Smaragd-GSH Kft.
Vízgazdálkodás és Környezetvédelem
www.smaragd.hu

A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése
KEHOP-1.1.0-15-2017-00010

Vízháztartási modellezés és állapotértékelés
II. kötet

A regionális numerikus hidrodinamikai modellezés menetének és eredményeinek bemutatása

ISO 9001 & 14001
QEM HU 3 34 299 11
www.ecomcert.org

TERVLAP

Projekt megnevezése:	A Dunántúli-középhegységi karsztvízszint emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése KEHOP-1.1.0-15-2017-00010
Részfeladat megnevezése	Vízháztartási modellezés és állapotértékelés – II. kötet A regionális numerikus hidrodinamikai modellezés menetének és eredményeinek bemutatása
Megrendelő	Országos Vízügyi Főigazgatóság 1012 Budapest, Márvány utca 1/D.
Vállalkozó	Smaragd-GSH Kft. 1114 Budapest Villányi út 9.
Végrehajtás ideje	2019.01.11.-2020.11.30.

Projektvezető	Gondárné Sőregi Katalin Okl. geológus Mérnöki kamarai nyilvántartási szám: 13-8286 VZ-T, SZKV-1.1., SZKV-1.3., SZVV-3.1. SZVV-3.9. SZVV-3.10.
Hidrodinamikai modellezést és a jelentést készítette	Molnár Mária Okl. hidrogeológus mérnök
Karsztvíztárolók modellezése szakértő	Viszkok János Dr. es Sci. Okl. geológus Mérnöki kamarai nyilvántartási szám: 01-11214 VZ-TEL, VZ-TER, SZVV-3.9., SZÉM3, VZ-VKG
Regionális vízadók nem permanens modellezése szakértő	Kovács Balázs PhD Okl. bányamérnök-hidrogeológus mérnök Mérnöki kamarai nyilvántartási szám: 05-0405 VZ-TEL, VZ-VKG, SZÉM-3, SZÉS8, GT, SZÉM-8
Térinformatika, digitális térképek szerkesztése	Könczöl Nándorné térinformatikus mérnök

Adatfeldolgozásban, értékelésben, a jelentés összeállításában részt vettek: Balogh Viktor (okl. geológus), Gondár Károly (okl. geológus, környezetvédelmi szakmérnök), Kun Szabolcs (okl. építőmérnök), Modrovits Kamilla (okl. geológus), Vatai József (okl. geológus), Weiser László (okl. geológus)

Jóváhagyta:

SMARAGD-GSH Kft.
1114 Budapest, Villányi út 9.
Tel/Fax: 361-4341, 209-3622
Adószám: 10905573-2-43

.....
Gondár Károly Ügyvezető

TARTALOMJEGYZÉK

1. A numerikus modellezés háttere 6
1.1 Numerikus modellezés elmélete 6
1.2 Alkalmazott szoftver 8
1.3 A Dunántúli-középhegység numerikus modellezésének munkafolyamata 8
2. A Dunántúli-középhegység numerikus modellezésének bemutatása 12
2.1 A numerikus modell geometriai felépítése, numerikus rétegek 12
2.2 A numerikus modell rácshálójának kialakítása 21
2.3 A numerikus modell hidraulikai paraméterezése 25
2.3.1 Szivárgási tényező értékek a numerikus modellben 25
2.3.2 Fajlagos tározás értékek a numerikus modellben 40
2.3.3 Beszivárgás a numerikus modell felszínén 45
2.3.4 A diszkrét elemek a numerikus modellben 47
2.3.5 A szerkezeti elemek hatása a numerikus modellben 48
2.4 Peremfeltételek a numerikus modellben 49
2.4.1 1. típusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel 49
2.4.2 3. típusú (Transfer)-Cauchy peremfeltétel 50
2.4.3 4. típusú (Well)-Kút peremfeltétel 51
2.5 A tranziens modellezés 55
2.5.1 A tranziens modellezés kezdeti feltételei 55
2.5.2 A tranziens modell időléptéke 55
2.5.3 A bánya térségek parametrizálása 56
2.5.4 A numerikus modell kalibrálása 57
2.5.5 Modellezési scenáriók 82
2.5.6 A vízmérleg kinyerésének menete a numerikus modellből 86
2.6 Eredmények értelmezése 88
3. Felhasznált irodalom 89

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A numerikus modellezés elmélete 7
2. ábra: A modellezés munkafolyamata és a numerikus modell felépítése 10
3. ábra: ÉNy-DK-i irányú elvi szelvény 13
4. ábra: Hidrosztratigráfiai egységek zóna térképe 14
5. ábra: A modell geometriai felépítése 16
6. ábra: A numerikus modell DNy-ÉK-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás) 16
7. ábra: A numerikus modell DK-ÉNy-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás) 17
8. ábra: A főkarszt kibúvás geometriai leképezése a numerikus modellben, egy DK-ÉNy-i irányú szelvényen kinagyítva (5x túlmagasítás) 17
9. ábra: Az 1. numerikus modell felszín (Kvarter-Felső-pannon) 18
10. ábra: Az 1. numerikus modell réteg vastagsága 18
11. ábra: A 2. numerikus modell felszín (Alsó-pannon-Miocén-Oligocén) 19
12. ábra: A 2. numerikus modell réteg vastagsága 19
13. ábra: A 3. numerikus modell felszín (Függőkarszt) 20
14. ábra: A 3. numerikus modell réteg vastagsága 20
15. ábra: Az 5. numerikus modell felszín (Főkarszt) 21
16. ábra: A FEFLOW szoftverben alkalmazható elemek 22
17. ábra: Pont elemek 23
18. ábra: Egyszerűsített folyóhálózat 23
19. ábra: Egyszerűsített vetőhálózat 24
20. ábra: A numerikus modell rácshálója 25
21. ábra: Az 1. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 28
22. ábra: A 2. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 29
23. ábra: A 3. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 30
24. ábra: A 4. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 31
25. ábra: Az 5. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 32
26. ábra: A 6. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 33
27. ábra: A 7. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 34
28. ábra: A 8. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás 35
29. ábra: A numerikus modell 3 dimenziós képe a szivárgási tényező eloszlással 37
30. ábra: A szivárgási tényező eloszlás DNy-ÉK-i irányú szelvényen (5x túlmagasítás) 37
31. ábra: A numerikus modell DK-ÉNy-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás) 38
32. ábra: K-tényező változása azonos rétegben, egy DK-ÉNy-i irányú szelvényen kinagyítva (5x túlmagasítás) 39
33. ábra: Az 1. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 42
34. ábra: A 2. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 42
35. ábra: A 3. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 43
36. ábra: A 4. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 43
37. ábra: Az 5. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 44
38. ábra: A 6. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás 44
39. ábra: A modellezés során alkalmazott korrigált beszivárgás csökkentésének területi elterjedése 45
40. ábra: A 2018-as év végére számolt beszivárgás a numerikus modellben 46
41. ábra: A különböző évekre számított beszivárgás értékek kapcsolása a tranziens modellben 47
42. ábra: A numerikus modellbe épített vetőhálózat 48

43. ábra: A numerikus modellben a források összekötése az 5. rétegig Sötét szürkével az 5. réteg felszíne látható 48
44. ábra: A numerikus modellben szereplő 1.tipusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel 50
45. ábra: A numerikus modellben szereplő 1.tipusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel 51
46. ábra: A fedőt megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben 52
47. ábra: A főkarsztot (5. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben 52
48. ábra: A főkarsztot (6. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben 53
49. ábra: A főkarsztot (7. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben 53
50. ábra: A numerikus modellben szereplő 4.tipusú (Well) peremfeltétel 54
51. ábra: A vízkivételek modellbeli leképezése a nyirádi Iza10 jelű kút példáján 54
52. ábra: A tranziens modell kezdeti vízszint eloszlása 55
53. ábra: A bányatérségek területe, ahol peremfeltételt határoztunk meg az 5. rétegben 56
54. ábra: A numerikus modell kalibrálási görbéje a 2019-es januári állapotra 58
55. ábra: A numerikus modell kalibrálási görbéje az 1991-es januári állapotra 58
56. ábra: A numerikus modell vízszinteloszlása a 2019-es januári állapotra (mBf) 59
57. ábra: A numerikus modell vízszinteloszlása az 1991-es januári állapotra (mBf) 60
58. ábra: A mért és a számított vízszintek közötti eltérés százalékos megoszlása 65
59. ábra: A forráshozamok kalibrálási görbéje a 2019-es állapotra 68
60. ábra: Az üzemi vízszintek kalibrálási görbéje a 2019-es állapotra 70
61. ábra: Az 1991-re kialakult leszívás a tatabányai akna környezetében Kék görbe: Tatabánya-12-es monitoringkút modellezett vízszint idősora Piros görbe: Tatabánya XV/C akna termelési idősora Fekete nyíl:1991 január 71
62. ábra: A magyarországi csapadék rekonstruált évi átlagos trícium idősora 72
63. ábra: A Dunántúli-középhegységben vizsgált kutak trícium koncentráció szerint csoportosítva 74
64. ábra: A Dunántúli-középhegység területén található kutak/források különböző vízhőmérsékleti kategóriákba sorolva 79
65. ábra: A Pannon-medence és környezete földi hőáram sűrűsége [3] Pirossal a modellezett terület látható 80
66. ábra: A modellezett hőmérséklet eloszlás 81
67. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra a pesszimista változat alapján 83
68. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra az átlagos változat alapján 84
69. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra az optimista változat alapján 85
70. ábra: A k.4.1. és k.1.2. víztestek vető nélküli és vetőt tartalmazó modell változatok vízmérleg elemeinek diagramja 87
71. ábra: A k.4.1. és k.1.2. víztestek vetőt tartalmazó modell változat vízmérleg elemeinek Box-Whisker diagramja 87

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A numerikus modellfelszínek 15
2. táblázat: Az egyes képződmények K-tényező értéke a numerikus modellben 36
3. táblázat: Az egyes képződmények vertikális elterjedése a numerikus modellben 40
4. táblázat: Az egyes hidrosztratigráfiai egységhez tartozó fajlagos tározás 41
5. táblázat: A szerkezeti elemek hidraulikai paraméterei 47
6. táblázat: A bányaterületeken alkalmazott peremfeltétel értéke a numerikus modellben 57
7. táblázat: A mért és modellezett vízszintek a megfigyelő kutakban a 2019-es állapotra 61
8. táblázat: A forráshozamok kalibrációja 2019-es állapotra 67
9. táblázat: A forráshozamok kalibrációja 1991-es állapotra 68
10. táblázat: Az üzemi vízszintek kalibrációja a 2019-es állapotra 69
11. táblázat: Az aknák környezetében kialakult mért és számított leszívások 1991-ben 71
12. táblázat: A 2013-2019 között trícium mérésbe bevont kutak száma és az azokban mért legkisebb és legnagyobb tríciumkoncentráció víztestenként lebontva 73
13. táblázat: Trícium tartalom és a víz kora közötti kapcsolat, valamint az egyes kategóriákba sorolható kutak darabszáma a Dunántúli-középhegységben 73
14. táblázat: A Dunántúli-középhegység karsztvíztározójában 2013-2019 között trícium vizsgálatba bevont kutak alapadatai és az utolsó méréshez tartozó trícium koncentráció értéke 74
15. táblázat: A Dunántúli-középhegység felszín alatti vízhőmérsékleti adathalmazát jellemző statisztikai mutatók 78
16. táblázat: A hőtranszport modellhaz alkalmazott bemenő paraméterek 80

1. A NUMERIKUS MODELLEZÉS HÁTTERE

1.1 Numerikus modellezés elmélete

A modellezés folyamatát különféle szempontok alapján többféleképpen lehet tagolni. Mi négy fázisra osztjuk (***1. ábra***), a valódi rendszer ismeretétől kezdve a koncepcionális modell felállításán és a numerikus modell kialakításán keresztül a kapott eredmények értelmezéséig és visszacsatolásig.

Az **első fázis** magában foglalja a probléma megfogalmazását, tér és időbeli lehatárolását. Itt gyűjtjük be azokat az információkat, melyek a modell felépítéséhez szükségesek. Lényegében a valóság ismert részének absztrakciója, az elérhető és felhasználható adatok összegyűjtése, szisztematikus kiválogatása, ellenőrzése, tematikus térinformatikai jellegű adatbázisba rendezése (***lásd I. kötet***).

A **második fázis** a koncepcionális modell felépítése. Ebben a fázisban kell meghatározni a fizikai, termodinamikai és kémiai egyenleteket, amelyek leírják az áramlást térben és időben. A valóságos rendszert igen részletesen ismerhetjük, de a probléma megoldása érdekében szükséges az egyszerűsítés. Ez az egyszerűsítés egy feltételezés rendszeren keresztül van beépítve a modellbe (ez a modellezés hipotézise). Különböző egyszerűsítési szisztémák különböző koncepcionális modellt adnak, melyek különböző megoldásokat eredményezhetnek. Ezen modellek közül az lesz a legjobb, amelyik az adott problémára a legpontosabb megoldást fogja adni. Így felállításukhoz az eredmények bizonyos fokú intuíciójára is szükség van. A koncepcionális modell tervezése és elkészítése két fő tényezőtől függ: a kutatás céljától, és az elérhető erőforrásoktól (input adatok, hardver és szoftver).

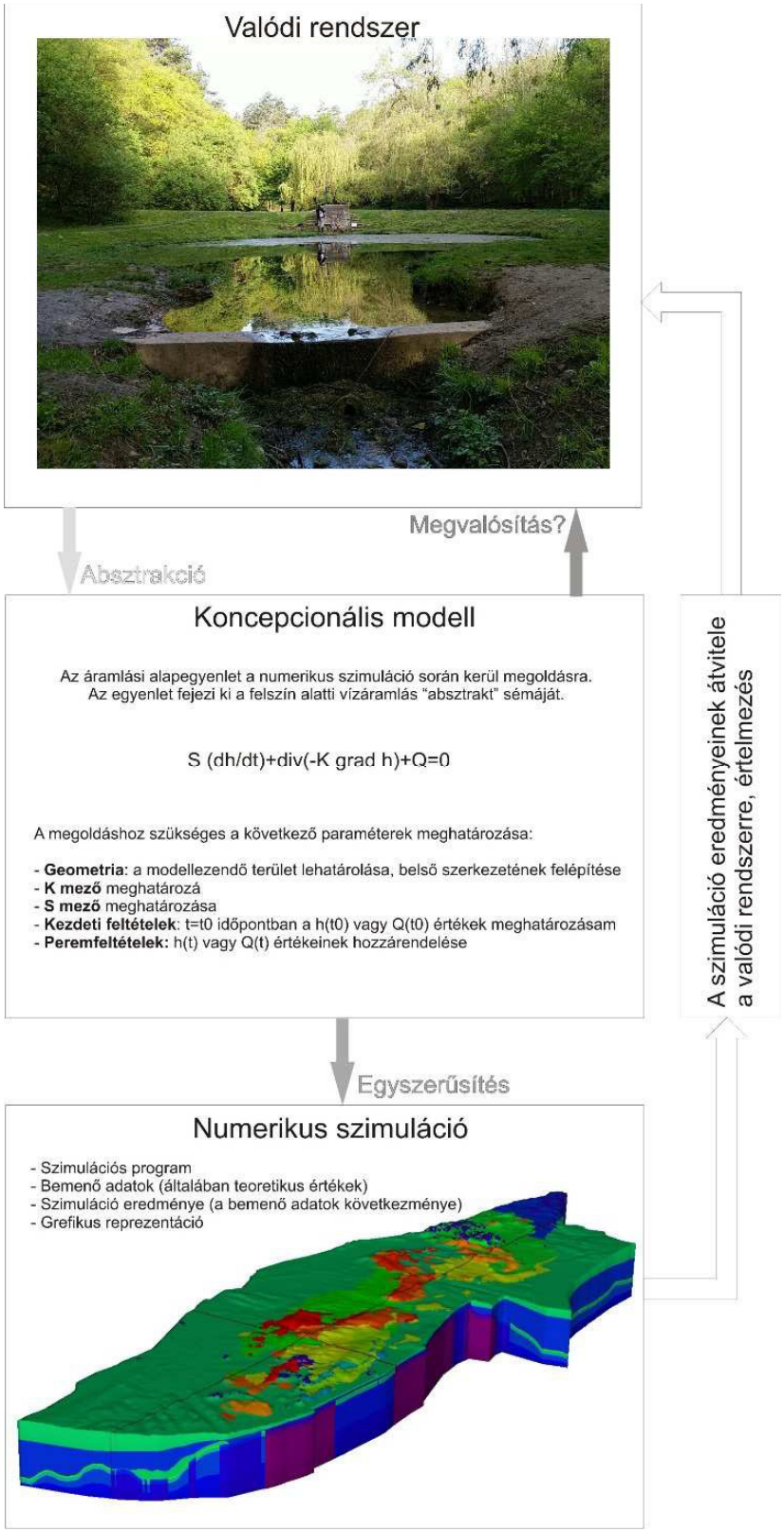
A felszín alatti vízáramlás matematikai képletének megoldása a következő információk meghatározását igényli (***1. ábra***):

- a modellezni kívánt objektumok térgeometriai topológiája;
- hidraulikai vezetőképesség (K) mező;
- fajlagos tározási képesség (S) mező;
- kezdeti és peremfeltételek.

A megfelelő koncepcionális modell felépítése a modellezési folyamat legfontosabb és legidőigényesebb része.

A **harmadik fázis** a numerikus modellezés (matematikai szimuláció). Ez a lépés további nagyfokú egyszerűsítést tartalmaz a megoldhatóság és értelmezhetőség érdekében. Ebben a fázisban történik a tanulmányozott térfogat kisebb egységekre osztása (diszkretizáció), és a hidrogeológiai egyenletek megoldása a választott perem- és kezdeti feltételekkel. A diszkretizációt a kiválasztott szoftvernek és a feladatnak megfelelően kell elvégezni. A matematikai szimuláció magában foglalja a szoftvert, a felhasznált adatbázist (mért és feltételezett értékek) és az eredmények bemutatását, reprezentációját.

A **negyedik fázis** a numerikus szimuláció során kapott eredmények értelmezése a valódi rendszer ismeretének tükrében és visszacsatolása a koncepcionális modell felé (***lásd a III. kötet***). Ez a modellezési folyamat legkényesebb része; ellenőrizni kell a felállított hipotézisek következményeit. A szimuláció eredménye nem fog megegyezni a koncepcionális modellel, de egy adott pontosságon belül a második fázisban kidolgozott áramlásra vonatkozó elméletet megerősíti, vagy elveti. Amennyiben az eredményt nem fogadjuk el, a koncepcionális modellt módosítani kell a kapott eredmények és a valóság összehasonlításával és új elméletek felállításával.



1. ábra: A numerikus modellezés elmélete

1.2 Alkalmazott szoftver

Természetesen az adott feladathoz kell kiválasztani az alkalmazandó szoftvert. A piacon jelenleg több nagy, felszín alatti vízáramlás modellező szoftver csomag található: az amerikai USGS által kifejleszett ModFlow véges differencia módszeren alapuló különböző felhasználói felületekkel bővített változatai; és az európai, WASY Ltd. által fejlesztett által fejlesztett végeselemes FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system). Emellett léteznek olyan keretrendszerek, mint pl. az AQUAVEO által fejlesztett GMS Groundwater Modeling System, ahol a koncepcionális modell felépítését követően van lehetőség mind véges diferencia, mind végeselem alapú megoldások futtatására.

A numerikus modellezéshez a FEFLOW 7.2 verzióját választottuk, mivel a 3D-s mátrix elemek közé beépíthető 1D-s és 2D-s diszkrét elemek jobban tudják reprezentálni a Dunántúli-középhegység karszt rendszerét, emellett általános anizotrópia beállításokat alkalmaz, továbbá az időbeli folyamatok (beszivárgás, víztermelések, stb.) tetszőleges felbontású szimulációját teszi lehetővé.

1.3 A Dunántúli-középhegység numerikus modellezésének munkafolyamata

Az alkalmazott numerikus modellezés munkafolyamatát az ***2. ábra*** szemlélteti. A modellezés munkafolyamata három fő fázisra oszlott.

Az első fázisban egy olyan 2019-es állapotot tükröző permanens modell elkészítése volt a cél, amely az ismeretességnek megfelelően visszaadja a 2019-es állapotban mért nyugalmi (törzshálózati monitoring kutak) és üzemi vízszinteket (500 m^3/nap nagyobb vízkivételek a főkarsztból), illetve 10 000 m^3/nap-nál magasabb forráshozamokat. A permanens modell elkészítésének folyamata magában foglalja a felszín alatti vízáramlás numerikus szimulációjához kívánt geometria meghatározását, a kőzetek hidraulikai tulajdonságainak beépítését és kalibrálását, illetve a kezdeti és peremfeltételeket, továbbá ezeknek az adatoknak adatbázisba történő rendezését.

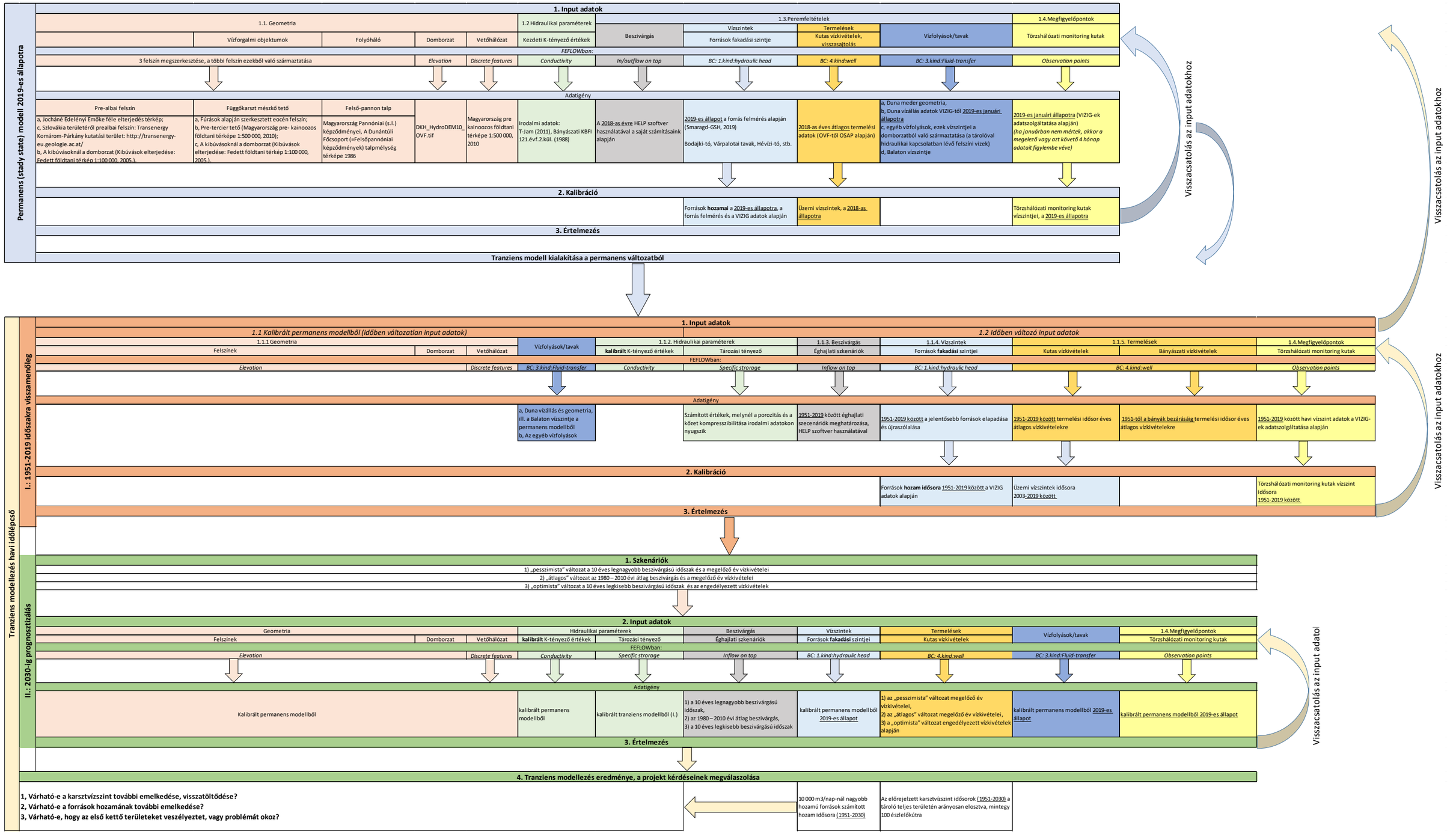
A kalibrált permanens modellben meghatározott paraméterek adják a második fázisban elkészített tranziens modell időben változatlan paramétereit. A tranziens modellezés célja, hogy szimulálja az 1951-től 2019-ig tartó időszakot és a lehetőségekhez mérten megfelelő mértékben visszaadja a bányászati vízkivételek által okozott vízszintcsökkenést és a visszatöltődés folyamatát. Ennek szimulálására szükséges a vizsgált időszakra, a változó paraméterek beépítése a modellbe, úgymint a termelések, a monitoring kutakban mért vízszintek, és a beszivárgás. A munkafolyamathoz hozzátartozik az előző paraméterekhez tartozó adatbázisok létrehozása.

A harmadik fázisban készült el a kalibrált tranziens modellből a 2030-ig meghosszabbított időintervallumú tranziens modell, melynek célja a karsztvízszint és forráshozam változás előrejelzése. Az előrejelzést háromféle modellváltozatra készítettük el, ennek eredményeit a III. kötet/fejezetben ismertetjük.

A numerikus modellezés fázisokra bontására azért volt szükség, hogy kalibráció során végzett változtatások nyomon követhetőek legyenek, illetve ezáltal gyorsabban tudjuk megvizsgálni, hogy egy-egy változtatásra, miként reagál a modell. A tranziens modellel egy-egy változtatás futtatása kb. 15-20 órát vett igénybe, emiatt is a permanens modellt használtuk a kalibrációhoz, majd az elfogadott változtatásokkal végeztük a tranziens modellezést. A három fő fázis nem időarányosan oszlik el, és a valóságban ezek a munkafolyamatok fedték egymást.

A nem permanens szimulációs futtatások elvárt eredményeit részben ebben a II. kötetben, részben az Állapotértékelés III. kötetben mutatjuk be.

- A karsztos tároló kalibrált paramétereinek (szivárgási tényező, tárolási tényező) területi eloszlását, az áramlási képet meghatározó tektonikai vonalakat (II. kötet).
- Az észlelő kutak helyére a modellel számított és a kutak mért vízszint idősorait. A feltártság figyelembevételével a tároló teljes területén arányosan elosztva, mintegy 100 észlelőkútra (II. kötet/1. függelék)
- A 10 000 m^3/nap-nál nagyobb hozamú források számított hozam idősorát (II. kötet/2. függelék)
- A szimulációs időszak végére (2019. jan. 1.) számított karsztvízszint térképet (III. kötet/17. térképmelléklet)
- Az előre jelzett karsztvízszint idősorokat a tároló teljes területén arányosan elosztva, mintegy 100 észlelőkútra (III. kötet/1. függelék)
- Az átlagos, optimista és pesszimista szcenáriókra, az előrejelzési időszak végére, 2030-ra prognosztizált karsztvízszint térképet (III. kötet/18-20. térképmelléklet).
- Az előre jelzett forráshozam idősorok mindhárom változatra (III. kötet/2. függelék)



2. ábra: A modellezés munkafolyamata és a numerikus modell felépítése

A karsztos víztartók modellezése, mint amilyen a Dunántúli középhegység főkarsztvíz tárolója, több elméleti problémát vet fel:

- A szimulációs szoftverek egy modellen belül nem tudnak megkülönböztetni zárt és nyílt karszt víztartókat.
- A rétegvíz és a karsztvíz rendszer kapcsolata már koncepcionális szinten is bizonytalan, így ezek áttétele a numerikus fázisba tovább csökkenti a megbízhatóságot.
- Az összefüggő, egységes karsztvíztartóban egységes karsztvízszintről nem beszélhetünk a blokkos szerkezet és a több szintű karsztrendszer miatt. Egyszerűsítési és megoldhatósági okokból kénytelenek vagyunk mégis ilyen rendszerben gondolkodni.
- A karsztrendszerben telített, telítetlen és részlegesen telített zónák felváltva helyezkedhetnek el egymás alatt és mellett. Ezt a változatosságot az ismeretek hiánya miatt nem tudtuk figyelembe venni.
- A repedezettség és a karszt-járatrendszer alig ismert, illetve csak közvetett bizonyítékok vannak jelenlétükre. A keszthelyi-hegységi tapasztalatok alapján a karszt rendszer fejletlensége miatt a repedések/vetők vízvezetése lehet a domináns.
- A karszt és a tektonikai elemek numerikus modellbe történő beépítésénél és az eredmények értelmezésénél a következőkre kell figyelmi:
    - a vetők nem abszolút elemek, csak lehetőséget jelentenek; szerepüket az áramlási rendszer ismeretében és térben kell értelmezni: pl. milyen potenciálú helyeket köt össze, beáramlási vagy kiáramlási zónában van-e, hol van az inflexiós pontja, hol helyezkedik el a hierarchikus áramlási rendszerben, stb.
    - vetők lokális diszkrét elemek, helyenként nagy mennyiségű vizet képesek szállítani, így jelentőségük méretarány kérdése is.
    - a vetők szerepét nagyban befolyásolják a közrezáró kőzet paraméterei, illetve a köztük lévő kontraszt.
    - vetők hidrodinamikai paraméterei nem számszerűsíthetők és lokálisan is nagy szélsőértékek között képesek változni így a gyakorlatban a tapasztalt jelenségekhez kell igazítani a paramétereit.
- Egy vető önmagában nem ”záró” / vagy ”vezető”, kérdés, hogy a hidrodinamikai környezetét (áramképet, fluxust, potenciálokat, vízmérleget) hogyan befolyásolja.
- A hidraulikus potenciál, repedezettség és a karszt-járatrendszer időben változó paraméterekkel, illetve értékekkel rendelkezik, melyet úgyszintén nem tudtunk felmérni és figyelembe venni. A Dunántúli-középhegység modellezése a bányászat, és annak a vizsgált időszakban okozott porozitás, tározási tényező és hidraulikus vezetőképesség változtató hatása miatt is speciális.
- Az eredmények értelmezésénél figyelembe kell venni a beépített adatok méretarányát térben és időben egyaránt.

2. A DUNÁNTÚLI-KÖZÉPHEGYSÉG NUMERIKUS MODELLEZÉSÉNEK BEMUTATÁSA

2.1 A numerikus modell geometriai felépítése, numerikus rétegek

A vízadó rétegek geometriájának meghatározása, vagyis az egyes képződmények horizontális és vertikális elterjedésének minél pontosabb lehatárolása a numerikus modell számára elsődleges fontosságú feladat. A numerikus modellezés során a különböző vízföldtani tulajdonságú képződmények leképezése/csoportosítása hidrosztratigráfiai egységeken keresztül történik. A numerikus modell alapját képező földtani modellt részletesen bemutattuk a ***I. kötet 2. fejezetben***. Bemutattuk, mely hidrosztratigráfiai egységekbe milyen képződmények tartoznak, illetve ismertettük elterjedésüket és vastagsági viszonyaikat. Ebben a fejezetben a modell számára szükséges kialakítást tárgyaljuk részletesen.

A numerikus modell vezérszintjeit alkotó hidrosztratigráfiai egységek a következők:

- Főkarszt (pre-albai képződmények):
- Függőkarsztos rétegcsoport –vízrekesztő képződmények
- Függőkarsztos rétegcsoport – mészkő
- Alsó-pannon – miocén – oligocén képződmények
- Kvarter és felső-pannon képződmények

Röviden összefoglalva:

A triász és alsó-jura korú karbonátos kőzetek alkotják a főkarsztvíztároló összletet, amely regionális elterjedésű, nagy vastagságú, kiváló vízvezető képességű képződmény.

A kréta (Ugodi és Zirci Formációk), illetve eocén korú mészkövek (Szőci és Szépvölgyi Formációk), ha közvetlenül települnek, a triász korú karbonátokra szintén a főkarsztot alkotják, ha a triász karbonátoktól kréta és eocén márga és agyag rétegek (Polányi és Padragi Formációk) különítik el, akkor a főkarszttól hidraulikailag független, függőkarszt alakulhat ki. A karbonátokban a repedések, hasadékok, karsztos járatok vezetik, illetve tárolják a beszivárgó vizet. Ezek a képződmények a főkarszthoz képest jóval kisebb

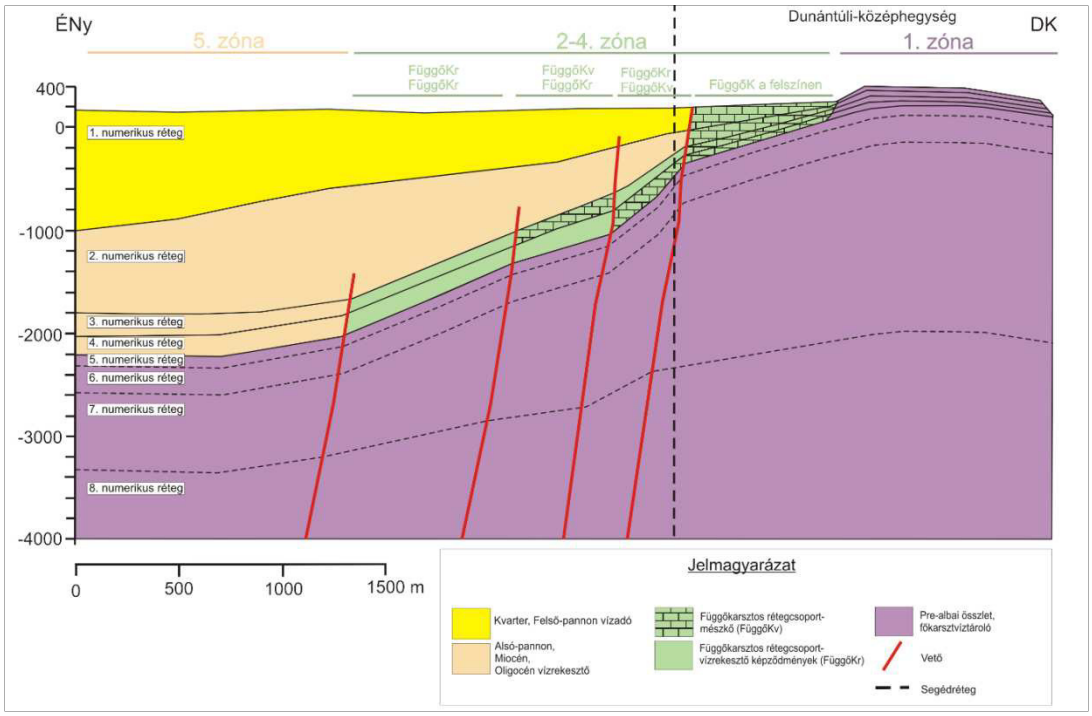
Az alsó-pannon, miocén, oligocén képződmények zöme regionális léptékben rossz vízvezető képességgel bír. Emiatt indokoltnak tartottuk ezeket egy hidrosztratigráfiai egységbe vonni.

Regionális léptékben jó vízvezető összletet alkotnak a kvarter és felső-pannon korú üledékek. Emiatt ezek egy hidrosztratigráfiai egységbe kerültek. A felső-pannon képződmények modellezett terület szélén nagy vastagságban vannak jelen ez alatt a triász alaphegység egyre mélyebbre zökkent.

A fentiekben bemutatott öt hidrosztratigráfiai egység a valóságban sem horizontálisan, sem vertikálisan nem található meg mindenhol a modellezési területen. A földtani, szerkezeti felépítésből adódóan a kép nagyon változatos.

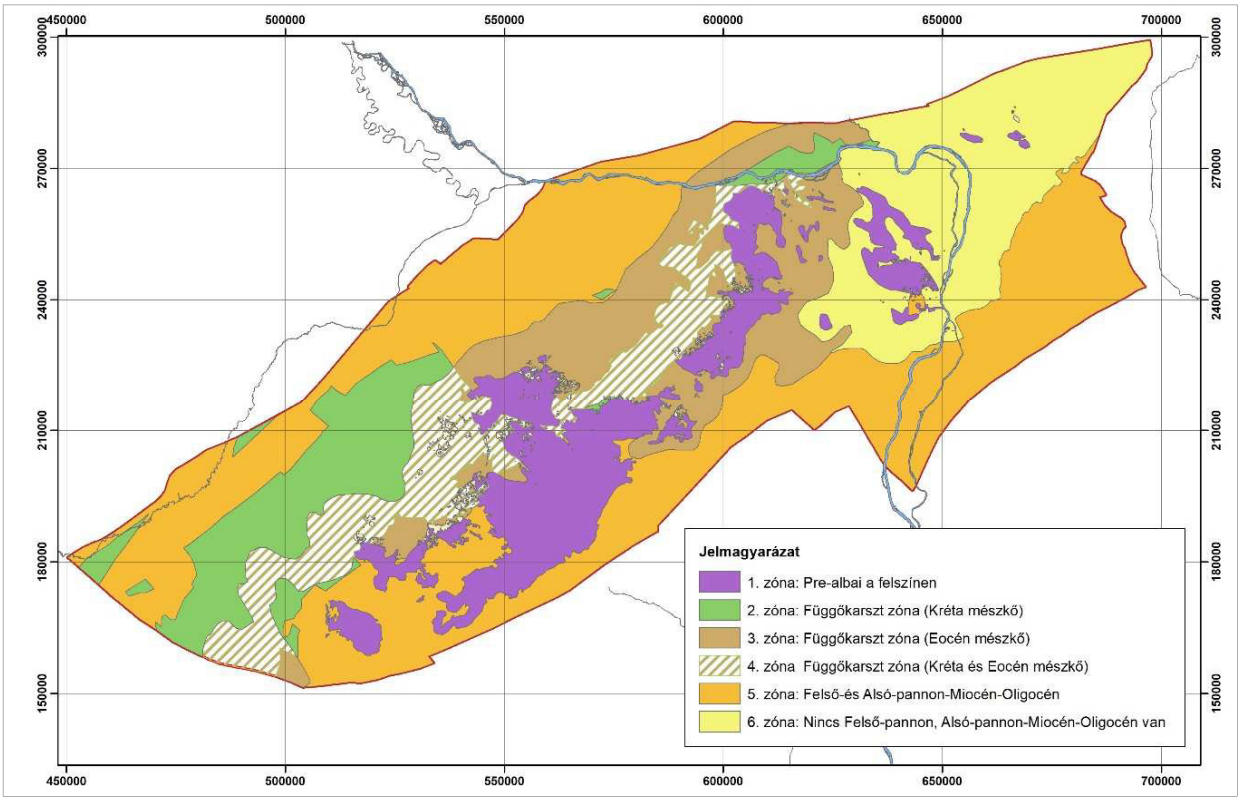
A numerikus modellben rétegeket kiékelni nem lehet. Ezt figyelembe véve, a koncepcionális földtani modell kialakítása során szerkesztett felszíneket (***I. kötet/3-5. térképmelléklet***) a numerikus modellezés számára át kellett szerkeszteni úgy, hogy ahol adott hidrosztratigráfiai egység nem fordul elő, ott a rétegvastagságot 5 m-nek tekintettük. Ezeken a helyeken a modellezés során paraméterváltással lehet közelíteni a valós földtani felépítést.

A modellezés számára leegyszerűsített földtani viszonyokat az elvi szelvény mutatja be ***(3. ábra***).



3. ábra: ÉNy-DK-i irányú elvi szelvény

Az egyes hidrosztratigráfiai rétegek előfordulásában a szerkezeti felépítés következtében vannak jellegzetességek, ami alapján a szerkesztéshez 6 zónát határoztunk meg, ami megfelelő kiindulási alapként, segédletként szolgált a numerikus rétegek szerkesztéséhez (***4. ábra***).



4. ábra: Hidrosztratigráfiai egységek zóna térképe

A hidrosztratigráfiai rétegek felszínéből szerkesztett numerikus rétegeken kívül, a főkarsztot még további három rétegre osztottuk, amelyet a főkarszt horizontálisan különböző, mélység felé csökkenő vízvezetőképessége, illetve a túl vastag modell elemek elkerülése indokolt. A főkarszt felső tíz métertől pár száz méterig terjedő övezetében szabad felszínű karsztvízszint alakul ki, melynek vízszintjét a meteorológiai és a hidrológiai tényezők befolyásolják, ennek reprezentálására az 5. réteget 100 m-es vastagsággal vettük figyelembe.

Az egyes rétegek felszínét az ArcGIS Desktop 10.5.1 térinformatikai szoftver családdal szerkesztettük.

A kialakított regionális modellben tehát összesen 8 réteget és ebből következően 9 felszínt határoztunk meg. Ezek felülről lefelé a következők:

- 1. réteg: Kvarter és Felső-pannon képződmények
- 2. réteg: Alsó-pannon – miocén – oligocén képződmények
- 3. réteg: Függőkarsztos rétegcsoport – mészkő
- 4. réteg: Függőkarsztos rétegcsoport – vízrekesztő képződmények
- 5. réteg: Főkarszt felső 100 m-es vastagságú része
- 6. réteg: Főkarszt 250 m vastagságú része
- 7. réteg: Főkarszt változó (78 és 2155 m között) vastagságú része
- 8. réteg: Főkarszt változó (78 és 2155 m között) vastagságú része

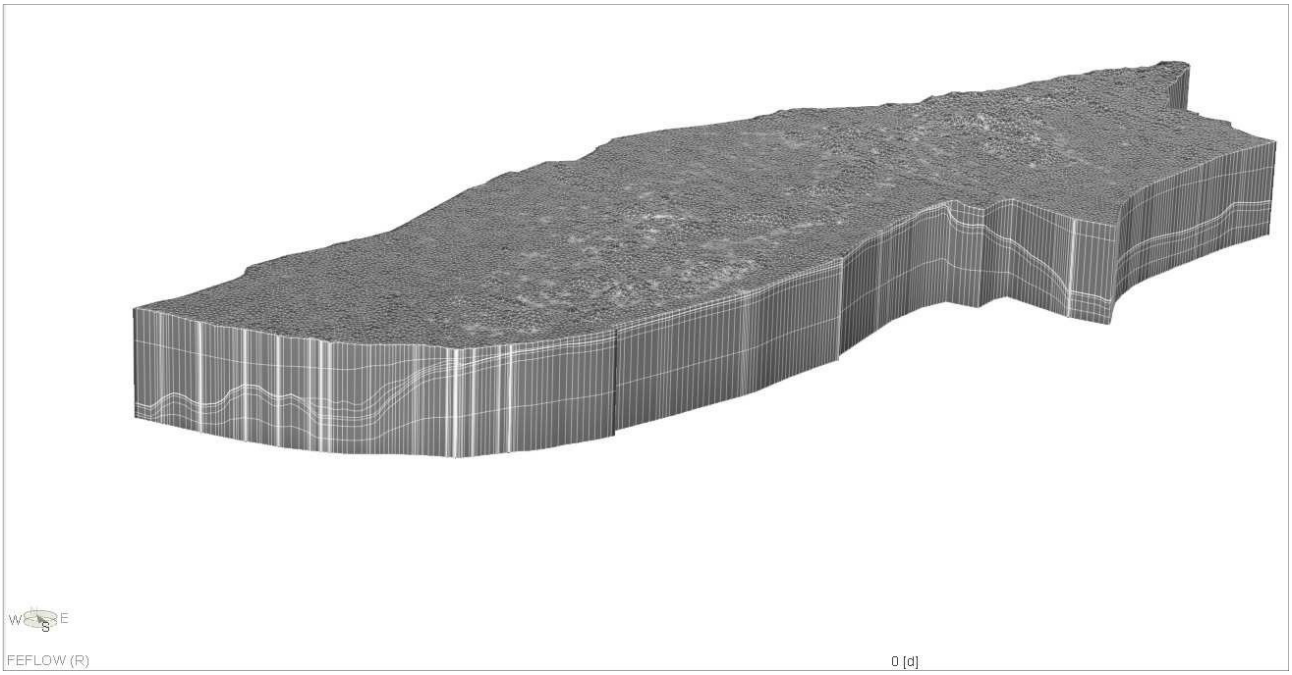
Az ***1. táblázat*** mutatja be összefoglalva az numerikus modellfelszínek kialakításának módszerét.

1. táblázat: A numerikus modellfelszínek

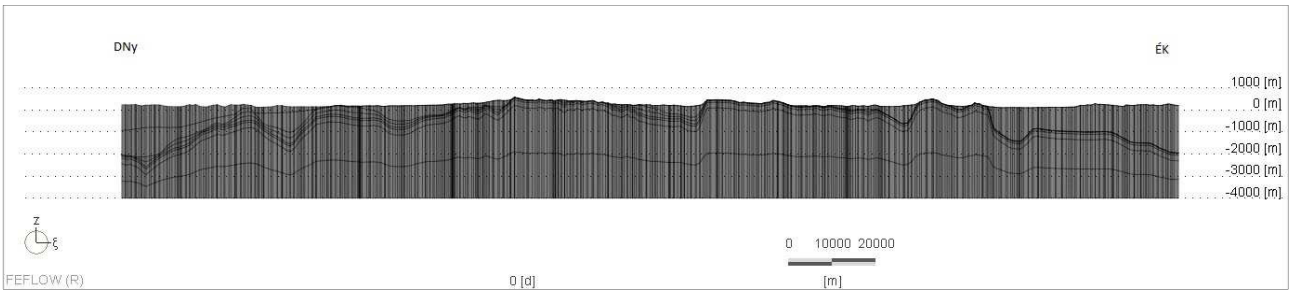
Felszín	1. zóna: Pre-albai a felszínen	Függőkarszt zóna (kréta és eocén mészkövek)			5. zóna: Felső-és Alsó-pannon-Miocén-Oligocén	6. zóna: Nincs Felső-pannon; Alsó-pannon-Miocén-Oligocén van
		2. zóna: Kréta mészkő	3. zóna: Eocén mészkő	4. zóna: Kréta és Eocén mészkő		
1. felszín: Domborzat (DKH_HydroDEM10_OVF.tif)	Domborzat	Domborzat	Domborzat	Domborzat	Domborzat	Domborzat
1.réteg: Kvarter-Felső-pannon						
2. felszín: Felső-pannon talp	1. felszín - 5 m	Felső-pannon talp	Felső-pannon talp, ahol felső-pannon üledékhiány van ott a felszín - 5 m		Felső-pannon talp	1. felszín-5 m
2. réteg: Alsó-pannon-Miocén-Oligocén						
3. felszín: Függőkarsztos rétegcsoport– mészkő tető	1.felszín-10 m	Függőkarszt teteje (pre-tercier tető)	Függőkarszt teteje (eocén tető)	Függőkarszt teteje (eocén tető)	Pre-albai felszín +10 m	Pre-albai felszín +10 m
3. réteg: Függőkarsztos rétegcsoport– mészkő						
4. felszín: Függőkarsztos rétegcsoport– vízrekesztő tető	1. felszín-15 m	segédréteg teteje: A Függőkarszt tető és pre-albai felszín közötti vastagság fele			Pre-albai felszín +5 m	Pre-albai felszín +5 m
4. réteg: Függőkarsztos rétegcsoport– vízrekesztő						
5. felszín: Pre-albai felszín	1.felszín-20 m	Pre-albai felszín	Pre-albai felszín	Pre-albai felszín	Pre-albai felszín	Pre-albai felszín
5. réteg: Főkarszt						
6. felszín: Pre-albai felszín	Pre-albai felszín- 100 m					
6. réteg: Főkarszt segédréteg						
7. felszín: Pre-albai felszín	Pre-albai felszín - 250 m					
7. réteg: Főkarszt segédréteg						
8. felszín: Pre-albai felszín	A 7. felszín és a modell talp közötti vastagság fele					
8. réteg: Főkarszt segédréteg						
9. felszín: Modell talpa	-4000 m					

A kapott felületek reguláris grid állományát (100x100 m) a FEFLOW numerikus modellbe bemenő adatként importáltuk, majd az Inverse Distance interpolációs módszerrel rendeltük a rácsháló csomópontjaihoz.

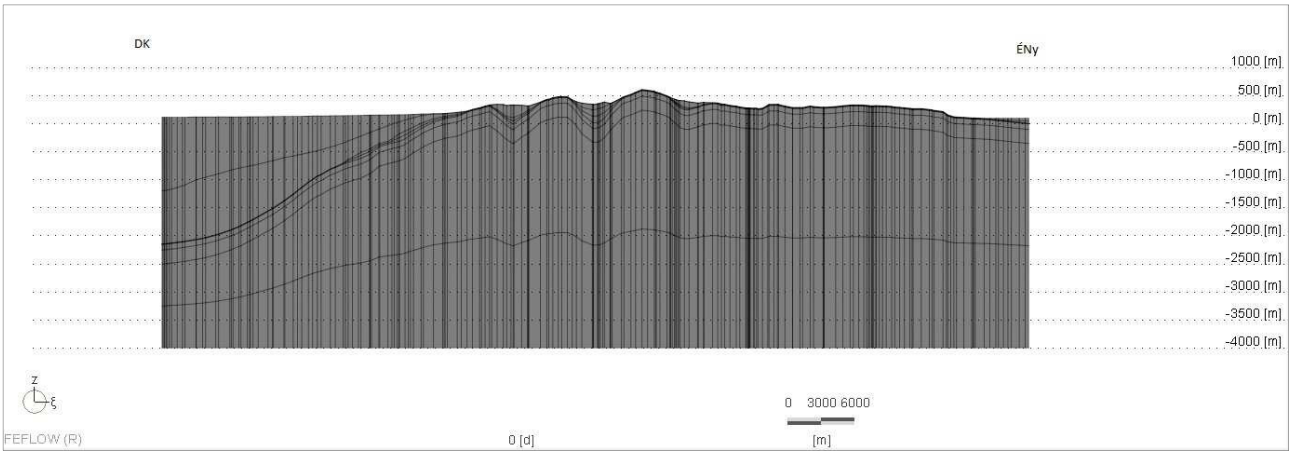
A numerikus modellben a terepszint képezi a felső felületet, míg a 8. réteg alsó felülete -4000 mBf szinten húzódik. Az ***5. ábra*** a modell geometriáját és az ***6. ábra*** egy DNy-ÉK-i, míg az ***7. ábra*** egy DK-ÉNy-i irányú modellszelvényt mutat be.



5. ábra: A modell geometriai felépítése

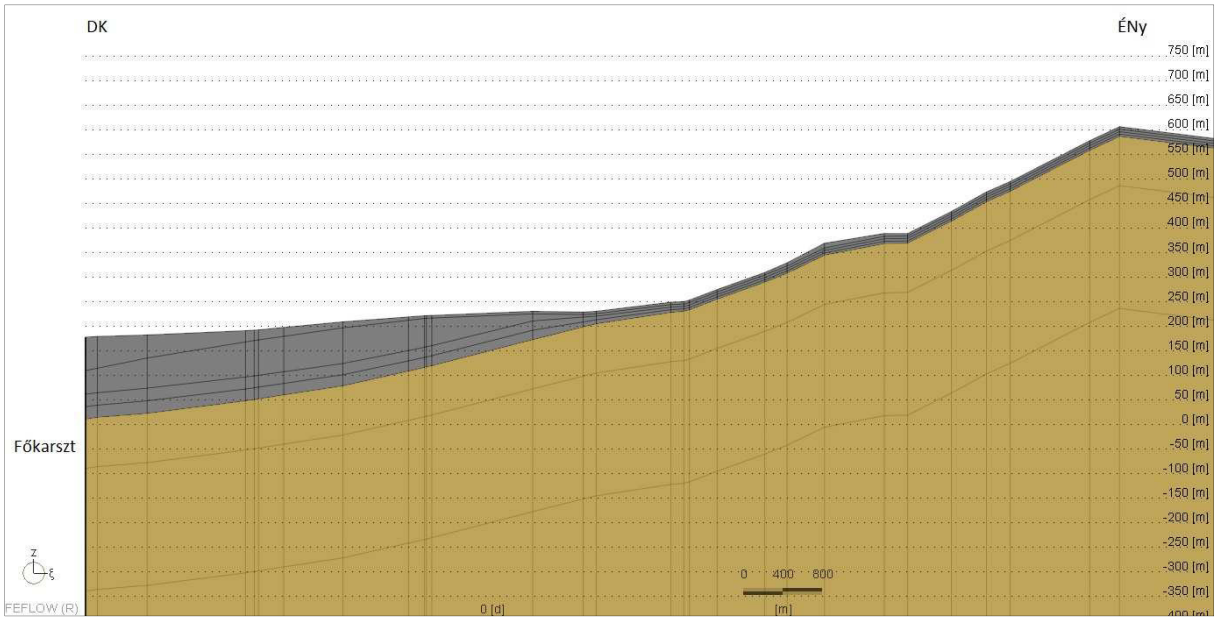


6. ábra: A numerikus modell DNy-ÉK-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás)



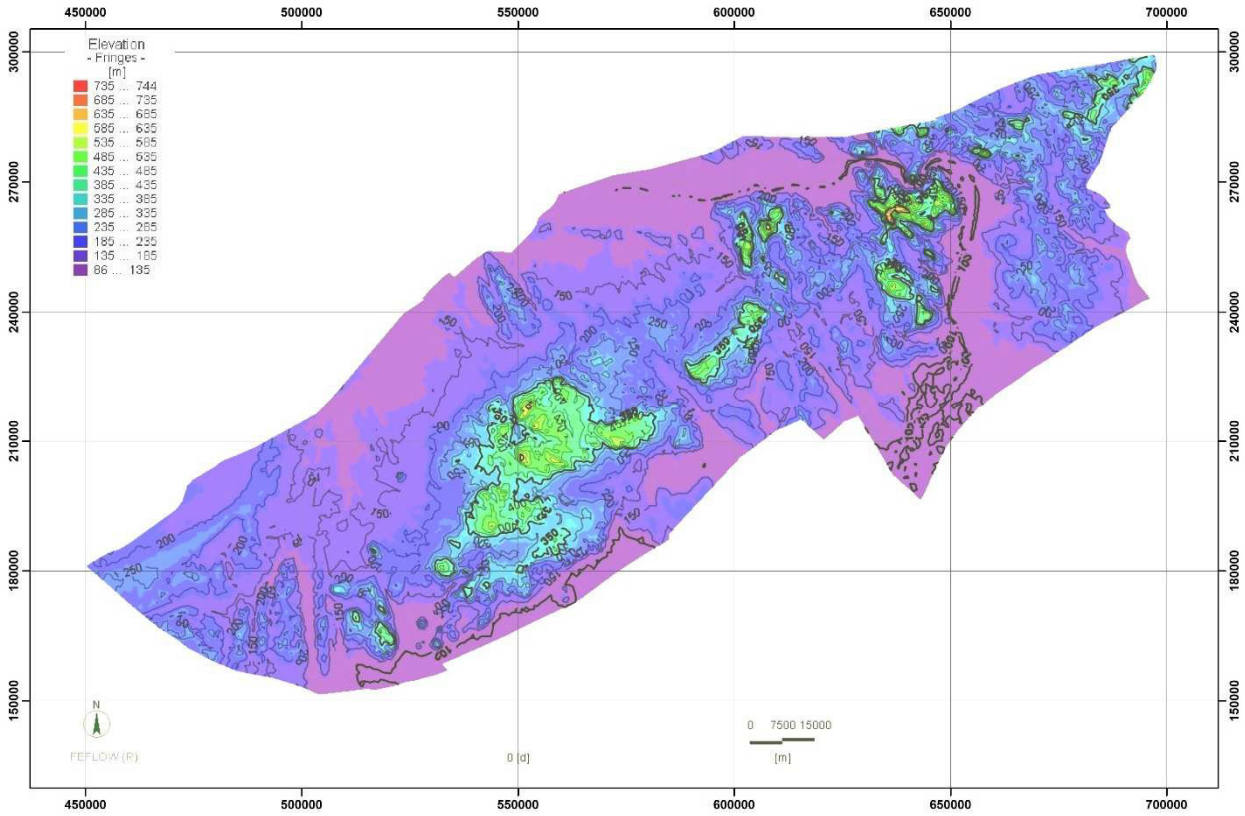
7. ábra: A numerikus modell DK-ÉNy-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás)

A ***8. ábra*** szemlélteti, azt hogy a modell geometriájának kialakítása során, miként vettük figyelembe azokat a területeket, ahol a valóságban főkarszt a felszínen van. Ezeken a helyeken az adott rétegben a geometriai megoldáson túl, paraméterváltást alkalmazunk a főkarszt leképezésre (***2.3.1. fejezetre***).

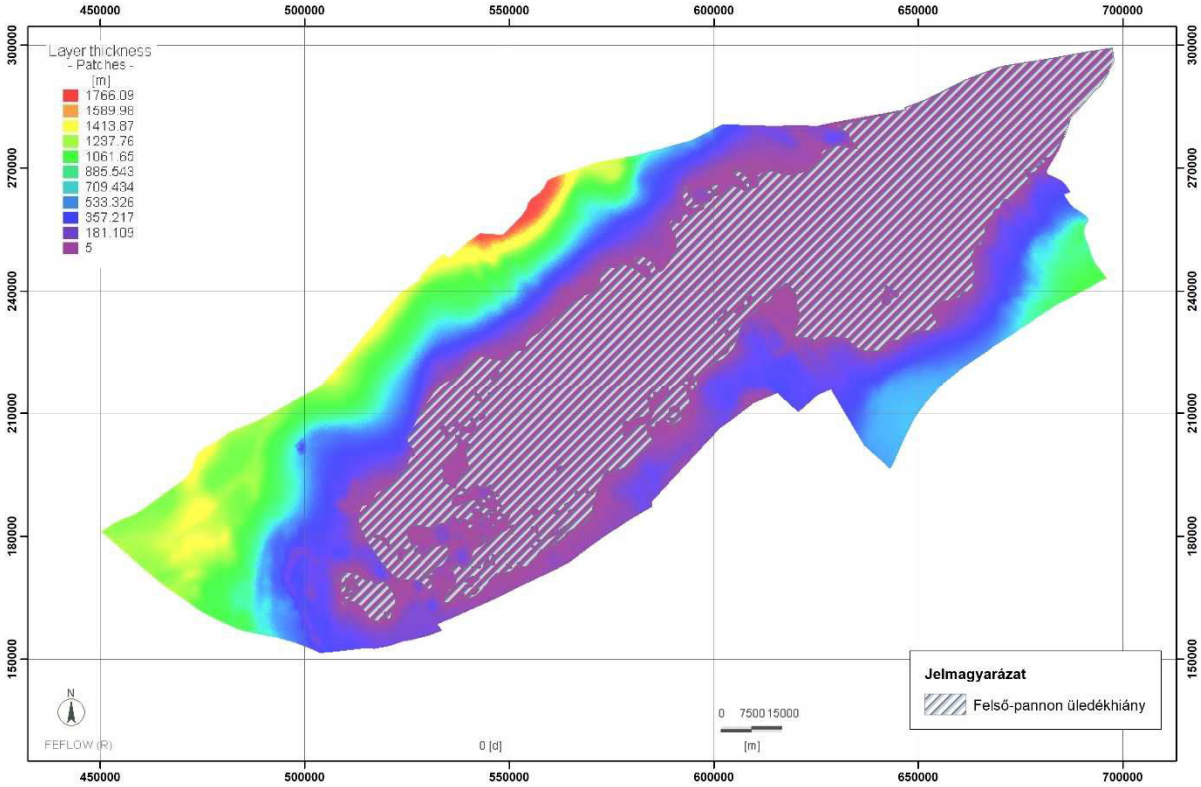


8. ábra: A főkarszt kibúvás geometriai leképezése a numerikus modellben, egy DK-ÉNy-i irányú szelvényen kinagyítva (5x túlmagasítás)

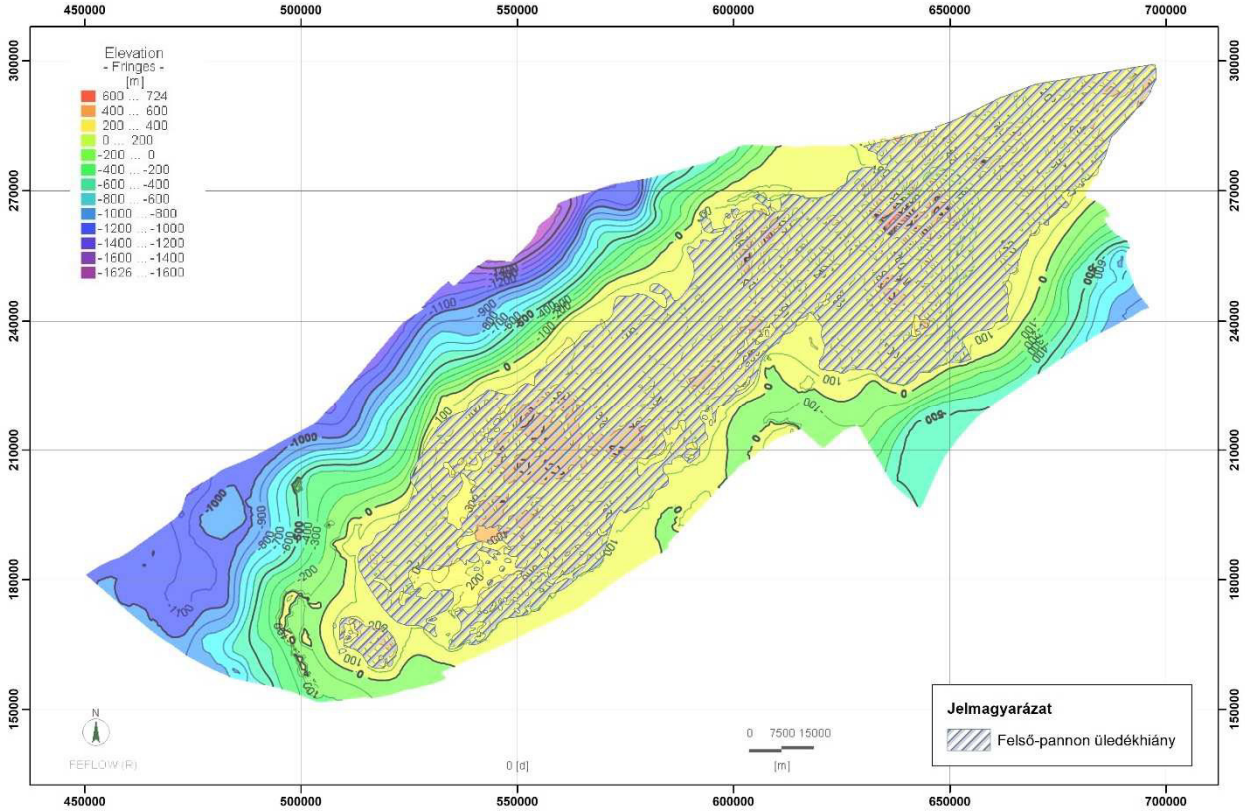
A ***9-15. ábra*** sorozat mutatja be a numerikus rétegek egyes felszíneit, illetve réteg vastagságait.



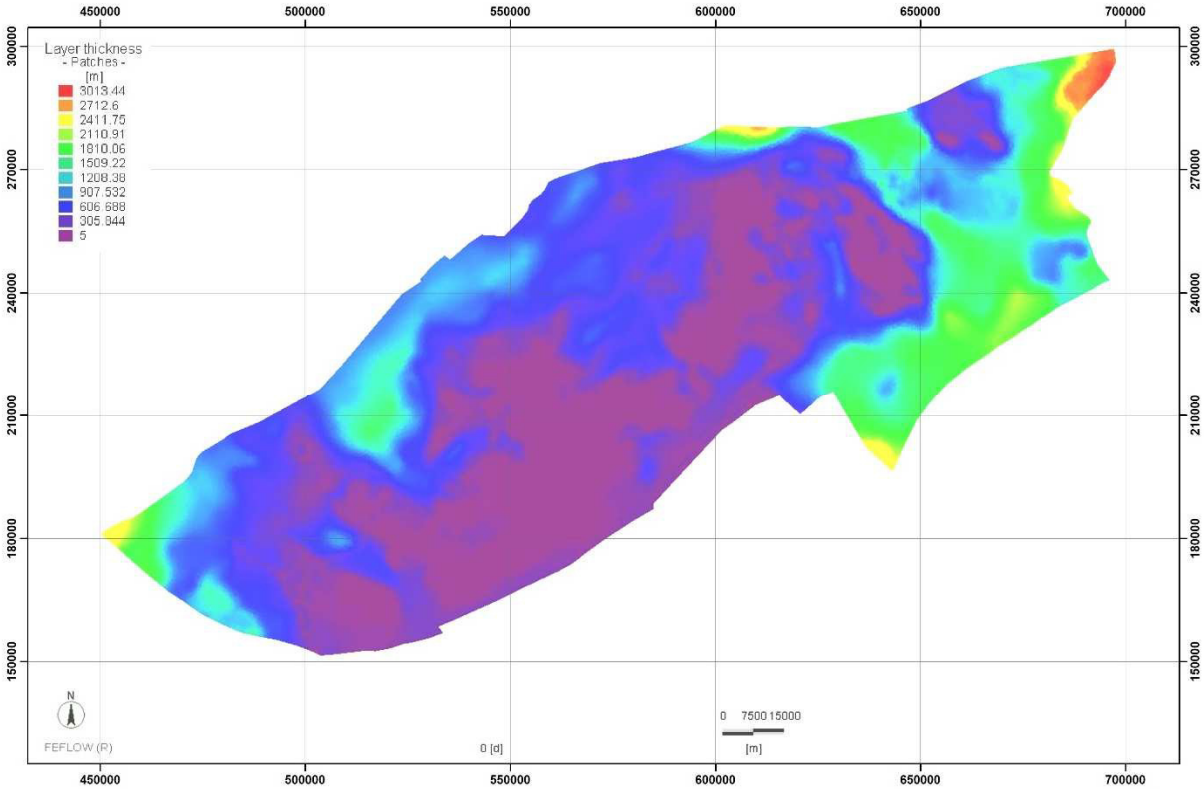
9. ábra: Az 1. numerikus modell felszín (Kvarter-Felső-pannon)



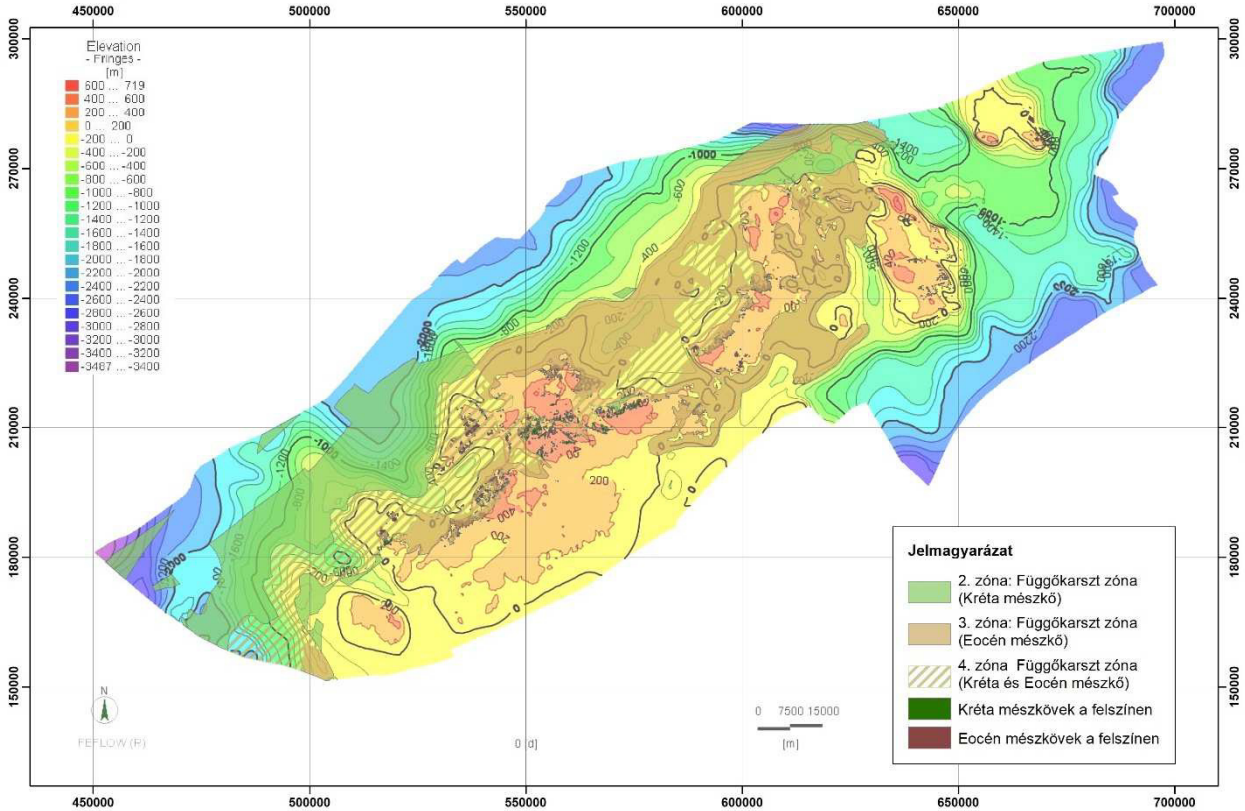
10. ábra: Az 1. numerikus modell réteg vastagsága



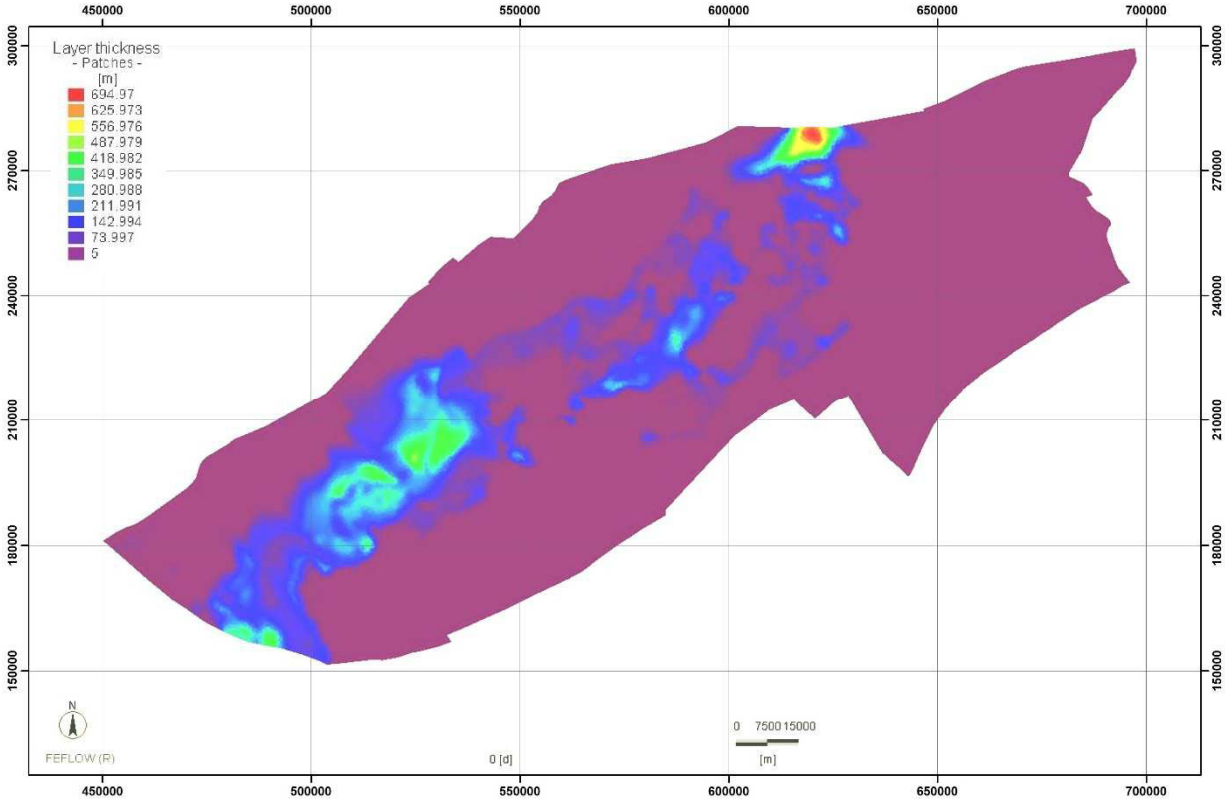
11. ábra: A 2. numerikus modell felszín (Alsó-pannon-Miocén-Oligocén)



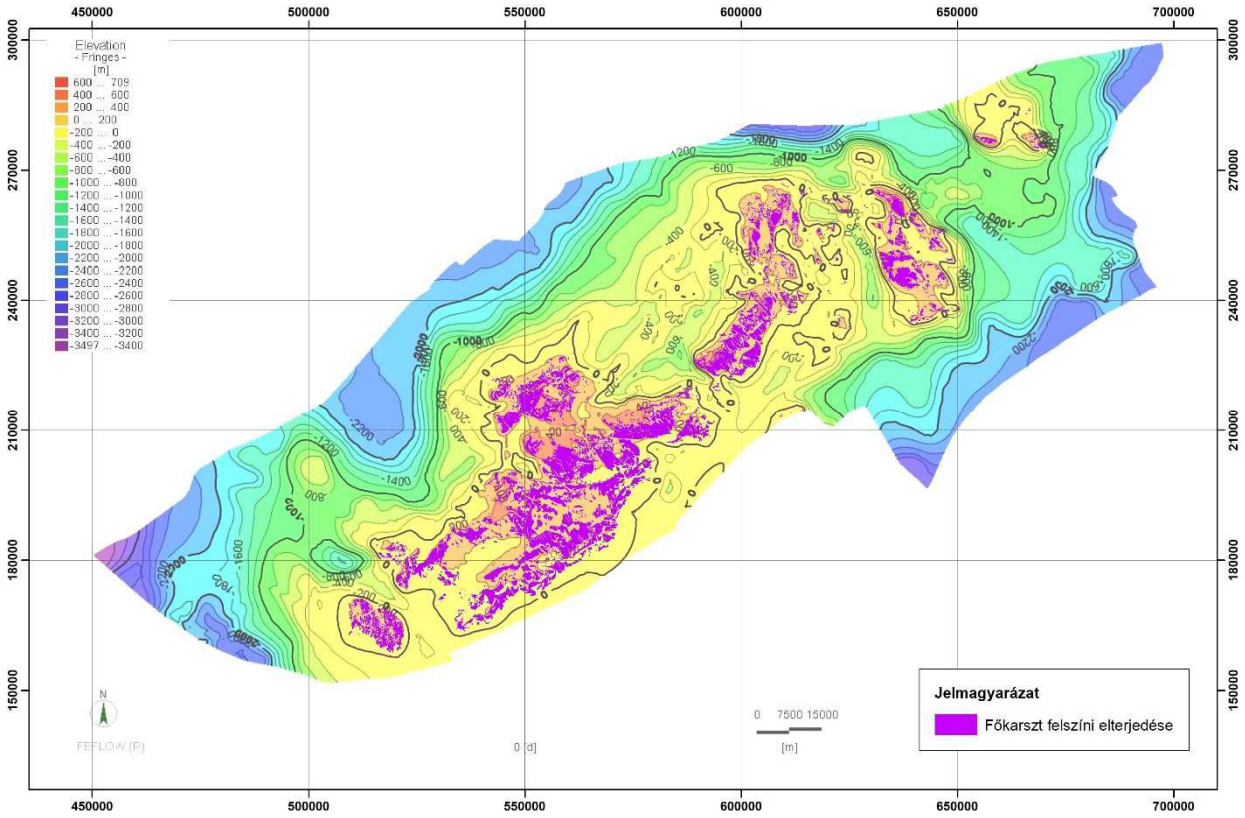
12. ábra: A 2. numerikus modell réteg vastagsága



13. ábra: A 3. numerikus modell felszín (Függőkarszt)



14. ábra: A 3. numerikus modell réteg vastagsága



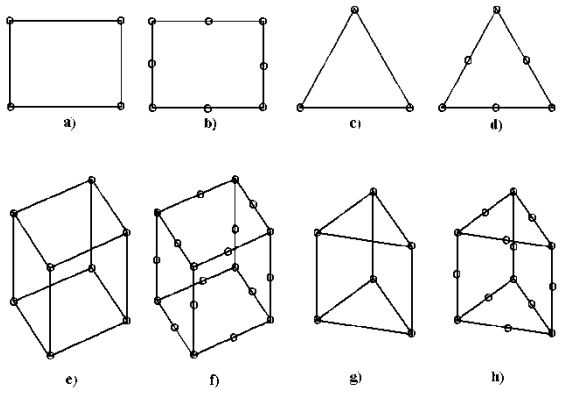
15. ábra: Az 5. numerikus modell felszín (Főkarszt)

2.2 A numerikus modell rácshálójának kialakítása

A numerikus modellezés során véges sok változóval közelítjük meg a valóságot, azaz a vizsgált teret kisebb egységekre osztjuk (diszkretizáció). A diszkretizáció két legismertebb fajtája a véges differencia, illetve végeselem módszerek.

A Dunántúli-középhegység numerikus modellezéséhez használt FEFLOW program a vizsgált tér diszkretizációjához a végeselem módszert alkalmazza.

A végeselem módszer lényege, hogy a modellezni kívánt teret tetszőleges számú és alakú elemre bontjuk (***16. ábra***). Az elemek egymással csomópontjaikon keresztül kapcsolódnak, illetve a csomópontok koordinátái határozzák meg térbeli helyüket. Az elemek lehetnek egy-, két- és háromdimenziósak, ezáltal az elemháló rugalmasan alakítható és fontos számítási helyeken (pl.: kutak, források, vetők) tetszőlegesen sűríthetők, így biztosítva a változatos geológiai felépítésű terek modellezését.



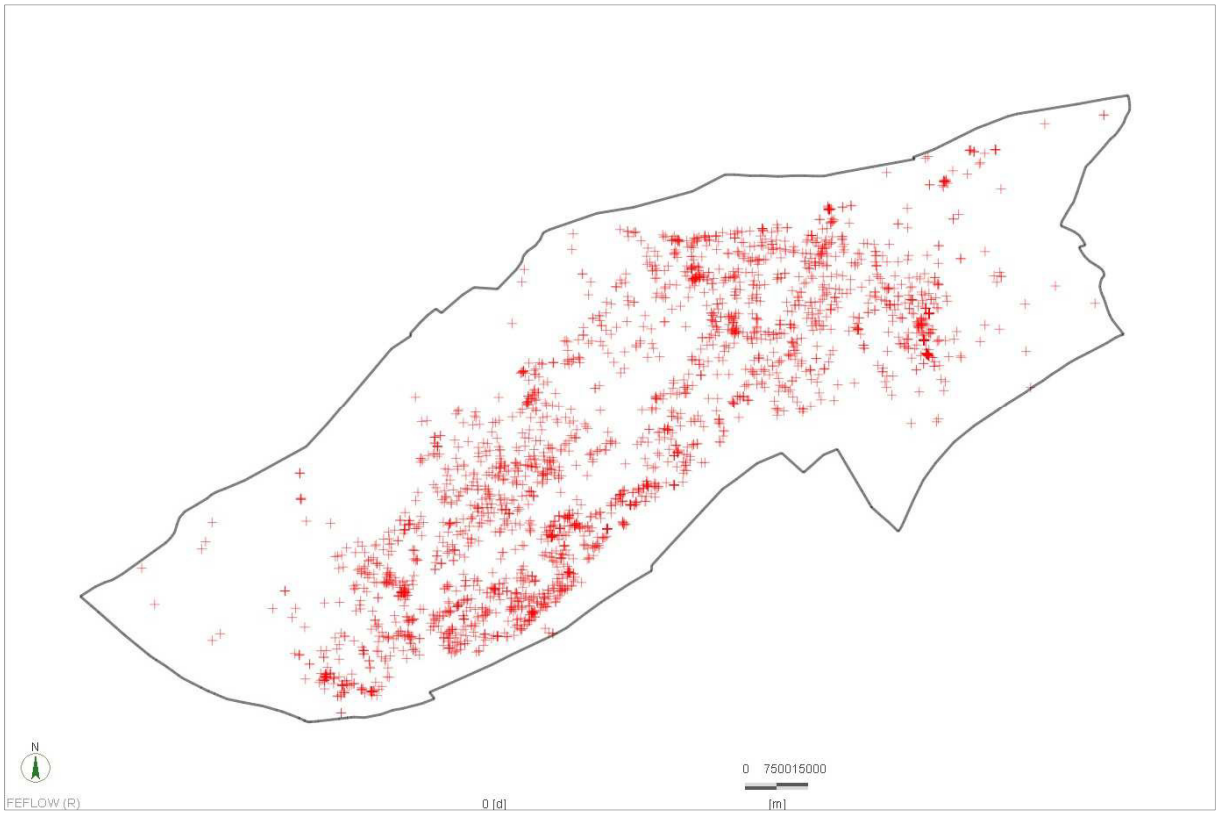
2D modul:
a) 4-csomópontos
b) 8-csomópontos
négyoldalú elemek,
c) 3-csomópontos
d) 6-csomópontos
háromoldalú elemek
3D modul:
e) 8-csomópontos
f) 20-csomópontos
négyoldalú prizmák
g) 6-csomópontos
h) 15-csomópontos
háromoldalú prizmák

16. ábra: A FEFLOW szoftverben alkalmazható elemek

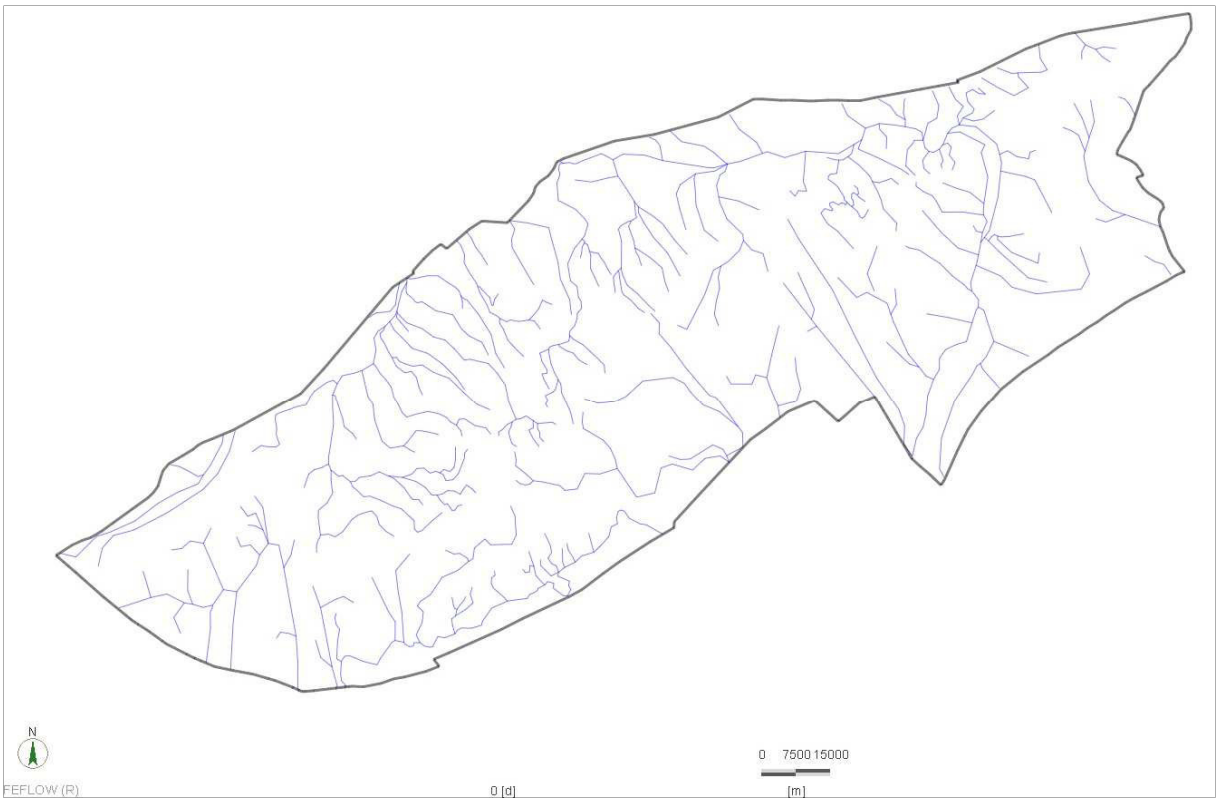
A hálókiosztás során a modellezett térrészt háromszög alapú prizmákkal definiáltuk (6-csomópontos háromoldalú lineáris prizmák). A rácsháló kialakításánál a következő elemekhez rendeltünk csomópontot:

- Pont elemek (***17. ábra***):
  - hideg karsztvíztest területén a karsztot, illetve a fedőt megcsapoló termelő objektumok, amelyekből van termelési adat 1951-2018 között, kivéve a partiszűrésű vízkivételeket
  - a termál karsztvíztest területén a karsztot megcsapoló termelő objektumok, amelyekből van termelési adat 1951-2018 között
  - minden karsztforrás a Smaragd-GSH Kft. által a projekt keretében 2019-ben végzett forrásfelmérés alapján
  - törzshálózati karsztvízszint észlelő monitoring kutak
- Vonal elemek:
  - egyszerűsített vetőhálózat
  - egyszerűsített folyó és kisvízfolyások hálózata

A vízfolyásokat egyszerűsített vonal elemekkel definiáltuk (***18. ábra***), hogy elkerüljük a felesleges pontokon való sűrítést. A vízfolyások hálózatát az OVF vízrajzi állományából szűrtük le méret, illetve a karszttárolóval való kapcsolat szerint (pl.: Balaton-felvidéki sédek). Kiszűrtük a kisebb vízfolyásokat, amelyek nincsenek kapcsolatban a karszttal, nem rendeltünk hozzájuk csomópontot.



17. ábra: Pont elemek



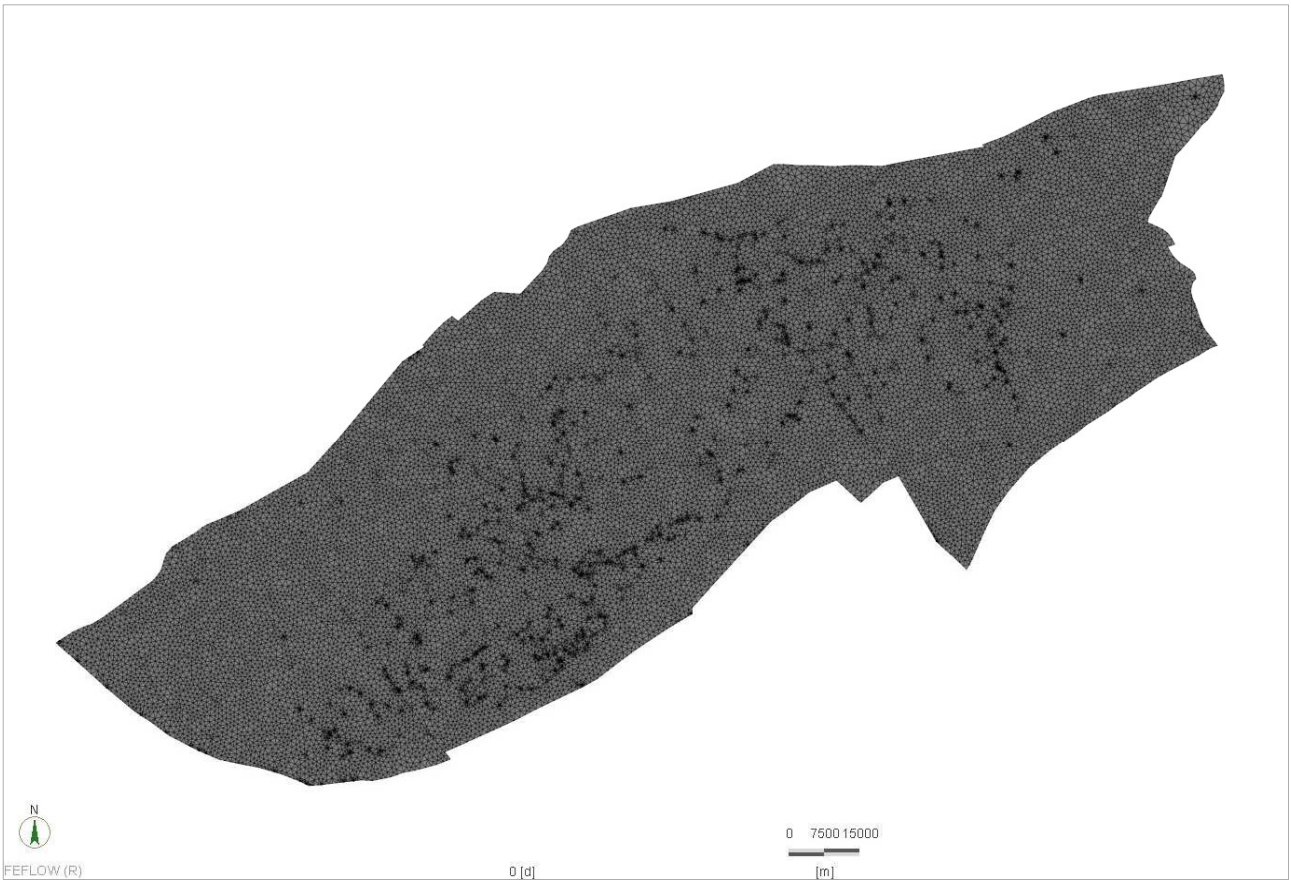
18. ábra: Egyszerűsített folyóhálózat

A vetőket az M= 1:500 000 pre-kainozoos földtani térkép [2] alapján vettük figyelembe, leválogatásra az elsőrendű vetők kerültek (***19. ábra***). Szlovák területen a Szlovák Geológiai Szolgálat térképeit használtuk fel [8][9].

19. ábra: Egyszerűsített vetőhálózat

A rácsháló kialakítása során a vetők és vízfolyások azonos „shape file”-ba kerültek, hogy a későbbi rácsháló generálásnál elkerüljük a felesleges pontokon való sűrítéseket. A mesh háló generálást a Triangle Mesh Generátorral végeztük el.

A rácsháló egy felületen 26 881 db csomópontot és 52 889 db elemet tartalmaz. A 8 rétegű numerikus modell, így összesen 241 929 db csomópontból és 423 112 db véges elemből áll (***20. ábra***).



20. ábra: A numerikus modell rácshálója

2.3 A numerikus modell hidraulikai paraméterezése

2.3.1 Szivárgási tényező értékek a numerikus modellben

A numerikus modellek a szivárgási alapegyenlet iterációsan közelítő megoldásai. Az áramlási egyenletek lamináris áramlás és telített közeg esetére (Darcy-törvény miatt) érvényesek, melyeket parciális differenciálegyenletekkel tudunk leírni permanens és tranziens állapotra.

Ha a vizsgált rendszerben jelenlévő víz mennyisége nem változik. Homogén izotróp esetben és permanens állapotban a Laplace egyenlettel fejezhetjük ki az áramlási pályát:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

ahol h: a hidraulikus emelkedési magasság [m]

Ha figyelembe vesszük a szivárgási tényező (K [m/s]) irány és hely szerinti változását is, akkor az egyenlet a következőképpen módosul:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K(x,y,z)_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K(x,y,z)_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K(x,y,z)_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0$$

A Laplace-egyenlet az alapja az analitikus és numerikus vízáramlás modellezéseknek. Az adott szoftver egy térrészre megadott hidraulikus peremfeltételeknek megfelelően számolja a h értékeket a tér minden egyes pontjára.

Tehát a vízföldtani tulajdonságok közül a szivárgási tényező határozza meg a különböző kőzettestekben a vízáramlás sebességét, ezáltal a vízszint eloszlást is befolyásolja. Emiatt ennek a paraméternek a meghatározása a modellezés egyik kalibrációs folyamata. Ez azt jelenti, hogy a numerikus modellezés kezdeti szakaszában feltételezett K-tényező eloszlást módosítani, igazítani kell a monitoring kutakban mért valós vízszintek figyelembevételével.

A modellezés területén előforduló kb. több száz különböző kőzettest hidraulikai paraméterezésénél nagyfokú egyszerűsítést kell alkalmazni, így az ***1. fejezetben*** bemutatott öt hidrosztratigráfiai egység adta az alapját a parametrizálásnak. Ezeket a hidrosztratigráfiai egységeket különböző K-tényező értékkel jellemezhetjük. A termál karsztvíztest területén az előzőekben bemutatott hidrosztratigráfiai egységek alapján végeztük el a parametrizálást. A hideg karsztvíztest területén, néhány a karsztnál fiatalabb, de regionálisan előforduló képződményt különítettünk el az öt hidrosztratigráfiai egységen kívül.

A szivárgási paraméterek meghatározásakor az alapkoncepció az volt, hogy a felszínen megtalálható, jobban karsztosodott, repedezett, mállott képződmények nagyobb értékkel rendelkeznek, mint ugyanezen képződmények fedett helyzetbe. A főkarszt felszíni kibúvásainál, a bányászati víztelenítés során számolt és mért transzmisszivitás értékekből becsültük a szivárgási tényező értékeket (*Schmieder A- Szilágyi* 1988) [5]. A modellezés kezdeti szakaszában ugyanezt a területi elkülönítést alkalmaztuk a parametrizálás során. A későbbi futtatások azonban azt mutatták, hogy az egyes területeken belül szükség van további, képződmény szintű változatosság figyelembe vételére. Az egyéb kőzetekre jellemző K-tényező értékeket a T-JAM projekt eredményei [10] szerint vettük figyelembe.

A numerikus rétegekben, a kalibrálás után elfogadott K-tényező eloszlást a ***21-28. ábrák*** mutatják, a különböző hidrosztratigráfiai egységek, illetve kőzettestek szivárgási tényező értékeit a ***2. táblázat*** szemlélteti. A táblázatban bemutatott szivárgási tényezők nem a teljes rétegre, csak az adott formáció valós elterjedési területeire vonatkoznak.

A modellben a konduktivitási mező rétegenként inhomogén és anizotróp. Ez azt jelenti, hogy a vertikális szivárgási tényező meghatározásánál, minden képződménynél feltételeztünk anizotrópiát, ez képződményenként eltérő mértékű. A horizontális szivárgási tényezőknél csak a karsztban definiáltunk anizotrópiát, ebben az esetben a felére csökkentettük y irányban az értékeket. A Balaton-felvidéken képződmények csapásiránya DNy-ÉK-i irányú, ezért a modellben a szivárgáshidraulikai paraméter referencia tengelyét elforgattuk, az elforgatás szöge: 40°.

A következőkben, az egyes karszt régiókra külön-külön ismertetjük a parametrizálást.

A *Duna-balparti rögök* területén a mészkő kibúvások horizontális szivárgási tényezőjét $5{,}83\cdot10^{-4}$ m/s-al, vertikális szivárgási tényezőjét pedig $1{,}75\cdot10^{-4}$ m/s értékkel határoztuk meg (***21. ábra***). A Duna-balparti rögöktől keletre előforduló fedő üledékek közül lényegesnek tartottuk megkülönböztetni az oligocén korú vízrekesztő képződményeket (Kxx és Kyy=$3{,}9\cdot10^{-8}$ m/s, Kzz=$6\cdot10^{-9}$ m/s), illetve a nyugati részen pedig a Törökbálinti Formációt (Kxx és Kyy=$3\cdot10^{-6}$ m/s, Kzz=$6\cdot10^{-7}$ m/s).

A *Budai- és a Pilis-hegység* területén a karbonátos kőzetek kibúvásainál a horizontális szivárgási tényező $3{,}3\text{-}5\cdot10^{-4}$ m/s, vertikálisan pedig $1{,}5\text{-}1\cdot10^{-4}$ m/s érték között szerepelnek a modellben. A Budai-hegységtől délre és nyugatra a fedő képződmények közül megkülönböztettük a Tinnyei Formációt (Kxx és Kyy= $6{,}5\cdot10^{-5}$ m/s, Kzz= $6\cdot10^{-6}$ m/s), illetve a Pilistől nyugatra a Mányi Formációt (Kxx és Kyy= $8\cdot10^{-7}$ m/s, Kzz= $1{,}6\cdot10^{-7}$ m/s).

A *Gerecse és a Vértes területén* a Fődolomit felszíni kibúvása Kxx= $1\cdot10^{-3}$ m/s, Kzz= $3\cdot10^{-4}$ m/s értékkel szerepel a modellben a Dachsteini mészkő felszíni előfordulása pedig Kxx= $1{,}3\cdot10^{-3}$ m/s,

Kzz= $4\cdot10^{-4}$ m/s. A fiatalabb üledékek közül lényegesnek tartottuk megkülönböztetni az oligocén korú Csatkai kavics Formációt, amely Kxx=Kyy= 5,8·10-6 m/s- és Kzz= $5{,}8\cdot10^{-7}$ m/s-os értékkel szerepel a modellben.

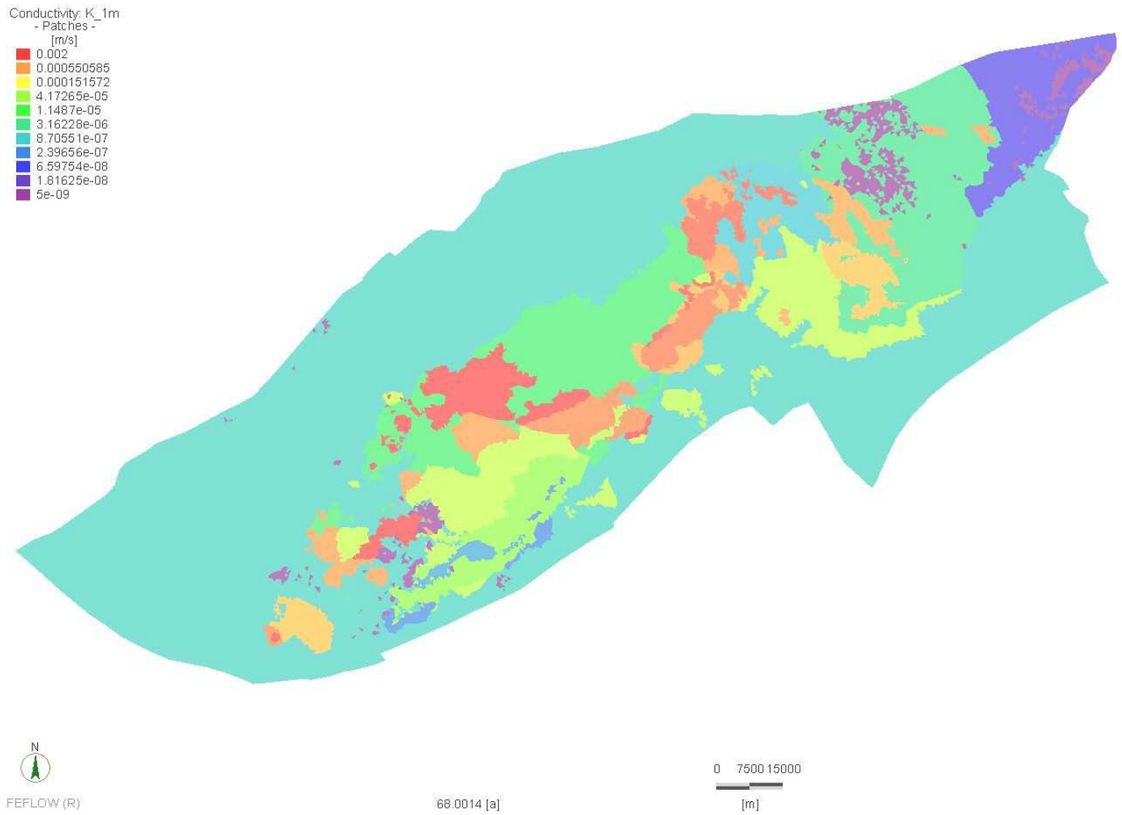
A Bakony és Balaton-felvidék területének kalibrálása jelentette a legnagyobb kihívást a modellezés során.

A *Magas-Bakony* területén definiáltuk a legmagasabb konduktivitási mezőt (Kxx= $2\cdot10^{-3}$ m/s, Kzz= $6\cdot10^{-4}$ m/s), a középső Bakonynál figyelembe vettük a felszínen lévő függőkarsztokat (eocén és kréta mészkövek), illetve a függő- és főkarsztot elválasztó márga rétegeket is a 4. numerikus rétegben (***24. ábra***).

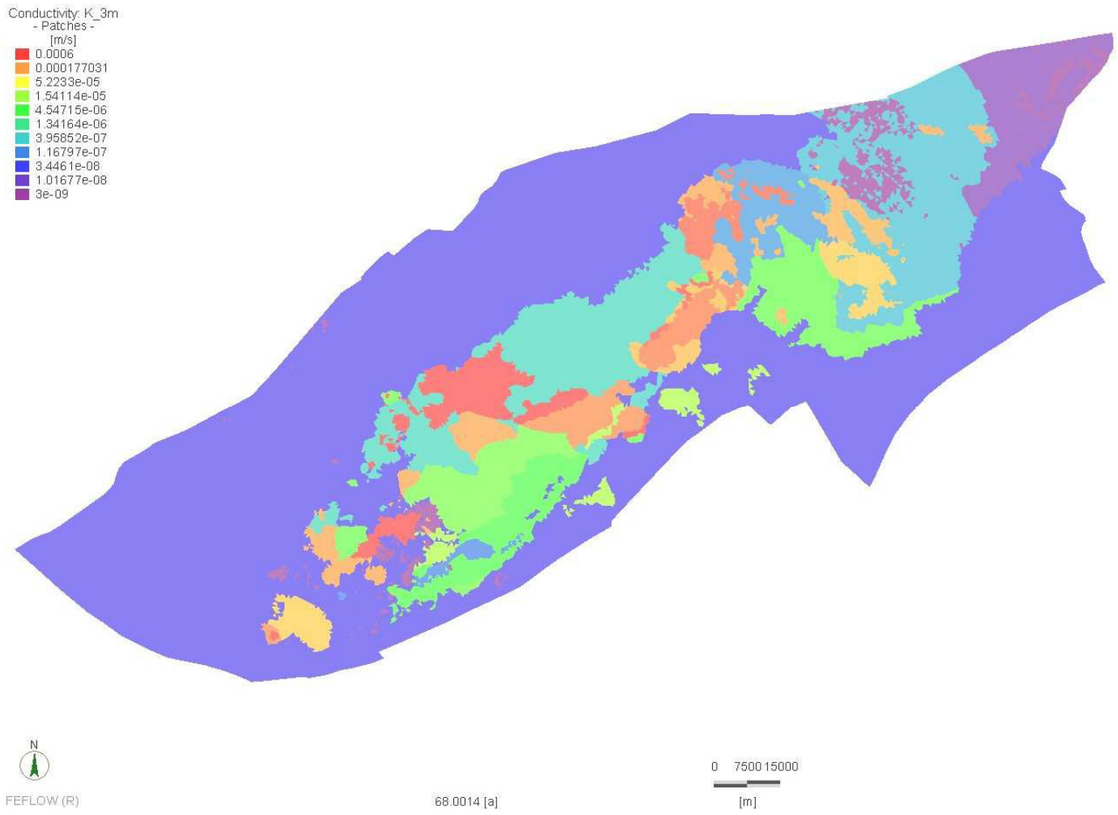
A *Balaton-felvidék* területén a mért vízszintek alapján a hidraulikus gradiens magas, emiatt a karsztos régiók közül itt definiáltuk a legalacsonyabb konduktivitási mezőt (Kxx= $3{,}3\cdot10^{-5}$ m/s, Kzz= $5\cdot10^{-6}$ m/s).

Keszthelyi-hegység környékén a főkarszt felszíni kibúvását és Kxx= $3{,}3\cdot10^{-4}$ m/s Kzz= $1\cdot10^{-4}$ m/s értékkel határoztuk meg.

a,

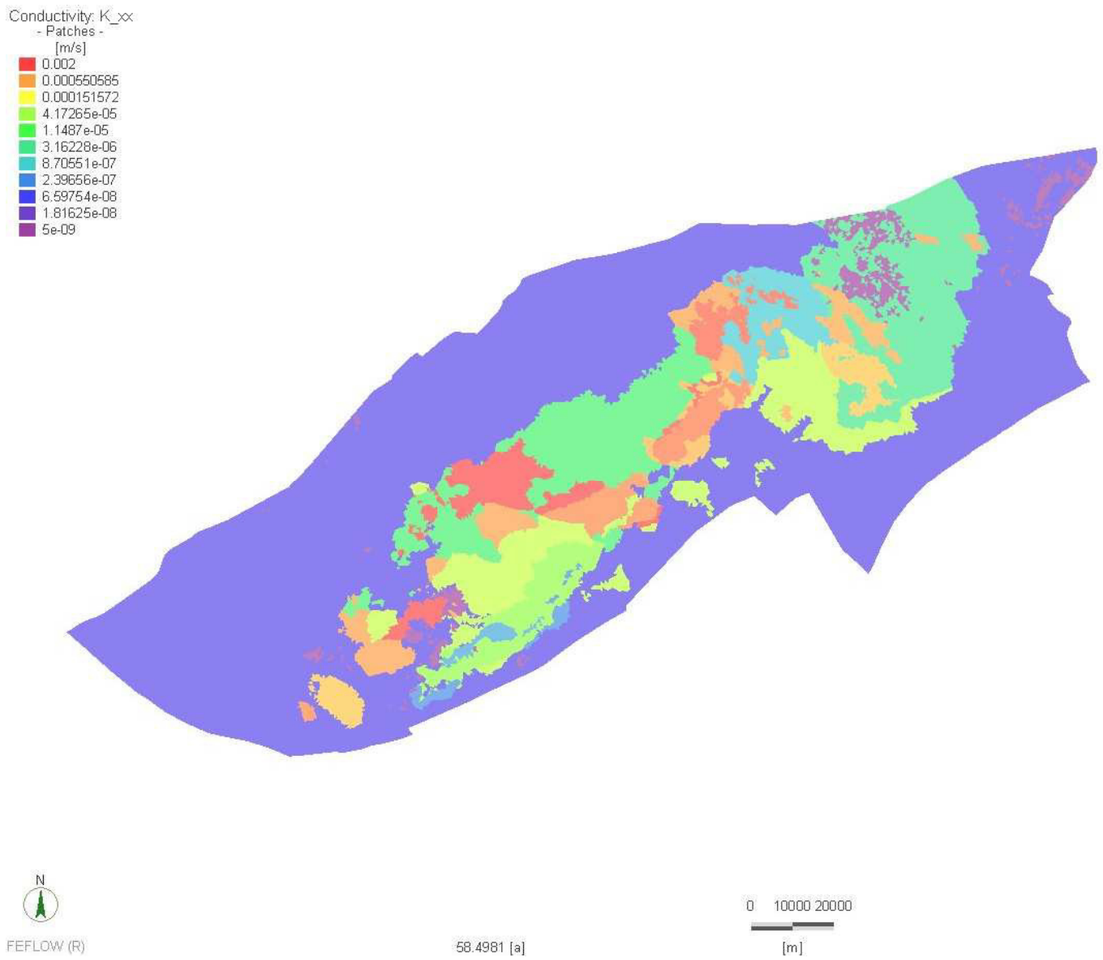


b,

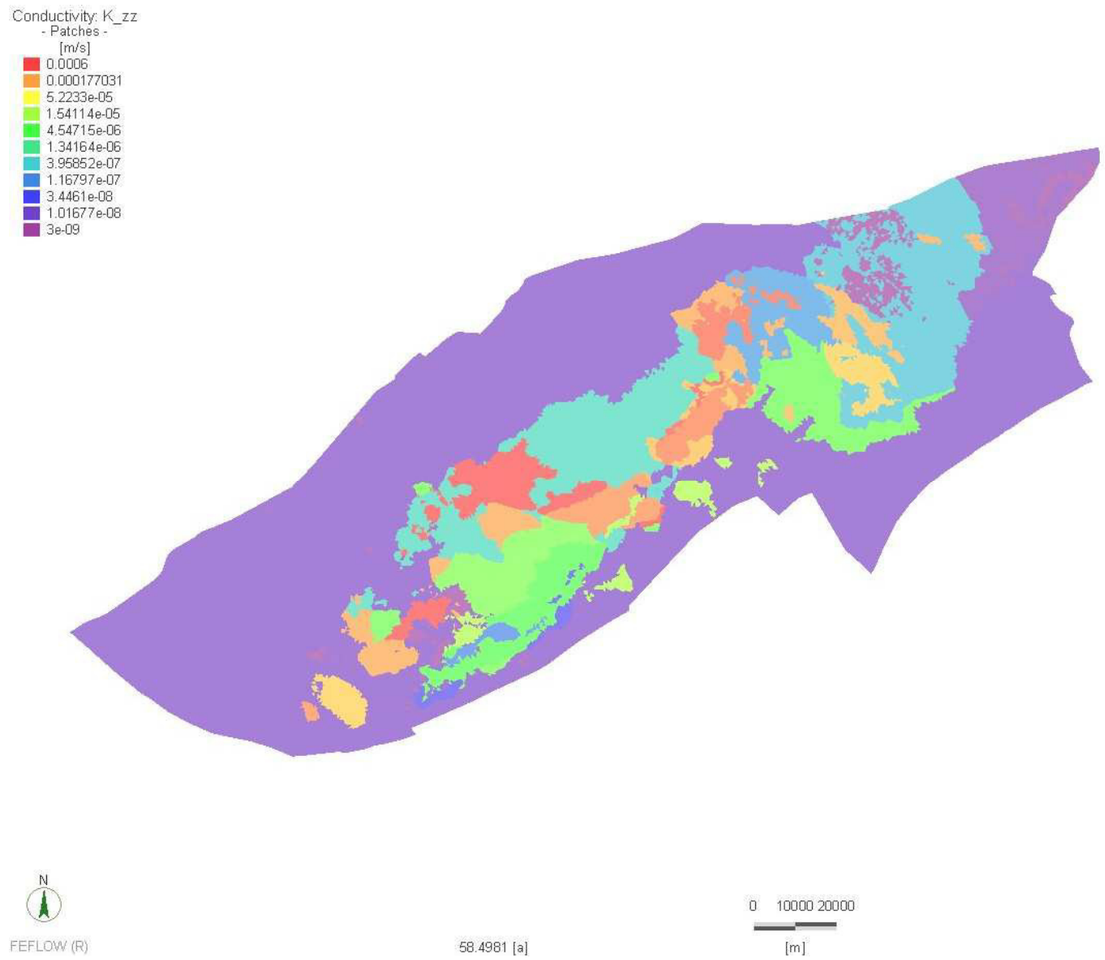


21. ábra: Az 1. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

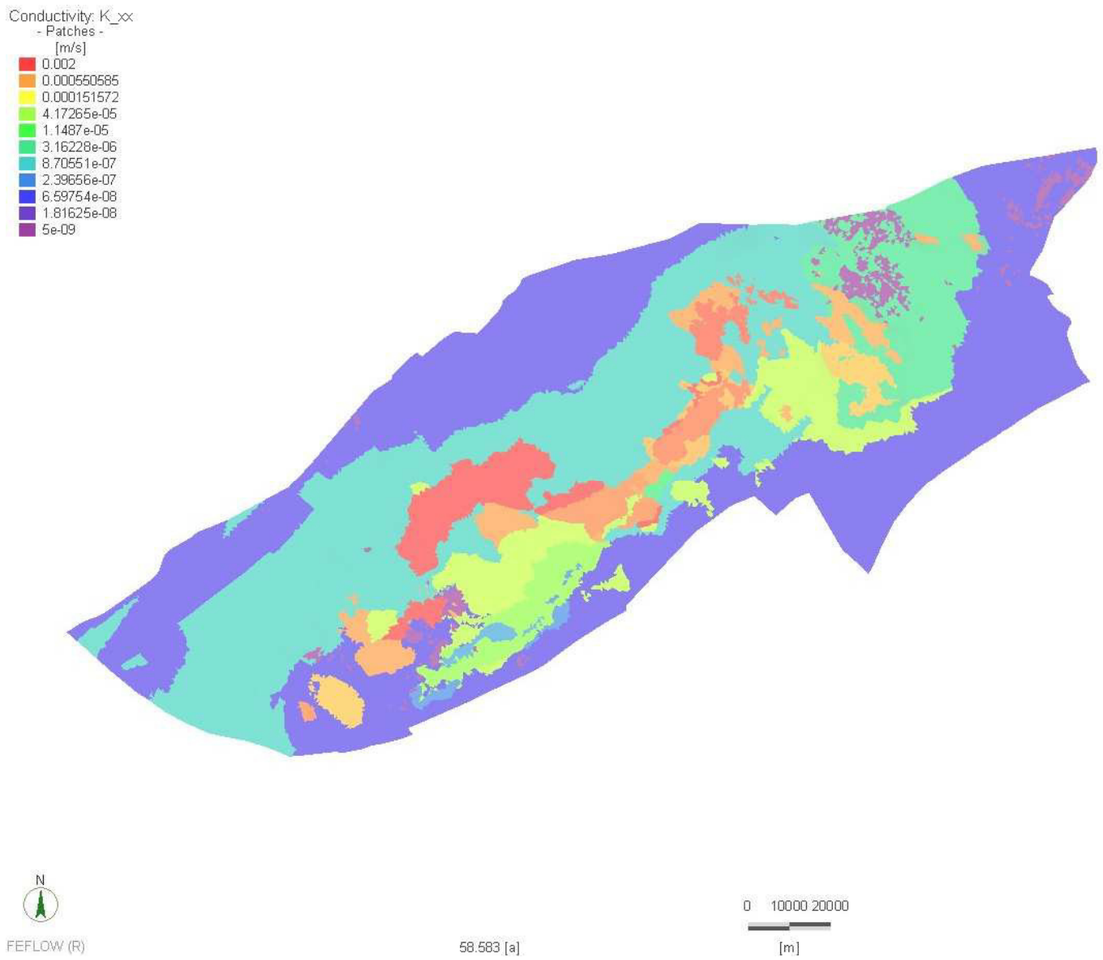


b,

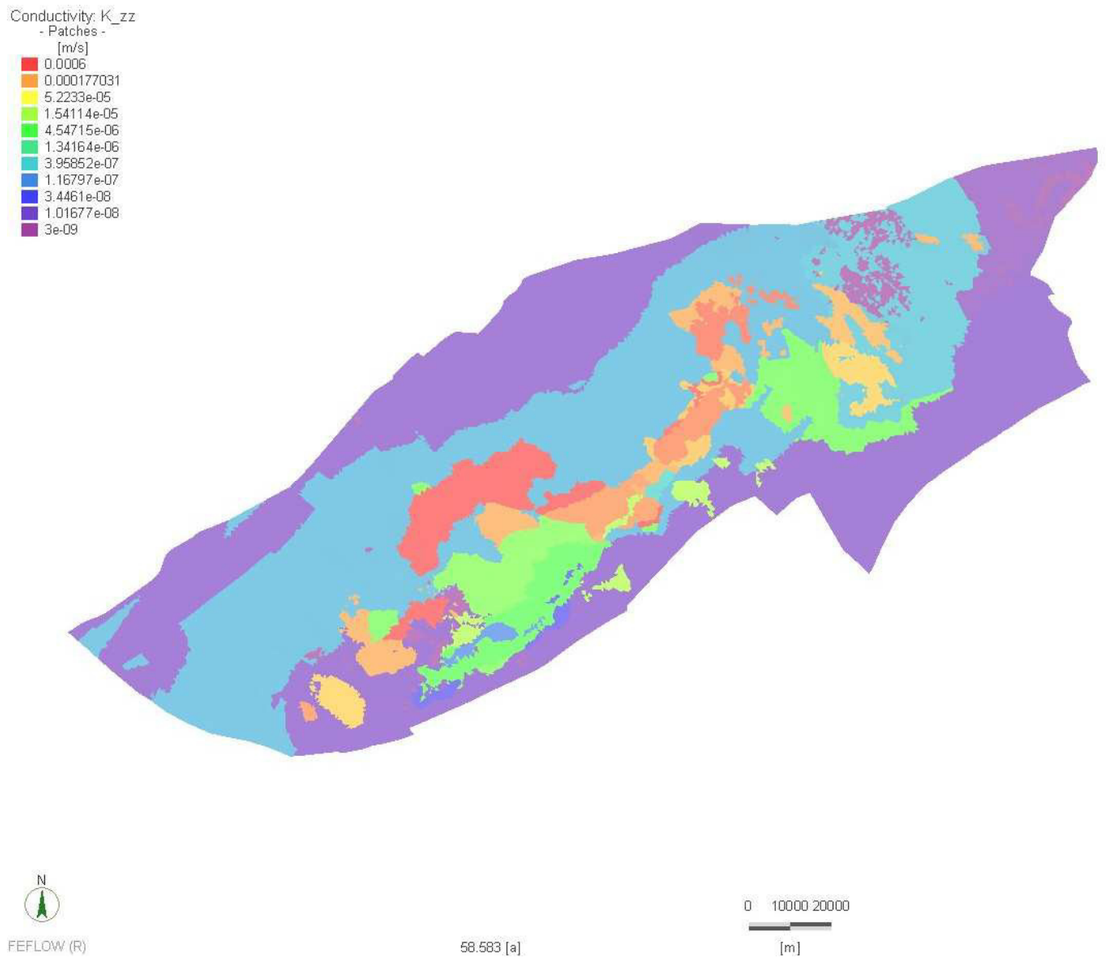


22. ábra: A 2. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

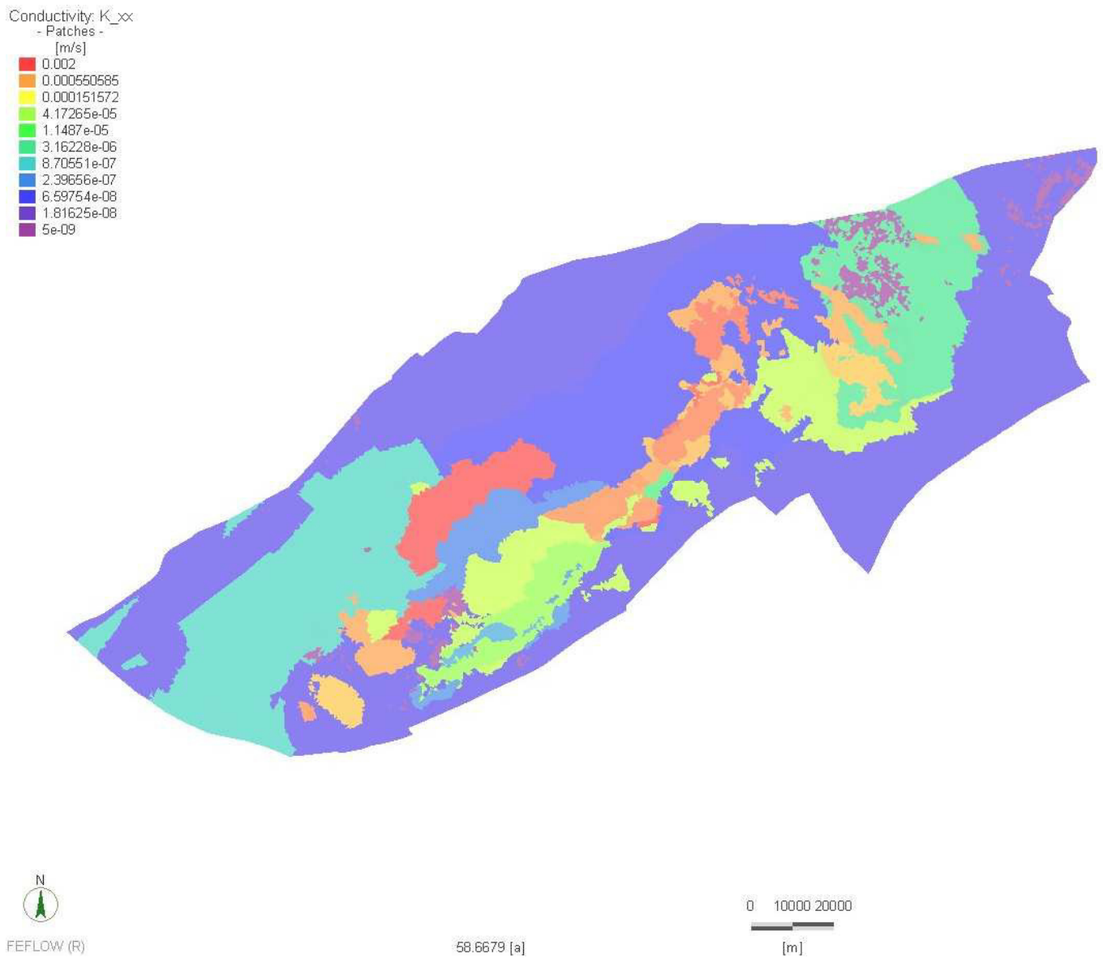


b,



23. ábra: A 3. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

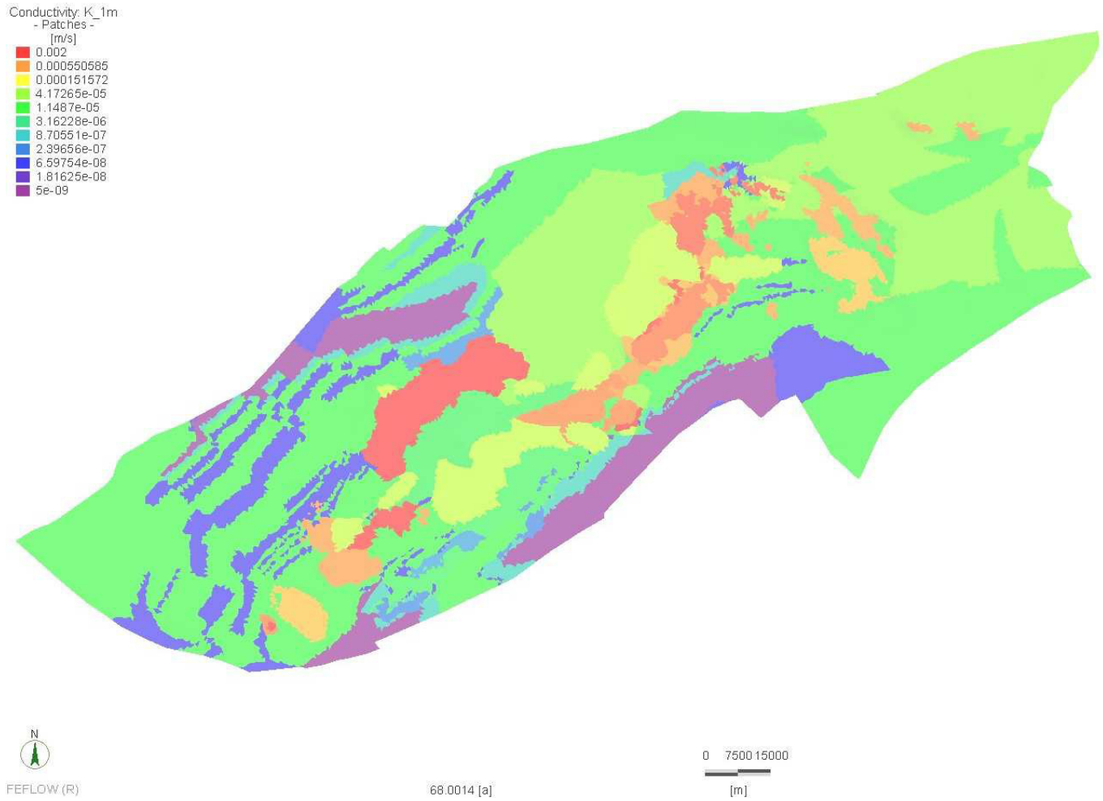
a,



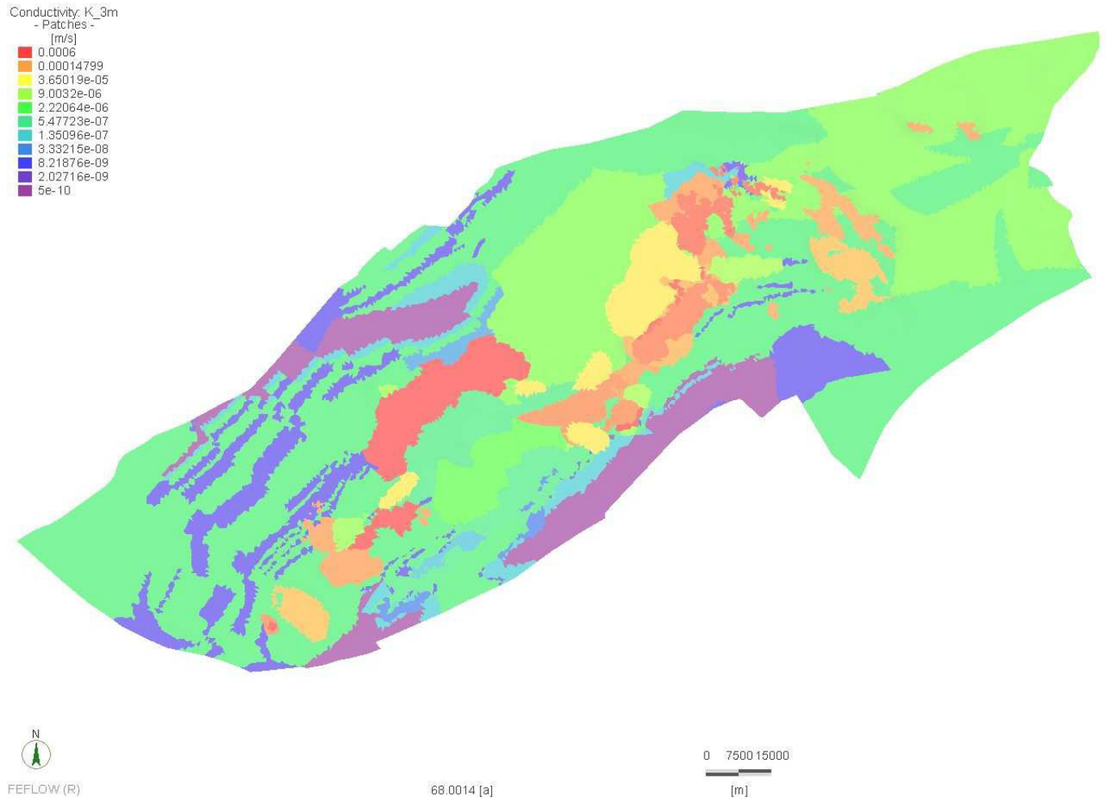
b,

24. ábra: A 4. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

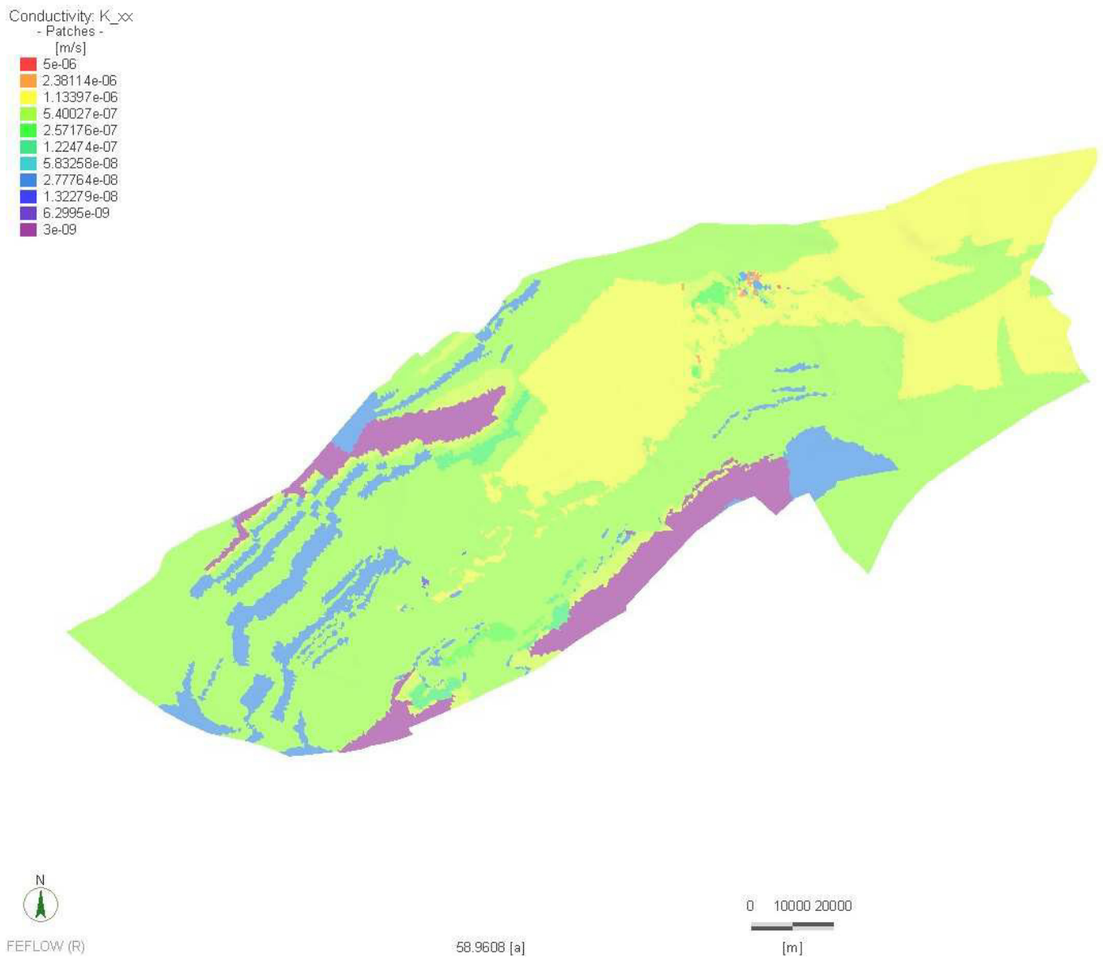


b,

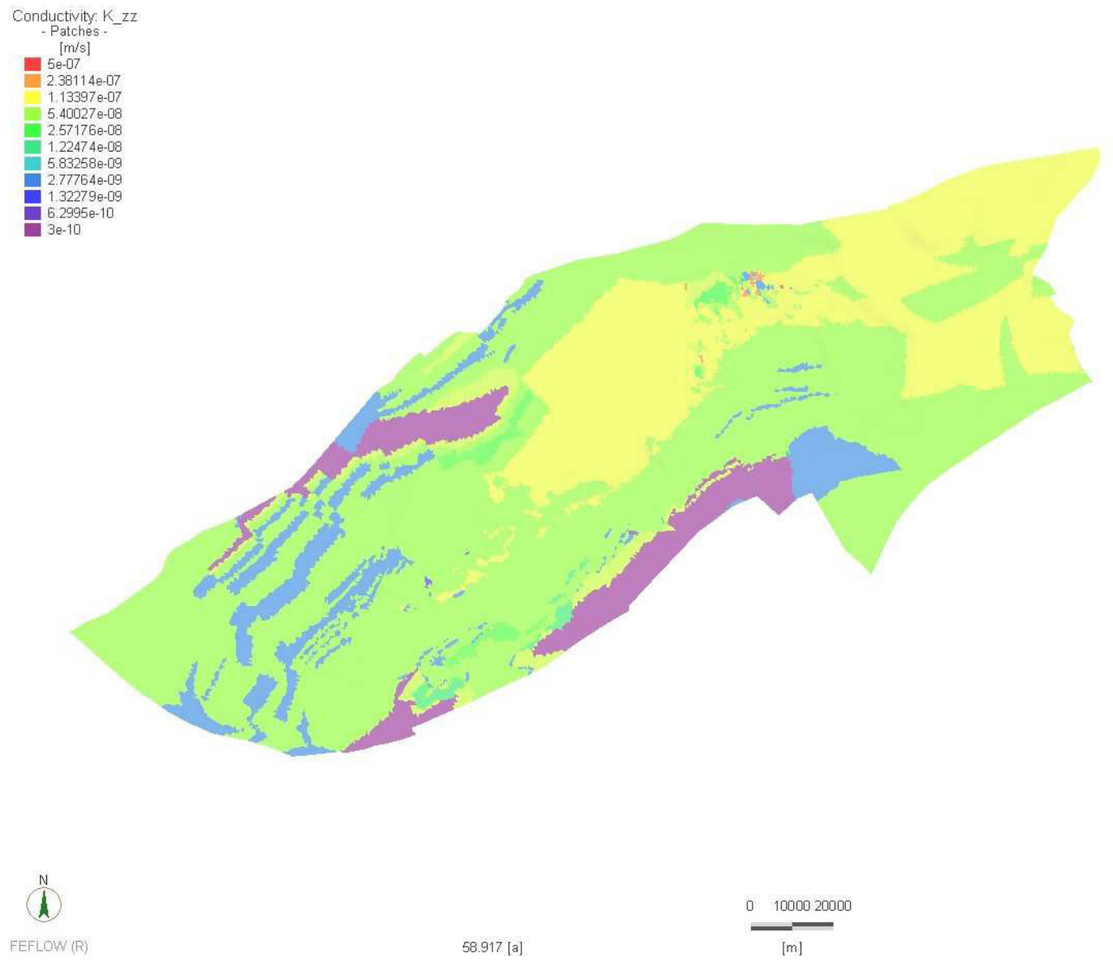


25. ábra: Az 5. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

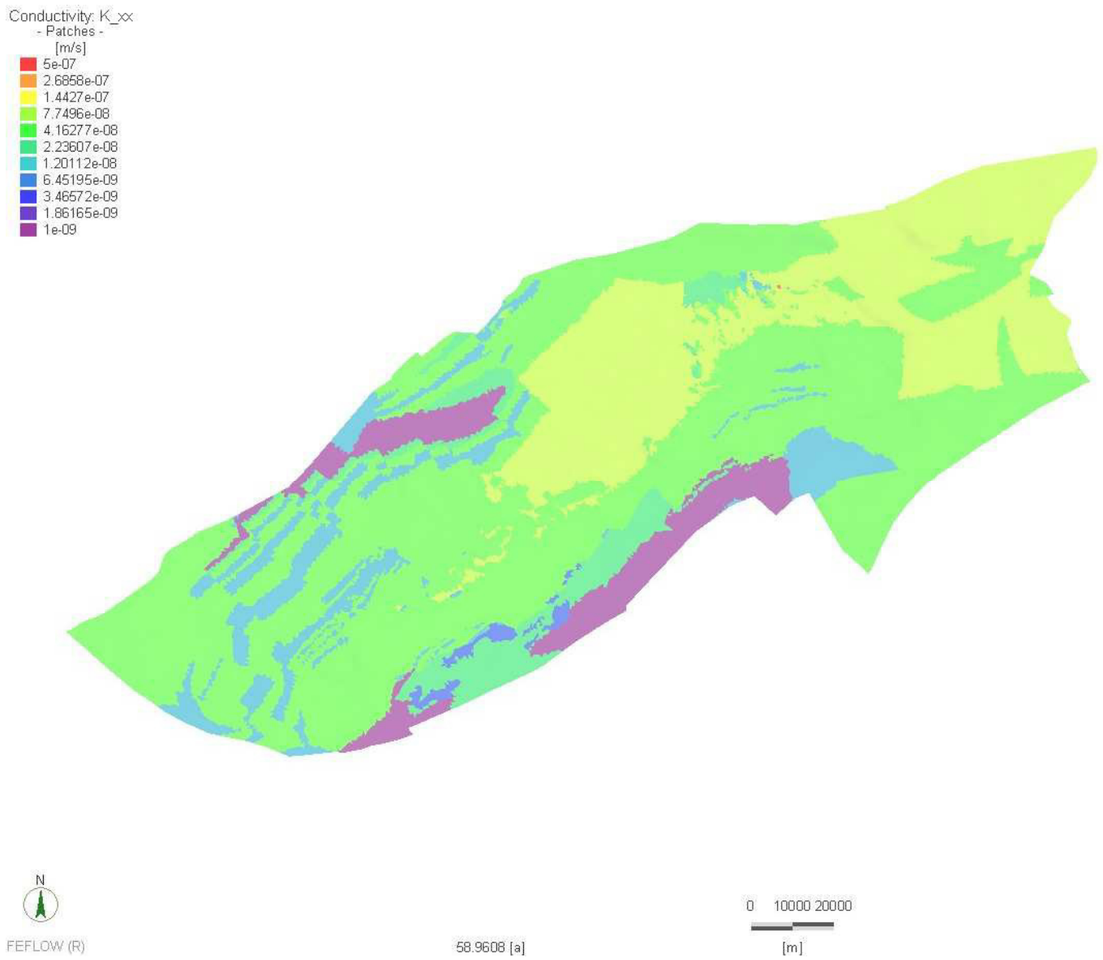


b,

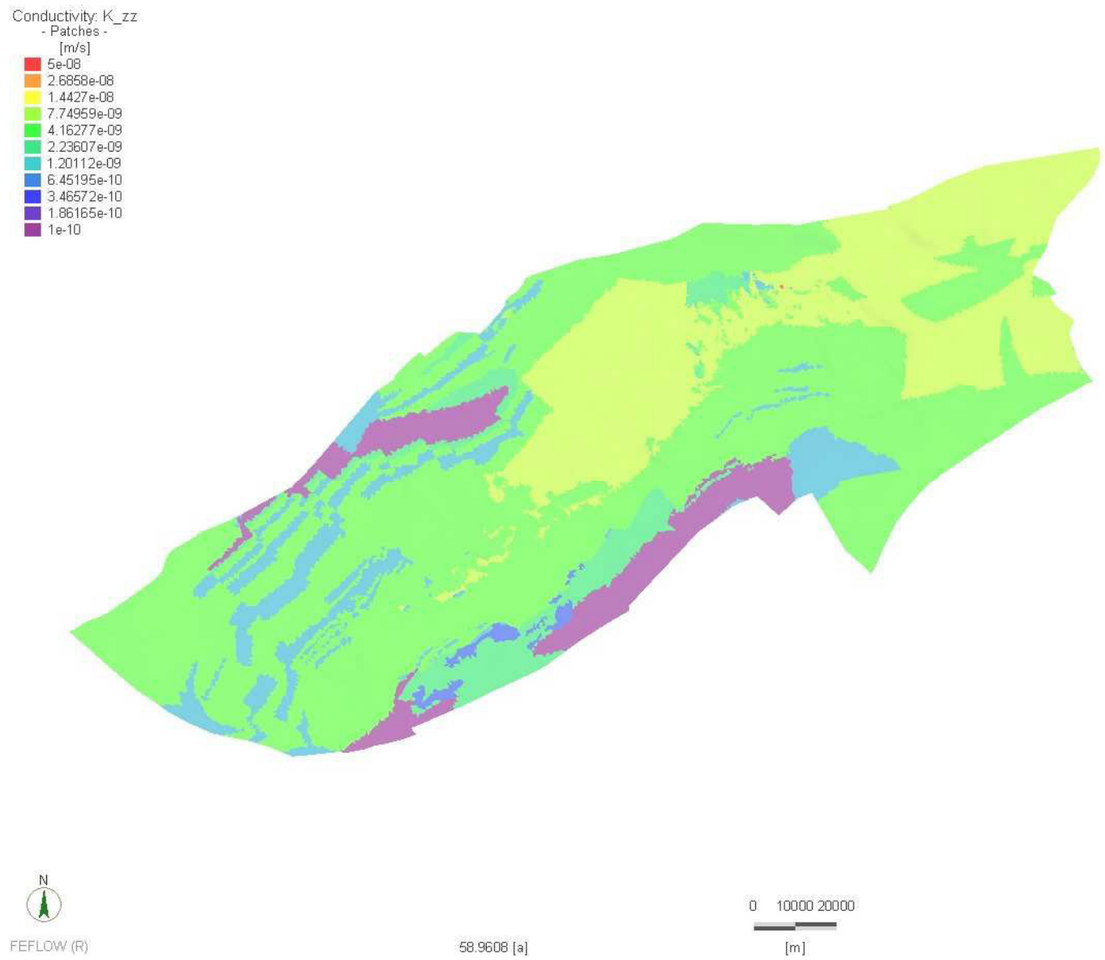


26. ábra: A 6. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

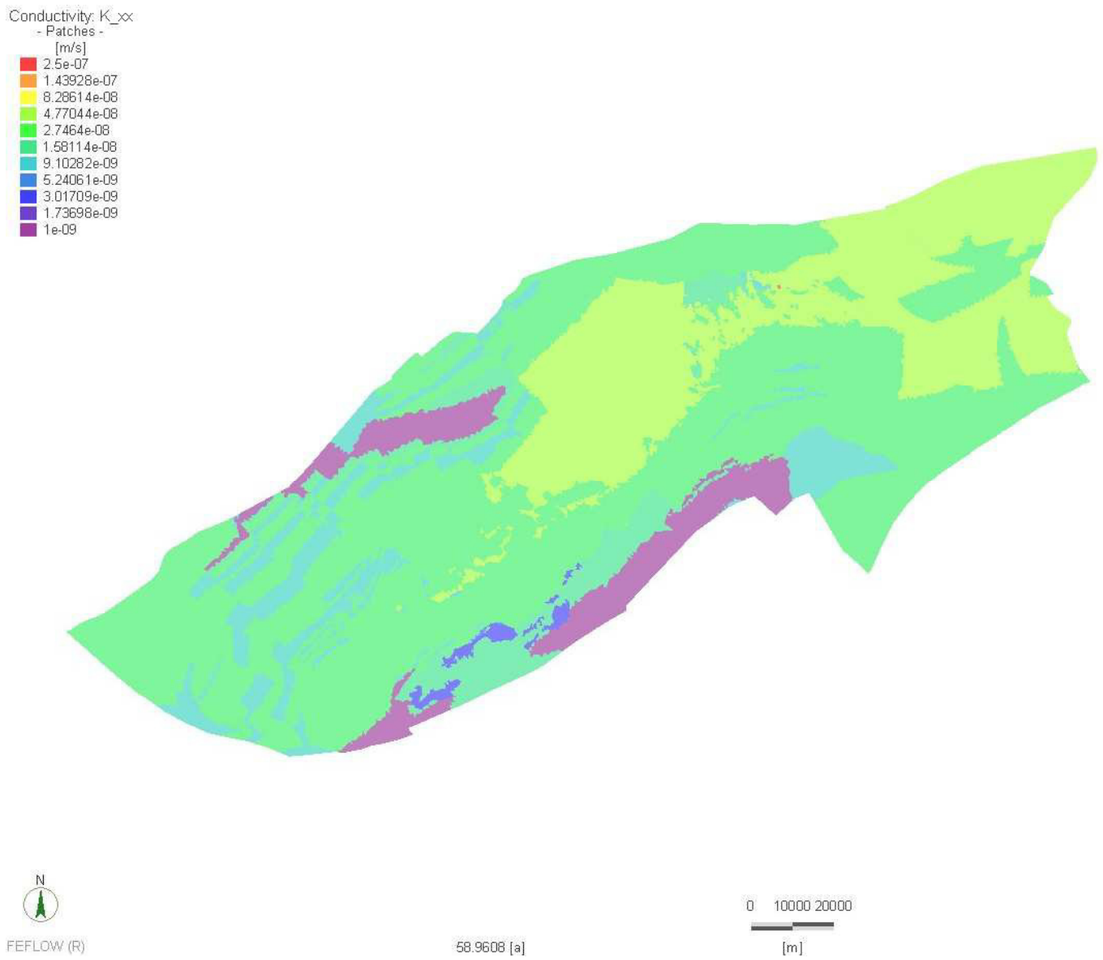


b,



27. ábra: A 7. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

a,

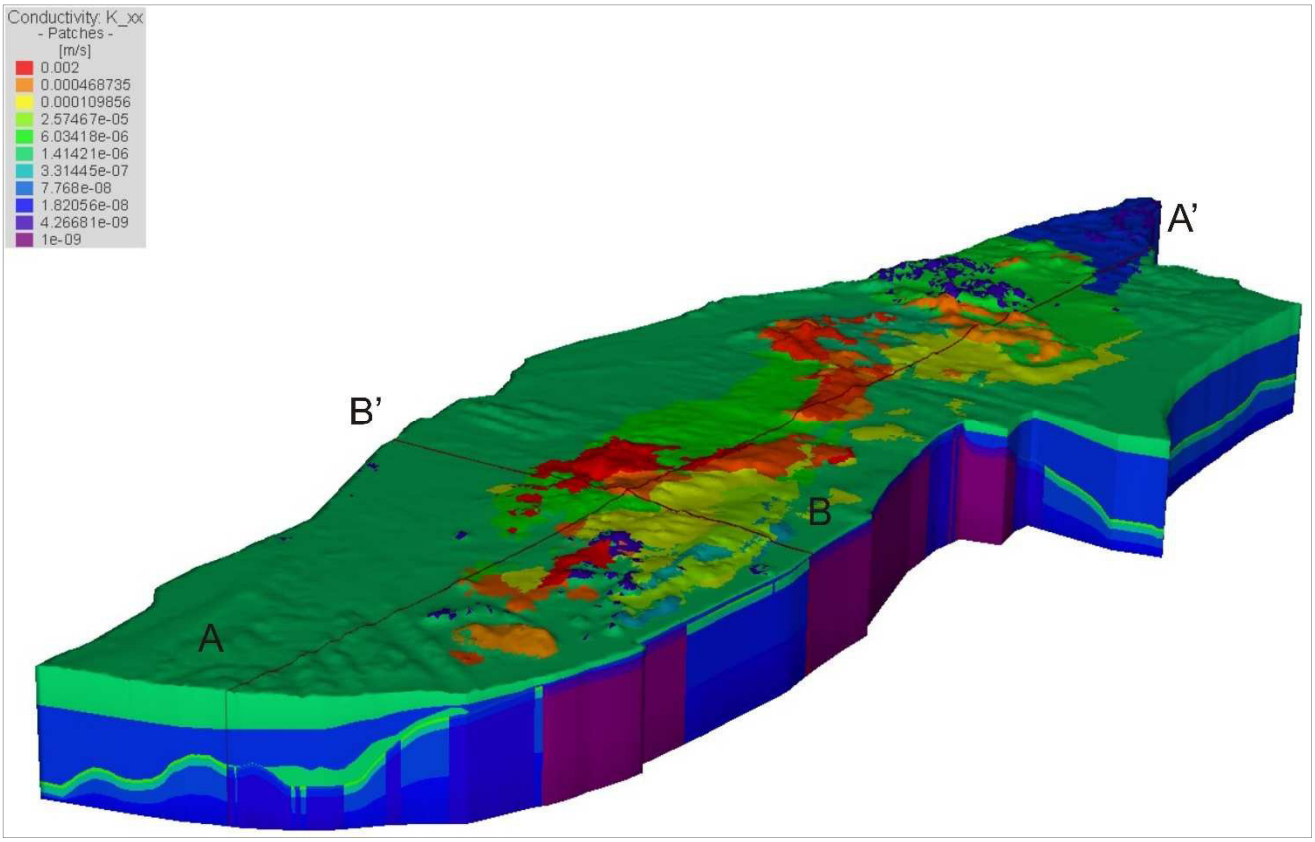


b,

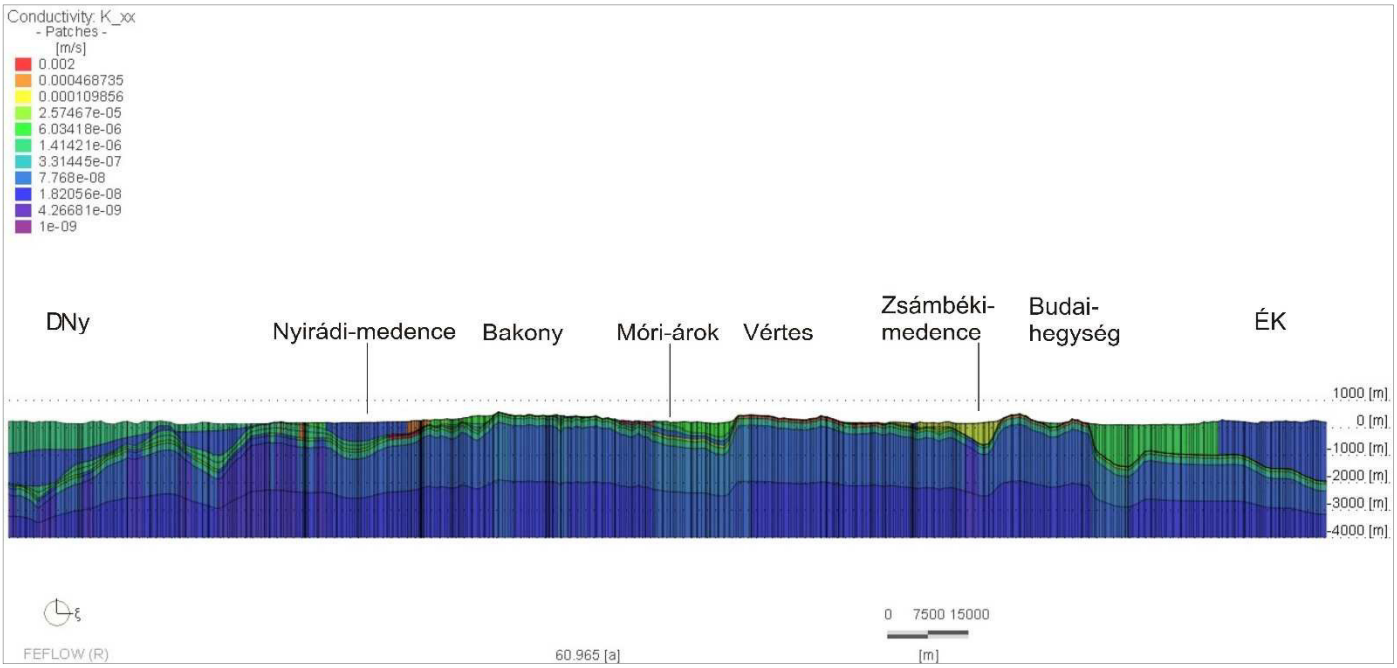
28. ábra: A 8. rétegben alkalmazott horizontális (a,) és vertikális (b,) K-tényező eloszlás

2. táblázat: Az egyes képződmények K-tényező értéke a numerikus modellben

Numerikus réteg		1. zóna: Pre-albai a felszínen				2-4. zóna: Függőkarszt zóna (kréta és eocén mészkövek)																5. zóna: Felső-és Alsó-pannon-Miocén-Oligocén				6. zóna: Nincs Felső-pannon; Alsó-pannon-Miocén-Oligocén van			
		kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)	kor/kőzet	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)
1	Q-Pa2	Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.)	2E-03-3.3E-05	Kx*0.5	6E-04-5E-06	Függőkarszt a felszínen	ugyanaz, mint a Pre-albai	Kx*0.5	ugyanaz, mint a Pre-albai	Q-Pa2	1.16E-06	Kx	2.32E-08	Csatkai Kavics Fm. Mányi Fm.	5.8E-06	Kx	5.8E-07	Q-Pa2	1.16E-06	Kx	2.32E-08	Q-Pa2	1.16E-06	Kx	2.32E-08	Törökbálinti Fm.		Kx	
2	Pa1-M-Ol									Pa1-M-Ol általában	3.9E-08		7.7E-09		8E-07		1.6E-07	Pa1-M-Ol általában	3.86E-08		7.72E-09	Pa1-M-Ol általában	3.86E-08		7.72E-09	Tinnyei Fm.	3E-06		3E-07
3	Függőkarsztos rétegcsoport - mészkő									FüggőKv	1.16E-06	Kx*0.5	2.32E-07	FüggőKv	1.16E-06	Kx*0.5	2.32E-07	FüggőKr	5.80E-08		5.80E-09					Oligocén-Miocén vízrekesztők (Kiscelli, Tardi, Szécsényi)	6.5E-05		6.5E-06
4	Függőkarszt rétegcsoport - vízrekesztő											Kx		FüggőKr	5.80E-08	Kx	1.2E-08										3.9E-08		6E-09
5	Pre-albai					Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala				Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala	1E-05/ 3.3E-05 1.25E-06 5E-09	Kx*0.5	1E-06/ 5E-06 1.25E-07 5E-10	Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala	1E-05/ 3.3E-05 1.25E-06 5E-09	Kx*0.5	1E-06/ 5E-06 1.25E-07 5E-10	Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala	1E-05/ 3.3E-05 1.25E-06 5E-09	Kx*0.5	1E-06/ 5E-06 1.25E-07 5E-10	Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala	1E-05/ 3.3E-05 1.25E-06 5E-09	Kx*0.5	1E-06/ 5E-06 1.25E-07 5E-10	Pre-albai (Fődolomit/ Dachsteini Mészkő Fm.) Balatonfelvidéki Homokkő Lovasi Agyagpala	1E-05/ 3.3E-05 1.25E-06 5E-09	Kx*0.5	1E-06/ 5E-06 1.25E-07 5E-10
6	Pre-albai segédréteg		5E-07/ 1E-06		5E-08/ 1E-07		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10		5E-07/ 1E-06 7.5E-07 3E-09		5E-08/ 1E-07 7.5E-08 3E-10
7	Pre-albai segédréteg		5E-08/ 1E-07		5E-09/ 1E-08		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10		5E-08/ 1E-07 2.5E-08 1E-09		5E-09/ 1E-08 2.5E-09 1E-10
8	Pre-albai segédréteg		2E-08/ 5E-08		2E-09/ 5E-09		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10		2E-08/ 5E-08 1.5E-08 1E-09		2E-09/ 5E-09 1.5E-09 1E-10

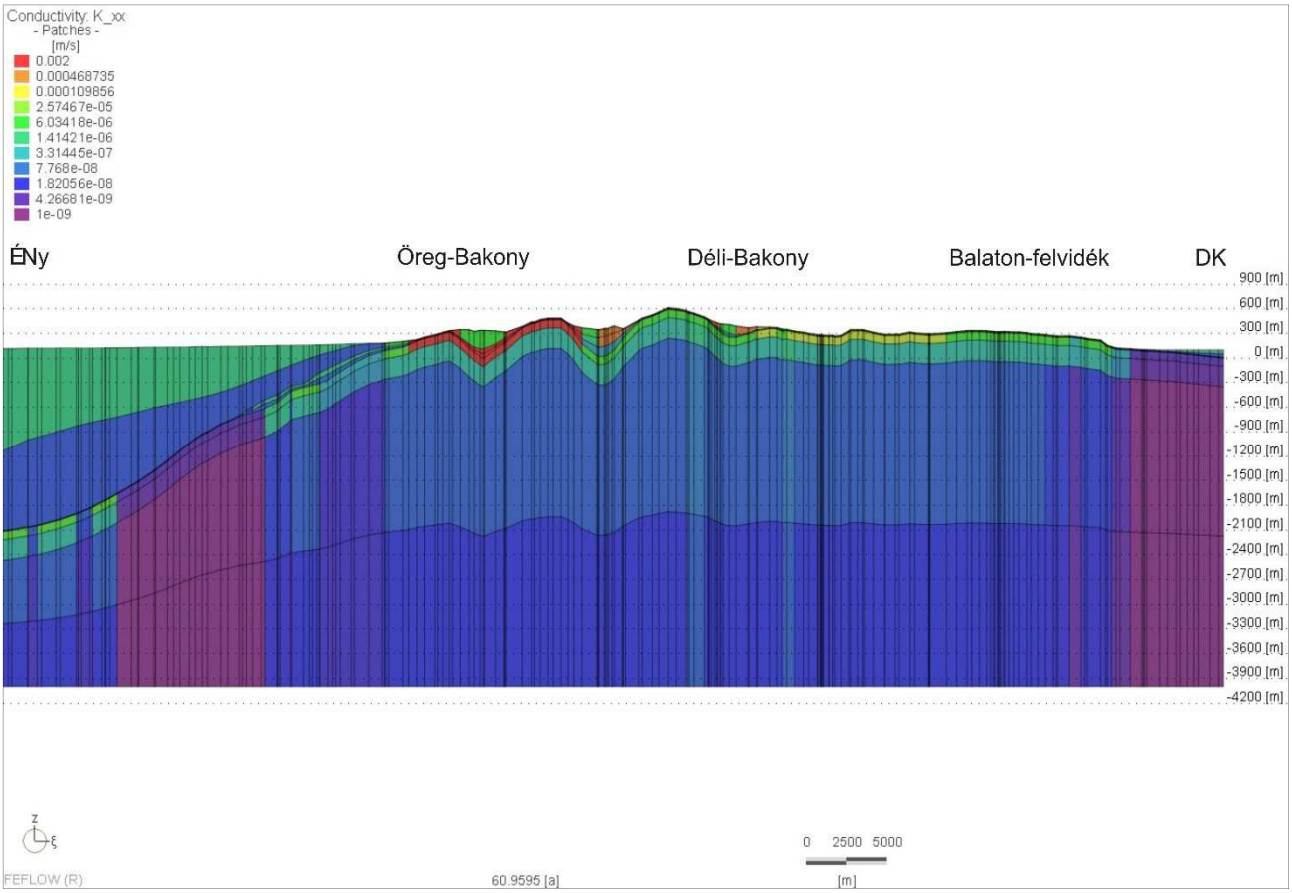


29. ábra: A numerikus modell 3 dimenziós képe a szivárgási tényező eloszlással



30. ábra: A szivárgási tényező eloszlás DNy-ÉK-i irányú szelvényen (5x túlmagasítás)

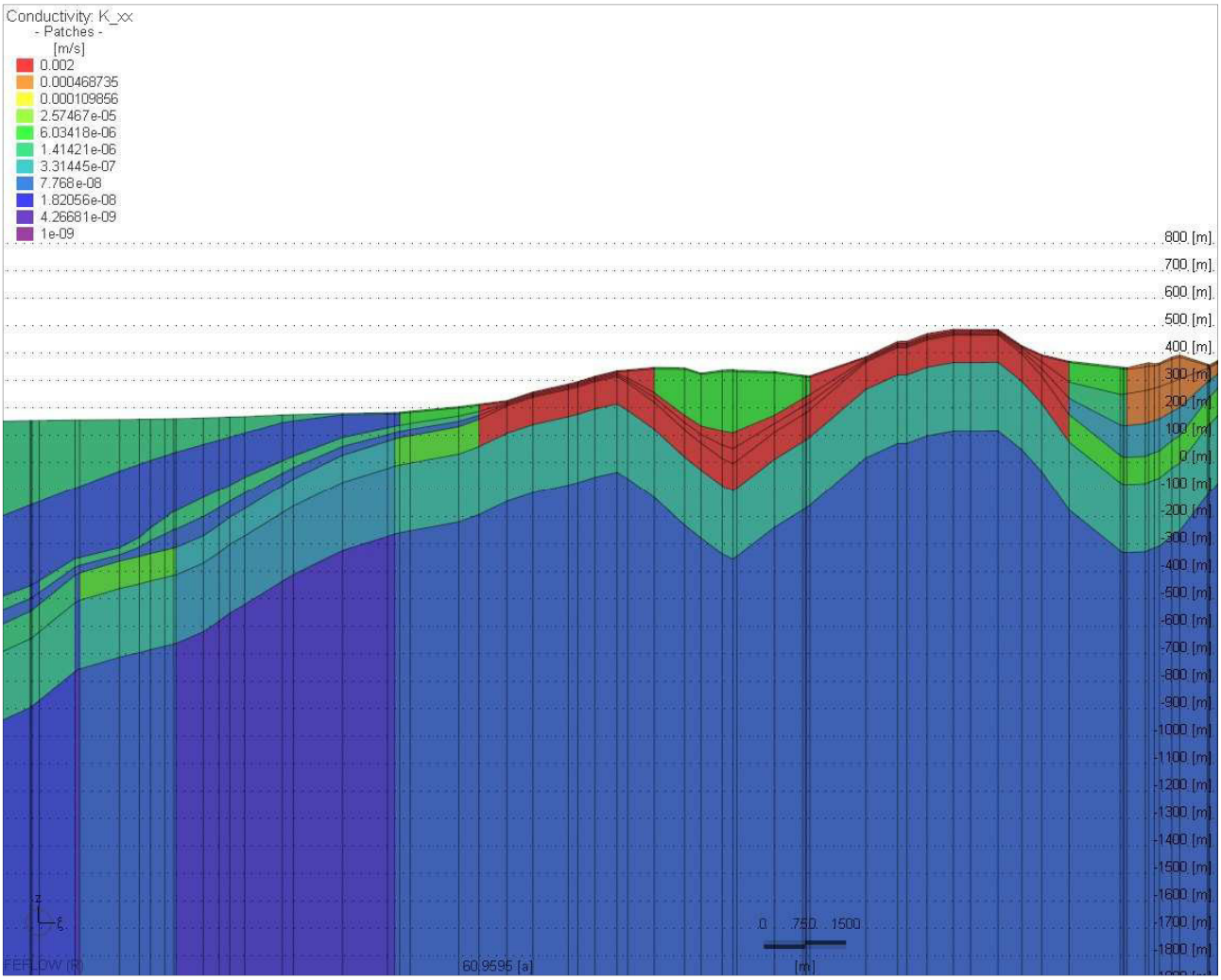
A szelvény nyomvonalát a 29. ábra mutatja (A-A' szelvény)



31. ábra: A numerikus modell DK-ÉNy-i irányú szelvénye (5x túlmagasítás)

A szelvény nyomvonalát a 29. ábra mutatja (B-B' szelvény)

A valóságban, az idősebb karbonátos kőzetek és a fiatalabb üledékes kőzetek egymás mellett fordulnak elő, ezt a modellben, a geometriai megoldáson túl (***2.1. fejezet***), paraméterváltással lehet leképezni (***32. ábra***).



32. ábra: K-tényező változása azonos rétegben, egy DK-ÉNy-i irányú szelvényen kinagyítva (5x túlmagasítás)

A különböző korú kőzettestek vertikális elterjedése sem azonos, ezt a modellezés során igyekeztünk leképezni. A ***3. táblázat*** mutatja, hogy az egyes képződmények melyik numerikus rétegben fordulnak elő.

3. táblázat: Az egyes képződmények vertikális elterjedése a numerikus modellben

		Numerikus réteg							
Formáció	Képződmény kora	1. réteg	2. réteg	3. réteg	4. réteg	5. réteg	6. réteg	7. réteg	8. réteg
Kvarter és Felső-pannon általában	Q-Pa2								
Nagyvázsonyi Mészkő	Pa2								
Tapolcai Bazalt	Pa2								
Csatkai Kavics	Ol2								
Mányi Formáció	Ol1-2								
Törökbálinti Homokkő	Ol2								
Oligocén-Miocén vízrekesztők (Kiscelli, Tardi, Szécsényi Formációk)	Ol								
Tinnyei Formáció	Ms								
Miocén vulkanitok	Miocén								
Eocén, kréta mészkövek a mélyben	E2, K2								
Eocén, kréta vízrekesztők a mélyben	E2, K2								
Karsztívztároló a felszínen (triász, kréta, eocén korú mészkövek)	T3,K2,E2								
Karsztívztároló a mélyben (a Dachsteini mészkövet és a Fődolomitot megkülönböztetve)	T3								
Veszprémi Márga	T3								
Balatonfelvidéki Homokkő	P2								
Lovasi Agyagpala	O-D								

2.3.2 Fajlagos tározás értékek a numerikus modellben

Tranziens áramlás esetén az áramlási kép időbeli változását is figyelembe vesszük. Tehát a vizsgált térrészben a bemenő tömegáram nem azonos a kilépővel. Ehhez ismerni kell, hogy a víztartó egységnyi térfogatából egységnyi idő alatt mennyi víz szabadítható fel, amit a fajlagos tározás definiál (S_0 [1/m]). A fajlagos tározás által meghatározott vízmennyiség két mechanizmus révén szabadul fel: az egyik a víz nyomáscsökkenés hatására bekövetkező tágulása, a másik a megnövekedett effektív feszültség miatt bekövetkező víztartó kompakció hatására. Ez a két folyamat a közeg (α) és a víz kompresszibilitásának (β) függvénye.

$$S_0 = \rho g(\alpha + n\beta)$$

ahol ρgα a kompakció útján, míg ρgnβ a víz tágulása révén felszabaduló vízmennyiséget képviseli, az n a kőzet teljes porozitása.

A Laplace-egyenletet az idő és fajlagos tározással átalakítva megkapjuk a diffúziós egyenletet:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_0}{K}\frac{dh}{dt}$$

A diffúziós egyenlet a tranziens vízáramlást adja meg homogén és izotróp esetre, ha az anizotrópiát is figyelembe vesszük, akkor a következő egyenlet adja a megoldást:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K(x)\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K(y)\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K(z)\frac{\partial h}{\partial z}\right) = S_0\frac{dh}{dt}$$

A tranziens áramlási egyenlet a pórusnyomás változás időbeli terjedését írja le. Ha az egyenletet b vastagságú fedett, horizontális víztartóra írjuk le, akkor a következő egyenletet kapjuk:

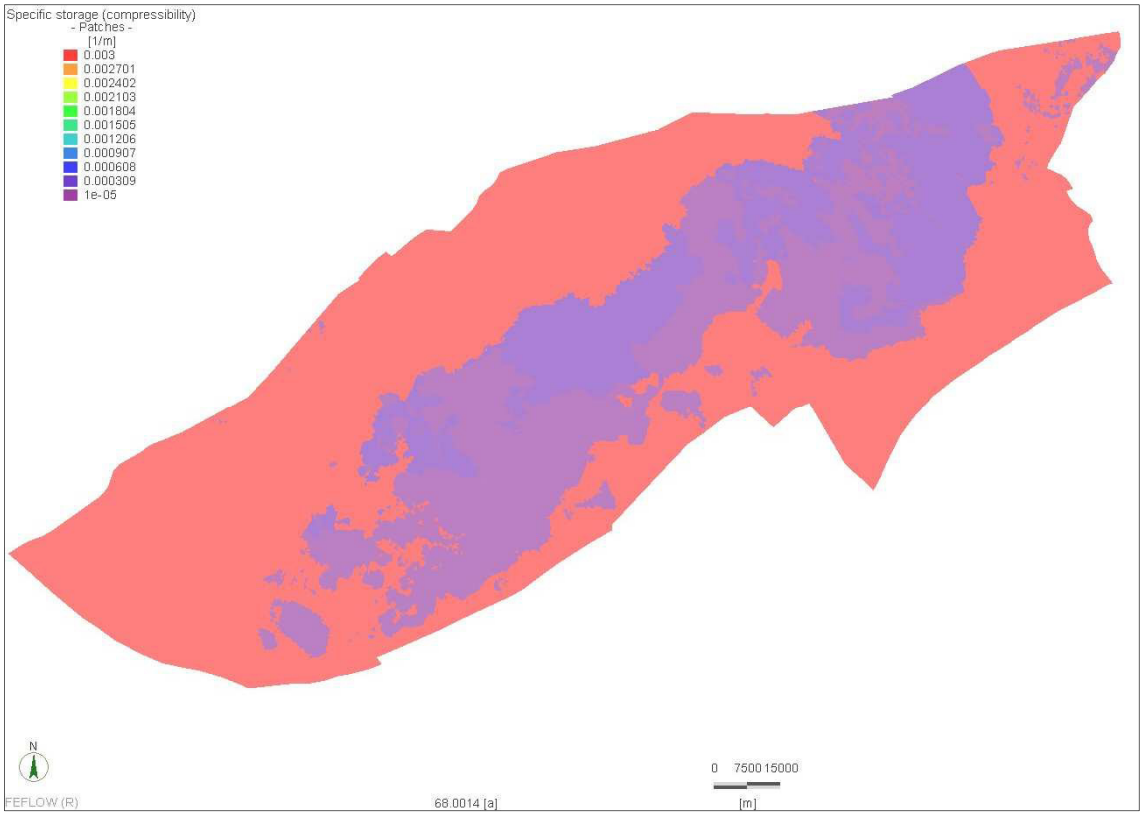
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T}\frac{dh}{dt}$$

ahol S: a tározási tényező [-], T: a transzmisszivitás [m^2/s]

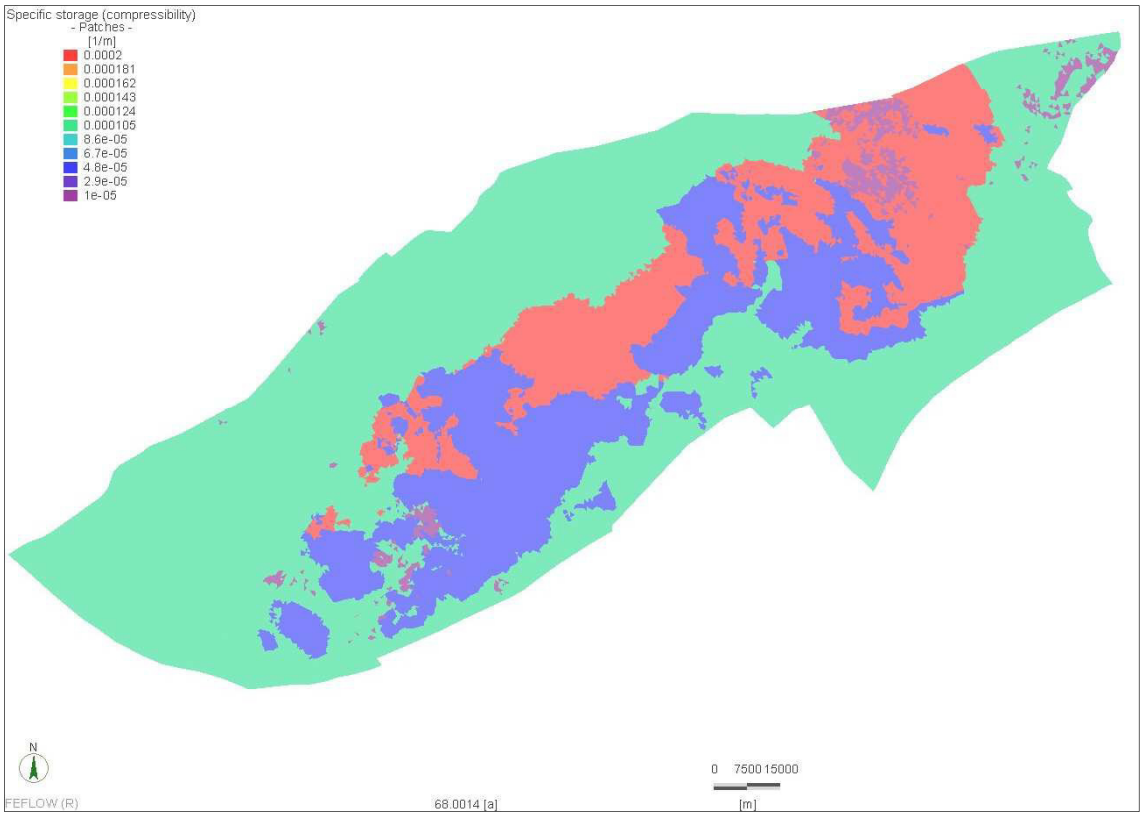
A numerikus modellezéshez számolt fajlagos tározás értékeit a ***4. táblázat*** mutatja be, míg eloszlását a ***33-38. ábrák*** szemléltetik. A fajlagos tározás számításához szükséges, kőzetre jellemző teljes porozitást a T-JAM [10] alapján, míg a közeg kompresszibilitását (α) az Domenico & Schwartz, 1990 [1] szerint határoztuk meg. A 7. rétegtől nincs képződménybeli elkülönítés a fajlagos tározásban.

4. táblázat: Az egyes hidrosztratigráfiai egységhez tartozó fajlagos tározás

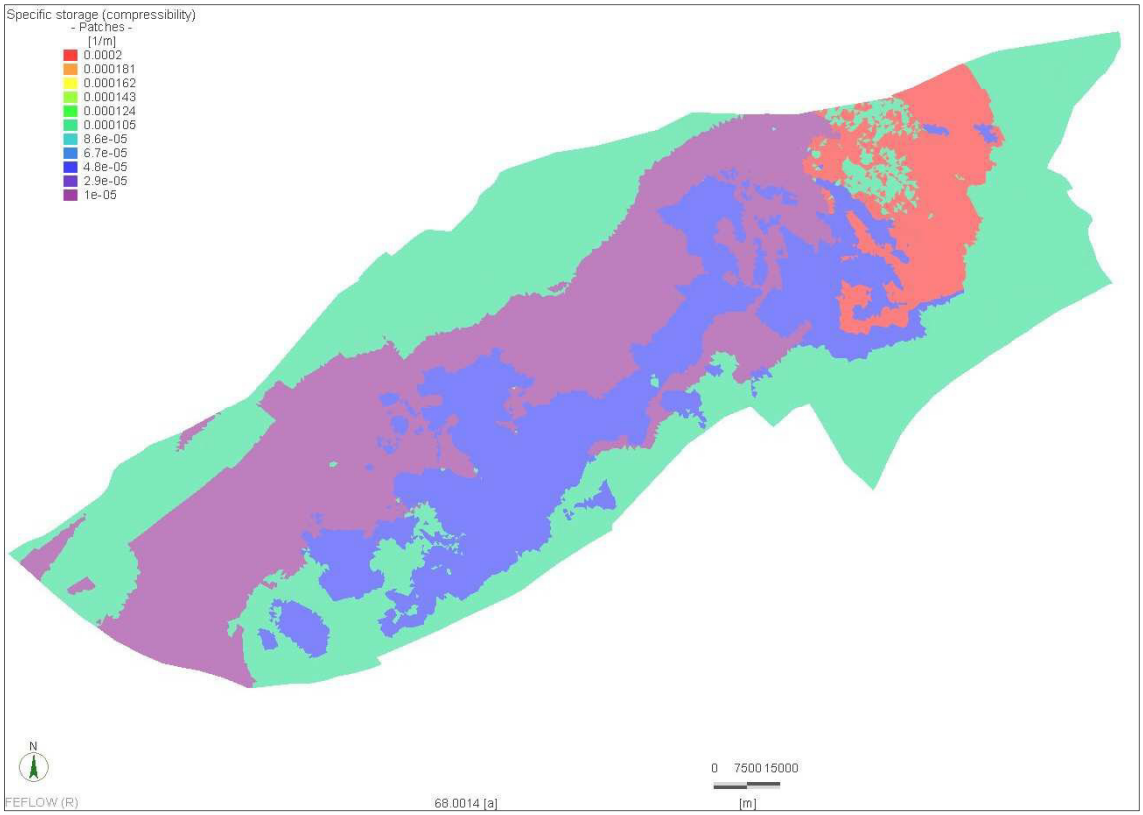
Numerikus réteg		n (-)	α (1/Pa)	β (1/Pa)	g (m/sec^2)	ρ (kg/m^3)	**S_0 (1/m)**
1	Q-Pa2	0.35	3E-07	4.40E-10	9.81	1000	3E-03
2	Pa1-M-Ol	0.4	1E-08				1E-04
3	Függőkarsztos rétegcsoport - mészkő	0.03	1E-09				1E-05
4	Függőkarszt rétegcsoport - vízrekesztő	0.02	1E-08				1E-04
5	Pre-albai	0.02	5E-09				5E-05
6	Pre-albai segédréteg	0.02	3E-09				3E-05
7	Pre-albai segédréteg	0.02	1E-09				1E-05
8	Pre-albai segédréteg	0.015	5E-10				5E-06



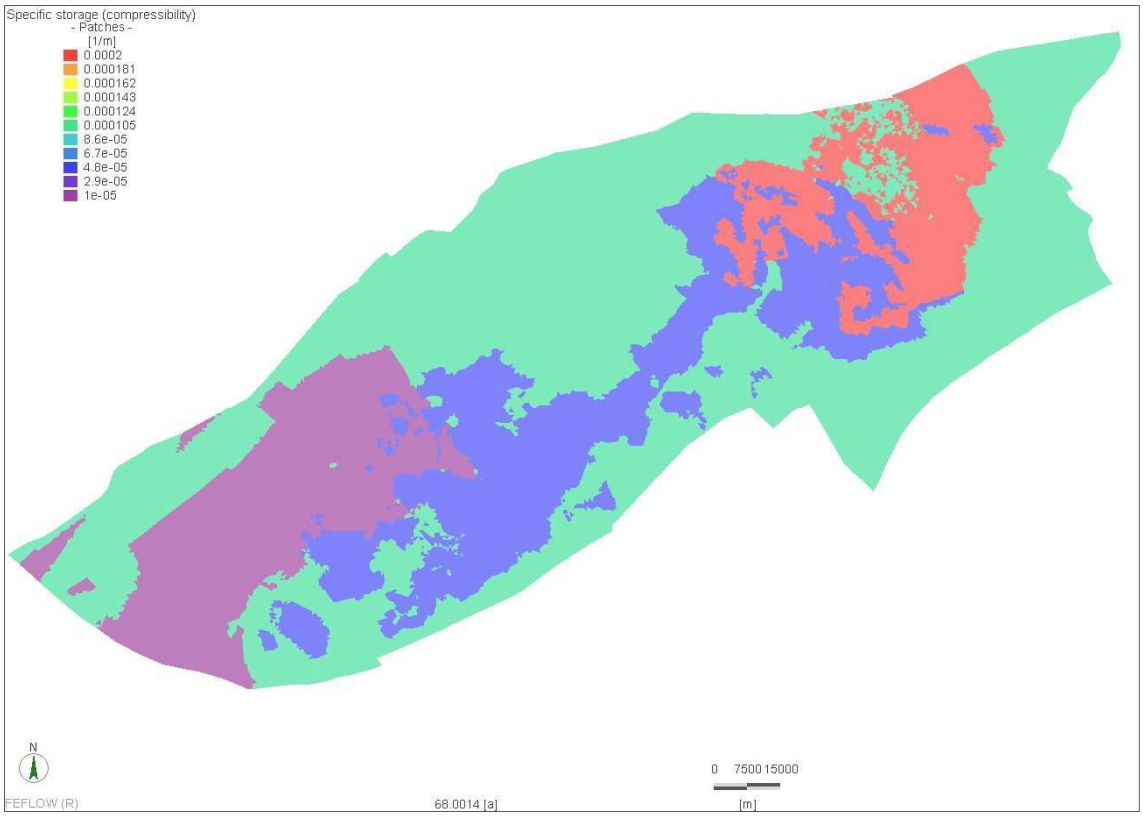
33. ábra: Az 1. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás



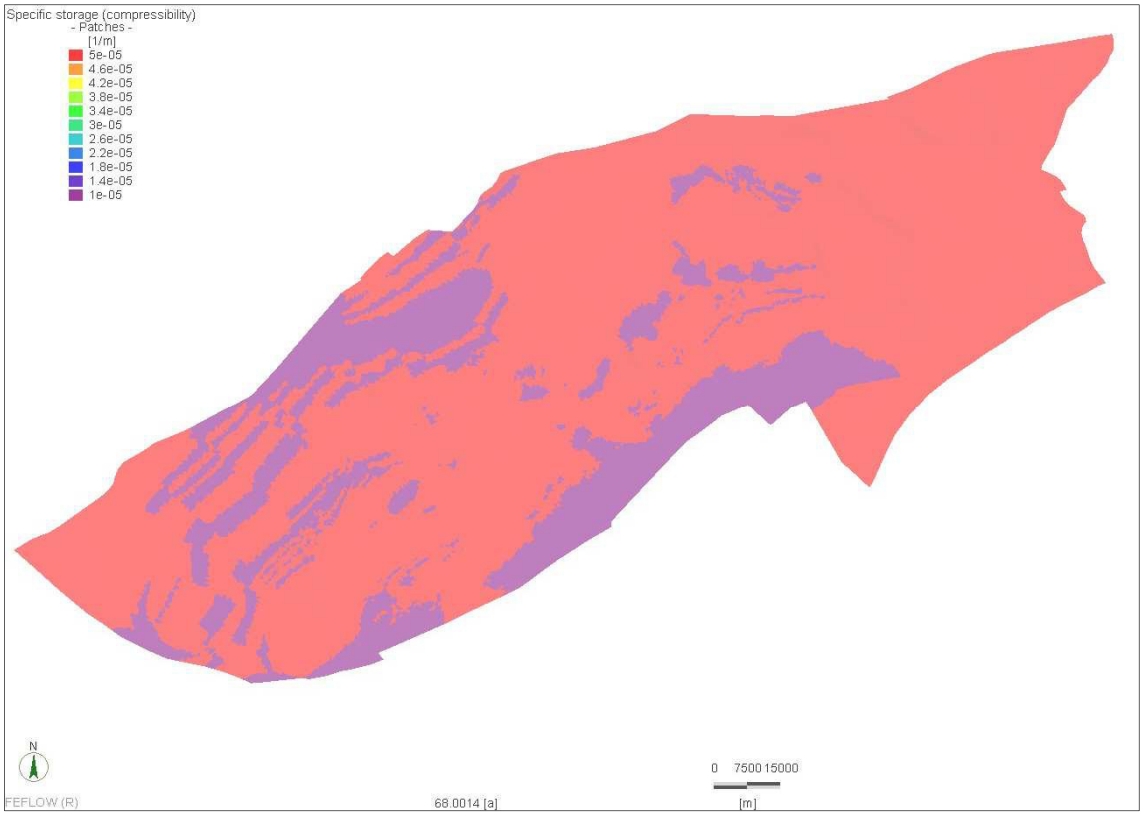
34. ábra: A 2. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás



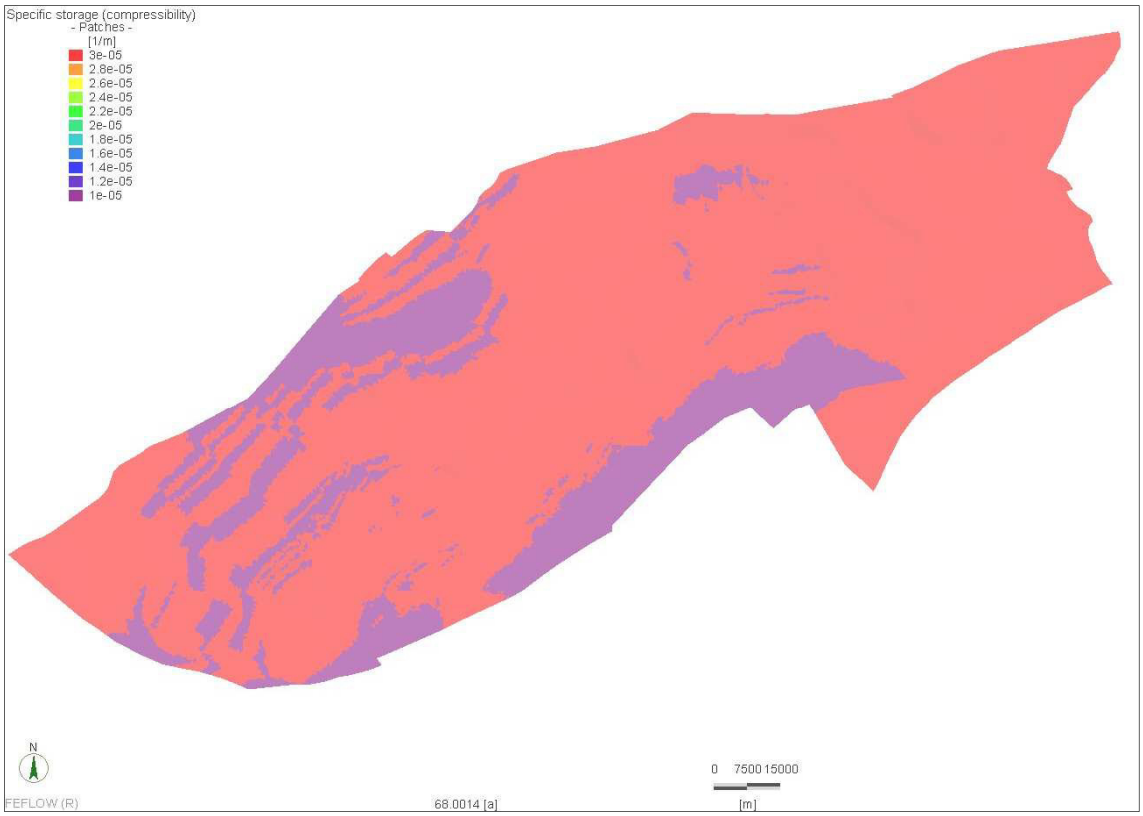
35. ábra: A 3. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás



36. ábra: A 4. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás



37. ábra: Az 5. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás



38. ábra: A 6. rétegben alkalmazott fajlagos tározás eloszlás

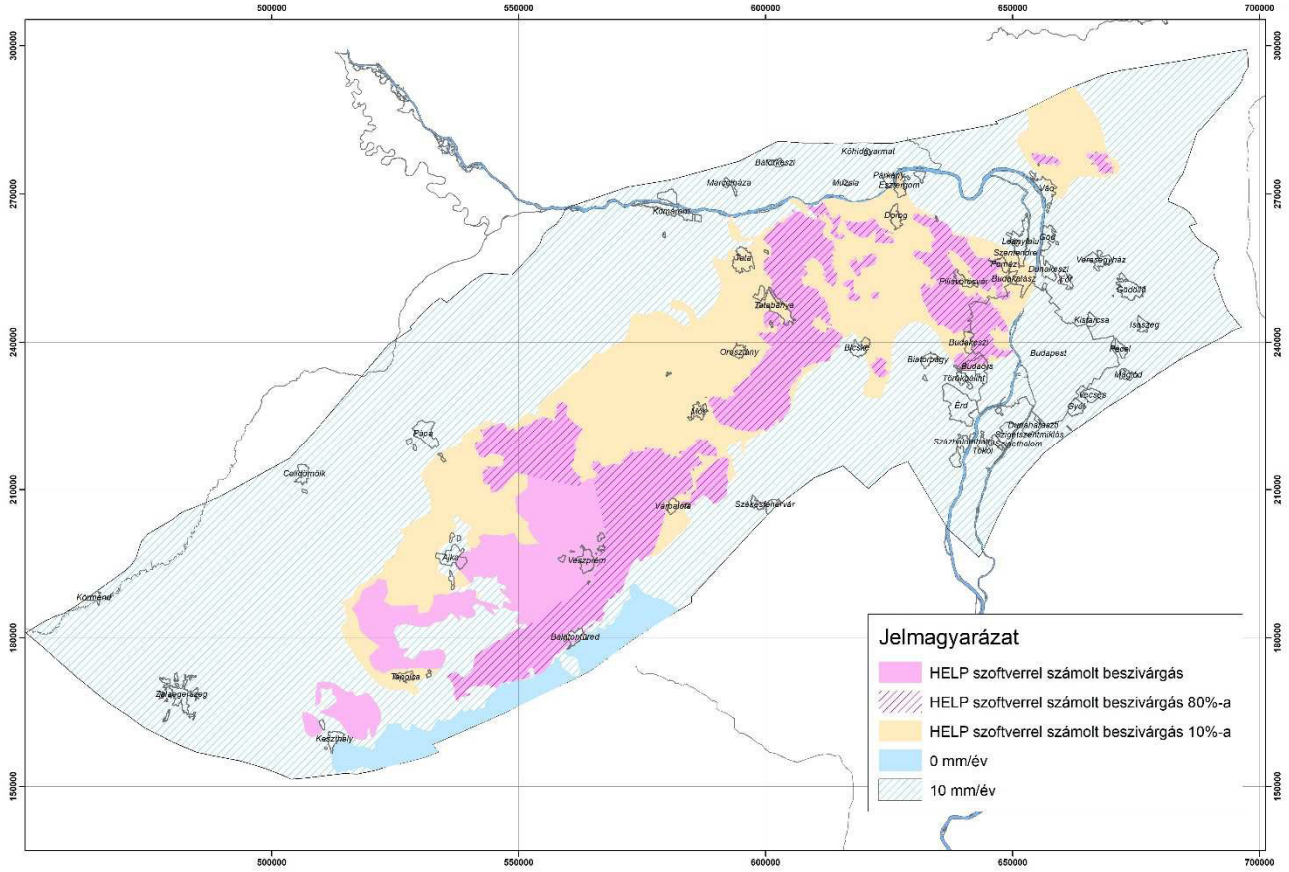
2.3.3 Beszivárgás a numerikus modell felszínén

A beszivárgást a WHI UnSat Suite szoftvercsomag HELP moduljának felhasználásával számítottuk. Ennek módszertanát és eredményeit részletesen az ***I. kötet/3.1. fejezetben*** mutattuk be. Az I. kötetben bemutatott beszivárgás számítást a teljes modellezési területre, a hideg és a termál karsztvíztestek felszínére elvégeztük. A HELP szoftverrel számított beszivárgás nem a karsztvíztárolóba beszivárgott mennyiséget adja meg, hanem a felszínen beszivárgott mennyiséget.

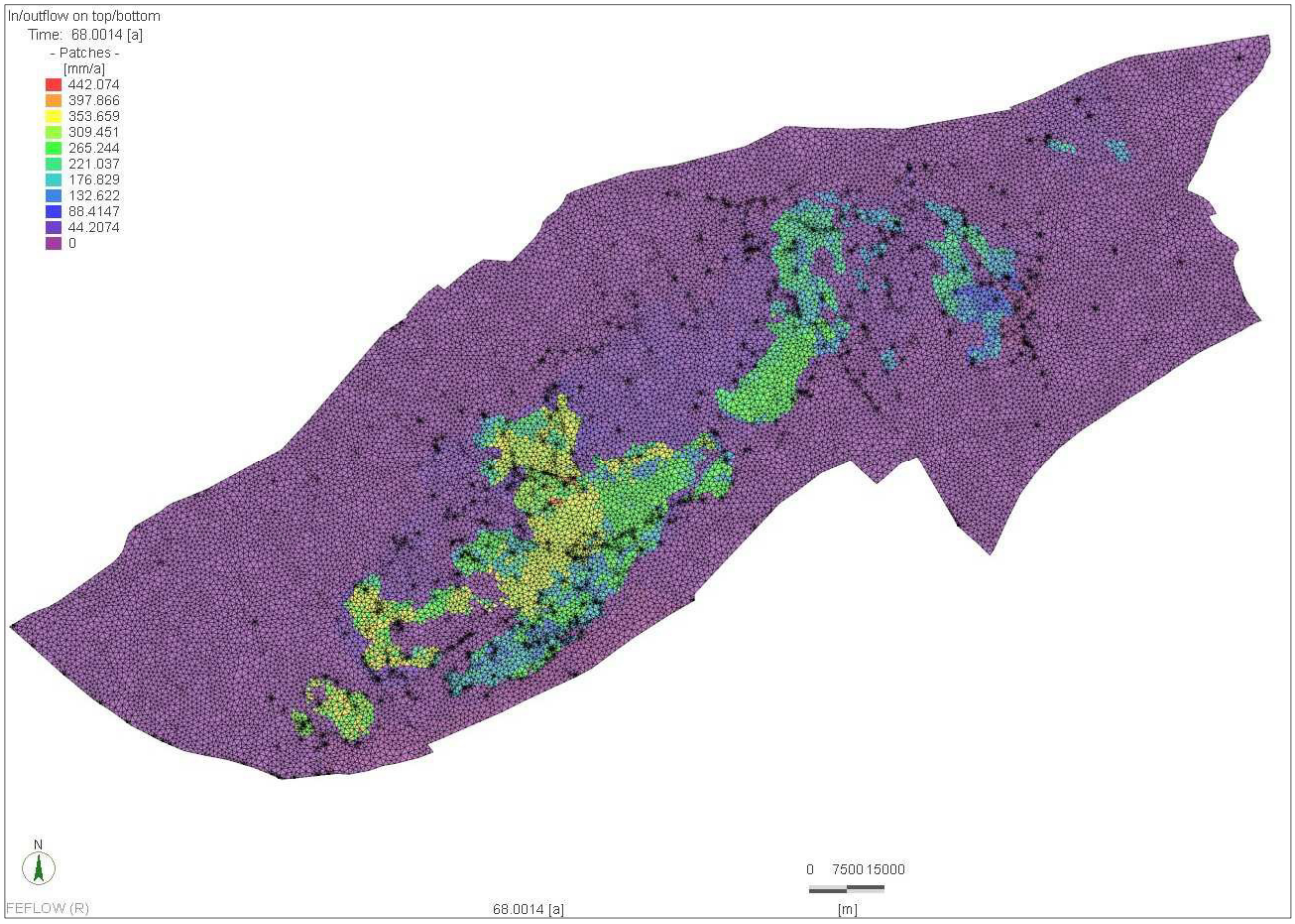
A hideg karsztvíztestek területén a nyílt karsztos területeken a felszíni beszivárgás megegyezik a karsztvíztárolóba történő beszivárgással. A fedett területeken csak a felszínen beszivárgó csapadék egy hányada jut el a karsztvíztárolóba. Ennek mennyisége eltérő a természetes áramlási rendszerben, és a bányászati víztelenítés időszakában, amikor a rendelkezésre álló irodalom arról számol be, hogy a fedő kőzeteket is szárazra szívták. Vagyis a hideg karsztvíztestek felszínén fontos, hogy egy időben változó beszivárgás értéket adjunk meg a fedő kőzetekre is. A HELP szoftver által kapott értékeket a numerikus modellben a hideg karsztvíztestek területén arányosan csökkenteni kellett, ha a modellezett karsztvízszintek nem adták ki a területre jellemző mért értékeket (***39. ábra***).

Azon területeken, ahol a felszín közelében rossz vízvezető képességű összletek találhatóak, illetve például a termál karsztvíztestek területén, ahol a karsztvíztároló nyomás állapota miatt nincs a karsztba beszivárgás felülről, egységesen 10 mm/év beszivárgást határoztunk meg (***39. ábra***). A Balaton és a kisebb tavak 0 mm/év beszivárgással szerepelnek a modellben.

A beszivárgást az 1. numerikus felszínre adtuk meg, a cellák teljes területére, „inflow on top” paranccsal (***40. ábra***).



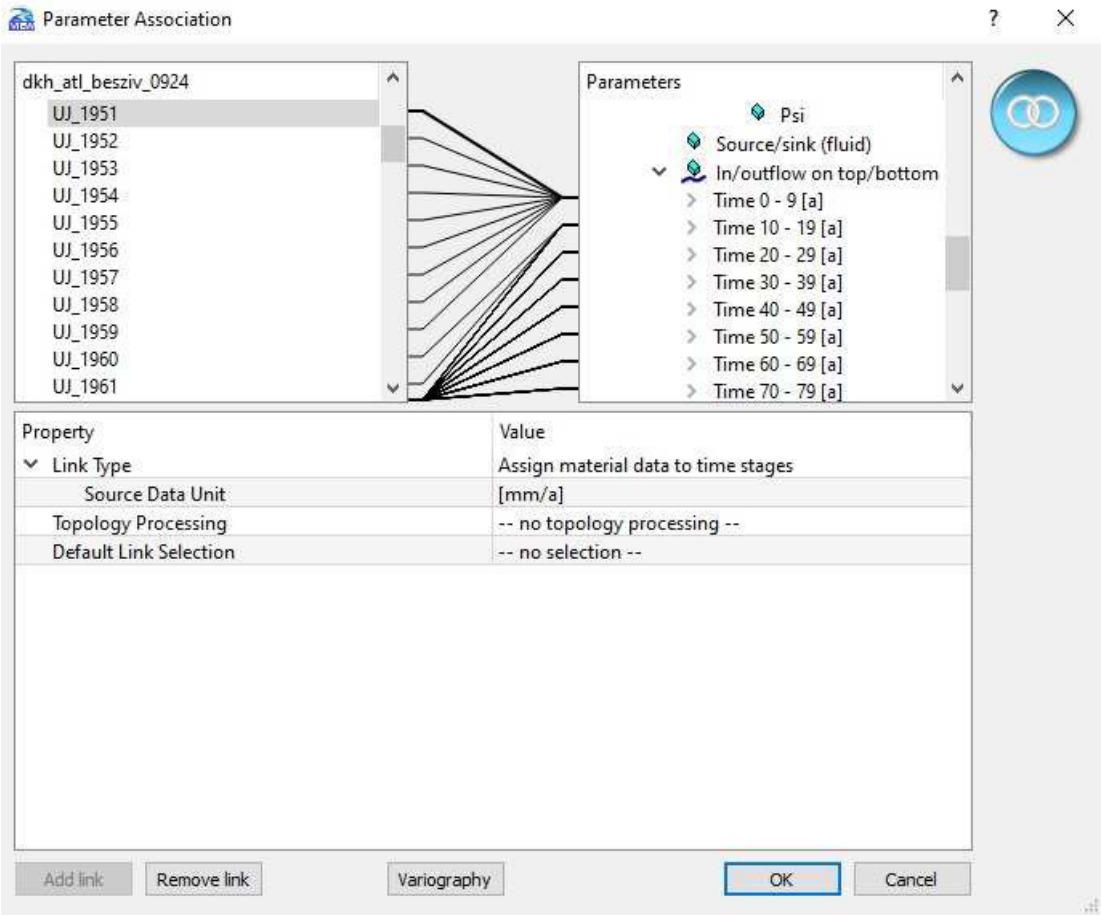
39. ábra: A modellezés során alkalmazott korrigált beszivárgás csökkentésének területi elterjedése



40. ábra: A 2018-as év végére számolt beszivárgás a numerikus modellben

A HELP szoftverrel napi beszivárgást számítottunk, így tetszőlegesen számítható havi, illetve éves mennyiség. A tranziens modellben a beszivárgást éves időlépcsővel adtuk meg az 1951 és 2018 évek között.

Az ***41. ábra*** szemlélteti azt a transzformációs lépést, amelyet az adatbázison kell elvégezni ahhoz, hogy a modellben fel lehessen használni a beszivárgás értékeit. A szoftver az éves időlépcsők közötti időkre lineárisan interpolálja az értékeket.



41. ábra: A különböző évekre számított beszivárgás értékek kapcsolása a tranziens modellben

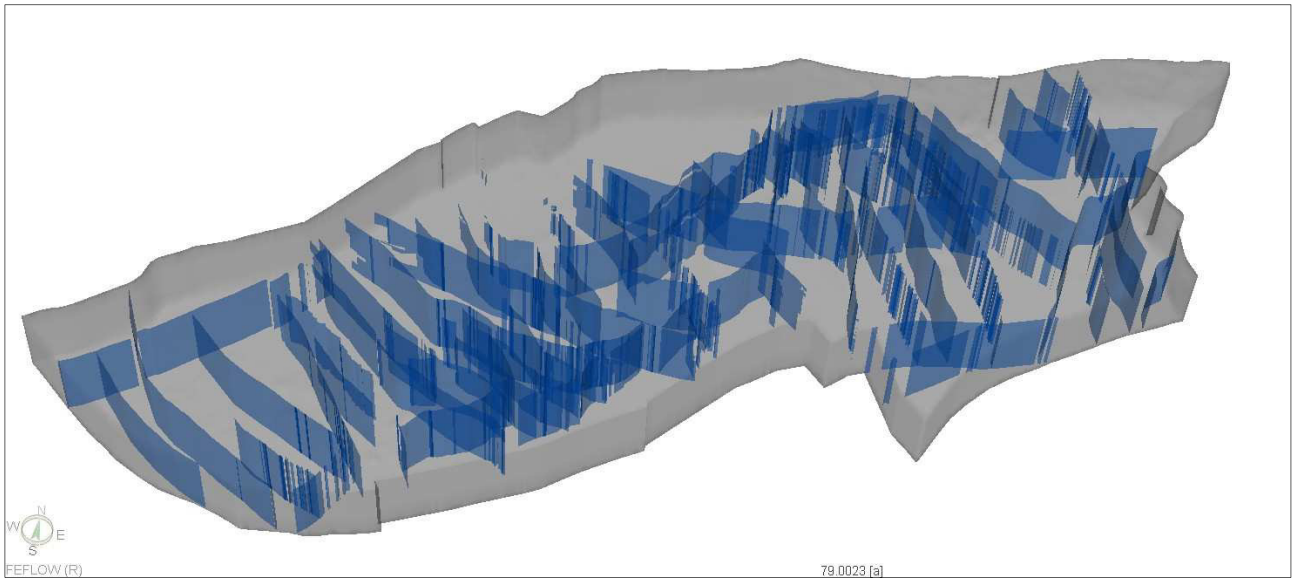
2.3.4 A diszkrét elemek a numerikus modellben

A dunántúli-középhegységi áramlások szimulációja nem készíthető el a térségre jellemző vetőrendszerek leképezése nélkül. A szerkezeti felépítéshez a MÁFI M=1:500 000 méretarányú Magyarország pre-kainoozos földtani térképét [2] használtuk.

A modellben alkalmazott vetőhálózat a ***42. ábrán*** látható, a paraméterezést pedig az ***5. táblázat*** foglalja össze. A vetők a teljes modellt átszelő 2D-s vertikális elemekkel adtuk meg. Az 1D- és 2D-s elemek hidraulikai paramétereinek meghatározása, szintén kalibrációs feladat.

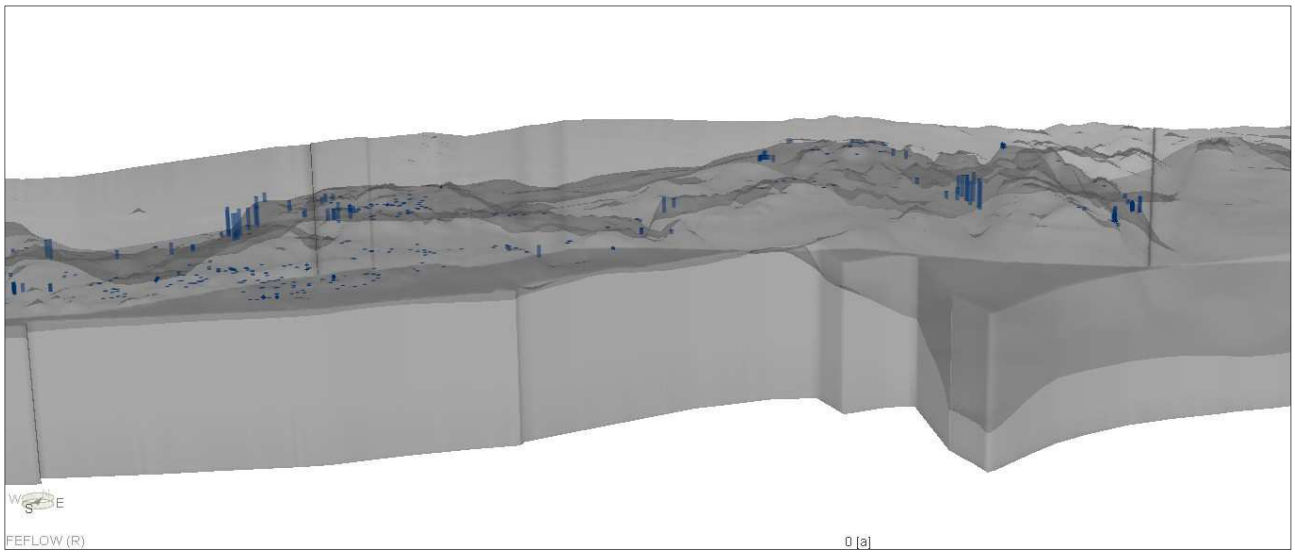
5. táblázat: A szerkezeti elemek hidraulikai paraméterei

Paraméter	Érték
Keresztmetszet (1D)	1 m^2
1D-s elem szivárgási tényezője	0,01 m/s
Vető szélesség (2 D)	0,1 m
Vető szivárgási tényezője	0,0001 m/s



42. ábra: A numerikus modellbe épített vetőhálózat

A numerikus modellben modellezés technikai megoldásképpen 1D-s elemek használatával teremtettük meg a közvetlen kapcsolatot az 1. numerikus felszínre definiált források (***2.4.1. fejezet***) és a főkarsztot képviselő 5. réteg között (***43. ábra***).



43. ábra: A numerikus modellben a források összekötése az 5. rétegig
Sötét szürkével az 5. réteg felszíne látható

2.3.5 A szerkezeti elemek hatása a numerikus modellben

A tranziens modelleknél a mátrix/repedés kommunikáció alapvetően befolyásolja az áramlási rendszer időbeli változását. Az áramlások döntő többsége a repedésrendszerben zajlik, addig a tárolás túlnyomóan a mátrixban történik, ez a vízmérleg számításnál is jól látszik (***2.5.6. fejezet***). Nagy hidraulikus gradiensnél az áramlás anélkül tud végig haladni a rendszeren, hogy tárolódna; míg a tárolt mennyiség viszonylag rövid időn belül le tud ürülni.

Hidraulikai szempontból megkülönböztetünk vezető és záró vetőket. Az elnevezés a kőzetvázhoz képesti viszonyukat jelöli. A vezető vetők koncentráltabb áramlást biztosítanak. A záró vető

megoszthatja az egyébként hidraulikailag egységes részeket. A vetők viselkedése függ attól is, hogy az áramlási irányra párhuzamosak vagy merőlegesek.

2.4 Peremfeltételek a numerikus modellben

A modellnek a környezetével való kapcsolatát a peremfeltételeken keresztül adjuk meg. A perem lehet adott hozamú - ennek egy speciális esete, amikor nincs keresztáramlás, „no-flow boundary”, illetve adott nyomású.

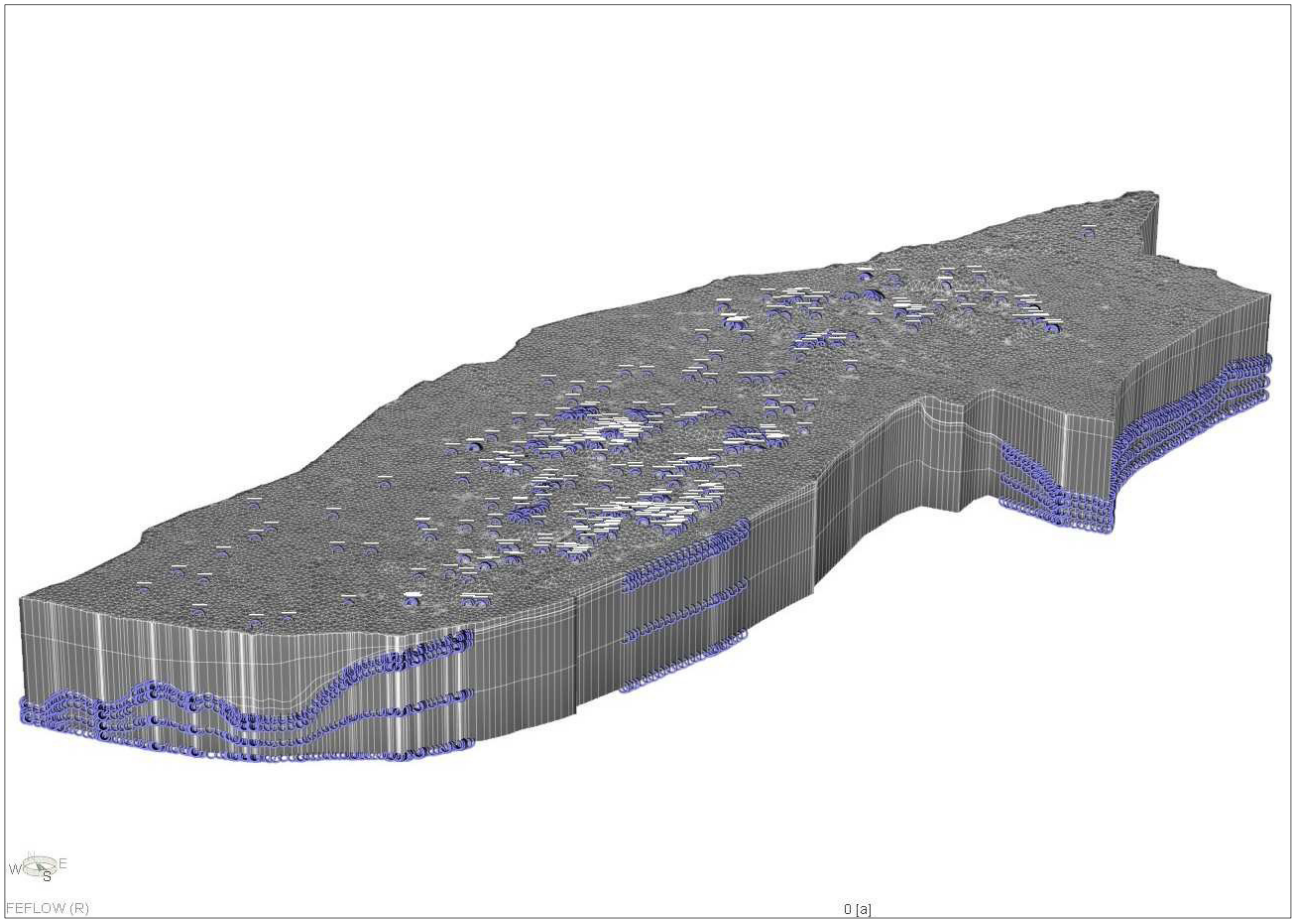
A modellezett területen természetes megcsapolók a források, vízfolyások, patakok, melyeket kötött peremként adtunk meg. Így a megcsapolódó vízhozamot a program számítja a vízszint, a fakadási szint és az átszivárgási együttható alapján. Mesterséges megcsapolóknak a kutas vízkivételeket tekintjük.

A peremfeltételeket megadása során a potenciálszintek mellé alsó és felső hozamkorlátot, a hozamszintek mellé pedig alsó és felső potenciálkorlátot is meg lehet adni, ahol a peremfeltételhez tartozó csomópont csak addig működik az előírásnak megfelelően, amíg a hozzá kötött változó értéke a megadott tartományban van. Ilyen módon lehetséges pl. előírni, hogy az adott potenciálszintű forráskilépések esetén csak kiáramlás legyen a modellben.

2.4.1 1. típusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel

A modell terület felmért forrásait fakadási szintjeikkel határoztuk meg az 1. numerikus felszínre, azzal a kitétellel, hogy mindenképp kifolyóként kell viselkedniük. A termelő forrásvízműveket szintén fakadási szintekkel definiáltuk.

A pre-albai felületek mentén a modell oldalsó peremeihez (5-9. felületek), adott nyomású, hidraulikus emelkedési magasságot rendeltünk, mint 1. Dirichlet típusú peremfeltétel. Ezek értékeit Lorberer 1951-es karsztvízszint térképe alapján határoztuk meg. A modell oldalain, ahol az idősebb ordovicium-devon képződmények találhatóak, feltételezhetően nincs be- és kiáramlás, így azok zárt peremeknek tekintettük. A modell aljára – a nagy mélység miatt feltételezve, hogy ott a vertikális vízforgalom már elhanyagolható – nem határoztunk meg peremfeltételt, tehát a modell alulról zárt.



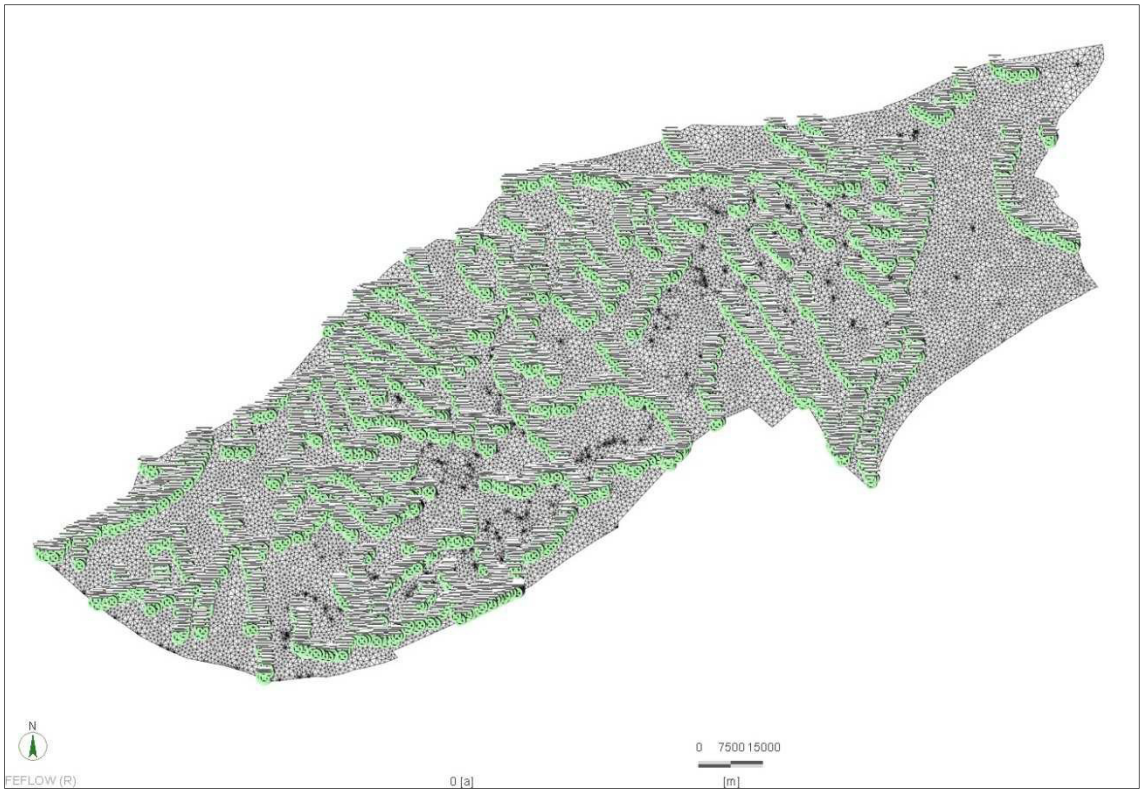
44. ábra: A numerikus modellben szereplő 1.tipusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel

2.4.2 3. típusú (Transfer)-Cauchy peremfeltétel

A vízfolyások vonalas objektumokként kerültek be az 1. numerikus felszínre. A patakok és folyók csomópontjait úgynevezett puha peremmel adtuk meg (Transfer), melyekhez egy referencia vízszintet határoztunk meg. A kisvízfolyások referencia vízszintjét a 10x10 m-es DDM alapján adtuk meg. A Duna esetében a KDVVIZIG adatszolgáltatása alapján, a 2019 januári állapot adja a referencia vízszintet.

A Balaton vízszintjét a parti sávban, illetve a k.4.2 víztest területén a 2019-es januári állapot alapján határoztuk meg (104,53 mBf), a 442600 sz. törzshálózati mérőállomás alapján.

A kontrollálatlan hozambeáramlás miatt a peremfeltételt korlátoztuk, csak fakadást engedélyeztünk. Az átszivárgási együttható egységesen 0,04 1/nap.



45. ábra: A numerikus modellben szereplő 1.tipusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel

2.4.3 4. típusú (Well)-Kút peremfeltétel

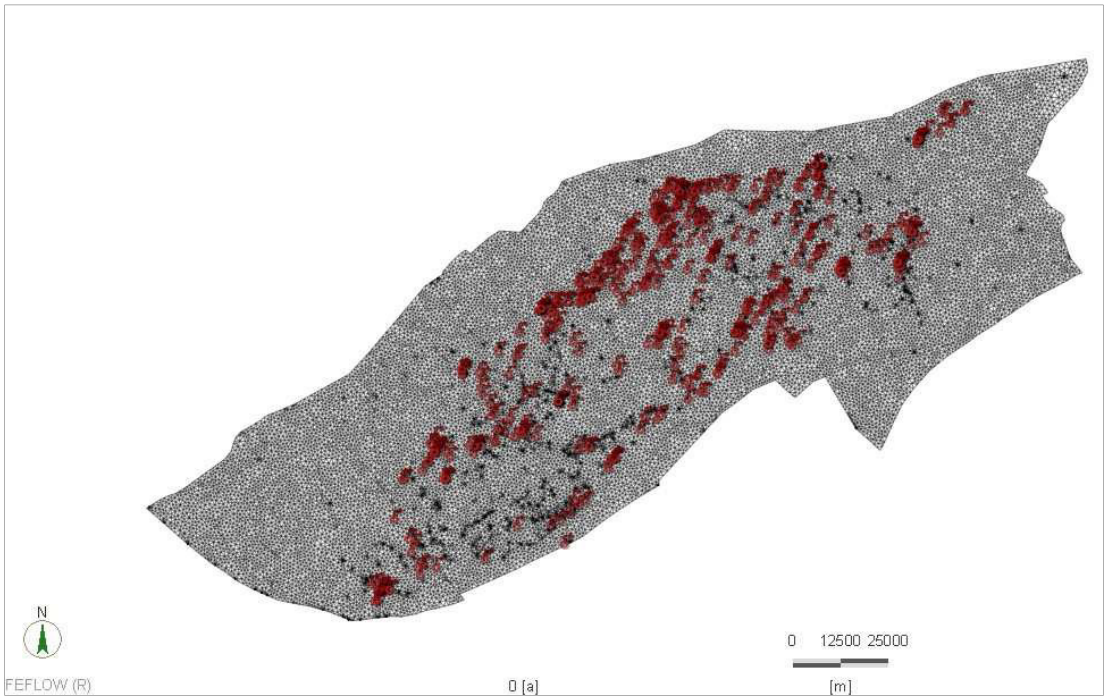
A termelő kutakat adott hozamú peremekként határoztuk meg (Well). A modellezés során az éves vízkivételeket m^3/nap-ra leosztva adtuk meg.

A numerikus modellben a következő termelőobjektumok szerepelnek:

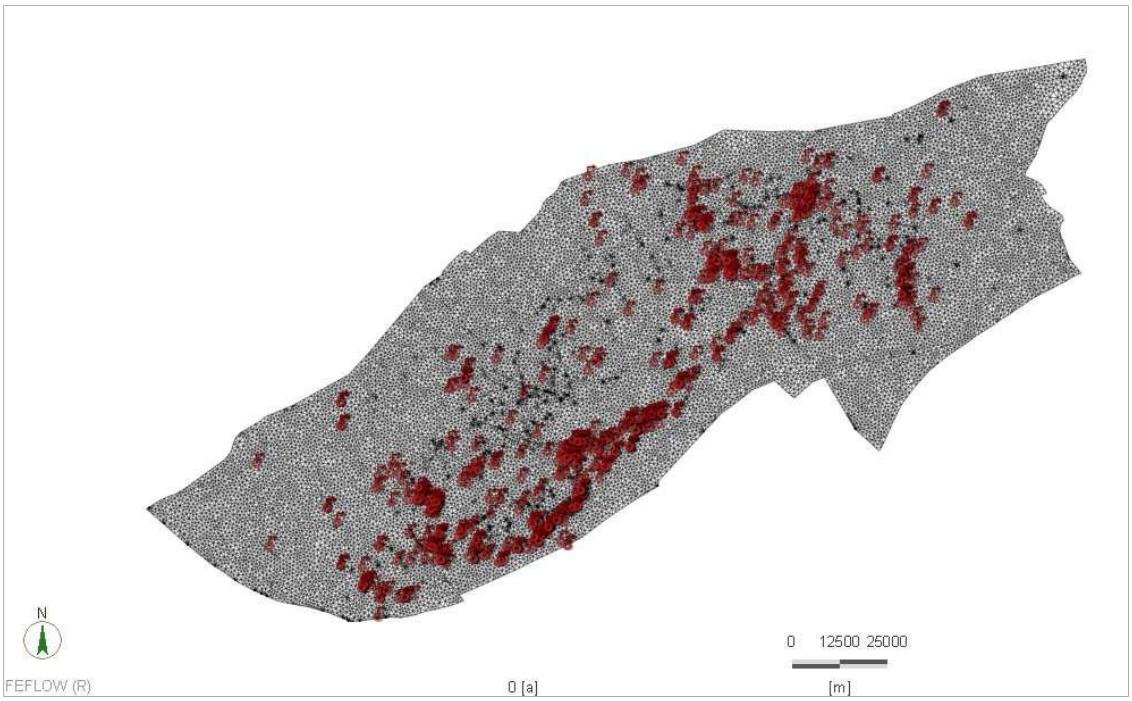
- A hideg karsztvíztest területén a karsztot, illetve a fedőt megcsapoló termelő objektumok, amelyekből van termelési adat 1951-2018 között, kivéve a partiszűrésű vízkivételeket.
- A termál karsztvíztest területén a karsztot megcsapoló termelő objektumok, amelyekből van termelési adat 1951-2018 között.

Összesen 1243 db kút 68 évnyi termelési adata szerepel a numerikus modellben. A főkarsztvíztárolót megcsapoló objektumok termelését az 5-7. numerikus rétegek között osztottuk szét (***47-49. ábra***). A legtöbb vízkivétel az 5. rétegből valósul meg (***50. ábra***).

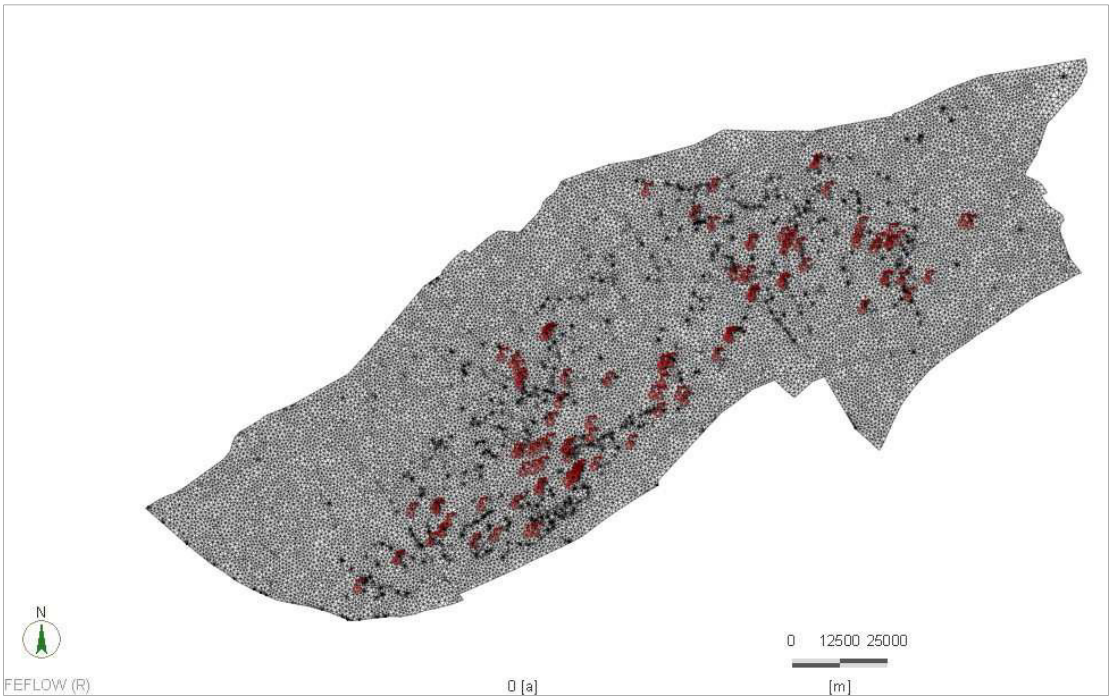
A tranziens modellben a vízkivételeket éves időlépcsővel, lépcsős függvénnyel definiáltuk (***51. ábra***). Ez azt jelenti, hogy az adott évre megadott termelést a rákövetkező évig tartja a modell. Azokat az időszakokat is figyelembe vettük, amikor a kutak nem termeltek (<gap>). A vízkivételi adatbázist át kellett alaktani a FEFLOW bemeneti adat formátumának megfelelően, ehhez 104 497 sorból álló állományt hoztunk létre.



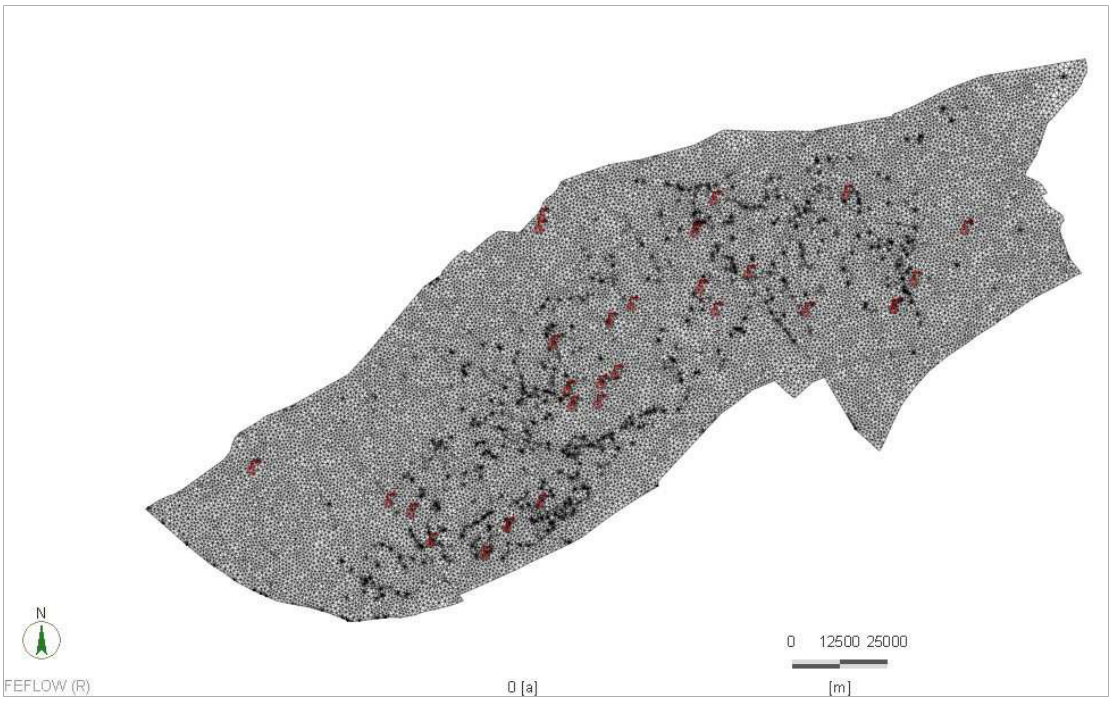
46. ábra: A fedőt megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben



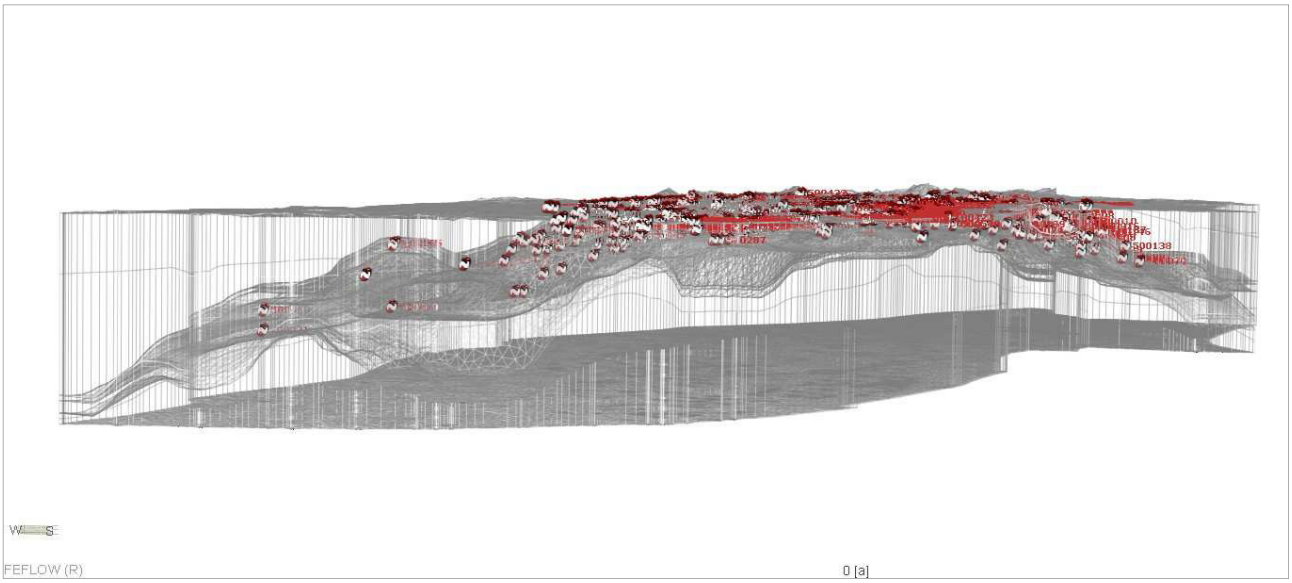
47. ábra: A főkarsztot (5. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben



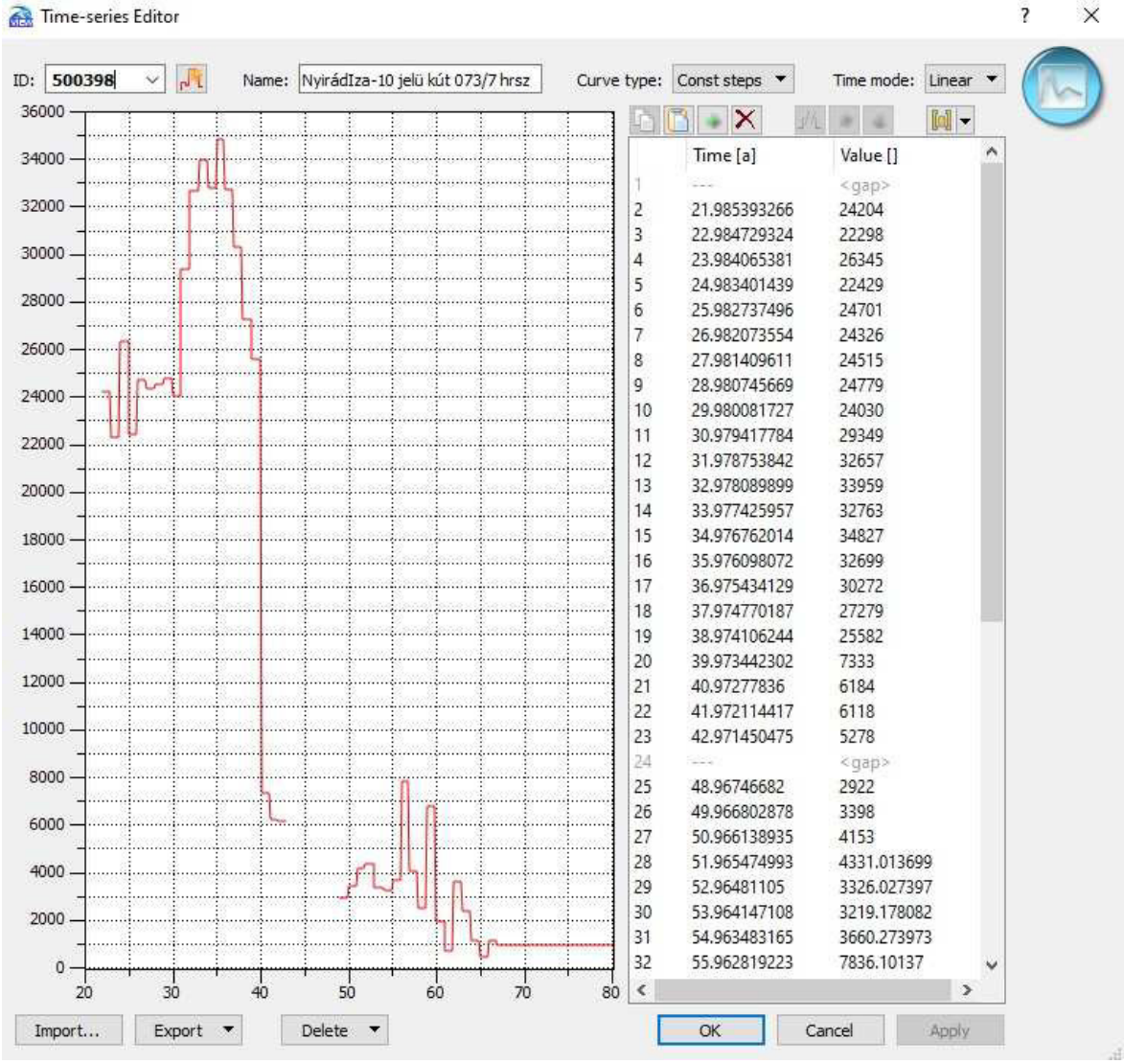
48. ábra: A főkarsztot (6. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben



49. ábra: A főkarsztot (7. réteg) megcsapoló termelőkutak a numerikus modellben



50. ábra: A numerikus modellben szereplő 4.tipusú (Well) peremfeltétel



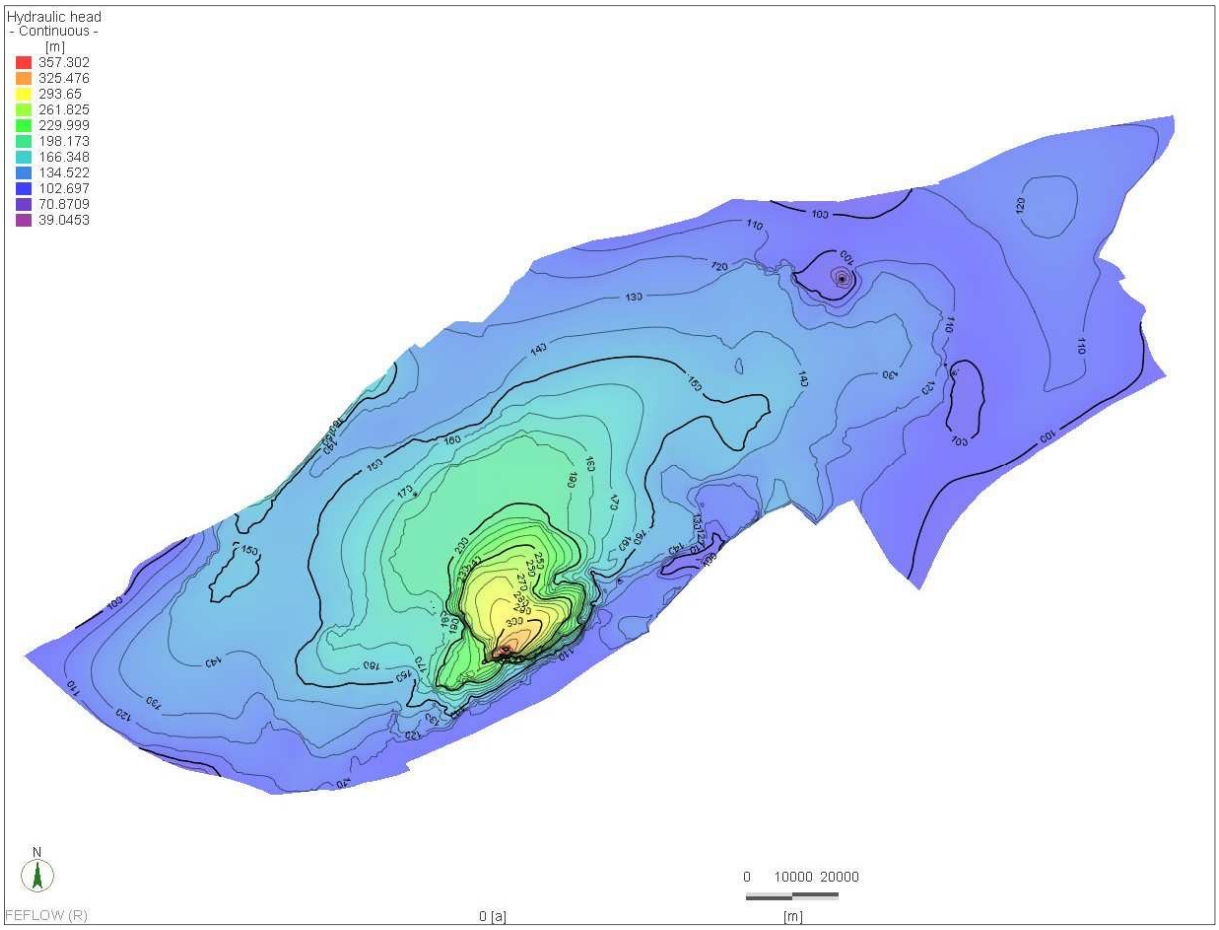
	Time [a]	Value []
1	---	<gap>
2	21.985393266	24204
3	22.984729324	22298
4	23.984065381	26345
5	24.983401439	22429
6	25.982737496	24701
7	26.982073554	24326
8	27.981409611	24515
9	28.980745669	24779
10	29.980081727	24030
11	30.979417784	29349
12	31.978753842	32657
13	32.978089899	33959
14	33.977425957	32763
15	34.976762014	34827
16	35.976098072	32699
17	36.975434129	30272
18	37.974770187	27279
19	38.974106244	25582
20	39.973442302	7333
21	40.97277836	6184
22	41.972114417	6118
23	42.971450475	5278
24	---	<gap>
25	48.96746682	2922
26	49.966802878	3398
27	50.966138935	4153
28	51.965474993	4331.013699
29	52.96481105	3326.027397
30	53.964147108	3219.178082
31	54.963483165	3660.273973
32	55.962819223	7836.10137

51. ábra: A vízkivételek modellbeli leképezése a nyirádi Iza10 jelű kút példáján

2.5 A tranziens modellezés

2.5.1 A tranziens modellezés kezdeti feltételei

A tranziens modell kezdeti időpontjának az 1951. január 1-ét jelöltük ki. Erre az állapotra, az akkori vízkivételekkel és az 1951 évre számított beszivárgással határoztuk meg a vízszint eloszlást a permanens modellel (***52. ábra***). Tehát az 1951-re szimulált a vízszint eloszlás adja a tranziens modell kezdeti vízszintjét. A modell terület ÉK-i részén látható leszívást a dorogi bánya vízkivétele okozza.



52. ábra: A tranziens modell kezdeti vízszint eloszlása

2.5.2 A tranziens modell időléptéke

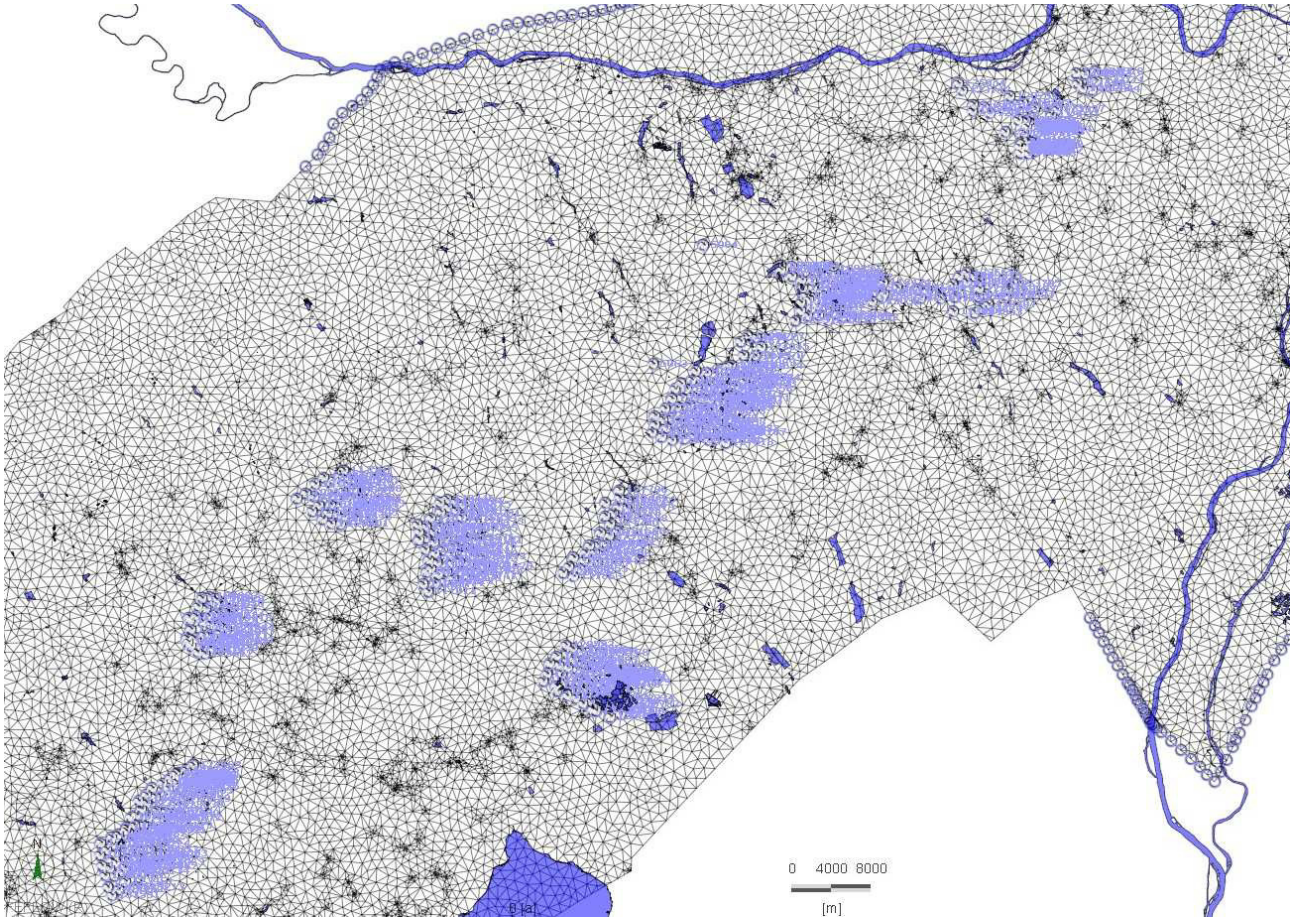
A tranziens modell havi időlépcsőnkét számítja és jeleníti meg az eredményeket, ebbe a szökőéveknek megfelelő bontás is beletartozik. Tehát a numerikus modell összesen 949 időpontra végzi el a számítást, 2030 január 1-ig. Az előzőekben említettük, hogy az 1951. január 1 a modell kezdeti, azaz 0. időpontja. Az 1991. január 1-e, a modell 40,0008 évének, a 2019 január 1-e pedig a 68,0014 évének felel meg.

2.5.3 A bánya térségek parametrizálása

A bánya térségekben a környezetükhöz képest, egyrészt megnöveltük a K-tényező értékeket (***25. ábra***), másrészt csökkentettük a fajlagos tározási tényezőt (***37. ábra***) az 5. rétegben. Ezzel szimuláltuk, hogy a bányajáratok az eredeti kőzet hidraulikai paramétereit erősen átalakították.

A bánya térségekben hidraulikus emelkedési magasság (1. típusú (Head)-Dirichlet peremfeltétel) megadásával szimuláltuk a vízszintsüllyesztést úgy, hogy lineárisan csökkentettük az értékeket a vízkivétel mélypontjáig. Ennek a területi kiterjedését a mutatja az ***53. ábra***, az alkalmazott értékeket a ***6. táblázat*** tartalmazza.

A peremfeltétel értéke és aktiválási időpontja a bánya területenként eltérő (***6. táblázat***).



53. ábra: A bányatérségek területe, ahol peremfeltételt határoztunk meg az 5. rétegben

6. táblázat: A bányaterületeken alkalmazott peremfeltétel értéke a numerikus modellben

Bányaterület	Peremfeltétel aktiválása a numerikus modell szerinti időben (év)	Érték (mBf)	Peremfeltétel kikapcsolása a numerikus modell szerinti időben (év)	Érték (mBf)
Ajka, Halimba	24	186-104	40	100
Bakonyjákó, Németbánya	24	150	40	110
Fenyőfő	24	170	41	140
Dudar	31	140	40	110
Balinka	24	130	40	110
Várpalota	34	150	44	140
Oroszlány	24	120	41	95
Tatabánya	24	120	39	95
Nagyegyháza	24	120	38	90
Mány	24	130	40	90
Dorog	27	110	39	95

2.5.4 A numerikus modell kalibrálása

2.5.4.1 *A karsztvízszint kalibrálása a 2019- és az 1991-es állapotra*

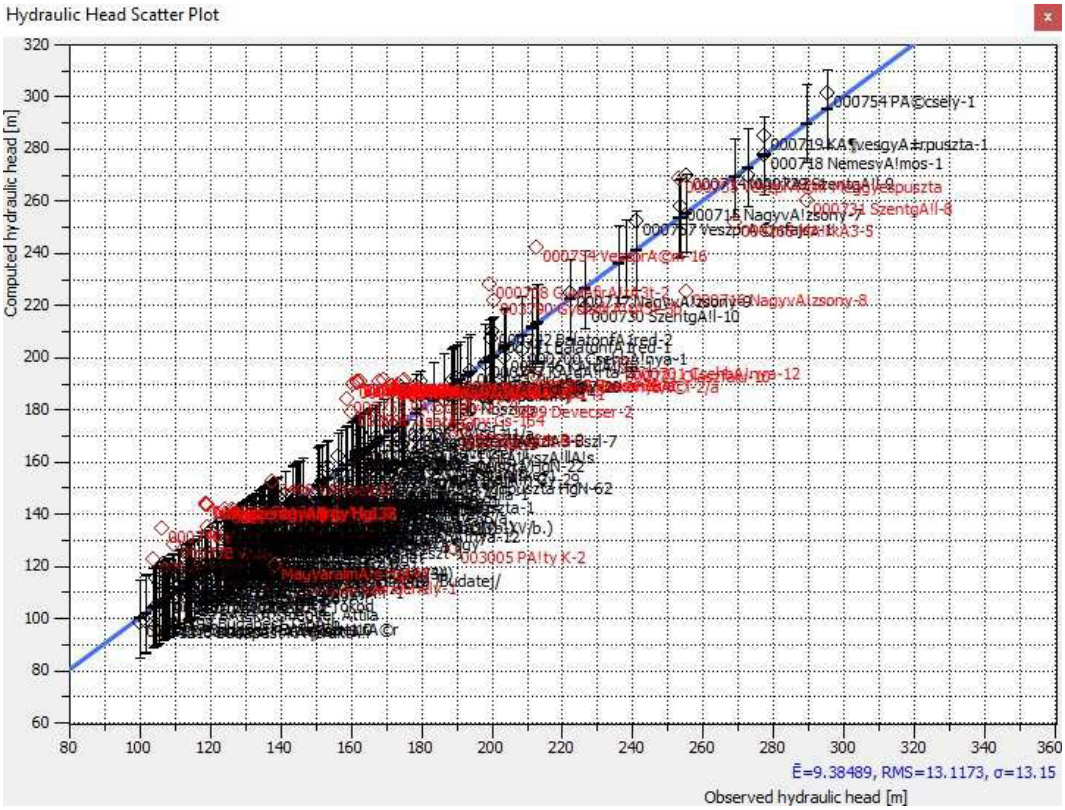
A tranziens modell kalibrációjához összesen 224 monitoring kút nyugalmi vízszint adatát használtuk fel. A monitoringkutak kalibrálási idősorát a ***II. kötet 1. függeléke*** tartalmazza.

A mért vízszinteket havi időlépcsővel hívtuk be a modellbe, minden hónap első mért értéke került be. Az így létrehozott, FEFLOW formátumának megfelelő fájl 239 905 sorból áll. A tranziens modell kalibrálását a 2019-es és az 1991-es januári állapotra végeztük el. A továbbiakban a bemutatás is erre a két időpontra vonatkozik.

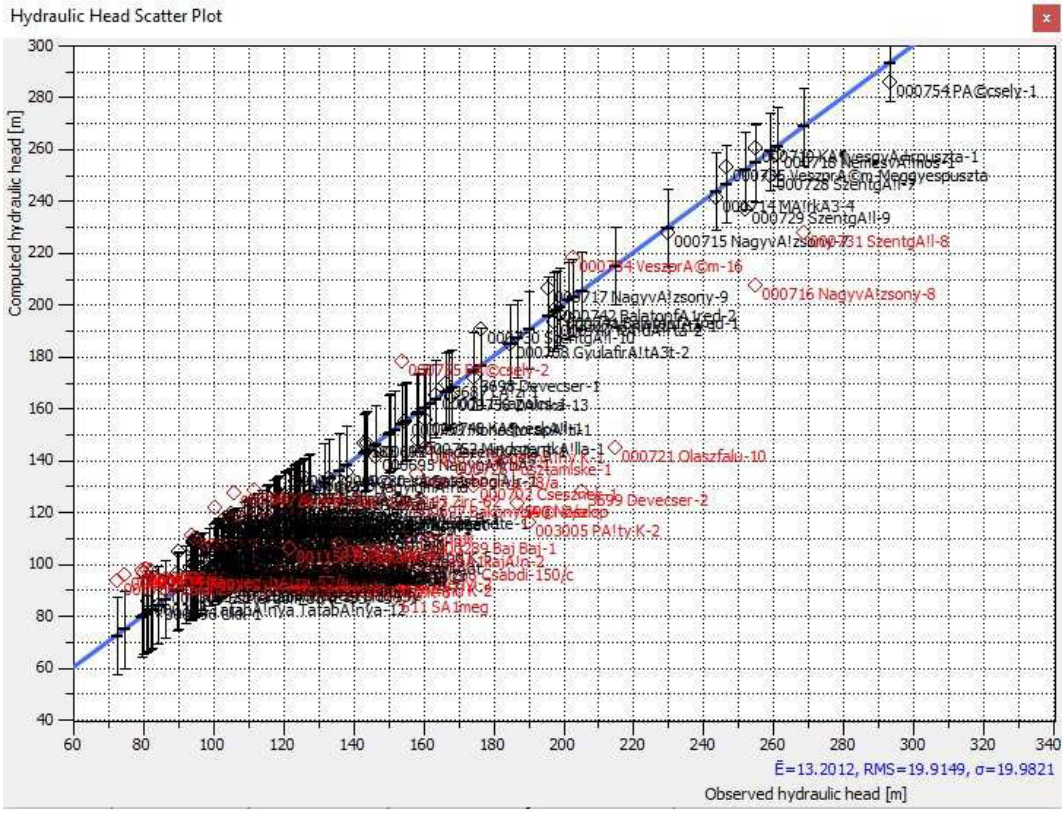
A kalibrálási beállításoknál 15 m-es tolerancia határt állítottunk be, mind pozitív mind negatív irányban (***54-55 ábrák***). A 2019-es januári állapotra a tranziens modell átlagos hibája 9,38 méter, míg RMS (root mean square error) hibája 13,11 (***54 ábra***). Az 1991-es állapotra az átlagos hiba 13,2 méter, míg RMS (root mean square error) hibája 19,91 (***55 ábra***).

A modellezett karsztvízszintet a 2019-es állapotra az ***56. ábra***, míg 1991-re az ***57. ábra*** mutatja.

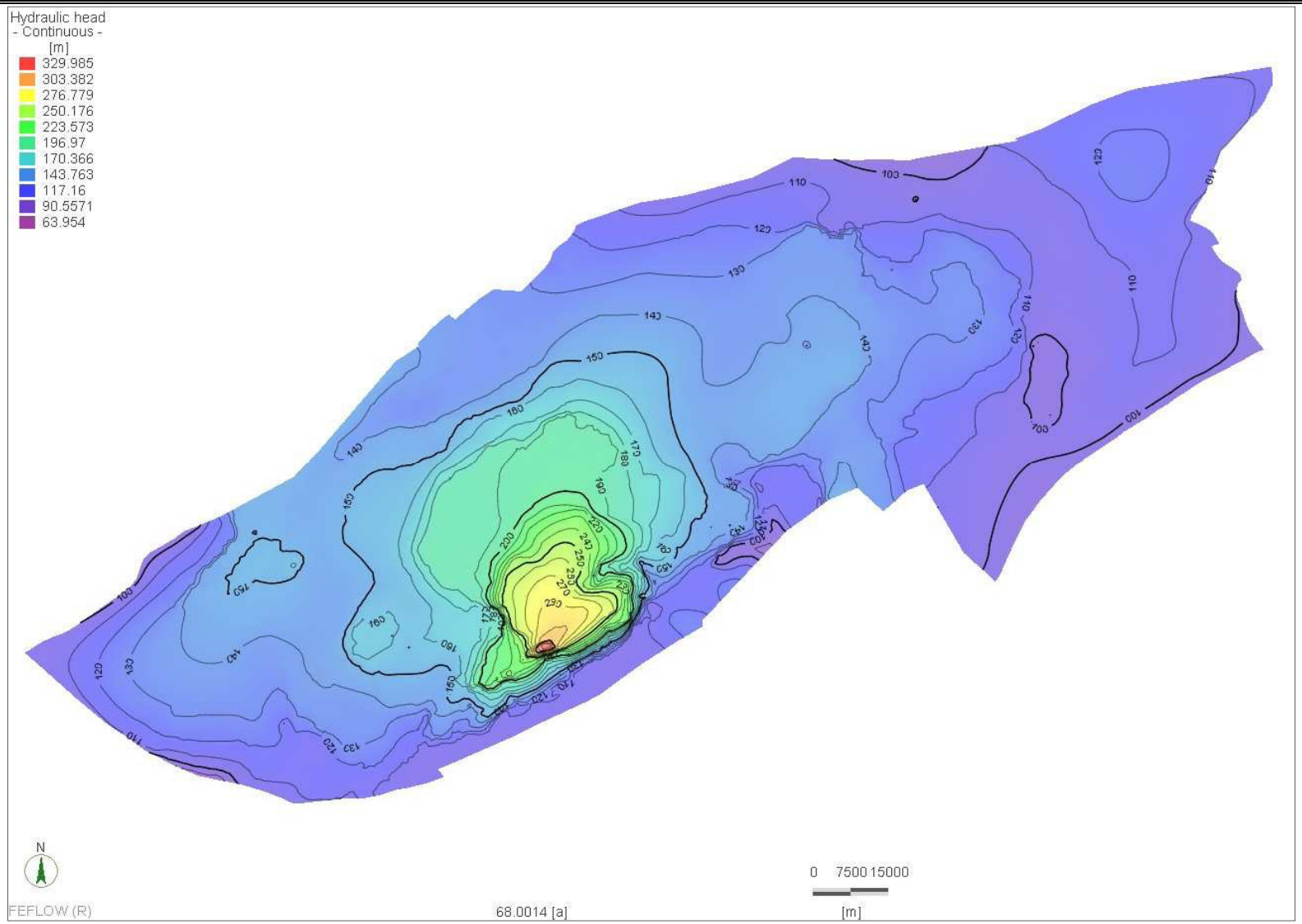
Az egyes monitoring kutakban mért és számított vízszint összehasonlítását a 2019-es állapotra a ***7. táblázat*** mutatja be. Ezek alapján a modellezett vízszint 78%-a 15 m-es tolerancia határon belül van. A mért és számított vízszintek különbségét a ***7. táblázat*** szemlélteti.



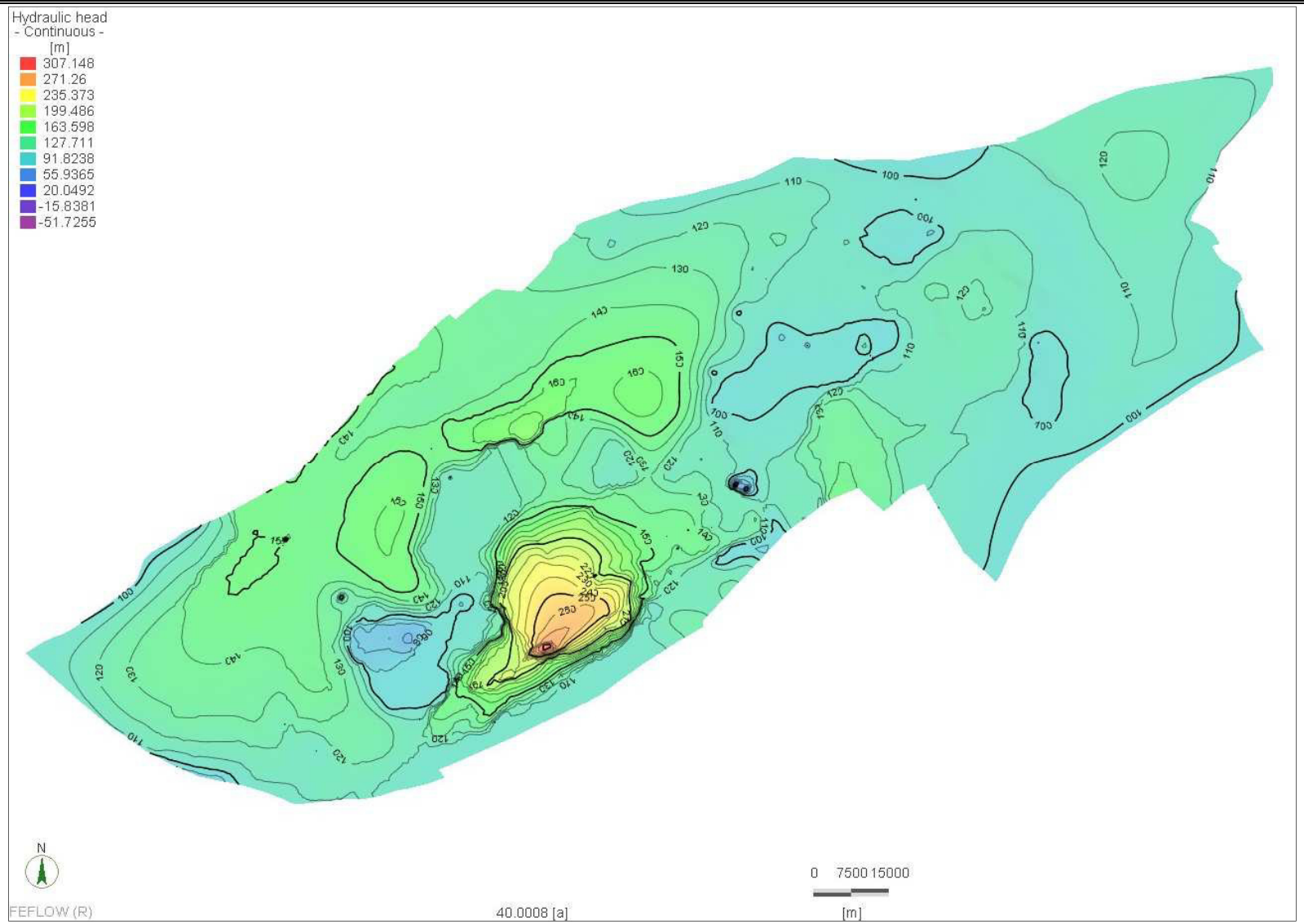
54. ábra: A numerikus modell kalibrálási görbéje a 2019-es januári állapotra



55. ábra: A numerikus modell kalibrálási görbéje az 1991-es januári állapotra



56. ábra: A numerikus modell vízszinteloszlása a 2019-es januári állapotra (mBf)



57. ábra: A numerikus modell vízszinteloszlása az 1991-es januári állapotra (mBf)

7. táblázat: A mért és modellezett vízszintek a megfigyelő kutakban a 2019-es állapotra

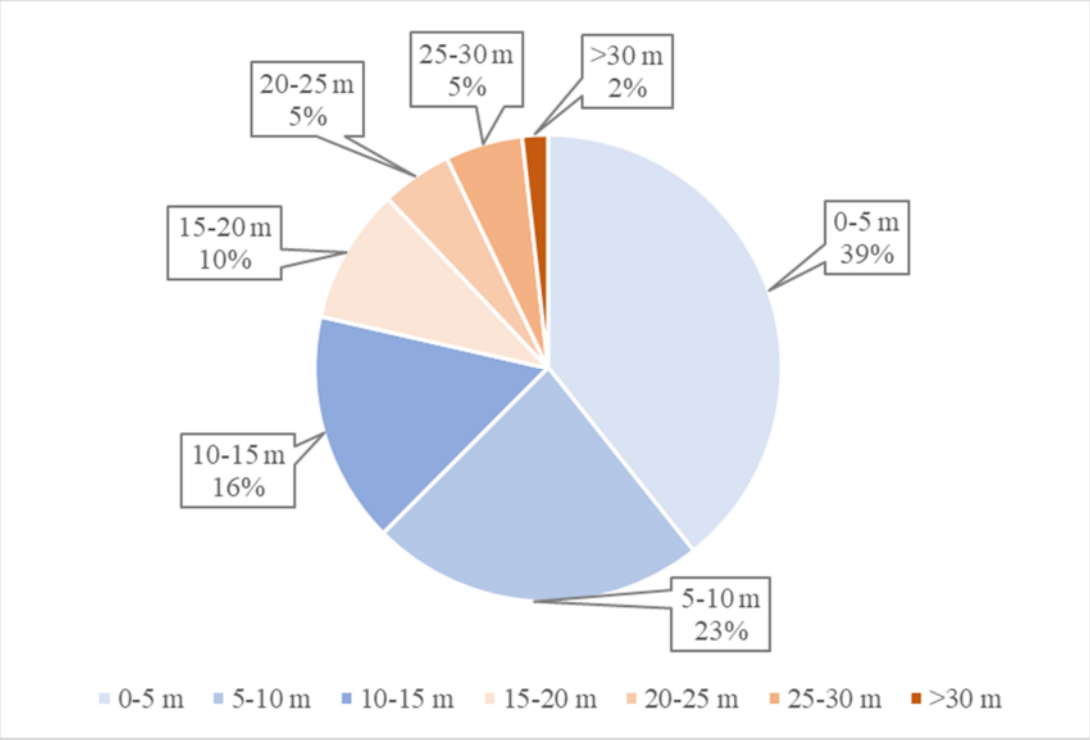
Település	Törzsszám és kútnév	Vízszint mérés dátuma	Mért vízszint (mBf)	Számított vízszint (mBf)	Különbség (m)
Várgesztes	000288 Várgesztes 1 (V-1)	2019.01.01	139.128	146.67389	7.55
Epöl	000290 Epöl 5 (E-5)	2018.12.20	127.26	129.67157	2.41
Neszmély	000291 Neszmély 3 (N-3)	2019.02.22	136.28	137.22983	0.95
Tata	000294 Tata Pokol	2019.01.01	138.182	135.11789	-3.06
Vértesszőlős	000296 Vértesszőlős 1 (V-1)	2019.01.01	138.927	137.60246	-1.32
Epöl	000300 Epöl 4 (E-4)	2018.12.20	126.78	129.55449	2.77
Tokod	000302 Tokod 498 (T-498)	2019.01.01	126.97	117.07265	-9.90
Dorog	000304 Dorog 120 (D-120)	2018.12.17	125.188	117.10155	-8.09
Nyergesújfalu	000307 Nyergesújfalu 30 (NY-30)	2018.10.29	126.31	115.34419	-10.97
Esztergom	000309 Esztergom 33 (E-33)	2019.01.01	108.26	122.26202	14.00
Tokod	000314 Tokod 369 (T-369)	2018.12.20	126.781	119.32426	-7.46
Bajót	000318 Bajót 34 (B-34)	2018.12.20	126.92	119.52345	-7.40
Tatabánya	000319 Tatabánya 3 (Tb-3)	2019.01.01	137.25	143.10393	5.85
Tatabánya	000321 Tatabánya Tb-7	2019.01.01	132.351	141.79471	9.44
Tatabánya	000322 Tatabánya 8 (Tb-8)	2019.01.01	126.84	141.15269	14.31
Tatabánya	000323 Tatabánya 10 (Tb-10)	2019.01.01	134.48	145.77965	11.30
Tatabánya	000324 Tatabánya Tatabánya-12	2019.01.01	134.279	134.35786	0.08
Tatabánya	000325 Tatabánya 13 (Tb-13)	2019.01.01	137	138.06044	1.06
Tatabánya	000328 Tatabánya XV/b. (Tb-XV/b.)	2018.12.26	141.52	137.80904	-3.71
Csolnok	000331 Csolnok 604 (Cs-604)	2018.12.20	125.45	120.44608	-5.00
Bicske,Tornyó-puszta	000762 Bicske,Tornyó-puszta 1 (Tor-1)	2019.01.22	139.39	143.83041	4.44
Tarján	000782 Tarján 2 (T-2)	2019.01.01	132.794	141.67708	8.88
Bajna	003419 Bajna 74 (B-74)	2018.12.20	126.74	133.80363	7.06
Nyergesújfalu	003700 Nyergesújfalu 32 (Ny-32)	2018.12.20	126.39	137.30641	10.92
Csolnok	003926 Csolnok 734 (Cs-734)	2018.10.29	127.98	120.62772	-7.35
Gyermely	004194 Gyermely Gy-30	2019.01.22	128.61	138.5137	9.90
Tarján	004195 Tarján T-25	2019.01.01	130.61	142.46292	11.85
Nemeshány	000677 Nemeshány K-1	2019.01.24	158.99	154.34421	-4.65
Sümeg	000685 Sümeg K-6	2018.12.13	152.88	155.87035	2.99
Lesenceistvánd	000689 Lesenceistvánd K-2	2019.01.16	143.31	146.97951	3.67
Lesenceistvánd	000690 Lesenceistvánd K-5	2019.01.16	125.04	139.24637	14.21
Mindszentkálla	000691 Mindszentkálla B-1	2019.01.16	143.36	147.79698	4.44
Bakonybél	000697 Bakonybél-2/a	2019.01.21	213.13	192.11421	-21.02
Bakonyjákó	000698 Bakonyjákó-23	2019.01.01	173.45	189.55257	16.10
Bakonyszentkirály	000699 Bakonyszentkirály-14	2019.01.17	160.65	189.96013	29.31
Csehbánya	000700 Csehbánya-1	2019.01.23	208.33	202.92461	-5.41
Csehbánya	000701 Csehbánya-12	2018.12.11	238.05	196.79306	-41.26
Csesznek	000702 Csesznek-1	2019.01.17	211.38	192.79121	-18.59
Fenyőfő	000705 Fenyőfő-2	2019.01.01	233.04	192.79121	-40.25
Gyepükaján	000706 Gyepükaján-2	2019.01.01	164.7	157.1859	-7.51
Gyulafirátót	000708 Gyulafirátót-2	2019.01.21	199.26	228.11095	28.85
Kapolcs	000711 Kapolcs-1	2019.01.01	166.72	177.15703	10.44
Magyarpolány	000713 Magyarpolány-1	2018.12.18	173.96	188.85664	14.90
Márkó	000714 Márkó-4	2018.12.18	255.41	269.85049	14.44
Nagyvázsony	000715 Nagyvázsony-7	2018.12.05	253.59	258.05655	4.47
Nagyvázsony	000716 Nagyvázsony-8	2019.01.14	255.29	225.30757	-29.98
Nagyvázsony	000717 Nagyvázsony-9	2019.01.14	222.39	224.67848	2.29
Nemesvámos	000718 Nemesvámos-1	2019.01.14	277.51	277.86734	0.36
Kövesgyűrpuszta	000719 Kövesgyűrpuszta-1	2019.01.14	277.21	285.12146	7.91
Olaszfalu	000721 Olaszfalu-10	2018.12.11	235.91	195.69464	-40.22
Porva	000724 Porva-78/a	2019.01.01	211.58	192.79393	-18.79
Pusztamiske	000725 Pusztamiske-1	2019.01.01	171.89	158.09552	-13.79
Sáska	000726 Sáska-1	2019.01.16	150.51	149.25737	-1.25
Sümegprága	000727 Sümegprága B-1	2019.01.01	134.89	145.78645	10.90
Szentgál	000729 Szentgál-9	2018.12.18	272.72	269.5322	-3.19
Szentgál	000730 Szentgál-10	2019.01.22	226.31	219.14632	-7.16
Szentgál	000731 Szentgál-8	2018.12.18	290.23	260.04681	-30.18
Ugod	000732 Ugod-14	2019.01.01	171.34	189.29733	17.96
Veszprém	000734 Veszprém-16	2019.01.21	212.86	242.01782	29.16
Veszprém-Meggyespuszta	000735 Veszprém-Meggyespuszta	2019.01.14	253.36	268.66696	15.31
Zalahaláp	000736 Zalahaláp-1	2019.01.16	158.42	147.94051	-10.48

Település	Törzsszám és kútnév	Vízszint mérés dátuma	Mért vízszint (mBf)	Számított vízszint (mBf)	Különbség (m)
Lesencefalu	000738 Lesencefalu-2	2019.01.16	126.08	134.1468	8.07
Aszófő	000739 Aszófő-1	2019.01.01	125.4	137.02214	11.62
Balatonakali	000740 Balatonakali-1	2019.01.01	106.41	134.67426	28.26
Balatonfüred	000741 Balatonfüred-1	2019.01.01	199.81	207.45537	7.65
Balatonfüred	000742 Balatonfüred-2	2019.01.14	200.08	210.23331	10.15
Balatonudvari	000743 Balatonudvari-1	2019.01.14	103.97	122.75652	18.79
Gyulakeszi	000744 Gyulakeszi K-2	2019.01.16	119.13	134.98723	15.86
Hegyesd	000745 Hegyesd-2	2019.01.16	151.84	152.23106	0.39
Kádárta	000746 Kádárta-1	2018.12.11	203.5	199.60837	-3.89
Kádárta	000747 Kádárta-2	2018.12.11	197.94	197.67564	-0.26
Köveskál	000748 Köveskál-1	2019.01.01	162.17	160.57976	-1.59
Lesenceistvánd	000749 Lesenceistvánd-3	2019.01.16	144.21	144.63406	0.42
Lesencetomaj	000750 Lesencetomaj-1	2019.01.03	124.18	141.9713	17.79
Lesencetomaj	000751 Lesencetomaj-2	2019.01.16	126.17	141.95804	15.79
Mindszentkálla	000752 Mindszentkálla-1	2019.01.16	157.14	150.91438	-6.23
Monostorapáti	000753 Monostorapáti-1	2019.01.01	156.25	161.80833	5.56
Pécsely	000754 Pécsely-1	2019.01.01	295.24	301.23883	6.00
Pécsely	000755 Pécsely-2	2019.01.14	158.88	184.34848	25.47
Veszprémfajsz	000757 Veszprémfajsz-1	2019.01.14	240.99	252.35861	11.37
Zánka	000758 Zánka-13	2019.01.16	168.93	172.3158	3.39
Alcsútdoboz	000759 Alcsútdoboz-1	2018.11.30	139.43	129.98857	-9.44
Alcsútdoboz	000760 Alcsútdoboz-2	2019.01.01	129.38	130.07008	0.69
Csabdi	000765 Csabdi-150	2019.01.14	125.15	140.96901	15.82
Csabdi	000766 Csabdi-150/a	2019.01.14	132.32	141.45006	9.13
Csabdi	000768 Csabdi-150/c	2019.01.14	158.55	141.07277	-17.48
Csákberény	000769 Csákberény-86/a	2019.01.16	145	141.64526	-3.35
Csókakő	000771 Csókakő-1	2018.12.13	137.47	141.16859	3.70
Gánt-Kápolnapuszta	000772 Gánt-Kápolnapuszta-1	2019.01.16	145.24	145.68556	0.45
Vérteskozma	000773 Vérteskozma-1	2019.01.16	141.19	147.55692	6.37
Óbarok	000776 Óbarok-1	2019.01.01	133.83	146.28938	12.46
Vál	000777 Vál-3	2019.01.14	118.43	128.32091	9.89
Vál	000778 Vál-3/a	2019.01.14	109.67	128.32922	18.66
Vértesacsa	000779 Vértesacsa-1	2018.12.06	121.7	134.92722	13.23
Vértesboglár	000780 Vértesboglár-1	2019.01.16	137.28	138.37605	1.10
Zámoly	000781 Zámoly-1	2019.01.01	145.49	144.80232	-0.69
Mány	001205 Mány-1	2019.01.14	134.69	136.17847	1.49
Herceghalom	001206 Herceghalom MY-1	2019.01.01	132.4	130.64166	-1.76
Nagyegyháza	003134 Nagyegyháza-57/a	2019.01.14	131.26	145.0835	13.82
Zirc	003143 Zirc-62	2019.01.17	194.04	194.53041	0.49
Isztimér	003428 Isztimér-3	2019.01.01	163.58	155.33694	-8.24
Öcs	003535 Öcs B-2	2019.01.14	191.14	171.72739	-19.41
Szentbékkálla	003705 Szentbékkálla-2	2019.01.16	138.66	143.2079	4.55
Jásd	003788 Jásd-41/a	2019.01.17	171.6	173.90767	2.31
Gyulafirátót	003790 Gyulafirátót-3b	2019.01.21	200.62	222.12842	21.51
Tés	003791 Tés-1 Királyszállás	2019.01.17	164.05	164.86279	0.81
Bicske	003792 Bicske B-29	2019.01.14	137.34	133.48294	-3.86
Gyepükaján	003980 Gyepükaján Gy-29	2019.01.24	164.89	156.70039	-8.19
Nyírespuszta	003981 Nyírespuszta HgN-22	2018.12.13	163.7	161.53641	-2.16
Ódörögdpuszta	003982 Ódörögdpuszta HgN-62	2019.01.16	161.4	152.82365	-8.58
Uzsa	003983 Uzsa HgN-68	2019.01.16	150.81	151.03024	0.22
Bakonykúti	003984 Bakonykúti HgI-41	2018.11.08	159.97	154.38733	-5.58
Bodajk	003985 Bodajk HgI-43	2019.01.23	147.33	132.98457	-14.35
Csór	003986 Csór Hgl-44	2018.12.12	118.83	144.15857	25.33
Iszkaszentgyörgy	003987 Iszkaszentgyörgy Kp-248	2019.01.23	120.68	134.52702	13.85
Bakonyjákó	003988 Bakonyjákó Bj-141	2018.12.12	171.7	189.00937	17.31
Iharkút	003989 Iharkút Hglk-1	2018.12.12	179.88	190.59961	10.72
Ajka	003990 Ajka Ak-37	2018.12.18	178.49	189.40341	10.91
Fenyőfő	003991 Fenyőfő-11	2019.01.17	168.13	190.89081	22.76
Fenyőfő	003992 Fenyőfő-20	2019.01.17	190.06	191.69415	1.63
Fenyőfő	003993 Fenyőfő-21	2019.01.17	174.77	191.12471	16.35
Bakonyszentkirály	003994 Bakonyszentkirály Bszk-3	2019.01.17	161.95	190.58206	28.63
Bakonyszentlászló	003995 Bakonyszentlászló-Bszl-7	2018.12.10	162.55	170.91663	8.37
Csetény	003996 Csetény Cs-164	2019.01.17	160.17	179.11421	18.94

Település	Törzsszám és kútnév	Vízszint mérés dátuma	Mért vízszint (mBf)	Számított vízszint (mBf)	Különbség (m)
Bakonyoszlop	003997 Bakonyoszlop HgBo-8	2019.01.17	162.81	190.97992	28.17
Csordakút	004082 Csordakút -101	2019.02.12	134.16	143.21581	9.06
Mány	004083 Mány-63	2019.01.14	131.39	137.84183	6.45
Márkó	004265 Márkó-5	2019.01.01	268.99	251.66022	-17.33
Etyek	004268 Etyek K 6	2019.01.14	125.55	127.09297	1.54
Bokod	004271 Bokod K-14	2019.01.16	143.3	145.42729	2.13
Pilisszentiván	000299 Pilisszentiván-40	2019.01.01	131.16	132.32228	1.16
Piliscsaba	000310 Piliscsaba-2	2019.01.01	126.33	130.9287	4.60
Csobánka	000316 Csobánka-6	2019.01.01	117.66	124.34801	6.69
Vác	001187 Vác K-73	2019.01.01	108.14	107.41682	-0.72
Budapest	001198 Budapest Tabán	2019.01.01	104.08	101.03301	-3.05
Békásmegyer	001199 Békásmegyer Attila	2019.01.01	104.58	104.44482	-0.14
Budajenő	001208 Budajenő-2	2019.01.01	135.7	129.10106	-6.60
Budakeszi	001210 Budakeszi-1	2019.01.01	130.57	120.6424	-9.93
Óbuda	001211 Óbuda-1	2019.01.01	106.81	120.85924	14.05
Budapest	001213 Budapest Pálvölgy-1	2019.01.01	109.41	115.79955	6.39
Budapest	001215 Budapest Városmajor	2018.12.13	105.35	113.77434	8.42
Budapest	001217 Budapest Erzsébet tér	2019.01.01	101.66	99.048805	-2.61
Óbuda	001219 Óbuda-2	2019.01.01	106.83	119.94827	13.12
Budaörs	001220 Budaörs-2	2019.01.01	123.93	118.63174	-5.30
Diósd	001221 Diósd-1	2019.01.01	116.59	107.60918	-8.98
Perbál	001223 Perbál-7	2019.01.01	128.88	131.59923	2.72
Perbál	001224 Perbál-6	2019.01.01	124.72	130.27611	5.56
Zsámbék	001225 Zsámbék-7	2019.01.01	135.49	133.49478	-2.00
Zsámbék	001226 Zsámbék-14	2019.01.01	128.91	132.38567	3.48
Pilisborosjenő	001227 Pilisborosjenő-3	2019.01.01	107.46	119.82872	12.37
Pilisszentkereszt	001231 Pilisszentkereszt-1	2019.01.01	137.03	128.25702	-8.77
Pomáz	001235 Pomáz-1	2019.01.01	111.45	122.85176	11.40
Szendehely	001236 Szendehely-1	2019.01.01	144.69	114.82072	-29.87
Nézsa	001238 Nézsa-3	2019.01.01	129.98	123.42088	-6.56
Sóskút	001239 Sóskút-1	2019.01.01	119.09	117.22126	-1.87
Solymár	001240 Solymár-85	2019.01.01	128.58	117.22126	-11.36
Budapest	002997 Budapest Pávakert 7	2018.10.02	97.61	98.351151	0.74
Budapest	002998 Budapest Pávakert 8	2019.01.01	99.91	98.499107	-1.41
Budapest	002999 Budapest Pávakert 10	2019.01.01	101.88	98.643677	-3.24
Solymár	003000 Solymár-88	2019.01.01	128.35	129.033	0.68
Solymár	003001 Solymár-97	2019.01.01	128.46	129.14281	0.68
Páty	003006 Páty K-3	2019.01.01	136.88	126.81318	-10.07
Budapest	003007 Budapest Adyliget	2019.01.01	126.25	126.70686	0.46
Budajenő	003515 Budajenő-Rókavölgy	2019.01.01	128.77	131.48232	2.71
Törökbálint	003786 Törökbálint K-19 /Budatej/	2019.01.01	123.67	117.33353	-6.34
Zsámbék	004608 Zsámbék-23	2019.01.01	131.95	133.15034	1.20
Zsámbék	004609 Zsámbék-70	2019.01.01	129.31	133.29095	3.98
Üröm Csókavár	006936 Üröm Csókavár	2019.01.01	107.02	111.25685	4.24
Kehida	000497 Kehida-3 (K-4)	2019.01.01	119.16	120.6251	1.47
Hévíz	000498 Hévíz-6	2019.01.01	114.81	110.20552	-4.60
Balatongyörök	000499 Balatongyörök-1	2019.01.01	122.22	123.64397	1.42
Hévíz	000502 Hévíz-1	2019.01.01	113.39	110.17968	-3.21
Hévíz	000504 Hévíz-3	2019.01.17	113.17	111.07177	-2.10
Nemesbük	000515 Nemesbük-3	2019.01.01	114.09	117.82925	3.74
Rezi	000516 Rezi-1	2019.01.01	120.18	133.37302	13.19
Szentgyörgyvár	000517 Szentgyörgyvár-1	2019.01.01	115.52	113.04349	-2.48
Vállus	000520 Vállus-3	2019.01.01	125.44	130.74725	5.31
Várvölgy	000521 Várvölgy-1	2019.01.01	130.34	134.50401	4.16
Karmacs	000522 Karmacs-1	2019.01.01	113.7	127.32309	13.62
Keszthely	003142 Keszthely-5	2019.01.31	114.66	115.88529	1.23
Hévíz	003533 Hévíz-16	2019.01.01	114.44	110.78416	-3.66
Vállus	003706 Vállus-2/a	2019.01.17	128.3	133.88602	5.59
Zalaszentlászló	003725 Zalaszentlászló K-6	2019.01.01	125.25	134.6595	9.41
Bakonyoszlop	Bakonyoszlop Bob969a	2018.11.29	162.2764	190.96356	28.69
Bakonyszentkirály	Bakonyszentkirály-HgBo2	2018.12.15	161.727	190.36256	28.64
Bakonyszentlászló	Bakonyszentlászló HgF9	2018.12.31	169.2363	191.15358	21.92
Bicske	Bicske Bi I	2018.12.31	136.2677	134.51016	-1.76

Település	Törzsszám és kútnév	Vízszint mérés dátuma	Mért vízszint (mBf)	Számított vízszint (mBf)	Különbség (m)
Csesznek	Csesznek HgBo14	2018.12.28	175.1786	191.50702	16.33
Esztergom	Esztergom Ek1 (E-41)	2018.09.30	103.9308	100.79245	-3.14
Fenyőfő	Fenyőfő HgF18	2018.12.31	188.9745	191.58813	2.61
Gyepükaján	Gyepűkaján 63	2018.08.16	165.3344	158.89111	-6.44
Iszkaszentgyörgy	Iszkaszentgyörgy HgI37	2018.12.31	118.7338	143.46605	24.73
Iszkaszentgyörgy	Iszkaszentgyörgy HgI38	2018.12.31	119.0719	143.46605	24.39
Magyaralmás	Magyaralmás HgI45	2018.12.31	138.5762	120.41684	-18.16
Pilisborosjenő	Pilisborosjenő-2	2018.12.30	113.1014	123.13241	10.03
Súr	Súr HgSr1	2018.12.31	161.9889	160.95732	-1.03
Ugod	Ugod-Ug55	2018.08.16	169.7228	190.02798	20.31
Vilonya	Vilonya-6	2018.10.29	146.3713	134.95338	-11.42
Bodajk	580 Bodajk	2019.01.01	150.71	138.36925	-12.34
Ukk	585 Ukk	2018.12.31	143.45	143.93961	0.49
Noszlop	590 Noszlop	2019.01.01	186.36	183.74974	-2.61
Ajka-Tósokberénd	591 Ajka-Tósokberénd	2019.01.01	207.38	183.74974	-23.63
Sümeg	611 Sümeg	2019.01.24	153.41	158.25507	4.85
Csákvár	822 Csákvár	2019.01.01	144.06	137.15067	-6.91
Keszthely	2944 Keszthely	2019.01.01	120.07	115.59127	-4.48
Keszthely	2945 Keszthely	2019.01.01	113.54	122.80087	9.26
Balatonederics	2948 Balatonederics	2019.01.01	118.71	123.97987	5.27
Balatonederics	2949 Balatonederics	2019.01.01	104.76	115.50536	10.75
Várpalota	3498 Várpalota	2019.01.03	137.47	152.5621	15.09
Lázi	3687 Lázi 1	2019.01.01	167.06	169.43454	2.37
Csót	3689 Csót-1	2019.01.22	161.9	162.35283	0.45
Csót	3690 Csót-2	2019.01.01	162.27	162.28578	0.02
Csót	3691 Csót-3	2019.01.01	161.64	162.52672	0.89
Csót	3692 Csót-4	2019.01.22	193.04	171.17981	-21.86
Csót	3693 Csót-5	2019.01.22	183.38	169.7498	-13.63
Kup	3694 Kup-1	2019.01.01	178.45	169.57736	-8.87
Kup	3695 Kup-2	2019.01.01	188.45	170.79523	-17.65
Káptalanfa	3696 Káptalanfa-1	2019.01.24	146.34	148.17183	1.83
Káptalanfa	3697 Káptalanfa-2	2019.01.24	152.87	148.05127	-4.82
Devecser	3698 Devecser-1	2019.01.02	174.58	166.7085	-7.87
Devecser	3699 Devecser-2	2019.01.02	204.1	182.19568	-21.90
Oroszlány	6148 Oroszlány	2019.01.01	181.6	158.25507	-23.34
Tokodaltáró-Tokod	3679 Tokodaltáró-Tokod	2019.01.01	110.827	107.94748	-2.88
Nagyigmánd	3672 Nagyigmánd	2019.01.01	134.77	133.06668	-1.70

A monitoring kutakban mért és modellezett vízszinteket összehasonlítva láthatjuk, hogy a kutak 78 %-ában az eltérés kisebb, mint 15 m (***58. ábra***). Ez 176 db kutat jelent, a maradék 48 db kútban az eltérés nagyobb, mint 15 m (22 %). A diagramot a ***7. táblázat*** alapján készítettük el. A mért és a szimulált vízszintek eltérése a monitoring kutak 39%-ban esik 0-5 m közé, 23%-ban 5-10 m, míg 16%-ban 10-15 m-es a különbség. A számított vízszintekben 4 db (2%) monitoring kútnál 30 m feletti az eltérés (Olaszfalu-10, Fenyőfő-2, Szentgál-8, Csehbánya-12).



58. ábra: A mért és a számított vízszintek közötti eltérés százalékos megoszlása

Az eltérések a regionális modellezési terület felbontásából, a beépített különböző információk sűrűségéből, azok helyességéből és a modellezésnél elkerülhetetlen egyszerűsítésekből, pontosabban az ezek közötti ellentmondásokból adódik.

Például, míg a valóságban, a kutakban a vízszintet cm-es pontossággal mérik, és két kút közötti távolság gyakran a 10 km-t is eléri, a modellben km-es léptékű a rácsháló és 100 m-es a DDM, és már így is a kezelhetőség határán van az elemszám. Ez azt jelenti, hogy a kutak közötti adatoknál – réteg elhelyezkedése, szivárgási tényező, fajlagos tározás – felbontás csökkentést, míg a vízszintnél felbontás növelést kell alkalmazni, hogy hozzá lehessen rendelni a rácshálóhoz. (A végeselem módszernek épp ez az előnye a véges differenciával szemben, de ennek is megvannak a határai. Például, cm-es rácshálót nincs értelme egy kút köré tenni, aminek dm-es a nagyságrendje.)

Összefoglalva az eltérés okai a következők lehetnek:

1. földtani/vízföldtani okok (pl.: ismerethiány, blokkos szerkezet, karsztvíz emeletek kis távolságon belül)
2. modellezési okok (pl.: rácsháló felbontása, paraméterezés, egyszerűsítés)
3. mért értékek helyessége/bizonytalansága/ellentmondása.

Az OVF a projekt keretében felülvizsgáltatja a monitoring kutak műszaki állapotát. Sajnos azonban ez a felülvizsgálat a modellezés befejezéséig nem valósult meg, így a kutak adatait csak az

adatbázisokban szereplő értékekkel tudtuk figyelembe venni, elfogadva azt, hogy a kút műszaki állapota és bemért értékei megfelelőek.

A modellezés során elsősorban arra törekedtünk, hogy a vizsgált terület minél több és egymástól távol eső pontjában reprezentatív eredményeket szolgáltasson, miközben azt is tudjuk, hogy számos nagyon kevéssé ismert, de a potenciálszintek szempontjából igen fontos tényezőt vagy nem ismerünk vagy ismerünk, de nem tudjuk a modellbe adaptálni. Ezek közül a legfontosabb a bányászati üregképzések hatásainak szimulálása, az üregrendszer pontos modelladaptációja mind a bauxit, mind a barnakőszén-bányászat tekintetében.

A vízkivételeket ugyan megfelelő pontossággal ismerjük, de az általa okozott depressziókat alapvetően befolyásolja a kialakított járatrendszer alakja, a járatrendszer felhagyást követő tönkremenetelének alakulása, amire egyfelől kevés információval rendelkezünk, másrészt a modell felbontásában ezek csak nehezen és kis pontossággal adaptálhatóak. Ahhoz tehát, hogy a pontosság érdemben növelhető legyen ezeket a tulajdonságokat is mindenképpen a modellbe kellene illeszteni.

A modellezés során ugyanakkor folyamatosan felmerül, hogy érdemes-e ezeket z információkat még pontosabban a modellbe adaptálni. Ugyanis a modell mindig a valós rendszer egyfajta egyszerűsített mása, ami akkor jó, ha a felvetett kérdésekre választ ad. Tekintettel arra, hogy a bányászati célú vízkivételek alapvetően megszűntek, az egykori bányászati létesítményeket (pl. Rákhegy akna, Tatabánya XV akna, stb.) már csak vízellátási szempontú vízkivételt jelentenek, ennek megfelelően időben egyre kisebb ezen létesítményeknek a hatása.

A földtani ok főleg azoknál a monitoring pontoknál jelentkezik, ahol a monitoringkút fedőképződménybe lett szűrőzve. Ezeket a monitoring kutakat azért vettük figyelembe, mert idősorukban megjelent a bányászati vízkivételek hatása.

A mért és számított vízszintek között a legmagasabb eltérés főként a Magas-Bakony térségében és a Balaton-felvidéken figyelhetőek meg. Ez a két legbonyolultabb földtani felépítésű terület.

Az eltérést a bakonyi térségben földtani/vízföldtani okokra, és a modellezés kombinált okaira vezethetjük vissza. Ezen a területen a függőkarsztok jelenléte és a blokkos szerkezet miatt a karsztvíznek különböző szintjei alakulnak ki (a potenciálszintben, mind a potenciálszintek időbeli változásában jelentős eltéréseket mértek), akár – a regionális modell léptékéhez viszonyítva – kis távolságon belül is. Egyszerűsítési és megoldhatósági okokból kénytelenek vagyunk összefüggő rendszerben gondolkodni, emiatt ezeken a területeken a mért és a számított vízszintben nagyobb eltérések lehetnek. Ezek a lokális anomális viselkedések olyanok, hogy ezeket a modell – az eddigi tapasztalatok alapján – nem tudja tökéletesen leképezni.

A Balaton-felvidéki kutak esetében jórészt a rácsháló felbontásából adódnak az eltérések. Például a Pécsely-1 és 2 kutak között a mért vízszintekben, több mint 100 méter eltérés is előfordul bizonyos időszakokban, a két kút távolsága kb. 3 km. Ez modell szempontjából, minimálisan 3 cella távolságot jelent, tehát a valóság közelítő leképezését minimálisan 3 cellára tudjuk megtenni, ami abból a szempontból jelenthet problémát, hogy a parametrizálás elnagyolt lesz. Viszont, önmagában a felbontás növelése nem javít az eredményeken, ahhoz a paramétereket is finomítani kell.

Azokat a monitoring kutakat, amelyeknek a mért vízszint idősoraiban, valamilyen ellentmondást véltünk felfedezni, azokat a kutakat az értékelésből kihagytuk, ilyen például Hárskút, Olaszfalu 9/a.

A modellezés során a kutak térségében próbálkozással el lehet érni a cm-es vagy 1-2 m-es pontosságot, de emögött nem valós a hidrodinamikai információ, ez csak technikai adatmanipuláció lenne, és a kutak közötti területeken nem hozna ki jobb eredményt. Ez a fajta megközelítés a prognózisoknál jelenthet helytelen és leginkább koncepcionálisan ellenőrizhetetlen, követhetetlen eredményeket.

A projekt egyik legfontosabb feladata a prognózis, különböző hidrometeorológiai viszonyok bekövetkezése esetén kialakuló állapotok vizsgálata, összehasonlítása. Az ilyen komparatív vizsgálatok során a modellek korábban felsorolt jellegű állandó hibái okozta hatások kiesnek, ilyen módon a modell a felvetett kérdésekre várhatóan jó és jól értelmezhető válaszokat fog adni, ilyen módon a modell „jóságának" ismérve valószínűleg nem a 15 vagy 10 m-es pontosság elérése, hanem az, hogy az eltérő jövőbeli állapotok esetére számolt eredmények milyen mértékben logikusak és milyen mértékben értelmezhetőek.

Az említettek ellenére célunk a modell abszolút pontosságának növelése, amit valószínűleg a nagyobb felbontású lokális modellek elkészítése során szerzett tapasztalatok, illetve azoknak a regionális modellbe történő visszavezetése fog emelni. Így a problémás helyeket a lényegesen nagyobb felbontású lokális modellek eredményei alapján, illetve a hidraulikai paraméterek (K-tényező, fajlagos tározás) további vizsgálatával lehet pontosítani és javítani.

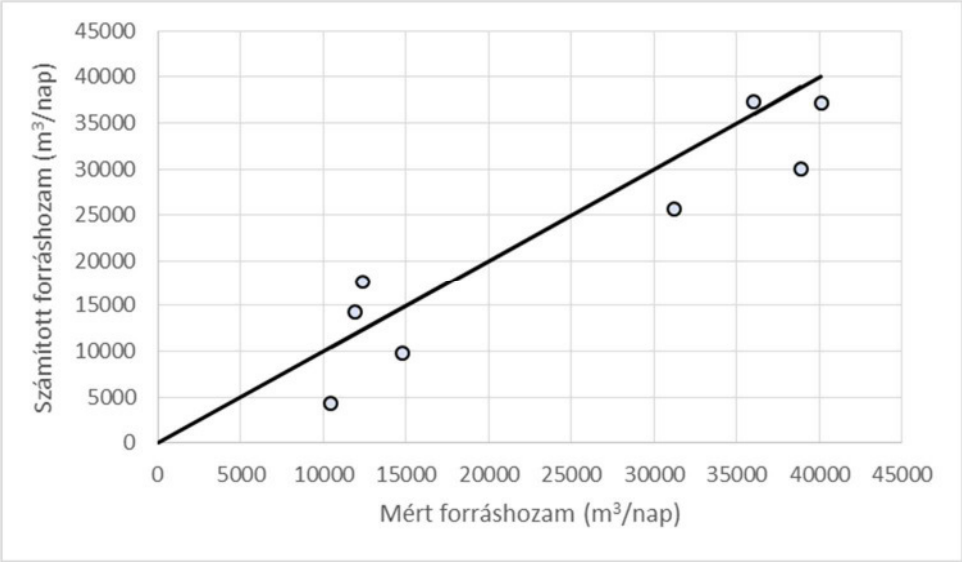
2.5.4.2 *A forráshozamok kalibrálása a 2019- és az 1991-es állapotra*

A ***8. táblázat*** foglalja össze a 10 000 m^3/nap-nál magasabb hozamú források mért és a numerikus modell által számított mennyiségét, a 2019-es állapotra. Az 1991-es állapotra a ***9. táblázat*** tartalmazza a mért és számított értékeket. A forráshozamok idősorát a ***II. kötet 2. függelék*** tartalmazza.

A ***8. táblázat*** alapján készített kalibrációs görbét a mért és modell által számított forráshozamokra az ***59. ábra*** mutatja.

8. táblázat: A forráshozamok kalibrációja 2019-es állapotra

Település	Forrásnév	Hozam 2019 (l/p)	Hozam 2019 (m^3/nap)	Számított hozam 2019-es állapot (m^3/nap)
Öskü	Hármas-forrás, Gyéloki-forrás, Táloki-forrás összesen	5488	31232	25 666
Bodajk	Nádastavi-forráscsoport	8260	11894.4	14 267
Tata	Fényes-források	10277	14798.88	9 786
Lesencetomaj	Billege-források	7261	10455.84	4 354
Tapolca	Repülőtéri-forrás	8607	12394.08	17 688
Hévíz	Hévízi-tó összesen	23460	40089.6	37 194
Pápa	Tapolcafői-forrás	25020	36028.8	37 247
Tapolca	Malomtó-forrás	27000	38880	30 047



59. ábra: A forráshozamok kalibrálási görbéje a 2019-es állapotra

9. táblázat: A forráshozamok kalibrációja 1991-es állapotra

Település	Forrásnév	Hozam 1991 (m^3/nap)	Számított hozam 1991-es állapot (m^3/nap)
Öskü	Hármas-forrás, Gyéloki-forrás, Táloki-forrás összesen	nincs adat	elapadt
Bodajk	Nádastavi-forráscsoport	nincs adat	elapadt
Tata	Fényes-források	nincs adat	elapadt
Lesencetomaj	Billege-források	nincs adat	elapadt
Tapolca	Repülőtéri-forrás	nincs adat	elapadt
Hévíz	Hévízi-tó összesen	27302,4	24986,93
Pápa	Tapolcafői-forrás	nincs adat	elapadt
Tapolca	Malomtó-forrás	4924,8	elapadt

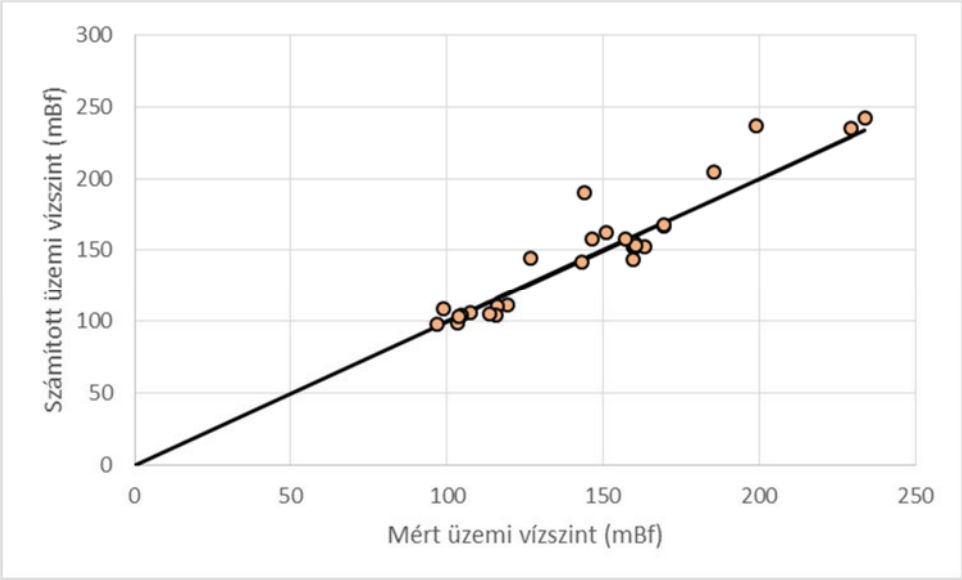
2.5.4.3 *Az üzemi vízszintek kalibrálása a 2019- és az 1991-es állapotra*

A ***10. táblázat*** foglalja össze a mért és a numerikus modell által számított üzemi vízszinteket, a 2018-as tényleges vízkivételek alapján az 500 m^3/nap termelést meghaladó termelőkutakra. Az üzemi vízszint adatokat az OVF bocsátotta rendelkezésünkre az OSAP adatszolgáltatás alapján. A táblázat csak azokat a termelőkutakat tartalmazza, melyeknél 2018-ban van üzemi vízszint adat.

10. táblázat: Az üzemi vízszintek kalibrációja a 2019-es állapotra

Település	Termelőkút neve	Üzemi vízszint mérésének ideje	Üzemi vízszint (mBf)	Számított üzemi vízszint (mBf)	Különbség (m)
Nyirád	Nyirád 14. sz. kút	2018.12.20	159.65	143.28	-16.37
Nyirád	Nyirád 8. sz. kút	2018.12.20	159.59	152.18	-7.41
Nyirád	Nyirád 10. sz. kút	2018.12.20	160.06	155.39	-4.67
Nyirád	Nyirád 19. sz. kút	2018.12.20	160.52	152.99	-7.53
Nyirád	Nyirád 21. sz. kút	2018.09.20	163.30	152.79	-10.51
Nyirád	Nyirád 37. sz. kút	2018.12.20	160.63	153.56	-7.07
Csabrendek	Nyirád (Darvastó) 35. kút	2018.12.22	157.25	158.37	1.12
Fehérvárcsurgó	Rákhegy II. vízakna	2018.12.28	119.20	111.26	-7.94
Pápa	II.sz. termálkút	2018.12.10	143.00	141.85	-1.15
Pápa	II.sz. kút	2018.12.10	169.37	167.22	-2.15
Pápa	III.sz. kút	2018.12.10	169.40	167.98	-1.42
Csór	Csór karsztakna I. 3. szivattyú	2018.12.31	115.93	110.56	-5.37
Pétfürdő	Pétfürdő 6. sz. vízműkút	2018.08.08	126.72	144.79	18.07
Várpalota	Bánta-puszta 1. sz. vízműkút	2018.11.12	146.40	158.10	11.70
Litér	Balatonfűzfő-Gyártelep 7. kút	2018.11.12	144.10	189.98	45.88
Veszprém	Laczkó karsztakna	2018.11.17	229.46	235.50	6.04
Veszprém	Lőtéri vízműkút	2018.11.18	199.10	237.22	38.12
Veszprém	Sédvölgy 1. sz. vízműkút	2018.11.17	233.70	242.47	8.77
Veszprém	Gyulafirátót 1. sz. vízműkút	2018.11.14	185.60	204.64	19.04
Adásztevel	II.sz. kút	2018.12.10	150.95	162.11	11.16
Veresegyház	3.sz. termálkút	2018.12.31	115.61	104.33	-11.28
Veresegyház	Erzsébet hévízkút	2018.12.31	98.89	108.54	9.65
Veresegyház	4.sz. termálkút	2018.12.31	107.59	105.96	-1.63
Budapest	Gellérttáró II. kút	2018.10.18	103.25	98.60	-4.65
Budapest	Gellérttáró III. kút	2018.11.15	96.88	97.77	0.89
Budapest	Lukács fürdő V. kút	2018.10.27	104.67	104.18	-0.49
Budapest	Lukács fürdő IV. kút	2018.11.22	103.89	103.55	-0.34
Kehidakustány	1.sz. termálkút	2018.12.02	113.55	104.69	-8.86

A ***10. táblázat*** alapján készített kalibrációs görbét a mért és modell által számított üzemi vízszintekre az **60. *ábra*** mutatja.



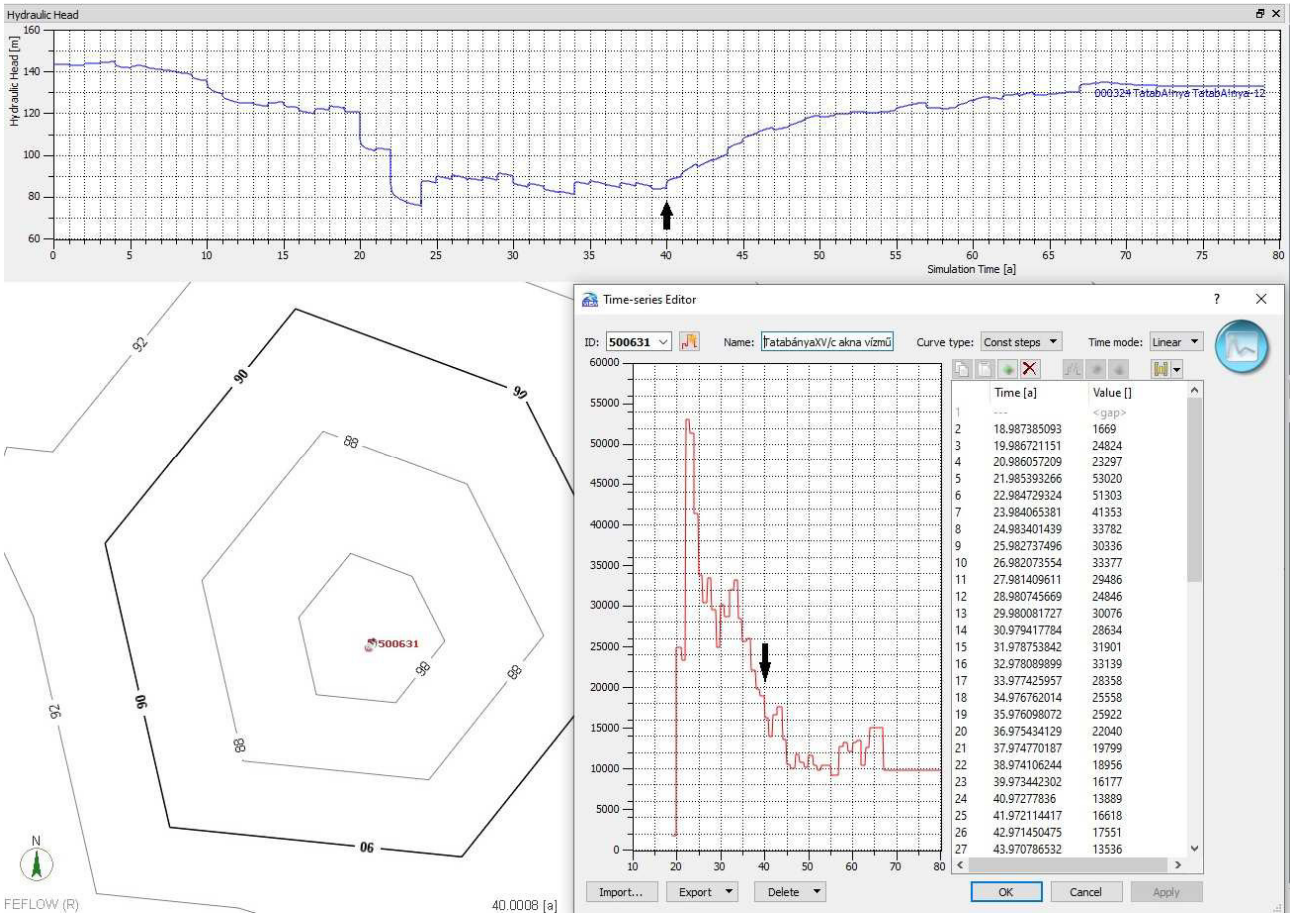
60. ábra: Az üzemi vízszintek kalibrálási görbéje a 2019-es állapotra

Az 1991-re kialakult karsztvízszint süllyedést és a modellezés eredményeit a ***11. táblázat*** foglalja össze, a modellezett karsztvízszintet az ***57. ábra*** mutatja.

A Tatabánya XV/C akna példáján mutatjuk be, hogy egy időpillanatra az akna környezetében kialakult karsztvízszint hogy viszonyul az akna termelési idősorához és a monitoring kútban modellezett vízszinthez (***61. ábra***). A karsztvízszint idősort és a termelési idősort összevetve megfigyelhetőek a termelés okozta vízszintsüllyedések.

11. táblázat: Az aknák környezetében kialakult mért és számított leszívások 1991-ben

Bányaterület	Karsztvízszint süllyedés 1991-re (m)	Modellezett érték (m)
Ajka, Halimba	-60 és -70 között	-60
Bakonyjákó, Németbánya	-80	-50
Fenyőfő	-50	-30
Dudar	-40	-50
Balinka	-45	-40
Várpalota	-40	-20
Iszkaszentgyörgy	-250	-170
Oroszlány	-40	-40
Tatabánya	-60	-55
Nagyegyháza	-70	-60
Mány	-40	-50
Dorog	-25	-20



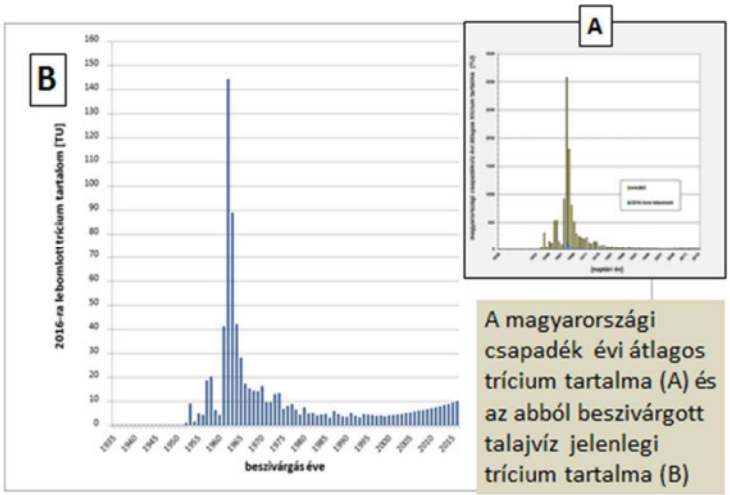
61. ábra: Az 1991-re kialakult leszívás a tatabányai akna környezetében
Kék görbe: Tatabánya-12-es monitoringkút modellezett vízszint idősora
Piros görbe: Tatabánya XV/C akna termelési idősora
Fekete nyíl:1991 január

2.5.4.4 *A trícium adatok elemzése*

A magyarországi csapadék évi átlagos trícium idősorát 1974-től a hazai mérések, azt megelőzően az ottawai és bécsi csapadék adatai alapján rekonstruáltuk. Az ábrán és az értékelésnél a trícium adatokat a nemzetközi szakirodalomban szokásos TU (Tritium Unit) egységben használjuk, amely 10-18 3H/1H arányt jelent. Az SI rendszerben használt mértékegységre az 1 TU = 0,118 Bq/l, illetve az 1 Bq/l = 8,5 TU alapján tudunk átszámítani. A ***62./A ábra*** az eredeti és a 2016-ra lebomlott trícium koncentrációkat, a ***62./B ábra*** pedig a különböző években beszivárgott felszínalatti vizek jelenlegi trícium tartalmát mutatja be. Látható, hogy az 1952 előtti időszak – kozmogén eredetű - átlagosan 5 TU trícium koncentrációja a 12,4 év felezési idő miatt ma már a kimutatási határ (0,51 TU) alatti érték. Az 1952-ben elkezdett magas légköri termonukleáris robbantások következtében fokozatosan nőtt a csapadék trícium koncentrációja, egészen az 1963. évi részleges atomcsend egyezményig. Ezután folyamatos lecsengést tapasztalunk az 1970-es évek végéig, míg azóta beállt a 10-12 TU állandó szint, ami azonban még mindig kétszerese a természetes trícium szintnek.

A felszín alatti vizek áramlásuk során megőrzik a beszivárgás kori csapadék trícium tartalmát, természetesen a 12,4 éves felezési időnek megfelelően lebomlott mennyiséggel korrigálva, így a vízmintákban mért trícium tartalom alapján következtetni tudunk a víz beszivárgásának idejére.

A kimutatási határ alatti (<0,06 Bq/l = <0,51 TU) trícium tartalom azt jelzi, hogy a víz a termonukleáris bomba-kísérletek előtti csapadékból származik, kora tehát nagyobb 68 évnél.



62. ábra: A magyarországi csapadék rekonstruált évi átlagos trícium idősora

A 3 TU-nál kisebb, de kimutatható trícium tartalom vízkeveredésre utal. Azoknál a kutaknál, ahol a vízföldtani adottságok miatt szinte kizárt a friss víz hozzákeveredése, de mégis kimutatható a trícium, ott mérési hibával vagy friss felszín alatti víz hozzákeveredésével kell számolni. A felszín alatti víz leáramlásának oka lehet a kút rossz műszaki állapota (pl. a palástcement teljes vagy részleges hiánya), vagy olyan „földtani ablak” amelynek nagy a vertikális transzmisszibilitása és emiatt – főleg az erős szivattyúzás miatti nagy depresszió esetén – a karsztvíz le tud áramlani a kútba.

Az 1963. évi csapadék trícium csúcs (2930 TU) idején beszivárgott talajvíz trícium tartalma a 12,4 év felezési idejű - bomlás miatt, ma már csak 144 TU, az ennél nagyobb mért értékek bizonyítottan trícium szennyezést jelentenek.

A Dunántúli-középhegység területén található 11 hideg- és termál karsztvíztesten összesen 117 db termelőkútból rendelkeztünk mért trícium értékkel a 2013-2019 közötti időszakot tekintve (***14. táblázat***). Az adatokat az OVF bocsátotta rendelkezésre az OSAP adatszolgáltatás alapján.

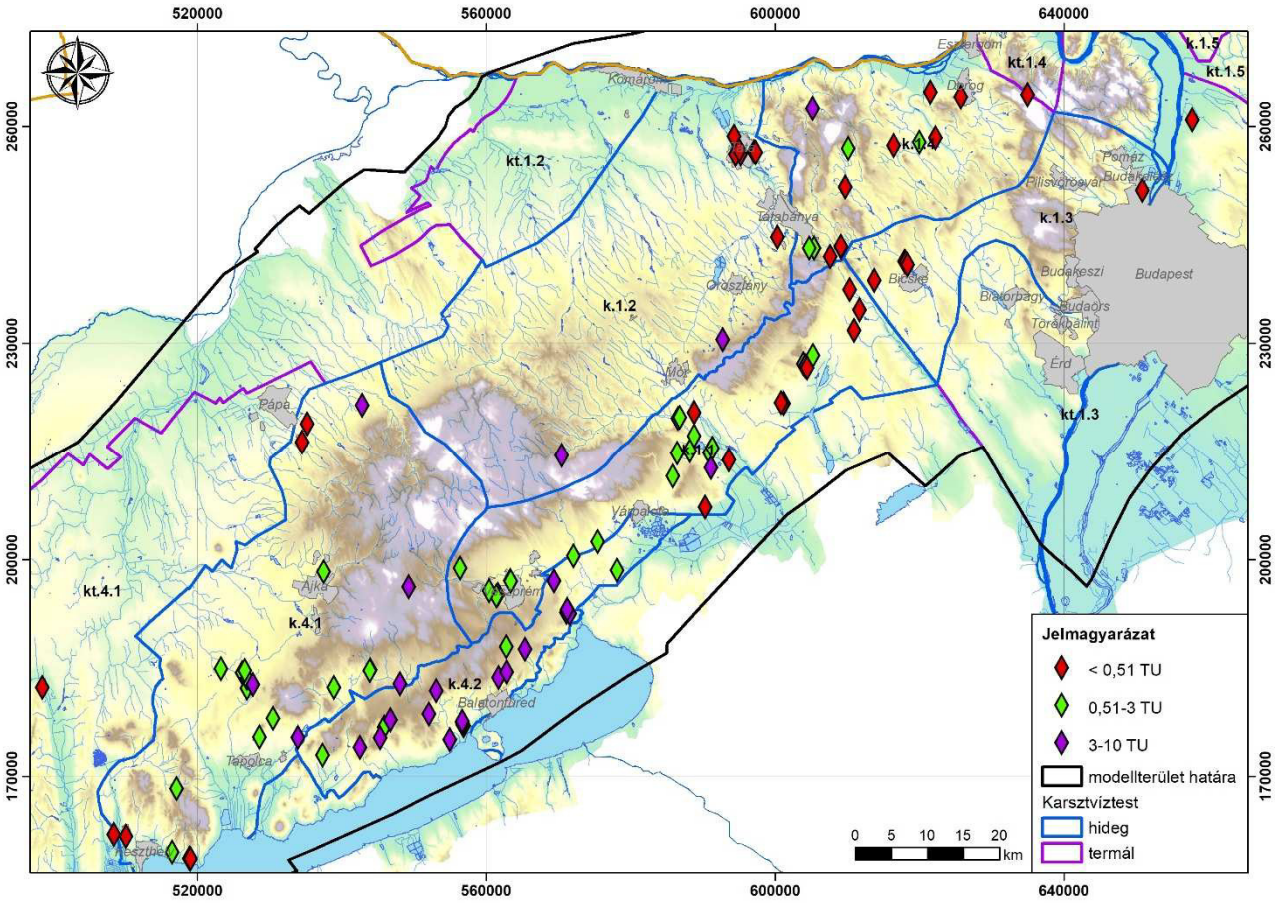
Az egyes karsztvíztesten mért legkisebb és legnagyobb trícium értékek a ***12. táblázat*** tartalmazza. Az egész középhegységet tekintve a legmagasabb mért trícium koncentrációt a Gerecsétől északra, illetve a Bakonyban található szentgáli kútban mérték. A trícium vizsgálatba bevont kutak közül 9 db esetében a trícium koncentráció mérés olyan laborban történt, ahol a kimutatási határ <2 Bq/l, illetve <3 Bq/l voltak, mely alapján nem lehetett egyértelműen megállapítani a vízminta korát, így azokat nem vettük figyelembe a beszivárgás ideje szerinti kategorizálásnál. Tehát 108 db kút trícium koncentráció adatát értékeltük, az elemzés eredményét a ***13. táblázat*** tartalmazza. A beszivárgás ideje és a becsült vízkor alapján 3 csoportot különítettünk el (***13. táblázat***). A ***63. ábra*** mutatja a csoportok területi elterjedését.

12. táblázat: A 2013-2019 között trícium mérésbe bevont kutak száma és az azokban mért legkisebb és legnagyobb tríciumkoncentráció víztestenként lebontva

Víztest	Kút (db)	Trícium koncentráció			
		MINIMUM		MAXIMUM	
		[Bq/l]	[TU]	[Bq/l]	[TU]
k.1.1	29	<0,06	<0,51	0,60	5,1
k.1.2	9	<0,06	<0,51	0,5	4,25
k.1.3	9	<0,06	<0,51	<3,0	<25,5
k.1.4	14	<0,06	<0,51	0,7	5,95
k.1.5	0	-	-	-	-
k.4.1	25	<0,06	<0,51	0,7	5,95
k.4.2	28	0,21	1,785	0,66	5,61
kt.1.3	1	<0,06	<0,51	<0,06	<0,51
kt.1.4	0	-	-	-	-
kt.1.5	0	-	-	-	-
kt. 4.1	2	<0,06	<0,51	<0,06	<0,51

13. táblázat: Trícium tartalom és a víz kora közötti kapcsolat, valamint az egyes kategóriákba sorolható kutak darabszáma a Dunántúli-középhegységben

2016-ban mért trícium tartalom		beszivárgás ideje	becsült vízkor	kutak száma
[Bq/l]	[TU]	naptári év	[év]	[db]
<0,06	<0,51	1952 előtt	>64	**37**
<0,06-0,35	<0,51-3	kevert víz vagy kút/mérési hiba	nem értelmezhető	**48**
0,35-1,2	3-10	1976-2016	0-40	**23**
		1954-1961	55-62	
1,2-2,9	10-25	1967-1975	41-49	**0**
2,9-17	25-144	1962-1966	50-54	**0**
>17	>144	trícium szennyezés		**0**



63. ábra: A Dunántúli-középhegységben vizsgált kutak trícium koncentráció szerint csoportosítva

A vizsgált kutak közül 37 db esetén a trícium koncentráció kimutatási határérték (<0,51 TU) alatt volt (***13. táblázat***), azaz itt a felszín alatti víz idős, 1952 előtt szivárgott be. Ezek a kutak elsősorban a Dunántúli középhegség DNy-i peremi (Keszthely, Pápa környékén, valamint a Zalai-medencében), illetve a karsztvíztároló fedett ÉK-i területein találhatók (***63. ábra***).

A kevert vizekre jellemző 0,51-3 TU közötti trícium koncentrációval jellemezhető kutak a középhegység legnagyobb részén megtalálható Keszthelytől egészen Dorogig (***63. ábra***).

A legmagasabb, 3-6 TU közötti értékek leggyakrabban a Balaton-felvidéken fordulnak elő. Itt tehát a vizek kora 0-40, vagy 55-62 év közé tehető (***63. ábra)***.

14. táblázat: A Dunántúli-középhegység karsztvíztározójában 2013-2019 között trícium vizsgálatba bevont kutak alapadatai és az utolsó méréshez tartozó trícium koncentráció értéke

Azonosító	Név	EOV Y	EOV X	Utolsó mérés dátuma	Trícium (Bq/l)	Trícium (TU)
k.4.1 karsztvíztest						
ACB586	Nyirád 37. sz. kút	526527	184646	2015.02.03	0,15	1,275
ACB587	Nyirád 8. sz. kút	526830	182190	2015.02.03	0,09	0,765
ACE921	II.sz. kút	535189	218864	2018.03.19	<0,06	<0,51
ACJ249	Erzsébet-forrás III. kút	518970	158650	2016.09.20	0,07	0,595
ACL698	Nyirád 1.sz. kút (Felújítás alatt)	527644	182702	2015.02.03	0,38	3,23

Azonosító	Név	EOV Y	EOV X	Utolsó mérés dátuma	Trícium (Bq/l)	Trícium (TU)
ACL699	Nyirád 10. sz. kút	526863	183581	2015.02.03	0,11	0,935
ACL703	Nyirád 21. sz. kút	526210	184344	2015.02.03	0,09	0,765
ACL706	Nyirád (Darvastó) 35. kút	523244	184889	2015.02.03	0,12	1,02
ACW091	Szélespatak karsztkút (9. sz. kút)	537484	198294	2018.12.14	0,12	1,02
ACW960	I.sz. kút	542816	221438	2018.04.09	0,67	5,695
ACS523	I/A.sz. kút	534460	216310	2018.03.19	<0,06	<0,51
ACS795	Pula 1. sz. vízműkút	543945	184759	2017.04.26	0,06	0,51
ACS913	Pula 2. sz. vízműkút	543888	184636	2018.06.04	0,13	1,105
ADA297	Szentgál 1. sz. vízműkút	549263	196233	2017.04.26	0,7	5,95
ADA307	Sáska vízműkút	530440	178050	2018.06.04	0,12	1,02
ADA314	Taliándörögd vízműkút	538909	182328	2018.06.04	0,2	1,7
AIH712	Vadaskerti kút	510060	161750	2016.09.20	<0,06	<0,51
AIH949	János forrás gyűjtőkút	516481	159566	2016.09.20	0,28	2,38
AII015	Hegyesd vízműkút	533912	175422	2017.05.08	0,54	4,59
AII486	Nagyvázsony vízműkút	548025	182830	2017.04.03	0,4	3,4
AIJ006	II. kút	517082	168334	2016.09.20	0,27	2,295
AIJ072	Erzsébet-forrás I. kút	518850	158690	2016.09.20	0,22	1,87
AIJ073	Erzsébet-forrás II. kút	518910	158660	2016.09.20	0,12	1,02
AIJ074	Erzsébet-forrás IV. kút	519010	158620	2016.09.20	<0,06	<0,51
AOV543	Zalahaláp 3. sz. vízműkút	528560	175439	2017.05.08	0,18	1,53
kt.4.1 karsztvíztest						
AII036		508410	161990	2019.09.16	<0,06	<0,51
AIJ106	Hévízkút	498500	182312	2015.10.19	<0,06	<0,51
k.4.2 karsztvíztest						
ACB090	Aszófő I/a. kút	556790	177150	2015.05.14	0,25	2,125
ACF053	Aszófő III/a. kút	556721	177331	2015.05.14	0,31	2,635
ACF170	Aszófő V. kút	556675	177470	2015.05.14	0,26	2,21
ACF434	Aszófő AFÉ-1	556866	177036	2015.03.09	0,32	2,72
ACF435	Aszófő AFÉ-2	556717	177204	2015.03.09	0,32	2,72
ACF436	Aszófő AFÉ-3	556661	177637	2015.03.09	0,51	4,335
ACP161	Malomvölgyi I. kút	565575	186620	2016.04.06	<3	<25,5
ACP162	Malomvölgyi II. kút	565450	186655	2016.04.06	<3	<25,5
ACP163	Malomvölgyi IV. kút	565407	186762	2016.04.06	<3	<25,5
ACP168	Felsőörs Fé-1	565350	187573	2016.04.21	0,66	5,61
ACP169	Felsőörs Fé-2	565685	186961	2016.04.06	<3	<25,5
ACP170	Felsőörs Fé-3	564779	187142	2016.04.06	<3	<25,6
ACR290	Balatonfűzfő-Gyártelep 7. kút	571200	193096	2016.10.18	0,48	4,08
ACR291	Balatonfűzfő-Gyártelep 2. kút	571555	192500	2016.10.18	0,47	3,995
ACZ798	Veszprémfajsz vízműkút	562745	187953	2018.05.15	0,3	2,55
ADA312	Vászoly vízműkút	552072	178650	2019.09.09	0,63	5,355
ADA317	Szentbékkálla vízműkút	537333	172959	2018.12.10	0,25	2,125
ADA328	Monoszló vízműkút	542518	174047	2017.05.22	0,53	4,505

Azonosító	Név	EOV Y	EOV X	Utolsó mérés dátuma	Trícium (Bq/l)	Trícium (TU)
AIH551		561720	183680	2019.09.10	0,54	4,59
AIH554	Balatonfűzfő-Gyártelep 3. kút	571120	192655	2016.10.18	0,32	2,72
AIH723	Csopak Nosztori-forrás	562841	184468	2015.06.01	0,59	5,015
AII552		546736	177824	2019.09.10	0,58	4,93
AII616	Zádor-forrás	553090	181840	2017.03.20	0,63	5,355
AII776	Balatoncsicsó 2. sz. vízműkút	545872	176827	2017.05.22	0,3	2,55
AII777		545270	175340	2019.09.10	0,4838	4,1123
AIJ057		569350	197060	2019.09.10	0,413	3,5105
AOG784	Peremarton 8/A vízműkút	578130	198532	2017.03.21	0,21	1,785
AOT489	Balatonudvari Buszf-2	554969	175087	2016.10.12	0,54	4,59
k.1.1 karsztvíztest						
ACB158	Bodmér vízmű központ-I.	611700	234650	2016.06.13	<0,06	<0,51
ACB846	Vértesboglár I. kút	610954	231814	2016.06.13	<0,06	<0,51
ACB847	Aranyosvölgy 3. sz. vízműkút	563349	197093	2017.02.07	0,09	0,765
ACF894	Aranyosvölgyi-galéria	563400	197000	2017.06.13	0,19	1,615
ACK137	Csákvár II. kút	605223	228359	2015.06.17	0,07	0,595
ACM333	Bodajk Kajmáti I. kút	586526	219616	2015.06.17	0,11	0,935
ACM334	Kajmáti II. kút	586783	219736	2015.06.17	0,2	1,7
ACM478	Csór Karsztakna I. szivattyú	590304	207248	2019.07.30	<0,06	<0,51
ACO312	Laczkó karsztakna	561390	194960	2017.04.18	0,18	1,53
ACO770	Lőtéri fk.	561620	195150	2017.04.18	0,15	1,275
ACU075	Rákhegy II. Vízakna	591320	215485	2015.04.23	0,14	1,19
ACU435	Kincsesbánya Rh-1	590939	214815	2017.06.12	0,13	1,105
ACU439	Kincsesbánya Rh-5	591119	212737	2017.07.12	0,6	5,1
ACU930	Sédvölgy 2. sz. vízműkút	560400	195660	2019.10.01	0,31	2,635
ACW544	Csákvár I. kút	604433	226603	2015.06.17	<0,06	<0,51
ACW545	Csákvár IV. kút	604178	226856	2015.06.17	0,41	3,485
ACX189		586441	214764	2019.09.11	0,2006	1,7051
ACZ987	Zámoly I. kút területe-I.	601169	221699	2019.07.30	<0,06	<0,51
ACS276	Zámoly II. kút	600801	221791	2019.07.30	<0,06	<0,51
ACS954	Bodajk III. kút	588773	220411	2015.06.17	<0,06	<0,51
AIH540	Bakonykúti termelőkút	585850	211550	2015.05.27	0,15	1,275
AIH687	Csákvár III. kút	603918	227151	2015.06.17	0,25	2,125
AII006		572070	200510	2019.09.10	0,2596	2,2066
AII347	Márkó vízműkút	556359	198829	2019.08.06	0,18	1,53
AII581	Öskü vízműkút	575436	202462	2019.10.14	0,33	2,805
AII755	Szár II. kút	610347	237451	2015.06.17	<0,06	<0,51
AOT940	Kincsesbánya Fcs-211 (Fehérvárcsurgó)	588777	217154	2017.06.15	0,24	2,04
AOU267	Kincsesbánya HgI-42 (Isztimér)	588172	215084	2017.06.13	0,11	0,935
AOU689	Fehérvárcsurgó M-1 (Iszkaszentgyörgy)	593588,91	213795,3	2017.06.21	<0,06	<0,51
k.1.2 karsztvíztest						

Azonosító	Név	EOV Y	EOV X	Utolsó mérés dátuma	Trícium (Bq/l)	Trícium (TU)
ACB782	Pokol 1. sz. kút	597100	256500	2017.11.27	<0,06	<0,51
ACB783	Pokol 2. sz. kút	597300	256400	2017.11.27	<0,06	<0,51
ACL752	Jásd I. kút	570418	214461	2016.06.16	0,5	4,25
ADQ716	TÉ-1.	595218,1	256199	2018.07.25	<0,06	<0,51
ADQ717	TÉ-2.	594500,6	256134,1	2018.07.25	<0,06	<0,51
ADQ718	TÉ-3.	595009,8	256696,8	2018.07.25	<0,06	<0,51
AIF647		592750	230530	2019.06.11	0,3894	3,3099
AII859	Fényes 1. sz. kút	594300	258600	2017.11.27	<0,06	<0,51
AIU643	XV/C vízakna	600300	244700	2018.01.22	<0,06	<0,51
k.1.3 karsztvíztest						
ACB152	Bicske - Csabdi I. kút	617947	241342	2015.06.17	<0,06	<0,51
ACB153	Bicske - Csabdi II. kút	618080	241183	2015.06.17	<0,06	<0,51
ACH767	Bicske - Csabdi IV. kút	618369	240876	2015.06.17	<0,06	<0,51
ACR657	Óbarok I. kút	613740	238730	2016.06.13	<0,06	<0,51
ACS094	Pilisborosjenő 4. sz. telep 2. kút	646047	251162,7	2017.02.06	<2	<17
ACS108	Pilisborosjenő 3. sz. telep 1.A kút	646455,7	251141,3	2017.02.06	<2	<17
AIH645		650860	251170	2019.11.21	<0,06	<0,51
AOG458	Pilisszántó 1. kút	638899,6	256143,1	2017.05.02	<2	<17
AOG459	Budakalász vízmű (Poljána) kút	648650	252360,3	2017.10.24	<3,0	<25,5
kt.1.3 karsztvíztest						
ACV568	Göd K-8 12-77	657801	260883,6	2014.09.12	<0,06	<0,51
k.1.4 karsztvíztest						
ACI890	Pilisszentlélek fúrt kút	634983	264383	2018.01.31	<0,06	<0,51
ACK695	Héreg fúrt kút	610140	256950	2015.01.22	0,06	0,51
ACP794	Vivien	609147	243270	2015.03.12	<0,06	<0,51
ACW943	Tarján 1. sz. kút	609690	251620	2019.10.28	<0,06	<0,51
ACY847		605200	262500	2019.10.08	0,7	5,95
AIF576	Bajna fúrt kút	616438	257370	2015.01.14	<0,0588	<0,5
AIG180	Sárisáp SÉ-3 figyelő kút	619997,9	257799,2	2017.03.07	0,21	1,785
AIG181	Sárisápi karsztakna	622200	258400	2015.01.13	<0,0588	<0,5
AIG260	"XIV. öregség" jelű figyelőkút	604754,1	243191	2019.05.21	0,17	1,4
AIH793	Kálvária úti kút	625716	264081	2018.01.31	<0,06	<0,51
AII756	Szárliget I. kút	607635	242020	2015.06.17	<0,06	<0,51
AIU642	XIV/A vízakna	605400	243200	2018.01.22	0,08	0,68
AIU644	IV/C és Ágnes ereszkék	621480	264740	2017.03.29	<0,06	<0,5
AOH324	Vivien	609105	243442	2015.03.10	<0,06	<0,51

2.5.4.5 *Hőmérséklet eloszlás a Dunántúli-középhegységben*

A felszínalatti vízáramláshoz kötődő egyik legfontosabb jelenség a felszín alatti hőtranszport. A felszín alatti víz hőmérsékletét nem csak a geotermikus gradiens, de a vízáramlás hőszállító szerepe is befolyásolja. A Dunántúli-középhegység regionális karsztrendszerének felszín alatti hőmérséklet eloszlásáról a kutakban és forrásokban mért vízhőmérséklet adhat bővebb képet.

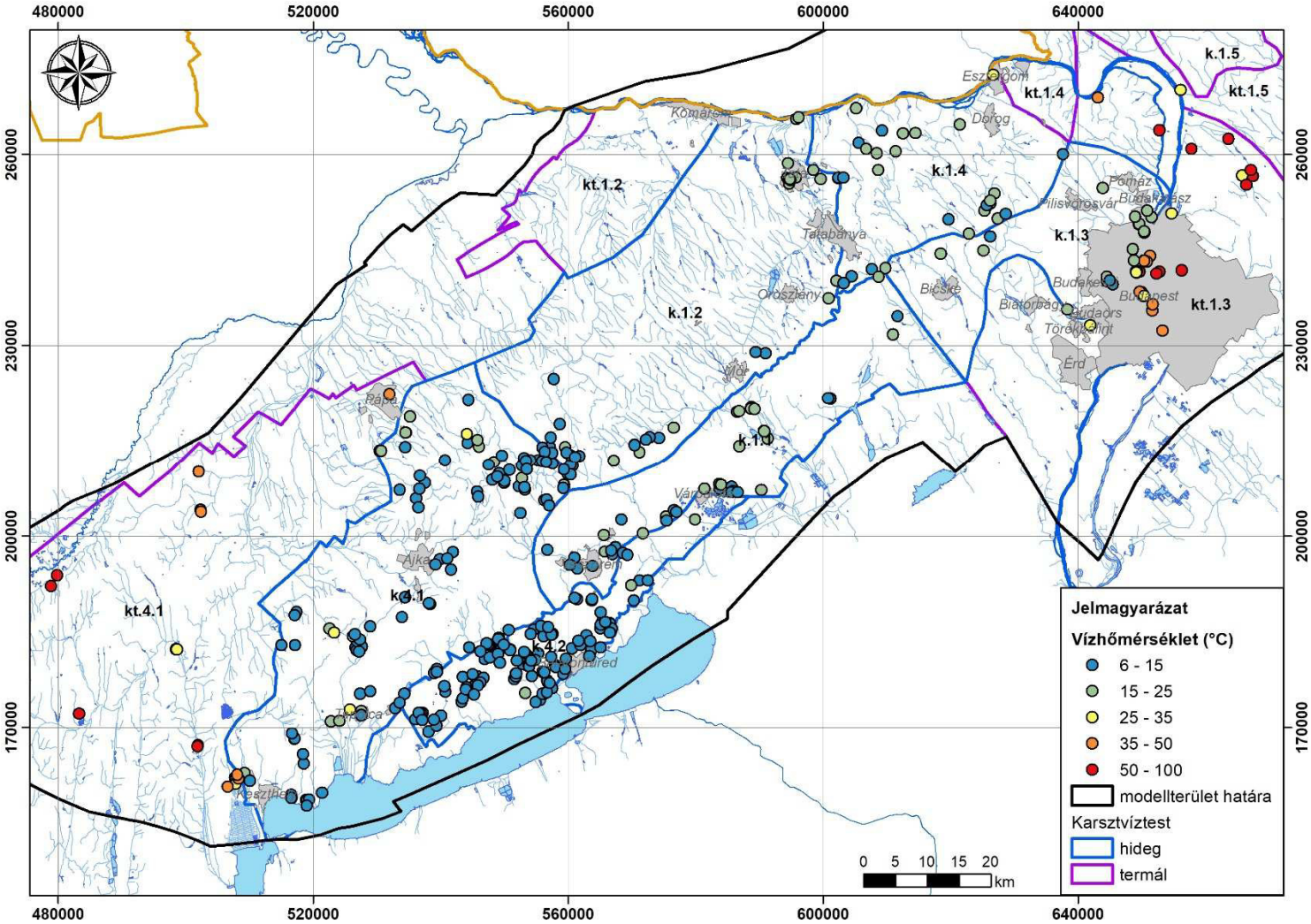
Az OVF által rendelkezésünkre bocsátott adatsorban a havi rendszerességgel mért vízszint értékekhez sok esetben vízhőmérsékleti adat is társul. A jelenleg fennálló felszín alatti hőmérsékleti viszonyok megismeréséhez abban az 137 db kútban vettük figyelembe az utolsó mért értékeket, ahol történt hőmérsékletmérés a 2017/2018-as év során. A források a felszínalatti vízáramlás felszíni megnyilvánulásainak tekinthetők, így az azokon végzett mérések szintén fontos információkat hordoznak a karsztrendszerről. A Smaragd-GSH által 2019. tavasz-őszi időszakban végzett forrásfelmérés részeként 329 db forrás vizének hőmérséklete került rögzítésre.

A forrás- és kútadatok alapján a víztartóban mért legkisebb vízhőmérséklet 6,6 °C volt, míg a legmagasabb érték a 99 °C-ot is elérte. A medián 14 °C körül alakult (***15. táblázat***).

15. táblázat: A Dunántúli-középhegység felszín alatti vízhőmérsékleti adathalmazát jellemző statisztikai mutatók

Hőmérséklet (°C)	
Átlag	18,99
Medián	14,10
Módusz	10,00
Szórás	12,83
Minta varianciája	164,56
Minimum	6,60
Maximum	99,00
Darabszám	466,00

A fent leírt 137 db hőmérsékleti adatot 5 hőmérsékleti kategóriába sorolva kerültek térképi ábrázolásra (***64. ábra***). A víztartóban a legalacsonyabb vízhőmérsékleteket Ajkától délre, a Bakony déli részén, valamint a Balaton-felvidék nyugati peremén mérték, az itt található kutak és források vizének hőmérséklete 15°C alatti. A középhegység peremi területei felé haladva egyre több a magasabb vízhőmérsékleti kategóriába sorolható kút/forrás. A szélsőségesen magas, 50°C feletti értékek a középhegység peremein, a Zalai-medence és a Budapest környéki termálkarsztos területeken találhat kutakban/forrásokban tapasztalhatók.

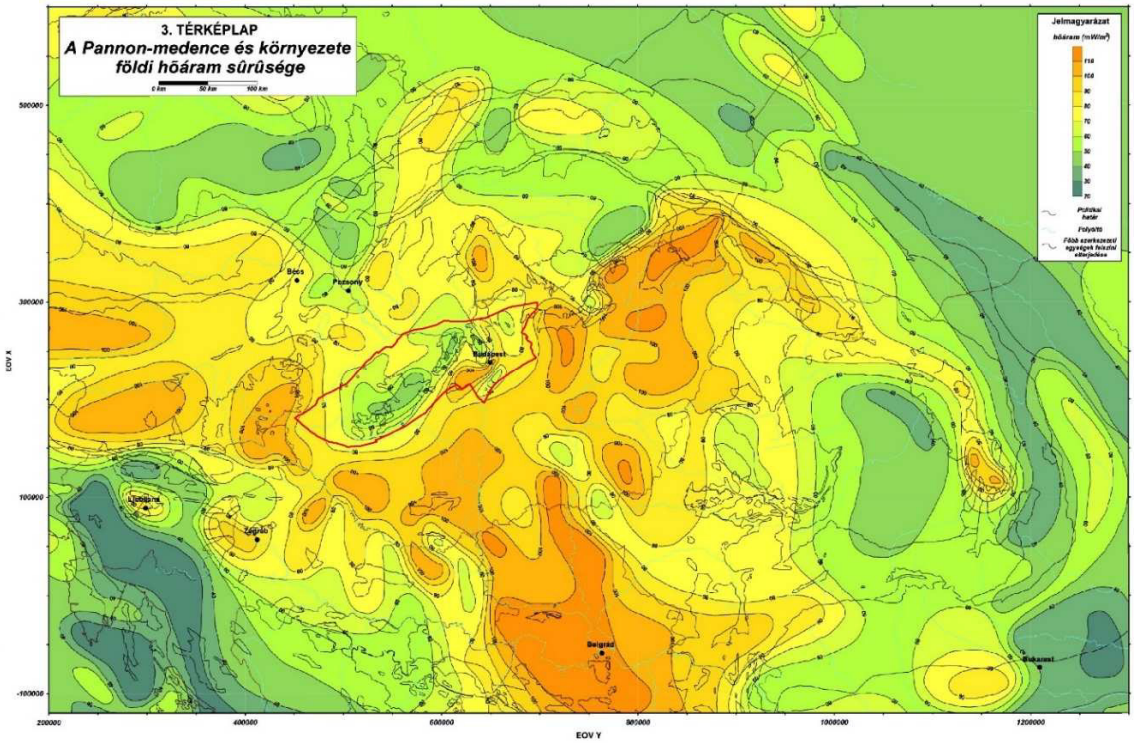


64. ábra: A Dunántúli-középhegység területén található kutak/források különböző vízhőmérsékleti kategóriákba sorolva

2.5.4.6 *Hőtranszport modellezés*

A hőtranszport modellezést a permanens modellváltozatban végeztük el. A hővezető paraméterek megadásakor mért értékek hiányában irodalmi adatokra támaszkodtunk. A hőtranszport modellezés bemeneti paramétereit: a porozitást, a kőzetmátrix térfogati fajhőjét és a kőzetmátrix hővezetőképességét a T-JAM [10] alapján határoztuk meg.

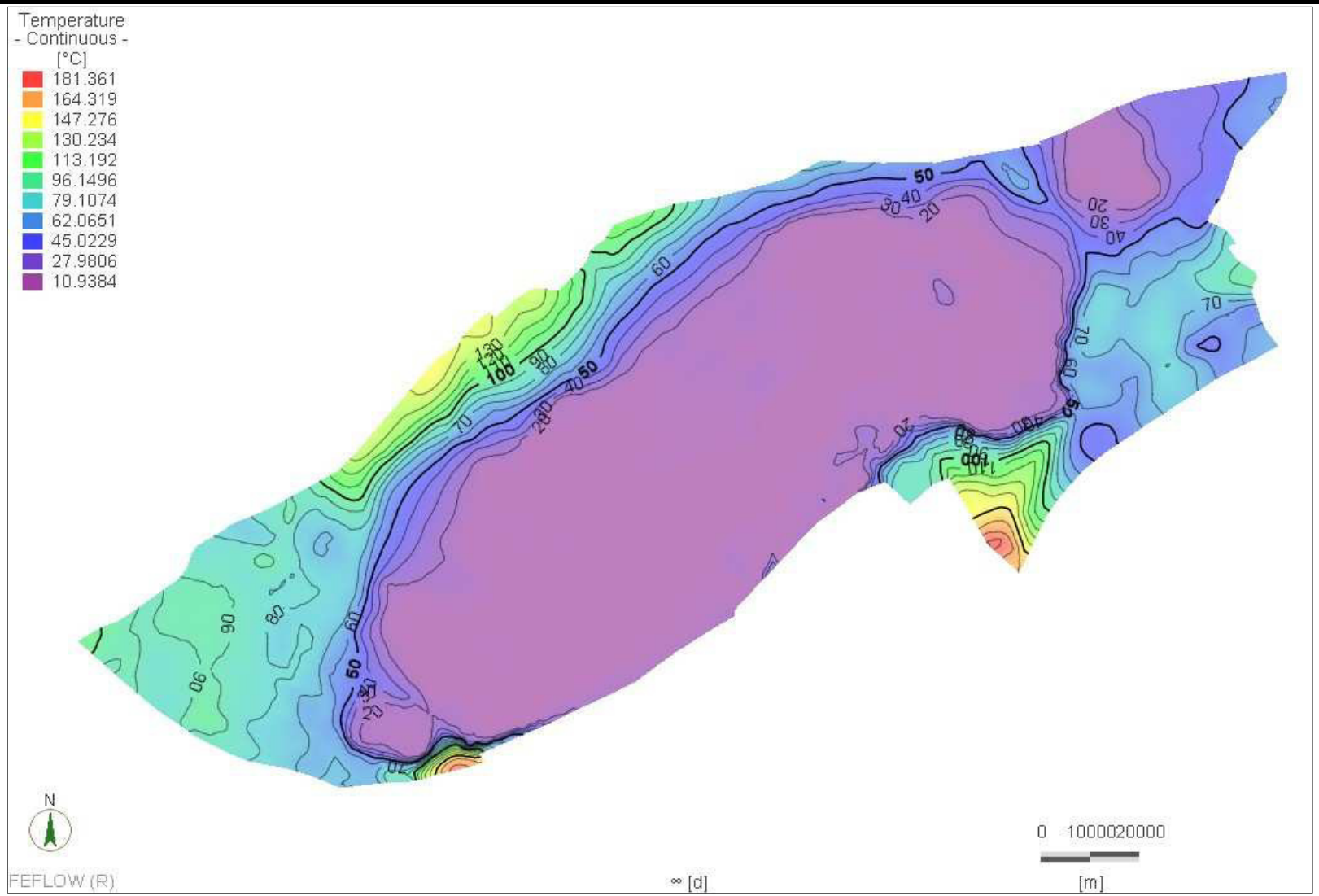
A felszín alatti víz hőmérsékletét két hőforrás határozza meg, a Nap sugárzása és a Föld belső melege. Közelítésként elfogadható, hogy a Föld felszínének hőmérséklete, valamint a beszivárgó víz hőmérséklete megegyezik az évi középhőmérséklettel. A föld belsejéből érkező hőmennyiséget a hőárammal jellemezhetjük. A modell alján alkalmazott hőáram értékét a Pannon-medence és környezetére készített hőáram sűrűség térkép alapján határoztuk meg [3] (***65 .ábra***). A modellezett hőmérséklet eloszlást a ***66. ábra*** mutatja.



65. ábra: A Pannon-medence és környezete földi hőáram sűrűsége [3]
Pirossal a modellezett terület látható

16. táblázat: A hőtranszport modellhaz alkalmazott bemenő paraméterek

Bemenő paraméterek	Érték
Porozitás	0,009-0,15
Áramló folyadék térfogati fajhője	4,2 *10^{+6} J/m3K
Kőzetmátrix térfogati fajhője	2,4 – 3,4 *10^{+6} J/m^3K
Áramló folyadék hővezető képessége	0,65 J/m/s/K
Kőzetmátrix hővezető képessége	1,8 – 3 J/m/s/K
Longitudinális diszperzitás	5 m
Transzverzális diszperzitás	0,5 m
Hőmérsékleti peremfeltétel: Hőmérséklet (1. típus) – 1. felszín Hőáram fluxus (2. típus) – 9. felszín	 11 ºC 6912-8000 J/m^2/d



66. ábra: A modellezett hőmérséklet eloszlás

2.5.5 Modellezési scenáriók

A projekt egyik feladata a veszélyeztetett területek lehatárolása.

A megemelkedő karsztvízszint, gyakorlatilag a visszatérő források, a 2000-es évektől sok helyen, különösen a települések belterületei részein, épület és út károkat okoztak. Zömében ez olyan területeket érintett, ahol a leszáradt forrásterületeket beépítették.

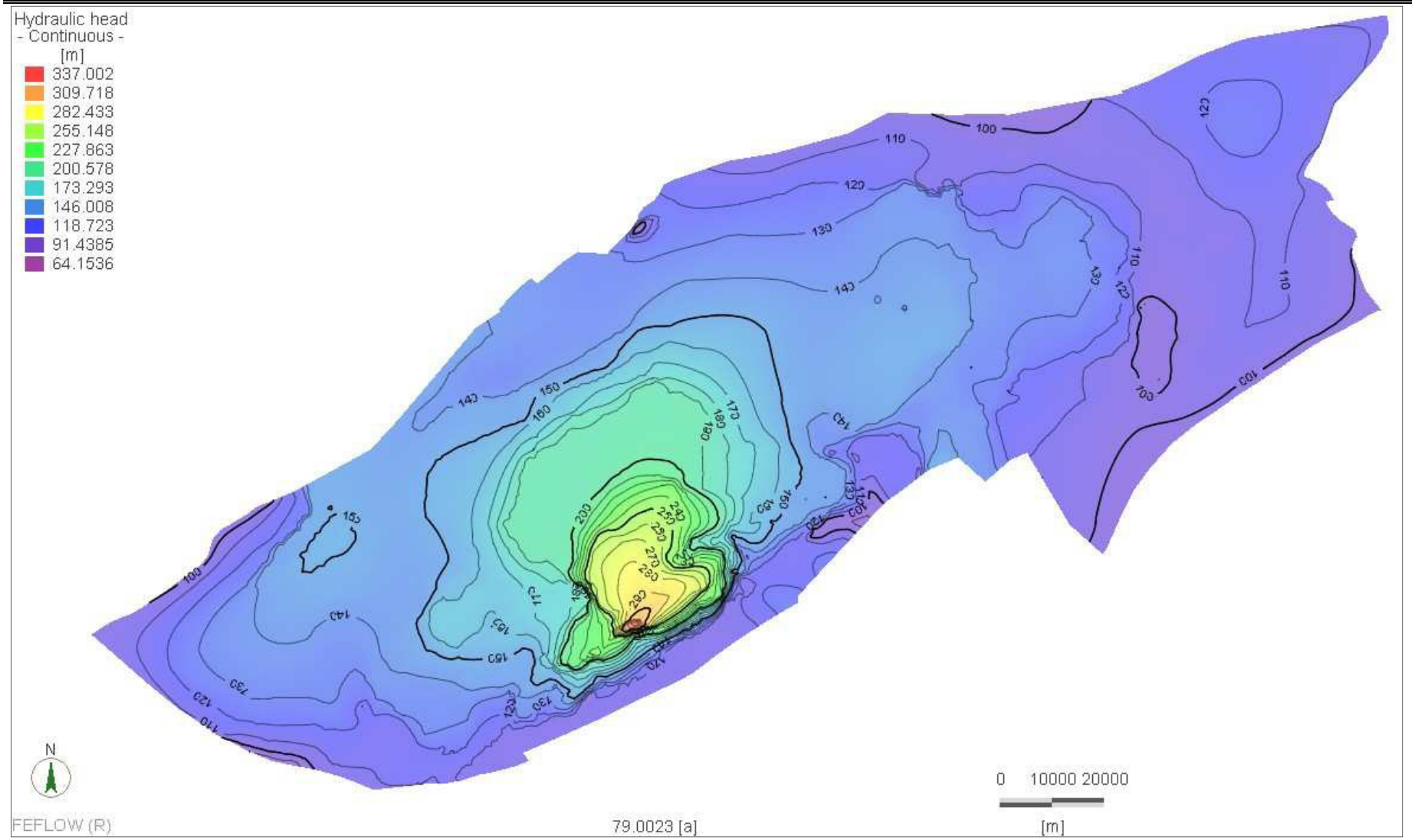
A veszélyeztetett területek lehatárolás azt jelenti, hogy le kell határolni a már elárasztott, és várhatóan elárasztásra kerülő területeket, különös tekintettel a települések belterületeire, ahol ennek következtében épületkárok jelentkeztek, vagy ezek kialakulására lehet számítani.

A regionális numerikus modelltől elvárt kimenet a veszélyeztetett területek lehatárolásához, a 2030-ra modellezett, várható karsztvízszint különböző éghajlati scenáriókra.

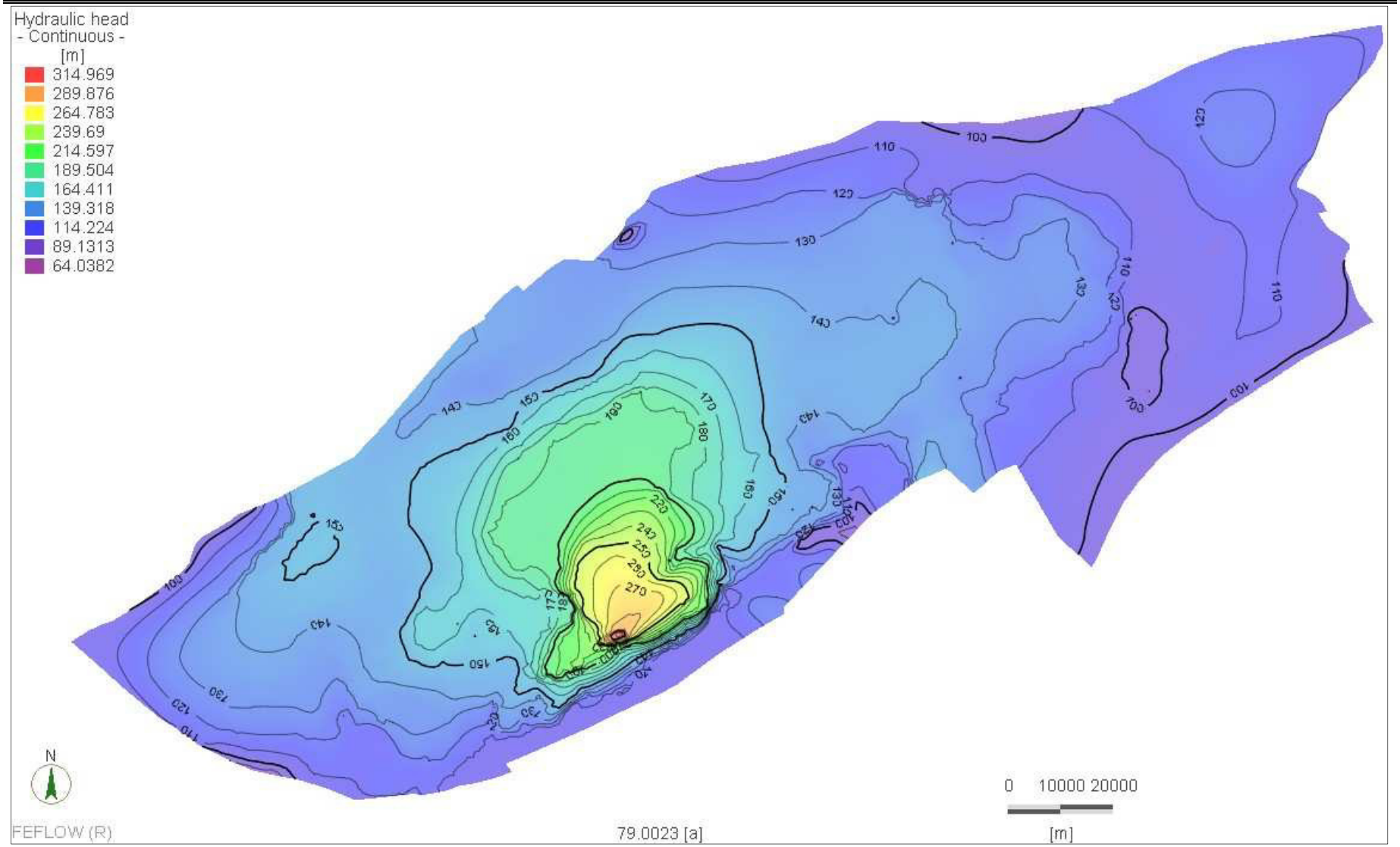
A főkarsztvíztároló várható nyomásállapotát legalább 3 (optimista, átlagos, pesszimista) éghajlat változási szcenárióban jelezzük előre a projekt feladat kiírása szerint 2030-ig.

- a **„pesszimista" változat** a legnagyobb beszivárgású időszak (2007-2018) + 2018 év tény vízkivételei. A 2007-2018 időszakon belül található a 2010-es év is, amely Magyarországon extrém magas csapadék mennyiséget produkált. Így ez a kiválasztott évtized alkalmas lesz arra is, hogy egy extrém magas csapadékesemény hatását vizsgáljuk.
- az **„átlagos" változat** az 1980 – 2010 évi átlag beszivárgás + 2018 év tény vízkivételei
- az **„optimista" változat** a legkisebb beszivárgású időszak (1983-1994) + 2020 engedélyezett vízkivételek alapján készül.

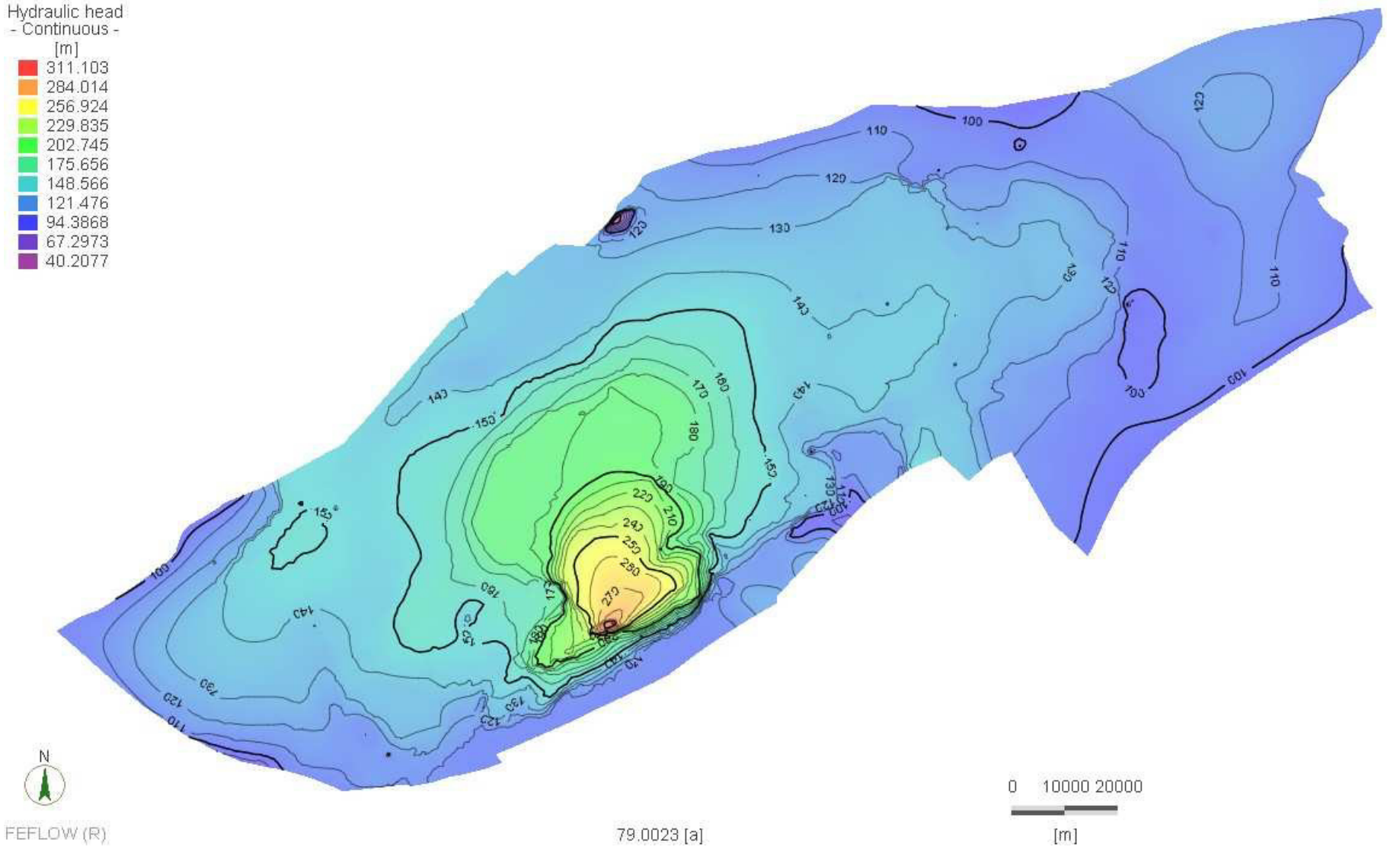
A numerikus modellel számított 3 szcenárióra kapott karsztvízszint eloszlást a ***67-69. ábrasorozat*** mutatja be, bővebb értelmezése a ***III. kötetben*** olvasható.



67. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra a pesszimista változat alapján



68. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra az átlagos változat alapján



69. ábra: A modellezett karsztvízszint 2030-ra az optimista változat alapján

2.5.6 A vízmérleg kinyerésének menete a numerikus modellből

A numerikus modellezés egyik kimeneti eredménye a vízmérleg. A víztestenként és rétegenként a numerikus modellből kinyert, számszerűsített eredményeket, mivel ez az állapotértékelés egyik lényeges eleme, a III. kötetben mutatjuk be.

Horizontálisan 3 tartományra vizsgáltuk a vízmérleg alakulását: 1-2. réteg (fedő); 3-4. réteg (függőkarsztok) és 5-8. réteg (főkarsztvíztároló). Tehát, a tranziens numerikus modellből egyrészt kiolvastuk a főkarsztvíztároló vízmérlegét, másrészt a fedőképződmények vízmérlegét is meghatároztuk. Az adatok kinyerését 5 időpontra végeztük el, ezek a következők:

- 1990-es állapot
- 2019-es állapot
- 2030-as állapot:
    - átlagos szcenárió
    - pesszimista szcenárió
    - optimista szcenárió

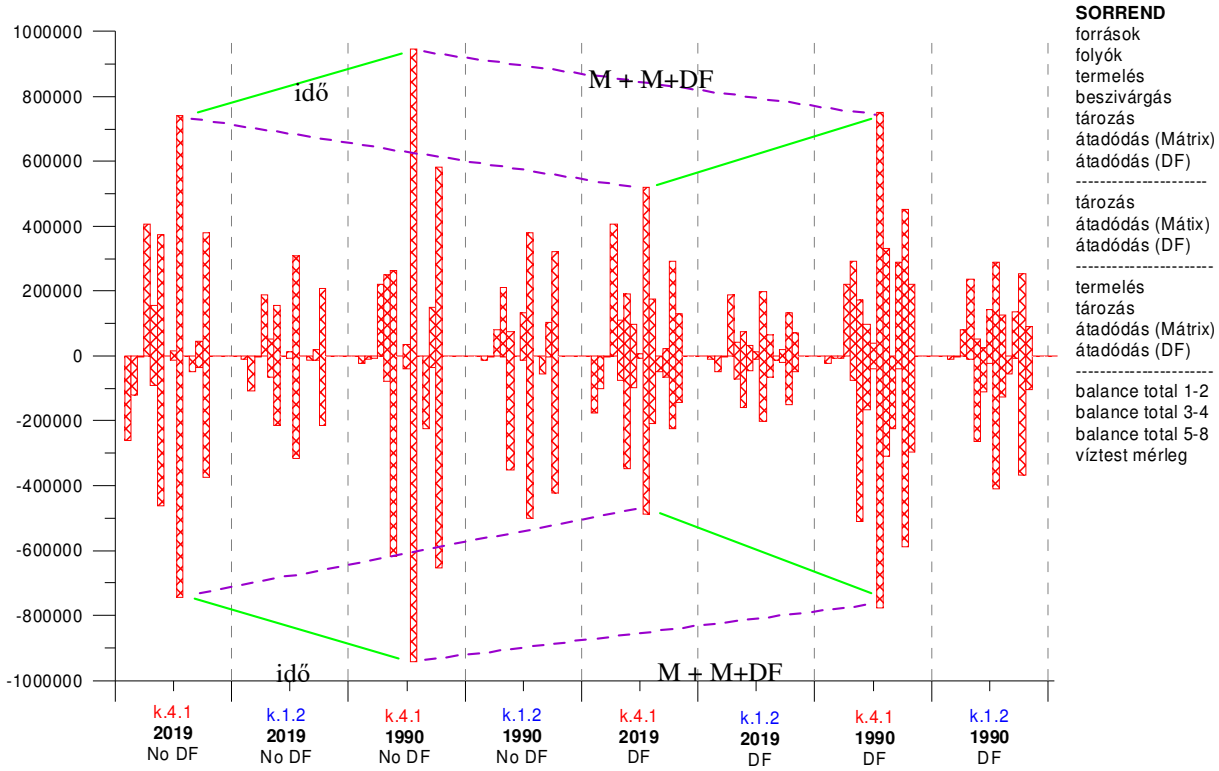
A numerikus modell felépítéséből következően, a beszivárgás, folyók és a források vízmennyisége az 1-2. réteg tartományban jelentkezik, a termelés az 1-2. és 5-8. rétegekben van, míg a tározásból felszabaduló vízmennyiség, a kőzeten (mátrix) keresztüli átadódás és az átadódás vetőn (discrete feature, DF) keresztüli átadódás mindhárom tartományban jelentkezik. A három egymáson elhelyezkedő tartomány vízmérlege adja a főkarsztvíztároló és a fedőképződmények együttes vízmérlegét. Ahol a főkarszt a felszínen van, ott a 3 tartomány együttes mérlege fogja adni a főkarsztvíztároló vízmérlegét.

Egy zárt rendszeren belül, permanens áramlás esetén, ha a mérleg nem nulla, akkor az a numerikus számítás hibája, tranziens esetben a numerikus számításból és a tározásból adódik a nullától való eltérés. Adott esetben az oldalra nyitott rendszer áramlását is szimuláljuk, így a nullától való eltérést az oldalra irányuló áramlás mérlege is befolyásolja.

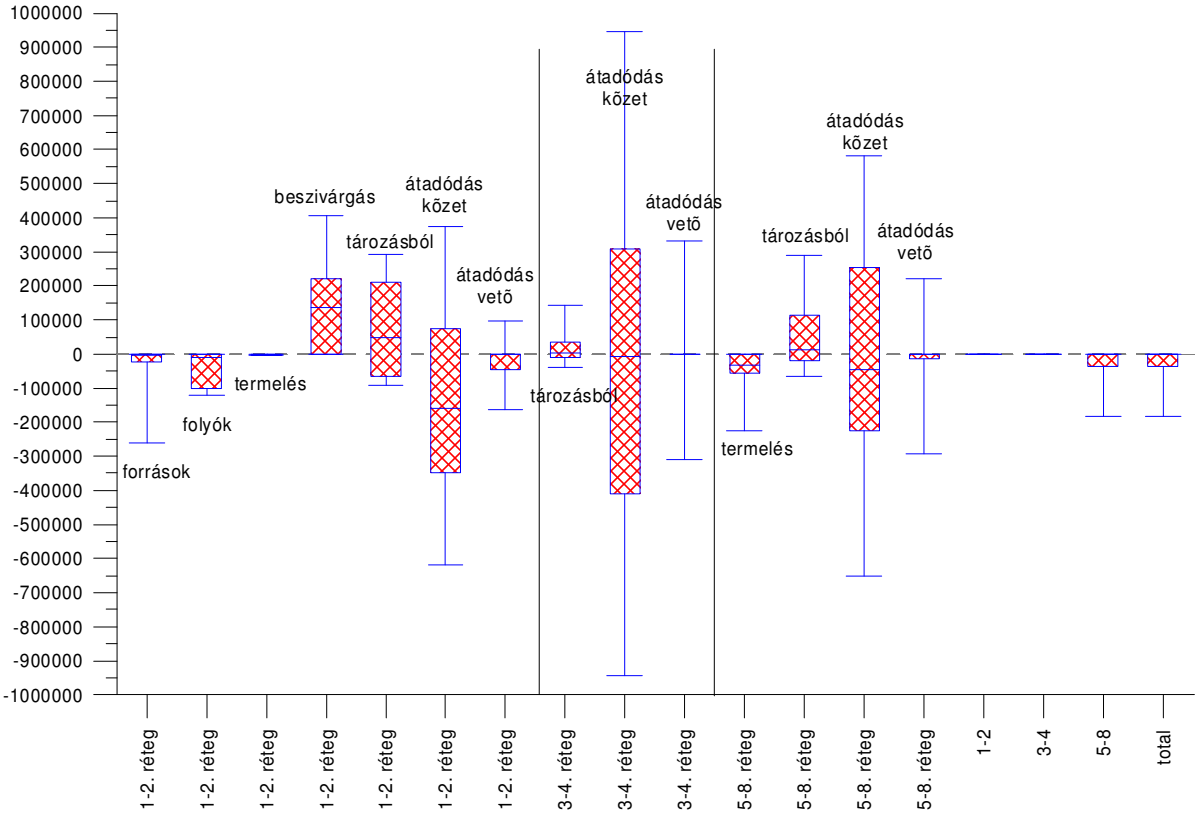
A ***71. ábra*** floating bar diagramja mutatja be a k.4.1 és a k.1.2 karsztvíztestek példáján a modellezett és számszerűsíthető mérlegelemeket és azok változását a modellrétegek között az egyes modellezési szcenáriókban.

Lényeges eleme a numerikus modellnek, hogy a vetőkben zajló feltételezett áramlás nagyságát is tudja becsülni és számszerűsíteni, ami egy karsztvíztárolóban nagyon fontos. A vetők a mátrixban folyó áramlást a DF elemek beépítésével, részben át tudják venni, a vízháztartás szinte minden eleme változik (kivéve a beszivárgás és a termelés), de a tartomány mérlege alig módosul, így a teljes víztest mérlege is szinte változatlan marad.

A különböző vízmérleg elemek Box-Whisker diagramja a ***71. ábra*** tartalmazza. A vízmérleg hiányért gyakorlatilag az 5-8. domain a felelős. A 3-4. domain gyakorlatilag csak közvetíti a beszivárgást a felette lévő 1-2. domainből az 5-8. domain felé.



70. ábra: A k.4.1. és k.1.2. víztestek vető nélküli és vetőt tartalmazó modell változatok vízmérleg elemeinek diagramja



71. ábra: A k.4.1. és k.1.2. víztestek vetőt tartalmazó modell változat vízmérleg elemeinek Box-Whisker diagramja

2.6 Eredmények értelmezése

A modellezés a Dunántúli-középhegység karszt rendszerének hidrodinamikai viszonyainak vizsgálatára, a dinamikus vízkészlet eloszlásának felbecsülésére, vízkivételek- és környezeti hatások előrejelzésére készült.

A kapott eredmények értelmezéséhez figyelembe kell venni a beépített adatok megbízhatóságát, a matematikai szimuláció algoritmusait és a modellezés korlátait.

A numerikus szimuláció eredményei a modellezett terület földtani, vízföldtani ismereteinek jelen állapotát tükrözik, azokra épülnek. Bármely új adat, ami a modellbe beépített feltételezéseknek ellentmond, a bemenő paraméterek megváltoztatását és a szimuláció újrakezdését igényelheti. Elfogadható eredményeket csak akkor várhatunk, ha a rendelkezésre álló bemeneti adatok ellentmondásmentesek és ismereteink mai szintjén megfelelnek a valóságnak [4].

A szórványos vagy hiányos adatok regionalizálása miatt a lokális eredmények kisebb hibákkal terheltek lehetnek. Ezen ”hibák” az adatok helyi változékonyságából is származhatnak, melyeket az ismerethiány miatt modellezni nem lehet. További hibák forrása lehet a mintavételezés időbeli eltérése, amelyet még a tranziens esetben sem lehet midig figyelembe venni.

Az eredmények pontossága csak az aktuális ismereteink szerint elfogadott és használt geológiai, hidrogeológiai és numerikus módszerekhez tartozó egyszerűsítésekből és megközelítésekből származó hibák határain belül biztosított. Az eredmények felbontása nem haladhatja meg a bemeneti adatok felbontását, azoknál minimum 1 nagyságrenddel kisebb.

A modell mindig egy adott problémára, megoldására készül, de a megoldás helyett általában csak a bemeneti paraméterek változtatásának következményeire és egymásra gyakorolt hatásaira világít rá, így segítve a dinamikus áramlási rendszer jobb megértését. Vagyis nem egy tökéletes modell van, ha nem több jó modell és ezek összehasonlítása, különbségeik értelmezése lesz a modellezés eredménye. Nincs végleges modell, csak az adott ismereteinken alapuló, melyet az újabb ismeretek tükrében folyamatosan lehet finomítani.

A numerikus modell működésével kapcsolatban Klemeš (1986) [7] megjegyzését idéznénk "*For a good mathematical model it is not enough to work well. It must work well for the right reasons. It must reflect, even if only in simplified form, the essential features of the physical prototype.*" Durva fordításban: Egy jó matematikai modell nem elég, ha jól működik. Megfelelő okokból kell jól működnie. Egyszerűsített formában tükröznie kell a valóság alapvető/lényeges jellemzőit.

Vagyis nem attól lesz jó a modell, hogy az adott paraméterekre a legpontosabb eredményt adja, hanem attól, hogy a beépített algoritmusok és adatok a felszín alatti környezetének egy szeletének változását jó megközelítéssel írják le.

3. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Domenico, P.A. and F.W. Schwartz, 1990. Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 824 p.

[2] Haas J. (ed.) 2010. Magyarország pre-kainozoos térképe, M=1:500'000. Magyar Állami Földtani Intézet.

[3] Horváth F., Bada G., Windhoffer G., Csontos L., Dövényi P., Fodor L., Grenerczy Gy., Síkhegyi F., Szafián P., Székely B., Timár G., Tóth L., Tóth T. (2005): A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó. OTKA T034928 http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm (2012.12.07-én)

[4] Király L. 1998 Modelling karst aquifers by combined discrete channel and continuum approach. Bulletin d'Hydrogeologie. No. 16 (1998): 77-98.

[5] Schmieder A., Szilágyi G.: 1988: Dunántúli-középhegység főkarsztrendszerének terhelése és terhelhetősége. Bányászati és Kohászati Lapok 121. évf. 2. különszám. pp. 72-89

[6] Smaragd-GSH Kft.-Országos Vízügyi Főigazgatóság 2012: Éghajlatváltozás hatásai az ivóvízellátásra |(Climate Change and impacts on Water Supply CC-Waters (CC-WaterS). Jelentés. OVF adattár.

[7] V. Klemeš 1986 Dilettantism in Hidrology: Transition or Destiny? Water Resources Research Vol.22, No.9, p177S-188S

Letöltések

[8] https://www.geology.sk/maps-and-data/mapovy-portal/geological-maps/?lang=en

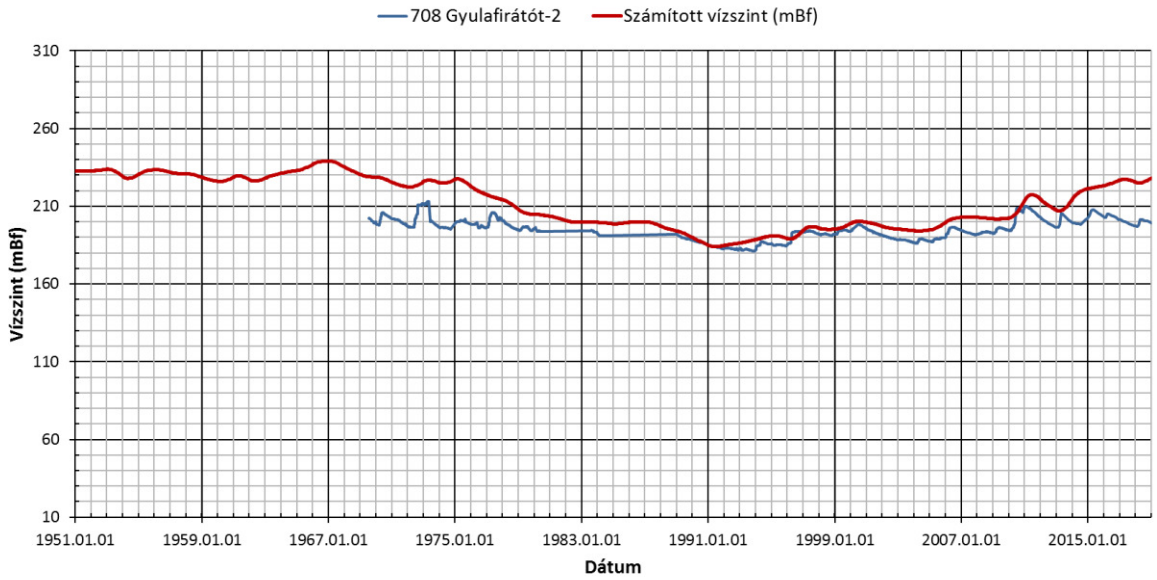
[9] https://www.geoportal.sk/en/sluzby/map-services/

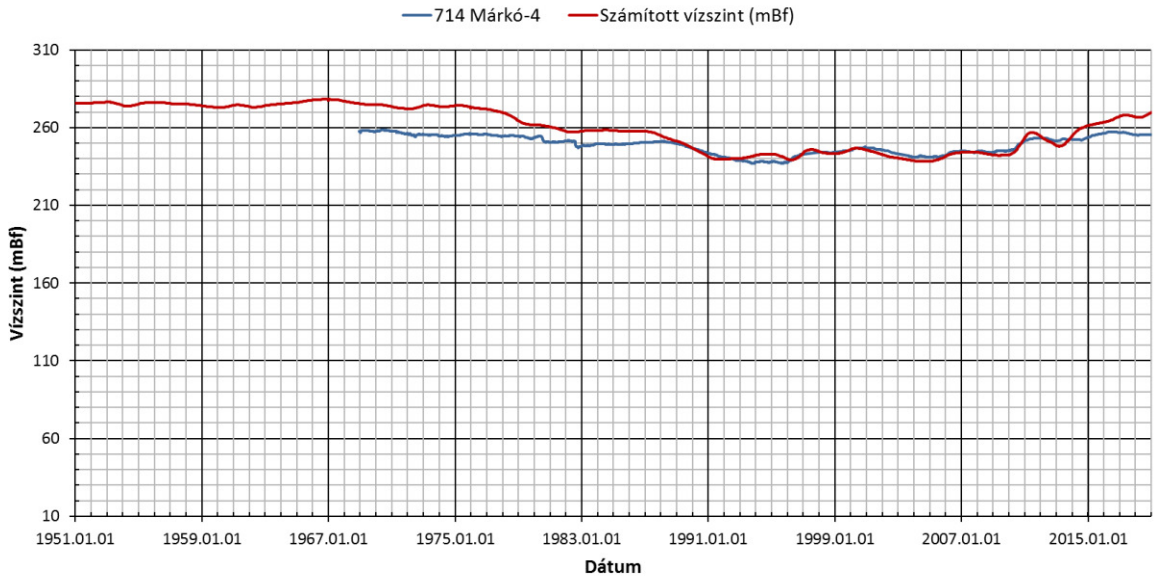
[10] http://hu.t-jam.eu/

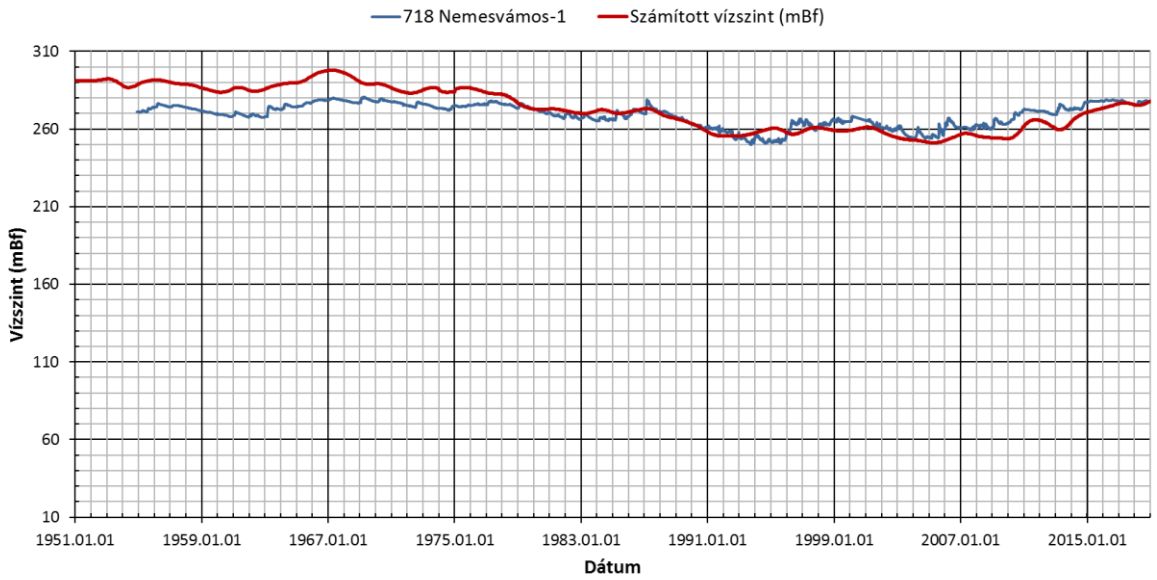
II. kötet – 1. függelék

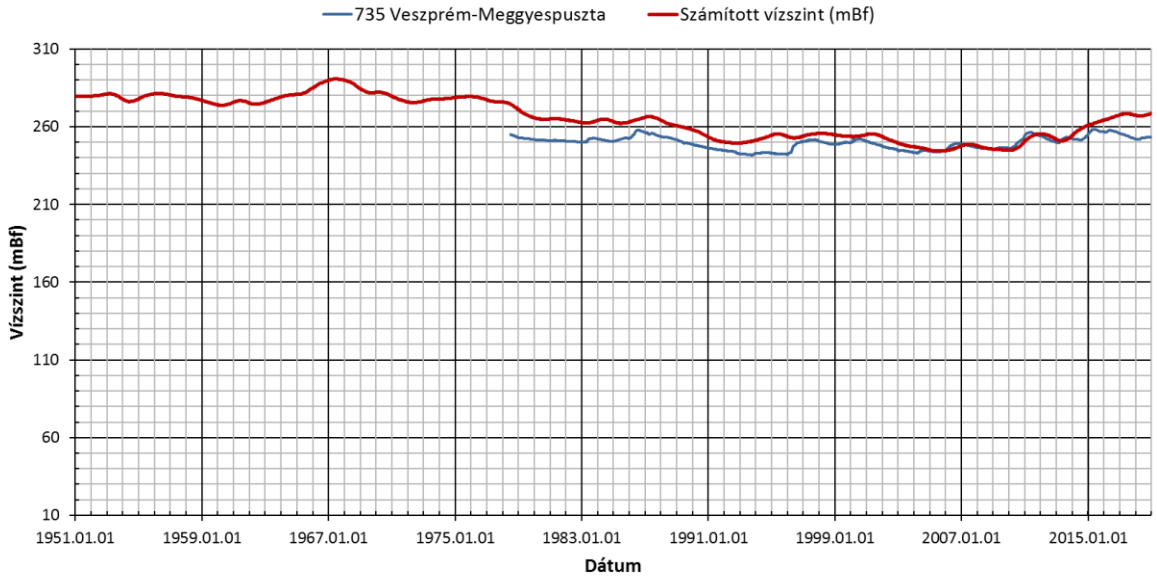
Mért és modellezett karsztvízszint idősorok

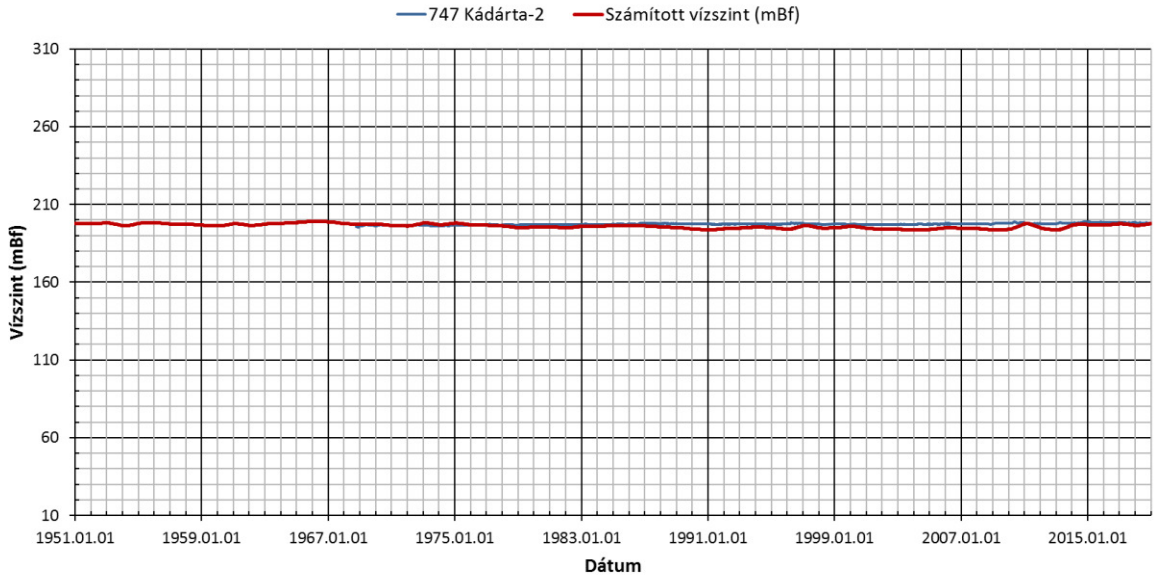
k.1.1 karsztvíztest

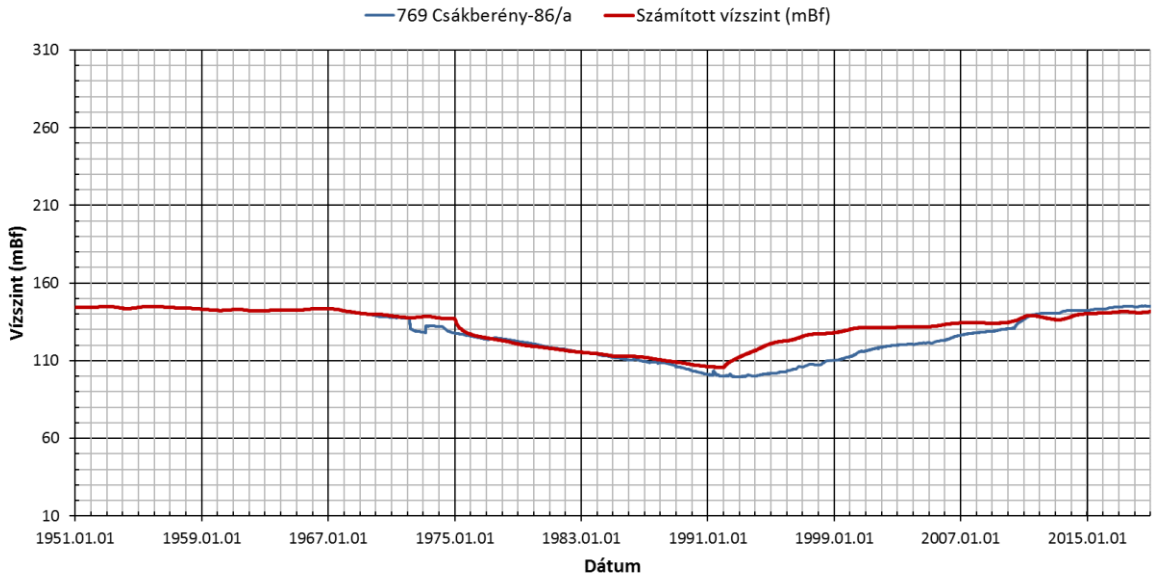


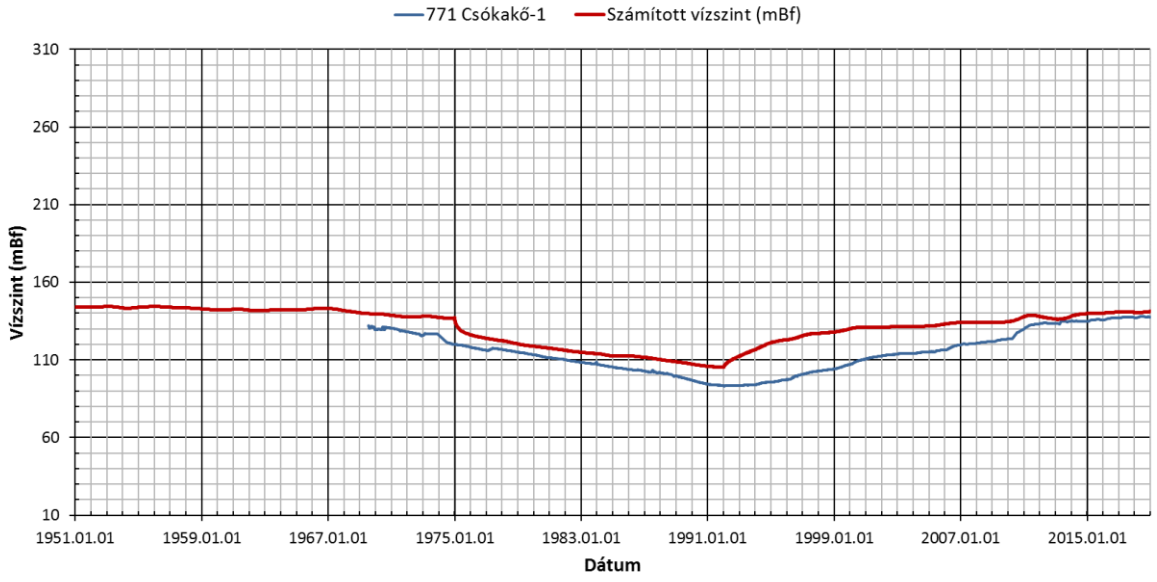


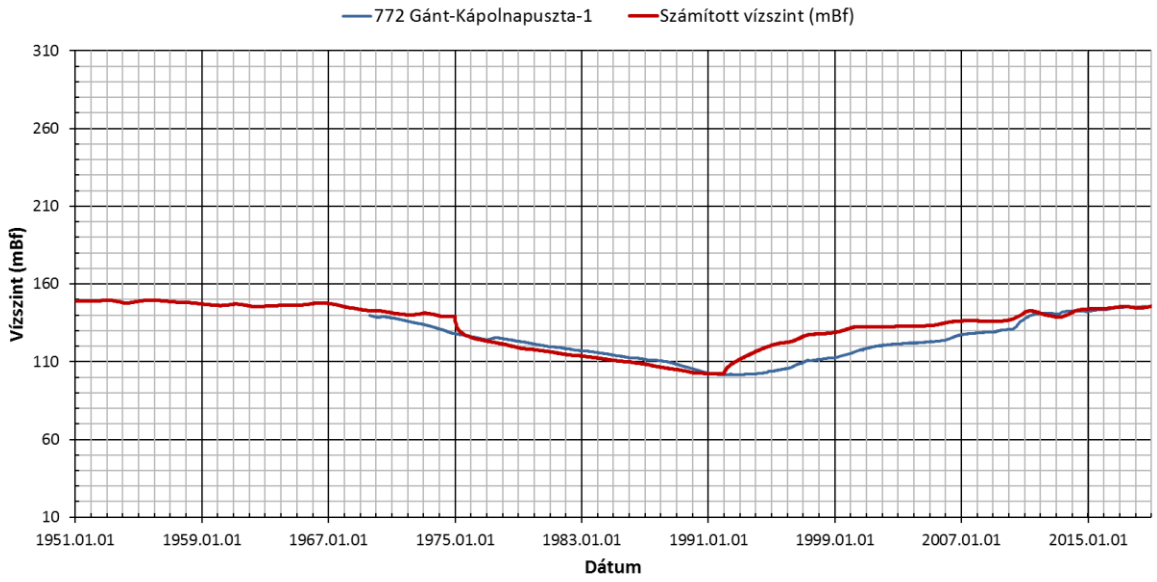


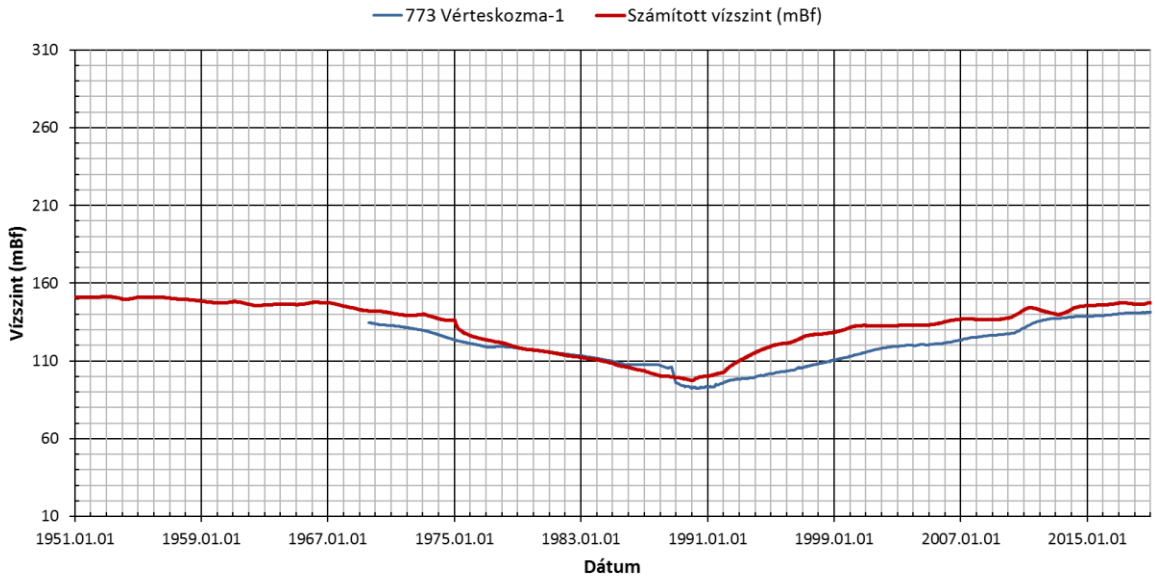

735 Veszprém-Meggyespuszta
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

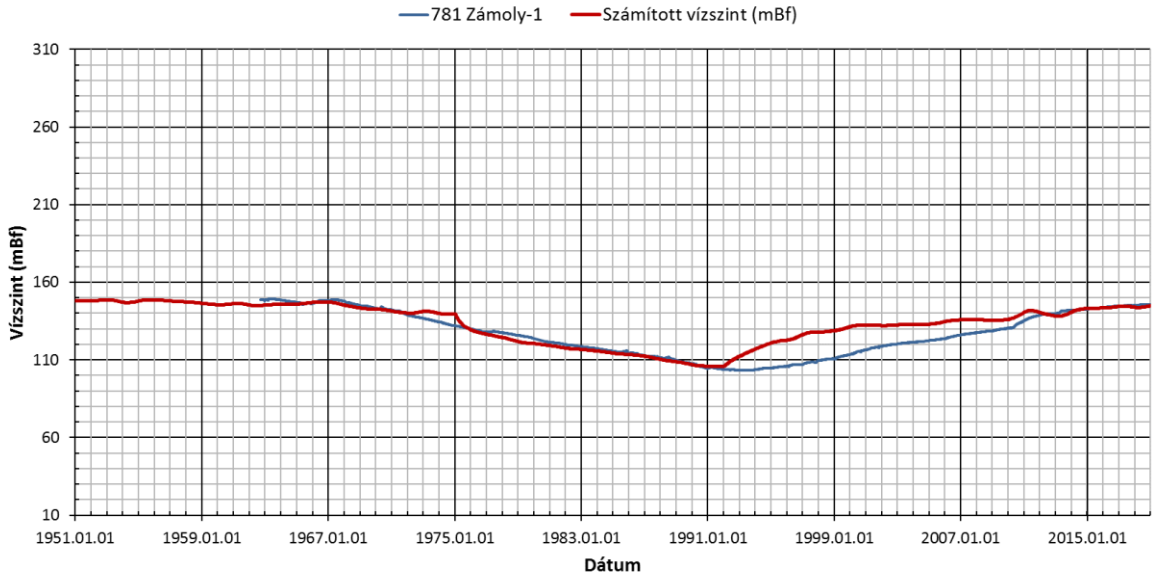

747 Kádárta-2
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

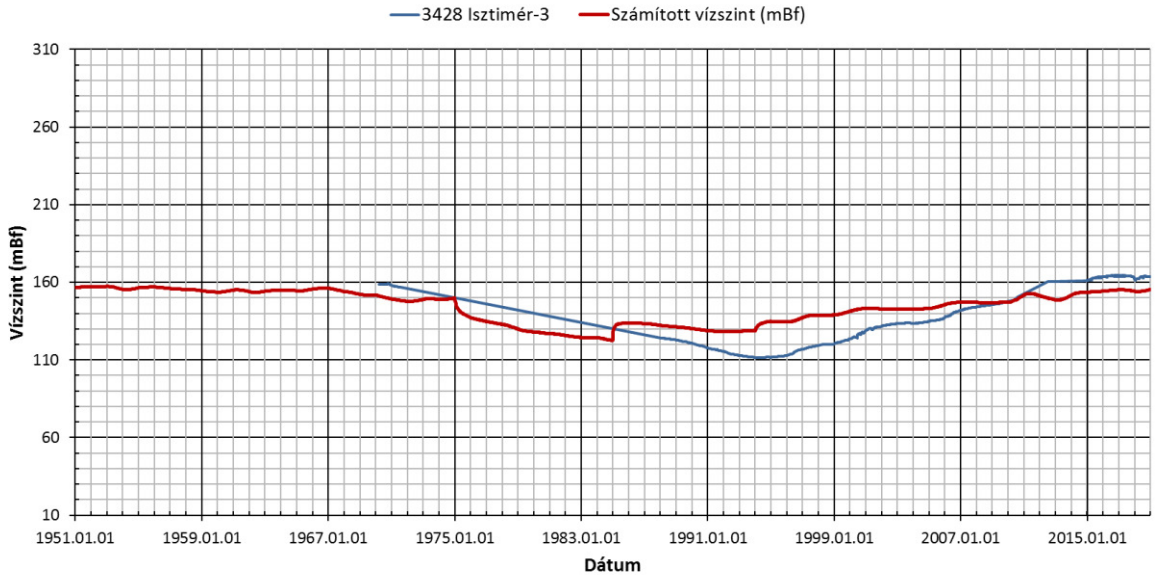

769 Csákberény-86/a
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

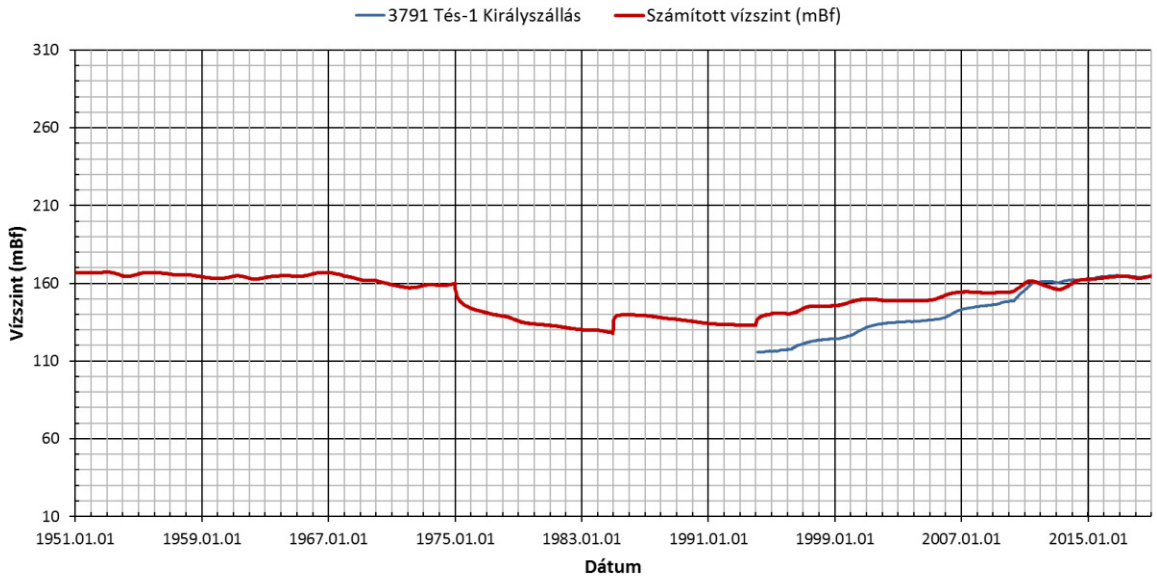

771 Csókakő-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

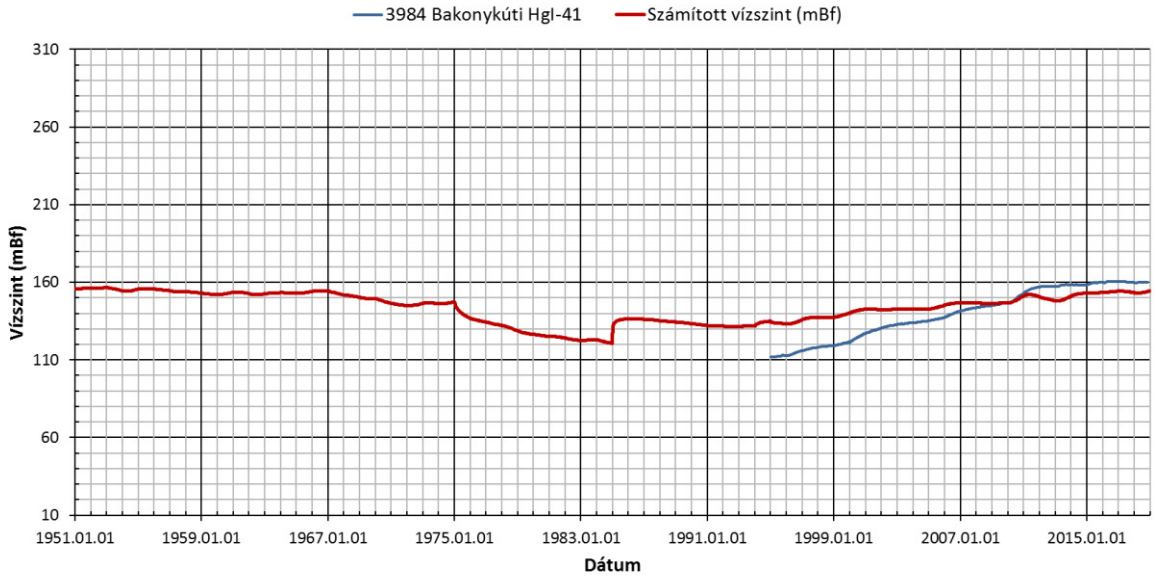

772 Gánt-Kápolnapuszta-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum


773 Vérteskozma-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

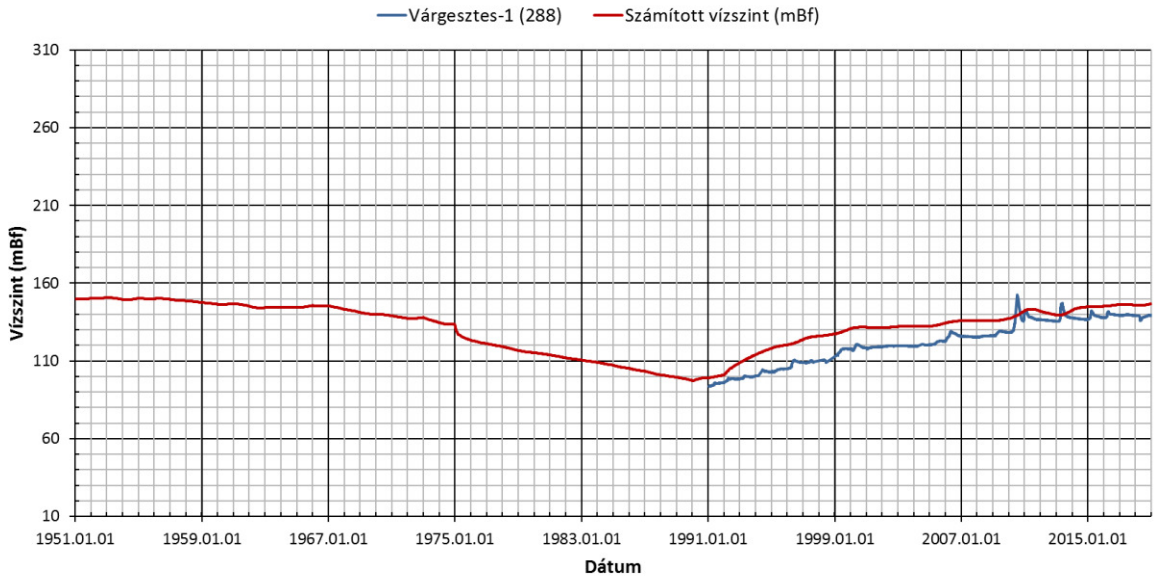

781 Zámoly-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

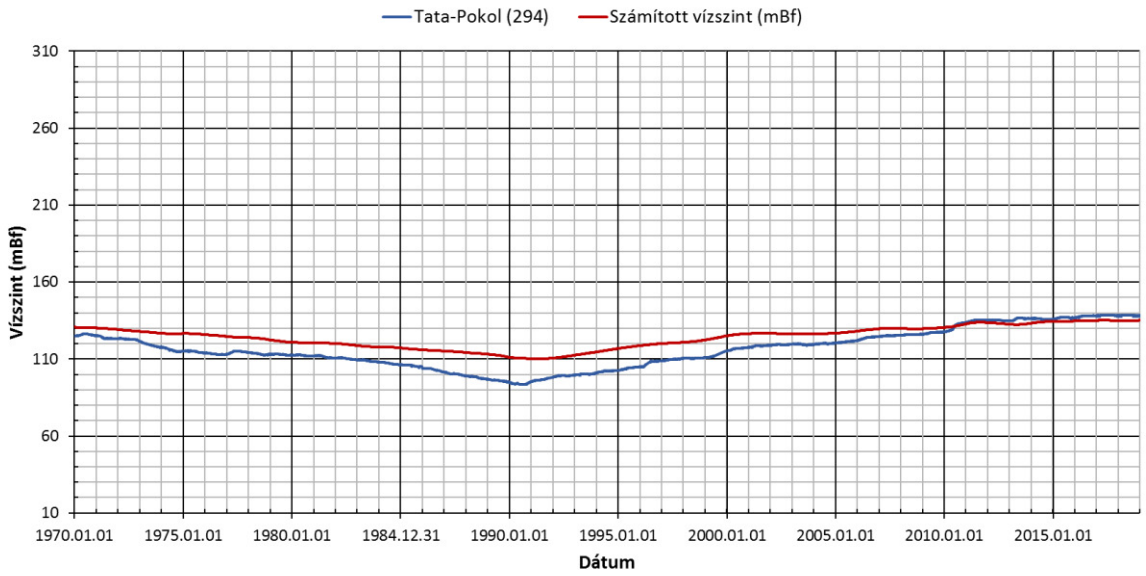

3428 Isztimér-3
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

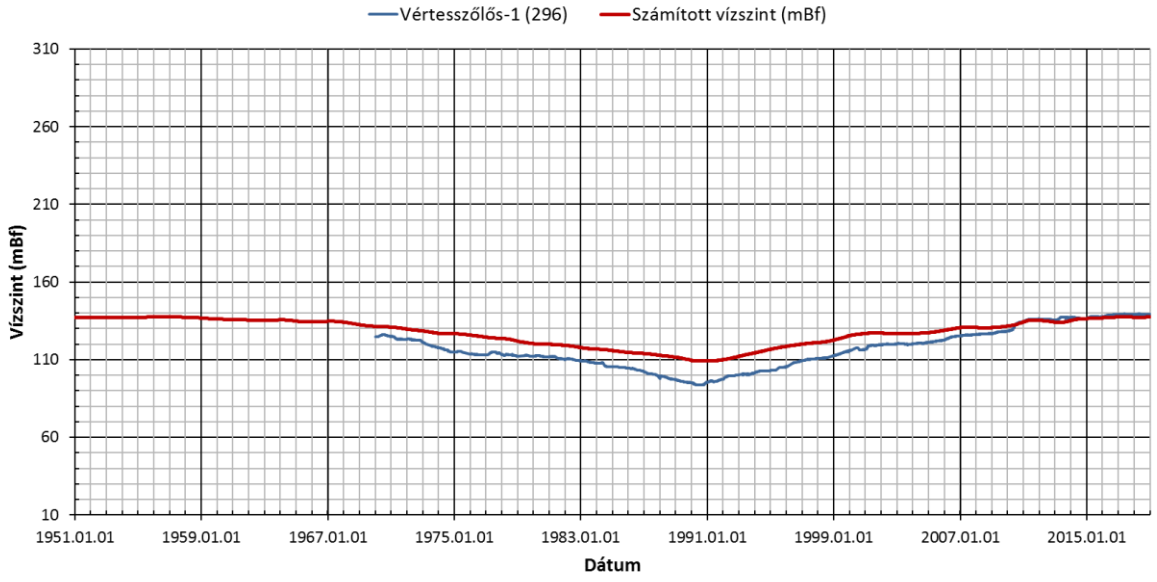

3791 Tés-1 Királyszállás
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

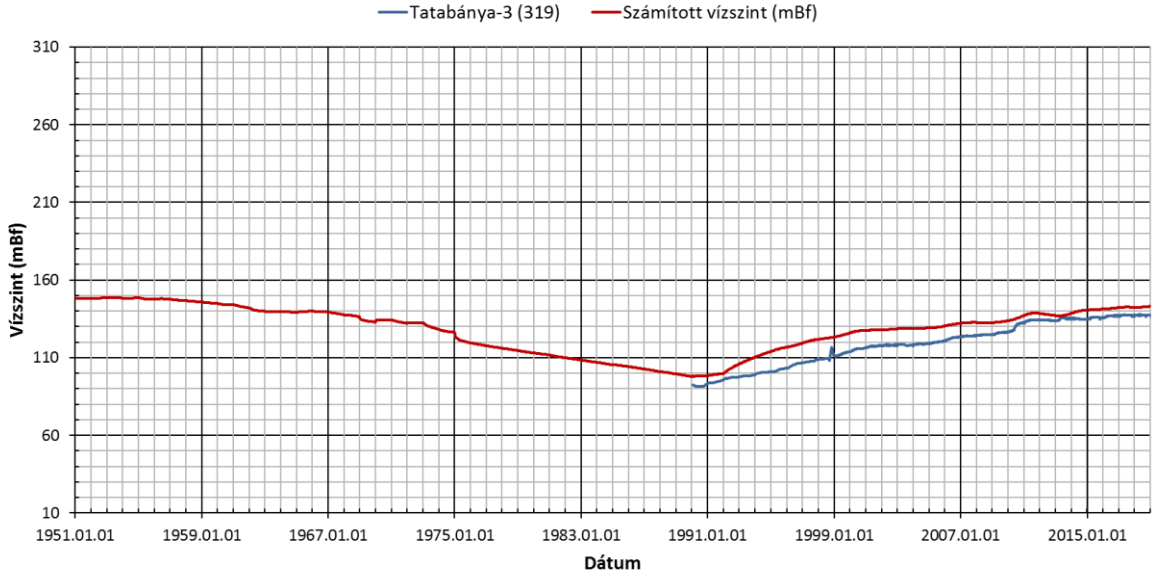


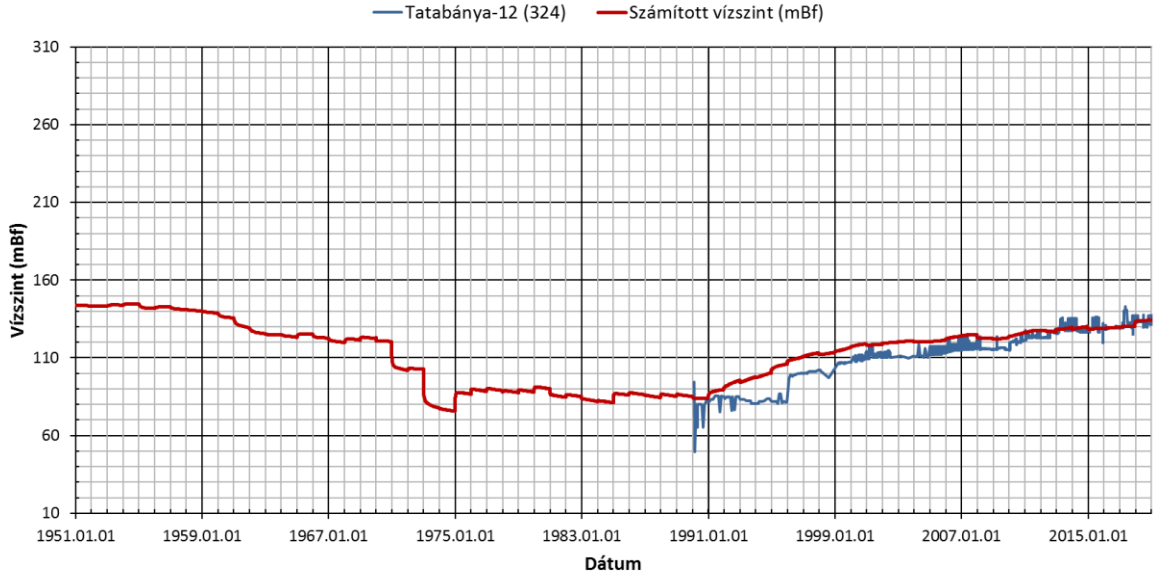
k. 1.2 karsztvíztest

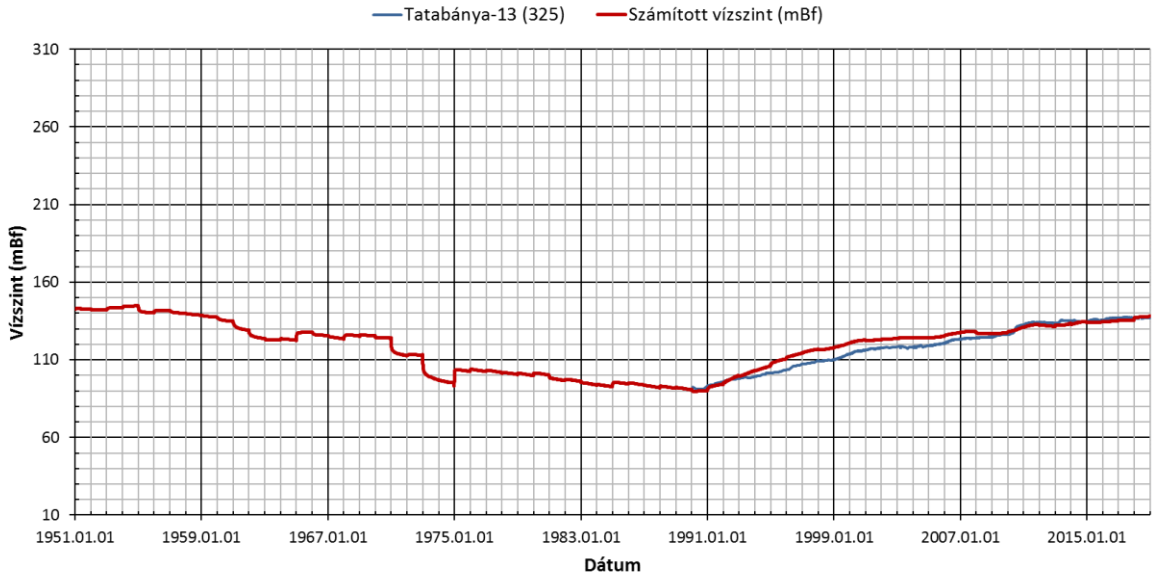


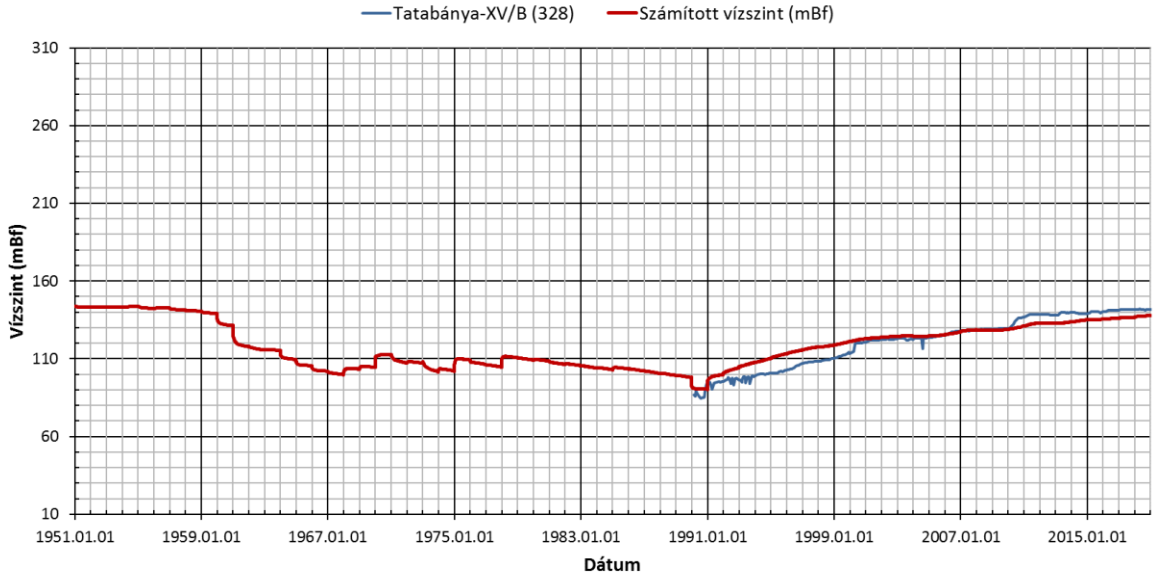


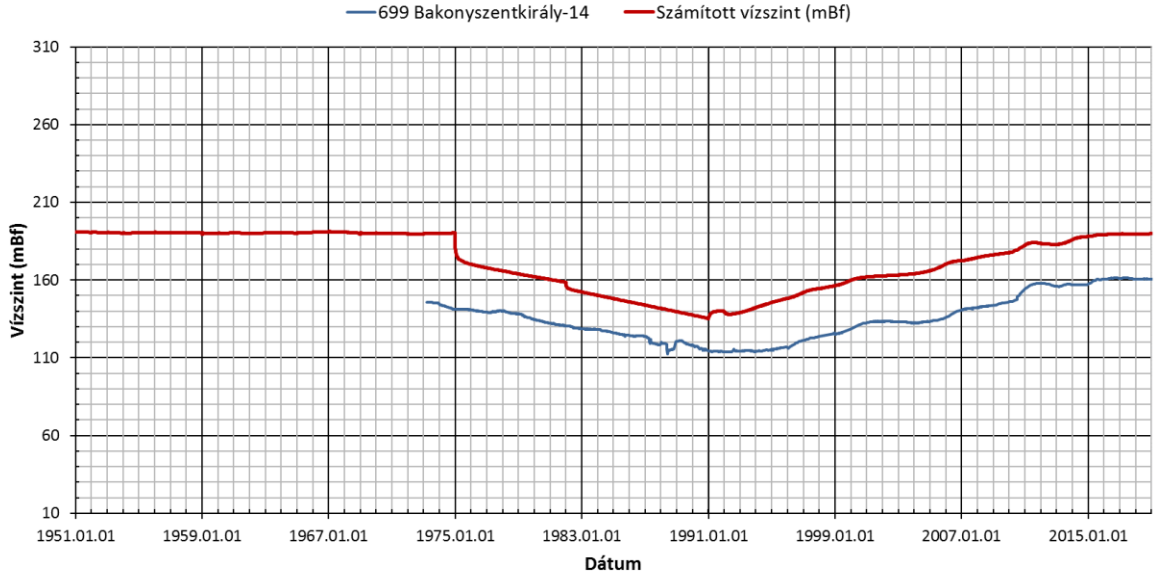

Vértesszőlős-1 (296)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

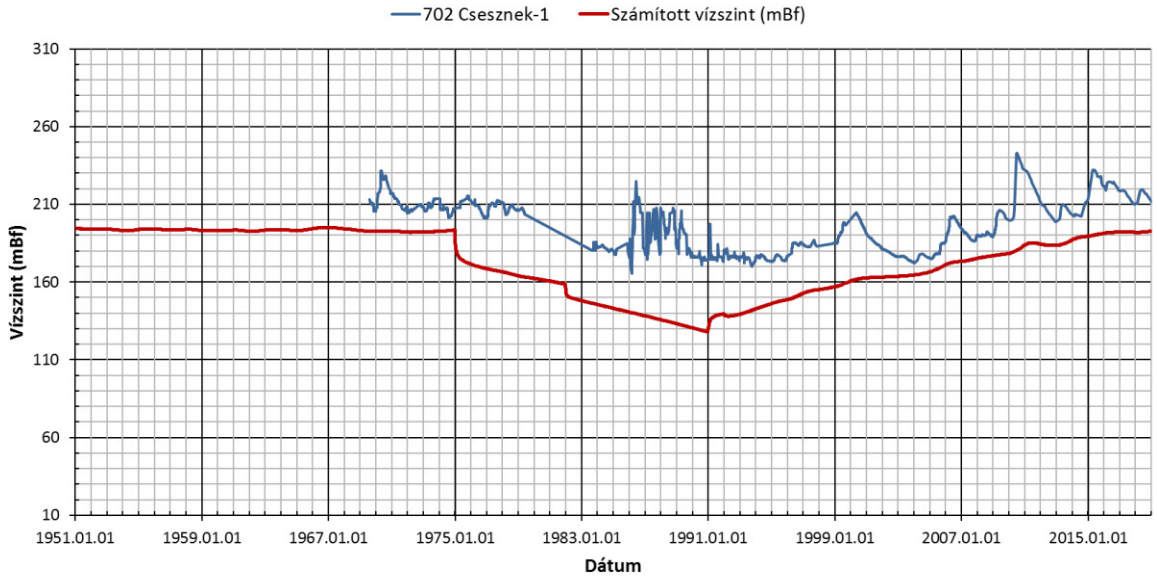

Tatabánya-3 (319)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

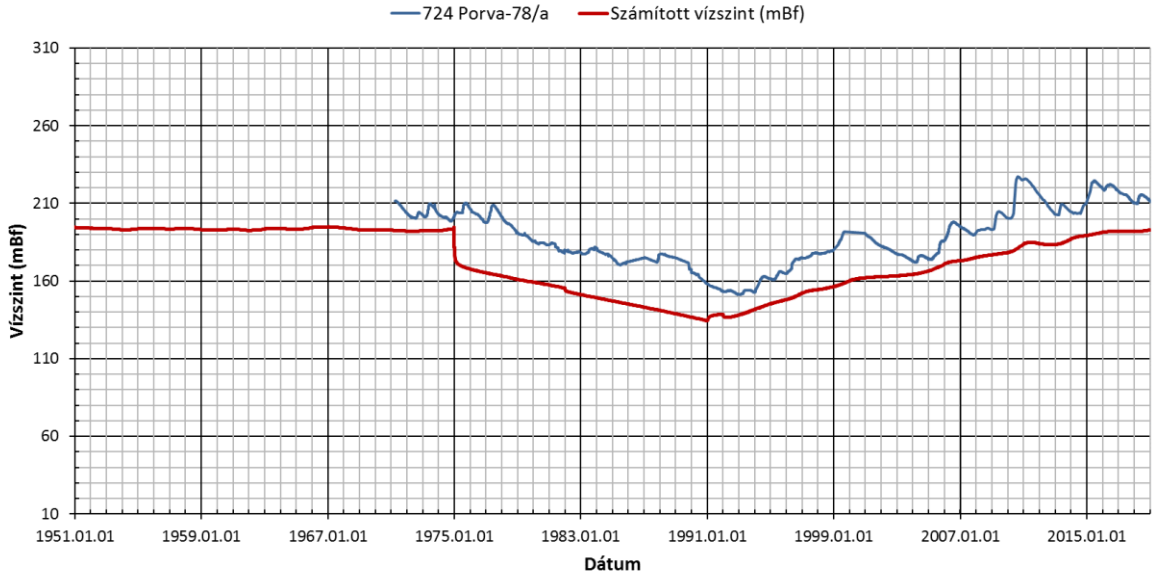

Tatabánya-12 (324)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

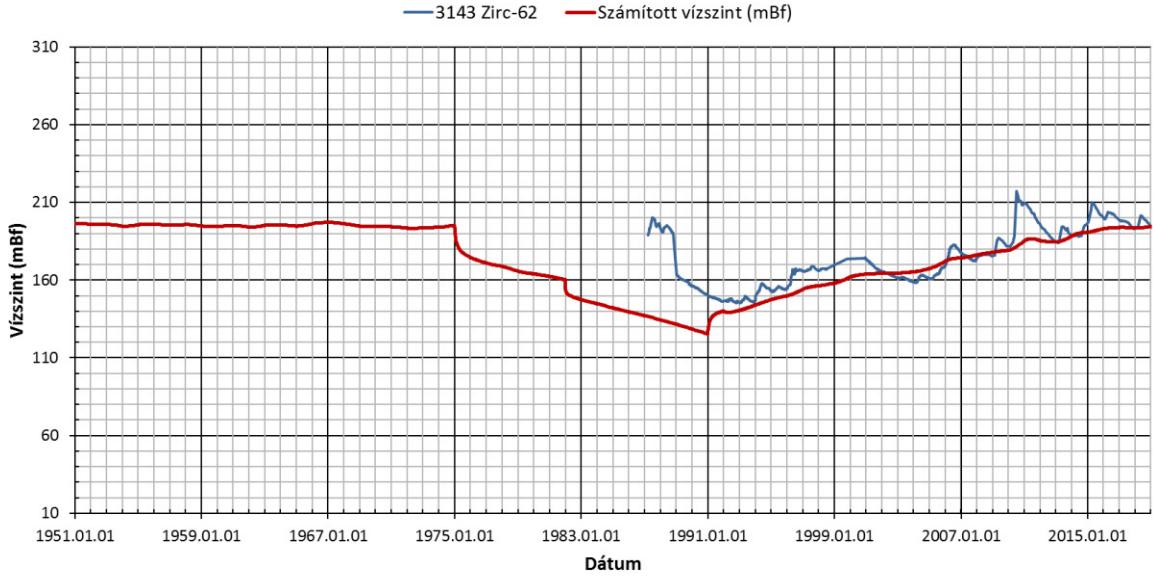

Tatabánya-13 (325)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

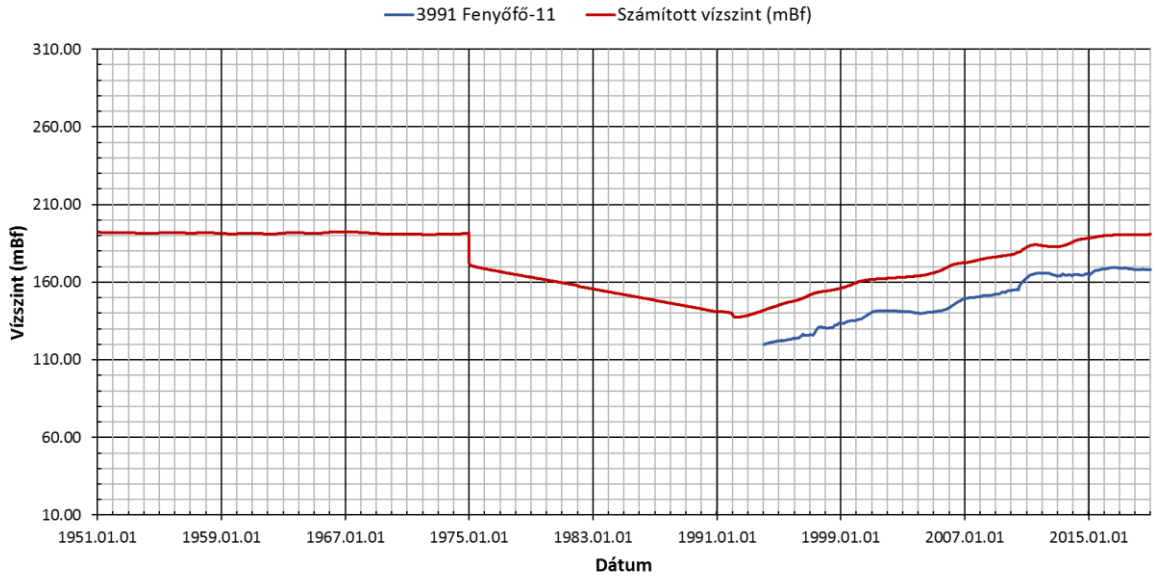

Tatabánya-XV/B (328)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

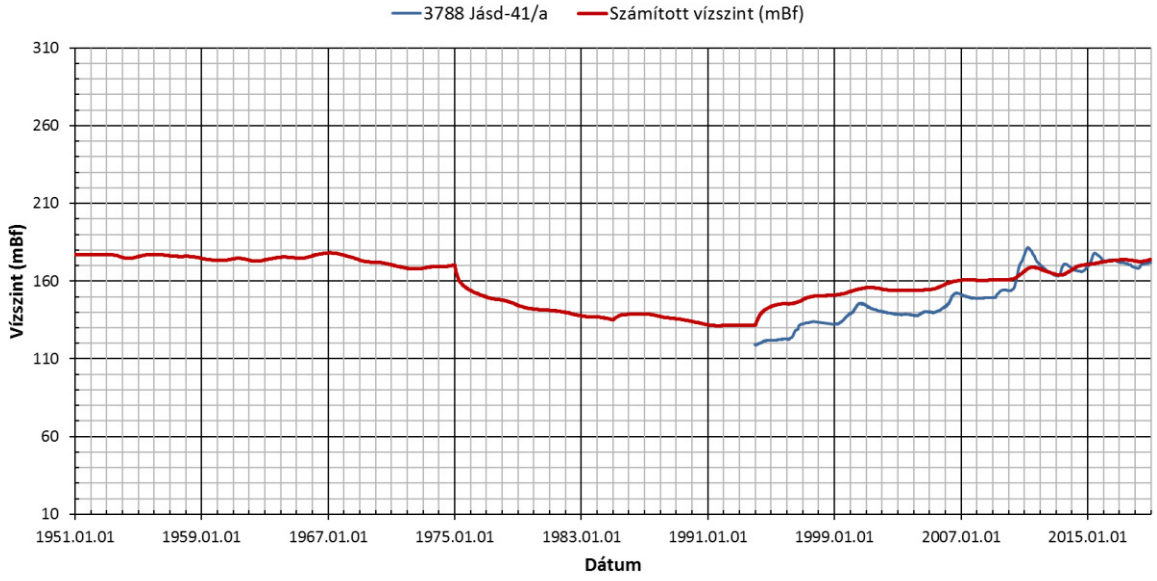

699 Bakonyszentkirály-14
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

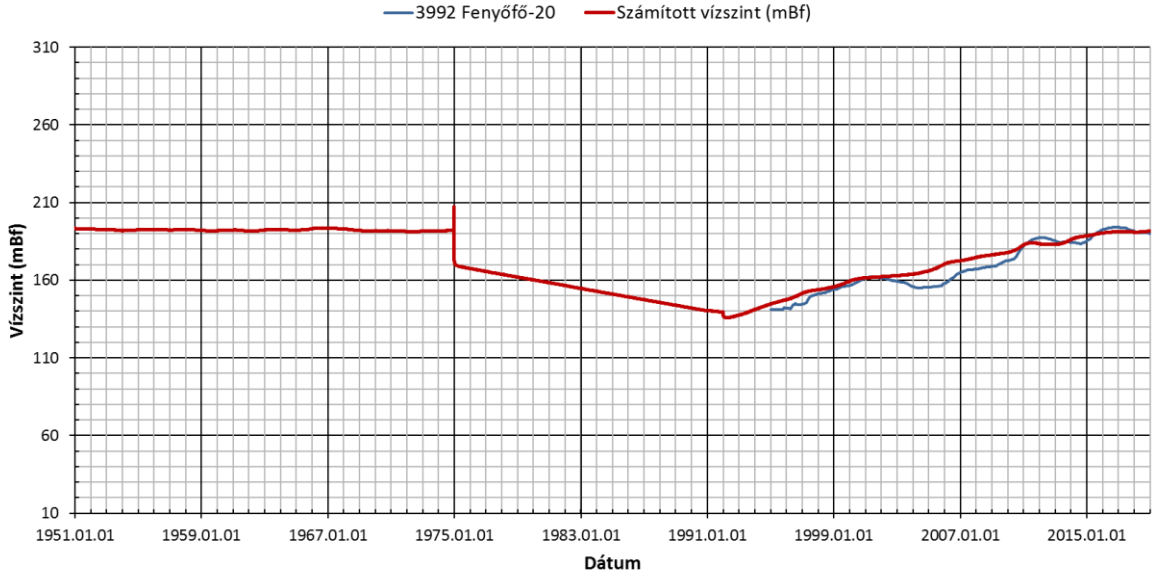

702 Csesznek-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

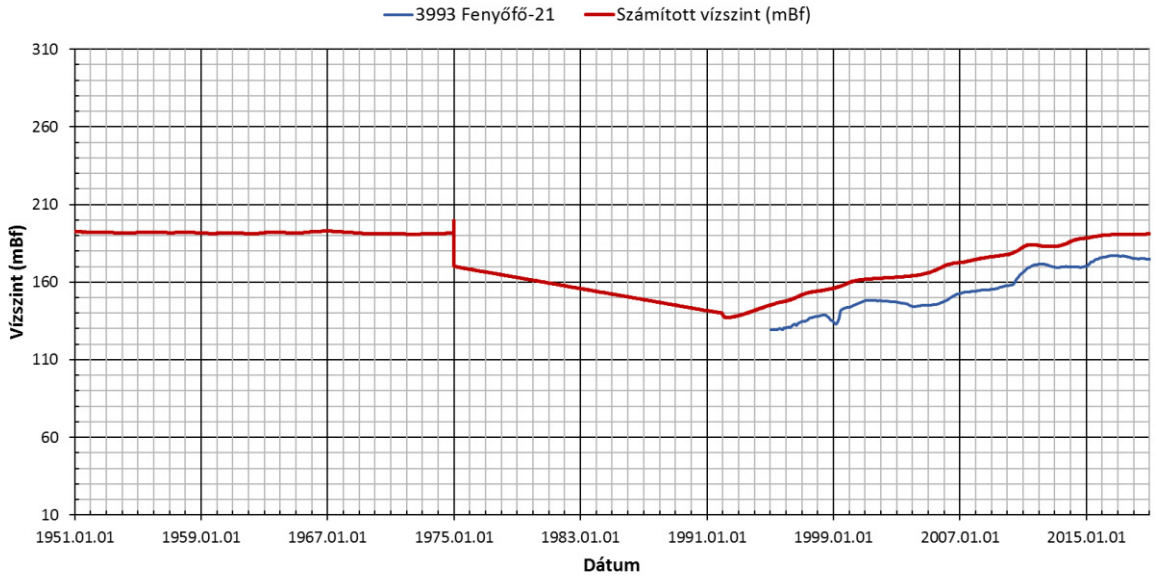

724 Porva-78/a
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

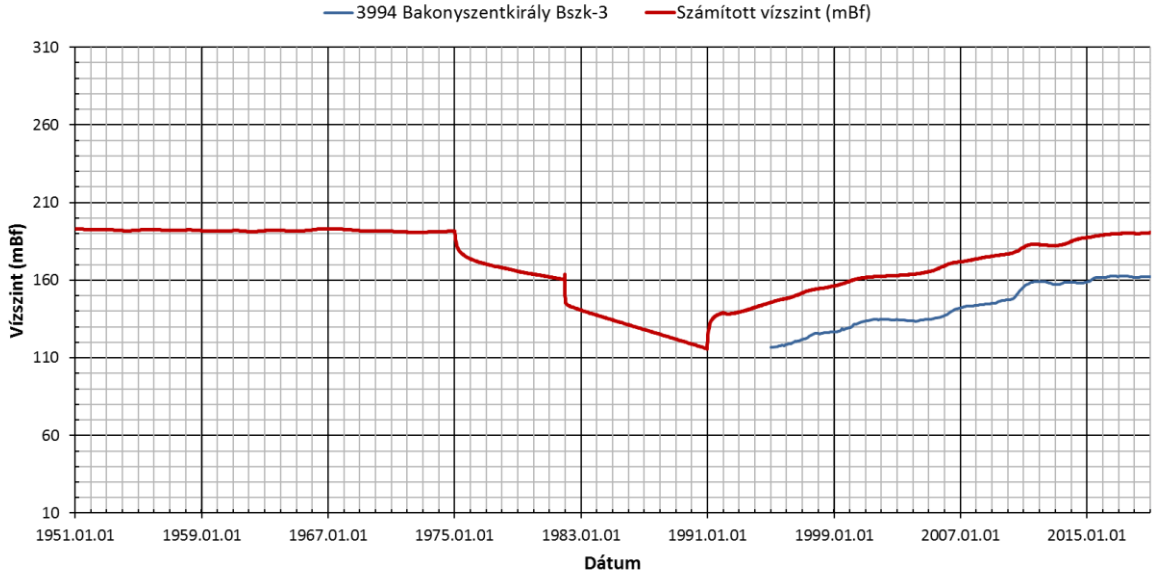

3143 Zirc-62
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

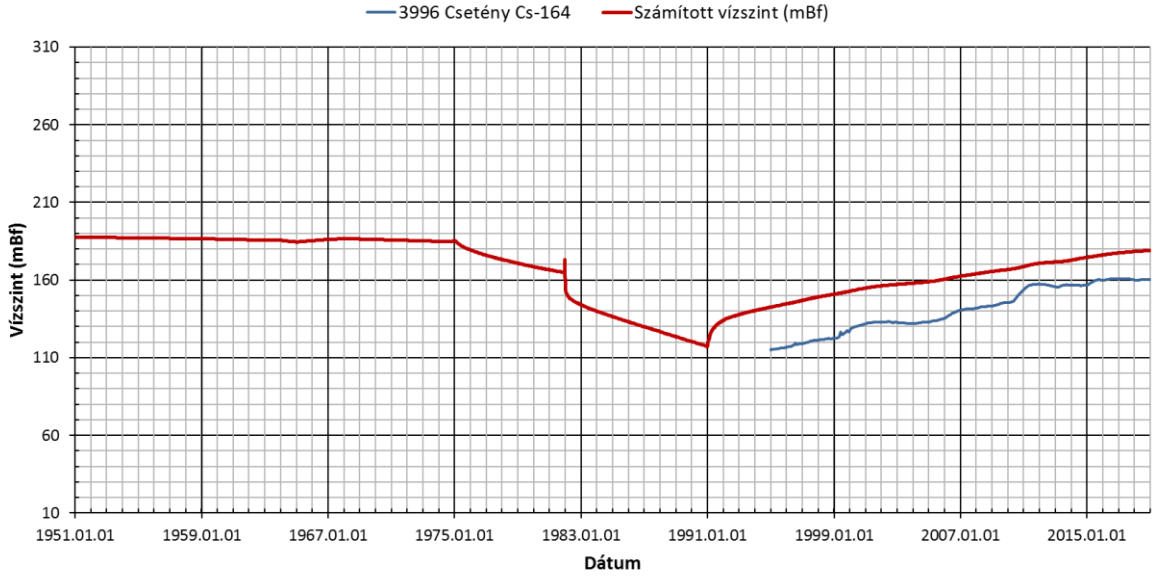

3991 Fenyőfő-11
Számított vízszint (mBf)
310.00
260.00
210.00
160.00
110.00
60.00
10.00
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

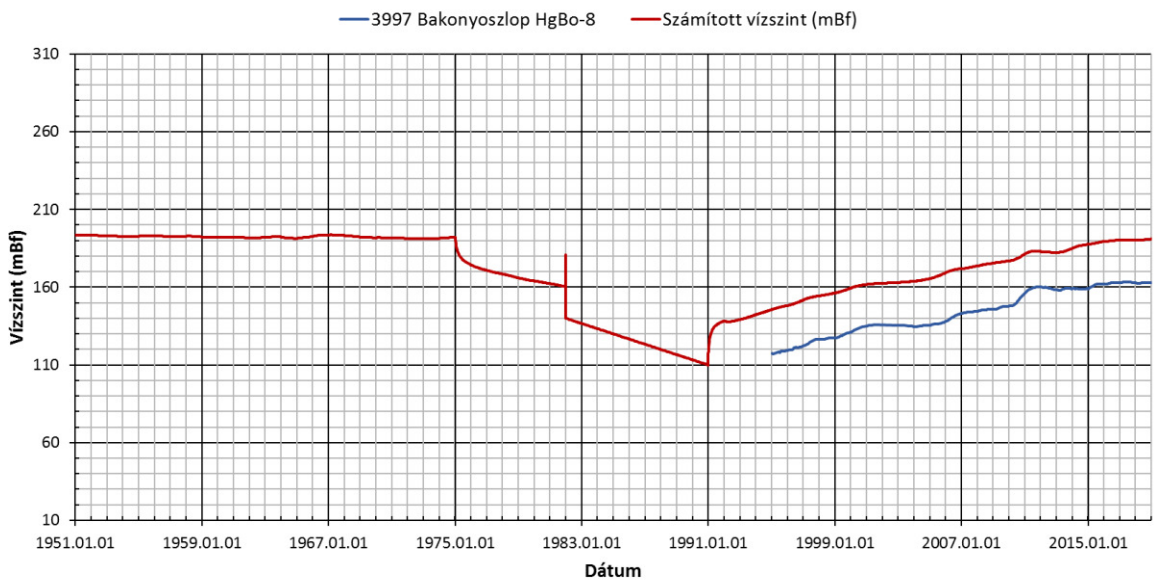

3788 Jásd-41/a
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum


3992 Fenyőfő-20
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

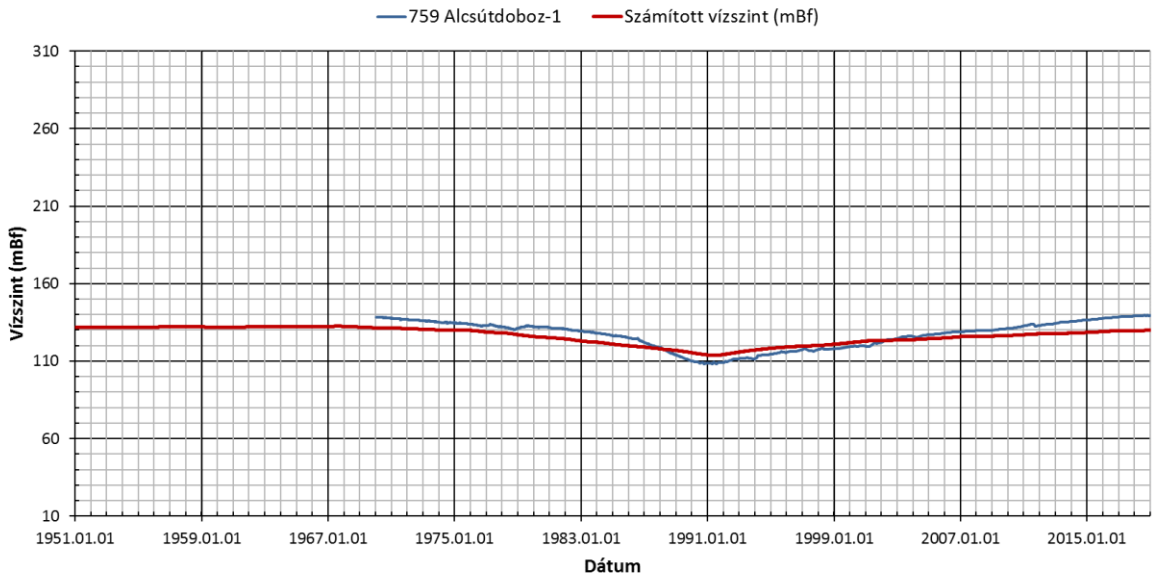

3993 Fenyőfő-21
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

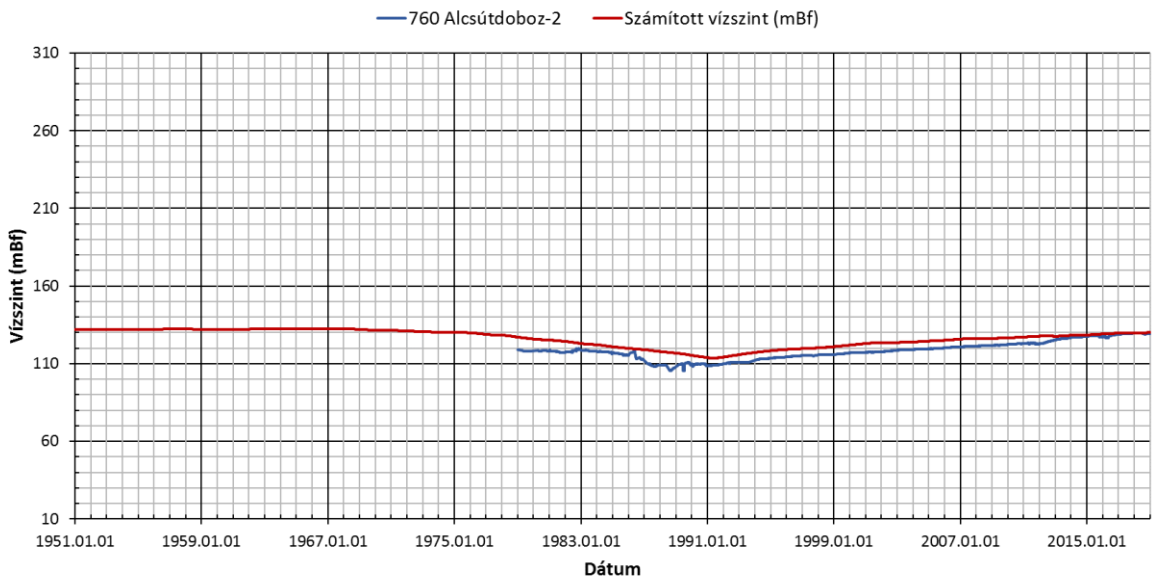

3994 Bakonyszentkirály Bszk-3
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

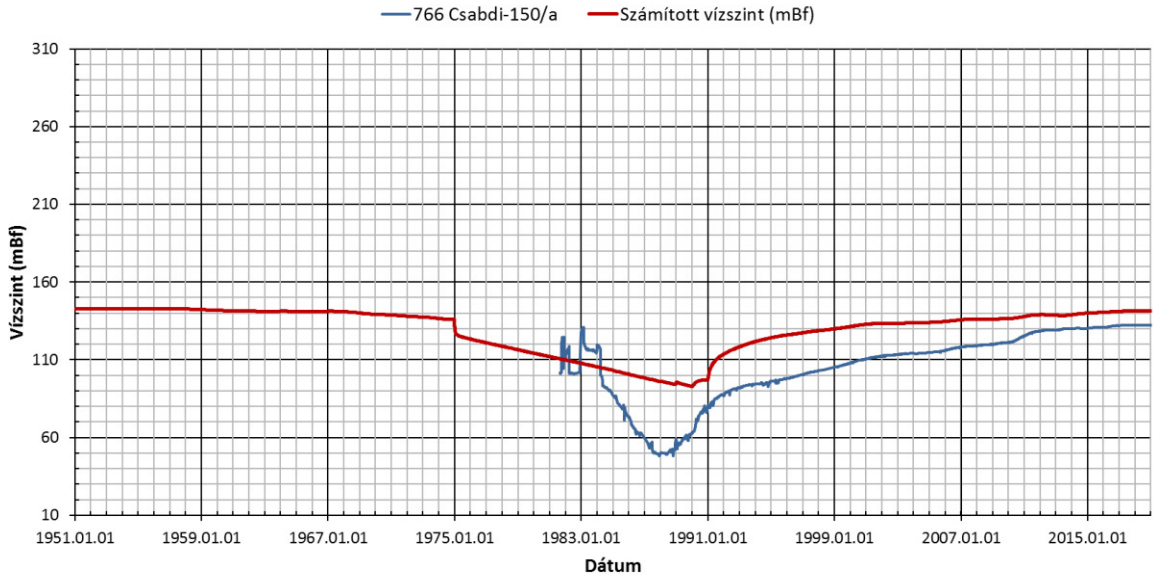

3996 Csetény Cs-164
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

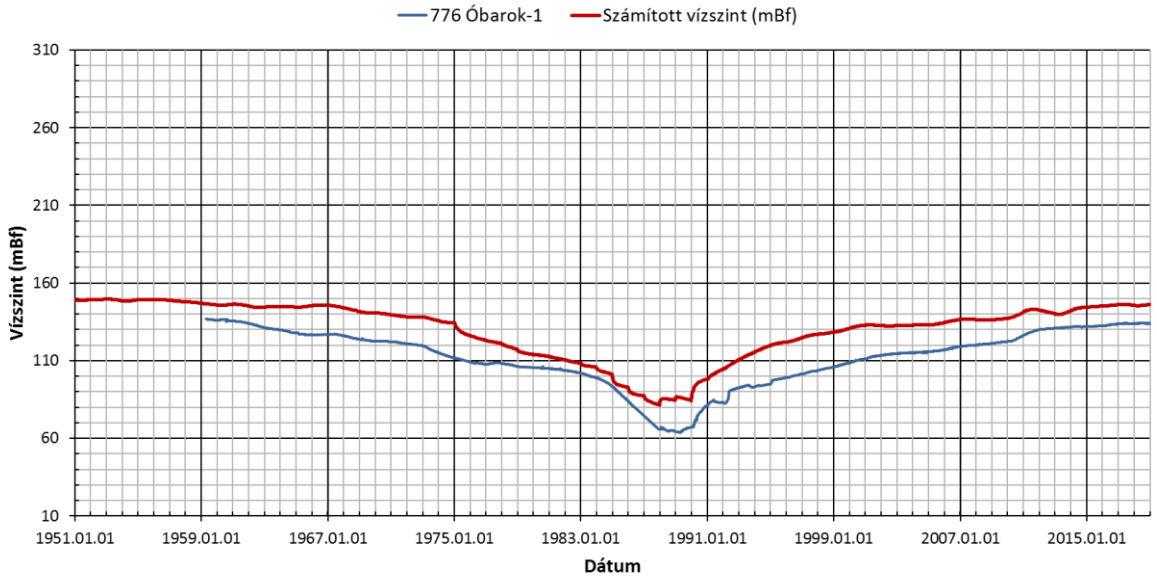


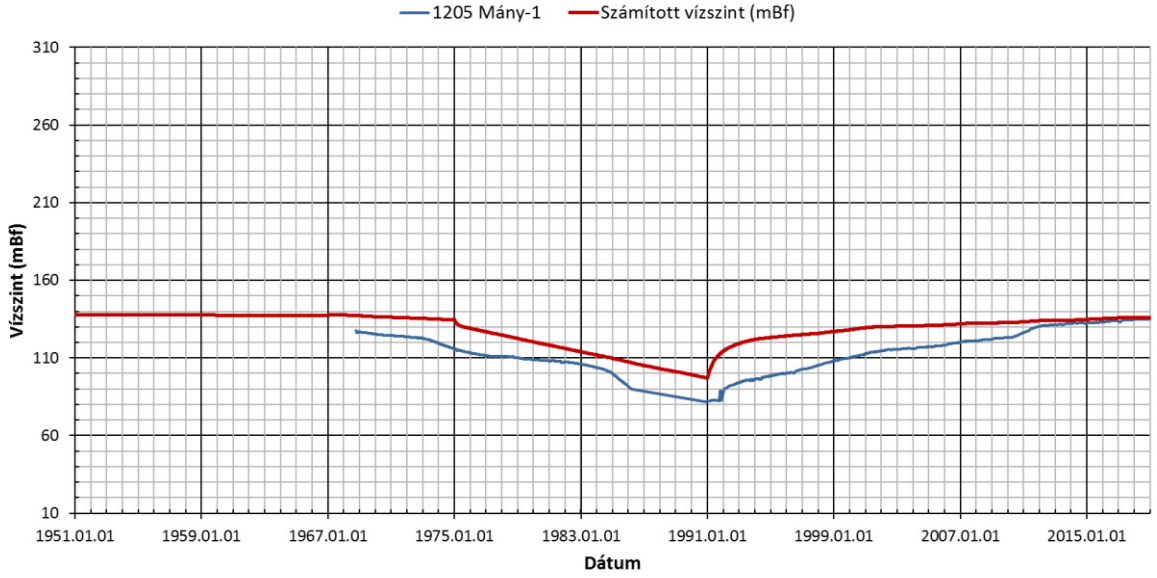
k. 1.3 karsztvíztest

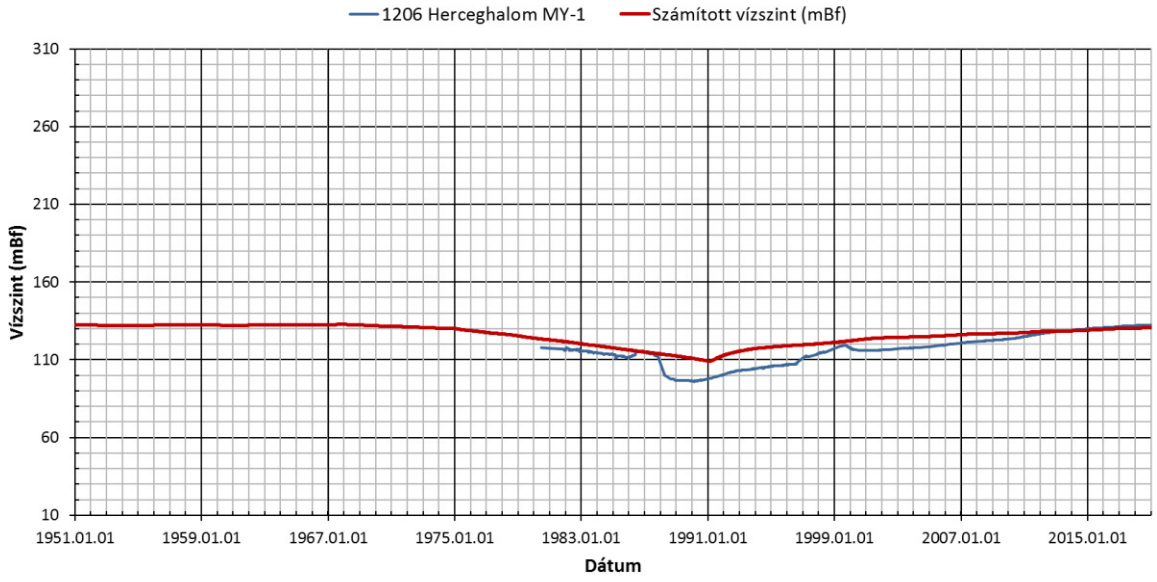


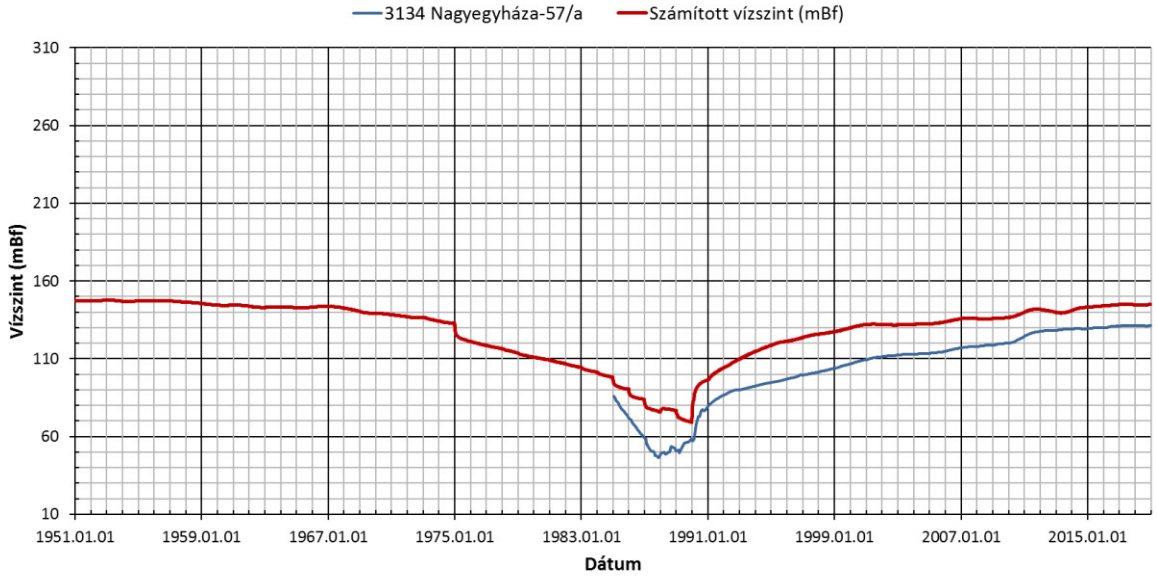


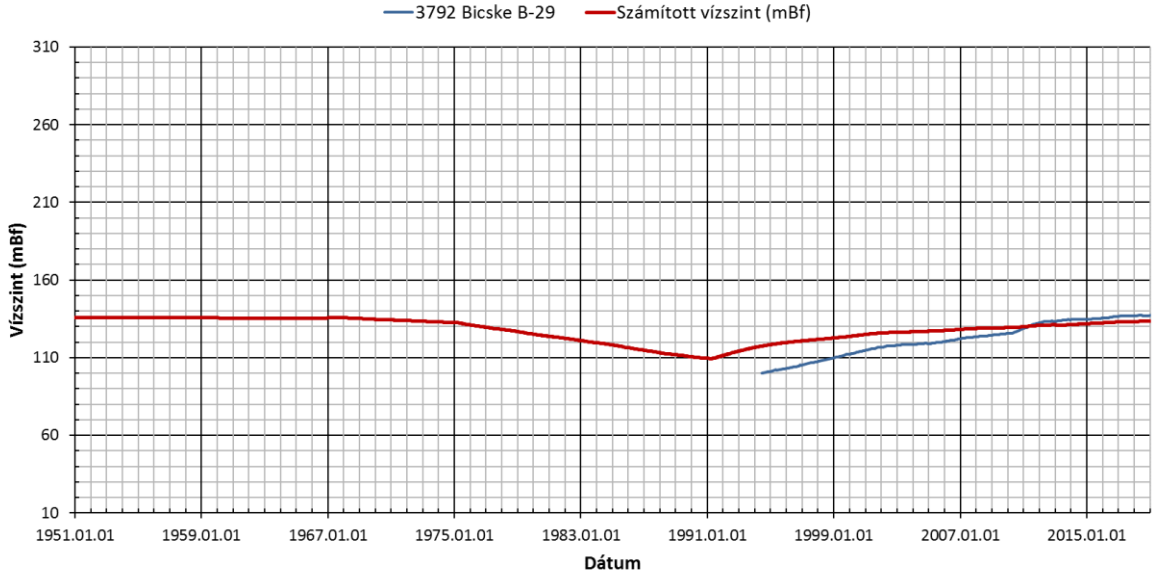

766 Csabdi-150/a
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

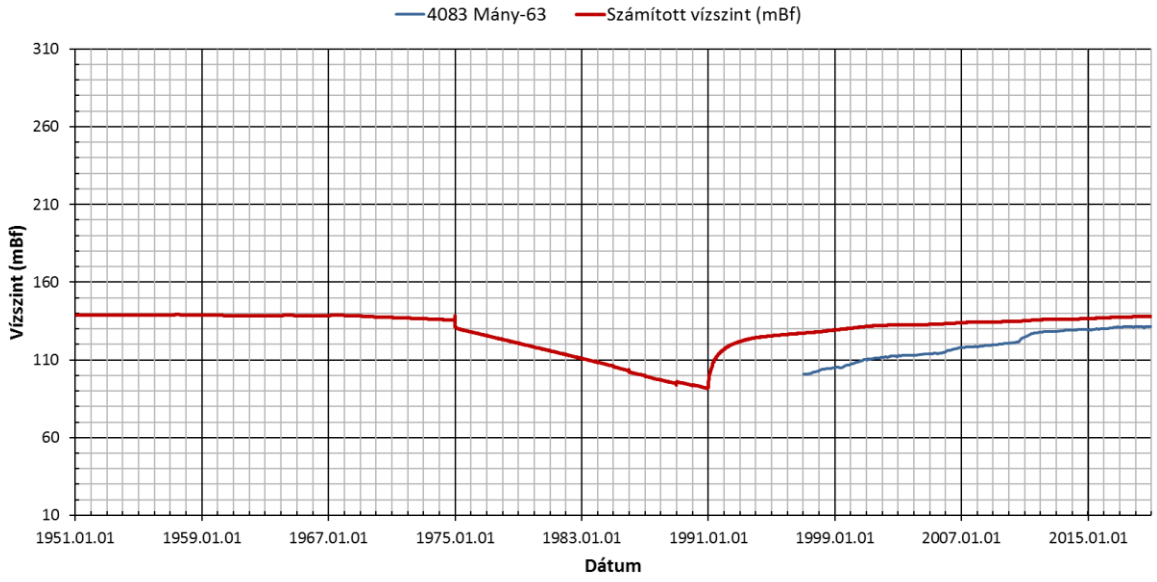

776 Óbarok-1
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

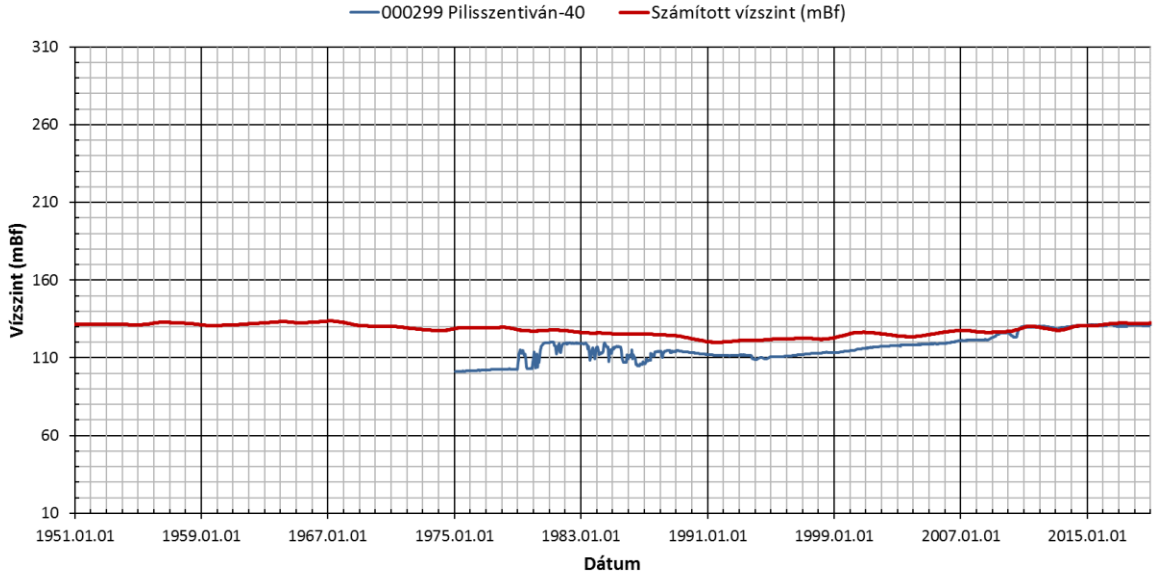

1205 Mány-1
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

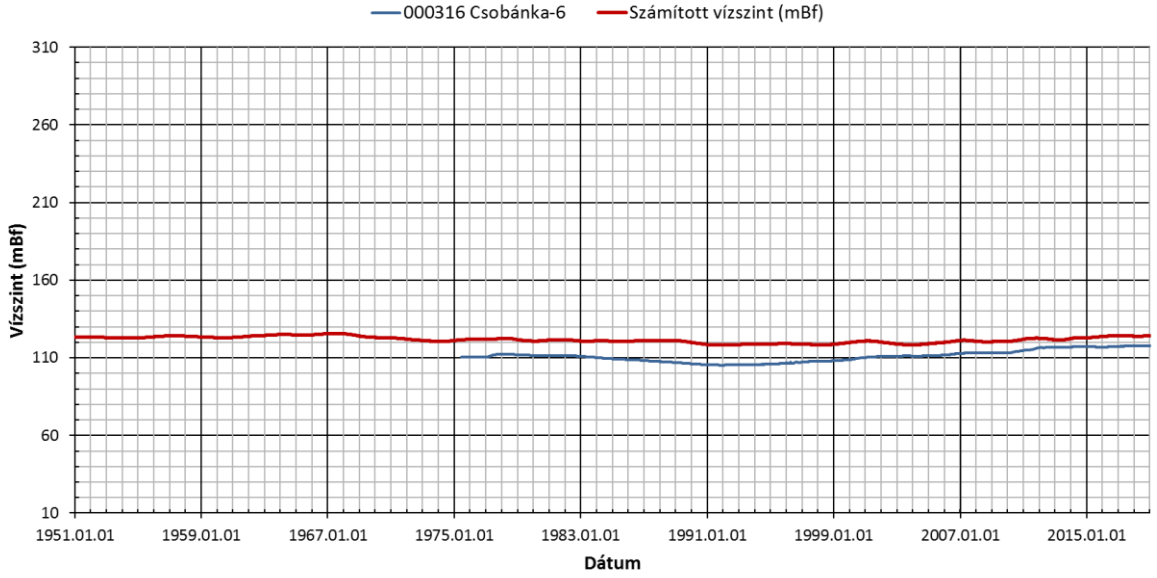

1206 Herceghalom MY-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

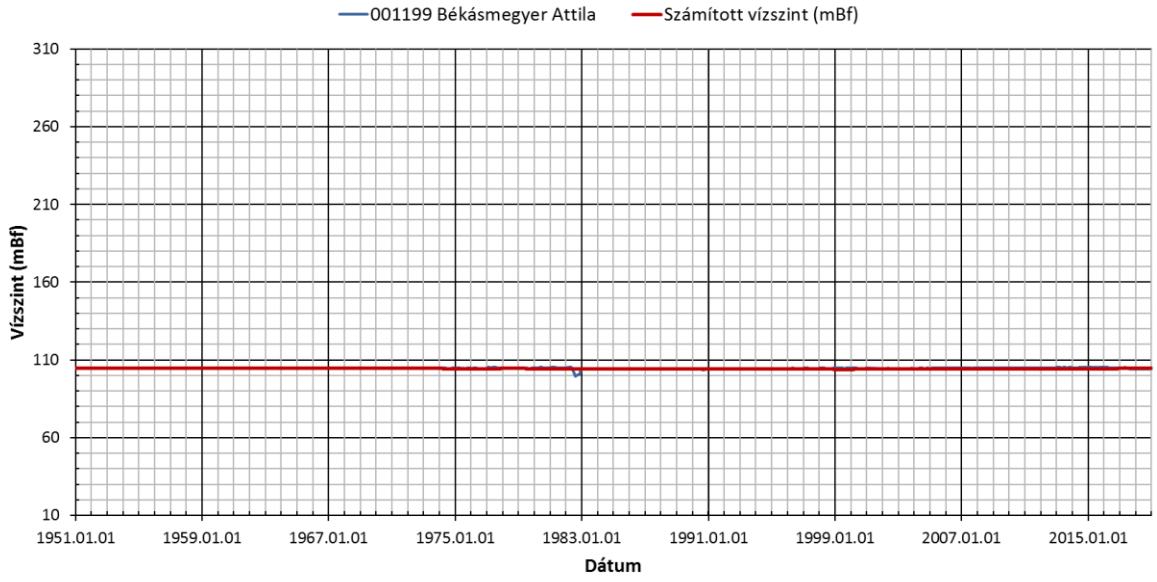

3134 Nagyegyháza-57/a
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

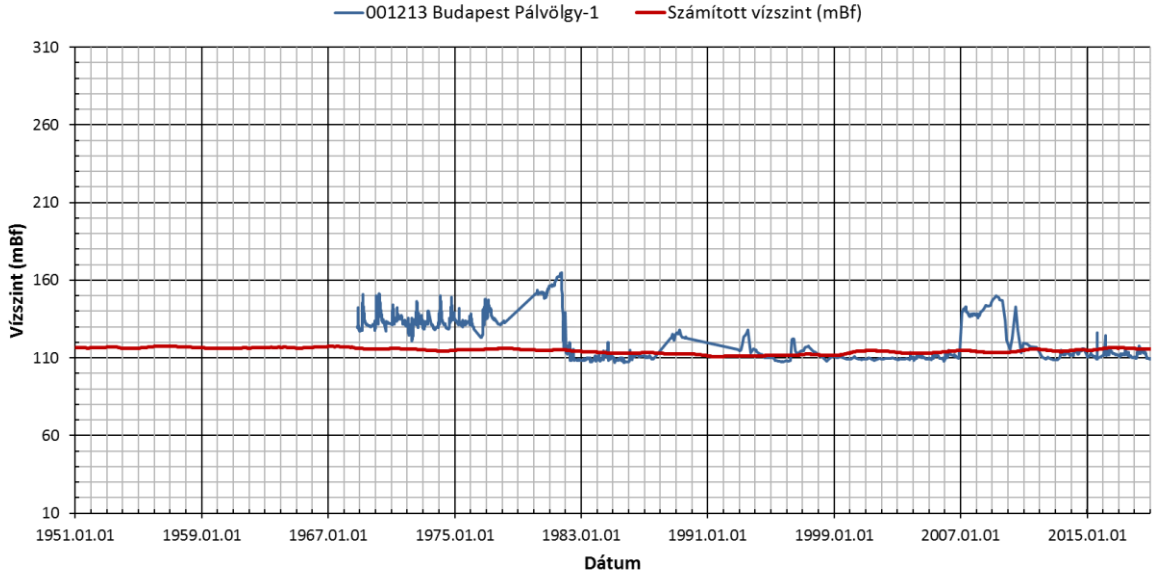

3792 Bicske B-29
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

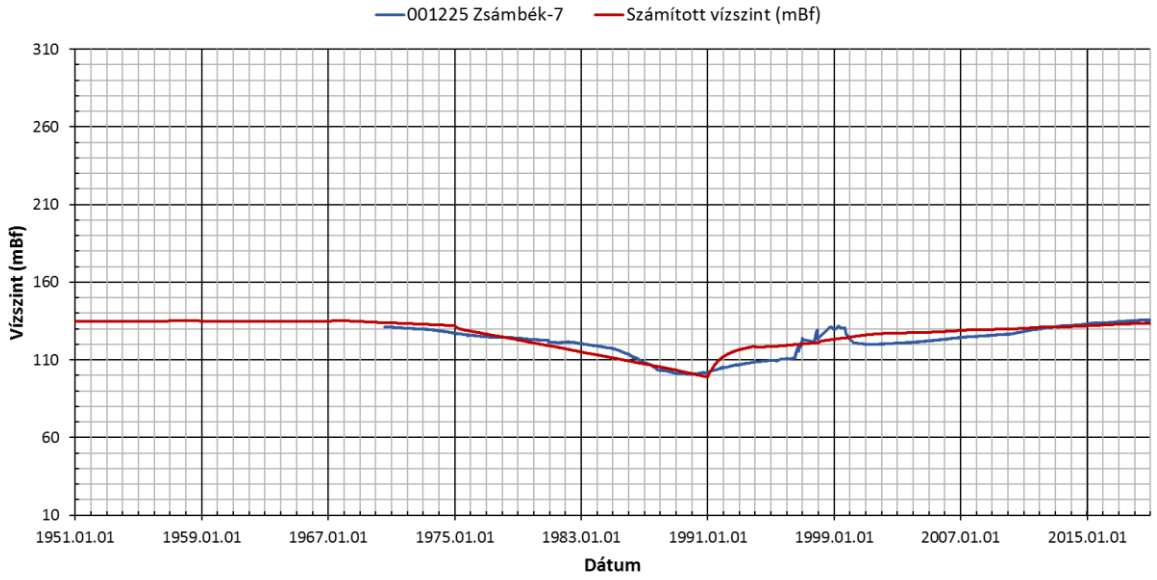

4083 Mány-63
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

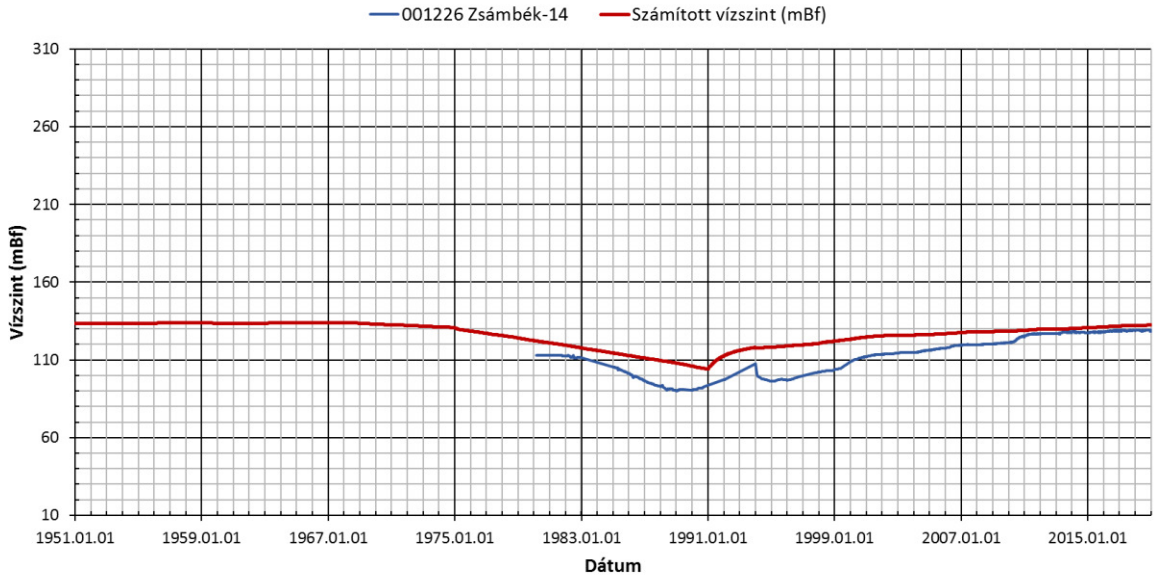

000299 Pilisszentiván-40
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

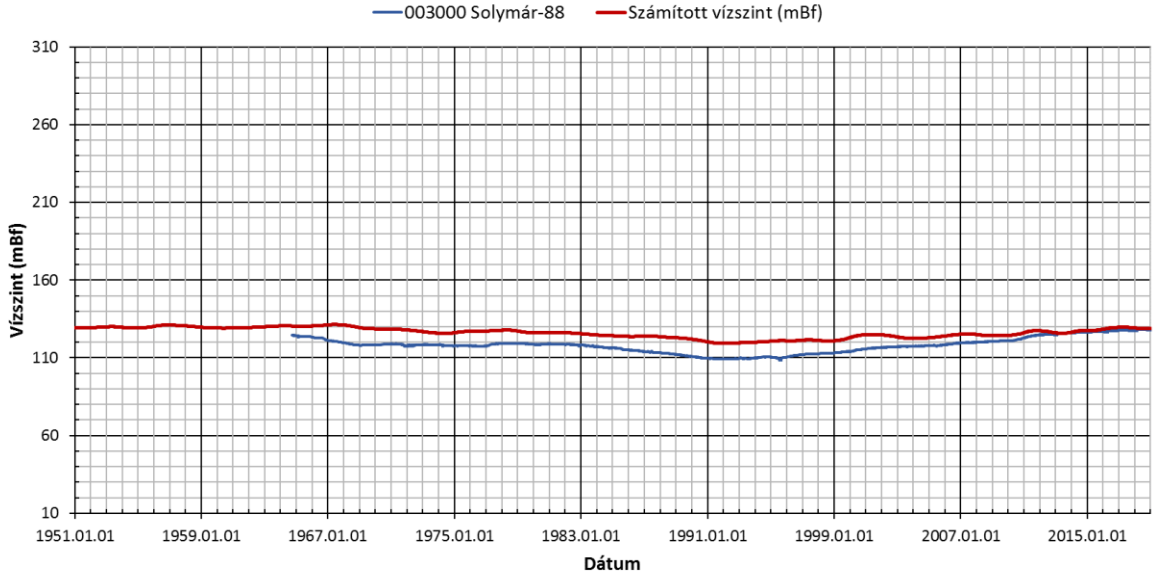

000316 Csobánka-6
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

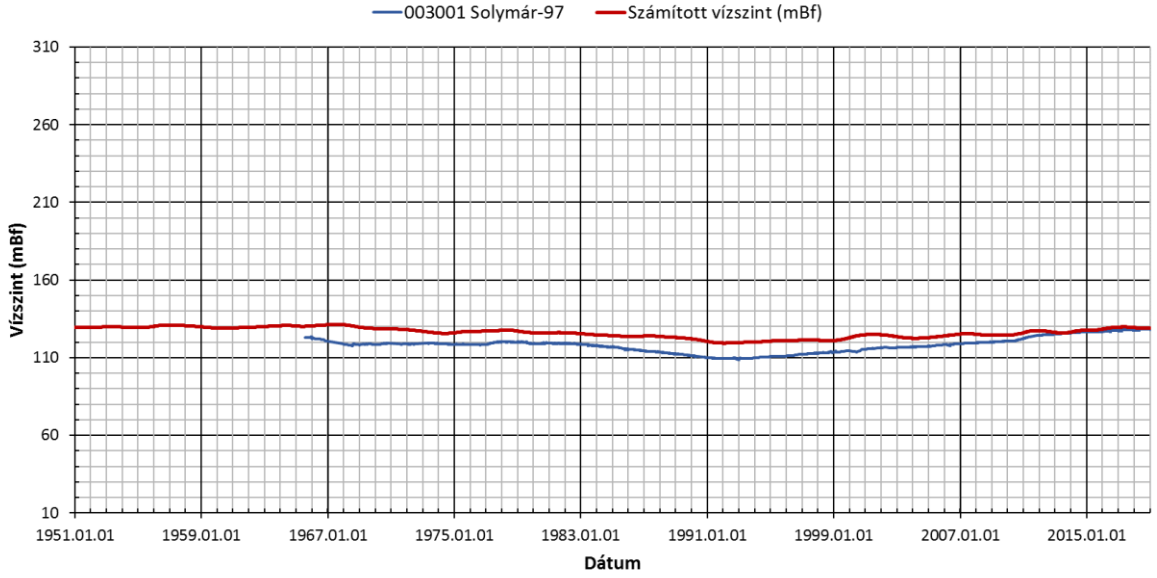

001199 Békásmegyer Attila
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

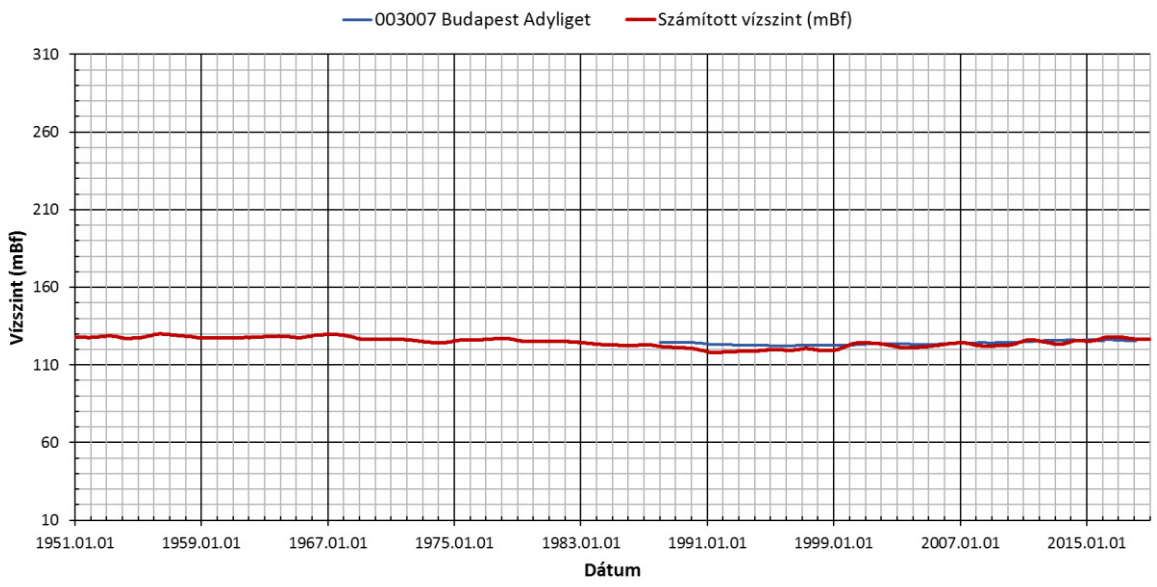

001213 Budapest Pálvölgy-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

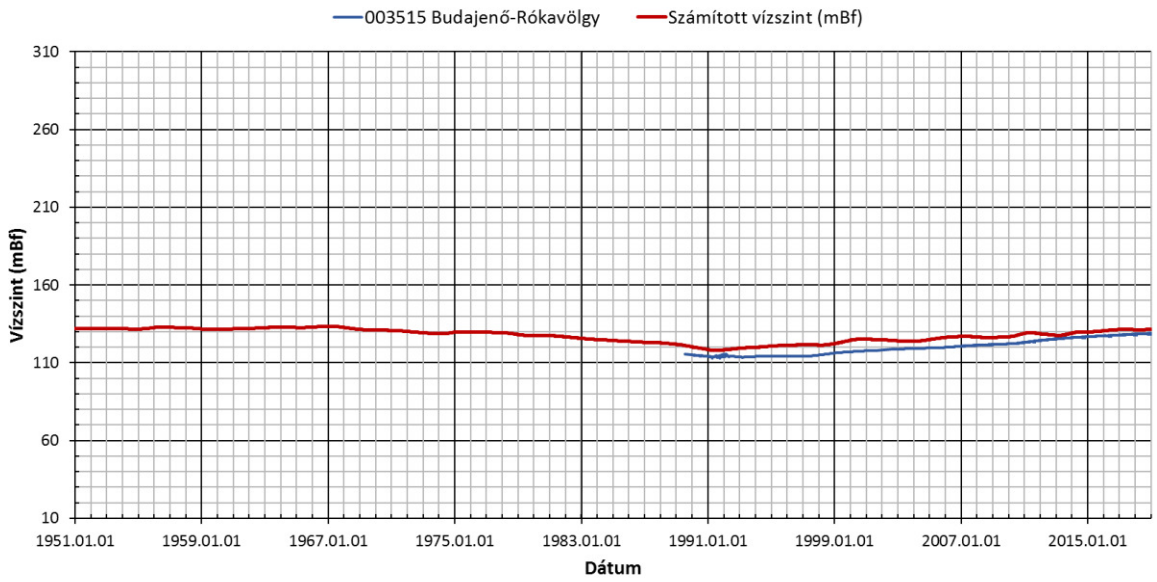

001225 Zsámbék-7
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum


001226 Zsámbék-14
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

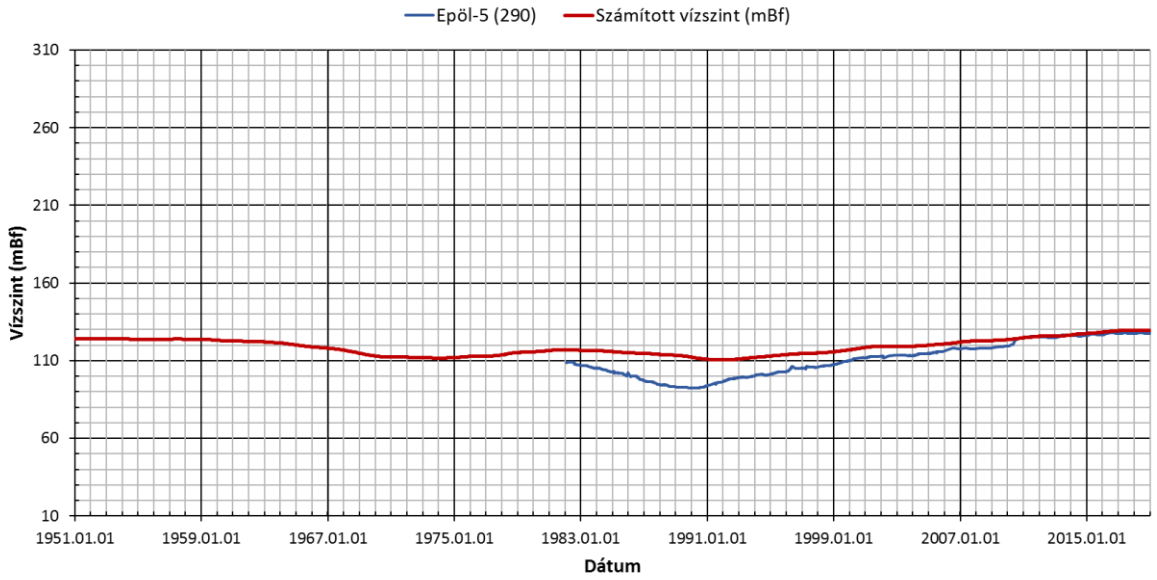

003000 Solymár-88
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

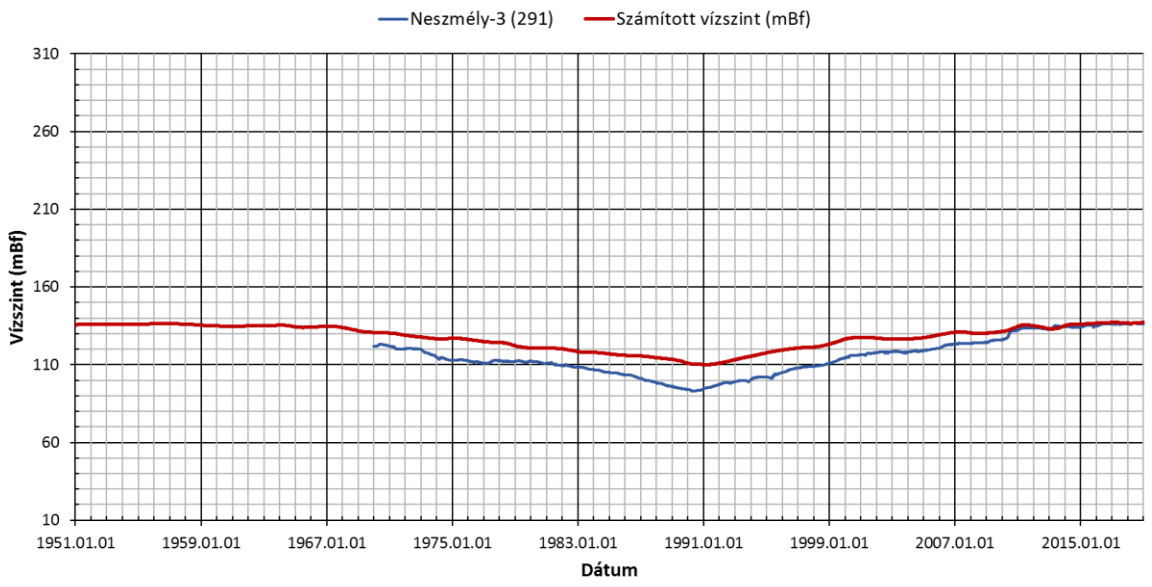

003001 Solymár-97
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

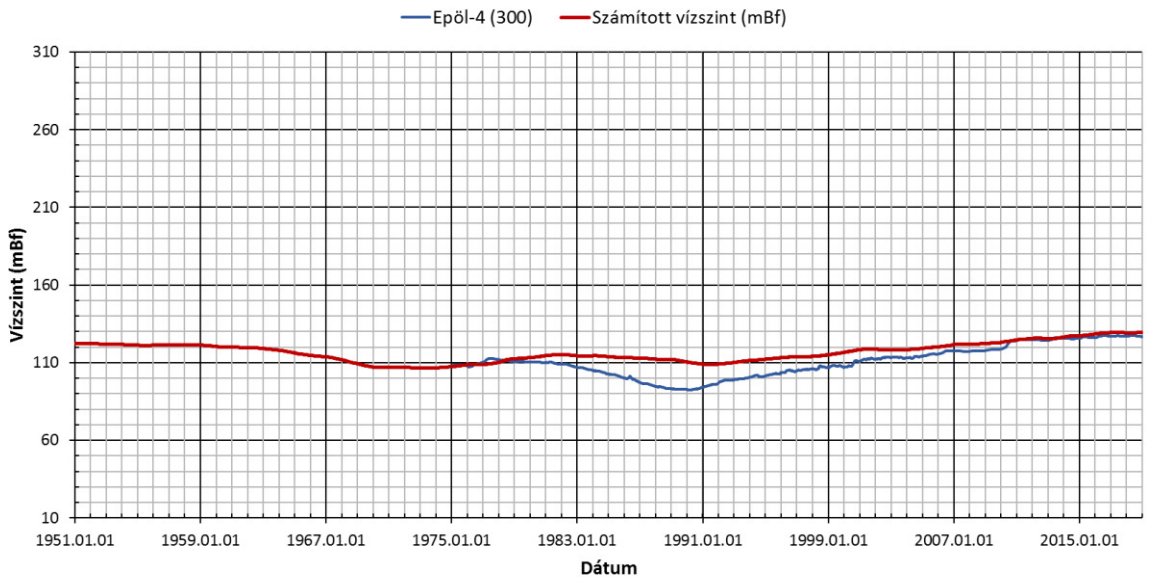


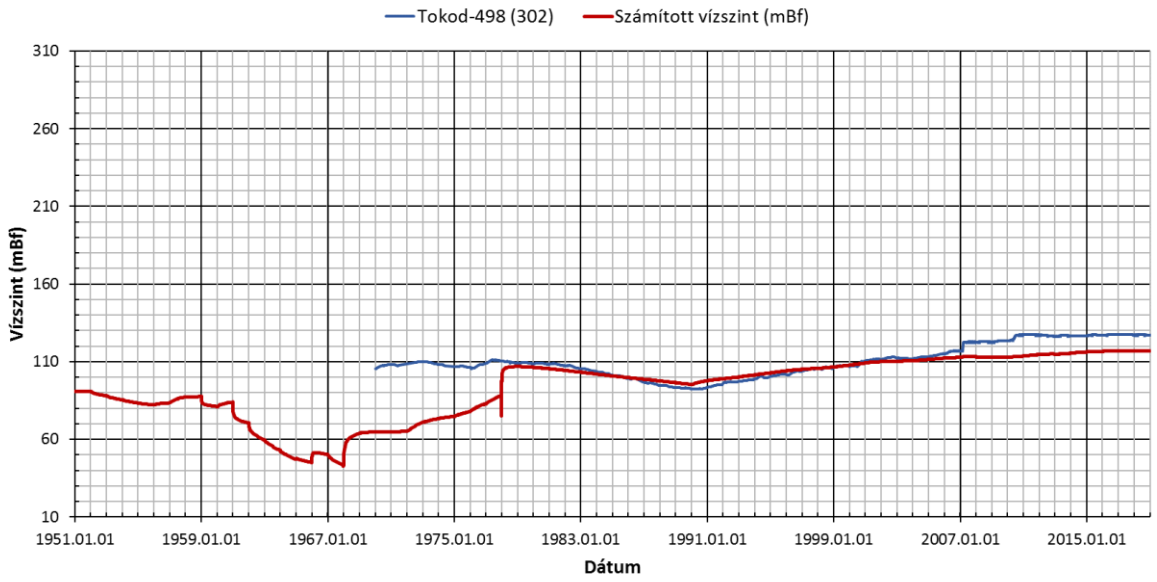


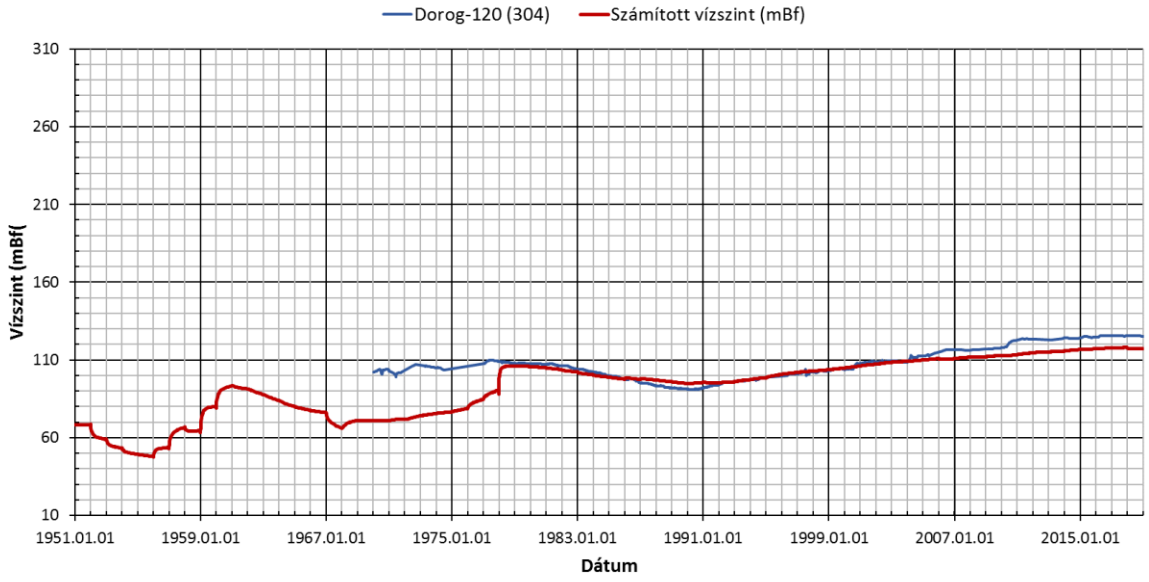
k.1.4 karsztvíztest

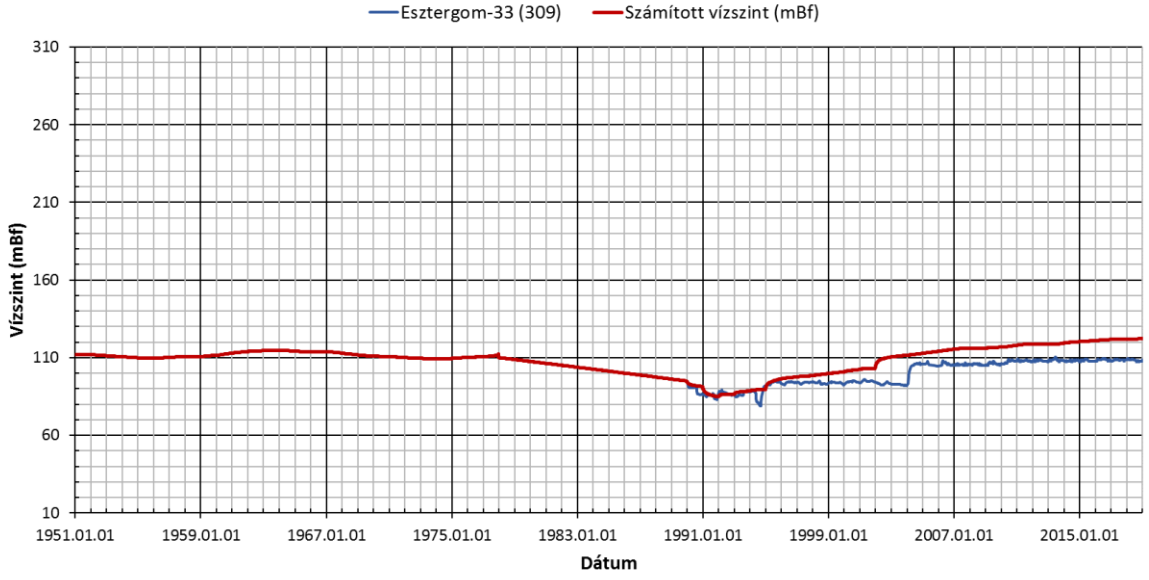


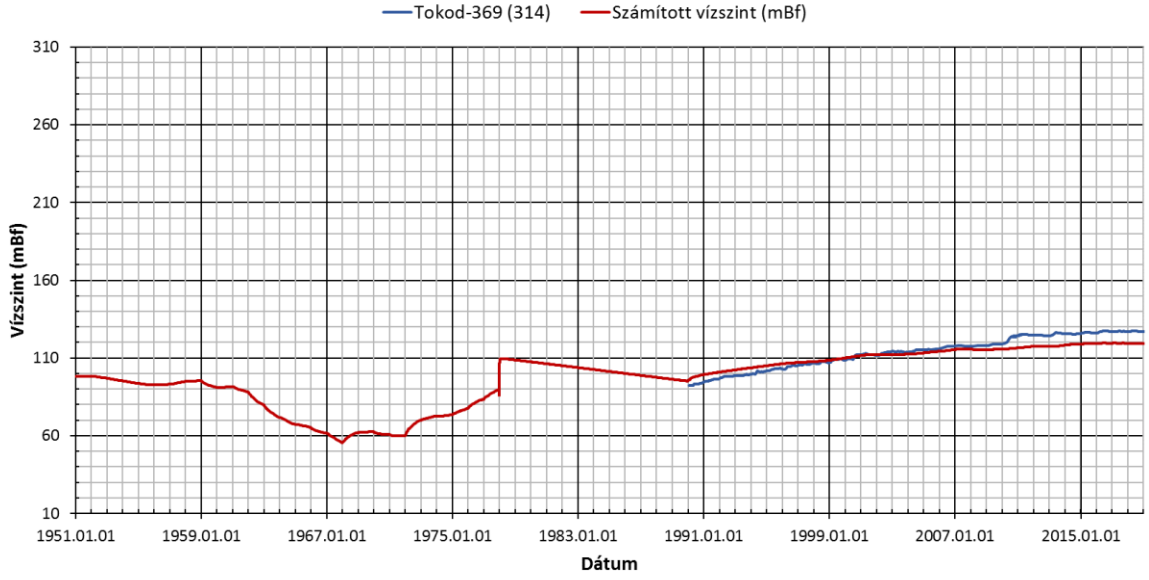

Neszmély-3 (291)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

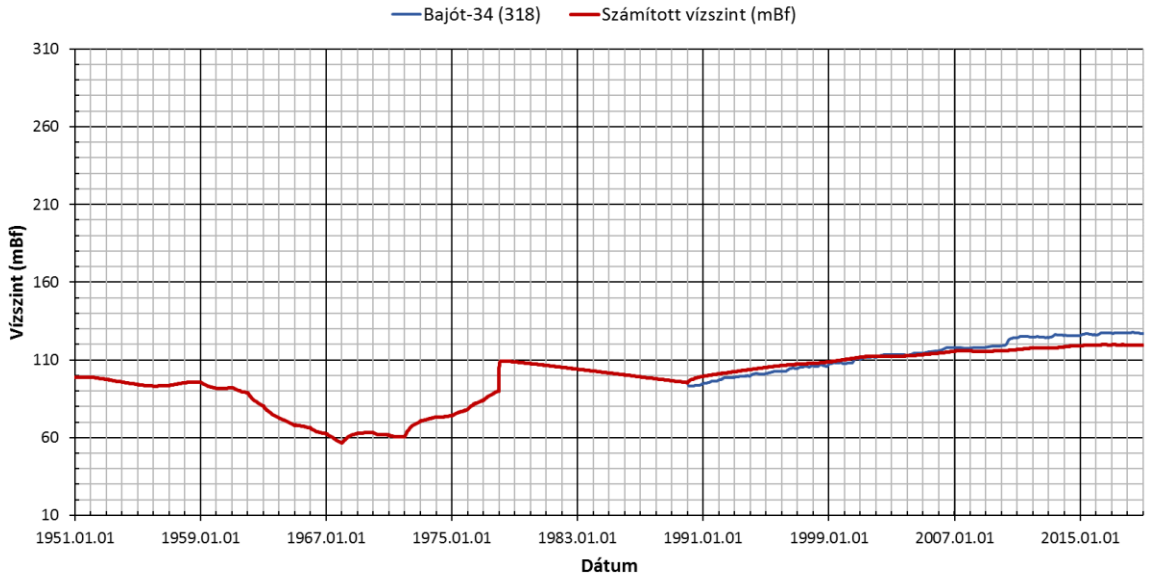

Epöl-4 (300)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

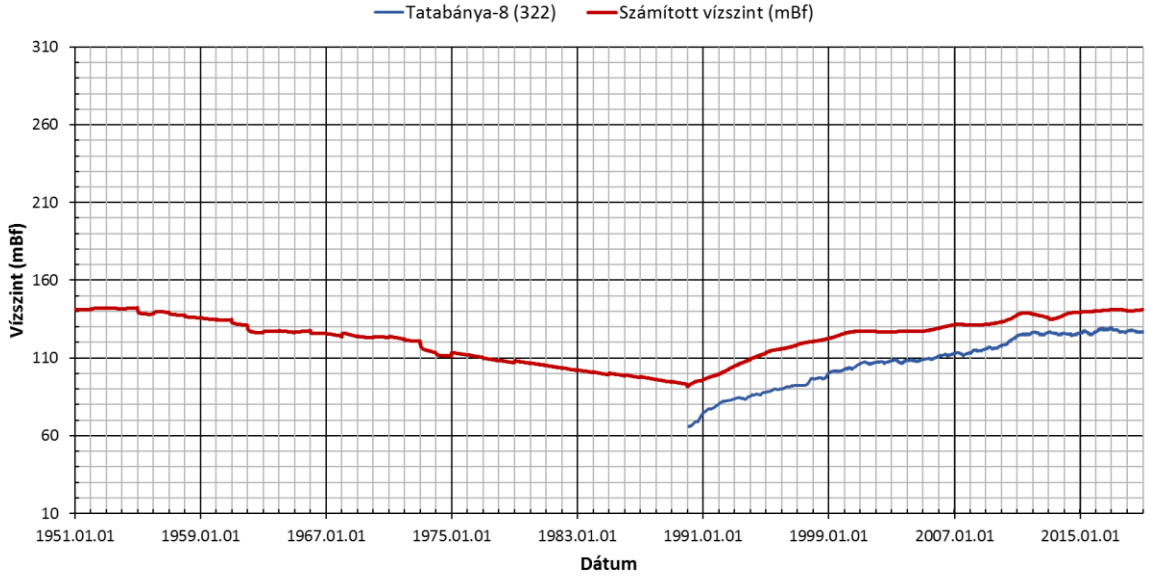

Tokod-498 (302)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

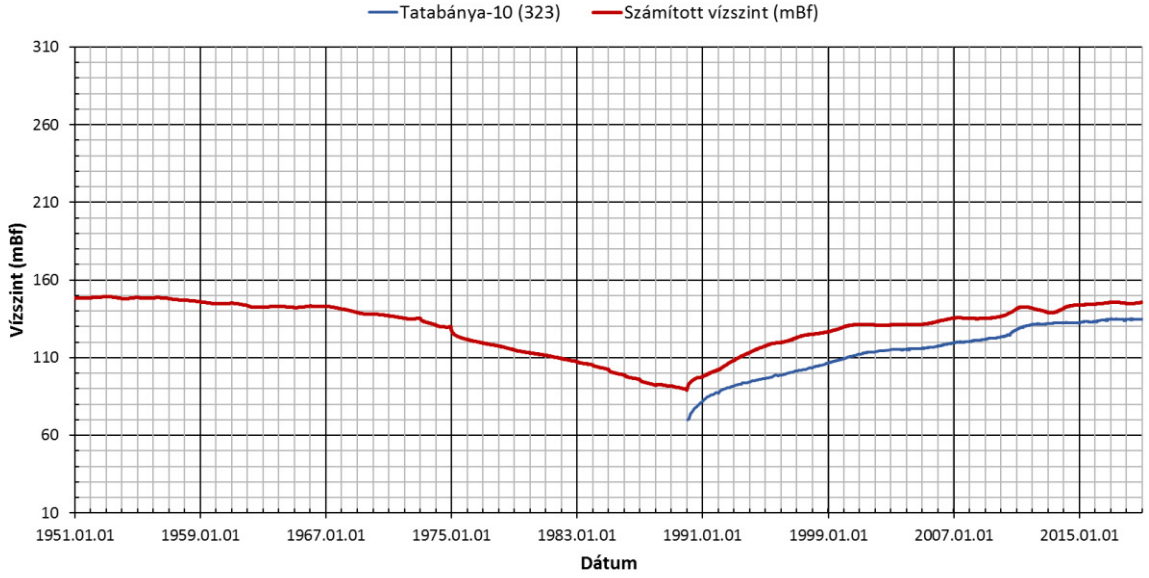

Dorog-120 (304)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf(
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

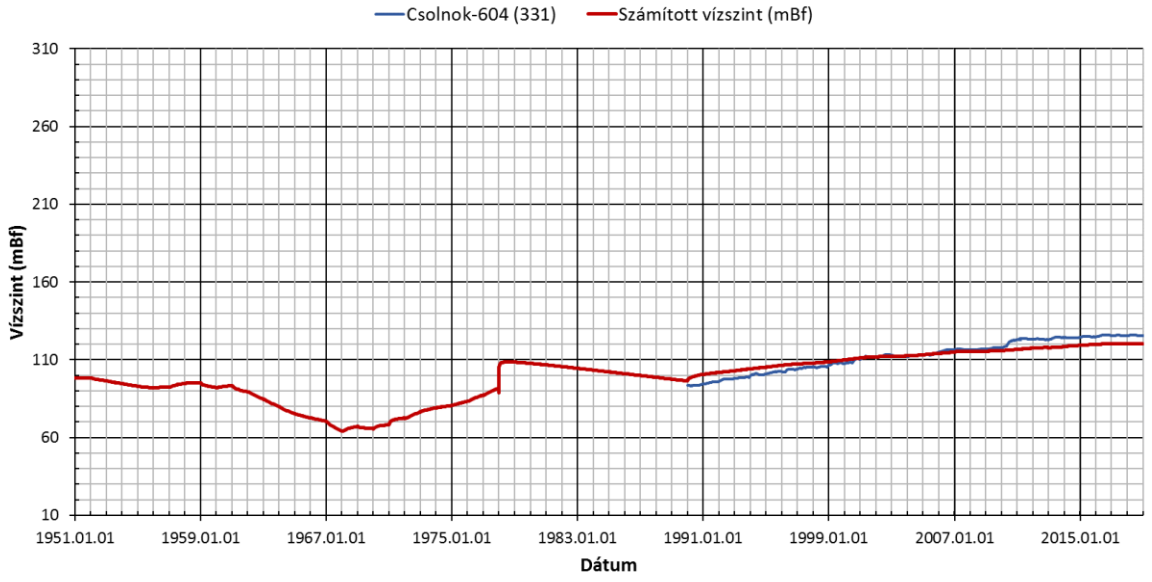

Esztergom-33 (309)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

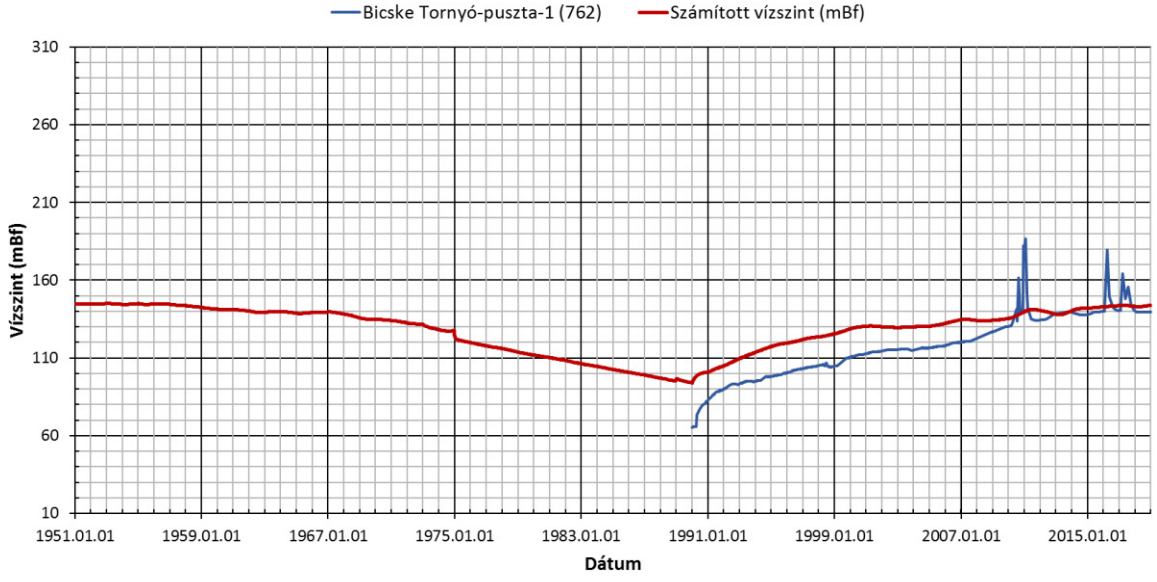

Tokod-369 (314)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

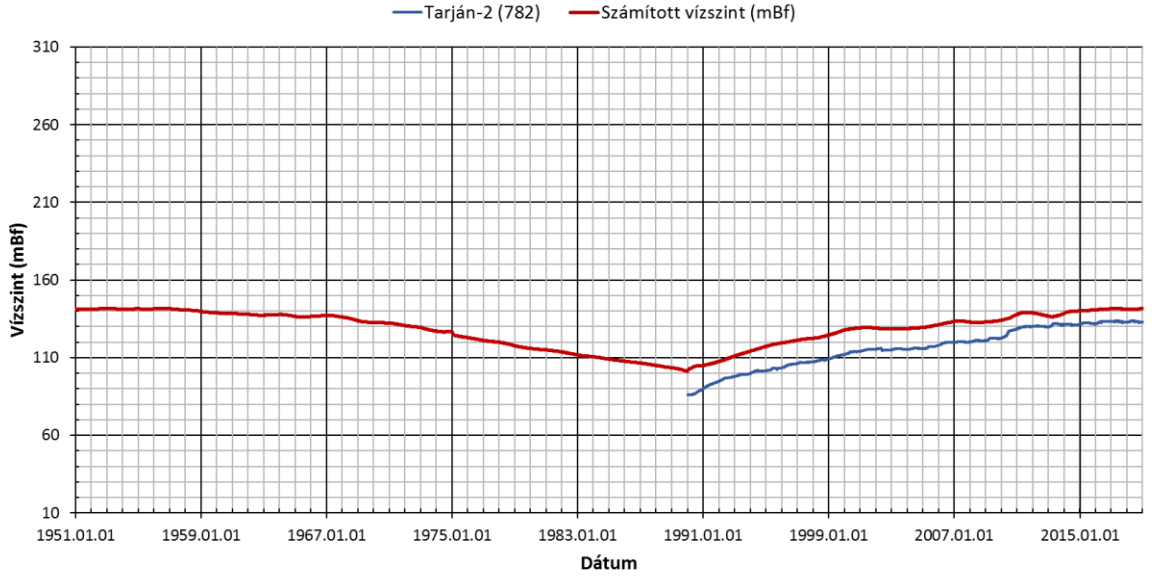

Bajót-34 (318)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

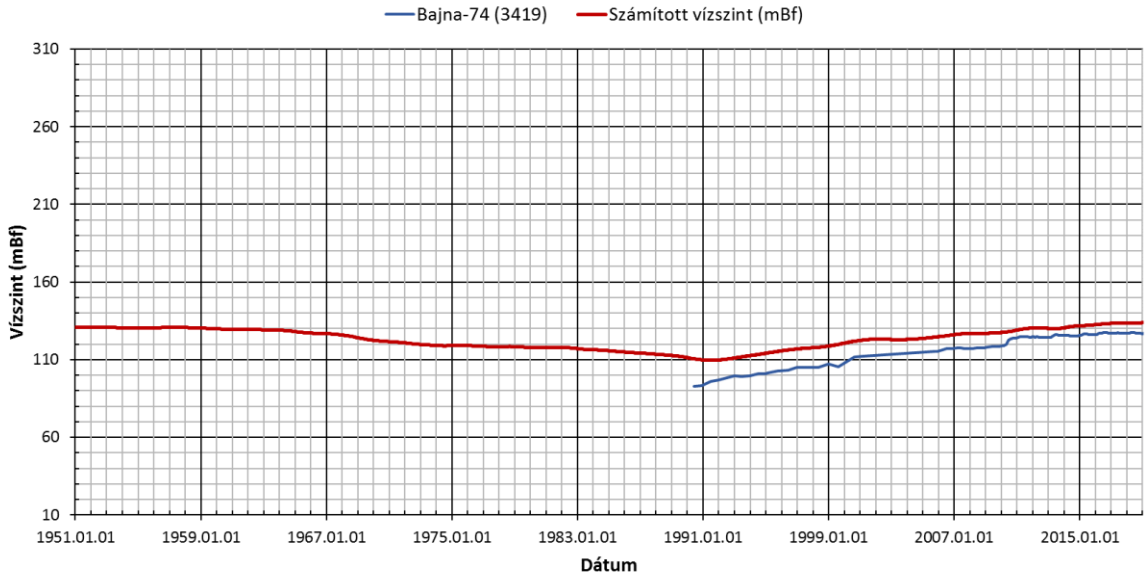

Tatabánya-8 (322)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

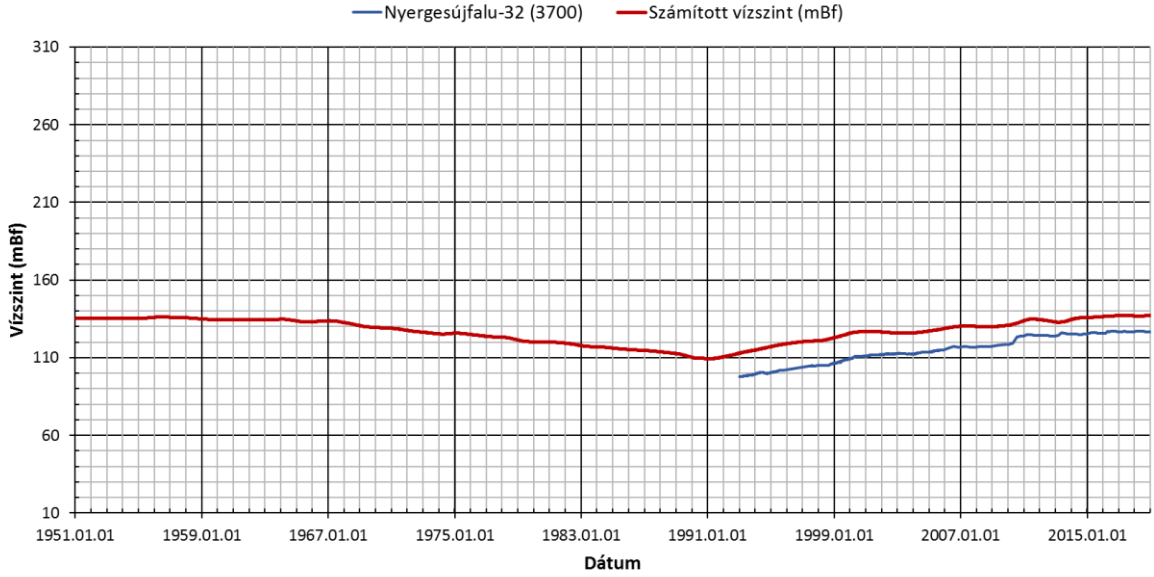

Tatabánya-10 (323)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

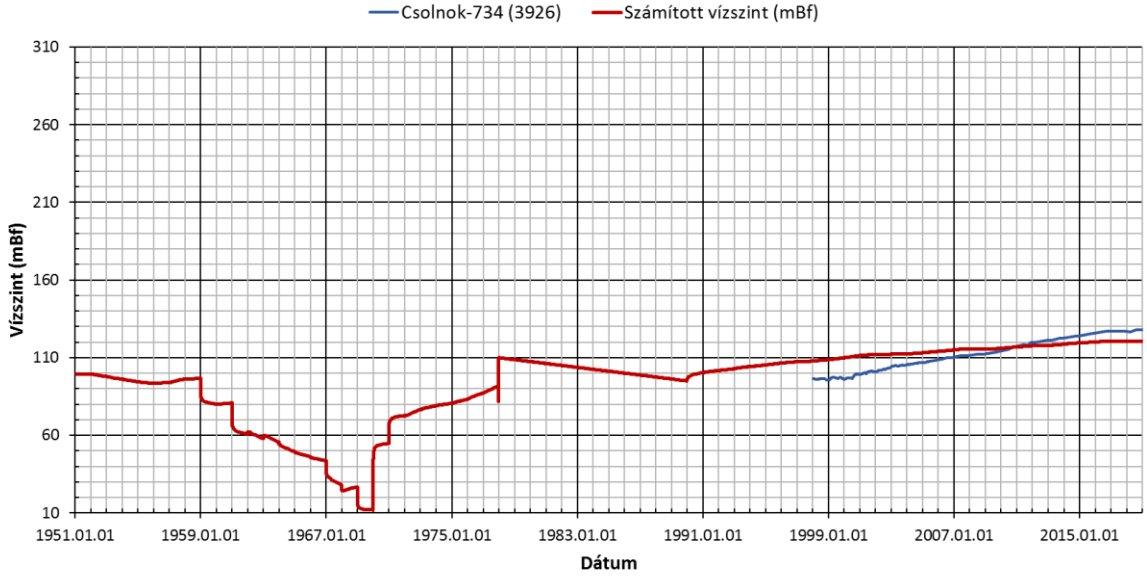

Csolnok-604 (331)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

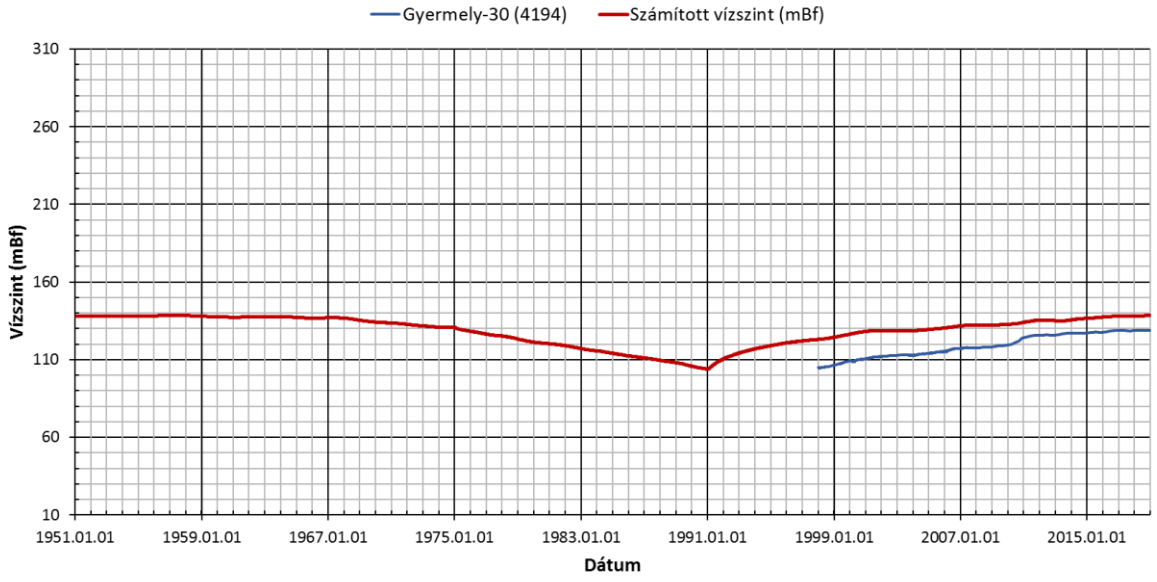

Bicske Tornyó-puszta-1 (762)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

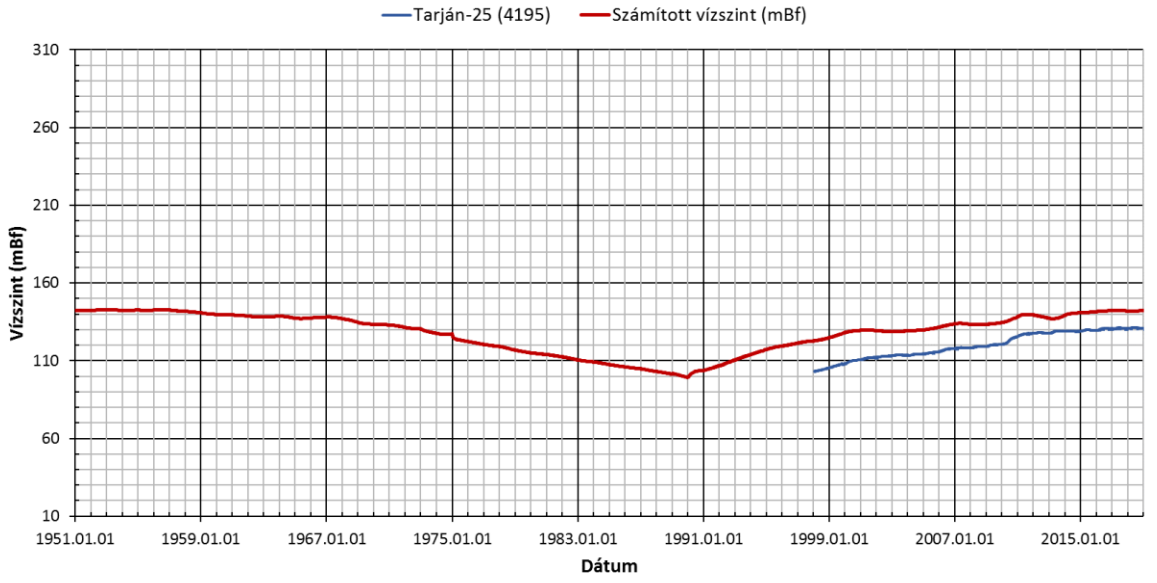

Tarján-2 (782)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

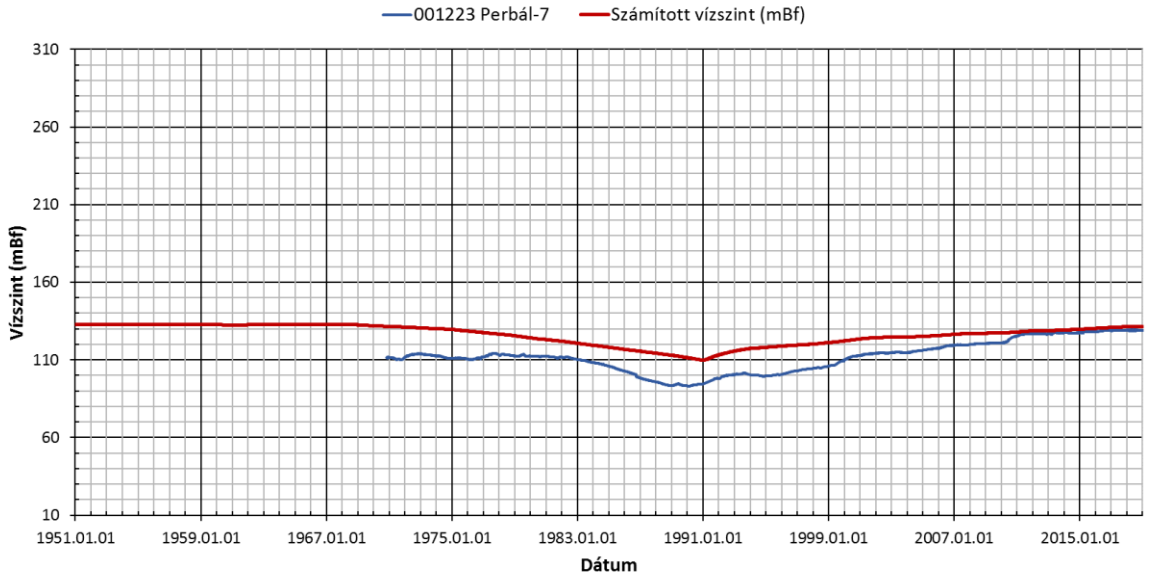

Bajna-74 (3419)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum


Nyergesújfalu-32 (3700)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

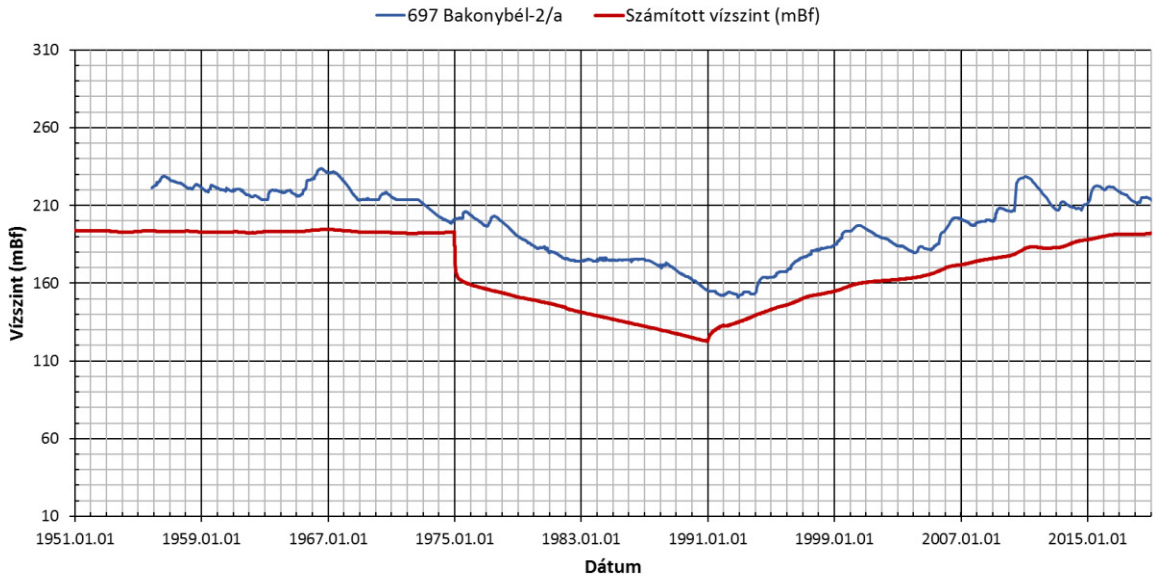

Csolnok-734 (3926)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

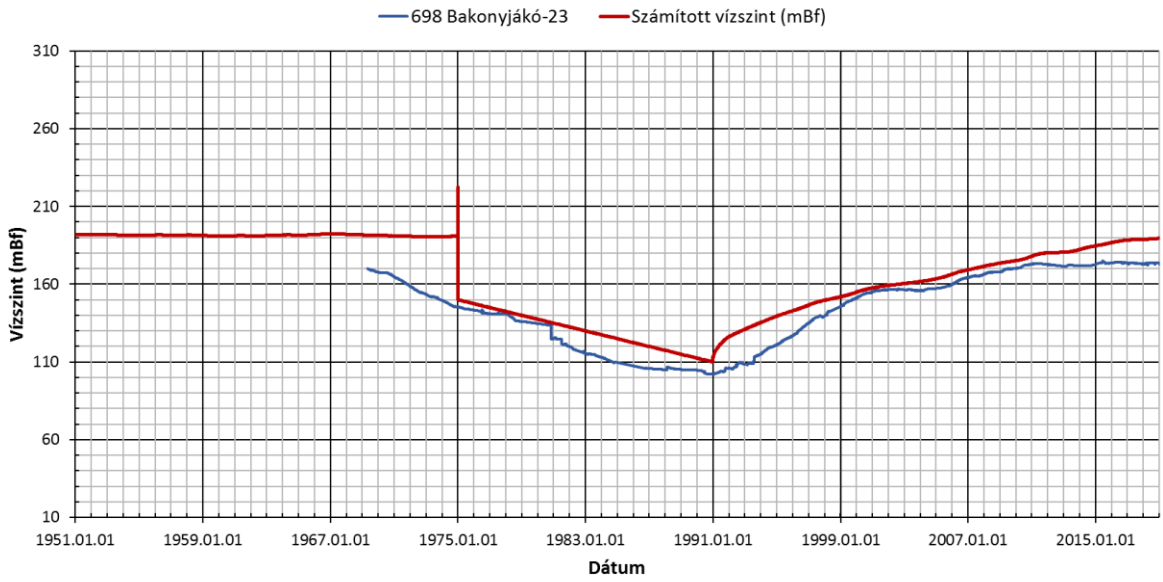

Gyermely-30 (4194)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

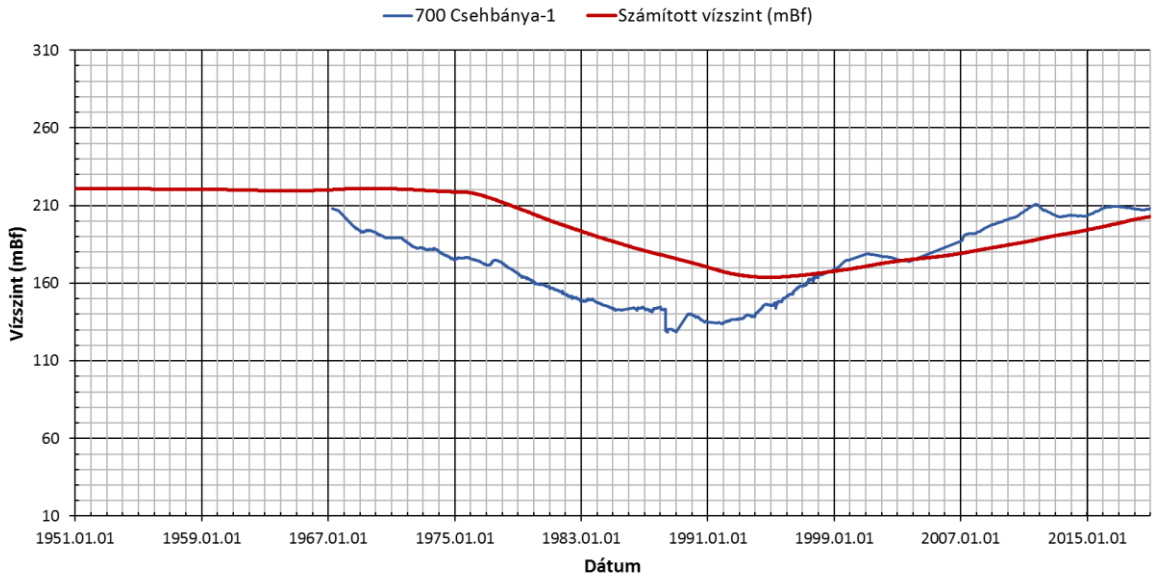

Tarján-25 (4195)
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

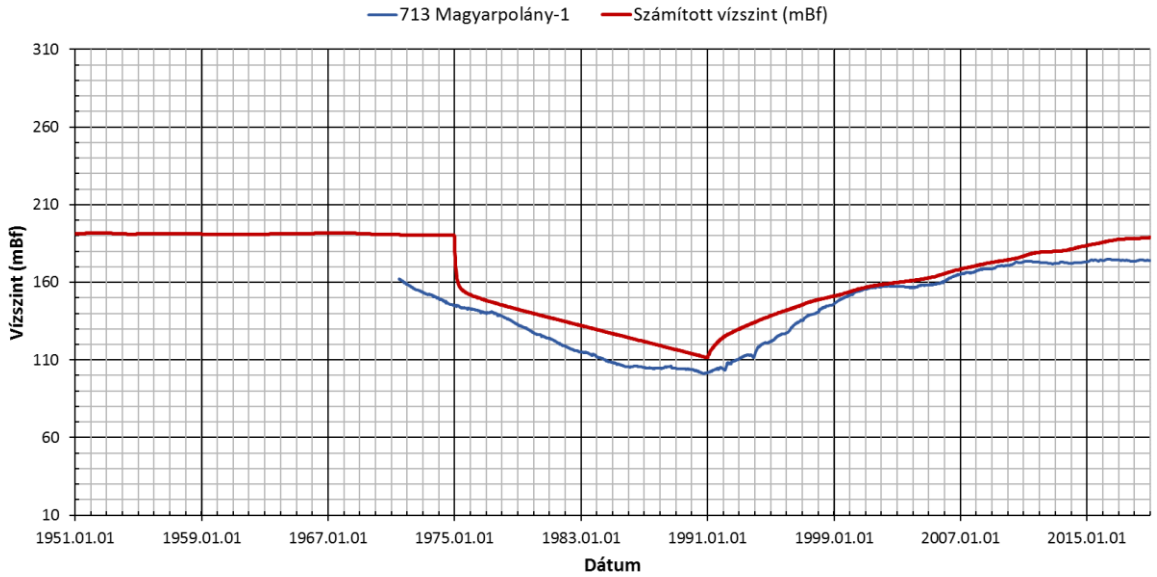

001223 Perbál-7
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

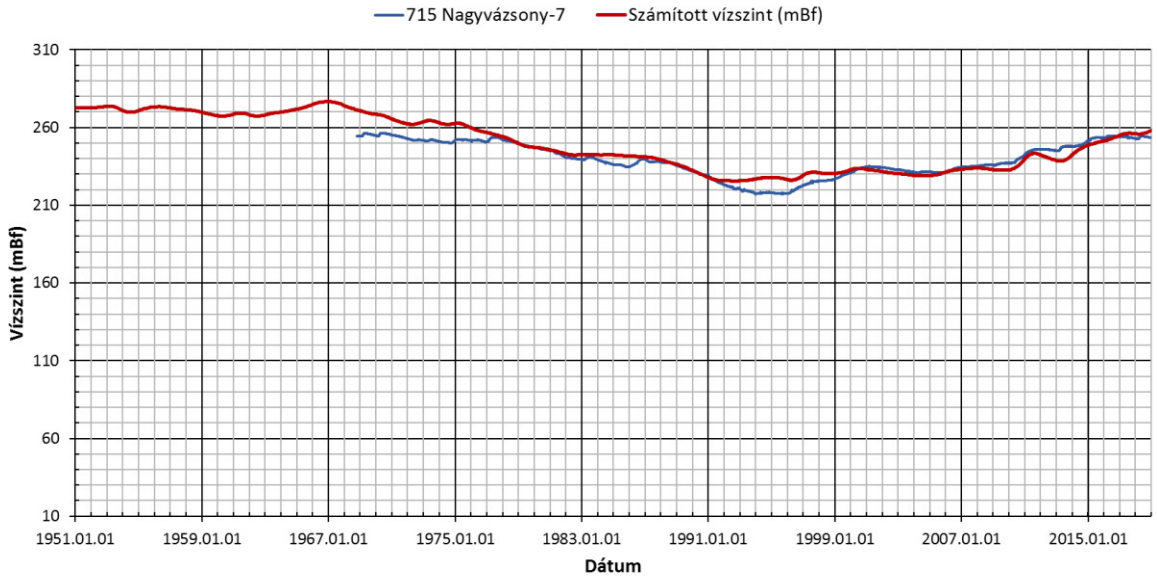
k.4.1. karsztvíztest

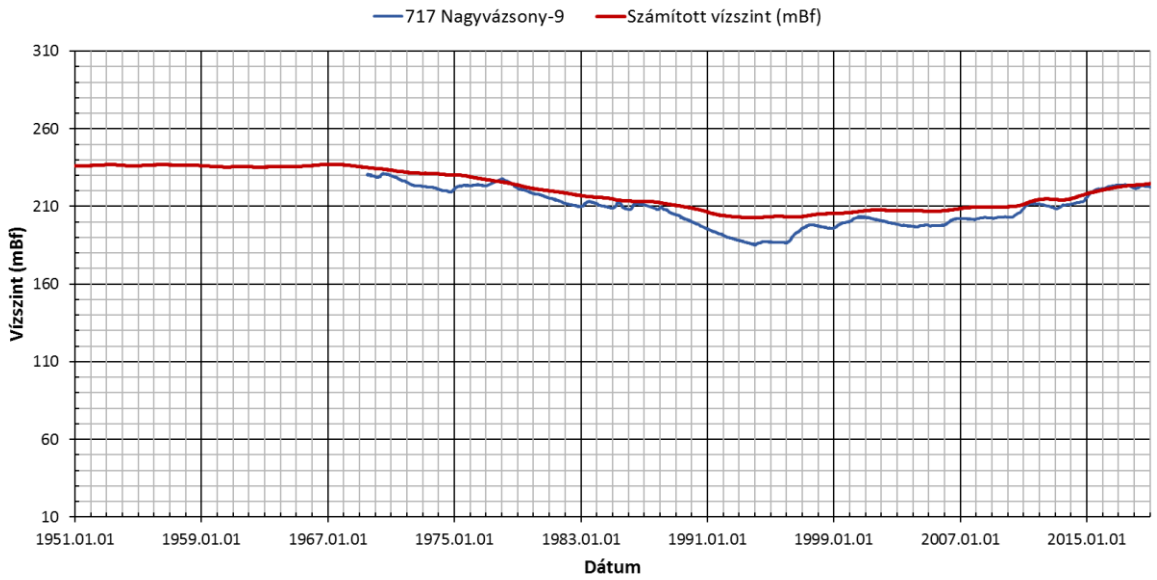


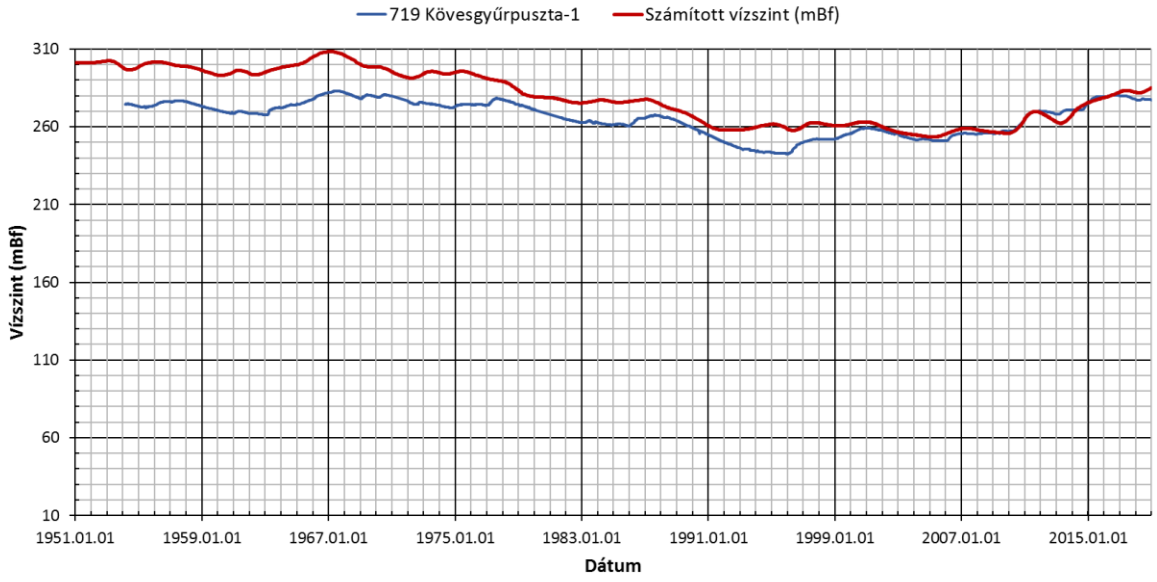


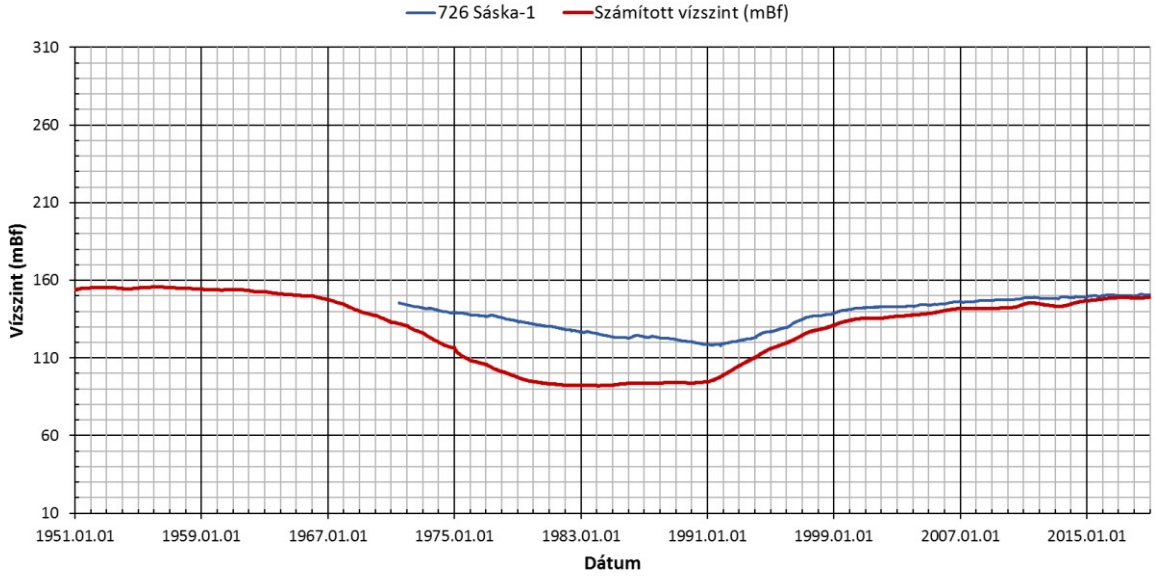


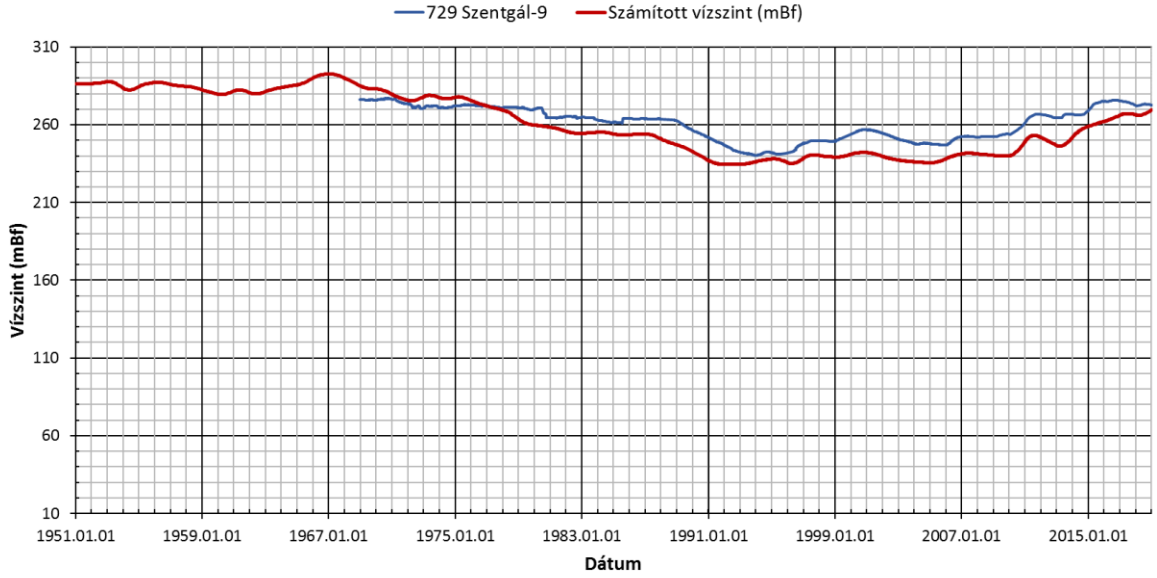

713 Magyarpolány-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

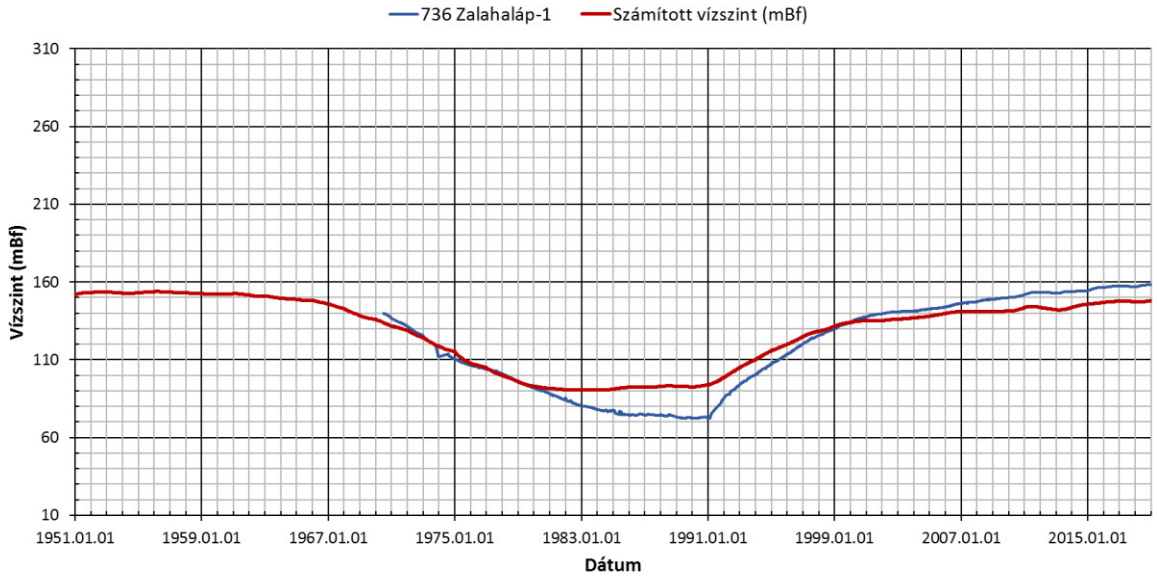

715 Nagyvázsony-7
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

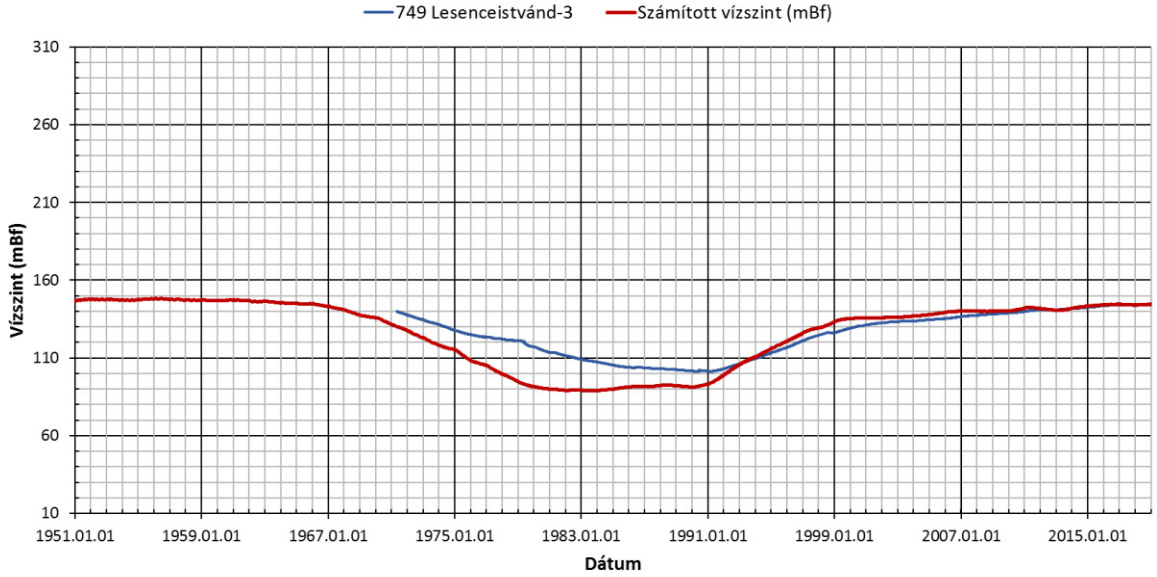

717 Nagyvázsony-9
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

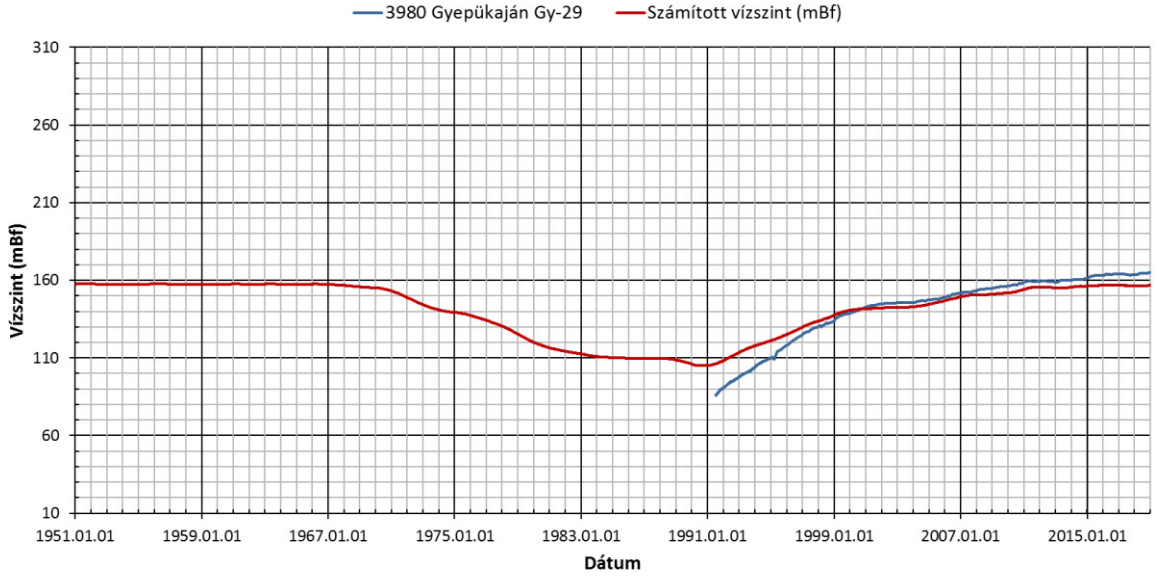

719 Kövesgyűrpuszta-1
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

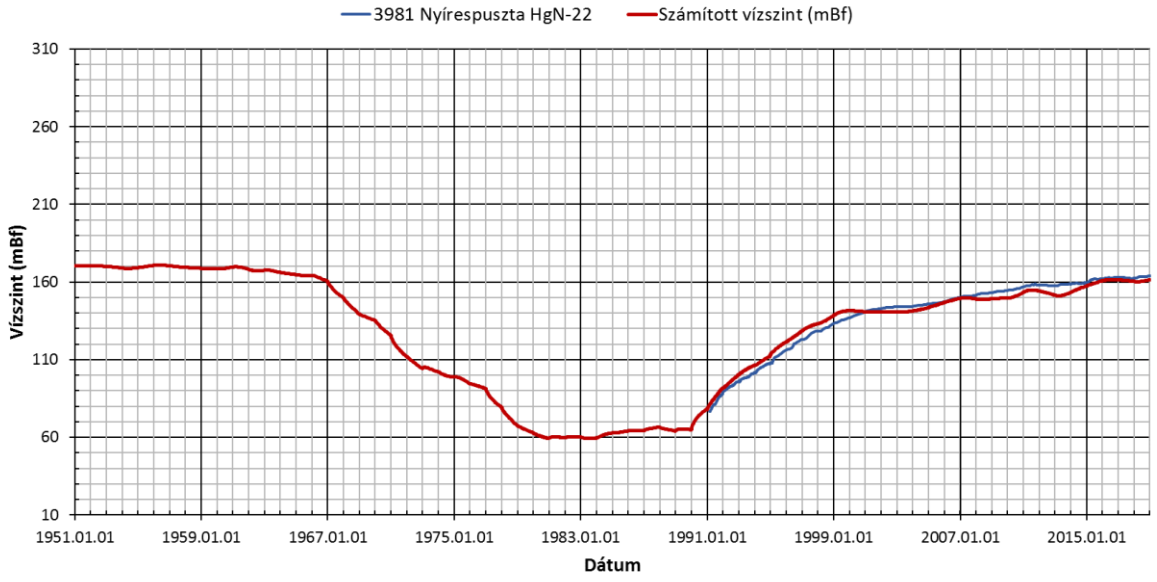

726 Sáska-1
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

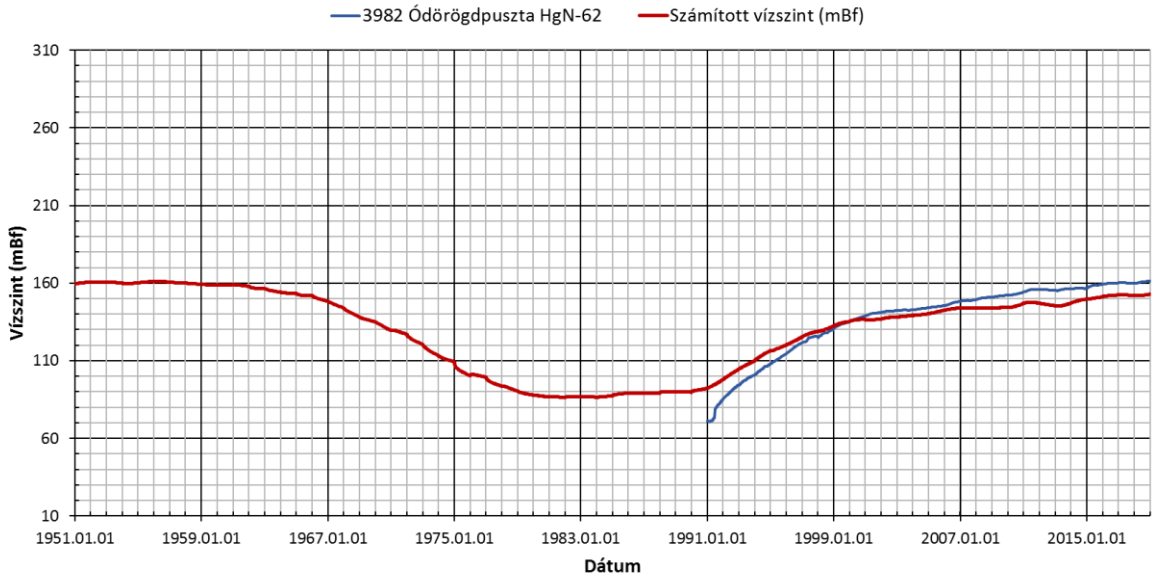

729 Szentgál-9
Számított vízszint (mBf)
Vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

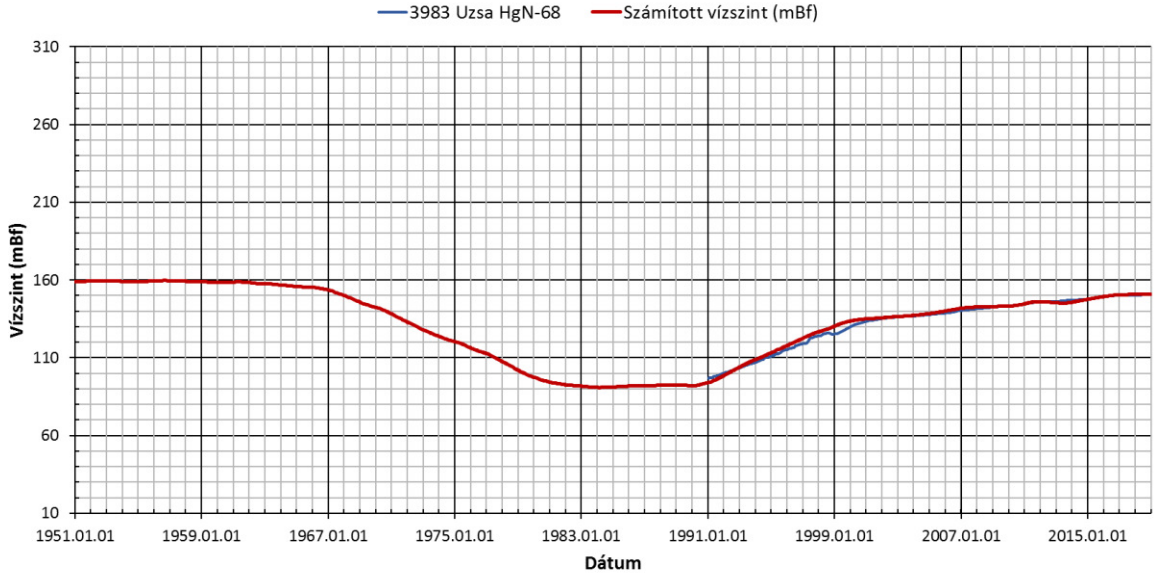

736 Zalahaláp-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

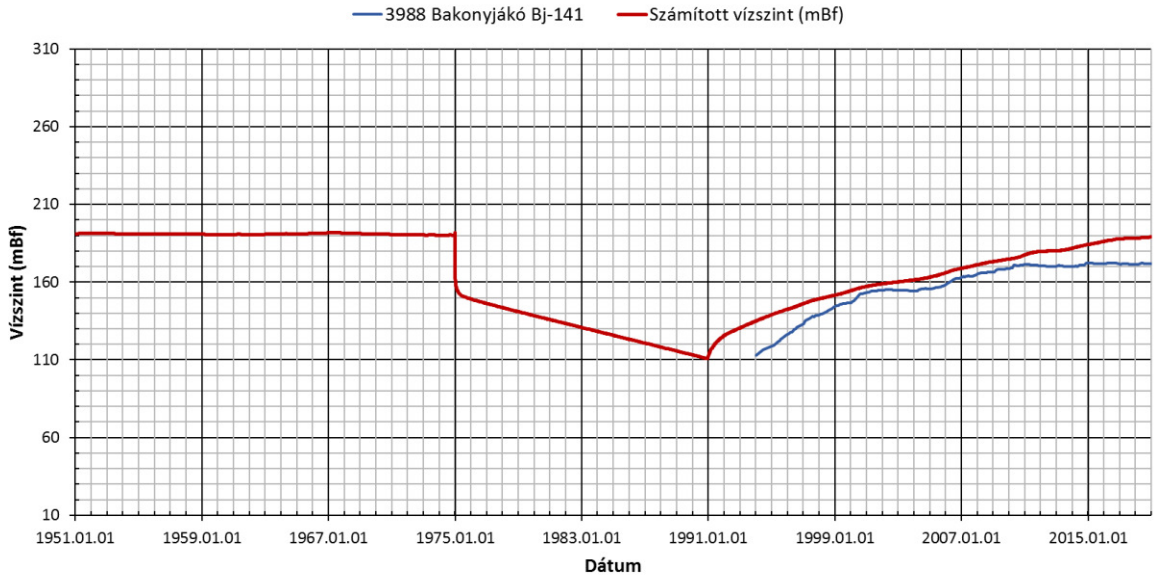

749 Lesenceistvánd-3
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

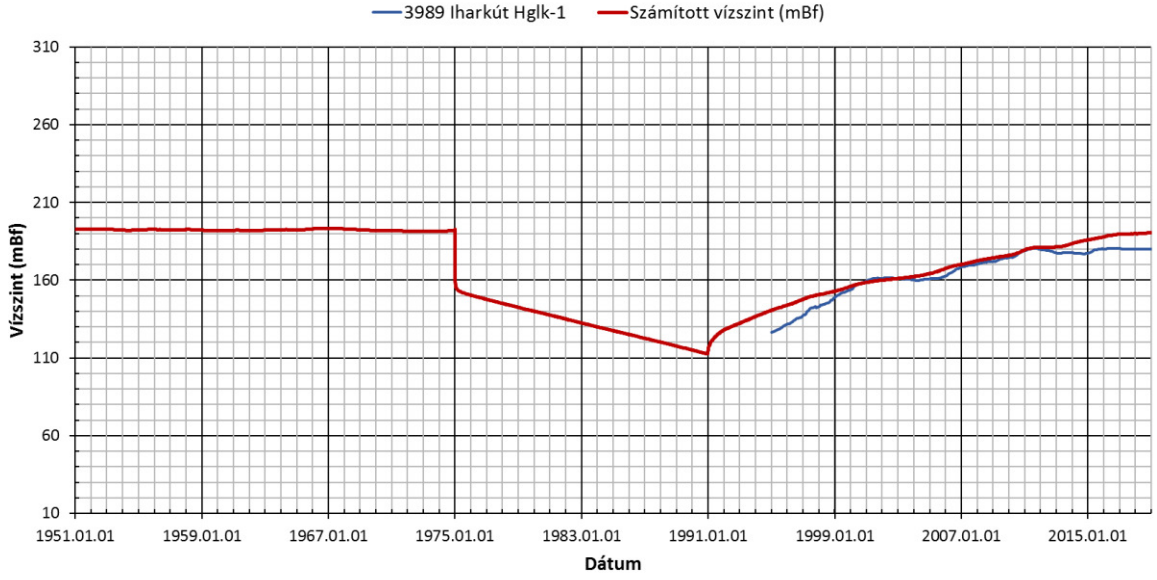

3980 Gyepükaján Gy-29
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

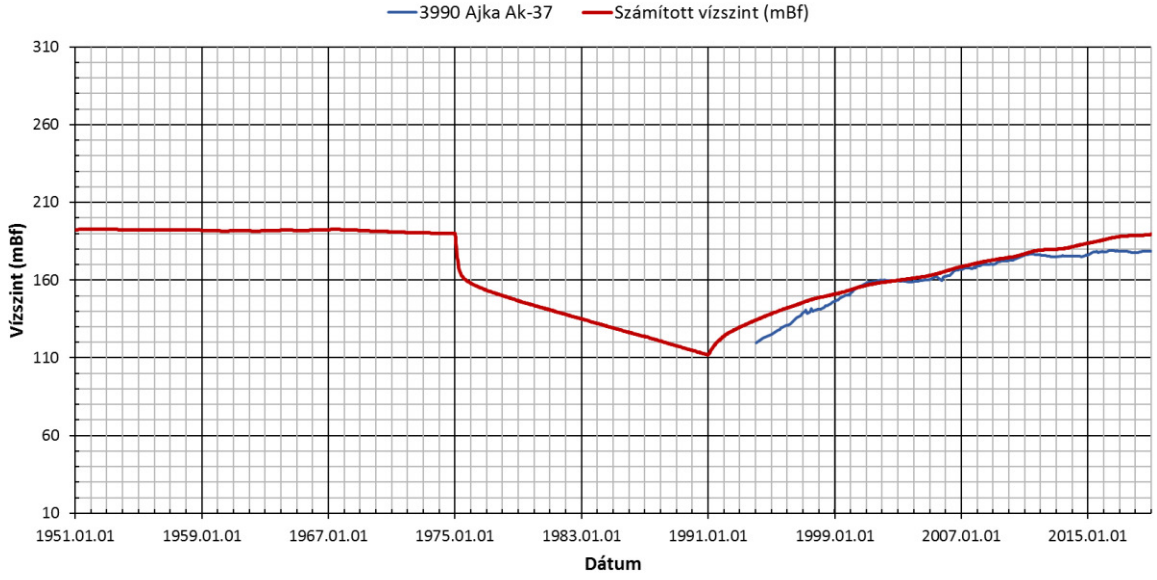

3981 Nyírespuszta HgN-22
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum


3982 Ódörögdpuszta HgN-62
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

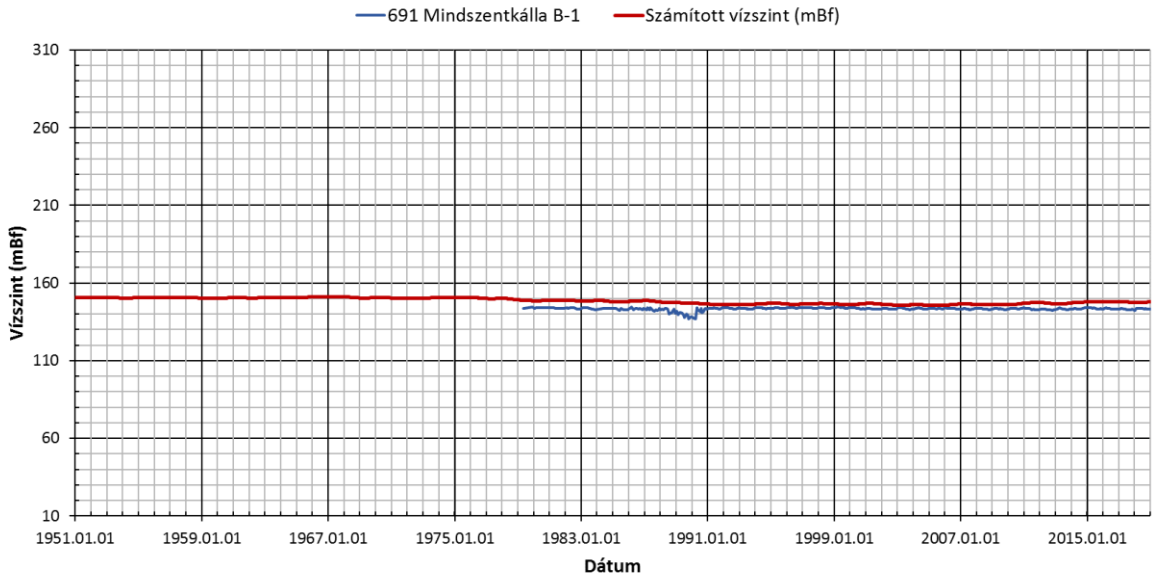

3983 Uzsa HgN-68
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

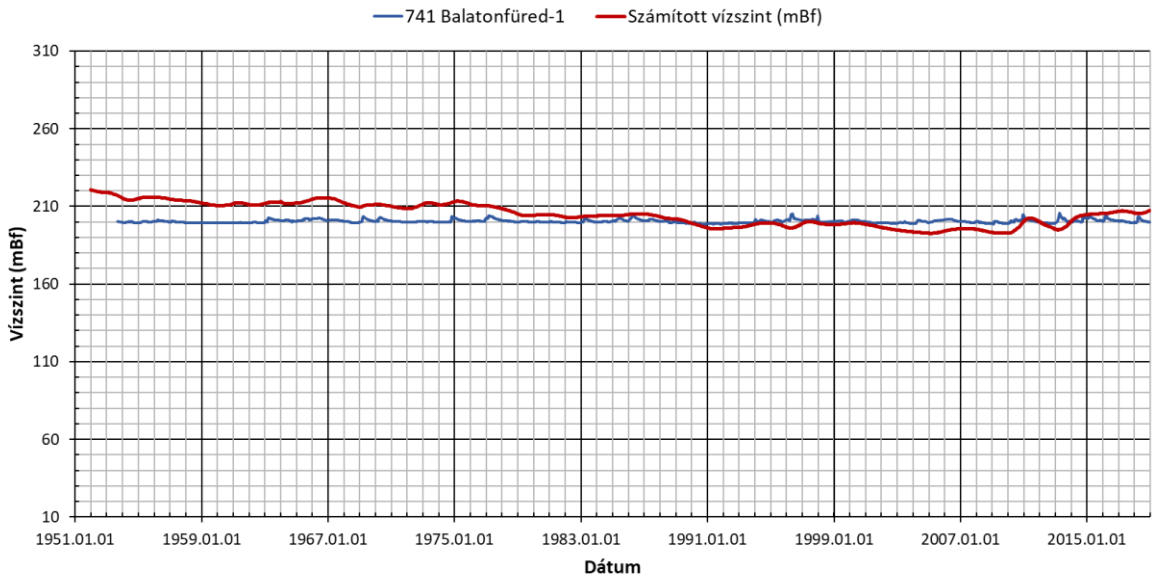

3988 Bakonyjákó Bj-141
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

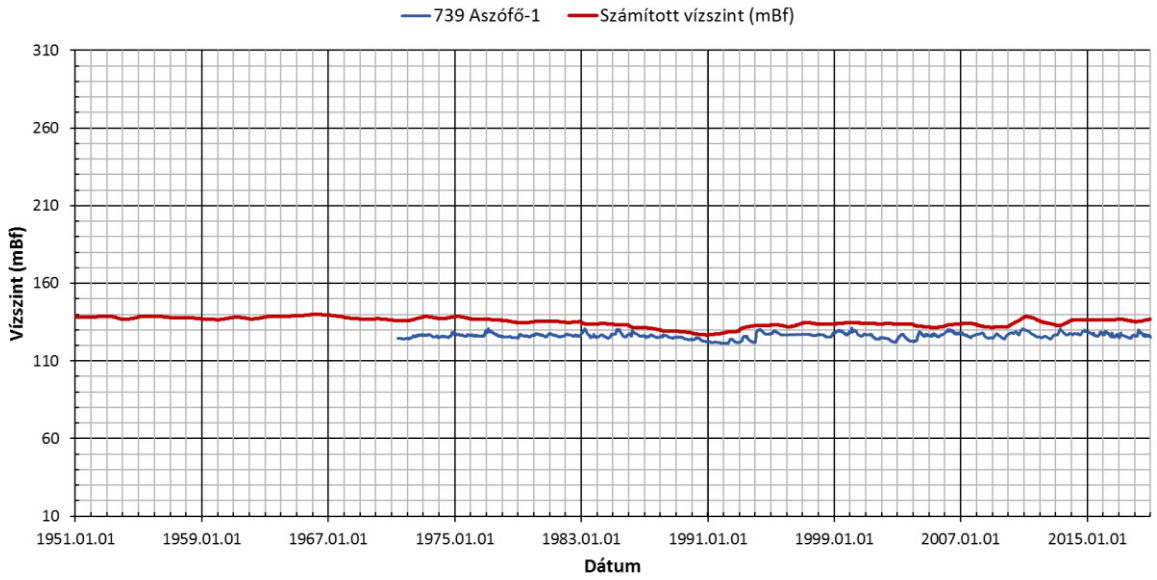

3989 Iharkút Hglk-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

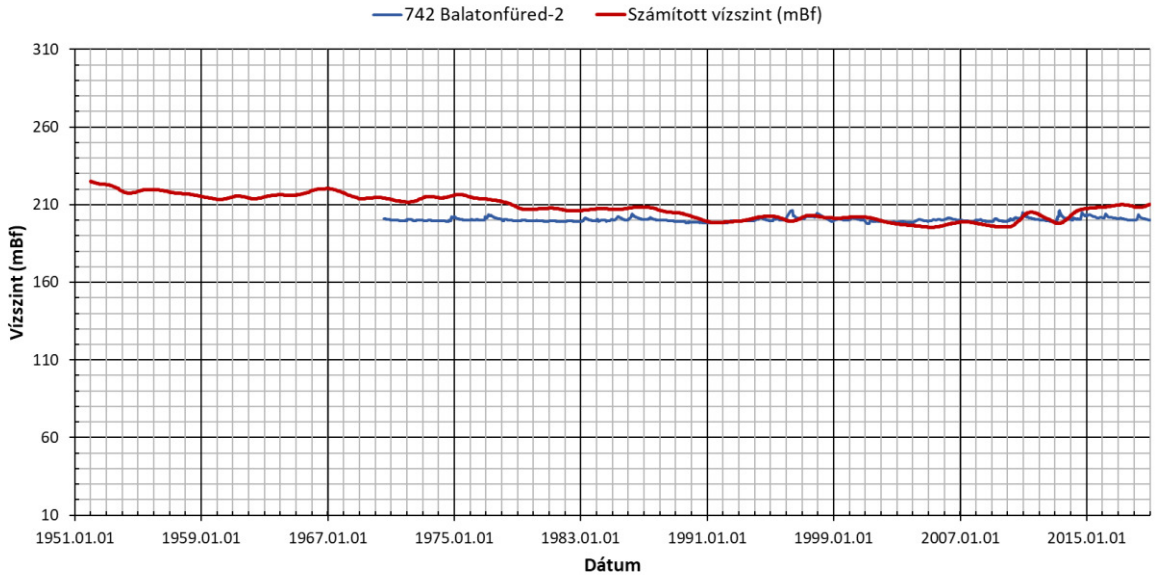

3990 Ajka Ak-37
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

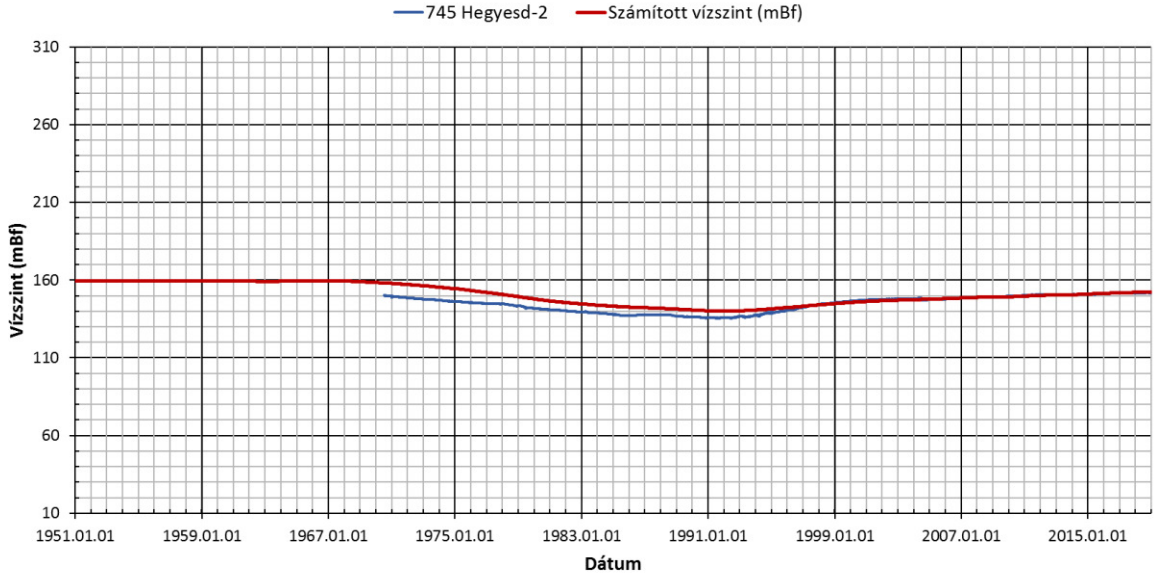
k.4.2 karsztvíztest

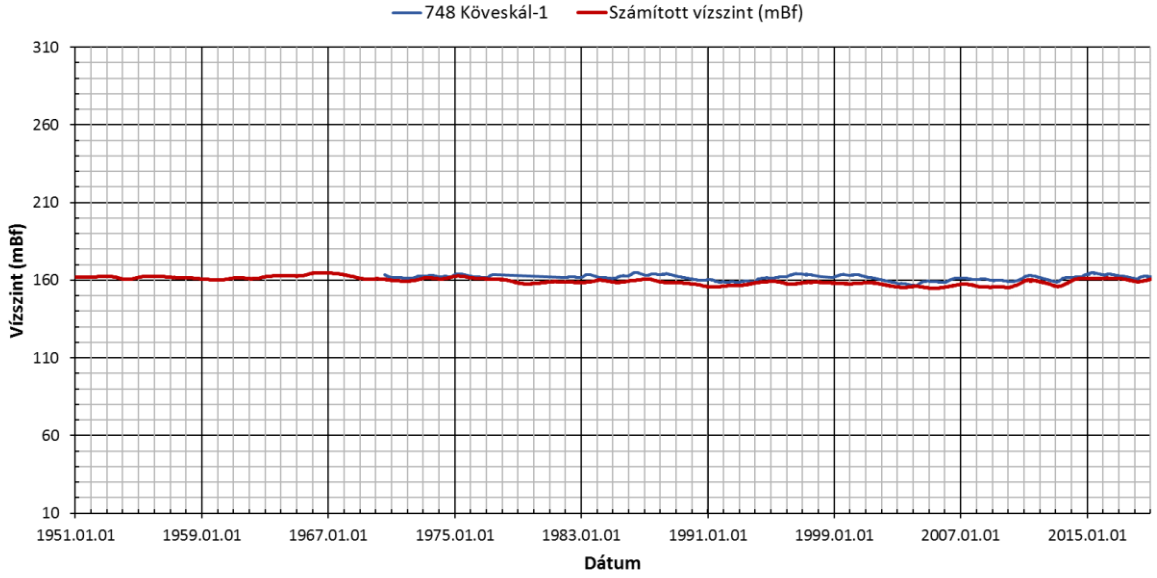


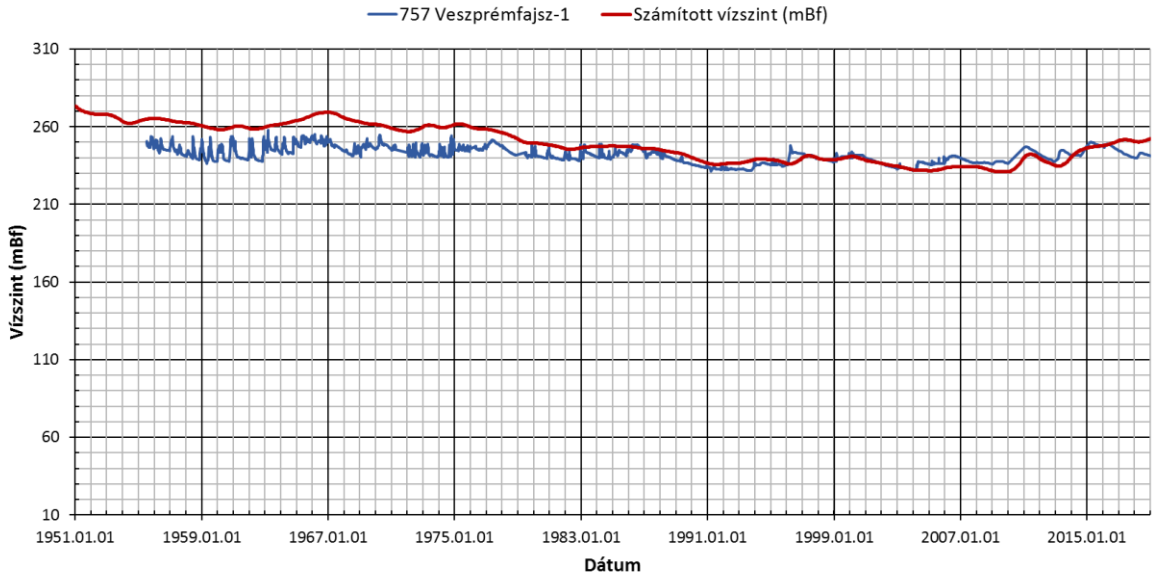


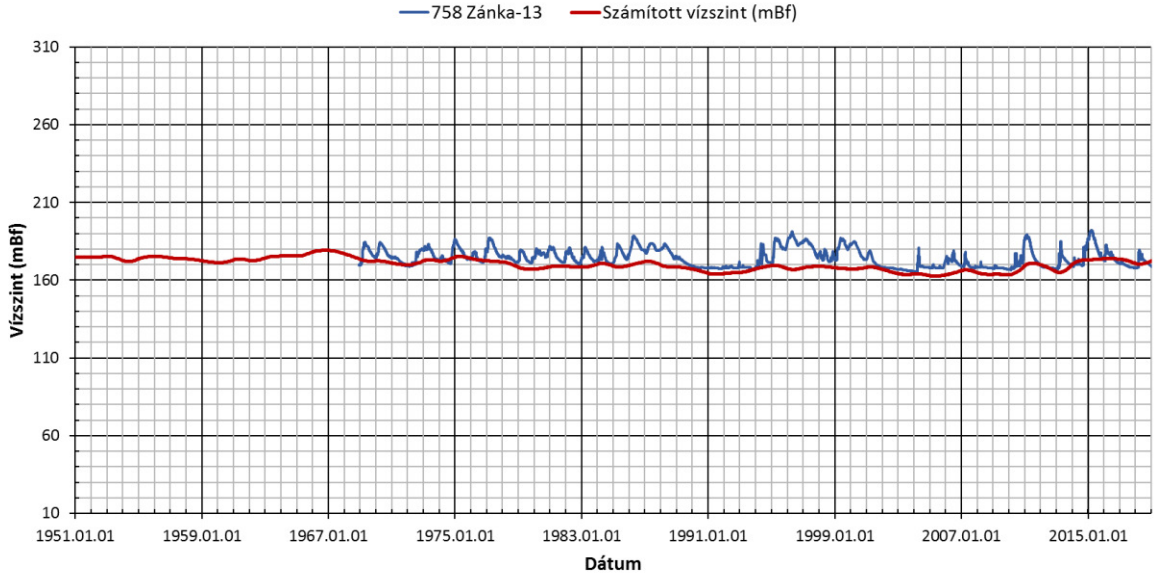



742 Balatonfüred-2
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

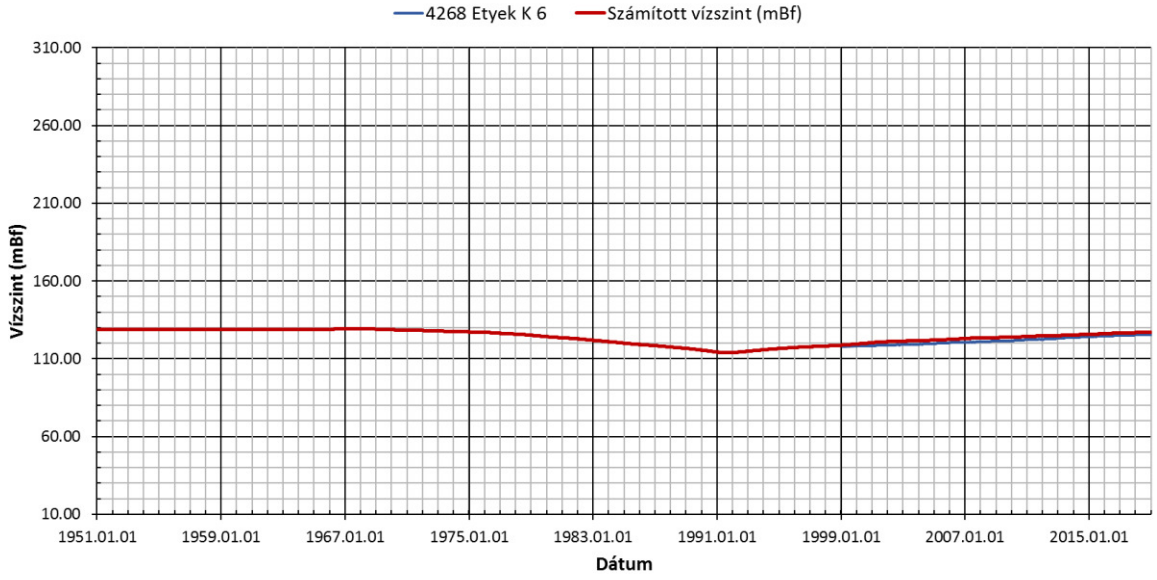

745 Hegyesd-2
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

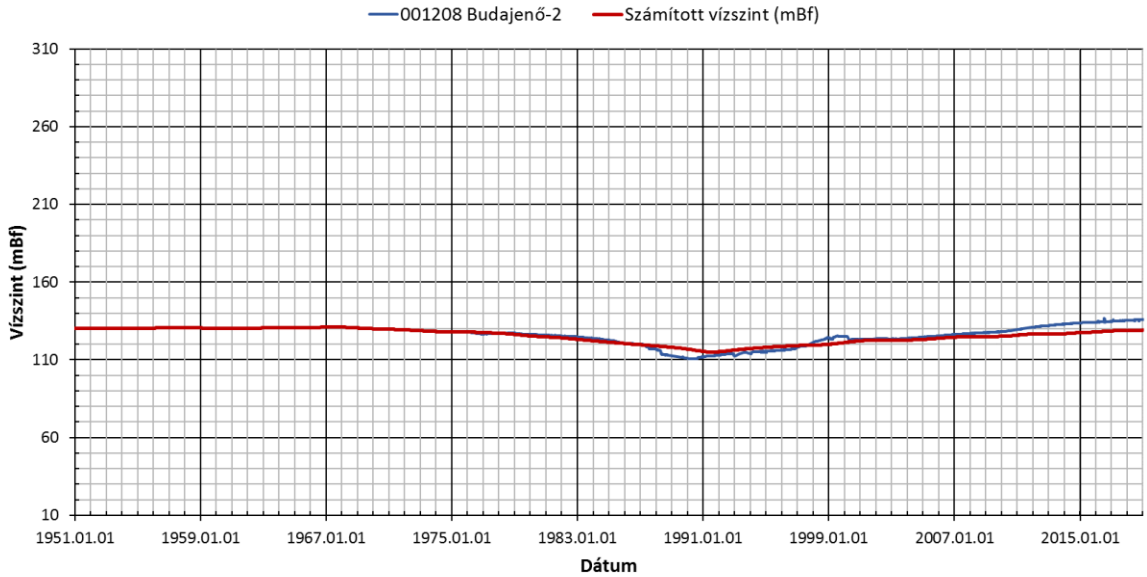

748 Köveskál-1
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

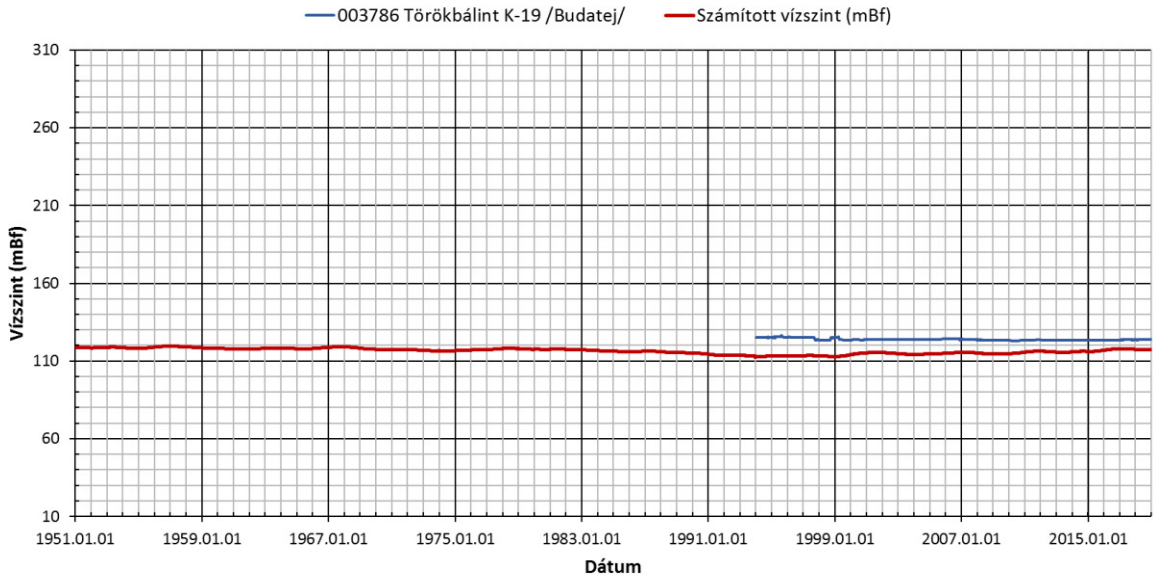




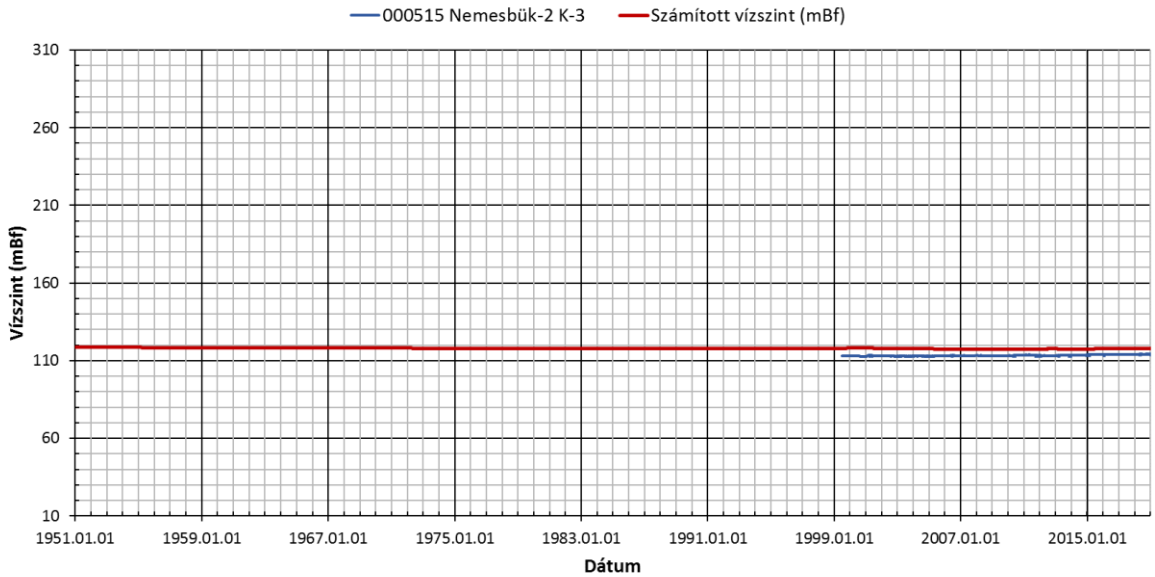
kt.1.3 karsztvíztest

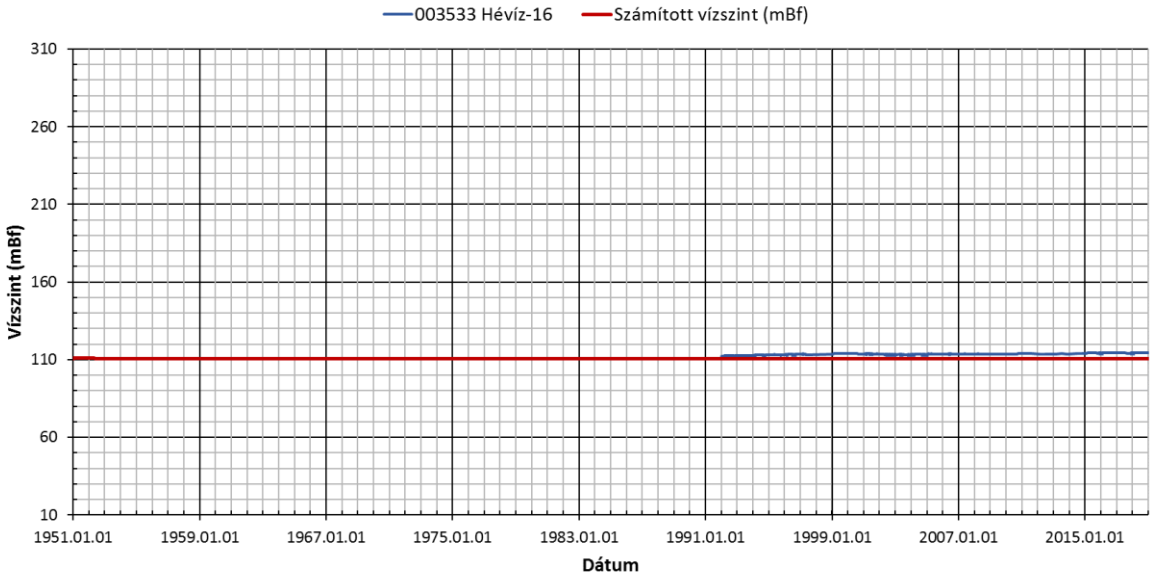






kt.4.1 karsztvíztest

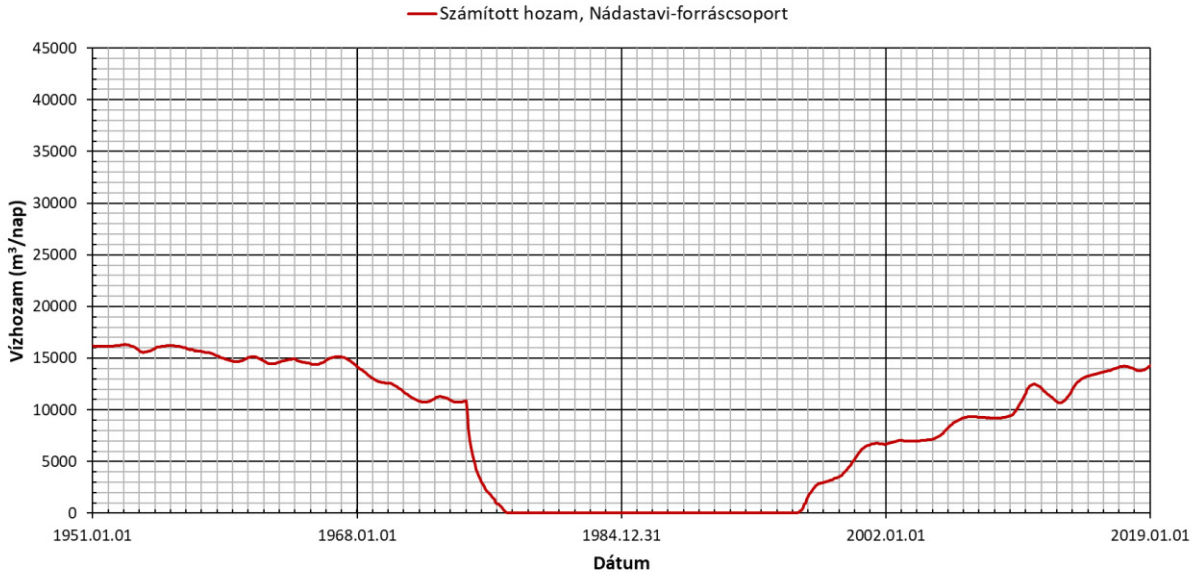


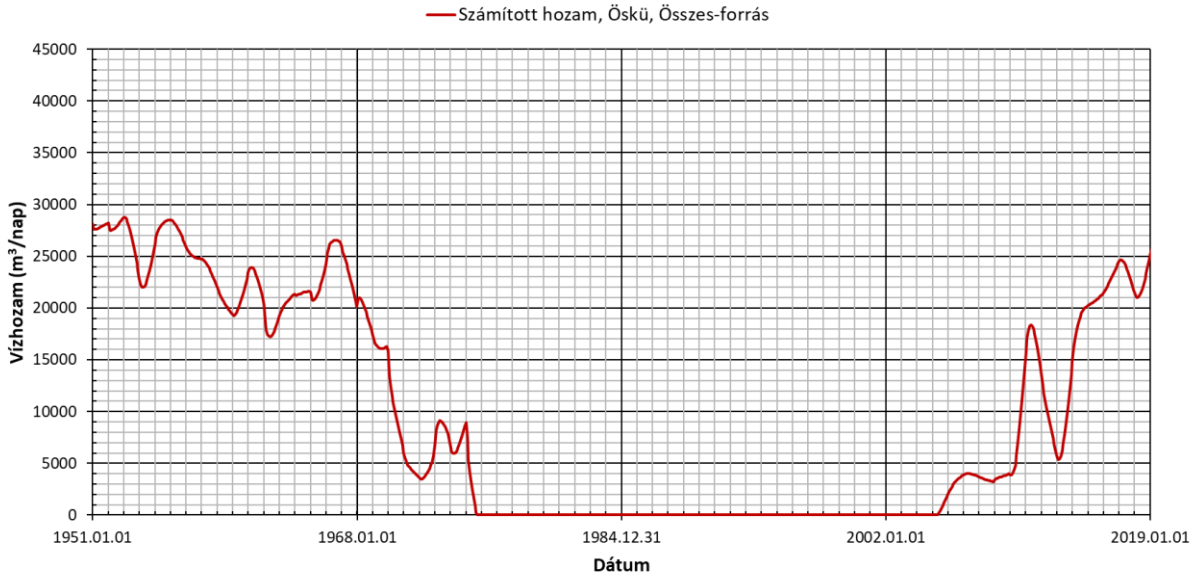

003533 Hévíz-16
Számított vízszint (mBf)
310
260
210
160
110
60
10
Vízszint (mBf)
1951.01.01
1959.01.01
1967.01.01
1975.01.01
1983.01.01
1991.01.01
1999.01.01
2007.01.01
2015.01.01
Dátum

II. kötet – 2. függelék

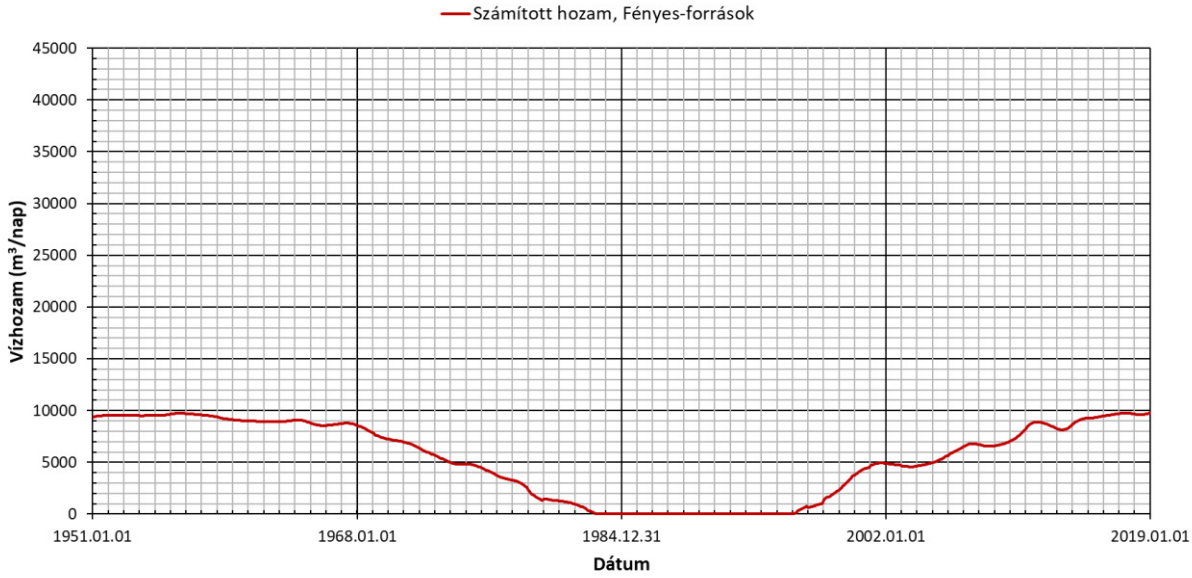
10000 m^3/nap feletti hozamú források: modellezett vízhozam idősorok

k.1.1 karsztvíztest

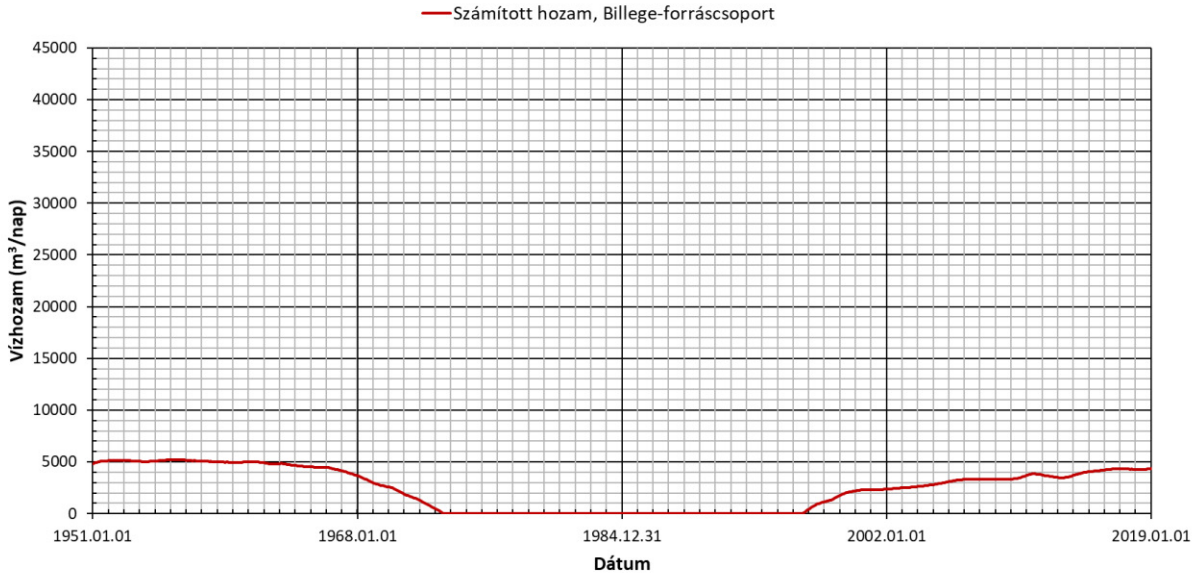


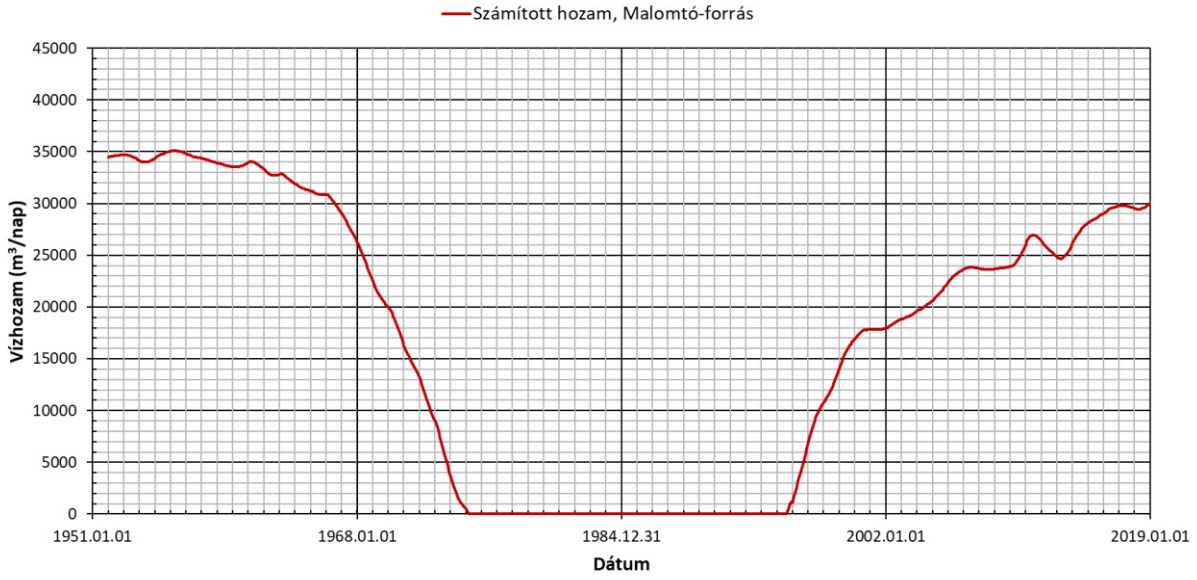


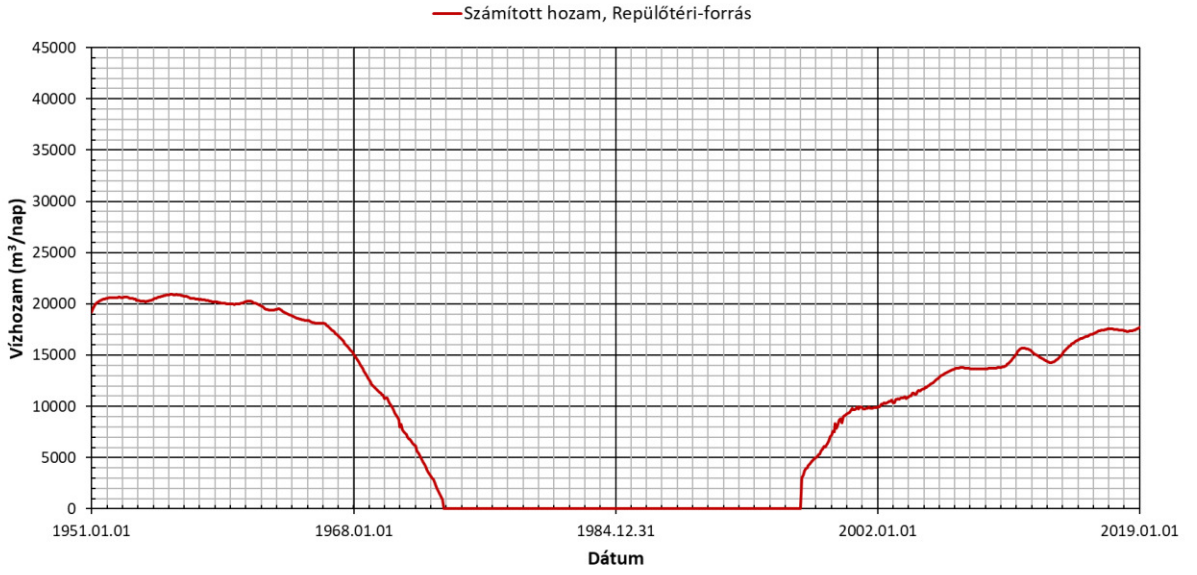
k.1.2 karsztvíztest

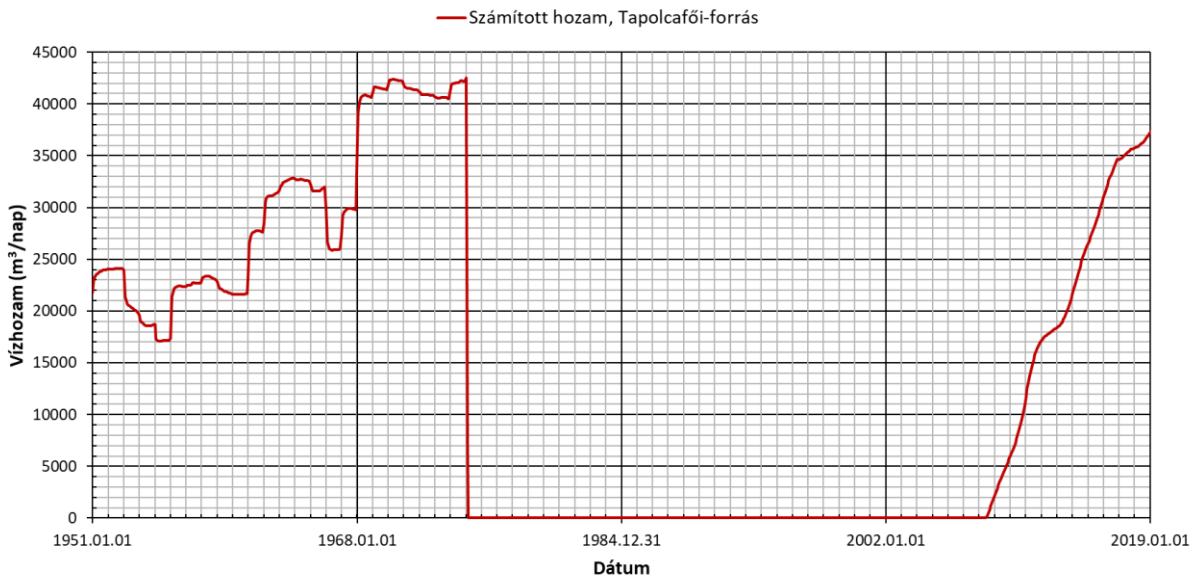
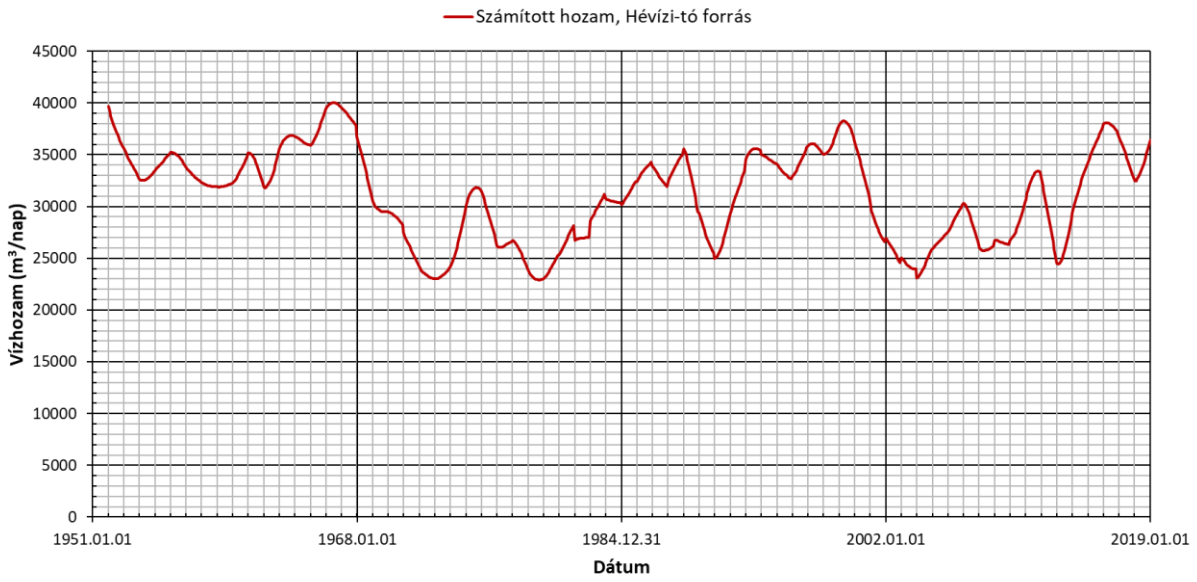


k.4.1 karsztvíztest









kt.4.1 karsztvíztest