

**ALBERT GÁSPÁR**

**HÁROMDIMENZIÓS FÖLDTANI MODELLEK FEJLESZTÉSÉNEK  
ÉS MEGJELÉNÍTÉSÉNEK MÓDSZEREI TÉRINFORMATIKAI  
SZEMLÉLETTEL**

Doktori (Ph.D) értekezés

Eötvös Loránd Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskola  
Vezető: Dr. Monostori Miklós D.Sc. egyetemi tanár

Térképészet Doktori Program  
Vezető: Dr. Klinghammer István D.Sc., CMHAS egyetemi tanár

Témavezető: Dr. Zentai László D.Sc. egyetemi tanár  
ELTE Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Magyar Állami Földtani Intézet  
Budapest, 2009



# Tartalom

<b>TARTALOM</b> .....	<b>1</b>
<b>1 BEVEZETÉS</b> .....	<b>3</b>
<b>2 A MODELLEZÉS ÁTTEKINTÉSE</b> .....	<b>7</b>
2.1 A MODELLEZÉS FOGALOMKÖRÉNEK MEGHATÁROZÁSA .....	7
2.2 A FÖLDTANI MODELLEZÉS TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE .....	9
2.3 A FÖLDTANI MODELLEZÉS ELŐFELTÉTELEI ÉS KRITÉRIUMAI .....	11
2.3.1 A földtani modell méretaránya .....	12
2.3.2 Mérési adatok korrekciója .....	13
<b>3 A 3D MODELL ADATRENDSZERÉNEK FELÉPÍTÉSE</b> .....	<b>17</b>
3.1 AZ ADATOK HIERARCHIÁJA .....	19
3.2 AZ ALAPADATOK FORRÁSA .....	20
3.3 AZ ÉSZLELÉSI FÖLDTANI TÉRKÉPEK DIGITÁLIS FELDOLGOZÁSA .....	22
3.3.1 A térképi tartalom ellenőrzése .....	23
3.3.2 A térképi tartalom helyesbítése .....	27
3.3.3 A térkép előállítás .....	27
3.3.3.1 A térkép vonalművének letisztítása .....	29
3.3.3.2 Topológia építése .....	30
3.3.3.3 A térkép arculatának kialakítása .....	31
3.4 TOPOGRÁFIAI ADATOK FELHASZNÁLÁSA .....	33
3.4.1 Vektoros alaptérképek .....	34
3.4.2 Raszteres alaptérképek .....	35
3.4.3 Az adatfelhasználás jogi keretei .....	38
3.5 KÖNYVTÁRSZERKEZET .....	38
3.5.1 Egységesített adatrendszer v 1.0 .....	39
3.5.2 Egységesített adatrendszer v 2.0 .....	41
3.6 DIGITÁLIS FÖLDTANI ALAPADAT GYŰJTEMÉNY .....	43
3.6.1 Szöveges leírások formátuma és funkciója .....	44
3.6.2 Adatbázis mezők, avagy dokumentációs kategóriák .....	45
3.6.3 Archív anyagok szöveges leírásainak formázása .....	49
3.7 FÖLDTANI KÉPZŐDMÉNYEK ÉS KUTATÓFŰRÁSOK ADATBÁZISAI .....	51
3.7.1 A térképi adatbázis .....	51
3.7.2 A fűrési adatbázis .....	54
3.8 EGYEDI AZONOSÍTÁSI MÓDSZEREK .....	55
<b>4 A MODELLEZÉSI MÓDSZEREK BEMUTATÁSA</b> .....	<b>57</b>
4.1 SZABÁLYTALAN MODELLEK .....	59
4.1.1 Egy- és kétparaméteres modellek .....	59
4.1.2 Háromparaméteres modellek .....	60
4.1.2.1 A sík definiálásának módozatai .....	61
4.1.2.2 Két észlelési ponton, adott dőlésszöggel és égtáj szerint kétértékű dőlésiránnyal megadható síkok paramétereinek számítása .....	63
4.1.2.3 Három észlelési ponttal megadott síkok paramétereinek számítása .....	66
4.1.3 Szabálytalan háromszögháló (TIN) felületek .....	69
4.1.3.1 A TIN háló előállítása .....	70
4.1.4 Szabálytalan térbeli testek .....	72
4.1.4.1 Szabálytalan alakú egyedi test .....	73
4.1.4.2 Szabálytalan térbeli tetraéderháló .....	73
4.2 SZABÁLYOS MODELLEK .....	74
4.2.1 Grid modellek .....	75
4.2.1.1 A grid modell adatainak feldolgozása és tárolása .....	76
4.2.1.2 A rácspontok értékeinek számítása .....	77
4.2.2 Szabályos térháló (voxel) modellek .....	81
4.3 MODELLEKKEL VÉGZETT EGYSZERŰ MŰVELETEK .....	85
4.3.1 Mérési adatok felületté alakítása .....	85
4.3.2 A felületmodellek algebrája .....	86

4.4	ÖSSZETETT TÉRMODELL KIALAKÍTÁSA – ESETTANULMÁNY A PÁL-VÖLGYI-BARLANG ÉS KÖRNYEZETÉNEK MODELLJEIN KERESZTÜL .....	88
4.4.1	<i>A modellek szerkezetének összetétele</i> .....	89
4.4.2	<i>Modellezés szabálytalan egyedi testek módszerével – a volumetrikus modell</i> .....	90
4.4.2.1	A modell adatainak forrása .....	90
4.4.2.2	A barlangjáratok típusai .....	92
4.4.2.3	A térmodell előállítása .....	94
4.4.2.4	A térmodell vizsgálata .....	97
4.4.3	<i>Modellezés szabályos térhálóval – a porozitás modell</i> .....	100
4.4.3.1	A másodlagos porozitást befolyásoló tényezők meghatározása .....	100
4.4.3.2	A pórustérfogat meghatározása .....	102
4.4.4	<i>A modellezés eredményeinek értelmezése</i> .....	106
<b>5</b>	<b>A MODELL MEGJELENÍTÉSE</b> .....	<b>109</b>
5.1	A MODELL VIZUALIZÁCIÓS KÖVETELMÉNYEI .....	109
5.2	HAGYOMÁNYOS MEGJELENÍTÉS SÍKSZERŰ ÁBRÁZOLÁSSAL .....	110
5.2.1	<i>Bányavágatok térképének előállítása elméleti 3D modell alapján – a centrális hengervetület gyakorlati alkalmazása</i> .....	111
5.2.1.1	Az adatgyűjtés körülményei .....	111
5.2.1.2	A földtani dokumentálás menete .....	113
5.2.1.3	A palásttérkép előállítása .....	114
5.2.1.4	Hibaforrások .....	117
5.2.2	<i>A földtani modellek és térképek nagyközönség számára is elérhető, érthető interpretációi</i> .....	119
5.2.2.1	Modellekből népszerűsítési céllal előállított szelvények .....	121
5.2.2.2	A földtani túratérkép műfaji ismertetése .....	123
5.3	A MODELL MEGJELENÍTÉSE A VIRTUÁLIS TÉRBEN .....	128
5.3.1	<i>A GEONukleus lekérdező és megjelenítő szoftver</i> .....	128
5.3.2	<i>Alkalmazásmodell</i> .....	130
5.3.3	<i>A kliensoldali alkalmazások bemutatása</i> .....	132
5.3.3.1	Rétegkezelés .....	133
5.3.3.2	Térképes navigáció .....	134
5.3.3.3	Térbeli elemzés .....	135
5.3.3.4	Adatbázis-elérés .....	138
5.3.3.5	Nyomtatás .....	139
5.3.4	<i>Egyéb feltételek</i> .....	139
<b>6</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	<b>143</b>
<b>7</b>	<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS</b> .....	<b>147</b>
	<b>SUMMARY</b> .....	<b>149</b>
	<b>KIVONAT</b> .....	<b>150</b>
	<b>IRODALOMJEGYZÉK</b> .....	<b>I</b>
	<b>ÁBRAJEGYZÉK</b> .....	<b>V</b>
	<b>TÁBLÁZATJEGYZÉK</b> .....	<b>VII</b>



# 1 BEVEZETÉS

A gyakorlati kartográfia a 1990-es évek elejétől világszerte digitális szerkesztési módszereket használ. A digitális térképszerkesztési módszerek egyben a térinformatikai alkalmazások előfeltételei is, amennyiben a digitálisan előállított térképeket digitális formájukban összekapcsoljuk a térképi elemek tulajdonságaira vonatkozó adatbázissal. Ezek az adatbázisban tárolt tulajdonságok témák szerint rendszerbe foglalhatók, és a térképi objektum formai megjelenésének paraméterein túl a leképezett objektumra is vonatkozhatnak, ezáltal megteremtve a lehetőséget a tárolt adatok tematikus lekérdezésének. A térinformatika tehát a modern tematikus kartográfia eszköze.

A földtan tudománya a tematikus kartográfiát hívja segítségül, amikor a feltárt ismeretanyag térbeli vonatkozásait jeleníti meg (ALBERT 2004/a), ezért amikor földtani térképeket szerkesztünk, akkor a mai kor információtechnikai eszközeit is alkalmaznunk kell ahhoz, hogy a korszerű ismeretterjesztési csatornákon (pl. internet) keresztül is bemutatható legyen a térképünk. A mai földtani térkép célszerűen tehát digitálisan szerkesztett, térinformatikai adatbázisháttérrel rendelkező „intelligens” tematikus térkép. Bár a térképhasználók többsége ma még a nyomtatott, papír alapú térképeket részesíti előnyben, tudnunk kell, hogy ezeknek a térképeknek a teljes funkcionalitása csak számítógépen használható ki. Így van a földtani térképeknél is; a térképhasználó geológusok papírtérképet vesznek a kezükbe, és a térképszerkesztő geológusok többsége papírra rajzol. Ám a kétdimenziós kommunikációs felület vezérelvéhez, avagy a „papír paradigmához” való ragaszkodás ma már megköti a geológus kezét. A földtani térképek esetében a számítógépen való megjelenítés új dimenziók lehetőségét is magában hordozza (pl. TURCZI ET AL. 2004), ezeket azonban már földtani modelleknek nevezzük, amelyeknek a felülnézeti, síkban megjelenített képe a földfelszín földtani tematikáját hordozó tematikus térkép.

A földtani kutatások célja, hogy a felszín alatti kőzetekről, képződményekről (pl. nyersanyagok, víz, barlangok, stb.) információt szerezzünk, és abból kiindulva előre jelezzük a vizsgált kőzetek és képződmények tulajdonságait olyan helyeken is, ahonnan nem áll rendelkezésünkre ismeretanyag. Ennek hagyományos eszközei: 1) a földtani térkép, ahol az elsődleges adatok a képződmények felszíni kibukkanásaiból származnak; 2) a földtani szelvények, amelyeken az adatok a felszíni térképről és a mélyföldtani kutatásokból (pl. fúrások, geofizikai mérések) származnak. A térszemlélet fontos eszköze a geológusnak, ezért a térképet és a földtani szelvényeket sok esetben axonometrikus, vagy katonai perspektívában ábrázolt tömbszelvényként már az informatikai forradalom előtt is megjelenítették. Földtani

modelleket akkor is és most is azért készítenek, hogy térbeli információkat a kétdimenziós módszereknél szemléletesebb formában jelenítsenek meg (ALBERT 2005/a).

A mai adatgyűjtési és rögzítési módszerekből adódóan egyre több térbeli adat kerül földtani adatbázisokba, amelyek kiértékelése a hagyományos 2D módszerekkel túl időigényes. Ezért a földtani információ megjelenítése virtuális háromdimenziós térben nem csak látványos, de szükséges is ahhoz, hogy az adott kutatási területet kellő szakmai minőségben megismerhessük, és az eredményeket (a sokszor szűkös határidőn belül) közzétegyük.

A hazai földtani kutatás központja a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), amelynek alaptevékenysége az ország földtani térképezése. Fennállásának 140 éve<sup>1</sup> alatt az ország területéről jelentős mennyiségű térképi anyag és fúrásdokumentáció készült. A térképek mai ismereteket tükröző átértelmezése a 2005-ben lezárult 1 : 100 000-es méretarányú „Egységes Országos Földtani Térkép” (EOFT-100) szerkesztése során valósult meg. E program egységesítette a digitalizált térképek és a digitális adatbázisban tárolt fúrások egy részének (mintegy 43 000 db) jelkulcsrendszerét (GYALOG ET AL. 2005), megteremtve a földtani modellezés technológiai alapjait. Ezekről elindulva, aktív kutatási területekre koncentrálni szándékoztam kialakítani olyan technológiákat, amelyek alkalmazása hatékony földtani modellezést tesz lehetővé.

Az Intézet munkatársaként tapasztaltam, hogy a földtani térmodellek szerkesztése térképészeti, földtani és informatikai ismereteket egyaránt igénylő időigényes feladat, amelynek egyik legfontosabb eleme a térmodell megtervezése. Ezért célom volt olyan rendszertervezési elvek kidolgozása és gyakorlati alkalmazása, amelyek a földtani modell megvalósításának és karbantartásának idő és személyi igényét optimalizálják.

Az Intézetben végzett kutatói tevékenységem során, gyakorlati alkalmazásokon keresztül tanulmányoztam a térinformatikai adatbázisokhoz kötődő *földtani modellezés* általános ismérveit és feltételeit. Kutatásaimban kitértem a modellszerkesztés *technológiai sorának* vizsgálatára is, amely a modellezői környezettől független alapelveken nyugszik. Vizsgáltam a földtani modell átlátható és valóság-közeli megjelenítési lehetőségeit (2D, 3D, +időfaktor). Továbbá célom volt, hogy a földtani modellezés informatikai eszközeit megismerjem, és hogy használatuk során szerzett tapasztalataimat összegezve meghatározzam a gyors, könnyen kezelhető technológiák alapvető ismérveit.

---

<sup>1</sup> Elődjét, a Magyar Királyi Földtani Intézetet 1869-ben alapították.

Az aktuális korhoz kötődő információs és vizuális kultúra igényei szerint megjelenített tudományos munkák, legyenek azok térképek, vagy látványos 3D modellek, könnyebben eljutnak mind a laikus, mind a szakmai célközönséghez (pl. GROSHONG 1999). Ezért publikációimban több alkalommal hangsúlyoztam, hogy a 3D földtani modellek vizuális megjelenítése nem kerülhet háttérbe a technikai követelményekkel szemben, mivel a szép és látványos formátum által a földtani információ értéke a célközönség számára megnő, és a nagyobb érdeklődés hatására hosszú távon a földtudomány szerepe is felértékelődik a társadalomban.



## 2 A MODELLEZÉS ÁTTEKINTÉSE

Mikor szerkesszünk földtani modellt? A válasz egyszerű: földtani modellek szerkesztése csaknem minden esetben előnyös, ha az adatbázisokban, digitális térképeken és térinformatikai rendszerek által elérhető egyéb módon tárolt földtani információt több módon is (pl. térképen, földtani szelvényen, statisztikai számításokban, stb.) fel akarjuk használni, és az adatok összefüggéseit szemléletes formában akarjuk látni. Még abban az esetben is, ha olyan információs rendszer áll rendelkezésünkre, amely még nem tartalmaz elegendő adatot ahhoz, hogy érdemleges modellt lehessen belőle építeni, azonban számítunk rá, hogy adataink bővülni fognak és jobban megvilágítják az adott terület földtani képét.

Egyszerűbb szerkezetű modelleket viszonylag rövid idő alatt létre lehet hozni, ezért ha sok adatunk van, de kevés időnk, akkor ahelyett, hogy kézimunkával néhány adatot kiválasztva megpróbálnánk kialakítani az optimális földtani képét egy adott területnek, inkább a földtani modell kínálta gyors adatelemzés érdekében a rendelkezésre álló erőforrások minél nagyobb részét a modell előállítására célszerű fordítani, mert a későbbiekben ez a befektetés megtérül.

Azonban akkor, ha nagyon kevés adatunk van és technológiai lehetőségeink erősen korlátozottak, vagy ha nem a valós földtani képre vagyunk kíváncsiak, hanem a földtani információ sematikus összefüggéseire (pl. elvi rétegsor, elvi szelvény), nem érdemes a földtani modell készítését fontolgatni.

### 2.1 A modellezés fogalomkörének meghatározása

A modellezés fogalmát nehéz egy mondatban megfogalmazni, mert mindig vannak olyan vonatkozásai, amelyek kilógnak a definíció alól. A legtömörebb, de mégis általános érvényű megfogalmazása angolszász nyelvterületről származik (WIKIPEDIA - MODEL)<sup>2</sup>:

*„A model is a pattern, plan, representation, or description designed to show the structure or workings of an object, system, or concept.”*

Magyarul a modell olyan logikai minta, terv, megjelenítés, vagy leírás, amelyet egy tárgy, rendszer vagy fogalom szerkezetének illetve működésének bemutatására terveztek. E megfogalmazásba tehát besorolhatók a modell elméleti és absztrakciós megközelítési módjai és a megjelenítésre fókuszáló megközelítési módjai is. Modelleket számos tudomány használ, amelyeket alapvetően hasonló, de bizonyos részletekben eltérő fogalommal definiálnak, ezért interdiszciplináris értekezések esetén körültekintően oda kell figyelni a fogalom definíciójára.

---

<sup>2</sup> A magyar változat sokkal körülményesebben fogalmaz (<http://hu.wikipedia.org/wiki/>)

Jelen értekezés a földtani, vagy geológiai modellezés fogalmát járja körül, amelynek megfogalmazása a következő:

*Földtani modellezés, a földtan tárgykörébe tartozó információk (adatok) megjelenítése és értelmezése valós térbeli elhelyezkedésüknek megfelelően.*

Az alábbi felsorolás a modellek további általánosító jellegű megfogalmazását mutatja be, amelyek a különböző tudományágak területén használatos modellekre (így a földtani modellekre is) érvényesnek tekinthetők. E megfogalmazások egymásra épülnek és a matematikára alapuló tudományokban alkalmazott modellekre vonatkoztathatók.

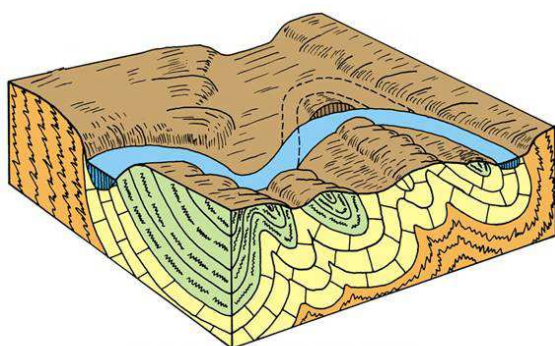
- *Az absztrakt (vagy logikai) modell* előrejelzésre (is) alkalmas képlet előállítására használható fogalmi elem vagy absztrakció, amely idealizált logikai keretek között működik és matematikai értelemben vett változókat, valamint a köztük fennálló logikai és mennyiségi összefüggéseket is magába foglalja.
- *Az ok-okozati modell* olyan absztrakt modell, amely ok-okozati összefüggések logikáját alkalmazza rendszerek leírásakor.
- *A matematikai modell* olyan absztrakt modell, amely a matematika nyelvén van megfogalmazva.
- *A számítógépes modell* olyan számítógépen futó program, amelyik megpróbálja szimulálni egy bizonyos rendszer absztrakt modelljét.
- *Az adatmodell* egy adatbázis rendszerének leírása.
- *A mentális modell* egy személy kognitív képe egy bizonyos fogalomról vagy elgondolt folyamatról.

Ezek alapján a földtani modell egyszerre tekinthető *absztrakt*, *ok-okozati*, illetve *matematikai* modellnek; valamint a modellezés folyamata olyan alkalmazott tudományágnak, amely földtani sajátságok *számítógépes modelljét* állítja elő. Ezt a meghatározást, tudományágtól függetlenül, a ma alkalmazott modellezési eljárások többségére érvényesnek tekinthetjük, ami egyben magába foglalja a modellek háttéradatainak számítógépen való tárolását és rendszerbe foglalását, azaz *adatmodelljét* is. A modellezés során sokszor nagy szerepet játszik az adatokat kiértékelő szakember személye is, különösen akkor, amikor nem egyértelmű, hogy mely adatokat lehet, vagy nem lehet beépíteni a modellbe, vagy esetleg túl kevés adat áll rendelkezésre és létező analógiák alapján kell egy adott rendszer szerkezetének

modelljét előállítani. Ilyenkor a kiértékelő személy *mentális modellje* is számottevő befolyásoló tényező lehet.

## 2.2 A földtani modellezés történeti áttekintése

Háromdimenziós földtani modellek megjelenése nem kötődik az informatikai forradalomhoz. Az első kézzel rajzolt modellek a tömbszelvény-szerkesztés kartográfiai és mérnöki szabályainak alkalmazásával jöttek létre, és már a számítógép-korszak előtt is sok földtani kutatásnak voltak kiegészítői (1/a. ábra). Földtani jelenségeket, képződményeket valóságghűen bemutató háromdimenziós (pl. gipsz) modelleket akkor is azért készítettek, hogy a térbeli információkat a kétdimenziós módszereknél (szelvények, térképek) szemléletesebb formában jelenítsenek meg (1/b. ábra).



a,

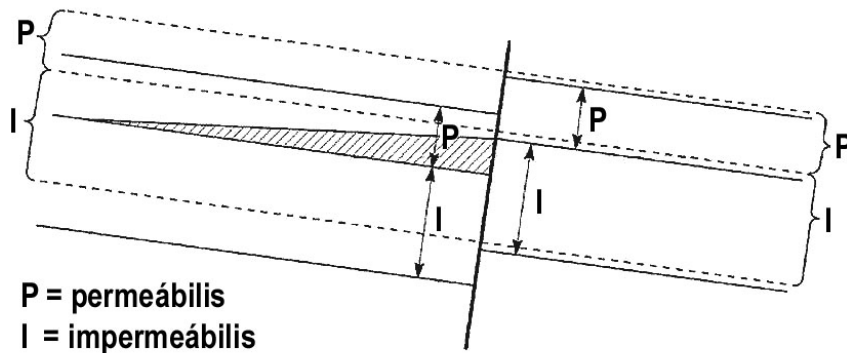


b,

**1. ábra. A analóg modellezési módszerek: a, tömbszelvény; b, gipsz modell. A tömbszelvény a New York-i Inwood Park szerkezetföldtani felépítését ábrázolja (MERGUERIAN 2005 nyomán), míg a gipsz-modellt az amerikai Magnolia Petroleum társaság készítette 1950-ben (GIPSZ MODELL 1950).**

A megjeleníteni kívánt földtani képződmények és szerkezetek térbeli kiterjedésének ábrázolására gyakran alkalmaznak *tömbszelvényeket*. Ezek látványos formái eleget tesznek a vizualizációs igényeknek, azonban nem alkalmasak adatelemzési célokra. Ennek legfőbb oka, hogy nem, vagy csak nagyon pontatlanul olvasható le róluk adat. A virtuális 3D modellek megjelenése előtt adatelemzési célokra a papíron jól megjeleníthető *vízszintes és függőleges metszetek* voltak a legalkalmasabbak. Ettől a jól bevált módszertől nehéz elszakadni akkor is, ha 3D modellben dolgozunk. E kétdimenziós paradigma azonban a 3D modell szerkesztését és kiértékelését nagyon le tudja lassítani. A szelvények és vízszintes metszetek, vagy akár a háromdimenziós állóképek is csak az adatok egy szűk tartományát jelenítik meg. Az adatok korlátozása a földtani értelmezést is korlátozza, ugyanakkor a 3D modellezési környezet síkra vetítése értékes időt von el. A virtuális tér számos lehetőséget kínál az elemzőnek, hogy a

rendelkezésre álló adatokat minél több módon vegye szemügyre. E lehetőségek közé tartozik a nézőpont mozgatása, forgatása, az ortogonális (párhuzamos) és perspektivikus vetítés váltogatása, melyek nyilvánvalóvá tehetnek dolgokat, amik egy egyszerű szelvény szerkesztése során fel sem merülnek.



2. ábra. Két vető által létrehozott hidraulikus csapda elméleti modelljének Allan-diagramja. A papír síkja az egyik vető felszínének felel meg. Szaggatott vonal a kimozdult blokk réteghatárait, folytonos vonal az elvetett blokk réteghatárait jelöli. A kitöltött rész a hidraulikus csapdát jelöli (BAGTZOGLU 2003 nyomán)

A 2D megjelenítéshez történő ragaszkodást sokáig indokoltá tette, hogy a 1990-es évek közepéig csak keveseknek volt elérhető a fejlett információs technológia. A 3D szemlélet másik, mai napig is élő korlátja a tudományos publikációk papíron történő terjesztése. Ez utóbbit a multimédiás és internetes kiadványok lehetősége szintén kezdi háttérbe szorítani. A 2D/3D paradigmaváltás átmeneti időszakában azonban tudománytörténeti szempontból érdekes hibrid eljárások is születtek. Ezek egyike, amely a 3D *tektonikai modellek* előzményei közé sorolható, az Allan-féle vetőábrázolás, vagy Allan-diagram (ALLAN 1989), melynek célja, hogy 2D-ban (papíron) jól elemezhető módon egyszerre ábrázoljuk az elvetett és a kimozdult kőzetblokkok rétegfelépítését (2. ábra). Alkalmazása a 1990-es évek első felében volt népszerű, főleg szénhidrogén rezervoárok (kőolaj- és földgáztartalmú kőzetek) kutatásában. Napjainkban az információs technológia fejlődésével egyre elérhetőbbé váló 3D modellek elavulttá tették ezt a módszert.

A földtudományi célú térinformatikai adatbázisok felhasználásával szerkesztett 3D modell tehát nemcsak a látványos megjelenítéssel nyújt többet az egyszerű térképnél, illetve szelvénynél, hanem a tematikus elemzések gyors és könnyen módosítható elvégzésével is. Általános tapasztalat, hogy egyre több térbeli adat kerül földtani adatbázisokba, amelyek kiértékelése a hagyományos 2D módszerekkel (szelvények, térképek szerkesztése) túl



időigényes. Ahhoz, hogy ezek az adatok a sokszor igen szűk határidőn belül kiértékelhetők legyenek, mindenképp célszerű gyorsabb technológiát alkalmazni.

### **2.3 A földtani modellezés előfeltételei és kritériumai**

A vizuális megjelenítés kiemelt feladata a modellezésnek, ezért nem kerülhet háttérbe a technikai követelményekkel szemben. Ennek az elvnek speciális alkalmazásai a *látványmodellek*, amelyekben sokszor akkora hangsúlyt kap a megjelenítés, hogy a modell adattartalma torzul. Ezek a modellek többnyire alkalmatlanok tudományos elemzésekre. Mégis hasznosak a földtudományok szempontjából, mivel a látványos 3D-megjelenítésen keresztül a földtani információ eljuthat a szakmán kívüli közönséghez is; ezáltal a földtani információ értéke megnő, és a földtudomány szerepe felértékelődik. Tudományos igényű modellek esetében a vizualizáció és az adattartalom torzítatlanságának szempontjai kiegyenlített viszonyban vannak.

A ma folyó földtani kutatások csaknem mindegyikében megtalálható valamilyen formában a 3D modell. Ennek oka nemcsak az aktuális divatirányzatokban keresendő, hanem abban a jogos igényben is, hogy a legújabb informatikai technológiákat alkalmazva nagymennyiségű földtani adatot jelenítsünk meg közérthető formában. A háromdimenziós modellezés, mint a geo-informatikának egyik legfiatalabb ága, nem rendelkezik kiforrott módszertannal. Számos irányzata létezik, amelyek technológiájukban és megjelenítési módjukban eltérnek egymástól, s amelyeket többnyire a modell célja illetve névleges méretaránya szerint csoportosíthatunk:

- A modell célja szerinti kategorizálás:
  - Rétegtani (korrelációs) modell.
  - Víz- és szénhidrogénföldtani modell.
  - Szerkezetföldtani modell.
  - Általános földtani modell.
- Adatsűrűség (névleges méretarány) szerinti kategorizálás:
  - Észlelési vagy lokális modell.
  - Regionális modell.
  - Litoszféramodell.

Mindegyik modell más-más technológiát igényel, ezért az adatkezelési módszerek is különbözőek lesznek. Ettől függetlenül azonban a modellezéssel járó előnyök, amelyek valamennyi módszernél jelentkeznek, más-más hangsúllyal. Ezek az előnyök azok, amelyek miatt érdemes földtani modellt szerkeszteni:

1. Egy jól strukturált földtani modell gyors adatelemzést tesz lehetővé.
2. Az adatok áttekintése többféle (virtuális) nézőpontból új értelmezésre adhat lehetőséget. A modell forgatása, egyes részletekre való ráközelítés, valódi perspektivikus vetítés alkalmazása új eszközöket ad egy földtudományi szakember kezébe.
3. A látványos 3D megjelenítésen keresztül a földtani információ eljuthat a szakmán kívüli közönséghez is, miáltal a földtani információ értéke is nő.

Láthatjuk, hogy a földtani modellezés szerteágazó műfaja a *litoszféramodellektől* kezdve, a regionális *rétegtani korrelációs modelleken* át, a lokális *építésföldtani modellekig* terjedhet, ezért az első és legfontosabb feladat a modell céljának körvonalazása, vagyis annak eldöntése, hogy a modellt mire fogjuk használni.

Ugyanez szükséges ahhoz is, hogy fejlesztői környezetet válasszunk. A későbbiekben bemutatandó modellezési módszerek többnyire nem kötődnek egy szoftverhez sem, de a technológiai okok, valamint a földtani képződmények és tektonikai elemek geometriai tulajdonságai miatt bizonyos szoftverek alkalmasabbak a tárgyalt tematikájú modellek elkészítésére. Általánosan azonban kimondható, hogy minden igénynek megfelelő modellező szoftver nem létezik.

### 2.3.1 A földtani modell méretaránya

A modell méretaránya egy elméleti fogalom, amit leginkább a földtani megfigyelések részletességével és egységnyi területre eső számával, azaz gyakoriságával lehet jellemezni. Az észlelések gyakorisága és a névleges méretarány közti összefüggés megfelel a földtani térképekkel szemben támasztott követelményeknek (1. táblázat). Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a méretarányosan megjelenített modell (pl. gipsz modell; 1. 1. ábra) minden köbcentiméterére átlagosan 1 megfigyelési pont jusson. A lokális vagy észlelési méretarány felső hataraként megközelítőleg a feltárás-dokumentálásoknál gyakran alkalmazott 1:100-as méretarány adható meg (efölötti méretarányok már mikro-modellek). Alsó határa – és egyben a regionális modellek felső határa – az 1:10 000-es méretarány. A regionális modellek alsó méretaránya megközelítőleg 1:250 000-es; e modelleknek már nem szigorú követelménye az adatok torzítatlansága.

**1. táblázat. A földtani modellek névleges méretarányát meghatározó észlelések gyakorisága.**

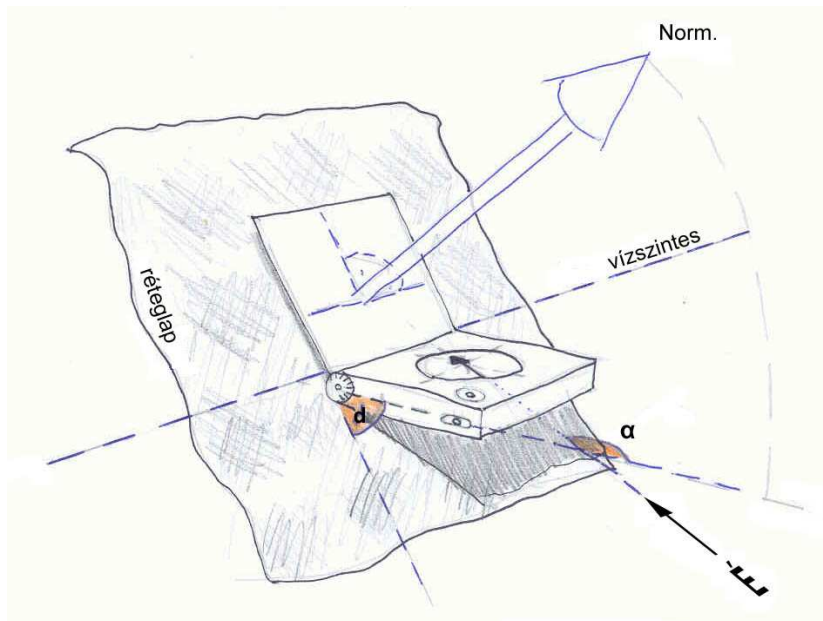
	Névleges méretarány (nominal scale)	Észlelési pontok száma 1 km <sup>3</sup> -enként (observations per km <sup>3</sup> )
Regionális	1: 250 000	0,06
	1:200 000	0,13
	1:100 000	1
	1:50 000	8
	1:25 000	64
Észlelési	1:10 000	1 000
	1:5 000	8 000
	1:1 000	1 000 000
	1:500	8 000 000
	1:100	1 000 000 000

### 2.3.2 Mérési adatok korrekciója

A 3D földtani modellek térbeliségüknél fogva numerikus jellegű adatokat tartalmaznak, amelyek eredetileg valamilyen mérés folytán kerülnek a modell adatrendszerébe. Ha az adatokat átvesszük valahonnan, akkor azok megbízhatóságát és érvényességét is ellenőriznünk kell. Azokban az esetekben, amikor az eredeti adat forrása (pl. alaptérkép) a modellezési környezetünk geodéziai rendszerétől eltér, geodéziai transzformációt kell végezni. Sokszor közvetlen mérésekből származó adatot jelenítünk meg a modell térben; ekkor a mérést végző műszer (pl. mágneses kompasz) paramétereit figyelembe véve illesszük az adatot a modell adatrendszerébe.

Terepi mérési adatok a földtanban leggyakrabban a képződmények rétegtani és szerkezeti helyzetének valós térbeli meghatározását célozzák. Előbbit a szedimentációs jegyek (pl. réteglapok), utóbbit a szerkezeti elemek (pl. vetősíkok) geometriai elhelyezkedésének mérésével érik el.

Mind a szerkezeti elemekhez, mind a szedimentációs bélyegekhez köthető terepi észlelések számszerűsíthető értéke kompasszal (3. ábra) végzett mérésekből származik, amellyel a sík és a síkokon fellelhető lineáris elemek irány- és dőlésszögét határozzák meg. Ebből adódóan a mért szögértékek a Föld mágneses meridián vonalaihoz viszonyított irányyszögek. Ha a mérési adatokat valamilyen vetületi rendszerben akarjuk megjeleníteni, azok a mérés helyétől függően korrigálandók a vetületi meridiánkonvergencia és a mágneses elhajlás értékével.



3. ábra. Klinométeres kompasszal végzett terepi mérés rétegdőlés meghatározására. Magyarázat:

$\alpha$  = irányszög (azimut);  $d$  = dőlésszög; Norm. = a réteglap síkjának normálisa.

Az alábbi számítások derékszögű koordináta-rendszerben  $x$ ,  $y$ ,  $z$  paraméterekkel megadott koordinátaértékekre lettek kidolgozva. A derékszögű koordináta-rendszer északi tengelye vetülettől függően eltérhet a valós földrajzi, illetve a mágneses északtól. Ennek mértéke a vetületi kezdő-meridiántól való távolsággal növekszik. A Magyarországon használatos Egységes Országos Vetület (EOV) kezdő-meridiánja a Gellért-hegyen átmenő hosszúsági kör (MIHÁLYI 1995). Ettől keletre és nyugatra a koordináta-rendszer északi tengelye nem a földrajzi északot mutatja. A vetületi meridiánkonvergencia mértéke a nyugati országhatár közelében  $-2^\circ$  körüli, a keleti határ közelében  $2^\circ$  körüli érték (2. táblázat). Az adatok pontos orientációjához azonban a mérés idején aktuális mágneses elhajlást is figyelembe kell venni, ami Magyarország területén 1995. január 1-re meghatározott asztronómiai értékek (1995.0 epocha) alapján  $1^\circ 50' - 3^\circ 20'$  közötti érték volt keleti irányban (KOVÁCS ÉS KÖRMENDI 1999) (4. ábra). A mágneses deklináció ( $D$ ) mértéke azonban évről-évre változik ( $d$ ), amelynek mértékét szintén a földrajzi elhelyezkedés ( $\varphi$  és  $\lambda$ ) befolyásolja.

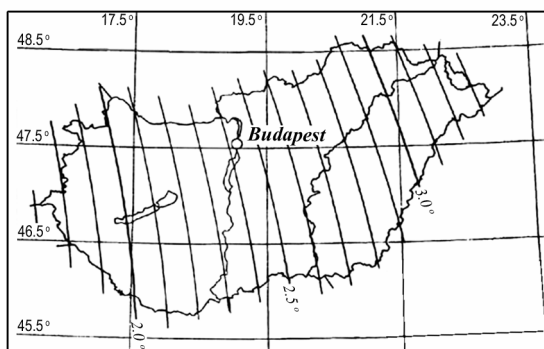
$$D = 99,04 + 0,00469 * j + 0,2196 * m + 0,00027 * j^2 + 10^{-5} * m * j - 10^{-6} * m^2$$

$$d = 4,41 + 0,00033 * j - 0,00276 * m$$

$$j = \varphi' - 2730' \text{ (az adatok fokpercben értendők)}$$

$$m = \lambda' - 960'$$

Ezek figyelembevételével a terepen mért csapás- és dőlésirány észlelések a modell koordinátarendszerébe való illesztésekor korrigálандók. A korrekció mértéke EOV (Egységes Országos Vetületi) rendszerű térkép, vagy modell esetén a 2. táblázatban olvasható. A terepi mérések pontossága azonban nem közelíti meg azt az értéket, ami a precíz korrekciót indokoltá tenné, ezért a gyakorlatban elfogadható, ha csak egész fokértékekkel módosítjuk az adatokat.



4. ábra. A mágneses deklináció normál tere Magyarország területén az 1995.0 epochra. A mágneses izovonalak  $0^{\circ} 6'$ -et reprezentálnak (KOVÁCS és KÖRMENDI 1999 alapján).

Ugyanilyen, de fordított irányú módosítás indokolt abban az esetben, ha létező térképről vagy modelltől olvasunk le irányadatokat és a kapott értékek további felhasználásra kerülnek felszíni adatokkal együtt (pl. sztereogram-kiértékelésekben<sup>3</sup>).

2. táblázat. Mágneses kompasszal mért szögirányok torzulásai EOV rendszerbe illesztéskor 2005-ben (ALBERT 2005/a).

Mérési pont	Meridiánkonvergenencia	Mágneses elhajlás 2005. január 1.-én*	Mért szögek elforgatása EOV-rendszerben
Szentgotthárd	-2,05	2,49	4,54
Sopron	-1,82	2,60	4,42
Keszthely	-1,32	2,68	3,99
Veszprém	-0,81	2,83	3,65
Pécs	-0,60	2,84	3,44
Tatabánya	-0,45	2,97	3,42
Budapest	0,00	3,10	3,10
Salgótarján	0,56	3,31	2,75
Eger	0,97	3,39	2,42
Miskolc	1,25	3,50	2,25
Sárospatak	1,84	3,69	1,84

\*Az 1995.0 epochra és a  $\Phi = 45,5^{\circ}$ ;  $\Lambda = 16^{\circ}$  referencia-pontra vonatkoztatott formulával számolva.

<sup>3</sup> A szerkezetföldtanban alkalmazott ábrázolási módszer, ami a síkszerű tereptárgyakon (pl. réteglap, vető) mért dőlésirány és dőlésszög értékeket először egy gömbi vetületen ábrázolja, majd a gömbi vetület egyik féltékéjét sztereografikus síkvetületben képezi le.



### 3 A 3D MODELL ADATRENDSZERÉNEK FELÉPÍTÉSE

A modellek térinformatikai hátterének, tehát az adatrendszernek az optimális struktúrája biztosítja az adatok gyors feldolgozásának, tárolásának és megjeleníthetőségének feltételeit. Akkor nevezhetjük optimálisnak az adatrendszer szerkezetét, ha e három funkcióra épülő informatikai apparátussal a működtetésbe és fejlesztésbe fektetett idő és energia legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint ha ugyanazt a végeredményt a rendszer működtetése nélkül állítanánk elő; röviden, ha a lehető legkisebb idő és energia befektetéssel a lehető legtöbbet ki tudjuk hozni az adatainkból. Az adatrendszer alapvető funkciói a következők:

- *Feldolgozás:*

Az adatfeldolgozó eszköz feladata a szöveges, számszerű (és logikai), képi illetve geometriai elemek digitális rögzítése. Ennek megfelelően az eszközök lehetnek szövegszerkesztő, táblázatkezelő, képfeldolgozó és vektorgrafikus CAD programok.

- *Tárolás:*

Adattároló eszköz az adatok biztonságos tárolását és elérhetőségét biztosítja. A digitális adat háttértárolókon helyezkedik el jellegének megfelelő formátumban. Numerikus és ahhoz hasonló (pl. logikai és numerikusan kódolható) adatok általában adatbázisokban foglalhatók össze, így kezelésüket egy adatkezelő alkalmazással (pl. MS Access) oldhatjuk meg. Egyéb adatok (pl. szövegek, rajzok, fotók) leggyakrabban önálló fájlokban vannak, ezért gyors visszakeresésüket a fájlok egységes nevezéktana és a digitális tároló koncepciózus könyvtárstruktúrája teszi lehetővé.

- *Megjelenítés:*

Az adatok megjelenítése szintén az adat jellegétől függ. Sok esetben az adatfeldolgozó alkalmazás is lehetőséget ad rá, hogy egy adott formátumot igényeinknek megfelelően jelenítsen meg (pl. MS Word szövegszerkesztő). A modellezés szempontjából a megjelenítő alkalmazás viszont a térbeliség vizuális élményét kell, hogy megteremtse amellet, hogy a különböző adattípusokat egyszerre és külön-külön is kezelni tudja az adatok esetleges transzformációjával. A háromdimenziós modellezés szempontjából tehát a megjelenítő eszköz a legösszetettebb funkciójú komponens, amely a modell megjelenítésén túl annak szerkesztését és elemzését is lehetővé teszi. Ezért nevezhetjük magának a modellező eszköznek is, amellyel szemben az általunk támasztott igények meghatározása a modell használhatósága szempontjából kulcsfontosságú.

A komplex modellező rendszerek általában megoldást nyújtanak mindhárom funkcióra, a legtöbb alapvető adattípus tekintetében. Ezek a megoldások azonban gyakran nem felelnek meg a felhasználó igényeinek, vagy preferenciájának. Ezért ezeket az eszközöket arra is felkészítették, hogy kész adathalmazokat tudjanak beolvasni és a kívánt elemzések elvégzése után más formátumba exportálni. Ha az eszköznek nincs meg ez az átjárhatósága, akkor a használati értéke csökken; a komplex rendszerek beüzemelése hosszú folyamat, ami nem elkerülhető. Ha olyan rendszert állítunk üzembe, amely nem felel meg az igényeinknek, akkor a befektetett idő és energia elveszett, ezért az igények előzetes megfogalmazása a komplex (és emiatt költséges) modellező rendszerek esetén különösen fontos.

Egy háromdimenziós földtani modell előállításához használt fejlesztőszoftverrel szemben támasztott főbb kritériumok (Albert 2003) a következők lehetnek:

- Képes legyen háromdimenziós (xyz) adatokat egyszerű, általánosan elterjedt adatformátumokból fogadni, illetve exportálni.
- Gyors és könnyen kezelhető módon építse fel a felületmodelleket, az eredeti adatok torzítása nélkül.
- Támogassa a fejlett fedvény/réteg-struktúra kialakítását és kezelését (rétegek ki- és bekapcsolása, átnevezése, kijelölése, stb.).
- Legyen lehetőség a modell entitásainak (beleértve a felületeket is) dinamikus átszerkesztésére újabb adat beérkezése esetén.
- Szabadon lehessen mozogni a modell térben, illetve tetszőlegesen beállított nézőpontból lehessen szerkeszteni az objektumokat.
- Támogassa a tetszőleges vonalvezetésű függőleges szelvények létrehozását egyszerre több felület felhasználásával.
- Engedélyezze az egyszerűbb szerkesztési műveletek automatizálását (script-fájlok futtatása).
- Legyen lehetőség a modell valóság-közeli megjelenítésére (perspektív nézet, renderelés, berepülési útvonalak, stb.).
- Térinformatikai elemzések céljából az objektumokhoz attribútumokat lehessen rendelni, és ezeket külső adatbázisokkal összekapcsolni.



Ez a felsorolás általánosító és összefoglaló jellegű, és magába foglalja a felhasználói (ergonómiai), adatkezelési, megjelenítési és elemzési feladatokat, amelyeket ELEK 2006-os tanulmányában részletesen ismertetett a geoinformatikai szoftverekkel szemben támasztott általánosan elvárható követelmények megfogalmazásakor. E tanulmány szempontrendszere legnagyobb részben a modellezés során használatos programok esetében is érvényes kiegészítve a valódi térbeli modellezéshez szükséges funkciókészlettel<sup>4</sup>.

A következő alfejezetekben a földtani modellek alapadatainak hierarchikus csoportosításáról, származási helyéről, feldolgozásáról és tárolásáról lesz részletesebben szó, valamint áttekintést adok a modell objektumainak egyedi azonosítási módszereiről is.

### 3.1 Az adatok hierarchiája

A háromdimenziós földtani modell célja, hogy a felszíni és a térben sporadikusan elhelyezkedő adatok, adatsoportok felhasználásával olyan eszközt adjon a kutatók és értékelők kezébe, melynek segítségével felszíni és felszín alatti környezetben a tér bármely pontjának fizikai paramétereire jól közelítő becslést adhatnak.

A modellezési módszerek elsősorban matematikai becslési eljárásokra (pl.: lineáris interpoláció, kriegelés stb.) épülnek. Adathiányos területeken (pl. a fiatal üledékekkel fedett egykori lepusztulási felszín domborzatának egyes területein) hagyományos kézi szerkesztési eljárásokat is alkalmazhatunk, amelyek a más, jól feltárt területek, valamint hasonló korú és genetikájú képződmények irodalmi adatokból ismert morfológiájának analógiájára építhetnek. E műveletek során a meglévő térbeli adatokból kiindulva új adatok jönnek létre azokon az elsősorban felszín alatti területeken, amelyekre a közvetlen kutatás nem terjed ki. A generált adatok pontossága fizikailag megfelel a kiindulási adatokénak, azzal a kitételrel, hogy a becslési eljárások során keletkező adatok értelemszerűen csak közelítő értékek lehetnek; ezt a későbbi számítások során mindig szem előtt kell tartani.

A földtani modellben szereplő adatokat hierarchikusan két csoportra oszthatjuk: elsődleges vagy *statikus adatokra*<sup>5</sup> és *levezetett adatokra*<sup>6</sup>. A földtani modell statikusnak nevezhető részét többnyire a dokumentált és osztályozott felszíni kőzetkibúvások és a fúrási adatbázisból nyert adatok szolgáltatják. Ezekből állnak elő a levezetett adatok a becslési eljárások során. A levezetett adatok a modellezési eljárástól függően szabályos rács- vagy

---

<sup>4</sup> Valódi térbeli modellezésről akkor beszélhetünk, ha a modellező szoftver segítségével bármilyen térbeli alakzatot elő tudunk állítani, adatot tudunk hozzá csatolni és elemezni tudjuk a térbeli tulajdonságait (pl. térfogatát és felületét).

<sup>5</sup> Statikus adatok: *A modellezés során változatlan értékkel szereplő adatok.*

<sup>6</sup> Levezetett adatok: *A modellezés során a statikus adatok mennyiségének és tulajdonságainak függvényében változó adatok.*

térháló szerkezetben, illetve szabályos vagy szabálytalan formájú geometriai objektumokként fordulhatnak elő a modell térben. Az így keletkezett adatpontokat és formákat újabb, nagyobb prioritású adattal (pl. újabb fúrási adat) felül lehet írni.

A kiindulási adatokat egy vagy több, sokszor a modellezés során is folyamatos fejlesztés alatt álló adatbázis szolgáltathatja. Ilyenek lehetnek a felszíni földtani térképezés során észlelt képződmények térképei az észlelési jegyzőkönyvekkel, a kutató fúrásokban észlelt kőzetek megnevezése és földtani jellemzése, vagy a geokémiai laboratóriumokba szánt minták felsorolása a mintavétel helyének pontos megnevezésével. Ezekben a földtani adatbázisokban tárolt adatok többnyire észlelések, tehát statikus adatnak tekinthetők, ezáltal az adatbázis változása befolyásolhatja a modellezett objektumok levezetett tulajdonságait. Ennek következményeként a beérkező adatok folyamatos feldolgozása mellett, az új adatok által érintett objektumok paramétereit (pl. a felületmodelleket) megfelelő módon át kell alakítani a modellben. Ahhoz, hogy ez ne igényeljen külön emberi beavatkozást, a modell szerkezetét úgy kell kialakítani, hogy a levezetett adatok előállításuk automatikus, de legalább automatikus adatfeldolgozással könnyített munkamenet legyen.

Az automatikus adatfeldolgozás leginkább a kiválasztott fejlesztőszoftver lehetőségeinek függvénye; csakúgy, mint az, hogy a modellezni kívánt felületeket interaktív módon szerkesszük, illetve átszerkesszük újabb adatokkal; továbbá, hogy lehetőséget kínál-e a felhasználók számára, hogy a 3D modellt tetszőlegesen forgathassák, felületek opcionális megjelenítését, illetve lehántolását igény szerint módosíthassák, valamint szelvények, tömbszelvények nyomvonalának szabad megválasztásával segítsék elő a terület földtani felépítésének jobb megismerését. A nézőpont tetszőleges megválasztása, valamint a modell térben történő szabad mozgás miatt jelentősen könnyebbé válhatnak a földtani kép kialakításához szükséges szerkesztési feladatok a háromdimenziós térben. A modell részletessége általában felhasználói beállítás függvénye, de célszerű úgy megválasztani, hogy alkalmazkodjon a beérkező adatok pontosságához.

### **3.2 Az alapadatok forrása**

Egy 3D földtani modell előállításához az alapadatok jól strukturált halmaza kell, hogy rendelkezésre álljon. Az információtechnológia nyelvén ez azt jelenti, hogy térinformatikai rendszerek és velük szorosan összefüggő adatbázisok nélkül a hatékony modellezés nem megoldható. A földtani modellek alapadatai a statikus adatok, amelyek forrásai lehetnek:

- Tematikus (földtani) térképek.

- Topográfiai (alap) térképek.
- Terepi észlelési jegyzőkönyvek (földtani alapadat gyűjtemény).
- Kutatófúrások.
- Lokális mintavételezések.
- Műszeres vizsgálatok.

Az alapanyag sok esetben rendelkezésre áll, de nincs rendszerezve, illetve olyan adatszerkezetben lehet fel, ami a modellépítés szempontjából nem megfelelő. Erre példa lehet egy kézzel begépel, de nem táblázatba szedett fúrási jegyzőkönyv, amelyet annak ellenére, hogy digitális formában megvan, újra elő kell venni és átalakítani megfelelő táblázatos, immár adatbázisnak nevezhető formátumba, hogy az adatok rendszerezettek és könnyen elérhetőek legyenek.

A térképi alapanyag előállítás és rendszerezése minden térinformatikai rendszer alapja, ezért a térképek digitalizálásakor jó, ha figyelembe vesszük a későbbi felhasználási módokat minden lehetséges szempontját. Ha ez nem történik meg, akkor a fenti példához hasonlóan munka- és költségigényes módon kell a későbbiekben az elődök mulasztását pótolni.

A térképek tematikus tartalma lehetőleg ugyancsak jól rendszerezett, egyértelmű módon álljon rendelkezésre. Ennek érdekében célszerű, ha a földtani képződmények jelölésének és egységes besorolási szempontjainak, azaz egy földtani jelkulcsnak a kidolgozása megelőzi a térképek feldolgozását. Ugyancsak ez a földtani jelkulcs lesz az alapja a kutatófúrásokban észlelt földtani képződmények besorolásának is.

A műszeres vizsgálatokból nyerhető adatok legjellemzőbb területe a geofizika, ahol mind vonal menti (pl. karotázs mérések fúrásokban), mind szelvény menti (pl. szeizmikus és geoelektromos), sőt felületi (3D szeizmika, lézeres letapogatás) mérésekből keletkezhetnek elsődleges adatok. Ezek az adatok szintén változatos formában állhatnak rendelkezésre, kezdve a papíron ábrázolt grafikonoktól, a nyers numerikus formátumon keresztül, a kiértékelt és értelmezett rétegsorokig, illetve a földtani szelvényekig és térképekig.

Az adatrendszer kialakításakor a digitális állományok tárolásának és elérhetőségének tervezésére is érdemes figyelmet fordítani. Ez nemcsak a tárolás helyének, tehát a könyvtárszerkezetnek a meghatározását jelenti, hanem a fájlok elnevezésének irányelveit is. Ezek alapelvei viszonylag egyszerűek s ezek ismertetésére, példákon keresztül, a későbbiekben (l. 3.5 fejezet) részletesen is kitérek.

### 3.3 Az észlelési földtani térképek digitális feldolgozása

A térképek digitális feldolgozása a térinformatikai rendszerek és ezekre épülő alkalmazások (pl. navigáció, helyfüggő szolgáltatások, háromdimenziós modellek stb.) előállításának első lépése. A széles tömegek igényeit kielégítő szolgáltatásokhoz többnyire elég a tájékozódáshoz szükséges térkép, ezért a topográfiai alaptérképek digitális feldolgozása ma már nagy infrastruktúrával és kiforrott technológiával rendelkezik. A tudományos igényeket kielégítő tematikus térképek, mint a földtani térképek is, azonban nem kerülnek a nagyközönség érdeklődésének középpontjába, ezért a földtan tárgykörébe tartozó bármiféle térinformatikai feladathoz a földtani térképek digitális feldolgozását az adatokat archív formában tároló intézményeknek kell megoldaniuk. A földtani térképek Magyarországon az 1869-óta rendszeres tudományos felméréseket végző Magyar Állami (korábban Magyar Királyi) Földtani Intézet tevékenysége során jöttek létre, és az alapadatok nagy része ma is papíron, sokszor csak egyetlen kéziratos példány formájában létezik.

**3. táblázat. Forgalomba hozott tájegységi földtani térképsorozatok Magyarországon (ALBERT 2004/a alapján)**

érintett terület	nyomtatásban megjelent	felvételi lap	koordináta-rendszer	vetület	felvétel ideje	megjegyzés
Dorogi-medence	1:10 000 (A0-ás íven)	1:5000	St	G-K, St	1956-1966 között	elnevezés település szerint, magyarázóval
Mátra	1:10 000 (B0-ás íven)	1:10 000	St	G-K, St	1962-1972 között	elnevezés település szerint, magyarázóval
Mecsek	1:10 000 (B0-ás íven)	1:10 000	St, Hdr	G-K, St, Hdr	1963-1976 között	elnevezés település szerint, magyarázóval
Bakony	1:20 000 (B0-ás íven)	1:10 000	nincs	G-K, St	1966-1981 között	elnevezés település szerint, magyarázóval
Tokaji-hegység	1:25 000 (B0-ás íven)	1:10 000	nincs	G-K, St	1962-1971 között	elnevezés település szerint, tájegységi magyarázóval
Kisalföld	1:100 000 (változó méretben)	1:25 000	nincs	G-K, EOVS	1980-as, 1990-es évek	a magyarázó mellékleteként
Alföld	1:200 000	1:25 000	nincs	G-K	1980-as, 1990-es évek	atlasz formátum (41x29 cm)

Magyarázat: EOVS= Egységes Országos Vetületi Rendszer; St= Sztereografikus Rendszer; G-K= Gauss-Krüger Topográfiai Térképrendszer; Hdr= Déli Hengervetületi Rendszer.

A Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) alapfeladatai között szerepel az ország területének földtani térképezése, amihez a mai kornak megfelelő térinformatikai struktúrát a felhasználás módjának és a méretarányának (adatmennyiségnek) megfelelő térinformatikai rendszerrel (GIS) hozunk létre. Az észlelési térképek jelentős része kéziratos formájában, illetve a digitális feldolgozás kezdeti stádiumában található. Ezek feldolgozása során elsődlegesen az egységes formátum kialakítását és az archív térképek forrásanyagként történő felhasználhatóságának lehetővé tételét tűztük ki célul.

A több mint fél évszázadra visszanyúló szisztematikus terepi munkák során az ország szinte minden tájegységéről készült földtani felvétel, így észlelési térkép is. Ezek egy része olyan szintre jutott, hogy nyomdai sokszorosításban is megjelent (pl. Dorogi-medence, Mátra, Mecsek, Bakony; l. 3. táblázat). Azonban nagy részükből csak kisebb méretarányú levezetett térképek születtek (pl. Kisalföld, Alföld), amelyek már nem hordozzák az eredeti észlelésekhez egyértelműen köthető információt.

Az eredeti térképek felhasználása azonban sokkal szélesebb körű lenne, mint a levezetett térképeké, amelyek közepes méretarányuknál fogva közvetlen terepi használatra alig alkalmasak. A földtani térképek észlelési méretaránya 1:5000–1:25 000 között van; leginkább 1:10 000. Ugyanezt a méretarány-tartományt használják az erdészeti, mezőgazdasági (talajtani és tájökológiai), illetve tájrendezési munkálatoknál is, amely szakmák mindegyike forráanyagként használhatná a földtani térképeket. A korábban felvett nagy méretarányú térképek felhasználására a MÁFI újabb terepi munkálatai során is nagy szükség van. Erre mutattak rá azok a tapasztalatok, amelyeket a Vértes és a Gerecse földtani térképezésének kéziratait nyomtatható, színezett és jelkulccsal, valamint topográfiai alappal ellátott észlelési térképek egyedi arculattal szerkesztett sorozataként való megjelentetése során szereztünk.

A Vértes és a Gerecse 1:10 000-es és 1:25 000-es térképlapjainak régi dokumentációs anyagát a későbbi feldolgozás és a terület tájegységi térképeinek szerkesztése miatt olyan formátumban archiváltuk, ami a térinformatikai szemléletnek is megfelel. Ennek érdekében a térképi anyag feldolgozását lépésekre bontottuk, és különválasztottuk a terepi észlelési jegyzőkönyvek digitális feldolgozásától (l. 3.6 fejezet). Mindkét dokumentumtípus a közvetlen terepi megfigyeléseket tartalmazza, amelyek elsődleges- vagy alapadatnak tekinthetők. E papír alapú adathordozók nagy részét digitális formátumban is rögzítettük, és elhelyeztük egy erre a célra kialakított könyvtárrendszerben (l. 3.5 fejezet). Ez a könyvtárrendszer az adatmodell részét képezi azáltal, hogy a benne tárolt dokumentumok neve és elérési útvonala beépül a térinformatikai rendszer adatbázisába hivatkozásként. Az alábbiakban a térképi anyag feldolgozásának lépéseit ismertetjük.

### **3.3.1 A térképi tartalom ellenőrzése**

A térinformatikai feldolgozás alapvető feltétele volt, hogy a terület észlelési térképei digitális formátumban, azonos fájlstruktúrával legyenek előkészítve. Mivel a térképezési területen több terepi felvétel is folyt, és ezek egy része digitális, más része kézzel rajzolt formában volt meg, első lépésben össze kellett gyűjtenünk az adott térképlapra vonatkozóan

elérhető információkat, és ezeket az előkészített egységes könyvtárrendszerben, és átlátható egységes fájlnevezéktannal digitális formátumban el kellett mentenünk. A folyamat lépései:

- A kézzel rajzolt térképeket beszkeneltük és a megadott nevezéktan szerint digitálisan archiváltuk.
- Az eredeti digitális állományokat érintetlenül archiváltuk, és a kialakított nevezéktannak megfelelő új néven is elmentettük.

A meglévő digitális alapanyagok esetében ellenőriznünk kellett azok belső szerkezetét, tartalmát és konzisztenciáját, ami a következő munkafázisokban történt:

- A térkép koordinátarendszerének ellenőrzése.
- A digitális állomány belső szerkezetének (szintkiosztásának) ellenőrzése.
- A térkép tartalmának ellenőrzése formai szempontok alapján.
- A térképen szereplő földtani indexek kigyűjtése és egyeztetése az érvényes index formátumokkal (adatbázisokkal).

A térkép koordinátarendszerének ellenőrzésére azért volt szükség, mert gyakran más koordinátarendszerben található a régen digitalizált térképlapok. Ennek oka, hogy a terepi felvétel is olyan topográfiai térképszelvényeken készült, amelyek koordinátarendszere az 1937-ben bevezetett, és 1967-ig a polgári térképészetben hivatalosan használt Katonai Sztereografikus Koordinátarendszer volt. A MÁFI által működtetett térinformatikai rendszerekben ma az Egységes Országos Vetület (EOV) koordinátarendszerét használjuk. Az ettől eltérő rendszerben tárolt digitális térképi alapanyagok esetében koordinátatranszformációt kellett végezni.

Az archív digitális állomány belső szerkezetének (szintkiosztásának) ellenőrzésére minden esetben szükség volt. Ennek oka, hogy egy-egy adott térképarchiválási, illetve térképfeldolgozási projekt egyedi rétegekészlettel működhet a MÁFI-n belül is. A Vértes-Gerecse 2001 után digitalizált térképlapjainak esetében a 4-es táblázat rétegekiosztása volt iránymutató, és a régebben feldolgozott állományok szerkezetét is ehhez a rendszerhez igazítottuk. A régebben digitalizált térképek mindegyike Bentley Microstation programmal készült (dgn formátumban), ezért az állományok rétegeit többnyire csak számokkal azonosíthattuk. A digitalizálás továbbra is ezzel a programmal, vagy AutoCAD-del történt. A 4-es táblázatban az AutoCAD-ben használt rétegek nevét illetve a Microstation-ben használt rétegek számozását is feltüntettük. A rétegek tartalmának előzetes meghatározása a digitalizálás

időpontjában a későbbi feldolgozás céljától függött, ami sok esetben ma már nem is rekonstruálható. A számozott rendszer átnevezése ezért az archiválandó tartalom és az archív állományok általunk meghatározott szerkezetétől függ. Ennek következtében gyakran találoztunk olyan digitális állományokkal, amelyekben egyes rétegeket összevontunk, míg másokat különválasztottunk. Célunk a redundancia kiküszöbölése és a gyors térinformatikai feldolgozás feltételeinek megteremtése volt.

**4. táblázat. Az 1:10 000 és 1:25 000-es észlelési és fedett földtani térképek fedvény- avagy rétegekiosztása AutoCAD-ben és Microstation-ben:**

	Rétegek neve (AutoCAD)	DGN* szint	Rétegek tartalma
1.	_keret	60	Térképkeret
2.	0	63	Operátori fedvény
3.	Ft_1szft_hat	1	Szálfeltárások határa (folytonos vonaltípus)
4.	Ft_2tft_hat	2	Törmelékes feltárások határa (szaggatott vonaltípus)
5.	Ft_3fft_hat	3	Fedett feltárások határa (pontozott vonaltípus)
6.	Fti_11szft_idx	11	Szálfeltárás földtani indexe
7.	Fti_12tft_idx	12	Törmelékes feltárás földtani indexe
8.	Fti_13fed_idx	13	Fedett feltárás földtani indexe
9.	Ftx_15ftsorsz	15	A feltárás sorszáma
10.	Ftx_doles	5	Rétegdőlés jele és számszerű megírása
11.	Ftx_egyeb_obj	18	Egyéb objektumok (lelőhely, karszt)
12.	Ftx_furasok	16	Fúrások szövege és 3D oszlopa
13.	szin_szft	-	Szálfeltárások színezése
14.	szin_tft_fed	-	Törmelékes és fedett feltárások színezése
15.	tkt_eszl_feltol	25	Észlelt feltolódás vonala
16.	tkt_eszl_norm	23	Észlelt normálvető vonala
17.	tkt_eszl_norm_kicsi		Észlelt másodrendű normálvető vonala
18.	tkt_eszl_szerkvon	24	Észlelt szerkezeti vonal
19.	tkt_ftetel_feltol	35	Feltételezett feltolódás vonala
20.	tkt_ftetel_norm	33	Feltételezett normálvető vonala
21.	tkt_ftetel_norm_kicsi		Feltételezett másodrendű normálvető vonala
22.	tkt_ftetel_szerkvon	34	Feltételezett szerkezeti vonal
23.	tkt_gy_antikl	29	Antiklinálistengely vonala
24.	tkt_gy_szinkl	(30)	Szinklinálistengely vonala
25.	tkt_gyftet_antikl	39	Feltételezett antiklinális tengelye
26.	tkt_gyftet_szinkl	(40)	Feltételezett szinklinális tengelye
27.	tkt_jura_has	-	Jura hasadékkitöltés vonalként
28.	tkt_jelek	40	Tektonikai jelek (eltolódási nyilak)
29.	tkt_gyteng		Gyűrődéstengely jele (antiklinális és szinklinális összevonva)

\* DGN = a Microstation programmal előállított vektoros állományok kiterjesztése

A digitális térkép tartalmának ellenőrzése során formai szempontok alapján arra kívántunk választ kapni, hogy alkalmas-e az adott állomány a térinformatikai feldolgozásra. Az általunk alkalmazott szintkiosztás nem mindegyik archív alapanyagra vonatkozott teljes körűen. Előfordult, hogy a térképen nem szerepeltek bizonyos vonalas vagy szöveges kategóriák (pl. tektonika, fedett képződményhatár, feltárásszámozás stb.). A térinformatikai szempontú feldolgozás azonban egyes térképi objektumokat nélkülözhetetlenné tett. Ezek többnyire a képződményhatárok és a földtan indexek voltak. Amennyiben ezek hiányoztak, akkor a

hozzáférhető eredeti dokumentáció (pl. felvételi térkép kéziratok, terepi jegyzőkönyvek) alapján pótolni kellett.

A térképen szereplő földtani indexek kigyűjtése és egyeztetése az érvényes indexformátumokkal (adatbázisokkal) jelentette a legnehezebb feladatot. Az észlelési térképeken előforduló földtani indexekből adatbázis készült, amely a feldolgozás során folyamatosan bővült. Ez a térképi adatbázis egy Excel-táblázat, amely lekérdezési kapcsolatban van a MÁFI központi szerverén elérhető egyesített fúrási és jelkulcs adatbázis (GYALOG ET AL. 2005) lementett tartalmával. Ez a táblázat tárolja többek között az egyes földtani indexek első megjelenési helyét (térképlap neve), amennyiben az még nem szerepelt a központi adatbázisban, de a legfontosabb funkciója az egyes földtani képződményekhez rendelt színkódok tárolása volt. A terepi felvétel során alkalmazott, de nem elfogadott indexmódosulatokat szintén tároltuk.

A nehézséget legfőképp az jelentette, hogy szinte minden feldolgozott lapon túlsúlyban szerepeltek olyan földtani indexek, amelyek szintaktikája nem volt egyeztethető az érvényes, központi adatbázisban szereplő formátummal. Gyakori volt, hogy az indexek nem karakterláncként, hanem egyedi numerikus kód formájában szerepeltek, amelyekből nem olvasható ki a képződmény típusa, így azonosítása is nehéz, vagy grafikus formátumban voltak meg (blokkok ill. cellák), amelyek neve volt csak egyedi jelleget hordozó és beazonosítható. Ezeket át kellett alakítani úgy, hogy minden térképen szereplő folthoz tartozzon egy karakterlánc (index), ami megfeleltethető a MÁFI érvényes földtani indexeit tároló adatbázisában egy rekordnak.

A térképlapok földtani indexeiből épült térképi adatbázisban gyakran előfordultak olyan rekordok, amelyeket sem az index karakterei, sem a rendelkezésre álló eredeti dokumentáció alapján nem lehetett egyértelműen azonosítani, vagy túl általános képződménymegnevezést tükrözött. Ezeket, továbbá a hiányzó, vagy a központi MÁFI jelkulcs szintaktikai elveivel ellenkező indexek listáját eljuttattuk az adott lap szerkesztőjéhez, majd az általa kijavított indexeket visszahelyettesítettük a térképre. Esetenként az eredeti szerkesztő nem volt már elérhető, abból fakadóan, hogy egyes térképlapok lezárása óta eltelt akár több évtized<sup>7</sup> is, így a javításokat a hozzáférhető alapanyagok (pl. terepi jegyzőkönyvek, fúrási rétegsorok) alapján végeztük.

---

<sup>7</sup> A Vértes és a Gerecse területére eső térképlapok közül az elsőket még 1958-ban kezdték térképezni a MÁFI munkatársai.



### 3.3.2 A térképi tartalom helyesbítése

Következő lépés volt a térképek tartalmának helyesbítése formai és tartalmi szempontok alapján, ami egyrészt a szomszédos térképlapok tartalmával történő egyeztetést, másrészt a topográfiai alap és a domborzatfüggő térképi elemek (pl. völgykitöltések) összehasonlítását foglalta magában.

A topográfiai alaphoz illesztés előtt célszerű végiggondolnunk, hogy a térkép milyen célra készül; ha csupán a felvételi lapok archiválása a cél (mint a Vértes és a Gerecse esetében is volt), akkor a felvétel során használt topográfiai térképhez illesztjük a tartalmat. Ha azonban létezik digitális állományban vektoros topográfia, amely domborzatrajzzal is rendelkezik, akkor ehhez igazítjuk a megfelelő méretarányú földtani tematika vonalművét, mivel így elkerülhetjük a felesleges munkát, amit a tartalom és a topográfia egyeztetésének hiánya okozna. Fontos megjegyeznünk, hogy egy adott méretarányú földtani észlelési térképhez célszerű csak azonos vagy számottevően nem eltérő méretarányú topográfiai térkép alapot használnunk, mert ez által válik a földtani tematika terepen is olvashatóvá.

A földtani térkép használati értékét jelentősen növeli, ha a földtani tartalom mögött jól olvasható a topográfiai tartalom is. A Vértes, és a Gerecse észlelési térképeinek archiválása során az egyes térképszelvényeken az észlelési térképek topográfiai alaptérképeit használtuk (l. 3.4 fejezet). A földtani tartalmat ennek megfelelően többnyire minimálisan, kizárólag az eredetileg használt topográfiai térkép domborzata alapján módosítottuk.

A szomszédos lapokkal való egyeztetés alapvetően a földtani térképek szerkesztőinek (többnyire az észlelést végző geológusnak) a feladata volt. A régi, több évtizedes térképkéziratok esetében ezeket a feladatokat más, a területet ismerő szakértő végezte el. Amennyiben lehetőség volt rá, a laphatáron észlelt eltérések (pl. eltérő képződmények) javítását a szerkesztőkkel közösen számítógép előtt végeztük. Sok esetben azonban csak a vonalak pontatlan illeszkedése okozott problémát, amelyet a topográfiai alaphoz igazodva javítottunk ki.

### 3.3.3 A térkép előállítása

Az észlelési földtani térképek digitalizált anyagai 2002 előtt csak ritka esetben jutottak el a feldolgozás olyan szintjére, amelyen lehetséges a térképek és a földtani indexeket tartalmazó térképi adatbázis összekapcsolása, azaz térinformatikai rendszer működtetése. Ennek oka, hogy az ekkoriban a MÁFI-ban használatban lévő *Bentley Microstation 98 SE* és *Intergraph MGE (Modular GIS Environment)* térképdigitalizálást, kartografálást és nyomdai előkészítést magában foglaló technológia alkalmazása — annak szigorú műveleti sorrendje és az eszközök

modularitása (GALAMBOS 2005) miatt — nem volt célszerű olyan esetekben, ahol szinte biztosan módosítani kellett a térképet a térinformatikai feldolgozás után. A földtani észlelési térképek viszont pontosan ilyenek. Azaz sok esetben még nincsenek befejezve (főleg a tektonika és a kvarter képződmények szempontjából), mikor már szükséges lenne a használatuk, így az első színes megjelenítést követően állandó korrekcióra szorulnak, és változó mértékben ugyan, de folyamatosan újra kell szerkeszteni, valamint ennek következtében újra kell digitalizálni a lapokat. Minden módosítás után a digitális állományokat olyan formába kellett hozni, hogy azok nyomtatás után terepi használatra alkalmasak legyenek. A műveleti sorrendet tehát rugalmasan kellett kezelni.

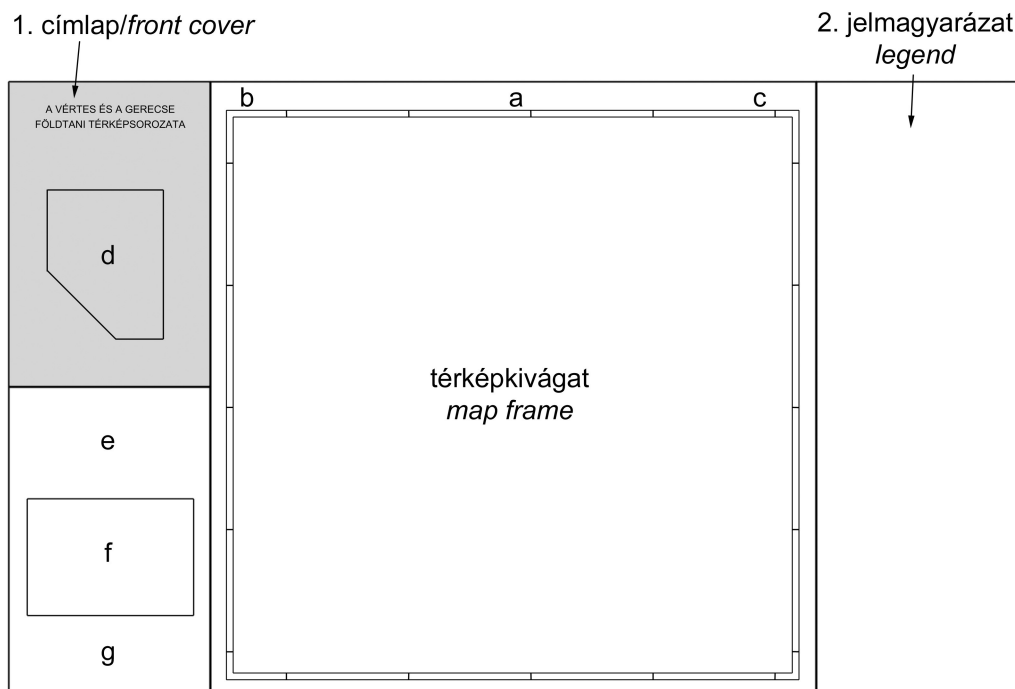
2003 végére az *Autodesk Land Desktop 3* szoftver segítségével kialakítottunk egy műveleti sorrendet, ami felváltotta a *Microstation-MGE* technológiát, és egyúttal lehetővé tette azt a rugalmasságot, amit ez az utóbbi nem. Ennek eredményeként az észlelési térképek hozzáférhetővé váltak színes, topográfiai alappal és jelmagyarázattal ellátott, hajtogatható (terepen is használható) formátumban (5. ábra) már az első feldolgozás után is. A feldolgozással párhuzamosan a terület térképi adatbázisa is folyamatosan bővült. Ez az adatbázis tette lehetővé 2005-ben a nyomdai kiadásra szerkesztett Vértes tájegységi földtani térkép első jelkulcsának összeállítását.

A feldolgozási sorrend azonban az alkalmazott technológiától függetlenül jól elkülöníthető lépésekre bontható, amelyek főbb elemei a következők:

- A térkép vonalművének letisztítása.
- A topológia építése.
- A térkép arculatának kialakítása.

A térkép vonalművének azoknak a vonalaknak az összességét nevezzük, amelyek a térkép tartalmi részének kialakításában szerepet játszanak. Ennek megfelelően a síkrajzi, vízrajzi, domborzatrajzi és tematikus elemek beletartoznak ebbe a kategóriába, míg pl. a keretvonal, lépték és jelmagyarázat nem. Minden vonalas (és egyéb) térképi elem jelentéssel bír, amit legtöbbször az adott elem megjelenítésének módjával lehet közvetíteni a térképolvasó számára. Egy térinformatikai rendszerben a jelkulcs mellett attribútumok (csatolt adatok) formájában egy elemhez több jelentést is társíthatunk. Ahhoz, hogy ez az adat előhívható legyen, bizonyos logikai és geometriai összefüggéseknek teljesülniük kell, és ehhez elő kell készíteni, azaz le kell „tisztítani” a térkép vonalművét. A térinformatikai rendszerekbe szánt

térképek vonalművét tehát úgy kell kialakítani, hogy az megfeleljen a topológia építés feltételeinek.



**5. ábra. Digitálisan archivált 1:10 000-es észlelési térkép makettje a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozatából. Magyarázat: 1. címlap = a térképsorozat címe, a térképlap neve és méretaránya; 2. jelmagyarázat = a térképen szereplő képződmények kibúvás típusa szerint (szálban álló, törmelékes vagy talajjal fedett) megkülönböztetett színekkel, a képződmények földtani indexe és rétegtani besorolása az adott képződménytípusban előforduló kőzettani indexek listájával; a = a térképlap neve, b = a térkép típusa (pl. észlelési és fedett földtani térkép); c = EOVS koordinátahálózat; d = áttekintő térkép; e = a térképlap szerkesztői és közreműködőinek felsorolása; f = a kőzettani indexek betűjelének magyarázata (táblázat); g = felhasznált alaptérképek listája**

### 3.3.3.1 A térkép vonalművének letisztítása

A vonalmű letisztításának gyakorlati módszere igen változatos lehet attól függően, hogy milyen eszközök állnak rendelkezésünkre. A legtöbb térinformatikai szoftver rendelkezik ezt a műveletet segítő modullal, illetve parancskészlettel. A lényeg azonban a végeredmény, amit úgy lehet összefoglalni, hogy a vonalak ún. vonalláncokból álljanak, amelyek úgy vannak megrajzolva, hogy számos egymáshoz csatlakozó egyenes szakasz csomópontokban hézagmentesen kapcsolódik egymáshoz, és a méretarányának megfelelő felbontásban görbe

vonálnak látszik (pl. képződményhatárok). A vonalak összességének kétféle értelmezett megjelenési formája van:

1. Ha a vonalláncok kezdő és végpontja olyan csomópont, amiből egy vagy több másik vonallánc indul, vagy önmagába visszatér, akkor a vonallánchálózatot poligonok összességeként is értelmezhetjük.
2. Ha a vonalláncoknak szabad vég- vagy kezdőpontjuk van, akkor vektorok hálózatoként értelmezhetjük.

A térképen ábrázolt képződményeket az így kialakított poligonok és vektorhálózatok reprezentálják. Ezek tehát egy síkban megjelenített gráfot<sup>8</sup> alkotnak, amely attól függően, hogy a vonalláncok a fent ismertetett értelmezett megjelenési formák közül melyiknek felelnek meg, topológiai adatmodell létrehozásának alapját képezhetik. Ehhez azonban nem mindig elég a vonalláncok nyújtotta adat. A zárt poligonokba el kell helyezni a topológia építéshez nélkülözhetetlen egyedi azonosítókat is, amelyek pontszerű elhelyezéssel jellemezhető, attribútummal ellátott objektumok (azaz centroidok). A centroidok lehetnek a valóságban is pontok (csatolt attribútummal), egyedi névvel jellemzett grafikai blokkok (pl. egy rajzi jel) vagy egysoros szövegek (indexek). A jelölési módok célszerűségét a topológiai és térképészeti feldolgozás munkamenete határozza meg. Fontos, hogy minden poligonba, amelyhez információt (pl. egyedi színkitöltést) szeretnénk csatolni, el kell helyeznünk egy centroidot.

A földtani észlelési térkép jellegétől függően a képződmények határait jelző vonalláncok általában három kategóriába sorolhatók (1 — szálaban álló; 2 — törmelékes; 3 — talajjal fedett képződmények). Az így megkülönböztetett kategóriák tehát rendűséget is kifejeznek, amit a jelkulcsban is érzékeltetni szoktunk. A vonallánc-kategóriáknak megfelelő számú centroidkategóriát is meg kell különböztetnünk. A megkülönböztetés módja függ az általunk meghatározott fájlstruktúráktól. Leggyakrabban az egyes kategóriák külön rétegre/fedvényre/fóliára kerülnek (l. 4. táblázat).

### 3.3.3.2 Topológia építése

Topológiának nevezzük a geometriai objektumok (pont, vonal, felület) közötti összefüggéseket, amelyek állandóak maradnak az 1:1 arányú folyamatos transzformáció során (DETREKŐI, SZABÓ 2005). Ezek az összefüggések a következők: metszés, érintkezés,

---

<sup>8</sup> A gráf *csomópontok*, *csúcsok* és rajtuk értelmezett összeköttetések (*élek*) halmaza. Alapértelmezésben a gráf *irányítatlan*, azaz nem teszünk különbséget „A-ból B-be”, illetve „B-ből A-ba” menő élék között. A gráf csúcsai általában címkézettek, azaz meg lehet különböztetni őket. A gráf két élét szomszédosnak nevezzük, ha van egy közös csúcspontjuk. Hasonlóan, két csúcspontra szomszédos, ha egy éllel vannak összekötve (Wikipedia - gráf).

tartalmazás, szomszédosság, összekötés és azonosság. Topológia építésére megfelelő poligon- vagy vektorhálózat és a centroidok megléte esetén van lehetőségünk. A topológia építésének célja, hogy a geometriai objektumok adatai közti összefüggéseket informatikai eszközök által értelmezhető adatmodellel írjuk le. A felhasznált geometriai objektumok szerint három fajta topológiát különböztetünk meg.

- Ponttopológia.
- Hálózat (vonal, él vagy vektor)-topológia.
- Poligon (felületi)-topológia.

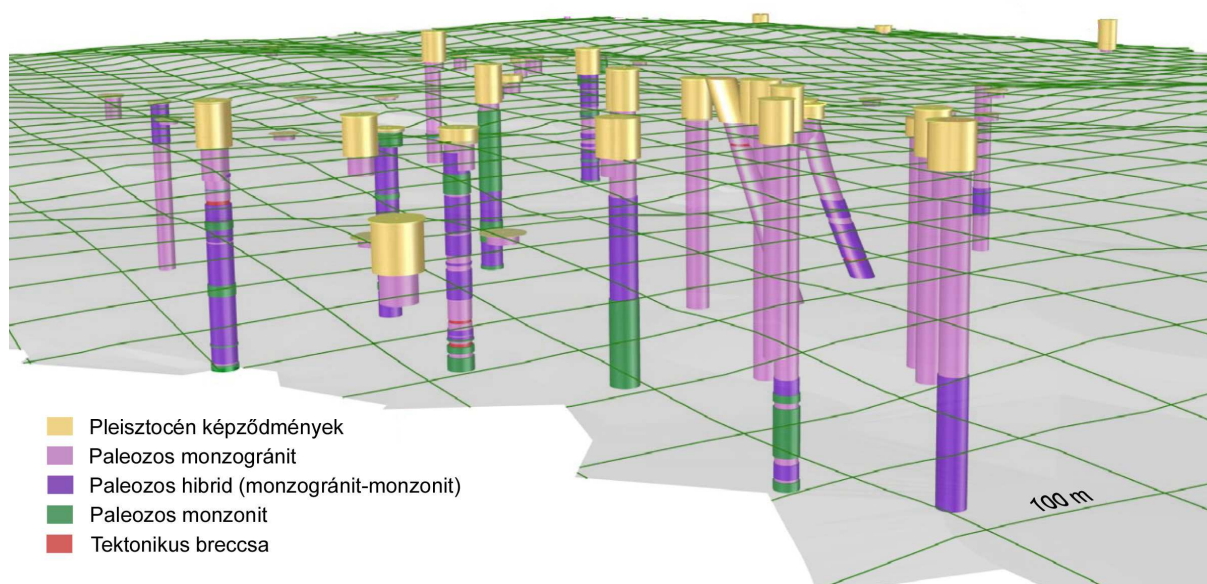
A földtani térképek térinformatikai rendszerben történő elemzése és egyben tematikus térképi megjelenítése céljából többnyire poligontopológiát hozunk létre. Ennek segítségével tudjuk az alkalmazott térinformatikai szoftvert összekapcsolni a háttéradatbázissal, létrehozva ezáltal egy topológiai adatmodellt.

Ha a képződménykategóriákat több tematika alapján is osztályozni akarjuk, akkor lehetőségünk van egyrészt a fájl szerkezetének kihasználására (pl. a különböző rendű képződmények fedvényenként történő lekérdezésére és megjelenítésére), másrészt a poligonokhoz rendelt centroidok differenciálására a rendelkezésünkre álló eszközökkel. Akkor tiszta a térkép vonalműve, ha az általunk előre meghatározott topológiák hibamentesen létrehozhatóak a használni kívánt térinformatikai rendszerben.

### 3.3.3.3 A térkép arculatának kialakítása

A térinformatikai rendszerek nagy előnye, hogy gyorsan létre tudnak hozni tematikus térképeket a már meglévő topológiákból. A Vértes és a Gerecse észlelési földtani térképeinek esetében a tematika a földtani képződmények azonosítója (indexe) és az észlelés jellegére utaló poligonhálózat (szálban álló, törmelékes, vagy fedett képződmény) alapján jött létre. A térinformatikai rendszer ehhez a poligonhálózatot és a centroidok geometriai összefüggéseit (melyik poligon, milyen centroidot tartalmaz), valamint az utóbbiak tematikus tartalmát (pl. földtani index karaktereinek egyedi sorrendje) használta fel. A tematikus térkép arculatát (pl. színeit) általunk választott megjelenítési mód szerint, de automatikus eljárással hoztuk létre, amelynek alapja az egyes centroidokhoz rendelt attribútum (csatolt adat). Ez egy önálló adatbázisban és egy abból előállított, az Autodesk Map térinformatikai rendszernek megfelelő ASCII formátumú definíciós fájlban található meg. Ennek beolvasása teszi lehetővé, hogy a tematikus térképünket néhány parancs segítségével automatikusan kiszínezzük.

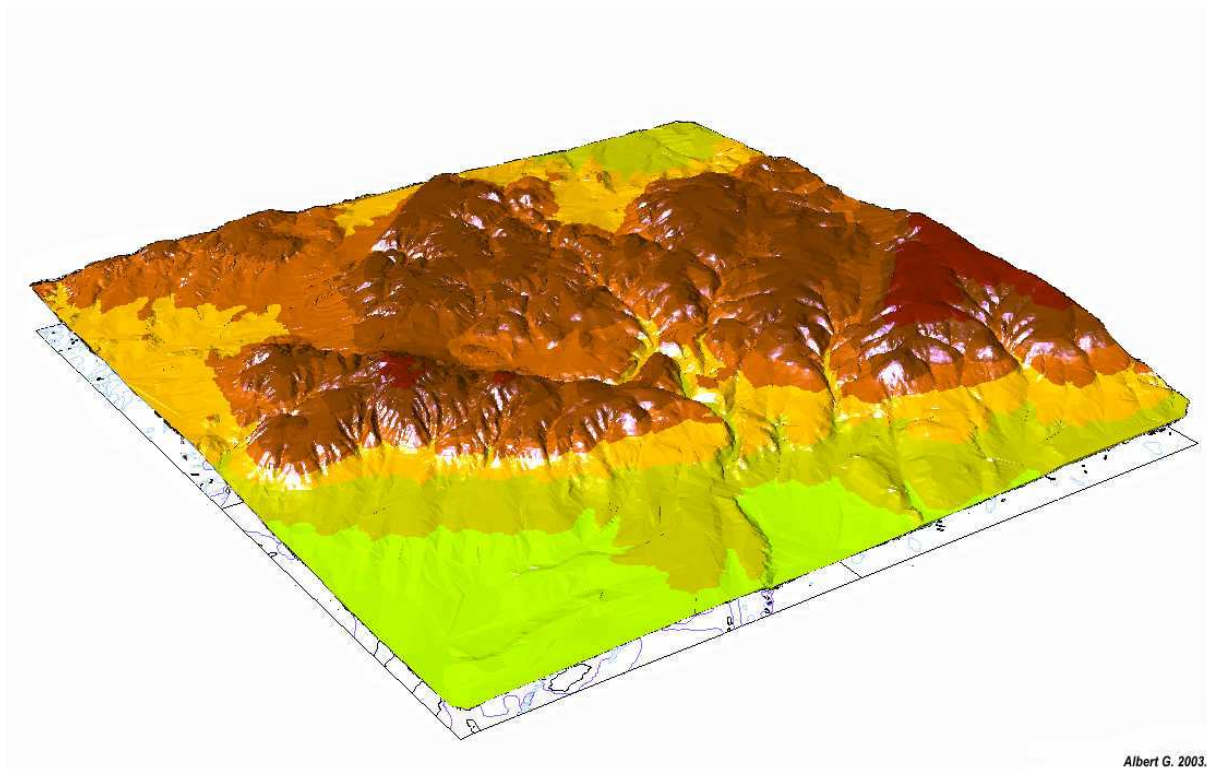
A tematikus ábrázolási módszerek közül a földtani térképeken a felületmódszer a legelterjedtebb és egyben a leghangsúlyosabb. A térképi felület 100%-ának különböző színekből és felületi jelekből álló kitöltése a kartográfia és a földtani képződményekre vonatkozó térképi ábrázolás általánosan elfogadott szabályainak alkalmazásával nagy körültekintést és sokszor több próbálkozást igénylő feladat. E folyamat automatizálása azonban lehetővé válik azzal, hogy az egyes képződményekhez tartozó színeket csak egyszer, az adatbázisban definiáljuk, és a felület kitöltését gombnyomásra a térinformatikai rendszerünk végzi el. A megjelenítésen túl azonban számos lehetőség áll rendelkezésünkre attól függően, hogy a háttéradatbázisban milyen adatokat tároltunk még el az adott képződményre vonatkozóan (pl. kor szerinti lekérdezés).



**6. ábra.** Fúrási rétegsorok tematikus színezéssel megjelenítve Autodesk modellezési környezetben. A rácsozott felszín az idős paleozoikumi alaphegység felületmodellje.

A felületi módszer mellett a földtani térképen a tematikus ábrázolás más módszereivel is találkozhatunk. Így a jelmódszerrel mint a kutatófúrásokban észlelt képződmények meghatározott rendszer szerinti megjelenítésével, a mozgásvonalak módszerével mint a vetők irányának, a rétegek dőlésének vagy a hegylábi törmelékkúpok anyagmigrációját bemutató módszerrel, illetve az izovonalak módszerével mint a fúrásokkal feltárt képződmények vastagságának és mélységének ábrázolási módjával. Ezekre az ábrázolási módszerekre a Vértes és a Gerecse földtani észlelési térképeinek digitalizálásakor nem dolgoztunk ki térinformatikai rendszerhez kötött, automatizált feldolgozási és megjelenítési eljárást, mivel az észlelésekből nyerhető adatok sporadikusak voltak, és megbízhatóságuk nem ellenőrizhető.

Az Autodesk Map alapú térinformatikai rendszert azonban úgy alakítottuk ki, hogy a MÁFI mintegy 43 000 fúrési adatot tartalmazó központi fúrési adatbázisa is áttételesen és lokálisan megjeleníthető legyen, így abból adatelemzés és tematikus lekérdezés hajtható végre mind adatbázis szinten, mind a modellezési környezet által biztosított virtuális térben (6. ábra). A földtani elemzés egyik fontos feltétele a felszíni domborzat vizsgálata is, amit a MÁFI megrendelésére szigorúan definiált követelményrendszer alapján készült digitális domborzatmodell (7. ábra) integrálásával valósítottunk meg. Ez a háromdimenziós modell irányába történő továbblépésnek fontos előfeltétele volt.



Albert G. 2003.

7. ábra. Digitalizált szintvonalakból szerkesztett domborzatmodell a Vértes területén.

### 3.4 Topográfiai adatok felhasználása

A digitális topográfiai alap kettős megjelenéssel, de egy funkcionalitással rendelkezik. Egyrészt a földtani térképek háttéréül szolgál, ezáltal lehetővé teszi a tematikus térképen való tájékozódást, másrészt a felszíni domborzatból szerkesztett digitális felszín a földtani modell keretfeltételeként, annak elemzésére szolgál. Mindkét módon a tematikus tartalom értelmezéséhez nyújt segítséget, de a két arculat más-más adatszerkezet kialakítását teszi szükségessé.

Míg a felszíni domborzat értelmezése szempontjából a vektoros adatok nyújtanak hasznosítható háttérrel, addig a síkrajz tájékozódási szempontból való értelmezése során

sokszor hasznosabb egy — már megszerkesztett és kartográfiai arculattal rendelkező — térkép raszteres állományának felhasználása háttér-térképként. A topográfiai adatok mindkét tárolási formájának van létjogosultsága a földtani tematikát kiegészítő szerepkörben. Erre mutatunk gyakorlati példákat az alábbiakban.

### 3.4.1 Vektoros alaptérképek

A digitálisan szerkesztett földtani térképek topográfiai alapja a Magyar Honvédség Tóth Ágoston Térképészeti Intézetének<sup>9</sup> alapanyagából a MÁFI munkatársai által helyesbített DTA50/c Gauss–Krüger-szelvénybeosztású, de EOJ-vetületű erősen generalizált domborzatrajzú 1:50 000-es névleges méretarányú digitális térképén valósult meg a MÁFI-ban az 1990-es évek közepe óta. Ennek fő felhasználási területe az ekkoriban készülő 1:100 000-es méretarányú országos földtani térképsorozat volt, ami kartográfiai szempontból indokolt és a tervezett tematikus térképmű arculatához illeszkedett. A megjelenítés mellett a térképmű digitális domborzatrajza regionális vízföldtani modellezések során számos alkalommal felhasználásra került.

Helyenként azonban, így 2003-ban Bátaapáti (TURCZI ET AL. 2004), vagy 2004-ben a Vértes és a Gerecse (ALBERT 2009) területéről is, lehetőség adódott ennél pontosabb topográfiai alap előállítására. Ez utóbbi esetében a topográfiai alap elkészítéséhez szükséges szempontok és műszaki paraméterek kidolgozása során figyelembe vettük, hogy a térkép alapot képezhessen a nyomdai sokszorosításban kiadásra tervezett 1:50 000 méretarányú földtani tematikához (FODOR ET AL. 2008). Ugyanakkor szempont volt a helyes kartográfiai megjelenítés is, aminek részét képezte a főszintvonalak, alapszintvonalak és segédszintvonalak szelektív kezelhetősége, valamint a szintvonalmegírások olvasható megjelenítése is. A digitalizált domborzatrajz lehetővé tette a területről a korábbinál részletesebb digitális domborzatmodell előállítását is, amelyet az adatmodellbe illesztettünk, és térbeli szerkesztési műveletek (pl. szelvény szerkesztés) során felhasználtunk. Az elkészült digitális topográfiai alaptérképek szintén a Gauss–Krüger-szelvénybeosztást követik, és kondíciójuk az 1:25 000-es és 1:50 000-es közötti méretarányoknak felel meg.

A vektoros alaptérképeknek tehát a földtani modellezésben kiemelt szerepe van, mivel a digitális domborzatmodell alapját leggyakrabban a vektoros állományokból származó szintvonalakból állítjuk elő.

---

<sup>9</sup> A MH TÁTI azóta többször is átalakul és nevet változtatott. Jelenleg HM Térképészeti Közhasznú Társaság az utódja.



### 3.4.2 Raszteres alaptérképek

A Vértes és Gerecse földtani térképeinek digitális archiválása során az észlelési térképek (1:10 000) vektoros topográfiai alapját nem volt lehetőség sem előállítani, sem megvásárolni. Ahhoz azonban, hogy olvasható földtani térképek álljanak rendelkezésünkre, mindenképp szükséges a földtani tartalom mögé topográfiai tartalmat is szerkeszteni. Ennek megoldására 2003 előtt az kínálkozott, hogy a már említett DTA50/c (1:50 000 kondíciójú térkép) került nagy méretarányú észlelési földtani tematika alá. Ez a térképi megjelenítés sem szakmai, sem felhasználói szemmel nem volt elfogadható.

2003-tól kezdtük alkalmazni a raszteres topográfiai térképek színeinek *szelektív redukciójának* módszerét. Ez egy olyan módszer, ami az észlelési térképek topográfiai alaptérképeit 8 bites szürkeárnyalatos raszter-képek formájában a színes vektoros észlelési földtani térképek alatt jól olvashatóan megjeleníthetővé tette (8. ábra). Ennek része volt, hogy a felvételi lapok topográfiai térképeit archiváljuk raszteres formátumban. Az 1:10 000-es raszteres topográfiai térképek csak belső használatra voltak elérhetők a terepen dolgozó kollégák számára.

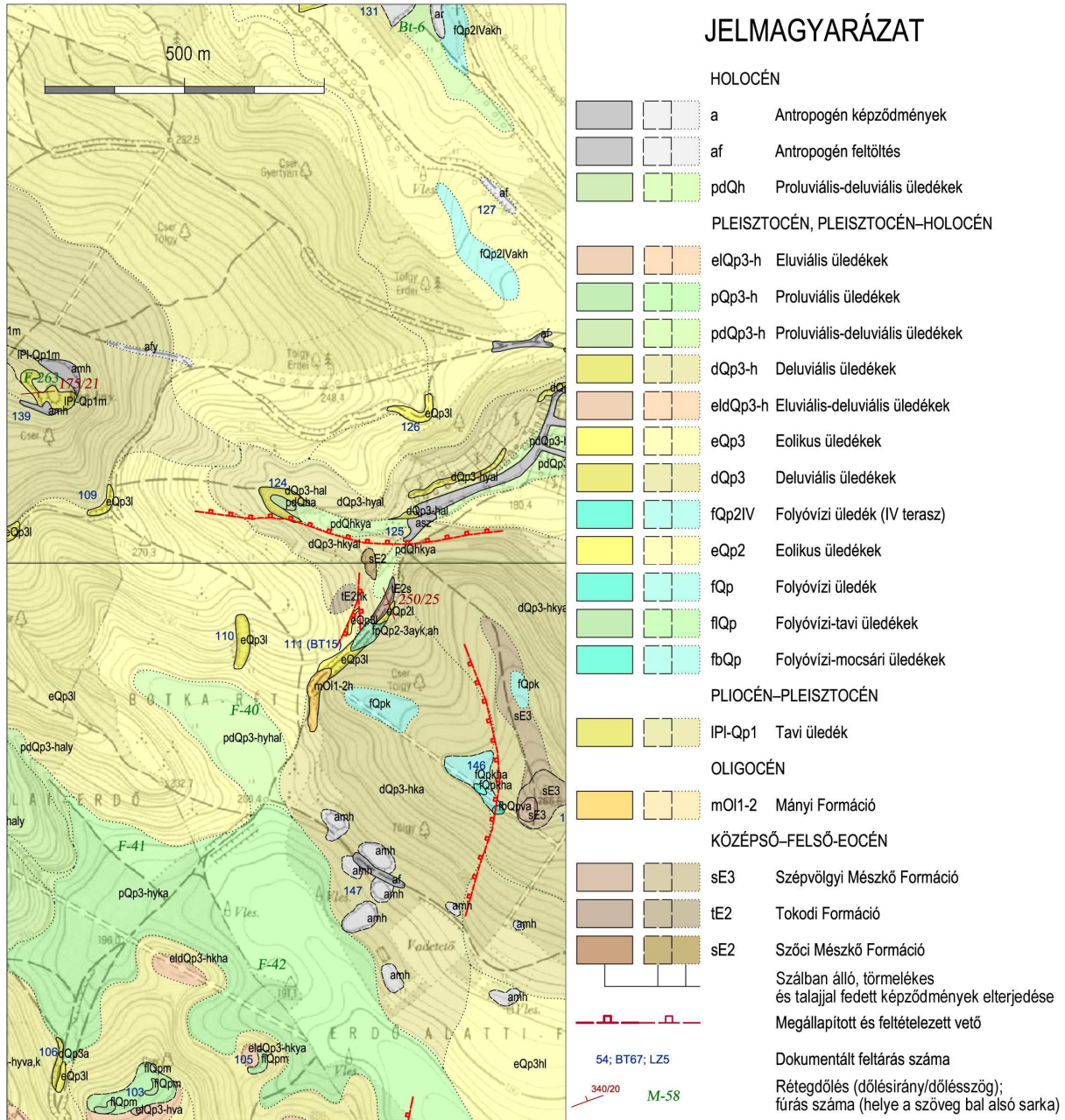
A szürkeárnyalatos alaptérképek forrásaként 104 db 1:10 000 méretarányú térképszelvényt használtunk fel, amely vagy a Gauss–Krüger-szelvényezés, vagy a sztereografikus koordinátarendszerű hazai szelvényezés (BENE 1981) térképlapja volt. A legfrissebb térképezési területeken már az 1:10 000-es EOTR (Egységes Országos Térképrendszer) lapjait is használtuk, bár sok esetben az volt a tapasztalatunk, hogy a régebbi térképek tartalma jobban tükrözi a terepen észlelhető jelenségeket.

A nagy méretarányú topográfiai alaptérképek és a földtani tematikus tartalom ilyen módon történő megjelenítése sikeres volt, és a tapasztalatok szerint a terepi használati értéke is magas.

A földtani térképek megjelenítése szempontjából innovatív gyakorlati módszer, a *szelektív redukció* lényege a raszteres topográfiai alaptérképek színre bontása képfeldolgozó szoftver segítségével és a különböző színcsatornák intenzitásának eltérő arányú módosítása. Az eljárás célja, hogy a földtani és tájékozódási szempontból kevésbé lényeges növényzeti és épített fedettség hangsúlyos színezését eltávolítsuk a szürkeárnyalatos térképről, mivel azok erős tónusa szürke árnyalatra konvertálva módosítaná a fölé kerülő földtani térképen alkalmazott színek mélységét és megzavarná a térkép értelmezését.

A raszteres állományok általában RGB színmodellben kerültek eltárolásra, így alapesetben a színre bontás a vörös (R), a zöld (G) és a kék (B) szín-összetevőket érinti. A növényzeti

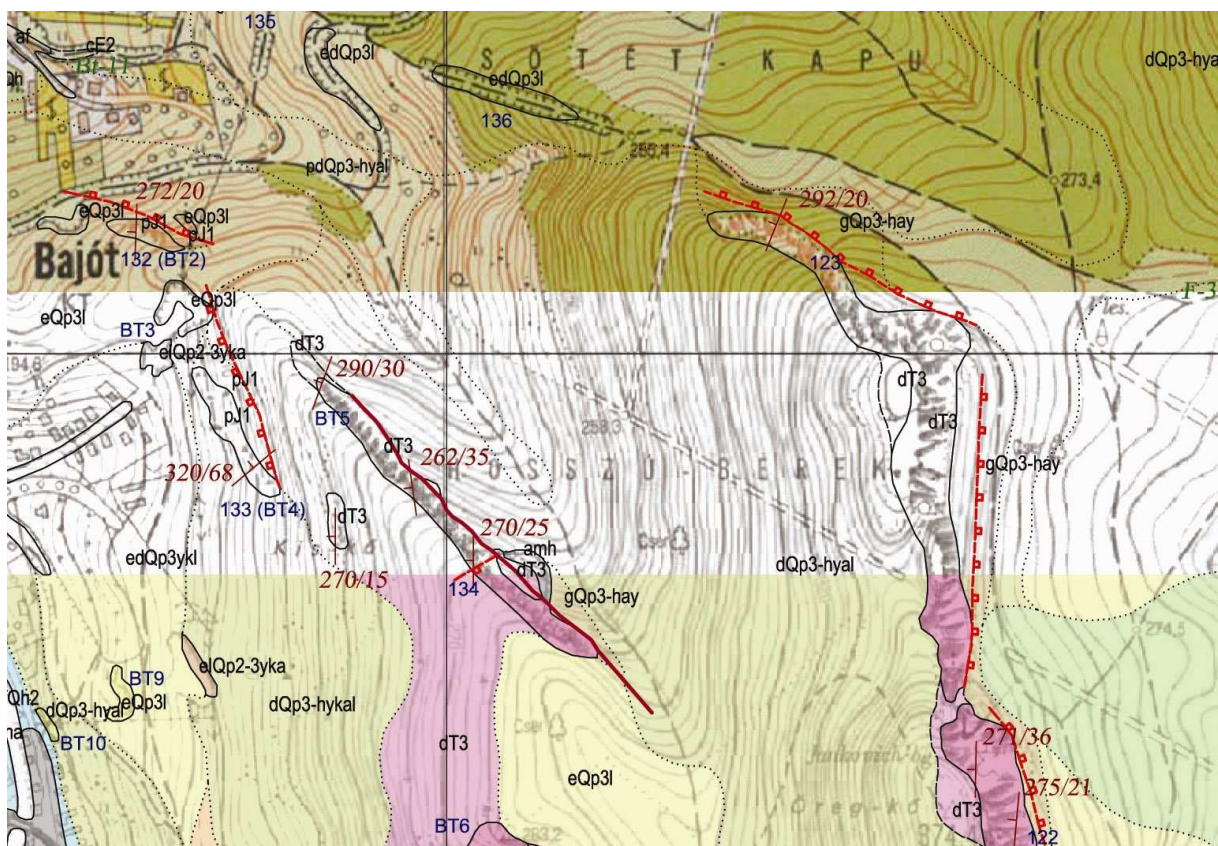
fedettség színezése hagyományosan zöld, ezért a zöld (G) csatorna módosításával érhetjük el a kívánt eredményt. Sok esetben ennek az egy csatornának a feldolgozása elegendő is a kívánt eredményhez.



8. ábra. 1:10 000-es észlelési térkép részlete és jelmagyarázatának kivonata a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozat Magyorbánya L-34-2-C-c-2 lapjáról (ALBERT 2005/c).

Az RGB színmodell az additív színkeverés szabályai szerint állítja elő a képernyőn látható színeket. Ennek megfelelően a kép szükséges információt hordozó színezései, úgymint a domborzatrajz (barna), a síkrajz (fekete, szürke), a vízrajz (kék) és a névrajz (fekete, szürke) a három csatorna mindegyikén megjelenik valamilyen mértékben. Ehhez az is hozzájárul, hogy

a raszteres feldolgozás régi papírtérképek esetén az eredeti papír elsárgulását és az eredeti színezés kifakulását is rögzítette, ami azt eredményezi, hogy nincsenek tiszta színek az állományban. A gyakorlati eljárás ennek megfelelően minden térképnél egyedi; megállapítható azonban, hogy a régi hazai szelvényezésű 1:10 000-es méretarányú lapok esetén a zöld (G) csatorna intenzitás-eloszlási görbéjét (hisztogramját) optimalizálva a minimum és maximum értékekhez megkaptuk a kívánt térképi tartalmat, amely már nem tartalmazta a kontrasztos fedettséget. A zöld (G) csatorna képi tartalmával helyettesítve a vörös (R) és kék (B) csatorna képi tartalmát, majd az RGB színmodellt 8-bites szürkeárnyalatosra módosítva a digitális állomány eltárolható új formájában is. Az eljárás azonban ezt az utóbbi lépést nem tette szükségessé, mivel a szürke topográfia fölött a tematikus tartalom színes megjelenítése továbbra is az RGB színmodell használatát követelte meg.



**9. ábra.** A földtani térképek arculatának kialakítása topográfiai alaptérkép CMYK színeinek szelektív redukciójával a Vértes és a Gerece Földtani Térképsorozat, Mogyorósbánya L-34-2-C-c-2 lapján (ALBERT 2005/c). A földtani tematika vonalműve és névrajza alatt a kép felső harmadában az eredeti színezés, középen a bíbor (magenta) színcsatornából levezetett szürkeárnyalatos alap, alul a szürkeárnyalatos alapon a tematikus földtani színezés látható.



Az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) szelvényezés 1:10 000-es térképlapjainak feldolgozásakor a CMYK, vagyis az ibolya (C=cyan), bíbor (M=magenta), sárga (Y=yellow) és fekete (K=black) színekre alapuló színmodell alkalmazása a fent leírtakhoz hasonló eljárással, jobb eredményt adott, mint az RGB modell alkalmazása. Itt a bíbor (M) színcsatorna szeparációja és módosítása hozott jó eredményt (9. ábra). Bár a CMYK alapvetően a szubtraktív színkeveréshez (pl. nyomdai előkészítés) használt színmodell (ZENTAI 2000), a képernyőn alkalmazva mégis visszavezethető az additív módszerekre. Adott esetben ennek a színmodellnek az alkalmazása az ibolya, bíbor, sárga és fekete színek összekeverésével létrehozott nyomtatott termék alapszíneinek „visszafejtését” szolgálta, és vezetett el a kívánt eredményhez.

Az eredményes feldolgozás után a színes földtani tematikus tartalom alatt a topográfiai térkép vonalas elemei jelennek csak meg szürke alapszínnel (8. ábra).

### **3.4.3 Az adatfelhasználás jogi keretei**

A bemutatott módszerek nemcsak technikai, hanem jogi problémákat is felvethetnek, ugyanis a topográfiai alapadatok akár vektoros, akár raszteres formában állnak rendelkezésünkre, vagy állami alapadatnak minősülnek, s így adatérték-díj ellenében használhatók fel, vagy kartográfiai termékek részét képezik. A kartográfiai termékeket pedig, mint minden szellemi terméket, szerzői jog védi, ezért az alaptérképek felhasználásánál a szerzői jog tulajdonosának írásbeli engedélyére van szükség. Ez akkor is feltétele az alapanyagok használatának, ha a felhasználás kizárólag tudományos, vagy oktatási céllal történik.

## **3.5 Könyvtárszerkezet**

Az alaptérképek és más alapadatok (pl. jegyzőkönyvek, fotók, műszeres mérések digitális, vagy digitalizált állományai) általában önálló fájlokban találhatóak, amelyek nevezéktanát és elérési útját (azaz a háttértároló könyvtár struktúráját) a létrehozó felhasználó határozza meg. Egy kiterjedt terület részletes földtani térképezése során az adattárolási rendszer és az állományok nevezéktana a projektben dolgozók konszenzusa alapján jön létre. Ezek az állományok nem egy időben készülnek, és egyszerre több felhasználó fér hozzájuk. Annak érdekében, hogy az adatok feldolgozását végzők a hosszabb-rövidebb szünetek után is hamar megtalálják azokat az anyagokat, amelyeket keresnek, és az alapanyag készülségi fokával is tisztában legyenek, célszerű azok feldolgozásáról táblázatot vezetni és kialakítani egy fájlkezelési rendet is, amelyet a projektben dolgozók elfogadnak.

Az eddig taglalt példa, a Vértes és a Gerecse földtani térképeinek feldolgozása kapcsán is így jártunk el. Az elsődleges adatok, azaz a térképek, fúrási adatok és észlelési jegyzőkönyvek a MÁFI belső hálózatán belül elérhetőek voltak a feldolgozásban érintett kollégák számára. A gyors hozzáférés érdekében az egyes térképszelvények település-szerinti nevét is fontosnak tartottuk megadni a digitális alapanyagok elérési útjában, különösen azért, mert az 1990-es évek közepéig visszanyúló munkák során az 1:25 000 méretarányú térképlapok neve szerinti könyvtár-csoportosítás alakult ki a digitalizálásra használt számítógépen<sup>10</sup>.

Az alábbi alfejezetekben a Vértes és a Gerecse térképszerkesztési és kutatási program keretén belül kialakított adatrendszereket ismertetem.

### 3.5.1 Egységesített adatrendszer v 1.0

A Vértes-Gerecse földtani térképezéséhez kapcsolódó digitális anyagok feldolgozása akkor kezdődött meg, amikor az archív anyagok tárolási és feldolgozási módszereihez nagyon kevesen értettek a Földtani Intézetben, ezért átfogó koncepció és irányelvek nélkül jöttek létre az alapanyagok. Az egységes rendszer első változata a Vértes 1:50 000 méretarányú tájegységi földtani térképének és ahhoz kapcsolódó ismertető könyvnek szerkesztésekor valósult meg (ALBERT 2009).

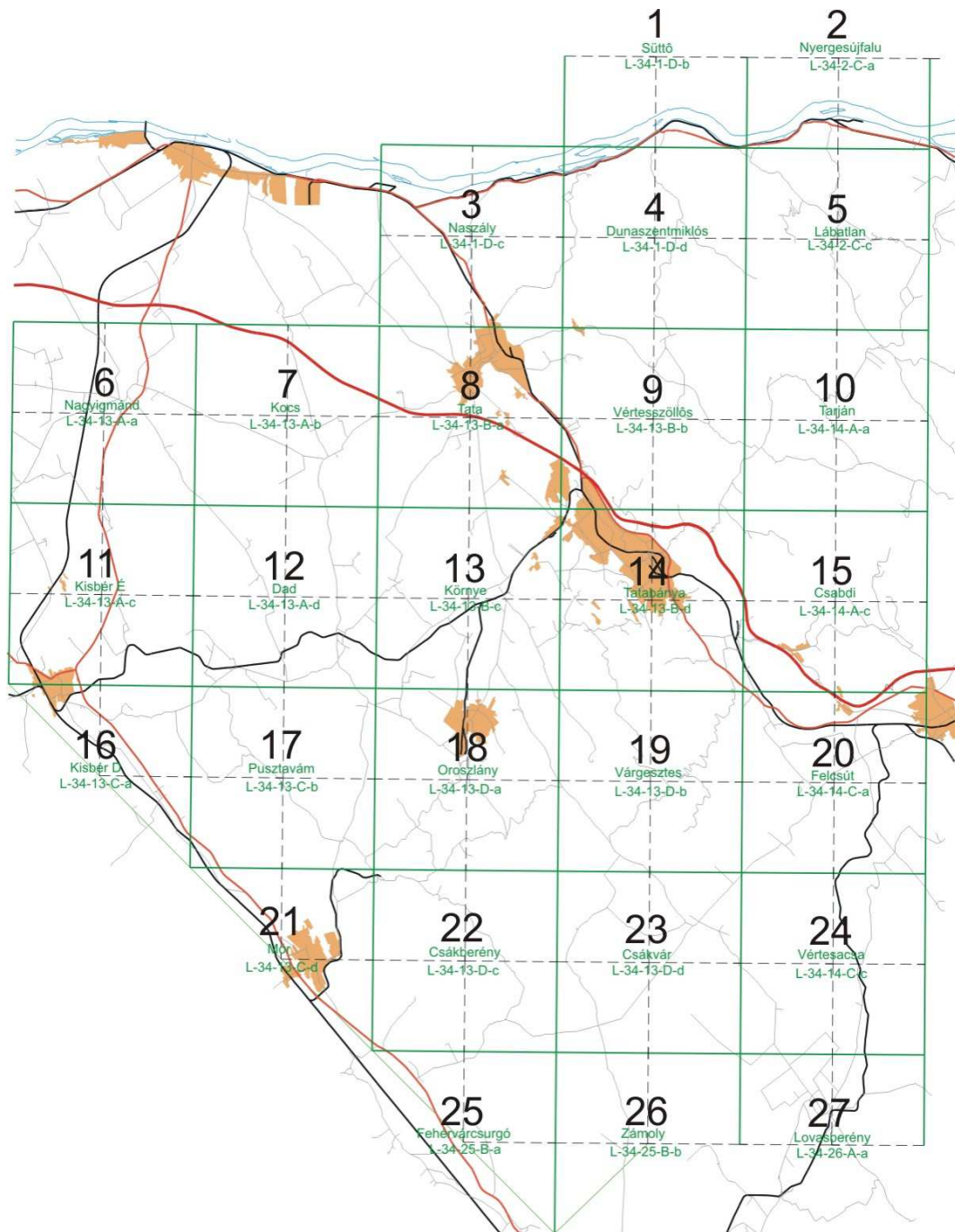
Az egységes adatrendszer már a MÁFI fájl-szerverén kapott helyet, és a régi, egyedi PC-n létrejött könyvtárszerkezetet annyiban örökölte, hogy az 1:25 000 Gauss-Krüger szelvényezést követő lapok település szerinti neve továbbra is a csoportosítás alapja volt. Emellett minden 25 ezres könyvtár kapott egy számot is, ami megkönnyíti a sorba rendezésüket. Az egyedi számozás balról jobbra és északról délre haladt a térképezési területen 1–27-ig (10. ábra)<sup>11</sup>. A számozás és a térképlap neve a következetesség végett a 25 ezres könyvtárak 1:10 000 térképeket tartalmazó alkönyvtáira is vonatkozik [1–4]. A számozás és a névadás elve megegyezik az előbb ismertetettel, azzal a hozzáfűzéssel, hogy a legnagyobb szám a 4-es lehet, mivel a Gauss-Krüger szelvényezés szerint egy 25 ezres lap, 4 db 10-ezres lapból áll.

---

<sup>10</sup> Tudománytörténeti érdekesség, hogy az ominózus „TKP-202” nevű gép merevlemezének vezérlőpanelje 2001 őszén meghibásodott (egyszerűen elfüstölt), és csak kivételes szerencse és utánajárás után sikerült az ELTE Térképtudományi Tanszéken egy hasonló típusú vezérlőpanel átszerelésével, egyszeri alkalommal újra üzembe helyezni és lementeni az archív anyagokat, amelyek csupán egy példányban (!), ezen a gépen voltak fellelhetőek.

<sup>11</sup> Újabban a Gerecse tájegységi térképeinek szerkesztésekor kialakult koncepció szerint a levezetett és esetleg kiadásra szánt, 1:50 000 méretarányú térképek is a Gauss-Krüger szelvényezést követik majd, ami módosítja az alapanyagok tárolásának és elérési útjának itt vázolt módszerét. A módosítás miatt a felsorolt könyvtárrendszer logikája valószínűleg nem változik, csak a 25 ezres alkönyvtárak egy-egy 1:50 000-es főkönyvtár alá kerülnek besorolásra, valamint a tájegységre jellemző egyedi számozás megszűnik.

- [1] ...\\Tájegységek\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\22\_csakbereny\\1\_pvam\_szvizer\
- [2] ...\\Tájegységek\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\22\_csakbereny\\2\_gant\_kpsz\
- [3] ...\\Tájegységek\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\22\_csakbereny\\3\_csokako\
- [4] ...\\Tájegységek\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\22\_csakbereny\\4\_csakbereny\



10. ábra. A Vétes-Gerecse 1:25 000-es Gauss-Krüger szelvényeinek áttekintő térképe.

A 25 ezres könyvtárban (a fenti példában ...\\22\_csakbereny\)) található a legfrissebb 25 ezres szelvényt lefedő digitális térképi állomány. A térképi fájl formátuma lehet AutoCAD (dwg) [5], illetve Microstation (dgn). Ugyanitt található a térképről leválogatott földtani

indexeket tartalmazó, és azok alapján összeállított jelkulcs-állomány is, amelynek formátuma Excel táblázat (xls) [7]. Ha elkészült a 25 ezres lap, akkor a legfrissebb földtani térkép-állomány mellé került egy másik állomány is ugyanebben a könyvtárban, amely tartalmazta az adott térkép címlapját, jelmagyarázatát, kolofonját és keretét [6]. Itt található ennek a megjelenési formának 300 dpi-s mérethelyes raszteres (tif vagy jpg) állománya is [8], amit bárki bármilyen nyomtatóval saját igényei szerint nyomtathat akkor is, ha nincs AutoCAD telepítve a gépén. Ugyanez az elv érvényesül a 25 ezres könyvtáraiban található 10-ezres alkönyvtárakra is. A keret és jelmagyarázat külön állományban történő kezelése egyszerűbbé teszi az egymással szomszédos földtani térképszelvények kezelését a szerkesztés és feldolgozás során.

[5] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\2\_mogyorosbanya\\10mogyorosbanya\_ftani.dwg

[6] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\2\_mogyorosbanya\\10mogyorosbanya\_foldtani\_keret.dwg

[7] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\2\_mogyorosbanya\\jelkulcs10\_mogyorosbanya.xls

[8] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\2\_mogyorosbanya\\10mogyorosbanya\_foldtani\_keret.tif

Minden feldolgozás során keletkeznek munka állományok, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a végeredményt tartalmazó fájl sérülése esetén az archív anyagból viszonylag gyorsan elő lehessen állítani újra a kívánt eredményt. Ezt a célt szolgálja a 10-ezres alkönyvtárakban az ...\\alapananyag\\ könyvtár, ami a 25 ezres könyvtárakban a ...\\\_25e\_alapananyag\\ könyvtárnak felel meg. Az alapananyag könyvtár tartalmazhatja továbbá az adott lap foltleírásait is (pl.: ...\\1\_bajot\\bajot-1\_folt\_csaszar.doc). A 10-ezres és a 25 ezres alapananyag könyvtárak tartalmaznak egy archív könyvtárat is, amelybe az archív adatok kerülnek. A főkönyvtárban található földtani térképi állomány átszerkesztése esetén az addig aktuális fájlt átneveztem egy \_regi megjelöléssel (vagy adott dátum kiegészítéssel pl.: \_05nov21), és bemásoltam az ...\\archiv\\ alkönyvtárba [10], míg az átszerkesztett állomány [9] megkapta a régi nevét.

[9] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\3\_pusztamarot\\10pmarot\_foldtani.dwg

[10] ...\\Vertes-Gerecse\\terkepek\\10es25ezresek\\5\_labatlan\\3\_pusztamarot\\archiv\\10pmarot\_foldtani\_regi.dwg

A 10-ezres könyvtár *10pmarot\_foldtani.dwg* állománya referenciaként szerepel a *10pmarot\_foldtani\_keret.dwg* állományban, ezért szükséges, hogy a legfrissebb állapot kerüljön elmentésre a fenti néven.

### 3.5.2 Egységesített adatrendszer v 2.0

A Vértes tájegységi térképének lezárásakor a térképezési program személyi vezetése módosította a korábbi gyakorlati rendet, és a nagyobb tájegységekről készülő összefoglaló

térképek és szakirodalmi értekezések helyett szabályos szelvényezés szerint, de továbbra is 1:50 000-es méretarányban készítetteti el a földtani térképeket. A Gerecse tájegységi térképezési anyagainak feldolgozását a Magyar Honvédség Térképészeti Intézete által is sokáig hivatalosan használt Gauss-Krüger szelvényezés szerint tervezzük megvalósítani. A könyvtárrendszerzés alapegységének az 1:50 000 méretarányú térképlapokat és a hozzájuk tartozó alapanyagokat választottuk. A gerecsei térképezési területre 6 db térképszelvény esik:

- L-34-13-A Gerecse-DNy (a délnyugati előtérnek, azaz Kisbér környékének lapja)
- L-34-13-B Gerecse-D (a hegység déli részeinek, azaz Tatabánya környékének lapja)
- L-34-14-A Gerecse-DK (a délkeleti előtérnek, azaz Zsámbék környékének lapja)
- L-34-1-C Gerecse-ÉNy (az északnyugati előtérnek, azaz Komárom környékének lapja)
- L-34-1-D Gerecse-É (a hegység északi részeinek, azaz Dunaszentmiklós környékének lapja)
- L-34-2-C Gerecse-ÉK (a hegység északkeleti, és a Dorogi-medence nyugati részeinek lapja)

**5. táblázat. A Gerecse területére eső 1:25 000 Gauss-Krüger szelvényezésű lapok elnevezése.**

<i>50 ezres lap</i>	<i>Gauss-Krüger név</i>	<i>Rövid kód</i>	<i>Neve</i>
Gerecse-DNy	L-34-13-A-a	NGYI	Nagyigmánd
Gerecse-DNy	L-34-13-A-b	KOCS	Kocs
Gerecse-DNy	L-34-13-A-c	KSBÉ	Kisbér-É
Gerecse-DNy	L-34-13-A-d	CSAS	Császár
Gerecse-D	L-34-13-B-a	TATA	Tata
Gerecse-D	L-34-13-B-b	VSZL	Vértesszőlős
Gerecse-D	L-34-13-B-c	KÖRN	Környe
Gerecse-D	L-34-13-B-d	TTBA	Tatabánya
Gerecse-DK	L-34-14-A-a	TARJ	Tarján
Gerecse-DK	L-34-14-A-b	GYER	Gyermely
Gerecse-DK	L-34-14-A-c	CSAB	Csabdi
Gerecse-DK	L-34-14-A-d	ZSAM	Zsámbék
Gerecse-ÉNy	L-34-1-C-c	KOMR	Komárom
Gerecse-ÉNy	L-34-1-C-d	SZÖN	Szőny
Gerecse-É	L-34-1-D-b	SÜTT	Süttő
Gerecse-É	L-34-1-D-c	NASZ	Naszály
Gerecse-É	L-34-1-D-d	DSZM	Dunaszentmiklós
Gerecse-ÉK	L-34-2-C-a	NYUF	Nyergesújfalu
Gerecse-ÉK	L-34-2-C-b	ESZT	Esztergom
Gerecse-ÉK	L-34-2-C-c	LABT	Lábatlan
Gerecse-ÉK	L-34-2-C-d	DORG	Dorog

A MÁFI szerverén létrehoztunk egy könyvtár-rendszert, amely a projekt digitális alapanyagait, az észlelések szöveges dokumentumait és a levezetett térképek állományait tartalmazza. Ezen belül az 1:50 000 méretarányú térképszelvények neve szerint létrehoztunk



alkönyvtárakat, amelyekben a nagyobb méretarányú térképeket a négyosztatú Gauss-Krüger szelvények betű-kiterjesztései (a, b, c, d) és a területre eső településnév karaktereit tartalmazó négybetűs kódok (l. 5. táblázat) szerint csoportosítjuk. Egy 50 ezres könyvtárban tehát általában 4 db 25 ezres alkönyvtár található, kivéve azokon a lapokon, ahol egy, vagy több 25 ezres lap a határon kívül esik. Minden könyvtárban szerepel továbbá egy „alapanyag” és egy „archív” alkönyvtár is, amelyben a munka állományokat, és az archív adatokat tároljuk. Ennek célja, hogy az aktuális méretarány szerinti főkönyvtárban csak a legfrissebb állományok szerepeljenek. A fájlok elnevezésében szerepeljen a térkép neve, a méretaránya, jellege és az aktuális dátum (pl. VSZL25-ftan\_080218.dwg). Minden szerkesztés alkalmával a térképet el kell menteni az aktuális dátum szerinti új névvel.

Az egységesített adatrendszer módosításai jelen esetben csak kis mértékben érintették a térképek előállításának technológiáját. A földtani térképek továbbra is AutoCAD állományok, és a nyomtatásra szánt megjelenítés külön fájlban található.

### **3.6 Digitális földtani alapadat gyűjtemény**

A digitális földtani alapadatok alatt a terepi észlelési jegyzőkönyvek digitálisan feldolgozott formátumát értjük. A terepi jegyzőkönyvek a földtani észlelési térkép kéziratával egyidejűleg terepi körülmények közt készülnek. Formátumuk többnyire nem kötött; egyszerű kemény fedelű füzetben kézírással rögzítjük a terepi megfigyeléseket sokszor rajzzal kiegészítve. Ezek a jegyzőkönyvek, és az ott rögzített megfigyelések képezik az alapját egy-egy tudományos cikknek, monográfiának, vagy tudományos kutatási program jelentésének. A szöveges adatok tehát ugyanúgy alapját képezhetik a földtani értelmezésnek, ahogy a kéziratot térképek a levezett földtani térképeknek. Tehát a földtani észlelési térképek alapadatként történő hasznosítása céljából végzett archiválás analógiájaként az eredeti megfigyelés dokumentációját is célunk megőrizni és adatait felhasználni újabb kutatásokhoz<sup>12</sup>. Ennek egyetlen módja ebben az esetben is — csakúgy, mint a térképeknél — a digitális archiválás.

Az alapadatoknak, mint az elsődleges észlelések dokumentációinak a MÁFI szervezeti rendszerén belül nincs jól meghatározható helyük. Ez azt jelenti, hogy az adatokat tartalmazó állományoknak nincs egységes formátuma, helye, felelős kezelője és felhasználói köre. E négy alapvető kritérium hiánya miatt ma az egykor nagy költséggel előállított adatok eredeti formátumukban gyakorlatilag nem elérhetők.

---

<sup>12</sup> A digitális korszak előtt ezek a jegyzőkönyvek a belőlük készített publikációk elkészülte után jó esetben adattárba, rosszabb esetben a kukába kerültek.

Mivel a földtani alapadatok elsődleges prioritásúak a modellezés szempontjából, kutatásaim során céлом volt többek között egy olyan rendszer kidolgozása, amely lehetővé teszi a térképezési alapadatok egységes rendszerben való kezelését. A rendszer kidolgozásakor figyelembe kellett venni, hogy a rendszerbe kerülő adatok nagy része már megvan digitális formában (szintén nagy idő és energia befektetése árán) azonban ezek az állományok nem egységes szerkezetűek, nem tartalmazzak kellő információt az észlelési pontról (pl. koordinátákat), és a megfigyelések fontos részletei (pl. megfigyelt és rajzon rögzített rétegsor) sokszor kimaradtak a digitális feldolgozás során. Egyik cél tehát ezen állományok viszonylag egyszerű és kevés munkát igénylő újrafeldolgozásának előkészítése volt. Másik cél egy olyan rendszer alapjainak megteremtése, amely lehetőséget ad a jövőben a digitális terepi adatrögzítésre is, de alkalmas a kéziratos jegyzőkönyvek adatainak kamerális feldolgozására is. A terepi adatrögzítés feltételeinek megteremtéséhez a Földtani Intézet anyagi elkötelezettséget nem vállalt, de az egyes kutatóhelyeken pályázati forrásokból megoldható volt kézi adatrögzítő eszközök (PDA –Personal Digital Assistant) vásárlása. Az eszközök használata azonban a terepen dolgozó munkatársak körében jelenleg nem elterjedt, mivel nincs egységes álláspont a rögzítendő adatok formátumáról és részletességéről<sup>13</sup>.

Számos működő rendszer létezik ma már a terepen történő digitális adatrögzítés megvalósítására. Ezek többsége azonban valamilyen konkrét adat, vagy adatsort pontos rögzítésére fókuszál, így ezek bevitelét pontosan szabályozza, ellenben más megfigyeléseket nincs lehetőségünk rögzíteni bennük. Általános tapasztalat, hogy ez a korlátozottság hosszabb távon a megfigyelések elmaradását eredményezi. A földtani térképezés során készített dokumentációs anyag ily módon való közvetlen rögzítése tehát oda vezetne, hogy a megfigyelések részletessége az adatrögzítő szoftver beviteli mezői által meghatározott részletességét sosem haladná meg.

### 3.6.1 Szöveges leírások formátuma és funkciója

A terepi dokumentálás általános szempontrendszerét a geológia tudományának fejlődésével egyidejűleg alakították ki szakemberek generációi. Ezért az alábbiakban ismertetett eljárás és szempontrendszer csak annyiban tekinthető új módszernek, hogy olyan formátumot és adatszerkezetet mutat be, amely alkalmas mind a régi leírások gyors átformálására, mind az új észlelések kamerális adatbevitelére; továbbá közvetlen terepi adatbevitel során is előállítható (pl. PDA-val).

---

<sup>13</sup> Ez indokolja a kitűzött cél, az egységes adatrögzítés szerkezetének kidolgozását.

A módszer kísérleti alkalmazása a MÁFI Tájégségi Térképezési Programján belül jelenleg is folyó Gerecse Térképezési Projekt egyik kitűzött feladata. Célunk, hogy olyan terepi digitális adatrögzítést kísérletezzünk ki, amely eleget tesz azoknak a követelményeknek, amelyek az adatok adatbázisba való feltölthetőségét célozzák meg, de nem kötik meg a terepen dolgozó geológus kezét az adott képződmény leíró jellegű ismertetésénél. Arra is fel kell készülni, hogy a hagyományos kézzel vezetett jegyzőkönyvből kell átvezetni az adatokat olyan formátumba, amely a térinformatikai rendszerekkel való kompatibilitást lehetővé teszi. Az adatszerkezet tehát három fő funkciót kell, hogy kielégítsen:

- 1) Új észlelések utólagos strukturált adatrögzítése (irodai környezetben);
- 2) Archív dokumentumok szövegeinek gyors átszerkesztése (irodai környezetben);
- 3) Adatbázis mezőinek feltöltése közvetlen adatbevitellel (terepi környezetben).

Az alábbiakban részletesen ismertetett dokumentum szerkezet Microsoft Word formátumban előállítható mind irodai, mind terepi körülmények között (pl. Windows Mobile 6 platformon). A létrehozott jól strukturált .doc állományból könnyen előállítható az adatbázis formátum (pl. XML – Extensible Markup Language kódolás közvetítésével), de az adatszerkezet lehetővé teszi, hogy más adatbeviteli környezetet (pl. táblázatos formát) válasszunk.

A térképezés során, a terepen dolgozó geológus nevének kezdőbetűi és az adott 25 ezres szelvényen általa dokumentált megfigyelési pont aktuális sorszámából áll össze a feltárás kódja (pl. AG198). Ez a kód szerepel az adott térképen is, ha nyomtatásra kerül a sor. Ha a leírásokat a dokumentum formátumból adatbázisba konvertáljuk, akkor a megfigyelési pont kódja elé kerül a 25 ezres térképlap kódja is (pl. VSZL-AG198).

### **3.6.2 Adatbázis mezők, avagy dokumentációs kategóriák**

A leírás formai elemei szigorúak. A megfigyelési pont kódjának formázásától kezdve, a leírásakor alkalmazható karakterekig mind pontosan meg vannak határozva (ld. minta). Ezek betartására a legfegyelmesebb kutató sem biztos, hogy képes, így olyan dokumentumsablont kell készíteni, amely beépített Visual Basic makrók segítségével korlátozza az egyes adatbázis mezők (kategóriák) tartalmának feltöltésekor használható karakter készletet. A terepen, mobil eszközön feltöltött állományok esetében ezek a makrók nem biztos, hogy működnek, így az állomány szintaktikai ellenőrzését is meg kell oldani az irodai számítógépre történő feltöltést követően.

Ez a feladat komoly programozói munkát igényel, így megvalósítása az Intézet keretein belül kérdéses, és a lehetséges alternatív megoldások keresésére ösztönöz (pl. már működő adatbeviteli eszközök és felhasználói alkalmazások vásárlása). Ebben az esetben az ismertetett adatszerkezet adhat iránymutatást arra, hogy milyen igényeknek kell, megfeleljen az adatbeviteli eszköz.

A kód alatti sorokban következő információkat (beleértve a sor elején az információ kategóriájának megnevezését is) „enter” választja el. A sorok elején az adatmező neve, azaz az információ megnevezése szerepel (pl. Koordináta) a végén kettősponttal. A felsorolt kategóriák száma 12, amelyeket akkor is feltüntetünk, ha nincs mögötte tartalom (pl. nincsenek mért adataink, vagy fossziliák). A kategóriák megnevezését a tartalomtól „tab” -bal választjuk el; a tabulátor elhelyezése minden sorban azonos. A leírások közben nem használunk „enter”-t a sorok emelésére; kizárólag folyó szöveggel visszük be a leírást. Ahol az adatok formátuma megkívánja, ott a soremelésre a „shift” + „enter” billentyűkombinációt alkalmazhatjuk, ami nem töri meg a bekezdést. Az egyes mezőkben (kategóriákban) rögzítendő információ tartalmi és formai szabályait az alábbiakban ismertetjük:

Kód: A feltárás megnevezése félkövér kapitális karakterekkel szedve. A feltárás kódjának első négy karaktere az adott megfigyelési pontot tartalmazó 1:25 000-es térképlap kódja (l. 5. táblázat). Ezt követi „-” karakterrel a felelős dokumentáló kétbetűs monogramja, majd az adott dokumentáló által a térképlapon rögzített észlelési pont sorszáma, amelyet három számjeggyel azonosítunk. A kód után más karakter (pl. szóköz, pontosvessző, vagy pont) ne szerepeljen.

Képződmény: A feltárásban észlelt képződmények alapindexe, amely a MÁFI központi adatbázisában előfordul, vagy azok szerkesztési elve szerint lett levezetve. A tabulátor után felsorolással adjuk meg a képződményeket; ha egy képződményen belül több litológiai variáció is előfordul, azokat itt nem soroljuk fel (erre lehetőség van a litológiai leírásnál és a rétegsor megadásánál). A különböző képződményeket pontosvesszővel és szóközzel választjuk el. A felsorolás végére nem teszünk pontot.

Leíró: A feltárás leírását végző személy(ek) teljes nevének kiírása, egymástól pontosvesszővel elválasztva. A felsorolás végére nem teszünk pontot.

Dátum: Az észlelés dátuma (évszám/hónap/nap).

Koordináta: Az észlelési pont egy jellemző koordinátája Egységes Országos Vetületi (EOV) rendszerben megadva. A hatjegyű, méter alapegységű keleti koordináták szerepeljenek elől, majd vesszővel és szóközzel elválasztva az északi koordináták következzenek. A koordinátáknál csak egész értéket adjunk meg. A felsorolás végére nem teszünk pontot.

Feltárás jelentősége: Három fokozatú skálán jellemezzük, milyen jelentőséget tulajdonítunk a feltárásnak (kicsi, közepes és nagy). Ha a besorolás valamilyen konkrét megfigyelésre vonatkozik, azt szóközzel elválasztva és zárójelbe rakva a besorolást követően, rövid szöveggel adhatjuk meg (pl. fejlett algagyepék jelennek meg; a keresztrétegzés jól mérhető; legszebb oligocén feltárás). A szöveges leírás formátuma nem kötött.

Feltárás jellege: Az észlelt képződmény előfordulásának fizikai jellemzője három lehetséges szöveges értékkel: 1 szálaban álló (röviden szál) kőzet, vagy nem konszolidált üledék feltárása; 2 fizikailag aprózódott (röviden törmelékes) kőzet feltárása; 3 talajjal fedett, de a talaj összetételéből kikövetkeztethető (röviden fedett) képződmények észlelési pontjai.

Helyzete: Az észlelési pont megközelítésének és földrajzi elhelyezkedésének szöveges ismertetése.

Litológia: Az észlelt képződmények részletes kőzettani leírása. Ha a feltárásban több képződményt is leírtunk, az egyes képződmények indexét (amit a „Képződmények” kategóriában felsoroltunk) a leíró szöveg végére félkövén szedve, zárójelbe rakva tüntetjük fel. Az egyes képződmények leírása folyó szöveggel, a mondat szerkesztés szabályai szerint történik.

Rétegsor: A feltárás képződményeinek egymáshoz való viszonyának ismertetése. A rétegsort kétféle módon adhatjuk meg: 1, a legidősebb képződménnyel kezdjük a felsorolást, és a legfiatalabbal zárjuk; 2 a legfiatalabbal kezdjük és a legidősebbel zárjuk. Első esetben „\” (backslash) karakter választja el a képződmények kőzettani indexét, második esetben pedig a „/” (perjel) karakter (pl.: tE2\sE3 vagy sE3/tE2). Szerkezetföldtani kapcsolat esetén a levetett, illetve a fennmaradt képződményt

jelöljük hasonló logikával, de a karakterek közé a szerkezeti elem megnevezését is beillesztjük (pl.: sE2\vető\sE3). Ha a képződmények kontaktusa bizonytalan, akkor az elválasztásuk a „|” karakterrel lehetséges.

Mért adatok: Kompasszal mért adatok egész fokban megadva. Az egyes mérési adatok után zárójelben feltüntetjük a képződményt és a mért objektumot (pl. rtg. = réteglap, v. = vető, vk. = vetőkarc, imbr. = imbrikáció, szí. = szállítási irány). Az adatok jelölése síkok esetén: dőlésirány/ dőlésszög; lineáris elemek (pl. vetőkarcok) esetén: dőlésirány/ dőlésszög/ jelleg<sup>14</sup>, vagy dőlésszög/ égtáj szerinti irány/ jelleg (utóbbi csak akkor, ha van hozzá sík is mérve, amitől vesszővel és szóközzel választjuk el). Több mérési adatot pontosvesszővel és szóközzel választunk el egymástól.

Fossziliák: Ősmaradványok felsorolása a beazonosíthatóság szintjén. Azonos képződményben előforduló több ősmaradvány felsorolása vesszővel elválasztva történik és a felsorolás végén a képződmény indexével. A különböző képződményekben szereplő maradványokat pontosvesszővel választjuk el.

Fotók: Az észlelési ponton készített fotók digitális állományának pontos megnevezése. A megnevezésben szerepeljen a 25 ezres lap kódja, az észlelési pont kódja, és utalás a kép tartalmára (pl. a lefotózott képződmény földtani indexe). Ugyanitt rögzítsük a kézzel rajzolt és később beszkenelt állományok nevét is. A felsorolásnál az állományok nevét pontosvesszővel választjuk el.

Minták: Az észlelési ponton vett minták felsorolása és pontos megnevezése. A minta nevében szerepeljen a 25 ezres lap kódja, az észlelési pont kódja, egy kétjegyű sorszám 01–99, ami az adott ponton vett minták sorszáma, és a mintavétel célja. A mintákat pontosvesszővel és szóközzel elválasztva soroljuk fel.

Megjegyzés: Ebbe a mezőbe egyéb, nem kötött formátumú szöveges és numerikus információ írható (pl. korábbi publikáció a képződményről, a képződményt feltáró közeli fúrás megnevezése, stb.)

---

<sup>14</sup> A vetőkarcok jellegét a vető felületén észlelhető fizikai jelenségek (pl. barázdák, ásványkiválások) morfológiája alapján határozzuk meg. A jelleg utal a vetőfelülettel elválasztott kőzettestek egymáshoz viszonyított mozgására. Alaptípusok a következők: normál vető, feltolódás, balra- és jobbra forduló oldalelmozdulás.

Az alábbiakban egy leírási minta olvasható, amely nem közvetlenül a terepen készült, de a kézzel vezetett terepi jegyzőkönyvet rövidesen az észlelést követően digitalizáltuk.

**LABT-AG071**Képződmény:.....**tE2; sE3**

Leíró: ..... Albert Gáspár

Dátum: ..... 2004. október 13.

Koordináta: ..... 614132, 262177

Feltárás jellege: .Törmelékes és szál feltárás

Feltárás jelentősége:           Közepes

Helyzete:.....A Kőkényes D-i hosszú gerincének Ny-i végénél, Y- útelágazás É-i ágán, nyiladéknál és ÉNy-felé a következő útelágazásban, valamint É-ra a meredek oldalon (nagysápi lapon).

Litológia: .....Sárgásfehér, barna bioklasztos, molluszkás, nummuliteszes homokos márga és limonitos finomhomokkő törmelék (**tE2hmg**). Feljebb a tető felé az úton szálban rosszul rétegzett nummuliteszes mészkő (**sE3m**). Lejjebb ÉNy-felé sötétszürkésbarna, tömör, csillámos, molluszkás, növénymaradványos, agyag-intraklasztos középszemű kvarchomokkő törmelék (**tE2hk**). Lent az É-i meredek oldalon sárgásbarna ostreás márga, és agyagmárgás mátrixszú tektonikus breccsa. ÉNy-ra az útkereszteződés K-i bevágásában ostreás homokos agyag, márga törmelékekkel (**tE2o**).

Rétegsor:.....tE2o\tE2hk\tE2hmg\vető\sE3m

Mért adatok:.....222/23 (sE3 rtg.);

132/65 (sE3 vető), 85/É/BN (vk.);

Fossziliák:.....N. striatus, Mollusca (Ostrea, Brachiodontes, Mactra, Cardium?) (tE2); N. millicaput (sE3m)

Fotók:.....LABT-AG071-tE2o-kőzet.jpg; LBTL-AG071-rajz-rétegsor.jpg.

Minták: .....LABT-AG071-01-csiszolat\_tE2hk;

Megjegyzés:.....

**3.6.3 Archív anyagok szöveges leírásainak formázása**

A régebben digitálisan rögzített észlelési jegyzőkönyvek szerkezete nem alkalmas arra, hogy kezelhető alapadatbázist állítsunk elő belőlük. Ez a későbbiekben, az alapadatok keresésénél és felhasználásában időtöbbletként fog jelentkezni, ami a szakmai szintézis előállítását nehezíti. Amennyiben lehetőség van rá, a reambuláció során a régi digitális, de nem strukturált állományokat is a fent ismertetett módon szerkesztjük át.

Az alábbiakban egy példán keresztül mutatjuk be a folyamatot, érzékeltetve, hogy az információt nem módosítva hogyan hajtható végre a leírás szerkezetének optimalizálása. A bemutatott részlet egy 1991-ben megfigyelt, és 1999-ben MS Word formátumban begépett terepi észlelés.

**Gyalog László** foltleírásai1. p<sub>2</sub><sup>m</sup>

Vértesszőlős templomától.. a múzeum bejáratától É felé, az egykori kőfejtő édesvízi mészkövet tár fel. Ebből került elő a híres neandervölgyi ősember koponyacsont lelet (a Samu), melynek kora kb. 350-500 ezer év. A kőfejtőudvar közepén 5 m magas, 20x10 m-es dombon van Vértesszőlős emléktáblája. Itt a mészkő lemezesen rétegzett, enyhén hajló, 1-10 cm-es rétegekkel a felső részen, kb.1,2 m vastagságban (A). Alatta tömeges mészkő van 2 m vastagságban, ez porló, sárgásfehér, igen sok üreges növényi szármadvánnyal (B). A lemezes mészkő a réteglapok mentén porló, belsejében tömör, sárgásbarna. Helyenként szalagos kiválások vannak benne.

Kora: Középső-pleisztocén

Ugyanez a leírás optimalizált szerkezettel:

**VSZL-GY001**Képződmény: ..... **Qp2m**

Leíró: ..... Gyalog László

Dátum: .....

Koordináta: .....

Feltárás jellege: ..... Szálfeltárás

Feltárás jelentősége: ..... Nagy (Homo sapiens lelet)

Helyzete: ..... Vértesszőlős templomától, a múzeum bejáratától É felé, az egykori kőfejtőben. A kőfejtőudvar közepén 5 m magas, 20x10 m-es dombon Vértesszőlős emléktáblájánál.

Litológia: ..... A kőfejtő édesvízi mészkövet tár fel (**Qp2m**). A mészkő lemezesen rétegzett, enyhén hajló, 1-10 cm-es rétegekkel a felső részen, kb. 1,2 m vastagságban (A). Alatta tömeges mészkő van 2 m vastagságban, ez porló, sárgásfehér, igen sok üreges növényi szármadvánnyal (B). A lemezes mészkő a réteglapok mentén porló, belsejében tömör, sárgásbarna. Helyenként szalagos kiválások vannak benne.

Rétegsor: .....

Mért adatok: .....

Fossziliák: ..... Homo sapiens neanderthalensis, növénymaradványok.

Fotók: .....

Minták: .....

Megjegyzés: ..... Ebből került elő a híres neandervölgyi ősember koponyacsont lelet (a Samu), melynek kora kb. 350-500 ezer év

Az átszerkesztett leírásból jól látható, hogy mi hiányzik az eredeti leírásból, amit egy korrekt adatarshiválás esetén lehetőség szerint pótolni kell. Látható továbbá, hogy az eredeti leíró a szövegben betűkkel indexelte a képződmény egyes részeit, amihez a kézzel vezetett jegyzőkönyvben valószínűleg ábrát is rajzolt. Az ábra szintén nincs az archivált adatok között.

Amennyiben a hiányos leírások korrigálására nincs mód, a pótolandó adatok az átszerkesztett leírás alapján, vagy az abból készített adatbázisból egyértelműen meghatározhatók.



### 3.7 Földtani képződmények és kutatófúrások adatbázisai

Korábbi (3.3.3.3) fejezetben bemutattuk, hogy a tematikus földtani térkép topológiai adatok és centroidok segítségével történő előállításánál létrehozott adatbázis a földtani képződményeket egyedi kód szerint azonosítja és egyfajta attribútumot (adott esetben szint) rendel hozzá. Most arra világítunk rá, hogy ez az adatbázis a digitális földtani térképnek azon része, amely a 3D földtani modellezés szempontjából a legfontosabb.

#### 3.7.1 A térképi adatbázis

Az adatbázis létrejöhet akár egyetlen térkép földtani képződményei alapján is (l. 6. táblázat), és ez az észlelési térképek esetén az elérhető legrészletesebb földtani információt nyújtja az adott területről. Ha egy nagyobb területről, pl. egy egész hegységről (pl. a Gerecse) dolgozzuk fel az észlelési térképeket, akkor olyan mennyiségű közvetlen forrásból származó adatot kapunk, ami egy regionális modell szerkesztéséhez több mint elegendő.

**6. táblázat. Részlet a Kömlőd (L-34-13-B-c-1) 1:10 000 észlelési és fedett földtani térképének térképi adatbázisából.**

Text	X	Y	Z	Réteg/fedvény	Javított index
fP2k	593899.8602	247744.9719	0	FTI_12TFT_IDX	f_Qp2k
hl,d_h	590425.0042	248432.5829	0	FTI_12TFT_IDX	d_Qp3h+e_Qp3hl
k_Pa1-2	592369.5162	245334.9019	0	FTI_12TFT_IDX	kPa1-2

Oszlopok magyarázata: Text = a térképező által jelölt karakterlánc; X, Y és Z = a karakterlánc koordinátái EOVS koordinátarendszerben; Réteg/Fedvény = az AutoCAD állomány rétegének megnevezése, amelyen a karakterlánc található; Javított index = a MÁFI térképi adatbázisában előforduló, vagy azzal egyező elvek alapján képzett azonosító

A feldolgozás azonban nem csak a földtani térkép geometriájának „letisztítását” és topológiailag helyes térképek előállítását jelenti, hanem a centroidként funkcionáló földtani indexek egységes elvek szerinti formátumának előállítását is. Ehhez a feladathoz nem elegendő a térképek digitalizálása, hiszen az indexek a térkép kéziratán gyakran egy-egy rövid betűkód<sup>15</sup>, vagy csak az észlelési pont számaként azonosíthatók. Ilyenkor az észlelési jegyzőkönyvekhez kell visszanyúlni. Ha ott sem érhető el adat, akkor új terepbejárással kell pótolni a hiányokat. Ezek a hiányok többnyire a rossz archiválási folyamat, vagy az archiválás teljes hiánya miatt keletkeztek, és elkerülhetőek lettek volna egy ellenőrzött munkafolyamat kidolgozásával és betartásával.

<sup>15</sup> Sokszor annyira egyedi jelöléseket alkalmaztak mind a terepi geológusok, mind a digitalizálást végzők, hogy egy adott térképen jellemző földtani index egy másik térképlapon egész más képződményt jelent.

Az észlelési térképről leolvashatók a koordináták, amelyek a földtani indexekhez, mint topológiai centroidokhoz rendelhetők. A *topológiai centroid*<sup>16</sup> — ellentétben a *geometriai centroiddal* — információt hordoz a poligonról is, amely magába foglalja, és a térkép vonalművének letisztítása után, a topológia építés során jön létre. Ezek a centroidok és a hozzájuk csatolt információk (attribútumok) építik fel a térképi adatbázist, amely az adatrendszer magját alkotja. A térképi adatbázis a tematikus térképen megjelenítendő színek kódja mellett tetszőleges számú egyéb attribútumot (pl.: magassági adat, kor, vastagság, közettani összetétel, stb.) is hordozhat. Ha a térképi adatbázis elemei összevethetők más térbeli földtani információt hordozó adatbázisokkal (pl. a kutatófúrások adatbázisával) és ezekből összetett elemzések végrehajthatók, akkor minden szükséges kritériuma megvan annak, hogy az általunk működtetett térinformatikai rendszer 3D földtani modelleket állítson elő.

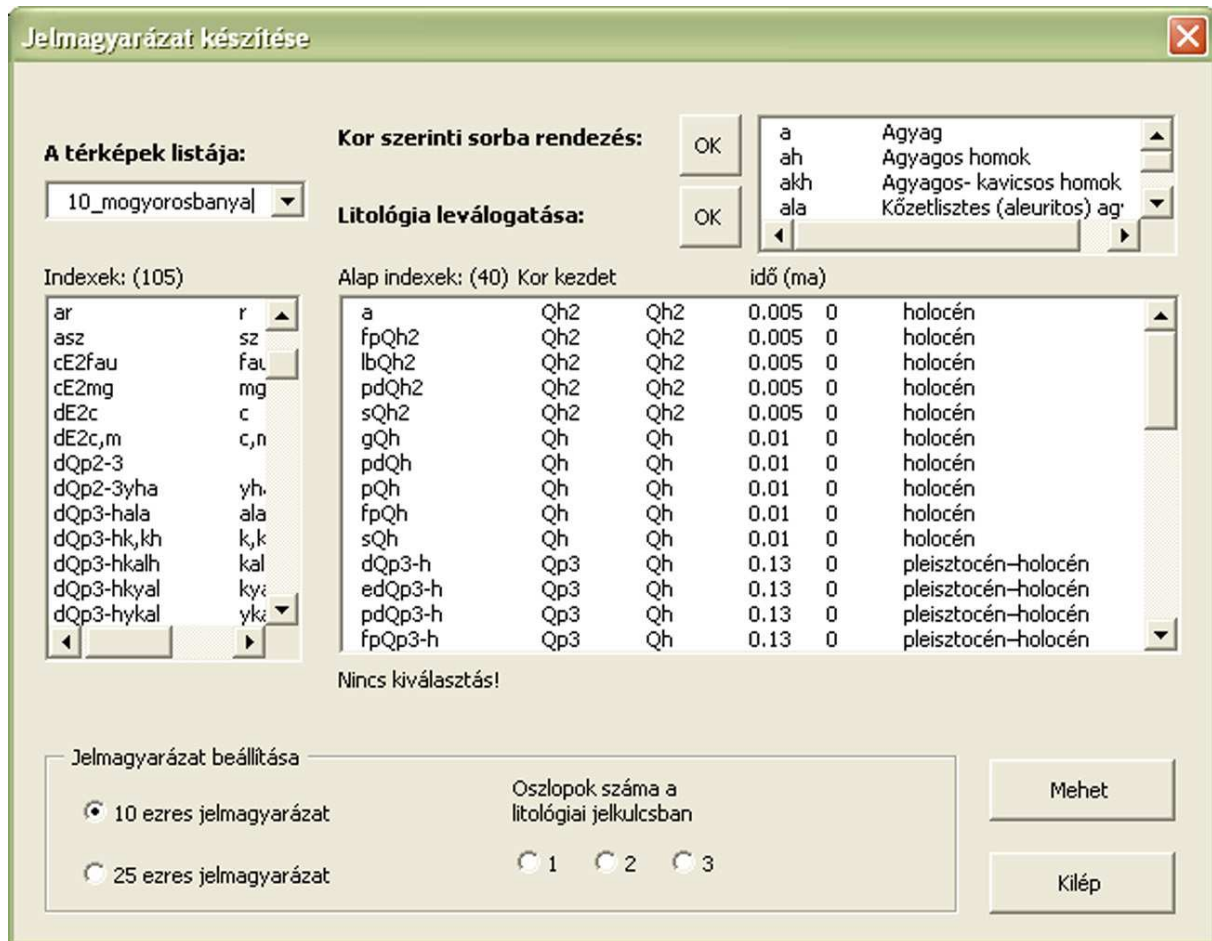
A térképi adatbázisban alapvetően a földtani térképeken előforduló képződmények nevét és előfordulási helyét tároljuk (l. 6. táblázat). Az adatbázis lekérdezésével többek között megkaphatjuk a képződmények területi elterjedését, vagy egy terület földtani képződményeinek listáját, ami azon túl, hogy áttekintést nyújt a terület földtanáról, nagyon hasznos, ha egy térképsorozatot szeretnénk kartográfiai szempontból helyesen megjeleníteni. A területi leválogatás ugyanis térképszelvények szerint is történhet, s így az adatbázisból lekérdezett listában csak az adott lapra jellemző képződmények fognak szerepelni. Ez a lista képezi a lap jelmagyarázatának alapját is. A lista alapján a jelmagyarázat AutoCAD állományokban történő automatikus előállítására a Vértes és a Gerecse földtani térképsorozata esetében Excel alapú VBA alkalmazást fejlesztettem ki (11. ábra). Hasonló eljárást alkalmaztak a MÁFI 1:100 000 országos földtani térképének jelmagyarázatának előállításakor is (MAIGUT 2004), ahol az országos jelkulcs megjelenítése minden lapon szinte lehetetlen lett volna.

Az egységes földtani indexformátum alapelveit a MÁFI-ban az 1990-es évek első felében dolgozták ki (GYALOG ED. 1996), az 1:100 000-es földtani térképsorozat (EOFT-100) digitális feldolgozásához. Ez a térképsorozat azonban, levezetett tartalmából és kisebb méretarányából kifolyólag nem igényelte a földtani képződmények olyan szinten történő részletezését, amilyen szinten az egy észlelési térképen szükséges. Ez a hiányosság nagyrészt egy bizonyos képződmény módosulatainak, azaz közettani szempontból eltérő változatainak

---

<sup>16</sup> A topológiai centroid olyan pontszerű objektum, ami egy rajzi topológia részét képező poligonon belül helyezkedik el és információkat tartalmaz a poligon területéről, kerületéről és a határoló vonallánccról. A geometriai centroid, egy kiterjedéssel rendelkező objektum (pl.: egy vonallánc) befoglaló téglalapjának átlóinak metszéspontja.

megkülönböztetésénél volt érzékelhető. Mindazonáltal a kidolgozott indexelési módszer lehetőséget nyújtott új földtani indexek bevezetésére, amelyek logikailag illeszkedtek a már meglévőkhöz.



**11. ábra.** Excel alapon működő Visual Basic alkalmazás párbeszédpanelje, amely a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozatába tartozó térképlapok jelmagyarázatának szelvényenként történő előállítását teszi lehetővé.

Földtani képződmények térképi jelölésére számokat és betűket használnak, amelyek a megjelölt térképi elemet a földtani jelkulcsban szereplő geológiai képződménnyel egyértelműen azonosítják. Mind a hazai, mind a nemzetközi gyakorlatban előfordulnak olyan földtani térképek, amelyeken csak számok (1, 2, 3, stb) jelennek meg, mint térképi azonosítók. Ezek az indexek a térkép készítőjének munkáját ugyan megkönnyítik, viszont használata csak akkor könnyű egy földtanban járatos térképolvasó számára, ha a térképe viszonylag kicsi, és a jelmagyarázat jól elérhető helyen van használat közben, vagy a térkép számozását az olvasó jól ismeri már. A számozott jelkulcsi elemek kifejezetten zavaróak lehetnek, ha két olyan térképet akarunk összehasonlítani, amelyek jelkulcsában számozott

elemek vannak, de egy-egy szám nem ugyanazt a képződményt azonosítja az egyik, illetve a másik térképen. Ennek ellenére mind a hazai mind a nemzetközi földtani térképművek között gyakran találunk csak számokkal indexelt térképet (GYALOG 2004).

A betűkaraktereket alkalmazó jel önmagában is hordozhat információt a térképolvasó számára oly módon, hogy a betűk hagyományokon alapuló, és ezért a köztudatban is jobban jelen lévő földtani elnevezéseket (pl. J = Jura korból származó képződmény) idéznek. Leggyakrabban a betű és szám kombinációt használják (pl. J1 = a Jura korai időszakából származó képződmény), ami egyben a legjobban értelmezhető formátum is.

Magyarországon a földtani képződményeket megjelenési formájuk, képződési koruk és környezetük szerint földtani formációkba csoportosítják, amelyek az előfordulási hely földrajzi nevéből és a képződmény litológiai (közettani) megnevezéséből kapják a nevüket (pl. Mogyorósdombi Mészkö Formáció) (pl. FÜLÖP ET AL. 1975). Ezek az elnevezések viszonylag állandó és régóta a szakmai köztudatban lévő fogalmakat jelölnek, ezért régóta a hazai földtani szakemberek alapismeretei közé tartoznak. Kartográfiai szempontból ez a passzív tudás felhasználható a földtani index karaktorsorának meghatározásakor (pl. dT3 = Dachsteini Mészkö Formáció a felső Triászból), hiszen célunk egy olyan rendszer használata, amely mind a földtan, mind a térinformatika szakterületén dolgozók szempontjainak megfelel.

### 3.7.2 A fúrési adatbázis

Az Országos Földtani és Geofizikai Adattár (OFGA) kartotékrendszerének digitális nyilvántartásából fejlődött ki az Egységes Országos Földtani Térkép (EOFT) jelkulcsával egyező földtani kategóriákat tartalmazó fúrési adatbázis is az 1990-es évek végétől kezdődően. Ez lehetővé teszi a hazai földtani képződmények mélységbeli elterjedésének elemzését is, ami végső soron egy 3D földtani modell működtetésében valósulna meg. Az OFGA által tárolt több mint 100 000 fúrásból jelenleg mintegy 43 000 van olyan formátumban, amely lehetővé teszi a korrelációt a felszíni képződményekkel, de a régi fúrési adatok ellenőrzése és átértékelése a legújabb kutatási eredmények és a kialakult egységes jelkulcsrendszer alapján folyamatosan zajlik (GYALOG ET AL. 2005).

A fúrési adatbázis jelenleg egységesített formában elérhető a MÁFI Intranet hálózatán, ami lehetővé teszi a naprakész fúrési rétegsorok lekérdezését. A lekérdezéseket koordinátaértékek megadásával egy adott területre vonatkozóan kaphatjuk meg és kiíráthatjuk időről-időre egy ASCII formátumú állományba, amit a modellezési környezetbe is megjeleníthetünk. Ezáltal a fúrési rétegsorok is beépülhetnek a 3D modellbe (l. 6. ábra).

A Vértes-Gerecse területére eső fúrások új szemlélettel történő átértékelése (GYALOG ET AL. 2002) tette lehetővé, hogy a terület észlelési térképeiből szerkesztett térképi adatbázis és az átértékelt fúrások adatbázisának összekapcsolásával megkezdjem a terület 3D földtani modellezését.

### **3.8 Egyedi azonosítási módszerek**

Az adatrendszer eddig áttekintett elemei esetében az objektumok egyedi azonosítását az adattároló alkalmazás, pl. táblázatkezelő segítségével, vagy egy egységes fájl nevezéktan kidolgozásával oldottuk meg. A 3D modellek azonban olyan objektumokat is tartalmazhatnak, amelyek csak a modellezési környezetben válnak egyedi objektumokká azáltal, hogy az alapadatoknak pl. adott geometriai kritériumok szerint meghatározott csoportját alkotják. Tipikusan ilyen objektumok a vektoros térmodellekben gyakran szereplő szerkezeti elemek (vetők, feltolódások, gyűrődési tengelyek), amelyek legtöbbször egy térbeli felületként jeleníthetők meg.

A szerkezeti elemek felületként történő definiálása magával vonja a definiált szerkezetek elnevezését is. Ez egy-két felület esetén nem okoz problémát, azonban komplex vagy nagy kiterjedésű modellek esetén a megjeleníteni kívánt szerkezeti elemek száma is nagy lehet. Ahhoz, hogy a felületek elemzése és megjelenítése gyorsan végrehajtható legyen, illetve esetleges módosítása minimális kockázattal járjon, jól értelmezhető nevet kell adni az önálló szerkezeti elemeknek. Informatikai megközelítésből nézve azonban e nevek egyedi azonosítóként fognak szerepelni. Egyedi azonosító kódok rendszerének kialakítását a felületek alkotópontjait tartalmazó független háttéradatbázis is szükségessé teszi. A tektonikai elemek elnevezésére jelenleg nincs általánosan elfogadott gyakorlat, azonban a jelentős szerkezetek névvel való megjelölésére világszerte több példa is akad (Great Glenn Fault, San Andreas Fault, Telegdi Róth vonal). Ezek egyedi elnevezését tudománytörténeti okok indokolják.

Regionális tektonikai modelleknél, ahol a virtuális térben akár 40-50 szerkezeti elem felületét is megjeleníteni és kezelni kell, az egyedi elnevezések már átláthatatlanok, így más megoldást kell találni. Gyakorlati alkalmazások során vetődött fel, hogy a litosztratigráfiai képződményekhez hasonlóan a szerkezeti elemeket is formációkba, ún. „tektonikai formációkba” soroljuk. *Két szerkezeti elem akkor sorolható ugyanabba a tektonikai formációba, ha földrajzilag közel helyezkednek el egymáshoz, és kialakulásukért ugyanaz a tektonikai folyamat a felelős.*

A tektonikai formációk meghatározásánál — csakúgy, mint a litosztratigráfiai formációkénál — lényeges szempont lenne a térképen való ábrázolhatóság, illetve a vizsgált

terület földtani arculatának áttekinthető bemutatása (FÜLÖP ET AL. 1975). E párhuzam elsősorban azért fontos, mert a földtani térképek térinformatikai feldolgozása során használt egyedi litológiai indexekhez hasonlóan a szerkezeti elemeket jelölő azonosítóknál is az a cél, hogy szemléletességüket megőrizve eleget tegyenek a térinformatikai adatbázisokkal való kompatibilitás feltételeinek. Legfontosabb feltétel az indexek egyedisége; további szempont az indexek karaktersorának a 8 bites kiterjesztett ASCII kódtáblával (PATERSON 1997) való kompatibilitása, valamint a bejegyzések 32 karakternél rövidebb mivolta, ami az adatbázis-kezelő programok mezőméretének korlátozottsága miatt fontos.

A litológiai indexek adatbázisban tárolható formája a formációnév kezdőbetűje, illetve kvarter képződmények esetén a genetikai besorolás mellett, hordozza a korra és esetenként a litológiára vonatkozó információt is (GYALOG ED. 1996). Ennek analógiájaként az adatbázisban tárolható tektonikai index is hordozhatna leíró jellegű információkat, amelyek közül a legfontosabb a töréses szerkezeti elem képződésének mechanikai körülményeire utalna (normálvető, feltolódás, jobbos- és balos oldalelmozdulás, illetve egyszerű törésvonal). További fontos szempont a szerkezeti elem dőlésiránya (égtáj szerint), meghatározhatóságának mértéke (észlelt, megállapított és feltételezett), továbbá rendűsége (1, 2) és nem utolsó sorban működésének kora. Az utóbbit sok esetben nem lehet egyértelműen megállapítani, így célszerűbb objektumhoz, illetve adatbázis bejegyzéshez csatolt attribútumként tárolni. Az alábbiakban bemutatott példákban a pusztamaróti térképezési lapon (ALBERT 2004/b) észlelt vagy megállapított szerkezeti elemek indexelésére tettem kísérletet.

*kp\_F1e\_ek02*

Kis-pisznicei Tektonikai Formáció (*kp*) észlelt (*e*), elsőrendű (*I*), északkeleti dőlésű (*\_ek*) 2-es számú (*02*) feltolódása (*F*);

*pm\_Nm\_ddny01*

Pusztamaróti Tektonikai Formáció (*pm*) megállapított (*m*), dél-délnyugati dőlésű (*\_ddny*) 1-es számú (*01*) normálvetője (*N*);

*pm\_NJf\_ek01*

Pusztamaróti Tektonikai Formáció (*pm*) feltételezett (*f*), északkeleti dőlésű (*\_ek*) 1-es számú (*01*) jobbos elmozdulásos komponensű normálvetője (*NJ*).

Az itt felsorolt elnevezések és rövidítések ajánlások. A módszer részletes regionális szintű kidolgozására eddig nem került sor.

## 4 A MODELLEZÉSI MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

A földtani modell feladata a megismert földtani környezet pontos és jól átlátható megjelenítése, valamint az ismeretlenre vonatkozó elemzések könnyű és gyors levezetése és világos megjelenítése. Az ehhez használt eszközök és módszerek a modellezés céljától és névleges méretarányától (ld. 2.3.1-es fejezet), valamint a modellezett terület sajátosságaitól függenek. Az eljárások technikailag azonban hasonlóak. Ennek oka, hogy egy földtani modell minden esetben geometriai objektumokból áll, amelyek matematikai szabályok szerint szerkeszthetők, és amelyekhez sajátosságaiktól függően attribútumokat kapcsolhatunk. A geometriai megközelítés lehetővé teszi, hogy a földtani modelleket aszerint csoportosítsuk, hogy a földtani információt milyen geometriai minta szerint jelenítjük meg, és magába foglalja mind a raszteres, mind a vektoros szemlélettel értelmezhető modell típusokat is.

A geometriai megközelítésben a modelleket az alábbi csoportokra oszthatjuk, amelyeket a következő alfejezetekben, mint modellezési módszereket mutatok be:

- Szabálytalan modellek:
  - Egy és kétparaméteres modellek (pontfelhők)
  - Háromparaméteres modellek (egyszerű síkok, vektorok)
  - Szabálytalan hálófelület (TIN) modell
  - Szabálytalan térbeli testek modellje
- Szabályos modellek:
  - Szabályos hálófelület (grid) modell
  - Szabályos térháló (közettest) modell

A háromdimenziós modellezési módszerek csoportosítása a modell objektumainak geometriai tulajdonságai szerint az adatok feldolgozására is kihat. Az adatkezelés feltételeit a *modellezési eljárások* szabják meg, amely fogalmat a következő definíció szerint használom:

*Modellezési eljárások alatt a modell elsődleges és másodlagos, avagy levezetett adatainak feldolgozásához kapcsolódó matematikai műveletek összességét értjük, amely kiterjed a különböző típusú adatok esetleges súlyozásának, illetve az eredmény pontosságának meghatározására is.*

A modell akkor felel meg a céljainknak ha adatait gyorsan, látványosan és helyes eredménnyel tudjuk feldolgozni. Gyorssá tehetjük a modellt, ha a gyakran ismétlődő

műveleteket automatizált módszerekkel dolgozzuk fel, továbbá látványos lesz a modellünk, ha az adataink a virtuális modell térben megjeleníthetők. A helyes eredményt viszont az általunk használt eljárás biztosítja, amelyet akkor tekintünk helyesnek, ha a modellezett értékek és a mérhető értékek (pl. egy adott képződmény felszín alatti mélysége) közti különbségek egy meghatározott, és elfogadhatóan kicsi értéktartományon belül maradnak. A modellezési eljárások mindig a modell céljától függenek, s ezért matematikai háttérét az adott feladatra egyedileg kell megterveznünk.<sup>17</sup>

A modellezési módszer kiválasztása során is szembesülünk ugyanazzal a dilemmával, ami a kétdimenziós, azaz képi megjelenítés során szinte mindennapos gyakorisággal fordul elő: nevezetesen a raszteres és vektoros adatmodell közti választással. Ez a modellezés szempontjából a szabályos és a szabálytalan modellek közti választásként jelentkezik.

A szabályos modellek feldolgozása könnyebben automatizálható, és mivel az adatpontok többsége nem konkrét értékkel, hanem egy számítási algoritmus formájában van eltárolva, viszonylag jól tömöríthetőek az állományok. A számítási feladatok ugyanakkor a modell részletességével négyzetes arányban megnövekszik és sokszor emiatt lassú az adatfeldolgozás és a megjelenítés. Nagy felbontású modellek esetén óriási mennyiségű térbeli pontra kellene elvégezni a műveleteket, ezért a módszer apró részletek modellezésére nem alkalmas. Többnyire nagy és viszonylag egyenletesen elszórt adatmennyiség és közepes- vagy kis névleges méretarányú regionális modellek esetén, nagy teljesítményű számítógépekkel érdemes tehát a módszert alkalmazni.

A szabálytalan modellek jóval nagyobb tárolókapacitást igényelnek, mivel a térbeli objektumok töréspontjainak koordinátáit külön-külön tárolják, viszont ugyanezért az adatok gyorsabban előhívhatóak, és megjeleníthetőek. Előállításuk során sokkal több szükség van az emberi beavatkozásra, így fajlagosan lassabb és költségesebb módszer; ezen felül nagyobb a kiszámíthatatlan emberi tényező szerepe is. Ez utóbbi azonban előnyt is jelenthet, ha a modellt körültekintően és nagy szakértelemmel hozzák létre. Szabálytalan modelleket kevés és egyenetlenül elszórt adat esetén, kis névleges méretarányú modellek létrehozásakor érdemes alkalmazni.

A két modell típus között adattorzulás nélkül nincs átjárhatóság. Az *elsődleges adatok* torzításmentes megjelenítésére általában csak a szabálytalan geometriájú modellekben van lehetőség. Ezek altípusai között a modell objektumai is torzításmentesen levezethetőek egymásból (pl. három ponttal megadott térbeli sík  $\rightarrow$  TIN  $\rightarrow$  szabálytalan tetraéderháló).

---

<sup>17</sup> A tervezést sok esetben ipari szabványok, ajánlott feldolgozási módszerek és a modellező szoftverbe épített előre programozott matematikai modellek segítik.



Sok modellező program mindkét típust elő tudja állítani, és funkciókészletének kihasználása érdekében javasolt is a két típus közti adattanszfer. Ezek az alkalmazások<sup>18</sup> a két modelltípus előnyös tulajdonságait igyekeznek ötvözni, nevezetesen az automatizált előállítást, mint a szabályos modellek előnyét, illetve az interaktivitást és kézi szerkeszthetőséget, mint a szabálytalan modellek előnyét.

A szabálytalan modellek előállításakor a modelltér mind vektortér, mind skalártér funkciójában értelmezhető; szabályos modelleket viszont általában skalármennyiségek vizsgálatára hozunk létre.

## 4.1 Szabálytalan modellek

A szabálytalan modellekben a földtani információ egyedi geometriájú entitásokban<sup>19</sup> jelenik meg, amelyek előállítása ebből kifolyólag egyedi modellezési eljárást igényel. A szabálytalan alakzatok formájában megjelenő földtani információ tehát nem dolgozható fel teljesen automatizált módszerekkel, az automatizáció az egyes entitások létrehozásában azonban szerepet kap. Mégis az ilyen jellegű modellek végleges geometriáját úgy mond „kézzel” kell kialakítani, ami az előállítás idő és költségigényét növeli. Cserébe a létrehozott objektumok sok esetben pontosabb képet adnak a valóságban észlelt földtani jelenségekről, mintha „csak” a számítógépre bízunk magunkat a modell megalkotásakor.

A szabálytalan modellek közé soroltam az „egy- és kétparaméteres” modelleket, mivel ezek szabálytalan térbeli eloszlása a megjelenítés alapja, valamint az egyszerű geometriai objektumokkal jellemezhető „háromparaméteres” modelleket is, amelyek – bár maga az egyedi objektum esetleg szabályosnak tekinthető, míg önmagában áll – csoportokba rendezve és térbeli helyzetük alapján egymással összefüggésbe hozva nem mutatnak matematikai szabályszerűséget. Indokoltá teszi ezt a besorolást az is, hogy mindkét típusból magasabb szervezettségű szabálytalan modellek vezethetők le az eredeti (elsődleges) adataik torzítása nélkül.

### 4.1.1 Egy- és kétparaméteres modellek

Amikor a földtani információt hordozó térbeli pontok önmagukban jelennek meg a modelltérben, és nem alkotunk belőlük összetett objektumokat, akkor (az  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinátákon túlmenően) egy, vagy két paramétert jeleníthetünk meg. A megjelenített modell ún. *pontfelhőként* értelmezhető, amelyben minden pont önálló entitásként szerepel.

<sup>18</sup> Pl. Autodesk Map 3D, MVS (Mining Visualization System), Midland Valley Move.

<sup>19</sup> Entitásnak nevezzük a modell objektumait azok minden tulajdonságával, beleértve a kapcsolt attribútumokat illetve a vonatkozó adatkezelési eljárásokat is.

Az *egyparaméteres pontfelhő modellekben* az adatpontokat a modelltér minden irányában egyértelműen azonosítható (általában izometrikus) jellel jelenítjük meg (pl. gömb, kocka, stb.). A jelek alakja, mérete és színe a ponthoz kapcsolódó különböző attribútumok (vagy más néven tematikus paraméterek) értékének függvénye lehet. A jelek grafikai tulajdonságait a megjeleníteni kívánt tematika szerint célszerű meghatározni. Ilyen tematikus paraméter lehet pl. a talajvízben mért ionok mennyisége (amelyet pl. a jel méretével mutathatunk be) és kémiai besorolása (amely pl. a jel színével adható meg). Az, hogy a ponthoz tartozó attribútumok közül egyszerre csak egy, vagy kettő (esetleg három) külön tematikát jelenítünk meg, nem változtat a modellezett objektum geometriáján és összetettségén.

Ha a szabálytalanul elszórt pontokhoz egy újabb térbeli irányt is hozzá lehet rendelni, akkor *kétparaméteres pontfelhő modell* hozható létre a virtuális térben. Erre általában műszeres mérések során adódik alkalom. Pl. fúrólukak adott mélységében a fúróluk alakjának deformációját mérik, amiből a mélyben jelenlévő kőzetfeszültség-terek irányára lehet következtetni. Ennek a mérési adatnak két paramétere: irányszöge és nagysága van, amelyet egy 3D modellben az adott pontra elhelyezett irányított jelként lehet ábrázolni.

Az egy- és kétparaméteres pontfelhő modellek a *szabálytalan térbeli tetraéderháló*, mint tesszellációs<sup>20</sup> modell alapját képezik (l. 4.1.4.2 fejezet), amivé megfelelő informatikai háttérrel (pl. erre alkalmas modellező programmal) az eredeti adatok torzítása nélkül egyszerűen átalakítható.

### 4.1.2 Háromparaméteres modellek

Egyszerű geometriai objektumokkal akkor érdemes földtani információt megjeleníteni, ha nagy méretarányú modellt a térben egyenetlenül elszórt adatok felhasználásával, nagyrészt hipotézisek alapján szeretnénk létrehozni. Ennek matematikai hátteret ad az adott szituációra kidolgozott modellezési eljárás, ami definiálja, hogy a modell objektumainak geometriai paraméterei mennyiben térhetnek el a mérésekből nyert elsődleges adatoktól. Ha az elsődleges adataink torzítatlanok, matematikai értelemben a modell helytáll. Ekkor a modellezni kívánt földtani objektumok a modell névleges méretarányában olyan egyszerű geometriájú objektumokká redukálhatók, amelyek alakja és kiterjedése földtani szemmel is reális.

---

<sup>20</sup> Tesszelláció eredetileg a síkbeli formák hézag- és átfedés-mentes ismétlődése. Jelentése a görög *tessera*, azaz négyszögletes szóból származik, ami a latin nyelvbe, mint *tessella* került át, és a mozaikok alkotóelemeiként használatos apró szögletes cserép, kő, vagy üvegdarabot jelölt (WIKIPEDIA – TESSELLATION). A modellezési nomenklatúrában a térbeli alakzatokra is használják ezt a kifejezést.

Tipikusan ilyen objektumok a dőlésiránnyal, dőlésszöggel és egy kiterjedéssel jellemezhető földtani elemek (pl. réteglapok, vagy töréses szerkezetek), amelyek nagy méretarányban egyszerű síkként értelmezhetők, és ezért kiterjedésüket egy térbeli körlap sugarának értékével adhatjuk meg. Szintén három paraméterrel adhatók meg a mesterséges földtani objektumok (kutatófúrások), amelyek a dőlésirány és dőlésszög mellett a hosszt veszik fel, mint harmadik paraméter.

A háromparaméteres modellek speciális esete, amikor a pontszerűen megjeleníthető földtani objektumhoz hozzárendelt irányvektor a pontra vonatkoztatott tematikus paraméterek egyikének időegység alatt történő mozgását jelképezi. Ebben az esetben a pont koordinátája is változóként szerepelhet a modellezési eljárásban és az adott tematika időbeli változásáról is információt adhat. Az így megjelenített modelleket gyakran 4D modellként emlegetik, ahol a negyedik dimenzió az idő.

A ponthoz rendelhető három paramétert nem mindig lehet a földtani objektumok esetében egyszerűen, közvetlen méréssel meghatározni. Ez különösen igaz az időbeli változások dinamikájának meghatározásakor, ahol pl. a felszín alatti víz áramlásának irányvektorát egy adott helyszínen, a körülötte lévő kutak vízszintjének eltéréseiből állapítják meg, illetve amikor a felszín alatti töréses szerkezetek (vagy egyéb síkszerű objektumok) irányát két, vagy három egymáshoz közeli fúrás, vagy felszíni észlelés korrelációjával határozzák meg. Ilyen esetekben az irányparaméterek meghatározása koordináta geometriai műveletekkel történik, amelyeket más-más módon kell elvégezni aszerint, hogy hány adat áll rendelkezésünkre. Ezeket mutatom be a következő fejezetekben.

#### 4.1.2.1 A sík definiálásának módozatai

Nagy méretarányú modellek többnyire jól megkutatott területekről készülhetnek, ahol a felszíni észleléseken kívül fúrásadatokból, és esetleg szeizmikus, illetve geoelektromos észlelésekből következtetni lehet a felszín alatti szerkezetekre is. Ilyen területeken a rétegfelszínek és *töréses szerkezetek*<sup>21</sup> szabályos síkkal való modellezésének három módszerét különböztethetjük meg (TURCZI ET AL. 2004):

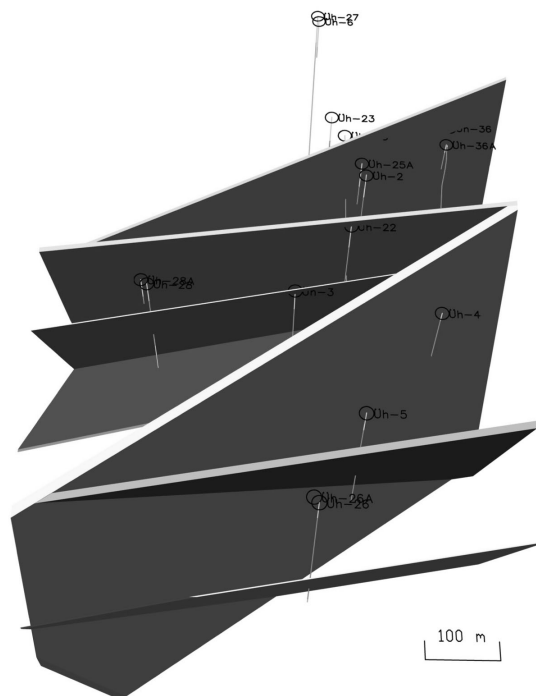
- a. Egy észlelési ponton, adott dőlésszöggel és dőlésiránnyal megadható síkok.
- b. Két észlelési ponton, adott dőlésszöggel és égtáj szerinti dőlésiránnyal megadható síkok.

---

<sup>21</sup> Töréses szerkezetek közé elsősorban a normálvetők, feltolódások, csapásirányú vetők és nem azonosítható, vagy összetett kinematikájú vetők sorolhatók. Mivel a törések geometriája nagy kiterjedésben ritkán feleltethető meg egy szabályos síknak, kisebb méretarányú modelleknél (pl. regionális földtani modellek, üledékes medencemodellek) ezeket a szerkezeteket szabálytalan felületmodellként lehet értelmezni (ld. később).

c. Három észlelési ponttal megadható síkok.

A fentiekben a dőlésirány a koordináta-rendszer északi irányához viszonyított, óramutató járásával megegyezően növekvő irányszög (azimut). Ha pl. a törések zónákban észlelhetőek, a megszerkesztett síkokhoz megfelelő vastagságot rendelve virtuális törészóna-testek jönnek létre (12. ábra), amelyek például vízföldtani modellek szerkesztésénél bizonyulhatnak hasznosnak.



**12. ábra.** Példa a virtuális törészóna-testek 3D modelljére. A törések egyszerű síkok modellezésének módszerével lettek előállítva (ALBERT 2005/a).

Célunk az, hogy a modell térbe egyszerűen beilleszthető síkokat kapjunk valamilyen számszerűsített paraméter formájában. A fent felsorolt három módszer közül az első nem okoz problémát, mivel adva vannak egy beillesztési pont koordinátái ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), valamint a síkot jellemző adatok (dőlési irány, dőlésszög). Ahhoz, hogy a modell térben ez megjelenjen, a beillesztési pontra egy geometriai objektumot kell elhelyezni, majd megfelelő irányba forgatni és dönteni. A síkot reprezentáló alakzat leggyakrabban négyszög vagy kör. A beillesztés műveletét célszerű automatizálni, mivel a kézi bevitel lassú, és hibát eredményezhet. Az automatizálás módszere az alkalmazott modellezési környezettől függ.

Ahhoz, hogy az automatikus feldolgozásnál egységesen kezelhessük a megjelenítendő síkokat, a második és harmadik módszer kiindulási adataiból célszerű kiszámítani egy beillesztési pontot, illetve a sík dőlésirányát és dőlésszögét. Így mindhárom módszer visszavezethető az első típusra. Mivel egy sík matematikai definícióját több módon is meg

lehet közelíteni, ki kell választanunk azt, amellyel legkönnyebben tudunk kezelni valós földrajzi koordinátákat, illetve értelmezni törési síkok dőlésirányát és dőlésszögét a virtuális térben. A gyakorlati alkalmazások terén a földtan hagyományosan szögekkel definiál egy síkot, ami megfelel a Gauss-féle gömbi paraméterezés módszerének. Ennek a módszernek legismertebb alkalmazási területei a felsőgeodézia, illetve a csillagászat, ahol a paraméterek megfelelnek a föld, illetve éggömb szélességi és hosszúsági köreinek (pl. BIRÓ 1985). Az alkalmazási módszerek hasonlósága a számítási módokban is hasonlóságot eredményez, aminek következményeként az alább vázolt módszerek közül sok gömbháromszögtani tételekre vezethető vissza.

#### 4.1.2.2 Két észlelési ponton, adott dőlésszöggel és égtáj szerint kétértékű dőlésiránnyal megadható síkok paramétereinek számítása

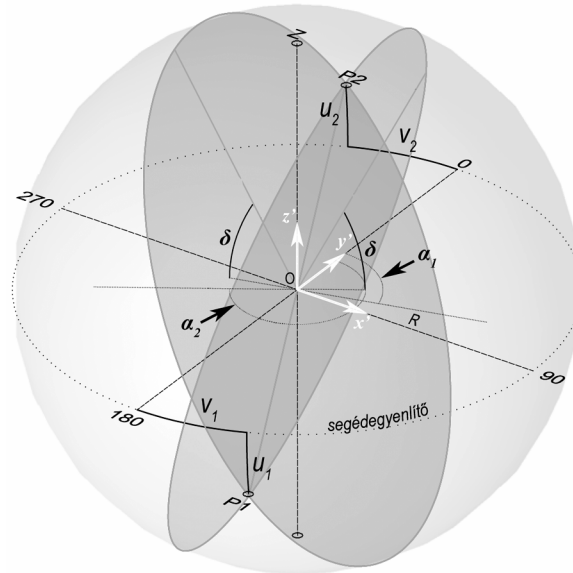
Két térbeli ponthoz végtelen számú sík rendelhető, melyek csak annyiban közösek egymással, hogy a két ponton áthaladó egyenest mindegyikük tartalmazza. Ebből következően, ha az egyenest mint forgástengelyt tekintjük, a végtelen számú megoldást úgy is megkaphatjuk, hogy egy tetszőlegesen kiválasztott síkot a forgástengely körül  $180^\circ$ -al infinitezimális lépésenként elforgatunk. A jelen esetben könnyíti a dolgunkat, hogy megadott dőlésszöggel rendelkező síkot keresünk. Ez azonban még nem egyértelműen határozza meg a síkot, így olyan módszert kell választanunk, amely szemléletesen és könnyen elemezhető módon tárja fel a lehetséges megoldásokat. Ilyen módszer a gömbi geometria.

A két pontot felfoghatjuk egy körlap átmérőjének két végéként, melyek koordinátája  $\mathbf{P}_1(x_1, y_1, z_1)$  és  $\mathbf{P}_2(x_2, y_2, z_2)$ . A körlap dőlésszöge ( $\delta$ ) ismert, de dőlésiránya ( $\alpha$ ) nem. Ha a  $\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2$  átmérő mint forgástengely körül képzeletben elforgatjuk a körlapot, könnyen beláthatjuk, hogy 2 speciális pozíciót kivéve – mikor a dőlésszöge és dőlésiránya megfelel a  $\mathbf{P}_1\mathbf{P}_2$  vagy  $\mathbf{P}_2\mathbf{P}_1$  irányvektorénak – 2 lehetséges pozícióban, azaz két különböző dőlésiránnyal ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) észlelhetjük a körlap kívánt dőlésszögét (13. ábra). Ezért meg kell határoznunk, hogy a két eredmény közül melyik érdekel minket. A lehetséges megoldásokat kategorizálhatjuk pl. a szerint, hogy van-e északi vagy déli, illetve keleti vagy nyugati komponense a sík normálvektorának. A  $\mathbf{P}_1$  és  $\mathbf{P}_2$  pont mértani közepe megadja a kör középpontjának koordinátáit [ $\mathbf{O}(x_0, y_0, z_0)$ ]. Az  $\mathbf{O}$  középpontú,  $\mathbf{P}_1$  és  $\mathbf{P}_2$  pontokat tartalmazó körlap megfelel egy  $\mathbf{O}$  középpontú,  $\mathbf{R}$  sugarú gömb főkörének. Az  $\mathbf{O}$  középpontú,  $x$  és  $y$  koordinátatengelyek által meghatározott (vízszintes) sík metszete a gömbön létrehoz egy másik gömbi főkört is, amit a továbbiakban mint *segédegyenlítőt* használunk (13. ábra). Ez a gömb, mint geometriai felület,

alkalmas a  $\mathbf{P}_1$  és  $\mathbf{P}_2$  pont Gauss-féle paraméteres megadására, amely pontjainkat  $u_i, v_i$  paraméterekkel definiálja.

$$(1) \mathbf{P}_1(x_1, y_1, z_1) = \mathbf{P}_1(u_1, v_1)$$

$$(2) \mathbf{P}_2(x_2, y_2, z_2) = \mathbf{P}_2(u_2, v_2)$$



**13. ábra.** Két ismert pontot tartalmazó, adott dőlésszöggel jellemzett sík változatai. Jelmagyarázat:  $P_{1,2}$  = észlelési pontok;  $\delta$  = dőlésszög;  $\alpha_{1,2}$  = dőlésirány (azimut);  $u_{1,2}$  = segédszélesség;  $v_{1,2}$  = segédhosszúság; Z = zenitpont; O = gömbközepont; R = gömb sugara.

Látható, hogy így 3 szám helyett csak kettővel kell a továbbiakban foglalkoznunk. Ezek az egyenletek azonban csak akkor állnak fenn, ha a két koordinátarendszer kezdőpontja azonos, ezért át kell térnünk egy  $\mathbf{O}$  kezdőpontú, relatív koordinátarendszerre, amelynek tengelyirányait  $x'$   $y'$   $z'$  jelöli. A *segédegyenlítő* hasonlat analógiájaként új paramétereink felfoghatóak *segédföldrajzi koordinátáknak* is, ahol  $u$  a *segédszélesség* és  $v$  a *segédhosszúság* paramétere. Ez a továbbiakban gömbi trigonometria alkalmazását teszi szükségessé.

A paraméterek Gauss-féle kiszámítása az alábbi képletekkel történik (pl. SMART 1960):

$$(3) x'_i = R \cdot \cos v_i \cdot \cos u_i$$

$$(4) y'_i = R \cdot \sin v_i \cdot \cos u_i$$

$$(5) z'_i = R \cdot \sin u_i$$

ahol  $R$  a gömb sugara. A földrajzi koordinátarendszerek irányainak alkalmazásánál óvatosan kell eljárni, mivel a geodéziai  $x$  és  $y$  irányok a matematikai tengelyekhez képest

elforgatott helyzetben vannak. A jelenleg alkalmazott számításokban a földrajzi koordináták keleti iránya a relatív koordinátarendszerben az  $x'$ -tengelynek, északi iránya pedig az  $y'$ -tengelynek felelt meg, és a gömb  $0^\circ$ -segéd-kezdőmeridiánja a  $180^\circ$ -os azimutot tartalmazza. Ez a (3) és a (4) egyenletet a következőképp módosította:

$$(6) \quad x'_i = R \cdot \sin v_i \cdot \cos u_i$$

$$(7) \quad y'_i = R \cdot \cos v_i \cdot \cos u_i$$

Az egyenletek megoldásához, illetve  $u_i$  és  $v_i$  paraméterek kifejezéséhez először a gömb sugarát kell kiszámítanunk, a gömb általános egyenlete segítségével.

$$(8) \quad R^2 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2$$

A keresett sík két lehetséges állásához tartozó normálvektorok a definiált gömböt két dőfési pontban ( $\mathbf{D}_{1,2}$ ) metszik. A dőféspontok segédgömbi paraméterei ( $u_{D1}$ ,  $u_{D2}$ ,  $v_{D1}$ ,  $v_{D2}$ ) meghatározzák a síkok dőlésirányát és dőlésszögét. A paraméterek kiszámításával tehát eredményül kapjuk a keresett dőlésirány-értékeket is. Mivel a síkok dőlése ( $\delta$ ) adott, a dőféspontok segéd szélessége is ismert.

$$(9) \quad u_{D1} = u_{D2} = 90^\circ - \delta$$

A  $v_{D1}$  és  $v_{D2}$  segédparamétert a segédgömbön található derékszögű gömbháromszögekre vonatkozó szabályok alkalmazásával határozzuk meg. Eszerint felírható egy  $\mathbf{P}_1\mathbf{D}_1\mathbf{Z}$  derékszögű gömbháromszög (14. ábra), amelynek oldalai:

$$(10) \quad \mathbf{P}_1\mathbf{D}_1 = 90^\circ$$

$$(11) \quad \mathbf{P}_1\mathbf{Z} = 90^\circ + u_1$$

$$(12) \quad \mathbf{D}_1\mathbf{Z} = 90^\circ - u_{D1} = \delta$$

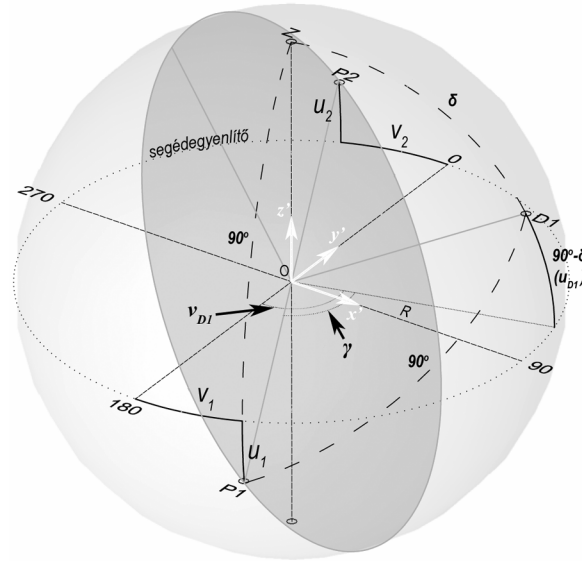
Itt a derékszög a  $\mathbf{D}$  csúcspontban található és  $\mathbf{Z}$  a segédgömb zenitpontja (azaz a  $z$  tengely dőféspontja a gömbön). Napier első szabálya szerint (SMART 1960):

$$(13) \quad \cos \gamma = \text{ctg}(90^\circ - u_{D1}) * \text{ctg}(90^\circ - u_1)$$

$$(14) \quad \cos \gamma = -\frac{\sin u_{D1} * \sin u_1}{\cos u_{D1} * \cos u_1}$$

A  $\gamma$  szög a  $\mathbf{Z}$  zenitpontban lévő szögnek felel meg, ami a  $\mathbf{P}_1\mathbf{Z}$ -t és  $\mathbf{D}_1\mathbf{Z}$ -t tartalmazó segédhosszúsági körök által bezárt szög. Ebből következik, hogy a  $v_I$  segédhosszúsági

paraméterhez hozzáadva, illetve abból kivonva megkapjuk a sík kétféle pozíciójához tartozó  $(\alpha_{1,2})$  dőlésirányt. A fenti számításokban a  $\mathbf{P}_1$  helyettesíthető  $\mathbf{P}_2$ -vel, illetve  $\mathbf{D}_1$   $\mathbf{D}_2$ -vel.



**14. ábra.** Sík dőlésirányának kiszámítása gömbháromszög segítségével. Jelmagyarázat:  $\mathbf{P}_{1,2}$  = észlelési pontok;  $\mathbf{D}_1$  = sík normálisának döféspontja;  $\delta$  = dőlésszög;  $\gamma$  =  $\mathbf{P}_1\mathbf{D}_1\mathbf{Z}$  gömbháromszög nyílásszöge a  $\mathbf{Z}$  zenitpontban;  $u_{D1}$  =  $\mathbf{D}_1$  döféspont segédszélessége;  $v_{D1}$  =  $\mathbf{D}_1$  döféspont segédhosszúsága;  $u_{1,2}$  = segédszélesség;  $v_{1,2}$  = segédhosszúság;  $\mathbf{Z}$  = zenitpont;  $\mathbf{O}$  = gömbközpont;  $\mathbf{R}$  = gömb sugara.

#### 4.1.2.3 Három észlelési ponttal megadott síkok paramétereinek számítása

Hasonlóan az előbbi megoldáshoz itt is elhelyezhetők a pontok egy térbeli körlapon (15. ábra). A körlap  $\mathbf{O}(x_0, y_0, z_0)$  középpontjának és a sík  $\mathbf{N}$  normálvektorának ismeretében kiszámolható a sík dőlésiránya (azimutja) és dőlésszöge. Mivel a körlap egy  $\mathbf{O}$  középpontú,  $\mathbf{R}$  sugarú segédgömb főköre is egyben, a három pont koordinátájából a gömb egyenletének [ld. (8)-as egyenlet] alkalmazásával kiszámolható a körlap sugara ( $\mathbf{R}$ ) és középpontjának koordinátái.

$$(15) \quad (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 = R^2$$

$$(16) \quad (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + (z_2 - z_0)^2 = R^2$$

$$(17) \quad (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 + (z_3 - z_0)^2 = R^2$$

Az egyenletrendszer átrendezésével és megoldásával megkapjuk a segédgömb keresett értékeit. A sík dőlésiránya és dőlésszöge meghatározható a sík  $\mathbf{N}$  normálvektorának a segédgömbön vett  $\mathbf{D}$  döféspontjának  $\mathbf{u}_D$  és  $\mathbf{v}_D$  segédparamétereivel. Ezek kiszámításához ez esetben is indokolt, hogy  $\mathbf{O}$  kezdőpontú, relatív koordináta-rendszerben számoljunk. Az  $x_i'$ ,  $y_i'$ ,  $z_i'$



relatív koordináták értéke várhatóan kisebb lesz, mint az eredeti koordinátáké, ezért a számítási hiba is kisebb lesz. Az alábbi számításokban relatív koordinátaértékek szerepelnek, amelyeket vessző jelöl.

A sík  $\mathbf{N}$  normálvektora a síkban fekvő két, egymással nem párhuzamos egyenes vektoriális szorzatával állítható elő. A síkban fekvő három pont esetén a pontokat összekötő szakaszok határozhatják meg a két egyenest (HAJÓS 1966).

$$(18) \quad \mathbf{N} = (\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1) \times (\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_1)$$

Az egyenletben  $\mathbf{P}_1$ ,  $\mathbf{P}_2$ ,  $\mathbf{P}_3$  pontok helyzete felcserélhető. A keresztszorzat segítségével felírhatók a normálvektor  $\mathbf{x}'$ ,  $\mathbf{y}'$  és  $\mathbf{z}'$  relatív koordinátarendszerben értelmezett komponensei, amelyek párhuzamosak a tengelyekkel.

$$(19) \quad N_{x'} = (y_2' - y_1') \cdot (z_3' - z_1') - (z_2' - z_1') \cdot (y_3' - y_1')$$

$$(20) \quad N_{y'} = (z_2' - z_1') \cdot (x_3' - x_1') - (x_2' - x_1') \cdot (z_3' - z_1')$$

$$(21) \quad N_{z'} = (x_2' - x_1') \cdot (y_3' - y_1') - (y_2' - y_1') \cdot (x_3' - x_1')$$

$$(22) \quad h^2 = N_{x'}^2 + N_{y'}^2 + N_{z'}^2$$

Mivel a későbbiekben az  $\mathbf{N}^*$  egységvektorral kell számolnunk, a normálvektor koordinátatengelyekkel párhuzamos komponenseit elosztjuk a normálvektor hosszával ( $h$ ).

$$(23) \quad N_x^* = \frac{N_{x'}}{h}$$

$$(24) \quad N_y^* = \frac{N_{y'}}{h}$$

$$(25) \quad N_z^* = \frac{N_{z'}}{h}$$

A normálvektor egységvektorának két iránya lehet. A két megoldás közül azt kell kiválasztanunk, amelyik a síkot nem átbuktatott, hanem normál helyzetűként írja le.

A sík normálvektora tehát a relatív koordinátarendszer  $\mathbf{O}$  origójából indul, és a  $\mathbf{D}$  pontban dőfi az  $\mathbf{R}$  sugarú,  $\mathbf{O}$  középpontú segédgömböt. Ebből következik, hogy a síkot  $\mathbf{R}$  távolságra elmozgatva a normálvektor egyenese mentén, az épp a  $\mathbf{D}$  pontban fogja érinteni a segédgömböt (15. ábra).



Mivel a normálvektor egyenese merőleges a síkra, a (28) és (29)-es egyenletek nevezője 1 lesz;  $x_0'$   $y_0'$   $z_0'$  pedig nulla értéket vesz fel a relatív koordináta-rendszer kezdőponti koordinátájaként. Így a  $t$  nyújtási paraméter az R-nek mínuszegyszerese lesz.

$$(30) \quad t = -R$$

A relatív koordináta-rendszerben  $x_0'$   $y_0'$   $z_0'$  értéke tehát nulla. Ennek megfelelően az egyenes (27)-es egyenletéből kifejezhetők  $x_D'$   $y_D'$   $z_D'$  relatív koordináták.

$$(31) \quad x_D' = t \cdot N_x^*$$

$$(32) \quad y_D' = t \cdot N_y^*$$

$$(33) \quad z_D' = t \cdot N_z^*$$

A kapott értékekből az elforgatott koordinátatengelyek szerint módosított Gauss-féle paraméteres egyenletek (5) (6) (7) segítségével kifejezhető az  $u_D$  és a  $v_D$ , amelyekből a sík dőlésszöge ( $\delta$ ) és dőlésiránya ( $\alpha$ ) egyszerűen átszámolható.

$$(34) \quad \alpha = 180^\circ - v_D$$

ha a **D** pont az **O**-tól keletre esik;

$$(35) \quad \alpha = 360^\circ - (v_D - 180^\circ)$$

ha a **D** pont az **O**-tól nyugatra esik;

$$(36) \quad \delta = 90^\circ - u_D$$

A kapott dőlésirány érték – mind a két pont és dőlésszög, mind pedig három pont ismeretének esetén bemutatott számítási módszer eredményeként – egy derékszögű koordináta-rendszer északi tengelyéhez viszonyított szögérték. A valóságban mérhető dőlésirány a 2.3.2 fejezetben említett mágneses elhajlás mértékétől függően ettől eltérő lehet.

### 4.1.3 Szabálytalan háromszögháló (TIN) felületek

Nagyobb kiterjedésben (kisebb névleges méretarányban) a szerkezeti elemek már nem modellezhetők egyszerű térbeli síkként, mivel morfológiai jellegük annyira komplexsé válik, hogy síkkal való közelítésük túl nagy hibát eredményezne. A komplex síknak nem lesz vastagsága ugyanúgy, ahogy az egyszerű sík esetében sem volt (7. ábra), ezért a modell továbbra is felület tulajdonságú maradhat. Szerkezeti elemeken kívül más földtani objektumok, mint pl. réteg-, vagy lepusztulási felszínek, felszín alatti vizek potenciálfelületei,

geokémiai határfelületek és egyéb objektumok, amelyek izovonalas módszerrel ábrázolhatók, ezzel a módszerrel modellezhetők.

Felületek modellezésének alapvető feltétele, hogy a térben megfelelő számú adat álljon rendelkezésre, amelyek azonosíthatóan ugyanazon földtani objektumhoz tartoznak. A modell elsődleges adatai közé a felszíni észlelések, fúrásadatok és geofizikai mérésekből származó adatok tartoznak, ezek térbeli pozíciója többnyire jól meghatározható, és mint elsődleges adat<sup>22</sup> használható fel a szabálytalan felületháló (TIN = Triangulated Irregular Network) megalkotásakor. A felületháló csomópontjait az egyes térbeli adatok adják. Ezekből állíthatók elő a másodlagos vagy levezetett adatok matematikai interpolációs eljárásokkal, amelyek többnyire szabályos rácsháló (grid) formájában jönnek létre és ezáltal a szabályos adatmodellel való átjárhatóságot teszik lehetővé.

A térbeli háromszögek csúcspontjai három önálló észlelési pontként is felfoghatók, ami lehetővé teszi, hogy az adott háromszöglap dőlésirányát és dőlésszögét a korábban ismertetett módon (l. 4.1.2.3 fejezet) számoljuk ki. Ezt a legtöbb modellező szoftver meg is teszi a beépített parancskészlete segítségével, ezáltal módot adva a felületek összetett geometriájának elemzésére, amely pl. a domborzat kitettségeinek vagy lefolyási irányainak megállapítására alkalmas.

#### 4.1.3.1 A TIN háló előállítás

A TIN felületháló csomópontokból és élekből áll, amelyeket a modellező szoftver logikailag egy objektumként tud kezelni. A háló matematikai értelemben kétdimenziós objektum, amely ortogonális nézetben szabálytalan háromszögekből álló mozaiknak tűnik (16. ábra). Ez a megközelítés rávilágít arra is, hogy a felületmodellként használt TIN csomópontjaihoz rendelt magassági adatok attribútumként is felfoghatók, amelyek a csomópontoktól függetlenül a sík minden pontján értelmezhetők. A magassági adat mellett, amelyet a virtuális térben jól tudunk ábrázolni<sup>23</sup>, egyéb attribútumokat is megjeleníthetünk TIN felületként. Pl. rétegvastagságokat, kémiai anyagok koncentrációját, hőmérsékletet, stb. Általánosságban a kiindulási adataink tehát akkor alkalmasak TIN létrehozására, ha:

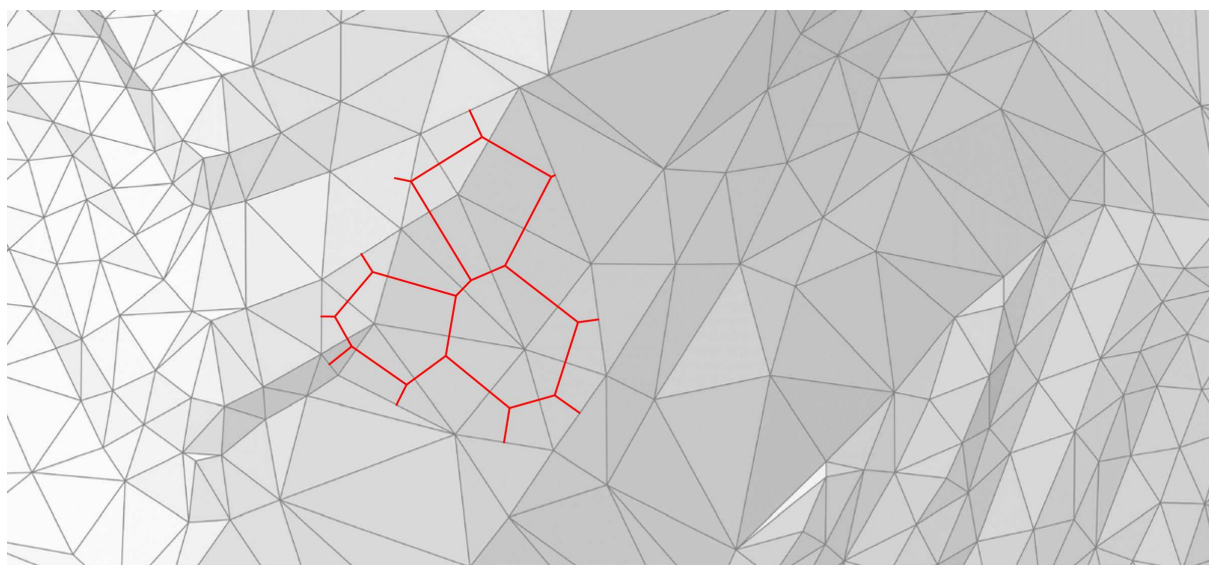
---

<sup>22</sup> Az elsődleges adatok nem minden esetben kapnak ugyanakkora megbízhatósági értéket a *modellezési eljárás* meghatározásakor. Bemenő adat lehet egy feltételezett észlelési pont (pl. felszíni szerkezeti elemmel nem korrelálható törészóna egy fúrásban), egy nem kiértékelt szeizmikus szelvény vagy akár egy geomorfológiai bélyegek alapján meghúzott lineament is. Ezek a bizonytalan térbeli helyzetű objektumok ugyan észlelésből származnak, mégis sokszor a másodlagos adatok közé sorolandók, mivel térbeli attribútumaik nem határozhatók meg pontosan.

<sup>23</sup> A virtuális térben ábrázolt felületmodelleket, ahol a síkhoz rendelt csomópontok egyik attribútuma a magasság, sokan 2,5 dimenziójú, vagy pseudo-3D modellként értelmezik.

- a) a modellezni kívánt földtani objektumról párhuzamos vetítéssel elő lehet állítani egy kétdimenziós leképezést (~térképet);
- b) a megjelenítendő tulajdonságok folytonosak a leképezett sík mentén.

Az első feltétel az adatpontok térbeli eloszlásától, a második pedig az attribútum skálárjellegétől függ. A TIN csomópontjai az adatpontok amelyeknek a vetítési síkon (általában az  $x$  és  $y$  tengely síkja az euklideszi térben) való relatív elhelyezkedése szerint jönnek létre az élek. Az élek létrehozásához a modellező szoftver a *Delaunay háromszögelés* szabályainak megfelelően összeköti azon pontokat, melyek definíció szerint a háló alkotóelemei.



**16. ábra.** Árnyékolt TIN felületmodell felülnézeti (ortogonális) képe. Piros vonalak a Voronoi sokszögek részletét mutatják.

Minden pont köré szerkeszthető egy olyan sokszög, melynek belső pontjai (összes pontja a határát alkotó pontok kivételével) közelebb vannak a kérdéses ponthoz, mint az összes többi ponthoz. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező sokszögek konvexek és folytonosan töltik ki a síkot. A meghatározásból következik, hogy a sokszög oldalai merőlegesek a körülvevő pontot a többi ponttal összekötő egyenesekre és felezik azokat (SÁRKÖZY). Ezek a Voronoi sokszögek (vagy cellák). A *Delaunay háromszögelés* során a síkon szabálytalan elrendezésű pontokat összekötünk mindazon szomszédos pontokkal, amelyek közti szakaszok felező merőlegesei egyben a pont köré rajzolható Voronoi sokszög oldala is.

A TIN felületen található bármely pont magassága (vagy más attribútuma) meghatározható azon háromszög töréspont adatainak interpolálásával, amelyen a pontok fekszenek. Az egyik legegyszerűbb interpolálási eljárás a súlyozott számtani közép. A szokásos módszerek súlyként a meghatározandó pont és annak *Voronoi sokszögével* határos sokszögek

középpontjai közti távolságnak, vagy e távolság négyzetének reciprokát használják, de az ún. „lopott területek” módszere<sup>24</sup> is elfogadott eljárás.

A TIN háló egyes háromszögein belül kijelölt pontok várható értékeit egyesével is meg tudjuk határozni, de ha ezek a pontok egymáshoz viszonyítva szabályos elrendezést követnek, akkor ezzel létrehoztuk a szabályos rácsháló, azaz *grid modellt*. Mivel a meghatározandó pont értékét befolyásolja az interpolációs eljárás, a grid modell pontjainak értéke mindig fog hibákat hordozni. Ezek mértékéről sok esetben – pl. ha a modellező szoftver erre nem ad lehetőséget – nincs is tudomásunk.

Bár a TIN alapvetően folytonos adatok megjelenítésére alkalmas, sokszor „szigeteket” kell beiktatni a felületmodellbe. Ennek oka az adathiány miatti torzulás elkerülése, vagy a modell homogenitásának megőrzése vizualizációs okok miatt (pl. domborzati modelleken a vízfelszín „maszkolása”). A TIN modellekhez változatos adattartalmú (pl. tagolt domborzatú) területeken törésvonalakat és idomvonalakat is célszerű definiálni, amelyek kedvezően befolyásolják a felület Delaunay háromszögelését. A törés- és idomvonalak meghatározása általában nehezen automatizálható, időigényes feladat.

#### 4.1.4 Szabálytalan térbeli testek

Szabálytalan térbeli testek modellezésére akkor van szükség, ha olyan kérdéseink vannak, amelyekre a felületmodellek létrehozásával nem kapunk választ. Ezek a kérdések többnyire egy föld alatti geológiai képződmény (pl. ércetest) térfogatára, vagy alakjára vonatkozhatnak. Szabálytalan térbeli testeket kétféle módon használhatunk fel a modellezés során:

- Egyedi objektumokként, amelyek szabálytalan formájú testként jellemeznek egy földtani objektumot és a térnek csak azt a részletét jellemzik, amit az objektum kitölt.
- Szabálytalan objektumok összességéként, amelyek az összes adat által lefedett teljes teret jellemzik, azt hézagmentesen kitöltve; más néven ez a *szabálytalan térbeli tesszelláció*<sup>25</sup>.

Utóbbi módszert tekintve, földtani modellezés témakörében jelenleg a szabálytalan térbeli tetraéderháló alkalmazása terjedt el. Ez a módszer mára már a fejlett földtani modellező programok beépített eszközkészletének részévé vált.

---

<sup>24</sup> Lopott területek azok a területrészek melyeket a meghatározandó pont Voronoi cellája kimetsz a szomszédos pontokhoz tartozó Voronoi cellákból (GOLD 1991).

<sup>25</sup> Létezik szabályos térbeli tesszelláció is, amely azonos a későbbiekben tárgyalandó „szabályos térháló” (voxel) modellekkel.

#### 4.1.4.1 Szabálytalan alakú egyedi test

Szabálytalan alakú egyedi testek modelljének létrehozásához általában ismerni kell a modellezendő objektum minden jellemző kiterjedését, azonban a környezetéről nincs szükségünk geometriai információra (adatpontokra). Ez a speciális adateloszlás jellemzően nem előzetes kutatások során alakul ki, hanem mesterséges képződmények (pl. bányavágatok), vagy a felszín alatt jól tanulmányozható természetes képződmények (pl. barlangok) felmérésekor. A mérési adatok csak a bánya, vagy barlang járataira korlátozódnak és a környező kőzetekről akár nagyságrendekkel kevesebb adat állhat rendelkezésünkre.

A modellbe beépített adatok feldolgozása – mivel általában jelentős mennyiségűek – automatikus módszerekkel történik. Az automatikus modellezési eljárást az adott feladatra kell megtervezni, és nagymértékben függ az alkalmazott modellező eszköz képességeitől. Akkor tekintünk egy modellt szabálytalan alakú egyedi testnek, ha:

- térbeli alakzat (azaz az euklideszi tér három irányában kiterjedése van);
- alakja nem szabályos, azaz élei és szögei nem egyenlők;
- a modellezési eljárás során egyedi objektumként lehet kezelni (azaz megkülönböztethetőek a hozzá tartozó élek, lapok és csomópontok, valamint ki tudjuk számítani a területét).

Szabálytalan egyedi testek modelljének előállítására a 4.4.2 fejezetben mutatok be példát részletesen, ahol a szabálytalan „test” egy barlangjárat modellje.

#### 4.1.4.2 Szabálytalan térbeli tetraéderháló

A szabálytalan tesszellációban elemi testként a napjainkig ismert módszerek a szabálytalan tetraédert alkalmazzák. Ha ismerjük az objektum  $n$  db  $x, y, z$  koordinátával jellemzett pontját, úgy  $e$  pontokra elvégezhető egy egyértelmű és optimális tetraéder felbontás, ha megelégszünk a pontokat burkoló konvex héjjal (SÁRKÖZY). E tetraéderes felbontás alapja, ugyanaz, mint a TIN hálónál alkalmazott Delaunay háromszögelés, csak a térbeli pontokra alkalmazva.

Az euklideszi térben is igaz, hogy minden pont köré szerkeszthető egy olyan poliéder, melynek belső pontjai közelebb vannak a kérdéses ponthoz, mint az összes többi ponthoz, valamint oldalai merőlegesek a körülvett pontot a többi ponttal összekötő egyenesekre és felezik azokat. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező poliéderek konvexek és folytonosan töltik ki a teret.

A szabálytalan térbeli tetraéderháló modellek tehát a felületmodelleknél alkalmazott TIN modellek térbeli megfelelői, ahol a *Voronoi sokszögek* helyett a matematikai eljárásokban *Voronoi poliéderek* szerepelnek, és szabálytalan háromszögek tesszellációjából előállított felület helyett szabálytalan tetraéderek tesszellációját alkalmazzuk a virtuális tér maradéktalan kitöltésére.

A szabálytalan tetraéderek belső pontjaira szintén alkalmazhatóak a TIN modellnél bevált interpolációs eljárások, „megtoldva” a harmadik irány szükségeltette koordinátageometriai módosításokkal. Ha a tetraéderhálóba illesztett új pontok szabályos rendben helyezkednek el egymáshoz viszonyítva, akkor a kapott eredmény egy szabályos térháló lesz, ami a tetraéder modell, mint elsődleges adatokat hordozó modell levezetett adatait fogja tartalmazni. Az átjárhatóság irreverzibilis, mivel a szabályos térhálóból az eredeti adatok nem állíthatóak vissza. Ennek ismeretében az eredeti adatokat nem célszerű elvetni akkor sem, ha az adatszerkezet módosítása mellett döntünk.

## 4.2 Szabályos modellek

Szabályos modellekben az információ a térben, vagy síkban matematikai módszerekkel leírható szabályok szerint meghatározott módon helyezkedik el<sup>26</sup>. Ez az adattárolást és feldolgozást sokkal hatékonyabbá teszi, mivel nem kell az információt hordozó adatok mindegyikének koordinátáit egyenként eltárolni. Általában elég egyetlen kulcspozícióban (pl. sarokponton) elhelyezkedő elem paramétereit megadni, amiből – ismerve a modell kiterjedését, orientáltságát (azaz a modell koordinátarendszeréhez viszonyított elforgatását) és felbontását – ki tudjuk számítani az összes elem (csomópont) térbeli pozícióját. Ezzel párhuzamosan azonban megnövekszik a számítási igénye is a modellnek, mivel minden csomópont legalább egy elvégzendő műveletként jelentkezik.

A szabályos modelleket leíró matematikai szabályok legtöbbször az adatot hordozó csomópontokat, mint az euklideszi tér egy irányába egymástól egyenlő távolságra elhelyezkedő pontok halmazát írják le. Ezek a modellek a tér adott irányába *izotrópok*. Ha csak két irányban ismétlődnek a csomópontok, akkor a modellnek két kiterjedése (szélessége és hosszúsága) van. Ezek a 2D rácsháló, vagy grid modellek. Ha a csomópontok a tér harmadik irányába is ismétlődnek, azaz a modellnek van magassága is, akkor térháló modellről beszélünk. A szabályos modelleket osztályozhatjuk a szerint is, hogy a különböző

---

<sup>26</sup> Egyes források (SÁRKÖZY) a szabályos modelleket (azaz, a szabályos tesszellációs modelleket) szűkebb értelemben használják; eszerint szabályos tesszellációról akkor beszélünk, ha az elemi felületek, térelemek szabályosak, tehát oldalaik és szögeik egyenlők.



kiterjedési irányokba azonos, vagy különböző távolságokban helyezkednek-e el a csomópontok. Ez alapján két csoportba sorolhatók:

- *Izometrikus szabályos modellek*, ahol a modelltér minden értelmezett irányában azonosak a csomópontok közötti távolságok.
- *Anizometrikus szabályos modellek*, ahol a csomópontok közti távolságok a modelltér különböző irányában különbözőek.

Szabályos modellnek tekinthetők azok a modellek is, amelyekben a tér egy irányába nem egyenlő távolságra helyezkednek el a csomópontok, de matematikai képlettel leírható a köztük lévő összefüggés. Ezek a modellek a tér adott irányába *anizotrópok*. Ilyen modelleket a földtani modellezés jelenlegi gyakorlatában nem szoktak létrehozni, de elméleti lehetősége megvan.

Speciális esete az *anizotróp* modellek előállításának, amikor a csomópontok elhelyezkedését leíró matematikai szabályszerűség ismétlődő 2D, illetve 3D vektorok sorozataként, vagy fraktál-szerűen öröklődik csomópontról-csomópontra. A fraktál algoritmussal létrejövő modellnek matematikai értelemben csak fraktál dimenziója van (1–2, illetve 2–3 között), de ábrázolását tekintve ugyanúgy síkszerű, vagy térbeli objektumként jelenik meg a modelltérben. Két- és három dimenzió közötti fraktál modellek alkalmazására a földtanban egyelőre nincs ismert példa, annak ellenére, hogy különösen a szerkezetföldtani objektumok (törések, repedések) és ezekhez kötődő fluidumok (víz, szénhidrogén) vándorlásának modellezésében nagy jelentősége lehetne.

#### 4.2.1 Grid modellek

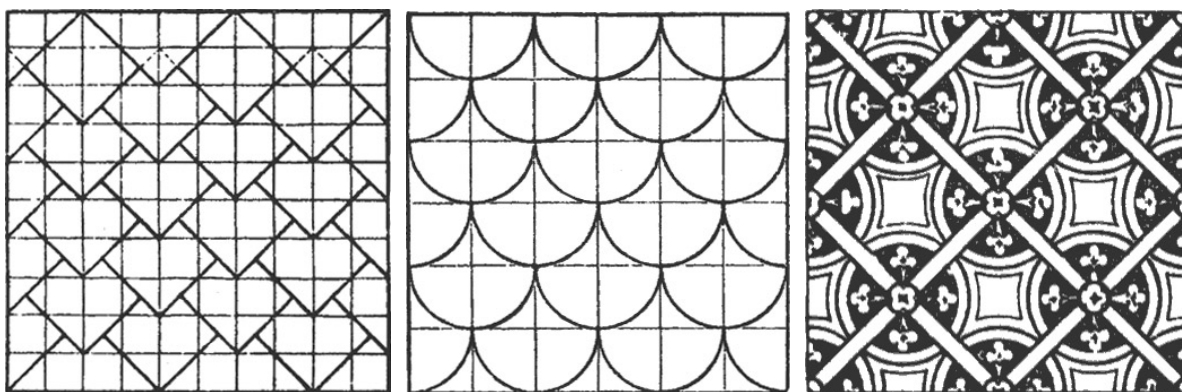
A modellezett földtani felület geometriája lehet szabályos rácsháló (grid), vagy szabálytalan háromszögháló (TIN). Mivel a természetben a földtani elemek ritkán észlelhetők szabályos rácsháló mentén, az ilyen modell általában levezetett adatokat tartalmaz. A levezetett adatok forrásának gyakran a szabálytalan rács (TIN) modell adatait tekinthetjük (l. feljebb), amelyekből interpolációs módszerekkel hozzuk létre a rács csomópontjaiban az adatokat.

A szabályos rács modell adatainak kezelése lényegét tekintve a raszteres képfeldolgozással áll szoros rokonságban. A raszteres kép pedig a síkot hézagmentesen kitöltő elemi cellák (felület elemek) összességéeként, azaz tesszellációjaként értelmezhető. Az elemi cellák alakja leggyakrabban szabályos négyzet, egyenlő oldalú háromszög illetve hatszög, de anizometrikus és/vagy anizotróp modellek esetében gyakorlatilag bármilyen síkidom

előfordulhat (l. 17. ábra). A legáltalánosabb esetben a raszteres bontási módszer két alapvető tulajdonsággal kell, hogy rendelkezzen (SÁRKÖZY):

- I. Az alapelem tetszés szerint ismételhető kell, hogy legyen azért, hogy bármilyen méretű felületet le lehessen írni vele.
- II. A felbontás tetszés szerinti finomítása az alapelem korlátlan tovább bonthatóságát igényli.

Ezek az ismérvek a szabályos síkidomokból, vagy azokra egyszerűen levezethető síkidomokból álló raszterekre vonatkoztathatóak. A szabályos rácsháló modellek többsége meg is felel ezeknek a feltételeknek, mivel az információátviteli és feldolgozási módszerek hatékonyságát a modell egyszerűsége (jelen értelemben a szabályos síkidomok alkalmazása) jelentősen megnöveli.



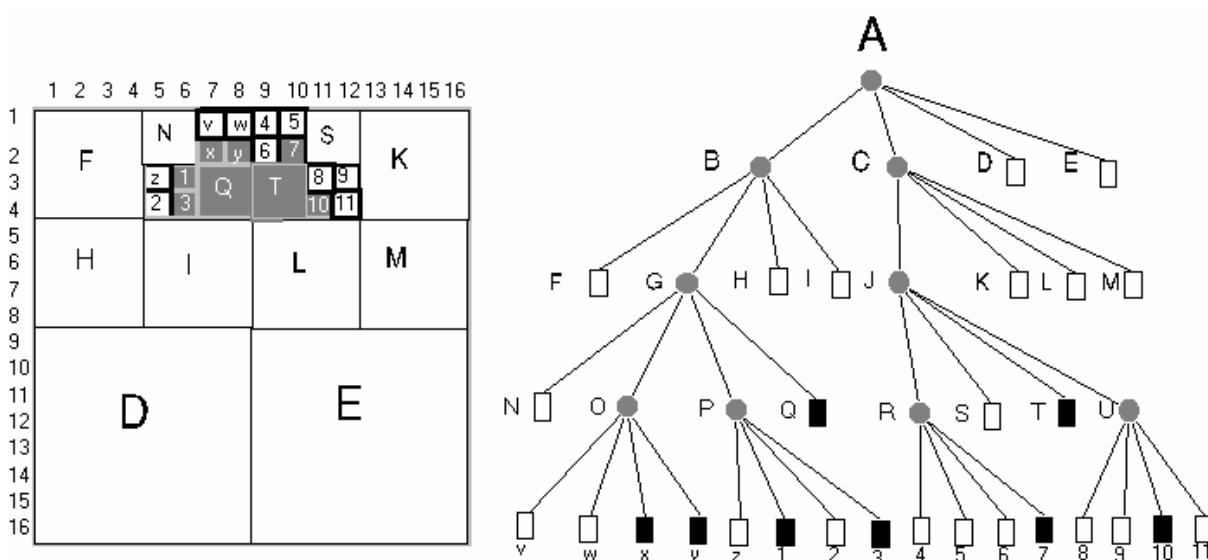
17. ábra. Különböző szabálytalan alakzatok tesszellációja szabályos rácsháló mentén. (MEYER 1917, alapján a Florida Center for Instructional Technology gyűjteményéből TESSZELLÁCIÓ).

#### 4.2.1.1 A grid modell adatainak feldolgozása és tárolása

Az információ feldolgozása a raszteres modell sajátosságaiból kifolyólag elsősorban a gyors adatelérést, azaz egyedi adatpontok gyors elérését jelenti. Mivel a raszteres modell legfőbb előnye a szabálytalan modellekkel szemben a rendszerezettség, az egyes adatpontokról nem szükséges azok koordinátáját eltárolni, elég, ha tudjuk, hogy a raszteren belül, annak kezdőpontjához viszonyítva hol helyezkedik el. Az adatpontok allokációjára a szabályos rácsháló adatpontjainak helyzetét egyértelmű, de tömör kifejezéssel adjuk meg. A szabályos rácsháló tartalmának kódolására (azaz tárolására és tömörítésére) több módszer is létezik (SÁRKÖZY): sorkifejtő kódolás = *run-length encoding*, lánc kódolás = *chain encoding*, középtengely transzformáció = *medial axis transformation*, négyágú fa kódolás = *quadtree encoding*, fraktál kódolás = *fractal encoding*.

Bár az utóbbi években a képfeldolgozás területén a *fraktál kódolás* vált elterjedté, a modellezés területén és a modellező szoftverek eszközkészletében a *quadtree* azaz a „négyágú fa” módszer lett a legelterjedtebb raszteres adattömörítő eljárás. Legfőbb előnye, hogy elvileg lehetővé teszi tetszőleges felbontású izometrikus raszterek tárolását. Bár ezt a módszert eredetileg képi állományok manipulálására dolgozták ki (SAMET 1990), a grid modellek esetében, sőt a topográfiai térképek méretarány szerinti megkülönböztetésében és kezelésében (pl. a Gauss-Krüger szelvényezés nomenklatúrája) egyaránt jól használható.

A quadtree kódolás lényegét a 18. ábra mutatja be, ahol egy négyzetet négy egyenlő részre bontottunk és a negyedeket B, C, D, E betűkkel jelöltük. Az ábrából látható, hogy D és E nem tartalmaznak fekete pixeleket azaz üresek, ezért tovább bontásra nem szorulnak. Ezeket a gráfban (az ábra jobb oldalán) levélnek nevezzük és annak megfelelően, hogy üresek-e vagy sem fehér vagy fekete négyzettel jelöltük. A fában elfoglalt hely egyértelműen meghatározza a kérdéses levél nagyságát és a képen belüli elhelyezkedését is (SÁRKÖZY).



18. ábra. Egyszerű alakzat quadtree stuktúrája (SÁRKÖZY) nyomán.

A levelekhez tartozó elérési kódokat akár ASCII, akár bináris formában tároljuk, lényegesen kevesebb helyet igényelnek, mintha minden pontot koordinátával adnánk meg.

#### 4.2.1.2 A rácspontok értékeinek számítása

A szabályos földtani modellek rácspontértékeinek meghatározásával a geostatistika tudománya foglalkozik. A rácspontok értékeinek megállapítására többféle becslési módszert lehet alkalmazni, amelyek a következők<sup>27</sup>:

<sup>27</sup> A felsorolás csak a főbb módszereket tünteti fel, a matematikai statisztika ennél jóval több becslési eljárást ismer.

- Legközelebbi szomszédos érték behelyettesítése (*nearest-neighbour interpolation*), ami egyszerű trigonometrikus számítással meghatározza a legközelebbi ismert pontot, majd annak értékét rendeli a rácsponthoz. Ez a módszer egy változó esetén (pl. magasság modellezésre) nagyon durva közelítés, de sokváltozós függvények esetén gyors és hatékony lehet (pl. színes raszterképek bitmap felosztása<sup>28</sup>).
- Bilineáris interpoláció, ahol az ismeretlen pont értékét két különböző irányú lineáris interpolációval állapítjuk meg a síkban. A lineáris interpolációkat az ismeretlen ponthoz közeli ismert pontok között végezzük el úgy, hogy a becsült érték és a pontokon felvett érték a pontoktól való távolsággal egyenes arányban áll. Ez a módszer nagyon gyors számításokat tesz lehetővé akkor, ha a lineáris interpoláció irányai egymásra merőlegesek (pl. az x és y tengellyel párhuzamosak) és az összes ismeretlen ponton azonosak, ezért nagy mennyiségű – már gridben tárolt – adat előzetes elemzésére, valamint a grid felbontásának módosítására igen alkalmas.
- Súlyozott számtani közép (*inverse distance weighting*) számításakor, a legközelebbi ismert pontok távolságának, vagy a távolság négyzetének reciprok értékét használjuk fel az ismeretlen pont értékének kiszámításakor (a TIN háló esetében, a 4.1.3.1 fejezetben is erre használtuk). A legközelebbi pontokat a Voronoi sokszögek módszerével határozhatjuk meg.
- Polinom interpoláció, ahol  $n$  ismert adatpontra illesztett polinom függvény ( $f$ ) segítségével határozzuk meg az ismeretlen ponton a függvény értékét. Az ismert pontok számának növekedésével a függvény is egyre bonyolultabb (magasabb fokszámú) lesz, így az interpoláció során nagy számítási kapacitást igényel. E módszert a gyakorlatban a *spline interpoláció* helyettesíti, ahol tartományokra osztva a ponthalmazt, alacsonyabb fokú polinomokkal tudjuk közelíteni a keresett értéket.
- Spline interpoláció, ami a 2D rácsháló modellek esetében leggyakrabban az ún. kétköbös módszerként jelenik meg. A kétköbös (*bicubic*) módszer valójában a sík két irányában elvégzett köbös (*cubic*) interpoláció. A köbös módszer egy harmadfokú polinomnak is tekinthető. Lényege, hogy egy ismert tartományon belül a határértékek és

---

<sup>28</sup> A raszterképek bitmap felosztása (bitmap resampling) során a képre egy szabályos hálót terítünk, amelynek egy-egy rácspontjához a képnek azt a pixeljét rendeljük, amely a legközelebb van hozzá. Ez a művelet rendszerint a képek átméretezésénél történik (WIKIPEDIA-BITMAP). Mivel a színes raszterképek rendszerint három változóban (RGB) tárolják a pixelhez tartozó színt, a rácspont értékének közelítése interpolációs módszerekkel túl lassú lenne.

azokból a keresett pontokra megadott tangensek (kvázi súlypontok) harmadfokú egyenletével közelítjük a keresett értéket.

- Gaussi lineáris regresszió<sup>29</sup>, avagy *kriegelés*<sup>30</sup>. A kriegelés során az ismeretlen pontra becslést adhatunk akár az összes ismert pont értékeinek felhasználásával, azokat különböző súlytényezőkkel beszorozva és összeadva. A becslés súlytényezőit a félvariogram felhasználásával, azzal a feltétellel számítjuk, hogy összegük 1, a becslési szórásnégyzet<sup>31</sup> minimális, maga a becslés pedig torzítatlan<sup>32</sup> legyen. A módszert általában akkor használjuk, ha a modellezett adat normál eloszlású és stacionárius tulajdonságú, tehát az értékek egy átlag (vagy várható érték) köré harang- (gauss)-görbe szerint csoportosulnak, és időben nem változnak.

A kriegelés során meg kell határoznunk az adatainkból a tervezett háló rácstávolságára az adatok változásának trendjét, amit úgy tudunk megtenni, hogy a pontjainkat (vagy azok közül néhányat) páronként megvizsgálva az értékek közötti eltérést rávetítjük a rács irányára és kiszámítjuk, hogy mennyi jut ebből egy-, két-, három-, (és így tovább) rácsközre. A különbségek összesítése (variációja) eredményeként felrajzolhatunk egy diagrammot, ami az adatok változásának trendjét ábrázolja a rácsháló irányai mentén. Ezt a diagrammot nevezzük félvariogramnak (*semi variogram*) (pl. CLARK 1979). A félvariogramokat megszerkeszthetjük a háló irányaitól független irányokba is, ami különösen akkor nyer jelentőséget, ha az adataink egy irányba sűrűbb elrendezésűek (STEINER 1990, FÜST 1997).

A felületek modellezésénél kísérletek igazolták (KINDER ET AL. 1999), hogy a valóság lehető legpontosabb közelítése szempontjából a magasabb rendű interpoláció mindig jobb eredményt ad, mint az egyszerű lineáris interpoláció.

A rácspontok tehát a kriegelés során a környezetében (vagy akár a teljes mintatérben) található adatokból hoznak létre egy statisztikai függvény segítségével egy új adatot, aminek természetesen bizonytalansága is van. Feltételezhető, hogy ugyanekkora bizonytalansági faktorról, ugyanezekből az adatokból más érték is kijöhet eredményül az adott rácspontra. Ha

<sup>29</sup> A regressziós módszerek nemcsak interpolációra alkalmasak, hanem „zajjal” terhelt adatok szűrésére is, tehát egy adatfelhőre illesztett regressziós görbe alapján pontosabb becslésekre van lehetőség, mintha minden adatra illeszkedő polinom interpolációval dolgoznánk.

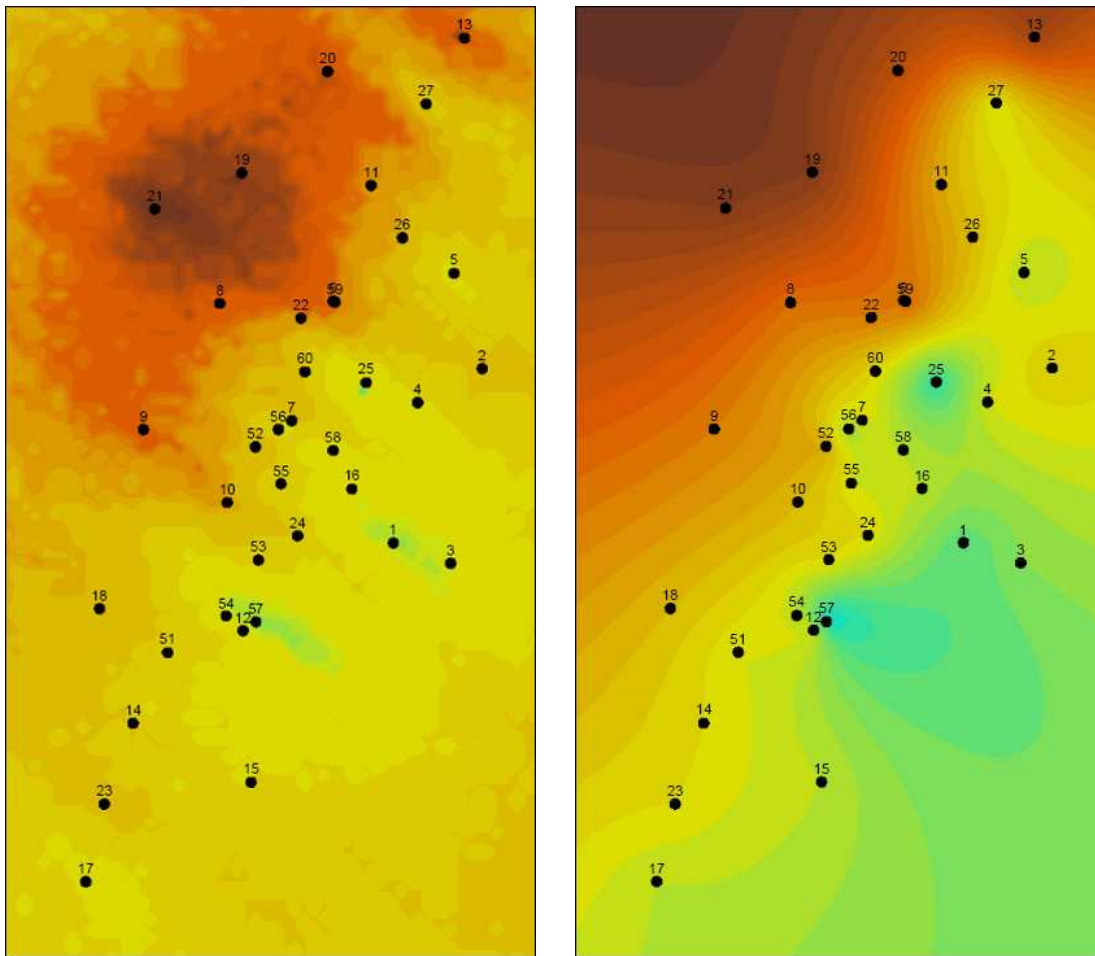
<sup>30</sup> A módszer D.G. Krige délafrikai kutatóról kapta a nevét, aki a witwatersrandi arany ércesedés készletszámításának kapcsán dolgozta ki, majd 1951-ben ismertette diplomadolgozatában. A francia G. Matheron és munkatársai fejlesztették tovább a módszert, amely a geostatistikában ma a leginkább elterjedt.

<sup>31</sup> A becslési szórásnégyzet, vagy variancia más megfogalmazásban a valószínűségi változó várható értékétől való eltéréseinek négyzetének az átlaga (azaz várható értéke):  $\text{Var}(X)=E[(X-E(X))^2]$  ahol  $E(X)$  az  $X$  valószínűségi változó várható értékét jelöli.

<sup>32</sup> Torzítatlan a becslés (*unbiased estimate*), ha a paraméter becslésére felírt statisztikai függvény várható értéke minden mintaelemszám esetén éppen a keresett paraméter.

tehát a rácspontra valószínűségi egyenletet írunk fel, amelyben a pontra meghatározott várható értéket, és szórást mint állandót alkalmazunk és bevezetünk egy bizonytalansági (sztohasztikus) faktort, akkor egy intervallumon belül végtelen számú eredményt kaphatunk, amelyek mindegyike ugyanolyan jól megfelel. Ez a folyamat a sztohasztikus szimuláció, ami a modellezés egyik változataként van jelen a geostatistikában. Általában olyan jellegű adatok szimulációját végzik a módszerrel, amelyek nagy folytonosságúak (vastagság, porozitás, permeabilitás).

A szimuláció elnevezés a valóságban is tapasztalható részletesség „leutánzására” utal. Egy sztohasztikus szimulációval előállított felületmodell látványra sokkal részletgazdagabb, mint egy interpolációval előállított, holott a pontossága ugyanolyan lehet. Ez a különbség azonos mintaszám mellett a felbontás növelésével egyre markánsabban jelentkezik, így kis adatmennyiség esetén ezzel a módszerrel sokkal látványosabb eredményt lehet szolgáltatni, mint egy kriegeléssel (l. 19. ábra); ugyanakkor veszélyes is, mivel a modell elemzésekor hamis részletesség-érzetet kelthet az elemzőben.



19. ábra. A sztohasztikus szimuláció és a kriegelés eredményének összehasonlítása ugyanarra a területre vonatkozóan (GEIGER).

### 4.2.2 Szabályos térháló (voxel) modellek

A szabályos térháló modellek előállításakor a modellterben általában a skalárteret jelenítjük meg, ahol a skalártér egy-egy skalármennyiséget rendel a tér minden pontjához. A skalártérben a modellezett mennyiség a koordinátarendszer elforgatásával nem változik, tehát földtani jelenségek közül pl. az ásványi összetétel, a koncentráció, a porozitás és bizonyos geofizikai paraméterek (természetes gamma sugárzás, mágneses vezetőképesség) tartoznak ebbe a körbe. A szabályos térháló modellek tehát folytonos, a tér minden pontján értelmezett mennyiségek modellezésére alkalmasak.

A szabályos térháló a teret szabályos térelemekre, azaz voxelekre<sup>33</sup> bontja. A voxelek értelmezése a térmodellben kétféle módon lehetséges:

- I. A térháló voxelje, mint statisztikai eszköz.
- II. A térháló voxelje, mint a valódi geometria leegyszerűsítése.

A kétféle megközelítési mód közül mindig az adott feladat függvényében kell választani. Ha a térmodell megjelenítése a fontos, akkor a voxelek eredeti pozíciójuknak megfelelően kell, hogy elhelyezkedjenek a modell virtuális környezetében is. A megjelenítés nem feltétlenül kötődik a szabályos térháló elemeinek alakjához; sok esetben – a látványosabb megjelenés érdekében – azokból levezetett térgeometriai objektumokat (pl. Bézier-felületeket<sup>34</sup>) láthatunk. Ha a modell célja nem a megjelenítés, hanem pl. bizonyos tulajdonságok eloszlási arányának vizsgálata (l. 4.4.3 fejezet), akkor a számítási módszerek egyszerűsítése végett eltekinthetünk az egyes voxelek eredeti pozíciójának modellezésétől (l. 20. ábra). Erre lehetőséget ad a voxelek hierarchikus kezelési módja a „lineáris octree” is (l. alább), amennyiben egy bizonyos szint után a voxelek helyzetét nem, csak felvett értéküket tároljuk, és ezáltal a modell feldolgozásának sebességét növeljük.

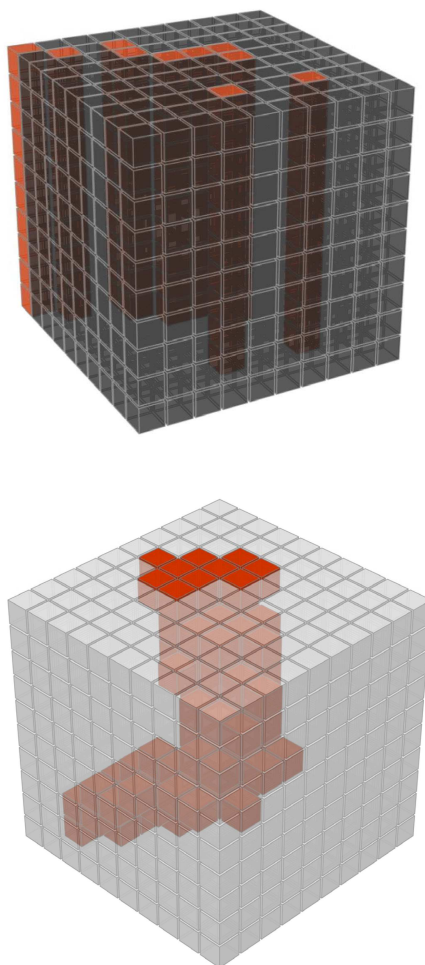
A tér szabályos térfogat elemekkel, azaz voxelekkel történő hézagmentes felbontására elvileg ötféle megoldás létezik. Ez öt különböző voxel-alakzatot feltételez, amelyek mindegyike szabályos síkidomokkal határolt és saját magával továbbosztható test (szabályos tetraéder, hexaéder (kocka), oktaéder, dodekaéder és ikozaéder). A gyakorlati feladatok a

---

<sup>33</sup> A „voxel” térmodellezésben használt kifejezés angolszász nyelvterületről származik a volume = térfogat és pixel (azaz picture element) = képpont szavak összetételéből.

<sup>34</sup> A bézier-felületek szabályos hálók, amelyek csomópontjaihoz kontrollpontokat rendelhetünk. A kontrollpontoknak a hozzájuk tartozó csomópont(ok)tól vett távolsága és iránya a térben a háló csomópontjainak elhelyezkedését is meghatározza oly módon, mintha a csomópontokat a kontrollpont felé „húzná” valamiféle erő. Egy kontrollpont több csomópont „deformálásáért” felelős. A felület nem „törhet át” a kontrollpontokon. A sajátos matematikai algoritmus miatt a Bézier-felületek perspektívikus ábrázolása és metszetük pontos meghatározása problematikus, ezért csak ortogonális megjelenítésre képes modellezőprogramok (pl. RockWorks) alkalmazzák.

szabályos térháló modellekhez jelenleg legtöbbször a kockát alkalmazzák. Ennek legfőbb oka (a forma egyszerűségén túl), hogy a grid modelleknél jól alkalmazható tömörítési és feldolgozási módszer a „quadtree” kis módosítással kockák tömörítésére is alkalmas. A kockák esetében a nyolcadolással létrehozható gráfok az úgy nevezett *nyolcágú fák* (octree-k) alkalmazhatók (SAMET 1990).



**20. ábra. 1000 szabályos térelemet tartalmazó voxel-modell részletek, amelyek 10%-a eltérő színnel van jelölve. Felül a térfogat 10%-a egy felületi elrendezés megtízszerezésével jött ki (és így nem hordoz térbeli információt, csak statisztikait). Alul egy összetett térbeli alakzat modellje tölti ki a 10%-ot (és így a térbeli elhelyezkedése is informatív).**

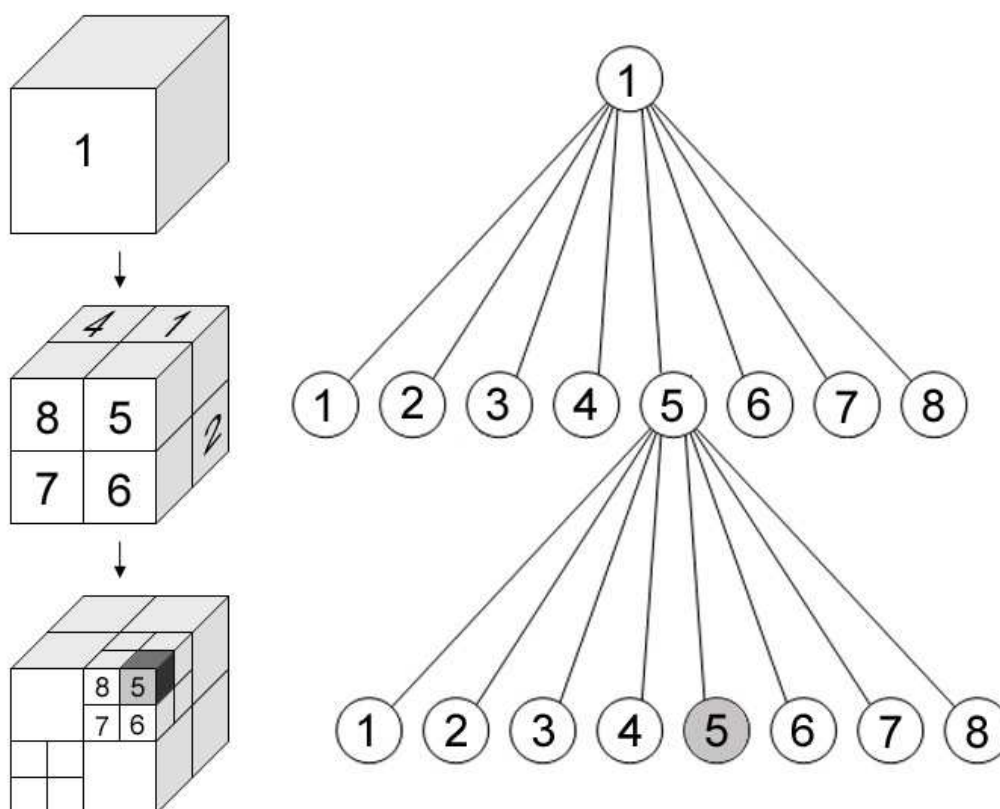
A lineáris *octree*, a fa viszonylatában csak a „levél” szinten lévő voxeleket tárolja a helyzetüket és nagyságukat leíró iránykóddal. Az iránykód egy olyan karaktersorozat, melynek elemeit, a gyökértől kezdődően, a hierarchia szint növekvő sorrendjében, a kérdéses levélhez vezető ágak iránykódjai alkotnak. Az iránykód hossza megadja, hogy a voxel hányadik hierarchia szinten található, azaz hogy milyen nagy (l. 21. ábra). Ha a gyökér



szintnek (0. hierarchia szint) megfelelő befoglaló kocka térfogatát egységnyinek tekintjük, úgy az  $i$ -edik hierarchia szinten található voxel köbtartalma:

$$(37) \quad V_i = \frac{1}{2^{3i}}$$

Az elemi kockák tömbökben is tárolhatók. E tömbök dimenziója földtani modellek esetén három, tehát a térháló csomópontjainak  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinátáját külön-külön tároljuk. A tömbös (más szóval direkt) tárolás előnyös a halmazműveletek közvetlen végrehajthatósága szempontjából, ugyanakkor nagy hátránya a jelentős tárolási igény (SÁRKÖZY).



21. ábra. Három (0, 1, 2) hierarchikus szintre bontható kocka alapú voxel modell lineáris octree (nyolcágú fa) algoritmus szerinti kódolása. A besötétített térelem iránykódja 155.

A szabályos térháló modell felbontása a térháló rácspont sűrűségének függvénye. Habár a felbontás növelésével a voxeles modell elvileg képes a pontos információkat is a megkívánt finomsággal visszaadni, bizonyos feladatokra (pl. töréses szerkezetek modellezése) nem éppen a leggazdaságosabb. Ennek oka, hogy töréses szerkezetek szemléletes modelljének elkészítéséhez – amelyben a törészóna vastagsága esetleg csak néhány centiméter – különösen nagy felbontású modellre lenne szükség. Akkor lenne csak indokolt ezt a technológiát alkalmazni szerkezetföldtani modellekhez, ha a rendelkezésre álló adatmennyiség az előállítandó modell felbontásának (részletességének) megfelelő. Ez azonban szinte sohasem

kivitelezhető, és amúgy nagy számítási kapacitást is szükségessé tenne. Ezek a tények vezettek a korábban tárgyalt szabálytalan tesszellációs modellek kialakulásához.

A voxel technológián alapuló digitális modellezés sok tudományban (pl. agykutatás) jelen van, de földtani vonatkozású alkalmazásai is egyre inkább terjedőben vannak. Egyik legprogresszívebb területe a szénhidrogén-kutatásban már több mint 30 éve jelen lévő 3D szeizmikus módszerhez kötődik. E módszerrel a vizsgált tér teljes volumenére előállíthatók adatok, amelyek egy adott térelemet (voxelt) a visszaérkező jel intenzitásával jellemeznek (BROWN 1986). A voxel elsődleges attribútumértékét tehát a szeizmikus jel intenzitása adja, amelyet az adatelemzés során közettani, rétegtani és egyéb földtani paramétereknek feleltetnek meg.

Az így előállított óriási adatmennyiség természetesen a térrész szerkezeti felépítéséről is hordoz információt, amelyet különböző adatelemző módszerekkel lehet kinyerni. Ilyen módszer lehet a kézi kiértékelés, a különböző interpolációs eljárások, valamint automatizált 2D és 3D jelkövető eljárások. Az utóbbiak közé tartozik a „voxel tracing” (~ térbeli jelkövetés), amely egy kontroll-térelemből kiindulva annak szomszédjait, majd a szomszédok szomszédjait vizsgálva nyomon követi a jelet a teljes adatmező kiterjedésében (DORN 1998). A szerkezetföldtani modellek azonban legtöbbször nem szabályos térháló típusúak, ezért a szeizmikus mérési módszerből adódó szabályos térhálóba rendezett adatszerkezetet kivételesen vissza kell alakítani szabálytalan modellé, hogy az óriási adatmennyiségben itt-ott fellelhető szerkezeti vonatkozású információt gazdaságos módszerekkel elemezhessük.

Különböző interpolációs eljárások alkalmazása, amelyeket elsősorban felületek előállítására használnak, a térháló szerkezetű modelleknél általában túl időigényes; mégis sokszor kerül elő, ha az adatsűrűség nem teszi lehetővé automatizált jelkövető eljárások alkalmazását. A virtuális térben alkalmazott interpolációs eljárások a következők:

- Trilineáris interpoláció, ami a felülethálónál alkalmazott bilineáris interpoláció kiterjesztése az euklideszi tér harmadik irányába.
- Háromkörös interpoláció (*tricubic interpolation*), ami a felülethálónál alkalmazott speciális spline interpoláció, a kétkörös módszer analógiájára épül. Lényege, hogy az ismert pontok értékeiből harmadfokú polinom alkalmazásával a tér harmadik irányában is elvégezzük a keresett értéket közelítő polinom függvény meghatározását.
- Kriegelés, ami a minták megfelelő elrendezése esetén az euklideszi tér minden irányába elvégezhető.

Ezeken túlmenően a térháló modellek esetében is alkalmazható a kézi kiértékelés, amely sok geológus számára a leginkább vonzó, de egyben a leglassabb módszer is. Csak akkor indokolt, ha kevés vagy nagyon egyenetlenül elszórt adat áll rendelkezésre.

Mind az interpolációs, mind a kézi kiértékelésből előálló levezetett adatokat a térháló modell megfelelő felbontásához igazítva, megkapjuk a földtani objektumokat szimuláló voxelek csomópontjait. Ezek megbízhatóságát, ami a *modellezési eljárás* függvénye, a kiértékelőnek mindig szem előtt kell tartania.

### 4.3 Modellekkel végzett egyszerű műveletek

A földtani modellek adataival egyszerű és összetett műveleteket végezhetünk. Egyszerű műveletek közé az automatikus, vagy automatizálható folyamatok tartoznak, amelyek végrehajtását többnyire nem a felhasználó, hanem az általa irányított modellező eszköz végzi. Összetett műveletek azok, amelyek során nélkülözhetetlen az emberi beavatkozás; ezek általában felbonthatók egyszerű műveletekre.

Ebben a fejezetben olyan módszereket mutatok be, amelyekben nagymennyiségű adatot egyszerű műveletekkel dolgozhatunk fel, és ennek eredményeképp az adatainkból modell, illetve egyszerű felületek gyűjteményéből hierarchikus felületmodell jöhet létre.

#### 4.3.1 Mérési adatok felületté alakítása

Felszíni észlelési ponton gyakran mérhető a szerkezeti elem dőlése ( $\delta$ ) és dőlésiránya ( $\alpha$ ). Ezeknek az adatoknak a modellbe integrálása kiemelten fontos. A beillesztés történhet manuálisan az aktuális szoftverkörnyezetben végrehajtott geometriai műveletekkel vagy automatikusan. Több adat esetén célszerű az automatikus módszert választani, ami a gyakorlatban referenciapontok előállítását jelenti az észlelési pontokból induló irányvektor segítségével. Az irányvektorok hosszát ( $L$ ) a modell névleges méretaránya szerint választjuk meg (pl. 1:10 000-es modellnél 100 m). A referenciapontok koordinátáit trigonometriai összefüggések segítségével kapjuk meg.

$$(38) \quad \Delta x = \frac{\sin \alpha}{L \cdot \cos \delta}$$

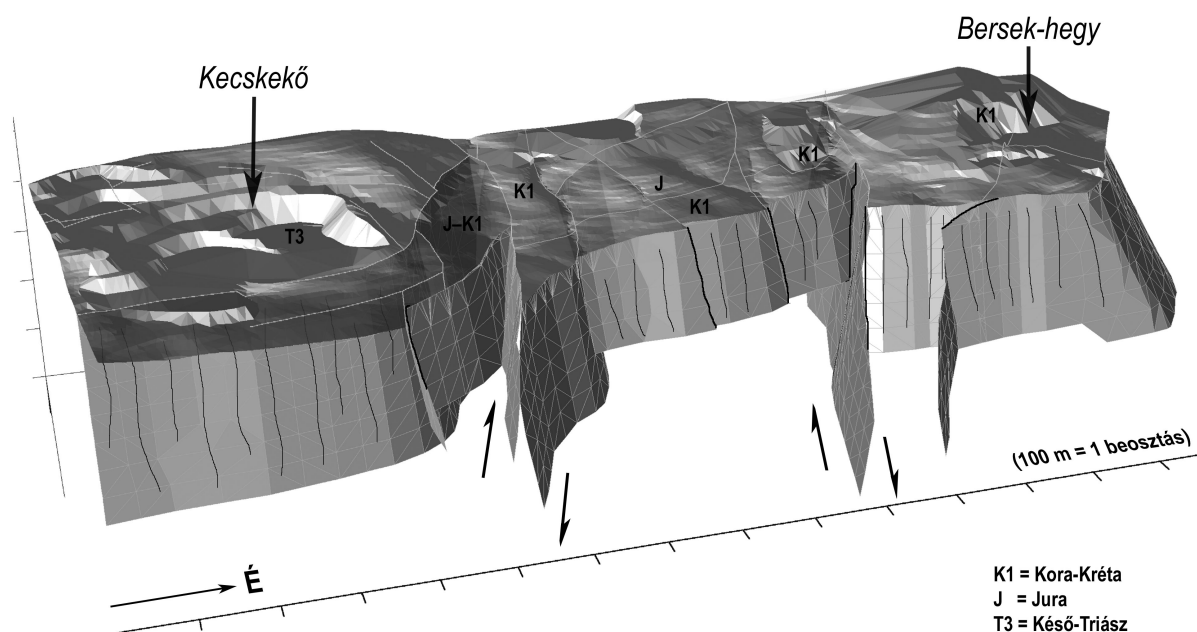
$$(39) \quad \Delta y = \frac{\cos \alpha}{L \cdot \cos \delta}$$

$$(40) \quad \Delta z = \frac{\sin \delta}{L}$$

Itt  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  és  $\Delta z$  a referenciapont és a kiindulási pont közötti különbségvektor három komponense. A pontos eredmény érdekében itt is célszerű korrigálni az adott ponton mért dőlésirány értékeket az aktuális mágneses elhajlás és a vetületi meridián konvergencia mértékével. Az előállított referenciapontok másodlagos bemenő adatok, így azok rugalmasan kezelhetők a modellezés során. A referenciapontok előállításának elsődleges célja, hogy alapját képezzék szabályos, vagy szabálytalan felület- vagy térmodelleknek.

### 4.3.2 A felületmodellek algebrája

A modellszerkesztés következő lépcsőfoka a felületek lehatárolása, illetve a szerkezeti elemek hierarchiájának megállapítása. Ez a gyakorlatban különböző modellfelszínek metszsvonalának kiszámítását jelenti. A modellfelszínek komplexitása (l. 22. ábra) többnyire nélkülözhetetlenné teszi háromdimenziós modellezőszoftver alkalmazását, amely a számításokat beépített függvények segítségével elvégzi.



22. ábra. Egymást metsző vetőfelületek és a felszíni domborzat TIN modellje a Gerecse ÉK-i részéről (ALBERT 2005/b alapján).

Felületmodellek közti térgeometriai műveletek segítségével – amelyek alapja egyszerű lineáris algebra – két egymást fedő felület metszsvonala kiszámítható, amely a modell térben egy háromdimenziós térgörbe lesz. Az, hogy két felület fedi-e egymást vagy nem, a felülnézeti kép alapján határozható meg, ami legtöbbször a pontok magassági attribútumait megjelenítő z tengely felőli, ortogonális nézetnek felel meg. Ugyanebből a nézőpontból definiálhatók a felület első határoló görbéi is. Ezek később a felületek közti műveletek során

módosulhatnak. Sokszor a szerkezeti elemekről olyan kevés információ áll rendelkezésre, hogy az észlelési pontok elterjedése megadja a határvonalakat is. Ahhoz, hogy kettő vagy több szabálytalan háromszögháló-moddellel térgeometriai műveleteket végezzünk, létre kell hoznunk a felületeken a műveletben szereplő többi felület csomópontjainak merőleges vetületi pontját. Ha felületmodellező szoftverrel dolgozunk, ez automatikusan megelőzi a térgeometriai műveleti parancsot, így csak annyit észlelünk belőle, hogy a végeredményként létrejövő felület csomópontjainak száma a kiindulási felületek egyedi csomópontjainak összege lesz. Két felület (pl. A és B) metszésvonalának meghatározásához a felületeket ki kell vonni egymásból:

$$(41) \quad \mathbf{A} - \mathbf{B} = \mathbf{C}$$

ahol C az új felület, amelynek 0 magassági értéke (0-s izovonal) megadja a metszésvonal ortogonális képét. Ha a kapott felületnek nincs 0-ás szintvonala, a kiindulási modellfelületek nem metszik egymást. A metszésvonal háromdimenziós térgörbójét az így előállított zéróértékű (2D) izovonal bármelyik kiindulási felületre történő merőleges vetítésével kapjuk meg.

A fent ismertetett műveletek jellegükből adódóan nem teszik lehetővé ún. „áthajló felületek” létrehozását. Átbuktatott felületek modellezésére kézenfekvő megoldás, ha a földtani objektumok modelljét felbontjuk normál településű és átbuktatott településű felületelemekre. Ennek hátránya, hogy megnöveli az elemzések során végrehajtandó térgeometriai műveletek számát, különösen akkor, ha az átbuktatott és normál településű elemek többször váltakoznak (pl. többszörösen gyúrt takaróredő feltolódásának modellje). Szintén hátránya a módszernek, hogy teljesen függőleges síkot nem tud felületként kezelni, így ilyen esetben  $90^\circ$  közeli dőlést kell megadni. Léteznek azonban speciális, földtani modellezésre fejlesztett szoftverek, amelyek képesek összetett felületeket egy objektumként kezelni, valamint a fent említett technológiai problémákat kiküszöbölni a geometriai műveletek során.

A szerkezeti elemek hierarchiájának meghatározására sok esetben csak a modell vizsgálata során adódik lehetőség (ALBERT 2003). Ezért a modell fejlesztői környezetében olyan adatszerkezet kialakítása a cél, amely rugalmas háttérül szolgál a több felületkomponenst tartalmazó földtani modellek alternatíváinak. Ennek egy módja, ha a különböző felületek alkotópontjait független háttéradatbázisban tároljuk, melynek a másodlagos adatokat tartalmazó részét addig módosítjuk a modell térbe szerkesztett paraméterekkel (pl. határoló- és idomvonalak), míg a megjelenített felületmodell el nem éri a kívánt geometriát.

#### **4.4 Összetett térmodell kialakítása – esettanulmány a Pál-völgyi-barlang és környezetének modelljein keresztül**

A térbeli testek modelljei nem minden esetben úgy készülnek, hogy a földtani objektumok a valóságos helyzetükhöz és alakjukhoz leginkább közelítő helyzetet és alakot vegyenek fel a virtuális térben, bár ez a törekvés szinte mindig jelen van, mint motiváló tényező. Többnyire technikai és időbeli korlátok miatt a látványos megjelenítés mégis sokszor a háttérbe szorul, de az adatok elégtelen mennyisége is indokolhatja ezt. Annak felismerése, hogy a modellezés során mi a szükséges és mi a „ráadás”, a modell tervezőinek a feladata. A „szép látvány” a laikusokat jobban meggyőzi, ezért a megrendelői igény ez irányú erőltetése sokszor időt és energiát von el, holott a kutatás céljának megvalósításához ez sokszor szükségtelen. Az alábbiakban bemutatott modellek olyan igényekből fakadtak (JUHÁSZ ET AL. 2007), amelyek az adott területről kimondottan térfogati adatok és azok megbízhatósági paramétereinek meghatározását jelölte meg célként, ezért a látványmodell előállítását a háttérbe szorult.

##### ***A barlang, mint „negatív” kőzettest***

A térbeli testek (pl. kőzettestek) modellezésének sajátos esete, amikor a tér/kőzet hiányát, azaz a térben/kőzetben megtalálható űrt modellezzük. A digitális technológia előtt arra a kérdésre, hogy mekkora egy barlang térfogata, nehéz volt jó lelkiismerettel, akár csak közelítő eredményt is mondani. A barlangjáratok volumenének meghatározása nemcsak a barlangászoknak fontos, hanem a felszín alatti vizek és folyékony szénhidrogének állapotának és mennyiségének felmérését végző kutatóknak, vagy a barlang védett klímáját és (esetleg orvosilag) kihasználható légköbméretét felmérő biológusoknak is.

A hazai barlangok volumenének felmérése igen korai stádiumban van. Ennek oka, hogy a barlangok térképezését többnyire félig önkéntes barlangász egyesületek végezték (és végzik a mai napig), akik, ha rendelkeznek is modern geodéziai eszközökkel, idővel és erős anyagi háttérrel, nincs kapacitásuk a régebben feltérképezett járatokat újra, a modellezéshez szükséges részletességgel felmérni. A nagyobb barlangok bejáratától távol eső szakaszait csak több órás gyaloglás, helyenként kúszás, és extrém esetekben akár úszás árán lehet megközelíteni. Ezekben a barlangokban egy ilyen részletes felmérés akár maradandó károkat is okozhat, mivel a méréshez akár hetekig is lent kell élnie a felmérést végző csoportnak, ami a legkörültekintőbb eljárás mellett is a barlang bizonyos fokú fizikai és biológiai degradációjához vezet. A tudományos érdeklődés kielégítése nem lehet elegendő ok arra, hogy védett, vagy veszélyeztetett barlangi ökoszisztémák esetleg károsodjanak. Ebből kifolyólag olyan módszert kellett kidolgozni, amely eredményeként a kutatás tárgyát képező

budapesti Pál-völgyi-barlang térfogatát a már meglévő adatok alapján meg lehet határozni, és nem kell új felmérést végezni.

A barlang befoglaló kőzeteinek porozitásának megállapításához szintén egy térmodell előállítására volt szükség. A modell célja az volt, hogy a tektonikai mozgásokból és a kőzetek utólagos oldódásából származó repedések és üregek térfogati arányát meghatározzuk.

A következőkben a barlangnak és környezetének *volumetrikus*<sup>35</sup> illetve *porozitás* modelljének szerkesztési módszerét ismertetem. A volumetrikus modell előállításához kidolgozott új eljárás egyben megoldást nyújt arra a problémára is, hogy miként lehet feldolgozni a régi barlangtérképek és gyors járatfelmérések archív adatait oly módon, hogy abból matematikai módszerekkel jól közelítő adatot kapjunk a barlang térfogatára. Ezek az adatok önmagukban nem nyújtanak kellő információt a barlang járatainak valódi geometriájáról, ezért a modellezés során nem törekedtem a valósághű virtuális megjelenítésre sem.

#### 4.4.1 A modellek szerkezetének összetétele

Térmodellek esetén a térbeli geometriai elemet mint statisztikai komponenset, vagy mint a valódi földtani objektum egyszerűsített geometriájának összetevőjét tekinthetjük. Előbbiekre a *statisztikai komponens*, utóbbiakra a *geometriai komponens* elnevezést használok a továbbiakban.

- Statisztikai komponensnek akkor tekintünk egy térelemet, ha annak térfogatértéke és attribútuma szerepel csak a modellezési eljárásban, de valós térbeli pozíciója indifferens.
- A geometriai komponensek esetében a pontos térbeli pozíció is meghatározó szerepet kap a modellezési eljárásban (pl. adott esetben a barlangjárat egy szakasza), és bár egyszerűsített geometriával, de a térelem a valós pozíciójának megfelelő helyen van a modellterben is.

Szabálytalan alakú egyedi térbeli testek modellezésekor általában az utóbbi megközelítés érvényes, míg a térbeli tesszellációs modellek (voxel-, vagy tetraédredháló) esetében mindkettő előfordulhat, akár egy modellen belül is. A Pál-völgyi-barlang volumetrikus modelljében a geometriai komponensek által meghatározott szerkezeti típus kapott szerepet, míg a barlang környezetének tektonikai és karsztos porozitásának meghatározását célzó modellezésben

---

<sup>35</sup> A volumetrikus modell a modellezett objektum térfogatának meghatározását célozza, míg más célok (pl. a modell valóság-közeli megjelenítése) alárendeltebb szerepet kapnak.

elsősorban a statisztikai komponensek kaptak szerepet, mint meghatározó összetevők. Az alábbiakban mindkét megközelítési mód ismertetésére sor kerül.

#### 4.4.2 Modellezés szabálytalan egyedi testek módszerével – a volumetrikus modell

A barlang volumetrikus modelljének előállítására kidolgozott új módszer azon alapul, hogy a barlang járatait rövid szakaszokra osztjuk, amelyeknek modelljét a járat szélességéből (**w**) és magasságából (**h**) elő tudjuk állítani és matematikai módszerekkel az így létrejött járatszakaszmódellet, mint geometriai komponens hibáját meg tudjuk becsülni. Az eljárás célja nem egy valósághű virtuális modell előállítása, hanem a járatok térfogatának kiszámítása. Ennek ellenére az alkalmazott eljárás szükségszerűvé tette, hogy létrehozzunk egy virtuális járatrendszert a modellezési környezetben (pl. AutoCAD), amelyet a szoftver lehetőségeit kihasználva elemzés alá vehettünk.

##### 4.4.2.1 A modell adatainak forrása

A Pál-völgyi-barlang járatainak nagy részét a Magyar Barlangtani Társulat barlangász csoportjai térképezték fel. A térképezés dokumentációja csak papíron hozzáférhető, mivel a felmérés több évtizedre nyúlik vissza, és a dokumentumok digitalizálására nem volt még lehetőség. A barlang felméréséről készült dokumentumok (részlettérképek, a megfigyelések szöveges leírásai és mérési táblázatok) éves jelentések kézirat formájában hozzáférhetők a Barlangtani Társulat irattárában. Publikált térkép a barlang mintegy negyedéről készült (KÁRPÁT 1983; 23. ábra). Ennek oka, hogy a térkép, csak a kiadásának időpontjában ismert járatokat tünteti fel, azonban az azóta feltárt járatok hossza az akkori állapot többszöröse (12,8 km).<sup>36</sup>

7. táblázat. Részlet a barlang felmérésekor készült jegyzőkönyv digitális változatából.

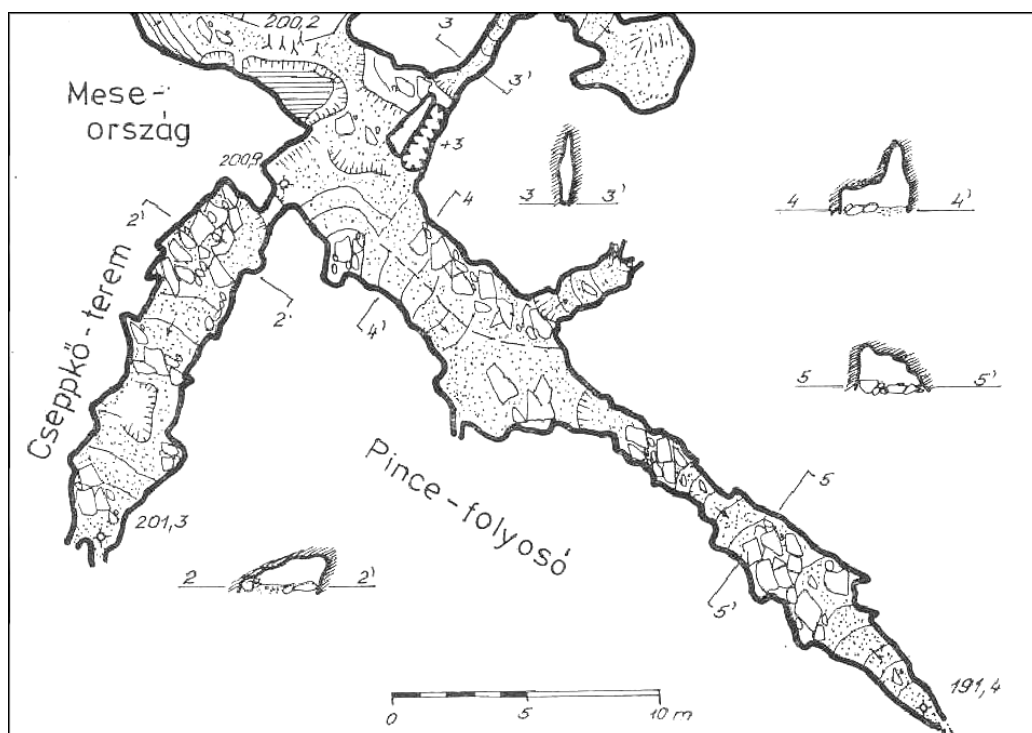
P (alap)	Pm (mért)	Hossz [m]	Azimut [°]	Dőlés [°]	Jegyzet
0	1	9,4	195,5	34,0	Főbejárat
1	2	8,29	227,8	13,0	
2	3	3,66	195,0	-24,0	Lóczy-terem
3	4	5,90	195,0	-5,0	
4	5	5,90	261,0	14,0	

A barlang feltárását a kutatók a barlangok (és bányák) felmérésekor használt hagyományos geodéziai módszerekkel, mérőszalaggal és függőkompasszal végezték. A Mérési pontok a járatokban 5–6 méterenként helyezkednek el. Egy szakaszhoz két mérési

<sup>36</sup> A barlang hossza a jegyzőkönyvekben rögzített pontokra felfűzött egyenes szakaszok összegéből adódott



pont tartozik: a bázis és a bemérendő célpont (l. 7. táblázat). A mérési jegyzőkönyvek digitális változata, amely tartalmazta a mérési pontok kódját és koordinátáját, a modellezés során hozzáférhető volt.



23. ábra. Részlet a Pál-völgyi-barlang kiadott térképéből (KÁRPÁT 1983).

A barlang publikált térképének a vetülete nem ismert, de valószínűsíthető, hogy egyszerű párhuzamos (ortogonális) vetítéssel szerkesztették a referenciapontok koordinátáinak vízszintes (x, y) összetevőit felhasználva. A barlang térképét koordináta transzformációval az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) koordinátahálózatához igazították, így lehetővé téve a barlang topográfiai környezetének elemzését is (pl. digitális domborzatmodellel).

A barlangtérkép kiadása óta feltárt szakaszok részlettérképeit hasonló módon (ortogonális vetítéssel) szerkesztették. A térképekről így egyszerűen leolvasható a járatszakaszok szélessége. A járatok keresztmetszetének (profiljának) rajza azonban csak a publikált térképen jelenik meg, ott is viszonylag elszórtan (l. 23. ábra). Sajnos általánosan elmondható, hogy a járatok keresztmetszetét nem dokumentálták a barlang feltárásának utóbbi évtizedeiben. Ennek következtében a barlang modelljéhez más módon kellett adatokat nyerni. A kidolgozott modellezési módszer adatszükséglete alapján minden észlelési pont-pár által meghatározott 5–6 m hosszú járatszakaszhoz egy szélesség és egy magasság adatot kell hozzárendelnünk. A szélesség leolvasása nem, csak a magasság meghatározása okozott nehézségeket. Ehhez a publikált térkép járatkeresztmetszeteit használtuk fel. Azoknak a szakaszoknak az esetében, ahol nem állt rendelkezésre ilyen adat, a feltárást végző barlangászokkal személyesen

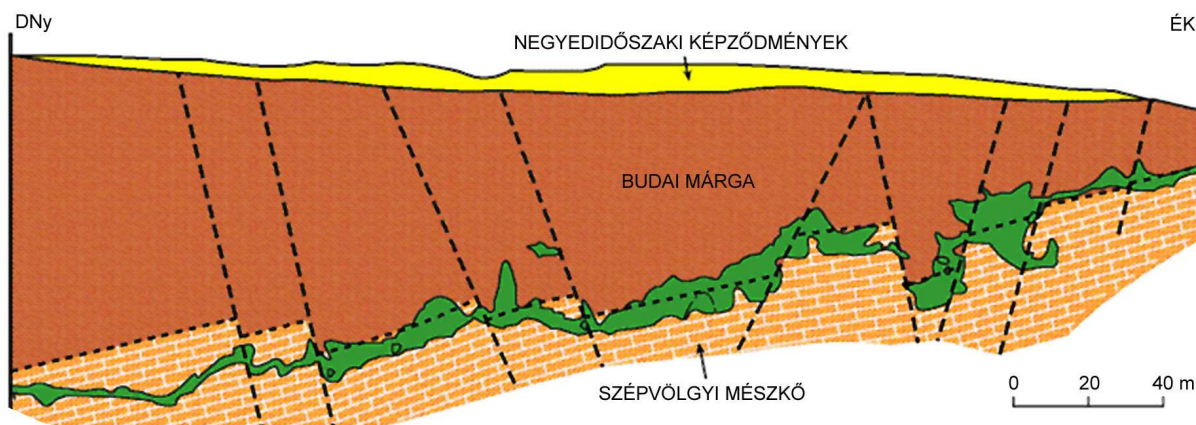
konzultáltunk. A barlangászok közül csak kevesen ismerik annyira a barlangot, hogy emlékezetből felidézzék a járat magasságát, és a távoli szakaszokat csak 2–3 barlangász ismeri. Nekik, mint adatközlőknek jelentős szerepük volt a volumetrikus modell előállításában.

A geodéziai felmérések jegyzőkönyveinek digitális változata tartalmazta a bázis és a bemért pont nevét, a szakasz hosszát valamint az irányszöveget (azimutot) és a vízszintestől való dőlés szögét (l. 7. táblázat). Az ebből kialakított adatbázisból trigonometriai úton ki tudtuk számítani a referenciapontok koordinátáit. Az adatbázis minden rekordja egy térbeli vektor, aminek hossza és iránya van, továbbá amelyik minden esetben kapcsolódik legalább egy másik vektorhoz is. Ennek megfelelően az adatbázis egésze egy térbeli gráfot alkot, amelynek szakaszai a modellezési eljárás során alapegységnek tekintett járatszakaszokkal azonosak. E gráf tehát felfogható a modell „csontvázának” is, amelyhez a „testet” a szélesség (**w**) és magasság (**h**) adatok feldolgozásával hoztuk létre.

Az adatfeldolgozás során először a publikált, és a publikálatlan, csak archívumban megtalálható térképi anyag szkennelését és összeillesztését végeztük el. Ezt követően került sor a járatszakaszok magasságának megállapítására, majd a térkép raszteres állományának és a geodéziai adatbázisból létrehozott, elsődleges prioritással értelmezett, tehát nem módosítható adatként tárolt 3D gráfnak az összevetésére. Ez elsősorban a térképeken feltüntetett, számmal azonosított referenciapontok segítségével történt, de helyenként, ahol a referenciapontok megírása hiányzott a térképről, a járatok alakja és a gráf geometriájának hasonlósága alapján igazítottuk a térképeket. Az ebből fakadó bizonytalansági faktort az eljárásba mint valószínűségi változót építettük be. Ezt követően az eredeti adatbázis rekordjaihoz mint a barlangjáratok egyedi szegmenseihez hozzárendeltük a transzformált raszteres térképről leolvasott szélességi, illetve megállapított magassági adatokat.

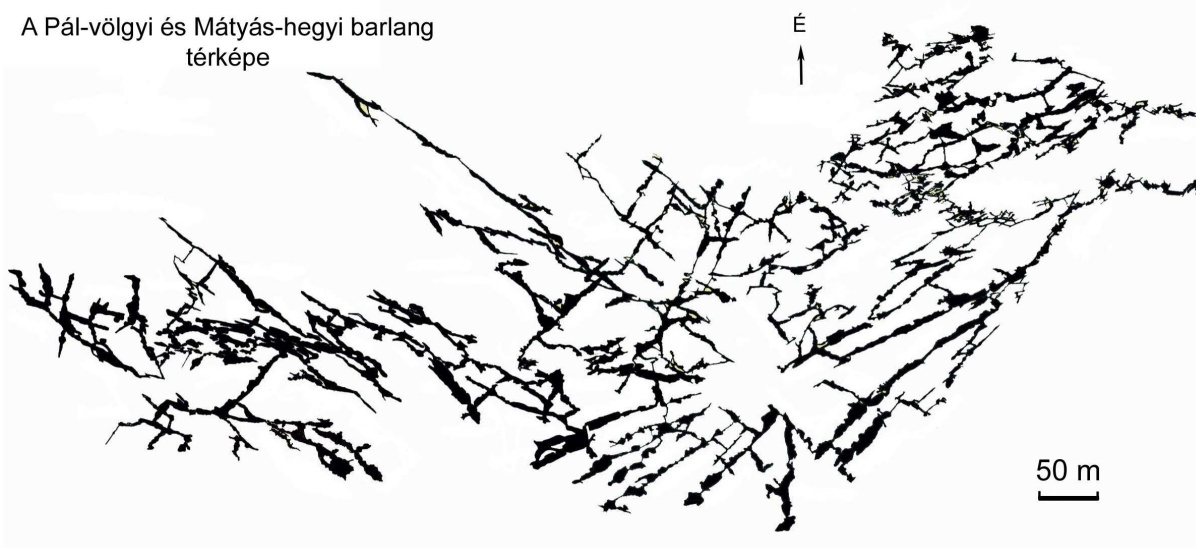
#### 4.4.2.2 A barlangjáratok típusai

A Pál-völgyi-barlang járatai elsősorban a késő eocénben képződött Szépvölgyi Mészki Formáció kőzeteiből oldódtak ki. A barlang felső szintje néhol átnyúlik a mészki fedőképződményébe a Budai Márga Formációba (l. 24. ábra). A barlang többszintes járatrendszere követi a dél-délkeleti irányban a vízszintestől mintegy 25–30 fokban dőlő mészki és márgarétegeket.



24. ábra. A Pál-völgyi-barlang elhelyezkedése a környező kőzetekben. A barlangjáratok követik a Szépvölgyi Mészke Formáció és a Budai Márga Formáció rétegeinek általános dőlését, valamint a törések vonalát (JUHÁSZ ET AL 2005 nyomán).

A barlangjáratok kialakulásában az ÉK-DNy-i, illetve ÉNy-DK-i csapásvonalú szerkezeti vonalak (vetők, oldalelmozdulások és feltolódások) is nagy szerepet játszottak (WEIN 1977), ugyanis ezek mentén a feltöredezett kőzeteket a felszín alatti vizek könnyebben feloldhatták, kialakítva ezáltal a barlang üregeit (l. 25. ábra). A szerkezeti mozgások több fázisban, a késő eocén–kora miocénben és a késő miocén–pliocénben zajlottak (FODOR ET AL. 1994).



25. ábra. A Pál-völgyi és a Mátyás-hegyi barlang térképvázlata a Magyar Barlangtani Társulat kéziratai alapján. A járatok iránya az ÉNy-DK és ÉK-DNy csapású szerkezeti vonalakat követi.

A barlangjáratok alakját is leginkább a töréses szerkezetek határozzák meg. Általában 1–5 m széles és 5–25 m magas hasadékszerű képződmények, amelyek alja a kőzetrétegekkel párhuzamosan kiszélesedik és üstszerű oldódási üregekkel tagolt. A lekerekített oldódási formák szorosan egymás mellett találhatók. Helyenként, főképp a szerkezeti vonalak

találkozási zónáiban, nagyobb fülkék, üregek, termek is előfordulhatnak. Ezek a jellegzetes-ségek mind a barlang alsó mészkőszintjeiben, mind a felső márgásabb szintjeiben megtalálhatóak. A járatokban beomlott kőzettömbök is gyakran előfordulnak.

#### 4.4.2.3 A térmodell előállítás

Egy járatszakasz térfogatmodelljének előállításához először a szakaszhoz rendelt két adatból ( $\mathbf{w}$ ,  $\mathbf{h}$ ) egy valószínűségi változó ( $\mathbf{V}$ ) segítségével megszerkesztettük a járatszakasz virtuális profilját (l. 26. ábra). A profilok szabálytalan négyszögek, amelyek abszolút magassága és szélessége megegyezik a  $\mathbf{h}$ , illetve a  $\mathbf{w}$  aktuális járatszakaszhoz rendelt értékével. Ezek a szabálytalan négyszög alakzatok a 3D gráf adott szegmensével párhuzamosan „kihúzva” egy szabálytalan hasábot alkottak, amelyek a modell alapelemeiként szolgáltak. E komplex műveletet a modellezési környezetben (AutoCAD) futtatható kötegelt parancsfájlok segítségével hajtottuk végre, amelyeket az eredeti adatbázis rekordjainak adataiból koordináta geometriai számításokkal és Visual Basic 6.0 szkriptekkel hoztunk létre. Az AutoCAD szoftverkörnyezet lehetőségeit kihasználva, mind a járatrendszer szakaszait, mind a befoglaló kőzetest különböző morfológiájú és nagyságú modelljét ún. *szilárdtest* (solid) objektumként hoztuk létre. Ezek a virtuális testek mint *geometriai komponensek* értelmezendők, mivel pontos térbeli helyzetük fontos szerepet kapott a modellezési eljárás során.

A modellezés során használt eljárás szerint a szabálytalan négyszög sarokpontjainak ( $\mathbf{J1}$ ,  $\mathbf{A2}$ ,  $\mathbf{B3}$ ,  $\mathbf{F4}$ ) koordinátái a mérési bázisponthoz ( $\mathbf{O}$ ) viszonyított relatív koordinátarendszerben vannak megadva (26. ábra). E relatív koordinátarendszernek az origója tehát az  $\mathbf{O}$  mérési bázispont. A sarokpontok is e koordinátarendszerben vesznek fel  $\mathbf{x}$  és  $\mathbf{y}$  értékeket, amelyek az eredeti járatszélesség ( $\mathbf{w}$ ) és járatmagasság ( $\mathbf{h}$ ) függvényeként határozhatók meg az alábbi összefüggések szerint:

$$(42) \quad x_{J1} = \frac{w}{2}$$

$$(43) \quad y_{J1} = y_{A2} + \xi \cdot \frac{h}{2}$$

$$(44) \quad x_{B3} = x_{J1} - w = -\frac{w}{2}$$

$$(45) \quad y_{B3} = y_{A2} + \xi \cdot \frac{h}{2}$$

$$(46) \quad x_{F4} = x_{J1} - \xi \cdot w$$

$$(47) \quad y_{F4} = y_{A2} + h$$

$$(48) \quad x_{A2} = x_{J1} - \xi \cdot w$$

Ahol a  $\xi$  egy véletlen valószínűségi együttható, amely egyenletes eloszlású a 0–1 intervallumon belül, továbbá amely minden számításnál egyedi, az előzőtől független értéket vesz fel. Láthatjuk, hogy a fenti egyenletek közül hiányzik az  $y_{A2}$ , aminek kiszámításához bevezettünk egy valószínűségi változót ( $V$ ), amely normál eloszlású és az aktuális referenciapont magasságát jelöli a barlangjárat aljától számítva. Meghatároztuk, hogy a kiszámítandó ( $x$ ) határértéknél a  $V$  90% valószínűséggel kisebb értéket vegyen fel (51), abban az esetben, ha a szórás az abszolút magasság ( $h$ ) 20%-a (50) és a várható érték nulla (49). Azaz feltételeztük, hogy a felmérést végző barlangászok 90%-os valószínűséggel olyan pontokat választottak, amelyeket könnyen elértek, tehát a járat aljzatától a teljes magasság 20%-nál nem voltak magasabban.

$$(49) \quad \mathbf{M}(V) = m = 0$$

$$(50) \quad \mathbf{D}(V) = \sigma = h \cdot 0.2$$

$$(51) \quad \mathbf{P}(V < x) = F(x) = 0.9$$

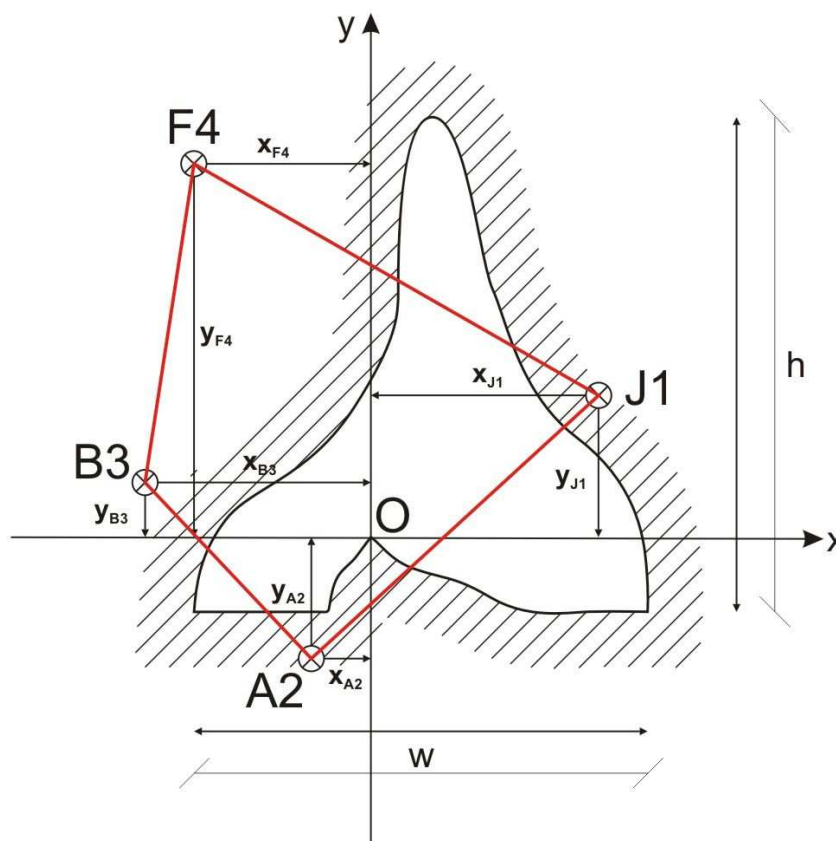
$$(52) \quad F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt$$

$$(53) \quad y_{A2} = -x$$

Az  $x$  határértéket a normál eloszlás inverz függvényével számoltuk, amely az Excel 2003 táblázatkezelő szoftver beépített alkalmazása. Bár ismert, hogy ez a függvény csak néhány tizedes jegyig ad kellő pontosságot, a mi esetünkben ez több volt, mint elegendő. Tekintve,

hogy a referenciapont, mint origó a relatív koordináta-rendszerében rögzített helyzetű, a kapott határérték negatívját rendeltük az **A2**-es pont  $y$  paraméteréhez (53).

A térbeli vektorok, amelyek a háromdimenziós vázmodellt alkotják, irányítottak, mivel a mérés során meghatározták a kezdőpontjukat és a végpontjukat. Ebből kifolyólag az adott szakaszhoz tartozó keretpontok minden esetben ugyanazt a relatív pozíciót veszik fel; **J1** a kezdőpontból a vektor haladási irányába nézve a referenciapont jobb oldalán, **A2** a referenciapont alatt, **B3** a bal oldalán és **F4** fölötté helyezkedik el (26. ábra). A járatkeresztmetszetek a valóságban nem izometrikus, hanem magasságuk tekintetében elnyújtott alakúak. Továbbá megfigyelhető volt, hogy a járatok az aljzat közelében szélesebbek, mint a magasabb régiókban. Ennek okán a (43) és (45) egyenletek formuláiban kikötöttük, hogy a **J1** és **B3** oldalsó keretpontok relatív magassága ( $y$ -értéke) nem lehet magasabb az alsó pont relatív mélysége ( $Y_{A2}$ ) és a teljes magasság ( $w$ ) felének összegénél.



26. ábra. A modellezett és a térképezett járatkeresztmetszet összefüggése és viszonyuk a referenciaponthoz (O), mint a relatív koordináta-rendszer kezdőpontjához (Albert 2008 alapján). Összefüggések:  $w = x_{B3} + x_{J1}$ ;  $h = y_{A2} + y_{F4}$ .

A modell megbízhatóságát a kiadott barlangtérkép keresztmetszévéneinek (56 db) területére vonatkozó adatok, és a modellezés során, ugyanarra a szakaszra előállított mesterséges

keresztshelvények területére vonatkozó adatok összehasonlításával ellenőriztük. A két adatsor korrelációs együtthatójának értéke ( $q$ ) a modellezések alkalmával 0,82-0,86 között változott, ami egyértelműen jelzi, hogy a két adatsor összefügg és feltételezhető, hogy a modellezésből kapott adatok nagyjából 84%-os valószínűséggel valós adatokként értelmezhetőek. Ezt támasztja alá a térképezett és modellezett keresztmetszetek területei közti eltérések összehasonlítása is. Habár a vizsgált 56 helyszínen a kétféle terület eltérése abszolút értékben 25–30% volt, az ebből származó hiba mégis kevesebb, mivel voltak helyek, ahol a modellezett szelvény volt nagyobb a térképezettnél, illetve máshol meg fordítva. A becsült hiba tehát az eltérések relatív mértékével közelíthető, ami konzekvensen 12–14%-nak mutatkozott.

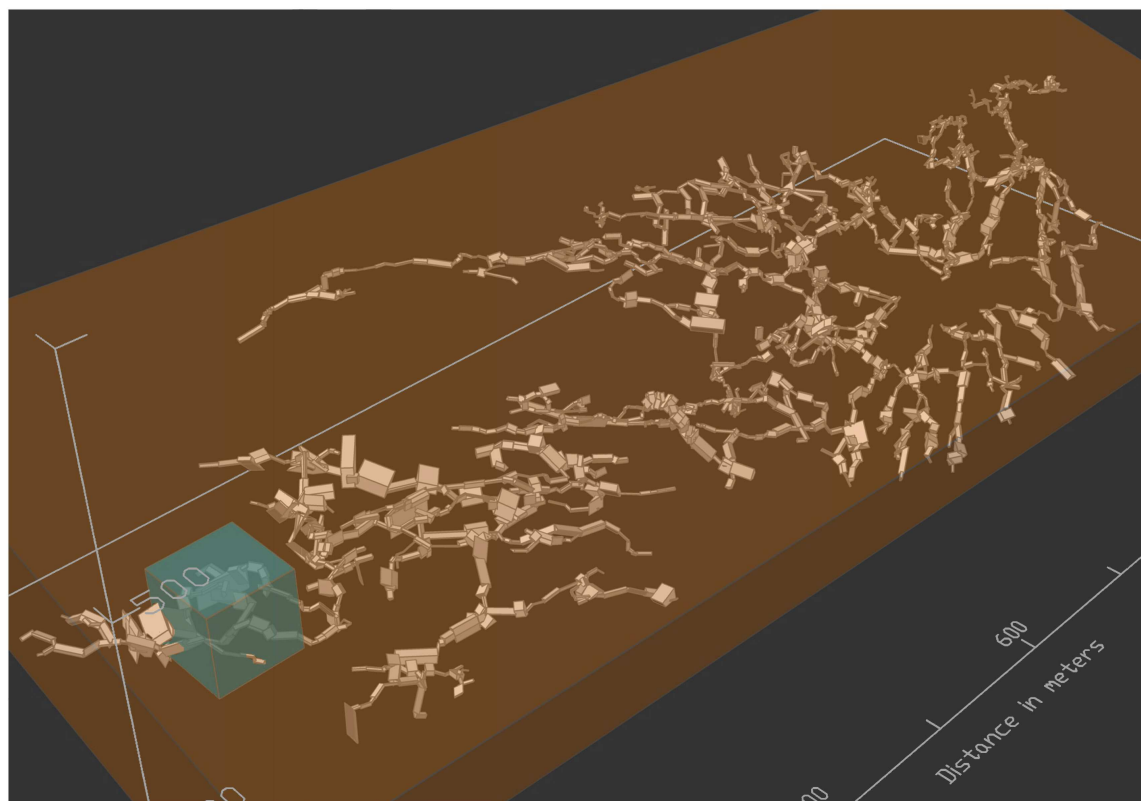
Mivel a barlang térképezésekor csak hagyományos mérőeszközöket, úgymint függőkompasszt és mérőszalagot használtak, a rendelkezésre álló adatok irány- és dőlésszögek és távolságadatok voltak. A bemért referenciapontok koordinátáit szögfüggvények segítségével tudtuk kiszámítani a mérési pont ismert koordinátájából, amelyek az előző mérésben maguk is bemért pontok voltak. Ez egyben azt is jelentette, hogy a barlang járataiban a bejárattól egyre beljebb haladva, szakaszról-szakaszra halmozódnak a mérési hibák. Ezek a hibák legjobban ott figyelhetők meg, ahol a korábban elágazó járatok újra összefutnak a valóságban (hurkok), de a mérési jegyzőkönyv szerint nem. Itt a különböző járatok mérési sora ugyanabban a referenciapontban végződik, de a számított koordinátái a pontnak eltérnek; az eltérés mértéke legjobb esetben 1 m volt, legrosszabb esetben a 15 m-t is meghaladta.

A járatokat kitöltő kőzettörmelék térfogatával nem számoltunk a volumetrikus modell előállításakor. Ahhoz, hogy beépíthessük ezek értékét a matematikai modellünkbe, a törmelék átlagos térfogatának meghatározását célzó helyszíni méréssorozatra lett volna szükség, amelyet a kutatási program során nem tudtunk megvalósítani.

#### 4.4.2.4 A térmodell vizsgálata

A volumetrikus modellezési módszer kidolgozásának és tesztelésének korai szakaszában, a teljes járatrendszer 25%-os feldolgozottsága mellett az előzetes eredmények a barlangüreg feltűnően alacsony arányát (0,23%) jelezték a befoglaló kőzetest teljes térfogatához viszonyítva. Ebben a fázisban a befoglaló kőzetestet a modellezett járatrendszer kiterjedésének megfelelő téglalap alapú derékszögű hasábként értelmeztük, amely a modelltér koordinátarendszerével párhuzamosan helyezkedett el. Irodalmi adatokra (HEWARD ET AL. 2000) támaszkodóan felállított munkahipotézisünk alapján a hasonló genetikájú karsztos,

barlangüregekkel tagolt kőzettestekben a járatok és üregek aránya 1–3%-a a teljes kőzettérfogatnak. Feltételeztük tehát, hogy az első feldolgozás eredményeként kapott alacsony arány növekedni fog, ha módosítjuk a befoglaló kőzettest modelljének geometriáját. Egyrészt a koordinátarendszerrel párhuzamosan elhelyezkedő (ortogonális) és ezáltal a mészkő és márga rétegek síkjához igazodó járatrendszer természetes morfológiájához nem igazodó szabályos téglatest helyett egy olyan szabályos testtel modelleztünk, amely ezeknek a szempontoknak jobban megfelel. Ez egy 75 m vastag, DK-felé  $166^\circ$  azimut irányba 15 fokkal dőlő szabályos test volt, amelyhez viszonyítva a modellezett járatok aránya továbbra is a vártnál alacsonyabb maradt. Másrészt a szabályos alakzat helyett megpróbálkoztunk a járatok által elfoglalt térrész szabálytalan vonalát követő térbeli alakzatokkal is ortogonális, illetve kibillentett helyzetben. Ez utóbbi megközelítés sem igazolta a munkahipotézisünket (8. táblázat).



**27. ábra.** A Pál-völgyi-barlang 3D modellje a virtuális térben DNy-i irányból. Barna színnel a barlang járatait magába foglaló elforgatott és megdőntött ( $166^\circ/15^\circ$ ) kőzettest modell, kékkel az 50 m él-hosszúságú kockamodellel látható.

Felmerült, hogy az elméleti üregtér fogat értékeket azért nem kapjuk meg a számítások eredményeként, mert a rendelkezésünkre álló adatok csak az eddig ismert de nem a teljes, valóságban létező járatrendszert foglalják magukba. Ezért a teljes rendszert lefedő és magába



foglaló kőzettest alakzatok helyett a modellezett barlangjáratokat metsző kisebb kőzettestek statisztikai elemzésével próbáltuk igazolni az elméletünket. Ezek a kisebb alakzatok szabályos, 50 m élhosszúságú kockák voltak (27. ábra) úgy elhelyezve, hogy tartalmazzanak járatokkal sűrűn és ritkán behálózott térrészt is, de követelmény volt, hogy legalább egy barlangjáratot tartalmazzanak.

**8. táblázat. A Pál-völgyi-barlang üregeinek térfogatarányai a térmodell különböző elemzési módszerek függvényében.**

Befoglaló kőzet geometriai modellje	A befoglaló kőzet modelljének térfogata [m <sup>3</sup> ]	Üregek aránya [%]	Járatok térfogata [m <sup>3</sup> ]
Teljes kőzettest (ortogonális hasáb)	38078434.47	0,19	72694,0382
Elforgatott hasáb	25886250	0,28	72694,0382
Elforgatott szabálytalan test*	15657432.64	0,46	72694,0382
50 m-es kocka - 1	125000	1,72	2151,7751
50 m-es kocka - 2	125000	1,22	1521,5561
50 m-es kocka - 3	125000	0,66	827,6118
50 m-es kocka - 4	125000	0,74	927,0893
50 m-es kocka - 5	125000	1,05	1308,9832
50 m-es kocka - 6	125000	2,01	2507,0974
50 m-es kocka - 7	125000	2,15	2687,4857
50 m-es kocka - 8	125000	0,52	645,7824
50 m-es kocka - 9	125000	1,58	1972,0411
50 m-es kocka - 10	125000	0,63	782,9898
50 m-es kocka - 11	125000	0,82	1028,6246
50 m-es kocka - 12	125000	1,42	1772,8116
50 m-es kocka - 13	125000	1,27	1592,913
50 m-es kocka - 14	125000	1,11	1393,5175
50 m-es kocka - 15	125000	1,19	1488,8132
50 m-es kocka - 16	125000	1,80	2251,8127
50 m-es kocka - 17	125000	1,88	2345,5843
50 m-es kocka - 18	125000	1,63	2036,1868
50 m-es kocka - 19	125000	2,53	3165,6404
50 m-es kocka - 20	125000	2,82	3519,0432
50 m-es kocka - 21	125000	1,28	1604,6687
50 m-es kocka - 22	125000	2,12	2654,1942
Átlag (közép érték)**		1,46	1826,646459

\*A szabálytalan körvonalú test, a járatokat a lehető legkisebb ráhagyással foglalja magába.

\*\*A 22 db kockamodell átlaga

A kockák orientációja a koordináta-rendszerrel párhuzamos volt, de elvi szempontból bármilyen lehetett volna, mivel a barlangrendszer befoglaló márga és mészkőréteg vastagsága mindenképpen meghaladta volna a kocka testátlójának hosszát (86,6 m). A mészkőréteg irodalmi forrásból (CSÁSZÁR 1997) ismert hozzávetőleg 100 m-es vastagsága indukálta a blokk méretének megválasztását is, ugyancsak szem előtt tartva a lehetséges orientációk közül azt, mikor a kocka testátlója a rétegzésre merőleges helyzetben van. Az 50

m-es élhosszúságú blokk még kényelmesen befér, de egy 60 m-es szabályos blokk, 103,9 m-es testátlóval már nem.

A teljes barlangot befoglaló kőzettest-modellekkel ellentétben a kis blokkokkal történő modellezés igazolta a munkahipotézisünket (l. 8. táblázat). Feltételeztük, hogy annak a valószínűsége, hogy a kis kockatestekkel végzett számítások közül legalább egy a nem ismert valós értéknek felel meg, legrosszabb esetben sem lehet kisebb, mint a kibillentett helyzetű teljes járatrendszert befoglaló szabályos kőzettest-modellben az üregek aránya (0,0028). Ebből kiszámítottuk, hogy ahhoz, hogy a modellezés során legalább egy biztosan helyes értéket kapjunk, minimum 526 különböző helyzetű blokkal kellene elvégezni a műveleteket, a modellezési környezetben. Mivel ez túl időigényes lett volna, a műveleteket 22 alkalommal elvégezve kiszámítottuk a kapott eredményekből az általunk használt munkahipotézis valószínűségeit. A számításokban az arányérték jelölésére egy normál eloszlású valószínűségi változót vezettünk be. Megállapítottuk, hogy 66% annak a valószínűsége, hogy a barlangjáratok arányára a befoglaló kőzet térfogatához viszonyítva 1%-nál nagyobb értéket kapjunk, és 91%-os valószínűséggel 3%-nál kisebb ez az arány; munkahipotézisünk tehát 57% valószínűséggel beigazolódott. Fontosabb volt számunkra azonban az, hogy a várható érték, ami 1,46% volt, beleesett a meghatározott tartományba.

#### **4.4.3 Modellezés szabályos térhálóval – a porozitás modell**

A Pál-völgyi-barlanghoz közeli kutatófúrásokban végzett vizsgálatok alapján a barlangot alkotó mészkő és mészmárga mikroporozitása 5–10% körül van (KLEB ET AL. 1993), amely hipotézisünk szerint nagyjából a kőzet utólagos oldódásából és kisebb részben a kőzet eredeti porózus szerkezetéből adódik. A barlangot befoglaló karbonátos kőzetek porozitásának másodlagos, tehát a kőzetté válás (diagenézis) után való bekövetkezését a barlang melletti kőfejtőben mérhető repedéshálózat és oldódási jelenségek mennyiségi vizsgálatával és térbeli modellezésével szándékoztuk igazolni oly módon, hogy a modellezés eredményeként kapott adatot a kutakban mérhető mikroporozitás értékekkel összevetettük.

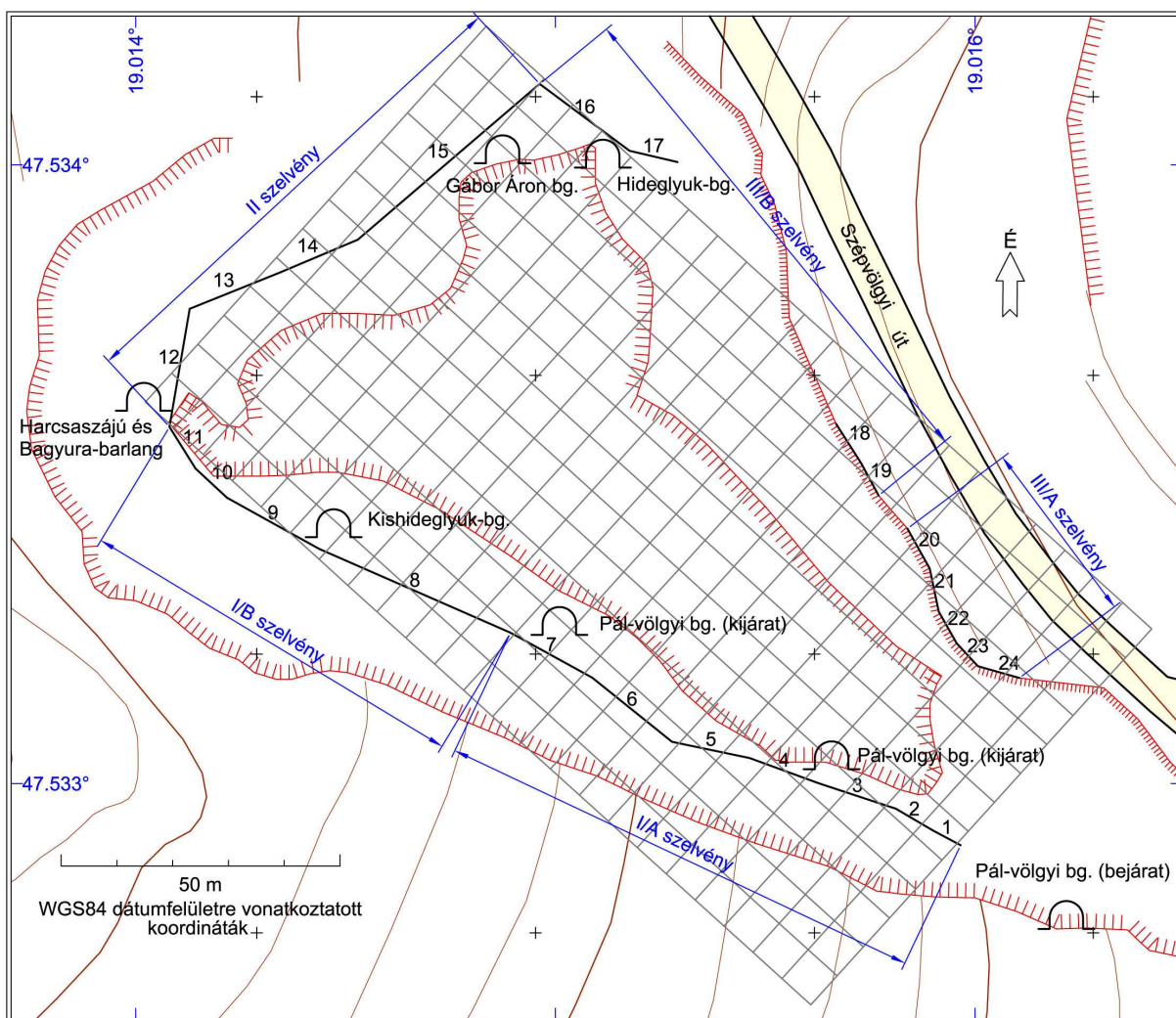
Amennyiben a modellezésből kapott értékek megfelelnek a kútvizsgálatból származó értékeknek, vagy azoktól csak kis mértékben térnek el, hipotézisünket helytállónak tekinthetjük.

##### **4.4.3.1 A másodlagos porozitást befolyásoló tényezők meghatározása**

A másodlagos porozitás meghatározásának első lépéseként a barlang melletti kőfejtő csupasz sziklafalairól fényképeket készítettünk. A fényképek állványon elhelyezett kamerával

(Canon Powershot G5), rögzített fókusztávolsággal, egymással 40%-os átfedésben készültek, így összeillesztésük viszonylag torzításmentesen megoldható volt. Az összeillesztés után öt folytonos szelvényt kaptunk (IA, IB, II, IIIA, IIIB) amelyek a kőfejtő három oldalát (a negyedik nyitott) fedték le (l. 28. ábra).

Az észlelési területet, és egyben szelvények fotómozaikjait 24 blokkra osztottuk fel, amelyek mindegyike 5–7 m magas és átlagosan 14 m hosszú volt. A felosztás a jellemző földtani bélyegek alapján történt és öt kategóriába sorolta a blokkokat. Az egyes kategóriák a repedések számában, oldódási nyomok előfordulásának gyakoriságában a réteglapon, illetve a repedések mentén, valamint a kürtök és üregek előfordulásának gyakoriságában különböztek egymástól (l. 9. táblázat).



**28. ábra.** A vizsgált sziklafalak szelvényeinek, a 24 db blokknak, valamint a szabályos rácshálónak a helyzete a Pál-völgyi-barlang kőfejtőjében. A háló egyes celláinak él-hossza 7 m, hosszanti oldalának iránya 132.1827°.

A helyszínen észlelt 2 cm átmérőnél szélesebb repedéseket és a 10 cm átmérőnél nagyobb oldási jelenségeket a fotómozaikokon is berajzoltuk. Ez a mérethatár az, amely fölött a fotókon még könnyen azonosíthatók voltak a terepen észlelt földtani objektumok. A fotómozaikra átrajzolt objektumokat raszteres képfeldolgozó programmal (Adobe Photoshop) elemeztük, amelynek célja az objektumok által lefedett terület és a teljes kőzetfelület-arányának meghatározása volt.

A raszteres képelemző eljárás két fázisból állt. Először az egyes szelvények (fotómozaikok) méretarányos térképét rajzoltuk meg kvázi-területtartó vetületben. Ennek alapja a fotómozaik volt, amit a lefotózott méter-rúdon észlelhető torzulás alapján kiegyenlítettünk. Második lépésben a térképet raszteres képpé alakítottuk át, és a tartalmát úgy redukáltuk, hogy csak a törések és az oldódási jelenségek grafikus tartalma szerepeljen rajta. E folyamat végén egy kéttónusú (fekete-fehér) raszterképet kaptunk, amelyben a sötét pixelek az észlelt földtani tartalmat hordozták. Minél szélesebb volt eredetileg egy repedés, vagy üreg, annál több sötét pixel volt szükséges a megjelenítéséhez. A repedésekkel sűrűn átjárt felületeken a sötét pixelek aránya is nagyobb volt. A sötét pixelek száma a világosan maradtakéval arányba állítva megadta a felületen észlelt másodlagos porozitást egy adott területen. Végül a különböző kategóriákba sorolt blokk típusokon végzett mérések középértéke alapján meghatároztuk a kategóriákra jellemző porozitás értékeket (l. 9. táblázat).

**9. táblázat. A különböző porozitású kőzetkategóriák felosztásának kritériumai az előforduló földtani bélyegek alapján és az egyes kategóriák porozitás értékei (JUHÁSZ ET AL 2007 nyomán).**

	<b>Kategóriák:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Földtani bélyegek	Rétegződés	x	x	x	x	x
	Fejlett repedésrendszer	x	x	x	x	x
	Oldódási üregek	-	x	x	x	x
	Kürtők	-	-	x	x	x
	Rétegmenti oldódási nyomok	-	-	-	x	x
	Nagyobb üregek, barlangok	-	-	-	-	x
Porozitás arány raszteres képelemzésből		2,2%	4,20%	7,60%	10,10%	13,50%

#### 4.4.3.2 A pórustérfogat meghatározása

Annak érdekében, hogy kiszámítsuk a másodlagos porozitás által elfoglalt térfogatot a Pál-völgyi-barlang kőfejtőjének falain meghatározott (2D) értékek alapján, egy szabályos térhálót illesztettünk a kőfejtő virtuális modelljére (l. 28. ábra). A térháló minden eleme (voxelje) egy-egy típust képviselt az 5 megállapított kategória közül. A különböző típusok

térbeli eloszlását aszerint modelleztük, hogy a feltérképezett sziklafalakon milyen arányban fordultak elő.

A térháló orientációját a sziklafalak szelvényeinek felülnézeti, ortogonális vetületben ábrázolt vektoraiból számított eredő vektor (**E**) iránya adta meg, amely  $132.1827^\circ$ -nak adódott. A három szelvény (I, II. és III.) közül kettőnek (I. és III.) nagyjából az eredő vektor irányával párhuzamos ÉNy-DK-i, egynek (II.) pedig DNy-ÉK-i csapása volt. Mivel olyan szabályos térhálót terveztünk előállítani, amelynek egy pontjából kiinduló élek egymásra merőlegesek (tehát *izotróp* térháló modellt), a DNy-ÉK-i csapású szelvény vektorait a számítások során  $90^\circ$ -kal elforgattuk.

**10. táblázat. A kőfejtő három szelvényének egyes kőzetblokkjaihoz tartozó vektor-irányok, abszolút hosszúságuk, valamint az eredő vektorra vetített hosszai ( $L'$ )**

Blokk száma	Szelvény	Kategória	Azimut ( $^\circ$ )	Hossz (m)	Vetített hossz ( $L'$ )* (m)
1	I. - DNy	1	297,94	5,593	5,421
2	I. - DNy	2	300,57	7,729	7,571
3	I. - DNy	1	288,18	14,539	13,282
4	I. - DNy	3	290,09	13,205	12,236
5	I. - DNy	3	281,86	14,218	12,273
6	I. - DNy	4	308,75	18,358	18,325
7	I. - DNy	5	298,88	16,724	16,275
8	I. - DNy	3	293,67	37,453	35,514
9	I. - DNy	5	299,02	18,909	18,412
10	I. - DNy	3	312,87	7,704	7,704
11	I. - DNy	3	328,09	8,814	8,476
12	II. - ÉNy	5	9,73	21,476	18,122
13	II. - ÉNy	3	68,08	17,281	15,545
14	II. - ÉNy	2	67,15	15,317	13,885
15	II. - ÉNy	5	49,38	42,930	42,591
16	III. - ÉK	5	126,63	20,103	20,009
17	III. - ÉK	3	103,24	8,804	7,704
18	III. - ÉK	2	147,47	8,413	8,116
19	III. - ÉK	4	151,69	6,547	6,171
20	III. - ÉK	3	150,84	8,211	7,780
21	III. - ÉK	1	168,20	7,873	6,368
22	III. - ÉK	4	150,55	6,522	6,189
23	III. - ÉK	3	137,24	5,631	5,610
24	III. - ÉK	2	105,86	7,706	6,907

\*Az eredeti vektorok képét a DNy-i és ÉK-i szelvényeken  $132.1827^\circ$  irányú vektorra, az ÉNy-i szelvényen  $222.1827^\circ$  irányú vektorra vetítettük.

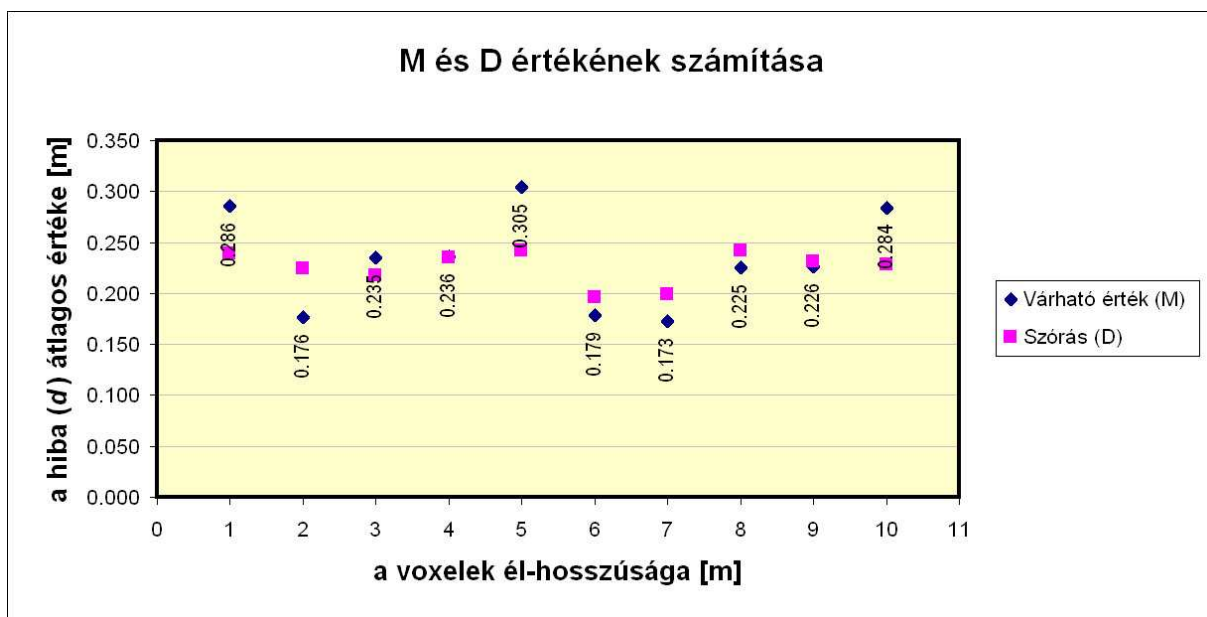
A voxelek izometrikus szabályos térháló modellben kockákként értelmezhetőek, amelyek méretét úgy határoztuk meg, hogy méterben megadott természetes (pozitív egész) szám legyen. A megfelelő él-hosszúság ( $U$ ) kiszámításához a blokkoknak az eredő vektorra (**E**) vetített hosszúságát ( $L'$ ) használtuk fel (l. 10. táblázat). A számítás a vetített hosszúságnak

(L') a voxel élhosszúságával (U) való osztásából származó eredmény egészre kerekített értékén alapszik.

$$(54) \quad d = \left| \left[ \frac{L'}{U} \right] - \frac{L'}{U} \right|$$

Ezt az értéket kivonva a vetített hosszúságnak (L') az él-hosszúsággal (U) való osztásából származó nem kerekített értékéből 1 és -1 közé eső számot kaptunk. Egyrészt a kerekített és nem kerekített érték-párok egymásból történő kivonásából származó különbségek abszolút értékére ( $d$ ) voltunk kíváncsiak, mivel ezek adták meg, hogy az adott él-hosszúságú (U) voxel alkalmazása mekkora hibát eredményezne. Másrészt a kerekített értékek megadták, hogy az adott él-hosszúság alkalmazásával egy-egy blokkhoz hány voxel rendelhető.

Az él-hosszúságokat 1-től 10 méterig terjedő skálán megadva a számításokat mind a 24 blokkra elvégeztük és meghatároztuk a különböző méter-értékekhez tartozó hiba ( $d$ ) szórását (D) és várható értékét (M). Az eredmények alapján a 7 m él-hosszúságú voxel felelt meg leginkább, mivel ebben az esetben mind a szórás, mind a várható érték kedvezően alacsony volt (l. 29. ábra); ezért ezt az értéket választottuk ki a térháló éleinek méreteként.



**29. ábra.** A hiba ( $d$ ) várható értékének (M) és szórásának (D) számítása 24 kőzetblokk vetített hosszainak és a voxelek különböző él-hosszúságának figyelembevételével.

A rácsháló hossza és szélessége a D<sub>Ny</sub>-i illetve az É<sub>Ny</sub>-i szelvény blokkjaihoz rendelt voxelek számából adódott. A délnyugati oldalon ez a szám 23 volt, tehát a szabályos térháló hossza 23\*7, azaz 161 m-nek adódott. Az északnyugati oldal 4 blokkjához 13 voxel rendelhető, azaz a háló szélessége 91 m. Mivel izometrikus modellel dolgoztunk a voxelek

magassága is 7 m volt, ami egyezett a blokkok átlagos magasságaként meghatározott értékkel (5–7 m). A kőfejtőt reprezentáló szabályos térháló modell teljes térfogata (161\*91\*7) tehát 102 557 m<sup>3</sup>. Az öt különböző porozitás-kategóriának a kőfejtő falain megfigyelt eloszlását figyelembe véve meghatároztuk az egyes kategóriák százalékban kifejezhető részarányát (l. 11. táblázat).

A kategóriák eloszlása minden falon (szelvényen) különböző volt, mivel azonban az 1 és 4 kategória az ÉNy-i falon egyáltalán nem jelent meg, természetes térbeli elhelyezkedésüknek megfelelően nem tudtuk a voxelekhez megbízhatóan hozzárendelni az egyes kategóriákat. Emiatt a kőfejtő térmodelljében a kategóriák szelvényeken megfigyelt összesített arányértékeit (11. táblázat utolsó sora) vettük csak figyelembe, és ezekből az adatokból kiindulva a 2D eloszlást a 23\*13, azaz 299 szabályos kockából álló 3D rácstra vetítve kiszámítottuk az öt kategóriához rendelhető voxelek számát.

**11. táblázat. Különböző porozitás-kategóriákba tartozó blokkok eloszlása a kőfejtő dokumentált sziklafalain.**

<b>Kategóriák:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Össz.</b>
DNy-i fal blokkjai (db).	3	1	11	3	5	23
(%)	<i>13.043</i>	<i>4.348</i>	<i>47.826</i>	<i>13.043</i>	<i>21.739</i>	<i>100</i>
ÉK-i fal blokkjai (db).	1	2	3	2	3	11
(%)	<i>9.091</i>	<i>18.182</i>	<i>27.273</i>	<i>18.182</i>	<i>27.273</i>	<i>100</i>
ÉNy-i fal blokkjai (db).	0	2	2	0	9	13
(%)	<i>0.000</i>	<i>15.385</i>	<i>15.385</i>	<i>0.000</i>	<i>69.231</i>	<i>100</i>
<b>Összes (db).</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>47</b>
<b>(%)</b>	<b><i>8.511</i></b>	<b><i>10.638</i></b>	<b><i>34.043</i></b>	<b><i>10.638</i></b>	<b><i>36.170</i></b>	<b><i>100</i></b>

Első lépésben az egyes porozitás-kategóriához rendelt voxelek térfogatát számítottuk ki, majd a kapott eredményt megszoroztuk az adott kategóriához tartozó porozitás értékkel, amelyet a raszteres képelemzés során határoztunk meg (l. 12. táblázat).

Az eredmények azt mutatták, hogy a Pál-völgyi-barlang kőfejtőjében a másodlagos porozitás 9,183%. Az eredeti hipotézisünket tehát, miszerint a kútvizsgálatok során megállapított 5–10%-os mikroporozitás nagyrészt a repedések és karsztos oldódások során keletkezett, a modellezés eredménye alátámasztotta.

A kőfejtő 3D modelljének porozítására vonatkozó számítások során figyelembe kell vennünk, hogy a kőbányászat felhagyását a kőzet üregessége és porozitása okozta elsősorban, így a falakon mért arányok nem feltétlenül voltak érvényesek a kitermelt kőzetre is; a modellezéssel meghatározott másodlagos porozitás valószínűleg alacsonyabb volt a kitermelt térfogatban.



**12. táblázat. A másodlagos porozitás térfogatának porozitás-kategóriánkénti értékei a Pál-völgyi-barlang kőfejtőjének térmodelljében.**

<b>Kategóriák:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Össz.</b>
Voxel [db.]	25	32	102	32	108	299
[%]	<i>8.511</i>	<i>10.638</i>	<i>34.043</i>	<i>10.638</i>	<i>36.170</i>	<i>100</i>
Térf. [m <sup>3</sup> ]	8575	10976	34986	10976	37044	102557
Pórus tf. [m <sup>3</sup> ]	188.65	460.992	2658.936	1108.576	5000.94	9418.094
Pórus tf. [%]*	<i>2.2</i>	<i>4.2</i>	<i>7.6</i>	<i>10.1</i>	<i>13.5</i>	<i>9.183</i>

\*A rászteres képelemzés módszerével meghatározott értékek.

Mivel az 5-ös porozitás kategória magába foglalja a nagyobb üreget (barlangokat) is, a kategóriához rendelhető porozitás érték (13,5%) jelentős hányadát ezek tehetik ki. A volumetrikus modellezés során meghatározott 1,46% üregtérfogat azonban a befoglalt közettest osztatlan egységéhez viszonyított arányt tükrözi. E közettest elméletileg a kőfejtőben meghatározott öt kategóriát képviseli. A kétféle modellezésből származó, egymástól független értékekkel ellenőrző számításokat végeztünk, hogy a rászteres képelemzés során megállapított, 4-es és 5-ös porozitás kategóriához tartozó arányok (10,1% és 13,5%) különbsége (3,4%), amely definíciónk szerint a nagyobb üregekhez rendelhető, egyezik-e a volumetrikus modellezés üregtérfogat arányának a kőfejtő rácsháló-modelljére vetített értékével.

Ahhoz hogy elkülönítsük az üregek arányát az 5-ös porozitás-kategórián belül, először kiszámítottuk az üregek arányát a teljes kőfejtőmodell térfogatán belül ( $102557 \cdot 0,0146 = 1497.332 \text{ m}^3 \pm 194,855 \text{ m}^2$ ), majd megvizsgáltuk az eredményt az 5-ös kategóriához tartozó térfogathoz viszonyítva ( $1497.332/37044 = 0.04042$ ). A kapott eredmény, a volumetrikus modell 13%-os bizonytalanságával,  $4,04\% \pm 0,52\%$ -nak adódott, ami elfogadható mértékben megfelel a rászteres képelemzéssel megállapított értéknek. Ez elsősorban azért jelentős, mert ezáltal a volumetrikus modellezés új, nagyrészt elméleti megközelítésen alapuló módszerét helyszíni vizsgálatokból származó eredményekkel igazoltuk.

#### 4.4.4 A modellezés eredményeinek értelmezése

A volumetrikus modellezés során 2117 járatszakaszt dolgoztunk fel és állítottuk elő a virtuális modelljét a modelltérben. Ez közelítőleg a Pál-völgyi-barlang ismert járatrendszerének 94%-a. A fennmaradó 6%-ot a barlang távoli, kevésbé ismert részein található járatok tették ki, amelyek magasságára a hozzáférhető térképek és jelentések alapján nem tudunk becslést adni. A barlang volumetrikus modelljének előállítását a publikált térképek feldolgozásával és az ezeken található járatok jól dokumentált magasság adatainak



kigyűjtésével kezdtük, így a módszer megbízhatóságának ellenőrzését már az első adatokkal elvégezhettük.

A barlangot jól ismerő barlangászok elmondása szerint számos olyan része van a barlangnak, ahol a kutatás a beomlott sziklák és az erősen töredezett kőzetek miatt túl veszélyes, vagy annyira szűk rések vannak, hogy a feltárás eddig nem volt lehetséges. Ezek a zónák többnyire a járatrendszer geometriájának kialakulásáért felelős törési síkok találkozásánál helyezkednek el, és a megközelíthetelenségük miatt a barlang térfogata ezeken a részeken jelenleg nem modellezhető.

Nagyon valószínűnek tartjuk, hogy ezek a kevésbé feltárt összetöredezett zónák méretükben talán nem, de mennyiségükben jelentős üreget tartalmaznak. Erre utalhat az is, hogy a teljes barlang területére felállított kőzettest modellekben az üregek aránya a vártnál jóval kisebb volt, viszont a kis térfogatra számolt statisztikai elemzés a várt értékeket adta (8. táblázat). Mivel üregekkel egyáltalán nem számoltunk a töredezett zónákban, az előbbi arány nem tükrözheti a valós értékeket. Az utóbbi, azaz a statisztikai elemzésből nyert, és irodalmi adatokkal is alátámasztott adatokat a korábban ismertetett 13%-os átlagos hibahatár mellett elfogadhatónak tartjuk. Ezek alapján a Pál-völgyi-barlang üregeinek aránya a befoglaló Budai Márga Formáció és Szépvölgyi Mészke Formáció rétegei által alkotott kőzettestben  $1,46 \pm 0,19\%$ -ban adható meg.

A volumetrikus modellezés első fázisában kapott alacsony üreg térfogat azonban olyan feltételezésekre adott okot, amelyek igazolása a barlang további feltárására ösztönözhet. Ha feltételezzük, hogy a fenti eredmény (1,46%) fennáll a teljes barlang területére, akkor a mostani járattérfogatot több mint kétszeresen meghaladó üreg rejlik feltáratlanul a jelenleg ismert járatok közvetlen közelében. Ez azt jelenti, hogy a jelenleg ismert 12,8 km hosszú járatrendszer csak a teljes hossz harmada. A modellezés és az abból levezethető becslések alapján tehát a Pál-völgyi-barlang teljes hossza 40 km körülire tehető.



## 5 A MODELL MEGJELENÍTÉSE

A modell kimeneti adatai között számtalan formátum előfordulhat attól függően, hogy milyen célból állítottuk elő azt. Ezek lehetnek elemzési eredmények adat formában, összesítések egy-egy objektumról (pl. felületekről) jegyzőkönyvekben, a modell objektumainak térképi megjelenítése és a modell különböző látványainak vizualizációja. Az alábbi fejezetben a modell grafikai megjelenítésének különböző módozatait mutatom be. A megjelenítés médiuma szerint a kimeneti oldalon két lehetőség kínálkozik:

- I. Hagyományos megjelenítés síkszerű ábrázolással (papíron).
- II. A modell megjelenítése a virtuális térben (képernyőn).

Egyelőre a hagyományos megjelenítés a 2.2 fejezetben megfogalmazottak miatt nagyobb prioritású, és az ilyen jellegű ábrázolásoknál a megjelenített kép (térkép, metszet) alapján történő elemzés és mérés is megjelenik követelményként a vizualizáció során. Természetesen a modell látványképei is kerülhetnek nyomtatásba. A látványképek előállítása inkább a kiadványszerkesztői és grafikus feladatok körébe tartozik. Létezik azonban olyan megoldás is, amely a modell egzakt jellegét és látványosságát egyaránt közvetíteni képes; ezekkel a típusú megjelenítésekkel az 5.2.2 fejezetben foglalkozom.

### 5.1 A modell vizualizációs követelményei

A modell megjelenítése (akár képernyőn, akár papíron) valójában a modell egy nézetének síkra történő leképezése. A különbség a képernyő és a papír között, az interaktivitás. A képernyőn a nézetet, a megjelenítés grafikai és vetületi jellemzőit meg tudom változtatni, míg a papíron azt látom, amit valaki, valamikor kinyomtatott.

A háromdimenziós teret sík felületen alapvetően háromféleképpen jeleníthetjük meg:

- I. 2D ábrázolással az objektumoknak a felül- vagy oldalnézetét ábrázoljuk ortogonális síkvetülettel. Ebbe tartoznak a *függőleges szelvények* és a modellben állandó magasságot leképező *vízszintes metszetek*.
- II. 2,5D ábrázolással az objektumoknak szintén egy nézetét, általában a felülnézetét ábrázoljuk ortogonális síkvetülettel, de az objektum pontjainak magasságát attribútumként adjuk meg, és pl. izovonalas ábrázolással, vagy árnyékolással érzékeltetjük. Ebbe tartoznak az egyenetlen felületeket (pl. domborzatot) térképre leképező ábrázolások.

III. 3D ábrázolással az objektumokat úgy mutatjuk be, hogy az euklideszi tér mindhárom iránya érzékelhető legyen. Ebbe az ábrázolásmódba tartoznak a tömbszelvények, és a 3D látványképek.

Általános követelmény, hogy a modell minden ábrázolásmódban közelítsen a felhasználó kognitív valóságképeéhez. Ez az elv 2D ábrázolásoknál a hagyományos, és a felhasználók által megszokott „bevált” módszerek alkalmazását jelenti. Ebbe tartozik a földtani képződmények, vagy a domborzatmodell hipszometriájának megszokott színezése. Ehhez szükséges az, hogy a modellező eszközzel az objektumokhoz tetszőleges szín és mintázat legyen rendelhető. 2,5D és 3D ábrázolások esetén ezeken túl a felületek plasztikusságát érzékeltető széleskörű árnyalási és megvilágítási opciók is szükségesek, amelyek segítségével valóságközeli megjelenítést érhetünk el. 3D ábrázolások esetében sokat jelent, ha a megjelenített képen nem csak ortogonális (párhuzamos) vetítési módban láthatjuk a modellezett területet, hanem perspektivikus nézetben is. Anaglif képek alkalmazásával még teljesebbé tehetjük a térélményt, de ehhez speciális (pl. kék-vörös szűrővel ellátott) szemüvegre van szükség. Ez utóbbi módszer ezért nem elterjedt.

## 5.2 Hagományos megjelenítés síkszerű ábrázolással

A fejezetben elsőként egy olyan földtani modellt ismertetek, ami megfelelő eszközök híján leginkább<sup>37</sup> csak adataiban és síkban megjelenített formájában érhető el; a 3D modellező eszköz pedig a modellezési eljárás maga. Ennek oka, hogy a kitűzött céloknak megfelelő<sup>38</sup> modellező szoftverek nem voltak anyagilag elérhetőek a kutatási program során, viszont az adatok térbeli eloszlása alapján létre lehetett hozni egy elméleti 3D modellt, amiről az adatok megfelelő matematikai transzformációjával sík leképezéseket tudtunk készíteni. A keletkező adatok sűrűségének és eloszlásának kellő pontosságú megjelenítéséhez megfelelő formát a kimeneti termékeken (térképeken) tudtuk prezentálni.

Kartográfiai szemszögből a módszernek még egy eredménye volt: az elméleti 3D modell leképezésére a geokartográfiában elhanyagolt jelentőségű *centrális hengervetület* leképezési szabályait alkalmaztam, s így e vetület gyakorlati hasznára is rávilágítottam.

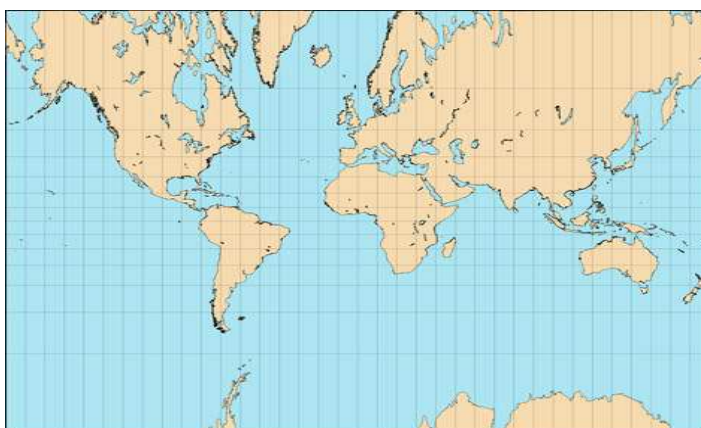
---

<sup>37</sup> Technikai lehetősége ugyan megvolt, hogy pl. AutoCAD-ben megjelenítsük az adatokat a virtuális térben, de azok elemezhetősége ezzel a szoftverrel korlátozott, ezért ilyen módon csak az adatok egy részének megjelenítésére került sor.

<sup>38</sup> A kimeneti formátummal szemben támasztott pontossági és formai követelményeknek valószínűleg nem felelt volna meg egyik szoftver sem a speciális adatgyűjtési körülmények miatt (l. később).

### 5.2.1 Bányavágatok térképének előállítása elméleti 3D modell alapján – a centrális hengervetület gyakorlati alkalmazása

A centrális (vagy centrografikus) hengervetület egy valódi perspektívikus vetület, amely a gömbi koordinátákat a gömb középpontjából kiinduló vetítési sugár mentén a gömböt érintő hengerre vetíti. A vetület egyenlítőben hossztartó, de geokartográfiai szempontból ez minden előnye, tekintve, hogy ha a vetítési henger a Föld tengelyével párhuzamos, akkor az egyenlítőtől a pólusok felé a torzulás annyira rohamosan nő, hogy a pólusok ábrázolhatatlanok (l. 30. ábra). Ebből kifolyólag a kartográfiai szakirodalom ezt a vetületet ritkán és többnyire csak elméleti szinten tárgyalja. A vetület eredete nem ismert; irodalmi utalások szerint (pl. FURUTI 2006) J. Wech 19. századi kartográfus alkalmazta, akinek a nevével helyenként fémjelzik, de valószínűleg korábban is ismerték már.



**30. ábra.** Centrális hengervetülettel ábrázolt világtérkép a 70° északi és déli szélességi köröknél levágva (FURUTI 2006 nyomán).

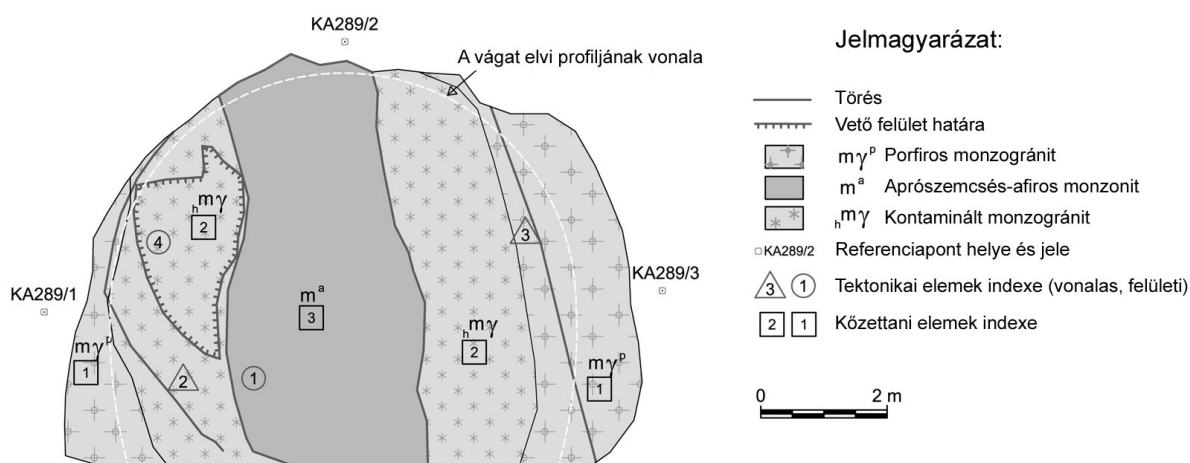
Az általam kidolgozott<sup>39</sup>, az ipari geológiai dokumentálási eljárásoknál eddig nem használt leképezési módszer e vetület új alkalmazási területére világít rá. Az egyedi modellezési eljárás kidolgozását a Bábaapáti közelében található erősen töredezett gránitos kőzetben, a kutatási területen alkalmazott sajátos bányászati technológia tette szükségsszerűvé, amit a következő fejezetekben ismertetek.

#### 5.2.1.1 Az adatgyűjtés körülményei

Bábaapátiban 1996 óta folyik a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék elhelyezésére irányuló kutatás. Ennek kapcsán 2005-ben megindult két kutatóvágat mélyítése. A vágatok az előzetes tervek szerint 164 m tengerszint feletti magasságból 0 m-ig, mintegy 1700 m hosszan mélyülnek.

<sup>39</sup> A kutatások során alkalmazott technológiai sor minden lépésében (így a terepi dokumentációban is) részt vállaltam, és a kidolgozott munkamenetre a projektben dolgozó kollégákat betanítottam.

A vágatokban földtani-tektonikai-, vízföldtani- és geotechnikai dokumentálás történt, 1:100-as méretarányban. A földtani-tektonikai dokumentálást a MÁFI végezte. A vágatok műszaki kivitelezése (kihajtása) hagyományos előfúrásos-robbantásos ciklusokban 21 és 25 m<sup>2</sup> felületű nagyjából körív alakú profilok alkalmazásával folyt (31. ábra). Az eredeti tervek alapján a vágatpalást dokumentálása történt volna, de a környező gránitos kőzet repedezettsége miatt a műszaki kivitelezéssel megbízott cég nem engedélyezte, hogy a földtani dokumentálást végző szakemberek megközelítsék a csupasz kőzetfalat, amíg a vágatok oldalfala és mennyezete (főtéje) vasbetonnal nincs biztosítva, ezáltal csak a vágathomlok (31. ábra) közvetlen dokumentálását téve lehetővé; a palástról csak fényképek készültek. Ennek ellenére a homlokok dokumentációs anyaga mellett meg kellett szerkeszteni a vágatpalást-szakaszok földtani térképét is 1:100 méretarányban.



**31. ábra.** A Bátaapáti Keleti-lejtősakna egyik vágathomlokjának helyszíni dokumentációja alapján készített méretarányos rajz (ALBERT ET AL. 2006/b alapján).

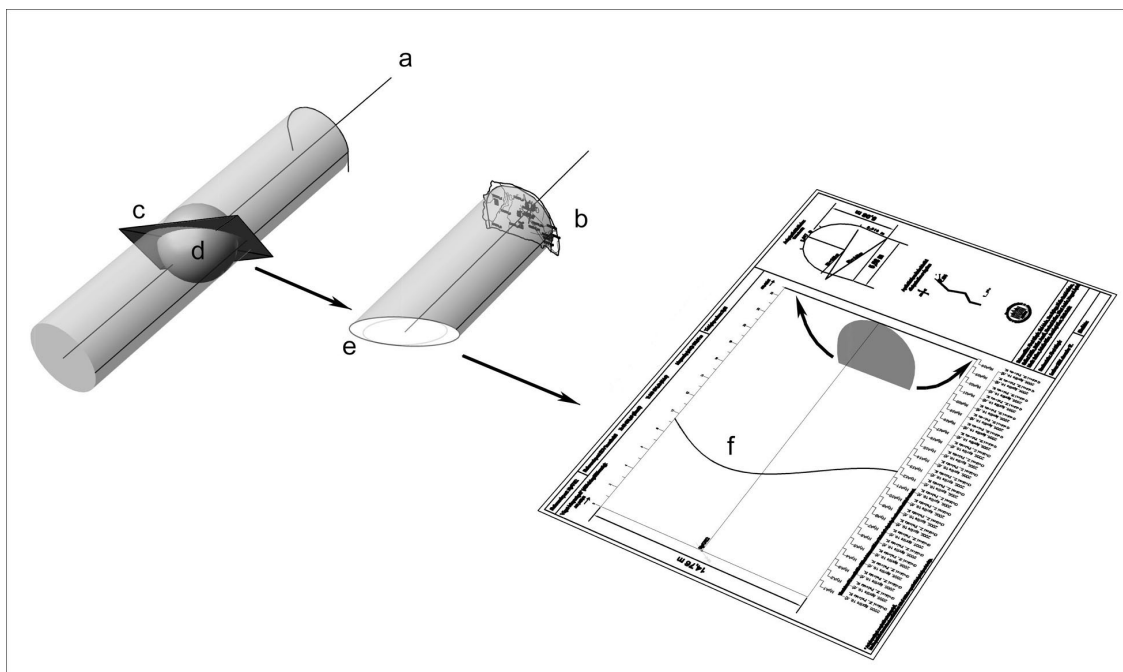
Mindegyik előfúrásos-robbantásos ciklus (ún. fogás) során a vágat nagyjából 1-3 métert haladt előre, ami a teljes hosszra kivetítve mintegy 3000 homlokrajzot jelentett. A vágatpalást (mindkét oldalfal és a mennyezet) földtani térképét szakaszonként szerkesztettük, amelyek hossza nagyjából 25 m volt. A teljes vágat hosszára kivetítve ez mintegy 140 megszerkesztett földtani térképet jelentett. A térképek vágatokhoz viszonyított koordinátarendszert követnek, amelyben a vízszintes tengely a vágatok hossz tengelyének felel meg, metrikus beosztású és az origó az adott vágat portálja. A vágat fala és mennyezete a függőleges tengelyre ki van vetítve (mintha felülnézetben kihajtogattuk volna; l. 32. ábra) oly módon, hogy a bal oldalfal mindig a térkép felső szegélyén, a főté mindig közepén és a jobb oldali fal mindig a térképszelvények alsó szegélyén található (a vágathajtás a térképen jobbra halad).

A fotók és a közvetlen észlelések adatainak felhasználására olyan feldolgozási módszert és matematikai modellt kellett kidolgozni, ami lehetővé tette nagyszámú kartográfiai végtermék előállítását, amelyek földtani szempontból is megfelelnek a rendelkezésre álló limitált adatokból nyerhető legrészletesebb értelmezésnek.

### 5.2.1.2 A földtani dokumentálás menete

A földtani dokumentálás minden ciklusban két lépésben történt. Első lépésben a vágathomlok és a vágatpalást szabad kőzetfelszíneit csak fotózták, míg a második lépésben a vágathomlok kőzeteit közvetlenül vizsgálták. Ekkor a vágatpalást kőzeteit már betonozással befedték, a balesetveszélyes kőzetomlások elkerülése végett. A dokumentálás lépései a következők:

1. Legalább három referenciapont kijelölése a vágat két falán és mennyezetén.
2. A bejelölt referenciapontok geodéziai bemérése, és legalább egy pont térbeli helyzetének mérése a vágat frontján.
3. A vágathomlok és a vágatpalást fotózása, ügyelve arra, hogy a bejelölt referenciapontok jól látszódnak.
4. A vágatpalást kőzetomlás elleni biztosítása vasbetonnal.
5. A vágathomlok kőzeteinek és törésfelületeinek közvetlen vizsgálata.



32. ábra. Sík leképezésének folyamata palásttérképre (ALBERT ET AL. 2006/b alapján). Magyarázat: a = vágattengely; b = vágathomlok; c = mért sík; d = paraméterezett gömb; e = vetített 3D ellipszis lap a hengerpaláston; f = a sík vetületi képe.

### 5.2.1.3 A palásttérkép előállítása

A palásttérkép, mint minden egyéb térkép, egy elméleti felületre vetített képe az egyenetlen felszínű, fizikailag is létező vágatpalástnak. Az elméleti felületet adott esetben a műszaki tervben meghatározott ideális vágatprofilból a vágatok haladási irányában „kihúzott” geometriai testnek a külső felülete. Az így leképezett objektumok eredeti térbeli pozíciója rekonstruálható a megfelelő térgeometriai műveletek segítségével. Ez a reverzibilitás biztosítja a dokumentáció ellenőrizhetőségét.

A palásttérkép előállításakor elsősorban a homlokon műszeres mérésekkel meghatározott síkszerű objektumok pontos megjelenítésére került a hangsúly. Ezek leginkább törési síkok voltak. A homlokon észlelt törések palástra vetített képének előállítása kettős leképezés alkalmazásával történik (32. ábra). A leképezés műveletének első lépéseként létrejön a lemért sík gömbi vetülete, majd a gömbről a sík képét rávetítem egy forgáshenger palástjára, ami kiterítve a leképezési síknak felel meg. A kettős leképezést a paraméteres egyenletek közti átszámításnál alkalmazott térgeometriai módszer teszi szükségessé (ALBERT ET AL. 2006/a).

#### *A gömbi vetület létrehozása*

A gömbi vetület létrehozása leginkább úgy képzelhető el, mintha egy adott dőlésiránnyal ( $\delta$ ) és dőlésszöggel ( $\alpha$ ) rendelkező síkkal elmetszenénk egy gömböt. A metszévonal minden esetben egy térbeli körlapnak felel meg. A gömbi leképezés során a modellezési eljárás alapelvei a következők:

- Minden mért síkot úgy tekintek, mintha a gömb középpontját tartalmazná, mivel így a gömbbel való metszete a gömb egyik főköre lesz.
- A gömb sugara az adott vágatszakas elvi profiljára legjobban illeszkedő kör sugarával azonos<sup>40</sup>.

Mivel a leképezési sík olyan hengerpalást lesz, amelyik a vágat tengelyével párhuzamos irányú, a gömb lokális polár-koordinátarendszerét el kell forgatnom a vágat tengelyének irányába úgy, hogy a gömb pólusiránya a vágat haladási irányának feleljen meg, és a kezdő forgásszög az egykori pólusirányt (N) tartalmazza. Ez a koordinátageometriai transzformáció a szférikus geometria szabályainak alkalmazásával oldható meg (l. alább).

Ismerem a síknak az N zenitponttal értelmezett lokális polár-koordinátarendszerhez viszonyított szögeit; ezek a következők:

- $\delta^{[0-90^\circ]}$  a vízszintes síktól (a segéd-egyenlítő síkjától) való dőlés;

<sup>40</sup> A geotechnikai dokumentáció során észlelt paraméterek alapján közetosztályokat (I–V) határoztak meg, amelyek megszabták az alkalmazandó elvi vágatprofil (és az illeszkedő kör) méretét.



- $\alpha^{[0-360^\circ]}$  a mágneses északi iránytól (segéd-kezdőmeridiántól) való eltérés az óramutató járásával megegyező irányban.

Ismerem továbbá a vágat dőlésirányát ( $\alpha_{N^*}$ ) és dőlésszögét ( $\delta_{N^*}$ ) ugyanebben a lokális koordinátarendszerben, ami az elforgatott koordinátarendszerben a relatív zenitpontnak ( $N^*$ ) felel meg. A sík normálisának dőféspontja is nevezetes ( $N^{**}$ ), amelynek az elforgatott koordinátarendszerben értelmezett paramétereit ( $\beta_{N^{**}}^*$ ,  $\lambda_{N^{**}}^*$ ) a szférikus geometria  $NN^*N^{**}$  gömbháromszögre felírt oldal-cosinus tételével (pl. SMART 1960) számítunk ki.

$$\cos \beta_{N^{**}}^* = \cos \beta_{N^{**}} \cdot \cos \beta_{N^*} + \sin \beta_{N^{**}} \cdot \sin \beta_{N^*} \cdot \cos \Delta \lambda^I$$

$$\cos \lambda_{N^{**}}^* = \frac{\cos \beta_{N^{**}} - \cos \beta_{N^{**}}^* \cdot \cos \beta_{N^*}}{\sin \beta_{N^{**}}^* \cdot \sin \beta_{N^*}}$$

$$\beta_{N^{**}} = 90^\circ - \varphi_{N^{**}} = \delta$$

$$\beta_{N^*} = 90^\circ + \delta_{N^*}$$

$$\Delta \lambda^I = \alpha_{N^*} - \alpha$$

A számítások eredményeként megkapjuk a síknak, az elforgatott koordinátarendszerben értelmezett dőlésirányát és dőlésszögét.

Az elforgatott koordinátarendszerben az ismert sík és a gömb metszeteként létrejövő főkörön vett általános pont (P) paraméteres egyenleteit szintén a fenti tétel segítségével írjuk fel. Ehhez egy háromegyenletes egyenletrendszert állítunk fel a  $N^{**}PN$  (I), a  $N^{**}N^*P$  (II) és a  $N^*PN$  (III) gömbháromszögekre.

$$(I) \quad \cos \beta_P = \cos \beta_{N^{**}}^* \cdot \cos \beta_{N^{**}} + \sin \beta_{N^{**}}^* \cdot \sin \beta_{N^{**}} \cdot \cos(\lambda_{N^{**}}^* - \lambda_P^*)$$

$$(II) \quad \cos \beta_P^* = \cos \beta_{N^{**}}^* \cdot \cos \beta_{N^{**}}^* + \sin \beta_{N^{**}}^* \cdot \sin \beta_{N^{**}}^* \cdot \cos \lambda_{N^{**}}^*$$

A gömbi koordinátarendszerben  $\beta_{N^{**}}^*$  a P pont szélességi paramétere, azaz  $N^{**}P$  főkörív fokokban kifejezett hossza. Mivel a sík és a gömb metszészvonalának bármely P pontja a sík normálisának  $N^{**}$  dőféspontjától pontosan  $90^\circ$ -ra van, ezért:

$$\cos \beta_{N^{**}}^* = 0$$

Az I–II egyenletek tehát így módosulnak:

$$(I) \quad \cos \beta_P = \sin \beta_{N^{**}} \cdot \cos(\lambda_{N^{**}}^* - \lambda_P^*)$$

$$(II) \quad \cos \beta_P^* = \sin \beta_{N^{**}}^* \cdot \cos \lambda_{N^{**}}^*$$

A  $\lambda_{P}^{**}$  és  $\lambda_{N}^{**}$  a gömbháromszögek  $N^{**}$  pontban értelmezett szögei, ahol  $\lambda_{P}^{**}$  a metsző köríven vett tetszőleges P pont,  $\lambda_{N}^{**}$  pedig az eredeti zenitpont relatív hosszúsági értéke a kezdő-segédmeridiántól, ami ebben az esetben az  $N^*$  tengelypontot kell, hogy tartalmazza.

A  $\lambda_{N}^{**}$  a  $NN^*N^{**}$  gömbháromszögre felírt egyenletből kiszámítható:

$$\cos \lambda_{N}^{**} = \frac{\cos \beta_{N^*} - \cos \beta_{N^{**}} \cdot \cos \beta_{N^{**}}^*}{\sin \beta_{N^{**}} \cdot \sin \beta_{N^{**}}^*}$$

A P pont másik paramétere a  $\lambda_{P}^{**}$  a számítások során,  $1-360^\circ$  értékben a felhasználó által definiált állandóként szerepel.

$$(III) \quad \cos \beta_P = \cos \beta_N \cdot \cos \beta_P^* + \sin \beta_N \cdot \sin \beta_P^* \cdot \cos \lambda_P^*$$

A III egyenlet segítségével a harmadik  $N^*PN$  gömbháromszögből szintén kifejezhetjük az I egyenletben szereplő  $\beta_P$  oldalt, így az I és a III egyenletből megkapjuk  $\lambda_P^*$  értékét, azaz a P pont hosszúsági paraméterét a vágattengely irányába elforgatott gömbi koordináta-rendszerben.

$$\cos \lambda_P^* = \frac{\sin \beta_{N^{**}} \cdot \cos(\lambda_{N}^{**} - \lambda_{P}^{**}) - \cos \beta_{N^*} \cdot \cos \beta_P^*}{\sin \beta_{N^*} \cdot \sin \beta_P^*}$$

### ***A centrális hengervetület létrehozása***

A második lépésben egy valódi vetületi leképezést alkalmaztam, mégpedig az egyenlítőben hossztartó centrális hengervetületet. Ez a vetület a henger középpontjából indított vetítési sugárral képezi le a paraméterezett gömbön lévő objektumokat, s így nagyon hasonlít a vágattengely középpontjából a palástról sugárirányban készített fotódokumentáció alapvető geometriai jellegéhez.

Az „egyenlítő” jelen esetben a vágattengely aktuális irányába elfektetett hengernek és az adott fogás homloktávolságában a forgáshenger tengelyére merőleges síknak a metszészvonala, ez a sík az elforgatott gömb koordináta-rendszerében valóban az „egyenlítő” síkjának felel meg. A vetítési kezdőpont a gömb középpontja, ami a forgáshenger tengelyén helyezkedik el.

A korábbiakban ismertetett paraméteres egyenletek eredményeit behelyettesítve a vetületi egyenletekbe, megkapjuk a vetítési síkon az általunk választott P pont képét.

$$x = R \cdot \arccos \lambda_P^*$$

$$y = R \cdot \frac{\sin(90^\circ - \beta_P^*)}{\cos(90^\circ - \beta_P^*)}$$

A vetítési sík  $x$  koordinátája a vágattengelyre merőleges, míg  $y$  koordinátája a vágattengellyel párhuzamos lesz. Mivel az elforgatott gömb segéd-kezdőmeridiánja tartalmazza az eredeti méréssel relatív zenitpontot (N), ezért N-képe a palásttérkép középvonalán fog elhelyezkedni. Attól függően, hogy a sík dőléspontja ( $N^{**}$ ) hol helyezkedik el az elforgatott gömbi koordinátarendszerben, az egyenletből kapott  $x$  értéket módosítani kell  $arc\lambda_{N^{**}}^*$  értékkel.

A perspektivikus leképezés folyamata úgy is elképzelhető, hogy a forgáshenger palástján a vetítési kezdőpontból a leképezendő pontokhoz húzott egyenesek (vetítősugarak) meghosszabbítva a hengerpaláston dőléspontok sokaságát hozzák létre, ez a megjelenő vetületi kép, ami pontonként összekötve egy olyan térbeli ellipszislap lesz, amely tartalmazza a törési sík gömbi vetületének megfelelő térbeli körlapot.

A vetületi egyenletekből szerkesztett rajzolatok (módosított koszinuszgörbék) a törések ideális képét jelenítik meg. Az ideális eset akkor áll fenn, ha a törés geometriailag egy egyenes sík, és a palást egy szabályos henger. A palást valódi geometriája azonban csak erős absztrakcióval feleltethető meg egy hengerpalástnak, ezért a fotókon rögzített kép nem mindig támasztja alá azt, amit a törés megszerkesztett képe sugall. Ilyen esetekben a térkép szerkesztője dönti el, hogy a fotóra, vagy a szerkesztett vonalakra hagyatkozik-e. A szerkesztett vonalak nyújtotta támpont elsősorban az egymással szomszédos dokumentálási szakaszok (fogások) töréseinek korrelációjánál hasznos; egy részük azonban lehetőséget ad egymástól távolabb eső fogások töréseinek egyeztetésére is.

Ahogy egy felszínt ábrázoló földtani térkép szerkesztésekor nem hagyatkozhatunk csupán a koncepcionálisan, szabadkézzel húzott vagy többé-kevésbé feltérképezett szerkezeti vonalakra, hanem a szerkezetföldtani mérések alapján a domborzatra vetítjük a mért objektumokat, úgy a vágattérkép esetében sem tehetjük meg ezt. Emiatt a földtani és szerkezetföldtani objektumok vetületi képének értelmezése egy komplex, időigényes elemzési feladat, ami nagyfokú felkészültséget igényel és nem kerülhető ki sem a fent vázolt, sem más technológia alkalmazása esetén.

#### 5.2.1.4 Hibaforrások

A vágatpalást térképei a matematikai modell sajátosságaiból (*belső hiba*) és a földtani-tektonikai dokumentáció pontatlanságaiból (*külső hiba*) adódóan óhatatlanul hibákkal terheltek. A modell belső hibáját a modellezési eljárás határozza meg, ezért a matematikai modellt úgy kalibráltuk, hogy a földtani-tektonikai dokumentáció mérési pontossága legyen a

modell struktúrájából adódó hiba maximális értéke. Ennél pontosabb modellre való törekvésnek az adott helyzetben nincs értelme.

A *belső hibák* forrása a következő:

- A vágatmodell tengelye és a vágat valódi tengelye nem illeszkedik egymásra. Ez a robbantási technológia okozta hiba a referenciapontok koordinátaiban jelentkezik. A két tengelyvonal közti eltérés átlagosan 1 m-nél kisebb. A hiba nem kumulatív.
- A vágatmodell egy hengerpalást, de a vágat íve az alagút talajszintje közelében „kinyílik”, ezért a fotókon látható lineamensek és a vetített kép illesztésekor a palásttérkép alja és teteje közelében nem lehet 100%-os pontosságra törekedni. A kinyílásból fakadó hiba a tengellyel közel párhuzamos síkok esetében érzékelhető csak, mivel a szinusz-ívek rajzolata így kevésbé elnyújtott lesz. A hiba mértéke a sík helyzetétől függ, és pontosan nem becsülhető. Általában a fotók alapján korrigálható.
- A palást felszíne egyenetlen, ezért a fotókon látható törések lefutása torzított. A torzítás mértékét nem lehet pontosan meghatározni, de a hiba nem halmozódik.
- A lemért sík vetületi képe a palásttérkép aktuális szakaszán, az  $x$  tengely-szerint helyesen, de az  $y$  tengely szerint oldalirányba eltolt helyzetben jelenik meg. Az eltolás mértéke attól függ, hogy a törés a vágattengelytől milyen messze volt a mérési ponton. Mivel erre nincs adatunk, a hiba az objektum fotókon történő beazonosíthatóságán múlik. Az észlelt törések a tapasztalatok szerint 95%-ban azonosíthatóak voltak a fotókon is.

A *külső hibák* két csoportra bonthatók: a helyszíni mérés hibáira és a dokumentáció hibáira. Míg az előbbi az alkalmazott mérőeszköz és a mért objektumok sajátosságának függvénye, utóbbi alapvetően a zord körülmények és az emberi tényező összegződéséeként jön létre. A terepi dokumentáció sötét, sáros, sziklatömbökkel és mély pocsolyákkal teli fokozottan veszélyes, poros helyszínen zajlik, ahol a vágathajtás menetrendjéből adódóan a közvetlen földtani észlelésre mindössze  $\frac{3}{4}$  óra áll rendelkezésre. Ebben a szituációban a pontos megfigyelések akkor is nehezen megvalósíthatóak, ha egyéb (pl. sziklahullás, üzemzavar, lerövidített dokumentációs idő, stb.) körülmények nem zavarják az észlelést.

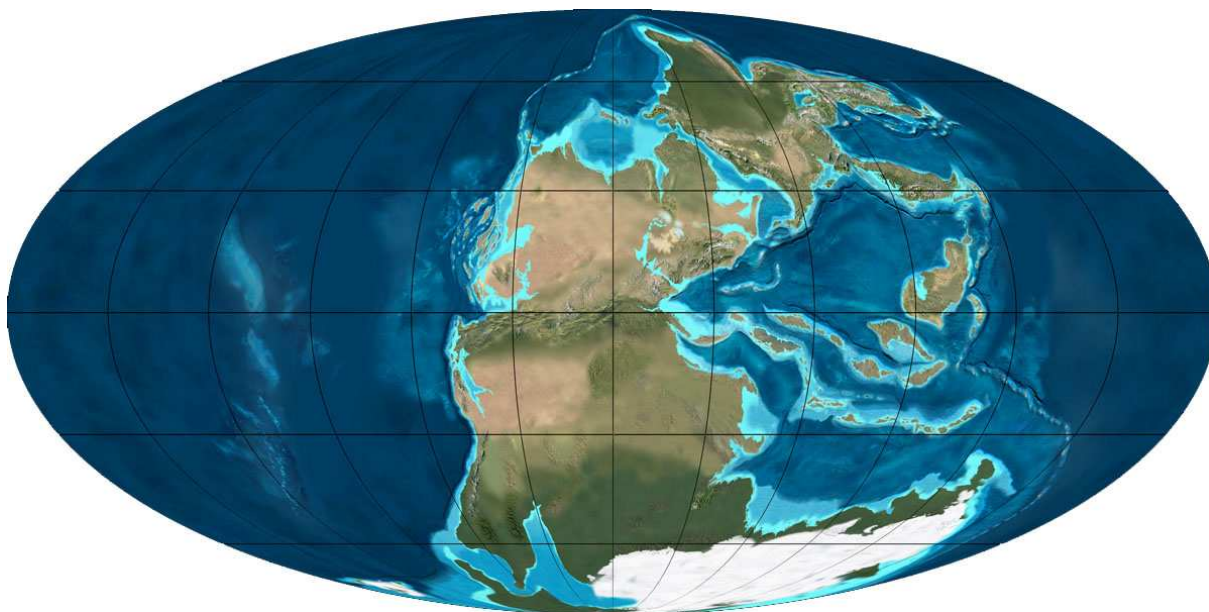
A földtani szerkesztési és a grafikai műveleteket kivéve minden munkafázist igyekeztünk automatizálni, mivel a kivitelezést gyorsan, rövid határidővel követelte meg a megrendelő. Az adatfeldolgozás automatizált fázisai egyúttal lehetővé tették a kiindulási adatok közti hibák

felismerését és kiszűrését is. Ezek nagy része szintén korrigálható volt, mivel a többlépcsős adatfeldolgozás során kerültek az adathalmazba (pl. elírás miatt), tehát a dokumentáció hibái közé tartoztak.

A klinométeres kompasszal mért dőlésirány és dőlésszög adatok értékei +/- 5–15° pontosságúak, ami nagyságrendileg a belső hibák maximális mértékének felel meg. Az ennél nagyobb mérési hibákra az objektumoknak a mért adatból előállított vetületi képének és a fotódokumentációnak az összevetése világított rá. Az egyértelműen beazonosítható törések esetén a hibát korrigálni tudtuk, azonban egy részük örökre kinyomozhatatlan maradt, mivel a fotók alapján nem lehetett őket azonosítani, és dokumentált vágathomlokok megsemmisültek.

### 5.2.2 A földtani modellek és térképek nagyközönség számára is elérhető, érthető interpretációi

Belátható, hogy a geológusok viszonylag szűk társadalmán kívül is előfordulnak földtudományok iránt érdeklődő, a természetet járó emberek, akiknek jogos igényük van arra, hogy boltban megvásárolható kiadványokkal tágíthassák földtani ismereteiket. Ezek a kiadványok a földtani kutatásokból származó eredményeket osztják meg az érdeklődőkkel sokszor olyan formátumban, ami magának a kutatásnak is része volt. Ahogy magának a földtannak is szerteágazó résztudományai vannak, a publikum számára készített kiadványok formái is nagy változatosságúak. Az őslénytani kutatásokban a leletek alapján készült rekonstrukció jut el a közönséghez. Az ősföldrajzi kutatások eredményei térképszerű, mai domborzati atlaszok színezését alkalmazó ősföldrajzi rekonstrukciók (33. ábra).



33. ábra. Késő-perm korú Föld ősföldrajzi térképe Mollweide-féle vetületben (BAKEY 2006 nyomán).

A szedimentológia (üledékföldtan) és a szerkezetföldtan területén már régóta része a kutatásoknak a földtani modellezés, ezért találkozunk legtöbbször tömbszelvényekkel és függőleges metszetekkel a népszerű kiadványokban is. Tanulmányomban ez utóbbiak ábrázolásmódjával foglalkozom részletesebben.

A földtant népszerűsítő kiadványok egy része megtalálható a könyvesboltok polcain, esetleg magának a földtani látványosságoknak a helyszínén (pl. nemzeti parkok árusítóhelyein). Más részük azonban (legalább is a magyarországi gyakorlatban) sajnos nem. Ez utóbbiak közé tartoznak a hazai földtani térképek, amelyek (l. 3.2 fejezet) a földtani alap kutatás legrégebbi és legátfogóbb anyaggal rendelkező dokumentumai, s mint ilyenek, a nagyfelbontású földtani modellek<sup>41</sup> elsődleges adatforrásai. A földtani modellek tehát síkban (papíron) három módon mutathatók be:

- I. Tömbszelvényel.
- II. Függőleges és vízszintes metszettel.
- III. Térképpel.

Bár mindhárom ábrázolásmód alkalmas arra, hogy egzakt módon mutassuk be a földtani környezetet, a *tömbszelvényeket* ritkán használjuk mérésre. A *függőleges metszetek* (a földtani szelvények) sem hordoznak olyan információt, amit egy laikus gyakorlatban hasznosítani tudna, ezért csupán érdekességnek tekinti.

A *vízszintes metszetek* a modelleket felülről mutatják be, ezért legpraktikusabb ábrázolásmódjuk a felszíni térképpel együtt történő bemutatásuk. A vízszintes metszetek elnevezés alatt tehát a 3D modell egy bizonyos magassági tartományának az alaptérképre vetítését értjük. Ugyanezt tesszük a harmadik ábrázolási mód a *térképi leképezés* esetén, ahol azonban a modell egy-egy belső diszkontinuitását (felületét) jelenítjük meg 2,5D módszerekkel (l. 5.1 fejezet). Ilyen értelemben maga a felszíni földtani térkép is a modell egy síkszerű ábrázolásának fogható fel, de a modell mélyebb felületeit (pl. negyedidőszaki képződmények alatti<sup>42</sup> felszín) is bemutatathatjuk ugyanilyen módon. Ezek általában a nagyobb lepusztulási időszakokat megelőző felszínek, amik mind a szakmai, mind a kívülállóknak szemszögéből érdekesek.

A térképi ábrázolásmódnak van a legnagyobb hagyománya, és ezért ez a legalkalmasabb arra, hogy a földtani információt a szakmán kívüli közönség felé közvetíteni tudja. Ennek felismerése vezetett oda világszerte, hogy a gyakran használatos topográfiai térképek idővel

---

<sup>41</sup> A földtani modellek alatt ebben az esetben mind az analóg „kézzel” szerkesztett modelleket, amelyek alapja a földtani térkép és (ha van) a kutatófúrás, mind a valódi 3D modelleket értünk.

<sup>42</sup> Az első jégkorszakot megelőző képződmények lepusztult felszíne.

földtani tematikával is elkészültek<sup>43</sup>, és ezeket boltban árusítják is. A hazai gyakorlatra sajnos ez csak részben érvényes. Magyarországon általában nem, vagy csak könyvmellékletként elvéve találkozhatunk bolti forgalomban földtani térképpel.

Ezek a térképek azonban vagy nem alkalmasak terepi tájékozódásra, vagy nem nyújtanak részletes információt a terület földtani felépítéséről. Ilyen igényeket kielégítő térkép kiadványban történő bemutatására Magyarországon először 2002-ben történt kísérlet (37. ábra). A térkép egy geológiai kirándulásvezetőként kiadott könyv (BUDAI ET AL. 2002) belső borítóján kapott helyet. Azóta – ha lassan is – e hiányosság pótlása megindult Magyarországon is.

A következő fejezetekben először a modellekből előállított, népszerű kiadványokba szánt tömbszelvényekre és szelvényekre mutatok be példákat, majd a földtani térképek nagyközönségnek szánt formátumának, a földtani túratérképnek a műfaját ismertetem.

### 5.2.2.1 Modellekből népszerűsítési céllal előállított szelvények

A függőleges szelvények előállításának képessége a modellezési környezetben alapvető követelménye egy 3D modellező szoftvernek (l. 3 fejezetben). Azokban a kutatásokban, ahol földtani modellezést is alkalmaznak, a modellekből szerkesztett földtani szelvények képezik a megértés alapját, ezért a szélesebb körű terjesztésnek is ezek lesznek a forrásanyagai. Erre példa a Káli-medence fejlődéstörténetének kutatása (CSILLAG 2002), ahol a felszíni domborzatmodellek és fúrási dokumentációk alapján szerkesztett kompozit-ábrák (pl. 34. ábra) népszerűsítő kiadványban is megjelentek (BUDAI ET AL. 2002).

Ugyanebben a kiadványban a Balaton-felvidék másik területéről, a pécselyi Zádor-vár környékéről is megjelent egy földtani 3D modellekből szerkesztett tömbszelvény (35. ábra). A 3D modell a földtani térkép és a felületmodell összevonásából keletkezett.

**13. táblázat. A földtani tudományos és a népszerűsítő kiadványokban alkalmazott elnevezések összehasonlítása**

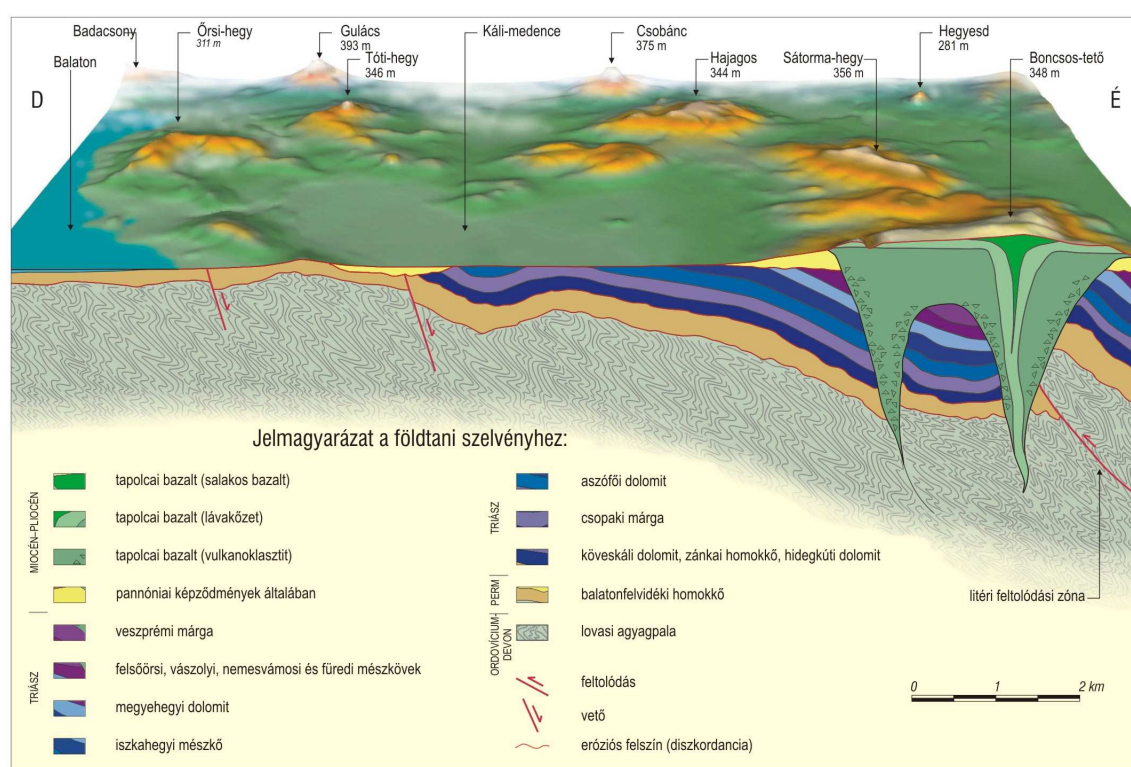
Jel*	Földtani nevezéktanban használatos elnevezés	Köznyelvben használatos elnevezése
${}_dQp$	Deluviális üledékek	Lejtőüledék
${}_pQp$	Proluviális üledék	Időszakos vízfolyások üledéke
${}_eQp_3^h$	Futóhomok	Futóhomok
${}_fT_2$	Felsőörsi Mészke Formáció	Felsőörsi mészke, középső-triász mészke
${}_bP_2$	Balatonfelvidéki Homokkő Formáció	Balatonfelvidéki vörös homokkő, perm vöröshomokkő

\*A képződmény földtani szakirodalomban használatos jele

<sup>43</sup> A különböző országok geológiai szolgálatait által készített térképsorozatok a polgári célra használt topográfiai térképsorozatokra alapozva kerülnek kiadásra időeltolódással (pl. Franciaország területét 1060 db 1:50 000 méretarányú térképszelvény fedi le).

A népszerűsítő céllal megjelenő földtani szelvények és tömbszelvények jelmagyarázatában a földtani képződmények megnevezése a mindennapokban is használatos szókészlettel történik (l. 13. táblázat).

Az idősebb (nem negyedidőszaki) képződményeknél legtöbbször a földtani tulajdonnevek egyszerűsített, köznevesített változatát tüntetjük fel, amelyben vagy a típuslelőhelyre, vagy a képződmény korára teszünk utalást. Láthatjuk, hogy a negyedidőszaki képződmények (a táblázat első 3 sora) esetén a magyarországi nomenklatúra többnyire olyan idegen megnevezéseket tartalmaz, amelyek a köznyelvben nem jelentek meg, ezért ezeket a fogalom magyarázatával szokás definiálni.



34. ábra. A Káli-medence szelvényének és domborzatmodelljének kompozit képe (BUDAI ET AL. 2002).

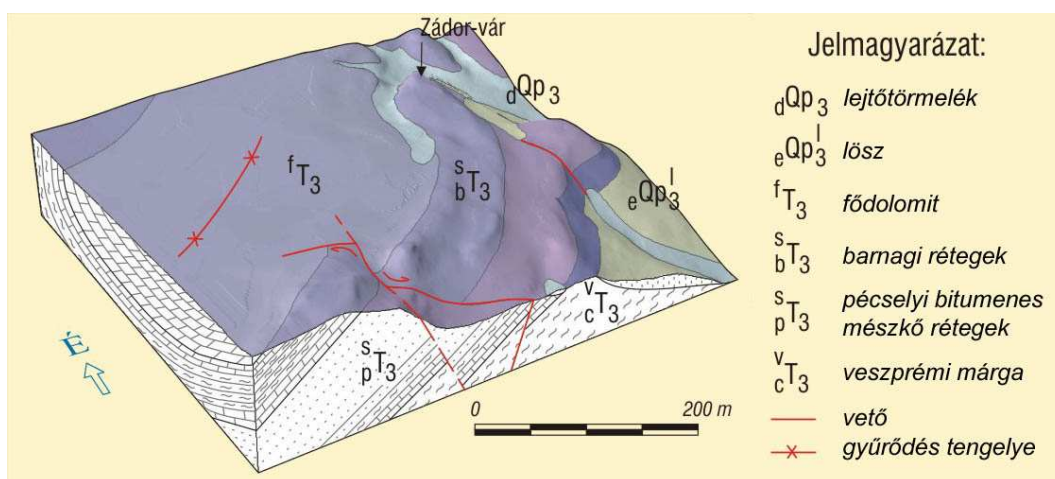
Az ábrák jelmagyarázatában szereplő jelek sokszor, ha a jel nem túl bonyolult, megmaradnak a földtani szakma által is használatos formában, de legtöbbször célszerű egyszerűbb, a szakmán kívüliek számára is érthető, összevont jeleket alkalmazni. Erre példa a MÁFI 2009-ben megjelent 1:200 000 méretarányú nagyközönségnek szánt országos földtani atlasza (BUDAI & GYALOG 2009)<sup>44</sup>. Ebben a kiadványban – habár nem függőleges szelvényekről szól – a földtanban alkalmazott geológiai jelek praktikus összevonásával

<sup>44</sup> A térkép eredetileg 1:250 000 méretarányban 4 db A0 lapon nyomtatva jelent volna meg. Az atlasz formátumú térkép ötletét először én vettem fel, a szerkesztőbizottság előtt. A tervezésében, valamint a több évig tartó technikai és geológiai szerkesztésében szintén részt vettem.



találkozhatunk. A geológiai formációkra tagolás helyett koruk és kőzettípusuk (mészkő, homokkő, agyag, stb.) szerinti színezéssel, valamint a képződési korra utaló betűjellel indexelték a jelkulcsi elemeket, ezáltal jóval kevesebb felületi szín kategóriát kellett elhelyezni a térképen. Ennek ellenére egy laikus olvasó számára még így is túl részletező a jelkulcs.

Ez a kiadvány a hazai földtani kutatás eredményeinek hosszú idő óta az első országos volumenű térkép-formátumú közvetítője a nagyközönség felé. A következő fejezetben erről a műfajról írok részletesen.



35. ábra. A pécselyi Zádor-vár környékének földtani felépítését bemutató tömbszelvény (ALBERT 2002).

### 5.2.2.2 A földtani túratérkép műfaji ismertetése

A magyar térképolvasók körében a turistatérkép jól ismert, népszerű termék. A földtani térképeket már jóval kevesebben ismerik; akik forgatják, többnyire szakemberek és kutatók, jól tudják, hogy ezek a térképek általában alkalmatlanok a terepi tájékozódásra. Tanulmányomban korábban bemutatott térkép-archiválási és feldolgozási módszer (l. 3.3, 3.4 fejezetek) kialakításakor céлом volt e hiányosság kiküszöbölése azzal, hogy a raszteres topográfiai térképet alkalmaztam a földtani észlelési térképek alapjaként, és jelmagyarázattal, illetve terepen kényelmesen forgatható külsővel láttam el a térképlapokat. A nem szakmai közönség számára azonban ennél több szempontot kell szem előtt tartani.

A földtani- és a turistatérképeknek közös gyökere a topográfiai térkép; míg azonban a terepi tájékozódást segítő adatok szempontjából a turistatérképek a kiindulási térképhez képest bővülnek, addig a földtani térképek jelentősen vesztenek az eredeti topográfiai térkép információtartalmából. Ennek oka részben technológiai korlátokban, részben a földtani szemléletben keresendő. E két térképfajta keresztezéséből, a topográfiai térképből levezetett

ellentétes irányú információváltozás ellenére, létrejön egy önálló műfaj, a földtani túratérkép, mely földtani információt hordoz és terepi tájékozódásra alkalmas.

A földtani térképeket a világ legtöbb országában állami megbízásból, térképező geológusok készítik, ezért a térképezés során terepen használható nagy méretarányú térképek listáján legtöbbször az állami topográfiai térképmű szelvényei szerepelnek az első helyen. A földtani térkép szerkesztési folyamatának első állomása a terepi észlelés. Ennek során a szakember egy terepi tájékozódásra alkalmas térképpel bejárja a helyszínt, majd a földtani képződményeket feltünteti az ún. felvételi (észlelési) térképlapon. Terepi munkára akkor is szükség van, ha korábban készültek előzetes térképvázlatok légi-, vagy űrfotók alapján.

Mivel a felvételi térképlapok legtöbb esetben, a korábban említett okból kifolyólag, vagy attól függetlenül, az ország topográfiai térképművének nagy méretarányú szelvényeivel megegyező paraméterekkel rendelkeznek, a megszerkesztésre kerülő földtani térképek nagy valószínűséggel örökölni fogják az említett térképmű alaptulajdonságait; úgymint: alapfelület, vetület, koordinátarendszer, szelvényezési rendszer és nomenklatúra. Ennek eredményeképp a geológiai térképművek szelvényezése gyakran a hivatalos topográfiai térképművek szelvényezését követi. Magyarországon a MÁFI végzi az ország területének rendszeres földtani térképezését, és ezáltal a földtani térképek szerkesztése is leginkább itt zajlik. A felvételi térképek méretaránya 1:5000-1:10000 és általában a Gauss-Krüger topográfiai térképrendszer szelvényezési struktúráját követi.

**14. táblázat. Forgalomba hozott országos térképsorozatok és tájegységi térképek Magyarországon (ALBERT 2002 alapján módosítva)**

érintett terület	nyomatásban megjelent	koordináta-rendszer	kiadás ideje	megjegyzés
országos	1:100 000 (fájlban)	EOV, St	2006	G-K szelvényezés
országos	1:200 000 (B0-ás íven)	nincs	1962-1977 között	G-K szelvényezés
Aggtelek-Rudabányai-hg.	1:25 000 (A0-ás íven)	nincs	1988 (térkép); 2006 (magyarázó)	2 lap, magyarázóval (92 o.)
Velencei-hegység	1:25 000 (112x81 cm)	EOV, St	2000 (térkép)	1 lap, magyarázóval (316 o.)
Északi-Bakony	1:25 000 (A0-ás íven)	nincs	1957	1 lap
Budai-hegység	1:25 000 (A0-ás íven)	nincs	1977	1 lap, magyarázóval (76 o.)
Balaton-felvidék	1:50 000 (A0-ás íven)	EOV	1999	2 lap, magyarázóval (257 o.)
Vértes	1:50 000 (A0-ás íven)	EOV	2008	1 lap, magyarázóval (368 o.)
Bükk	1:50 000	EOV	2002	1 lap, magyarázóval (284 o.)
Börzsöny és Visegrádi-hg.	1:50 000	nincs	1999	1 lap, magyarázóval (216 o.)
Tokaji-hegység	1:50 000 (A0-ás íven)	nincs	1976	1 lap
Bakony	1:50 000 (A0-ás íven)	nincs	1981 (fedett); 1982 (fedetlen)	2x4 lap, magyarázóval (119 o.)

Magyarázat: EOV= Egységes Országos Vetületi Rendszer; St= Sztereografikus Koordinátarendszer; G-K= Gauss-Krüger Topográfiai Térképrendszer.

A hagyományos turistatérképek méretaránya 1:20000-1:100000 között változik leggyakrabban. Ugyanebbe a tartományba esnek a 14. táblázatban felsorolt országos, valamint az ún.

tájegységi földtani térképek is, tehát a két kategória összevonását elvileg nem nehezíti a különböző méretarány miatt szükséges generalizálás.

A MÁFI jelenlegi gyakorlata szerint csak az 1:50 000-es méretarányú tájegységi térképek kerülnek nyomdai sokszorosításra, azok is korlátozott számban, és korlátozott terjesztői bázissal, többnyire hajtogatás nélkül (pl. Bakony), vagy könyvmellékletként. Jelenleg csak a MÁFI térképtárban árusítanak ilyen kiadványokat, melyekhez vaskos monografikus jellegű térképmagyarázókat mellékelnek; ezek nélkül nemcsak egy laikus, de a szakemberek is nehezen értelmeznék a térkép jeleit. A terepi igényeknek is megfelelő nem szakmai közönségnek szánt földtani tematikájú térkép a MÁFI-ban 1989-óta<sup>45</sup> (DANK ET AL. 1989), 20 év szünet után 2009-ben jelent csak meg (BUDAI & GYALOG 2009).

A forgalomban lévő földtani térképek (l. 14. táblázat) önmagukban legtöbb esetben alkalmatlanok a terepi felhasználásra<sup>46</sup> mert kevés és nehezen olvasható topográfiai információ van rajtuk. A terepi munka során maguk a szakemberek is a topográfiai, a turista valamint a földtani térképek együttes használatát részesítik előnyben, illetve javasolják ezek használatát a biztos tájékozódás érdekében. A terepi használat nehézsége elsősorban abból fakad, hogy ezeket a térképeket szerkesztőik asztali használatra, vagy falitérképnek (pl. Balaton-felvidék, Bakony) szánták. Emiatt nagyméretűek, nincsenek hajtogatva és a térképlap egészének (beleértve a címet és jelmagyarázatot is) kihasználtsága többnyire nem haladja meg a 60-70%-ot. Ha valaki rászánja magát, és házilag összehajtogatja a térképet, szembesül azzal a problémával, hogy hajtogatás miatt a jelmagyarázat és/vagy a térképi tartalom nehezen lesz elérhető használat közben.

Látható tehát, hogy a hazai turista közönség igen nehezen juthat hozzá földtani információt hordozó térképekhez, és ha valaki mégis be tudja szerezni, csak nehezen vagy egyáltalán nem tudja használni terepen. Ahhoz, hogy példát találjunk a probléma megoldására, nem kell túl messzire mennünk. Az 1990-es évek végétől turisták számára készített földtani térképek kezdtek megjelenni Csehországban, Lengyelországban és Szlovákiában. A nyugat-európai országok, valamint az Egyesült Államok és Kanada földtani érdekességeit már korábban is megismerhette térképen a nagyközönség.

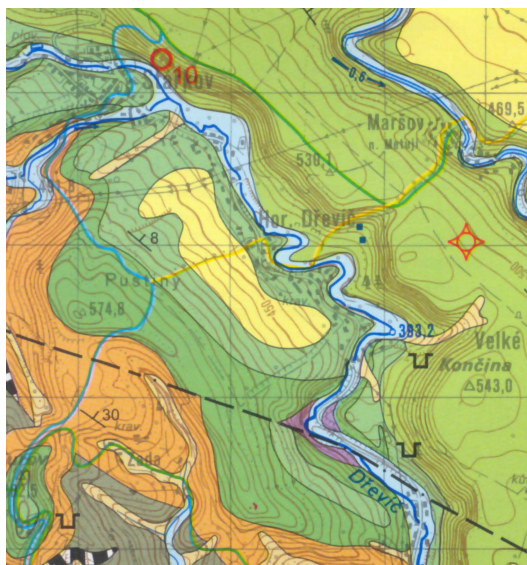
A cseh-lengyel határon húzódó változatos földtani képződményeket rejtő Érchegység régóta vonzza a turistákat természeti látnivalókkal, de a felszín alatti kuriózumokat csak a

---

<sup>45</sup> A Központi Földtani Hivatal (KFH) által kiadott 1:600 000 méretarányú országos térkép, mely az 1980-as évek végén jelent meg, és piktogramok illetve rajzok segítségével ismertette az ország jelentősebb földtani látványosságait magyar és angol nyelven.

<sup>46</sup> Leginkább a Velencei-hegység 1:25 000 földtani térképe alkalmas, mivel ennek viszonylag nagy a méretaránya és emiatt a topográfiai tartalmat mérsékelten csökkentették a szerkesztők.

szakavatott kirándulók ismerték. Első kísérletek a terepen olvasható geológiai térkép létrehozására a kilencvenes évek közepére tehetők. Ekkor még a hagyományos topográfiai térkép sík- és domborzatrajzát raszteres alpnak használva szerkesztettek egyedi kivágattal, a topográfiai szelvényezéstől független földtani térképeket. Ezeken még (a topográfiai alpnak köszönhetően) szerepelt növényzeti fedettség is, ami sokat segít a terepi tájékozódásban. Az 1999-ben kiadott 1:50 000 méretarányú térkép már teljes egészében digitális feldolgozás eredménye (36. ábra).



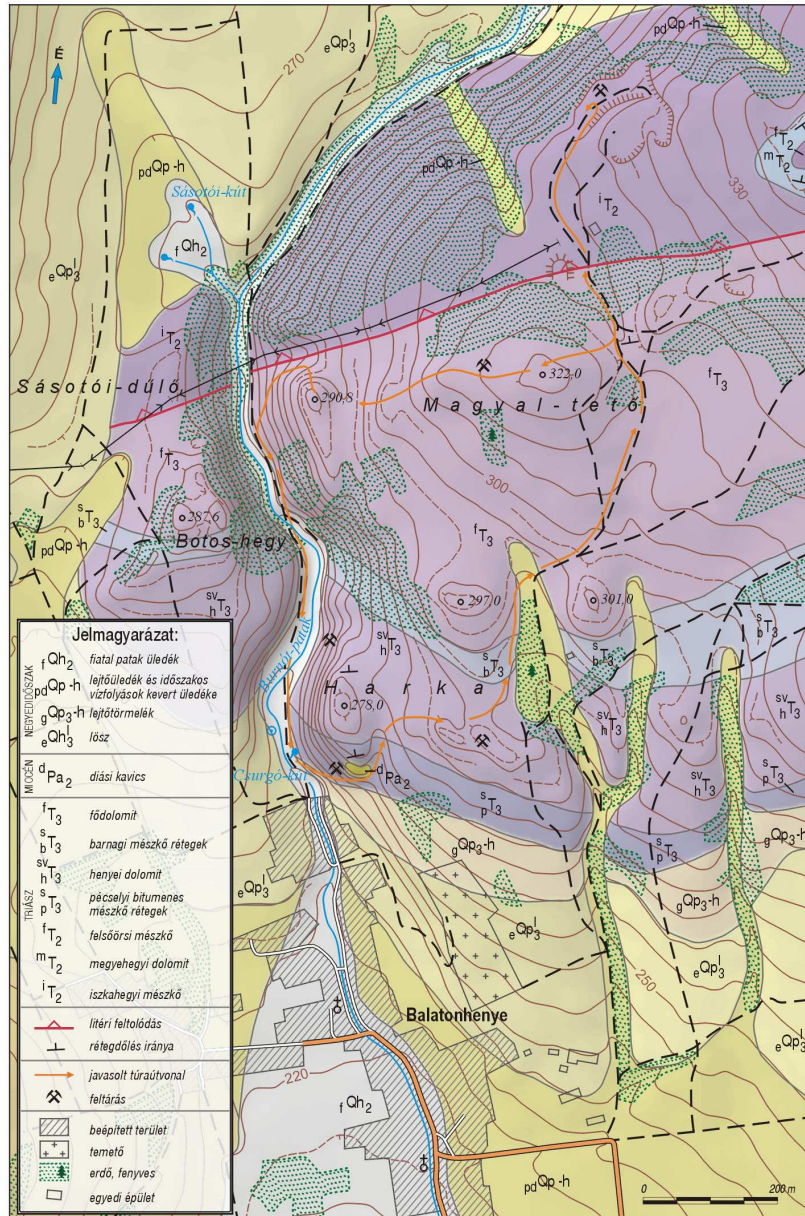
**36. ábra. Részlet a Cseh Érchegység egy részének földtani túratérképéből (ČECH & GAWLIKOWSKA 1999)**

A földtani térképek jelmagyarázatának uralkodó hányadát a különböző típusú és korú képződmények (kőzetek, üledékek) jelei teszik ki, amelyeket koruknak és típusuknak megfelelően egyedi index jellemez. A jelek száma nagymértékben függ a terület földtani változatosságától; némely földtani térképen, amely szakértő felhasználóknak készült, akár 100-150 jelkulcsi elem is előfordulhat. Mivel ezek jelentős része felületi jel, vagy színezés, a térkép könnyen „túlterheltté” válhat. A túlterheltséget leginkább halvány, telítetlen színek alkalmazásával lehet elkerülni, azonban az egyes földtani korok képződményeinek színezésére vonatkozó nemzetközi gyakorlat alkalmazása szinte kötelező érvényű. E megkötések és stílusbeli sajátosságok miatt a földtani térképek szerkesztése fokozott körültekintést igényel.

A földtani túratérkép jelmagyarázatában ugyan domináns szerepet kapnak a hagyományos földtani térképre jellemző elemek (egyedi színekkel jelölt képződmények, normálvetők, feltolódások, rétegdőlés iránya és szöge, stb.) de helyet kapnak a jelzett turistautak, a jelentősebb kilátóhelyek, turista látványosságok valamint a közlekedést és tájékozódást segítő elemek is (l. 37. ábra). Ha a jelmagyarázatban nem szereplő elemeket is tekintjük, az



elkülönített jelkulcsi kategóriáknak csak mintegy felét teszi ki a földtani tematika, mivel nagyobb hangsúllyal és differenciáltabban szerepel a topográfia is (domborzatrajz, síkrajz, névrajz) a térképen. A nyomtatásban is megjelent térkép (ALBERT 2002) esetén ez az arány 16/14 a földtani tematika rovására.



37. ábra. Balatonhénye környékének földtani túratérképe (ALBERT 2002)

### 5.3 A modell megjelenítése a virtuális térben

A háromdimenziós modellek alkalmazása a földtanban csakúgy, mint más területen, a költséges módszerekkel begyűjtött információ térbeli geometriájának elemezhető és könnyen érthető módon történő megjelenítését célozza.

A jelenleg használt térinformatikai rendszerek többsége statikus, kétdimenziós modelleken alapul. A harmadik (térbeli) és negyedik (időbeli) dimenziók kezelésére is léteznek különféle megoldások, e területen sok kutatás és fejlesztés zajlik, ami önmagában is jelzi a modellező és 3D megjelenítő szoftverek iránti felhasználói igényt. Jelenleg azonban nincs még olyan kiforrott és elterjedt piaci alkalmazás, amely komplex földtani modellek 3D megjelenítésére, elemzésére és szerkesztésére is képes a fejlesztői környezeten kívül. A meglévő technológiai lehetőségek figyelembe vételével egy olyan alkalmazás kifejlesztése volna a cél, amely a geológiai információk iránt érdeklődő, de modellező szoftverek kezelésében nem jártas felhasználók speciális megjelenítési és elemzési igényeit támogatná.

Ennek az igénynek a felismerése vezetett arra, hogy az *üveghutai kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló kutatási program* során, 2006-ban megkezdődött a leendő tároló telephelyéről és környezetéről készülő 3D modell elemzésére és bemutatására egyaránt alkalmas felhasználói felület tervezése. A tervezési folyamat első fázisa a kezelőprogram alkalmazásmodelljének kidolgozása volt, amit Guszlev A. (NYME<sup>47</sup>) térinformatikus-programozóval közösen valósítottunk meg (ALBERT & GUSZLEV 2006). A következő fejezetekben a tervezett kezelőszoftver működésének alapvető tulajdonságait mutatom be részletesen.

#### 5.3.1 A GEOnukleus lekérdező és megjelenítő szoftver

A fejlesztés első lépcsőfoka egyúttal a szoftver névadásának pillanata is. Tekintve, hogy a kezelőprogram iránti igény a kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló földtani kutatási program során realizálódott célszerűnek tartottuk a szoftver nevével is utalni erre. További esztétikai, nyelvi és gyakorlati szempontok figyelembe vétele után a **GEOnukleus** név mellett döntöttünk.

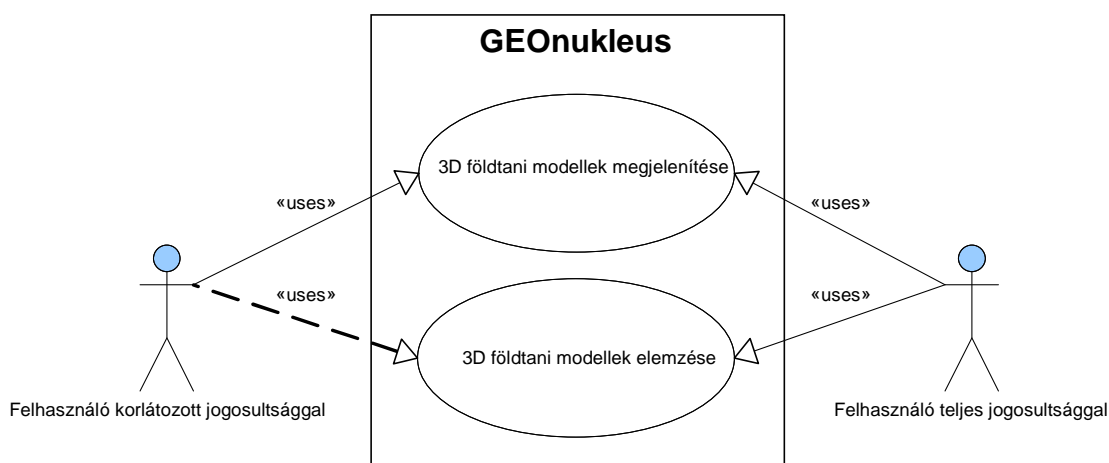
A térbeli megjelenítés két felhasználói kört céloz meg (38. ábra); egyik a szakértői, teljes hozzáférési jogosultsággal rendelkező felhasználói kör, másik pedig a limitált jogokkal rendelkező „látogatók” csoportja. A 3D modell megjelenése és geometriája mindkét felhasználói körnek egyforma lenne, azonban a „látogatók” a hozzáférhető információknak

---

<sup>47</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem

csak limitált szegmensét jeleníthetnék meg, továbbá a program funkcionalitásának is csak csökkentett tartományát vehetnék igénybe.

Mind a limitált, mind a teljes jogú felhasználók számára a virtuális tér számos lehetőséget kínál az elemzésre és arra, hogy a rendelkezésre álló adatokat minél több módon vegyék szemügyre. E lehetőségek közé tartozik pl. az ortogonális (párhuzamos) és perspektivikus vetítés váltogatása, a nézőpont mozgatása, forgatása. A modell térben távolság és szögmérések segítik az elemzőket, valamint az objektumok csoportosításával kiemelhetők, illetve „elrejtethők” lennének a megjelenített tematikák. Előre beállított (pl. égtáj szerint) nézőpontok és objektumcsoportok segíthetik a modellben való tájékozódást. A programnak kizárólag a látványos megjelenítés és a lekérdezhetőség igényét kell kiszolgálnia; nem célja tehát, hogy a modellben szerkesztéseket hajtsunk végre általa.



38. ábra. A GEOnukleus rendszer felhasználói

A képernyő kinyomtatásán túl a teljes jogú felhasználóknak lehetősége van kétdimenziós földtani szelvények és vízszintes metszetek méretarány szerinti nyomtatására. A szelvényeket egyedileg megadható nyomvonalon (pl. fúrások érintésével), a metszeteket pedig tetszőleges tengerszint feletti magasságban kérdezhetjük le. Ez a lehetőség a látogatói jogosultsággal rendelkezőknek nem lenne hozzáférhető. A vízszintes metszetek mellett a jelenlegi domborzatra és a meghatározott földtani korokhoz rendelhető eróziós felszínekre rászerkesztett földtani térkép háromdimenziós képe is megjeleníthető lenne.

A modellben alapvetően földtani objektumok megjelenítése a cél. Ezek közé tartozik minden felszín alatt található képződmény a fiatal negyedidőszaki üledékektől kezdve, a közép- és ó-idei kőzeteken keresztül a jelentősebb szerkezetföldtani elemekig (vetők, törések), amelyek dinamikájuk és hierarchiájuk szerint csoportosítva lennének megjeleníthetők. A földtani tematika mellett mérnöki (létesítmények, kutatófúrások),

vízföldtani, geomorfológiai és egyéb témák a jogosultságok megadásával adaptálhatók lennének a megjelenítő szoftver környezetébe.

A modell objektumainak három megjelenítési módja lenne elérhető: drótváz, átlátszó, tömör. Textúrák alkalmazása nem támogatott, mivel törekedni kell a megjelenítés procedúrájának egyszerűsítésére, ami különösen a nagyfelbontású domborzatmodellek esetén nagyon lelassíthatja a szoftver működését. Célszerű a háttéradatbázisból generált különböző felbontású modell-részleteket „talonban” tartani, a lekérdezések gyors kiszolgálása érdekében.

A következő fejezetekben a szoftverfejlesztés bonyolult, de jól strukturált folyamatának első lépcsőjét (ENGLEHART 1999), a tervezett kezelőprogram alkalmazásainak tervét, vagy más néven az *alkalmazásmodellt* mutatom be.

### 5.3.2 Alkalmazásmodell

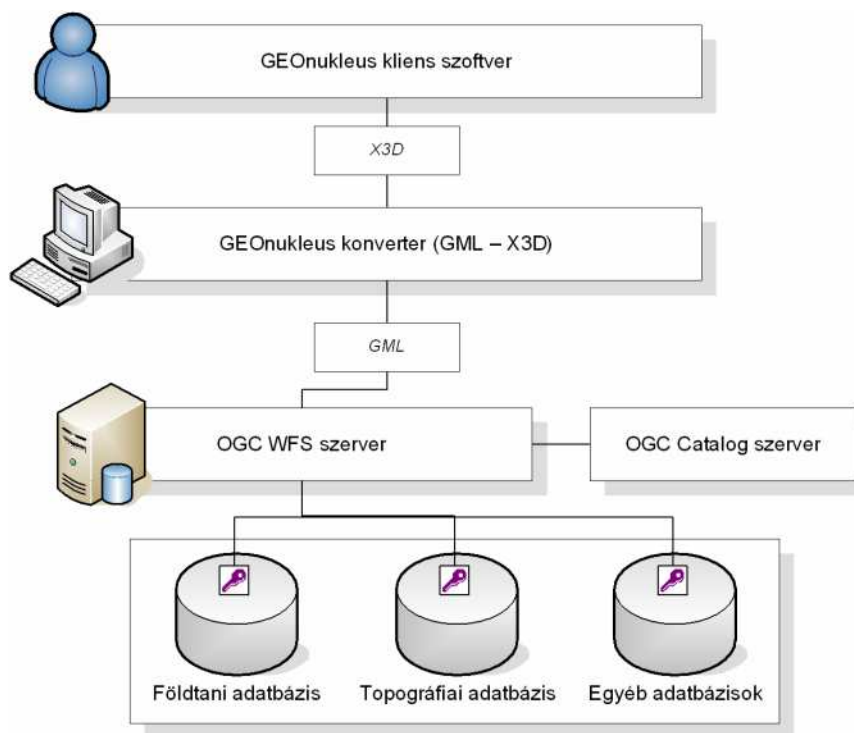
Az alkalmazásmodell szövegesen és diagramok formájában grafikusán mutatja be a szoftver működésében résztvevő elemeket (továbbiakban *résztvevőket*; pl. felhasználók, kiszolgálók, egyéb szoftverek stb.), amelyek a GEOnukleus kliensszoftver belső rendszerétől függetlenek (39. ábra). Hangsúlyozandó, hogy az alkalmazásmodell nem a szoftver felépítését, hanem funkcionalitását reprezentálja. Az itt megfogalmazott követelmények és kritériumok szemléltetik, hogy mit fog a program csinálni, ha majd egyszer elkészül. A szoftvertervezés későbbi fázisai során felmerülő vitás kérdésekre egy körültekintően kidolgozott alkalmazásmodell többnyire megadhatja a választ, mivel – mint egy szerződésre – hivatkozni lehet rá mind a fejlesztő, mind a megrendelő részéről.

A GEOnukleus rendszer *résztvevőit* funkciójuk alapján alapvetően három szegmensre oszthatjuk fel:

- Adatbázisok.
- Szerveroldali alkalmazások.
- Kliensoldali alkalmazások.

1) A GEOnukleus rendszer már meglévő földtani és egyéb adatbázisokra épül. Az alkalmazás képes egy időben több különböző helyen és különböző adatmodellben tárolt adatbázishoz kapcsolódni. Az adatokhoz való hozzáférés belső hálózaton (intraneten), vagy az interneten keresztül történik, kizárólag olvasási (read-only) jogosultsággal. Lehetőség van helyi gépen tárolt adatbázisok beolvasására is.





39. ábra. A GEOnukleus rendszer környezetének áttekintése

2) A szerveroldali alkalmazások fő feladata a megosztott adatbázisok és a kliensoldali alkalmazás közötti kommunikáció biztosítása. Ahhoz, hogy a szerveroldali megoldások átjárhatóságát (interoperabilitását) és fejleszthetőségét biztosítsuk, javasoljuk az Open Geospatial Consortium (OGC) és a Web3D Consortium nemzetközi szervezetek által kidolgozott és részletesen dokumentált nyílt térinformatikai szabványok használatát. Ilyenek lehetnek (MÜLLER & CURTIS 2005; VRIES & ZLATANOVA 2004):

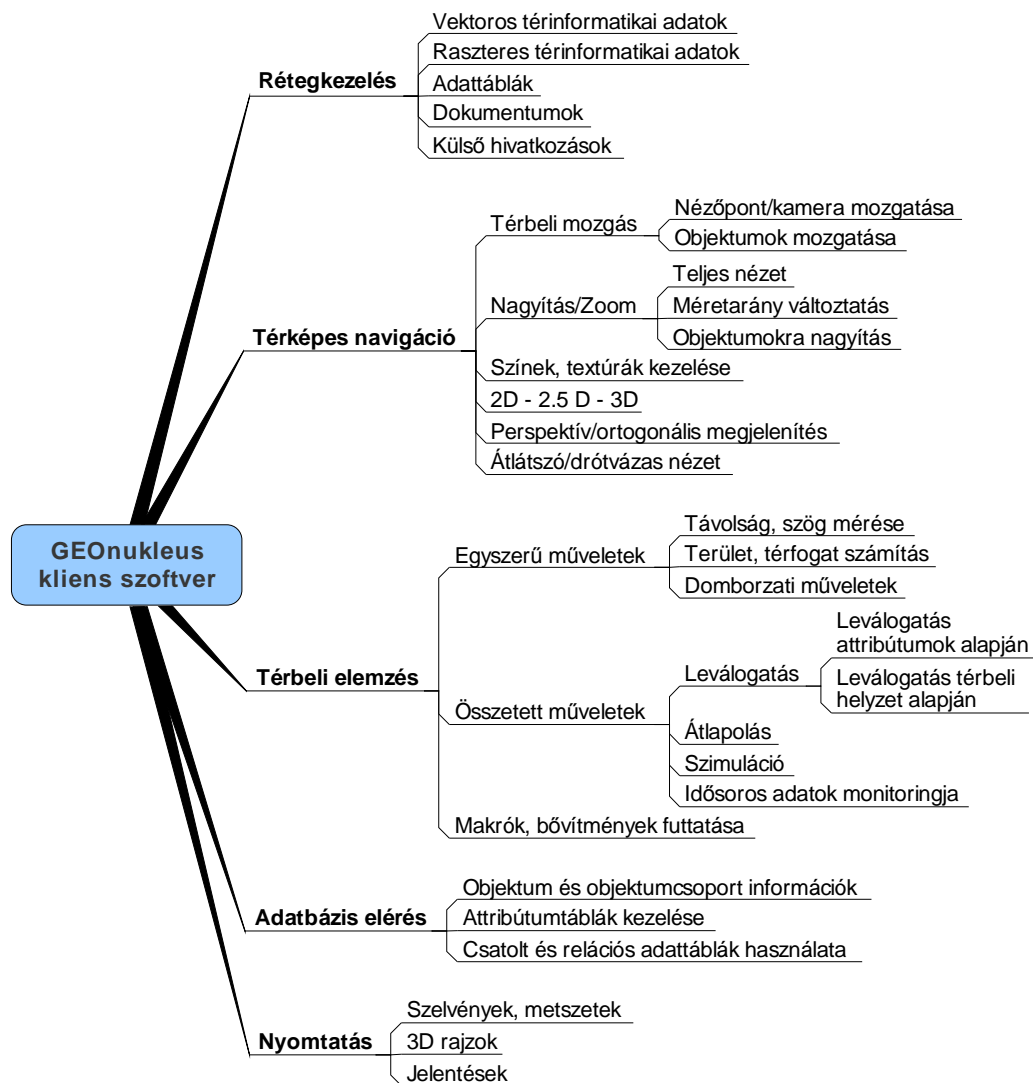
- Web Feature Service (WFS): geometriai alapadatok szolgáltatása;
- Catalog Interface (CAT): metaadat-katalógus adatbázisokhoz;
- Geography Markup Language (GML): térbeli információk tárolása és átvitele XML szabvány szerint;
- X3D: háromdimenziós objektumok tárolása és átvitele XML szabvány szerint;
- Web Terrain Service, Web 3D Service: kidolgozás alatt álló, tesztfázisban lévő szabványok;

A felhasználó által lekért adatokat egy WFS szerver megkeresi a CAT katalógusban, kiválasztja a legaktuálisabb verziót, majd egy egységes formátumba (GML – X3D) alakítás után továbbítja a kliens felé (pl. CITYGML). A szerveroldalon szükséges lehet egy *konverter* létrehozása, amely a különböző adatmodellek és adatformátumok közötti logikai és strukturális átalakításokat végzi. Erre azért van szükség, hogy a felhasználó egységes

környezetben tudja kezelni a különböző adatbázisokban tárolt objektumokat. Minden további feldolgozás – megjelenítés, elemzés – már a kliensoldalon történik.

3) A GEOnukleus kliens szoftvere a szerverről lekért, valamint a helyi gépen található X3D formátumú szabványos térbeli adatbázisok megjelenítését és elemzését végzi. A kliensoldalon végzett funkciók (*alkalmazások*) áttekintését a 40. ábra szemlélteti.

A kliensoldali alkalmazások a felhasználó szempontjából a legfontosabbak, ezért ezeket az alábbiakban részletesen ismertetem.



40. ábra. A GEOnukleus kliens szoftver alkalmazásmodelljének vázlata

### 5.3.3 A kliensoldali alkalmazások bemutatása

A résztvevők között lejátszódó folyamatokat (pl. egy lekérdezést) az alkalmazások tervezésekor pontosan meg kell határozni. Erre azért van szükség, mert a résztvevő elem (a

későbbi futtatható program) parancskészletét, a folyamatokat leíró *eseménysorok* terve alapján kell majd kialakítani. Az eseménysorok tehát a szoftver működésében résztvevő elemek közti kapcsolatok szöveges ismertetései. Az eseménysorok bemutatása a tervezés fázisában, laikus számára érthető formában (pl. kérdések-feleletek a kapcsolódó elemek között) valósul meg. Pontosan definiálja, hogy és mikor kezdődik egy alkalmazás és mikor ér véget. Továbbá, hogy milyen esetekben és hogyan kerül kapcsolatba egy alkalmazás, a résztvevőkkel (pl. adatok megnyitása, l. 41. ábra), és milyen információ cserélődik ki köztük. Az eseménysorok bemutatásakor nem térek ki a felhasználói felületek részleteinek bemutatására.

### 5.3.3.1 Rétegkezelés

A térinformatikai adatok sokfajta különböző formátumban és adatmodellben tárolhatók. A GEOnukleus kliens szoftvere képes a szabványos és elterjedt raszteres és vektoros formátumok olvasására, azaz támogatja a hibrid rendszerek használatát. Az objektumcsoportokat a megszokott módon fedvényekben<sup>48</sup> tároljuk. A rétegkezelő lehetővé teszi ezen fedvények hierarchikus csoportosítását, tetszőleges sorrendben való megjelenítését, elrejtését. A földtani modelleket kiegészítő CAD műszaki rajzok, leírások, képek és egyéb külső hivatkozások beállításai is ebben a modulban érhetők el (MANN 2004):

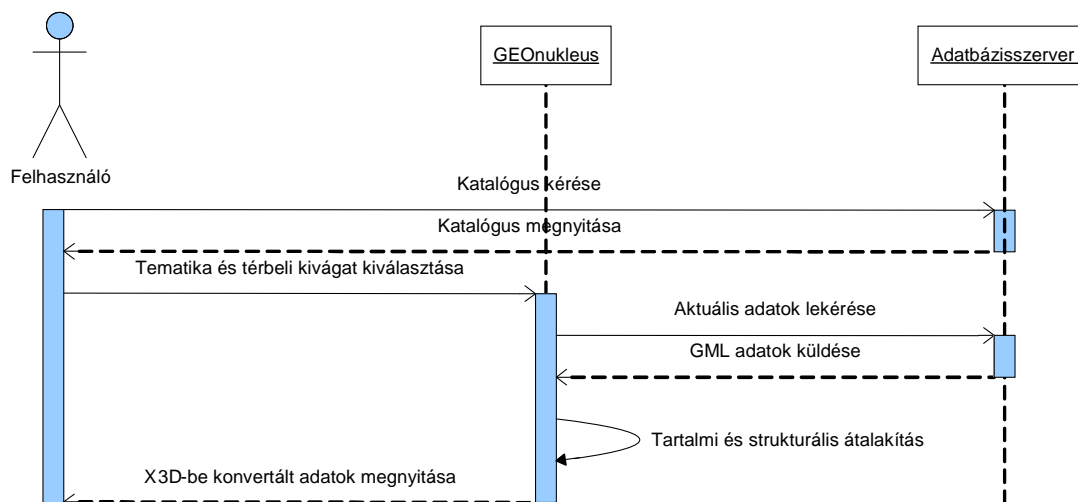
- vektoros adatok (GML, X3D, DXF, SHP, ...);
- raszteres adatok (GeoTIFF, IMG, PNG, JPG, ...);
- adattáblák (XLS, MDB, TXT, ...);
- dokumentumok (DOC, TXT, JPG, ...);
- külső hivatkozások (URL).

A térinformatikai adatok megnyitása és rendezése a rétegkezelő modulon keresztül történik. A felhasználó az adatbázis szerver(ek) metaadat-katalógusából kiválasztja a kívánt tematikákat, és a megfelelő kivágatról letölti az adatokat a helyi gépre. A különböző formátumban tárolt adatokat a GEOnukleus átalakítja egységes megjelenési struktúrába.

A GEOnukleus szoftver lehetőséget kínál a különböző beállítások elmentésére és újbóli megnyitására. Ilyen beállítások lehetnek: külső dokumentumok elérési útvonala, nézőpont, nagyítás, különböző elemzési paraméterek.

---

<sup>48</sup> Fedvény (*coverage*): A fedvény koordinátarendszerben tárolt raszter, háromszögekből álló szabálytalan hálózat, pontok, vonalak vagy sokszögek halmaza.



41. ábra. Eseménysor: térinformatikai adatok megnyitása a GEOnukleus rendszerben

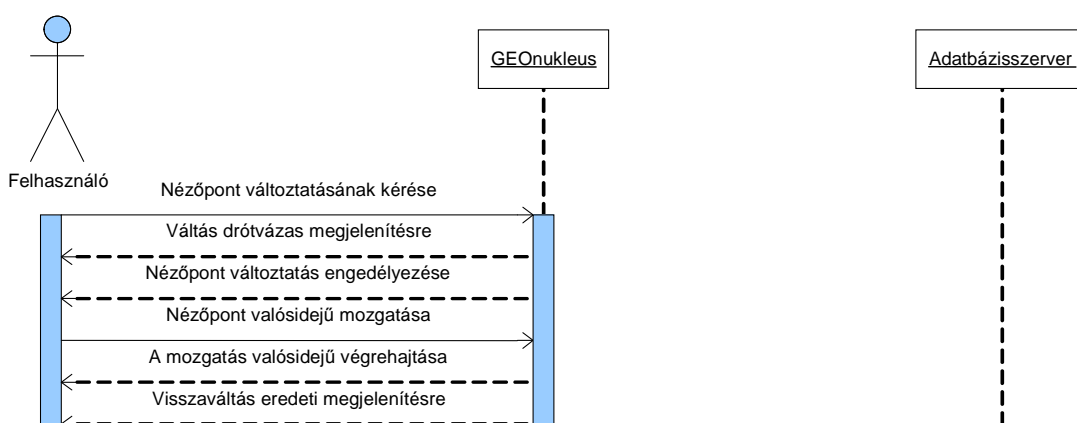
### 5.3.3.2 Térképes navigáció

A kliens szoftver megalkotásánál az egyik legfontosabb feladat a 3D térben való eligazodás megoldása. A számítógépek 2D ablakaihoz szokott felhasználóknak az egér és a billentyűzet segítségével a teljes teret kell bejárnia, ezért a hagyományos 2D navigációs eszközök mellett kiegészül a 3D mozgáshoz szükséges elemekkel is. A főbb funkciók a következők:

- Térbeli mozgás (nézőpont, kamerák illetve objektumok mozgatása).
- Nagyítás (méretarány-változtatás, objektum(csoport)okra nagyítás).
- Színek, textúrák kezelése.
- 2D – 2,5D – 3D megjelenítés.
- Perspektív és ortogonális megjelenítés.
- Átlátszó és drótvázás megjelenítés.

Többféle navigációs megoldás közül választhatunk, attól függően, hogy a nézőpontot (kamerát) vagy magukat az objektumokat szeretnénk mozgatni. A „magyarázó” üzemmódban, a 3D objektumokat saját középpontjuk körül forgathatjuk körbe. Navigációs eszközként egy trackball-ikon szolgál, aminek vezérgömbjét követi a vizsgálandó objektum. A másik üzemmód a „bejárás”, ahol egy egér segítségével a saját pozíciókat változtathatjuk a virtuális téren belül. A harmadik nézet a „körbepülés”, ami a bejárás eszközei mellett lehetőséget ad a magasság változtatására is. A térbeli mozgást szabályozó mutatóeszközök (pl. egérgombokhoz rendelt funkciók) működése bizonyos korlátozásokkal a felhasználó által is beállítható.

A modell objektumainak három megjelenítési módja lehetséges: drótváz, átlátszó, tömör. Tömör, kitöltött megjelenítés esetén lehetőség van az objektumokat beborító minták, textúrák kiválasztására is. A „jelkulcs” megválasztásakor törekedni kell a megjelenítés egyszerűsítésére, érthetőségére. A nézőpont mozgatásakor a felhasználó csak a kliens szoftverrel kommunikál, a művelet a felhasználó számítógépes erőforrásainak felhasználásával történik (42. ábra). A GEOnukleus szoftverben elmenthetjük a térkép megjelenítési beállításait, jelkulcsát, a kamerák pozícióját, hogy azokat későbbi használatkor is megnyithassuk.



42. ábra. Eseménysor: nézőpontváltás a GEOnukleus rendszerben

### 5.3.3.3 Térbeli elemzés

A térbeli elemzések közé tartoznak, pl. a távolság és szögmérések, a terület- és térfogatszámítások és az idősoros elemzések. Ezen felül a lekérdezett objektumok csoportosításával kiemelhetők, illetve „elrejthetők” lennének a megjelenített tematikák (*fedvények*).

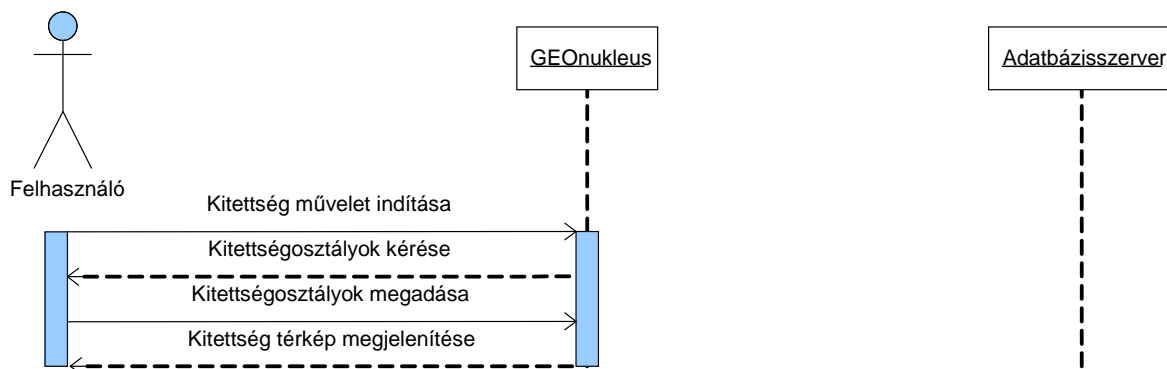
A térbeli elemzés állhat egyszerű és összetett műveletekből attól függően, hogy szükség van-e a topológiai helyes *fedvények* (*topológiai fedvények*) közti kapcsolatra, vagy nem (pl. SÁRKÖZY). A GEOnukleus rugalmas és a későbbiekben felmerülő egyedi megoldásokat támogató klienszoftver kell, hogy legyen. A rugalmasság egyik alapvető követelménye a fejlesztés nyitottsága. Ennek érdekében szükségesnek tartjuk, hogy a kezelőszoftver fel legyen készítve makrók és bővítmények futtatására is, ezért ezt is a térbeli elemzés funkcionalitásába soroltuk.

Egyszerű műveletek közé a távolságok, illetve szögek mérése, a terület és térfogatszámítások, valamint a domborzati műveletek tartoznak. Egyszerű műveletek során nincs műveleti kapcsolat a különböző *fedvények* között.

Távolság és szög mérése: A távolságok és szögek mérését a felhasználók minden jogosultsági szinten igénybe vehetik. Távolságmérést két tetszőleges térbeli pont között lehet végrehajtani; szögmérést pedig (pl. dőlésirány, dőlés) térbeli vektorok segítségével.

Terület és térfogatszámítás: A terület és térfogatszámítás funkciót a felhasználók minden jogosultsági szinten igénybe vehetik. A területszámítást opcionálisan az aktuális felületen, illetve a modell X, Y síkján hajtja végre a program. A terület határoló vonalait téglalappal, vagy sokszögvonallal jelöli ki a felhasználó. A teljes jogú felhasználók számára ezenfelül a terület határpontjainak numerikus megadására is lehetőségük van, mivel a modell koordináta-rendszere számukra nyitott. Térfogatszámítást az aktuális felület és egy felhasználó által megadott tengerszint feletti magasságon vett sík között számol a program. A határoló vonalak megadása a területszámításnál alkalmazott módon történik.

Domborzati műveletek: Domborzati műveletek alatt a 3D modellben definiált felületeken végzett elemzéseket (pl. kitettség vizsgálat [43. ábra], lejtőkategóriák vizsgálata, hipszometriai kategóriák vizsgálata) értjük, amelyek a GEOnukleus kliensfelületén csak a teljes jogú felhasználók számára érhetőek el.



43. ábra. Eseménysor: kitettség térkép megjelenítése a GEOnukleus rendszerben

Összetett műveleteknek minősülnek a 3D modell objektumainak térbeli helyzete, illetve adatbázisban attribútumainak alapján történő leválogatások, a topológiai fedvények összetett elemzése, *átlapolása*<sup>49</sup>, a modellben végrehajtott szimulációk és az idősoros adatok (pl. vízmegfigyelő kutak adatai) monitoringja.

Leválogatás: A leválogatások során a GEOnukleus klienszoftver kezelőfelületén egyszerű kereséseket, lekérdezéseket végezhetünk a térbeli objektumok vagy a leíró adatok között, illetve egy vagy több kritériumot adunk meg, amit a 3D modell

<sup>49</sup> Átlapolás (overlay): Folyamat, amelynek során kettő vagy több topológiai fedvény összekapcsolásával új információkat kapunk

megjelenítésének feltételül szabunk. A leválogatás az SQL nyelv SELECT parancsának futtatásával történik.

A leválogatási feltételek jellege két csoportra osztható:

1. A kritérium a megjelenítendő objektumokat geometriai feltételekhez köti (pl. tengerszint feletti objektumok lekérdezése, vagy egy kijelölt ponttól bizonyos távolságra eső objektumok lekérdezése, l. *pufferanalízis*<sup>50</sup>)
2. A kritérium a megjelenítendő 3D modell objektumának leíró jellegű, nem geometriai tulajdonságát szabja meg (pl. bizonyos földtani korú képződményeket jelenítsen csak meg a szoftver).

Az első esetben a szoftver koordináta geometriai műveletet hajt végre, míg a második esetben a szoftver a háttér adatbázisában tárolt információkat kérdezi le, és egyezés esetén megjeleníti a képernyőn. Mindkét művelet elérhető a felhasználói jogosultsági szinttől függetlenül. A leválogatás a helyi gépre letöltött adatokon történik. Amennyiben az adatbázisszerveren tárolt adatok közt is szeretnénk leválogatást végezni, úgy a „rétegkezelés” pontban leírt módon tölthetünk be újabb adatokat.

Átlapolás: Az átlapolás (overlay) az a folyamat, melynek során kettő vagy több topológiai fedvény összekapcsolásával új információkat nyerhetünk ki. Lehetőség van adatszintek geometriai összehasonlítására, illetve különböző fedvényeken tárolt attribútum adatok közötti matematikai műveletek elvégzésére. Ezt a funkciót térinformatikai műveletekben jártas, teljes jogosultsággal rendelkező felhasználók használhatják.

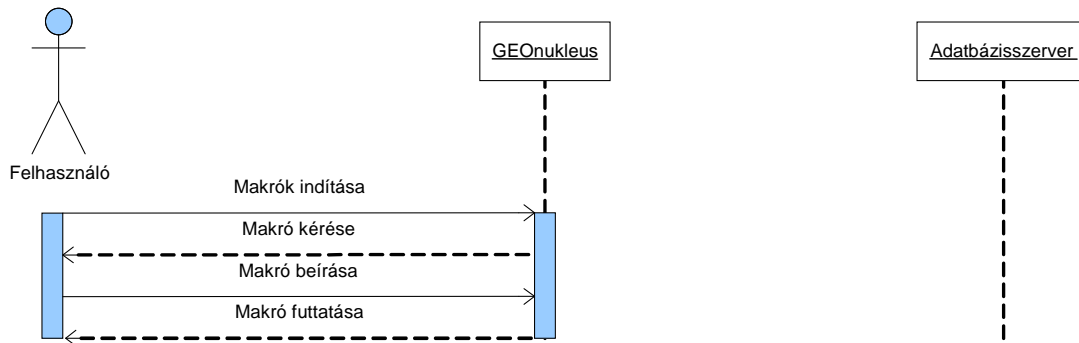
Szimuláció: A GEONukleus szoftvert kezelő felhasználó, jogosultsági szinttől függetlenül végrehajthat elárasztás- és lefolyás-szimulációkat a 3D modell aktuális felületén.

Idősoros adatok monitoringja: Idősoros adatok elemzésére a teljes jogosultsággal rendelkező felhasználóknak van lehetősége. A monitoringműveletet olyan fedvényeken lehet futtatni, ahol egy fedvényen belül több időpontra vonatkozó adatok vannak tárolva. Amennyiben a különböző időpontok különböző fedvényeken tárolódnak, úgy azokat az „átlapolás” művelettel tudjuk elemezni, összehasonlítani. Idősoros adatok attribútumait táblázatban, oszlopdiagramon, illetve egy-egy időpontra vonatkozóan a 3D modellben jeleníthetjük meg. Az időpontokról elmentett képkockák összeillesztésével mozgókép (animáció) állítható elő.

---

<sup>50</sup> Pufferanalízis: A topológia elemzés egyik fajtája, amikor a modell meghatározott típusú elemeitől adott távolságban lévő területre eső objektumokat vizsgáljuk.

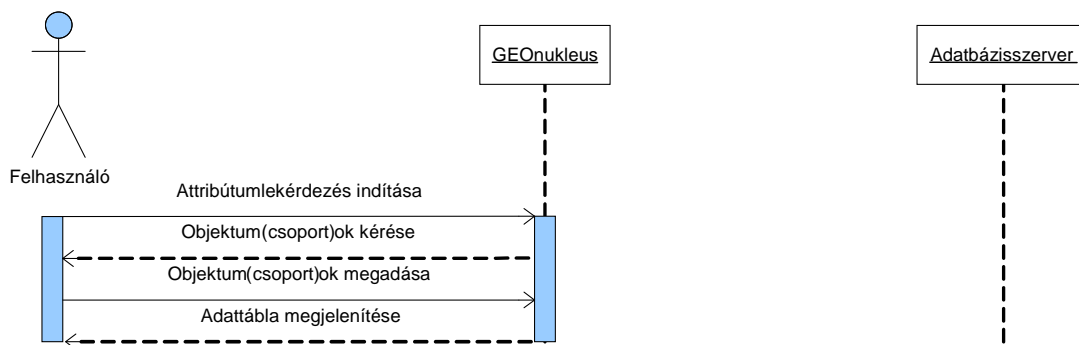
A GEO nukleus későbbiekben felmerülő egyedi megoldásokat és bővítményeket támogató nyitott rendszer, amely lehetővé teszi gyakran ismétlődő feladatsorok<sup>51</sup> automatikus futtatását is (44. ábra). A kezelőszoftver fejlesztésére makrókkal és bővítményekkel, a teljes jogosultsággal rendelkező felhasználóknak van lehetősége.



44. ábra. Eseménysor: makrók futtatása a GEO nukleus rendszerben

### 5.3.3.4 Adatbázis-elérés

A térinformatikai alkalmazásokban az objektum geometriája és leíró adatai szorosan kötődnek egymáshoz, a felhasználónak nem kell a kettő közti kapcsolat megadásával törődnie. A háttérben egy adatbázis-kezelő rendszer (DBMS) fut, amelyben az egyes adattáblák mezőit és bejegyzéseit láthatjuk (45. ábra) akár egyesével, akár csoportosan. A teljes jogosultságú felhasználóknak lehetőségük van a mezők és bejegyzések rendezésére, illetve adattáblák összekapcsolására, relációk létrehozására is.



45. ábra. Eseménysor: attribútumok lekérése a GEO nukleus rendszerben

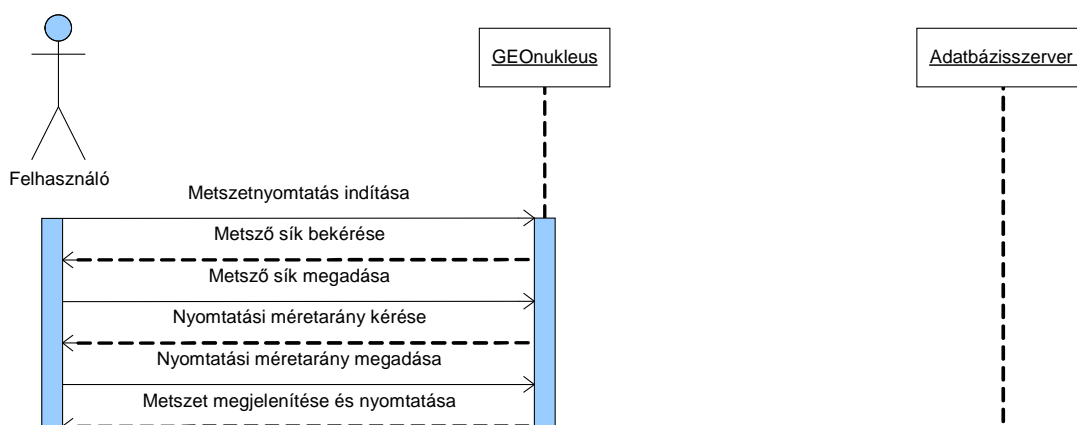
Az adatbázisok kezelése a helyi gépre letöltött adatokon történik. Amennyiben az adatbázisszerveren tárolt adatokhoz is szeretnénk kapcsolódni, úgy a „rétegkezelés” pontban leírt módon tölthetünk be újabb adatokat.

<sup>51</sup> Pl. távolság lekérése adott pontból és kiírása fájlba. Ha a pontok koordinátáit külön fájlban tároljuk, akkor a fájl megnyitása is a makró része.



### 5.3.3.5 Nyomtatás

A képernyő kinyomtatásán túl a teljes jogú felhasználóknak lehetősége van kétdimenziós földtani szelvények és vízszintes metszetek méretarány szerinti nyomtatására. A szelvényeket egyedileg megadható nyomvonalon (pl. fúrások érintésével), a metszeteket (46. ábra) pedig tetszőleges tengerszint feletti magasságban kérdezhetjük le. Ez a lehetőség a látogatói jogosultsággal rendelkezőknek nem lenne hozzáférhető. A vízszintes metszetek mellett a jelenlegi domborzatra és a meghatározott földtani korokhoz rendelhető eróziós felszínekre rászerkesztett földtani térkép háromdimenziós képe kinyomtatható, és a kapcsolódó leírások, jelentések is. Az ehhez szükséges kiegészítő térképi elemek (pl. jelkulcs, északjel, lépték) elhelyezhetők a nyomtatási lapon.



46. ábra. Eseménysor: metszetek nyomtatása a GEOnukleus rendszerben

### 5.3.4 Egyéb feltételek

A GEOnukleus szoftver modellezése során az OGC (Open GIS Consortium) által preferált és Magyarországon is elfogadott (MIHÁLYI 2004) UML (Unified Modelling Language) standard programtervező nyelvet használjuk, ami 2005-óta nemzetközi szabvány (ISO/IEC 19501). A program fejlesztői környezete és a programozás nyelve a tervezés jelenlegi fázisában még nem eldöntött.

A szoftver elsősorban olyan felhasználók igényeit célozza meg akik a számítógép és az internet használatában jártasak, de nem ismerik a professzionális 3D modellező szoftverek kezelőfelületét. Ennek érdekében a kezelőfelületnek ergonómiailag megfelelőnek, könnyen áttekinthetőnek kell lennie. Annak ellenére, hogy a jelen dokumentációnak nem része a felhasználói felület megtervezése, néhány szempontot fontosnak tartunk már most kihangsúlyozni:

- Jól áttekinthető, egyszerűen kezelhető grafikus felülete legyen.

- Notebook- méretű képernyőn (15” képátmérő) kényelmes legyen vele dolgozni.
- A megjelenített tematika és a modell *fedvényeinek* relációja mindig látható legyen.
- A 3D megjelenítés és ennek funkciói kapják a legnagyobb hangsúlyt.
- Legyenek előre beállítható nézetek, és scénáriók (lekérdezések és beállítások együttese), amelyek a terület földtani képét a lehető legjobban szemléltetik.
- A nem teljes jogkörrel rendelkező felhasználók ne szembesüljenek korlátaikkal.
- A tematikák grafikai megjelenítése (pl. szín, kitöltés, drótváz-nézet) legyen szabályozható, de az eredeti beállítások egy kattintással visszaállíthatóak legyenek.

A felhasználók által működtetett, felhasználói oldalon telepített kliensszoftverek egy külső adatbázisból kérnek le adatokat, miközben ugyanezt az adatbázist esetleg más alkalmazások is használják ugyanabban a pillanatban. Az emiatt esetleg bekövetkező lassú adatcsere és a nem tökéletes adatforgalom elkerülése érdekében a GEO nukleus rendszer adat-konverterének (l. 39. ábra) körültekintő tervezése és kivitelezése is fontos. A konverter beépülhet mind a felhasználói oldal, mind a szerver oldali környezetbe.

A GEO nukleus kliens szoftver tervezése egy többlépcsős folyamat, amelynek első eleme az alkalmazásmodell. Ahhoz, hogy a szoftver megvalósulhasson a tervezés további lépéseiben is végig kell haladni, amíg egy végső tervdokumentáció összeáll. A tervezés lépései a következők (ENGLEHART 1999):

**Előfeltételek és kikötések meghatározása** (*alkalmazásmodell*) – ld. jelen dokumentáció.

**Szerkezeti elemzés**, amelyben meghatározzuk a szoftver működési rendszerét alkotó egységeket, illetve a köztük fennálló viszonyt, majd jól meghatározható hierarchikus csoportokra (rétegekre) bontjuk őket.

**Alkalmazáselemzés**, amelynek során elemzési osztályokat határozunk meg. Az elemzési osztályok a rendszer működésében résztvevő – felelősséggel és viselkedési szabályokkal rendelkező – összetevők átmeneti modelljét jelentik (ezek később, pl. futtatható állományok formájában realizálódnak).

**Szerkezeti és alkalmazástervezés**, amelyben a tovább finomítjuk az elemzések során megalkotott modelleket és csoportosításokat.

**Végző terv összeállítása**, ami a tervezési folyamat lezárásának tekinthető.

Ezt követi a szoftver arculatának megtervezése és a programkód megírása, majd tesztelése és végül a késztermék üzemeltetése, fenntartása. Ezek a folyamatok – függetlenül attól, hogy

a megvalósítás a felvázolt lépcsőzetes<sup>52</sup> folyamattal történik-e vagy más programfejlesztési modell alkalmazásával – minden szoftver életciklusának részét képezik és nem kerülhetők meg. Az információs technológia gyors fejlődése miatt azonban egyre nagyobb a nyomás a programozók és programtervezők felé, hogy a terv és a végtermék között eltelt időt minimalizálják. Mindezt annak érdekében, hogy a megvalósuló programok ne legyenek már a megjelenésük pillanatában elavultak. A hatékony munkához azonban gyors és átgondolt vezetői döntésekre is szükség van, mind a programtervezés, mind az azt követő lépések során.

A szoftver megvalósulása esetén elsőslegesen az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program résztvevői lennének a felhasználók. A kutatási program lezárultával, azonban a GEOnukleus szoftver szélesebb körű publikálása is szóba jöhet, ami a megvalósult mélygeológiai tárolót és földtani környezetét az érdeklődő internetes felhasználók számára látványosan és érthető formában tudná közvetíteni. A szoftver telepítését célszerű regisztrációhoz kötni akkor is, ha a terjesztése díjtalan.

A szoftvert a megvalósítandó telephely nagyközönség számára nyitott létesítményeiben számítógépes terminálokra is lehetne telepíteni, ezáltal növelve a látogatók interaktív tájékoztatását. Mind az interneten érdeklődők, mind a telephely látogatói között valószínűleg nem magyar anyanyelvűek is lesznek, ezért amennyiben e tájékoztatási formák mellett születik döntés, a GEOnukleus kliens szoftvert ajánlott a főbb világnyelvekre lefordítani.

---

<sup>52</sup> A lépcsőzetes programtervezési modell, vagy „vízesés modell” a szoftvertervezés klasszikus modellje, ami szerint a megvalósítási folyamat egyes lépései csak akkor indulnak meg, amikor az előző fázis munkafolyamatai lezárultak



## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

Háromdimenziós földtani modellek egy területről általában akkor készülnek, amikor aktív kutatás zajlik a helyszínen. Az alkalmazott modellezési módszerek egyrészt objektív körülményektől, másrészt szubjektív tényezőktől függenek. Az objektív körülmények a hozzáférhető adatok jellegétől, mennyiségétől, térbeli eloszlásától függenek. A szubjektív tényezők a modellezésre fordítható anyagi és időbeli korlátoktól, valamint a hozzáférhető szakemberek képzettségétől – és sokszor leleményességétől – függenek.

Az értekezésemben ismertetett modellezési módszereket a MÁFI aktív kutatási programjai során sikerrel alkalmaztam. A siker alatt nem csak a módszerek eredményes alkalmazása értendő, hanem az is, hogy a kutatásokhoz kapcsolódó földtani modellezés esetenként olyan új (sokszor szükségszerűségből kidolgozott) modellezési eljárások, megjelenítési és adatfeldolgozási metódusok kidolgozására ösztönzött, amelyek a földtan területén példa nélkül állók.

Munkám során törekedtem a földtani modellek teljes technológiai sorának megismerésére. Ennek eredményeként az adatok keletkezésétől végigkísértem azok feldolgozását és megjelenítését, és így valamennyi munkafázisban tapasztalatokat szereztem. Ezek a tapasztalatok segítettek abban, hogy a keletkező adatokat a lehető legjobb rálátással tudjam kezelni a modellezéseknél. A tapasztalataim alapján meghatároztam a földtani modellezéshez szükséges kritériumokat, amelyeket egy modellezőszoftver kiválasztásánál figyelembe kell venni (1. fejezet bevezetője, 5.1. és 5.3 fejezet).

Az adatfeldolgozás problematikáját a legrészletesebben a MÁFI észlelési térképeinek és terepi jegyzőkönyveinek digitális archiválásán keresztül tanulmányoztam (3.3 és 3.6 fejezet).

Egy 3D modell adatrendszerének létrehozása és üzemeltetése sok időt és energiát igénylő feladat. De ahogy a rendszer működni kezd, a befektetett energia megtérül, mert gyorsan és megbízhatóan hozzáférünk olyan anyagokhoz, ami jelentősen megkönnyíti egy-egy kérdés megválaszolását. A földtani adatok tipikusan olyan jellegűek, amelyek előállításuk magas költségekkel bír. Ha az így nyert adatokat nem tudjuk felhasználni, azok elértéktelenednek. Ezért fontos az archív adatok megfelelő adatrendszerbe illesztése. Sok esetben egyedül az eredeti dokumentum tekinthető hiteles forrásnak. Minden, ami ezek felhasználásával készül egy értelmezés, ami az eredeti megfigyelések közül csak részhalmazokat ragad ki és dolgoz fel, így felhasználhatósági köre is korlátozott.

Munkám során a MÁFI észlelési földtani térképeit és jegyzőkönyveit alapadatokat hordozó dokumentumoknak tekintettem. Céлом az volt, hogy ezek digitális feldolgozásával és

rendszerbe illesztésével megkönnyítsem az alapadatokhoz való hozzáférést. Ehhez az észlelési térképek 2001 előtti kaotikus, több vetületű, sok tekintetben félkész, vagy el sem kezdett gyakran földtani szempontból is korrekciót igénylő digitális vonalművének rendezetlen állapotából kiindulva egy térinformatikai rendszert építettem ki.

E rendszer tette lehetővé, hogy a térképek feldolgozása során mind a topográfiai alappal, mind a szomszédos lapokkal való egyeztetést követően, a térképlapok földtani indexeiből térképi adatbázis épüljön. A kiépített térinformatikai rendszerrel, az eredeti adatok feldolgozásával, a fúrási- illetve a térképi adatbázis és a digitális domborzatmodell integrálásával elértem, hogy a Vértes és a Gerecse térképezési területét teljes mértékben lefedő elemzéseket tudtam végrehajtani, és segítségével tetszőleges nyomvonalú földtani szelvényeket és aljzatdomborzatot tudtam előállítani. Ezzel egyúttal tanulmányoztam a nagy méretarányú 3D földtani modellek informatikai alapjának megteremtéséhez szükséges feltételeket is.

A kéziratos térképek integrált térinformatikai környezetben történő feldolgozása során szem előtt tartottam ergonómiai és gyakorlatias szempontokat is. Ennek eredményeként a térképezési területről nagy méretarányú színes tisztázati felvételi térképlapokat állítottam elő, amelyek mind a terepi, mind az irodai utó- és helyesbítési munkát nagyban megkönnyítik. E nyomtatott formátumú térképek topográfiai alapját az eredeti észlelési térképekről átvéve olyan formába dolgoztam át, amely lehetővé teszi mind a terepen való tájékozódást, mind a földtani tartalom olvasását (l. 3.3 és 3.4.2 fejezet).

A földtani adatok térinformatikai feldolgozása világított rá arra a problémára, hogy a modellezési környezetben megjelenített objektumok adatbázisba szervezése nemcsak a különböző közzétípusokat, hanem a szerkezetföldtani elemeket is érinti olyan esetekben, ahol a töréses szerkezetek nagy számmal fordulnak elő a modellezési területen. A Gerecse ÉNy-i előterében végzett terepi munkám és az arra alapozott 3D földtani modell szerkesztése kapcsán kidolgoztam a töréses szerkezetek formáció alapú megkülönböztetésének és indexelésének elveit és formátumát, amely a szerkezeti elemek egyedi azonosítására is alkalmas (l. 3.8 fejezet).

Az adatfeldolgozást és rendszerezést követően az adatokból modellezési eljárások segítségével 3D modellt állítottam elő. A modellezési eljárások az adatok feldolgozásának matematikai háttérét képezik, amelyeket legtöbbször magában a modellező szoftverben találunk meg. Értekezésemben kitértem azokra az eljárásokra, amelyeket szoftvertől függetlenül dolgoztam ki és alkalmaztam. Ezek közül a következőket elsőként alkalmaztam a földtani modellezés területén:

- I. Síkok paramétereinek meghatározása gömbi geometriai módszerekkel nagy méretarányú 3D földtani modellekben. (4.1.2 fejezet)
- II. Kettős vetítési módszer kidolgozása bányavágatok térképének előállításához; a centrális hengervetület gyakorlati alkalmazásának kidolgozása (5.2.1 fejezet).
- III. Barlangjáratok volumetrikus modellezési módszerének kidolgozása, létező barlangtérképek adataira támaszkodva. (4.4 fejezet)

A szerkezetföldtani elemek koordinátákhoz kötött adatainak feldolgozása és az objektumok 3D modellbe illesztése során változatos formátumú és mennyiségű adatot kellett egymással összevetni, hogy az adott terület földtani képét kialakítsuk. Ezek az adatok irány és dőlésszöggel rendelkeznek és rendszerint korrelálhatók más hasonló szerkezetföldtani adattal. Ez az összevetés szükségessé teszi a térgeometriai számításokat. Mivel irány és dőlésszögek feldolgozására legalkalmasabb a felsőgeodéziában is alkalmazott szférikus geometria, ezt a matematikai megközelítést dolgoztam át és alkalmaztam a *bátaapáti kis és közepes aktivitású radioaktív hulladéktároló földtani kutatásának* kapcsán a különböző fúrásokban és felszínen észlelhető törések korrelációjához.

Ugyancsak a bátaapáti kutatási területen a kutatóvágatok oldalfalának (palástjának) síkra (térképre) történő leképezése kapcsán kettős vetítési módszert dolgoztam ki. A kettős vetítés első lépésében a vágatban észlelt síkszerű objektumot egy szögtartó gömbre képeztem le, majd a gömbön megjelenő vetületi képet centrális hengervetület segítségével a palásttérkép síkjára képeztem le. Ez az eljárás a centrális hengervetület eddig példa nélküli gyakorlati alkalmazása is egyben.

A modellezési eljárás és a rendelkezésre álló alapanyagok szoros összefüggésben vannak egymással és többnyire minden modell szerkesztésekor egyedi módszert kell kidolgozni a legjobb eredmény eléréséhez. Erre világított rá a Pál-völgyi-barlang volumetrikus modellje, ahol a meglévő barlangtérképekre és felmérési jegyzőkönyvek adataira alapozott modellezési eljárást dolgoztam ki. A modellezés kiterjedt a barlangot befoglaló kőzettest másodlagos porozitásának meghatározására is, ahol terepi módszerek segítségével igazoltuk a járatok 3D modelljéhez kidolgozott matematikai módszer helyességét (4.4 fejezet).

A bátaapáti kutatási program tapasztalatai szintén azt mutatták, hogy a földtani dokumentáció és a matematikai modellezés nem teljesen elkülöníthető folyamat, habár a kettő teljesen más helyszínen zajlik. A dokumentációs lehetőségek meghatározzák, hogy milyen pontosságú modellt hozhatunk létre, míg a modellezés módszere hangsúlyozottabban igényelheti egyes földtani paraméterek rögzítését.

Munkám során a 3D modellek megjelenítése is fontos szerepet játszott. Osztályoztam a modellek síkra történő leképezésének különböző típusait és meghatároztam az ábrázolás szükséges kritériumait az egyes típusok esetén. A modellekből szerkesztett ábrák és szelvények nemcsak tudományos munkákban, hanem népszerűsítő kiadványokban is megjelentek. Kiemelten foglalkoztam a 2,5D térképi leképezések módszerével, és ennek kapcsán a földtani térképek nagyközönség számára készült változatával, a *földtani túratérképpel*. A 3D földtani modellek utóéletét „egyengetve” szorgalmaztam e műfaj magyarországi ismertetését és az ilyen típusú kiadványok megjelentetését (1. 5.2.2 fejezet).

A modellek virtuális térben való bemutatása a földtani környezet jobb megértését segíti elő. E vezérelv a közeljövőben várhatóan kiszorítja a hagyományos papír alapú megjelenítést a földtani modellek terén is. Ennek felismerése vezetett arra, hogy kidolgozzam egy fejlesztői környezettől független inter- és intraneten keresztül működtethető 3D elemző és megjelenítő program a GEOnukleus ötletét, és más szakemberekkel közösen összeállítsuk az alkalmazástervét.



## 7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném ezúton kifejezni témavezetőmnek Zentai Lászlónak a tanulmányaim során nyújtott tanácsaiért, a publikációk átolvasásáért és lektorálásáért. A Térképtudományi (majd később Térképtudományi és Geoinformatikai) Tanszék valamennyi dolgozójának barátságos és segítőkész hozzáállásáért, aminek részese lehettem nemcsak doktori tanulmányaim alatt, hanem korábban is. Külön köszönöm Gyórfy Jánosnak a vetülettan és gömbi geometria terén átadott tudását, amelyet a modellezési eljárások matematikai hátterének kidolgozásakor sokszor felhasználtam. Faragó Imrének, a földtani túratérképek iránti lelkesedésem első „áldozatának”, akinél a beadandó feladatok között már 2000-ben elkészíthettem Úrkút környékéről e térképi műfaj „prototípusát”. Elek Istvánnak, a térinformatikai témájú szakdolgozatom külső konzulensének a raszteres képek feldolgozáról és a térinformatikai szoftverekről szerzett ismereteim megalapozásáért.

Köszönöm MÁFI-s munkatársaimnak az együtt ledolgozott éveket, amelyek során mindig lehetőséget kaptam saját „hóbortom”, a 3D földtani modellek iránti érdeklődésemnek teret adnom. Köszönöm Gyalog Lászlónak, egykori osztályvezetőmnek a kezdeti lendületet, amelyet az üveghutai modellezés lehetőségével adott mint a kutatás projektvezető-helyettese, valamint Balla Zoltánnak, aki projektvezetőként ennek utat adott. Neki külön köszönöm a publikációim alapos lektorálását is, amelyeknek köszönhetően nemcsak szakmai és logikai, de stilisztikai bakikat is időben helyesbíthettem, és akinek köszönhetően sok esetben tárgyilagosság költözött az eredetileg pongyola, vagy éles hangnemben fogalmazott mondataimba.

Köszönöm főosztály- és osztályvezetőimnek Budai Tamásnak és Maros Gyulának, hogy szóval ösztönöztek és munkaidővel támogattak doktori dolgozatom elkészítésében. A Vértes-Gerecse térképezésének alapanyagait sokáig Paulheim Gáspár öreg technikus kollégámmal dolgoztuk fel, akinek nemcsak munkáját, de „AutoCAD mániám” elviselését is köszönöm. A térképi adatbázisok karbantartását Orosz Lászlóval végeztük. Az Exceles adatbázisok gyors feldolgozása során nagy segítség volt a Visual Basic, amit Koritár Attilától elsajátított szerény programozási ismereteimmel valósítottam meg, ám Maigut Vera és Turczy Gábor programjaiból is sokat tanultam, ezúton is köszönöm nekik. Programozási és programtervezési ismereteim hiányosságait Guszlev Antal egészítette ki a GEONukleus funkcionális tervének létrehozásakor.

A barlangjáratok modellezése kapcsán köszönöm Juhász Erikának, aki Budai Tamás ajánlása révén lehetővé tette mint projektvezető, hogy részt vegyek a kutatásban. Az

alkalmazandó modellezési módszerek egy részére Philippe Lapointe vezetett rá ötleteivel és vázlataival. A modellhez szükséges adatokat Kiss Attila és a Bekey Imre Gábor barlangkutató csoport barlangászai adták, azok feldolgozását Treszné Szabó Margit végezte.

A Káli-medence földtani fejlődéstörténetének népszerűsítését Csillag Gábor kezdte meg Korbély Barnabással és Futó Jánossal közösen. Köszönöm, hogy munkájukhoz csatlakozhattam és hozzátehettem, amit tudtam.

Végül köszönöm családomnak és a hozzám közel állóknak, hogy drukkoltak értem és elviselték a terhet velem közösen, amit a doktori munkám és a tanulmány elkészítése jelentett. Köszönöm még feleségemnek Zsuzsinak, hogy stilisztikai, nyelvtani és geológiai téren tett javaslataival jobbá tette az irományom.

## SUMMARY

Title of the Ph.D dissertation: “*Methods of constructing and visualizing 3D geological models from the GIS approach*”.

As a geoscientist of the Geological Institute of Hungary I experienced that construction of a 3D geological model is a very time consuming work, which requires cartographical, geological and information technological knowledge, and it's most important phase is the design of the data structure.

During the research my aim was to study the general conditions, the know-how and the best-practices of 3D geological models through practical applications, and to work out new methods if necessary. My primary achievements are the following:

1. I worked out the objective criteria for the 3D modeling applications in general.
2. I worked out a method for the cartographical representation of such archive geological field maps, which were inserted in the data frame of a GIS (the so called “digital manuscripts”).
3. I made a proposal to sort the structural elements in tectonic formations, and worked out a system for the classification of tectonic elements in 3D geological models.
4. I unified the data processing methods in defining the parameters of different planar objects in large scale 3D geological models, using spherical geometry.
5. I worked out a double projection method for creating tunnel wall-maps of observed geological features in mine-tunnels, using a spherical projection and a central cylindrical projection; this method is the first known practical application of the central cylindrical projection.
6. I worked out a method for creating 3D volumetric models of caves, using the original point-survey data, and the archive 2D cave passage maps.
7. I firstly published cartographic material and a review of the cartographic genre of “*geological tourist maps*” in Hungary; I introduced these maps as the 2,5D representation of a 3D geological model.
8. I worked out the idea of the GEOnukleus software, which would be able to visualize measurable data of 3D geological models through inter- and intranet with a client interface, and I led the project which worked out the use-case model of this application.

I concluded that the 3D geological modeling is an interdisciplinary science where, the modeling method depends on the quality and quantity of the original data, and in most cases it requires unique approach, to achieve the best results.

## KIVONAT

A Magyar Állami Földtani Intézet munkatársaként tapasztaltam, hogy a földtani térmodellek szerkesztése térképészeti, földtani és informatikai ismereteket egyaránt igénylő időigényes feladat, amelynek egyik legfontosabb eleme a térmodell megtervezése.

Kutatói tevékenységem során célom volt, hogy gyakorlati alkalmazásokon keresztül tanulmányozzam a térinformatikai adatbázisokhoz kötődő földtani modellezés általános ismérveit, feltételeit és legjobb módszereit („best practices”), vagy ahol szükséges, új módszereket dolgozzak ki. Főbb eredményeim a következők:

1. Földtani modellezőszoftverek objektív kritériumainak kidolgozása.
2. Térinformatikai rendszerbe illesztett észlelési földtani térképek (digitális kéziratok) kartografikus ábrázolása.
3. Javaslat a tektonikai formációk bevezetésére és a 3D földtani modellekben alkalmazható nevezéktanának kidolgozására.
4. Egységesítettem a különböző adatokból meghatározható síkok paramétereinek feldolgozását nagy méretarányú 3D földtani modellekben, gömbi geometriai módszerek bevezetésével.
5. Kettős vetítési módszer kidolgozása bányavágatok térképének előállításához; a centrális hengervetület gyakorlati alkalmazásának kidolgozása.
6. Barlangjáratok volumetrikus modellezési módszerének kidolgozása, a pontfelmérési adatokra és a létező 2D barlangtérképek adataira támaszkodva.
7. A földtani túratérkép műfajának első hazai közreadása és ismertetése.
8. Földtani modelleket inter- és intraneten keresztül megjeleníteni és adataikat lekérdezni képes alkalmazás, a GEOnukleus koncepciójának és funkcionális tervének kidolgozása.

Munkámból levont következtetésem, hogy a 3D földtani modellezés a földtudománynak egy új interdiszciplináris ága, ahol a modellezési eljárás függ a rendelkezésre álló alapanyagok mennyiségétől és minőségétől, valamint az, hogy többnyire minden modell szerkesztésekor egyedi módszert kell kidolgozni a legjobb eredmény eléréséhez.

## IRODALOMJEGYZÉK

- ALBERT G. 2002: Balatonhenye környékének földtani térképe – in Budai et al. 2002: Geológiai kirándulások I. – A Balaton felvidék, Balatonfelvidéki Nemzeti Park Igazgatósága, Veszprém 2002. p. 121.
- ALBERT G. 2003: Modelling of subsurface geological structures on a future disposal site of low- and intermediate-level radioactive wastes. – *European Geologist. Journal of the European Federation of Geologists*, Dec. 2003, pp. 23–26.
- ALBERT G. 2004/a: Földtudományok eredménye „kézzelfoghatóan”: a földtani túratérkép – *Geodézia és kartográfia*, LVI. évf., 2004/7, pp. 27-30.
- ALBERT G. 2004/b: Pusztamarót észlelési és fedett földtani térképe 1:10 000 (A Vértes és a Gerecse földtani térképsorozata) – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- ALBERT G. 2005/a: Töréses szerkezetek modellezési módszerei – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2004, pp. 97–107.
- ALBERT G. 2005/b: Structural model of the Bersek and Kecskő Hills in the North-eastern Gerecse – A three-dimensional visualization. – *Geolines*, Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic. 19 .p. 15.
- ALBERT G. 2005c: Mogyorósbánya észlelési és fedett földtani térképe , 1:10 000 (A Vértes-Gerecse földtani térképsorozata) – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- ALBERT G. 2008: Barlangjáratok kiterjedésének vizsgálata volumetrikus modellezéssel – *HUNGEO 2008. Magyar Földtudományi Szakemberek IX. Világtalálkozója, Budapest 20/08/2008–24/08/2008*, pp. 72.
- ALBERT G. 2009: Az észlelési földtani térképek digitális feldolgozásának/archiválásának menete – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2007, pp. 45–52.
- ALBERT G., GUSZLEV A. 2006: GEOnukleus kezelőprogram alkalmazásterve háromdimenziós földtani modellekhez (Az atomerőművi kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére irányuló program. Felszín alatti földtani kutatás) – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 16 p.
- ALBERT G., OROSZ L., GYALOG L. 2006/a: Bátaapáti kutatóvágatok földtani-tektonikai dokumentálása és 3D modelljének előállítás – *VIII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy 06/04/2006–09/04/2006*, pp. 14–15.
- ALBERT G., OROSZ L., GYALOG L. 2006/b: Cartographic representation of geological information, observed on tunnel walls and fronts – *Proceedings of the 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems (Earth and Water), Barcelona, Spain 13–16/06/2006*, Vol. II. pp. 89–91.
- ALLAN, U. S. 1989: Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 73, pp. 803–811.
- BAGTZOGLU, A. C. 2003: Perched water bodies in arid environments and their role as hydrologic constraints for recharge rate estimation: Part 1. A modeling methodology. – *Environmental Forensics Journal* 4 (1), p. 39–46, (2003. March)
- BAKEY, R. 2006: Global Paleogeographic Views of Earth History - Late Precambrian to Recent – <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/globaltext2.html>
- BENE A. (1981–1982): A magyar polgári topográfia történetének áttekintése – *Geodézia és kartográfia* 5. sz., *Térképész* 3., 4. sz.

- BIRÓ P. 1985: Felsőgeodézia. — Tankönyvkiadó, Budapest 1985.
- BROWN, A. R. 1986: Interpretation of three-dimensional seismic data (AAPG Memoir 42) 5th edition. – American Association of Petroleum Geologists, 514. p. (1999)
- BUDAI T., CSILLAG G., KOLOSZÁR L., MÜLLER P., NÉMETH K. 2002: Geológiai kirándulások I. – A Balaton felvidék, Balatonfelvidéki Nemzeti Park Igazgatósága, Veszprém 2002. pp. 110, 115, 121.
- BUDAI T., GYALOG L. (szerk.) 2009: Magyarország földtani atlasza országjáróknak 1:200 000 – Magyar Állami Földtani Intézet 2009. p. 248.
- ČECH, S., GAWLIKOWSKA, E. 1999: Góry Stołowe - Geological map for tourists (1:50 000) – MOŚZNIŁ, Państwowy Instytut Geologiczny, Český geologický ústav, Warszawa-Praha 1999.
- CITYGML Exchange and Storage of Virtual 3D City Models – <http://www.citygml.org/>
- CLARK I. 1979: Practical Geostatistics, Applied Science Publishers Ltd., 1979 – [http://www.kriging.com/PG1979/PG1979\\_pdf.html](http://www.kriging.com/PG1979/PG1979_pdf.html)
- CSÁSZÁR, G. (ed.) 1997: Basic lithostratigraphic units of Hungary – Magyarország litosztatográfiai alapegységei. Budapest 114 p.
- CSILLAG G. 2002: Káli-medence és környékének geomorfológiai szintjei – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2002 (2004), pp. 95–110.
- DANK V. ET AL. 1989: Magyarország Földtani Érdekességei – Geological Curiosities of Hungary (1:600 000), Központi Földtani Hivatal, Kartográfiai V. Budapest, 1989.
- DETRÉKŐI Á., SZABÓ GY. 2005: Térinformatika, III. kiadás – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2005. pp. 235–254.
- DORN, G. A. 1998: Modern 3-D seismic interpretation. – *The Leading Edge*, 17 (9), pp. 1262–1273. (1998. September)
- ELEK I. 2006: Bevezetés a geoinformatikába – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2006
- ENGLEHART, K. 1999: Advanced Software Engineering – *CMPE 3213 course*, University of New Brunswick, Canada, <http://www.ee.unb.ca/kengleha/courses/CMPE3213/>
- FODOR L., CSILLAG G., LANTOS Z., BUDAI T., KERCSMÁR ZS., SELMECZI I. 2008: A Vértes Hegység földtani Térképe 1:50 000 – in Budai T., Fodor L. (ed.) 2008: A Vértes Hegység földtana – Magyarország tájegységi térképsorozata – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 2008.
- FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A., PALOTÁS K. 1994: Tertiary tectonics and Late Paleogene sedimentation in the Buda Hills, Hungary. A new interpretation of the Buda Line. *Bull. Hung. Geol. Soc.* 124/2, pp. 129–305.
- FURUTI, C. A. 2006: Cylindrical Projections – <http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Dither/ProjCyl/ProjCEA/projCEA.html>
- FÜLÖP J., CSÁSZÁR G., HAAS J., J. EDELÉNYI E. 1975: A rétegtani osztályozás, nevezéktan és gyakorlati alkalmazásuk irányelvei. – Magyar Rétegtani Bizottság, p. 13.
- FÜST A. 1997: Geostatisztika – Eötvös Kiadó, Budapest, 427 p.
- GALAMBOS CS. 2005: A földtani térkép – digitalizálástól a nyomdáig – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2004, pp. 131–137.

- GEIGER J. (évszám nélkül): Geostatisztika – <http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geostat.htm>
- GIPSZ MODELL 1950: A Magnolia Petroleum társaság gipsz modellje – [http://www.mssu.edu/seg-vm/assets/asset\\_pict0389.html](http://www.mssu.edu/seg-vm/assets/asset_pict0389.html)
- GOLD C. M. 1991: Problems with handling spatial data - the Voronoi approach. *CISM Journal ACSGC*. Vol. 45, No. 1. Springer 1991. pp. 65-80.
- GROSHONG, R. H., JR. 1999: 3-D structural geology. – Springer-Verlag, Heidelberg, 324 p.
- GYALOG L. (szerk.) 1996: A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása. – A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi kiadványa 187, 171 p.
- GYALOG L. 2004: A földtani képződmények jelkulcsrendszere, mint a földtudományi adatbázisrendszer alapja – Ph.D értekezés – *kézirat*, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar, Földtudományi Doktori Iskola, Pécs 2004, pp. 59.
- GYALOG L., BUDAI T., TULLNER T., TURCZI G., ALBERT G., CSEREKLEI E., CSILLAG G., DUDKO A., FODOR L., JÁMBOR Á., JUHÁSZ GY., KAISER M., KNAUER J., SELMECZI I., VETŐ I. 2002: Jelentés “A szénhidrogénkutató térinformatikai alapú földtudományi adatbázisrendszerének készítése” című szerződés teljesítéséről a Dunántúl–Észak területen. — *Kézirat*, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, Budapest.
- GYALOG L., OROSZ L., SÍPOS A., TURCZI G. 2005: A Magyar Állami Földtani Intézet egysége földtani jelkulcsa, fúrási adatbázisa és webes lekérdező felületük – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2004, pp. 109–124.
- HAJÓS GY. 1966: Bevezetés a geometriába. – Tankönyvkiadó, Budapest, p. 512.
- HEWARD A.P.; CHUENBUNGHOM S.; MÄKEL G.; MARSLAND D.; SPRING L. 2000: Nang Nuan oil field, B6/27, Gulf of Thailand: karst reservoirs of meteoric or deep-burial origin? – *Petroleum Geoscience*, Volume 6, Number 1, February 2000, pp. 15-27.
- ISO/IEC 15959 2005: International Standard – Information technology — Open Distributed Processing — Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2, <http://www.iso.ch>
- JUHÁSZ E., NÁDOR A., ESTEBAN, M., BUDAI, T. 2005: Thermal karst field seminar, Buda Mountains, Hungary. Field guide. – *Manuscript*, Geological Institute of Hungary, Budapest
- JUHÁSZ, E. ALBERT, G., BUDAI, T., KERCSMÁR, ZS., MAGYARI, Á., NÁDOR, A. 2007: Hydrothermal alteration and karstification of Triassic and Eocene carbonates, Buda Mountains, Central Hungary (*TOTAL Corporate – Buda Project.*) — *Manuscript*, Budapest 2007.
- KÁRPÁT, J. (SZERK.) 1983: A Pál-völgyi-barlang M=1:250 – Magyarország Barlangtérképei – Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat, Budapest 1983.
- KIDNER, D., DOREY, M., SMITH, D. 1999: What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM. – IV International Conference on GeoComputation, Fredericksburg, VA, USA – [http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/082/gc\\_082.htm](http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/082/gc_082.htm)
- KLEB B., BENKOVICS L., DUDKO A., GÁLOS M., JUHÁSZ E., KERTÉSZ P., KORPÁS L., MAREK I., NÁDOR A., TÖRÖK Á. 1993: Complex geological investigations and drillings in the surroundings of Rózsadomb. Geological, petrophysical, tectonic and palaeokarst analysis and evaluation. Phare 134/2. project report – *Manuscript*, Department of Engineering Geology, Budapest Technical University

- KOVÁCS, P., KÖRMENDI, A. 1999: Geomagnetic repeat station survey in Hungary during 1994–1995 and the secular variation of the field between 1950 and 1995. – *Geophysical Transactions*, 42 (3-4) pp. 107–132.
- MAIGUT V 2004: Földtani térképek kartografálásának segítése térinformatikai módszerekkel – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2004 (2005), pp. 139–144.
- MANN, M. 2004: Eine offene Geodateninfrastruktur zum Austausch freier Geodaten – Fachrichtung Geoinformatik und Vermessung der Fachhochschule Mainz, <http://www.geoinform.fh-mainz.de/diplomarbeiten/1621/>
- MERGUERIAN, C. 2005: Field Guide for Isham and Inwood Parks – [http://www.dukelabs.com/Isham\\_Inwood\\_Parks/Isham\\_Inwood\\_Park.htm](http://www.dukelabs.com/Isham_Inwood_Parks/Isham_Inwood_Park.htm)
- MEYER, F. S. 1917: Handbook of Ornament – Leipzig, Germany: Oswald Mutze, 1917
- MIHÁLYI SZ. 1995: A magyarországi geodéziai vonatkozású vetületi rendszerek leíró katalógusa 4. kiadás – Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest
- MIHÁLYI SZ. 2004: A térinformatikai rendszerek és térbeli referencia adataik szabványai – GIS Open 2004 konferencia, Székesfehérvár, 2004. március 17–19., [www.geo.info.hu/gisopen/cd\\_2004/eloadasok/Mihaly\\_Sz.pdf](http://www.geo.info.hu/gisopen/cd_2004/eloadasok/Mihaly_Sz.pdf)
- MÜLLER, H., CURTIS, E. 2005: Extending 2D interoperability frameworks to 3D – Snowflake Software Ltd., <http://www.snowflakesoftware.co.uk/news/papers/3DFrameworkPaper.pdf>
- PATERSON, J. B. (ed.) 1997: ISO/IEC 8859-1:1997 (E) 7-bit and 8-bit codes and their extension. – International Organization for Standardization, Joint Technical Committee no 1, Subcommittee no 2, Athens, (1998)
- SAMET H. 1990: The design and analysis of spatial data structures – Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1990.
- SÁRKÖZY F. (évszám nélkül): Térinformatika – [http://www.agt.bme.hu/tutor\\_h/terinfor](http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor)
- SMART, W. M. 1960: Text-book on spherical astronomy, 6th edition. – Cambridge University Press, Cambridge, pp. 22–23.
- STEINER F. 1990: A geostatistika alapjai – Tankönyvkiadó, Budapest 1990.
- TESSZELLÁCIÓ: A Florida Center for Instructional Technology online gyűjteménye – [http://etc.usf.edu/clipart/6800/6888/tessellation\\_6888.htm](http://etc.usf.edu/clipart/6800/6888/tessellation_6888.htm)
- TURCZI, G., ALBERT, G., HAVAS, G., TISZA, A. 2004: Construction and application of a geological 3D model at the Bábaapáti (Üveghuta) Site. – Földtani térmodell építése és alkalmazása a Bábaapáti (Üveghutai)-telephelyen. – A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003, pp. 285–298.
- UML (Unified Modelling Language) – <http://www.uml.org>
- VRIES, M. DE, ZLATANOVA S. 2004: Interoperability on the web: The case of 3D data. – Delft University of Technology, [http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/Mv\\_sz\\_esociety.pdf](http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/Mv_sz_esociety.pdf)
- WEIN GY. 1977: Tectonics of the Buda Hills. – Occasional Papers Hungarian Geol. Inst., Budapest 76 p
- WIKIPEDIA - BITMAP: [A Wikipédia cikke]. – <http://en.wikipedia.org/wiki/Bitmap>
- WIKIPEDIA - GRÁF: [A Wikipédia cikke]. – [http://hu.wikipedia.org/wiki/Gráf\\_\(halmazelmélet\)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Gráf_(halmazelmélet))



WIKIPEDIA - MODEL: [A Wikipédia cikke]. – <http://en.wikipedia.org/wiki/Model>

WIKIPEDIA - TESSELLATION: [A Wikipédia cikke]. – <http://en.wikipedia.org/wiki/Tessellation>

ZENTAI L. 2000: Számítógépes térképészet – A számítástechnika alkalmazása a térképészetben – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp.: 158-176.

## ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. A analóg modellezési módszerek: a, tömbszelvény; b, gipsz modell. A tömbszelvény a New York-i Inwood Park szerkezetföldtani felépítését ábrázolja (MERGUERIAN 2005 nyomán), míg a gipsz-modellt az amerikai Magnolia Petroleum társaság készítette 1950-ben (GIPSZ MODELL 1950)..... 9
2. ábra. Két vető által létrehozott hidraulikus csapda elméleti modelljének Allan-diagramja. A papír síkja az egyik vető felszínének felel meg. Szaggatott vonal a kimozdult blokk réteghatárait, folytonos vonal az elvetett blokk réteghatárait jelöli. A kitöltött rész a hidraulikus csapdát jelöli (BAGTZOGLU 2003 nyomán) ..... 10
3. ábra. Klinométeres kompasszal végzett terepi mérés rétegdőlés meghatározására. Magyarázat:  $\alpha$  = irányszög (azimut);  $d$  = dőlésszög; Norm. = a réteglap síkjának normálisa. .... 14
4. ábra. A mágneses deklináció normál tere Magyarország területén az 1995.0 epochra. A mágneses izovonalak  $0^{\circ} 6'$ -et reprezentálnak (KOVÁCS és KÖRMENDI 1999 alapján). .... 15
5. ábra. Digitálisan archivált 1:10 000-es észlelési térkép makettje a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozatából. Magyarázat: 1. címlap = a térképsorozat címe, a térképlap neve és méretaránya; 2. jelmagyarázat = a térképen szereplő képződmények kibúvás típusa szerint (szálaban álló, törmelékes vagy talajjal fedett) megkülönböztetett színekkel, a képződmények földtani indexe és rétegtani besorolása az adott képződménytípusban előforduló közettani indexek listájával; a = a térképlap neve, b = a térkép típusa (pl. észlelési és fedett földtani térkép); c = EOVS koordinátahálózat; d = áttekintő térkép; e = a térképlap szerkesztői és közreműködőinek felsorolása; f = a közettani indexek betűjelének magyarázata (táblázat); g = felhasznált alaptérképek listája ..... 29
6. ábra. Fúrás rétegsorok tematikus színezéssel megjelenítve Autodesk modellezési környezetben. A rácsozott felszín az idős paleozoikumi alaphegység területmodellje.... 32
7. ábra. Digitalizált szintvonalakból szerkesztett domborzatmodell a Vértes területén..... 33
8. ábra. 1:10 000-es észlelési térkép részlete és jelmagyarázatának kivonata a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozat Mogyorósbánya L-34-2-C-c-2 lapjáról (ALBERT 2005/c). ..... 36
9. ábra. A földtani térképek arculatának kialakítása topográfiai alaptérkép CMYK színeinek selektív redukciójával a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozat, Mogyorósbánya L-34-2-C-c-2 lapján (ALBERT 2005/c). A földtani tematika vonalműve és névrajza alatt a kép felső harmadában az eredeti színezés, középen a bíbor (magenta) színcsatornából levezetett szürkeárnyalatos alap, alul a szürkeárnyalatos alapon a tematikus földtani színezés látható. .... 37
10. ábra. A Vértes-Gerecse 1:25 000-es Gauss-Krüger szelvényeinek áttekintő térképe. .... 40
11. ábra. Excel alapon működő Visual Basic alkalmazás párbeszédpanelje, amely a Vértes és a Gerecse Földtani Térképsorozatába tartozó térképlapok jelmagyarázatának szelvényenként történő előállítását teszi lehetővé. .... 53
12. ábra. Példa a virtuális törészóna-teszt 3D modelljére. A törések egyszerű síkok modellezésének módszerével lettek előállítva (ALBERT 2005/a). ..... 62

13. ábra. Két ismert pontot tartalmazó, adott dőlésszöggel jellemzett sík változatai. Jelmagyarázat: $P_{1,2}$ = észlelési pontok; $\delta$ = dőlésszög; $\alpha_{1,2}$ = dőlésirány (azimut); $u_{1,2}$ = segédszélesség; $v_{1,2}$ = segédhosszúság; $Z$ = zenitpont; $O$ = gömbközepont; $R$ = gömb sugara. ....	64
14. ábra. Sík dőlésirányának kiszámítása gömbháromszög segítségével. Jelmagyarázat: $P_{1,2}$ = észlelési pontok; $D_1$ = sík normálisának dőféspontja; $\delta$ = dőlésszög; $\gamma = P_1D_1Z$ gömbháromszög nyílásszöge a $Z$ zenitpontban; $u_{D1} = D_1$ dőféspont segédszélessége; $v_{D1} = D_1$ dőféspont segédhosszúsága; $u_{1,2}$ = segédszélesség; $v_{1,2}$ = segédhosszúság; $Z$ = zenitpont; $O$ = gömbközepont; $R$ = gömb sugara. ....	66
15. ábra. Három ponttal megadott sík jellemzői. Jelmagyarázat: $P_{1,2,3}$ = észlelési pontok, amelyek megadják az $S$ síkot; $D$ = sík normálisának dőféspontja; $\delta$ = dőlésszög; $\alpha$ = dőlésirány (azimut); $u_D = D$ dőféspont segédszélessége; $v_D = D$ dőféspont segédhosszúsága; $d = S'$ sík távolsága a relatív koordinátarendszer $O$ origójától; $Z$ = zenitpont; $O$ = gömbközepont; $R$ = gömb sugara. ....	68
16. ábra. Árnyékolt TIN felületmodell felülnézeti (ortogonális) képe. Piros vonalak a Voronoi sokszögek részletét mutatják.....	71
17. ábra. Különböző szabálytalan alakzatok tesszellációja szabályos rácsháló mentén. (MEYER 1917, alapján a Florida Center for Instructional Technology gyűjteményéből TESSZELLÁCIÓ). ....	76
18. ábra. Egyszerű alakzat quadtree stuktúrája (SÁRKÖZY) nyomán. ....	77
19. ábra. A sztohasztikus szimuláció és a kriegelés eredményének összehasonlítása ugyanarra a területre vonatkozóan (GEIGER). ....	80
20. ábra. 1000 szabályos térelemet tartalmazó voxel-modell részletek, amelyek 10%-a eltérő színnel van jelölve. Felül a térfogat 10%-a egy felületi elrendezés megtízszerezésével jött ki (és így nem hordoz térbeli információt, csak statisztikait). Alul egy összetett térbeli alakzat modellje tölti ki a 10%-ot (és így a térbeli elhelyezkedése is informatív). ....	82
21. ábra. Három (0, 1, 2) hierarchikus szintre bontható kocka alapú voxel modell lineáris octree (nyolcágú fa) algoritmus szerinti kódolása. A besötétített térelem iránykódja 155. .....	83
22. ábra. Egymást metsző vetőfelületek és a felszíni domborzat TIN modellje a Gerecse ÉK-i részéről (ALBERT 2005/b alapján). ....	86
23. ábra. Részlet a Pál-völgyi-barlang kiadott térképéből (KÁRPÁT 1983). ....	91
24. ábra. A Pál-völgyi-barlang elhelyezkedése a környező kőzetekben. A barlangjáratok követik a Szépvölgyi Mészki Formáció és a Budai Márga Formáció rétegeinek általános dőlését, valamint a törések vonalát (JUHÁSZ ET AL 2005 nyomán). ....	93
25. ábra. A Pál-völgyi és a Mátyás-hegyi barlang térképvázlata a Magyar Barlangtani Társulat kéziratai alapján. A járatok iránya az ÉNy-DK és ÉK-DNy csapású szerkezeti vonalakat követi.....	93
26. ábra. A modellezett és a térképezett járatkeresztmetszet összefüggése és viszonyuk a referenciaponthoz ( $O$ ), mint a relatív koordinátarendszer kezdőpontjához (Albert 2008 alapján). Összefüggések: $w=xB3+xJ1$ ; $h=yA2+yF4$ . ....	96
27. ábra. A Pál-völgyi-barlang 3D modellje a virtuális térben DNy-i irányból. Barna színnel a barlang járatait magába foglaló elforgatott és megdöntött ( $166^\circ/15^\circ$ ) közzettest modell, kékkel az 50 m él-hosszúságú kockamodell látható. ....	98
28. ábra. A vizsgált sziklafalak szelvényeinek, a 24 db blokknak, valamint a szabályos rácshálónak a helyzete a Pál-völgyi-barlang köfajtájában. A háló egyes celláinak él- hossza 7 m, hosszanti oldalának iránya $132.1827^\circ$ . ....	101
29. ábra. A hiba ( $d$ ) várható értékének ( $M$ ) és szórásának ( $D$ ) számítása 24 kőzetblokk vetített hosszainak és a voxelek különböző él-hosszúságának figyelembevételével. ....	104

30. ábra. Centrális hengervetülettel ábrázolt világtérkép a 70° északi és déli szélességi köröknél levágva (FURUTI 2006 nyomán). .....	111
31. ábra. A Bábaapáti Keleti-lejtősakna egyik vágathomlokának helyszíni dokumentációja alapján készített méretarányos rajz (ALBERT ET AL. 2006/b alapján).....	112
32. ábra. Sík leképezésének folyamata palásttérképre (ALBERT ET AL. 2006/b alapján). Magyarázat: a = vágattengely; b = vágathomlok; c = mért sík; d = paraméterezett gömb; e = vetített 3D ellipszis lap a hengerpaláston; f = a sík vetületi képe. ....	113
33. ábra. Késő-perm korú Föld ősföldrajzi térképe Mollweide-féle vetületben (BAKEY 2006 nyomán). .....	119
34. ábra. A Káli-medence földtani szelvényének és domborzatmodelljének kompozit képe (ALBERT 2002).....	122
35. ábra. A pécselyi Zádor-vár környékének földtani felépítését bemutató tömbszelvény (ALBERT 2002).....	123
36. ábra. Részlet a Cseh Érchegység egy részének földtani túratérképéből (ČECH & GAWLIKOWSKA 1999).....	126
37. ábra. Balatonhenye környékének földtani túratérképe (ALBERT 2002).....	127
38. ábra. A GEOnukleus rendszer felhasználói .....	129
39. ábra. A GEOnukleus rendszer környezetének áttekintése.....	131
40. ábra. A GEOnukleus kliens szoftver alkalmazásmodelljének vázlata .....	132
41. ábra. Eseménysor: térinformatikai adatok megnyitása a GEOnukleus rendszerben .....	134
42. ábra. Eseménysor: nézőpontváltás a GEOnukleus rendszerben .....	135
43. ábra. Eseménysor: kitétség térkép megjelenítése a GEOnukleus rendszerben .....	136
44. ábra. Eseménysor: makrók futtatása a GEOnukleus rendszerben .....	138
45. ábra. Eseménysor: attribútumok lekérdezése a GEOnukleus rendszerben.....	138
46. ábra. Eseménysor: metszetek nyomtatása a GEOnukleus rendszerben.....	139

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat. A földtani modellek névleges méretarányát meghatározó észlelések gyakorisága. ....	13
2. táblázat. Mágneses kompasszal mért szögirányok torzulásai EOVS rendszerbe illesztéskor 2005-ben (ALBERT 2005/a).....	15
3. táblázat. Forgalomba hozott tájegységi földtani térképsorozatok Magyarországon (ALBERT 2004/a alapján) .....	22
4. táblázat. Az 1:10 000 és 1:25 000-es észlelési és fedett földtani térképek fedvény- avagy rétegekiosztása AutoCAD-ben és Microstation-ben: .....	25
5. táblázat. A Gerecse területére eső 1:25 000 Gauss-Krüger szelvényezésű lapok elnevezése. ....	42
6. táblázat. Részlet a Kömlőd (L-34-13-B-c-1) 1:10 000 észlelési és fedett földtani térképének térképi adatbázisából. ....	51
7. táblázat. Részlet a barlang felmérésekor készült jegyzőkönyv digitális változatából.....	90
8. táblázat. A Pál-völgyi-barlang üregeinek térfogatarányai a térmodell különböző elemzési módszereinek függvényében. ....	99
9. táblázat. A különböző porozitású kőzetkategoróriák felosztásának kritériumai az előforduló földtani bélyegek alapján és az egyes kategóriák porozitás értékei (JUHÁSZ ET AL 2007 nyomán). ....	102
10. táblázat. A kőfejtő három szelvényének egyes kőzetblokkjaihoz tartozó vektor-irányok, abszolút hosszúságuk, valamint az eredő vektorra vetített hosszai (L')......	103
11. táblázat. Különböző porozitás-kategoróriákba tartozó blokkok eloszlása a kőfejtő dokumentált sziklafalain.....	105

12. táblázat. A másodlagos porozitás térfogatának porozitás-kategóriánkénti értékei a Pál-völgyi-barlang kőfejtőjének térmodelljében. ....	106
13. táblázat. A földtani tudományos és a népszerűsítő kidványokban alkalmazott elnevezések összehasonlítása .....	121
14. táblázat. Forgalomba hozott országos térképsorozatok és tájegységi térképek Magyarországon (ALBERT 2002 alapján módosítva) .....	124