....	23
1.1.2 Komplex és szintetikus térképek	24
1.2 Generalizálás.....	26
1.2.1 Generalizálási szabályok.....	27
1.2.2 3D kataszter, LOD szintek.....	29
1.3 3D-s térképi tartalmak elemei.....	30
1.4 3D-s domborzatmodellek, glóbuszok, virtuális városok	34
2. Kutatott 3D-s ábrázolás elkészítésének lehetőségei. A térkép előállítására használható szoftverek vizsgálata. Megjelenítési lehetőségek kutatása és elemzése.	35
2.1 Szoftverek tesztelése.....	35
2.1.1 3D GIS	36
2.1.2 3D várostervező, modellező programok.....	45
2.1.3 Szoftverek 3D tematikus térképek készítésére	49
2.1.4 CAD szoftverek	52

2.1.5 3D modellező szoftverek	54
2.1.6 Összegzés, szoftverválasztás	59
2.2 Térképek megjelenítése	62
2.2.1 3D-s interaktív és animált térképek készítése és megjelenítése	62
2.2.2 3D-s tartalom webes megjelenítése	65
2.2.3 Interaktív megjelenítés Game Engine játékmotor használatával	67
2.2.4 Valódi 3D-s megjelenítés.....	72
3. A kutatott 3D-s módszerek gyakorlatban történő alkalmazása, példatérképeken történő bemutatása	79
3.1 Adatgyűjtés	79
3.2 Rendszerezés, feldolgozás és kiválasztás	81
3.3 Ábrázolás, modellezés	82
3.4 Elméleti módszerek gyakorlatban történő alkalmazása példatérképek segítségével	85
3.4.1 3D-s tematikus térképek	86
Jelmódszer:	86
Kartogram módszer:	88
Diagram módszer:	90
Izovonalas módszer:	93
Mozgásvonal módszer:	94
Komplex térképek:.....	94
3.4.2 Budapest földalatti 3D-s térkép	97
3.5 Megjelenítés.....	106
4. A 3D-s ábrázolási módszerek alkalmazási területei	107
4.1 3D-s tematikus ábrázolás alkalmazási területei	109
4.2 3D-s oktatási térképek	111
4.3 3D városmodellek	114
4.4 A 3D földalatti térkép, mint tematikus 3D városmodell.....	115

5. Tézisek.....	120
6. Konklúzió.....	123
Irodalomjegyzék	124
Melléklet	140
Összefoglaló.....	142
Summary.....	143

Bevezetés

A 3D-s technológia az utóbbi években egyre elterjedtebbé vált, számos lehetőségünk van 3D-s alkalmazást használni, 3D-s filmet nézni. A legújabb generációk már napi szinten használnak mobil és interaktív eszközöket. A gyerekeket megnövekedett vizuális inger éri, egyszerre több digitális eszközt használnak. A modern technológiai fejlesztések a térképészetet is érintik, melyek új lehetőségeket rejtenek magukban. A felhasználók változó igényei, a fejlődő világ a kartográfiában is változásokat generál. Ezért kutatásom témájának a 3D-s térképészeti alkalmazásokat választottam, az új 3D-s vizualizációs megjelenítéseket és ezen alkalmazások fejlesztését. Az utóbbi években egyre nagyobb számban jelennek meg 3D-s ábrázolások a kartográfiában, de még így is rengeteg új lehetőséget rejt a téma.

Kutatásom megkezdésekor az alábbi célkitűzéseket állítottam fel:

1. 3D-s térképészeti módszertan elméleti kidolgozása, ábrázolási módszerek továbbfejlesztése. Ezek vizsgálata és elemzése, milyen esetekben ajánlott illetve nem ajánlott a módszer alkalmazása. A 3D-s ábrázolás alapelveinek kidolgozása.
2. Kutatott 3D-s ábrázolás elkészítésének lehetőségei. Szoftverek vizsgálata, mivel állítható elő a 3D-s térkép? A nemzetközi szakirodalom vizsgálata elkészült alkalmazások ismertetésével. A szoftverek összehasonlító elemzése, alkalmazásuk lehetőségei. Interaktív megjelenítési lehetőségek vizsgálata.
3. A 3D-s térképkészítés metodológia megfogalmazása és 3D-s térképek létrehozása. A bemutatott 3D-s módszerek példákön történő szemléltetése.
4. A 3D-s ábrázolási módszerek felhasználási területei. Mikor alkalmazható a 2D-s és a 3D-s ábrázolás?

Az első célkitűzésem a 3D-s ábrázolás elméleti alapjainak lefektetése volt a hagyományos térképészeti elvekre alapozva. Kutatásom során beakartam mutatni a 3D-s technológiában rejlő lehetőségeket, hogyan alkalmazhatók a térképészetben: a tematikus ábrázolási módszerek, a generalizálási szabályok és a térkép tartalmi elemeinek 3D-s megjelenítésének kidolgozását. A második célkitűzésem a piacon elérhető szoftverek vizsgálata volt, milyen térkép készíthető velük, ezeket nemzetközi viszonylatban milyen célra használják, melyek használhatók az általam kutatott térképek készítésére. Ismertetni az általam választott technológiát, kidolgozott módszertant (metodológiát), megjelenítési lehetőségeket. Megvizsgálni a kartográfiában eddig keveset alkalmazott interaktív megjelenítési módokat,

mint a játékmotor vagy a sztereo 3D használatát. A harmadik célkitűzésem a példatérképek készítése volt. Az általam kidolgozott elméleti alapok gyakorlati példákon történő bemutatása, az elméleti módszerek kreatív alkalmazása a gyakorlatban. A negyedik célkitűzésben az általam kidolgozott 3D-s ábrázolási módszerek vizsgálata, ajánlás a 3D-s ábrázolásokra, jövőbeli felhasználási területekre.

1. 3D-s térképészeti módszertan elméleti kidolgozása, ábrázolási módszerek továbbfejlesztése

Kutatásom során három nagy ábrázolási témakört vizsgáltam, a tematikus térképészeti megjelenítéseket, a generalizálási szabályokat és a térképek tartalmi elemeinek megjelenítését. Vizsgálatom azért esett ezekre az ábrázolási alapelvekre, mert alkalmazásukkal a 3D-s kartográfiai ábrázolások nagy területe lefedhető, széles körűen vizualizálhatók az adatok. Az általam kutatót 3D-s térképek hagyományos térképészeti szabályokon és alapelveken nyugszanak. Ezek az alapelvek és szabályok a 3D-s térképkészítés során széles körben alkalmazhatók, olyan iránymutatások, melyek betartása célszerű. A 3D-s ábrázolás elméleti alapelvei részben kidolgozottak csak, kevés szakirodalom található a témában (Häberling, 2002). Häberling számos alapelvet lefektetett a 3D-s térképek általános megjelenítéséről, Bandrova pedig a 3D-s térképek szimbólumainak alapelveit dolgozta ki (Pegg, 2012), de bizonyos területek továbbra is hiányosak. A kutatásom során igyekeztem ezeket a hézagokat az általam kidolgozott módszerekkel kitölteni.

Felmerül a kérdés, hogy ezeket a 3D-s ábrázolásokat, modelleket, hívhatjuk-e térképeknek? Häberling a *Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps* című cikkében megválaszolja a kérdést: ¹„... a térkép kifejezés használata ajánlott, ha az ábrázolt objektum georeferált egy térképészeti modellbe, ha a modell generalizált, és ha a grafikai megjelenítése az objektumnak jelmagyarázatban meghatározott.” (Häberling, 2008). Ezek az ismérvek az általam kutatót térképeket is meghatározzák, így a 3D-s modelljeimet 3D-s térképeknek tekintem.

Az általam kidolgozott 3D-s ábrázolási módok esetén alapfeltételnek tekintem az interaktív (legalább a videón történő bemutatást), digitális megjelenítést. A 3D-s ábrázoláshoz szükséges, hogy a modell a térben szabadon forgatható legyen, minden szögből megtekinthető, ezt a hagyományos nyomtatott megjelenítés nem elégíti ki. Az ábrázolási módszerekre ezért nem célszerű egy szemszögből készült képként tekinteni.

¹ „A 3D map is determined as a digital, mathematical defined, three-dimensional virtual representation of the Earth, surfaces (e.g. luminous body's), objects and phenomena in nature and society. Represented objects and phenomena are classified, designed and visualised according to a particular purpose.” (Häberling, 2008)

Animáció

A modern technológia segítségével lényegesen könnyebben hozhatók létre animált térképeket, mint 20 éve. A technikai feltételek, mint a termelés eszköze, elosztás módszere, használat módja korábban számos kihívást jelentett az animációk alkalmazása során. A web lehetővé tette az animáció elterjedését az 1990-es években. Ma már könnyen létrehozhatók az animációk a különböző programokkal, tárolhatók merevlemezen, megoszthatók az interneten. Az előállítás költsége is jelentősen csökkent az utóbbi időkben. A térképészek már régóta érdeklődnek az animáció iránt, a változás lehetőségét tudják így időben bemutatni az állandósult állapotok helyett. Az animáció jelentős szerepet játszik az adatbázisok elemzésében és az adatok közti összefüggések felfedezésében. A 3D-s megjelenítés problémájára is az animációs ábrázolás hozta meg megoldást (Harrower, 2004).

A 3D modellező programok beépített, integrált része az animáció, így a kutatásom során a 3D-s módszerek szerves részének tekintem az animációt is. Az animációt kétféle módon alkalmazom a térképeimen: dinamikusan és statikusan. A statikus animáció során a térképi tartalom nem változik, a 3D-s tartalmat, a virtuális világot a képzeletbeli kamera körbepüli. A térképi objektumok nem mozognak, és nem változnak tulajdonságaik. A dinamikus animáció során a térképi tartalomban megy végbe a változás, a térképi objektumok változtatják helyüket, tulajdonságaikat. A térkép több időállapotot, idősorokat mutat meg. Az idősor esetében az idő léptéke lehet tetszőleges vagy az adat értékeit legjobban tükröző, de ugyanúgy lehet napi, havi, évi bontású is (DiBiase, 1992). Abban az esetben, amikor egy 3D-s térkép animált és az animáció során időbeli változást mutat be, akkor az a térkép négydimenziósnak tekinthető. A 3D-s ábrázolási módszerek elméleti kidolgozása fejezetben az animációs technikákról részletesen írok.

1.1 Tematikus térképészet

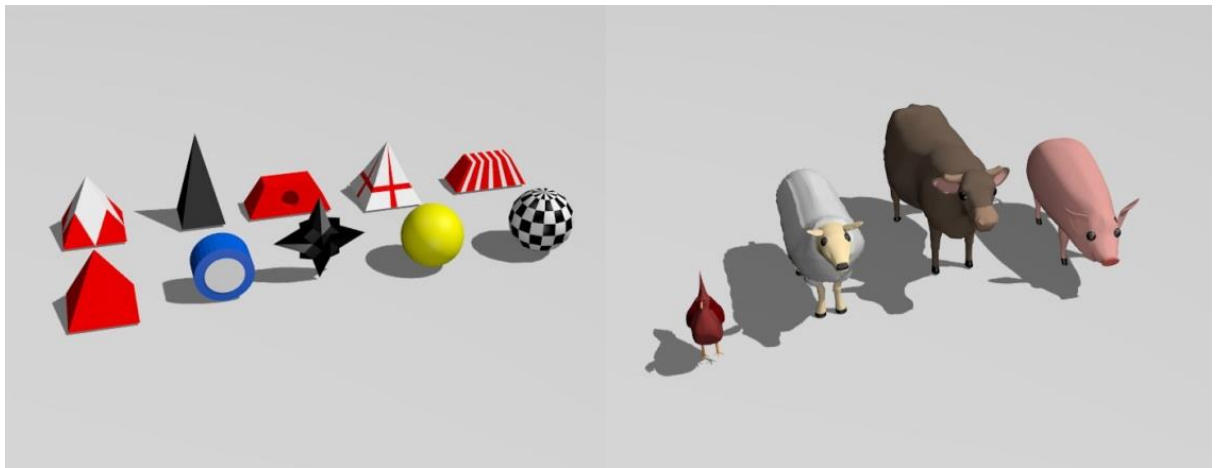
A tematikus térképek a feldolgozott témát tekintve egyet vagy többet is bemutathatnak, így három csoportra bonthatók: analitikus, szintetikus és komplex (Klinghammer & Papp-Váry, 1980). Az analitikus térkép egy témát mutat be, míg a komplex és a szintetikus többet, az előbbi adatai nem kapcsolódnak egymáshoz, míg az utóbbinak igen. Kutatásom során mind a három típust elemeztem, a 3D-s tematikus ábrázolási módokat ezen besorolás szerint vizsgáltam.

1.1.1 Analitikus térképek

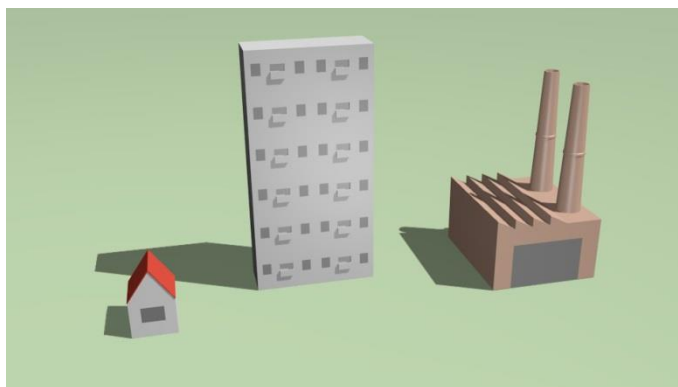
Az analitikus térképek egy témát mutatnak be, például a havi átlag csapadékot vagy a népességeloszlást. Mivel egy témát egy tematikus ábrázolási móddal lehet bemutatni, ezért először minden tematikus ábrázolási módszert kidolgoztam 3D-ben. A hagyományos ábrázolási módok kategorizálása eltérő a nemzetközi szakirodalomban (Kraak & Ormeling, 2010), dolgozatomban a Klinghammer által kidolgozott besorolást alkalmazom (Klinghammer & Papp-Váry, 1980). A 3D-s tematikus ábrázolási módszereket a hagyományos 2D-s ábrázolási elvek mentén dolgoztam ki, ezért hét 3D-s ábrázolási módszert különböztetek meg egymástól.

Jelmódszer:

A jel módszer egy jelenség vagy objektum elvonatkoztatott ábrázolása a felszínen. Helyezhető, ábrázolhat minőségi és mennyiségi adatot is. A jelek jól megkülönböztethetők, felismerhetők, könnyen olvashatók. A jel mérete a térképen nagyobb, mint a valóságban. Ha mennyiségi adatot ábrázol, annak mérete az adat nagyságától függ. Lehet geometriai jel, kép, alaprajz, betűk, számok, aláhúzások (Kraak & Ormeling, 2010). A 3D jelmódszer esetében a jelek térbeliek, 3D-s modellek vagy testek (1. és 2. ábra). A 3D piktogramok minőségi és mennyiségi adatot mutatnak. Mennyiségi adat esetében a jelek mérete köbösen, a tér mindhárom irányába nő, különben torzulást szenvedne el. A piktogram mérete folyamatosan és lépcsősen is változhat (Klinghammer & Papp-Váry, 1980).



1. ábra. A jelmódszer során alkalmazhatók 3D-s jelek, melyek lehetnek geometriai testek, például gömb, tetraéder, henger (balra). Lehetnek élőlények, például állatok modelljei, tyúk, juh, szarvasmarha, sertés (jobbra).

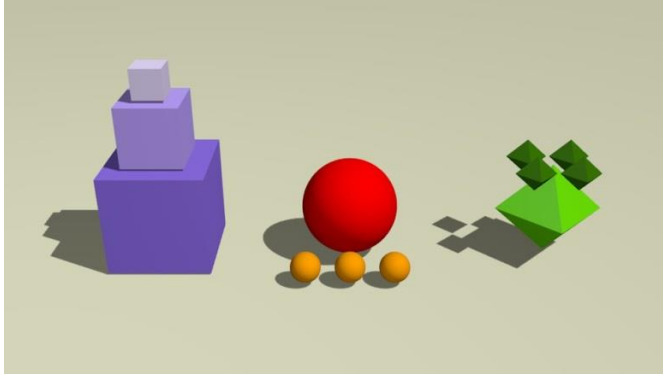


2. ábra. A 3D jelek lehetnek valós térbeli testek egyszerűsített geometriai modelljei, például épületek típusok.

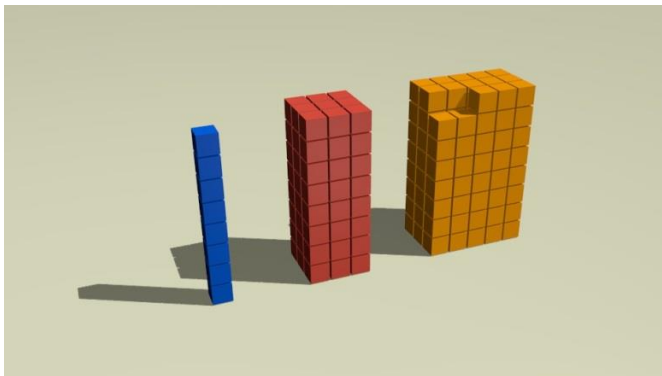
A jel mérete folytonosan változó, ha annak nagysága pontosan megfelel az adat értékével. Lépcsőzetes megjelenítés esetén érték kategóriákat kell létrehozni, majd az egyes adatokat értéküknek megfelelően az adott érték kategóriába/osztályokba sorolni. Az egyes osztályokhoz megfelelő nagyságú jelek társulnak. Célszerű az 5-7 kategória létrehozása, így méretei jól megkülönböztethetők. A páratlan számú kategória esetén a középső érték kategóriát az olvasó az átlagértéknek tekintheti, ezért a térképész illetve az ábrázolt tematika dönti el, hogy páros vagy páratlan számú osztályt alkalmaz. Az egyes kategória határok lehetnek tetszőlegesek, de használhatók az alábbi osztályozási módszerek is (Dent et al, 2009): természetes törés, beágyazott átlag, átlag- és normálszórás, azonos intervallum, azonos gyakoriság, számtani és mértani intervallumok.

A térképen az időbeli változások animáció alkalmazásával mutathatók be, ha legalább két időpillanat kerül ábrázolásra. Az animáció során a 3D-s jelek mérete, színe, alakja és áttetszősége, helyzete változhat. A jelek helyzetének változása a mozgásvonal módszerhez is sorolható. Ha a jelek méretének csökkentése vagy növelése mutatja be az értékek időbeli változását, akkor a méretváltozás lineáris. Az olvasó számára az adat változásának ténye kerül ilyenkor szemléletes formában ábrázolásra. Idősor esetén kettőnél több időpont szerepel a térképen, ekkor a jelek méretének változásában a lassulások és gyorsulások is láthatóvá válnak, az adatok változásának dinamikája is vizsgálható.

Animáció esetén a 3D-s piktogramok méretét célszerű folytonosan ábrázolni. Az ábrázolt adat megjelenítése és a két időpont közti eltérés bemutatása pontosabb lesz. Ha animációt nem alkalmazunk a térképen, akkor a lépcsőzetes adatmegjelenítés a célravezetőbb, mert a kategóriába sorolt térbeli piktogram méretét könnyebb felismerni a térképolvasás során.



4. ábra. Egységjel rendezése blokkokba. A jelek egyesével egymásra helyezhetők (balra), de 3×3 és 3×5 -ös rétegekben (középen illetve jobbra) egymásra helyezve is.



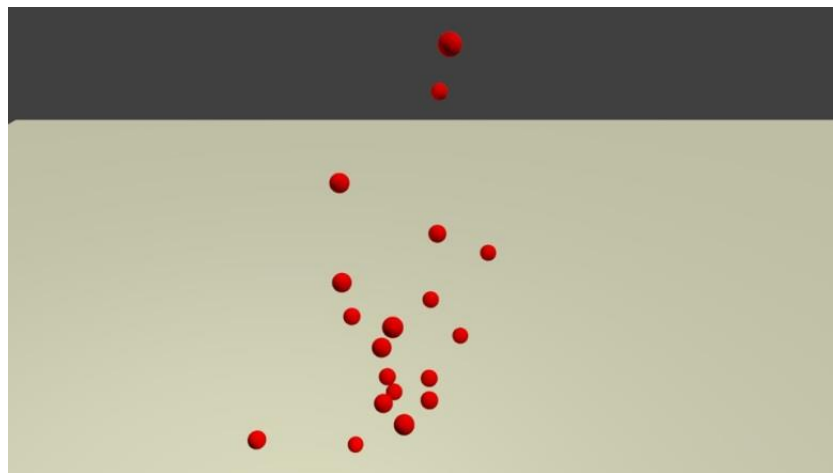
3. ábra. Egységjel módszer során térbeli geometriai formák alkalmazhatók, mint a kocka, gömb vagy oktaéder és definiálható 2-3 érték kategória. Az egyes érték kategóriák jobb megkülönböztetése színezéssel segíthető, ezek lehetnek eltérő színek vagy árnyalatok. A piktogramok elhelyezhetők vertikálisan (balra), horizontálisan (középen), illetve vegyesen (jobbra)

A jel módszeren belül megkülönböztető az egységjel módszer. A 3D-s jeleknek egységes méretük van, melyek egy meghatározott értéket reprezentálnak, darabszámuk mutatja az ábrázolt értéket. Az egységjel lehetnek térbeli modellek vagy geometriai testek. A módszer során 2-3 méret kategória is definiálható (3. ábra). Az egyes jelek összeszámolásával az ábrázolt adat pontos értéke leolvasható, ez az ábrázolás váltópénz módszernek is nevezhető.

Az egységjel módszer alkalmazása során a 3D-s jelek a térképlapra horizontálisan és vertikálisan is elhelyezhetők. Vertikális elhelyezés során a jelek egymásra kerülnek, oszlopot alkotnak, így a térképből a lehető legkisebb felületet takarják ki. A 3D-s jelek oszlopos elrendezése során az egyes sorok állhatnak egy egységjelből, de rétegenként 3×3 , 5×5 , 3×5 elemből is, így tömböket vagy úgynevezett blokkokat (4. ábra) alkotva. Az így kapott blokk ábrázolási módszerét más források a diagram módszerhez sorolják (Raisz, 1962).

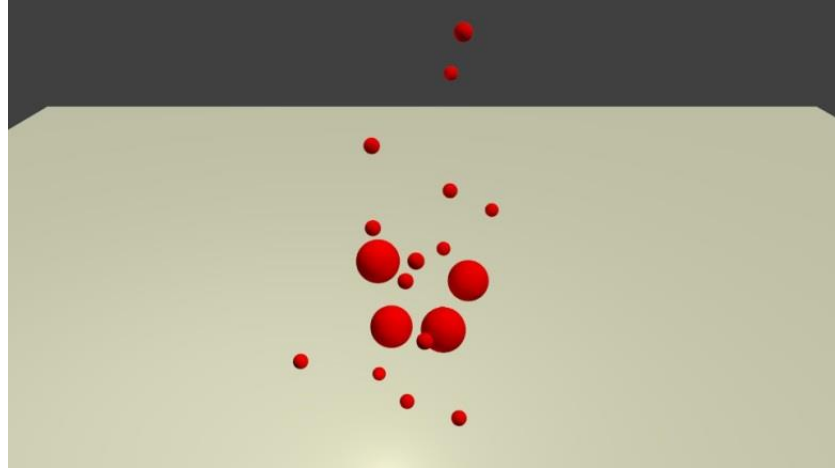
Pontmódszer:

A pontmódszer földrajzi eloszlást, jelenségek térbeli elterjedését, koncentrációját mutatja a térképen. A térképen definiált pont egy meghatározott értéket reprezentál, pontos helyet jelöl, így a jelenség térbeli eloszlása pontosan megfigyelhető. A 3D pontmódszer során az eloszlás térbeli, vagyis a horizontális és vertikális eloszlást is mutat (5. ábra). A pont grafikai megjelenítésére 3D-s geometriai jel alkalmazható, például egy gömb vagy kocka. Ha az ábrázolt térbeli adat magassági értékkel rendelkezik, úgy a 3D-s jel a megfelelő magasságba helyezhető a térképen.



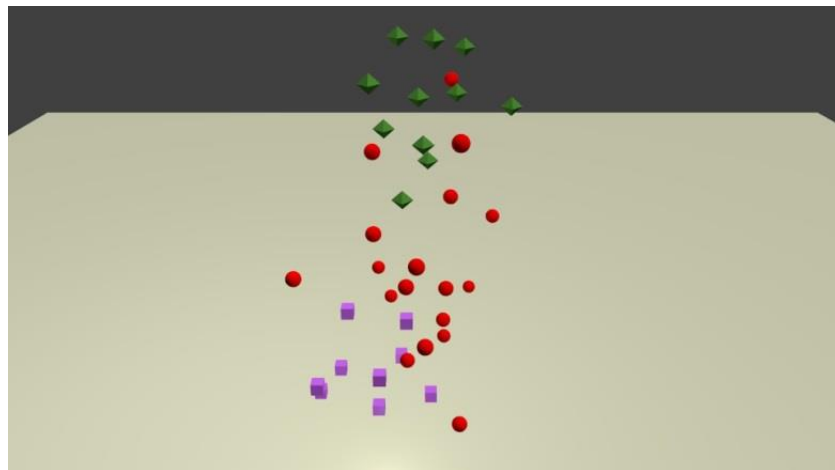
5. ábra. A 3D pont módszer során térbeli geometriai testek (például gömb) alkalmazhatók. A piktogramok térben helyezkednek el, az adat horizontális és vertikális értékét is reprezentálják.

A pontmódszer ábrázolásakor szabály, hogy az egyes jelek nem fedhetik ki egymást, nem lóghatnak egymásba, sűrű eloszlás esetén a pénzváltó módszer alkalmazható, kettő vagy három érték-kategória-jelméretet is létre lehet hozni. Magas koncentrációjú területeken az egységjel egy nagyobb érték-kategóriájúval kiváltható (6. ábra).



6. ábra. A pontmódszer során 2-3 értékkategória is definiálható. Amennyiben egy területen túl sűrűen helyezkednek el a pontok, ott a pont egy nagyobb értékkategóriájúval helyettesíthető.

A térképen két vagy három eltérő tematika is bemutatható (7. ábra). Az egyes témák eltérő színezéssel, geometriai formával ábrázolhatók, a hagyományos 2D-s elvvel egyezően. A 3D-s pontmódszer megjelenítése során az interakció alapkövetelmény. Fontos, hogy az olvasó a térképet szabadon forgathassa, nagyíthassa - és a térben mozoghasson- ez szükséges a valódi térbeli eloszlás vizsgálatához. A térkép képként történő megjelenítése esetén, a valódi térben nem érintkező 3D jelek egy adott perspektívából látszólag fedhetik egymást. A módszer nem interaktív megjelenítése hibás következtetéshez is vezethet, ezért az interaktív megjelenítés itt kiemelten fontos.

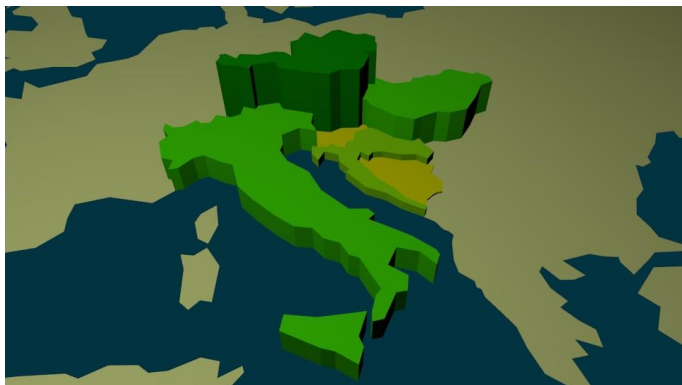


7. ábra. Egy térképen akár három különböző adat is ábrázolható a pontmódszerrel. Az egyes adatokat eltérő színnel és piktogrammal célszerű megjeleníteni.

Kartogram módszer:

A kartogram módszer pontos vonatkozási hely nélküli, felületre vonatkozó mennyiségi adatot ábrázol. A módszernek két fajtája különböztethető meg, a felület- és a jelkartogram. A felület esetében mintázattal vagy színezéssel tölthető ki a térképi felület, mely lehet egy színsor vagy egy-két szín különböző árnyalatai. Az adat nem folytonos, nem lép át a határokon. Az egyes határok által körbefogott területeket standardizáljuk egy értékkel, ezeket hasonlítjuk össze egymással (Slocum, 2005). A jelkartogram esetében egy piktogram reprezentálja a felületet, a jel mérete kisebb, mint a valóságban.

A 3D-s jelkartogram esetében a síkbeli jel 3D-szel helyettesíthető, mely lehet geometriai test, vagy egy egyszerűsített térbeli modell. Felületkartogram esetén az ábrázolt területet annak függőleges tengelye mentén kell nyújtani/kihúzni (8. ábra). A felület egy mennyiségi adatot reprezentál, a terület magasságát az adat értéke határozza meg. A terület magassága és a jel nagysága felveheti az adat pontos értékét, de létre hozhatók értékkategóriák is. A terület értékének pontosabb leolvasása színezéssel segíthető. A színárnyalatoknak és a magassági értékkategóriáknak egyező számúnak kell lenniük. Ha a szín nem mennyiségi, hanem minőségi adatot közöl, akkor a színezés a felületi módszerhez sorolható.



8. ábra. Az egyes területek a függőleges tengely mentén, vertikálisan nyújtottak, magasságuk az adat értékét mutatják. A színezéssel segíthető az adat pontosabb leolvasása.

A jelmódszerhez hasonlóan animáció alkalmazható kettő vagy több időállapot bemutatásakor. A jelek, illetve a függőleges tengely mentén megnyújtott területek magassága csökkenthető illetve növelhető az adat értékének megfelelően. Animáció létrehozható két időállapot között, akkor a magasság változása lineáris, több időpont esetén gyorsulva változik, látható az adatok dinamikai változása is.

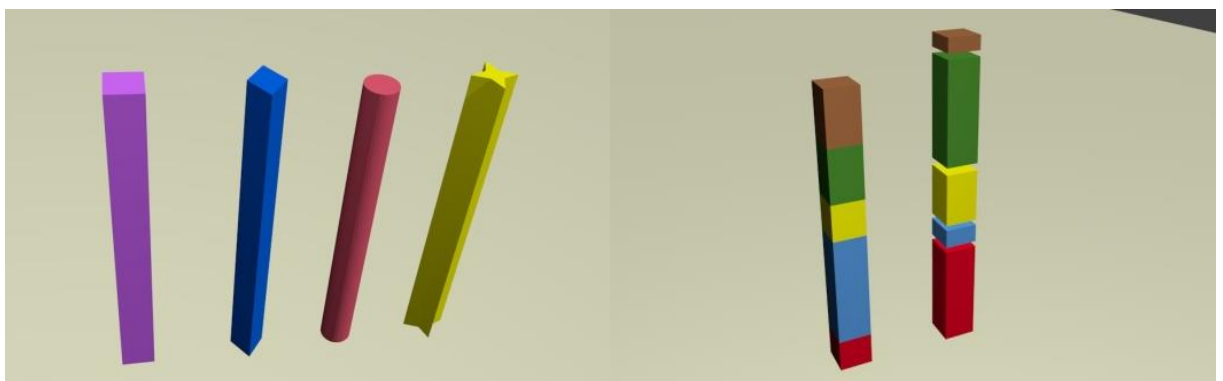
A felületkartogram módszer hátránya, hogy több egymás mellett fekvő területek esetén a belső értékei nem olvashatók le, illetve nem látszik a nulla érték, a megnyújtott területe „talpa”, ezért nem minden esetben ajánlott az alkalmazása (Harrower, 2009). A 8. ábrán jól

látható, Szlovénia értéke az öt körbezáró országokéhoz képest kisebb, pontos értéke viszont nem látható. Az egyes területek közti magasságkülönbségekből következtetni lehet az egyes értékekre, ha a területek szomszédosak egymással. Amennyiben nem szomszédos területek magasságkülönbségét szeretnénk vizsgálni, akkor az egyes értékkülönbségek alig állapíthatók meg, pl. Szlovénia és Bosznia és Hercegovina esetén. A módszer abban az esetben alkalmazható jól, hogyha egy bizonyos terület értéke erősen kiemelkedik a többi közül, és ennek az értékkülönbségnek a bemutatása a cél. A kartogram módszer interaktív bemutatása ajánlott, mert az egyes területek kitakarhatják egymást, oldalnézetből az egyes területek alakja a perspektíva miatt torzulhat, így csupán egy nézőpontból figyelve a térkép nehezen olvasható. Az interaktív megjelenítéssel a térkép szabadon forgatható, így minden terület alaposabban megvizsgálható.

Diagram módszer:

Adott pontra vagy felületre vonatkozó statisztikai értéket mutat be a diagram módszer. A diagram mérhető, a hagyományos térképészeti ábrázolásban a kör és oszlop diagram használata a legelterjedtebb. A 3D-s diagram módszer a hagyományos módszerrel azonos alapelven ábrázolja az adatokat, de a diagramok térbeliek.

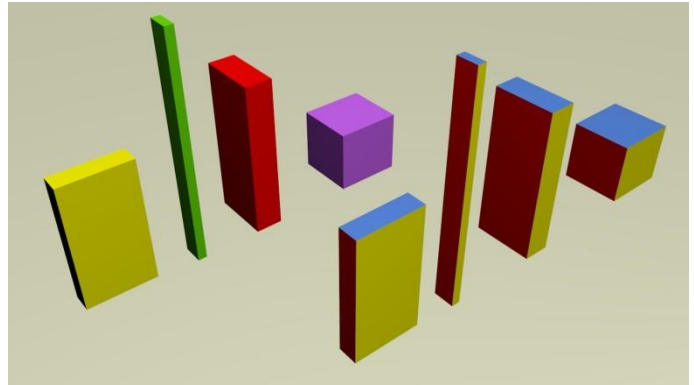
A 3D-s oszlopdiagram keresztmetszete lehet: négyzet, téglalap, rombusz, kör, egyéb geometriai alapforma, melynek magassága az adat értékét mutatja (9. ábra). A jelmagyarázat segítségével az oszlop magassága pontosan mérhető. A 3D-s oszlopdiagram lehet osztott, illetve robbantott is (9. ábra) úgy, mint a hagyományos ábrázolás esetében, így az adat egyes részarányai is láthatóvá válnak.



9. ábra. Az oszlopdiagram lehet négyzet, rombusz, kör, csillag alapú oszlop (balra). Az oszlopdiagram lehet osztott vagy robbantott, az egyes adatok részarányai így pontosan megfigyelhetők (jobbra).

Az oszlop színe bemutatthat minőségi és mennyiségi adatot is. Mennyiségi adat esetén célszerű érték kategóriákat létrehozni, azokhoz szintet rendelni, így segíthető a térképi adat olvasása. Ha a színezés minőségi adatot jelöl, akkor az egy plusz tematikának tekinthető. Amennyiben az ábrázolt adat túl nagy értéket vesz fel, akkor az oszlopot részekre bontva egymás mellé helyezve, blokkokat alkotva (egységjelhez hasonló módon) ábrázolható a térképen, így például a 10-es és az 1000-es nagyságrend könnyen összehasonlíthatóvá válik.

Egy oszlopdiagram által maximálisan három vagy négy eltérő adat mutatható be egyidejűleg. Egy 3D-s oszlop szélességével, mélységével és magasságával különböző adatok ábrázolhatók. Az adatok leolvasása a színezéssel segíthető, ekkor három eltérő szint kell alkalmazni (10. ábra). Négy eltérő adat ábrázolása esetén, a szélesség, mélység, magasság és színezés jelölik a különböző értékeket. Ebben az esetben az oszlop minden oldala egységes színezést kap (10. ábra).

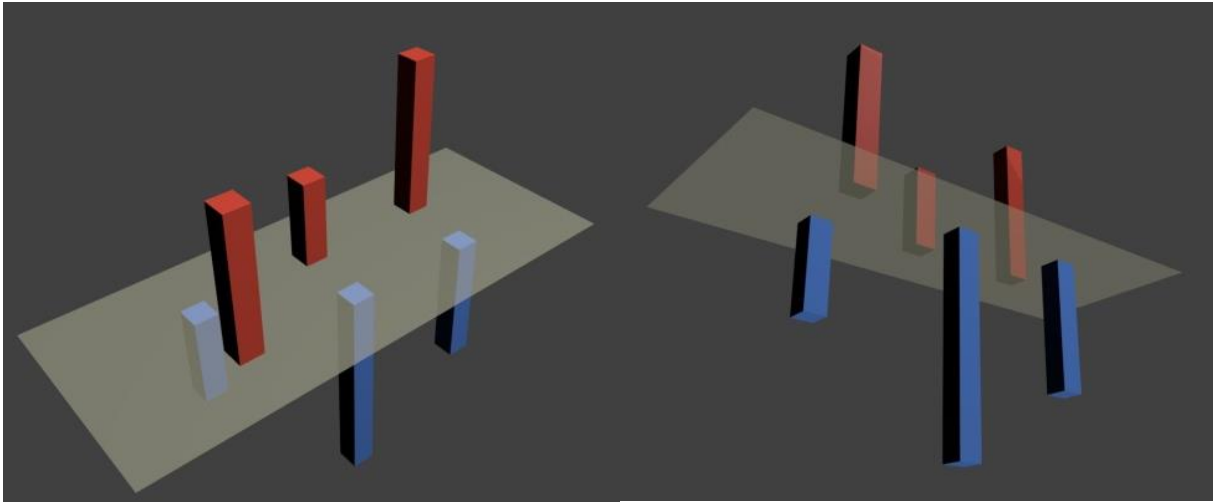


10. ábra. Jobbra az első sorban az oszlopdiagramok három adatot ábrázolnak. A szélesség, mélység és magasság külön adatot jelölnek, a színezés segíti az adat olvasását csak. Balra a hátsó sorban egy oszlop négy különböző adatot ábrázol a szélességgel, mélységgel, magassággal és színezéssel.

A négy adatot ábrázoló oszlopdiagramok olvasása komplex feladat, a térképolvasókban nehézséget okozhat megértésük. A szélességi, mélységi és magassági adatokat a megfelelő nézetből kell olvasni és az adott értékeket egymással összevetni. Az oszlopok torzíthatják az adatot, hiszen a szélesség- mélység- magassági adatok változása miatt azok köbösen változnak, így az olvasót félrevezethetik. A módszer alkalmazása az adatok torzulása miatt nem javasolt, kivéve, ha ez a térkép célja, például propaganda térképek esetén.

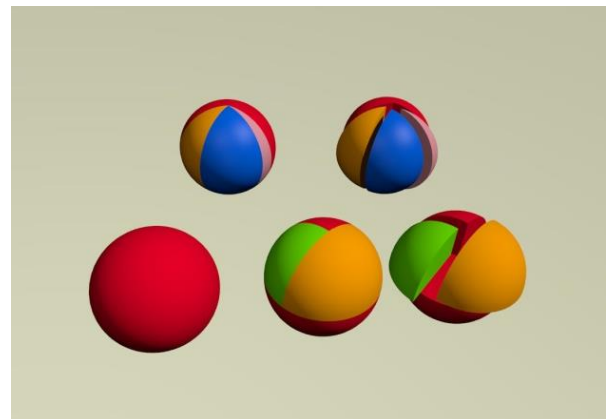
A 3D-s oszlopok az esetek többségében a térképi síkon helyezkednek el. Amennyiben az ábrázolt adat értékei pozitív illetve negatív értéket is felvesznek, akkor az oszlopok a térképi sík alá és fölé is helyezhetők. Pozitív adat esetén a sík fölé, negatív esetén az alá (11. ábra), így hangsúlyozható az adat jellege. Ez a módszer az átlag alatti és fölötti értékek megjelenítésére is jól alkalmazható. Az interakció ennél az ábrázolásnál kiemelten fontos, hiszen csak így

tekinthető meg alulról és felülről is megfelelően a térkép. Az interakció animációval is kiváltható, amennyiben a nézőpont bejárja a sík fölötti és alatti területeket, vagy a térképsík billegő mozgással felül-, oldal- és alulnézetben mutatja be a térképi területeket.



11. ábra. Az oszlopok a térkép síkja fölé (balra) és alá (jobbra) is helyezhetők, ha az adat pozitív és negatív jellegét vagy átlag fölötti és alatti értékének kiemelése a cél. A térkép síkját egy átlátszó sík szemlélteti

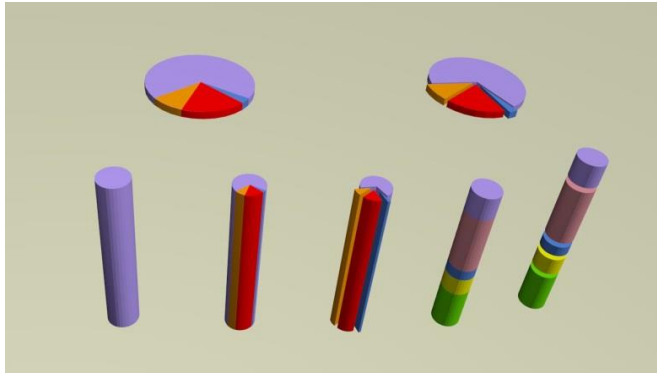
A hagyományos kördiagram egyik 3D-s megfelelője a gömb, mérete mutatja az ábrázolt adat értékét. Amennyiben az adat részarányai is fontosak, úgy használható osztott vagy robbantott gömbdiagram, ahogy a 2D-s ábrázolás esetén is alkalmazott (12. ábra). A gömb osztása történhet a meridiánok vagy az egyenlítő mentén, illetve tetszőlegesen részekre bontva. A gömb alkalmazása látványos, de hátránya, hogy a pontos adat nehezen olvasható le. A módszer abban az esetben használható, ha az egyes részadatok egymáshoz való arányának



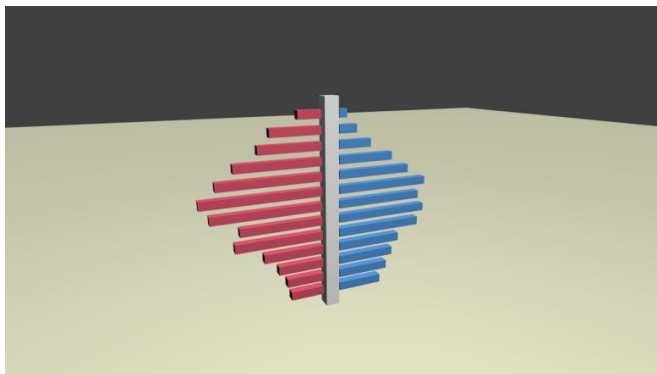
12. ábra. Gömbdiagram (balalul), osztott kördiagram (alul középen), robbantott kördiagram (jobbra alul), meridián mentén osztott (fent balra) és robbantott (fent jobbra) gömbdiagram.

hangsúlyozása a fontos, az adat leolvasása a számérték megírásával segíthető.

A 3D-s kördiagram egy további ábrázolási módja a 3D-s korong. Alkalmazható itt is az osztott vagy robbantott kördiagram megjelenítés, melynek során a korong a sugarai mentén



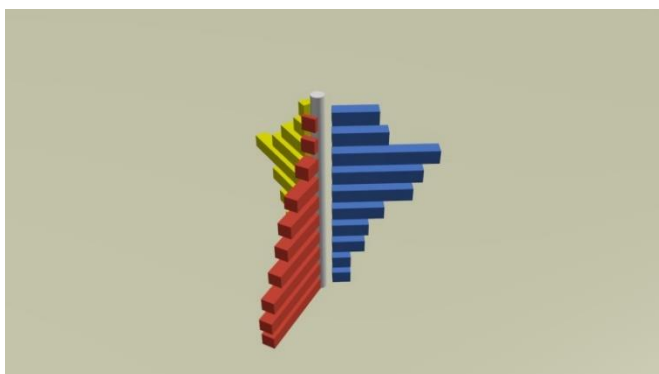
13. ábra. A felső sorban balra illetve jobbra a korong alakú 3D kördiagram látható osztott és robbantott formában. Az alsó sorban a kördiagram az adat értékének nagyságát a „korong” a magasságával mutatja, így hengert kapunk. Az osztott és robbantott kördiagram lehet sugaras osztású (bal középén és középén), míg az osztás és robbantás lehet magassági elrendezésű is, (jobb középén és jobbra).



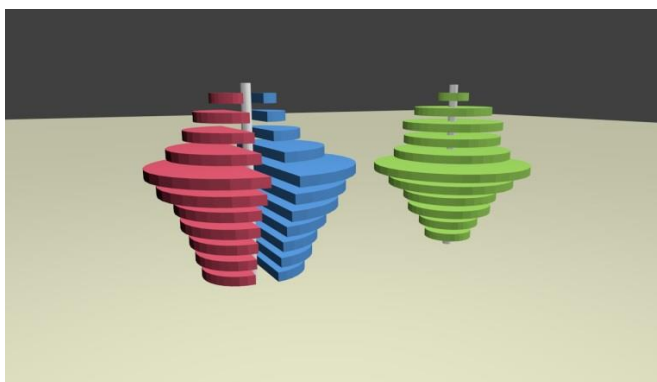
14. ábra. 3D-s korfa. A korfa függőleges tengelye a térképi térben valódi függőlegesben áll, a korfa ágai vízszintesen nyúlnak oldalra.

osztódik részekre (13. ábra). Tovább növelhető a (osztott vagy robbantott) korong információtartalma, ha magassága egy újabb adatot reprezentál (hengert kapva). A korong felosztása történhet az előbb bemutatott sugaras módon, illetve a függőleges tengelyére merőleges síkokkal is. A vertikálisan nyújtott korong függőleges osztásával vagy robbantásával olyan sávós elosztás kapható, mely az osztott oszlopdiagram elvével azonos (13 és 9. ábra).

A statisztikai ábrázolások körében a korfa is elterjedt. 3D-s megjelenítés során a korfa függőleges, y tengelye a valódi 3D-s térben függőlegesen áll. A 2D-s korfa vízszintes x tengelyei kis keresztmetszetű oszlopokkal helyettesíthetők (14. ábra), melyek a függőleges tengelyre merőlegesek. A 3D-s korfa előnye, hogy a térképből minimális helyet takar ki, a 2D-stől ellentétben.



15. ábra. Háromágú korfa.



16. ábra. A korfa ágai korongokkal, korong szeletekkel helyettesíthetők. A térkép interaktív körbejárása esetén a korongok mindenoldalról megvizsgálhatók

Egy korfa lehet egy, két (14. ábra) vagy több ágú is (15. ábra). A három vagy több ágú korfák esetében egyszerre több adat hasonlítható össze, melyre a hagyományos ábrázolás nem ad lehetőséget. A térképen bemutatott információ mennyisége úgy növelhető, hogy az a térképi tartalmat nem takarja ki nagy felületen.

A korábban ismertetett korfa vízszintes ágai helyett korongok, vagy koron szeletek is alkalmazhatók. Úgy keletkeznek, hogy a korfa ágai a függőleges tengely mentén forognak el. A korong korfa megjelenítése során egy, kettő, vagy annál több ág is alkalmazható egyszerre (16. ábra). Több ág ábrázolása esetén a korongok közti értékkülönbségek jobban összehasonlíthatók, mint az ágak esetében.

A 3D-s korfák esetében az interaktív megjelenítés alapkövetelmény, csak így tekinthetők meg az egyes ágak tetszőleges szögől, mely a térképi adat pontos és helyes leolvasáshoz szükséges.

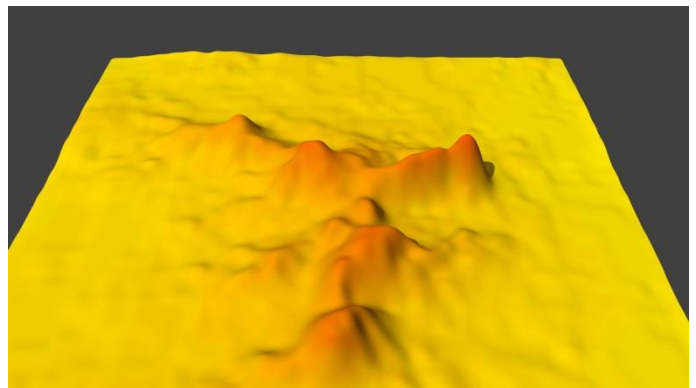
Animációt alkalmazhatunk az időbeli változások szemléltetésére. Bemutathatunk két vagy több időállapotot is, a mozgás két időpont között –a korábbi módszereknél már ismertetett módon – lehet lineáris, idősor esetében dinamikusan változó. Az animáció során az oszlopdiagramok változtatják a magasságukat, a gömbdiagramok és korongok az átmérőjüket, a korfák a vízszintes tengelyek értékeit. Az animáció alkalmazásával a vonaldiagram használata kiváltható, mely főként az időbeli változások ábrázolásánál alkalmazott (Raisz, 1962). Az oszlopok színei animáció során az ábrázolt érték változásával megegyezően

változhatnak, ez a térképolvasást segíti. A színárnyalat változása lehet folytonos, az egyik szín folyamatosan átalakul a másikba, vagy történhet éles váltásokban is. Az utóbbi esetben a megjeleníteni kívánt színeket osztályokba kell sorolni, és azokhoz értékeket párosítani. Ha az animáció során a diagram színe is animált, akkor az éles színváltás alkalmazása ajánlott. A folyamatos színátmenet bár szebb képet ad, viszont két szín közti árnyalat pontos meghatározása nem lehetséges.

Izovonal módszer:

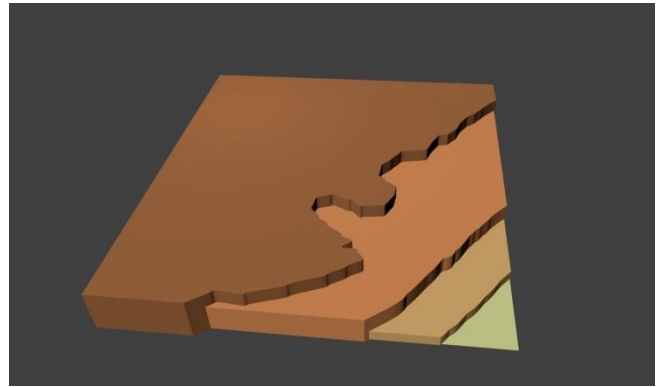
Az izovonal a kartográfiában a kontinuum ábrázolására használatos, a térképen ábrázolt adatok azonos mennyiségi értékeit összekötő vonal az izovonal. Az ábrázolt adat minőségétől függően számos izovonal fajta különböztethető meg, mint az izohipsza (azonos magassági pontokat összekötő vonal), izobát (azonos mélységvonalak), izogon (azonos mágneses elhajlást összekötő vonalak), stb. A térképen ábrázolt pontok között hagyományos módon interpolációval határozható meg az izovonal helye. Az így elkészült izovonalas térképből szerkeszthető annak 3D-s változata, melyben az izovonalakat szintvonalnak tekintve abból egy domborzatot képződik, úgynevezett statisztikai felületet jön létre (17. ábra). Az izovonalak mennyiségi értékkel rendelkeznek, így azok számszerű adatából a magasság kiszámítható, ezek a függőleges tengelyen a megfelelő

magasságban ábrázolhatók. Ha a 3D-s izovonalak folytonosan kapcsolódnak össze, akkor egy simított térgörbe kapható, ezzel az adat folytonosként ábrázolható. Abban az esetben, amikor az adat értéke nem folytonos és a hagyományos kartográfiában a pszeudo- izovonalak alkalmazottak, úgy a 3D-s ábrázolásnál is érzékelhető a nem folytonosság (18. ábra). Ilyenkor a felület lépcsősen változik.



17. ábra. 3D izovonalas módszerrel előállított felszín, más néven statisztikai felület. Az adat megjelenítése folytonos, a felülete simított.

Az adat leolvasása színezéssel segíthető. A színezés kétféle módon is alkalmazható. Ha a színezés az izovonal által megjelenített adatot mutatja, akkor a statisztikai felület kiemelkedéseivel együtt változnak a színek. Színezéssel egy második mennyiségi adat is ábrázolható, ilyenkor a térkép olvashatósága nehezedik, komplexitása jelentősen nő (például 3D-s domborzatra egy csapadékmennyiséget ábrázoló



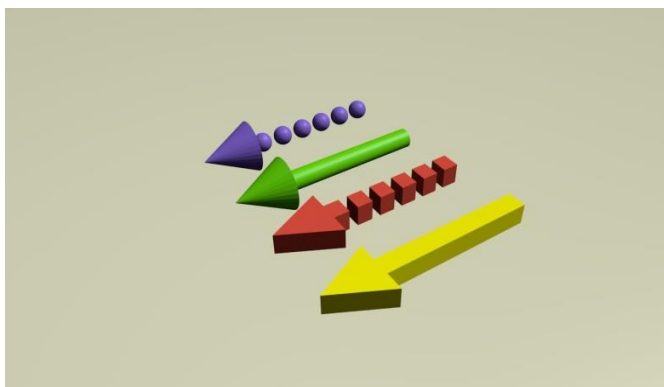
18. ábra. 3D-s pszeudo-izovonalak. A felszín lépcsősen változik, az ábrázolt adat nem folytonos.

izovonal kerül textúraként). Az izovonalas térképen a színnel minőségi adat is bemutatható, tematikus- vagy topográfiai térkép húzható textúraként a felületre.

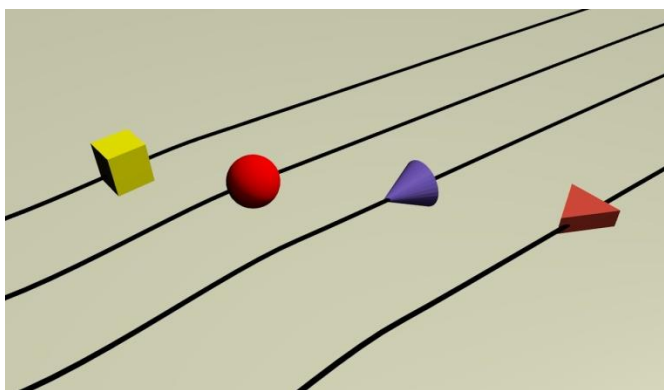
Animáció alkalmazható, ha az értékek időbeli változást mutatnak. Az izovonalakból alkotott térgörbe az adat változásának megfelelően formálódik, mely állhat két vagy több fázisból/ időállapotból. Ha az adat változása időben folytonos, akkor a térgörbe folytonosan változik, hullámzik. Ha az adat nem folytonos, akkor ugráló mozgással változik a felszín. Az animált 3D-s izovonalak esetében szintén szükségszerű az interaktív megjelenítés és követelmény, hogy a felület tetszőleges szögből megtekinthető és forgatható legyen. A videó szintén jól alkalmazható az animáció bemutatására.

Mozgásvonal módszer:

Mozgásvonallal egy tárgy vagy jelenség helyzetváltozása ábrázolható. A vonal mutatja az elmozdulást, mely lehet pontos irány vagy az elmozdulás ténye. A nyíl alakja a jelenség minőségét, szélessége pedig a mennyiségét jelöli. A 3D-s mozgásvonalak esetében készíthető 3D-s nyíl, mely képezhető a nyíl a függőleges tengelye mentén nyújtással vagy tengelye körüli forgatással. A 3D-s nyíl alakja, színe, vastagsága mutatja a hagyományos kartográfiában megszokott minőségi és mennyiségi adatokat (19. ábra).



19. ábra. A 3D-s nyilak lehetnek a függőleges tengely mentén nyújtottak (sárga, piros) vagy képezhető forgástest belőle (zöld, lila). A nyilak iránya, mérete, grafikai jellemzői a hagyományos térképészeti módszereknek megfelelően eltérő adatot jelölhetnek.



20. ábra. A mozgásvonal tényleges mozgással helyettesíthető. A pontos útvonal ábrázolására egy vékony vonal alkalmazható, melyen egy 3D-s jel végigmozgatható. Ebben az esetben a nyíl használata kiváltható.

A nyilak helyettesíthetők tényleges mozgással. Egy jelenség vagy tárgy 3D-s modelljét ténylegesen elmozdítva kiváltható a nyilak használata (20. ábra). Ha fontos, hogy a teljes útvonal a mozgás során végig látható legyen, akkor az út egy vékony vonallal ábrázolható, ezen a 3D-s jel végigmozog. Animált 3D-s mozgásvonal módszer alkalmazása esetén, a térkép videón vagy interaktív formában történő bemutatása alapkövetelmény.

Felületi módszer:

A felületi módszer síkszerű tárgyak, felületek kiterjedésének ábrázolására alkalmazható, egymástól való jó elkülönítésükre. A megjelenítés során a felület: színezéssel, felületkitöltő jelekkel, megírással ábrázolható. Mivel a megjelenítés során a színek csak minőségi és nem mennyiségi adatot reprezentálnak, ez a módszer jóval kevesebb 3D-s ábrázolási lehetőséget rejt magában. A 3D-s ábrázolás a megírások esetében jól alkalmazható domborzat esetén, illetve amikor egy felületnek nem ismert a pontos határa. A betűk mélységi nyújtásával 3D-s felirat nyerhető, ez a térképre állítható (21. ábra). A felületi módszer további 3D-s változata a felületkitöltő jelek térben történő ábrázolásával készíthető. A 3D-s jelek lehetnek térbeli modellek vagy geometriai formák. A jelek nem összetévesztendők a jel módszer során alkalmazott 3D-s piktogramokkal. A felületi módszer során a 3D-s jelek a sraffozást vagy egyéb felületkitöltő jelek használatát váltják ki, szabályos közönként ismétlődnek, nem az objektum pontos helyét jelölik (21. ábra). A felületi módszer hagyományos –minőségi adat csak színezéssel történő– megjelenítése csupán kiegészítő módszerként alkalmazható más 3D-s módszerekkel kombinálva a komplex és szintetikus térképek esetében, ennek 3D-s változata nincs.



21. ábra. 3D-s felirat (jobbra). A felület kiterjedése 3D-s kitöltő jelekkel ábrázolható. A jelek a terület minőségét jelölik, nem az objektumok pontos helyét (balra).

1.1.2 Komplex és szintetikus térképek

Ha a térképen egynél több téma szerepel, azt komplex vagy szintetikus térképnek hívjuk. Komplex térkép esetében az egyes tematikák között nincs szoros összefüggés: tekinthető úgy, mint több analitikus térkép egyetlen egy térképen való ábrázolása: példaként megemlíthető a gazdasági adat települési vagy közlekedésivel kombinálva. A szintetikus térkép szintén több témát dolgoz fel, de ezek kapcsolódnak egymással, egymásból levezetett adatokat ábrázolnak. Ilyen például a mezőgazdasági, talaj és klimatológiai adatok együttes ábrázolása (Klinghammer & Papp-Váry, 1980). A komplex és szintetikus térképek esetében nem csak a megjelenített témák száma több, hanem az ábrázolt tematikus módszereké is. Kutatásom során megvizsgáltam, hogy a korábban ismertetett 3D-s tematikus módszerek hogyan kombinálhatók egymással.

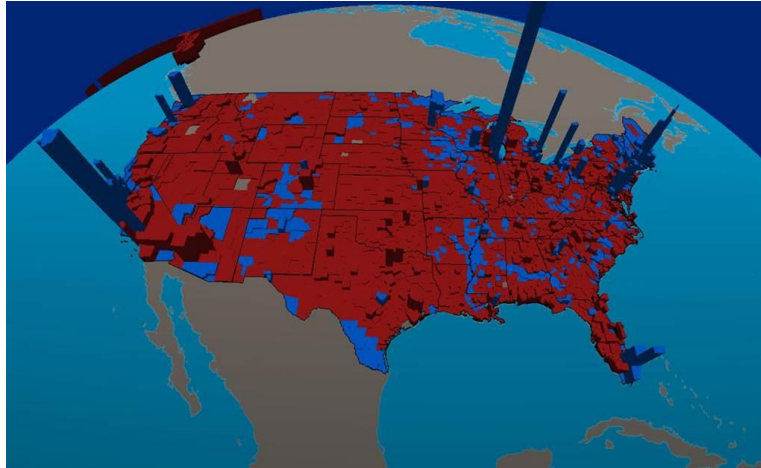
A felületi módszer 3D-s megjelenítési lehetőségei szerényebbek, mint a többi módszeré, viszont jól kombinálható azokkal, térképi alapként funkcionál. Ilyen módon a felületi módszer jól használható a jel, pont, diagram és mozgásvonal módszerekkel együtt. A felületi módszerrel ábrázolt térképi alap ezekben az esetekben sík, vagy izovonallal történő kombinálása esetén az textúraként funkcionál. A felületen ábrázolt további tematikák térbeliek, a névíráshoz 3D-s feliratok használhatók. A térképi alapra helyezett témák száma lehet egy vagy több. A 3D-s ábrázolás során az interaktív megjelenítés a célszerű, így az egyes témák ki- és be-kapcsolhatók a térképen, így az egymással kombinálható, alkalmazott módszerek száma kettőnél több is lehet.

Az izovonalas térkép az alábbi ábrázolási módszerekkel kombinálhatók: jel, pont, diagram, felületi és mozgásvonal. A térképi alapnak a 3D-s felület tekinthető, erre kerülnek térben a 3D-s jelek, diagramok, mozgásvonalak, pontok. A 3D-s oszlopokat célszerű úgy elhelyezni, hogy azok talppontjai azonos magasságban helyezkedjenek el. A felületre történő illesztés esetén az oszlopok más magasságból indulnak ki, méretkülönbségeinek leolvasása nehezedik. Az oszlopdigramok alkalmazása nem ajánlott, amikor az izovonalas felület magasságkülönbségei túl nagyok, az oszlopok bizonyos területen jelentősen eltávolodhatnak a felszíntől. Speciális esetnek tekinthető, amikor az izovonal módszerrel 3D-s domborzatmodellét készítünk, hiszen a szintvonal egy speciális izovonal. Az így kapott felület térképpel textúrázható, mely lehet topográfiai vagy általános földrajzi térkép, vagy a korábban leírt felületi módszerrel készült térkép. Erre a felszínre tetszőleges 3D-s jelek helyezhetők, vagy a korábban felsorolt 3D-s ábrázolási módokat alkalmazhatjuk. Ezzel a megoldással látványos és

könnyen érthető térképek készíthetők, célszerű alkalmazni, amikor a tematika összefügg a földrajzi környezettel és felszínnel.

A térképi alapként használt felületkartogram a jel-, mozgásvonal illetve felületi módszerrel kombinálható; a diagram, pont, izovonal módszerrel történő párosítása nem ajánlott. A felületkartogram alkalmazása kevésbé javasolt negatívumai miatt, ezért a kartogram módszer esetén a jelkartogram használata a célravezető, mely a jel, pont, diagram és mozgásvonal módszerekkel kombinálható. Ha a térkép megjelenítése interaktív, akkor egyszerre több tematika is megjeleníthető, mert azok ki-, be kapcsolhatók.

A felületkartogram módszer hagyományos alkalmazása során az ábrázolt adat és a földrajzi terület nagyságának kapcsolatából az olvasó hamis következtetéseket vonhat le. Konkrét példát tekintve: az USA választási eredményeit bemutató térképen a választási körzetek a nyertes párt színével vannak színezve. A tematikus térkép azt mutatja, hogy az A jelölt (piros) az államok döntő többségében megszerezte a szavazatok többségét, míg B jelölt (kék) jóval kevesebb államban nyert (22. ábra). A térkép az A jelölt győzelmét mutatja, mert a nagyobb területek nagyobb lakosságszámot sejtetnek (Cuff, 1982). A választásoknak a menete viszont bonyolultabb. Ha egy államban egy jelölt megszerzi a szavazatok többségét, akkor ő megszerzi annak az államnak az összes elektori szavazatát, melynek száma a lakosság számától függ. A választást és az elnöki címet az a jelölt nyeri, akinek az elektori szavazatának száma eléri a 270-et (elektori szavazatok fele plusz egy). A választást a B jelölt nyeri, mert a nyertes államokban a lakosság száma jóval magasabb (így az elektori szavazatok száma is több), mint ott, ahol nem szerezték meg a szavazatok többségét. Az ábrázolási probléma megoldható úgy, hogy a felületi módszert 3D-s felületkartogrammal kombináljuk. A felületi színezés továbbra is a nyertes jelöltet mutatja, a kartogram módszerrel pedig vagy a népesség vagy az elektori szavazatok száma ábrázolható. A két tematika együttes megjelenítésével a térképolvasó már a helyes végkövetkeztetést vonja le a térképről.



22. ábra. Az USA választási eredményeit bemutató animáció alapján készített 3D-s térkép. A 3D kartogramok színe a szavazat többségét megnyerő párt színét mutatja, a kartogram magassága a szavazatok számát. A szavazatszámok nélkül a térkép hibásan sugallja a piros színnel jelzett párt győzelmét, a választást valójában a kék nyerte.

1.2 Generalizálás

A generalizálás folyamata az egyik legjelentősebb munkafázis a térképkészítés során. A térképész döntést hoz arról, hogy milyen tartalmi elemek kerüljenek fel a térképre és azokat milyen formában ábrázolja. Ha egy nagyobb méretarányú térképből kisebb készül, akkor generalizálást kell alkalmazni, nem elég a nagyobb méretarányú térkép szimpla kicsinyítése. Többszörös kicsinyítés után a térképi elemek túl kicsik lesznek, méretüket nagyítani kell, geometriájukat pedig egyszerűsíteni és tipizálni. A generalizálási küszöb akkor jelentkezik, amikor egy felület (terepi tárgy) mérete olyan kicsi a térképen, hogy ábrázolását például ponttal helyettesítik, ezzel egy új fogalmi kategóriát bevezetve az objektumra (Klinghammer & Papp-Váry, 1980). A generalizálási küszöb második lépése, amikor minőségi adatokat mennyiségi adatok váltják fel az ábrázolás során. Egy 3D-s térkép készítése során, a generalizálás módszere ugyanúgy alkalmazandó, mint a hagyományos esetben, csak itt térben történik az ábrázolás és nem síkban. A generalizálás kiemelt szerepet kap egy közepes méretarányú, áttekinthető jellegű 3D város föld feletti-alatti térkép készítésekor, mely forrásként építészeti és mérnöki tervrajzokat használ.


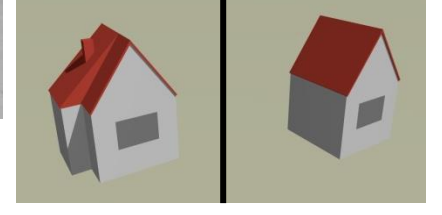
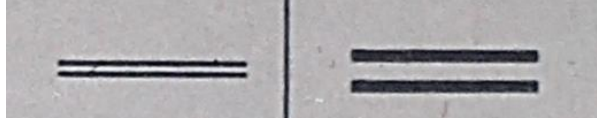
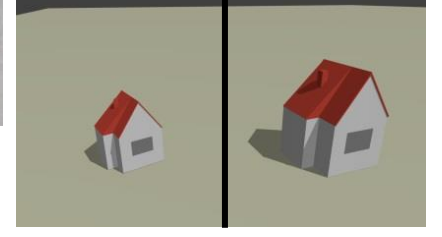
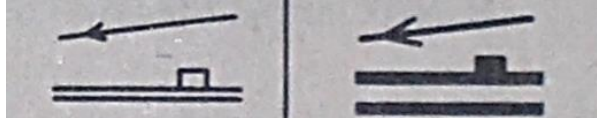

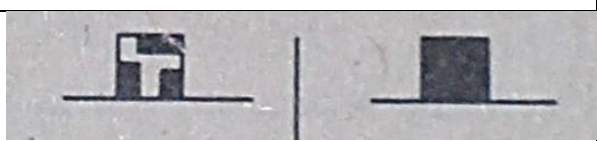


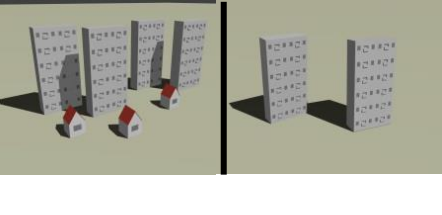


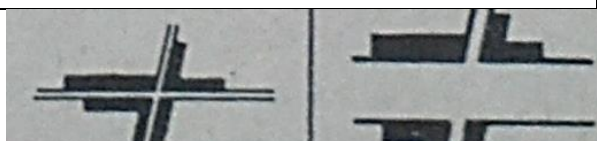
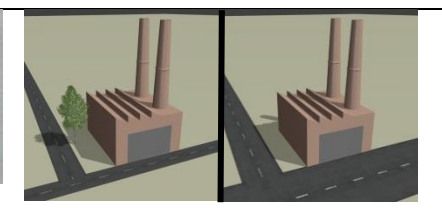
A hagyományos térképeken használt szimbólumrendszer a valós objektumok egyszerűsített rajza 2D-ben. A 3D-s térképek esetében is fontos egy jelrendszer kidolgozása, a valódi térbeli objektumokat generalizálni kell és szimbolikus, azokat jól reprezentáló 3D-s modelleket létrehozni. A szimbólumok részletességét optimálisan kell meghatározni, mert a túl

sok csomópontból álló modell nagy számítógépes számolási kapacitást igényel, a túl leegyszerűsített modell pedig nem kelti fel a térképolvasók figyelmét (Bandrova, 2011).

1.2.1 Generalizálási szabályok

A „*Tematikus Kartográfia*” című könyvben a generalizálásnak hét alapelvét különböztetik meg egymástól a szerzők: egyszerűsítés, nagyobbítás, eltolás, összevonás, kiválasztás, tipizálás, hangsúlyozás (Klinghammer & Papp-Váry, 1980). Az 1. táblázatban megtekinthető (első és második oszlop), az imént felsorolt generalizálási szabályok alkalmazása a hagyományos térképkészítésben (Pődör, 2010). A szabályok 3D-ben történő alkalmazását kutatásom során kidolgoztam, az eredmény a táblázat harmadik oszlopában tekinthető meg.

Rendszerint a térképész egyéni döntésén múlik, hogy mikor melyik elvet, elveket alkalmazza generalizáláskor, de vannak olyan térképszerkesztési szituációk, amelyekre a hosszú idejű gyakorlat már megszabott, sikeresnek bizonyult módszereket javasolt alkalmazni. Például amikor a méretkülönbség az eredeti és a levezetett térkép között nem nagy, akkor az egyszerűsítés, nagyobbítás, eltolás elvek az ajánlottak. Nagyobb méretarány eltérések esetében az egyesítés, kiválasztás, tipizálás, kiemelés módszerek alkalmazandók. Egy tartalom kiemelése esetén, a kiválasztás, tipizálás, hangsúlyozás módszerek alkalmazandók (Klinghammer & Papp-Váry, 1983).

Generalizálás alapelvei	Hagyományos alkalmazás (Klinghammer & Papp-Váry, 1980)	3D-s alkalmazás
egyszerűsítés		
nagyobbítás		
eltolás		
összevonás		
kiválasztás		
tipizálás		
hangsúlyozás		

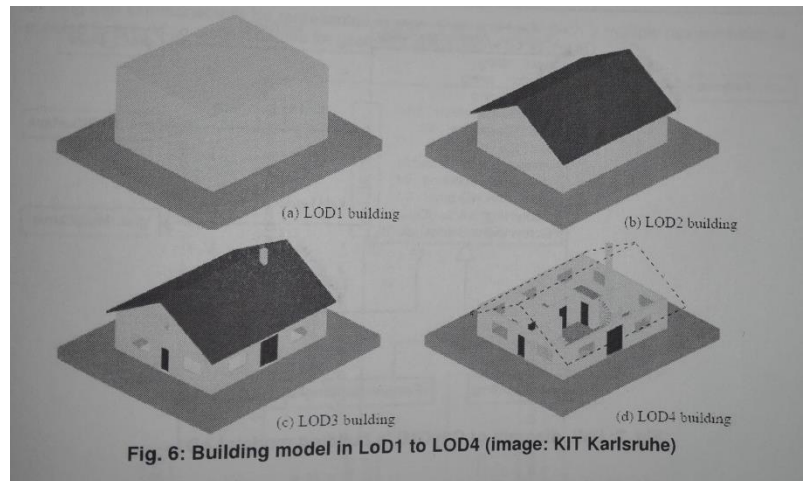
1. táblázat. A generalizálási szabályok alkalmazása a hagyományos illetve 3D-s térképeken.

1.2.2 3D kataszter, LOD szintek

A generalizálás egy speciális és viszonylag új, fiatal esetének tekinthetők a LOD szintek (eredeti angol elnevezése a *Level of details*). A „részletesség szintje” eltérő generalizálási szinteket jelölnek, melyet a játékiparban és GIS alapú 3D városmodellek terén alkalmaznak elsősorban.

A LOD szintek eredetileg a játékiparból származnak, elsősorban ott volt alkalmazott és kifejlesztett ez a technológia. A 3D-s modell részletessége a felhasználót reprezentáló kamera és az objektum közti távolság nagyságától függ. Amikor egy objektum a játékoshoz közel helyezkedik el, akkor az részletgazdagabb, amikor távolabb található, akkor a modell egyszerűsített és nem tartalmaz annyi részletet. A kevésbé részletes modell a LOD 1, az egyre növekvő részletességű modellek a LOD 2,3,4-es besorolást kapják. A LOD szintek alkalmazása jelentősen gyorsítja a számítógépes játékok futásának a sebességét, csökkenti a számolási kapacitást (*Wikipedia, 2015c*).

A térinformatikában a LOD szintek jelentése némileg módosult. A városmodellek esetében az épületek különböző mértékű generalizáltságát jelölik a LOD 1–4 szintek. A LOD1 erősen generalizált, egyszerűsített modellt takar, a LOD4 a legkevésbé generalizált, legrészletesebb modellt. A 2-es és 3-as LOD szint az 1 és 4 közti fázisokat mutatja (23. ábra). A LOD1 szinten az épület blokkban,



23. ábra. LOD szintek 1–4-ig. A LOD1 (balra fent) szinten az épület egy tömb, a LOD2 (jobbra fent) mutatja a tető alakját és az épület elnagyolt alakját. A LOD3 (balra lent) az épület pontos alakját részleteiben, a LOD4 (jobbra lent) a belső tereket ábrázolja. (*Inspire, 2011*)

kocka vagy téglatest formában kerül megjelenítésre, nem textúrázott. A LOD2 szint már részletesebb, a tető alapformája és az épület falainak főbb vonásai kerülnek ábrázolásra, látható az épület geometriája, az épület modell továbbra sem textúrázott. A LOD3 szinten az épület minden apró részlete ábrázolása kerül, a homlokzat részletei, falak részletes formái, erkélyek és a tető pontos alakja. Az épület modellje textúrázott jó minőségű képpel. A LOD4 szinten az

épület belső terei is ábrázolásra kerülnek. A térinformatikában alkalmazott LOD szintek tehát az épületek részletességét jelölik, míg a játékipar elsősorban megjelenítés-optimalizálásra alkalmazza.

A LOD szintekről gazdag szakirodalom található, a virtuális 3D városmodellek esetén széles körben alkalmazott. Számos városnak elkészült már a virtuális modellje, például: Berlin (Döllner, 2006), Göteborg (Tornberg, 2005), Szeged, Koppenhága, Prága, Hamburg (Sümeghy, 2011), Mainz (Krämer, 2012). A felszín fölötti városmodellek készítésének alapelvei jól kidolgozottak, felszíni építmények 3D-s modelljei lézershkennelt adatokból automatizált folyamatokkal is előállíthatók, generalizálhatók az egyes LOD szintek is (Glander, 2012; Trapp, 2008). A 3D-s városmodellek generálásának ezen módjának kidolgozása már megtörtént, széles körben alkalmazott a technológia, jól dokumentált és számos szakirodalmat találni a témakörben (Sümeghy, 2011; Uden, 2012; Krämer, 2012; Schönstein, 2010; Leberl, 2010). Milyen ábrázolási módszert tudunk abban az esetben alkalmazni, amikor a városmodellünket a földalatti infrastruktúrával bővítjük ki? Ebben az esetben nem tudjuk a jól bevált módszereket alkalmazni.

A 3D-s városmodellek nagy része a föld feletti területet ábrázolják, a földalatti világot 3D-ben megjelenítő projektek is a közműre korlátozódnak főként: ilyen Las Vegas földalatti világát ábrázoló térkép (Zeiss, 2009). A föld alatt viszont számos egyéb objektum is megtalálható: pincék, mélygarázsok, metróvonalak, bunkerek, légvédelmi óvóhelyek, alagutak, barlangok, bányák, utak, stb.. Egy város föld feletti területei távérzékelési és légifelvételi adatokból generálhatók, de a földalatti területekhez ezek a források nem használhatók, így más munkafolyamatot kell alkalmazni. Nagy méretarányú mérnöki tervrajzokból lehet a földalatti 3D-s világot létrehozni, a modellezés során kiemelt szerepet kapnak a generalizálási alapelvek. Ezeket a generalizálási szabályokat előttem nem dolgozták még ki, így kutatásom során ezzel kiemelten foglalkoztam. A 3D-s városmodellek távérzékelési adatokból automatikusan létrehozott modelljeivel, viszont nem foglalkoztam részletesebben.

1.3 3D-s térképi tartalmak elemei

Az alábbi fejezetben azt vizsgálom, hogy a térképi tartalmakat, mint a síkrajz, domborzatrajz és névrajz, milyen módon lehet 3D-ben alkalmazni, illetve milyen esetben alkalmazzuk a 3D-s megjelenítést és mikor a hagyományos 2D-t? A térképészeti hagyomány jól meghatározza az egyes térképtípusok esetén a domborzatrajz, síkrajzi elemek és a névrajz

ábrázolási elveit. Kutatásom során általános alapelveket dolgoztam ki ezek 3D-ben történő megjelenítésére: ha a térképen a domborzat ábrázolásra kerül, az 3D-s legyen. A hagyományos síkrajzi elemeket a térképszerkesztési alapelveknek megfelelően ajánlott megszerkeszteni a céltematika és a névrajz kivételével. A síkrajzi elemeket tartalmazó térkép textúráként kerüljön a 3D-s domborzatra. Erre a felszínre kerül a 3D-s tematika és szintén 3D-s névrajz. Ha a térképen nincs szükség a domborzat ábrázolására, akkor a síkrajzot egy síklapra kell textúrázni, a 3D-s tematika erre kerüljön. 3D-s felszín alkalmazása esetén a textúráként alkalmazott térképen a domborzat ábrázolása nem kötelező. Általános földrajzi térkép estén, a hipszometria jól alkalmazható, ez segíti a térkép domborzati értékeinek leolvasását. Kis és közepes méretarány esetén a szintvonal alkalmazása nem ajánlott, mert nem segíti elő a térkép könnyű olvashatóságát, a plusz rajzi elem zsúfolttá teheti a térképi tartalmat (24. ábra). Ha a domborzatmodell és a szintvonalak eltérő forrásból származnak, akkor a felszínen könnyen elcsúszhat a szintvonalrajz, ez számos hibaforrást rejt magában.



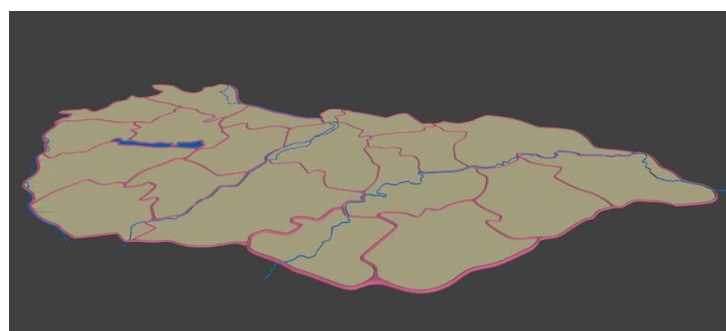
24. ábra. 3D-s domborzatmodellen szintvonalas textúra látható. A szintvonalak alkalmazása zavaró, erősen rontja a térképi domborzat olvashatóságát.

A síkrajzi elemeket: vízrajz, határok, utak, vasút, vezetékek, növényzet, talaj, stb. elemeket hagyományos térképészeti elvek szerint célszerű megszerkeszteni 2D-ben. 3D-s felszín alkalmazása esetén, célszerű csak a korábban felsorolt felületi és vonalas, illetve a kis pontszerű elemeket ábrázolni a textúrán, a piktogramok és képszerű jelek alkalmazását kerüljük. Ha a domborzatmodell felszínén törés található, pl. hegycsúcs, letörés, völgy vagy meredek hegyoldal, akkor a jel alakja torzulást szenved el (25. ábra). Ez a torzulás a felületi és

vonalas elemeknél, illetve a kis pontszerű elemeknél kevésbé zavaró. A térképi jeleket, piktogramokat ezért célszerű 3D-s objektumként ábrázolni. Ez kiküszöböli a domborzat okozta torzulásokat, illetve a térképi vizualizáció is látványosabb lesz. A térképen a 3D-s objektumok térbeliségük miatt könnyebben észrevehetőbbek, feltűnőbbek, mint a textúrán szereplő síkrajz, ezért azt a térképi elemet, céltematikát, melyet ki akarunk emelni, ajánlott 3D-ben megjeleníteni. Ha a síkrajzi elem a térkép céltematikáját képezi, például a vízszint ingadozása, vagy a növényzeti borítottság részletes bemutatása, ott az adott síkrajzi elemet is lehet 3D-ben ábrázolni. Egy statisztikai térkép esetében, ahol a térképi alapon csak a megyehatárok, illetve a főbb folyók szerepelnek, ennek kiemelésére, azok 3D-s objektumként is ábrázolhatók. A megyehatár kör keresztmetszettel, a folyó pedig magasság nélküli vonalas elemként vagy nagyon kis átmérőjű kör keresztmetszettel jeleníthető meg. (26. ábra).

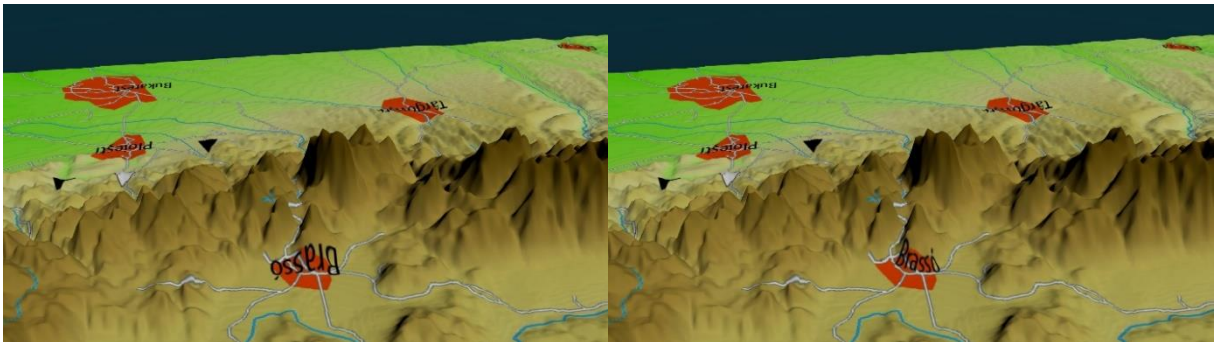


25. ábra. A bal oldali térképen látható, hogy a jelek és feliratok is a textúrán szerepelnek, a domborzat egyenetlensége miatt ezek torzulást szenvednek el. A jobb képen a névjajz és a tematika 3D-ben van ábrázolva, mely növeli az olvashatóságot, és látványosabb, szebb képet ad.



26. ábra. Ha a térképen a megye határokat hangsúlyozni szeretnénk, akkor az ábrázolható 3D-s objektumként. Ebben az esetben a vonal vékony átmérőjű, kör keresztmetszettel ábrázolható.

Ha a névrajz a térképi textúrára kerül a síkrajzi elemekkel együtt, akkor a 3D-s felszínen (a piktogramokhoz hasonló módon) torzulást szenved el. Ajánlatos a térképi névrajzot ezért 3D-ben ábrázolni. Interaktív térkép esetében beállítható, hogy a névrajz (település és ország nevek) a kamera mozgását kövesse, ez minden szögből pontosan olvasható feliratokat eredményez. A természetföldrajzi nevek kivételt képeznek, azok a hegyvonulat irányát kövessék. Amennyiben a névrajz túl sűrű ahhoz, hogy 3D-s objektumként ábrázoljuk, akkor a térképi textúrán is szerepelhet. A hagyományos névrajzi megírási elv azt mondja, hogy a településneveket álló helyzetben kell megírni. 3D-s domborzat esetén, amikor a nevek a textúrán szerepelnek, ez a szabály mellőzhető. A függőleges megírás követelmény továbbra is megmarad, de a függőlegest a háromdimenziós térhez kell viszonyítani. Figyelembe kell venni azt, hogy a felhasználó a térképet szabadon forgathatja, nem észak-déli tájolásban fogja azt szemlélni, hanem például egy hegységet minden oldalról körbejár. A hegy függőleges iránya jelöli ki a helyi függőlegest, amelyhez a névrajznak igazodnia kell. A településnevet ezért úgy kell megírni, hogy a terepi viszonyokat figyelembe kell venni. Egy településnév esetében a szintvonal megírás elvét kell alkalmazni, hogy a szöveg talpa a lejtő irányába mutasson. A 3D-s térképen a névrajz így jobban olvashatóvá válik (27. ábra).



27. ábra. A 3D-s térképet északról déli irányba szemléljük. A bal ábrán a névrajz hagyományos módon van megírva, minden településnév talpa délre mutat. A jobb ábrán a terepi viszonyoknak megfelelően, a magas hegyekhez közeli települések a szintvonalszámok megírásával egyező módon kerültek megszerkesztésre.

1.4 3D-s domborzatmodellek, glóbuszok, virtuális városok

Az utóbbi 5-10 évben a virtuális városok, glóbuszok, felszínmodellek széles körben elérhetővé váltak mind a szakértők és a laikusok számára. Az áttörést a Google Earth (2005) és a Bing Map (2006) alkalmazások indították el (Detrekői, 2010), illetve az utóbbi öt évben már 3D-s virtuális városokban is sétálhatunk a Google Street View segítségével (Leberl, 2010). A digitális 3D-s felületmodellek a műholdas távérzékelésnek köszönhetően nagy adatbázisból automatikusan generálhatók, ingyenesen elérhetők, valamint szintén ingyenes szoftverekkel könnyedén feldolgozhatók. Ezeket a lehetőségeket egészíti ki a Google Earth-ön belül készített fejlesztések, amelyek alkalmazhatók egyéni projektekben. Elterjedt megjelenítési módszer a 3D-s városmodell integrálása a Google Earth-be, például Terezín város esetében (Hájek, 2014). Ezen technológiák már széles körben elterjedtek, az utóbbi években az ábrázolási alapelvek kidolgozásra kerültek, jól dokumentáltak (Sümeghy, 2011, Leberl, 2010). Megemlítendő az ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszékének projektje, amely keretében számos térképtörténeti műalkotásról készült virtuális glóbusz. Az eredeti gömb nyomatainak szkennelt vagy a gömb befotózásával nyert képek gömbre való textúrázásával készültek. Ezek a gömbök weben megtekinthetők a Virtuális Földgömbök Múzeumában, azok szabad forgathatók, nagyíthatók (Márton, 2008).

A kutatásom során használtam ingyenes adatbázisokat, generált felszínmodelleket, de ezeket a módszereket nem részletezem. Az automatikusan generált domborzat és városmodellek, Google Earth alapú 3D-s térképeket széleskörű alkalmazásuk és az elméleti módszerek kidolgozottsága miatt nem kutattam, nem írok róluk részletesen. A hangsúlyt azokra az új ábrázolási módokra fektetem, melyekben új vizualizációs lehetőségek, és további fejlesztési irányok vannak.

2. Kutatott 3D-s ábrázolás elkészítésének lehetőségei. A térkép előállítására használható szoftverek vizsgálata. Megjelenítési lehetőségek kutatása és elemzése.

A térképi ábrázolási módok elméleti kidolgozása után megvizsgáltam, hogy milyen módszerekkel lehet a gyakorlatban is létrehozni 3D-s térképeket. Megvizsgáltam a 3D-s tematikus térképek, illetve a 3D városmodellek –ezen belül is a fölalatti 3D-s világ– ábrázolási lehetőségeit. A szoftverek vizsgálatánál az alábbi kérdésekre igyekeztem válaszokat találni: Létre lehet-e hozni a vizsgált szoftverben az általam tervezett 3D-s térképet? Milyen modellezési lehetőségeket nyújt? Mennyire hozható létre olyan ábrázolási mód, amely eltér az eddigi gyakorlattól? Van-e lehetőség új vizualizációs megjelenítési módszerek fejlesztésére? Ha igen, akkor milyen minőségben? Mennyire látványos az elkészült térkép?

A szoftverválasztáskor az alábbi igényeket fogalmaztam meg: a program legyen rugalmas, rendelkezzen széles modellezési lehetőségekkel, alkalmas legyen az általam kifejlesztett új vizualizációs módok megvalósítására, az általam kutatott elméleti ábrázolási módszereket a gyakorlatban magas minőségben tudjam megvalósítani, a térképi megjelenítés látványos legyen. Ezen elvek alapján ismertetem az általam vizsgált szoftvereket, összehasonlítom és elemzem őket melyik program milyen célra alkalmazható. Milyen alkalmazási területei vannak, ismertetem a nemzetközi gyakorlatban betöltött szerepüket. Gyakorlati okokból ebben a fejezetben írok a 3D-s nemzetközi projektekről is, mely térképeket milyen programokkal valósítottak meg. Nem foglalkoztam olyan 3D *sketch* (szerkesztő) programokkal, amelyekkel csak 1-2 objektum létrehozására van lehetőség alacsony minőségben, ezek főként hobby célra alkalmazhatók. A piacon elérhető szoftvereket típusuk és működésük alapján kategorizáltam, mint GIS- térinformatikai, várostervező, térképészeti, CAD és általános célú 3D modellező programok.

A szoftveripar gyors fejlődésen megy keresztül, a programok új funkciókat kapnak, felhasználó barátabbak lettek, egyre több 3D-s funkciót látnak el. Kutatásom kezdete óta eltelt 4-5 évben is érzékelhető fejlődés történt. A szoftverek tesztelése fejezetben a piacon elérhető szoftverek legújabb verzióiról írok.

2.1 Szoftverek tesztelése

A 3D-s városokat leíró adatmodellek vizsgálata nem célja a kutatásomnak, viszont a CityGML ismertetése szükséges, széles körben alkalmazzák a 3D-s városmodellek esetében. A CityGML (*City Geography Markup Language*) egy leíró nyelv, mely a 3D városmodellek

tárolására, megjelenítésére és adatcseréjére fejlesztettek 2008-ban (Pegg, 2012). Standard modell, mely leírja a 3D objektum geometriáját, topológiáját, szemantikáját és megjelenítését, öt szinten definiálja a LOD szinteket. Tartalmazza a tematikus osztályok hierarchia szintjeit, objektumok közti kapcsolatokat, térbeli tulajdonságokat, textúrákat és az objektumok megjelenítését (CityGML, 2012). A CityGML alkalmas arra, hogy egy 3D városmodell felépítéséhez szükséges adatbázist tároljunk benne, így elemzések és szimulációk végezhetők, mint például az energiafelhasználási- és épület életciklus elemzés, ingatlan nyilvántartás, épület értékbecslés, katasztrófavédelem, gyalogos navigáció, városi adatbányászat. Hollandiában igény volt egy nemzeti szintű holland 3D-s információs rendszer létrehozása, ezért egy 2010-ben indult kutatás során CityGML formátumban hozták létre a teszt terület 3D-s modelljét (Stoter, 2013). A modell jól leírta az épületek, vizek, növényzet, utak adatait és az egyes LOD szinteket (Stoter, 2011), viszont a CityGML adatmodell nem volt alkalmas az egyes szakszervek adatainak tárolására. A leíró nyelv ezért folyamatos fejlesztés alatt van, 2012-ben elkészült a 2.0 verziója. Lehetőség nyílik a hidak és alagutak, azok konstrukciós elemeinek (Czerwinski, 2012), a LOD0 (az alaprajz és tető szélek), a víz és szárazföld felületek leírására is.

2.1.1 3D GIS

A hagyományos térinformatikai szoftverek eredeti célja és általános jellemzése: a 2D-s vektorgrafikus térképekhez adatbázis kapcsolása, raszteres háttérképek importálása, az eltérő vetületek kezelése, különböző forrásból származó állományok együttes kezelése, valamint az elemzések készítése és a szerver-kliens, webes felület létrehozása. A programok többsége a 3D-t csak domborzatmodellek esetén alkalmazza. Az időbeli változásokat gyengén kezelik, így valódi térképi animációt nem tudunk készíteni velük (Harrower, 2004). Az adatbázisokból tematikus térképek könnyedén készíthetők, viszont ezeknek 3D-s megjelenítésére minimális lehetőség van csak. Számos térinformatikai szoftver található a piacon, a legismertebbek: ArcGIS, GeoMedia, MapInfo, Bentley Map. Ezek fizetős programok, melyeket olyan nagy múltú szoftverfejlesztő cégek fejlesztenek, mint az ESRI, Intergraph, Pitney Bowes vagy Bentley. Ingyenes szoftverek a Qgis (QGIS, 2015), Grass Gis, uDig (uDig, n.d.), Map Window (Map Window, 2015), gvSig (gvSIG, 2009). Ezek közül némelyik magas minőséget képvisel (Qgis), a hagyományos térinformatikai igényeket kielégítik. A térinformatikai fizetős, illetve ingyenes szoftverek megkülönböztetésére a hagyományos 2D-s felhasználás esetén nincs szükség. A 3D-s ábrázolás esetén viszont jelentős eltérések tapasztalhatók a szoftverek között,

az ingyenes programok nem rendelkeznek 3D-s funkciókkal, így az általam kutatott 3D-s térképészeti ábrázolásra nem használhatók, ezért részletesebben nem foglalkozom velük.

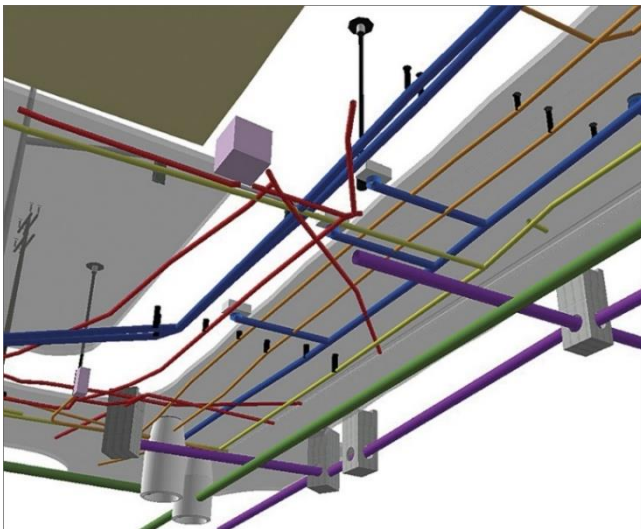
A nagy térinformatikai cégek előnye az ingyenesekkel szemben, hogy a 3D-s megjelenítés terén egyre bővülő ábrázolási és elemzési funkciókkal rendelkeznek, melyek jócskán túlmutatnak az ingyenes szoftvereken. Kutatásom során olyan vezető térinformatikai programokat vizsgáltam, melyeknek van 3D funkciója. Megvizsgáltam a megjelenítési lehetőségeiket, felhasználási területüket. Három vállalat termékeit ismertetem részletesebben, az ESRI-t (ArcGIS 3D Analyst), a Hexagon Geospatial-t (GeoMedia) és a Bentley-t (Bentley Map Enterprise). Az Autodesk Map 3D háromdimenziós funkciói jelentősen alulmaradnak a korábban megemlített szoftverektől, főként 3D-s domborzatmodellek létrehozását támogatja, melyre térképet textúrázhatunk. Bár jól kezeli, könnyen importálja az egyéb Autodesk programokban készített 3D modelleket, mégsem ismertetem részletesen a GIS szoftverek körében.

ESRI (Environmental Systems Research Institute):

Az ESRI ArcGIS 9-es verziójában jelent meg először a 3D Analyst, mellyel 3D-s megjelenítés és elemzés végezhető. Az Analysttal létrehozható domborzatmodell, majd az egyes vektorgrafikus elemek, layerek erre a felületre simíthatók. A GIS programokból ismert pont, vonal, felülethez szimbólumok rendelhetők, melyek az Analyst esetében 3D-s is lehetnek. A 3D-s jeleket egy szimbólumtárból, több 3D-s objektum közül lehet kiválasztani. Az egyes területek extrudálhatók (nyújthatók), pl. egy épület alaprajzának a függőleges tengelyen való kihúzásával. Geológiai és hidrológiai megjelenítésre is van lehetőség további bővítmények alkalmazásával. Az Analysttal lehetőség van a földalatti ábrázolásra az egyes 3D-s objektumok föld alá tolásával, továbbá a szimbólumtárban található: földalatti metróállomás, szeizmikus pont, közlekedési útvonal. Az Analyst több bővítményt is tartalmaz: Arc Scene és Arc Globe, mely további 3D-s megjelenítési célra használható. Az Arc Globe-ban nagy adatbázisok kezelhetők glóbuszon megjelenítve, több szinten kezelve a LOD-okat. Elemzésre nem használható, nagyméretű adatbázisok gyors és optimális megjelenítésére lett fejlesztve. Az Arc Scene egy 3D-s megjelenítő program, mely perspektív nézet készítésére alkalmazható. Az Arc Globe-tól eltérően a vetítés alapja sík. Az ArcGIS 3D Analyst használatára több nemzetközi példa látható: ebben készült Quebec (Kanada) 3D-s várostérképe (28. ábra) (ESRI, 2013a), Forth Worth (Texas) modellje,



28. ábra. 3D városmodell Quebec városáról (Kanada) (Forrás: ESRI, 2013a)



29. ábra. Földalatti közmű a McDowell út alatt Raleigh, Észak-Karolinában (Forrás: ESRI, 2013c)

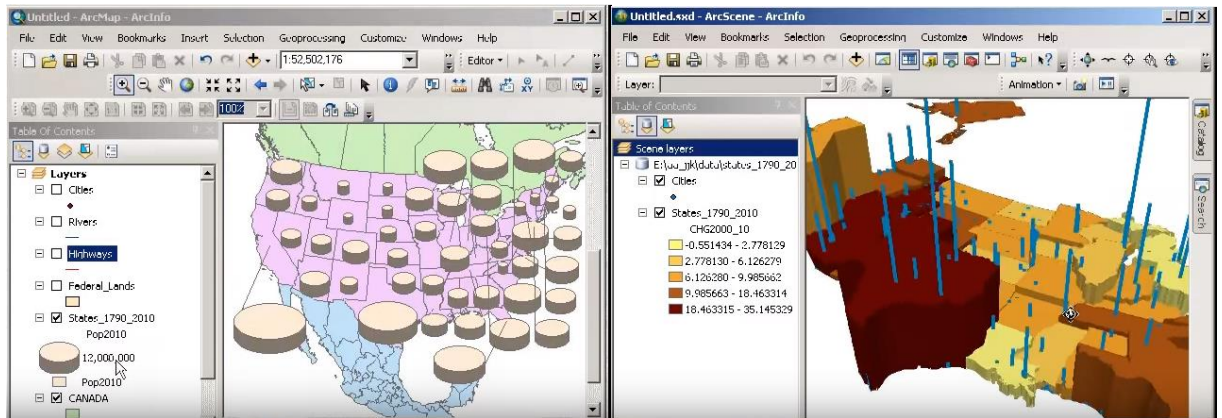
melyben városfejlesztési alapkoncepciókat jelenítenek meg (ESRI, 2012). Honolulu emelt városi vasútjának tervezéséhez szükséges 3D városmodell a City Engine-ben készült (erről bővebben a 3D városmodellező fejezetben), az elemzésekhez az ArcGIS 3D Analystet használták (ESRI, 2013b). A 3D Analyst Arc Scene bővítményével készült el a Green Square Complex (Raleigh, Észak-Karolina) földalatti közműveit feldolgozó 3D-s térkép (29. ábra) (ESRI, 2013c).

Az Analysttal könnyen létrehozható egy 3D-s várostérkép, a szimbólumok között számos beépített 3D-s objektum található. A program alap szerkesztő funkciókkal rendelkezik, így az előre definiált objektumokat lehet módosítani, de ezt bizonyos korlátok között tehető csak meg. A látványosabb, komplexebb modelleket, pl. épületeket, más programban célszerű elkészíteni, például a City Engine-ben (ESRI), majd ez importálható ArcGIS-be (ArcGIS resources, 2013a). Az Analyst a 3D-s vizualizáció során nem ad szép,

fotorealistikus látványt, kevésbé professzionális megjelenítést nyújt.

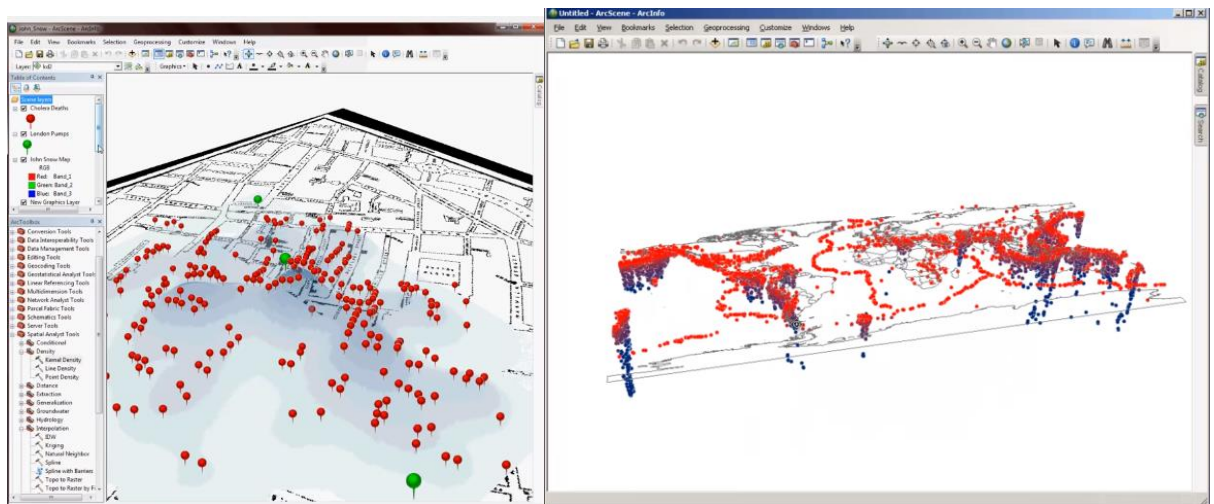
A 3D Analyst elemzésekre is alkalmazható, 3D tematikus térképek készíthetők vele. Az egyik leggyakoribb tematikus ábrázolási mód a kartogram módszer, a terület az adott statisztikai értéknek megfelelő magasságban, a normálja mentén kiemelkedik a síkból. Ezen kívül készíthetők 3D-s diagramok, melynek az alapja lehet kör vagy négyzet (30. ábra). Ez a

módszer a kartogrammal kombinálható (30. ábra), ez az ábrázolási megoldás nem ajánlatos. Rendelkezik a kartogram módszer összes negatív tulajdonságával, továbbá a kartogramban lévő oszlopok pontos magassága nem látható. Nem állapítható meg az oszlop nulla pontja, így a magassága és értéke sem. Egyedül a kartogram és az oszlop értékkülönbsége látszik ott, ahol az oszlop értéke nagyobb, mint a kartogramé. Ellenkező esetben az oszlop a kartogram belsejében marad.



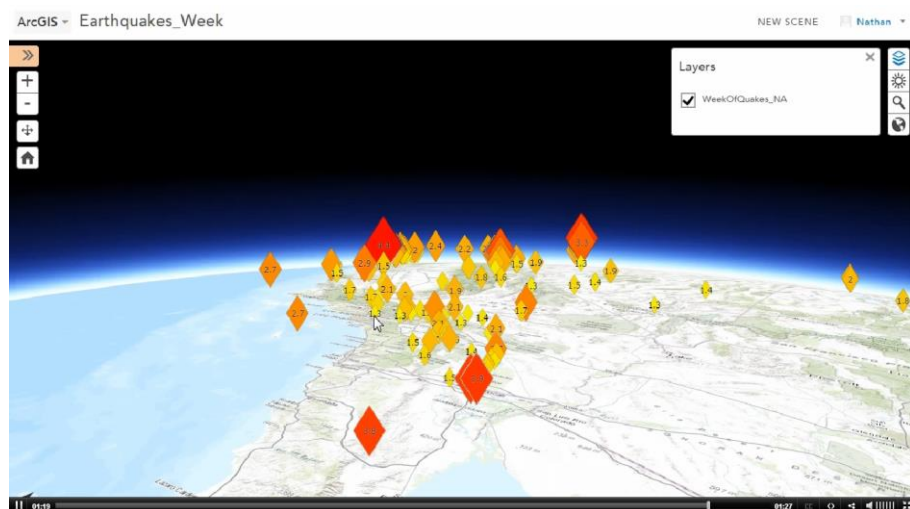
30. ábra. Balra egy kör keresztmetszetű 3D diagram térkép látható, amelyben az adat értékét a kör keresztmetszete mutatja. Jobbra 3D kartogram módszer 3D diagrammal történő kombinációja látható. (Bal kép forrása: ESRIEdTeam, 2011a. Jobb kép forrása: Geographyuberalles, 2011)

ArcScene-ben izovonalas 3D-s térképet és 3D-s jelmódszert is létre lehet hozni, illetve ezek kombinációját (31. ábra). 3D-s jelmódszerrel a földrengések térbeli eloszlása is bemutatható (31. ábra).



31. ábra. Balra egy 3D izovonal módszer látható 3D jelmódszerrel kombinálva. Az izovonalas felület átlátszó, hogy az utak a raszter is láthatók legyenek. Jobbra egy 3D-s jelmódszerrel készült földrengések helyét bemutató térkép látható. (Bal kép forrása: Goranson, 2012. Jobb kép forrása: ESRIEdTeam, 2011b)

Az ArcGIS Pro Web Scene Viewer-ében 2,5 D-s tematikus térképek készíthető. 2,5D-nek nevezzük azt a grafikai megoldást, amikor a 3D-s glóbuszon megjelenített tematika eredetileg csak két dimenziós (32. ábra).



32. ábra: 2,5D-s tematikus térkép. A glóbuszon a tematika 2D-ben jelenik meg, a jelek síkbeliek melyek 3D-s felületen kerültek ábrázolásra. A glóbusz forgatásakor a jelek a tengelyük körül forognak, így azok több szemszögből is megfigyelhetők. (Forrás: ESRI, n.d.)

Hexagon Geospatial:

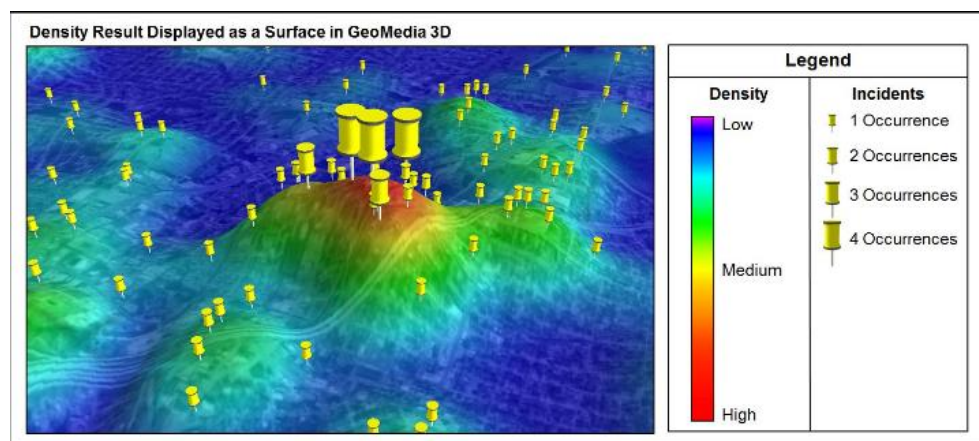
A GeoMedia is rendelkezik 3D-s megjelenítéssel, a legújabb 2015-ös verziója a városmodelleket már fotorealistikusan rendereli (bővebb információ a 2.1.5 3D modellező szoftverek fejezetben). A GeoMedia szoftverben készíthetők 3D-s épületek, az épület alaprajzát ki lehet húzni a Z tengely irányába, a modell textúrázható, színezhető, attribútumokkal látható

el. A bonyolultabb felépítésű, valóság-hű modelleket importálni lehet a programba (33. ábra), a Google Earth-ben alkalmazott KMZ és a CityGML formátumokban. A GeoMedia programban nem lehet komplex objektumokat létrehozni, a program célja a 3D-s objektumok adatbázissal történő összekapcsolása és elemzések készítése ezekből az adatokból.



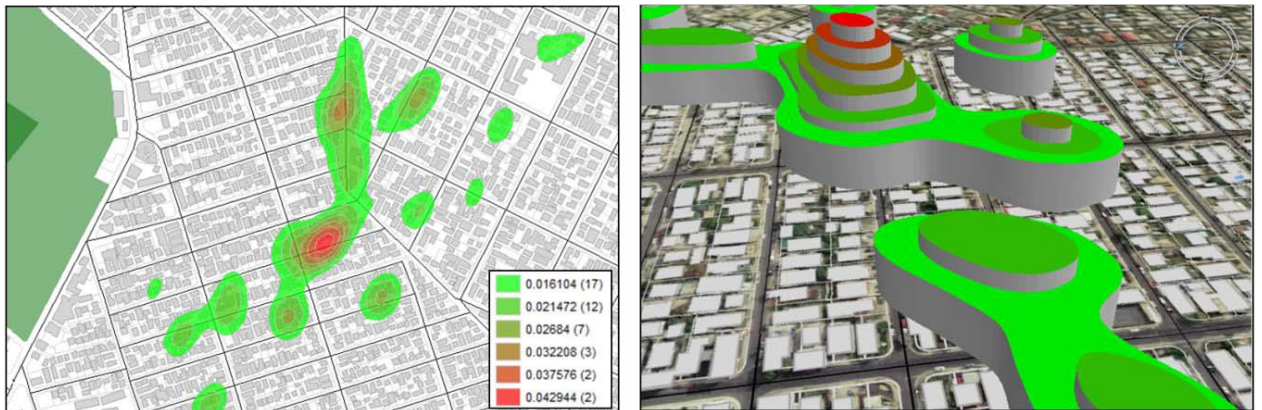
33. ábra. A bal képen egy GeoMedia-ban létrehozott 3D-város modellje látható, a jobb képen a programban az épületek importáltak. (Forrás: Hexagon Geospatial, 2015a)

A GeoMedia 2015-ös verziójával 3D tematikus térképek is készíthetők, több megjelenítési mód közül lehet választani. 3D-s jelmódszer: térbeli jelet, pl. rajzszöveget vagy kockát helyez a felszínre, az adat értékének megfelelően a jel mérete vagy színe reprezentálja az adatot. A térképi alapra hő térkép helyezhető, melyből 3D-s felületet is készíthető (34. ábra).

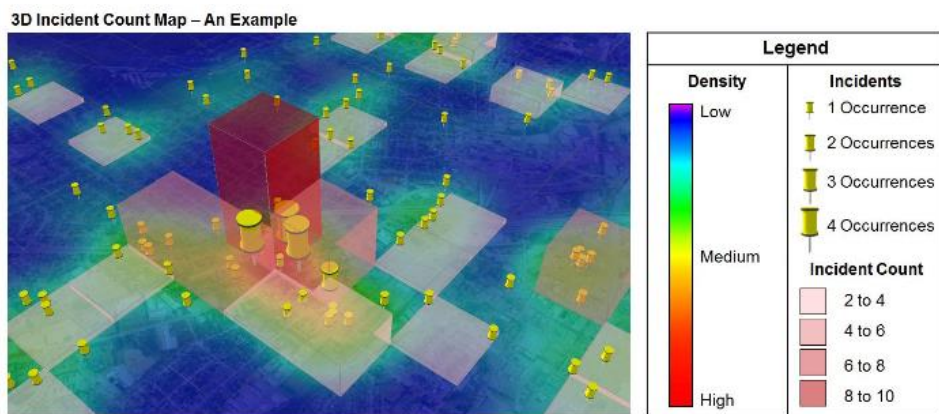


34. ábra. A térkép azt az esettanulmányt mutatja be, melyben egy hétig rögzítették a 911 segélyhívás helyeit, majd ezt 3D-s térképen elemezték. A 3D-s hő térkép (izovonal térkép) a népsűrűséget mutatja, míg a 3D-s jelek (rajzszögek) a vész hívás, azaz események helyét. (Forrás: Hexagon Geospatial, 2015a)

További megjelenítési lehetőség a GeoMedia-ban a nem folytonos izovonalas ábrázolás, ez lépcsős felületet eredményez (35. ábra). A 3D felületkartogram módszerhez sorolható az az ábrázolási mód, mely egy területet hálóra bont, az egyes griden belüli érték magasságát az adat határozza meg. Az 36. ábrán látható a népsűrűség és a segélyhívások bejelentésének helyének esettanulmánya, a fent leírt módszerrel bemutatva.



35. ábra. Nem folytonos izovonalas 3D-s ábrázolás, a felület lépcsősen változik. (Forrás: Geo Media, 2011)



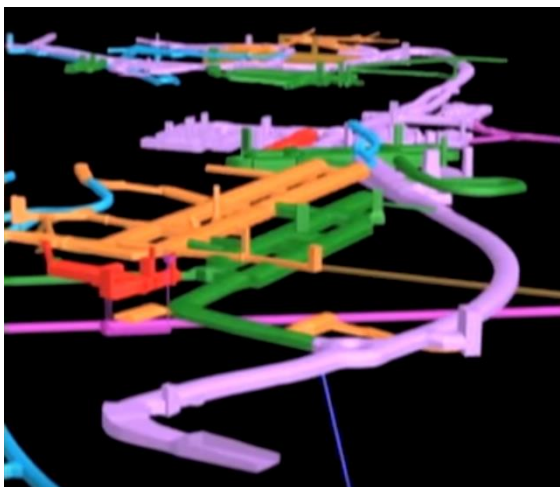
36. ábra. 3D kartogram és jelmódszer ábrázolása. A terület gridekre lett bontva, ezek értékei a függőleges tengely mentén ki lettek húzva. A térképi alapon 3D-s jelek láthatók. Forrás: (Hexagon Geospatial, 2015a)

A GeoMedia térinformatikai program hagyományos használatára számos példa található, viszont a program 3D-s alkalmazására kevés található, ezek közül megemlíthető a Virginia Beach 3D városmodellje (Intergraph, 2012). A források túlnyomóan a gyártó által készített esettanulmányokat mutatják be, így a program a nemzetközi 3D-s alkalmazásairól nem vonható le bővebb konklúzió.

Bentley:

A Bentley System Inc 1986-ban hozta piacra szoftverét, a Micro Stationt. Ez egy CAD alapú mérnöki szoftver, melyet az infrastruktúra tervezésére, nyilvántartására használnak. A Bentley 2010-ben piacra dobta a Micro Station bővítményét, a Bentley Mapet, amely térinformatikai adatbáziskezelést kapcsolt a CAD szoftverhez. A Bentley Map a többi térinformatikai szoftverektől eltérően mérnöki szemléletet képvisel a térinformatika világában. 2011-ben a Bentley Map V8i verziójú programja az infrastruktúrát 3D-s GIS környezetben kezeli. A Micro Stationben megszokott CAD alapú szerkesztés és a modellező eszköztár a Professional verzióban teljes körben elérhető. A programban így a legkomplexebb objektumokat is létre lehet hozni, a modell képpel textúrázható (Smith, 2011). Különböző elemzések végezhetők, mint: árnyék, áradás, katasztrófa helyzetek, zaj, beeső napsütés adatok analízisa, tematikus térképek készítése. Bár a Bentley Map számos modellezési funkcióval rendelkezik, egy komplex modell esetében a teljes modellezés –a nemzetközi példákat tekintve– több Bentley szoftver együttes alkalmazásával történik.

Több nagyváros modellezése esetén alkalmazták a Bentley termékeit: Brüsszel 3D-s térképe a Bentley Map és Micro Station együttes használatával készült (Bentley, 2015a).



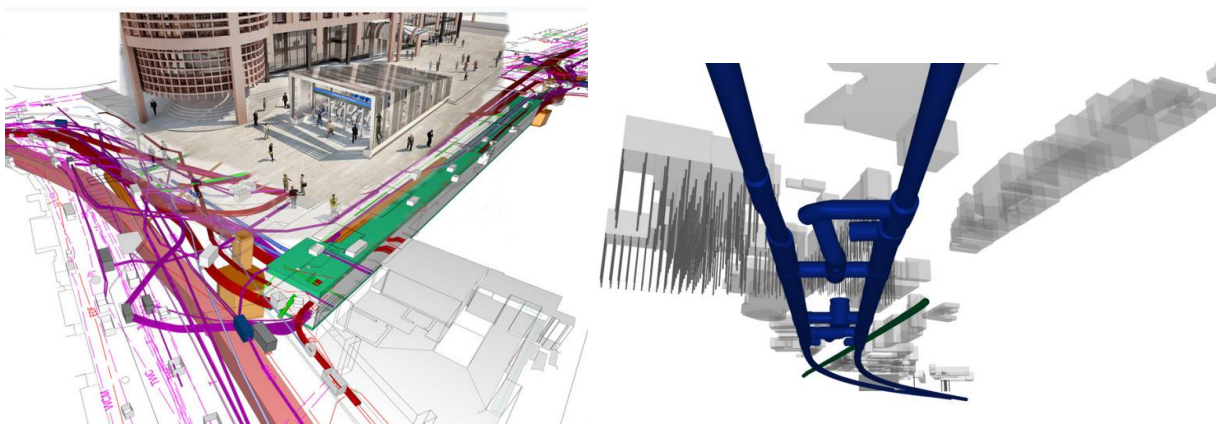
37. ábra: Részlet Helsinki földalatti térképéből (Quest, 2011)

A program város feletti és alatti modell létrehozására, valamint 3D-s kataszteri térképek készítésére is alkalmas (Benoit, 2011). Három nagy projektet emelnék ki, melyek megvalósításához a Bentley termékeit használták, melyben nem csak a felszínről készült 3D modell, hanem a földalatti területekről is: Helsinki, Montreal és Crossrail metró. Helsinki első 3D modellje 1987-ben (Bentley, 2010b), a teljes várost részleteiben ábrázoló modell 2013-re készült el a Bentley termékeivel. Számos földalatti építmény

található a város alapközetébe vájva, több mint 400 helység található a földalatt, az alagutak hossza meghaladja a 200 km-t (37. ábra) (Vähäaho, n.d.). A földalatt találhatók: parkolók, uszoda, jégkori csarnok, szénraktár, szerverközpont, melyet a kikötő hideg vize hűt, a hőt a föld alatt továbbvezetve fűtik a házakat (Merchant, 2011).

Montreálban található egy több mint 32 km hosszú, 21 km²-en elterülő földalatti komplexum: bevásárlóközpontok, boltok, hotelek, bankok, irodák, múzeum, egyetem, metróvonalak, vonat és buszállomások találhatóak itt. Nagyságrendileg 120 lejárón keresztül lehet a földalatti várost megközelíteni. A földalatti város építése 1962-ben kezdődött, a Place Villa-Marie irodaépület építésével, melynek földalatti részében bevásárlóközpont létesült. Ezt alagúttal kötötték össze a pályaudvarral és a Queen Elizabeth Hotellel. Az 1967-es expóra több épületet, hotelt, metrómegállót kötöttek össze az alagúttal, ebből alakult ki a földalatti város alapja. Jelentős növekedés 1984–1992 között volt, három bevásárlóközpontot építettek, majd 1990-ben irodaépületekkel és 2003-ban alagutakkal bővül tovább a földalatti tér (Wikipedia, 2016c). Montreal felszín fölötti és alatti 3D-s térkép készítése során az egyes modellezési és rajzolási fázisokat több Bentley termék együttes alkalmazásával készítették el: a Bentley Mapben és a Micro Stationben a modellezés, a Bentley Descartes-ban a textúrálás készült (Bentley, 2010a).

A Crossrail egy London keleti és nyugati végét összekötő vasúrendszer, melyről föld feletti és alatti modell készült (38. ábra). A Crossrail tervezett hossza 118 km, a már meglévő vonalakat újonnan épített (42 km hosszú) alagútszakasz köti össze, melyet London belvárosa alatt építenek. A projekt Európa legnagyobb vasúti és infrastruktúrális fejlesztése és beruházása, jelenleg is építik, átadását 2019-re tervezik. (Wikipedia, 2015a). A projekt tervezéséhez és az adatok integrálásához a Bentley termékeit használták: Micro Station, Project Wise (projekt kezelése és szervezése). Bentley Map, Bentley Geo Web Publisher, gINT (geotechnikai adatkezelés és riportok), Hevacomp (világítástervezés és design), Bentley RailTrack (vasúti infrastruktúrátervező), és STAAD.Pro (statikai elemzés és tervezés).



38. ábra. Balra a Liverpool közműalagútja és egy utcai jegycsarnok, jobbra a Whitechapel metróállomás látható (Munsy, 2012)

2.1.2 3D várostervező, modellező programok

A 3D várostervező és modellező programok elsősorban várostervezési és fejlesztési célokat szolgálnak ki, virtuális városok készítésére használhatók. Nagyon látványos formában jelenítenek meg komplex épületeket, teljes városi környezetet, infrastruktúrát. Épületek, utak, járdák, városi berendezések, például lámpák, padok, szeméttárolók, parkok és vízfelületek tervezhetők, helyezhetők a 3D-s városba. A piac talán legkiemelkedőbb szoftverének a City Engine tekinthető, de az Infrastructure Designer is jelentős fejlődést ért.

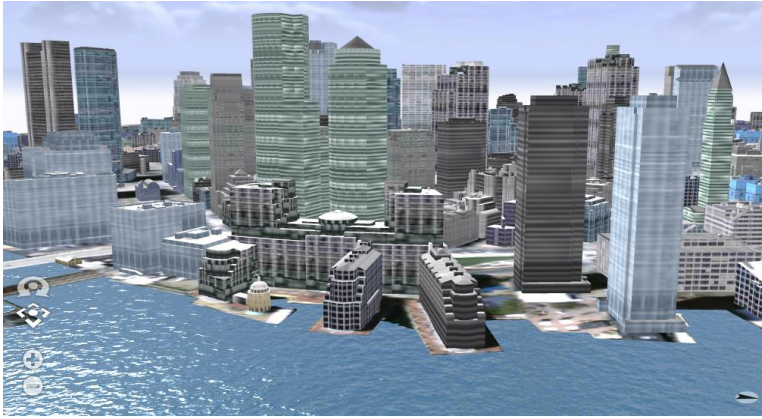
City Engine:

A City Engine első verzióját 2008-ban készítette a svájci Procedural Inc. vállalat. A kutatásokat Pascal Müller az ETH Zürich egyetemén kezdte, elsőként alkalmazva a procedurális épületmodellezési eljárást (szabályrendszer alapján készít épületmodellt a rendszer paramétereinek változtatásával), egy új irányt teremtve a várostervezés területén. Ezzel a városmodellezés tízszer gyorsabbá vált a korábbi technológiákhoz képest. 2011-ben az ESRI felvásárolta a céget, de a City Engine fejlesztői központja továbbra is Zürichben található. Az ESRI-be való beolvadásnak köszönhetően a City Engine-ben készített modellek az ArcGIS-be importálhatók, a két program között a formátumok átjárhatók, ezzel egy új 3D-s irányt nyitva a GIS-ben (DeMeritt, 2011). A City Engine egy 3D várostervező szoftver, melyet építészeti, komplex várostervezési és design célokra fejlesztettek. A program döntéstámogatói és elemzői funkciókat lát el, a városmodellt fotorealisztikusan ábrázolja. Könnyedén hozhatók létre



39. ábra: Velence 3D-s modelljének részlete. (ArcGIS, 2014)

épületek, melyek homlokzatot ábrázoló fényképpel textúrázhatók, ezzel élethű hatást elérve. A City Engine széles körben kielégíti a várostervezési feladatokat: automatikus tervező funkcióval van ellátva. Egy területen automatikusan generál parcellákat az előre beállított paraméterek alapján: megadható a beépítettség és a zöldfelület aránya vagy meghatározható a



40. ábra. Boston 3D városmodelljének részlete (ArcGIS, 2014)

belső szerkezete is modellezhető. Lehetőség van egy tervezett városrész előtte-utána képének összehasonlítására. Számos nagyváros 3D-s modellje készült ezzel a programmal, mint Szingapúr (ESRI, 2014b), Philadelphia, Velence (39. ábra) (ArcGIS,2014), London (ESRI, 2014a), Boston (40. ábra).



41. ábra. Filmes célra készített fotorealisztikus futurisztikus városrészlet.

terület funkciója alapján: lakó, gazdasági, vagy kereskedelmi. Modellezhető, hogy bizonyos építményből milyen városkép tárul a szemlélő elé, beállítható, hogy erre a területre ne kerüljenek további épületek. A látkép zavarásának elkerülésére automatikusan meghatározza az útba eső, jövőben építhető épületek magasságát. Az épület

A City Engine-t a filmes iparban is előszeretettel alkalmazzák (41. ábra), a procedurális modellezésnek köszönhetően egy városmodell előre beállított paraméterek alapján automatikusan generálható, így jelentős idő, pénz és munkaóra takarítható meg, továbbá az itt létrehozott városmodell fotorealisztikus módon renderelhető. Az Acélember (Men of Steel), Verdák 2 (Cars 2) és a Total recall filmek készítésekor a városmodell City Engine-ben készült (DeMeritt, 2013). A City Engine jelenleg a föld feletti épületek készítésére használható jól. A földalatti infrastruktúra létrehozásához a program további fejlesztése szükséges.

Infra Works:

Az Autodesk a világ egyik vezető vállalata a 3D-s design területén. Az Infra Works olyan 3D-s fejlesztés, mely tervezési, design, építési és management célokra használható, közlekedés, közművek, földi és vízi infrastruktúrák kezelésére. A program első verziója 2012-ben került a piacra Infrastructure Modeler néven, 2014-től a neve Infra Worksre változott. Az Infra Works egy asztali szoftver, az Infra Works 360 Pro pedig az Infra Works bővítménye, mely felhő alapú szolgáltatásokat is kezel (Autodesk, 2013). Az Infrastructure Design Suite olyan programcsomag, mely az Autodesk bizonyos termékeit tartalmazza. A Standard, Prémium és Ultimate programcsomagokkal egyre bővül a szoftverek száma, így minden igénynek megfelelő programcsomag vásárolható (Autodesk, 2015a). Az Infra Works az Autodesk más termékeivel (pl. Auto CAD, Map 3D, Auto CAD Civil 3D) létrehozott modellek egymással kompatibilisek, az egyes formátumok között jó átjárhatóság van. Az egyes Autodesk termékekben létrehozott modellek az Infra Works-szel tovább fejleszthetők, látványos 3D-s, valóság-hű virtuális modellek készíthetők. Az egyes Autodesk termékeket ezért is értékesítik programcsomagokban. Maga az Infra Works is alkalmas arra, hogy modellek jöjjenek létre benne egy üres állományból. A felhőszolgáltatással a modellezési folyamat felgyorsul, kész elemeket lehet a projektbe betölteni. A gyakorlati példákat tekintve gyakoribb az a megoldás, hogy egy Autodesk termékben tervezett objektum (Civil 3D, Revit) a látványterveit Infra Worksben készítik el, vagy bővítik, majd az itt elkészült állományt mutatják be a megrendelőknek, civileknek. Az Infra Works jól használható a pre-engineering, mérnöki tervezés előtti design készítésére, melynek segítségével a pontos tervrajzot már mérnöki szoftverrel tervezik. A teljesen valóság-hű látványért célszerű egy további Autodesk-es terméket, a 3DStudioMax-ot alkalmazni.

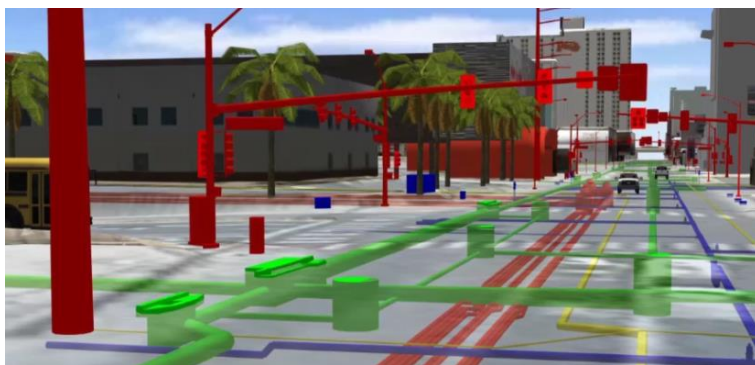
Az InfraWorks alkalmazására több nemzetközi példa található: Bamberg városa (Németország) a világörökség részét képezi (42. ábra). A városfejlesztési és -rehabilitációt bemutató 3D városmodell Infrastructure-el készült, ezzel a modellel könnyen bemutathatóvá vált a lakóknak a városfejlesztési koncepció (Autodesk, 2015b). A svájci Appenzell Innerrhoden kanton 3D modellje is InfraWorks-ben készült. A 3D-s modell segítségével virtuálisan megtekinthető a kanton. Láthatók a meglévő és tervezett épületek, a városfejlesztési koncepció, az ehhez kapcsolódó elemzések (Mauchle, 2013). Fontos szempont ebben az esetben is, hogy a városlakók láthatják a fejlesztéseket 3D-ben. További példa a Burle Marx Park hídja São Paulóban, Brazíliában (Camargo, 2014) vagy San Antonio, Texas modellje is, ahol utakat és földalatti



42. ábra: Bamberg 3D-s modelljének részlete (Autodesk, 2015b)

közműveket fejlesztettek. A közműveket Autodesk Civil 3D-ben tervezték és modellezték, ezt később az Infra Works-be importálva a városmodellbe integrálták. Így bemutathatóvá vált a tervezett szennyvíz elvezető rendszer és a meglévő hálózat kapcsolata, ezzel az egyes konfliktusok megoldhatók lettek (Garza, 2014).

Las Vegas földalatti lézerszkennelt közműveiből készült 3D-s földalatti modell szintén Autodesk Infrastructure-rel készült (Autodesk, 2015c). A 3D modellre igény volt, mert az egyes közművek nem voltak megfelelően nyilvántartva, a meglévő adatbázis alapján nem lehetett tudni, hogy egy átépítés milyen zavart, vagy interferenciát okoz, továbbá az adatok egyik része papír a másik CAD alapú volt. 2013-ban létrejött egy város feletti és alatti infrastruktúra térkép (43. ábra), mely Észak-Amerikában az elsők között készült el. A teljes modellt különböző forrásokból gyűjtötték össze, mint mérnöki tervrajzok, felszínmodellek, nagy felbontású légi fotók és lézerszkennelt pontfelhő adatok. Az adatbázishoz elkészült egy



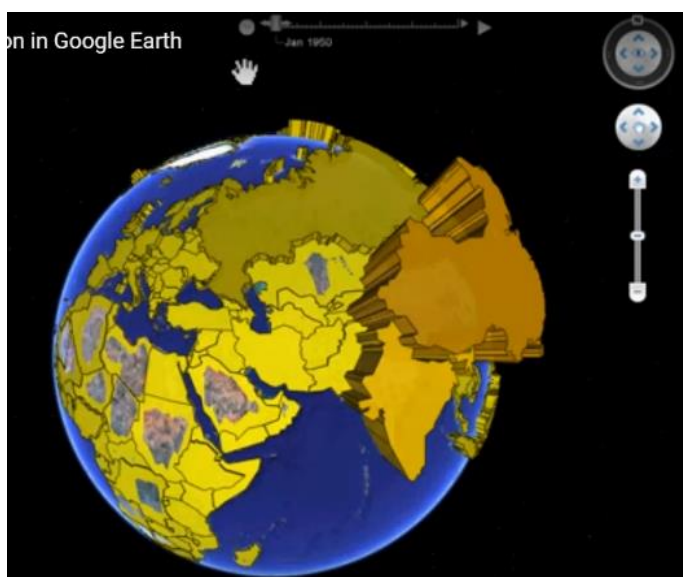
43. ábra: Las Vegas 3D-s földalatti közműveit bemutató térkép (Autodesk, 2015c)

olyan alkalmazás, mely valós időben, a helyszínen kiterjesztett valósággal (augmented reality, részletek a 4.fejezetben) mutatja be a földalatti infrastruktúrát.

2.1.3 Szoftverek 3D tematikus térképek készítésére

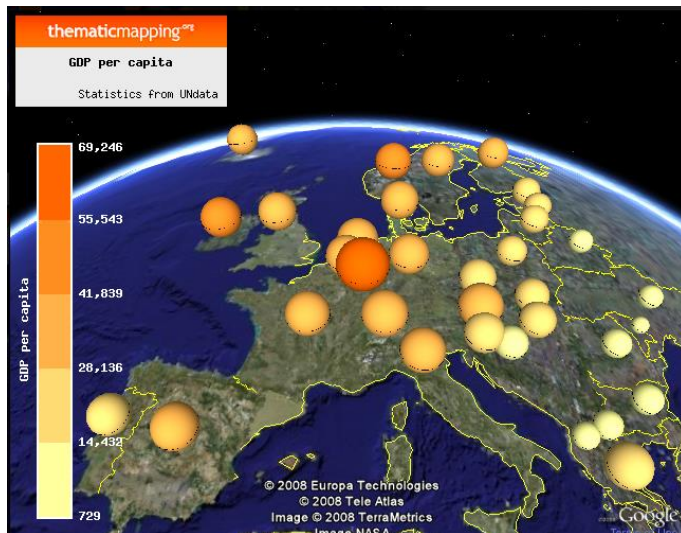
Google Earth:

A 3D-s tematikus térképek megjelenítésénél a 3D felületkartogram az egyik legtöbbet használt módszer (Cuff 1982, Sandvik 2008a, Zeiss 2009), szerkesztésére az egyik legnépszerűbb módszer a Google Earth (a továbbiakban GE). A Google Visualization API-t használva 3D-s térképek hozhatók létre. A *visualization* osztály letöltése után scriptekkel lehet a tartalmat a felszínen 3D-ben létrehozni. A kartogram módszer az egyik legelterjedtebb ábrázolási mód, de 3D jel- és diagram módszer is létrehozható. Kartogram esetén a terület a függőleges tengely mentén van nyújtva az adat mennyiségének megfelelő magasságba, illetve ennek megfelelő színezéssel is el van látva. Megjelenítési probléma, hogy a kartogramok teteje sík, míg a Föld felszíne gömbölyű, így az alacsony értékeknél az oszlop közepe a gömb felszíne



44. ábra: A kartogramok teteje sík, a Föld felülete gömb. Ha a kartogramok magassága túl kicsi, akkor a teteje a gömb alá esik (Sandvik, 2008b)

alá esik (lásd 44. ábrát). Pozitívum, hogy az egyes kartogramok animálhatók, az időbeli változások bemutatathatók egy időskála-csúszka segítségével. Az egyes időpontok beállíthatók, a csúszka mozgásával a kartogramok magasságai változtathatók. A jelmódszer esetén az alap geometriai formák –mint a gömb vagy kocka– 3D-s jelkartogramok (45. ábra) és oszlopdiagramok készíthetők kör- vagy négyzet alappal, magasságuk és alapterületük változtatható. A gömbre 2D-s osztott tortadiagram is illeszthető (Sandvik, 2009), ezt 2,5D-nek tekinthető, mert a tematikus tartalom megjelenítése síkbeli.



45. ábra. 3D jelkartogram, a tematikát gömbök szemléltetik (Sandvik, 2008c).

A GE-el készített 3D tematikus térképek népszerűeknek tekinthetők, pl. konferenciákon sok esetben alkalmazzák ezt a módszert az adatok bemutatására, a „3D thematic map” internetes keresésre is túlnyomó többségben a GE alapú ábrázolási megoldásokat listáz. A GE-ben kényelmesen létre lehet hozni a tematikus térképet, mert az interaktív megjelenítést (forgatás és zoomolás) és a háttértérképet –jelen esetben a műholdképeket– a Google szolgáltatja, a készítőnek csak a

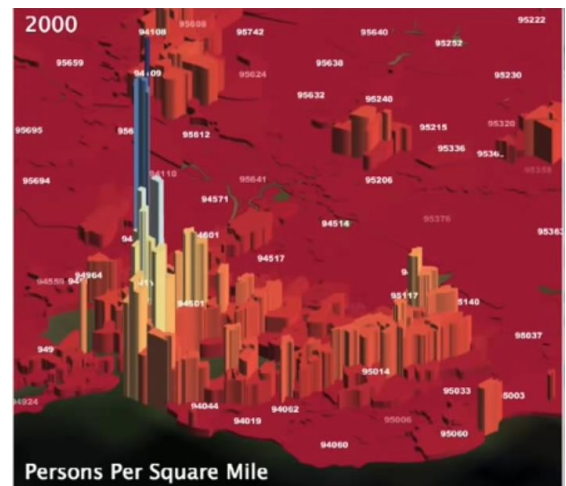
tematikát kell létrehozni. A GE alapú tematikus megjelenítési módok alkalmazását a könnyű elkészíthetőség ellenére nem javaslom. A 3D kartogram alkalmazása önmagában is kevésbé ajánlott, mert nehéz összehasonlítani az egymástól távol fekvő területek értékeit (bővebb magyarázat az 1.1.1 fejezet Kartogram módszer bekezdésében található), de gömbön az adat leolvasása tovább nehezedik, a Föld görbülete miatt az adatok összehasonlíthatósága nehezedik. Egyedül a kis terület, kontinensen belüli értékek bemutatása esetén alkalmazható jól, amikor a görbület nem jelentős, ekkor a jelek és oszlopdiagramok még jól összehasonlíthatók. További probléma, hogy a Föld egyik felét és az ábrázolt adatokat nem látni, így azok egymással nem összevethetők. A GE-el készített 3D-s tematikus ábrázolás további hátránya, hogy a hagyományos kartográfiai gyakorlatban alkalmazott térképi alap itt nem található meg. Annak tartalma kiegészíti és kiemeli a tematikát, segítségével könnyen értelmezhető a megjelenített adat. A vízrajz, közigazgatási határok, utak, domborzat, névrajz ábrázolása az adat jellegétől, a tematikától, a térkép céljától függ, a térképész szaktudásával dönt ezek ábrázolásáról, generalizálásáról. A GE-ben megjelenített tematikus térképeknek nincs hagyományos értelemben vett háttértérképük, a műholdképek veszik át a szerepüket, melyek nem alkalmasak erre a feladatra. A névrajz nem megfelelő feltüntetése is jelentősen ront ezeknek a térképeknek a használhatóságán. A probléma részleges megoldására egy raszteres alaptérkép GE-be történő importálása megoldást nyújthat, ezzel megfelelő térképi alap nyerhető. Erre a megoldásra sajnos alig látható példa. A 3D-s névírás problémája még megoldásra vár.

Harrower, a térinformatika és térképészet professzora erősen kritizálta blogján a glóbusz alapú tematikus térképeket (Harrower, 2009). A GE-ben létrehozott 3D-s tematikus térképeket szó szerinti fordításban szemétnak titulálja, mert az adatokat nehéz és lassú leolvasni, nem látni a teljes gömböt, csak egy kis része látható át egyben. Bár a gömbön történő ábrázolás számos megjelenítési és térképolvasási problémát vet fel, bizonyos tematikák ábrázolására jól alkalmazható, globális, Föld egészét érintő, klímával, meteorológiával, geofizikával kapcsolatos adatok esetén.

A Google Earth API elavultnak tekinthető, működését a Google 2016. év végével megszünteti (Google, 2016). A GE API-t felváltó technológiák remek alternatívát nyújtanak, ezek weboldalba ágyazható JavaScript alapú virtuális glóbuszok. A legjobb minőséget a Cesium képviseli (további információ a 2.2.2 fejezetben), a GE-ben készíthető térképi funkciók megvalósíthatók vele (Gede, 2016).

UUorld:

UUorld egy 3D-s tematikus térképkészítő program. 3D-s felületkartogram készíthető vele, a megjelenítése megegyezik a korábban leírt GE esetével. Egyetlen különbség az ábrázolásban az, hogy itt a műholdkép síkba terített, a kartogramokat a program automatikusan létrehozza a beírt vagy importált adatokból. A kartogram alapú térkép jól animálható (46. ábra). Hátránya, hogy más megjelenítési módot nem támogat, illetve csak műholdképet alkalmaz térképi alapnak. A programot 2008-ban fejlesztették, de további verziója nem készült, a hivatalos honlapja



46. ábra. UUorlddel készült, automatikusan generált 3D-s kartogram térkép.

megszűnt. A programról leírások találhatóak más honlapokon és blogokon (Guité's, 2009; Pawlowicz, 2008; Lukach, 2009), több oldalról is letölthető (Softpedia, 2010; Software Informer, 2015).

2.1.4 CAD szoftverek

A CAD (Computer Aided Design) a számítógéppel segített tervezés rövidítése, a kifejezés olyan szoftvereket takar, melyek a mérnökök és más tervezéssel foglalkozó szakemberek munkáját segítik. A tervezés 2D- és 3D-ben egyaránt támogatott (Wikipedia, 2015b). A CAD szoftvereket elsősorban építő-, építés- és gépészmérnökök használják. Számos típusát lehet megkülönböztetni a tervezett objektum vagy eszköz jellegétől függően, például: épületek, gépek, járművek, utak, vasutak, közművek, stb. tervezésére. A mérnöki szoftverek általános jellemzése, hogy nagy pontosságú tervezésére fejlesztették, pontos műszaki rajzok, modellek készíthetők velük. A teljes mérnöki tevékenység a tervezéstől az analízisen keresztül a gyártásig végigvihető a CAD programokkal.

A fotorealisztikus vizualizáció és a látványtervek készítésére a modelleket az erre alkalmasabb szoftverekbe exportálják (InfraWorks, Maya, 3Ds Max). A piacvezető CAD szoftverek közé sorolhatók az Autodesk termékei, mint az AutoCAD, Civil 3D, illetve szintén népszerű a Micro Station, a SolidWorks 3D CAD, Solid Edge vagy Rhino. Az építészetben a Graphisoft fejlesztése, az ArchiCAD tekinthető a legelterjedtebbnek, mely egy magyar fejlesztésű program.

A CAD szoftverek 3D-s térképészeti felhasználása kevésbé ajánlott. Az 1:10 000-esnél kisebb méretarányú térképek esetén nem igény a mérnöki szintű pontossággal történő modellezés, továbbá a látványos vizualizációs ábrázolásra más szoftverek alkalmasabbak. A CAD szoftverekben történő modellezés szaktudást igényel, könnyebben és hatékonyabban lehet GIS vagy 3D várostervező programban 3D-s térképeket létrehozni. A CAD szoftverek alkalmazása előnyös, ha a nagy pontosság igény, illetve bizonyos objektumok modellezhetők benne. A szakirodalomban számos példa található, hogy a CityEngine, InfraWorks vagy Bentley Mapben készülő 3D-s térképekbe CAD állományokat importálnak (közművek, építészeti vagy mélyépítészeti terveket). További példa a CAD és 3D modellező szoftverek együttes használatára Brüsszel 3D-s városmodellje: az épületek geometriai modellje AutoCAD-ben, a textúrázás 3Ds Max-ban készült (további részletek a 2.1.5 fejezetben) (TurboSquid, 2010).

3D-s térképészeti célra az ArchiCAD-et ritkán alkalmazzák, viszont a nemzetközi gyakorlatban található rá példát. Bandrova és Boyanova építészeti célú térképezésre, virtuális városmodell készítésére használták (Boyanova, 2012). Modellezésre kerültek Szófia Banishora területén az épületek, növényzet, szemetesek, utcai világítások, közlekedő lámpák, villamosok és emberek (47. ábra). A modellek az épületek homlokzatokról készült fényképekkel lettek textúrázva a realisztikus hatásért. A modell építészeti célokat szolgál ki, a 3D-s térkép jól bemutatja a környezetet, amely alapján további fejlesztések készíthetők. A „*3D mapping for needs of architecture*” című, 2012-es cikkben a szerzők azt állítják, hogy az ArchiCAD az egyik leglátványosabb eredményt elérő 3D geo-vizualizációs szoftver (Boyanova, 2012). Mára ez az állítás némileg veszített az érvényességéből, a várostervező szoftverekkel például a City Engine-nel legalább ilyen látványos modell készíthető, mely a térképészeti igényeket jobban kielégíti. Az ArchiCAD vagy más építészeti programok alkalmazása az építészeti tervezések előkészítésekor alkalmazandók továbbra is.



47. ábra. Szófiában, Banishora területén tervezett építészeti komplexum 3D-s modellje, mely ArchiCAD-ben készült (Boyanova, 2012).

2.1.5 3D modellező szoftverek

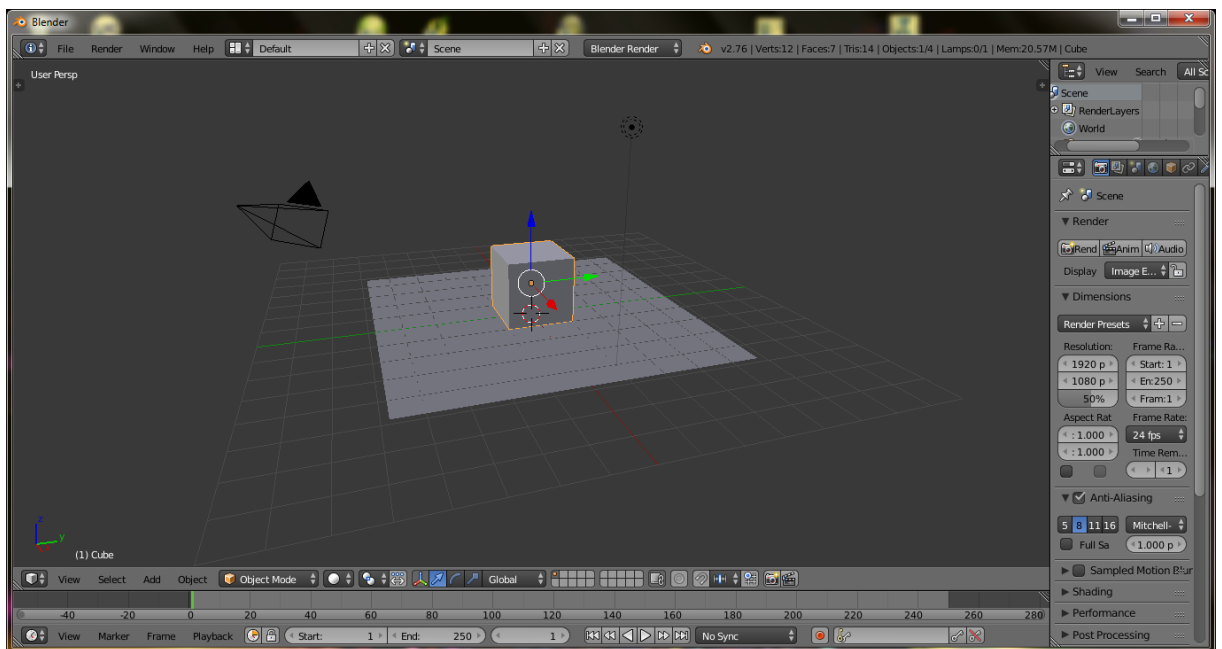
Az általános 3D-s modellező szoftverekben tetszőleges objektum, test, felület modellezhető, mely lehet élő vagy élettelen. Az objektumok textúrázhatók, animálhatók, az élő karakterek csontozhatók, így emberi vagy állati mozgás is animálható. Fizikai környezet hozható létre, gravitációval, vízzel, széllel, stb. Pontos fény beállításokkal és valóságghű textúrákkal olyan realiztikus képek renderelhetők, melyek összetéveszthetők egy fényképpel. A piacvezető és legprofesszionálisabb szoftverek közé a Maya és a 3D Studio Max (rövidített neve: 3DS Max) tartozik. A Mayát 2005-ben vásárolta meg az Autodesk az Alias-tól (Wikipedia, 2015d), a 3DS Max az Autodesk fejlesztése (Wikipedia, 2014b), jelenleg így mind a két piacvezető szoftver az Autodesk tulajdonában van és párhuzamosan fejlesztik azokat. A programokat elsősorban a játék- és filmiparban használják, a Mayát főleg a filmiparban, mert a program támogatja a pluginek (harmadik fél által fejlesztett kiegészíthető programok, melyek a szoftverhez kapcsolhatók) használatát, így a filmstúdiók könnyen személyre szabhatják azt. A 3DS Maxot játékipari és design, vizualizációs célra használják előszeretettel. Mind a két program professzionális és magas minőséget képvisel. Mind a kettőnek van erőssége: a 3DS Maxnak a modellezés és építészeti vizualizáció, Mayának az animáció és programozhatóság.

A Blender szintén magas minőséget képvisel a 3D modellező programok területén, viszont a Maya és 3DS Maxtól eltérően ingyenes. A modellező eszköztára lehetővé teszi a könnyű modellezést, az objektum animálható, a karakter csontozható, fotorealisztikus kép renderelhető. Fizika és környezeti hatások, Add-on-ok (pluginek) itt is hozzáadhatók, programozhatók, így tovább növelhetők a funkciói. Game Engine-nel is rendelkezik, mely egy játékfejlesztő motor, játékot és interaktív alkalmazások hozhatók benne létre. A nagy játék- és filmkészítő cégek nem használják a Blendert, viszont a kis- és kezdő játékfejlesztők, illetve amatőr 3D modellezők körében népszerű és elterjedt a szoftver. Bár a 3D modellező szoftverek nem kartográfiai célokra lettek fejlesztve, 3D-s térképek mégis készíthetők velük. Gyakorlatilag minden térképészeti elképzelés megvalósítható, kreatívan kihasználva a program adta lehetőségeket. A 3D-s térképek készítésekor nincsenek kihasználva a modellező programok által nyújtott széleskörű funkciók, viszont ez teret is ad az újszerű, eddig még nem kidolgozott térképészeti ábrázolási technológiáknak.

A korábban ismertetett három modellező program eltér egymástól, van különbség a működési elvük között, eszköztáruk részben eltérőek, de mégis nagy százalékban azonos a modellezési- és a munkafolyamat. Meg kell jegyezni, hogy működésükben, jelentősen eltérnek a térképészeti és térinformatikai hagyományoktól. A várostervező programok működési elve

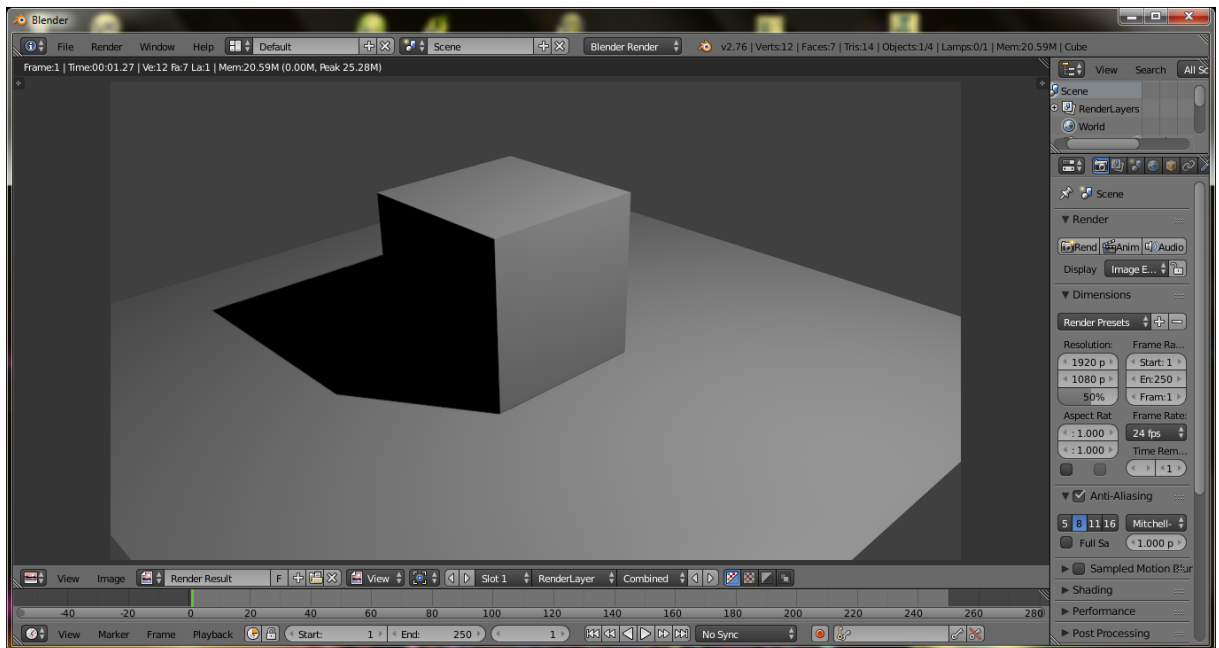
(City Engine, Infra Works) a 3D modellező programokéval azonos, például a térbeli szerkesztő környezet, a 3D modellezési eljárás, eszköztár. Így azok működése a hagyományos térképészeti és térinformatikai programoktól szintén eltér. Az általános modellező szoftvereket a Blenderen keresztül mutatom be általános ismertető jelleggel. Nem térek ki a 3D modellező programok matematikai hátterének bemutatására, kutatásom során ezzel a szakterülettel részletesen nem foglalkoztam, illetve ez túl is mutat a dolgozatom és kutatási témám keretén.

A modellező környezet egy 3D-s tér, a sík mentén egy grid (háló) segíti a térbeli tájékozódást. Ebben a virtuális térben lehet létrehozni a 3D-s modelleket, a fényforrásokat és a kamerát. Ha a létrehozott modellről szeretnék egy képet vagy videót készíteni, akkor a virtuális térben létrehozott objektumokról, a kamera által látott képet kell renderelni. A szerkesztő környezetben látható kép még nem a végtermék (48. ábra).



48. ábra. A virtuális szerkesztő környezet Blenderben. A 3D-s térben egy síklap, rajta egy kocka látható. A kocka fölött balra látható feketével a kamera a kocka fölött jobbra feketével pedig a fényforrás.

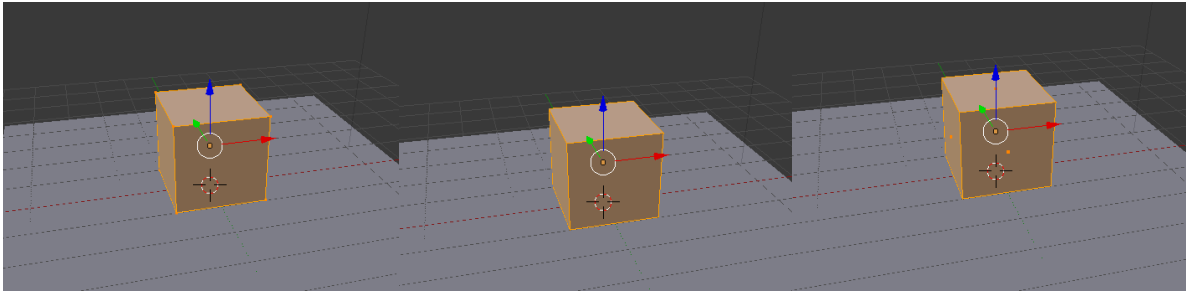
A végleges állomány az a renderelt kép vagy videó, amelyet a kamerán keresztül látunk, a modellező térbe létrehozott fényforrásokkal bevilágítva (49. ábra).



49. ábra. Az előző ábrán látható modell renderelt képe. A végtermék az a kép, amelyet a kamerán keresztül látunk. Látható a kocka árnyékából, hogy egy fényforrást helyeztem el.

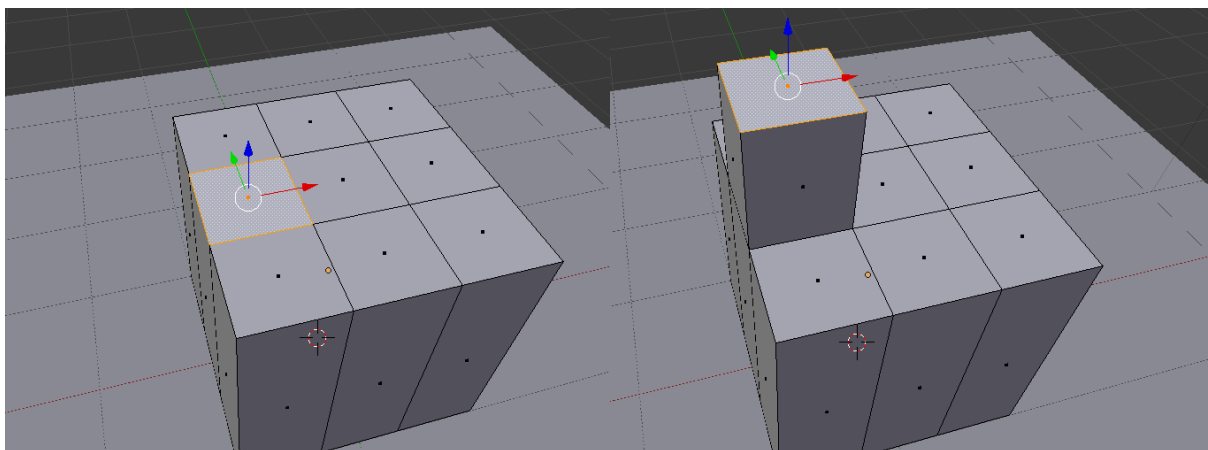
Kamera hiányában nem lehet renderelni, fényforrás nélkül pedig egy fekete kép az eredmény, ahogy egy világítás nélküli zárt szobában sem látni semmit. A renderelés során a program a következőket számolja: a bevilágítás során létrejött árnyékokat, az objektumok felületére eső fényeket, a fénytörést, fényes felület esetén a tükröződést, többszörös tükröződést és -fényvisszaverődést. Minden fényforrás értéke, a felület anyagának tulajdonságai pontosan állíthatók, a paraméterek alapján számolódnak, így a valóság pontosan rekonstruálható. A programok egy kamerát és egy fényforrást alapértelmezett objektumként definiálnak. A várostervező programokban ez a funkció beépített, a környezeti fény (nap) definiált, a nap mozgása állítható, illetve a kamera által látott kép megegyezik a nézőképpel. A kamera beállítása, a kép komponálása különösen fontos, mert a térkép szemlélője ezen keresztül látja a virtuális teret. Häberling, a „*Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps*” cikkében (2008) javaslatot tesz a kamera, fények, háttér beállítására. Az általa vizsgált eredmények szerint a kamera 45°-os szögben mutatja be a legjobban a térképet, egyszínű háttér vagy enyhe ég effektus alkalmazása javasolt.

3D-s térképek készítésekor poligon alapú modellezést célszerű alkalmazni. A NURBS (Non-Uniform Rational B-spline Surface) alapú modellezés esetén a felületet a kontrollpontok függvénye írja le, ívelt felületet eredményez, melyet organikus formák létrehozására és ipari formatervezésben alkalmaznak, kutatásom során nem foglalkoztam a NURBS felületekkel. A poligon alapú modellezés esetében egy objektum csúcsokból, élekből és lapokból áll (50. ábra).



50. ábra. Csúcs (balra), él (középen) és lap (jobbra) kijelölés Blenderben

Két modellezési elv különböztethető meg egymástól a poligon alapú modellezés során: a *box modelling* és a *contour modelling*. A *box modelling* során egy geometriai alapforma (primitív) a kiindulási objektum, például kocka, gömb vagy henger. Ezt további részekre bontva, plusz éleket beszúrva, alakítható az objektum. Egy alacsony felbontású objektumból lépésenként készül egyre magasabb felbontású és részletesebb. A folyamat során egy élt vagy lapot részekre kell bontani, majd az újonnan keletkező csomópontokat, éleket és lapokat igazítani. Az igazítás során alkalmazhatók az eltolás, forgatás, méretezés transzformációk, illetve a kihúzás. A kihúzás, más néven extrudálás során egy lapot a normálja mentén kell kihúzni (51. ábra). A *box modelling* során addig kell sűríteni a modell sarkainak, éleinek és lapjainak a számát és igazítani, amíg a kívánt felbontású objektum létrejön. A *contour modelling* során az objektum metszetének vonala a kiinduló forma. Ezt az ívet kell extrudálni egy kis szakaszon és a modellezni kívánt test körvonalához igazítani, majd újból extrudálni és igazítani az ívet. Az objektum az elejétől folyamatosan épül fel a végéig. A modellezni kívánt objektum alakjától és jellegétől, 3D-s modellezési gyakorlattól függ az, hogy melyik elvet kell alkalmazni.



51. ábra. A kocka felső lapja kilenc egyenlő részre lett bontva (balra). A sárgával kijelölt lap a normálja mentén ki lett húzva, extrudálva (jobbra).

A térképi tartalmat a fent leírt módszerekkel lehet létrehozni. Animáció könnyedén készíthető, az objektumok majdnem minden tulajdonsága animálható (mérete, helye, színe, áttetszősége). A 3D-s térképi alap lehet síkra vagy 3D-s domborzatra textúrázott hagyományos térkép, mely a síkrajzi elemeket tartalmazza. A 3D-s programok jól kezelik a különböző 3D-s formátumokat, így megnyithatunk GIS programból exportált domborzatmodelleket vagy szürkeskálás hipszometriából készített felületmodellt. A 3D-s térképre térbeli jelek modellezhetők és 3D-s névrajz hozható létre. Az elkészített térképet be kell világítani, fényforrásokat kell a virtuális térbe létrehozni. Kép renderelése esetén a kamerát be kell állítani, hogy a megfelelő szögből mutassa a térképet. Videó készítése esetén a kamera mozgását kell animálni. Interaktív állomány készítésekor, a kamera beállítását és a bevilágítást nem kell itt elvégezni, annak a beállítása később szükséges (részletek a 2.2.3 fejezetben).

A 3D modellező programok kartográfiai alkalmazására találó példa a szakirodalomban. Temenoujka Bandrova 3DS Maxxal készített 3D-s térképet a pamporovoi (Bulgária) sípályáról (2011). Szintén 3DSMaxxal készült a Pirin Nemzeti Park 3D-s modellje, a program jól kezeli a domborzatmodelleket, magassági értékeknek megfelelő hipszometriát is készíthető benne (Savova, 2014).

2.1.6 Összegzés, szoftverválasztás

Az általam vizsgált szoftverek tulajdonságait egy táblázatban foglaltam össze, mely a Mellékletben található meg.

A 3D tematikus térképek létrehozására több szoftver is használható, viszont ezek a programok csak bizonyos ábrázolási módokat támogatnak. Hasonló megoldásokat nyújt a GeoMedia és az ArcGIS. A GIS alapú 3D-s térképkészítés előnye, hogy nagy adatmennyiséget lehet könnyen megjeleníteni, viszont a kreatív megjelenítési módokra nincs lehetőség. A Google Earth illetve az UWorld szoftverek alkalmazása nem ajánlott, a korábban ismertetett kartogram, gömbön megjelenített tematikus tartalom ábrázolás hátrányai miatt. Ezek a technikák csupán egy-egy térkép illetve téma esetén alkalmazhatók. A GE tekinthető a legnépszerűbb 3D-s tematikus ábrázolási technológiának, viszont ez nincs arányban a térkép jóságával és használhatóságával, az itt készült térképek gyakran nagyon rossz minőséget képviselnek. Bár a GE technológia hamarosan megszűnik, helyét a Cesium veszi át. A Cesium gömbre 3D-s tematika illeszthető, raszteres képi alap húzható, a tematika animálható, így jól helyettesíti a GE-ben létrehozott gömböket. A GE és Cesium technológiák hátránya, hogy létrehozásukhoz programozás szükséges, a grafikus tartalmat, illetve interakciót programkódból kell létrehozni. Az így létrehozott hozott minőséget és funkciókat a Unityben (a modellt 3D modellező programmal előállítva) véleményem szerint könnyebben, hatékonyabban és magasabb minőségben lehet előállítani. Jól alkalmazhatók 3D-s térképek esetén az általános modellező programok. Az ábrázolási módszerek megvalósításának lehetőségei gyakorlatilag határtalanok, új vizualizációs módszerek kidolgozására alkalmasak. Animált tematikus térkép is készíthető, bármilyen paraméter animálható, illetve interaktív állomány (erről bővebben a 2.2.3 fejezetben), videó is létrehozható. A térképi alap szintén választható, ezt magunk is elkészíthetjük a hagyományos kartográfiai módszerekkel. Hátránya, hogy beépített adatbázis kapcsolattal nem rendelkeznek, a térképet manuális úton kell szerkeszteni. Ezt a problémát viszont scriptek alkalmazásával kiküszöbölhetjük, ehhez programozói tudás szükséges. A doktori kutatásomban a 3D-s vizualizációs módszerek kidolgozása kiemelt szerepet játszott, így a szoftverválasztásnál az általános 3D modellező programokra, azokon belül is a Blenderre esett a választásom.

A 3D-s városmodellek készítésére is több lehetőség nyílik. A GIS programok támogatják a 3D-s adatmegjelenítést, de a modellek készítése már korlátozott. ArcGIS, GeoMedia (Autodesk Map 3D) programokban a valóság-hű látvány eléréséhez más szoftverekben készített 3D modelleket kell importálni, ehhez adatbázis kapcsolható, mellyel

később elemzések végezhető. 3D városmodell készítésére ajánlatos a várostervezési célra fejlesztett programokat alkalmazni, melyben a City Engine nyújtja a legprofesszionálisabb megoldást. Gyorsan és magas minőségben lehet vele dolgozni, a procedurális modellezési folyamatnak köszönhetően a program intelligens megoldásokat kínál a munka folyamán. A városmodell adatbázishoz való kapcsolásához viszont más programba, pl. ArcGIS-be kell exportálni az állományt. A City Engine-el előállított minőséghez hasonló városmodell a Bentley Mappel is készíthető, a Professional verziójában széleskörű modellező eszközcsoomag áll a rendelkezésre. Bár a textúrázás nem dinamikus, mint a City Engine esetében, itt az adatbázis kapcsolat a programon belül megvalósítható. Ha fontos a városmodellhez csatolt adatbázis szerkesztése illetve elemzések készítése, akkor a City Engine-ben készített modell ArcGIS-be történő importálása vagy a Bentley Map Professional használata a javasolt. Ha a városmodell dinamikus modellezése és magas minősége kiemelten fontos, akkor a City Engine alkalmazása a legcélravezetőbb, ezt a nemzetközi példák is mutatják. Ha CAD állományok, vagy mérnöki tervrajzok állnak a rendelkezésre, akkor a Bentley Map Professional a legjobb választás. Az ArcGIS 3D Analysttal könnyen lehet városmodelleket létrehozni, de a fent említettekhez képest kevésbé tekinthető professzionálisnak. A 3D objektumokat egy előre definiált készletből lehet kiválasztani, a folyamat hasonló a Lego elemeinek összeépítéséhez. Bár az egyes objektumokat lehet módosítani, az eszköztár nem rendelkezik annyira széles lehetőségekkel, mint a Bentley Map esetén. Előnye, hogy adatbázis kapcsolható a térképhez. A program használata akkor javasolt, ha egy stilizált térkép készítésére van igény, amelyben az egyes elemek nem a pontos valóságot tükrözik (például az épületek esetén), elegendő azokat csak egy ahhoz hasonló objektummal helyettesíteni. Az ArcGIS 3D Analysttal hasonló modellezési képességekkel rendelkezik az InfraWorks, mely főként látványtervek gyors készítésére ajánlott. A programban nagyon gyorsan és könnyedén lehet teljes városrészek modelljét elkészíteni, viszont a komplex épületek modellezésére szintén nem alkalmas. Használata abban az esetben ajánlott, amikor nem igény az épületek komplex modellezése, de a megjelenítésnek magas minőséget kell képviselnie. Célszerű más (CAD) programban készített modelleket importálni. Számos formátumot kezel, több lehetőséget nyújt, mint a 3D Analyst. Főleg látványtervek készíthetők az InfraWorksszel, a nemzetközi gyakorlatban is többnyire erre a célra alkalmazzák. Az itt elkészített modell analizálható, mivel adatokkal láthatjuk el. Az Infra Worksben készített városmodell jóval látványosabb, mint az ArcGIS 3D Analysttal készített, így az Infra Works jobban megfelel a látványtervi igények kielégítésére.

Az általános 3D modellező programok segítségével is készíthetünk városmodelleket, de a munka gyorsabb és egyszerűbb a városmodellező programokkal. Az itt készített modell nagyobb szaktudást igényel, viszont a legvalóságosabb megjelenítés így érhető el. A professzionális fotorealistikus hatás eléréséért a más programokban készített városmodellek 3DS Maxba vagy Maya-ba exportálhatók és ott renderelhetők.

A várostérképek egy speciális fajtája a földalatti térkép. Modellezése a város feletti térképétől eltér, más források használhatók fel, a szoftverválasztás is más szempontok szerint történik. Míg a CityEngine a legjobb modellező programnak tekinthető a föld fölötti objektumok esetén, földalatti modellezésre nem használható. Az InfraWorksszel és az ArcGIS 3D Analysttal korlátozottan, de lehet földalatti objektumokat létrehozni, bár egy komplex földalatti térképet nem lehet bennük létrehozni. Az InfraWorksben pincék, csövek és csőcsatlakozások könnyedén létrehozhatók, de más objektumra nincs lehetőség. A csövek töréspontjainak magassági módosítására és átmérőjének módosítására van lehetőség, a keresztmetszetére viszont nincs. Ez egy szennyvíz főgyűjtő csatorna esetén jelenthet megjelenítési problémát. Ha a csatorna kör vagy tojás szelvényű, akkor a valóság jól megközelíthető, viszont egy párizsi szelvény esetén (a metszet gomba alakú, Budapesten gyakori) már nem valóságos a modellezés. Az ArcGIS 3D Analyst alkalmazása a földalatti objektumok esetén is csak bizonyos objektumok megjelenítésére használható, pl. csövek (közmű, út) pontszerű objektumok (olyan térbeli objektum, melyet hagyományos térképen pontként ábrázolnak) pl. szeizmikus pont, kút, illetve az eszközkészletben megtalálható előre készített sablon: metrómegálló. Az InfraWorks és az ArcGIS 3D Analyst alkalmazása abban az esetben ajánlott, ha nem igény a komplex földalatti objektumok létrehozása és elegendő a közmű ábrázolása, illetve a többi földalatti objektum esetén rendelkezésre áll más programokban készült modellek. A két program közül az InfraWorks alkalmazása előnyösebb, mert jóval látványosabb modell készíthető benne és több 3D-s formátumot kezel.

A földalatti világ modellezésére a CAD és általános 3D modellező programok alkalmazhatók a legjobban. A földalatti infrastruktúra (például közművek, épületek pincéje, metrók, alagutak) tervezésekor a mérnökök CAD programokat használnak. Ezeknek az alkalmazása előnyös a mérnöki igények kielégítésére, a létesítmények pontos tervezésére. Ha a földalatti térkép nem mérnöki, hanem térképészeti célt szolgál, akkor a látványos vizualizáció az igény, a térképnek kisebb a méretaránya, ezért az általános 3D modellezők használata a célszerű. Természetes képződmények, például barlangok modellezése esetében a 3D modellező programok használata ajánlott, a CAD programok alkalmazása ebben az esetben problematikus.

Egy komplex (sok eltérő funkciójú objektumot tartalmazó) földalatti térkép esetén a teljes állomány CAD programban történő vizualizációja nem ajánlott. Ezek a programok a pontos tervezésre alkalmazhatók jól, a vizualizációs megoldásuk gyengébb. A teljes térképet ajánlatos 3D modellező programban pl. Blender-, 3DsMax- vagy Bentley Map Enterprise-ban összeállítani. A 3D modellező programokban a teljes térkép magas minőségben és látványos vizualizációval állítható elő, de adatbázis nem kapcsolható hozzá. Az adatbázis kapcsolat létrehozására a modellt InfraWorksbe vagy Bentley Mapbe célszerű exportálni. A Bentley Map Enterprise-ban az objektumhoz adatbázis kapcsolható, CAD alapú modellezéssel lehet komplex objektumot is létrehozni, így a program egyedül is kielégítheti az igényeket. Abban az esetben viszont, ha egy nagy költségvetésű projekt keretében készül egy földalatti 3D térkép (pl. Crossrail, részletek a 2.1.1 fejezetben) az egyes mérnöki tervek az adott szakterület igényeit legjobban kielégítő programban készülnek. Az egyes modellek Bentley Map-be való importálása után egy komplex 3D-s térkép összeállítható. Minél nagyobb (összetettebb) a projekt és minél átfogóbb tervezés zajlik, annál több programra van szükség a modellezés során. Ebben az esetben a Bentley Map jó megoldást nyújt arra, hogy ezeket a terveket együtt kezelje és adatbázissal lássa el. A kutatásom során a földalatti 3D-s térkép készítésekor nem volt céлом a mérnöki pontosság, áttekinthető térképet kívántam létrehozni látványos vizualizációs megoldásokkal, így a választásom egy általános 3D modellező programra, a Blenderre esett.

2.2 Térképek megjelenítése

Az előző fejezetben ismertetett szoftvereket vizsgálom és elemzem tovább olyan szempontból, hogy az elkészült 3D-s térkép bemutatására, milyen megjelenítési megoldásokat kínál. Lehet-e videó, interaktív vagy webes alkalmazást készíteni? A térkép hogyan mutatható be a térképolvasóknak? Animáció létrehozására alkalmas-e? A programokat összehasonlítom, a konklúziót ismertetem. Új megjelenítési lehetőségeket is vizsgálok, melyek az eddigi térképészeti hagyományban nem, illetve csak kevésbé voltak elterjedve, mint a sztereo vagy webes megjelenítés vagy a játékmotor alkalmazása.

2.2.1 3D-s interaktív és animált térképek készítése és megjelenítése

Az ArcGIS-ben animáció az ArcScene bővítménnyel készíthető (a funkció a 3D Analyst licensszel érhető el). Itt három különböző animáció hozható létre, a Camera Animation (kamera animáció), Layer Animation (réteg animáció) és a Scene Animation (jelenet animáció) (Shephard, 2003). Egy 3D-s terület berepülése során kamera animációt kell alkalmazni, erről videó készíthető. A kamera mozgásának egyes fázisai könnyen beállíthatók, kulcsok

rendelhető hozzá, viszont az utólagos és precíziós módosítások már körülményesek. A nem megfelelő és pontos beállítások hiányában a kamera a berepülés során rángat, hirtelen lassul és gyorsul (ArcGIS Resources, 2013b). A réteg animáció során például út „dobható” egy felületre felülről, de a réteg külön mozgatható, nyújtható, forgatható is. A láthatósága ki- és bekapcsolható, így időbeli változás mutatható be. Létre lehet hozni görbe mentén kényszerített mozgást, így egy 3D-s objektum mozgatható egy görbe mentén. A napsugárzás reprezentálására, nappal és éjszaka érzékeltetésére a jelenet animáció alkalmazható. A 3D-s tartalmak interaktív megjelenítésére a Scene Viewer ad lehetőséget, mely egy WebGL alapú megjelenítő, ami az Arc GIS Online websitejába lett beépítve a 3D-s jelenetek interaktív megjelenítésére (ArcGIS, 2015a). A tartalom az ArcGIS portáljára tölthető fel és osztható meg, ez a funkció az ArcGIS Pro verzió esetén érhető el, a weblapon szüksége van a felhasználónak egy accountra és publikálási jogosultságra. A tartalom glóbuszon jelenik meg. Webes tartalom egy másik alkalmazással, a Web AppBuilderrel is készíthető, mely az ESRI egy igen fiatal fejlesztése, a program béta verziója 2014 márciusától érhető el. Kódolás nélkül lehet webes alkalmazásokat létrehozni, a HTML5/Java alapú kódot automatikusan jön létre. Lehetőség van különböző témák beállítására, számos template-t (sablon) használható, a tematikus tartalmak tetszőlegesen jeleníthetők meg (ArcGIS, 2015b, ESRI, 2014c). Több mobil platform is támogatott, az elkészült térkép az ArcGIS portálján publikálható. A webes megjelenítő jelenleg csak a 2D-s térképek esetében működik, a 3D-s megjelenítés fejlesztés alatt van.

A CityEngine-ben berepülés készíthető a 3D-s terepen, ebből videót menthető. A webes megjelenítésre a CityEngine Web Viewer alkalmazható. A modell interaktív, az egyes rétegek külön kapcsolhatók, a tartalom kereshető: attribútumok, funkció és metaadatokra. A CityEngine-ben beállított berepülési útvonalak a Web Viewerben lejátszhatók. Az elkészült modell az ArcGIS Online felületére tölthető fel, ahol a CityEngine Web Viewer segítségével jelenik meg a modell (ArcGIS, 2015c).

A GeoMedia-val a 3D-s térképről videó készíthető, a terület úgy berepülhető, mint egy videojátékban, controllerrel irányítható (Hexagon Geospatial (n.d.)). Interaktív megjelenítést a GeoMedia Viewer biztosít, mely egy ingyenes programja a Hexagon Geospatialnek. Megjelenítésre, analízisra és a térkép nyomtatására alkalmazható (Gjeo-Vjosa, n.d.). A 2D és 3D-s térképek weben történő publikálására a GeoMedia WebMap használható, mely a Geospatial Portált integrálja magában. A webes tartalom programozás nélkül hozható létre, a térkép interaktív, elemzések készíthetők és az adatbázis szerkeszthető (Hexagon Geospatial, 2015b).

A Bentley Mapben készített 3D városról berepülés készíthető, ez videóként menthető. A Bentley Map PowerView programja szolgál a térkép interaktív megjelenítésére, és a kisebb szerkesztések elvégzésére (Bentley, 2015b). A program az adatokat frissen tartja, aktualizálja és elérést biztosít akár több ezer terepen dolgozó számára. A terepről történő munkavégzés és adatszerkesztés a munkafolyamatot jelentősen gyorsíthatja. A GIS alkalmazása testre szabható, programozható. A Bentley Map Mobile egy tabletre fejlesztett alkalmazás (Bentley, 2015c), mely a Power View-hoz hasonlóan a terepi munka eszköze. Az adatok gyorsan lekérdezhetők az adatbázisból, akár internetkapcsolat nélkül is elérhető, GPS kapcsolattal és navigációval rendelkezik. A webes megjelenítésre a GIS Web Software alkalmazható (Bentley, 2015d). A website gyorsan elkészíthető, lekérdezéseke, térbeli elemzések és tematikus térképek és riportok készíthetők vele.

Az InfraWorksben is lehet berepülést készíteni a terepen, majd ezt videóba exportálni (Autodesk, 2015d). Az InfraWorks 2015.3-as verziójától a 3D-s terepen animációk is alkalmazhatók, például a Catalogból olyan szélturbina nyitható meg, melynek lapátjai forognak, illetve ha vízre helyezünk egy objektumot (például hajót), az ringó mozgást végez. Abban az esetben, ha az animálni kívánt objektum nem szerepel a Catalogban, akkor az objektumot magunk is animálhatjuk Maya, Blender vagy 3Ds Maxban, majd ezt az InfraWorks-be Collada (DAE) formátumban lehet importálni, így egyedi animált objektumok használhatók az InfraWorksben. Utcán sétáló emberek, vízben úszó kacsák, lobogó zászló is készíthető (Autodesk, 2014). Webes 3D-s tartalom az InfraWorks 360 Webbel készíthető. A modell interaktív módon jelenik meg, PC-n és tableten használható az alkalmazás. A modell nem töltődik le a felhasználó gépére, streameléssel nézhető meg (Autodesk, 2015e).

A 3D modellező és CAD programokat nem ismertetem a fenti részletességgel szoftverekre lebontva, általános jellemzésüket mutatom be. A 3D-s modellező szoftverekben érhető el a legszélesebb körű animációs eszköztár, mely meghaladja az összes kartográfiai- és GIS programét. Professzionális, élethű animációk és videók készíthetők. A CAD típusú programoknak a száma a több százat is elérheti, minden szakágnak megtalálhatjuk a maga célszoftverét. Általánosságban megfogalmazható, hogy a CAD szoftverek is támogatják az animációt, berepülést és videó készítést. Az eredmény kevésbé látványos, mint egy általános 3D modellező program esetében. Beépített interaktív nézegető és viewer funkciót a 3D modellező és CAD programok általában nem tartalmaznak. A megjelenítésre és weben történő publikálásra a Game Engine programok (bővebben a 2.2.3 fejezetben) vagy egyéb megjelenítő szoftverek alkalmazhatók. További lehetőség a webes megjelenítésre a különböző (CAD-es)

szoftvergyártók által kínált opciók, például az Autodesk A360 Viewer programjával lehet a modelleket webre feltölteni, megosztani és interaktív formában bemutatni (A360, 2015).

A fentiek alapján levonható az a következtetés, hogy a modell 3D-s berepülése és videó készítése alapvető megjelenítési funkció a GIS szoftverek esetében. A viewer programok, azok weben való publikálása is szinte minden esetben elérhető, ezek különálló programok vagy alkalmazások. Az elkészült webes alkalmazás a gyártó webes portáljára feltölthető, így a felhasználók a térképeiket publikálhatják, megoszthatják. Az interaktív webes alkalmazások készítése is alapfunkciónak tekinthető a kartográfiai-GIS-várostervező programok esetében. Az animáció terén két program emelhető ki, az ArcGIS és az InfraWorks. Az Arc Scene-ben több fajta animációt hozhatunk létre, mely a kartográfiai felhasználású programok között kiemelkedő, viszont a 3D modellező programok tudásától jóval elmarad. Az InfraWorks a városi látványtervek terén nyújt extrát az animálható objektumokkal. A Bentley mérnöki szemlélete a megjelenítés terén is tapasztalható, a viewer típusú alkalmazásai a többi szoftvertől eltérően a terepi munkát támogatják. A 3D-s animáció legmagasabb szintjét a korábban említett 3D-s modellező programok képviselik.

A webes megjelenítés során a programok többsége úgy biztosítja a neten történő publikálást, hogy a gyártó online portáljára lehet az elkészített modelleket feltölteni és publikálni. Ez a felhasználó számára előny, mert nem kell programoznia, honlappal rendelkeznie, webszervert üzemeltetnie, domaint vásárolnia. A publikálás gyakran a szoftverbe beépített és pár gombnyomással elkészíthető. A publikálás során viszont nem keletkezik HTML formátumú file, tehát egy webes szerkeszthető állomány, mely szabadon felhasználható más honlapokon. A korábban ismertetett programok közül az ArcGIS WebAppBuilder programja képez kivételt, mely HTML formátumban hozza létre a webes alkalmazást. Ez az állomány a honlapokba beépíthető, más portálokra feltölthető, de jelenleg a 3D-s ábrázolást még nem támogatja.

2.2.2 3D-s tartalom webes megjelenítése

Kutattam, hogy a weben milyen módszerekkel lehet 3D-s interaktív tartalmat megjeleníteni. Az egyik legegyszerűbb módszer a fent leírt GIS programok által kínált publikációs eljárás, melyek bizonyos határok között könnyen, de kompromisszumokkal használhatók. Megvizsgáltam, hogy milyen további technikákkal hozható létre 3D-s tartalom a weben, illetve ezekre milyen objektumok ábrázolhatók. Az egyes módszereket röviden ismertetem, a webes alkalmazások fejlesztése nem képezte a kutatásom célját.

Az informatika fejlődése a webet is érinti. A HTML4 (HyperText Markup Language, hiperszöveg alapú jelölő nyelv) a modern és korszerű webes alkalmazások igényeit már nem tudta kiszolgálni, ezért szükségessé vált annak továbbfejlesztése, így elkészült a HTML5. Először 2008-ban jelent meg, fejlesztése folyamatos, napjainkban is tart (Pilgrim, 2011). A fejlesztés fő célja az volt, hogy a böngészőkben ne kelljen plugineket, pl.: Adobe Flash, Microsoft Silverlight, Oracle JavaFX-et alkalmazni. A pluginek komoly biztonsági réseket rejtnek, például az Adobe Flashben több igen kritikus veszélyességű hibáját fedezték fel 2015-ben (IPon, 2015), továbbá teljesítményükkel is voltak gondok. Szintén problémát jelenthet egy 3D-s webes tartalom lejátszásában, hogy a felhasználó nem rendelkezik a szükséges pluginnel, vagy nem a megfelelő verziószámút alkalmazza. Az operációs rendszer és webböngészők között is adódhatnak inkompatibilitások. A fejlesztőknek ismerniük kell a különböző plugineket és figyelembe venniük a fejlesztés során. Ezek a nehézségek felhívták a figyelmet a HTML5-re való váltásra, napjainkban tapasztalható és megfigyelhető a fokozatos átállás, egyre több program támogatja a HTML5 exportot, például ArcGIS Web AppBuilder programjával már HTML5-be lehet web alkalmazást létrehozni, de a Unity is támogatja a plugin nélküli HTML formátumba történő mentést (bővebb leírás a 2.2.3-as fejezetben).

A WebGL az OpenGL technológián alapuló JavaScript alapú, 3D-grafikai API (Application Programming Interface, magyarul: alkalmazásprogramozási interfész, mellyel egy programrendszer szolgáltatásait úgy használhatjuk, hogy annak belső működését ismernénk), mellyel a böngészőn keresztül kezelhető a grafikus kártya (Wikipedia, 2015f). Az OpenGL egy API, mellyel egyszerűen lehet a grafikus kártyát és 3D-s tartalmat programozni (Wikipedia, 2015e). A WebGL-ben történő fejlesztéshez magasabb programozói tudás szükséges, komplex objektumokat lehet megjeleníteni benne. A WebGL alapú megjelenítést a böngészők többsége támogatja: Google Chrome, Mozilla Firefox, Safari, Opera és Internet Explorer 11. Széles körben alkalmazzák játékok, termék marketing, adat-vizualizáció során. Elterjedt glóbuszok megjelenítésére is, Cesium Virtual Globe (Analytics Graphics, 2011), WebGL Earth (Klokan Technologies, 2011) és Open Web Globe (Christen, 2011), így 3D-s glóbusz alapú térképek plugin nélkül jeleníthetők meg a böngészőben.

Az X3DOM a WebGL-re épülő JavaScript keretrendszer (x3dom, n.d.), mely a felhasználóknak könnyen használható és egyszerűen kezelhető interface-t biztosít. Így kevesebb programozói tudással a HTML kódba írva is létrehozhatók egyszerű objektumok, mint pl kocka, gömb, kúp stb. transzformálhatók, kezdők is eredményesen használhatják.

A 3D-s városmodellek weben történő megjelenítése terén fejlődésnek tekinthető a CityGML alkalmazása, melynek kutatása jelenleg kezdeti fázisban van. A 3D városmodellek adatainak tárolására és leírására a CityGML formátum mára szabványnak tekinthető, a virtuális városhoz egy komplex adatbázis kapcsolható. Weben, HTML5-ös környezetben való megjelenítése véleményem szerint új lehetőségeket nyit a kartográfia és GIS területén. Több kutatás is folyik, hogy milyen technológiai megvalósítással lehet egy jól működő megjelenítési rendszert létrehozni, a korábban ismertetett WebGL és X3DOM alapú fejlesztésekre is találhatunk példát. Friss kutatásokban eredményesen jelenítették meg CityGML file-t WebGL alapú glóbuszon (Chaturvedi, 2014; Prandi, 2015). A CityGML formátum X3DOM-ban történő megjelenítésére a Berlieni Egyetemen 2009-ben kezdődött a fejlesztés (több kutató a CityGML megalkotásában is részt vett), mely a mai napig tart (Mao, 2011). A kutatás eredményeként létrejött egy prototípus, Leverkusen (Németország) 3D modelljét jelenítették meg weben (Mao, 2012). A prototípus alkalmas arra, hogy X3DOM alapú CityGML-t jelenítsen meg böngészőben plugin használata nélkül. Hibája, hogy az adatokat lassan tölti be és kevés az interakciós lehetőség. Bár a jelenlegi fejlesztések még csak prototípus fázisban vannak, széleskörű alkalmazásukhoz még több évnyi kutatómunka szükséges, de a fejlődési irány jól látható.

Kutatásom során nem akartam webes megjelenítő alkalmazást fejleszteni, illetve WebGL-t programozni, így olyan programot kerestem, mellyel a webes interaktív állomány generálható. A játékfejlesztő programok erre a célra nagyon jól alkalmazhatók, széles körben hozható bennük létre interakció és webes alkalmazás is exportálható. Kutatásom során ezért a játékmotorokat vizsgáltam szélesebb körben.

2.2.3 Interaktív megjelenítés Game Engine játékmotor használatával

A Game Engine egy videójáték-motor, amellyel 3D-s játék fejleszthető, azt a felhasználó interaktívan kezelheti, avatárját irányíthatja. Az alkalmazások programozhatók és scriptelhetők, animációk és események hozhatók benne létre. A virtuális játékkörnyezetben a fényhatások, -visszaverődések, tükröződés, refrakciók és egyéb fotorealistikus effektek matematikai algoritmusok alapján valós időben számolódnak. A *particle system* (részecske rendszer) segítségével hóesés, esőzés, tűz, robbanás effektek hozhatók létre. Multi-player, azaz többjátékos módban a felhasználók az avatárjuk segítségével, azt irányítva, azonos időben játszhatnak. A két legnagyobb játékfejlesztő motor a Unity és az Unreal Engine, de a Blender is rendelkezik Game Engine funkcióval. A Game Engine programok nem csak játékfejlesztésre,

de 3D-s tartalmak interaktív fejlesztésére, 3D-s kartográfiai megjelenítésre, tudományos vizualizációra is jól alkalmazhatók (Cartwright, 2007). 2003-ban vizsgálták először a Game Engine alkalmazási lehetőségét a tudományos 3D-s vizualizációban. A választás a University of Victoria kampuszára esett, annak új épületeinek megjelenítésére. A kutatásban résztvevő diákok az Unreal Tournament 2003-as játékmotorját használták (Corbet & Wade, 2005).

A Game Engine-ben készített interaktív 3D-s térképi megjelenítés lehetőségeiben hatalmas potenciál van, az animációs és vizualizációs ábrázolási technikák, azok minősége jelentősen meghaladja a kartográfiai és GIS programokban elérhető funkciókat. A játékfejlesztő programok a 3D-s térképészetben számos innovációs megoldást kínálnak, véleményem szerint ez új fejlődési irányt is képviselhet a jövőben, pl. 3D-s interaktív-, animációs térképek és játékok formájában. A Game Engine szoftverek, mint a Unity, jelentősen egyszerűsítik a játékkészítés folyamatát, a grafikus interface-nek köszönhetően több heti programozási munka órák alatt elkészíthető, így egyszerű alkalmazások mélyebb programozási ismeretek nélkül is megvalósíthatók. A komplexebb alkalmazásokhoz már szükséges a scriptek alkalmazása, programozói tudás. Bár több szakirodalom is foglalkozik a Game Engine alapú térképek vizualizációs lehetőségeivel, széles körben mégsem tapasztaljuk ennek elterjedését a kartográfiában. Véleményem szerint ennek az egyik lehetséges oka az, hogy a hagyományos kartográfiai szaktudás önmagában nem elegendő egy 3D-s játékkészítő program használatához, 3D modellező és legalább alapfokú programozó ismeret szükséges hozzá. Másrészt a Game Engine programok gyors fejlődése előtt a játékok készítése jóval időigényesebb volt, illetve magas programozói tudást igényeltek. A Unity 1.0-t 2005-ben adták ki, a felhasználók körében jelentősen csak 2012 és 2013 között terjedt el, számuk jelenleg meghaladja az egy milliót (Wikipedia, 2016a). A Game Engine szoftverek fejlődésével a játékkészítés folyamata is egyszerűsödött, a nem szakértőknek is van lehetőségük egyszerűbb alkalmazásokat létrehozni. Kutatásom során ezért kiemelten vizsgáltam a 3D-s térképek Game Engine-ben történő megjelenítési lehetőségeit. Kutattam hogyan jeleníthetők meg az általam készített 3D-s térképek, milyen interaktív megjelenítési módok valósíthatók meg? Milyen új lehetőségeket rejt a program?

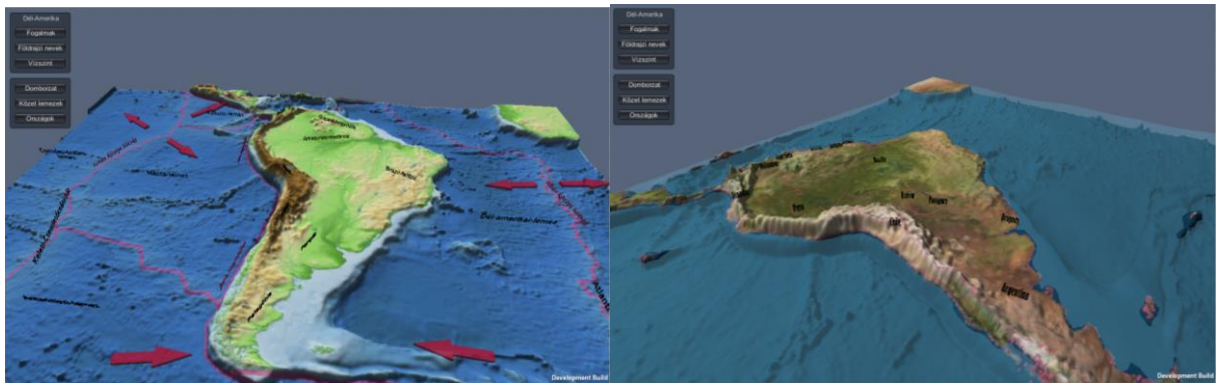
A piacon több Game Engine program is található, választásom a Unity-re esett, amely az egyik piacvezető szoftver (Unity, 2016). A program ingyenes, a professzionális verziója fizetős. Az elérhető funkciókat folyamatosan, dinamikusan fejlesztik. A Game Engine szoftverek játékok fejlesztésére készültek, magas szintű 3D modellezésre kevésbé alkalmasak. A játékokban alkalmazott 3D modelleket ezért más programban, 3D modellezőben (pl. Blender,

Maya, 3DSMax) célszerű elkészíteni, ezután a modell Unity-be importálható. A programok közti állomány átvitel jól működik, a 3D-s formátumok széles körben átjárhatók a Game Engine programok és a 3D modellezők között, a modellben minőségromlás, adatvesztés ritkán tapasztalható. Jól használható továbbá a City Engine-ben készített 3D városmodell a Unity-ben, a programok között szintén jó átjárhatóság van. Problémát jelenthet viszont egy GIS programban pl. ArcGIS-ben készített 3D-s modell Unityben történő megnyitása, ehhez egy köztes programmal történő file konverzió szükséges. Az ArcGIS-ből exportált állomány megnyitható Blender vagy AutoCAD-ben, majd onnan egy másik formátumba (pl. OBJ, FBX-be) exportálva nyitható meg az állomány Unity-ben. A köztes program használata és a konvertálás a modellben adat- és minőségvesztéssel járhat. Kutatásom során a 3D-s térképeimhez Blendert használtam, az itt elkészített modelljeimet könnyen tudta a Unity kezelni.

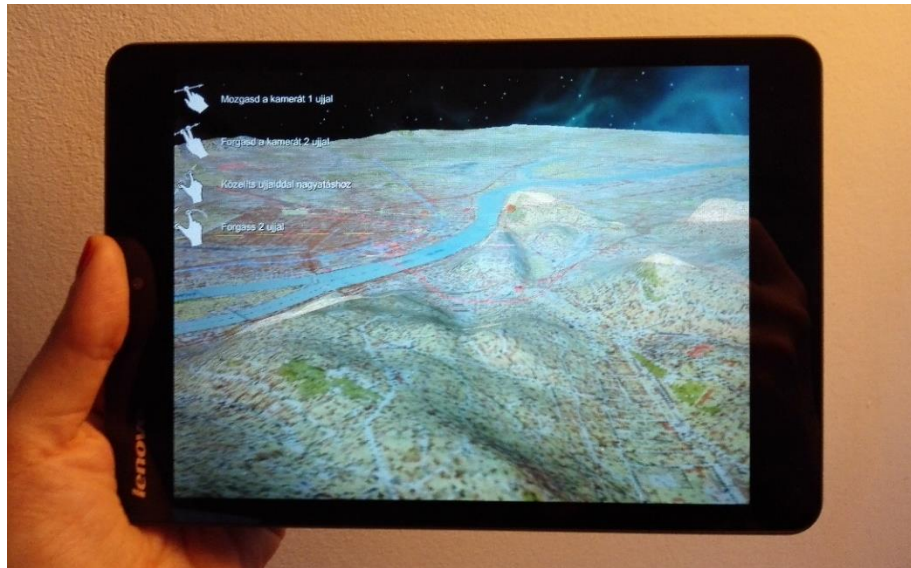
A modell tulajdonságai, mint a teljes geometria, a színezések és textúrák, árnyékolások, visszaverődések és az áttetszőségek Unity-be való importálása után megmaradnak. A Unity szerkesztőfelületében az objektumok alapvető transzformációs funkciói (mozgatás, forgatás, méretezés) elérhetők, viszont belső geometriája már nem módosítható. A jelenet bevilágítását, a fények elhelyezését, azok beállításait célszerű Unity-ben készíteni. Interaktív térkép esetén a 3D modell bevilágítása nehezebb, mint egy egyszerű kép készítésénél, jóval több fényforrás szükséges, hogy a modell forgatásakor az minden oldalról jól látható legyen. Az interaktív modell esetén alapvető elvárás, hogy az tetszőlegesen forgatható, mozgatható és zoomolható legyen. A modell mozgatása során az valójában egy helyben van és csak a kamera mozog körülötte, ennek elkészítéséhez már scriptet kell alkalmazni, melyet a kamerához kell kapcsolni. A kód C# vagy JavaScript nyelven íródhat. Az elkészült 3D-s térkép mobil platformra is fejleszthető, a kamera irányítása külön programozható aszerint, hogy egerrel (számítógép) vagy érintéssel (mobilon vagy tableten) történik az irányítás. Az animációt és az eseményeket célszerű Unity-ben létrehozni. Az elkészült alkalmazás kezelőfelületére gombok helyezhetők, ezekkel indítható az animáció, vagy ki-, bekapcsolható az objektumok láthatósága. A kész állományt buildelni kell, mely során a programkódok lefordulnak és a futó alkalmazás mentődik. A Unity erőssége, hogy a létrehozott állomány számos formátumba buildelhető: exe (Windows-on futtatható állomány), HTML, Samsung TV, konzol játékok (Xbox 360, Xbox One, PS3, PS4), mobil platformok (IOS, Windows Phone, Android, Black Berry). A webes megjelenítés esetén két megoldás közül választhat a felhasználó: HTML állomány, melyben a 3D-s tartalmat egy plugin, a Unity Web player játssza le, illetve a HTML5

formátum, mellyel plugin alkalmazása nélkül jeleníthető meg a 3D tartalom. Az elkészült HTML állomány szabadon felhasználható, a GIS Viewer típusú programoktól eltérően az itt létrehozott állomány tetszőleges weboldalakba ágyazható be. A Unity további előnye, hogy egy úgynevezett Asset Store-ból scriptek, modellek tölthetők le (ingyenesen, vagy bizonyos összegért) ezzel segítve a felhasználó munkáját. Idő és energia spórolható más felhasználók által írt scripteket felhasználásával, de saját magunk is készíthetünk és feltölthetünk kódokat vagy 3D modelleket.

Az általam elkészített 3D-s térképeknek egy részéből interaktív állományt is készítettem a Unity segítségével. A térkép 3D-ben szabadon forgatható, nagyítható és mozgatható. Egy interaktív alkalmazás több tematikát is tartalmaz, például a Dél-Amerika felszín- és tengerfenék domborzata esetén a kőzetlemezek mozgását bemutató nyilak, vonalak, természetföldrajzi nevek és fogalmak ki- és bekapcsolhatók. A 3D-s felszínen választhatunk a hipszometrikus domborzat, vagy az országok megjelenítése között, továbbá a vízszint is ki-, bekapcsolható (52. ábra). A térképet teszteltem Windowson futtatható állományként, illetve webes alkalmazásként. Mobilra és tabletre is készítettem 3D-s interaktív térképeket, ezek kézmozdulatokkal vezérelhetők (53. ábra). További Unityben készített interaktív 3D-s térkép ismertetése a 3.4.1 fejezet Komplex térképek fejezetben található.



52. ábra. Részletek a Dél-Amerika felszíne és tengerfenék domborzata interaktív térképből. A bal képen a kőzetlemezek, a mozgásvonalak, a természetföldrajzi nevek vannak bekapcsolva. A jobb képen az országhatárok láthatók a műholdképre berajzolva, illetve a vízszint.



53. ábra. A képen a Budapest földalatti 3D-s interaktív térkép látható, mely tableten tekinthető meg és kézmozdulatokkal irányítható. A földalatti térképről részletes leírás a 3.4.2 fejezet Budapest földalatti 3Ds térkép részében olvasható.

2.2.4 Valódi 3D-s megjelenítés

A 3D-s modellek hagyományos monitoron történő interaktív megjelenítése látványos, viszont ugyanezt valódi 3D-s térben nézve egy teljesen új vizuális élményt kap a szemlélő. A 3D-s eszközök segítségével a valódi térbeli megjelenítést a térképészetben is alkalmazhatjuk. A piacon a 3D-s eszközök, mint: televíziók, monitorok és mobilok 5-7 éve elérhetőek, az árak idővel csökkent, napjainkban pedig már egyre több háztartásban találhatunk 3D-s eszközöket. Ez a fejlődés a kartográfiára is hatással van, valódi térbeli 3D-s térképek készíthetők. Doktori munkám során kutattam a valódi 3D-s térképek készítésének lehetőségét, milyen megjelenítési módszerek léteznek, hogyan készíthető ilyen térképek? Az általam kutatott elméleti 3D-s megjelenítési módszerekről készítettem normál monitoron megtekinthető 3D-s térképeket, de többségüknek a valódi, sztereoszkópikus 3D-s verzióját is elkészítettem, melyet számos 3D-s eszközön teszteltem is.

A térbeli látásnak az az alapfeltétele, hogy a szemlélt objektum két különböző szögből legyen látható. Egy előttünk lévő tárgyat más szög alatt látunk a bal és jobb szemünkkel a köztük lévő távolság miatt. A valódi sztereo 3D-s megjelenítés során ennek a feltételnek teljesülnie kell. További kikötés, hogy a megfelelő szemmel a megfelelő képet lássuk, ezek szeparálva legyenek. Tehát a jobb szemmel csak a jobb szemnek szánt, a bal szemmel csak a bal szemnek szánt kép legyen látható. Az egyes 3D-s megjelenítési technikák abban különböznek egymástól, hogy más technológiai úton valósítják meg a két szemnek szánt képek szeparációját. Minden esetben szükséges a két eltérő szemszögből készült kép alkalmazása.

Sztereo 3D-s eszközök:

Az egyik legelső sztereo 3D-s eszköznek a sztereo-néző (fejlettebb változata a sztereoszkóp) tekinthető, egy távcsőhöz hasonlatos eszköz, melyből a lencse hiányzik. A nézőke mögött egy sztereo fénykép található, lásd az 54. ábrát. A két szem között egy függőleges lap található, amely megakadályozza, hogy pl. a jobb szem a bal szemnek szánt képet lássa, illetve fordítva. A sztereo-néző fejlettebb változata a napjainkban egyre nagyobb népszerűségnek örvendő, *virtual reality head-mounted display* (VR HMD), magyarul egy fejre illeszthető virtuális kijelző.



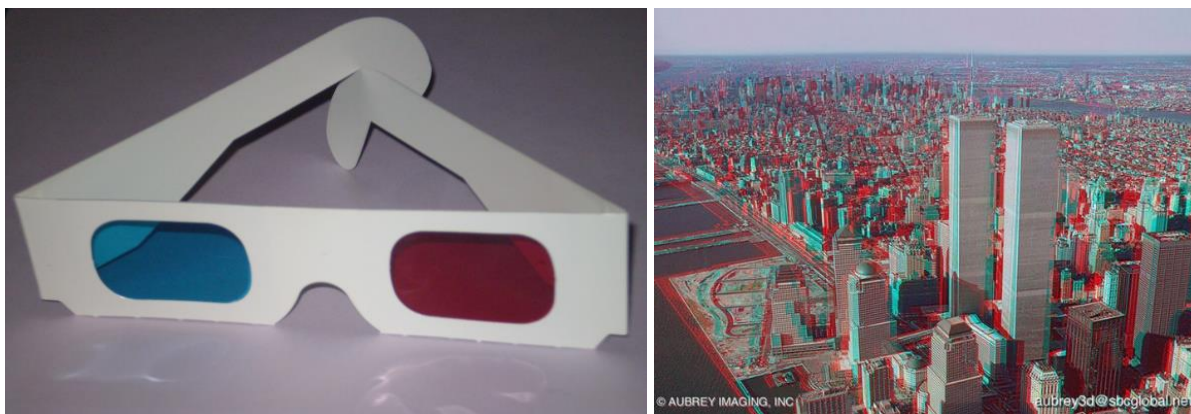
54. ábra. A képen egy sztereonéző látható, mellyel egy sztereo fénykép nézhető (Fixir, 2010).

Az eszköz működése a hagyományos sztereo-nézővel nagyjában megegyezik, a sztereo kép helyén egy nagy felbontású kijelző található. Ennek egy olcsóbb változata a cardboard, ami egy kartonból hajtogatott (vagy műanyagból gyártott) tok, melybe okostelefon helyezhető, ez helyettesíti a kijelzőt. Elsősorban a videojátékok, virtuális valóságok, szimulációk esetén (55. ábra) alkalmazzák napjainkban, használata várhatóan az elkövetkezendő években jelentősen növekedni fog.



55. ábra. A bal képen egy cardboard látható, melybe okostelefon helyezhető. A jobb oldalon egy Oculus Rift szerepel, melybe nagy felbontású digitális kijelző van beépítve.

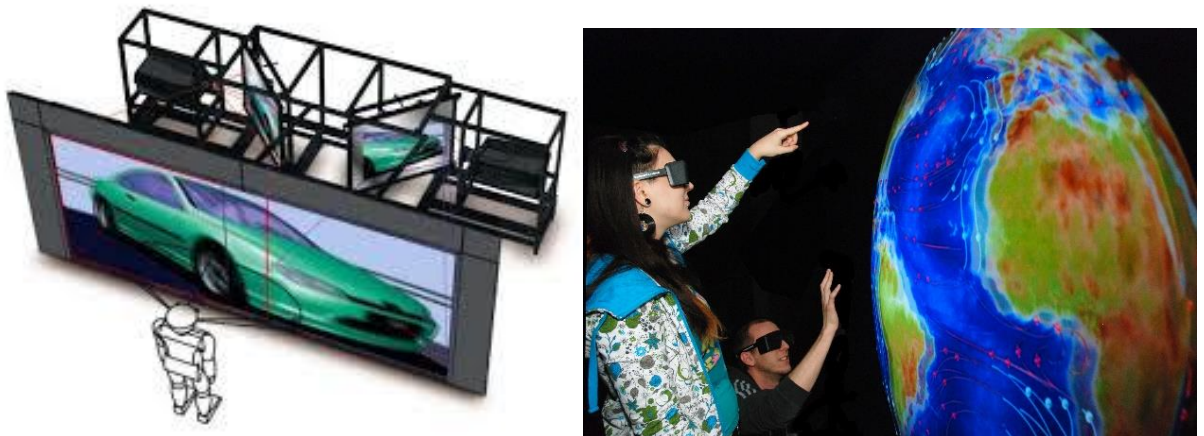
Az anaglif 3D-s megjelenítés mára elavult technológiának tekinthető. A jobb és bal szem képének szeparációja itt különböző színekkel történik, egy vörös-kék lencsés szemüveggel (56. ábra). Az eltérő szögből készült képeket –egy nyomtatott kép esetén– egymásra nyomtatják, az egyiket vörös, a másikat kék színnel (56. ábra). A kék szemüveg lencséjén csak a vörös, a vörös lencsén keresztül csak a kék képet látni, így egy szemmel csak az annak szánt kép látható, a színek egymás komplementerei. Nagy hátránya, hogy a szín információk elvesznek, illetve hosszas szemlélés esetén fejfájást okoz (Wikipedia, 2016b).



56. ábra. A bal képen egy anaglif szemüveg látható, a lencsési vörös-kék színűek. A jobb oldalon egy anaglif kép látható. Megfigyelhető a kék és vörös színek közti elcsúszás, mely az eltérő betekintési szög miatt keletkezik.

A 3D mozikban polarizált 3D-s vetítő rendszert használnak. A polarizált fény fizikai meghatározása: „Természetes vagy polarizálatlan fénynek nevezzük az olyan fényt, amelyben egyenlő mértékben található minden irányban rezgő E és B vektorok. Noha egyetlen atom által egy aktusban kisugárzott hullámvonulat síkban polarizált, a természetes fény igen sok atom spontán rendezetlen hullámkibocsátásának eredménye, így minden rezgésirány megtalálható benne.” (Holics, 1992). A polarizált 3D-s megjelenítésnél többnyire két projektort alkalmaznak, az egyik a bal, a másik a jobb szemnek szánt képet vetíti. A vetítők lencséje elé szűrőket helyeznek, melyek lineárisan polarizálják a fényt, az egyik függőleges, a másik vízszintes irányba áll. A szemüveg lencséje szintén ilyen szűrőket tartalmaz, melyben szintén az egyik oldalon függőleges, a másikban vízszintes található. A projektorok felváltva vetítik a jobb és a bal szem képét, a szűrőknek köszönhetően az adott szem csak a vele egyező állású polarizált képet látja. A technológia működik egy projektorral is, ebben az esetben az objektív előtt a szűrő (Z Screen) váltogatja a polarizáció irányát, szinkronban a jobb és a bal szemnek szánt kép változásával. A lineáris polarizáció érzékeny a fejdöntésére, forgatására, így a lineáris helyett gyakran cirkumpolarizációt alkalmaznak. A fényt ilyenkor duplán szűrik, így az óramutató járásával egyező vagy ellentétes irányú forgó mozgást végez, a szemüveg szűrője ezt a két-féle mozgást különíti el. A polarizált vetítő rendszereknél alapfeltétel, hogy a vászon megtartsa a rá vetített kép polarizáltságát (Audio & vision, 2011). Polarizált és cirkumpolarizált módszert 3D-s televíziók, monitorok, laptopok esetében gyakran alkalmaznak. A polarizációs elven működő vetítő rendszert passzív vetítő rendszernek hívjuk, mert a szemüveg nem rendelkezik elektronikával.

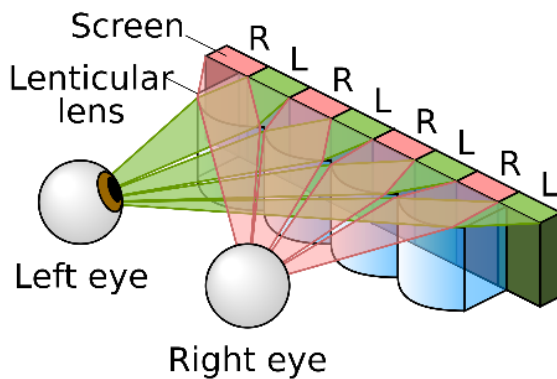
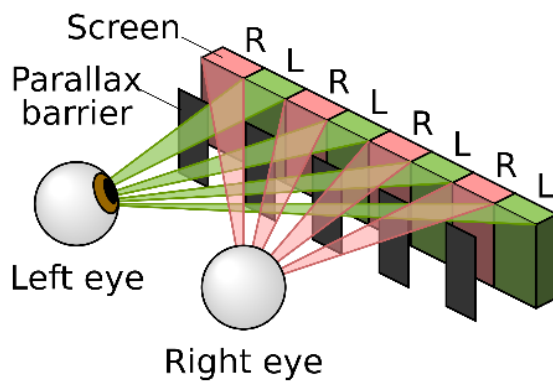
Az aktív vetítő rendszer esetén a szemüveg elektronikával rendelkezik. A projektor felváltva vetíti a jobb és a bal szemnek szánt képet, ezzel szinkronban a szemüveg elsötétíti a bal és jobb oldali panelt, ezáltal azon az egyik oldalon nem látunk. Például amikor a projektor a bal szemnek szánt képet vetíti, akkor a jobb panel elsötétül, váltásnál pont ellenkezőleg működik a kitakarás. A jobb és bal szemnek szánt kép vetítésének váltakozása gyorsan történik, így az agy összemossa a képet és kialakul a térlátás. Aktív sztereo megjelenítést bizonyos 3D-s televízióknál, monitoroknál és laptopoknál találunk, továbbá egy aktív vetítő rendszer az ELTE Vizualizációs Centrumában is található. A 10 négyzetméteres vászonra hátulról két projektor segítségével történik a vetítés (57. ábra). Erre a nagyon széles vászon miatt van szükség, egy projektor felváltva vetíti a jobb és bal szem képét. A valódi 3D-s élmény aktív szemüveggel, ú.n. *shutter glasses*-zel tekinthető meg.



57. ábra. A bal képen az ELTE Vizualizációs Centrumában található vetítő rendszer sematikus képe látható. A vászonra a vetítés hátulról tükrök segítségével, a két projektor képe a vászon közepén átfedéssel van illesztve. A jobb képen az ELTE Vizualizációs Centrumában vetített 3D-s sztereoszkópikus térképem látható szemlélése közben.

3D-s mobilok szemüveg nélküli 3D-s megjelenítést alkalmaznak. A kijelzőn a pixelek párosával alkotnak egy oszloppárt, melyben az egyik oszlop a bal a másik a jobb szem képét mutatja (58. ábra). Fölöttük egy szűrő rács található, mely korlátozza a pixelsorok betekintési szögét, így a kellő magasságból egy szem csak a neki szánt képet látja, így a jön létre a térbeli látás. Egy másik szemüveg nélküli megjelenítés a lentikuláris 3D, mely egy analóg technológia. A korábban említett jobb és bal pixelsorok felett egy műanyag félhengerekből álló fólia található. Egy félhenger egy jobb és bal pixel oszloppárt fed le, attól függően látni a bal vagy

jobb pixeloszlopot, hogy milyen szögből tekintenek az oszlopra (58.kép). A megfelelő betekintési szögből egy szem csak a neki megfelelő képet látja, így alakul ki a térbeli látás. A lentikuláris fólia mögé helyezhető kép szoftverrel könnyen generálható. A lencse oldalirányú döntésekor felborul a térlátás, külön látni a jobb és a bal szögből készült képet. Ezzel a módszerrel készülnek a „mozgó” ábrák is. A lentikuláris lencse régóta alkalmazott technológia, több, mint 10 éve használják szórakoztatási célra gyermekeknek szánt eszközökön. Valódi 3D-s megjelenítésre ritkán alkalmazzák, a lentikuláris 3D kartográfiai alkalmazását Drezdában (Németország), a Műszaki



Egyetemen kutatják. Számos 3D-s dombortérkép készült el ezzel a technológiával (Buchroitner & Knust, 2013).

58. ábra. A felső képen a 3D-s szemüveg nélküli mobil kijelzőjének működési elve látható. A fekete lapok korlátozzák a jobboldali pixelsor betekintési szögét. Az alsó képen a lentikuláris lencse látható, a jobb és bal pixeloszlopon elhelyezett félhengeres lencse okozza ebben az esetben az eltérő betekintési szöget (Wikipedia, 2015g).

Sztereo 3D-t támogató szoftverek:

Kutatásom során több 3D-s eszköz állt a rendelkezésemre, melyen a térképeimet tesztelni tudtam: lenticuláris lencse, 3D laptop (Sony Vaio F 3D), 3D tv, 3D mobil (LG Optimus 725 3D Max) és az ELTE Vizualizációs Centruma. A 3D-s megjelenítés esetében az egyik legfontosabb szempont, hogy mely szoftverek milyen sztereo 3D-s megjelenítést támogatnak? A korábban ismertetett szoftvereket abból a szempontból is megvizsgáltam, hogy milyen valódi 3D-s megjelenítést támogatnak. Az ArcGIS Arc Scene bővítménye (Analyst licensz szükséges) támogatja a 3D-s anaglif, polarizált és aktív sztereo megjelenítést (ArcGIS, 2015d). A GeoMedia rendelkezik egy ImageStation Stereo bővítménnyel, mely fotogrammetriai munkák során alkalmazható (légifényképek vektorizálásánál) digitalizálás, szerkesztés és megjelenítés során, aktív és passzív sztereo megjelenítést is támogat (Hexagon Geospatial, n.d.2). A Bentley Map nem rendelkezik beépített sztereo megjelenítési lehetőséggel, viszont a Bentley PRO600 program alkalmazható. Ez a szoftver szintén fotogrammetriai célokra használható, 3D-s szerkesztő program. A MicroStation és Bentley Mapben megszokott modellező eszköztárat tartalmazza, így könnyen lehet modellezni benne, illetve a programok között jó átjárhatóság van (Intergraph, 2016). A Unity-ben a sztereo 3D scripteléssel vagy pluginnel hozható létre. A Blender Game Engine-ben számos sztereo megjelenítési mód beépítve található, támogatja az anaglif, az aktív szemüveges és polarizált 3D-t. A Blender és Unity előnye, hogy sztereo 3D-s alkalmazás hozható létre, a valódi 3D nem csak a szoftver működése közben használható, hanem a generált alkalmazás számos egyéb platformon is futtatható. A valódi 3D-s megjelenítés során is a Blendert használtam elsősorban. Egyrészt a térképeim ezzel a programmal készültek, másrészt a Blender jól támogatta a különböző sztereo megjelenítési módokat és az ELTE Vizualizációs Centrumában is sikeresen volt alkalmazható.

A Blenderben létrehozott modelljeimből sztereo képpárokat és videókat mentettem, ezeket nehézség nélkül meg tudtam jeleníteni a 3D mobilon, televízión, laptopon és a Vizualizációs Centrumban. Sztereo képpárt egy konverter program segítségével 3D lenticuláris lencsével szemüveg nélküli 3D-ben is megjelenítettem. Interaktív, valódi 3D-s alkalmazást az ELTE Vizualizációs Centrumában készítettem. A laborban a vetítő rendszert egy számítógép irányíthatja, melyen Linux operációs rendszer fut. A programválasztás elsődleges szempontja itt a Linuxon történő futtathatóság volt, melynek a Blender megfelelt. Két féle módon hoztam létre a Vizualizációs Centrumban interaktív 3D-t. Az egyik megoldás egy sztereo nézegető program használata volt. Az OSG Viewer számos 3D-s formátumot támogat, a 3D-s térképet egy tetszőleges FBX-be exportálva, az könnyedén megnyitható az OSG Viewerrel. A modellt

szabadon lehet forgatni, nagyítani, viszont több interakciót nem támogat. Interaktív megjelenítést a Blenderrel készítettem, az alkalmazás a program futtatásától független megnyitható és interaktív. Az alkalmazásban szabadon mozoghatunk a tér minden irányába, előre mentett berepülési útvonalak mentén utazhatunk, melyet tetszőlegesen megszakíthatunk és átvehetjük az irányítást. Objektumok láthatósága ki-, bekapcsolható, áttetszővé tehető. A Vizualizációs Centrumban több kutatás is folyik, egy teszttüzemben működő tracking rendszert sikerült az interaktív alkalmazásomhoz kapcsolni. A tracking rendszer a fej forgását figyeli, a 3D-s modellt ennek megfelelően forgatja el, így körbe nézhetünk, ezzel virtuális valóságot hozva létre. A 3D-s térkép tracking rendszerrel történő összekapcsolása, a virtuális valóság a kartográfiai megjelenítésben teljesen új lehetőségeket rejt magában.

Több nehézséget tapasztaltam a valódi 3D-s megjelenítés során. A 3D laptop tesztelésekor sajnos nem sikerült megjeleníteni a Vizualizációs Centrumban tesztelt interaktív térképemet. A laptopon Windows operációs rendszer futott, a Blenderrel történő sztereo megjelenítés mégsem működött, mely Linux operációs rendszeren még problémamentesen üzemelt. A sztereo viewer programokkal is számos problémát tapasztaltam. A Linux alatt jól működő OSG Viewer a Windowst nem támogatja, a többi megjelenítő pedig nem működött megfelelően vagy a megnyitott modellt kezelte rosszul. A probléma lehetséges oka a videokártya nem megfelelő verziójú drivere lehetett, mely többszöri frissítés után sem működött jól. A Windows-on futtatható interaktív valódi 3D-s állomány készítésére napjainkban a Unity már jól alkalmazható lenne, sajnálatos módon a program még nem volt olyan fejlett és elterjedt, amikor a 3D laptop a rendelkezésemre állt tesztelési célra.

A valódi 3D-s megjelenítési módszerek tesztelése után azt a következtetést vontam le, hogy a valódi 3D-s megjelenítés minden eszközön látványos megoldást nyújt. A kijelző méretének növekedésével a felhasználói élmény is nő. A legkevésbé látványos megoldás talán a 3D-s mobil esetén tapasztalható, a leglátványosabbnak a Vizualizációs Centrum tekinthető. A vászon nagy mérete miatt a szemlélő a térkép virtuális valóságába kerül. A vetítőrendszer magas ára természetesen nem teszi lehetővé széles körű alkalmazását, viszont egy nagy képernyős televízió vagy monitor már elegendően nagy lehet a valódi 3D-s térkép élményéhez.

3. A kutatott 3D-s módszerek gyakorlatban történő alkalmazása, példatérképeken történő bemutatása

Az általam kidolgozott elméleti módszereket a gyakorlatban is alkalmaztam, példatérképeken keresztül mutatom be az egyes ábrázolási módszerek alkalmazási lehetőségeit. A térképek készítése során az alábbi munkafolyamatokat különböztettem meg egymástól:

1. Adatgyűjtés
2. Rendszerezés, feldolgozás és kiválasztás
3. Ábrázolás, modellezés
4. Megjelenítés

Az elkészített példatérképek két nagy témakörbe sorolhatók, a tematikus térképek és a 3D-s tematikus városmodellek, amelyet Budapest földalatti 3D-s térképével illusztrálok. Az egyes munkafázisok a két térképtípus esetében jelentősen eltérnek, ismertetem azokat illetve a köztük lévő eltéréseket is.

3.1 Adatgyűjtés

A térképi adatgyűjtés két nagy részre osztható: a térképi alapok elkészítéséhez szükséges adatok beszerzése, illetve az ábrázolt tematikus adatok gyűjtése és felkutatása. A térképi alapok beszerzését nem kívánom részletezni, ez nem jelentett szakmai kihívást (ellentétben az ábrázolt adatok felkutatásával), a tematikus térképek esetén közigazgatási térképeket, hipszometriával ellátott domborzatmodelleket, a földalatti térkép esetében EOTR szelvényt alkalmaztam.

A tematikus térképek készítése során elsősorban statisztikai adatokat jelenítettem meg 3D-s formában. A hazai adatokat a Központi Statisztikai Hivatal honlapjáról töltöttem le, számos adat nyílt formában megtalálható, kereshető. Más országok adatai is könnyen kutathatók a weben, több nemzetközi statisztikai honlap is elérhető, például az Eurostat vagy World Statistic, amely világszinten tartalmaz adatokat. További forrásként alkalmaztam atlaszokat és térképeket, illetve a meteorológiai adatokat az ELTE Meteorológiai Tanszékétől kaptam. A tematikus térképkészítés során a források felkutatása nem okozott nehézséget, továbbá a térképi alapot magam szerkesztettem. A Budapest földalatti 3D-s térkép adatainak felkutatása ezzel szemben komoly kutatómunkát igényelt, majdnem minden tervet más forrásból kellett összegyűjtenem.

A földalatti 3D-s modellek megszerkesztése az esetek jelentős többségében építészeti tervrajzok alapján történt. A tervek kutatásához szükséges az objektumok létezésének ismerete,

pontos elhelyezkedése, illetve hol található maguk a tervrajzok. Budapest földalatti világa nagyon gazdag, így számos olyan létesítmény van, melynek létezése csak egy szűk körben ismert, az objektum ismerete nélkül ezek tervtárakban nem kutathatók. A források felkutatása doktori munkámon belül egy külön projektet képezett. Az első lépés ezért a kevésbé ismert objektumok létezésének felderítése volt, ezek főként történelmi vonatkozású, a múltban gyakran titkos besorolású létesítmények: óvóhelyek, bunkerek, speciális célokra használt pincék, alagutak. Ezen objektumok létezéséről nyomtatott forrás nagyon kevés van, felkutatásukat így internetes fórumokról illetve bunker- és második világháborúban járatos szakértők megkeresésével kezdtem. Ezekből a beszélgetésekből többnyire leírásokat vagy elhelyezkedésükre utaló pontatlan adatokat kaptam az egyes létesítményekről, továbbá több városi legenda is kering földalatti objektumokról.

Az objektumok pontos címének vagy helyrajzi számának ismeretével a tervrajzokat kutatni tudtam a Budapest Fővárosi Levéltárban és a Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Nonprofit Kft-ben (VÁTI). Az objektumlistán szereplő létesítményeknek csak egy kis része volt a tervtárban megtalálható, illetve számos jegyzékbe vett terv hiányzott. Itt lakóházak, mélygarázsok, légtalmi óvóhelyek tervrajzait találtam meg. Több létesítmény tervrajzát az objektumot kezelő szervtől kaptam meg, például DBR metró (4-es metró tervek), Dreher Sörgyár (kőbányai pincerendszer), Fővárosi Vízművek (ivóvíz főnyomócsövek), Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. (Gellért táró tervei). Ezeket az intézményeket egyesével kerestem fel. Lehetőségem nyílt kutató munkám során személyesen is meglátogatni néhány objektumot: az akkor építés alatt lévő 4-es metró, a kőbányai pincerendszert, a Törley pincét, a Gellért táró és aragonit barlangot, a sziklatemplomot és a hozzá tartozó szerzetesi lakot, az Országos Széchényi Könyvtár raktárát, a Gellérthegyi Gruber József víztározót és a Nemzeti Múzeum pincéjét. Sajnos nem minden intézet esetében jártam sikerrel, hosszas tárgyalások során nem sikerült a BKV-tól az 1, 2, 3-as metróvonalakról tervrajzokat kapnom, így annak modellezése szakkönyvek alapján történt, mely rontott a modell pontosságán. Szintén más forrásból sikerült a főgyűjtő csatorna adatait felkutatnom, mert a Fővárosi Csatornázási Művek elutasította a kérésem adatvédelmi okokból. A Parlament óvóhelyének megtekintésére benyújtott hivatalos kérvényemet indoklás nélkül utasították el.

3.2 Rendszerezés, feldolgozás és kiválasztás

A statisztikai adatok ábrázolása előtt az adatokat rendszereztem. A rendelkezésemre álló nagyméretű adathalmazból ki kellett választanom az általam feldolgozásra szántakat. Statikus térképek esetén igyekeztem a legfrissebb adatot választani. Több éves adatot bemutató animált térképek esetén olyan időpontokat választottam ki, melyek jól reprezentálták az ábrázolni kívánt folyamatokat. Az adatok kiválasztását a térkép célja határozta meg.

Az adatok kiválasztása után osztályoztam azokat, 6-8 érték kategóriát hoztam létre. Az egyes osztályok értékhatárainak meghatározásakor eltérő elvet alkalmaztam az animált és statikus térképek esetén. Egy időpontot bemutató térkép esetén a természetes törés, azonos intervallum, azonos gyakoriság elvét, illetve szabadon választott értékhatárokat alkalmaztam. Abban az esetben, amikor két vagy több időpontot ábrázolt a térkép, ott nem hoztam létre osztályokat, folytonos ábrázolást használtam. Egy arányszámot határoztam meg, amely az adat értéke és a térképi objektum mérete közötti hányadost jelöli. Az animáció során így pontosabban figyelhető meg az adat változása, nem ugrik az adat értéke kategóriánként. Ahol a megjelenítési mód lehetővé tette, ott a színezéssel segítettem az adat leolvasását, a kategóriák létrehozásakor a színeket is osztályokba soroltam.

A földalatti térkép adatgyűjtése során az egyes objektumok adatait gondosan dokumentáltam. Így elkészült egy objektumlista, illetve egy adatbázis, mely az egyes objektumok részletes adatait tartalmazza: objektum neve, pontos leírása, információ forrása, tervrajz elérhetősége, térképre történő feldolgozottsága. Ez az adatbázis elkészülte kiemelten fontos, mert majdnem minden földalatti objektum más forrásból szerezhető be, a közművek együttes kezelése is csak az utóbbi pár évben valósult meg. 2013-ban hozták meg az egységes elektronikus közműnyilvántartásról a kormányrendeletet, a portál 2014. január 1-től működik (E-építés, n.d.).

Nem volt célom, hogy a térképen az összes pincét ábrázoljam, ez meghaladta volna a kutatásom kereteit. Azok a pincék kerültek ábrázolásra, melyek a következő feltételek legalább egyikének megfelelnek: legalább 2 szintesek, kiemelt jelentőségű épülethez tartoznak vagy a történelem során speciális funkciót töltöttek be, pl. pincebörtönök. Az objektumok többsége a belváros alatt található, így elsősorban erre a területre fókuszáltam. A kutatásom során több olyan tervrajzot is megvizsgáltam melyek nem kerültek rá a térképre. Ezek nem rendelkeztek komolyabb jelentőséggel, illetve nagyon távol estek a többi ábrázolt objektumtól. Számos városi legenda szól titkos földalatti alagutakról, objektumokról. Kutatásom során igyekeztem

ezekre bizonyítékot találni, több esetben sikerült megcáfolnom létezésüket. Csak olyan objektumot szerkesztettem a térképre, melyről tervrajzzal rendelkeztem. Egy kivételtől tekintettem el, az a volt Köztársaság tér környékét érinti, részletek a 3.4.2 fejezetben találhatóak.

A földalatti térképen szereplő objektumokat funkció szerint kategorizáltam, ezeket színekkel láttam el. A pincék- magenta (RGB: 196,35,54), bunkerek- narancs (RGB: 193,104,37), kőbánya- piros (RGB: 196,28,28), mélygarázsok- lila (RGB: 139,63,188). Az alagutak- világos rózsaszín (RGB: 224,148,205), kutak- kék (RGB: 32,67,183), barlang-sötétzöld (RGB: 5,66,17), szennyvíz- barna (RGB: 102,62,48). A metróvonalak esetében a BKV arculatából jól ismert sárga- piros- kék- zöld színezést alkalmaztam, mert egy egységes színű ábrázolás esetén az egyes vonalak nehezen felismerhetők lennének. Abban az esetben, amikor egy objektum több funkciót lát el, ott a legjellemzőbbet tekintetem mérvadónak.

3.3 Ábrázolás, modellezés

A tematikus térképek esetén a térképi alapot hagyományos módszerekkel készítettem el. Ezt a térkép jellegétől függően egy síkra vagy 3D-s domborzatra textúráztam. Pár esetben térképi alapnak nem a hagyományos textúrázott térképet alkalmaztam, hanem kísérleteztem az egyes 3D-s megjelenítési módszerekkel, a határok 3D-s objektumként, kör keresztmetszettel való ábrázolásával. A tematika minden esetben 3D-ben került modellezésre. Az ábrázolt módszer határozza meg a 3D-s tematikát képező objektum geometriai összetettségét, a modellezés nehézségi szintjét. Egyszerűen létrehozható egy 3D-s oszlopdiaagram, míg egy valóság-hű 3D-s jel modellezése már időigényesebb. A névrajz felszerkesztése szintén 3D-ben készült. A tematikus térképek készítése során a modellezés nem okozott nehézséget, míg a földalatti térkép jóval több kihívást jelentett. A tematikus térképek készítése viszont időigényesnek tekinthető, mert az ábrázolt objektumokat egyesével szerkesztettem, az animáció esetében szintén manuálisan kellett az értékeket beállítanom.

A Budapest földalatti térkép elkészítéséhez térképi alapként egy 1:10 000-es méretarányú EOTR szelvényt és a DDM 10-es domborzatmodellt használtam (59. ábra). Ez a felszín képezi a térkép alapját, mely alatt a 3D-s objektumok találhatóak. Az egyszerű geometriájú objektumok, például a pincék modellezése az EOTR szelvény alapján történt, a pince alaprajzának a megszerkesztése a térképről történt, a mélység a tervrajzról leolvasott adat felszerkesztésével készült. Az ennél bonyolultabb alaprajzú objektumok felszerkesztésére (keresztmetszet nem, csak a padlószint és belmagasság változik) építészeti tervrajzokat használtam, ezeket az EOTR szelvényre georeferáltam. Az objektum körvonalának

modellezése a tervrajzról, belmagassága és felszín alatti mélysége a tervrajzról leolvasott adatok segítségével került megszerkesztésre. A legkomplexebb, azaz a változó a keresztmetszetű (pl. barlangok) objektumok modellezése tekinthető a legnehezebb, legtöbb modellező szaktudást igénylő feladatnak. Az objektumok a térképre georeferált alaprajz illetve a kereszt- és hosszmetsetek alapján kerültek modellezésre. Az ilyen jellegű komplex objektumok modellezése előtt a tervrajzot értelmezni kell, az azon szereplő alaprajz és keresztmetszetek alapján el kell tudni képzelni az objektumot, hogy azt meglehessen szerkeszteni. A Sziklakápolna modellezése emiatt nehezebb volt, mint egy hagyományos pince modellezése, itt a bejárati rész kétszintes, a belmagasság és padlószint magassága is változó, továbbá a mennyezet ívelt.



59. ábra. Budapest domborzatmodell, 1:10 000 méretarányú térképpel textúrázva

A modellezés nehézségi szintjét tekintve a 4-es metró jelentett még kihívást, ugyanis itt az állomások esetén rendelkezésekre álltak: a felszínrajzok, a P+1–5, Peron, P-1 szintek alaprajzai, a hossz- és keresztmetszetek. Ezek az építészeti tervrajzok sokkal komplexebbek, mint a levéltárban kutatót épület tervrajzai, továbbá maguk a metrómegállók szerkezeti felépítése is különlegesnek tekinthetők. A 4-es metró állomásainak modellezése abból a szempontból kivételesnek tekinthető, hogy itt a főbb belső szerkezeti elemek is ábrázolásra kerültek (LOD4-es szintű modell) a nagy belmagasság, kiterjedés és komplexitás miatt, pl. aluljáró szint, mozgólépcsők. Ebben az esetben a tervrajz pontos értelmezése különösen fontos

volt, mely a kutatásom kezdetén talán a legnagyobb nehézség volt. A modellezés idején a metró még építés alatt volt, csak minimális számban állt rendelkezésemre látványterv. Térképészként az építészeti és mérnöki tervrajzok olvasása nem képezte a képzésem részét, ezt magamtól kellett elsajátítanom, illetve számos mérnöki szakkifejezést kellett megtanulnom. A kutatásom későbbi szakaszára a tervrajzok olvasása és értelmezése már nem jelentett semmilyen nehézséget.

A források nagy része papír alapú volt, a digitális anyagok többsége PDF formátumú. A digitálisan szerkeszthető állományok (pl. DXF, DWG) csak bizonyos esetben segítettek a munkámat. A mérnöki CAD típusú és 3D modellező programok között van átjárás, egy CAD típusú programban készített vonalas alaprajz 3D modellező programban megnyitható, kezelhető, a vonalak mentén a függőleges Z tengely irányában a kellő magasságban meg is nyújthatók, így például falak készítése egyszerűen megoldható, amennyiben a padló szint és a belmagasság állandó. DXF formátumú állományt a Dreher Sörgyártól kaptam, de a kőbánya járatai egyenként más padlószintűek és magasságúak, így a 3D modellezőbe importált DXF állomány javíthatása több munkával járt volna, mint a modell nulláról történő lemodellezése. Így a digitális szerkeszthető állományokat sok esetben nem tudtam importálni, mert azok magassági adattal nem rendelkeztek.

A térkép háromszoros magassági torzítással rendelkezik, mert a térkép horizontális kiterjedéséhez képest a vertikális nagyon kicsi, a torzítással a földalatti objektumok jobban láthatók. A torzítás eredményeképp az objektumok keresztmetszete is torzítást szenvedne el, egy metrójárat, mely közel kör keresztmetszetű, erősen elnyújtott alakot adna. Ezen torzulásokat mellőzni akartam a térképen, így az objektumok keresztmetszetét nem torzítottam, viszont az eredeti mélységükhöz képest háromszor mélyebbre kerültek. A magassági torzítást a pincék esetében meghagytam. Számos tervrajzon a magasságok adriai alapszinthez vannak viszonyítva, ezekben az esetekben a mélységeket átszámítottam a balti alapszintre, az objektumokat ennek megfelelően szerkesztettem meg.

A térkép méretaránya és pontossága az eltérő modellezési megoldások és források miatt különböznek. Az EOTR szelvényről történő szerkesztés méretaránya 1:10000, a tervrajzról történő modellezés esetén ennél nagyobb, az objektumok ábrázolásának magassági pontossága minden esetben 10 cm-es. Egyedüli kivételnek tekinthető az 1–3-as metróvonalak modellezése, az ehhez szükséges terveket és leírásokat különböző forrásokból gyűjtöttem össze (VÁTI-ban talált átnézeti tervek illetve a metrókkal foglalkozó szakkönyvek), az alagút nyomvonala és

magassági értékei deciméteres pontosságúak, a metróhoz kapcsolódó egyéb műszaki létesítmények pontossága 1-2 méteren belüliek. A földalatti térkép készítése során az objektumok modellezésének pontosságát úgy választottam meg, hogy az térképészeti és nem mérnöki alapelvek szerint készüljön. Nem kívántam az egyes modelleket milliméteres pontossággal megszerkeszteni, ezzel mérnöki látványterveket létrehozni. Az építészeti tervrajzok alapján az objektumok geometriáját egyszerűsítettem, tipizáltam az általam kidolgozott 3D-s generalizálási alapelveknek megfelelően, kiemelt figyelmet fordítottam az objektumok egymáshoz való viszonyuk helyes ábrázolására, bár a térképraajzolás során nem fordult elő olyan hiba, hogy objektumok összeértek volna, melyek a valóságban nem érintkeznek. A térkép pontosságát és helyességét prezentálja az, hogy bár majdnem minden objektumot más forrásból gyűjtöttem, a felszerkesztett objektumok ennek ellenére a „pontos helyükre kerültek”, egymáshoz passzoltak, a megfelelő mélységekben helyezkedtek el, jelentős eltéréseket, hibákat nem tapasztaltam.

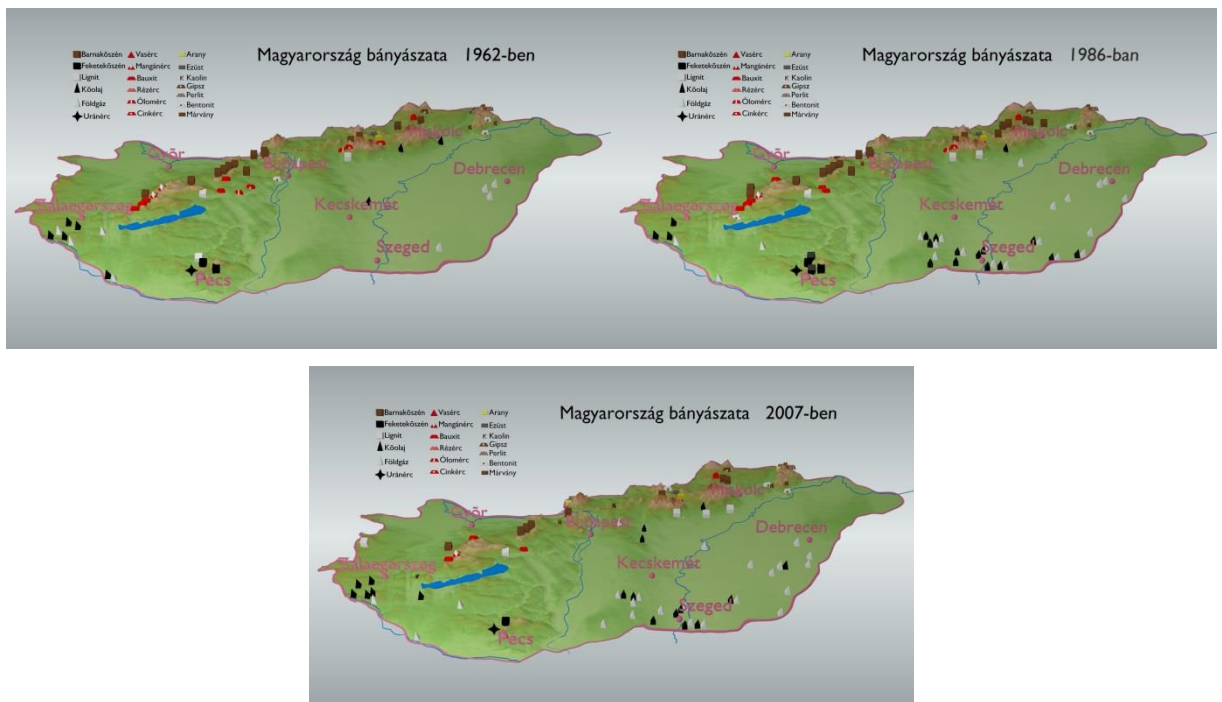
3.4 Elméleti módszerek gyakorlatban történő alkalmazása példatérképek segítségével

Az 1. fejezetben kidolgozott elméleti ábrázolási módszereket a gyakorlatban is alkalmaztam. A hagyományos tematikus ábrázolási módszereket (melyek eredetileg 2D-s ábrázolása lettek tervezve) alkalmaztam 3D-s környezetben. Bemutatom, hogy a tematikus térképek esetében az egyes adatok ábrázolására milyen megjelenítési módszert alkalmaztam (Zsoldi, 2014). Az elkészült térképek gyakran komplexek, két vagy több adatot ábrázolnak. A megjelenítés során kísérleteztem azzal, hogy mi az a maximális adatmennyiség, amely egy tematikus térképen még jól értelmezhető formában ábrázolható. A földalatti térkép készítése során az objektumok felkutatása komoly kutatómunkát igényelt, így sok esetben történelmi kutatást is folytattam (Zsoldi, 2015). A Budapest földalatti térképet pár kiemelt területen keresztül szemléltetem, gyakorlati okokból itt írok az egyes ábrázolt objektumokról, történelmi kutatásom eredményeiről, a modellezés problémáiról.

3.4.1 3D-s tematikus térképek

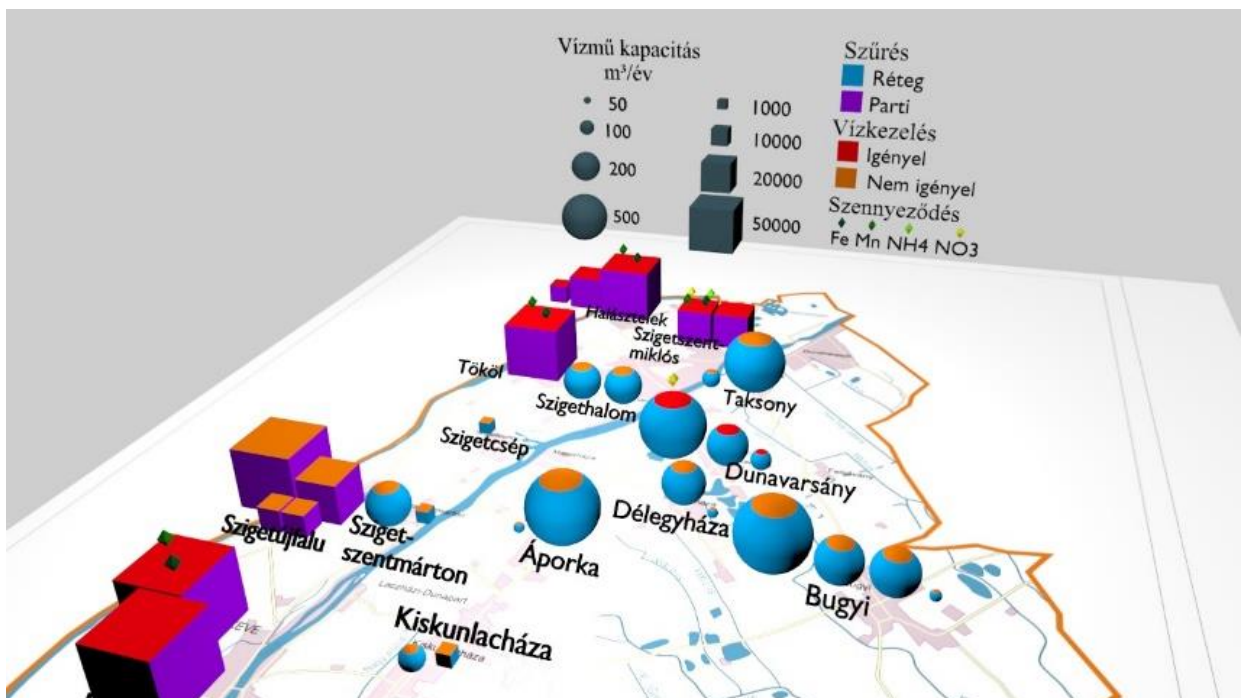
Jelmódszer:

A jelmódszer során alkalmazható 3D-s geometriai jeleket a *Magyarország bányászatának változása* című térképen használok. A 60. ábrán látható, hogy három időpontot választottam ki: 1962, 1986 és 2007. Magyarország bányászata jelentős változáson esett át az utóbbi 50 évben, az általam választott évek az egyes időszakokat prezentálják. Az 1962-es évhez képest 1986-ra számos új kőolaj és földgáz kút került kiépítésre az Alföldön, 2007-re pedig számos barnakőszén és ércbánya bezárt, miközben az Alföldön a kőolaj és földgáz termelés kis mértékben átalakult. A bányászat változását a térkép úgy mutatja, hogy egy bánya megnyitásakor egy 3D-s jel a térképen áttünéssel megjelenik, bezárásakor áttünéssel tűnik el. Ezzel a módszerrel szemléletesen mutathatók be az időállapotok, három térkép összehasonlítását váltható ki egy animált térkép alkalmazásával. A videót célszerű egymás után ismételve többször megtekinteni, így a teljes ország területe tájegységenként megfigyelhető.



60. ábra. Részletek a „Magyarország bányászata 1962, 1986, 2007-ben” térképből. A térkép három időpontban reprezentálja Magyarország bányászatának változását. Egy bánya megnyitásakor a 3D-s piktogram áttünéssel megjelenik, bezárásakor pedig eltűnik.

A jelmódszer egy speciális fajtája az egységjel módszer. Vízművek kapacitását mutatom be az 61. ábrán látható példatérképen. A feltüntetett településeken a víz kitermelésének kapacitását váltópénz módszerrel ábrázolom, melyben az 500 m³/év alatti kitermelést gömbök, az 1000 m³/év fölöttit kockák ábrázolják. Mind a két értékkategóriánál 4-4 osztályt hoztam létre. A gömbök, illetve a kockák aljának színezése (kék és lila) azt mutatják, hogy réteg vagy parti vízből történik-e a termelés. Tetejének színezése (piros és sárga) azt jelenti, hogy a víz igényel-e vízkezelést. Amennyiben a víz szennyeződést tartalmaz, azt zöld- zöldes sárga- sárga gyémánt alakú jelek szemléltetik az értékegységjelek fölött. A kategóriák számának növelésével az érték pontosabban leolvasható, összeszámolható. A két értékkategóriának az alkalmazása viszont félrevezető, mert a gömbök mérete a kockákkal egy nagyságrendű, így az olvasó azt a téves következtetést is levonhatja, hogy a gömb értékei egyeznek a kockáéval. Az ábrázolás abból a szempontból mégis helyes, hogy pontosan tükrözi az adatok jellegét, miszerint a rétegvízből történő vízkitermelés esetén majdnem minden esetben 500 m³/évnél kevesebb, a parti szűrésű víz esetén a vízmű kapacitása 1000 m³/évnél több. Egy-egy kivételtől eltekintve szintén jól mutatja a térkép, hogy a rétegvíz nem, míg a parti víz igényel tisztítást.



61. ábra. A térkép a vízművek kapacitását mutatja, mennyi vizet termelnek egy év alatt, az réteg vagy parti vízből származik-e. Igényel-e tisztítást, ha igen, akkor milyen szennyezőanyagokat tartalmaz.

A jelmódszer 3D-s megjelenítése során egy jelenség térbeli eloszlását ábrázoltam. Azt az eset vizsgáltam, hogy magas épületek esetén (például egy lakótelepi környezetben) milyen eloszlást figyelhetünk meg a lakásokba történő betörések esetén. Az 62. *ábra* egy létező lakótelep elméleti betörési statisztikáját mutatja, ez az egyetlen olyan tematikus térkép, melyhez nem találtam megfelelő forrást, így azokat magam generáltam. Egy 3D-s jelet (sárga gömböt) helyeztem azokba lakásokba, ahol betörés történt. Az 62. ábrán a bal oldali térkép mutatja, hogy a betörések száma emeletenként milyen eloszlást mutat, a jobb oldalin felülnézetből látható ugyanaz a terület. A térképen megfigyelhető, hogy az alsóbb emeleteken több betörés történik, illetve jelentős még a legfelső szinten, mert a tetőről könnyű a lejutás. Látható továbbá, hogy a tömbök között a lakótelep szélére szorult házakban gyakoribbak a betörések, mint a központibb, forgalmasabb területeken. A térképről olyan animáció készült, mely mind a horizontális és a vertikális állapotot is jól bemutatja: a kamera oldalnézetből folyamatosan emelkedve felülnézetbe megy, majd vissza.



62. ábra. 3D-s betörés mintatérkép. Egy sárga gömb található minden olyan lakásban, ahol betörés történt. A bal oldali térképen oldalnézetből a betörések vertikális eloszlása, jobb oldalon felülnézetben pedig a horizontális eloszlása látható a pontoknak.

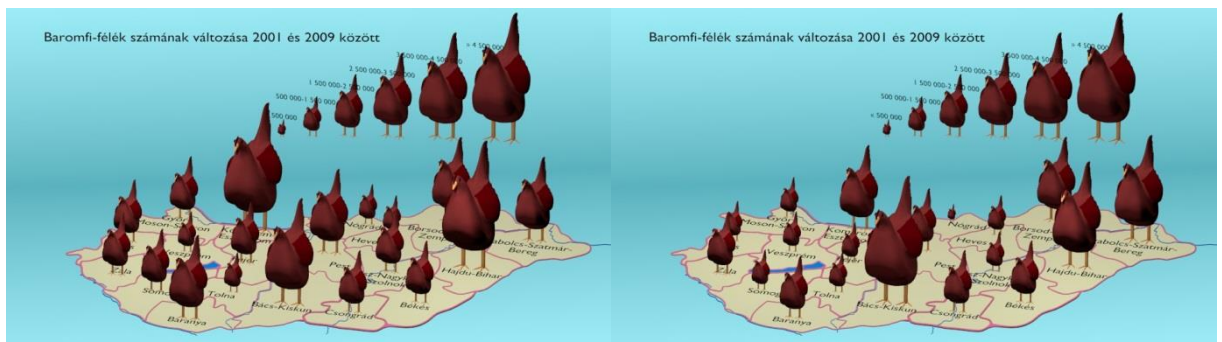
Kartogram módszer:

A 3D-s felületkartogram ábrázolás számos hátránnyal rendelkezik (lásd 1.1.1 fejezet, 9. ábra), viszont bizonyos esetben mégis jól alkalmazható. Erre példa az USA államainak népsűrűségét bemutató 3D térkép (63. ábra). Az egyes államok népsűrűségének értékeit az államok magassága reprezentálja, a színek segítik a szám adatok könnyebb leolvasását. Az USA népsűrűség térképe jól példázza az esetet, amikor egy terület értéke erősen kiemelkedik a többi közül (itt az északi-keleti part államainak népsűrűsége sokkal nagyobb az átlaghoz viszonyítva). A térkép interaktív formában tekinthető meg, hogy minden terület pontosan megvizsgálható legyen.



63. ábra. A 3D-s felületkartogram az USA államainak népsűrűségét mutatja be. A népsűrűség az észak-keleti parton jelentősen nagyobb az országos átlagétól, így ebben az esetben a kartogram módszer jól alkalmazható.

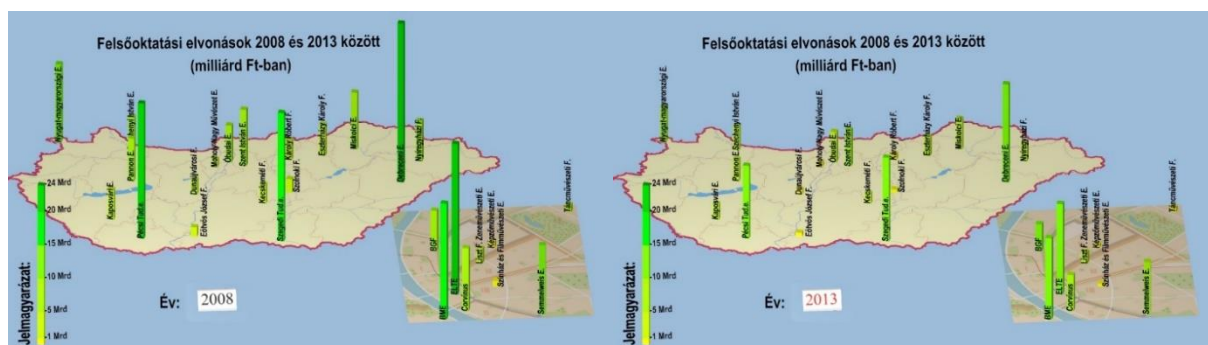
A 3D-s jelkartogram során egy terület értékét egy jel reprezentálja, melynek térképi mérete kisebb, mint a valóságban. Az elkészült térkép (64. ábra) animált, a baromfi-félék számának megyénkénti változását mutatja 2001 és 2009 között Magyarországon. A 3D-s jel egy képszerű modell, mely egy baromfit ábrázol. Két időpontot mutat be a térkép, a baromfiállomány számát megyénként 2001-ben, majd 2009-ben. A 3D modellek mérete annak megfelelően nő vagy csökken, hogy hogyan változik az állatállomány száma. A 3D-s piktogramok méretei egyenletesen csökkennek illetve nőnek, mivel két év adatait hasonlítom össze, nem vizsgálom annak dinamikáját. Az animáció segítségével nem kell két térkép között ugrálva összehasonlítani az egyes értékeket, egy animált térképet figyelve jóval egyszerűbben érzékelhetők a változások megyénként.



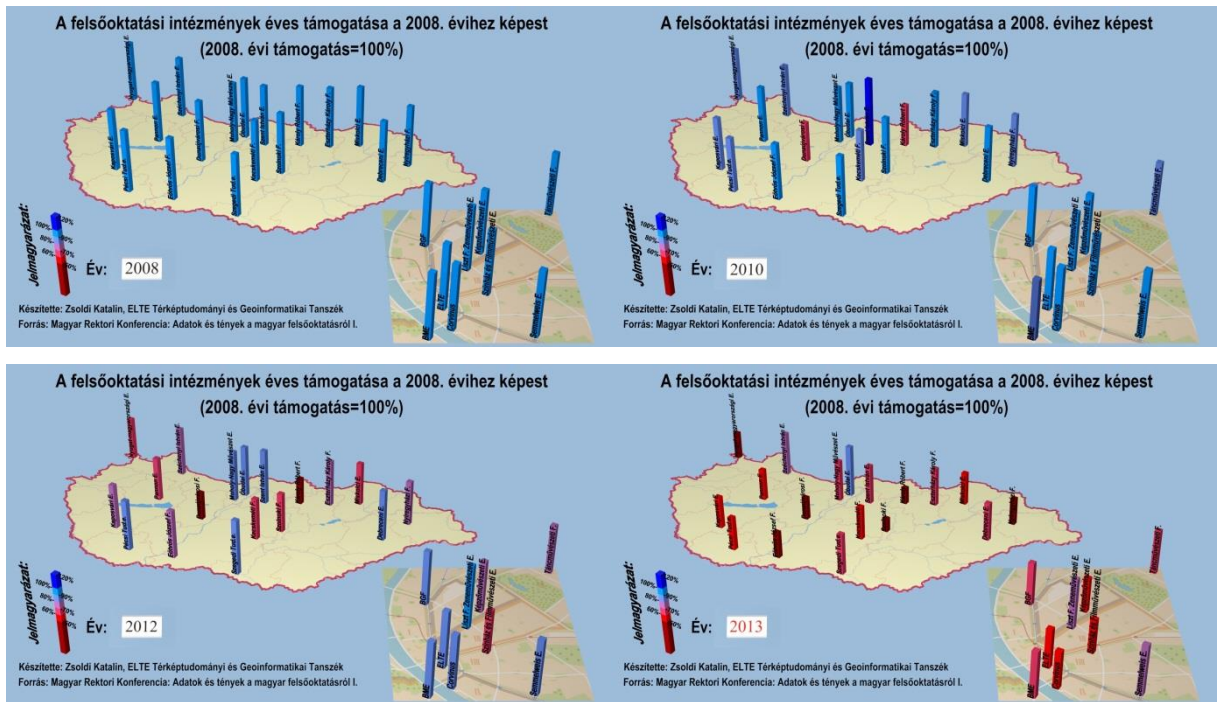
64. ábra. „Baromfi-félék számának változása 2001 és 2009 között” animált térkép részletei. A bal térkép a 2001-es állapotot, a jobb pedig a 2009-es állapotot mutatja. A tyúkok mérete lineárisan nő illetve csökken annak megfelelően, hogyan változott az állatállomány száma.

Diagram módszer:

A diagram módszer 3D-s megjelenítésére az 65. és 66. ábrákon láthatók példák. A térkép az állami felsőoktatási intézetek pénzügyi támogatását mutatja be 2008–2013 között éves bontásban. A térképnek az a célja, hogy bemutassa az állami támogatások csökkenését évről évre és láthatóvá váljon a pénzelvonási folyamat gyorsulása 2012 után. Mivel minden állami egyetem eltérő összeget kap, ezért a térképnek két változatát készítettem el. Az egyik a támogatás összegét milliárdban mutatja, a másik százalékos arányt. Ebben az esetben a 2008-as évet tekintetem minden egyetem esetében 100%-nak, majd ehhez az évhez képest viszonyítottam az adott évi támogatás értékét százalékban. A színek mindkét esetben az adatok pontos leolvasását segítik. Ez a módszer nagyon látványosan mutatja be a folyamat csökkenő tendenciáját: látható, hogy 2009-ben és 2010-ben voltak olyan egyetemek, amelyek kiemelt támogatást kaptak, a többségtől azonban pénzt vontak el, míg 2012 után már minden esetben jelentős csökkenést tapasztalható (66. ábra). A támogatások összegét milliárdban az 65. ábra reprezentálja.

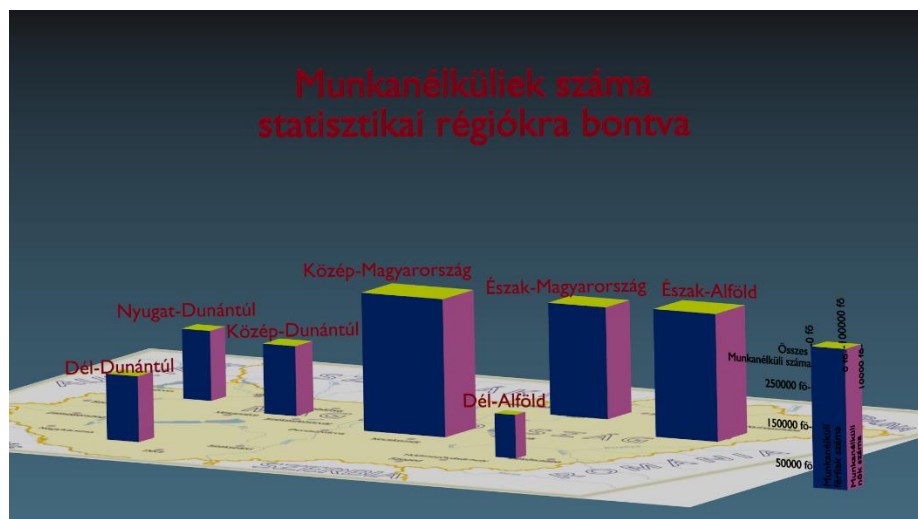


65. ábra. Részletek a „Felsőoktatási elvonások 2008 és 2013 között” animált térképből. Az animált térkép évenként mutatja be az állami támogatás mértékét milliárdban 2008 és 2013 között. A térkép ortogonális ábrázolásban lett megjelenítve, hogy a hátrébb fekvő oszlopok a perspektíva miatt ne tűnjenek kisebbnek.



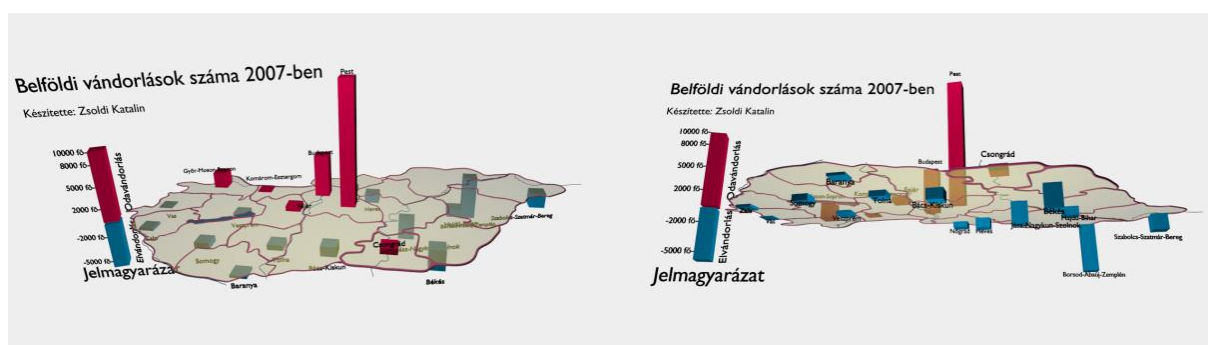
66. ábra. Részletek „A felsőoktatási intézmények éves támogatása a 2008. évihez képest” animált térképből. Az animált térkép évenként mutatja be az állami támogatás mértékét 2008 és 2013 között. A 2008-as állapot a viszonyítási év, ezt tekintetem 100%-nak, a többi éves adat ehhez az évhez viszonyul. Az oszlopok színei segítik az értékek leolvasását, egy oszlop színt vált, ha kategóriát vált.

A diagram módszer egy speciális fajtájáról készítettem példatérképet, mely során egy oszlop három különböző értéket ábrázol (67. ábra). Munkanélküliségi adatokat jelenítettem meg: a férfi (szélesség), a női (mélység) és az összes munkanélküli számát (magasság). A színek az egyes adatok leolvasását segítik. A térkép ortografikus nézetben készült, így a perspektív torzulás nem zavarja az adatok leolvasását. Ez az ábrázolási mód félvezető lehet, mert a Közép-Magyarországi régióban a munkanélküliség nagyságrendekkel (körülbelül 20-szor) nagyobbak tűnik, míg a valóságban csupán háromszoros az eltérés az összes munkanélküliek számát tekintve. A térképi adat helyes leolvasása kulcsfontosságú a pontos értelmezéshez. Az egyes adatokat, mint szélesség, mélység és magasság egymáshoz viszonyítva, kategóriánként kell leolvasni. A módszer hátrányától eltekintve jól mutatja, hogy a munkakeresők között a férfiak száma magasabb.



67. ábra. Munkanélküliek száma statisztikai régiókra bontva. Egy oszlop három adatot ábrázol, a szélesség- kék a férfi, a mélység- rózsaszín a női, a magasság- sárga az összes munkanélküliek számát jelöli. A térkép ortogonális ábrázolásban lett megjelenítve.

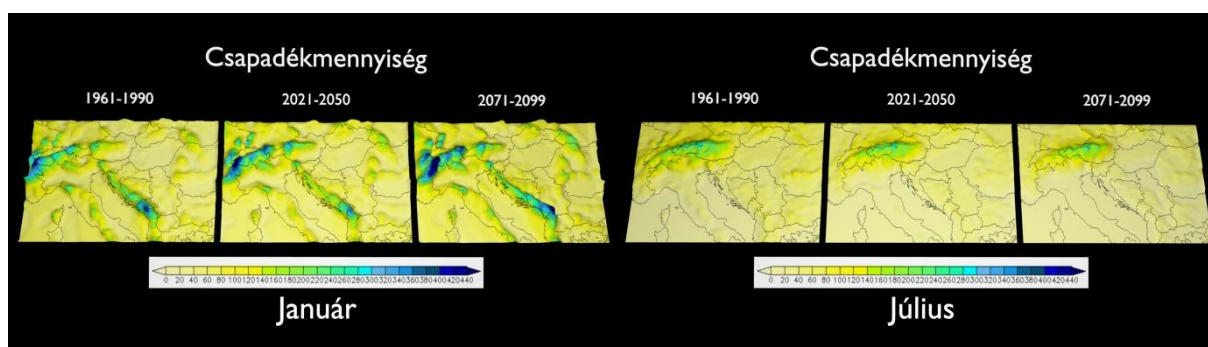
A 68. ábrán egy animált tematikus térkép látható, mely Magyarország vándorlási adatait mutatja be megyénként 2007-ben. Az 1.1.1 fejezetben ismertetett diagram módszert alkalmazom, a 3D-s oszlopdiaagramok segítségével a pozitív és negatív adatokat új formában jelenítem meg. Egy megyébe történő bevándorlás esetén az oszlop az ország síkja fölött található, kivándorlás esetében pedig a sík alatt. A 3D-s térkép jól szemlélteti a pozitív és negatív értékeket. Az animáció bemutatja a sík fölötti és alatti területet is, az ország „billegő” mozgásával mind a kétféle érték jól megfigyelhető.



68. ábra. A térkép a belföldi vándorlás számát mutatja megyénként 2007-ben Magyarországon. Az ábrázolás a diagram módszer 3D-s változata, egy megyébe való bevándorlás esetén a 3D-s oszlop az ország síkja fölött (balra), elvándorlaskor a sík alatt található (jobbra).

Izovonalas módszer:

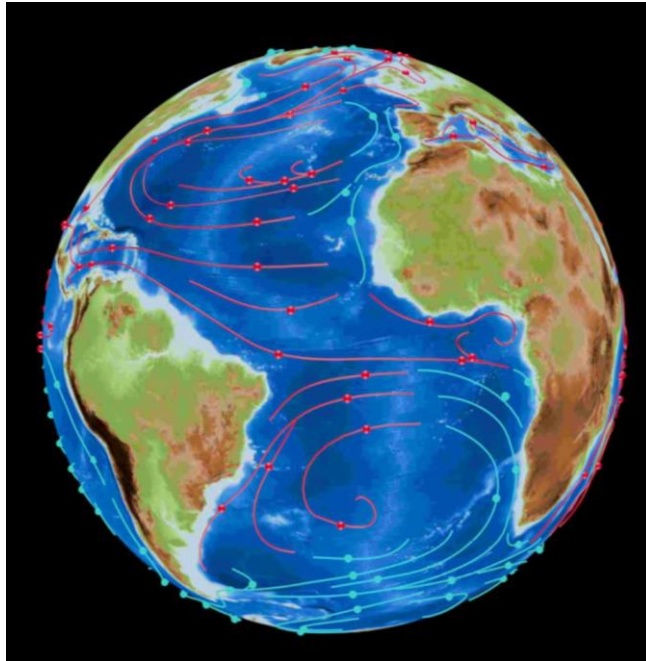
Az 69. ábrán látható térképek a 3D-s izovonalas ábrázolást prezentálják. Átlagos havi csapadékmennyiséget ábrázoltam, folytonos izovonalas megjelenítéssel. Az ábrán három térkép látható egymás mellett, ugyanannak a területnek három eltérő időintervallumban ábrázoltam a havi átlagos csapadékmennyiséget. Egy múltbeli és két – meteorológiai modell alapján számolt – jövőbeli csapadékmennyiségi értékeket mutatnak a felületek. A három területet összehasonlítva láthatóvá válik a várható csapadék mennyisége 25 vagy 50 év múlva. A térkép animált, a havi átlag csapadékmennyiséget szemléltető felületek „ugráló mozgással” mutatják az évi eloszlást. Az ugráló mozgást a nem folytonos adatváltozás miatt alkalmaztam. Az animáció januártól havi ciklusban decemberig mutatja az egy éven belüli csapadékmennyiséget, színezése a halvány sárgától (0 mm) a sötétkélig (440 mm) terjed. Egy színskálát alkalmazok a teljes évre, ugyanaz az értékbeosztása a januári és a júliusi hónapnak is, ezáltal összehasonlíthatók az egyes térképek. Ez az ábrázolási megoldás komplexebb, mint a korábbiak, ezért a térképet bemutató videót többször célszerű megtekinteni. A térkép szélesebb körben alkalmazható, ha a térképen csak egy időintervallum kerül ábrázolásra.



69. ábra. Részletek a „Havi csapadékmennyiségek” című animált térképből. A havi átlagos csapadékmennyiséget 3D-s felület ábrázolja. A felület kiemelkedésének mértéke és színe együtt jelzik a csapadék mennyiségét. Három időintervallumot mutat egyszerre a térkép, ebből látni lehet a várható csapadékot a közel- és távoljövőben. A felületek animált ugráló mozgással mutatják be, hogy egy év alatt hogyan változik a csapadék mennyisége januártól decemberig.

Mozgásvonal módszer:

A mozgásvonal módszerrel készített példatérkép az óceánok áramlását mutatja be animált térkép formájában. Az 70. ábrán látható a Földgömbön a hideg és meleg áramlatok és azok útvonala kék és piros 3D-s vonallal ábrázolva. A vonalakon kék és piros gömbök futnak végig, ezzel a tengeráramlás irányát mutatták be. A Föld az animáció közben forog, így az teljes egészében megtekinthető. A térkép videó formában tekinthető meg.



70. ábra. A hideg és meleg tengeráramlást mutatja a térkép, a vonalakon végigfutó gömbök mutatják az áramlások helyét és irányát.

Komplex térképek:

Az egyes tematikus ábrázolási módszerek egymással jól kombinálhatók, erről az 1.1.2 fejezetben írtam részletesen. Az 71. ábrán az izovonal, jel- és a diagram módszert alkalmazom egy térképen, mely Afrika országainak ásványkincseit és GDP-jét ábrázolja egyidejűleg. A térkép alapja egy kontinens és tengerfenék domborzatmodell, melyre egy, az afrikai országokat bemutató térkép van textúrázva. Ebben az esetben a térképi alapot nem én rajzoltam, egy Afrika országait bemutató hagyományos térképet választottam. Erre a felszínre kerültek 3D-ben a jelek, melyek az ásványkincseket mutatják, illetve az oszlopdigramok, melyek a GDP-t prezentálják. A térképnek az a célja a két különböző tematika bemutatásával, hogy az olvasó láthassa, hogy mi a kapcsolat az ország természeti értékei és fejlettsége között.



71. ábra. A térkép az Afrikai országok ásványkincseit és GDP-jét mutatja be a 3D-s jel és diagram módszerrel. A két tematika együttes alkalmazásával vizsgálható, hogy egy ország ásványkincsei és gazdasági fejlettsége között milyen kapcsolat van.

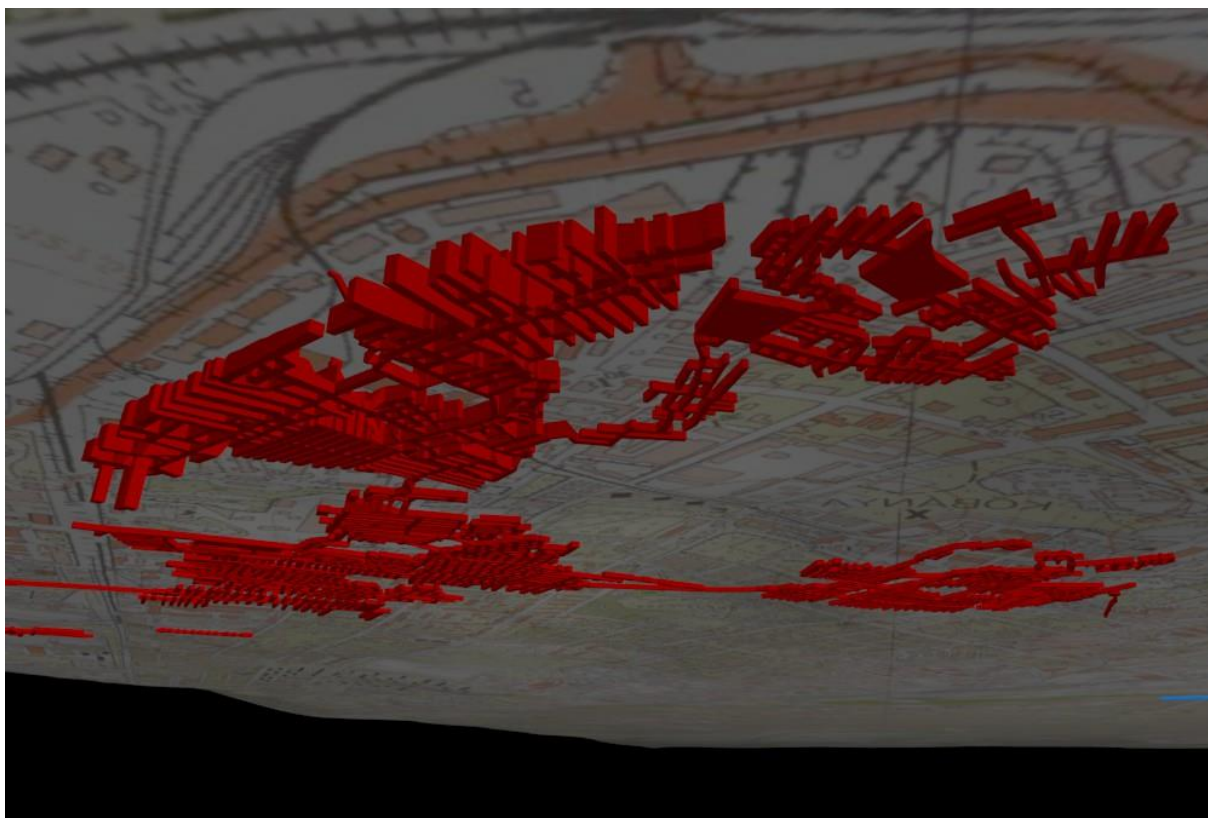
Az Európa földrajzi övei térkép (72. ábra) a 3D-s izovonal, felületi és diagram módszereket kombinálja egymással. Az interaktív alkalmazás Unityvel készült, mely szabadon forgatható és nagyítható, a tematika interaktívan jeleníthető meg. A térkép alapja egy felületmodell, melyre két textúra került, egy hagyományos domborzatszínezéses hipszometria vízrajzzal kiegészítve és egy Európa földrajzi öveit bemutató térkép. Az alkalmazásban a *Domborzat* és *Földrajzi övek* gombokkal lehet váltani a megjelenített textúrák között. A térképen 3D-s diagram módszerrel ábrázoltam az évi középhőmérséklet és csapadékmennyiség adatokat. A térképen hat város került ábrázolásra, a megjelenített csapadék és hőmérsékleti adatokat ezeken a településeken mérték. A várost egy fekete gömb szimbolizálja, mely 3D-s szöveggel van megírva, a feliratok mindig a kamera felé fordulnak. Az alkalmazásban létrehozott csúszka állításával lehet az egyes havi értékeket megjeleníteni januártól decemberig. Az oszlopok magassága (a csúszka változtatásával) az adott havi értéknek megfelelően változik. A hőmérsékleti diagramok pozitív adat esetén piros, negatív esetben kék színűek. A diagramokon szerepelnek hőmérsékleti illetve csapadék beosztások, a feliratok 3D-szek és a kamera felé fordulnak. 3D-s felületi módszerrel van az egyes földrajzi övezetekre jellemző növényzet ábrázolva. A fenyő, lombos erdő, stb. jelek 3D-s modellként kerültek ábrázolásra. Az alkalmazásban a *Hőmérséklet*, *Csapadék* és *Növényzet* gombokkal az egyes tematikák láthatósága ki- és bekapcsolható. A *Jelmagyarázat* gombbal egy panel nyílik le, mely a 3D-s növényzeti jelek, illetve a földrajzi övek textúra színeit magyarázza meg.

3.4.2 Budapest földalatti 3D-s térkép

A kőbányai pincerendszer, egy 180 ezer m² kiterjedésű járatrendszer Kőbánya területe alatt, mely az itt található szarmata mészkő bányászata során keletkezett. A kőbánya tulajdonosa jelenleg a Dreher Sörgyár illetve Budapest X. kerülete. A mészkő bányászata évszázadokra tekint vissza, de fellendülése a 19. századra volt jellemző, a főváros számos épülete ebből a mészkőből épült fel (Wikipedia, 2014a). A bányászat kezdeti szakaszában, 15–18. században keletkezett járatok szabálytalan elrendeződésűek (73. ábra, 74. ábra), ezeken a részeken több beomlás is történt, később a 19. században már a fésűs elrendeződésűek (N. Kósa, 2007), továbbá minden járat padlószintje és belmagassága eltérő. A kőbányaihoz hasonlóan nagy kiterjedésű mészkőbánya Budafokon volt, az ott található pincerendszer több szintes (például a Törley pezsgőgyár pincéje), de itt találhatóak barlanglakások is (*Budapest Lexikon 131.old.*).

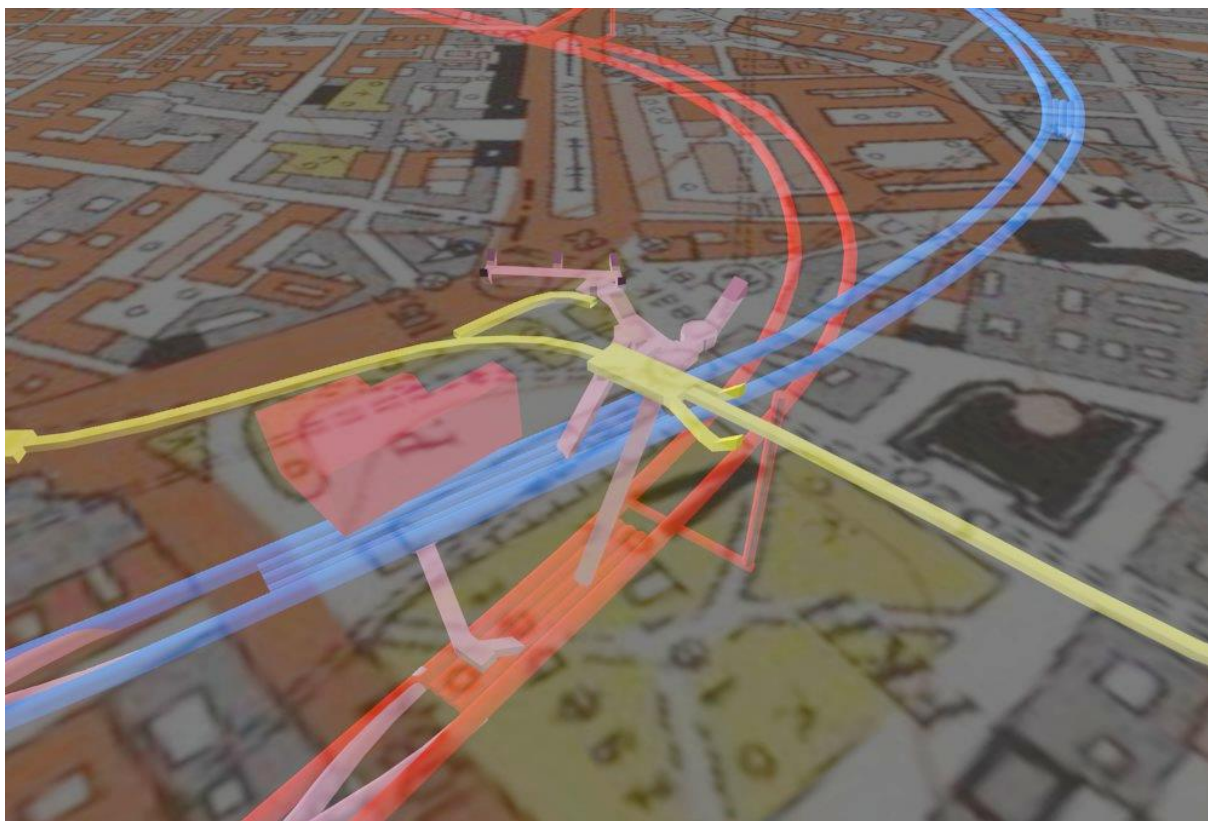


73. ábra. A Kőbányai pincerendszer Dreher sörgyárhoz tartozó területe.



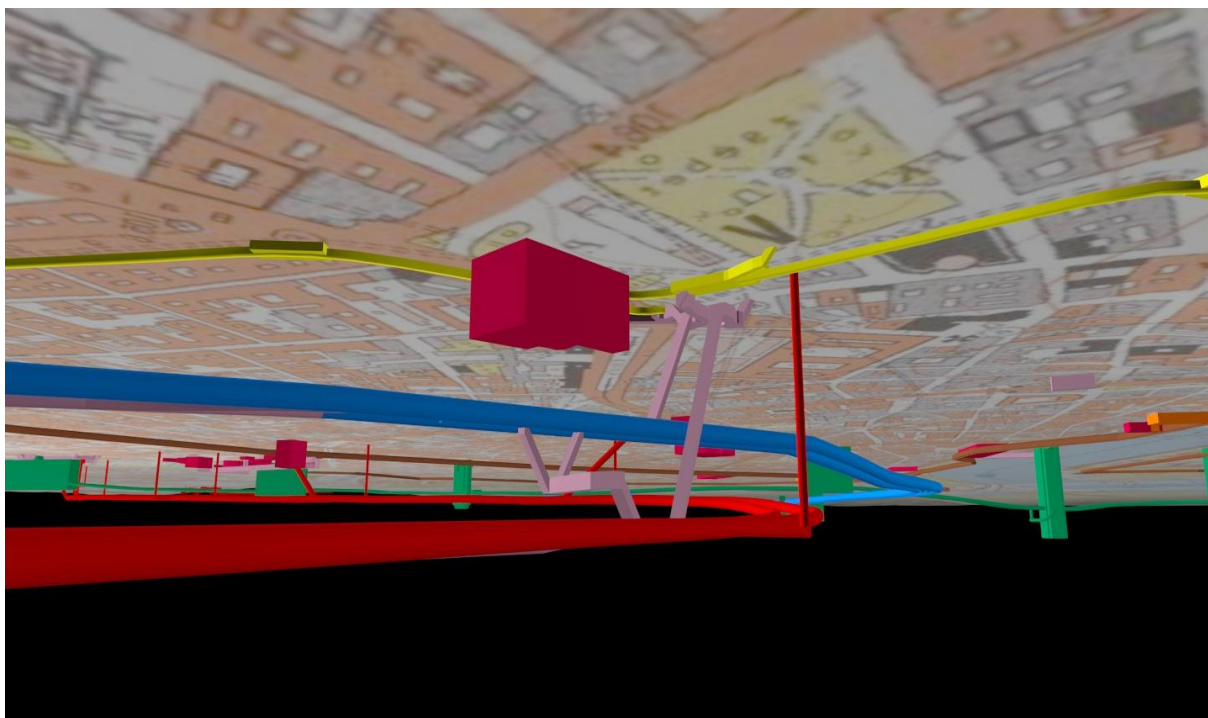
74. ábra. Kőbányai pincerendszer alulnézeti képe. Az egyes járatoknak eltérő a belmagassága, illetve a padlósíntje.

A Deák tér (és az Erzsébet tér) alatt található az 1,2 és 3-as metró vonalak csomópontja (Ábrahám, 1982), a 75. ábrán látható az egyes vonalak egymáshoz való térbeli viszonya az átszállási lehetőségekkel. A kiscsillag alatti Deák téri (akkori Gizella tér) állomását a 2-es metró építésekor, 1955-ben áthelyezték (Benedek, 1982), a régi állomásban és az üzemén kívüli 60 méteres járatrészben Földalatti Vasút Múzeumot alakítottak ki (bkv.hu), mely 1975-ben nyílt meg. A metró vonalak színezésére a sárga- piros- kék- zöld színeket választottam, lásd a 3.2 fejezetet. A Földalatti Múzeum besorolása a meglévő kategóriákba nehezen illet, továbbá ez az egy objektum miatt nem hoztam létre múzeum kategóriát, így az 1-es metró színezését kapta, itt az eredeti funkciót tartottam szem előtt.



75. ábra. Deák tér, metróvonalak csatlakozása. A képen láthatók a metróvonalak és állomások sárga, piros és kék színnel, az aluljáró és az alagútrendszer rózsaszínnel, mely az egyes vonalakat köti össze.

A 2-es és 3-as metróvonalak légtalmai óvóhelyek is egyben, a hidegháborús években ide lehetett volna menekülni egy esetleges támadás elől. A metróvonalak esetében az óvóhely funkciót másodlagosnak tekintettem, így azokat narancssárga színezéssel nem láttam el. A Deák téren az Adria- palota épületébe (ma Le Meridien) 1950-ben költözött be a Budapesti Rendőr- főkapitányság. Több forrásszemély is leírást adott arról, de mára csak városi legendának tekinthető, hogy az épület összeköttetésben van a 2-es metró alagútjával. Egy, a 2-es metró nyomvonalát és a szellőzőit bemutató tervrajz a Deák téri szellőző aknát a volt rendőr főkapitányság épületéhez helyezi. A tervrajz alapján a szellőzők felszerelésre kerültek térképre, de további pontosabb tervrajz hiányában az nem mutatja a lehetséges kapcsolatát az épület pincéjével. További városi legenda, hogy a kor fontos épületei pl. a Parlament, a Rendőr- főkapitányság, a Városháza és az akkori Moszkva téri Postapalota összeköttetésben vannak a 2-es metróval, így az egyenes kijutást biztosítson a hivatali épületekből a Déli illetve a Keleti pályaudvarra, ahonnan vasúton könnyen ki lehet menekülni a városból. Levéltári kutatásaim során nem sikerült olyan konkrét tervrajzot találnom, mely alátámasztaná a 2-es metró kapcsolatát ezekkel a létesítményekkel, bár elhelyezkedésük valóban közeli a vonalakhoz.



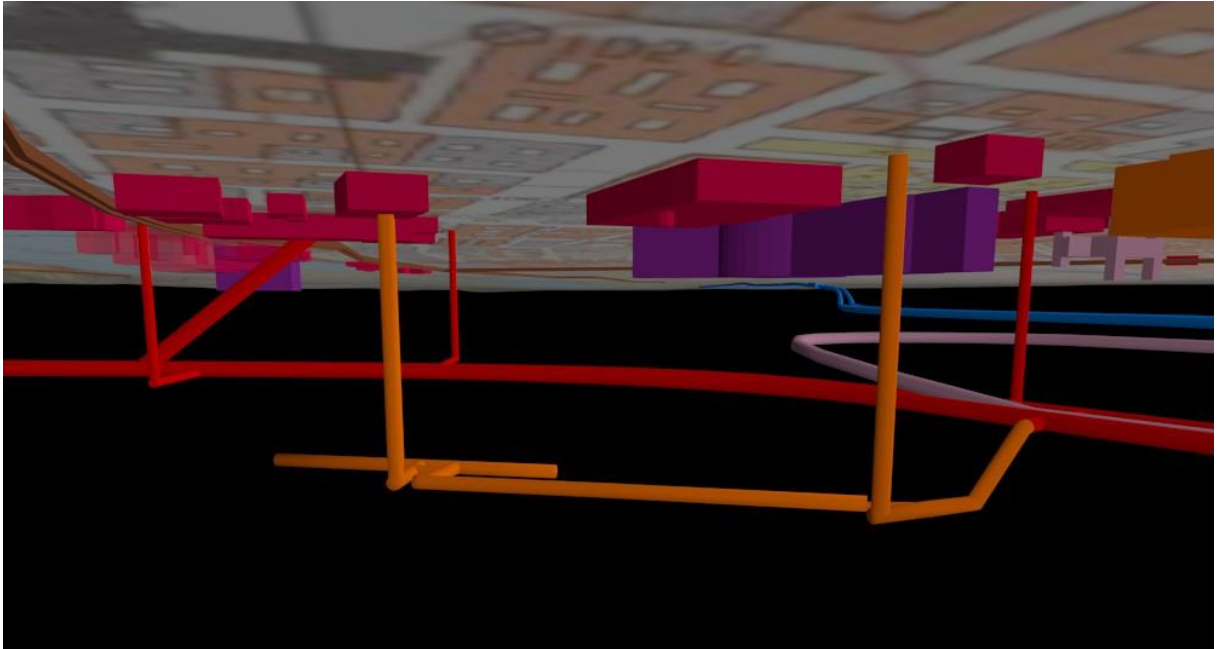
76. ábra. Deák tér alulnézetből. Középen magentával az Akvárium Klub látható, közelében a metróvonalak, az egyes átszállási lehetőségekkel.

Az Erzsébet téren 1998 márciusában kezdték el építeni az új Nemzeti Színház épületét, de az alap kiásása után az építkezést 1998 októberében leállították, mert túl drágának bizonyult. A téren maradt gödör helyén egy kulturális programoknak helyet adó szórakozóhely létesült a Gödör Klub, mely jelenleg Akvárium Klub néven üzemel. A 3D-s térképen jól átláthatók (76. ábra) a tér alatt található különböző létesítmények: a metróalagutak, az alagúthoz tartozó szellőzők, a 2-es és 3-as metró közti direkt átszállási kapcsolat, a mozgólépcsők, az aluljáró, a múzeum és a szórakozó hely.

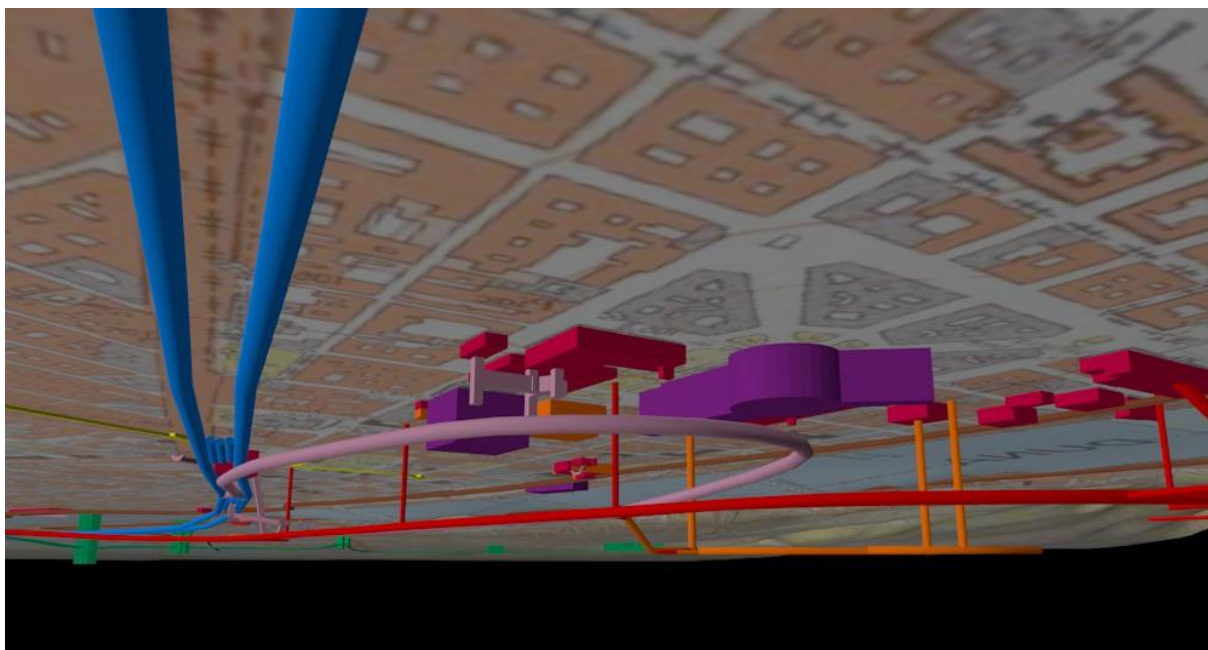
A Szabadság tér és Kossuth tér közötti területen 16 emelet mélységében egy 3500 négyzetméteres, 2200 ember befogadására alkalmas atombunker, az F4 található (77. ábra). A létesítmény a 2-es metró építésekor készült (1952 és 1963 között) azzal a céllal, hogy Rákosinak és az akkori pártvezetésnek háborús helyzetben védelmet nyújtson. Alaprajza közel H alakú, a bejárata a Steindl Imre és Zoltán utcából (a párt épületeiből), vészkijárata a 2-es metró alagútjába és a Szabadság téri alagúti főszellőzőbe nyílik (78. ábra) (Szabó, 2011). A bunkerhez közel található a 2 és 3-as metró közti összekötő alagút (ez az alagút félkörívben köti össze a 2-es és 3-as metróvonalat, ezzel biztosít vasúti átjárást a két vonal között) (79. ábra).



77. ábra. Szabadság tér és környéke felülnézeti képe. A 2-es metró piros, a 3-as metró kék színnel van ábrázolva. Az F4-es atombunker narancssárgával látható.



78. ábra. F4 atombunker földalatti látképe. Mögötte sötétlilával a Szabadság téren található mélygarázs, magentával a tér környéki pincék láthatók.

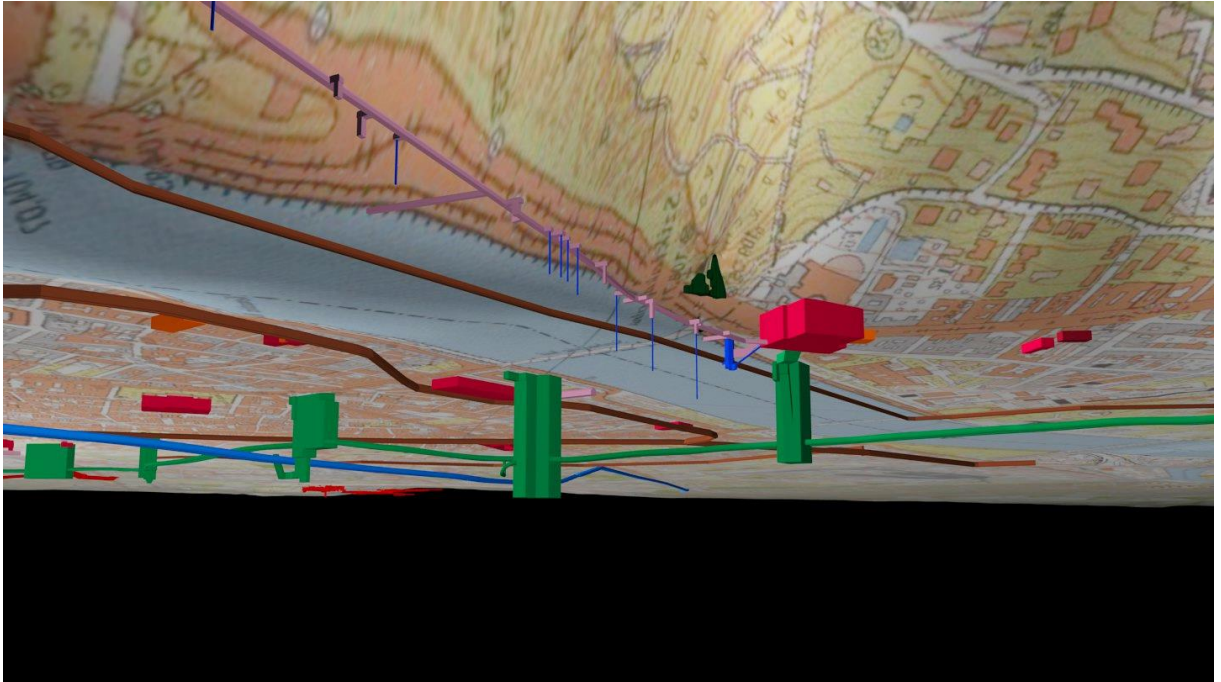


79. ábra. M2 és M3-as vonalakat összekötő alagút földalatti látképe rózsaszínnel látható, mögötte a Szabadság tér található.

A Parlament alapozási szintje a Duna nullszintje, az alapozás mélysége, vastagsága 2 és 4,7 méter között változik. A modell megszerkesztéséhez jól használható tervrajzot nem sikerült a levéltárakban találnom, továbbá pontos tervrajzok hiányában a Parlament pincéjében található óvóhelyet továbbá a hűtő-fűtő rendszer közműalagútjait (N. Kósa, 2007) sem tüntettem fel. Ezért csak áttetsző magentával, jelzés szinten ábrázoltam a pincéjét a mellette újonnan megépített mélygarázs és látogató központ miatt (77. ábra).

A Gellért tér alatt és környezetében számos eltérő funkciójú objektum található (80. ábra). Megtalálható a 4-es metró Gellért téri állomása, a metróalagút és a Duna-menti főgyűjtő csatorna. Rózsaszínnel látható a térképen a Gellért táró, mely egy földalatti alagút, a Gellért és a Rácz fürdőket köti össze, leágazás nyílik a Rudas fürdő felé. Az alagút közel 1100 méter hosszú, 1969 és 1978 között épült (Tenczer, 2009). Az alagútból kutak mélyülnek le, melyek közül egyesek a fürdők vízellátását biztosítják. Az építésnél fontos volt, hogy a források vize a Duna vizével ne keveredjen, továbbá felfogják a szökevényforrásokat is. A Gellért táró építésekor, a térhez közel felfedeztek egy aragonit barlangot, mely vélhetőleg összeköttetésben van a fölötté található sziklatemplommal. A tér alatt, a Szabadság híd lábától pár méterre található a Gellért-ösforrás, melynek 1896-ban beton talapzatot építettek, a fürdő alagsorából közelíthető meg egy folyosón keresztül. Mára használaton kívül van a forrás, mert vize keveredik a Dunával. A Sziklatemplom egy természetes képződésű barlangban, a Szent Iván-

barlangban található, melyet mesterséges úton alakítottak tovább. Az 1920-30-as években hozta létre a Pálos rend itt a templomot, melyet 1950-ben a kommunisták bezárták, a kolostor a Magyar Nemzeti Balett Intézet kollégiumaként funkcionált. A Pálos rend a templomot és a kolostort 1990-ben nyitotta meg újra (Ungváry, 2012). A templomból nyíló kolostort a hegy oldalára építették, az nincsen a földbe süllyesztve.



80. ábra. A képet a Gellért-hegy gyomrából szemléljük. Látható a Gellért táró rózsaszínnel, az ebből lenyúló kutak késsel, a Sziklatemplom sötétzölddel, a 4-es metró nyomvonala zöld, illetve a Budai főgyűjtő csatorna barnával. Magentával a Gellért fürdő pincéje van ábrázolva, késsel az onnan megközelíthető ősforrás.

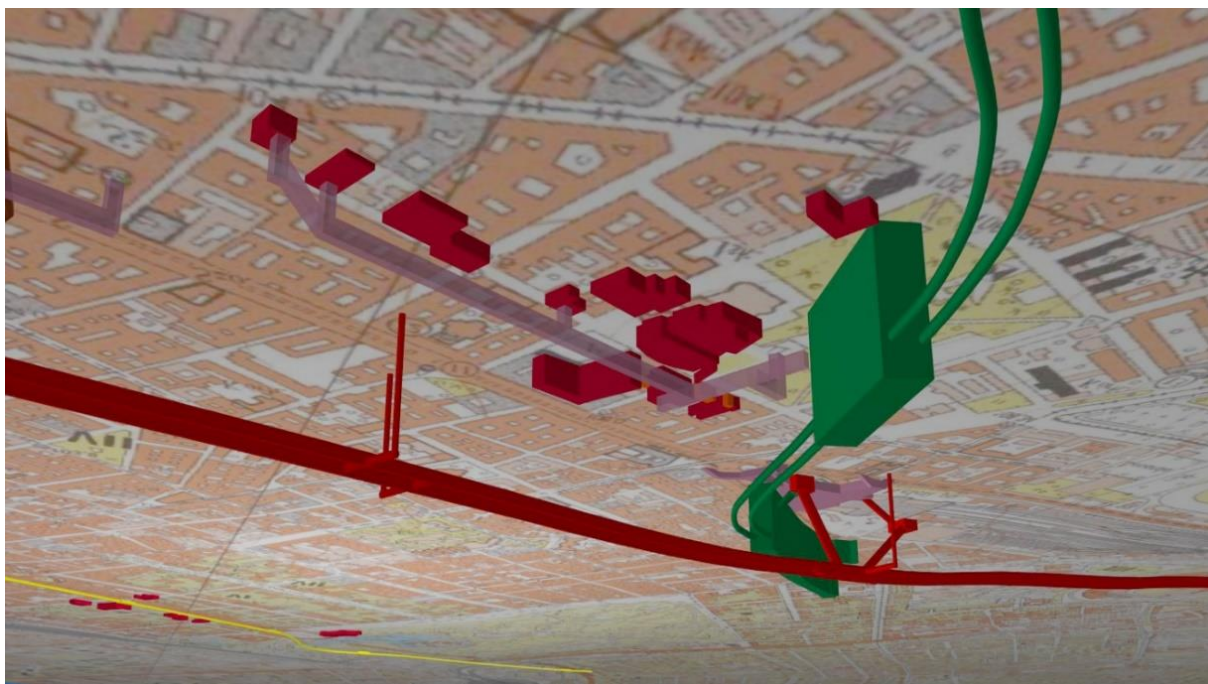
A Köztársaság térhez tartozó földalatti objektumokhoz köthető a legtöbb városi legenda, a titkos járatokat főként a második világháború után (81. ábra), a Rákosi korszak idején használhatták; terv- és levéltári kutatásaim során konkrét bizonyítékot alig sikerült ezek létezésére találnom. A térhez kapcsolódó titkos alagutakról és az Andrassy úthoz köthető pincebörtönökről Dézsy Zoltán riporter forgatott egy két részes dokumentumfilmet, akit személyesen is felkerestem a témában. A kommunista diktatúra alatt számos létesítmény szigorúan titkos volt, melyek tervezése és kivitelezése teljesen titokban folyt pl. az F4 atombunker; a terveket a párthoz hűségű szakemberek készítették ellenőrzött keretek között (Szabó, 2011). Valószínűsíthető, hogy számos tervet megsemmisítettek a rendszerváltáskor, az alagutakat homokkal, sóderrel töltötték fel, a bejárásokat befalazták. Az egyes objektumok így gyakorlatilag nem kutathatók, elfalazások sejtetik azok nyomait. Több szemtanú ad viszont pontos leírást arról, hogy melyik épületeket kötötték össze a földalatti alagutak.



81. ábra. Köztársaság tér felülnézeti képen. Látható a képen a 2-es és 4-es metrók nyomvonala, továbbá a térhez kapcsolódó pincék és az alagút, melynek létezése nem bizonyított.

Szemtanúk leírása alapján (Dézsy, 1994) földalatti alagút indult a Csokonai utca 14-ből, mely tovább haladt a Bezerédi utca és a Köztársaság tér felé, ahol az MSZMP Budapesti Bizottság Székháza állt. A rendszer ellenzői tüntek el 20-30 fős csoportokban ezekben az alagutakban. Nagyobb lejáró volt a Bezerédi utca 5-ben, továbbá a 17-es épület is a párthoz tartozott, melyet magas beton és drótkerítés véd a mai napig. A pártszékház földalatti összeköttetésben lehet a Köztársaság téren található Erkel Színházzal (Kádár János a színházi előadások előtt a pincéből tünt elő), továbbá a tér közepén található volt szoborral. Az 1956-os forradalom során harcok folytak a téren, az ott tüntetők zajokat, dörömbölést és segítségkérő kiáltásokat hallottak a föld alól, miszerint ott fogva tartanak embereket. Ezek a járatok „pincebörtön” néven lettek hírhedtek, az emberek ásni kezdtek a téren, hogy kiszabadítsák a fogvatartottakat. Pár nappal később a mozgalmat leverték, a teret ezután nem lehetett megközelíteni, és az ablakokat kötelezően el kellett takarni 6 óra után, elkerülve a leskelődéseket. Egy szemtanú azonban látta, hogy napokkal később halottak testeit emelik ki a csatornából. A történészek vegyesen ítélik meg a Köztársaság téri 56-os eseményeket, a történész szakma szerint nem volt hallható semmilyen segélykérés, csupán hisztériakeltés volt.

Az 56-os események során a tér felásásakor nem sikerült bizonyítékot találni a pincebörtönre. Dézsy Zoltán geofizikai mérést végeztetett a téren, amely kimutatta, hogy egy nagyobb sűrűségű járat-féle található a színháznál a föld alatt, de pontosabb meghatározás nem lehetséges. A pártszékházban egy csigalépcső található, melynek bejárata el van falazva, így nem lehet tudni az hova vezet. Tervtári kutatásom során tervrajzot találtam az Erkel Színház pincéjében található katakombarendszerről, illetve egy a tervre szaggatott vonallal berajzolt alagútszerű kijáratot a tér felé, de semmilyen magyarázó szöveg nem szerepelt mellette, így ezt nem tudom bizonyítékként kezelni azt az alagút meglétére. Az összes érintett Bezerédi utcai ingatlanról megvizsgáltam a levél és tervtárban megtalálható tervrajzokat, de azokon mindig csak szigorúan az elvégzett munkákról lehetett anyagot találni (pl. Bezerédi 17-ben benzintároló és adagoló kiépítése, továbbá a kerítés átépítése), az épület egészéről nem. A térkép elkészítésekor mérlegelnem kellett, hogy melyek azok az objektumok, amelyeknek létezése kellően bizonyított az ábrázolásra és mi az, ami csupán legenda maradt. A térképre felszerkesztettem azoknak a polgári házak pincéit, amelyek az érintett területhez kapcsolódnak és adataikat levéltári kutatás során megtaláltam, hogy minél részletesebb képet kaphassunk a környék földalatti objektumairól. A Bezerédi utca és Köztársaság tér alatt található alagutak létezését bár bizonyítani nem tudtam, a sok közvetett nyom (lefalazások; a Köztársaság 26 furcsa csigalépcsője) és szemtanúi leírás miatt átlátszó rózsaszínnel mégis ábrázolása került a térképen, ezáltal bemutatva lehetséges helyét. A térképen látható az utóbbi pár évben megépült 4-es metró II. János Pál Pápa téri megállója. Látható, hogy a megálló a tér túlsó felén található, a korábban leírt objektumokat kikerüli, a metró jóval mélyebben halad el, továbbá nyomvonala is pont a feltételezett titkos alagút mellett fut, kikerüli azt (82. ábra).



82. ábra. A volt Köztársaság tér alatti terület, a feltételezett alagúttal (átlátszó rózsaszín).
Zölddel a 4-es metró látható, előtérben a II. János Pál pápa térrel, mögötte a Keleti
pályaudvar metróállomásai és aluljárója.

3.5 Megjelenítés

A 3D-s térképek készítésének utolsó munkafázisa a megjelenítés, mely során a térkép kép, videó vagy interaktív formában kerül megjelenítésre. Ha egy térképen animációt alkalmaztam, azt videó formában jelenítettem meg. Az előző fejezetben részletesen írtam az egyes animált megjelenítésekről, illetve a kamera mozgásokról, ezekről mind videó készült. Azok a térképek, melyek nem rendelkeznek animációval, azokról területi berepülést készítettem, erről szintén videók készültek. Néhány térképet interaktív állományként mutatok be, pl. betörési statisztika, USA népsűrűsége vagy Afrika ásványkincsei térképeknél. A videóknak mind készült egy sztereo változata, melyet a különböző 3D-s eszközökön valódi 3D-ben megtekinthetők. A videók és interaktív állományok publikusak, az alábbi linkeken megtekinthetők: <http://zskata.web.elte.hu/4D.html>, <http://zskata.web.elte.hu/anim.html>.

A Budapest földalatti térképéről szemléltető videókat készítettem, ezek a honlapomon a <http://zskata.web.elte.hu/bp.html> linken megtekinthetők. A térképet interaktív formában is elkészítettem, PC-n és tableten tekinthetők meg. Sztereoszkópikus interaktív 3D-s változatát az ELTE Vizualizációs Centrumban lehet megtekinteni. Az interaktív állományok adatvédelmi okokból nem kerültek fel a webre, csak a videók publikusak.

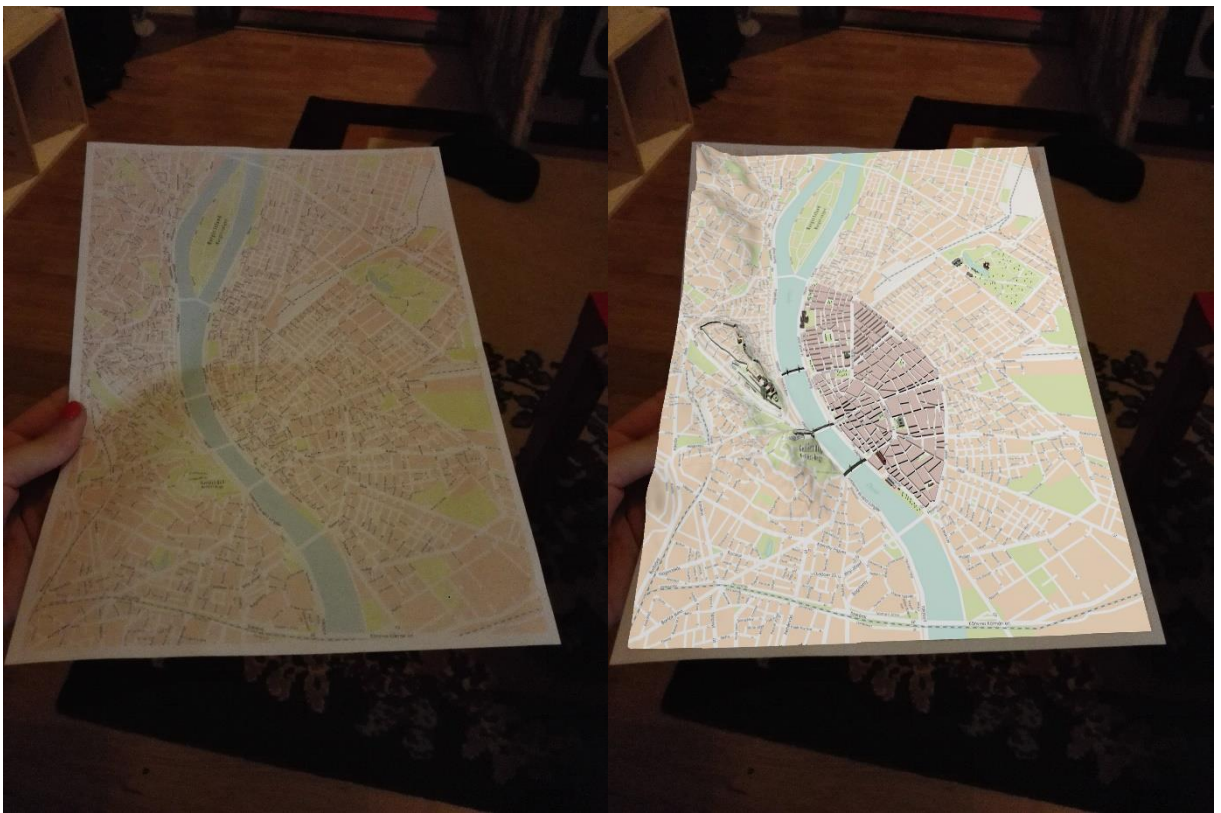
4. A 3D-s ábrázolási módszerek alkalmazási területei

Az általam kutatott 3D-s ábrázolási módszereket abból a szempontból vizsgálom, hogy milyen területeken alkalmazhatjuk őket? Szükséges-e a 3D technológia használata? Ha igen, akkor milyen térképolvasói rétegnek szól, és milyen célra lehet felhasználni?

Egy térkép szerkesztése és tervezése esetén számos tényezőt kell az alkotónak, térképésznek figyelembe vennie. Mi a térkép célja, üzenete? Kinek készül a térkép, ki az olvasó? Milyen térképolvasási és értelmezési készségekkel, kompetenciával rendelkezik? Mi a térkép felhasználásának helye és ideje (Häberling, 2008)? Ezek a tényezők mind befolyásolják azt a döntéshozatalt, mely során a térképész kiválasztja a legjobb vizualizációs ábrázolási módot. Bizonyos esetekben továbbra is a hagyományos 2D-s ábrázolás a legcélravezetőbb ábrázolási mód, például alaptérképek, nagy méretarányú nyilvántartások esetén vagy olyan adatok megjelenítésekor, ahol a harmadik dimenziónak csekély szerepe van. Bizonyos esetekben a 3D-s ábrázolás alapkövetelmény, melyeket a 2D-s technológia nem tud kielégíteni teljes körűen: domborzatmodellek, térbeli elemzések, virtuális városok, stb. Számos esetben pedig egyaránt jól alkalmazható a 2D-s és 3D-s ábrázolás is, a pro és kontra érveket figyelembe véve a térkép készítője dönt. Ha a térkép fiataloknak szól, ismeretterjesztő célt szolgál vagy fontos, hogy a térképre felfigyeljenek, akkor a 3D-s technológia alkalmazása javasolt. Szintén célszerű olyan komplex elemzések esetén alkalmazni 3D-s térképeket, ahol sok adatot kell egyidejűleg ábrázolni, összehasonlítani, ha azok egymásra való hatását kell vizsgálni, a térkép animált vagy térbeli összefüggéssel rendelkeznek. Ha a térkép nyomtatásban jelenik meg, akkor a 2D-s ábrázolás a célszerűbb, digitális megjelenítés esetén a térkép célja dönti el a technológia megválasztását. Természetesen nyomtatásban is alkalmazhatók a 3D-s térképek, egy látványos jel, diagram, izovonalas módszerrel készült térkép is adhat jól érthető, szép végeredményt, de a 3D-s térképek a digitális megjelenítés során tudják a legtöbb információt átadni az olvasónak. Véleményem szerint a hagyományos és a 3D-s térképeknek a gyakorlatban ki kell egészíteniük egymást. A 3D-s technológia nem szoríthatja ki a 2D-s térképeket, a terepi tájékozódás és térképolvasási készségek megőrzését és elsajátítását kiemelten fontosnak tartom.

A 2D és 3D-s technológiákat az Augmented Reality (röviden AR), azaz a kiterjesztett valóság ötvözi a legjobban. Működéséhez szükséges egy mobiltelefon és egy marker. A marker lehet egy nyomtatott kép, jel, ábra vagy grafika. A mobiltelefonon futtatni kell az AR alkalmazást, mely alaphelyzetben a kamera képét mutatja. Ha a kamerát egy markerre visszük, a program felismeri a jelet, arra a virtuális térben egy 3D-s modellt helyez. Térképészeti példán szemléltetve: készíthető egy hagyományos térkép, melyre markert (markereket) kell helyezni,

vagy bizonyos térképi részletből kell azt létrehozni. Az alkalmazást elindítva a kamerát a térképre visszük, a rendszer felismeri a markert és a 3D-s tartalmat a mobil képernyőjén a térképre helyezi (83. ábra). A 3D-s tartalom tetszőleges lehet: tematikus térkép, animáció vagy városmodell, a lehetőségek száma határtalan. Ha a térképlapot forgatjuk, akkor vele együtt forog a 3D modell is, ha közelebb visszük a markerhez a mobilt, akkor a modell nagyítódik. Egy nyomtatott kiadvány esetén hagyományos 2D-s technológiával elkészíthető egy térkép vagy atlasz, és a kiterjesztett valósággal tetszőleges számú digitális, 3D-s tartalom rendelhető hozzá. Az AR alkalmazás Unityben fejleszthető. Véleményem szerint a kiterjesztett valósággal mind a 2D és 3D-s térképek előnyei kihasználhatók.



83. ábra. A bal képen egy hagyományos várostérkép látható. Jobbra ugyanennek a városmodellnek a 3D-s változata kiterjesztett valósággal.

Bandrova az „*Innovative Technology for the Creation of 3D Maps*” cikkében a 3D-s térképek alkalmazási területeiről ír:

- Várostervezés és építészet: a mérnöki és építészeti munka során fontos az épületek és városok fotorealistikus modellje.
- Közoktatás és felsőoktatás: diákok nehezen értelmeznék ábrákat, diagramokat, atlaszokat, a multimédiás eszközök segítik a megértésüket, érdeklődést keltenek a téma iránt.
- Design és hirdetések: 3D-s várostérkép jobban tükrözi a város képét a turistáknak.
- Telekommunikáció: a telekommunikációs cégek használhatják a hullámok terjedésének elemzésére, városi környezetben is. A 3D térképpel könnyű elemzést végezni.
- Közlekedés: városi forgalom szimulálása, a különböző tömegközlekedési eszközök jobb tervezhetősége.
- Környezetszennyezés: 3D-s térképen látványosan megjeleníthető a környezetszennyezés vagy a klímaváltozás hatása.
- Turizmus: valóság-hű 3D városmodellekkel csábítják a cégek a leendő utasokat.

Az alábbi felsorolás széles körben lefedi a 3D-s térképek felhasználási területeit, de az általam kutatót ábrázolási módszerek alkalmazási területeit részletesebben is megvizsgálom. Az egyes módszerek esetében ajánlást teszek, mikor javasolt az alkalmazásuk.

4.1 3D-s tematikus ábrázolás alkalmazási területei

A 3D-s tematikus térképek elsősorban a statisztikai, tematikus adatok látványos megjelenítésére alkalmazhatók jól. A 3D-s jelölés használata az egyik legszélesebb körben ajánlott, hátránya interaktív ábrázolás esetén véleményem szerint nincs. Ezzel a módszerrel készült térkép látványos, a jelek kevesebb helyet takarnak ki a térképből (értékegységjel alkalmazása esetén is), mint a 2D-s esetben. A 3D-s jel megválasztásánál célszerű az adott témát jól prezentáló képszerű piktogram alkalmazása, a térkép olvashatósága így jelentősen javul. A 3D-s diagram módszer is nagyon széles körben használható, viszont a térkép célja dönti el, hogy mikor jobb 2D vagy 3D-ben ábrázolni az adatot. Ha a mérhetőség a legfontosabb szempont, akkor a hagyományos módszer, ha a látványos vizualizáció, akkor a 3D-s módszer ajánlott. Szintén javasolt a 3D alkalmazása, ha oktatási, vagy ismeretterjesztő célból készül a térkép, vagy fel szeretnénk kelteni az olvasók figyelmét. A statisztikai elemzések során, a

szakértőknek is javasolt a 3D-s diagramok alkalmazása, mert egy 3D-s térképen több adat jeleníthető meg egyidejűleg, mivel a diagramok, korfák a térkép síkjára merőlegesek, így azok kevesebb helyet takarnak ki a térképi alaphól, illetve animálhatók. Több tematika együttes alkalmazása egy interaktív térképen elősegítik a különböző adatok közti kapcsolatok és összefüggések feltárását.

A 3D kartogram módszerről részletesen az 1.1.1 fejezetben írtam. A gyakorlatban történő alkalmazhatósága során különbséget tennék a felület- és jelkartogram között. A felületkartogram alkalmazása csak nagyon kevés esetben ajánlott, abban az esetben alkalmazható a módszer jól, ha egy kis terület értéke jelentősen kiugrik a többi érték közül, és ennek a megjelenítése a cél. A többi esetben a felületkartogram módszer alkalmazása nem javasolt. Jó alternatíva ezért a jelkartogram, a felületkartogram hátrányos tulajdonságai így kiküszöbölhetők. A 3D-s jelkartogram módszer során a térképi adat mérhetősége jelentősen javul. A 3D-s jelkartogram széles körben alkalmazható, a képszerű 3D-s jelekkel a térkép látványos formában közöl információt, melyek gyorsan értelmezhetők.

A pontmódszer esetében a 3D-ben történő megjelenítés az adat jellegétől nagyban függ. Ha az olyan térbeli eloszlást mutat, melynek van magassági értéke, ott a 3D-s ábrázolás célszerű, egyéb esetben a 2D használata javasolt. Az izovonalas módszer 3D-ben történő alkalmazása szintén az adat jellegétől függ. Ha az izovonal szintvonalat jelöl és a domborzat ábrázolása fontos a térképen, akkor a 3D-s ábrázolás javasolt. Az izovonalak (izoterma, izobár, stb.) esetében szintén ajánlott a 3D alkalmazása, ha a térkép ismeretterjesztő célokra készül, vagy a látványos megjelenítés, figyelemfelkeltés elsődleges szempont. Például a klímaváltozás hatását bemutató és előrejelző térkép készítésekor a 3D-s ábrázolás kiemelten ajánlott. A térkép üzenete jobban eljut az átlag felhasználóhoz, a látványos grafika jobban leköti a figyelmet.

A mozgásvonal módszer során alkalmazott nyilak sok esetben tényleges mozgással is kiválthatók, az animált objektum pedig lehet 2D-s vagy 3D-s is. A térkép témája határozza meg azt az esetet, hogy mikor kell animációt alkalmazni, illetve a 3D-s ábrázolásra szükség van-e. Abban az esetben, amikor a terep jellege fontos szempont, például egy történelmi térkép esetében a támadás útvonalát az adott hegység vonulatai meghatározzák, vagy az ábrázolt tematikát földgömbön jelenítjük meg, ott a 3D-s ábrázolás javasolt. Oktatási térkép esetében a figyelemfelkeltés miatt a 3D alkalmazása szintén javasolt.

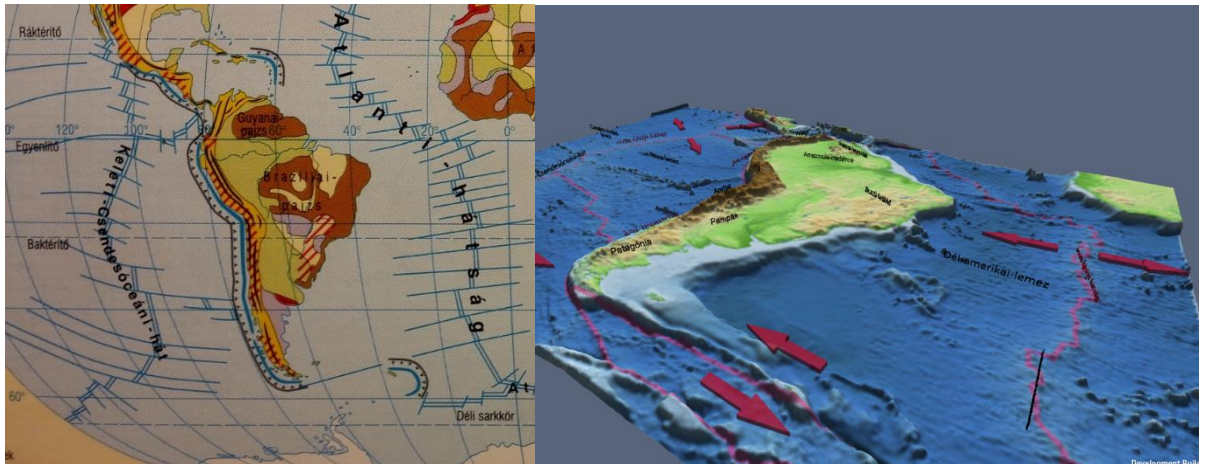
A tematikus 3D-s térképek elsődlegesen a statisztikai adatokat jelenítik meg látványos formában. Ezek a térképek számos szakterületen használhatók: tudományos vizualizáció és

elemzés, ismeretterjesztés, föld-, természet- és társadalomtudományok, de széles körben alkalmazható bármilyen térbeli adat elemzésére, megjelenítésére, akár gazdasági környezetben is. Ezen felhasználási területek mellett úgy vélem, az oktatás egy különösen fontos alkalmazási terület, ezért ezt részletesen vizsgáltam.

4.2 3D-s oktatási térképek

A 3D-s térképek elősegíthetik a diákok tanulási folyamatát az általános iskolától az egyetemig. Támogatják a tananyag megértését, illetve felhívják a figyelmet az adott témára. A digitális tananyagok szerepe egyre nagyobb figyelmet kap napjainkban, elterjedt az a nézet, miszerint a digitális eszközök használatát nem tiltani kell, hanem azok segítségével oktatni.

Véleményem szerint az általam fejlesztett animált és interaktív térképek a minőségi digitális tananyagok részét képezhetik. A tematikus megjelenítés során bizonyos esetekben a 2D-s és a 3D-s módszerek egyaránt jól alkalmazhatók. Egy tanórán bemutatott 3D-s térkép egy hagyományoshoz képest jobban felkeltheti a diákok figyelmét azzal, hogy látványosabb a vizualizációt alkalmaz (84. ábra). „Ha egy megjelenítés könnyen értelmezhető, szépek és élénkek a színei, vagy jó minőségű képeket tartalmaz, az olvasó mellette marad” (Häberling, 2008). Sok esetben az adat könnyebben leolvasható egy 3D-s térképről, ha a domborzat vonatkozásában kell elemezni, például gyűrt- vagy röghegységre kell példát mutatni, azt térképen felismerni. A 3D-s ábrázolás a tematikus térképek esetén is jól alkalmazhatók az oktatásban. A hagyományos tematikus térképekről történő adat leolvasása, illetve több adat közti összefüggés felismerése nehézséget okozhat a diákoknak (Gallé & Reyes, 2005). A 3D ábrázolás könnyíti az adatok leolvasását, értelmezését. Az animáció alkalmazásával a folyamatok és az adatok évek közti változása láthatóvá válik. Nem kell több térképet összehasonlítaniuk, az információt hamarabb megértik, nem szükséges a térképet olyan sokáig megfigyelni. A tanulók ezekkel a térképekkel hamarabb megértik az anyagot, hátránya, hogy nem kell megküzdeniük úgy a tudásért, mint egy hagyományos térkép esetén.



84. ábra: A térképek Dél-Amerikát és a kőzetlemezeket mutatják. A jobb oldali térképem 3D-s interaktív formában mutatja be a kőzetlemezeket, a céltematika ki-, be kapcsolható. A bal képen egy hagyományos térkép található, mely a Középiskolai földrajzi atlaszban található (Cartographia,2001).

Felmerül így az a kérdés, hogy jó-e az, hogy a diákok például a 3D-s térképekkel (félíg) kész tudást kapnak, és ezzel nincsenek rákényszerítve az önálló gondolkodásra? Melyik a fontosabb tényező, az adatok pontosabb számszerű leolvasása a hagyományos térképről vagy egy látványosabb 3D-s megjelenítés? Ez alapvetően pedagógiai kérdés, ezért részletesen nem kívánom tárgyalni. A témával mégis legalább alapjaiban kell foglalkoznom, mert a kutatási témám érinti, továbbá meg kell ismerni a most felnövő generációt, az igényeiket, hiszen ők lesznek a jövő térképhasználói. Ezek a változó igények a kartográfia fejlődési irányait is befolyásolhatják.

A most felnövő 8–14 év közötti gyerekeket super now, vagy X és Y generációnak hívja a szakirodalom (Aczél, 2015), már a 2-3 éves gyerekek is használnak digitális eszközöket, a 3–5 év közti korosztály 50%-a tud tabletet használni (Aczél, 2014). A digitális eszközök használata, a multitasking (több tevékenység egyidejű használata), a média komoly változásokat okoz a mostani generációban. Elias Aboujaoude az alábbi öt személyiségjegy változást állapította meg (Aboujaoude, 2011) a mai gyerekekben:

1. Türelmetlenség
2. Grandiozitás: nincs határa a képességeiknek, bármit megtehetnek
3. Impulzivitás: csak az adott ingerre való gyors és rövid reakció és odafigyelés
4. Sötét dolgokra való vágy: félelem és borzongásérzés
5. Nárcizmus: önmagát látni mindenben, önfotózás (selfie-k készítése)

A super now generációnak változik a személyisége, társas viselkedése, tanulási magatartása és tudásmegosztása. Egyszerre sokfelé figyelnek és közben hatalmas mennyiségű

adat áll a rendelkezésükre (különböző keresőmotorok segítségével pl. Google, Bing). Az a fontos, hogy az információt gyorsan elérjék, az legyen gyorsan átlátható. Érdekli őket az adat és a statisztika, de a mögöttes összefüggésekre már nem kíváncsiak (jobban érdekli őket az, hogy egy könyv hány karakterből áll, mint maga a történet) (Aczél, 2014). Jellemző rájuk továbbá a vadászó-kereső magatartás, önállóság, türelmetlenség és igény van a térbeli logikára. A tanulás tekintetében az interaktivitás kiemelten fontos, annak felfedezhetőnek és élményszerűnek kell lennie. A digitális tananyag rendelkezzen képpel, hanggal, a diák saját maga hozzá tudjon nyúlni és személyre szabhatta azt.

Ha átgondoljuk a fent leírtakat, akkor belátható, hogy pár éven belül teljesen új igényeket támasztanak a felhasználók a térképekkel szemben, a hagyományos statikus 2D-s térképek pedig kevésbé felelnek meg ezeknek az új igényeknek. Véleményem szerint a kartográfia elkövetkező fejlődési területei az interaktivitás, 3D-s megjelenítés és animált térképek lesznek. Az általam fejlesztett és kutatott 3D-s interaktív és animált térképek a 2D-s hagyományossal szemben sokkal jobban megfelelnek ezeknek az új igényeknek. A 3D-s térkép megadja az új generációk felhasználóinak az impulzivitást és élményszerűséget, jobban felkelti az olvasók figyelmét, ezáltal megnézik és foglalkoznak a térképpel, játszva tanulhatnak. A türelmetlenségből adódóan egy térkép megfigyelésével is kevesebbet foglalkozhatnak, a 3D-s animált ábrázolás során számos esetben gyorsabban leolvasható a tartalom lényege, az egyes időpontok közti változások. A fiatalokat körbevevő hatalmas adathalmazban könnyű elveszni, a 3D-s interaktív ábrázolással könnyebben ki lehet emelni az adatok mögötti „tanulságot” és nem csupán egy újabb adatforrásként működik, amely mögött nem látják meg az üzenetet. A 3D-s interaktív térképek esetén a felszín bejárható, ezáltal a térképhasználó maga fedezheti fel a teret, ezzel élményérzést keltve.

Visszatérve a pedagógiai kérdésre: jó-e az, ha a térkép ennyit segít az olvasónak? Jó irányban változnak-e az új generáció fiataljai? Van-e szükség a 3D-s térképészeti ábrázolásra? Nem kívánok ezekben a kérdésekben véleményt formálni, viszont a változásokat el kell fogadni és alkalmazkodni kell a modern multimédiás környezethez. A térképészet a technológiai újítások hatására sokat változott a 90-es évek óta (Zentai, 2000) és azóta is folyamatos fejlődésben van. A fejlődési irányokat a kereslet és a térképet olvasók igényei határozzák meg, így a 3D alapú technológiák fejlődésével a 3D-s térképekre is növekvő igény van. Arra a kérdésre, hogy van-e szükség a 3D-s ábrázolásra, a válaszom egyértelműen igen. Úgy vélem, hogy az általam kutatott 3D-s ábrázolási módszerek az új igényeknek és elvárásoknak jobban megfelelnek (mint a hagyományos térképek), melyek olyan elméleti módszertani alapokon

nyugszanak, mint a hagyományos kartográfiai látásmód. Ezek mellett azt gondolom, hogy az oktatásban a 2D és 3D-s térképek együttes alkalmazása lenne az ideális, hiszen meg kell tanulniuk a diákoknak a térképolvasást és el kell sajátítaniuk a tájékozódási képességet. A 3D-s térképek nagyon jól kiegészíthetik a hagyományos térképeket a tanórákon.

4.3 3D városmodellek

Megfigyelhető az a tendencia, hogy a 3D városmodellekre egyre nagyobb igény van. A 2. fejezetben számos olyan nemzetközi példa található, mely során 3D-s városmodell készült. Egy virtuális városmodellnek számos tudományos és gyakorlati haszna is van: várostervezés, építészet, oktatás, design és hirdetés, telekommunikáció, turizmus, közlekedés, meteorológia, rendőrség, hadsereg, stb. (Temenjouka, 2011). A 3D modelleknek az ingatlan-nyilvántartásban is fontos szerepük van, problémát okozhat egy tömbház lakásainak 2D-ben történő ábrázolása, az egyes lakások alaprajzai emeletenként eltérőek lehetnek, illetve az auljárókban található üzlethelységek nyilvántartásban történő kezelése is számos problémát fedhet fel.

A 3D városmodellek a településfejlesztések során egyre kiemeltebb szerepet kapnak. A beruházók, a fejlesztők és a lakosság közti kommunikáció alapját képezik ezek a modellek. A hagyományos mérnöki tervrajzok olvasása sokaknak nehézséget okoz, a 3D modellekkel pontosan láthatóvá válnak a fejlesztések, a tervek módosítását, problémák megoldását így hatékonyabban kezelhetik. Egy terület potenciája és azon végezhető (gazdasági, ipari, infrastrukturális) fejlesztések egy 3D-s modellen mutathatók be a legjobban, mely válaszokat adhat olyan kérdésekre, mint: hol áll majd az üzemem? Milyen elhelyezési alternatívák állnak a rendelkezésemre? Hogy fog kinézni a környék 5-10-15 év múlva? Milyen utak vezetnek az üzemhez? A tehergépjárművek alatt milyen terhelést bírnak az utak? Milyen környezetszennyezési kibocsátást okoz egy üzem? Van-e elég terület a parkoló autók számára? Az alábbi kérdések egy 3D-s megjelenítéssel könnyen megválaszolhatók, egy beruházás megvalósításának sikeressége így jelentősen növelhető (Bernsdorf, 2010). A versenyszférában a gyorsaságnak és a látványos terveknek kiemelt szerepe van. Egy fejlesztésre pályázó mérnöki cég jelentős előnyre tehet szert, illetve megbízást szerezhet, ha látványos 3D-s tervekkel tudja bemutatni terveit. A piacon elérhető várostervező programokkal, gyorsan lehet látványos modelleket létrehozni, pár óra alatt olyan eredmény érhető el, mint korábban több heti munkával (Bennett, 2014).

4.4 A 3D földalatti térkép, mint tematikus 3D városmodell

A 3D-s földalatti térképekre nagy igény van, számos területen felhasználhatók, viszont a hagyományos 3D-s városmodellekhez képest jóval kevesebb ilyen térkép készült eddig. Az elkészült földalatti térképek döntő többsége jelenleg a közművek ábrázolására korlátozódik, komplex (nem csak a közműveket, hanem egyéb funkciójú objektumokat is tartalmazó) földalatti 3D-s térképre csupán kevés példát találunk. Ennek a magyarázata: a nem eléggé fejlett 3D-s GIS szoftverek, technológiai megvalósítási problémák, adatgyűjtési nehézségek területén keresendők és nem az igény hiányát mutatják. Az eddig elkészült földalatti közműveket feldolgozó projektek többségükben a földalatti ábrázolt objektumok bővítését tűzte ki további fejlesztésnek. A jövőben az igény ezekre a térképekre csak növekedni fog, egyre több városi funkció kerül majd a föld alá, így véleményem szerint egyre több komplex 3D-s térkép fog készülni a jövőben.

Az utóbbi években készült földalatti 3D-s térképek döntő többségében csak közműveket jelenítettek meg, például a rotterdami kikötő 3D modelljében a föld alatt főleg kábeleket és csöveket (Zlatanova & Beetz, 2012), Mainz DeepCity3D projekt keretében a csatornahálózat 3D-s megjelenítését készítették el (Krämer, 2012). Földalatti közműről 3D-s térképek Raleigh (Észak-Karolina) (ESRI, 2013c) és San Antonióban (Texas) (Garza, 2014) készültek. Az egyik első és legnagyobb 3D-s föld feletti és alatti infrastruktúra modell fejlesztése pedig Las Vegasban volt. Felmerül a kérdés: milyen célokra használható egy 3D infrastruktúra és egy komplex földalatti világot bemutató térkép? A közmű önmagában történő ábrázolása elegendő-e? Megvizsgálom, hogy miért szükségesek a 3D-s közmű térképek, mire alkalmazhatók és milyen problémákat orvosolhatnak velük.

Az USA-ban minden 60. másodpercben véletlenül elvágnak egy közmű kábelt az építkezések során, a vezetékek helyreállítása dollár milliárdokba kerül (Zeiss, 2013). A probléma főként az északi nagyvárosokat érinti, ahol kezdetben egyszerű volt a közműveket a föld alá helyezni, de ezek nem lettek pontosan feltérképezve, a földalatti infrastruktúra helyenként alig ismert. A meglévő adatbázis alapján nem lehetett tudni, hogy egy közműben történő átépítés milyen zavart vagy interferenciát okoz. További probléma volt az, hogy sokan nem tudták térben értelmezni a 2D-s mérnöki rajzokat, viszont a 3D-s modell alapján könnyebben megértették a földalatti infrastruktúrát (Elliott, 2012). Las Vegasban is jellemző volt ez a probléma, ezért 2012-re elkészült egy föld fölötti és alatti 3D-s városmodell, mely akkor egyedülének mondható volt az USA-ban. A 3D modellel a különböző várostervezési konstrukciók egyszerűbben bemutatathatóvá váltak, a könnyebb tervezhetőségnek köszönhetően

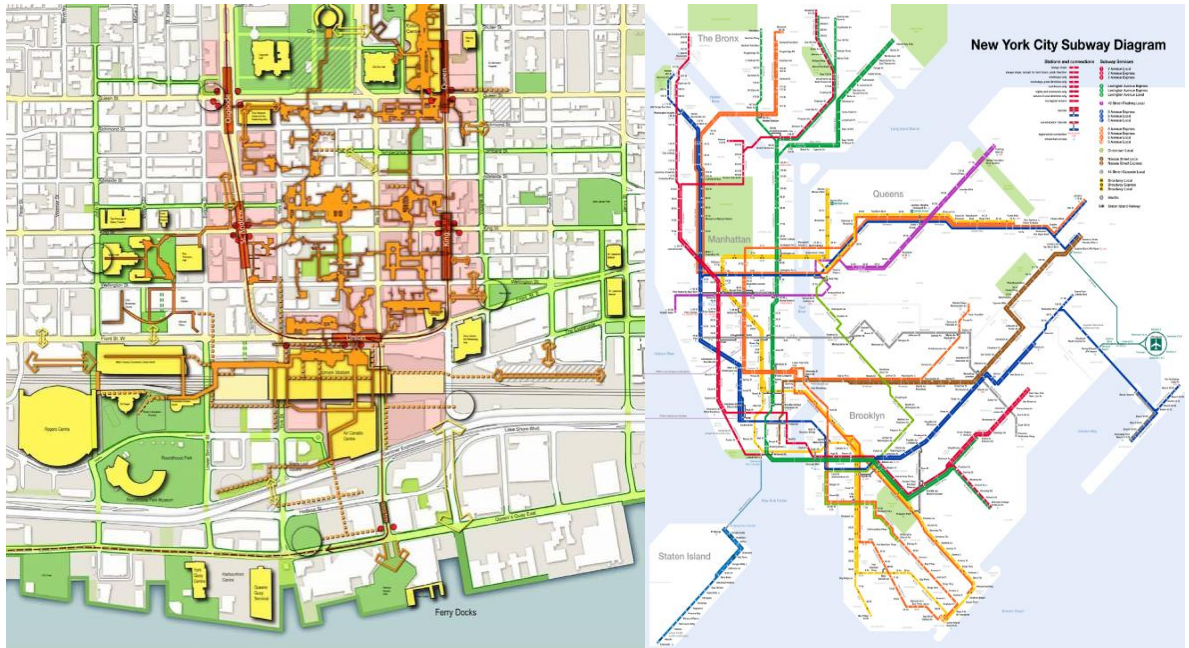
csökkentek a földalatti építkezés okozta forgalmi fennakadások, a különböző földmunkák biztonságosabbá váltak, pl. csökkentek a gázvezeték átvágások száma. A 3D-s ábrázolásnak köszönhetően finanszírozást sikerült nyerni beruházásokra, az emberek láthatták mire költik el adójukat. Látható, hogy számos problémát old meg egy 3D-s közműtérkép, további földalatti objektumok nélkül is jól alkalmazhatók. Abban az esetben elegendő „csak” az infrastruktúrának az ábrázolása, ha a város jelentős földalatti objektumokkal nem rendelkezik. Budapest, Helsinki vagy Montréal esetében (részletek a 2 és 3.4.2 fejezetben) a földalatti létesítmények mérete és szerepe már indokoltá teszi egy komplex térkép készítését.

Egy komplex földalatti 3D-s térkép számos célra használható, mely elsősorban a szakértők igényeit elégítik ki. Alkalmazása hasznos lehet minden olyan építkezésnél, mely során földalatti munkálatokra van szükség. Ez főleg azokat a városokat érinti, ahol sok eltérő funkciójú objektum található a földalatt és a 3D-s térkép adatbázisként is funkcionál. Az új építkezések során körültekintően kell a tervezési munkákat végezni, hogy más funkciójú objektumokba vagy közművekbe ne ássanak bele. Ha a térképen a geológiai rétegek is szerepelnek, akkor geológiai elemzések is végezhetők, melyek az épület stabilitását alapvetően befolyásolja. Bizonyos városok esetén, például Budapest, a hidrológiai szempontok sem elhanyagolhatók: a kavicsrétegben a talajvíz a Duna irányába folyik. Egy mélygarázs, melynek alapozási szintje eléri az agyag (vízzáró) réteget, duzzasztóként funkcionál, nem engedi a talajvizet tovább folyni, így vizesedési problémákat okoz a környező épületek pincéjében. Egy épület tervezéséhez szükséges hatástanulmány során hidrogeológiai elemzések végezhetők a 3D-s térképpel. Elemezhető továbbá, hogy egy építkezés hogyan befolyásolja a közelében található természetes vízforrásokat, vízkészleteket. A 3D-s térkép használata kiemelt szerepet kap a mélyépítési munkálatok: metrók, alagutak, aluljárók, csatornák építése során, különösen akkor, ha a város már több metróvonallal rendelkezik vagy a város földalatti világa gazdag történelemmel rendelkezik. Ezek lehetnek régészeti emlékek, például római kori leletek Rómában, vagy földalatti alagútrendszer Párizsban. New York például rengeteg metróvonallal rendelkezik, továbbá számos titkos alagút található a város alatt, melyet az alkoholtilalom ideje alatt csempészetre használtak. Egy új metróvonal tervezése esetén kiemelt jelentőségű lehet egy 3D-s földalatti térkép, megkönnyíti a metróvonalak és állomások, a hozzájuk kapcsolódó létesítmények, a többi vonalak közötti átszállási pontok és közművek tervezését. Londonban a Crossrail építése során el is készült a metróvonal és a hozzá kapcsolódó létesítmények földalatti modellje. Több nagymúltú város a történelme során számos háborút élt meg. Ezek kapcsán légvédelmi óvóhelyek és bunkerek létesültek a föld alatt, melyek egy része a mai napig titokban

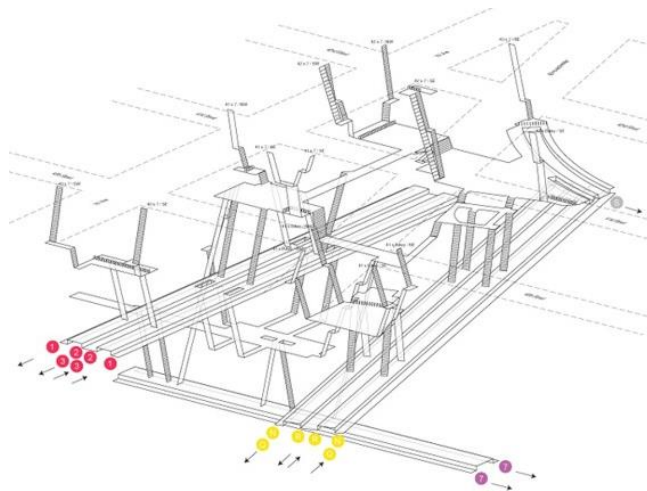
lehet. Állami, nemzetvédelmi, rendészeti célokat szolgál egy olyan adatbázis, melyben a használatban lévő és használaton kívüli óvóhelyek, az ezeket ellátó infrastruktúrák találhatóak. Egy 3D-s földalatti térkép alkalmazása esetén elkerülhető, hogy egy új építkezés során elfeledett titkos járatokba ütközzenek.

Természeti és régészeti értékeket is védhetnek a földalatti térképek, a Budai-hegységben például számos barlang található. A 3D-s térkép segítheti a barlangászok munkáját az új járatok felfedezésében, vagy az egyes kapcsolódások megtalálását. Több esetben előfordult, hogy a felszínen épített ház alapjának ásásakor barlang járatot találtak, melyet illegális úton betonnal töltöttek fel, hogy az építkezést folytatni lehessen. Az építkezés előtt a térképen elemezhető lenne, hogy az adott épület alatt található-e barlang. Budapesten kőbányák találhatóak Budafokon és Kőbányán is. A bányászati tevékenység évszázadokra tekint vissza, a kitermelés során több beomlás is történt. A felszíni építkezések során vizsgálni kell, hogy üreg vagy járat található-e a mélyben, egy telek alkalmas-e a beépítésre.

A földalatti tájékozódást nagymértékben segítik a 3D-s földalatti térképek, ha metróvonalak, állomások, alagutak és földalatti bevásárlóközpontok hálózják át a föld mélyét. Montréal alatt egy teljes földalatti város található bevásárlóközpontokkal, hotelekkel, bankokkal, stb. melyek alagutakkal vannak összekötve. Ilyen földalatti város Toronto alatt is megtalálható, mely PATH névre hallgat. Több, mint 30 km hosszú, főként boltok találhatóak benne, további bővítését tervezik (85. ábra) (Wikipedia, 2016d). A tájékozódás szintén nehéz egy olyan nagyváros metróhálózatában, mint New York vagy Sanghaj. A New York-i metrónak 422, a Sanghajnak 364 állomása van, a közlekedés nehézséget okozhat a rosszul tájékozódó utasok között, lásd 85 és 86. ábrát.



84. ábra. Balra: Toronto földalatti városának térképe (Landau, 2014). Jobbra: a New York-i metró vonala láthatók (Wikipedia, 2015h).



85. ábra. A jobb képen a Times Square és a 42. úti stadion kereszteződése látható, mely az egyes metróvonalak közti átszállási lehetőségeket mutatja be (Gan, 2015).

Miért okoz problémát a földalatti tájékozódás? A felszínen sétálva szabadon szemlélődhetünk, megfigyelhetjük a domborzatot, épületeket, fákat, utcabútorokat stb. Ezeket az objektumokat kívülről (esetenként belülről) látjuk. Bizonyos objektumokat tájékozódási pontnak választunk, pl. egy magas épület, vagy torony, melyhez képest a pozíciónk változását mérni tudjuk, így érezzük, hogy milyen irányba haladunk, mekkora távot teszünk meg. A földalatti építményekkel a kapcsolatunk alapvetően más. Az objektum belsejében szemlélődünk, melyből nem látunk ki, így teljesen más szemszögből látjuk a világot. Az

objektumok külső szemlélete helyett az objektum belsejébe kerülünk. Nem tudunk kijelölni tájékozódási pontokat, nem tudunk a felszínhez hasonló módon körbenézni és új tereptárgyak után kutatni. Ezért egy alagútszerben sétálva könnyű elveszíteni tájékozódó képességünket, nincsenek meg a tájékozódáshoz szükséges referenciapontok, nehezen érzékeljük a horizontális és vertikális elmozdulásokat. Egy metrókocsiban ülve bár érezzük, ha az alagút kanyarodik (relatív elmozdulás), de azt már nem tudjuk biztosan, hogy abszolút térben hol helyezkedünk el. További nehézséget jelent több metróvonal valódi térbeli elrendeződését érzékelni (melyik vonal található mélyebben), még úgy is, hogy az egyes vonalakat, a közöttük lévő átszállási utakat jól ismerjük. A földalatti létesítményeknél ezért kiemelten fontos a 3D-s ábrázolás, így az egyes építmények kívülről is láthatóvá válnak, azok elhelyezkedése pontosan megismerhető. Egy földalatti 3D-s térkép használatával az utasok földalatti tájékozódása javulhat, könnyebben megértik azok valódi térbeli viszonyait.

Mint látható, a földalatti 3D-s térképeknek számos felhasználási módja van. Minél több objektum szerepel a földalatti térképen, annál több célra alkalmazható (ábrázolt területtől függ az ábrázolható objektumok típusa). A földalatti 3D-s térképekre igény van, mely a jövőben fokozódni fog. Megfigyelhető az a várostervezési folyamat, mely során egyre több funkció kerül a felszín alá. Ez a tendencia megfigyelhető az északi nagyvárosokban: Toronto, Montreal, Helsinki. Olyan nagyméretű komplexumok létesültek a föld alatt, melyek külön várost alkotnak. A földalatti városok fejlesztésének nagy előnye, hogy az egyes létesítmények úgy érhetőek el, hogy nem kell a hideg felszínre felmenni, azok a föld alatt megközelíthetők. Széleskörű földalatti városfejlesztési koncepciót Ausztráliában található, *The Warren Centre Underground Space Project* elnevezést kapta a tervezet. Számos urbanizációs problémát, mint a közlekedés okozta zaj és légszennyezés, a növény és állatvilág védelme, természetvédelem, levegő minőségének javítása, élhető környezet kialakítását kívánják úgy megoldani, hogy a föld alá helyezik a városok fejlesztését. A föld alatt olyan létesítmények épülnének, mint pincék, parkolók, bevásárló központok, buszterminálok, közművek, gyorsvasút, utak, raktárak (benzin, kőolaj és földgáz tárolás), rekreációs központok (uszoda, squash pálya), a fő közlekedési útvonalak alagútba helyezése: Adelaide, Melbourne, Perth, Sydney-ben (Dobinson & Bowen, 1997). A földalatti tér stratégiai jelentőségű, a tervezett objektumokat körültekintően kell megtervezni, ezekhez olyan 3D-s földalatti térképek szükségesek, melyeken az objektumok a lehető legszélesebb körben és pontosságban szerepelnek.

5. Tézisek

Doktori kutatásom során az alábbi téziseket állítottam fel:

I. 3D-s térképészeti módszertan elméleti kidolgozása

Széles körben kutattam a 3D-s megjelenítés lehetőségeit a kartográfiában. A 3D tematikus ábrázolási módszereket a teljesség igényével kutattam (jel-, pontmódszer, kartogram, diagram, izovonal és felületi módszer). Részletesen kidolgoztam az elméleti háttérüket az egyes megjelenítéseknek, és az ismert 3D-s ábrázolások mellett a módszereket továbbfejlesztettem 3D-s alkalmazásuk céljából. Az animációt a 3D-s térképi ábrázolás szerves részének tekintem, így az egyes tematikus ábrázolási módszerek mellett az egyes animációs technikákat is tárgyalom. Megvizsgáltam és elemeztem az egyes módszereket, milyen esetekben alkalmazhatók, illetve mely 3D-s tematikus ábrázolási módszerek ábrázolhatók egyidejűleg egy térképen. Melyek kombinálhatók jól egymással, és melyek kerülendők. A 3D-s tematikus metodológia kidolgozása korábban ilyen részletességgel és teljességgel nem volt megtalálható a szakirodalomban.

Kidolgoztam a hagyományos térképészetben alkalmazott generalizálási szabályok: egyszerűsítés, nagyobbítás, eltolás, összevonás, kiválasztás, tipizálás és hangsúlyozás 3D-s metodikáját. A térbeli generalizálás kiemelten fontos, amikor például nagy méretarányú építészeti tervrajzokból kis- vagy közepes méretarányú 3D-s városmodellt vagy áttekinthető térképet készítünk. A térbeli generalizálásnak egy másik formáját is vizsgálom, a LOD szinteket, mely a városmodellek esetében már ismert fogalom.

A 3D-s térképi elemek, mint domborzat, síkraj és névrajz elméleti megjelenítési szabályait kidolgoztam. Megfogalmaztam azokat az alapelveket, hogy a térképkészítés során mely térképi elemek készülhetnek hagyományos, és melyek 3D-s ábrázolással. A domborzat és síkrajzi ábrázolás esetében milyen megjelenítések alkalmazhatók, mely megoldásokat kell kerülni és melyek ajánlottak. A 3D-s térkép névrajzának megírása a hagyományostól jelentősen eltér, kidolgoztam azokat az ábrázolási szabályokat, amelyeket a jó olvashatóság érdekében alkalmazni ajánlott.

II. Kutatott 3D-s ábrázolás elkészítésének lehetőségei

Megvizsgáltam azokat a szoftvereket, amelyek a piacon elérhetők és 3D-s térképkészítésére alkalmasak. Ismertetem a programok működését, milyen 3D-s és animációs megjelenítést támogatnak, milyen térkép készíthető el velük. Megvizsgáltam, hogy az egyes szoftvereket a gyakorlatban milyen célra alkalmazzák, ismertetem ezeket a nemzetközi gyakorlati példákat. Olyan szoftvert kerestem, amellyel az általam kutatott elméleti 3D-s ábrázolási módszerek a legjobban megvalósíthatók, és minél kevesebb kompromisszumos megoldást kell hoznom a vizualizáció során. Ismertetem a szoftverválasztásom eredményét és röviden bemutatom azt. Az általam vizsgált szoftverekről összehasonlító elemzést végeztem, hogy 3D tematikus térképek, virtuális városmodellek, illetve –annak egy speciális fajtája– a 3D-s földalatti térkép elkészítésére mely programok a legalkalmasabbak. Elemeztem, hogy milyen célú és minőségű 3D-s térképhez mely szoftver választása a legideálisabb. Megvizsgáltam a 3D-s térképek interaktív megjelenítési módjait, a korábban ismertetett programokat új szempontból vizsgáltam meg, illetve a térképek 3D-s webes interaktív formában hogyan jeleníthetők meg. Kutattam a térképészeten nem megszokott interaktív megjelenítési módokat, mint a játékkészítő programok alkalmazását és a sztereoszkópikus 3D-s használatát. Kutatásom során létre is hoztam ezeket az alkalmazásokat, számos 3D-s eszközt teszteltem is.

III. A 3D-s térképkészítés metodológia megfogalmazása

Kutatásom során több térképet a gyakorlatban is létrehoztam. Ezek két nagy témakörbe sorolhatók, 3D-s tematikus térképek és a tematikus 3D-s városmodellek egy speciális fajtája, a Budapest földalatti 3D-s térképe. A térképek készítésekor az alábbi munkafolyamatokat különítettem el egymástól: adatgyűjtés; rendszerezés, feldolgozás és kiválasztás; ábrázolás és modellezés; megjelenítés. Bemutatom, az egyes munkafolyamatokat, és ismertetem, hogy miben különböznek a tematikus és a földalatti térkép esetében. A kutatásom során létrehozott térképeket részletesen is bemutatom. A tematikus térképek esetén láthatóvá válik, hogy milyen adatokat pontosan milyen ábrázolási módszerrel jelenítettem meg, mikor alkalmaztam animációt. A Budapest földalatti 3D-s térkép esetében az adatgyűjtés során történeti kutatást is végezniem kellett, ennek eredményét a térkép bemutatásánál ismertetem.

IV. A 3D-s ábrázolási módszerek felhasználási területek

Elemeztem, hogy az általam kutatott 3D-s módszerek és a létrejött térképek milyen szakterületen alkalmazhatók. Vizsgálom a 3D-s ábrázolás szükségességét, illetve ajánlást teszek, hogy mely esetekben célszerű a 2D-s és mikor a 3D-s ábrázolás alkalmazása. Ismertetem azokat a szakterületeket, ahol a 3D-s vizualizáció alkalmazása célszerű, és igény van rá. Részletesen bemutatom a 3D-s térképek felhasználási lehetőségeit, ajánlást teszek az egyes tematikus módszerek használatára. A tematikus térképek oktatásban történő alkalmazásával kiemelten foglalkoztam. Vizsgáltam a most felnövő, digitális eszközöket széles körben használó generációt, elemeztem, hogy az általam fejlesztett térképek mennyiben elégítik ki az ő igényeiket. Megvizsgáltam, hogy a 3D-s városmodellek milyen célra alkalmazhatók, miért célszerű a használatuk, továbbá ezt az elemzést a földalatti térkép esetében is elvégeztem.

6. Konklúzió

Kutatásom során sikerült több 3D-s ábrázolási alapelvet kidolgoznom. Sikeresen, kreatívan és újszerűen alkalmaztam az általam kifejlesztett 3D-s vizualizációs módszereket (alapelveket) a gyakorlatban, a kartográfiában eddig nem megszokott módon.

Jelentős eredménynek tekinthető Budapest földalatti 3D-s térképe, mely nemzetközi viszonylatban is egy számottevő fejlesztés. Az ábrázoláshoz szükséges adatgyűjtés mögött komoly, több éves kutatómunka áll, Budapest földalatti objektumainak ilyen mértékű gyűjtésére korábban még nem volt példa.

A jövőben a 3D-s térképeket véleményem szerint egyre szélesebb körben fogják alkalmazni, az oktatás, ismeretterjesztés, városmodellek területén várható fokozottabb elterjedése. A virtuális és kiterjesztett valóságok, a játékkészítő programokkal készített interaktív alkalmazások területén további fejlesztések várhatók.

Várhatóan egyre több nagyváros földalatti 3D-s modellje fog a jövőben elkészülni. Budapest földalatti 3D-s térképe számos objektummal bővíthető, több olyan létesítmény található a földalatt, melynek felderítése további kutatási munkát igényel.

Irodalomjegyzék

A360 (2015) *A360 Viewer*. [Online] Elérhető: <https://a360.autodesk.com/viewer/> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Aboujaoude, Elias (2011) *Virtually You*. W.W. Norton & Company Inc, New York

Ábrahám K. (1982) *Metró kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó.

Aczél, Petra (2014) *A tanítás és ismeretközés új kihívásai*. Konferencia: Megújuló tankönyv szakmai nemzetközi konferencia, Oktatóskutató és Fejlesztő Intézet, 2014. november 12-13, Budapest. [Online] Elérhető: https://www.ofi.hu/sites/default/files/attachments/aczel_petra_a_tanitas_es_ismeretkozles_uj_kihivasai.pdf [Utolsó megtekintés: 2016.02.25]

Aczél, Petra & Andok, Mónika & Bokor, Tamás (2015) *Műveljük a médiát*. Wolters Kluwer Kft, Budapest. [Online] Elérhető: http://buvosvolgy.hu/upload/aczel_petra_muveljuk_a_mediata/aczel_petra_muveljuk_a_media_t.html#p=5 [Utolsó megtekintés: 2016.02.25]

Analytics Graphics, Inc. (2011) *Cesium – WebGL Virtual Globe and Map Engine*. Cesium. [Online] Elérhető: <http://cesium.agi.com/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.23]

ArcGIS Resources (2013a) *ArcGIS Help 10.1. Working with ArcGlobe and ArcScene* [Online] Elérhető: <http://resources.arcgis.com/EN/HELP/MAIN/10.1/index.html#/00q8000000sv000000> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

ArcGIS Resources (2013b) *ArcGIS Help 10.1. Exporting a time visualization to a video* [Online] Elérhető: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1%20/index.html#/005z00000024000000> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

ArcGIS (2014) *Venice look-alike*. CityEngine Web Scenes [Online] Elérhető: <http://www.arcgis.com/home/group.html?id=d731c2294ded45f6a1ad37ef5f87cd6d&start=11&q=> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

ArcGIS (2015a) *Viewscenes in the scene viewer*. ArcGIS Online Help. [Online] Elérhető: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/use-maps/view-scenes.htm> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

ArcGIS (2015b) *Create apps from maps*. ArcGIS Online Help. [Online] Elérhető: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/create-maps/create-map-apps.htm> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

ArcGIS (2015c) *About CityEngine Web Viewer*. ArcGIS Online Help. [Online] Elérhető: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/about-cityengine-web-viewer.htm> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

ArcGIS (2015d) *About viewing in stereo mode*. ArcGIS for Desktop. [Online] Elérhető: <http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/guide-books/extensions/3d-analyst/viewing-in-stereo-mode-in-arcscene.htm> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Autodesk (2013) *Questions and Answers*. [Online] Elérhető: https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=0CDwQFjAE OApqFQoTCKu93cGd1MgCFaG8cgodaHELLw&url=http%3A%2F%2Fwww.excitech.co.uk%2Fresources%2Fbr%2Finfracworks-360-pro-2014-faq-stamped.pdf&usg=AFQjCNFiNKDC70zj_14eFy41fjncJbc4jg&sig2=EQUMtz4j46Nj5CmHN TZXWQ&cad=rja [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Autodesk (2014) *Just in time for the holidays: InfraWorks 360 2015.3 with support for animated models!* [Online] Elérhető: <http://autodesk.typepad.com/bimagination/2014/12/just-in-time-for-the-holidays-infracworks-360-20153-with-support-for-animated-models.html> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

Autodesk (2015a) *Visualize success with BIM for Infrastructure* [Online] Elérhető: <https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDsQFjADa hUKEwj4hKDeodTIAhVHjSwKHZHRa9g&url=https%3A%2F%2Fwww.cadac.com%2Fmedia%2F1192%2Fautodesk-infrastructure-design-suite-2015-brochure.pdf&usg=AFQjCNF9Ti9pls3kXMwJQoQu5BvM3us6xQ&sig2=2oXZSkJsa8gyKr Qk0FfFYQ&cad=rja> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

- Autodesk (2015b) *City of Bamberg Germany*. Case studies [Online] Elérhető: <http://www.autodesk.com/suites/infrastructure-design-suite/case-studies/all/gallery-view> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Autodesk (2015c) *VTN Consulting*. Case studies [Online] Elérhető: <http://www.autodesk.com/suites/infrastructure-design-suite/case-studies/all/gallery-view> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Autodesk (2015d) *InfraWorks 360 Infratips*. Autodesk Community [Online] Elérhető: <https://forums.autodesk.com/t5/infraworks-360-infratips/create-fly-through-buildings/ba-p/5714196> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Autodesk (2015e) *InfraWorks 360 Web: Your model in a browser!* [Online] Elérhető: <http://autodesk.typepad.com/bimagination/2015/04/infraworks-360-web-your-model-in-a-browser.html> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Audio & vision (2011) *Passzív 3D szemüvegek* [Online] Elérhető: http://www.av-online.hu/teszt/passziv-3d-szemuvegek_57 [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]
- Bandrova, T. (2001) *Designing of Symbol System for 3D City Maps*. 20th International Cartographic Conference, Beijing, China. Volume 2, pp. 1002 - 1010.
- Bandrova, T. (2005) *Innovative Technology for the Creation of 3D Maps*, Data Science Journal. Volume 4
- Bandrova, T. (2011) *Multifunctional Cartographic Application of 3D Model of Mountain Territory*. Proceedings, 7th International Symposium on Digital Earth, Perth, Australia, 23-25 August 2011
- Benedek I. G. (1982) *Földalatti-történet*. Kozmosz könyvek.
- Bennett, Burt (2014) *Winning with visualization*. [Online] Elérhető: http://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-infraworks/docs/pdf/adsk_customer-story_Coastal-Engineering_road-project_letter_us_en.pdf [Utolsó megtekintés: 2016.02.01]
- Benoit, Frédérique & Keith, Rajmond & Van Prooijen, Kees (2011) *3D GIS Applied to Cadastre*. A Benchmark of Today's Capabilities. A Bentley white paper. [Online] Elérhető: <https://www.bentley.com/~/asset/14/433.ashx> [Utolsó megtekintés: 2015.11.09]

- Bentley (2015a) *Creation of City Model for City of Brussels Using LiDAR Point-cloud Data*. [Online] Elérhető: https://www.bentley.com/en/project-profiles/avineon-india_creation-of-3d-city-model-for-city-of-brussels-using-lidar-point-cloud-data. [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Bentley (2015b) *GIS Software for Viewing and Light Edits*. [Online] Elérhető: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/infrastructure-asset-performance-software/bentley-map-powerview>. [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Bentley (2015c) *Mobile Mapping App for Tablets*. [Online] Elérhető: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/infrastructure-asset-performance-software/bentley-map-mobile>. [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Bentley (2015d) *GIS Web Software – Made Easy*. [Online] Elérhető: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/infrastructure-asset-performance-software/bentley-geo-web-publisher>. [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Bentley (2010a) *City of Montreal Uses Bentley Products to Create and Maintain 3D City Model*. Case Study [Online] Elérhető: http://ftp2.bentley.com/dist/collateral/docs/case_studies/cs_city-of-montreal_local-government-3d-city-gis.pdf. [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Bentley (2010b) *City of Helsinki 3D City Model Supports Master Plan*. Case Study [Online] Elérhető: http://ftp2.bentley.com/dist/collateral/docs/case_studies/cs_city-of-helsinki_local-government-3d-city-gis.pdf. [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Berndorf, Bodo (2010) *Mit WEB 2.0 und 3D Gegen den Leerstand*. Gis. Business, Wichmann 4/2010. Pp: 32-34
- Bkv (n.d.) *Földalatti vasúti múzeum*. [Online] Elérhető: http://www.bkv.hu/hu/muzeumok/foldalatti_vasuti_muzeum_budapest [Utolsó megtekintés: 2015.03.10]
- Boyanova, K. & Bandrova, T. (2012) *3D Mapping for Needs of Architecture*, 4th International Conference on Cartography and GIS, Volume 1, Albena, 18-22 June, 2012, pp. 201-210, Bulgarian Cartographic Association ISBN: ISSN: 1314-0604
- Buchroithner, M. F. & Knust, C. (2013) *True-3D in Cartography—Current Hard- and Softcopy Developments*. Geospatial Visualisation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp: 41–65.

Budapest Lexikon (1973) Akadémiai Kiadó, Budapest

Camargo, João Leopold Wernek (2014) *Burle Marx Park Bridge project aids urban transformation*. Autodesk customer success. [Online] Elérhető: http://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/suites/autodesk-infrastructure-design-suite/docs/pdf/adsk_customer_story_Maubertec_Burle-Marx-Bridge_Brazil_en.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Cartographia (2001) *Középkolai földrajzi atlasz*. Cartographia Kft, Budapest.

Cartwright, William & Peterson, Michael P. & Gartner, Georg (2007) *Multimedia Cartography*. Second edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp. 347-368

Chaturvedi, Kanishk (2014) *Web based 3D analysis and visualization using HTML5 and WebGL*. Degree os Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation. University of Twente, Enschede, the Netherlands. [Online] https://www.itc.nl/library/papers_2014/msc/gfm/chaturvedi.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.12.30]

Christen, M. & Nebiker, S. (2011) *OpenWebGlobe SDK An Open Source High-performance Virtual Globe SDK for Open Maps*. 1st European State of the Map Conference, Vienna. [Online] Elérhető https://www.researchgate.net/publication/232417427_OpenWebGlobe_SDK_-_An_Open_Source_High-Performance_Virtual_Globe_SDK_for_Open_Maps [Utolsó megtekintés: 2015.12.23]

CityGML (2012) *Homepage of CityGML* [Online] Elérhető: <http://www.citygml.org/index.php?id=1523> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Corber, Jon & Wade, Kevin (2005) *Player Perspective: Using Computer Game Engines for 3D Cartography*. Cartographica, Volume 40, Issue 3. Pp: 113-120.

Cuff, D. & Mattson M. T. (1982) *Thematic Maps*. New York and London: Methuen. p: 29-40

Czerwinski, Angela & Dr. Gröger, Gerhard (2012) *Neue Möglichkeiten mit CityGML 2.0 // New Possibilities With CityGML 2.0*. gis. Trends+Markets, Wichmann. 6/2012. Pp: 38-41

DeMeritt, Matthew (2011) *Esri Acquires 3D Software Company Procedural*. [Online] Elérhető: <http://www.esri.com/news/releases/11-3qtr/esri-acquires-3d-software-company-procedural.html> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

- DeMeritt, Matthew (2013) *Esri Goes Hollywood*. [Online] Elérhető: <http://www.esri.com/esri-news/releases/13-3qtr/esri-goes-hollywood> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Dent, Borden D & Torguson, Jeffrey S. & Hodler Thomas W. (2009) *Cartography –Thematic Map Design*. 6th edition McGrayHill, New York
- Detrekői Ákos (2010) *Virtuális földgömbök – 3D városmodellek*. Geodézia és Kartográfia 2010/1 (62). Pp 6-9
- Dézszy Zoltán (1994) [Riport film] *Pincebörtön I-II.rész*. Magyar Televízió. <http://dezsyzoltan.hu/> [Utolsó megtekintés: 2015.03.24]
- DiBiase, D & Maceachren, A & Krygier, J. B. & Reeves, C. (1992) *Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization*. Cartography and Geographic Information Systems, Volume 19, No.4, p. 201-214
- Dobinson, Ken & Bowen, Rod (1997) *Underground space in the urban environment development and use*. A report of the Warren Centre Underground Space project. Technical paper. The Warren Centre for Advanced Engineering The University of Sydney.
- Döllner, J. & Kolbe, T. & Liecke, F. & Sgouros, T. & Teichmann, K. (2006) *The Virtual 3D City Model of Berlin – Managing, integrating and communicating complex urban information*. Proceedings of the 25th International Symposium on Urban Data Management, UDMS 2006 in Aalborg.
- E-építés (n.d.) [Online] Elérhető: <http://www.e-epites.hu/ekozmu-informaciok> [Utolsó megtekintés: 2015.03.23]
- Elliott T. (2012) *Las Vegas treasure acute map*. [Online] Elérhető: http://www.cenews.com/magazine-article----las_vegas__treasure_acute__map-8902.html [Utolsó megtekintés:2015.03.09]
- ESRI (2012) *Three dimensional spatial analytics and modeling is now SOP for the city of Forth Worth, Texas* [online] ArcNews. Elérhető: <http://www.esri.com/news/arcnews/fall12articles/three-dimensional-spatial-analytics-and-modeling-is-now-sop-for-the-city-of-forth-worth-texas.html> [Utolsó megtekintés: 2015.10.11]

ESRI (2013a) *The city of Quebec models a bright future with 3D Gis* [online] ArcNews. Elérhető: <http://www.esri.com/esri-news/arcnews/spring13articles/the-city-of-quebec-models-a-bright-future-with-3d-gis> [Utolsó megtekintés: 2015.10.11]

ESRI (2013b) *3D Modeling Shows Off Elevated Rail System Landscape* [online] ArcNews. Elérhető: <http://www.esri.com/esri-news/arcnews/spring13articles/3d-modeling-shows-off-elevated-rail-system-landscape> [Utolsó megtekintés: 2015.10.11]

ESRI (2013c) *Subsurface Utility Modeled in 3D* [online] ArcNews. Elérhető: <http://www.esri.com/esri-news/arcnews/spring13articles/subsurface-utility-modeled-in-3d> [Utolsó megtekintés: 2015.10.11]

ESRI (2014a) *Taking London by 3D* [online] Elérhető: <http://www.esri.com/esri-news/arcnews/summer14articles/taking-london-by-3d> [Utolsó megtekintés: 2015.10.11]

ESRI (2014b) *Technology and Users. Designing Our Future Urban Redevelopment Authority* [online videó] Elérhető: <http://video.esri.com/iframe/3657/000000/width/960/0/00:00:00> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

ESRI (2014c) *Web AppBuilder for ArcGIS*. [online videó] Elérhető: <http://video.esri.com/watch/3211/web-appbuilder-for-arcgis> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

ESRI (n.d.) *Web Scene Viewer* [online videó] Elérhető: <http://www.esri.com/products/arcgis-capabilities/3d-gis> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

ESRIEdTeam (2011a) *Thematic mapping in ArcGIS Desktop* [online videó] Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=JyYTFR8y8OQ&index=32&list=PLD4A800A9281FCF12> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

ESRIEdTeam (2011b) *Esri GIS in School Instruction Demo #5 – ArcScene (quakes)* [online videó] Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=ASYhox2bRzY&list=PLD4A800A9281FCF12> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Fixír (2010) *Dimenziók*. [Blog] Elérhető: <http://fixirblog.blogspot.hu/> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Gallé, Erika & Reyes Nuñez (2005) *How do Hungarian pupils and teachers use thematic maps in Elementary Schools?* Internet-based cartographic teaching and learning: atlases, map use,

and visual analytics. Joint ICA Commissions Seminar nyomtatott kiadványa. 137-142 old. Madrid-Budapest. [online] Elérhető: <http://lazarus.elte.hu/cet/madrid-2005/galle-reyes.pdf> [Utolsó megtekintés: 2016.02.07]

Gan, Vicky (2015) *A Nerd's-Eye View of New York's Most Complex Subway Stations*. Citylab [online] Elérhető: <http://www.citylab.com/navigator/2015/09/a-nerds-eye-view-of-new-yorks-most-complex-subway-stations/405397/> [Utolsó megtekintés: 2016.02.07]

Garza, Stephen (2014) *Inspire confidence. Design firm uses Autodesk InfraWorks to impress review team and help win infrastructure project*. Autodesk customer success story. [online] Elérhető: http://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/products/autodesk-infracore/docs/pdf/adsk_customer-story_KFW_Drainage-project_letter_us_en.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Gede, Mátyás (2016) *Tematikus térképek Cesiummal*. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VII. Konferencia, Debrecen, Magyarország, 2016.05.26-27. Debreceni Egyetemi Kiadó, 2016. pp. 169-175.

Geographyberalles (2011) *Analyzing Data in 3D ArcGIS Desktop* [online videó] Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=0uzZFUy72xY> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Geo Media (2011) *Integrating 3D and GIS: Intergraph Brings You the Full Power of GeoMedia in 3D*. White paper [online] Elérhető: http://www.intergraph.com/assets/plugins/sgecollaterals/downloads/GeoMedia3D_WhitePaper.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Gjeov-Vjosa (n.d.) *Visualization and Analysis* [Online] Elérhető: http://www.gjeovviosa.com/hxgs_prod_gis_gmadons.html [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

Glander, Tassilo & Trapp, Matthias & Döllner, Jürgen (2012) *Concepts for automatic generalisation of virtual 3D landscape models*. Gis, Wichmann. 1/2012 pp 18–23

Google (2016) *Google Earth API Developer's Guide* [Online] Elérhető: <https://developers.google.com/earth/> [Utolsó megtekintés: 2016.06.26]

Goranson, Chris (2012) *Analyst/ ArcScene tutorial with John Snow's 1854 Cholre Data* [online videó] Elérhető: https://www.youtube.com/watch?v=Nun95_cQzBg [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Guité's, François (2009) *UWorld – Simple Thematic Mapping* [online] Elérhető: <http://francoisguite.tumblr.com/post/46474741682/uuorld-simple-thematic-mapping> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

gvSIG (2009) *Home- Portal gvSIG* [Online] Elérhető: <http://www.gvsig.com/en> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Häberling, C. & Bär, H. & Hurni L. (2008) *Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory*. Cartographica. Volume 43. Issue 3. p.175-188

Hájek, P. & Jedlička K. & Fiala, R. & Kepka, M. & Vichrová, M. & Čada, V. (2014) *Completion of a Complex 3D Model of the Terezín City- Technical Issues*. Proceedings of the 5th International Conference on Cartography and GIS, June 15–20, 2014, Riviera, Bulgaria. Pp 598-606

Harrower M. (2004) *A Look at the History and Future of Animated Maps*. Cartographica. Volume 39. Issue 3 Fall. Pp. 33-42

Harrower M. (2009) *Virtual globes are a seriously bad idea for thematic mapping*. [Online] Elérhető: <http://www.axismaps.com/blog/2009/04/virtual-globes-are-a-seriously-bad-idea-for-thematic-mapping/> [Utolsó megtekintés: 2015.10.24]

Hexagon Geospatial (2015a) *Leveraging your GIS data within an integrated 3D environment* [Online] Elérhető: <http://www.imagem.nl/wp-content/uploads/2015/02/Leveraging-Your-GIS-Data-within-an-Integrated-3D-Environment-white-paper.pdf> [Utolsó megtekintés: 2015.10.24]

Hexagon Geospatial (2015b) *GeoMedia WebMap Brochure* [Online] Elérhető: <http://www.hexagongeospatial.com/brochure-pages/geomedia-webmap-brochure> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]

Hexagon Geospatial (n.d.) *Navigation with the On-Screen Navigation Control* [Online] Elérhető:

<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=00c3fe2aba3d440fa7e80dc579d55838;breadcrumb=f56ecda05b1a61b5549e4b8b06c341e8-1e3a1ca6ab9ba95b803e3996d17a0439> [Utolsó megtekintés: 2015.10.24]

Hexagon Geospatial (n.d.2) *The ISSG Environment. Overview of te Stereo Environment* [Online] Elérhető:

<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=7af643e7272af4b78cf875c8c916e6ae;breadcrumb=61d5750d14b2f6d48bd2f793781b7dbc> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Holics, László (1992) *Fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

IPon (2015) *Kritikus biztonsági rések a Flash-ben és a Javaban* [Online] Elérhető: https://ipon.hu/hir/kritikus_biztonsagi_resek_a_flash_ben_es_a_javaban/34295 [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Inspire (2011) *D2.8.III.2 Data Specification on Building*. Inspire Thematic Working Group Building.

Intergraph (2012) *The City of Virginia Beach Selects Intergraph GeoMedia 3D for Municipal Map Production*. GISCafé. [Online] Elérhető: <http://www10.giscafe.com/nbc/articles/1/1049696/City-Virginia-Beach-Selects-Intergraph-GeoMedia-3D-Municipal-Map-Production> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Intergraph (2013) *PRO600 Products. Photogrammetry in Bentley CAD/GIS Environments*. [Online] Elérhető: <http://www.imagem.nl/wp-content/uploads/2014/07/PRO600-Brochure.pdf> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Klokan Technologies (2011) *WebGL Earth – open source 3D digital globe written in JavaScript*. [Online] Elérhető: [http:// www.webglearth.org/](http://www.webglearth.org/) [Utolsó megtekintés: 2015.12.23]

Kraak, Menno-Jan & Ormeling, Ferjan (2010) *Cartography: visualization of spatial data*. 3rd edition. Pearson Education Limited, London.

Krämer, Michel & Hopf, Christiane (2012) *Gewinnbringende Nutzung von 3D-Stadtmodellen: Ein Erfahrungsbereich aus Mainz*. Gis, Wichmann. 1/2012 pp 28–35

Klinghammer, István & Papp-Váry, Árpád (1983) *Földünk tükre: a térkép*. Gondolat Kiadó, Budapest (384 o.)

Klinghammer, István & Papp-Váry, Árpád (1980) *Tematikus Kartográfia*. Tankönyvkiadó, Budapest

- Landau, Jack (2014) *PATH Network Extension Under COstruction in Southcore Area*. [Online] Elérhető: <http://urbantoronto.ca/news/2014/06/path-network-extension-under-construction-southcore-area> [Utolsó megtekintés: 2016.02.07]
- Leberl, Franz & Márkus, Béla (2010) *Épületek háromdimenziós modellezése az interneten*. *Geodézia és Kartográfia* 2010/2 (62) pp 10-17
- Lukach, Mark (2009) *Hello, Uuorld* [Online] Elérhető: <https://harakabara.wordpress.com/2009/02/07/hello-uuorld/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]
- Map Window (2015) *Map Window Open Source GIS- Home Page* [Online] Elérhető: <http://www.mapwindow.org/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Márton, Mátyás & Gede, Mátyás & Zentai, László (2008) *Föld- (és ég-) gömbök 3D-s előállítása: (Virtuális Földgömbök Múzeuma és digitális virtuális restaurálás)*. *Geodézia és Kartográfia*, 60 (1-2). pp. 36-42. ISSN 0016-7118
- Mao, Bo & Ban, Yifang (2011) *Online Visualization of 3D City Model Using CityGML and X3DOM*. *Cartographica* 46:2, 2011, pp. 109-114. Doi: 10.3138/carto.46.2.109
- Mao, Bo & Cao, Jie & Wu, Zhiang (2012) *Web-based Visualization of Generalized 3D City Models using HTML5 and X3DOM*. *Smart Computing Review*, vol. 2 no.5. October 2012
- Mauchle Auchle, Thomas (2013) *Growing responsibility. Autodesk InfraWorks helps a Swiss canton visualize and analyze future growth*. Autodesk Customer Cuccess Story. [Online] Elérhető: http://www.autodesk.com/content/dam/autodesk/www/industries/civil-infrastructure/land-planning/Docs/planning_customer_story.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.10.14]
- Merchant, Brian (2011) *Finland Builds Massive Underground City to House Industry, Data Centers (Video)* [Online] Elérhető: <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/finland-builds-massive-underground-city-to-house-industry-data-centers-video.html>. [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Munsy, Ankeeta (2012) *Crossrail and Bentley Systems Launch UK's First Dedicated Building Information Modelling Academy*. [Online] Crossrail. Elérhető:

- <http://www.crossrail.co.uk/news/articles/crossrail-bentley-systems-launch-uks-first-dedicated-building-information-modelling-academy> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- N. Kósa, Judit & Szablyár, Péter (2007) *Föld alatti Pest*. Kiadja Budapest Főváros önkormányzata Főpolgármesteri hivatala, Budapest
- Pawlowicz, Leszek (2008) *Animated 3D Thematic Maps With Uuold* [Online] Elérhető: <http://freegeographytools.com/2008/animated-3d-thematic-maps-with-uuorld> [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]
- Pegg, Dave (2012) *Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles*. Conference paper, Elérhető: www.lazarus.elte.hu/cet/academic/pegg.pdf
- Pilgrim, Mark (2011) *HTML 5 az új szabvány*. Kiskapu Kft, Budapest.
- Pődör, Andrea (2010) www.tankonyvtar.hu [Online] Elérhető: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_KAR1/ch01s09.html [Utolsó megtekintés: 2015.08.17]
- Prandi, F. & Devigili, F. & Soave, M. & Di Staso, U. & De Amicis, R. (2015) *3D web visualization of huge CityGML models*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3. [Online] Elérhető: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-3-W3/601/2015/isprsarchives-XL-3-W3-601-2015.pdf> [Utolsó megtekintés: 2015.12.30]
- QGIS (2015) *QGIS honlapja* [Online] Elérhető: <http://www.qgis.org/hu/site/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Quest, Richard (2011) *Helsinki's underground masterplan* [online videó] Elérhető: <http://cnn.com/video/?/video/world/2011/02/14/qmb.fc.helsinki.underground.cnn> [Utolsó megtekintés: 2016.02.02]
- Raisz, Erwin (1962) *Principes of Cartography*. New York: McGraw Hill Book Company Inc. p:195-214, 234-250
- Sandvik, Bjørn (2008a) *Using KML for Thematic Mapping* [Online] Elérhető: http://thematicmapping.org/downloads/Using_KML_for_Thematic_Mapping.pdf [Utolsó megtekintés: 2015.10.23]

- Sandvik, Bjørn (2008b) *Animated prism map in Google Earth* [Online] Elérhető: <http://blog.thematicmapping.org/2008/05/animated-prism-map-in-google-earth.html> [Utolsó megtekintés: 2015.10.23]
- Sandvik, Bjørn (2008c) *Proportional symbols in three dimensions* [Online] Elérhető: <http://blog.thematicmapping.org/2008/06/proportional-symbols-in-three.html> [Utolsó megtekintés: 2015.10.23]
- Sandvik, Bjørn (2009) *Thematic Mapping Techniques* [Online] Elérhető: <http://thematicmapping.org/techniques/> [Utolsó megtekintés: 2015.10.23]
- Savova, Denitsa & Bandrova, Temenoujka (2014) *3D Mapping of Mountain Territories-Virtual Visualisation by 3D Symbol System*. Proceedings of the 5th International Conference on Cartography and GIS, June 15–20, 2014, Riviera, Bulgaria. Pp 388-396
- Schönstein, Michael (2010) *Moderne Stadtplanung dank 3D-Intelligenz*. GIS 4/2010 pp28–30
- Slocum T. A. & McMaster R. B. & Kessler F. C. & Howard H. H. (2005) *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. Second Edition. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. p 56-73, 310-314, 375-388
- Smith, Susan (2011) *Industry News 3D Geospatial Workflows with New Bentley Map V8i SELECET series II*. www10.giscafe.com Science blog [Blog] Elérhető: http://www10.giscafe.com/nbc/articles/view_article.php?articleid=947395&page_no=1 [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Softpedia (2010) *UUorld* [Online] Elérhető: <http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/UUorld.shtml> [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]
- Software Informer (2015) *UUorld 1.0* [Online] Elérhető: <http://uuworld.software.informer.com/1.0/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]
- Stephard, Nathan (2003) *Animation in ArcScene* [Online] Elérhető: <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/files/animation.pdf> [Utolsó megtekintés: 2015.12.20]
- Stoter, J. & Brink, L. & Vosselman, G. & Goos, J. & Zlatanova, S. & Verbree, E. & Klooster, R. & Berlo, L. & Vestjens, G. & Reuvers, M. & Thorn, S. (2011) *A Generic Approach for 3D SDI in the Netherlands*. Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling and Applications and the 6th 3D GeoInfo, 3DCMA 2011, 26-28 June 2011, Wuhan, China, 327-348

- Stoter, J. & Brink, L. & Beetz, J. & Ledoux, H. & Reuvers, M. & Janssen, P. & Penniga, F. & Vosselman, G. & Elberink, S. O. (2013) *Three-dimensional modeling with national coverage: case of The Netherlands*. Geo-spatial Information Science, Volume 16, 2013 [Online] <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10095020.2013.866619> [Utoljára megtekintve: 2015.11.03]
- Stoter, J. & Beetz, J. & Ledoux, H. & Reuvers, M. & Klooster, R. & Janssen, P. & Zlatanova, S. & Brink, L. (2013) *Implementation of a National 3DStandard: Case of the Netherlands*. Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp 277-298
- Sümegehy, Zoltán & Gál, Tamás & Unger, János (2011) *Szeged 3D városmodellje*. Geodézia és Kartográfia 2011/1 (63.évf). pp 13-16
- Szabó, Balázs (2011) *Legendák helyett tények az F4-ről Rákosi bunkeréről*. [Online] Elérhető: <http://epiteszforum.hu/legendak-helyett-tenyek-az-f4-rol-rakosi-bunkererol> [Utolsó megtekintés: 2015.03.10]
- Tenczer, Gábor (2009) [Riport film] *Az elvetélt gellérthegyi lómetró nyomában*. Index videó. <http://index.hu/video/2009/12/29/alagut/> [Utolsó megtekintés: 2015.03.24]
- TORNBERG, J. & THUVANDER, L. (2005) *A GIS energy model for the building stock of Goteborg* [Online] web.mit.edu/cron/.../gisenergymodelforswitz.pdf [Last view: 13.07.2015]
- Trapp, M. & Glander, T. & Buchholz, H. & Döllner, J. (2008) *3D Generalisation Lenses for Interactive Focus + Context Visualization of Virtual Dity Models*. 12th International Conference on IEEE Information Visualization, oo 356-361
- TurboSquid (2010) *Brussels-Capital Region model* [Online] <http://www.turbosquid.com/3d-models/brussels-capital-region-cityscape-3d-obj/947161> [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]
- Uden, Matthias & Zipf, Alexander (2012) *Freiwillig erfasst: Städte in 3D*. Gis. Business, Wichmann. 4/2012. Pp 42-45
- uDig (n.d.) *uDig: home* [Online] Elérhető: <http://udig.refractions.net/> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]
- Unity (2016) *Create and connect with Unty5*. [Online] <https://unity3d.com/> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Ungváry, Krisztián & Tabajdi, Gábor (2012) *Budapest a diktatúrák árnyékában*. Titkos helyszínek, szimbolikus terek és emlékhelyek a fővárosban. Jaffa kiadó, Budapest

Vähäaho, Ilkka (n.d.) *Inderground masterplan of Helsinki. A city growing inside bedrock*. . [Online]

http://www.cob.nl/fileadmin/user_upload/Documenten/PDF/Verdieping/UndergroundMasterplanHelsinki.pdf [Utolsó megtekintés: 2016.02.02]

Wikipedia (2014a) *Kőbányai pincerendszer* [Online] http://hu.wikipedia.org/wiki/Kőbányai_pincerendszer [Utolsó megtekintés: 2015.03.04]

Wikipedia (2014b) *Autodesk 3ds Max* [Online] https://hu.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]

Wikipedia (2015a) *Crossrail*. [Online] <https://en.wikipedia.org/wiki/Crossrail> [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Wikipedia (2015b) *Computer-aided design*. [Online] https://hu.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Wikipedia (2015c) *Level of detail*. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_detail [Utolsó megtekintés: 2015.12.09]

Wikipedia (2015d) *Autodesk Maya*. [Online] https://hu.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Maya [Utolsó megtekintés: 2015.12.10]

Wikipedia (2015e) *OpenGL*. [Online] <https://hu.wikipedia.org/wiki/OpenGL> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Wikipedia (2015f) *WebGL*. [Online] <https://hu.wikipedia.org/wiki/WebGL> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Wikipedia (2015g) *Autostereoscopy*. [Online] <https://en.wikipedia.org/wiki/Autostereoscopy> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Wikipedia (2015h) *New York City Subway*. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/New_York_City_Subway#/media/File:NYC_subway-4D.svg [Utolsó megtekintés: 2016.02.07]

Wikipedia (2016a) *Unity*. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine)) [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Wikipedia (2016b) *Anaglyph 3D*. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph_3D [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Wikipedia (2016c) *Underground City, Montreal*. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Underground_City,_Montreal [Utolsó megtekintés: 2016.02.02]

Wikipedia (2016e) *PATH, (Toronto)*. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/PATH_\(Toronto\)](https://en.wikipedia.org/wiki/PATH_(Toronto)) [Utolsó megtekintés: 2016.02.07]

x3dom (n.d.) *x3dom. Instant 3D the HTML way!* [Online] <http://www.x3dom.org/> [Utolsó megtekintés: 2016.01.16]

Zlatanova S. & Beetz J. (2012) *3D spatial information infrastructure: the case of Port Rotterdam*. Usage, Usability, and Utility of 3D City Models - European COST Action TU0801, Proceedings of the conference held 29-31 October, 2012 in Nantes, France. Edited by Th. Leduc, G. Moreau, and R. Billens, id.03010, 8 pp.

Zeiss, Geoff (2009) *Creating 3D Thematic Maps in AutoCAD Map 3D*. geospatial.blogs.com. Földtudományos blog [Blog] Elérhető: <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2009/08/creating-3d-thematic-maps-in-autocad-map3d.html> [Utolsó megtekintés:2015.12.10]

Zeiss, Geoff (2013) *SPAR 2013: Cevolving an intelligent 3D model of above and below ground infratructure for the City of Las Vegas*. geospatial.blogs.com. Földtudományos blog [Blog] Elérhető: <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2013/04/spar-2013-developing-an-intelligent-3d-model-of-above-and-below-ground-infrastructure-for-the-city-o.html> [Utolsó megtekintés:2015.03.09]

Zantai, László (2000) *Számítógépes térképészet*. Egyetemi tankönyv. Eötvös Kiadó, Budapest.

Zsoldi, Katalin (2014) *3D-s és animációs technológiák a tematikus kartográfiában*. Geodézia és Kartográfia 2014/7-8, 66. évfolyam. Pp 20-25.

Zsoldi, Katalin (2015) *Budapest földalatti világa 3D-ben*. Geodézia és Kartográfia 2015/11-12, 67. évfolyam. Pp 14-19.

Melléklet

Program	3D mód	Modellezés	Adat-bázis	Tematikus ábrázolás	Példa terület
ArcGIS	3D Analyst: Scene, Globe	Alap eszközkészlet, importált modellek	igen	Kartogram, Diagram, Izovonal, jel	Városmodell: Quebec, Honolulu, Közmű: Raleigh
Geo Media	Alapfukció	Importált modellek	igen	Jel, hő->felület, Izovonal	Virginia Beach
Bentley Map	Map Professional	Széles eszközkészlet (CAD)	igen		Földalatt: Helsinki, Montreal, Crossrail
City Engine	Alapfukció	Széles eszközkészlet, procedurális modellezés	attribútumok		Velence, Boston, Szigapúr
Infra Works	Alapfukció	Alap eszközkészlet, importált modellek	attribútumok		Bamberg, Appenzel Inn. Kanton. Közmű: Las Vegas
Google Earth	Visualization API		nem	Kartogram, jel, diagram	
UWorld	Alapfukció		igen	Kartogram	
CAD	Alapfukció	Széles eszközkészlet	nem		Archi CAD: Szófia
Blender	Alapfukció	Széles eszközkészlet	nem	Széles körű, minden módszer	3Ds Max: Pamporovo sípálya

Program	Web viewer	Jellemzés	Földalatti térkép	Animáció	Sztereo 3D
ArcGIS	Web Scene Viewer, WebApp-Builder	Csúnyább megjelenítés, könnyű felépíteni	igen, korlátozottan	GIS közül legjobb	Arc Scene: anaglif, aktív, polarizált
Geo Media	Viewer	Fotorealisztikus render		Alap funkciók	Image Station: fotogrammetria
Bentley Map	Power Viewer (terepi munka)	Komplex állományok, jól importálható objektumok	Igen, széles körben	Alap funkciók	nem, (Bentley PRO 600: fotogrammetria)
City Engine	Web Viewer	Legjobb városkészítésre		Alap funkciók	
Infra Works		Szép megjelenítés, könnyű felépíteni	Igen, korlátozottan	Animálható objektumok	
Google Earth		Nem ajánlott a gömböm a tematika		Igen	
UWorld		Nem ajánlott a kartogram			
CAD		Tervezésre, exportált objektumok	Igen, széles körben	Széles körű	
Blender	(Unityvel)	Legjobb modellezés, legszebb render	Igen, széles körben	Legjobb animációs lehetőségek	Game Engine: anaglif, polarizált, aktív

Összefoglaló

Megfigyelhető a 3D-s technológia terjedése a térképészetben, mára egyre több lehetőség van 3D-s térkép készítésére, mint a korábbi években. A legújabb generációk a mobil eszközöket napi szinten használják, a gyerekeket rengeteg vizuális inger éri, az alkalmazásaik interaktívak. Ezek a változások a térképészetre is hatással vannak, az új technológiában és az új fejlesztésekben hatalmas lehetőségek vannak. Kutatásom témájának ezért a 3D-s térképészeti alkalmazásokat, új 3D-s módszerek fejlesztését választottam.

Kutatásom során kidolgoztam a 3D-s tematikus térképészet és a 3D-s generalizálás elméleti alapjait. Az alapelvek a 2D-s térképészeti szabályokon alapulnak. Kidolgoztam a rajzi elemek 3D-ben történő ábrázolásának szabályait, hogyan kell a síkra, vízre, névra egy 3D-s térképen ábrázolni. Írok az animációról is, ezt a 3D-s ábrázolás részének tekintem.

Megvizsgáltam szoftvereket, hogy mivel állítható elő 3D-s térkép? Az egyes programok milyen minőségű térképet állítanak elő? Hogyan készíthető animált és interaktív térkép? Bemutatom a modellezés alapjait egy 3D modellező programon, és hogyan készíthető interaktív állomány játékkészítő programmal. Megvizsgáltam a valódi 3D-s megjelenítési módokat, a sztereo 3D-t melyet gyakorlatban is kipróbáltam. Megvizsgáltam a nemzetközi példákat, milyen 3D-s tematikus és várostérképek készíthetők.

Több 3D-s térképet készítettem el, hogy bemutassam az elméleti módszerek alkalmazását a gyakorlatban. A dolgozatomban bemutatom az animált és interaktív térképeimet, mely esetekben mely módszert alkalmaztam. Részletesen bemutatom Budapest földalatti 3D-s térképemet. A földalatti objektumok felkutatását komoly kutatómunka előzte meg, az adatokat különböző forrásokból gyűjtöttem össze. Az eredményeimet a dolgozatomban ismertetem.

Megvizsgáltam a 3D-s tematikus, város és földalatti térképek alkalmazásának lehetőségeit, mint várostervezés, oktatás, design, telekommunikáció, ipar, közlekedés, turizmus. Részletesen vizsgáltam a 3D tematikus térképek alkalmazását az oktatásban. Kutattam a 3D városmodellek használatát a várostervezésben. Bemutattam a 3D-s földalatti térképek fontosságát a városi életben.

Kutatásom során vizsgáltam az új technológiai fejlesztéseket, ezeket a térképészetben sikeresen alkalmaztam.

Summary

The 3D technology started to spread in cartography in the last few years, currently we have more opportunity to create 3D maps than before. The youngest generation using the mobile-based environments daily, they get more visual stimulus than years before. This change has an influence on cartography too, and today's cartographers can find great potentials in the new technologies. Considering all these factors I chose the 3D technologies in cartography and developing 3D visualization methods and applications as my research topic.

I worked out the theoretical visualization methods of 3D thematic mapping and 3D generalization based on traditional rules. 3D representation methods were also developed, giving answers to questions as how to visualize diverse graphic elements like area, line and point. How to visualize the borders, rivers, plants, texts, etc. in 3D. The animation methods were also worked out as other solution for data representation.

I examined the software which supports the 3D visualization, described their operations and functions. Can they create animation or interactivity? What type of applications are they used for? I demonstrated the process of 3D modelling with 3D graphic software and how to create interactions with a Game Engine program. The true 3D and stereoscopic displays were examined, and used in practice. I studied the bibliography and examined 3D theoretical methods at international level.

The created 3D maps, as practical examples of theoretical research can be classified into two major categories, the 3D thematic maps and the underground map of Budapest. The making of the underground map was preceded by a rigorous historical research interest of visualizing reliable data.

I examined the fields of use of thematic-, city- and underground 3D maps, like city planning, education, design, telecommunication, industry, traffic and tourism. I examined in detail the applications of 3D thematic maps in education, and the use of 3D city models in urban development. I examined the importance of the 3D underground maps in the life of a city.

New theoretical 3D visualization methods were developed in my research, which I applied in cartography successfully.