LÉVAI PROJEKT

A KÖRNYEZETI HATÁSTANULMÁNY ÖSSZEÁLLÍTÁSÁT MEGALAPOZÓ SZAKTERÜLETI VIZSGÁLATI ÉS ÉRTÉKELÉSI PROGRAMOK KIDOLGOZÁSA ÉS VÉGREHAJTÁSA

Zárójelentés

A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE

MVM Zrt szerződésszám: MVM TEVH/11C00039

MVM ERBE Zrt szerződésszám: S 11 122 0

„A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása”

MVM Zrt szerződésszám: MVM TEVH/11C00039

MVM ERBE Zrt szerződésszám: S 11 122 0

A szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozásában közreműködő szervezetek:

	MVM ERBE Zrt. Környezetvédelmi Osztály Építészeti és Tervezési Osztály Akkreditált Méréstechnikai Laboratórium Minőségellenőrzési és Minőségbiztosítási Osztály
	Központi Statisztikai Hivatal Népességtudományi Kutató Intézet
	Országos Meteorológiai Szolgálat Éghajlati Osztály Megfigyelési Főosztály Földfelszíni Megfigyelések Osztálya Módszerfejlesztési Osztály
	Golder Associates (Magyarország) Zrt.
	VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit Kft.
	VITUKI Hungary Kft.
	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
	Isotoptech Zrt.
	Kék Csermely Kft
	Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet Sugáregészségügyi Főosztály I. Munkahelyi Sugáregészségügyi Osztály Lakossági Környezetegészségügyi Osztály Sejt- és Immun-Sugárbiológiai Osztály
	Országos Környezetegészségügyi Intézet Környezetegészségügyi Főosztály Levegőhigiénés Osztály
	Tölgy Természetvédelmi Egyesület
	Nagy János György

Projektvezető:

Rudi Zsuzsanna
Környezetvédelmi osztályvezető

Jóváhagyó:

Dohán Farkas
Vezérigazgató

Módosítások

Módosítás jele	Módosított fejezet, oldal	Változtatás jellege	Dátum	Aláírás

ELŐZMÉNYEK

„A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása” tárgyú szerződés keretében vizsgálandó szakterületi programok és alprogramok a következők:

I. Telephely jellemzése

II. Időjárási jellemzők
- a) Meteorológia
- b) Mikro- és mezoklíma a telephely környezetében

III. Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése
- a) Földtani közeg bemutatása és jellemzése
- b) Felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése
- c) Telephely hidrológiai jellemzése
- d) Duna és egyéb felszíni vizek állapota
- e) Duna medrének és partfalának állapota

IV. Környezeti radioaktivitás általános jellemzése

V. Zaj- és rezgésterhelés felmérése

VI. Levegőminőség felmérése

VII. Élővilág állapotának jellemzése
- a) Élővilág sugárterhelésének jellemzése (kivéve a humán sugárterhelést)
- b) Minta értékű biomonitoring vizsgálatok végrehajtása

VIII. Lakosság állapotának jellemzése
- a) Lakosság sugárterhelésének meghatározása
- b) A telephely környezetében élők egészségügyi állapotának meghatározása

Egyes szakterületi programok, programcsoportok a környezeti hatásvizsgálat mellett a telephely engedélyeztetését is megalapozzák. Ezek az alábbiak:

Telephely jellemzése

Időjárási jellemzők

Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése

Környezeti radioaktivitás általános jellemzése

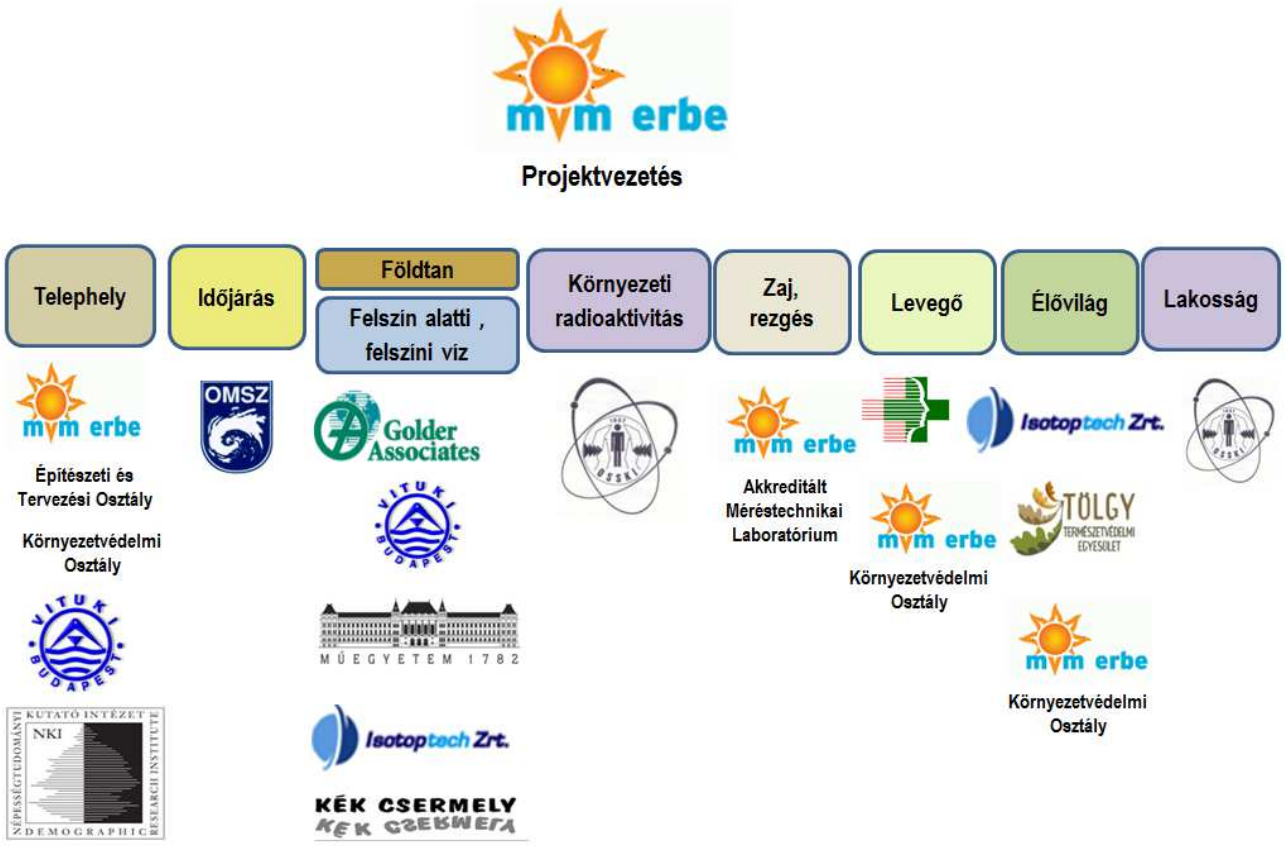
E szakterületi programok kidolgozása és végrehajtása során különös tekintettel voltunk arra, hogy a Szerződésben részletesen rögzített műszaki tartalom pontjai a 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet alapján összeállítandó Telephely engedélyeztetési dokumentáció releváns fejezeteit a szerződésünkben rögzített terjedelemig megalapozzák.

Mind a Környezeti hatásvizsgálat, mind a Telephely engedélyeztetési dokumentáció – az ezen szerződés keretében kidolgozott szakterületi programokat is alapul véve - később készül el.

Két szakterületi programcsoport, az **Időjárási jellemzők** és a **Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése** programcsoportok esetén a Szerződés célként jelölte meg a tervezési alaphoz történő felhasználást is.

SZAKTERÜLETI VIZSGÁLATI ÉS ÉRTÉKELÉSI PROGRAMOK

A szerződés keretében vizsgálandó fenti feladatsor igen sok szakterületet felölelő program, melynek végrehajtásához széles szakmai együttműködés szükséges. Ennek érdekében az MVM ERBE Zrt. (ERBE) szakmailag elismert, megfelelő referenciával rendelkező, minősített szakmai alvállalkozókat bevonva dolgozta ki a feladatait. A szakterületenként együttműködő szakmai szervezetek rendszere az alábbiak szerint alakult.



ALAPADATOK

A munkák megkezdéséhez a Lévai Projekt adatszolgáltatásként rendelkezésre bocsátotta az alábbi dokumentációkat:

- a telephely és környezete alapállapotának korábbi vizsgálati és értékelési eredményeit,
- az atomerőmű üzemidő hosszabbításának környezetvédelmi engedélyezéséhez végzett vizsgálatokat,
- a vizsgálatokról készült zárójelentéseket,
- az üzemidő hosszabbítás Környezeti hatástanulmányát,
- az új blokkra vonatkozó Előzetes konzultációs dokumentációt.

A telephely alapállapotának új vizsgálatokkal történő felmérése és jellemzése a korábbi vizsgálatok kiegészítése, folytatása mindazon esetekben, ahol ezt szakmai vagy jogszabályváltozásból adódó indokok nem zárják ki és a korábbi adatok hozzáférhetőek.

Az alapadatokat áttekintve számos szakterület esetében további adatszolgáltatási igény merült fel, az adatszolgáltatás folyamatosan bővült.

EGYSÉGES KERETPROGRAM – MINŐSÉGTERV

Az ERBE. összeállította az érintett szakterületek és programok tartalmát tekintve szerteágazó szakterületi vizsgálati és értékelési programok Egységes Keretprogramját, valamint Minőségtervét.

Az MVM Lévai Projekt részére átadott dokumentációkat az MVM Lévai Projekt, az MVM Zrt. Környezetvédelmi Osztálya, a Paksi Atomerőmű (PA) Környezetvédelmi Osztálya és Vegyészeti Főosztálya részvételével lefolytatott zsűri elfogadta.

Hatósági egyeztetés

Az Egységes Keretprogram szakmai tartalmát a Dél-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügy Felügyelőség (DdKTVF) véleményezte és a szakmai programot megfelelőnek találta.

MÓDSZERTANI ÉS KRITÉRIUM DOKUMENTUMOK (MKD – TMKD)

Az Egységes Keretprogramból, a Minőségtervből valamint az egyes szakterületekre meghatározott vizsgálati és értékelési terjedelemből kiindulva, az egyes programok kapcsolatát is figyelembe véve az ERBE szakmai alvállalkozóival együttműködve összeállította az egyes szakterületi vizsgálati és értékelési programok módszertani és kritérium dokumentumait, a környezeti hatásvizsgálatot megalapozó MKD-t, valamint a telephely engedélyeztetést megalapozó TMKD-t.

Az MVM Lévai Projekt részére átadott dokumentációkat az MVM Lévai Projekt, az MVM Zrt. Környezetvédelmi Osztálya, a PA Zrt. Környezetvédelmi Osztálya valamint Vegyészeti Főosztálya részvételével megtartott zsűrik elfogadták.

ZÁRÓJELENTÉS

Az új atomerőművi blokkok környezeti hatásvizsgálatát megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok végrehajtásának alapja a jóváhagyott Egységes Keretprogram, az MKD, valamint a TMKD.

A korábbi vizsgálatok és az egyes feladatok specialitásainak figyelembe vétele okán adódott a program alábbi 16 alprogramra osztása.

1. *A telephely jellemzése*
2. *Az időjárás jellemzése*
3. *A földtani közeg bemutatása és jellemzése*
4. *A felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése*
5. *A telephely hidrológiai jellemzése*
6. *A telephely hidrológiai modellezése*
7. *Duna és egyéb felszíni vizek állapota*
8. *Duna medrének és partfalának állapota*
9. *A környezeti radioaktivitás általános jellemzése*
10. *A zaj- és rezgésterhelés felmérése*
11. *A levegőminőség felmérése*
12. *Az élővilág sugárterhelésének jellemzése (kivéve a humán sugárterhelést)*
13. *Minta értékű biomonitoring vizsgálatok - Zoológia*
14. *Minta értékű biomonitoring vizsgálatok - Botanika*
15. *A lakosság sugárterhelésének meghatározása*
16. *A telephely környezetében élők egészségügyi állapotának meghatározása*

A jelen Zárójelentés is e 16 szakterületi alprogram szerint foglalja össze a vizsgálatokat, elemzéseket és azok eredményeit.

A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE

Aláírólap

A Telephely hidrológiai modellezése című szakterületi programot az *Isotoptech Zrt.* dolgozta ki.

A zárójelentés elkészítésében közreműködő szakértők:

Szervezeti egység	*Név*	*Beosztás*	*Aláírás*
Isotoptech Zrt.			
	Hajnal Andor	*tudományos munkatárs*	
	Veres Mihály	*vezérigazgató*	

Tartalomjegyzék

6 TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE 18
6.1 A telephely hidrológiai modellezésének célja 18
6.2 A telephely hidrológiai modellezésének terjedelme 18
6.3 A vizsgálati területek lehatárolása 19
6.3.1 Térbeli kiterjedés 19
6.3.2 Időbeli kiterjedés 20
6.4 Jogszabályi háttér 20
6.5 Alapadat források 23
6.5.1 Alapadatok 23
6.5.2 MVM Lévai Projekt által átadott dokumentációk 23
6.5.3 Szakirodalom 24
6.5.4 Hivatalos statisztikák, adattárak 24
6.5.5 Szoftverek 24
6.6 A telephely hidrológiai modellezésének módszertana 24
6.6.1 Az alkalmazott módszertan leírása 25
6.6.2 Elfogadhatósági kritériumok 27
6.7 Az erőmű környezetének rövid földtani leírása 28
6.8 A telephely hidrológiai modellezése 30
6.8.1 Felszín alatti vízjárásra vonatkozó adatok összegyűjtése elemzése 30
6.8.1.1 A vizsgált területre vonatkozó kritikus vízszint adatok 30
6.8.1.2 A csapadék jellemzése 33
6.8.1.3 A vizsgált területre jellemző releváns trícium koncentráció adatok 34
6.8.1.4 Meghatározó épületek és vezetékek a vizsgált területen 35
6.8.1.5 Összefüggés a vízszintek, a csapadék és a mért trícium értékek között 36
6.8.2 A modellezni kívánt terület lehatárolása, kezdeti és peremfeltételek meghatározása 45
6.8.2.1 A hidegvíz csatorna vízműnél mért szintjei 56
6.8.2.2 A paksi meteorológiai állomás csapadékadatai havi bontásban 56
6.8.2.3 A talajvíz megfigyelő kutak vízszint és trícium adatai 57
6.8.3 A 3D szivárgáshidraulikai modell futtatása megadott peremfeltételek mellett 57
6.8.3.1 A telített zóna jellemzése 57
6.8.3.2 Az erőmű környezetében kialakuló sebességterek különböző Duna vízállások esetén 65
6.8.3.3 A telített zónában, időben állandósult állapotú („steady state") számolások alapján kialakuló sebességterek és pályák extrém Duna vízállások esetén 73
6.8.3.4 A telítetlen zónában feltételezett részecskemozgások aktualizálása. 76
6.8.3.5 A telítetlen zóna szaturációs viszonyai 81
6.8.4 A 3D transzport modell futtatása a trícium-terjedés meghatározására 86
6.8.4.1 Tömegáramok jellemzése 86
6.8.4.2 A trícium terhelés eloszlásának vizsgálata 93
6.9 Modell validálása a mérési adatok alapján 99
6.10 A talajvíz és a rétegvíz közötti transzportfolyamatok értékelése. 103
6.10.1 A rétegvíz kutak és a telített felső zónában szűrőzött kutak szintjeinek összehasonlítása és elemzése 103
6.11 Az építés alatt várható vízkiemelés mértékének és hatásainak előrejelzése 104
6.11.1 Alapadatok 104
6.11.2 Eredmények és következtetések 104
6.11.3 A munkagödör víztelenítés talajvízszintre és sebességtérre gyakorolt hatása 106
6.11.4 A depressziós (leszívás) értékek alakulása 113
6.12 Csámpai-vízmű (mint legközelebbi ivóvízbázis) hidrológiai folyamatokra gyakorolt hatása 126
6.13 Hidrológiai modell összefoglalása 132

Ábrajegyzék

6.3-1. ábra: A modellezett tartomány....19
6.3-2. ábra: A teljes modellezett tartomány....20
6.8-1. ábra: Duna HVCS és Duna Paks vízállás adatok....30
6.8-2. ábra: Jellemző vízállások a Vízkivételi műnél 2000-2011....32
6.8-3. ábra: Duna HVCS, Duna Paks vízállás, valamint a csapadék adatok....34
6.8-4. ábra: A térség talajvízáramlását kialakító jellegzetes Duna vízállások és azok hatása. Modell 2008 – 2009. 37
6.8-5. ábra: Összefüggés az O5 kútban mért trícium aktivitás-koncentráció és vízszint között 2010 első 250 napjában....38
6.8-6. ábra: Az O5 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....39
6.8-7. ábra: Az O6 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....39
6.8-8. ábra: Az O7 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....40
6.8-9. ábra: A T05 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....40
6.8-10. ábra: A T07 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....41
6.8-11. ábra: A T10 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....41
6.8-12. ábra: A T17 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....42
6.8-13. ábra: A T24 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....42
6.8-14. ábra: A T37 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....43
6.8-15. ábra: Az M05 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011....43
6.8-16. ábra: A trícium monitoring rendszer kútjaiban mért trícium aktivitás koncentrációk átlagértékeinek változása 2011-ig....44
6.8-17. ábra: Az O5 kút terhelésére vonatkozó hosszú távú becslés....45
6.8-18. ábra: A „constant head”-ek elhelyezkedése. 47
6.8-19. ábra: A vizsgálati terület északi része. 48
6.8-20. ábra: A vizsgálati terület déli része....49
6.8-21. ábra: A modellezés során alkalmazott szelvények nyomvonalai....51
6.8-22. ábra: Az alkalmazott szivárgási tényezők. 52
6.8-23. ábra: Az alkalmazott effektív porozitás, fajlagos tároló képesség és fajlagos hozam. 52
6.8-24. ábra: Az alkalmazott diszperziós tényezők és diffúziós együtthatók. 53
6.8-25. ábra: A modellezett tartomány....53
6.8-26. ábra: A modell vertikális rétegelosztása. 54
6.8-27. ábra: A modell horizontális cellarendszere. 55
6.8-28. ábra: Kinagyított rész a modell horizontális cellarendszeréből. 55
6.8-29. ábra: A hidegvíz csatorna vízszintjei a vizsgált időszakban....56
6.8-30. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe alacsony (85,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.05.10-én. 58
6.8-31. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.01-én. 58
6.8-32. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11-én. 59
6.8-33. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (87,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.07.05-én. 59
6.8-34. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe magas (88,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.12-én....60
6.8-35. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.28-án. 60
6.8-36. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07-én. 61
6.8-37. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16-án....61
6.8-38. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07. 62
6.8-39. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11. 62
6.8-40. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16....63
6.8-41. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07....63
6.8-42. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11....64
6.8-43. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16. 64
6.8-44. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér alacsony (85,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.05.10. 65
6.8-45. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07. 66
6.8-46. ábra: Alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.10.07. 66
6.8-47. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.01. 67
6.8-48. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11. 67
6.8-49. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (87,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.07.05. 68
6.8-50. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.28. 68
6.8-51. ábra: Közepes Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.06.11....69
6.8-52. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér magas (88,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.12....69
6.8-53. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16....70

6.8-54. ábra: Magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.10.16. ..... *70*
6.8-55. ábra: A teljes területen kialakuló pályák. *71*
6.8-56. ábra: A főépület alatt kialakuló pályák. *72*
6.8-57. ábra: Az új erőmű építési területe alatt kialakuló pályák. *72*
6.8-58. ábra: Jellemző vízrészecske pályák a telített és telítetlen zónában. *73*
6.8-59. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03. ..... *74*
6.8-60. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06. ..... *74*
6.8-61. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03. ..... *75*
6.8-62. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06. ..... *75*
6.8-63. ábra: A teljes területen kialakuló pályák extrém magas Duna vízállás esetén. *76*
6.8-64. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03. ..... *77*
6.8-65. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03. ..... *77*
6.8-66. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03. ..... *78*
6.8-67. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03. ..... *78*
6.8-68. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06. ..... *79*
6.8-69. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06. ..... *79*
6.8-70. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06. ..... *80*
6.8-71. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06. ..... *80*
6.8-72. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.05.10. ..... *81*
6.8-73. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.06.01. ..... *82*
6.8-74. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.06.11. ..... *82*
6.8-75. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.07.05. ..... *83*
6.8-76. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.08.12. ..... *83*
6.8-77. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.08.28. ..... *84*
6.8-78. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke alacsony Duna vízállás esetén 2011.10.07. ..... *85*
6.8-79. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke magas Duna vízállás esetén 2011.10.16. ..... *85*
6.8-80. ábra: A tömegáramok jellemzésére kialakított zónák. *86*
6.8-81. ábra: Az egyes zónák térfogatárama az aktuális hidrológiai félévre lebontva (beáramlás). *92*
6.8-82. ábra: Az egyes zónák térfogatárama az aktuális hidrológiai félévre lebontva (kiáramlás). *92*
6.8-83. ábra: A lehetséges trícium terhelés-források elemzéséhez használt konstans koncentrációjú helyek 82 – 88mBf szinten *93*
6.8-84. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.06.11.-én. *95*
6.8-85. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.08.12.-én. *96*
6.8-86. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.10.07.-én. *97*
6.8-87. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.10.16.-án. *98*
6.9-1. ábra: A vízszintek (zöld) és a trícium koncentrációk (lila) ellenőrzésére szolgáló kalibrációs kutak elhelyezkedése az erőmű szűk környezetében. *99*
6.9-2. ábra: A számolt és mért vízszintek összehasonlítása a fő épületet övező kalibrációs kutakban. *100*
6.9-3. ábra: A számolt és mért trícium koncentrációk összehasonlítása a fő épületet övező kutakban. 2011. május 1. ..... *101*
6.9-4. ábra: A számolt és mért trícium koncentrációk összehasonlítása a fő épületet övező kutakban. 2011. október 31. ..... *102*
6.10-1. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.10.31. ..... *103*
6.11-1. ábra: A munkagödör horizontális elhelyezkedése. *104*
6.11-2. ábra: A munkagödör vertikális elhelyezkedése. *105*
6.11-3. ábra: A drénhálózat horizontális képe. *105*
6.11-4. ábra: A drénhálózat vertikális képe. *106*
6.11-5. ábra: A hidegvíz csatorna vízszintjei a vizsgált időszakban. *106*
6.11-6. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.05.01-én. *107*
6.11-7. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.06.17-én. *107*
6.11-8. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.08.24-én. *108*
6.11-9. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.10.31-én. *108*
6.11-10. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én. *109*
6.11-11. ábra: Sebességtér vertikális alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én. *109*
6.11-12. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én. *110*
6.11-13. ábra: Sebességtér vertikális alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.június 17-én. *110*
6.11-14. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.augusztus 24-én *111*
6.11-15. ábra: Sebességtér vertikális alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.augusztus 24-én. *111*
6.11-16. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.október 31-én. *112*
6.11-17. ábra: Sebességtér vertikális alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.október 31-én. *112*

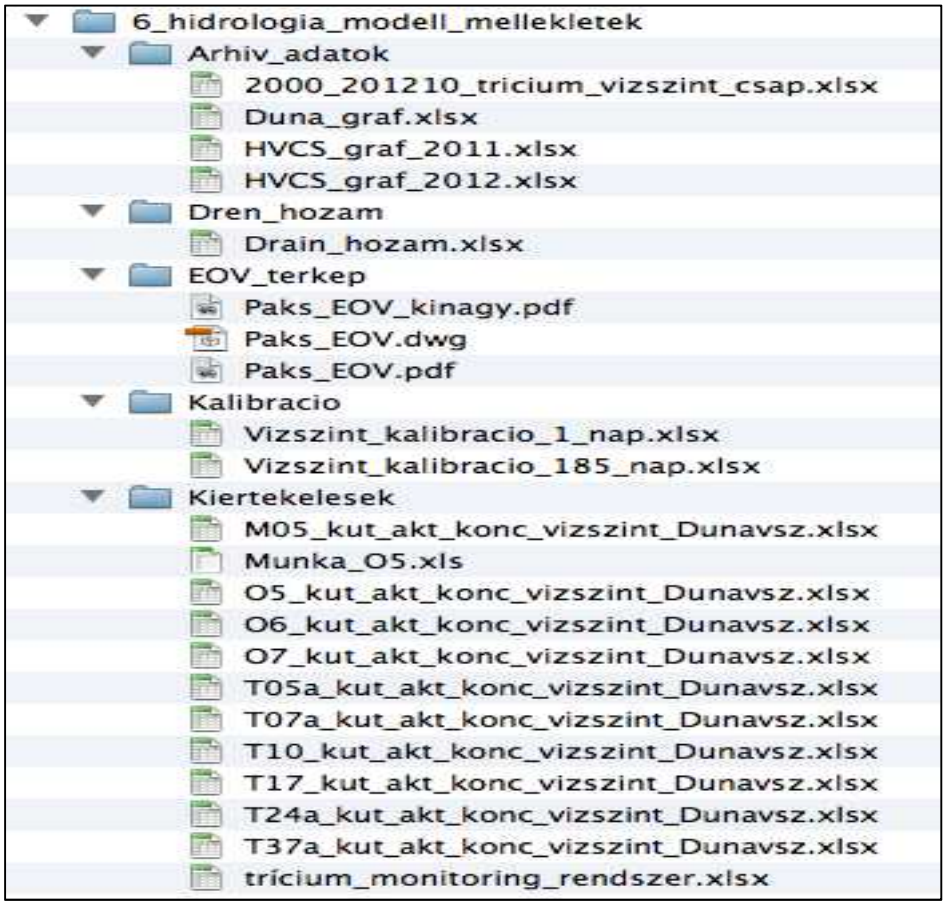
6.11-18. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.05.01. 113
6.11-19. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.06.17. 113
6.11-20. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.08.24. 114
6.11-21. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.10.31. 114
6.11-22. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.05.01.-én víztelenítés hatására. (0. nap). 115
6.11-23. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.05.25.-én víztelenítés hatására. (25. nap). 116
6.11-24. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.06.19.-én víztelenítés hatására. (50. nap). 117
6.11-25. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.08.08.-án víztelenítés hatására. (100. nap). 118
6.11-26. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.09.27.-én víztelenítés hatására. (150. nap). 119
6.11-27. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.10.31.-én víztelenítés hatására. (185. nap). 120
6.11-28. ábra: A drénhálózat vízhozama. 121
6.11-29. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.05.01. 122
6.11-30. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.10.31. 124
6.12-1. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű elhelyezkedésének horizontális képe. 126
6.12-2. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű elhelyezkedésének vertikális képe. 127
6.12-3. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű rétegvízszintre és sebességtérre gyakorolt hatása a vízrekesztő réteg alatti összletekben. 127
6.12-4. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű rétegvízszintre és sebességtérre gyakorolt hatása a vízrekesztő réteg alatti összletekben. 128
6.12-5. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a kitermelő kút és a főépület környezetében (185 napos mozgási pályák). ...128
6.12-6. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a felső telített zónában (185 napos mozgási pályák). 129
6.12-7. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a vízrekesztő rétegek alatt (185 napos mozgási pályák). 129
6.12-8. ábra: A vízrészecske pályák horizontális nézete a 10. rétegben (74 mBf), a vízrekesztő rétegek felett. 130
6.12-9. ábra: A vízrészecske pályák horizontális nézete a 18. rétegben (35 mBf), a vízrekesztő rétegek alatt. 130
6.12-10. ábra: A leszívás értékek horizontális ábrázolása a kút környezetében (17. réteg, 49 mBf). 131
6.12-11. ábra: A leszívás értékek vertikális ábrázolása a kút környezetében. 131

Táblázatjegyzék

6.8-1. táblázat: Az évi csapadék mennyisége az erőmű területén (2000-2011) 34
6.8-2. táblázat: A paksi meteorológiai állomáson mért csapadék adatok 2011. május 1-től 2011. október 31-ig havi bontásban 56
6.8-3. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok. 87
6.8-4. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok extrém alacsony Duna vízállás esetén. 88
6.8-5. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok extrém magas Duna vízállás esetén. 89
6.8-6. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok a vizsgált időszak első napján. 90
6.8-7. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok a vizsgált időszak utolsó napján. 91
6.11-1. táblázat: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek (mBf) összehasonlítása 2012.05.01. 123
6.11-2. táblázat: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek (mBf) összehasonlítása 2012.10.31. 125

Mellékletek

Elektronikus úton átadott mellékletek:



Rövidítésjegyzék

EÜ épület	egészségügyi épület
EüM	Egészségügyi Minisztérium
FVM	Vidékfejlesztési Minisztérium
HVCS	hidegvíz csatorna
KöM	Környezetvédelmi Minisztérium
KöV	középvíz
KV	kisvíz
KvVM	Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium
LKV	legkisebb víz
LNV	legnagyobb víz
mBf	méter balti felett
MVCS	melegvizes csatorna
NBSz	Nukleáris Biztonsági Szabályzat
NV	nagyvíz
RMS	root mean square
1. kiépítés	jelenlegi erőmű 1. és 2. blokkja
2. kiépítés	jelenlegi erőmű 3. és 4. blokkja

6 TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE

A Telephely hidrológiai modellezése című szakterületi alprogram az alábbi négy alprogrammal áll kapcsolatban:

- ✓ a földtani közeg bemutatása és jellemzése
- ✓ felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése
- ✓ Duna és egyéb felszíni vizek állapotának jellemzése
- ✓ Duna medrének és partfalának állapota

6.1 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSÉNEK CÉLJA

A hidrológiai modellezések célja a telephely és környezetének környezeti állapotát, illetve a későbbi hatásfolyamatokat befolyásoló tényezők meghatározása:

- ❖ a tervezési alaphoz,
- ❖ a fennálló állapot értékeléséhez,
- ❖ a létesítmény lehetséges környezeti hatásainak értékeléséhez,
- ❖ a telephely engedélyeztetéshez.

Az erőmű szűkebb, a főépület körüli környezetére korábban kifejlesztett hidrológiai és trícium terjedési modellnek a tervezett új erőmű által elfoglalt területre történő kiterjesztése biztosíthatja azt, hogy megfelelő információ álljon rendelkezésre a tervezett új erőmű által elfoglalt területen lejátszódó hidrológiai és transzport folyamatokra vonatkozóan.

6.2 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSÉNEK TERJEDELME

Nukleáris erőművek üzemelése közben a trícium folyamatosan termelődik. A trícium a hidrogén atom hármas tömegszámú izotópja, így beépül a vízmolekulába (H2O) az egyik hidrogén atom helyére (HTO). A HTO pontosan úgy viselkedik, mint a többi vízmolekula, tehát a vízzel együtt mozog, nyomjelzi a víz útvonalát. Amennyiben az erőmű technológiai rendszerében a legkisebb hiba (rés, repedés, tömítetlenség) keletkezik, a szivárgást a talajvízben (monitoring kutak vizében) megjelenő trícium azonnal jelzi. Emiatt a jelenleg rendelkezésre álló és a kiterjesztett transzport modell a trícium mozgását követi nyomon.

A munka során az alábbi feladatokat végeztük el:

- ❖ A felszín alatti vizek telephelyre és a telephely közvetlen környezetére vonatkozó hidrológiai adatainak összegyűjtése és adatbázisba rendezése. Az adatok statisztikai feldolgozása a hosszú távú tendenciák jellemzése, a tendenciák okainak feltárása.
- ❖ A talajvíz és a felszíni vizek egymásra gyakorolt hatásának értékelése a telephelyre és annak közvetlen környezetére vonatkozóan.

  A vizsgált tartományban a Duna, a hidegvíz csatorna, a halastavak és a talajvíz között kialakuló talajvíz áramlási viszonyok jellemzése. A jellegzetes Duna vízállások függvényében a forrás (a hidrológiai rendszert tápláló) és nyelő (a hidrológiai rendszert megcsapoló) tagok meghatározása és a tömegáramok jellemzése.

  A 2000-től rendelkezésre álló vízszint és trícium adatok feldolgozása a jelenlegi erőmű szűk környezetére vonatkozóan. Foglalkoztunk az alacsony, közepes, magas Duna vízszintek esetén megvalósuló viszonyokkal. Mivel az erőmű szűk környezetére 2008-tól áll rendelkezésre évről évre részletesebb modell, ezért a 2008-2011 évi időszakra nagyobb hangsúlyt fektettünk.
- ❖ A jelenlegi blokkok környezetére kidolgozott hidrológiai és tríciumra vonatkozó transzportmodell kiterjesztése az új blokkok telephelyére.

A kiterjesztett transzportmodell szintén a tríciumra vonatkozik. Jelenleg hiányoznak az új erőmű szerkezetére, kialakítására vonatkozó adatok ezért a kiterjesztett modell még nem tartalmazza az új erőművet és az ahhoz tartozó hidrológiai mozgásokat esetleg tovább módosító objektumokat (például további hidegvíz csatorna, hűtőtorony, terepszint alatti létesítmények, stb.)

A modellezés során foglalkozunk a telített zónában kialakuló talajvízszintekkel, a sebességtérrel, a jellemző áramlási irányokkal és állításokat teszünk a telítetlen zóna szaturációs viszonyaira és pályáira. Ezek során az időben állandósult „steady state" és további dinamikus „transient" számolások alapján jellemezzük a jellegzetes alacsony, közepes és magas Duna vízszintek során kialakuló viszonyokat.

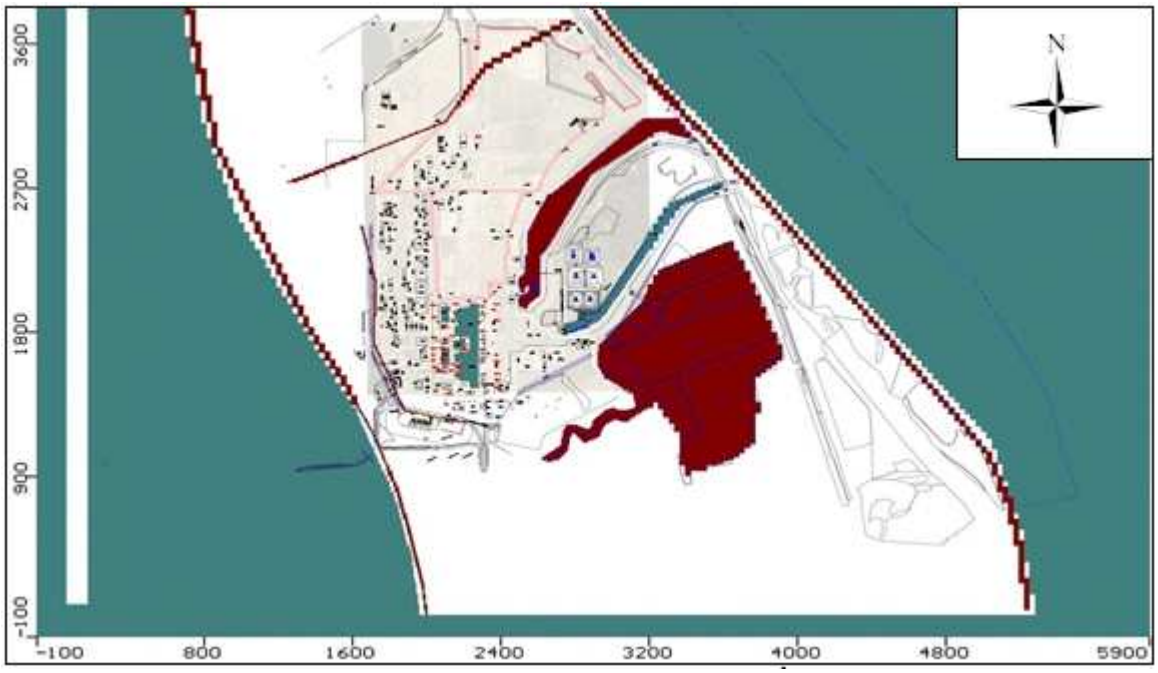
Az új erőmű szerkezeti felépítése, a lehetséges trícium szivárgási helyek, csővezetékek elhelyezkedése még nem ismert. Emiatt a jelenleg rendelkezésre álló, tríciumra vonatkozó mérési adatok alapján mutatjuk be a jelenleg üzemelő erőmű által nem tervezett módon talajba került trícium mozgását.

- A talajvíz és a rétegvíz közötti transzportfolyamatok értékelése. Az építés alatt várható vízkiemelés mértékének és hatásainak előrejelzése.
- Elemezzük, hogy az építés és az egyes műszaki földmunkák során mekkora mértékű vízkiemelés szükséges a terület szárazon tartásához. Elemezzük a lehetséges szivattyúzások és a drén / csatornahálózat kialakításának talajvíztükörre gyakorolt hatását, a vízszint süllyedés mértékét és kiterjedését, a trícium-lencse várható mozgását.
- Bemutatjuk a modellezett terület határára „áthelyezett" Csámpai-vízmű rétegvízszintre gyakorolt hatását.

6.3 A VIZSGÁLATI TERÜLETEK LEHATÁROLÁSA

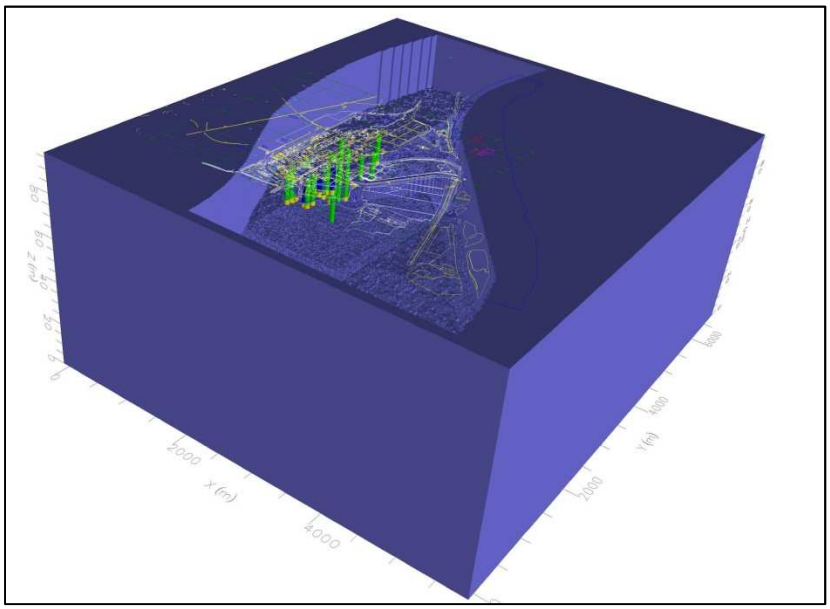
6.3.1 TÉRBELI KITERJEDÉS

A felszín alatti víz mozgásait vizsgáló modell a jelenlegi erőmű telephelyére, szűk környezetére és a tervezett erőmű területére terjed ki.



6.3-1. ábra: A modellezett tartomány.

A teljes modellezett tartomány egy 97 méter mély medenceszerű, a *6.3-2. ábra* által szemléltetett térrész.



6.3-2. ábra: A teljes modellezett tartomány

6.3.2 IDŐBELI KITERJEDÉS

A vizsgálati periódus a 2011-es év második hidrológiai félévére (2011.05.01.-2011.10.31.), illetve a 2012.-es év második hidrológiai félévére (2012.05.01-2012.10.31) vonatkozik. Az adott féléves periódusokat azért választottuk, mert átlagos, alacsony és magas Duna vízállások egyaránt jelentkeztek azok folyamán.

További szempont volt az is, hogy a legfrissebb adatokkal mutathassuk be a telephely környezetében uralkodó hidrológiai folyamatokat.

Az adatokat kiegészítjük extrém alacsony (84,81 mBf) illetve magas (93,99 mBf) Duna vízszintekhez tartozó értékekkel, hogy szélsőséges viszonyok mellett is bemutathassuk a hidrológiai és transzport folyamatokat.

6.4 JOGSZABÁLYI HÁTTÉR

A Telephely hidrológiai modellezése vizsgálati programra vonatkozóan *a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Kormányrendelet* az alábbi releváns előírásokat tartalmazza:

6. § (1) A környezeti hatásvizsgálati eljárás a környezeti hatásvizsgálatra kötelezett tevékenységnek

a) a környezeti elemekre (földre, levegőre, vízre, élővilágra, épített környezetre, ez utóbbi részeként a műemlékekre, műemléki területekre és régészeti örökségre is),

b) a környezeti elemek rendszereire, folyamataira, szerkezetére, különösen a tájra, településre, *éghajlatra,* természeti (ökológiai) rendszerre való hatásainak, továbbá

c) az előbbi hatások következtében az érintett népesség egészségi állapotában, valamint társadalmi, gazdasági helyzetében – különösen életminőségében, területhasználata feltételeiben – várható változásoknak az egyes esetek sajátosságainak figyelembevételével történő meghatározására, valamint a tevékenység ennek alapján történő engedélyezhetőségére terjed ki a 6–16. §-ok rendelkezései szerint.

A környezeti hatásvizsgálatot megalapozó, szakterületi vizsgálati és értékelési programot a 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet mellett az Országhatáron átterjedő környezeti hatások vizsgálatáról szóló Espoo-i Egyezmény (Espoo,

Finnország, 1991.), a vonatkozó EU előírások, a releváns és hatályos szakterületi jogszabályok és szabványok figyelembe vételével állítottuk össze és hajtottuk végre.

Európai Uniós joganyagok (Decision, Directive)

2006/44/EK (IX. 6.) Az Európai Parlament és a Tanács Irányelve a halak életének megóvása érdekében védelmet vagy javítást igénylő édesvizek minőségéről

Törvények

1995. évi *LIII. törvény* a környezet védelmének általános szabályairól

Kormányrendeletek

A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet

220/004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól

221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól

219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről

123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízilétesítmények védelméről

Miniszteri rendeletek

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről

11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet a folyók mértékadó árvízszintjeiről

15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről.

Ezen belül külön kiemeljük az alábbi pontokat:

1.§: E rendelet hatálya kiterjed az atomenergia alkalmazása során:

a) a radioaktív anyagoknak a levegőbe és vízbe történő kibocsátására,
b) a vizek és víztartó képződmények radioaktív és hőszennyezés elleni védelmére,
c) a levegő és a vízi környezet radioaktív szennyeződése ellenőrzésére, valamint a fenti tevékenységet végzőkre.

3.§ (1) a) Kiemelt létesítménynél az atomenergia alkalmazója a külön jogszabály szerint az Országos Tisztifőorvosi Hivatal által meghatározott dózismegszorításból kiindulva származtatja az éves kibocsátási határértéket.

b) a származtatást e rendelet *1. számú mellékletében* foglalt szempontok figyelembevételével végzi el úgy, hogy a kibocsátási határérték betartása, illetve a kibocsátási határérték kritérium teljesülése esetén a lakosság éves sugárterhelése ne haladja meg a dózismegszorítást;

A melléklet szerint alkalmazott alapösszefüggés:

$$EL_{ij} = \frac{1}{\Gamma}\frac{DL}{DE_{ij}},$$

ahol:

EL_{ij}: az i radionuklid, illetve radionuklid csoport j kibocsátási módra vonatkozó kibocsátási határértéke (Bq év^{-1}),
DL: a tevékenységre vonatkozó dózismegszorítás (Sv év^{-1}),
DE_{ij}: az i radionuklid vagy radionuklid csoport j kibocsátási módon történő egységnyi kibocsátására eső éves dózisjáruléka (Sv év-1/Bq év^{-1}),

Γ: a származtatási folyamat bizonytalanságát figyelembe vevő biztonsági tényező. Értékét kiemelt létesítmény esetén a felügyelőség állapítja meg (Γ<5).

A kibocsátási határérték kritérium:

$$\sum_{ij} \frac{R_{ij}}{EL_{ij}} \leq 1,$$

A kibocsátási kivizsgálási kritérium:

$$\sum_{ij} \frac{R_{ij}}{EL_{ij}} > 0{,}3,$$

ahol:

ELij: az i radionuklid, illetve radionuklid csoport j kibocsátási módra vonatkozó kibocsátási határértéke (Bq év^{-1}),

Rij: az i radionuklid, illetve radionuklid csoport j kibocsátási módra vonatkozó éves kibocsátása (Bq év^{-1}).

5.§ (1) Kiemelt létesítmény tervezésekor a szabályszerű működés során kibocsátásra kerülő radioaktív izotópokra, illetve radioaktív anyagokra vonatkozóan meg kell határozni:

a) a keletkezés helyét,
b) a keletkezés módját,
c) a keletkező aktivitásokat,
d) a kibocsátás módját,
e) a kibocsátás útvonalát,
f) a kibocsátott radioaktív anyag jellemzőit
g) a tervezett kibocsátási szinteket.

9. § (1) b) Folyékony radioaktív kibocsátás atomerőműnél csak felszíni vizekbe engedélyezhető.

9. § (2) a) Nem engedélyezhető folyékony radioaktív kibocsátás természetes tavakba és felszín alatti vízképződményekbe.

1127/2010. (V. 21.) Korm. határozat Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről (VGT)

6/2002. (XI. 5.) KvVM rendelet az ivóvízkivételre használt vagy ivóvízbázisnak kijelölt felszíni víz, valamint a halak életfeltételeinek biztosítására kijelölt felszíni vizek szennyezettségi határértékeiről és azok ellenőrzéséről

16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról

Engedélyezéssel, ellenőrzéssel kapcsolatos paragrafusok: 13. – 22. §.

1. számú melléklet: I Alapvető Sugárvédelmi Követelmények 1:

„Ionizáló sugárzás kibocsátásával járó tevékenység csak akkor engedélyezhető vagy tartható fenn, ha indokolható, hogyha a társadalom haszna ellensúlyozza a sugárzás esetleges káros következményeit."

6.5 ALAPADAT FORRÁSOK

A telephely hidrológiai modellezése során az alábbi adatforrásokat vettük igénybe.

6.5.1 ALAPADATOK

- A vizsgált területre vonatkozó kritikus talajvízszint adatok.
- A vizsgált területre vonatkozó Duna vízszint adatok.
- A vizsgált területen mért trícium aktivitáskoncentráció adatok.
- Havi csapadék adatok a vizsgált területre vonatkozóan.
- Kritikus épületeket, kutakat és vezetékeket ábrázoló térképek és azok geometriai jellemzői a vizsgált területen.
- A jelenleg üzemelő és az új erőműi területekre vonatkozó térképek.
- A korábbi fejlesztések során kidolgozott, modell-koncepció tervek.
- Isotoptech Zrt. Paksi Atomerőmű részére készített jelentései és az ezekhez kapcsolódó adatbázisok:

  2008, PAE-ISO/03/2008/SZ, „A talajvízben lévő trícium mozgásának és mennyiségi változásának vizsgálata, hidrológiai és szennyeződésterjedési modellezés segítségével”

  2009, PAE-ISO/02/2009/SZ, „Trícium monitoring rendszer kialakítási koncepciótervének elkészítése”

  2010, PAE-ISO/06/2010/SZ, „A Paksi Atomerőműben működő trícium monitoring rendszer”

  2010, PAE-ISO/05/2011/SZ, „Talajvíz hidrológia modelljének rendszeres aktualizálása”

  2012, 4500374292, „Talajvíz hidrológiai modelljének rendszeres aktualizálása”

6.5.2 MVM LÉVAI PROJEKT ÁLTAL ÁTADOTT DOKUMENTÁCIÓK

Cím	Szerző, kiadó, azonosító, kiadási idő
A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány	ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett hidrometriai mérésekről és hidrodinamikai modellezésről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00039, 2003. november
Éves jelentés a felszíni és felszín alatti vizek hasznosítási lehetőségeiről és a dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00044/A, 2004. március
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett hidrometriai mérések modellezéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00054, 2004. december
A Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentése 2. fejezet	Paksi Atomerőmű Rt., 2009.
Vízszintészlelő és mintavételi kutak vízszint mérési adatainak rögzítése, feldolgozása	FTV Zrt., GEOPARD Kft. 2000-2010
A Paksi Atomerőmű Zrt. Önellenőrzési Terve alapján végzett vizsgálatok (felszíni vizekbe történő kibocsátás ellenőrzés, zagytér, kommunális szennyvíztisztító, övcsatorna vízminőségének ellenőrzése	PA Zrt.. 2006-2010 I. félév
A Paksi Atomerőmű területén lévő talajvízfigyelő kutak 2010. évi vizsgálati eredményeinek értékelése	PA Zrt.
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében a vizek tríciumtartalmának meghatározására elvégzett kétéves vizsgálati periódusról	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00057/B, 2005. szeptember
Jelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében a tágabb környezetre vonatkozó hidrogeológiai modell elkészítéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00058/A, 2005. augusztus
A Paksi Atomerőmű Zrt. területén lévő talajvíz megfigyelő kutak vizsgálati eredményeinek értékelése	GEOPARD Kft. 2006-2009

Cím	Szerző, kiadó, azonosító, kiadási idő
Környezetvédelmi felülvizsgálatok jelentései	PA Zrt.
Trícium monitoring rendszer kialakítási koncepciótervének elkészítése	Isotoptech Zrt., 2009, PAE-ISO/02/2009/SZ
Vízszintészlelő és mintavételi kutak vízszint mérési adatainak rögzítése, feldolgozása	FTV Zrt., GEOPARD Kft. 2000-2010
Sugárvédelmi tevékenység a Paksi Atomerőműben 2000, 2001…2010 Éves jelentések nukleáris környezetvédelemmel foglakozó fejezetei	PA Zrt.
A Paksi Atomerőmű területén lévő talajvízfigyelő kutak 2010. évi vizsgálati eredményeinek értékelése	PA Zrt.
Előzetes konzultációs dokumentáció	Pöyry Erőterv Zrt. 6F111121/0002/O, 2012. 01.31.

6.5.3 SZAKIRODALOM

Kovács György, A szivárgás hidraulikája, Akadémiai kiadó, Budapest, 1972

Ghislain de Marsily, Quantitative Hydrogeology for Engineers, Academic Press Inc., 1986

Juhász József, Hidrogeológia, Akadémiai kiadó, Budapest, 2002

Waterloo Hydrogeologic Inc., Visual MODFLOW v. 4.2 User's Manual For Professional Applications in Three Dimensional Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling, 2006

6.5.4 HIVATALOS STATISZTIKÁK, ADATTÁRAK

VITUKI – Országos Vízrajzi Adattár (vízföldtani naplók, „Sérülékeny földtani környezetben lévő üzemelő és távlati ivóvízbázisok diagnosztikai vizsgálata" című dokumentumtár, felszíni vizek vízrajzi törzshálózati adatai, felszín alatti vizek törzshálózati adatai /talaj- és rétegvíz/, Duna vízrajzi Atlaszok)

VITUKI - Magyarországi Mélyfúrású Kútjainak Katasztere,

MÁFI adattár, topográfiai térképek,

MBFH - Magyar Bányászati és Földtani Hivatal adattára (geofizikai vizsgálatok),

Központi Hidrológiai Adattár

6.5.5 SZOFTVEREK

A vizsgálatokhoz a nemzetközileg széles körben alkalmazott MODFLOW és MODFLOW Surfact rendszereket, alkalmazzuk. (Differencia módszerek.)

A fejlesztésekhez használt csomagok és verziók: Modflow professional (2011.1 vagy korábbi verzió.)– Modpath – MT3DS-Zone Budget + Modflow Surfact.

6.6 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A jelenleg üzemelő és új az új erőművi területekre, a „szűk területre" vonatkozó hidrológiai modellezést, a trícium terjedését is beleértve a MODFLOW programrendszerrel hajtottuk végre.

6.6.1 AZ ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN LEÍRÁSA

A rendszer véges differenciák módszerét alkalmazza, aminek az a lényege, hogy a parciális differenciálegyenleteket olyan algebrai egyenletekkel helyettesítjük, amelyekben a differenciálhányadosokat véges differenciák arányával fejezzük ki. A modellezett teret tetszőleges számú sort, oszlopot, réteget tartalmazó elemekre bontjuk. Egyenletes vagy változó osztású rácshálót alakítunk ki. Meghatározzuk az egyes elemek közötti vízhozamokat, az egyes elemekbe bemenő és onnan kijövő hozamokat, valamint a rendszer vízmérlegét befolyásoló objektumok hatását. Minden egyes elemre összegezzük a vízmérleg elemeit. A modell szélein peremfeltételeket alkalmazunk. A munka során számítógépes, numerikus iteratív eljárásokat alkalmazunk. Lehetőség van időben állandósult „steady state" és időben változó „transient" környezet szimulálására is.

A telített zónára és telítetlen zónára vonatkozó legfontosabb egyenletek:

A Modflow Surfact segítségével a telítetlen zóna is kezelhető az alábbi egyenlet szerint:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}k_{rw}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{yy}k_{rw}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}k_{rw}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=\varphi\frac{\partial S_w}{\partial t}+S_wS_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

A Modflow segítségével a telített zóna pontosan kezelhető az alábbi egyenlet szerint:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

W: térfogatáram – sűrűség.
K_{xyz}: Szivárgási tényező.
h: Hidraulikus magasság.
φ: fajlagos hozam. (S_y)
S_s: fajlagos tárolási képesség.
S_w: telítettségi fok.

A modellezés során az alábbi fő lépéseket tettük meg.

- Kialakítottuk a legfontosabb karakterisztikus tényezőket, határfeltételeket, kidolgoztuk a koncepcionális modellt.
- Bevittük a szükséges adatokat, felépítettük a futtatáshoz szükséges adatbázist.
- Futtattuk a modellt.
- Ellenőriztük a modell jóságát, a kapott eredményeket diszkutáltuk, összehasonlítottuk a karakterisztikus mért és számolt adatokat.
- Korrekciókat végeztünk a modell koncepcionális és/vagy operatív adatbevitelének, futásának fázisában. Ezt a lépést addig folytattuk, amíg a végeredmény pontossága kielégítő nem lett.
- Összegeztük a végeredményeket.

A projekt keretében alkalmazott programcsomag: Modflow professional (2011.1 vagy korábbi verzió.)– Modpath – MT3DS-Zone Budget + Modflow Surfact.

Ez egy olyan számítógépes programcsomag, ami a véges differenciák módszerét használva szimulálja porózus közegben a 3 dimenziós felszín alatti vízáramlást. A programot moduláris felépítésűre tervezték, hogy könnyebben elérhető legyen a két fő célkitűzés: a könnyű érthetőség és az egyszerű fejleszthetőség.

A moduláris felépítés azt jelenti, hogy egy fő programból és nagymértékben független alprogramok sorozatából áll. A modulok csomagokra (package) vannak osztva. Minden csomag a hidrológiai rendszer egy sajátos jellemzőjével foglalkozik. A modulokra osztás lehetővé teszi a felhasználónak, hogy egymástól függetlenül megvizsgálja a modell sajátos hidrológiai jellemzőit. Ez megkönnyíti a további képességekkel való fejlesztését, mivel az új csomagokat a nélkül lehet hozzáadni a programhoz, hogy azok a már meglévőket módosítanák.

A Visual MODFLOW egy teljesen integrált modellezési környezet, amely intuitív és erőteljes kezelőfelület alatt hézagmentesen egyesíti a felszín alatti vízáramlás és a tömegtranszport modellezéséhez használt program verziókat, köztük a legújabb nyilvános és szabadalmaztatott változatokat. A szoftverben lévő program modulokat más néven numerikus motoroknak (numerikus alkalmazásoknak) nevezik, mivel ezek végzik el a véges differenciálegyenletek megoldásához szükséges számításokat. A numerikus motorok két csoportba sorolhatók: a felszín alatti vízáramlás egyenleteinek megoldásához, illetve a tömegtranszport egyenleteinek megoldásához használt motorok.

A felszín alatti vízáramlás egyenleteinek megoldásához használható motorok:

A vízáramlás egyenleteinek megoldásához használják a MODFLOW különböző verzióit. Az eredeti programot az Egyesült Államok Földtani Szolgálata (United States Geological Survey, USGS) fejlesztette ki, és 1983-ban jelent meg a nyilvánosság előtt. Ezt a Fortran 66 programnyelven íródott verziót MODFLOW-83-nak hívták. Később számos általános frissítés történt. 1988-ban jelent meg a program második változata. Ezt, a Fortran 77 programozási nyelven írt változatot gyakran nevezik MODFLOW-88-nak. Ez funkcionálisan minden tekintetben megegyezett a MODFLOW-83-mal. Az ez után következő néhány évben a program készítői összegyűjtötték a felhasználók észrevételeit, a célból, hogy kiderítsék, hogyan tehetnék azt még hasznosabbá. Az igények kielégítése céljából a programon számos változtatást hajtottak végre, aminek következtében 1996-ban megszületett az újabb verzió, a MODFLOW-96. A módosítások nem érintették a felszín alatti vízáramlás modellezési módszereit, a program ugyanazzal a szimulációs funkcionalitással rendelkezett, mint az elődje. Ugyanakkor képes volt a száraz cellák különböző vízszintűvé alakítására, és a cellák közötti áteresztőképességek kiszámítására.

Habár a MODFLOW-t úgy alakították ki, hogy könnyen fejleszthető legyen, a tervek csak a talajvíz áramlási egyenletekhez tartozó kiegészítések irányába mutattak. Gyakran szükség volt azonban egyéb egyenletek megoldására is, mint például transzport egyenletek, paraméter értékek becslésére szolgáló egyenletek. Ezért a program újabb változatát, a MODFLOW-2000 rendszert már úgy tervezték, hogy a felszín alatti vizek áramlási egyenletein kívül egyéb egyenletek megoldására is képes legyen. A MODFLOW-2000 képes szimulálni az időben állandó és változó áramlásokat egy olyan szabálytalan alakú áramlási rendszerben, amelyben nyílt, zárt és kombinált víztartó rétegek vannak. Az áramlások szimulálásába belevehetjük a kutak, a területi beszivárgás, az evapotranspiráció, a drének vagy a folyómeder hatását. Továbbá a program lehetővé teszi, hogy a hidraulikus vízvezető- és áteresztőképesség minden rétegben, térben különböző mértékű és anizotrop legyen, valamint, hogy a tárolási együttható heterogén legyen. A felszín alatti vízáramlás szimulálásán túl a MODFLOW-2000 magába foglalja az oldott anyag transzport modellezését és a paraméterbecslést is. Eredetileg Fortran 77 programozási nyelven írták, de később kibővítették Fortran 90-es belső alprogramokkal.

A MODFLOW-2000-rel párhuzamosan, nem annak fejlesztési lépcsőjeként jelent meg 2005-ben a MODFLOW-2005. Annak ellenére, hogy ennek a hatályát kiterjesztették az oldott anyag transzport és a felszín alatti vízgazdálkodás modellezésére is, csak a felszín alatti vízáramlás szimulálásával kapcsolatos részt tartalmazza. Ezt már elsősorban Fortran 90 programnyelven írták.

A Visual MODFLOW egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy támogatja a MODFLOW-SURFACT nevű kiegészítő szoftvert, amit a HydroGeoLogic cég fejlesztett ki. Ez egy teljes mértékben a MODFLOW-ra épülő, integrált program, ami szivárgáshidraulikai (SURF) és transzport (ACT) csomagokból áll. Megtartja az eredeti program moduláris felépítését, a modulokhoz tartozó továbbfejlesztett tulajdonságok lehívhatók a fő programból. A MODFLOW-SURFACT további modulokat képez, és kiterjeszti a MODFLOW alkalmazhatóságát a komplex területű problémák kezelésére. A MODFLOW-SURFACT nagy előnye, hogy kezeli a rácscellák teljes kiszáradását és újranedvesedését (A MODFLOW-88 nevű verzióban, ha a szimuláció során a talajvíz szintje a rácscella aljának szintje alá esett, azaz szárazzá vált, akkor a továbbiakban az a cella nem vett részt a szimulációban). Az áramlási csomagjai képesek modellezni a telítetlen közeg nedvességtartalmát. További nagy előnyt jelent, hogy a program a MODFLOW input/output rendszerét használja.

Jelen munkában a telített zóna modellezésére elsősorban a MODFLOW 96, 2000 vagy 2005 motor valamelyikét használtuk. A telítetlen zóna eseményeinek becsléseihez a MODFLOW-SURFACT motort alkalmaztuk.

A tömegtranszport egyenleteinek megoldásához használt motorok

Az összes tömegtranszport program, amit a Visual MODFLOW támogat, lényegében az MT3D nevű programból fejlődött ki. Az MT3D-t (moduláris háromdimenziós transzport program) Chunmiao Zheng fejlesztette ki 1990-ben az S. S. Papadopulos & Associates cégnél az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának (USEPA) támogatásával (MODFLOW kézikönyv). Megjelenése óta a szakemberek és a kutatók széles körében elfogadottá vált szerte a világon. Az ebbe a kategóriába sorolható motorok közül a legfontosabb az MT3D második generációs továbbfejlesztése, az MT3DMS, amely rövidítésben az MS a több komponensre utal. Az 1998-ban megjelent program, átfogó lehetőségeivel és képességeivel képes szimulálni egy felszín alatti rendszerben, általános hidrogeológiai feltételek mellett a szennyezőanyagok advekcióját, diszperzióját, diffúzióját és kémiai reakcióit. A fő erénye, hogy egyesíti a három legelterjedtebb transzport megoldási technikát: a szabványos véges differencia módszert, a részecskekövetésen alapuló Euler-Lagrange módszereket és a harmadrendű véges-térfogat módszert (teljes variációt csökkentő eljárás).

A részecskepályák számolása

A fent említetteken kívül fontos még megemlíteni két numerikus motort. A MODPATH egy részecske-nyomkövető utófeldolgozó modul. Kiszámolja a háromdimenziós áramlási pályákat a MODFLOW alkalmazásával nyert szimulációs eredmények alapján. A MODPATH kiszámolja a részecskék pályáját, a MODPATH-PLOT pedig grafikusan kirajzolja az eredményeket. Egy fél-analitikus részecske követő rendszerről van szó, amely lehetővé teszi a részecskék áramlási pályájának analitikus kifejezését minden rácscellára. Útvonalukat celláról cellára való követésükkel számítja ki, amíg azok el nem érnek egy határt, egy belső forrást vagy nyelőt, vagy valamilyen egyéb okból eltűnnek a rendszerből. segítségével dinamikus egyensúlyi (steady-state) és tranziens felszín alatti vízáramlási rendszerek is elemezhetők.

A tömeg és térfogatáramok becslése

Ehhez a feladathoz az un ZONEBUDGET programcsomagot használjuk. Ez MODFLOW eredményeinek segítségével kiszámolja a kijelölt zónákra, tömbökre vonatkozó vízmérlegeket. Gyakran hasznos, ha nemcsak az egész vizsgált terület vízmérlegét ismerjük, hanem a modellezett terület adott altartományainak (szubrégióinak) vízmérlegét is. A vízmérleg-számítás lehetővé teszi a modell különböző területei közötti vízmérlegek becslését. Alkalmazható például egy folyó meghatározott szakasza mentén a kiáramlás becslésére, vagy egy adott réteg és egy termelőkút közötti vízcsere meghatározására. A hidrológusoknak a programmal gyakran az a céljuk, hogy segítsék és megkönnyítsék a felszín alatti vizek áramlási rendszerének megértését.

A modell validációja

A kalibrációt az erre a célra kijelölt karakterisztikus kutak segítségével hajtottuk végre. a programcsomag által számolt és mért adatokat összehasonlítottuk. Lehetőség van arra, hogy a mért vízszint és koncentráció adatokat bevigyük a program bemeneti adatbázisába. A számolt és mért adatok összehasonlítása automatikusan megtörténik. A mért és számolt adatok időbeli változásainak kvalitatív jellege, az eltérések statisztikája jellemzi a modell jóságát. A modellt addig finomítottuk, amíg a célul kitűzött statisztikai jóságot el nem értük.

6.6.2 ELFOGADHATÓSÁGI KRITÉRIUMOK

A különböző részfeladatokra a következő elfogadhatósági kritériumot dolgoztuk ki:

- A peremi adatok perturbálásával érzékenységvizsgálatot végzünk a szennyezőanyag terjedésére (levonulására) nézve.
- Az erőműi területre vonatkozó felszín alatti hidrológiai modell esetén, a jellemző kalibráló kutak vízszintjei mért és számolt értékeinek, illetve időbeli változásának, az előzetesen rögzített hibahatáron belül, összhangban kell lennie egymással.

- Irányadó paraméterek az erőmű területére vonatkozó 3D hidrológiai modell kalibrációjával kapcsolatban. Az irányadó paraméterek megfelelnek a Visual MODFLOW programrendszer által alkalmazott mennyiségeknek.

  Vízszintek kalibrációja: Standard hiba <0.01m, RMS <0.5m, normált RMS <30%

  Koncentráció kalibrációja: Standard hiba <100Bq/l, RMS <200Bq/l, normált RMS <30%

6.7 AZ ERŐMŰ KÖRNYEZETÉNEK RÖVID FÖLDTANI LEÍRÁSA

Az erőmű környezetének egészét negyedidőszaki, pleisztocén és holocén üledékek borítják. E képződmények részben folyóvízi, részben eolikus, részben lejtőüledékek, illetve ezek kombinációi. Az a folyamat, amely ezt az üledékképződést létrehozhatta több ezer éven keresztül zajlott le a Kárpát-medence tektonikai aktivitása és ennek köszönhetően a Duna medrének vándorlása következtében.

Maga az erőmű a Duna ártéri síkján épült, alatta és környezetében a pannóniai képződményeken mintegy 30 m vastagságú folyóvízi üledéksor települ, túlnyomórészt aprókavicsos homok és homok kifejlődésben, helyenként idősebb pleisztocén lösz-jellegű üledékek roncsai is megtalálhatók. A pleisztocén képződmények nyugodt településűek, szerkezeti hatásokra utaló nyomokat csak az erőműtől jelentős távolságra lehet felfedezni.

A talajvizet ezek a negyedkori üledéksorok tárolják. A talajvíz összefüggő rendszert képez, amelynek áramlási viszonyait a Duna és a felszín alatti nagy kavics süllyedékek helyzete alakítja. A Duna vízfolyásának hatásterületén belül az áramlási viszonyokat a mindenkori dunai vízállások határozzák meg. Az üledékréteg felső 5-10 méteres tagozata jól osztályozott, 0.2-0.4 mm átmérőjű durvahomok frakció, mely szórvány finomkavicsot tartalmaz. A réteg átlagos szivárgási tényezője 10^{-4}-10^{-5} m/s. Ez a réteg közvetlen kapcsolatban áll a Duna vízkészletével, ebben a rétegben alakult ki a Duna jelenkori középvízi – kisvízi medre.

A talajvíz tárolása és vezetése szempontjából leglényegesebb az újpleisztocén folyóvízi üledék. Ez a Pakstól a Sió torkolatáig húzódó fiatal süllyedékben jött létre, regionális kiterjedésű és egységes kifejlődésű. Mintegy 20 m vastag, alsó tagozata 10-15 m vastagságú. Görgeteges, finomabb frakciókat is tartalmazó, rosszul osztályozott homokos kavics, kavicsos homok alkotja, helyenként közbeiktatott homokszintek, agyaglencsék is előfordulnak benne. A réteg átlagos szivárgási tényezője ~10^{-3} m/s. Ez a térség legjobb vízvezető képességű képződménye, ez határozza meg a vízáramlás feltételeit, a Dunai nyomáshullámok terjedését és a tárolt talajvíz mennyiségét.

A talajvíztároló réteg vízrekesztő feküjét felső-pannóniai üledéksorok alkotják, amelyek az egész területen átlagos kifejlődésű, különböző vastagságú homok-, agyagmárga-, márgás kőzetliszt, azaz víztartó és vízrekesztő rétegek váltakozásából állnak. Felső 20-30 m vastag részének szivárgási tényezője 10^{-7}-10^{-8} m/s. A felső-pannóniai képződmények vastagsága a területen kb. 500 m. A víztartó rétegekben tárolt víz nyomása a mélységgel nő, így természetes körülmények között a talajvizek nem juthatnak le a rétegvizekhez.

A modellezett tartomány rétegzettsége

A jelenlegi terepszint 97mBf körül ingadozik, a rendezés elvi pontos szintje 97.15 mBf.

A felső néhány méter homok és humuszos homok feltöltés, 0.2 – 5.2 m mélységig.

Homokos, majd lefelé haladva egyre durvább kavicsos-homokos rétegek. Szemcsemérete alapján finom és közepes homok. A réteg vastagsága: 20m körül ingadozik. Az alja a 80m tengerszint feletti magasság körül észlelhető a fúrások tanúsága szerint (74 – 82 mBf). Fontos tudnunk, hogy ebben a rétegben helyenként közbetelepült puha állapotú agyag, iszap, homokos iszap, iszapos homokliszt található 0.2 – 1.4 m vastagságban. Ez lokálisan megváltoztathatja az áramlási viszonyokat.

60-70 mBf körül nem teljesen zárt felületet alkotó agyaglencsék találhatók. Ezek lokálisan vízzáró réteget képezhetnek, de mivel a felület feltehetően nem teljesen zárt, ezért az agyagos réteg felett és az alatt levő tartomány között kölcsönhatás jöhet létre.

Az agyaglencsék alatt rossz vezetőképességű Pannon összlet található. A képződmény a jelenlegi terepszint alatt körülbelül 30 méterrel kezdődik. Természetesen az összlet felszínének magassága ebben az esetben is némi ingadozást mutat.

6.8 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE

- ✓ Felszín alatti vízjárásra vonatkozó adatok összegyűjtése elemzése
- ✓ A modellezni kívánt terület lehatárolása, kezdeti és peremfeltételek meghatározása
- ✓ A 3D szivárgáshidraulikai modell futtatása megadott peremfeltételek mellett
- ✓ A 3D transzport modell futtatása a trícium-terjedés meghatározására
- ✓ Modell validálása a mérési adatok alapján

A szűk környezet felszín alatti hidraulikájának eredményeit táblázatos, grafikonos és szöveges formában biztosítjuk. Az eredményeket elektronikusan pdf. és docx kiterjesztésű fájlban tesszük elérhetővé.

6.8.1 FELSZÍN ALATTI VÍZJÁRÁSRA VONATKOZÓ ADATOK ÖSSZEGYŰJTÉSE ELEMZÉSE

6.8.1.1 A vizsgált területre vonatkozó kritikus vízszint adatok

A vizsgált területről, a jelenleg üzemelő erőmű szűk környezetét is beleértve, 2000-től állnak rendelkezésre részletes vízszint adatok.

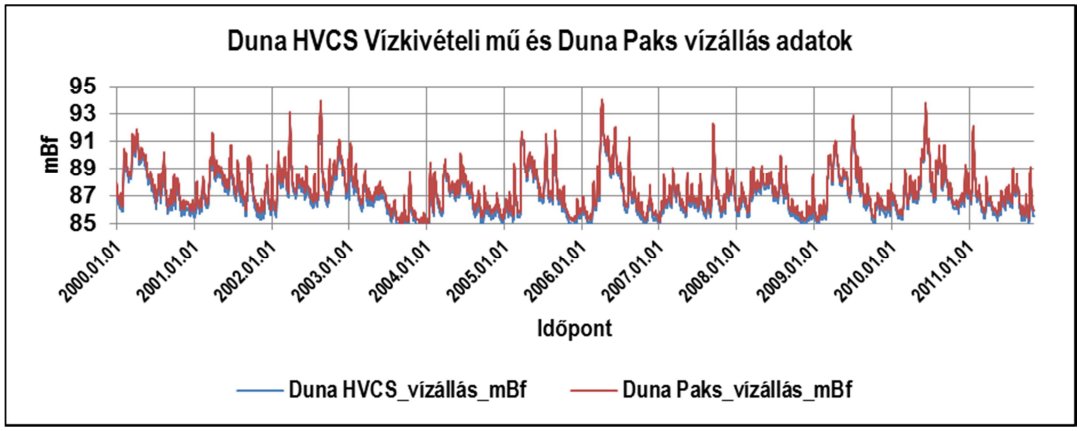
Az azóta eltelt időszakban rendkívül alacsony és extrém magas Duna vízszintek is előfordultak. Az adatok alapján a rendkívül alacsonytól a rendkívül magas vízszintekig vizsgálhatók a hidrológiai viszonyok. A 2006 évi, hidegvíz csatornánál (HVCs) mért adatok alapján a Duna egy éven belül akár 9 - 10 méter vízszintingadozást is mutathat. A modell állításai ennek megfelelően a 84 – 95 mBf magas Duna szintek közötti tartományra terjednek ki.

További fontos vízszint adatok, a peremfeltételeket meghatározó szintek. Ezek az övcsatorna mellett található kutak szintjei, a Kondor-tó és a halastavak szintjei, vagy a közvetlenül a tavak mellett található T68 monitoring kút szintjei, a nyugati löszplató hatását modellező szintek.

A peremfeltételeket meghatározó legfontosabb kutak az alábbiak:

V241, V217, T58, HBK/a, O5, O6, O7, O8, T59, T83, T84, KH01, KH02, KH04, PK3, PK4, PK5, T68.A peremfeltételek mellett a validáláshoz szükséges további vízszintek szintén adottak.

A Duna hidegvíz csatorna (HVCs) vízkivételi mű és a Duna paksi vízmércéjének 2000 és 2011 közötti vízállások idősorát mutatja az alábbi ábra.



6.8-1. ábra: Duna HVCS és Duna Paks vízállás adatok

A továbbiakban csak a vízmű vízmércéjére vonatkozó adatokat elemezzük.

A **2000**-es év a középvízhez (KöV) közel álló értékkel indult, majd egy lassú apadást követően februárra megközelítette az évi nagyvizet (90.12 mBf). Ezt követően a középvíz körül ingadozva, március közepén jelentkezett egy árhullám

(91.2 mBf) és áprilisban érte el tetőfokát 91.5 mBf-et, ami az év nagyvize (NV) is volt egyben. Ez egészen május végéig elhúzódott és 90 mBf körüli értéket tartott. Az ezt követő apadási időszak után, június közepén jelentkezett egy kisebb árhullám 88 mBf körüli tetőzéssel, majd ismét a KöV körüli értékre állt be a vízállás. Július közepén ismét jelentkezett egy 88 mBf körüli árhullám, amelyet egy augusztus eleji három napos követett. Ezek után augusztus közepén mutatkozott egy 89 mBf körüli árhullám, amit egy nyugodt időszak követett a KöV alatti vízállással. Egy szeptemberi rövid árhullámtól eltekintve, ez az év végéig folytatódott.

2001 az évi kisvízhez (KV) közeli értékkel indított. Január közepére elérte az évi KöV értékét. Februárban egy kisebb árhullám jelentkezése után visszaállt a Duna szintje a KöV körüli értékre, majd március közepén egy hosszantartó árhullám folyamán elérte az évi NV értékét, amely 91.26 mBf-nek adódott. Az árhullám lecsengése május végéig elhúzódott. Ezután a KöV körül mozgott, majd június végén meghaladta a 90 mBf-et, ami rövidéletű volt és visszaállt a KöV értékére. A július végi kisebb árhullámtól eltekintve szeptemberre a KV-hez közeli értékre apadt a vízszint. Szeptember derekán ismét jelentkezett egy árhullám 89.52 mBf tetőzéssel, mely októberre lecsengett és beállt az évi KöV körüli értékre, majd novemberig fokozatosan apadt az évi KV szintjéig (85.3 mBf). Az év végéig jelentősebb árhullám nem volt megfigyelhető.

A **2002**-es év a KöV-et valamivel meghaladó árhullámmal kezdődött, majd gyorsan a KöV alá süllyedt a Duna szintje és január végén elérte az évi KV értékét (85.46 mBf). Ezután néhány nap alatt meghaladta a 89 mBf értéket egy rövid időre, majd visszaállt a KöV értékére és március elején ismét meghaladta a 89 mBf szintet. Rövid apadás után március végére szinte ugrásszerűen meghaladta a 92 mBf szintet és megközelítette az évi NV értékét. A következő hónapokban jelentősebb árhullám nem jelentkezett, egészen június közepéig, amikor a Duna szintje megközelítette a 89 mBf értéket. A 2002-es év NV-e az augusztusi árhullám folyamán jelentkezett 93.62 mBf szinttel, amely szeptemberre a KöV szintjére csillapodott. Szeptember végén, október elején jelentkezett egy rövid lefutású árhullám, majd október közepétől ismét megfigyelhető egy hosszabb lefutású árhullám, amely november közepén tetőzött 90.8 mBf szinten. Az apadás elhúzódott December végéig, amit ekkor egy rövid lefutású árhullám szakított meg.

2003-as év árhullámmal indult, amely az év NV-ét is jelentette egyben 90.55 mBf szinttel. Ezután a KöV-et meghaladó értéken mozgott a Duna vízszintje, s csak február végén érte el azt. Márciusban hol meghaladta, hol pedig alul maradt a KöV értékének és ez a hullámzás folytatódott egészen június végéig, amikor is 86 mBf alá süllyedt a vízszint. Az apadás augusztus hónap utolsó napján érte el mélypontját (KV) 84.42 mBf szintet, de folytatódott október elejéig. Október közepén jelentkezett egy rövid lefutású árhullám, miután ismét a KV-hez közeli értékre süllyedt a vízszint, ami egészen az év végéig jellemezte a Duna vízállását.

2004-ben folytatódott az alacsony vízállás és januárban el is érte az év KV értékét a Duna vízszintje (84.52 mBf). Január közepén jelentkezett egy rövid lefutású árhullám, amely meghaladta a 89 mBf értéket. Egy rövid apadás után február elején jelentkezett egy kisebb árhullám, de nem volt hosszú életű. A március végére kialakult árhullám április végére csengett le, tetőpontja 89.44 mBf értéket vett fel. Ezután a KöV értékét megközelítve vagy meghaladva azt egészen júniusig nem volt számottevő változás. A júniusi árhullám július végéig volt megfigyelhető és ekkor érte el az év NV értékét is (89.85 mBf), majd lassú apadás mellett augusztusban 86 mBf alá süllyedt a Duna vízszintje. A 86 mBf körüli és alatti értékek követték egymást az év hátralevő napjaiban.

A **2005**-ös év kezdete sem különbözik sokban az előző kettőtől. Alacsonyan indult 85-86 mBf szinten. Február közepén hirtelen jelentkezett egy rövid lefutású árhullám 89 mBf körüli vízszinttel, majd visszaállt 85-re. Március végétől kezdődött egy hosszú lefutású árhullám, amely megközelítette az év NV szintjét (91.58 mBf) és elhúzódott egészen júniusig, miután a KöV körüli értékre állt be a víz szintje. Ezt júliusban és augusztusban zavarta meg egy-egy jelentős árhullám 91 mBf-et megahaladó értékkel. Augusztusban mérték az év NV-ét, amely 91.58 mBf-nek adódott. E kiugró értékeket lassú apadás követte és október második felétől a vízszint 86 mBf alá csökkent, hogy azután novemberben elérje az év KV szintjét 84.70 mBf-et. Az év végéig jelentősebb változás nem állt be, a Duna vízszintje 85 mBf érték körül maradt.

2006 kezdete sem tért el különösebben az előző három évétől. A KöV értékénél alacsonyabb szinten mozgott a Duna vízállása. Februárban a KöV szint körüli értéket ugyan elérte, de csak egy hétig. Március közepén jelentkezett egy rövid lefutású árhullám 89 mBf értékű tetőzéssel, majd a végén egy jelentősebb árhullám alakult ki, amely egészen júliusig tartotta magát és végig meghaladta a 88 mBf értéket, sőt áprilisban és májusban a 90 mBf szintet is. Az áprilisi tetőzésben alakult ki az év NV szintje (93.70 mBf). Július második felétől, augusztus első feléig jelentkezett egy kisebb

91 mBf szintet alig meghaladó árhullám. Október végéig lassú apadás volt megfigyelhető a Duna vízszintjében, majd novemberben 85 mBf érték alá ment és december utolsó napján érte el az év KV szintjét (84.70 mBf).

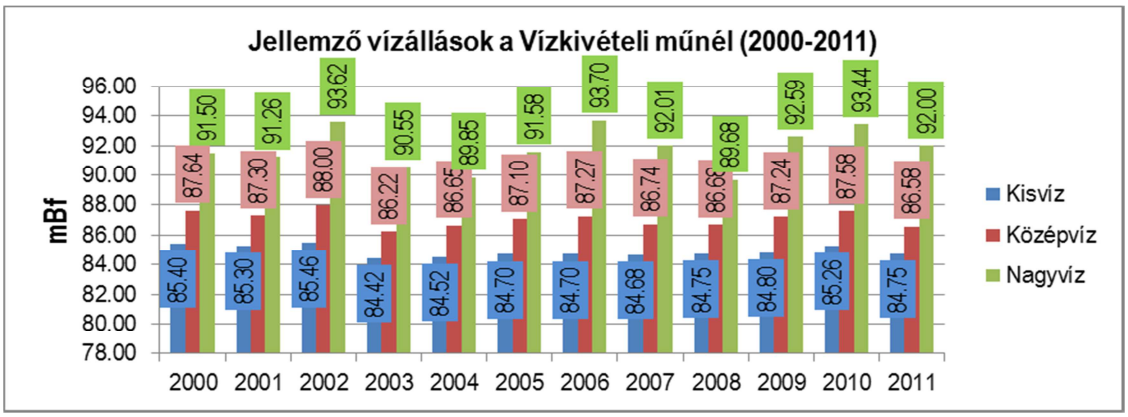
2007 az év KV szintjével indult 84.68 mBf-el, majd január végén kialakult egy rövid lefutású árhullám, melynek tetőzése 88.24 mBf értéknél volt. Március elejéig a KöV érték (86.74 mBf) körül ingadozott a vízszint. Ezt követte egy kisebb árhullám 88.70 mBf szinttel. Május elejéig egy lassú apadási időszak volt megfigyelhető, majd ismét egy rövid lefutású árhullám jelentkezett. Ezután a KöV érték körüli mozgás jellemezte a Duna vízszintjét. Kiugró érték július közepén jelentkezett, de nem volt számottevő. Az év NV szintje (92.01 mBf) szeptember közepén jelentkezett egy rövid lefutású árhullám jelenlétében. Az év végéig csak november és december közepén jelentkezett kisebb árhullámok zavarták meg a Duna vízállását.

2008 szintén az év KöV szintjénél alacsonyabb értékkel indult, majd lassú emelkedés volt megfigyelhető január végén, ami nem sokkal haladta meg a KöV szintet. Februárban apadás jellemezte a vízszintet. Márciustól egy hosszú lefutású árhullám mutatkozott, mely első tetőzését a hónap közepén érte el 88.83 mBf értékkel. Második tetőzése április végén jelentkezett 88.90 mBf értéknél, miközben végig 87 mBf felett mozgott a vízszint. Májusban is hasonló volt a helyzet, csak egy rövid lefutású tetőzés zavarta ezt meg. Június első felében túlnyomóan 88 mBf felett állt a Duna vízszintje, második felében pedig az évi KöV érték (86.68 mBf) körül ingadozott. Július második felében jelentkezett árhullám tetőzése jelentette 2008 NV szintjét 89.68 mBf értékkel. Augusztusban volt egy rövid lefutású árhullám, amit apadás követett egészen az év végéig. Szeptemberre már 86 mBf érték alá csökkent a vízszint, majd november közepén elérte az év KV értékét (84.75 mBf). Említésre méltó árhullám az év végéig nem jelentkezett.

A **2009**-es év jóval a KöV szint alatt indult és a hónap közepén elérte az év KV szintjét (84.80 mBf). Márciusig 85 és 86 mBf körül ingadozott a Duna vízszintje, majd márciustól egy jelentősebb árhullám mutatkozott, mely áprilisban tetőzött 90.8 mBf szinten. Május első felében KöV körüli értékeket regisztráltak, a hónap második felében pedig végig 88 mBf feletti értékek mutatkoztak. Júniusban visszaállt a KöV körüli szint, de a hónap végére egy árhullám érte el a Vízkivételi Mű vízmércéjét, mely július elején tetőzött és elérte az év NV szintjét (92.59 mBf). Ezután augusztus elejéig apadás volt megfigyelhető, amit egy kisebb árhullám szakított meg. Szeptemberben a KöV szint alatti értékek mutatkoztak, majd az év végéig folyamatos apadás jellemezte a regisztrált értékeket.

A **2010**-es év kezdete sem különbözik sokban az előzőektől. Alacsony vízállás jellemezte, februárban elérte az év KV szintjét (85.26 mBf). Március elején és végén jelentkezett egy rövid árhullám, mely nem volt jelentős. Május közepéig az évi KöV érték körül ingadozott a vízszint, majd egy jelentősebb árhullámmal elérte június közepére az év NV szintjét (93.44 mBf), ami július közepére csengett le. Augusztusban végig az évi KöV szint felett ingadozott a vízszint, egy-két napra túllépte a 90 mBf értéket. Szeptemberben hasonló volt a helyzet. Októbertől apadás volt megfigyelhető, majd decemberben egy rövid árhullám után a KöV érték (87.58 mBf) körül zárta az évet a víz szintje.

A **2011**-es év egy jelentős, 92.00 mBf értékkel tetőző, de gyorsan lecsengő árhullámmal kezdődött, amely egyben az év NV-ét is jelentette. Az ezt követő apadási időszak után március közepén jelentkezett egy kisebb árhullám, 88 mBf körüli tetőzéssel, majd június elejéig a vízállás a KöV alatt volt. Júniustól augusztus végéig a KöV feletti értékek jellemzőek, de ebben az időszakban sem volt észlelhető nagyobb árhullám. A szeptemberi KV-KöV időszak után október közepén jelentkezett egy rövid lefutású, 88.58 mBf szinttel tetőző árhullám.



6.8-2. ábra: Jellemző vízállások a Vízkivételi műnél 2000-2011

A **2000-2011** éveket felölelő időszak alatt 2002-ben, 2006-ban és 2010-ben kiemelkedtek az évi NV szintek, sorra meghaladták a 93 mBf értéket.

2006-ban regisztrálták a legnagyobb vízszintet (LNV) 93.70 mBf értékkel. 2011. december 3-án 84.30 mBf értékkel megdőlt az addigi LKV szint, melyet a *6.8-2. ábra* nem mutat, mivel az csak 2011. novemberig tartalmazza az adatokat.

2003-ban a KöV legalacsonyabb értékét regisztrálták 86.22 mBf-el.

6.8.1.2 A csapadék jellemzése

A Paksi Atomerőmű környezetében lehulló csapadék vizsgált időszaka 11 évet ölel fel, melynek átlagos mennyisége 600 mm-nek adódott. A vizsgált szakasz abszolút minimum értéke 2007 áprilisában 0 mm, míg maximum értéke 2010 májusában 218,2 mm volt.

A vizsgált időintervallum kezdetén, **2000**-ben az évi csapadékmennyiség átlag alatti volt, 445 mm-es értékével. Ebben az évben három csúcs volt megfigyelhető. Az első kora tavasszal (március-április), a második nyáron (július-augusztus), a harmadik pedig télen (november-december), mely áthúzódott 2001 januárjára.

2001-ben az évi csapadékmennyiség valamivel meghaladta a 11 éves átlagot, 670 mm-es értékével. 2001 havi 56 mm-es átlag csapadékmennyiségét két csúcs haladta meg, egy nyári (június-július) és egy kora őszi (szeptember).

A **2002**-es év minimummal kezdődött és az éves átlag is a sokévi átlag alatt maradt a maga 530 mm-es értékével. Szintén két csúcs volt megfigyelhető, egy késő tavaszi (április-május) és egy nyári (július).

A **2003**-as év jóval a sokévi átlag alatt maradt, még az 500 mm-t sem érte el. Csúcsait tekintve szintén kettő volt megfigyelhető, júliusban valamint októberben, melyek többszörösei voltak a havi 41 mm-es átlag értéknek.

A **2004**-es évben lehullott csapadék jóval meghaladta a sokévi átlagot, értéke 730 mm volt. Csúcsokban három kisebb (április, augusztus és november) és egy nagyobb (június) volt megfigyelhető a havi 60 mm-es átlagértékhez képest.

A **2005**-ben mért csapadékmennyiség meghaladta a 2004-ben mértet és eloszlásában is változás állt be. Egy májusban kezdődő emelkedés volt jellemző, mely augusztusban tetőzött 190 mm-en. Ezután erős csökkenés volt megfigyelhető, majd decemberben a havi átlagos értékhez közel eső mennyiséget regisztráltak.

A **2006**-os év a sokévi átlag alatti csapadékmennyiséget produkált 520 mm-rel. Két nyári csúccsal (június, augusztus) és téli minimummal (december, 9 mm) zárult az év.

2007-es év szintén a sokévi átlag alatt zárt, 560 mm csapadékmennyiséggel. Az áprilisi 0 értéket egy májusi csúcs követte, majd augusztusban és az év utolsó három hónapjában a havi átlagot meghaladó értékek voltak megfigyelhetőek.

A **2008** évi csapadékmennyiség megközelítőleg egyezett a 2002-es, 2003-as és 2006-os évek csapadékmennyiségével. A mért érték 533 mm-nek adódott. Csúcsokat tekintve kettő volt megfigyelhető, egy nyári (június-július) és egy kora őszi (szeptember).

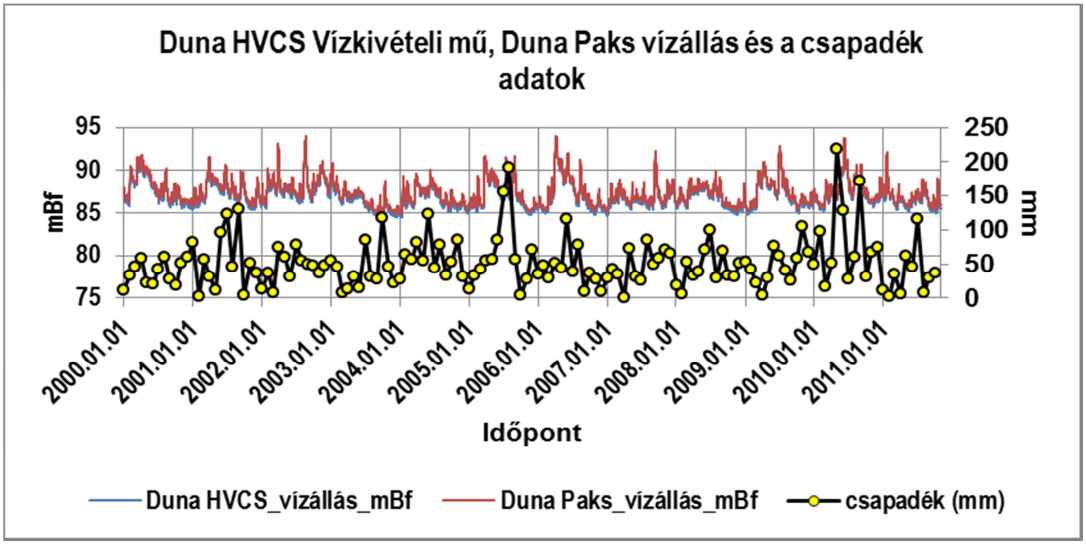
A **2009**-es év csapadékmennyisége megközelítette a sokévi átlagot, értéke 583 mm volt. Két csúcsa közül a novemberi kiemelkedő volt, 105 mm-es értékével.

A **2010**-es év a legcsapadékosabb évnek számít a 11 éves időintervallumban. A csapadék mennyisége megközelítette az 1000 mm-es értéket. Ebben az évben három csúcsot lehetett elkülöníteni, ezek a következők: február (98 mm), május-június (218-128 mm) és szeptember (172 mm). A 11 év alatt, havi bontásban 2010 májusában esett a legtöbb csapadék (218 mm).

2011 szárazabbnak mondható az előző évekhez képest, mivel az éves csapadékmennyiség alig haladta meg a 400 mm-es értéket. Az havi 34,5 mm-es átlag csapadékmennyiséget májusban, júniusban, júliusban és decemberben haladta meg a mért csapadékmennyiség. A júliusi 116 mm több mint háromszorosa az éves átlagértéknek.

A **2000-2011** éveket felölelő időszak adatait összefoglalóan a *6.8-1. táblázat* tartalmazza.

Általánosságban megfigyelhető a kora nyári és őszi csapadékmaximum. Egyes esetekben tavaszi maximum is jelentkezett. Hosszútávon, az atomerőmű területén a csapadékmennyiség gyengén növekvő trendje figyelhető meg. A párolgás figyelembevétele alapján a csapadék körülbelül 8-10 százaléka szivárog le a talajba a legfelső rétegen keresztül.



6.8-3. ábra: Duna HVCS, Duna Paks vízállás, valamint a csapadék adatok

Év	Évi csapadék mennyiség (mm)	Havi átlag csapadék mennyiség (mm)
2000	445.1	37.1
2001	669	55.8
2002	533.3	44.4
2003	495	41.3
2004	729.3	60.8
2005	788.4	65.7
2006	520.3	43.4
2007	562.2	46.8
2008	533.3	44.4
2009	583.2	48.6
2010	990.9	82.6
2011	414.4	34.5
11 éves átlag	605.4	

6.8-1. táblázat: Az évi csapadék mennyisége az erőmű területén (2000-2011)

6.8.1.3 A vizsgált területre jellemző releváns trícium koncentráció adatok

2000-től elsősorban a jelenleg üzemelő erőmű szűk környezetéből állnak rendelkezésre adatok.

Jelenleg a Paksi Atomerőmű területén az alábbi kutakban folyik havi rendszerességgel trícium vizsgálat: T02/a, T03/a, T04/a, T05/a, T06, T07/a, T09/a, T10, T12/a, T13, T14/a, T17, T18/a, T19/a, T20/a, T23, T24/a, T28/a, T32/a, T37/a, T38/a, T39/a, T40/a, T43/a, T47/a, T50/a, T51, T54, T55/a, T56, T57/a, T69, T70, T85, T86, T87, T88, T89, M01/a, M02/a, M03/a, M05 kézi, M06, M07/a, M08, M09/a, M10, Z02, O5, O6, O7, O8.

A modellezés során a fenti kutakban mért adatokat használtuk fel a trícium terjedés vizsgálatára. Felhasznált adatok: lsd 2000_201210_tricium_vizszint_csap.xls melléklet.

Az eddigi adatok alapján tudható, hogy a TM55 vezeték, illetve elzáró szerelvénye korábbi meghibásodása miatt az O5 kút környezetében növekedett a területen a trícium-koncentráció, a telített zónában egyes helyeken több ezer Bq/l aktivitás koncentrációjú tartomány alakult ki. 2006 – 2007 után a karbantartások hatására a monitoring kutakban mérhető trícium aktivitás koncentrációk átlagértékei csökkenő tendenciát mutatnak.

A korábban végzett hidrológiai és monitoring vizsgálatok alapján számszerűen is megbecsülhető volt, hogy mekkora az erőmű környezetében, a szivárgások miatt kijutott trícium mennyisége.

Erre vonatkozóan kiemeljük az alábbi irodalmakat:

2008, PAE-ISO/03/2008/SZ, „A talajvízben lévő trícium mozgásának és mennyiségi változásának vizsgálata, hidrológiai és szennyeződésterjedési modellezés segítségével".

2009, PAE-ISO/02/2009/SZ, „Trícium monitoring rendszer kialakítási koncepciótervének elkészítése"

2010, PAE-ISO/06/2010/SZ, „A Paksi Atomerőműben működő trícium monitoring rendszer"

2010-2011, PAE-ISO/05/2011/SZ, „Talajvíz hidrológia modelljének rendszeres aktualizálása"

A napi eredmények szezonálisan, az erőmű üzemétől, aktuális állapotától függően ingadozhatnak, az adatok azonban összességében megfelelően jellemzik a talajvízbe történő nem tervezett trícium kibocsátás mértékét.

Ezek alapján látható, hogy az új erőmű területére nem terjedt ki említésre méltó trícium terhelés.

6.8.1.4 Meghatározó épületek és vezetékek a vizsgált területen

A hidrológiai- és transzport-modellt lényegesen befolyásoló objektumok az alábbi épületek és vezetékek:

A jelenleg üzemelő erőmű fő épülete

Az épület betontömbje inaktív cellákkal modellezhető. Az épületek különböző mélységekben lettek alapozva. 8-10méter mélyre is kiterjedhet a beton miatt nem vezető, inaktív cellával modellezhető tartomány. A főépület alja az év bizonyos szakaszaiban leérhet a telített víztükör szintig. Emiatt, amennyiben a blokkok alól közvetlen trícium jut ki a környezetbe, az közvetlenül a gyorsabban mozgó talajvízrétegbe kerülhet.

A jelenlegi erőmű esetén az 1. és 2. segédépületet és a melegvizes csatornát szintén inaktív cellákkal modelleztük: A betonozott melegvizes csatorna alját a modellben 90 mBf szinten alakítottuk ki. A segédépületek és egyéb épületek esetén az inaktív cellák alkalmazása nem kritikus, mivel ezek alja a telítetlen zónában található. Emiatt az itt tapasztalt mozgások nagyságrendekkel lassabbak, mint a telített zóna mozgásai, terjedési folyamatai.

TM55 vezeték

Az erőmű fő épületének délkeleti sarkánál lévő TM55 vezeték korábban (2003 – 2007) bekövetkezett meghibásodása következtében megnövekedett az O5 kútban, majd később az attól északabbra lévő O6, O7, T05 kutakban mérhető trícium aktivitáskoncentráció, az O5 kút környékén tríciummal erősen terhelt tartomány alakult ki. A karbantartás után a TM55 által okozott terhelés, összességében csökkenő jelleget mutat. Ugyanakkor a HVCS-felé haladva szétkenődik, emiatt a TM55-től távolabb lévő tartományokban a trícium aktivitás koncentráció a korábbi meghibásodásnak köszönhetően kisebb mértékben, még 2011 után is megemelkedhet.

A jelenlegi erőművet körbefutó szennyvíz vezeték

Ez a telítetlen zónában futó vezeték trícium forrásként jelentkezett a jelenlegi erőmű esetén, e mentén feltételezhető szivárgások fokozatosan alakultak ki. Az itt tapasztalható folyamatok mérése és elemzése a telítetlen zónában lejátszódó folyamatok megértését és az ottani modell validálását segítette, lényeges környezetterhelést nem okozott.

A vezeték karbantartásának munkálatai 2011-ben befejeződtek. Feltehetően a jövőben ez a kutakban mérhető trícium aktivitáskoncentrációk fokozatos csökkenéséhez vezet. A vezeték meghibásodása részben oka lehet a T37, M05, T24, T07 kutak esetén tapasztalt megnövekedett aktivitás koncentrációknak.

Az erőmű fő épület együttesével, blokkjaival, segédépületeivel összefüggésbe hozható szivárgási pontok kialakulása

A blokkokhoz tartozó aknák, tartályok, gépészeti berendezések esetén, a hermetikusság megtartása érdekében folyamatos ellenőrzésre és karbantartásra van szükség. Esetenként nem zárható ki, hogy egyes helyeken ideiglenesen szivárgás alakulhatott ki. Az áramlási viszonyokat és a kutak elhelyezkedését figyelembe véve nem kizárt, hogy egyes kutakban (például: T10, T17, O6, O7) megjelenő terhelés forrása az erőművet nyugatról övező szennyvízvezeték mellett az erőmű valamelyik blokkjához, vagy segédépületéhez tartozó gépészeti-épületgépészeti szerkezet.

A konkrét okok feltárása mindig az erőmű illetékes szakembereivel együtt történt.

6.8.1.5 Összefüggés a vízszintek, a csapadék és a mért trícium értékek között

A korábbi vizsgálatok alapján kiderült, hogy a térség talajvíz áramlásának és az ezzel összefüggő trícium mozgásának viszonyait elsősorban a Duna vízállása határozza meg.

Mivel a Duna vízgyűjtő területe jóval a Paks feletti térségben van, ezért a paksi csapadék mennyisége csak kisebb mértékben befolyásolja az eseményeket.

Az első modellek (*lásd: 2008, PAE-ISO/03/2008/SZ*) nem számolnak a csapadék hatásával. A későbbi modellek esetén, amikor a paksi csapadék mennyisége is figyelembe van véve a terület modellezése során, a kvalitatív eredmények a korábbi, csapadék figyelembe vétele nélkül kapott eredményekkel összhangban vannak *(lásd: 2010-2011, PAE-ISO/05/2011/SZ, „Talajvíz hidrológia modelljének rendszeres aktualizálása*).

A 2008 és 2009 évi vizsgálatok (*2008, PAE-ISO/03/2008/SZ, 2009, PAE-ISO/02/2009/SZ)* alapján kiderült, hogy a legfontosabb folyamatokat négy alapeset köré lehet csoportosítani:

1: A Duna vízszintje alacsonyabb 89 méternél. (A halastavak szintje alatt van).

2: A Duna vízszintje 89 -91 m körüli. (Összemérhető a halastavak szintjével).

3: A Duna vízszintje 91 -93 m. (Összemérhető, a nyugati övcsatorna szintjével).

4: A Duna vízszintje magasabb, mint a nyugati övcsatorna. (Extrém magas vízállások, extrém magas áradás).

A kapott eredményeket jelen fejezet ábráin szemléltetjük.

Az eredmények tanúsága szerint alacsony és közepes Duna szintek esetén (*6.8-4. ábra)* a magas szinteknek megfelelő, az erőművet karéjszerűen ölelő tartomány felől áramlik a talajvíz és ezzel együtt a vízhez kötött részecskék a HVCS felé. Közepes szinteknél a HVCS északabbi részei maguk is forrásként viselkedhetnek és folyadékáramlás alakul ki a HVCS és az erőműtől közvetlenül északra található terület között.

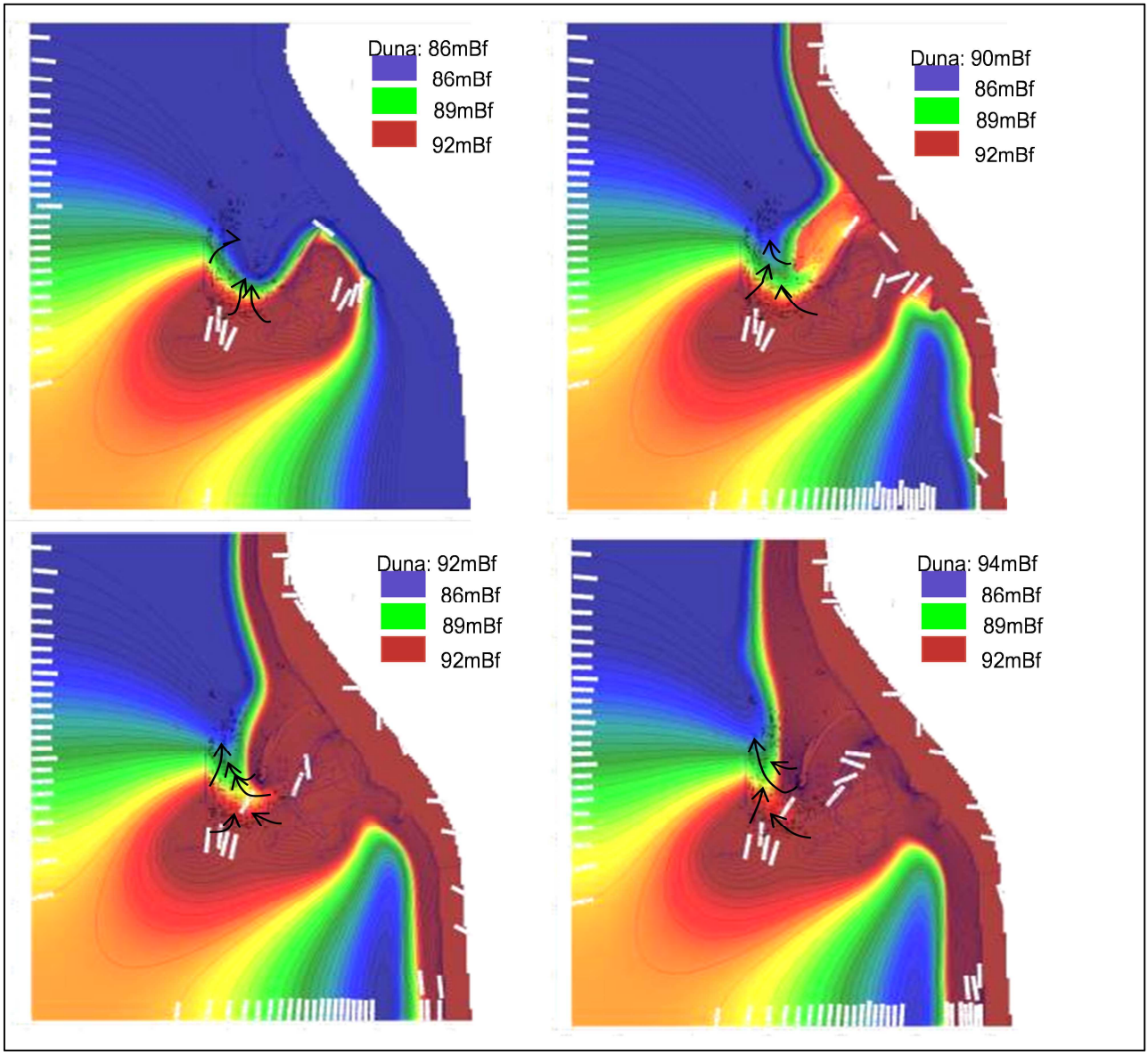
Miután a Duna elérte a halastavak szintjét, a talajvíz és a vele szállított anyagok Dél → Észak áramlási jellege megmarad, azonban az áramlás egyre inkább nem Nyugat → Keleti, hanem Kelet → Nyugati irányba fordul. Minél magasabb a vízszint, annál nagyobb mértékű az áramlás Kelet →Nyugati jellege. Az erőműtől északra lévő tartomány nyelőként viselkedik, majd mihelyt visszaáll a közepes illetve alacsony Duna szint a HVCS és végső soron a Duna felé visszaáramlik a talajvíz.

A sebességek eloszlása megváltozik a vízállások függvényében. A Kondor-tó és a délnyugati övcsatorna között számos esetben kialakulhat egy közel 0 m/s sebességgel jellemezhető tartomány, amely magas vízállásoknál kiegészülhet egy másik minimális sebességű tartománnyal. Ha a Duna a halastavakkal, illetve a nyugati övcsatornával összemérhető magasságú, akkor az erőmű keleti oldalán lévő O jelű kutaknál rendkívül lelassul az áramlás. Az erőmű északi részén lévő kutakban enyhe visszaáramlás tapasztalható.

Még magasabb Duna szinteknél az O sor magasabb számú kútjaiban is visszaáramlás léphet fel. A közel 0 m/s sebességű tartomány előreláthatólag az O5 O6 kutakra lesz jellemző. Ebből az következik, hogy az O5 kút általában a tőle délre lévő objektumok alól kapja a vizet. Magas Duna szinteknél azonban a Dél - Északi irányú áramlás leállhat, és a víz, illetve a hozzá köthető részecskék megrekedhetnek a kútban.

Az erőmű északi oldalán lévő kutak esetleg terhelést kaphatnak abban az esetben is, ha a magas Duna szinteknél Nyugati irányba forduló áramlás miatt, az egyébként őket statikus esetben elkerülő áramok, vagy azok diszperzió folytán szétkenődött részei olyan visszahajló pályára kerülnek, ami metszi a kutakat.

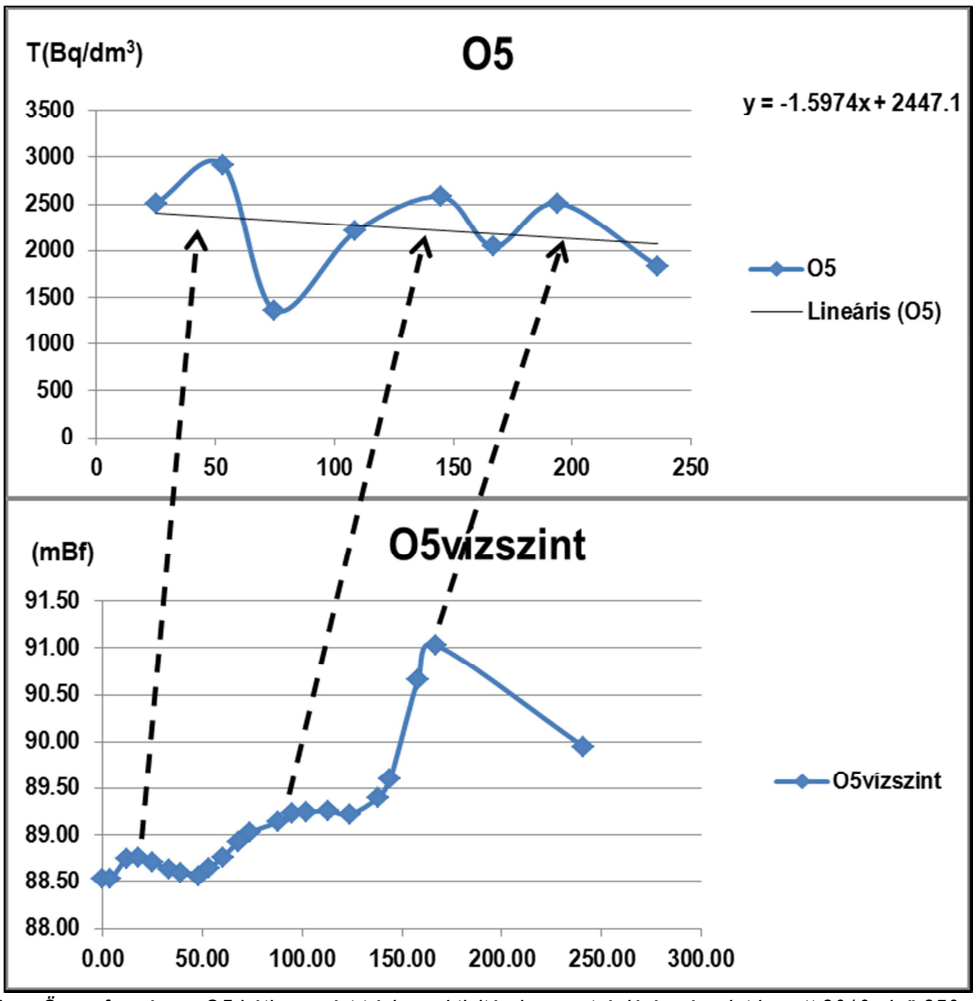
Összességében azokban az esetekben, amikor a Duna vízszintje kiemelkedően magas, egy Ny – ÉNy irányú visszaáramlás, vagy az áramlás blokkolása – pangása következhet be. Mivel a magas szintek többnyire időben gyors lefolyásúak, 5 – 15 napos lefolyású árhullámokhoz tartoznak, ezért napi 1m visszaáramlással számolva a 90mBf feletti Duna szinteknél egy-egy élesen kiemelkedő vízállás maximum 5 -15m visszaáramlást eredményezhet az erőmű szűkebb környezetében.



6.8-4. ábra: A térség talajvízáramlását kialakító jellegzetes Duna vízállások és azok hatása. Modell 2008 – 2009.

A *6.8-6. ábra* egészen a *6.8-14. ábra*-ig együtt ábrázolja a tríciummal terheltebb kutak trícium aktivitáskoncentrációját, vízszintjét, és a Duna HVCS-nél mért szintjeit.

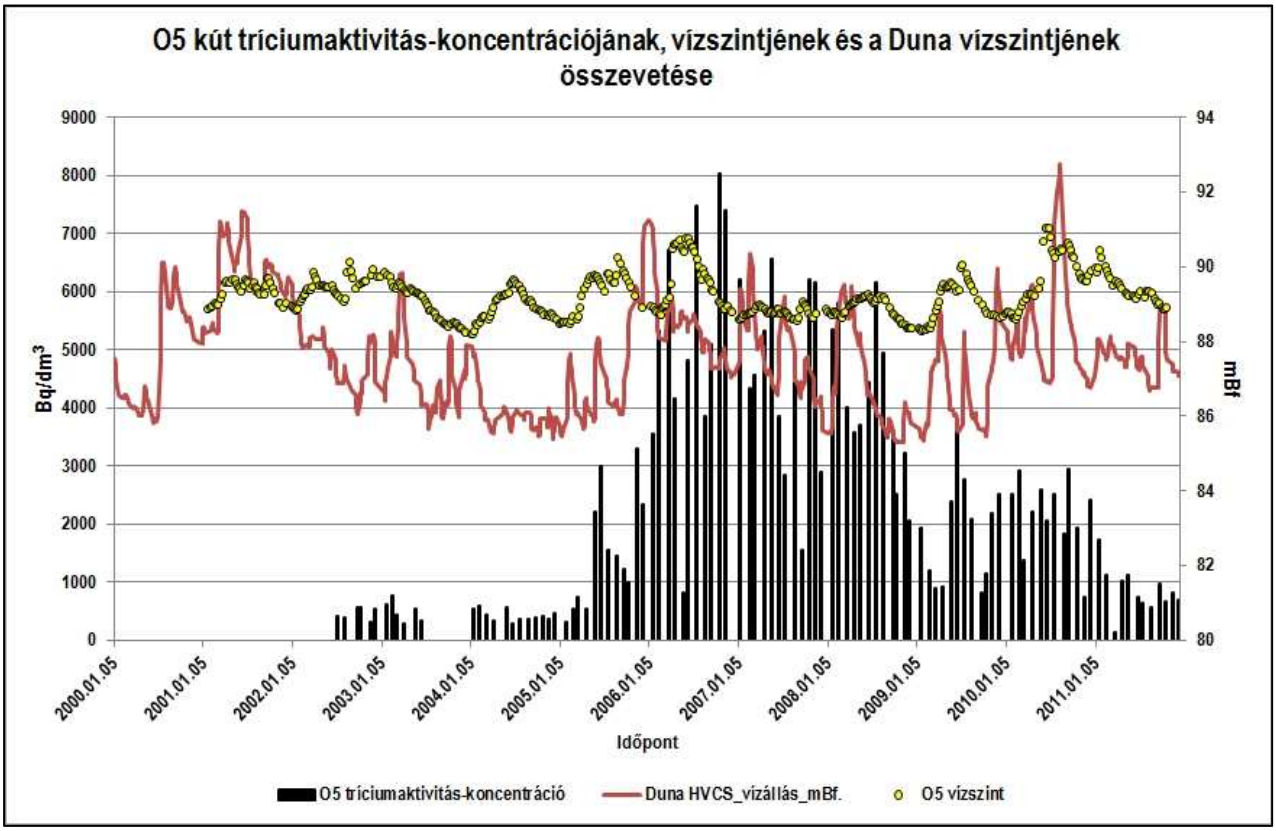
A kutak vízszintjei a Dunától távolodva egyre inkább kisimítva, kis idő-késéssel a Duna vízszintjeivel összhangban változnak. A konkrét értékek függnek attól, hogy egy árhullám emelkedő, vagy lecsengő szakasza valósul meg. Ha az árhullám emelkedő szakaszában vagyunk, akkor a kutak szintjei az időben állandósult elvi szinttől (2008, PAE-ISO/03/2008/SZ statikus eredményei) többnyire lemaradnak, ha az árhullám csökkenő szakasza valósul meg, egy extrém magas Duna vízszint után, úgy a kutak az aktuális Duna szinthez tartozó elvi statikus szint felé emelkedhetnek. A folyamatokat a terület csapadékviszonyai, az esetleges szivattyúzások, talajmunkák kis mértékben módosíthatják.



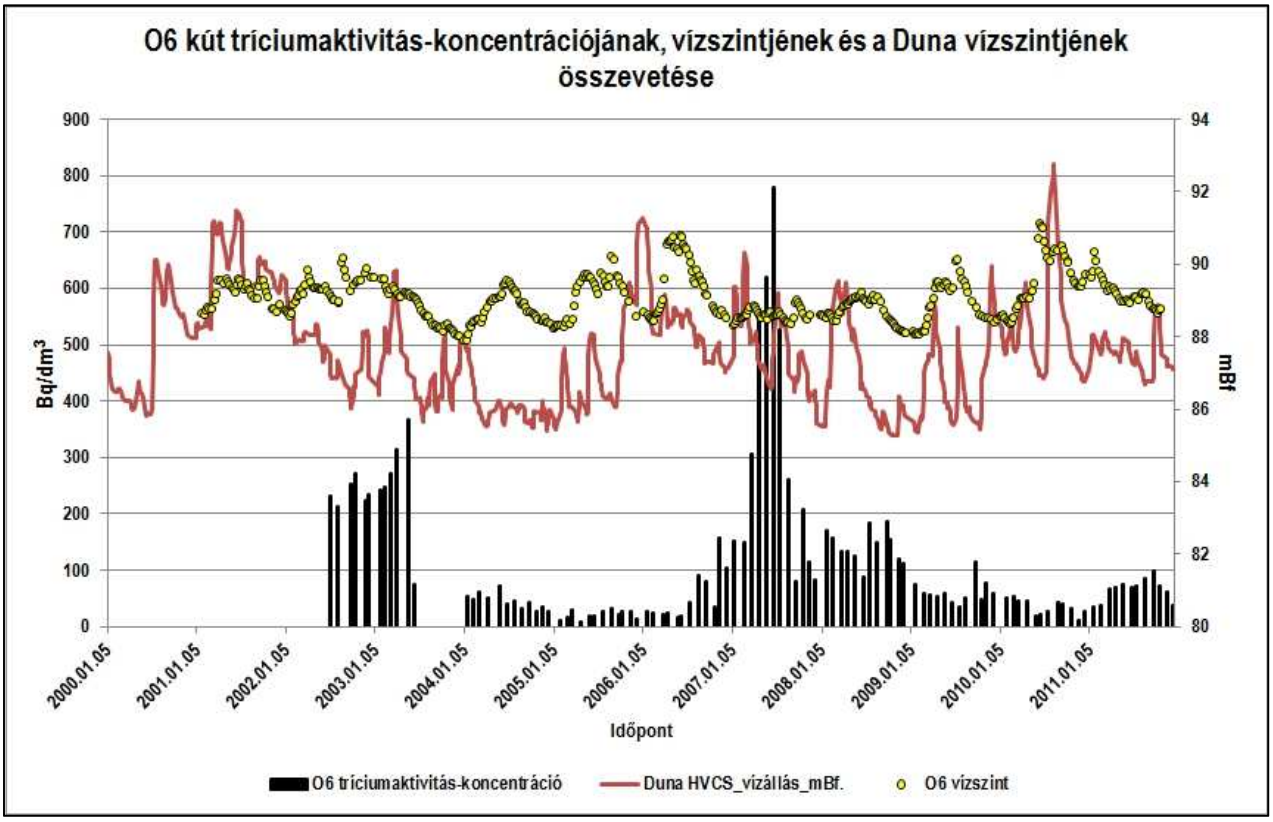
6.8-5. ábra: Összefüggés az O5 kútban mért trícium aktivitás-koncentráció és vízszint között 2010 első 250 napjában

A talaj felső rétegében, körülbelül 9 méter mélységig telítetlen zóna alakulhat ki. A telítetlen és telített zóna határa, továbbá a talaj telítettségi foka egy adott helyen erősen függ a Duna vízszintjétől. A Duna vízszint ingadozásaival összhangban felfelé és lefelé áramló periódusok váltják egymást a telítetlen zónában. Ennek a következtében, egy a telítetlen zónában kialakult csőrepedés hatása ingadozó jelleggel érzékelhető az egyes monitoring kutakban. A magas Duna vízállások esetén a víz felkúszik a telítetlen zónába. Ekkor a zónában felgyűlt trícium terhelés kiürülése lelassul a felfelé mutató pályák miatt. Az árhullámot követő szakaszban azonban megfordul a folyamat. Lefelé irányuló pályák alakulnak ki, és a korábban felnedvesedett felső, telítetlen rétegekből, a víz kimossa a trícium egy részét. Ezután megfelelő késleltetéssel a telített zóna pályái mentén található kutakban a koncentráció növekedése tapasztalható.

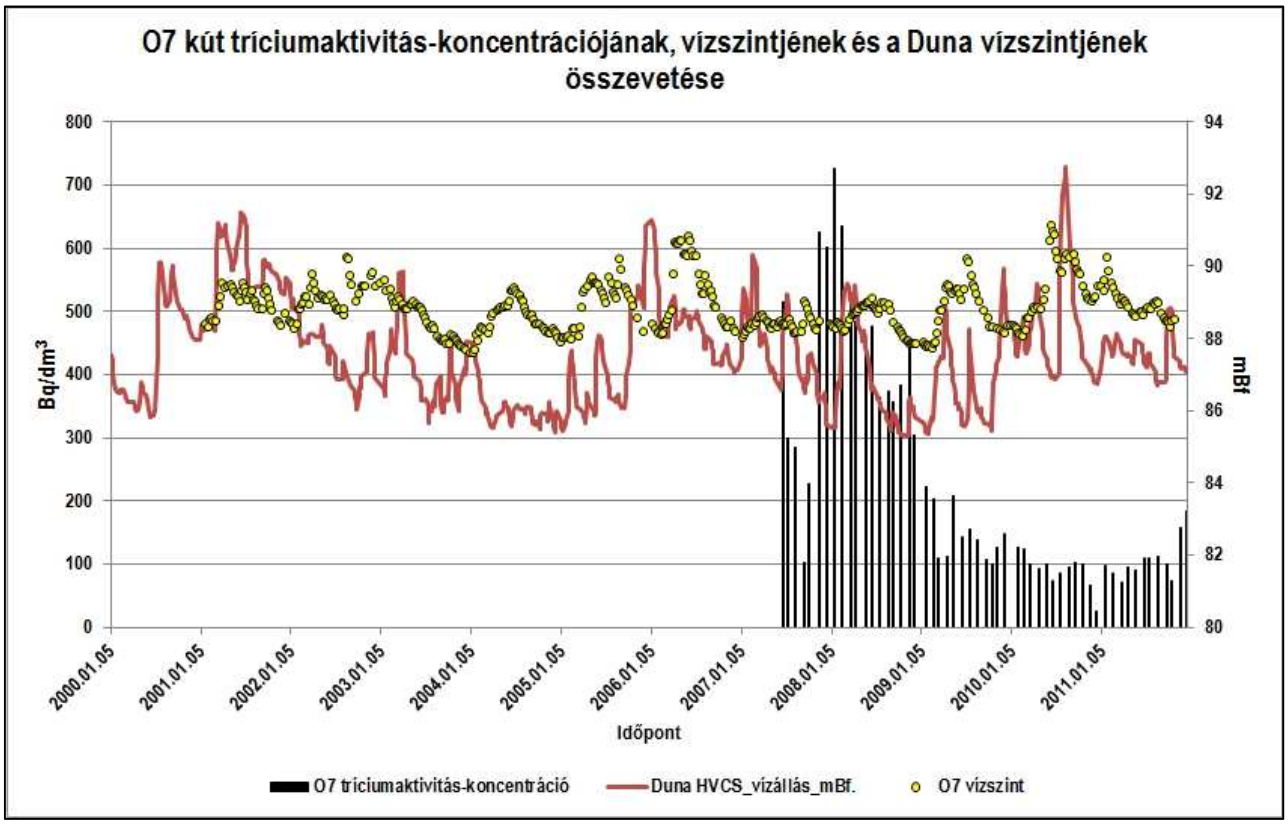
A fentiek miatt a kutakban mérhető koncentrációk ingadozó jelleget mutatnak (lásd a fenti ábrát). A környezet műszaki állapotára a karbantartás hatékonyságára a hosszú távú trendekből következtethetünk.



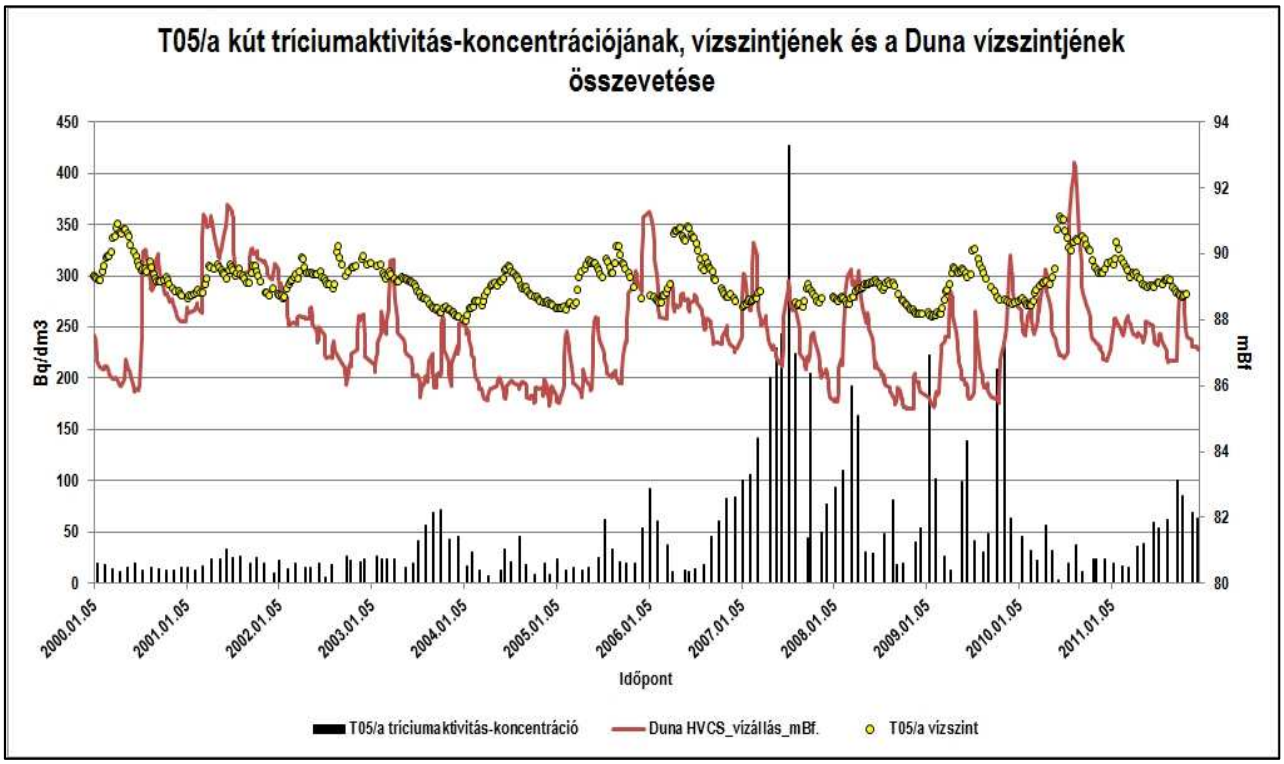
6.8-6. ábra: Az O5 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



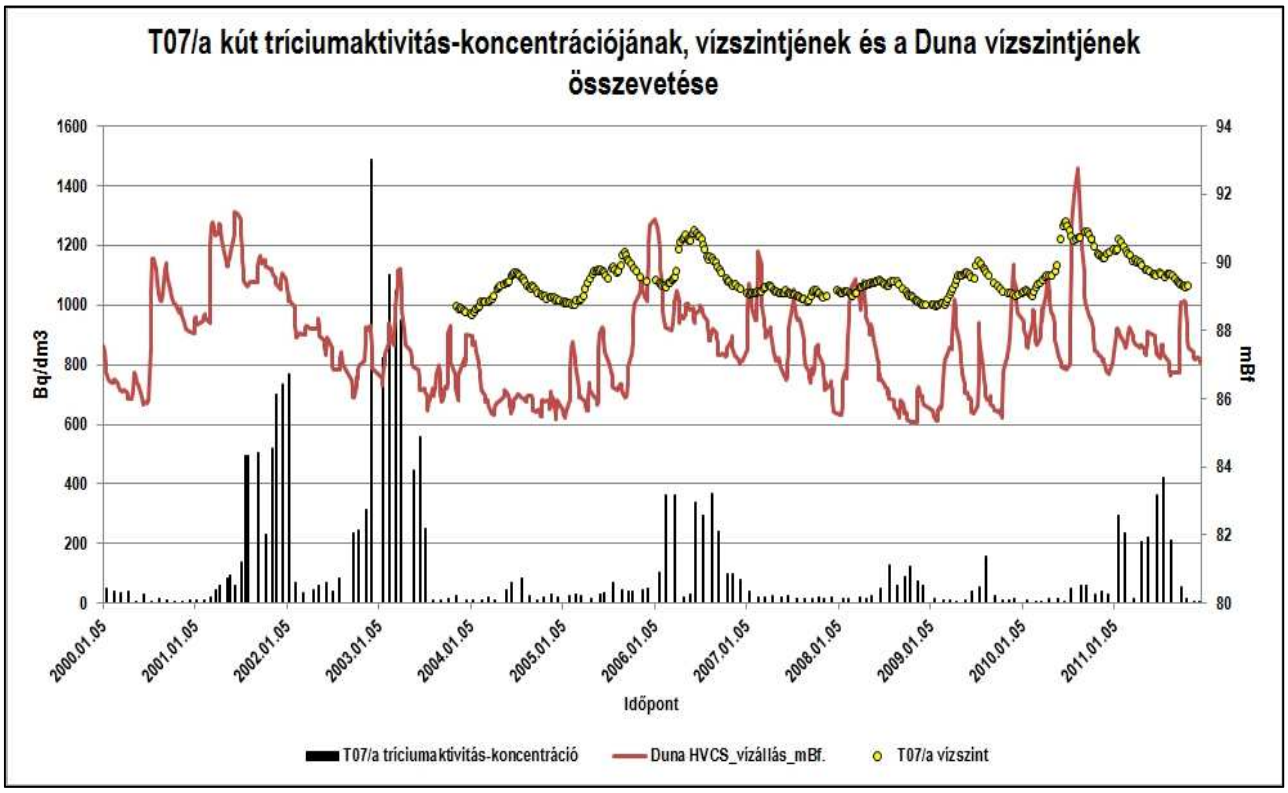
6.8-7. ábra: Az O6 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



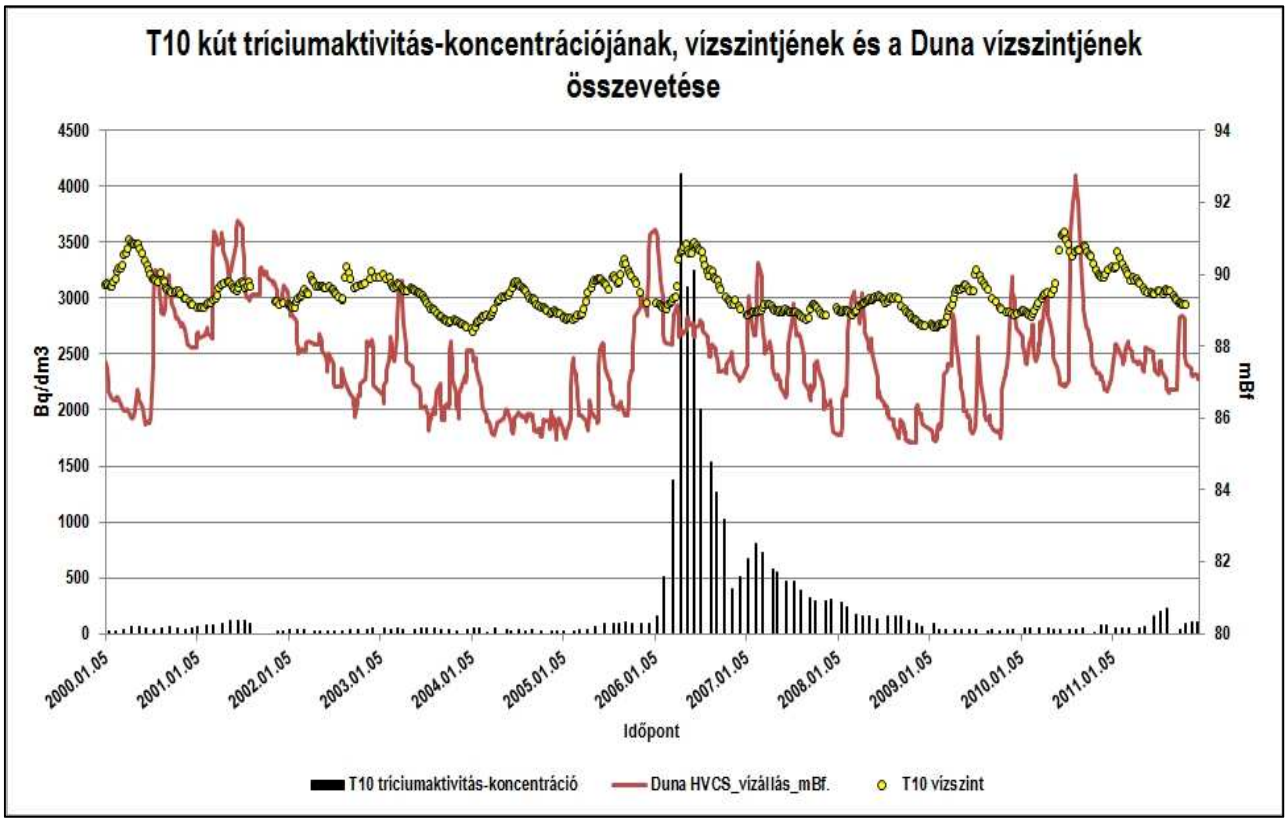
6.8-8. ábra: Az O7 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



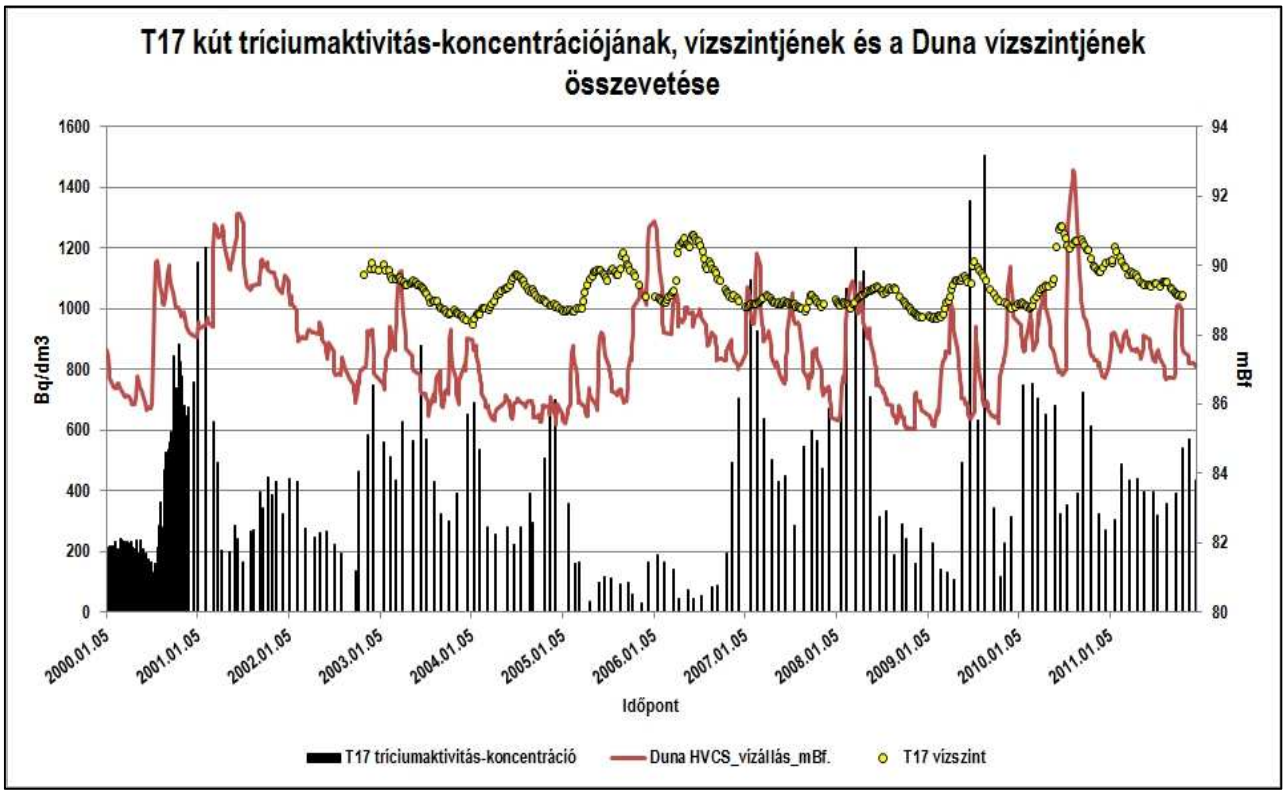
6.8-9. ábra: A T05 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



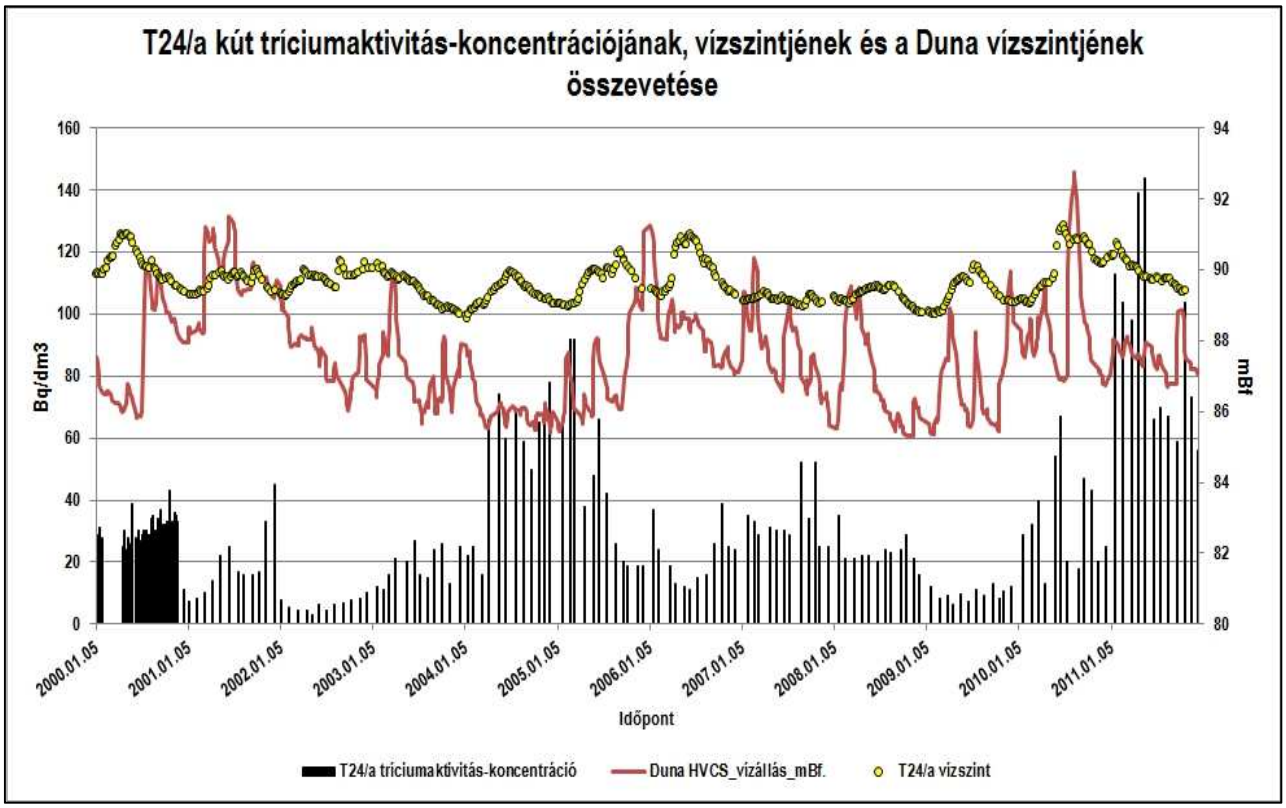
6.8-10. ábra: A T07 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



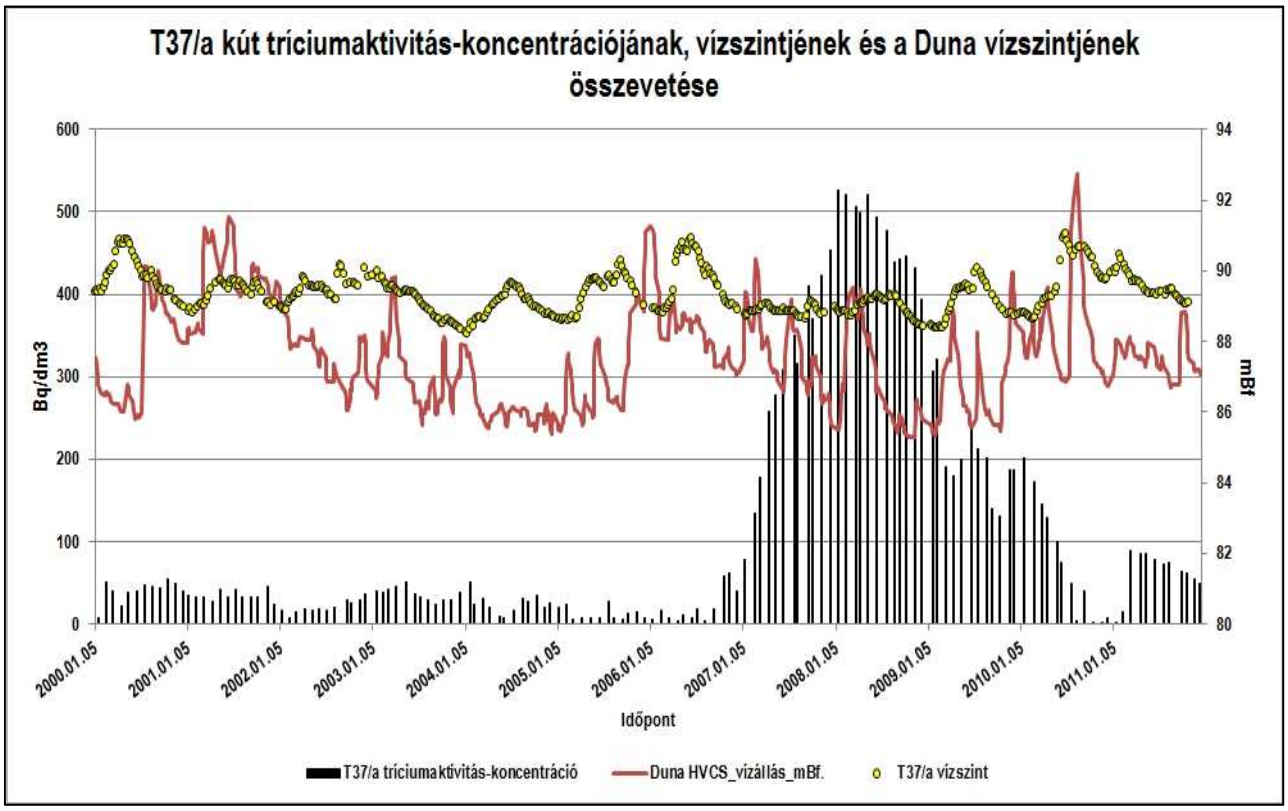
6.8-11. ábra: A T10 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



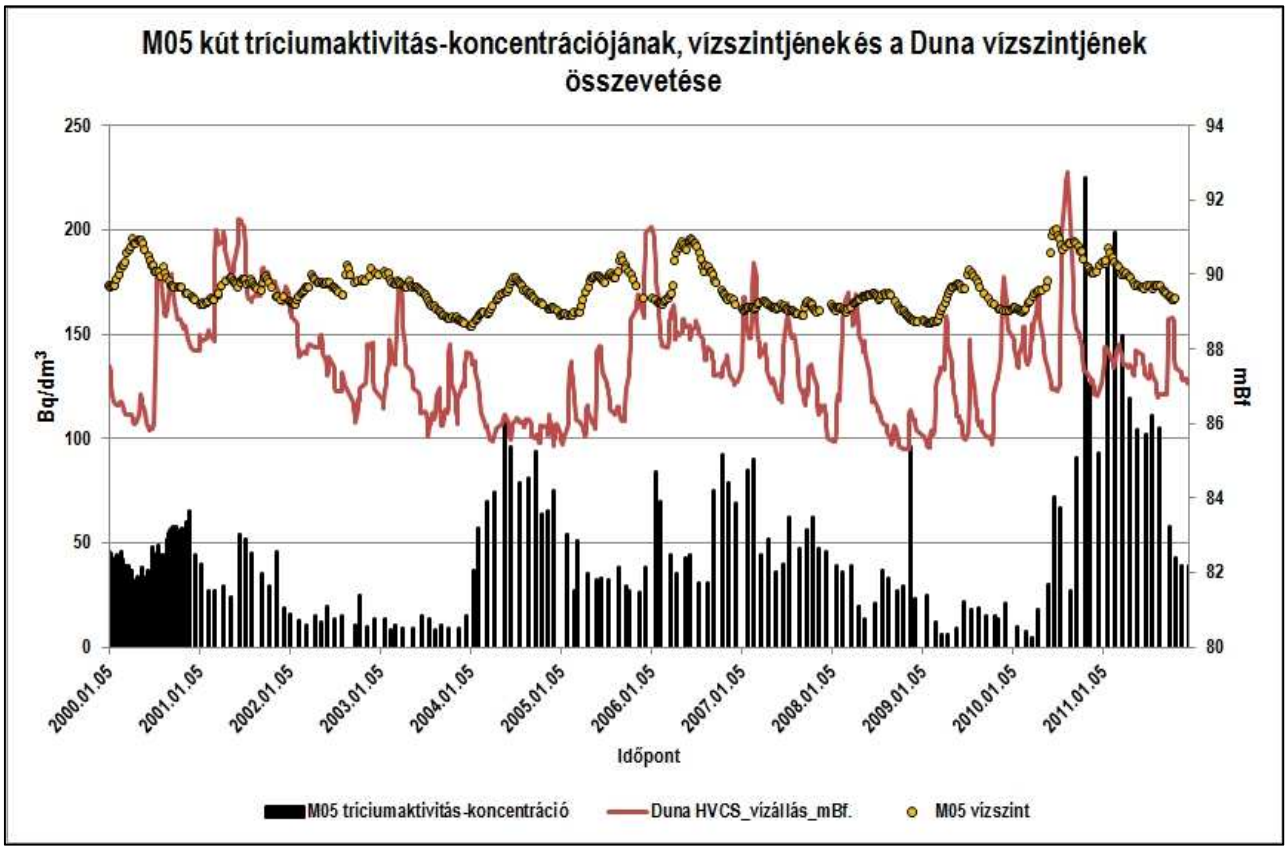
6.8-12. ábra: A T17 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



6.8-13. ábra: A T24 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011



6.8-14. ábra: A T37 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011

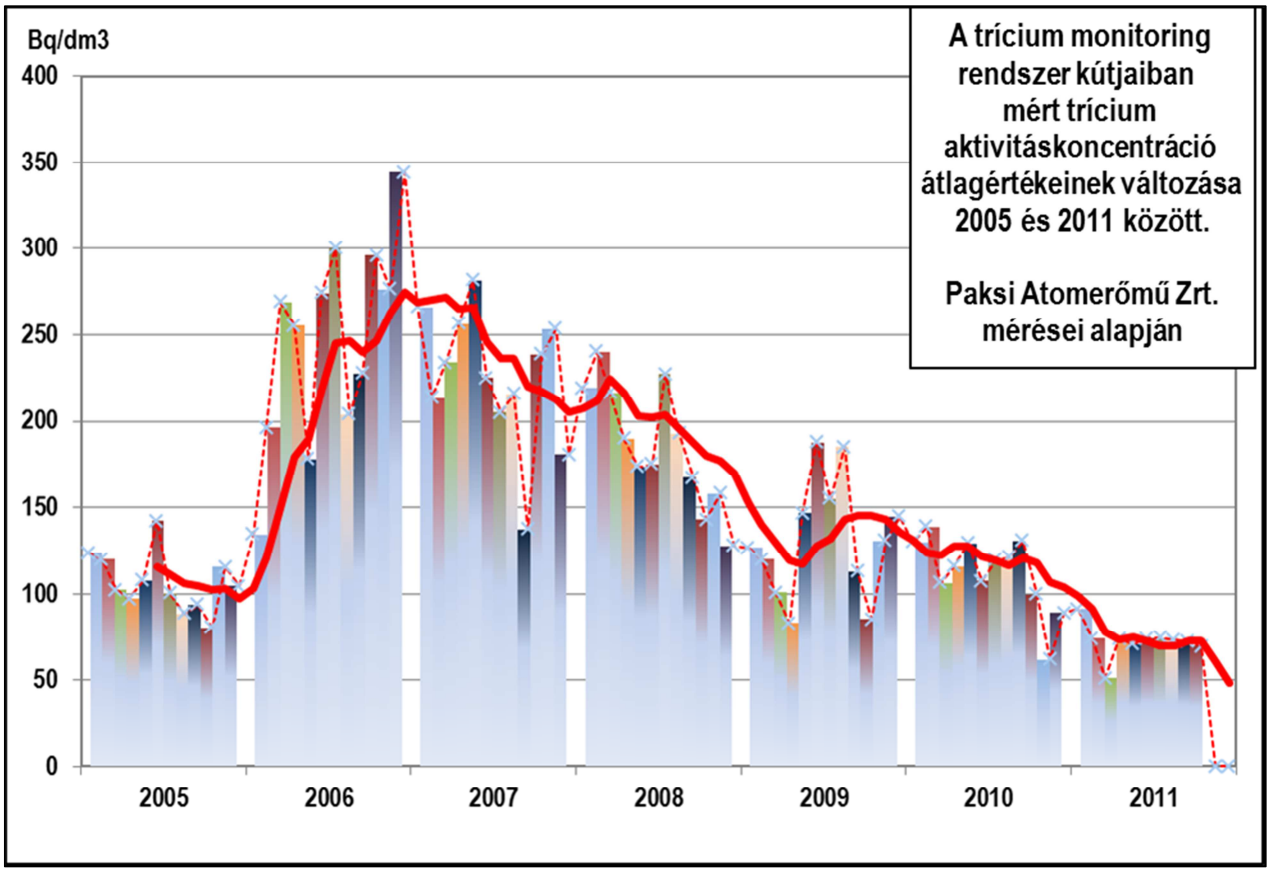


6.8-15. ábra: Az M05 kút trícium aktivitás-koncentrációja, vízszintje, továbbá a HVCS-nél mért Duna szint 2000-2011

A hosszú távú tendenciák jellemzése

A hosszú távú trendeket vizsgálva megállapítható, hogy 2000 - 2006 végéig a fenti okok miatt a trícium terhelés növekedése volt tapasztalható. Ugyanakkor a szisztematikus karbantartási tevékenységnek köszönhetően 2007 óta összességében a terhelés csökken. Egyes esetekben helyi ingadozás, enyhe növekedés is mérhető, aminek több oka is lehet.

- A telítetlen zóna folyamatai által okozott ingadozás ideiglenesen növelheti a kutak trícium tartalmát.
- Nem zárható ki egyes vezetékek meghibásodása, újabb források keletkezése. Folyamatos monitoring és karbantartás szükséges.
- A korábban kijutott koncentrált terhelés a HVCS felé való terjedés és szétkenődés közben a forrástól távoli kutakban kisebb mértékű koncentráció-emelkedést okozhat a közvetlen terhelést okozó hiba elhárítása után is.

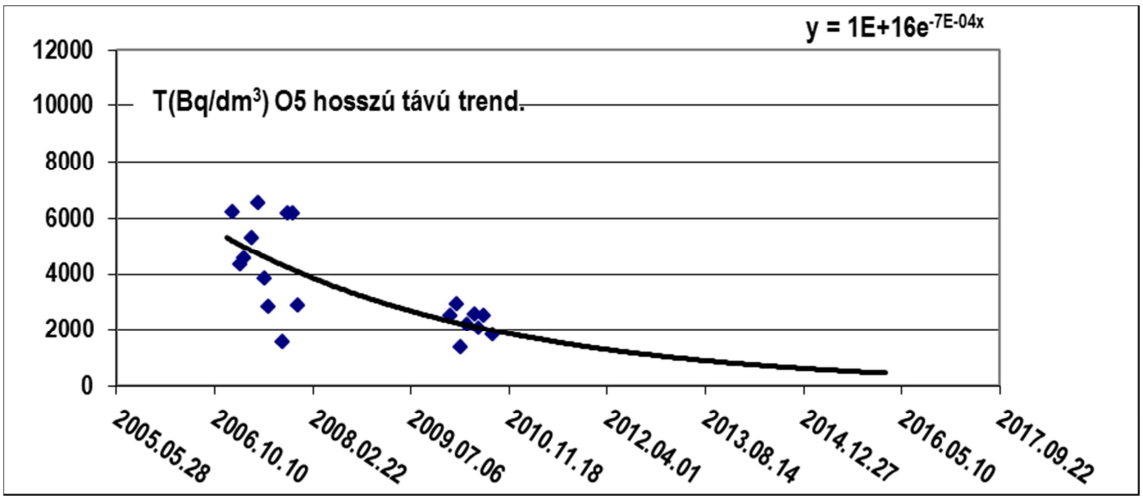


6.8-16. ábra: A trícium monitoring rendszer kútjaiban mért trícium aktivitás koncentrációk átlagértékeinek változása 2011-ig

Jól látható az elmúlt években tapasztalható, csökkenő trend.

A TM55 vezeték meghibásodását követő karbantartás után az O5 kútban még 2010-ben is 1000 – 3000 Bq/dm^3 aktivitáskoncentrációkat lehetett mérni. Feltűnő az erősen ingadozó jelleg.

Ugyanakkor, ha a hosszú távú tendenciákat vizsgáljuk, akkor az alábbi ábrának megfelelően látható a csökkenő jelleg. Az ábra alapján feltehető, hogy a korábban, telítetlen zónában felgyűlt trícium fokozatos kimosódásának vagyunk tanúi.



6.8-17. ábra: Az O5 kút terhelésére vonatkozó hosszú távú becslés

6.8.2 A MODELLEZNI KÍVÁNT TERÜLET LEHATÁROLÁSA, KEZDETI ÉS PEREMFELTÉTELEK MEGHATÁROZÁSA

A vizsgált terület hidrológiáját és a modell felépítését meghatározó legfontosabb objektumok, területek:

A Duna erőmű melletti szakasza.

Hidegvíz csatorna.

Jelenlegi erőmű fő épülete

A talajvíz mozgásait elsősorban a Duna és a Hidegvíz csatorna dinamikája határozza meg a nyugati, északi és déli határfeltételekkel együtt.

A határfeltételeket egyrészt a modellezett területet behatároló inaktív cellák segítségével, másrészt a felszíni vizekhez, övcsatornához, halastavakhoz és Kondor-tóhoz, továbbá karakterisztikus monitoring kutak vízszint és trícium koncentráció adataihoz illesztjük.

A modell legkritikusabb sarokpontjai a következők:

- A kijelölt modellezett tartomány, melyet peremfeltételként inaktív cellákkal zártunk le.
- Azok az ismert vízszintek, amelyek jellemzően meghatározzák a vizsgált tartomány nyomáseloszlását, és leginkább szerepet játszanak abban, hogy milyen jellegű sebességtér alakul ki. Ezek az ún. „constant head”-ek, amelyek vízszintjeit mérési adatok alapján, bemenő adathalmazként határoztuk meg. A konstans itt nem időbeli állandóságot, hanem a környező kutaktól való függetlenséget jelöl olyan módon, hogy a „constant head” befolyásolja a környezetében lévő tartományok és kutak vízszintjeit és sebességterét, de fordítva ez nem igaz. A környezet nincs visszahatással a „constant head”-re. A „constant head” – által bevitt értékek helyességét az garantálja, hogy az adatokat mérések alapján határozzuk meg. A számolás során ezek a tartományok mintegy kényszerfeltételt szabnak meg az őket körülvevő területekre nézve.
- Az alkalmazott szivárgási tényezők, fajlagos tárolási képesség, fajlagos hozam, effektív porozitás.
- Az alkalmazott cellabeosztás részletessége, az alkalmazott rétegek száma.

A modellben a *6.3-1. ábra*n bemutatott, inaktív cellákkal lezárt tartományt alkalmaztuk. A modell 97 méter mélységig, 20 rétegen keresztül számolja a folyamatokat. A legkisebb cellabeosztás körülbelül 7 - 10 m pontosságnak megfelelő helymeghatározást tesz lehetővé. A „constant head”-ek elhelyezkedését a piros tartományok jelölik (*6.8-18. ábra*). A melegvizes csatorna egy kibetonozott csatorna, ezért nem vettük a peremfeltételek („constant head”-ek) közé, azt inaktív cellaként vettük figyelembe.

A *6.8-18. ábra* bordóval jelölt területe mutatja a modellezés során határfeltételekként használt, ismert vízszinteket. A modell „constant head”-ként hivatkozik rájuk. Itt a konstans jelentése, hogy a bejelölt szintek kényszerfeltételt határoznak

meg a környezetükre nézve, és a környezet változásai ezekre a szintekre matematikailag nem hatnak vissza. A környezet változásaival szemben konstans a szint. A bejelölt „constant-head"-ek szintjeit mérési adatok alapján visszük be a modell bemenő adatainak halmazába. Az ide vonatkozó adatokat a határfeltételhez köthető kutak és további vízszintmérő helyek (HVCS vízmű, Duna – paksi vízmérce) vízszint mérései alapján kapjuk.

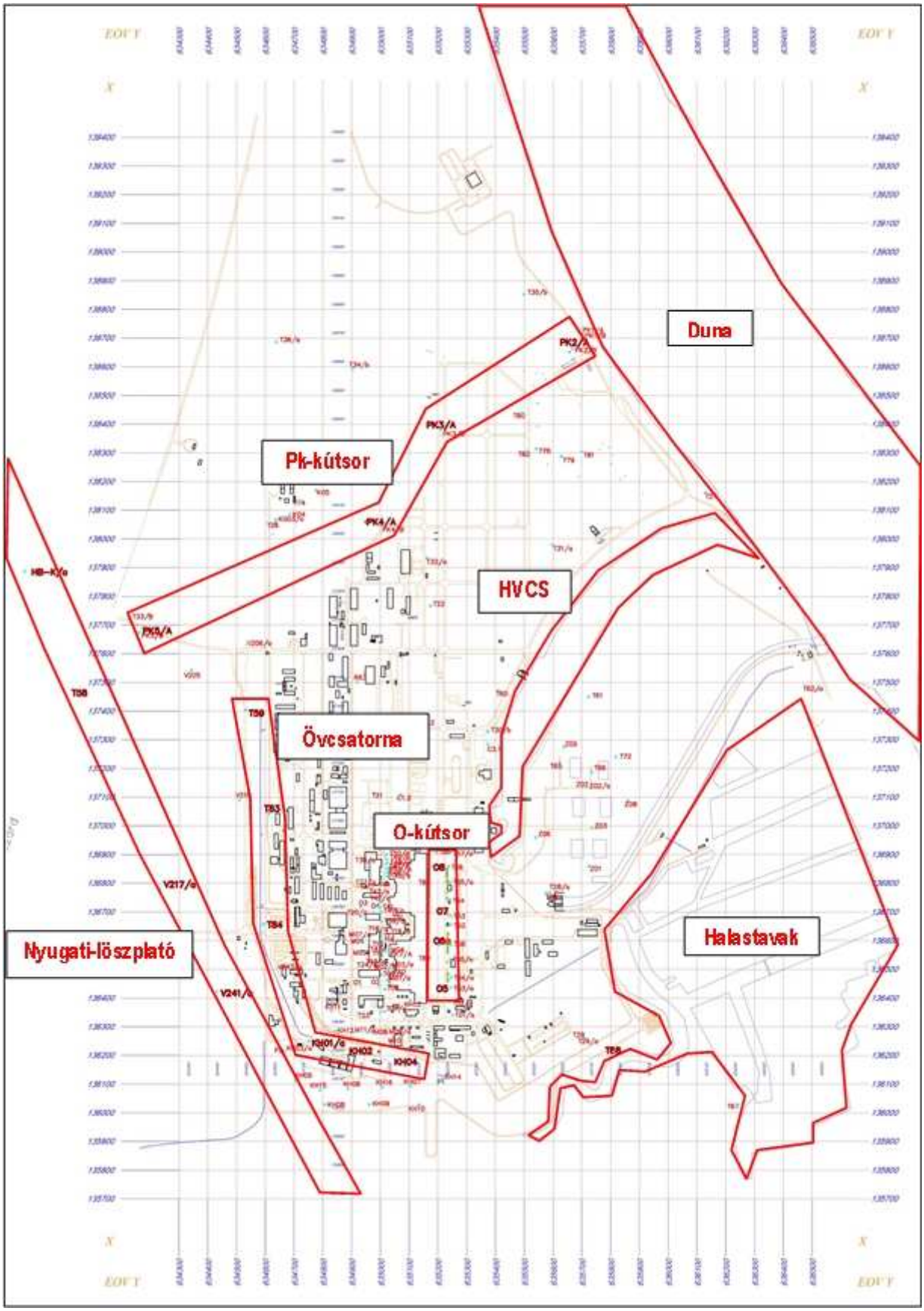
A modelltartományt északon a PK2, PK3, PK4, PK5 kutak vízszintjeire illesztett „constant head" zárja le. A kutakba napi rendszerességgel, pontos vízszint adatot szolgáltató automata vízszintregisztrálók vannak telepítve, továbbá a kutak vízszintjei időben kevéssé változnak, így azok egy megfelelően definiált modellrétegen belül jól kezelhetőek. Emiatt pontos, és akár napi rendszerességgel rendelkezésre álló adatsorok vihetők be a modell peremfeltételei közé, ami megbízhatóbbá teszi a tranziens jelenségek vizsgálatát.

A modell által megfelelően validált eredmények az északi PK2, PK3, PK4, PK5 kút által meghatározott határfeltételtől délre**,** illetve a további határfeltételek által kialakított, azok által közrefogott területen várhatók. A modell által számolt eredményeket a területen elhelyezkedő kalibráló - monitorozó kutakból nyert mérési adatok alapján ellenőrizzük. A jelenleg is alkalmazott legfontosabb ellenőrző kutak a következők: V241, V217, T58, HBK/a , O5, O6, O7, O8, T59, T83, T84, KH01, KH02, KH04, T68.

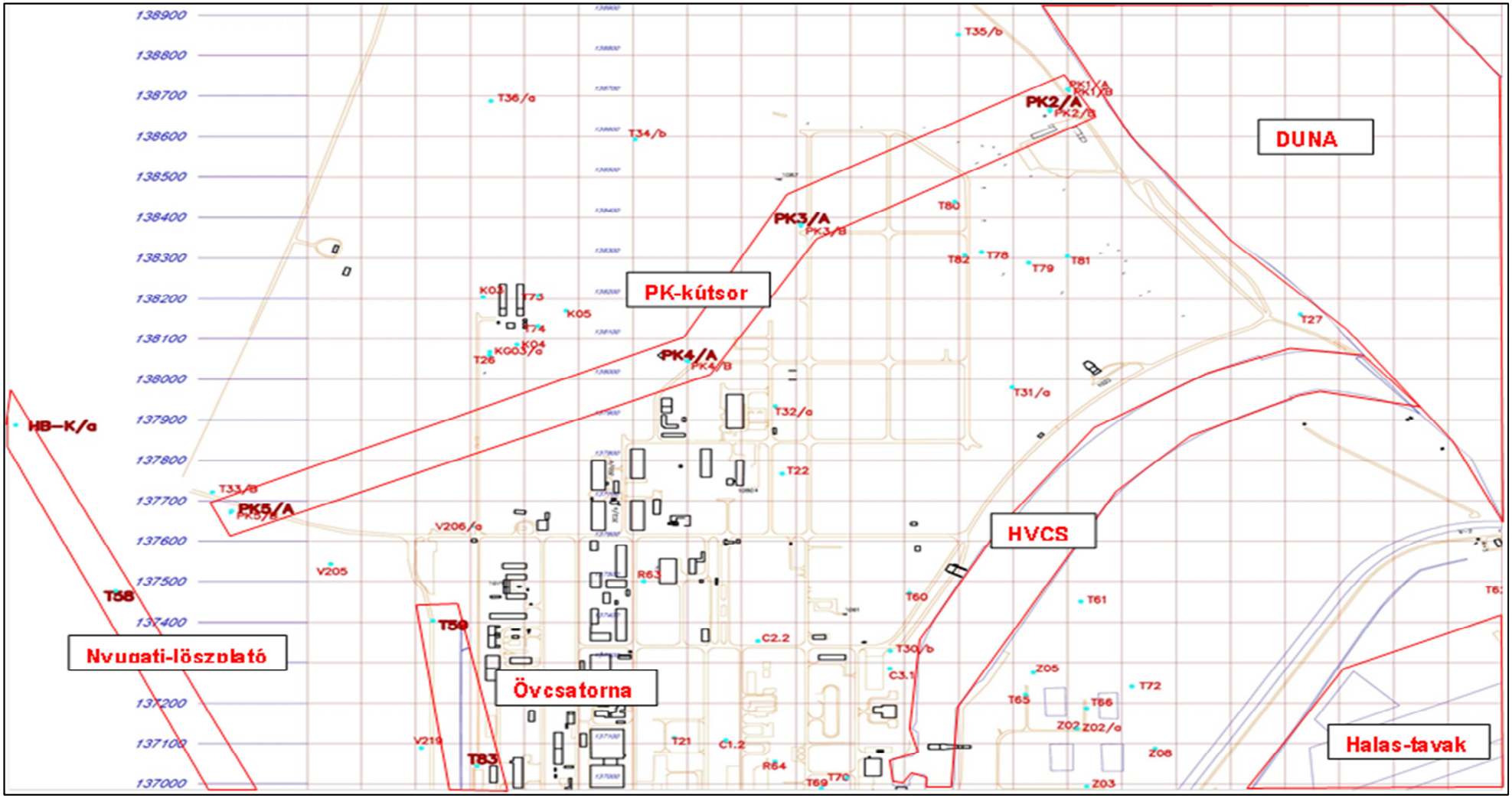
A *6.8-19. ábra* és *6.8-20. ábra* kinagyítva mutatja be a tervezett és a régi erőmű területeit és az azokon található kutakat. Látható, hogy számos olyan kút van a területen, amelyek mind a határfeltételek pontosításához, mind a kalibráláshoz megfelelően alkalmazhatóak.

A modell kiterjedése tekintetében fontos a vertikális behatárolás is. A földtani háttér ismertetésénél láttuk, hogy a talajvíz mozgása, így a trícium transzportja is a felső 30-50 méterben játszódik le. A modellnek tartalmazni kell ezt a térrészt és a fekü felső részét. Továbbá bevettük a legfelső rétegvíz tartó réteget.

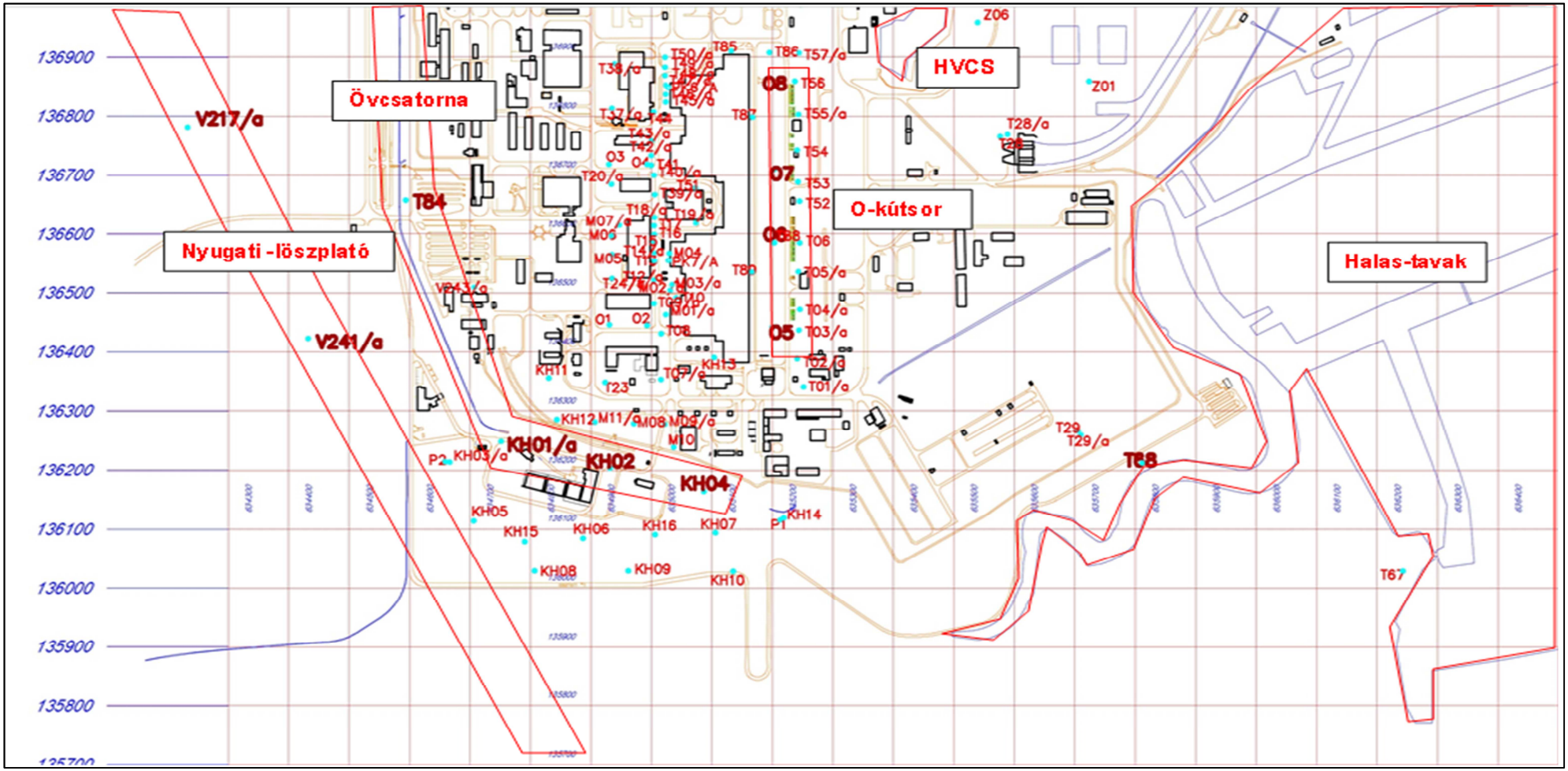
A szűk környezet felszín alatti víz mozgásait vizsgáló modell 0 tól 97 mBf magasságig terjed. A modell ennek megfelelően tartalmazza a terület alatt található agyaglencséket, így az agyaglencsék alatti tartományt, pannon összletet és az agyaglencsék feletti tartományt (negyedidőszaki illetve recens összleteket) is képesek vagyunk bemutatni.



6.8-18. ábra: A „constant head”-ek elhelyezkedése.



6.8-19. ábra: A vizsgálati terület északi része.



6.8-20. ábra: A vizsgálati terület déli része.

A vertikális ábrák bemutatására három NY – K irányú szelvényt alkalmaztunk, melyeket a *6.8-21. ábra* tartalmaz.

A legfontosabb hidraulikai paramétereket a *6.8-22. ábra*, *6.8-23. ábra* és *6.8-24. ábra* tartalmazzák. Ezek alkalmazhatóságát az előzetes, 2009-ben és 2010-ben végzett szemcseeloszlási vizsgálatok, és a korábbi hidrológiai periódusokra végzett számolások igazolják.

A táblázathoz csatolt ábrákon különböző színek jelölik a táblázatban szereplő zónákat. Jelen munkában a korábbi adatokhoz képest további pontosítással éltünk.

A táblázatban az alábbi jelöléseket alkalmaztuk:

K x,y,z: **Szivárgási tényező x, y, z komponensei.**

Ss: **(Specific Storage) Fajlagos tárolási képesség.**

Egységnyi nyomásváltozás hatására felszabaduló víztérfogat osztva, a vizet eredetileg tartalmazó víztározó anyag térfogatával. (Tárolási koefficiens/vertikális rétegszélesség.)

Sy: **(Specific Yield). Fajlagos hozam.**

A kinyerhető víztérfogat és a teljes kőzettérfogat aránya. Homokos talaj esetén az effektív porozitáshoz közel álló, vele egyenlő, vagy annál kisebb érték.

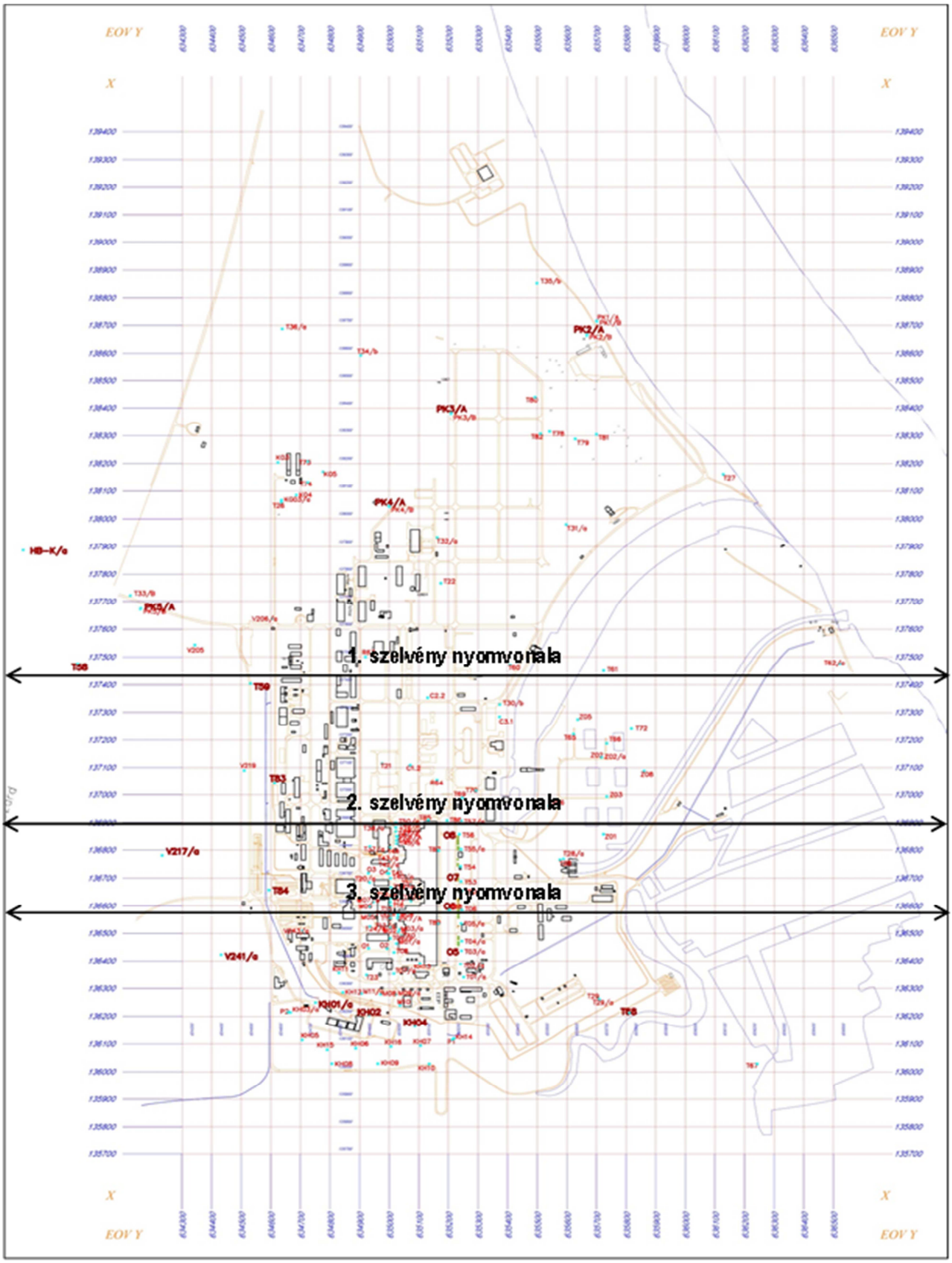
n: **Effektív porozitás.**

Adott kőzetben lévő pórustérfogat osztva a kőzet összes térfogatával.(Hézagtérfogat.)

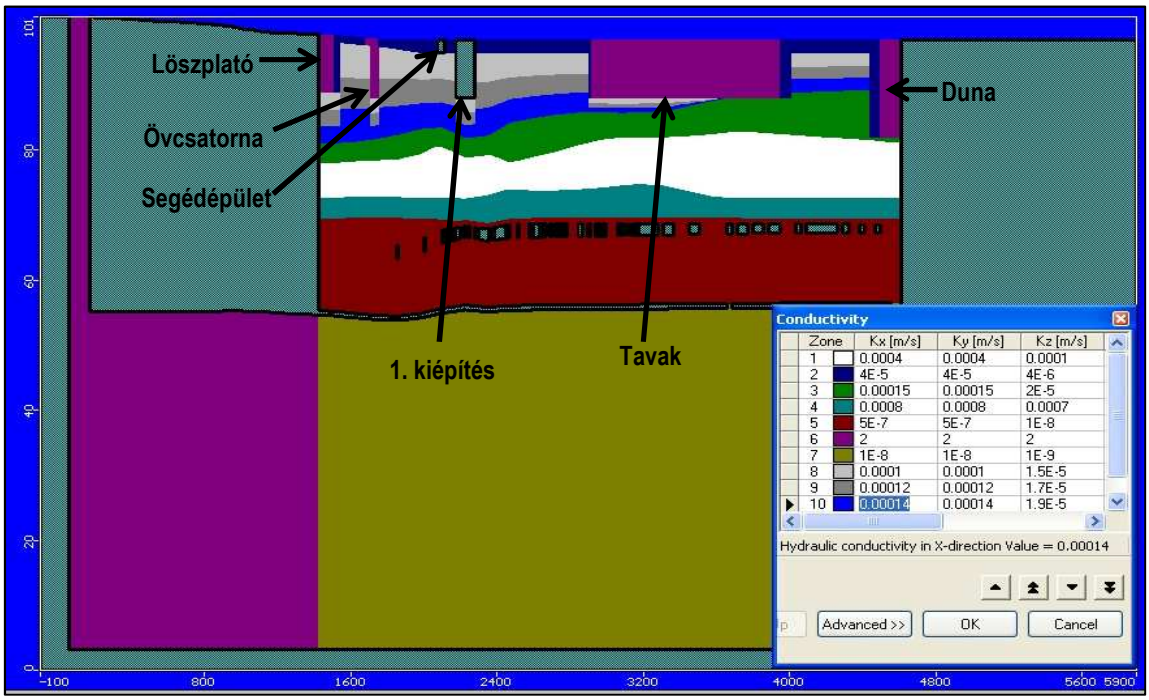
A folyadék ezeken a pórusokon, hézagokon keresztül áramlik.

A táblázat adataihoz tartozó rétegeket a *6.8-22. ábra*, *6.8-23. ábra* és *6.8-24. ábra* alapján mutatjuk be.

Extrém magas, Kxyz =2 m/s szivárgási tényezővel jellemezhető tartományokat is bevezettünk a „constant head”-ek közvetlen szomszédságában. Ez azért célszerű, mert a peremfeltételek kijelölése során a legfelső réteg szintjei eltolódtak, beágyazódtak az alsóbb rétegekbe. Emiatt a peremfeltételek közvetlen szomszédságában az alsóbb tartomány vezetőképessége irreális lehet. Az extrém magas vezetőképesség bevezetésével a peremfeltételek változásait, a szomszédos reális vezetőképességű rétegek időben gyorsabban érzékelik.

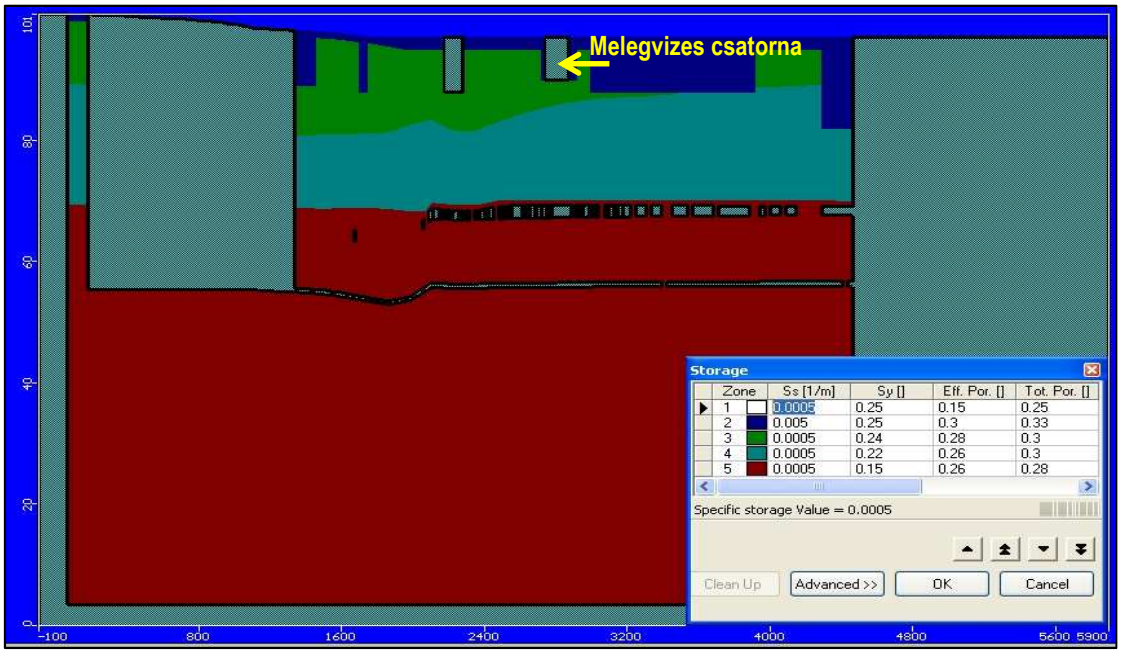


6.8-21. ábra: A modellezés során alkalmazott szelvények nyomvonalai.



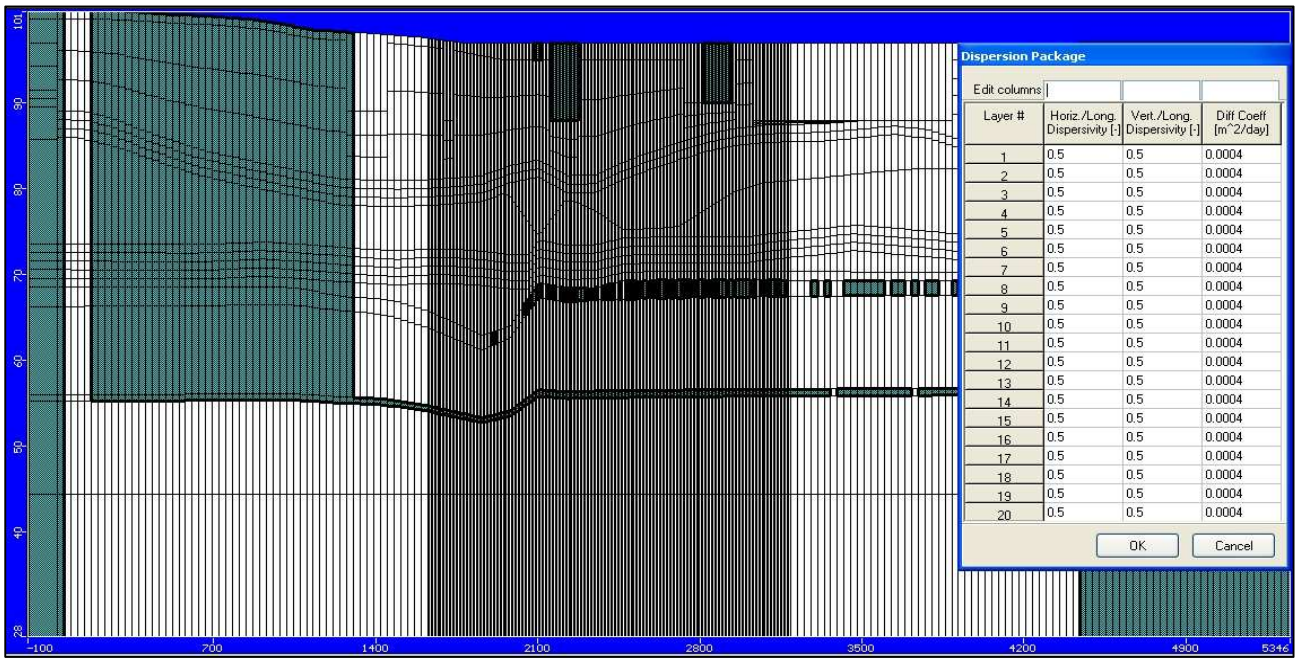
6.8-22. ábra: Az alkalmazott szivárgási tényezők.

Az ábrákon színessel jelöltük a megfelelő zónákat. A színek az adott réteghez tartozó szivárgási tényező értékeit ábrázolják vertikálisan, a koordinátarendszer x és z (mélység) komponensei által meghatározott NY – K irányú szelvény nyomán (3. szelvény nyomvonala). K x,y,z: Szivárgási tényező x, y, z komponensei. (balról jobbra függőleges hasábok: 1. lila: modellezés technikai peremfeltétel, 2. lila: löszplató, 3. lila: övcsatorna, 1. kis zöld: segédépület, 2. zöld 1. kiépítés, 4. lila tavak, 5. lila Duna).



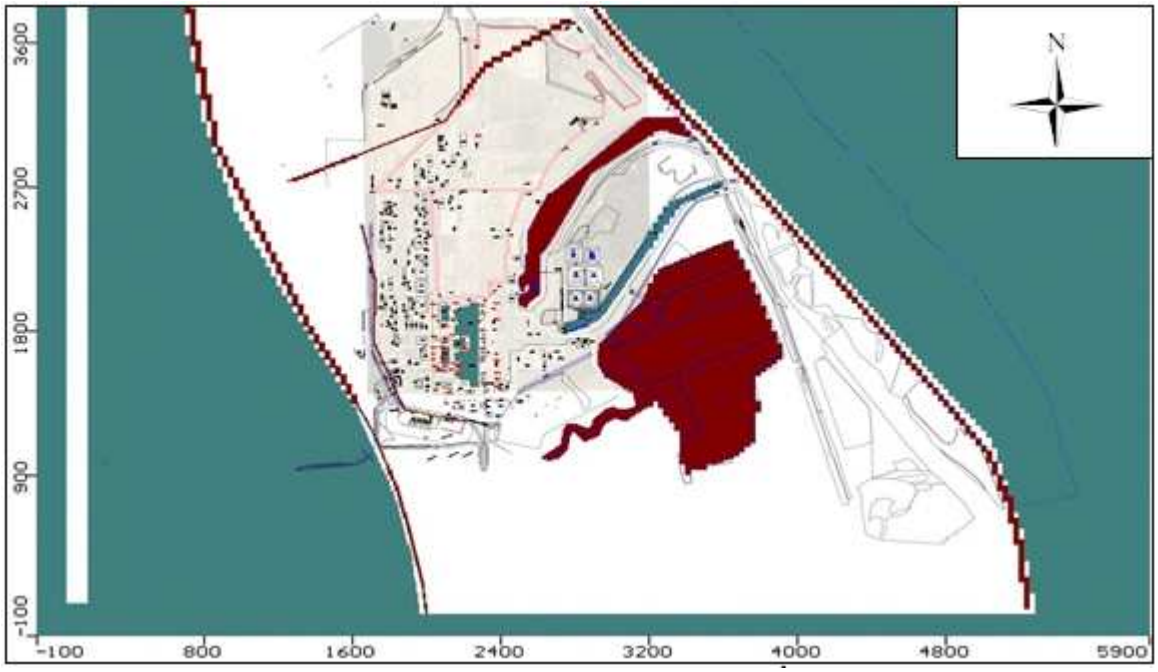
6.8-23. ábra: Az alkalmazott effektív porozitás, fajlagos tároló képesség és fajlagos hozam.

A színek a megegyező tulajdonságú réteg összletek fent említett paramétereit ábrázolják vertikálisan egy NY – K irányú szelvény mentén (2. szelvény nyomvonala) **Ss**:(Specific Storage) Fajlagos tárolási képesség. **Sy:** (Specific Yield). Fajlagos hozam. **n**: Effektív porozitás. (függőleges hasábok: lásd *6.8-22. ábra*).



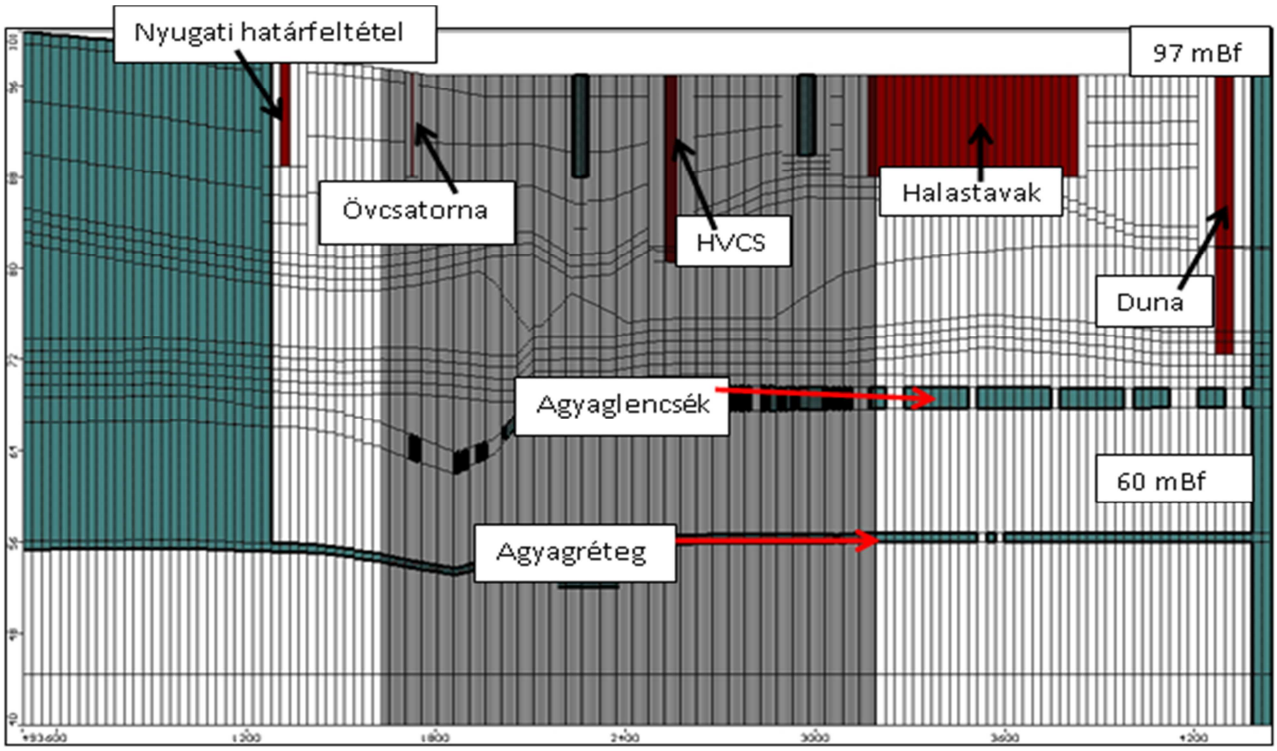
6.8-24. ábra: Az alkalmazott diszperziós tényezők és diffúziós együtthatók.

A zöld színű cellák inaktív cellák. A kép közepén látható szürkébb tartomány a sűrűbb cellabeosztás miatt tér el a többitől. Az ábra szintén NY – K irányú.



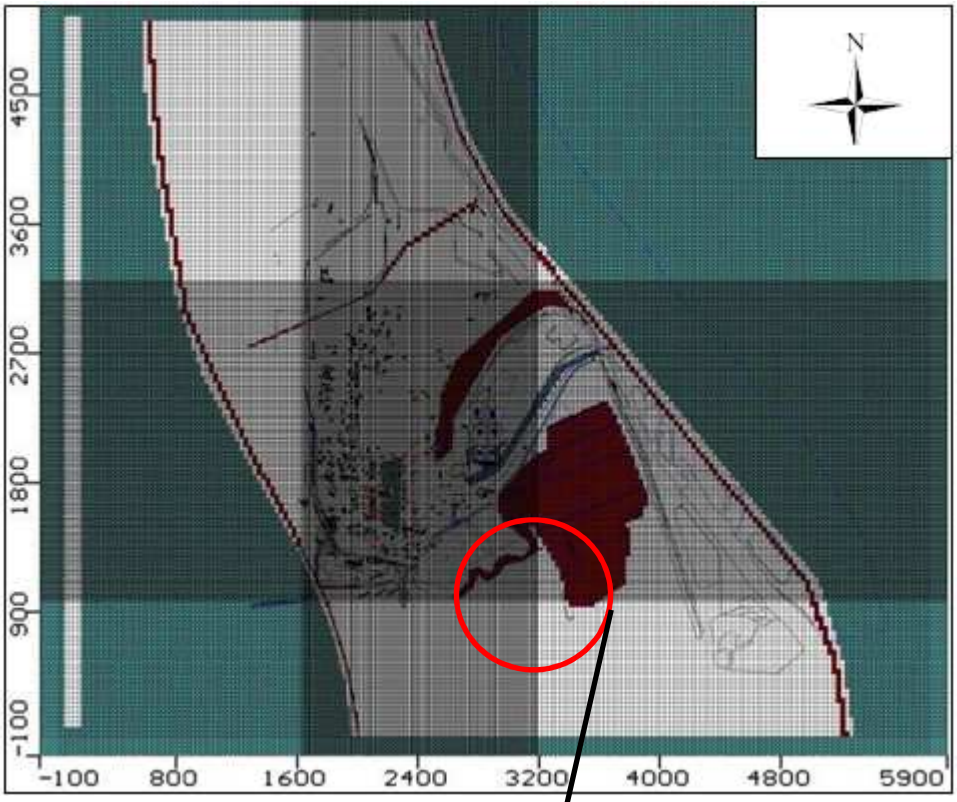
6.8-25. ábra: A modellezett tartomány.

Pirossal jelöltük az alkalmazott un. „constant” szinteket, (nyugati löszplató, északon PK kútsor, övcsatorna, hidegvíz csatorna, Kondor-tó és halastavak, Duna), kékkel az inaktív cellákat. A blokkokat magában foglaló betontömb és a melegvizes csatorna szintén inaktív cellákkal van figyelembe véve.

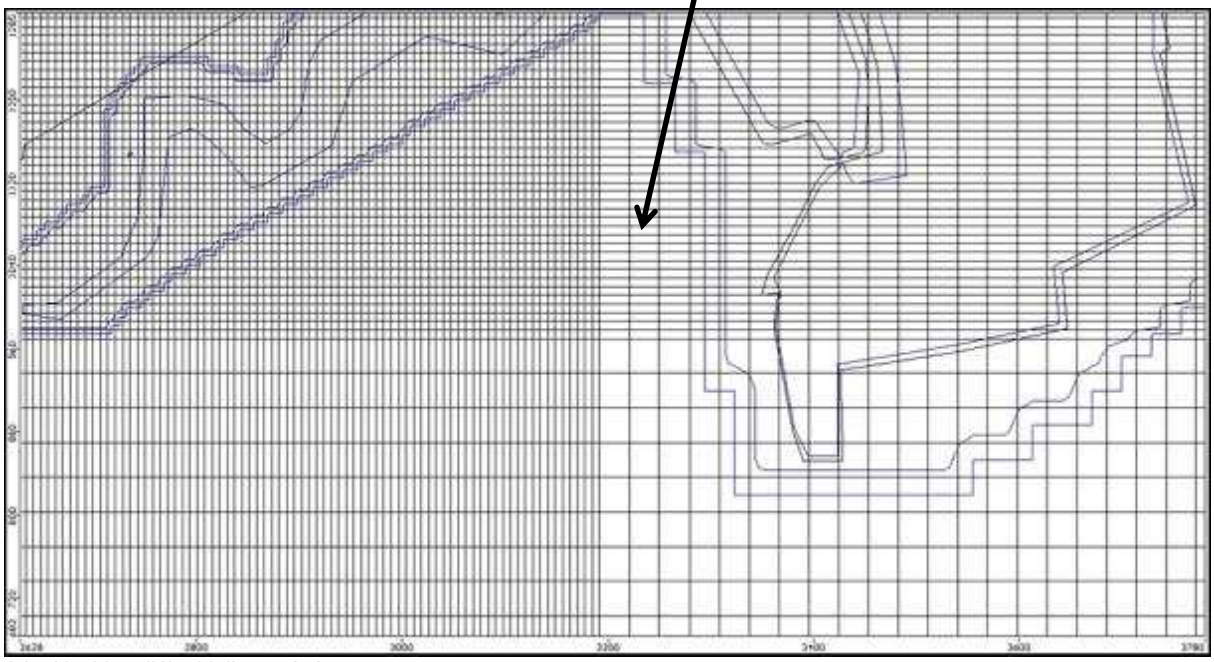


6.8-26. ábra: A modell vertikális rétegelosztása.

A felső régióban sűrűbb, alul ritkább rétegeloszlást alkalmaztunk. Pirossal un „constant head”-eket jelöltünk. Zölddel pedig az inaktív cellák láthatóak.



6.8-27. ábra: A modell horizontális cellarendszere.

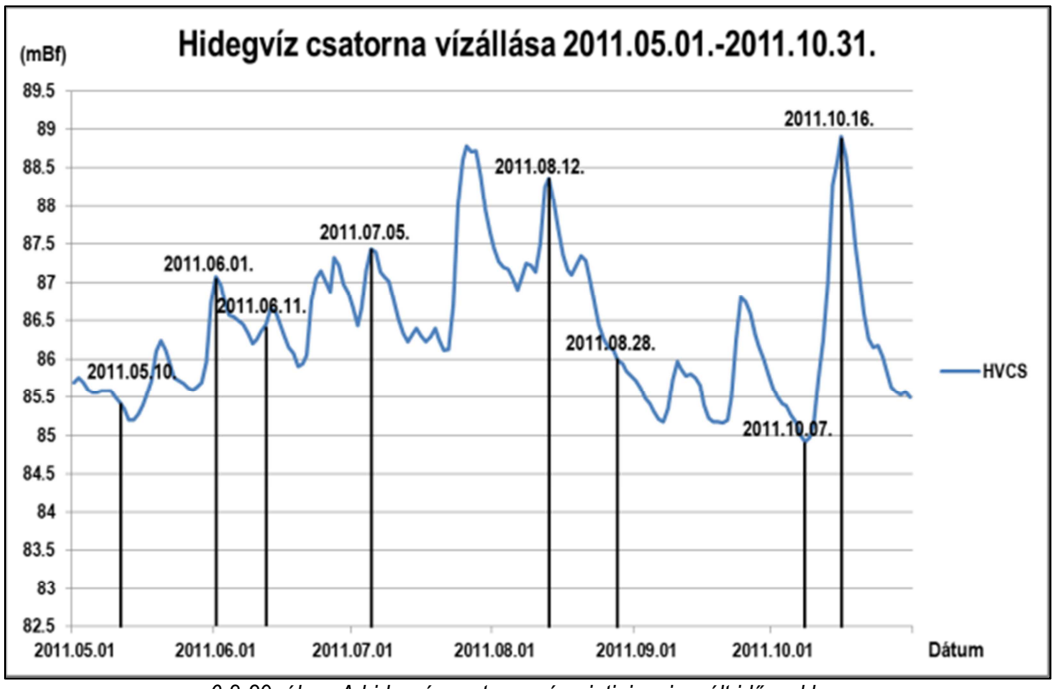


A legkisebb cellák oldalhosszúsága ≈7 m.

6.8-28. ábra: Kinagyított rész a modell horizontális cellarendszeréből.

6.8.2.1 A hidegvíz csatorna vízműnél mért szintjei

A hidegvíz csatorna különleges szerepet tölt be a talajvízáramlás szempontjából. Alacsony és átlagos Duna vízállásoknál nyelőként, magas és extrém magas vízállásoknál forrásként működik. A *6.8-29. ábra* összefoglalja a vízműnél mért vízszint adatokat.



6.8-29. ábra: A hidegvíz csatorna vízszintjei a vizsgált időszakban

A vízszintek 84.9 és 88.9 mBf között ingadoztak a vizsgált időszakban. Jellemzően augusztusban és októberben voltak olyan magas árhullámok, amelyek a HVCS, illetve a Duna felé történő áramlást blokkolhatták, vagy amely során az erőmű területe felé zajló visszaáramlás jöhetett létre. Ennek mértéke mérsékelt maradt, hiszen a Duna vízszintje nem érte el a 90mBf szintet. Külön bejelöltünk nyolc olyan dátumot, amelyek esetén jellegzetes maximum vagy minimum található a görbén. A későbbi fejezetekben a kiemelt dátumokra vonatkozó ábrákat és adatokat mutatjuk be.

6.8.2.2 A paksi meteorológiai állomás csapadékadatai havi bontásban

Az alábbi táblázatban a 2011 év második hidrológiai félévére vonatkozó havi csapadék adatokat tüntetjük fel. A párolgás figyelembevétele alapján a csapadék körülbelül nyolc-tíz százaléka szivárog le a talajba a legfelső rétegen keresztül. A csapadék hatása csak kisebb perturbációt jelent a modell eredményeire nézve. A Duna és a „constant head"-ek hatása lényegesen erőteljesebb, ezért a havi bontásban bevitt csapadék adatok és a leszivárgásra vonatkozó 8 – 10 %-os közelítés elegendően pontosnak mondható.

Vizsgált hónap	Csapadék (mm)
2011 május	61.7
2011 június	45.5
2011 július	116.1
2011 augusztus	8.5
2011 szeptember	29.3
2011 október	35.7

6.8-2. táblázat: A paksi meteorológiai állomáson mért csapadék adatok 2011. május 1-től 2011. október 31-ig havi bontásban

6.8.2.3 A talajvíz megfigyelő kutak vízszint és trícium adatai

Az aktuális vizsgálati időszakban mért talajvíz megfigyelő kutak vízszint és trícium aktivitáskoncentráció adatait tartalmazó táblázatokat elektronikusan mellékeljük, lsd. 2000_201210_tricium_vizszint_csap.xls könyvtár fájl.

Ezen adatok felhasználása és a hidrológiai modellbe való beépítése alapján következtettünk az aktuális hidrológiai félév folyamataira. Az erőmű szűkebb, főépület körüli környezetére kifejlesztett hidrológiai és trícium terjedési modell futtatása a telített zónára állandósult („steady state") és dinamikus állapotú („transient") számításokat foglalt magába.

6.8.3 A 3D SZIVÁRGÁSHIDRAULIKAI MODELL FUTTATÁSA MEGADOTT PEREMFELTÉTELEK MELLETT

6.8.3.1 A telített zóna jellemzése

A hidegvíz csatorna vízszintjei 84.9 és 88.9 mBf között ingadoztak a vizsgált időszakban. Jellemzően augusztusban és októberben voltak olyan magas árhullámok, amelyek a HVCS, illetve a Duna felé történő áramlást blokkolhatták, vagy amely során az erőmű területe felé zajló visszaáramlás jöhetett létre. Ennek mértéke mérsékelt maradt, hiszen a Duna vízszintje nem érte el a 90 mBf szintet.

A területet átfogóan jellemző sebességtérből látható, hogy:

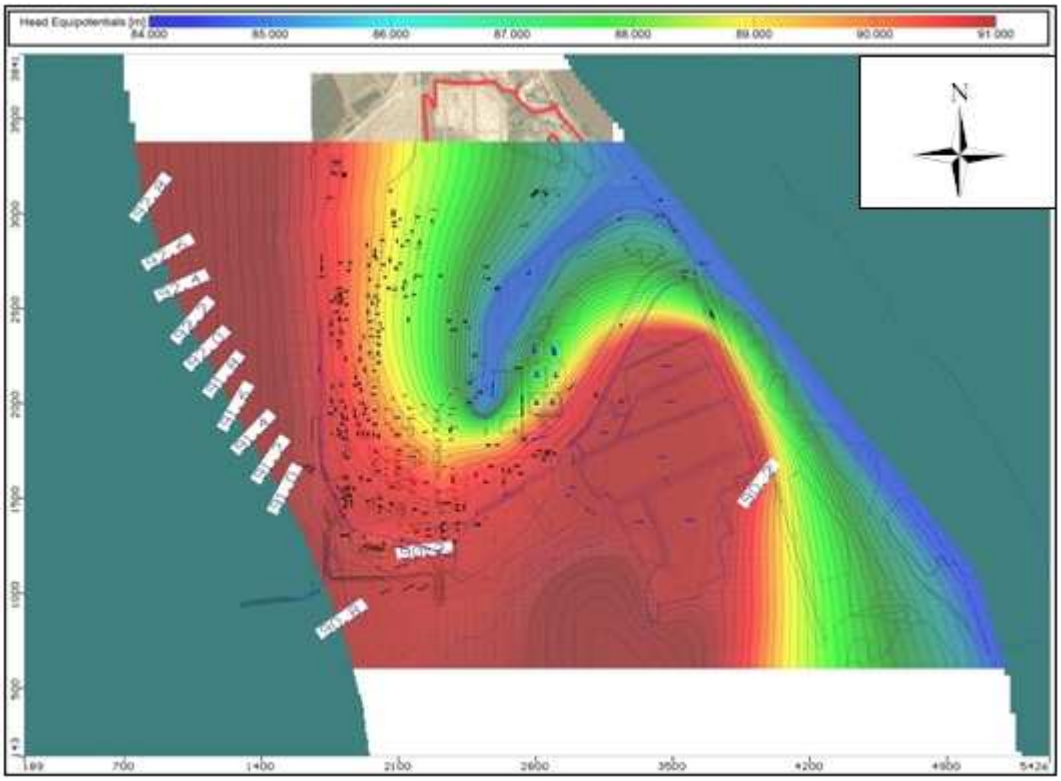
- A főépület északi oldala és a HVCS közelében többnyire lényegesen nagyobb sebességek alakulnak ki, mint a déli oldalon. A különbség akár 1 – 2 nagyságrend is lehet.
- A délkeleti oldalon két ellentétesen áramló tartomány találkozik. Emiatt az O5 kúttól északi irányban egy lassan mozgó tartomány alakul ki.
- A T kútsor esetén (az O kútsortól keletre) a Kondor-tó felőli áramlás alakult ki (D-i) a teljes vizsgált időszak alatt. Ez lényeges a lehetséges trícium források beazonosítása miatt. Feltehetően ebből az irányból (TM55 vezeték) is érkezhet a T kútsorhoz trícium terhelés.
- A vizsgált időszakban (2011.05.01.-2011.10.31.) 2011. október közepe körül alakult ki a Duna felől visszaáramlás. Augusztus közepén szintén igen magas Duna vízszint volt jellemző. Ekkor a HVCS oldalán megtorpant a Duna felé történő áramlás, de a sebességtér iránya még mindig, inkább a Duna és a HVCS felé mutatott a vizsgált területen.

A maximális sebességek összehasonlítása alapján látjuk, hogy a legkisebb sebesség a visszaáramlási időszakban alakult ki. Vmax = 8,5E-6 m/s, augusztus 12-én, a Duna magas vízállása esetén. A legnagyobb sebességek a legkisebb Duna vízállás esetén voltak tapasztalhatóak. Vmax = 2,7E-5 m/s október 7-én. A két fenti érték aránya ≈ 3/1. A fenti sebességek a Duna és a HVCS mentén jellemzőek, a főépület közvetlen környezetében a talajvíz áramlása lassabb. A fenti sebességek napi 0,73 – 2,33 méter megtételét jelentik a HVCS közelében. A HVCS mellett és a főépület mellett mért sebességek aránya akár több mint egy nagyságrend is lehet. A főépület környezetében számolt naponta megtett utak a hely és idő függvényében 0,05 – 0,25 méter között ingadoztak a vizsgált időszakban.

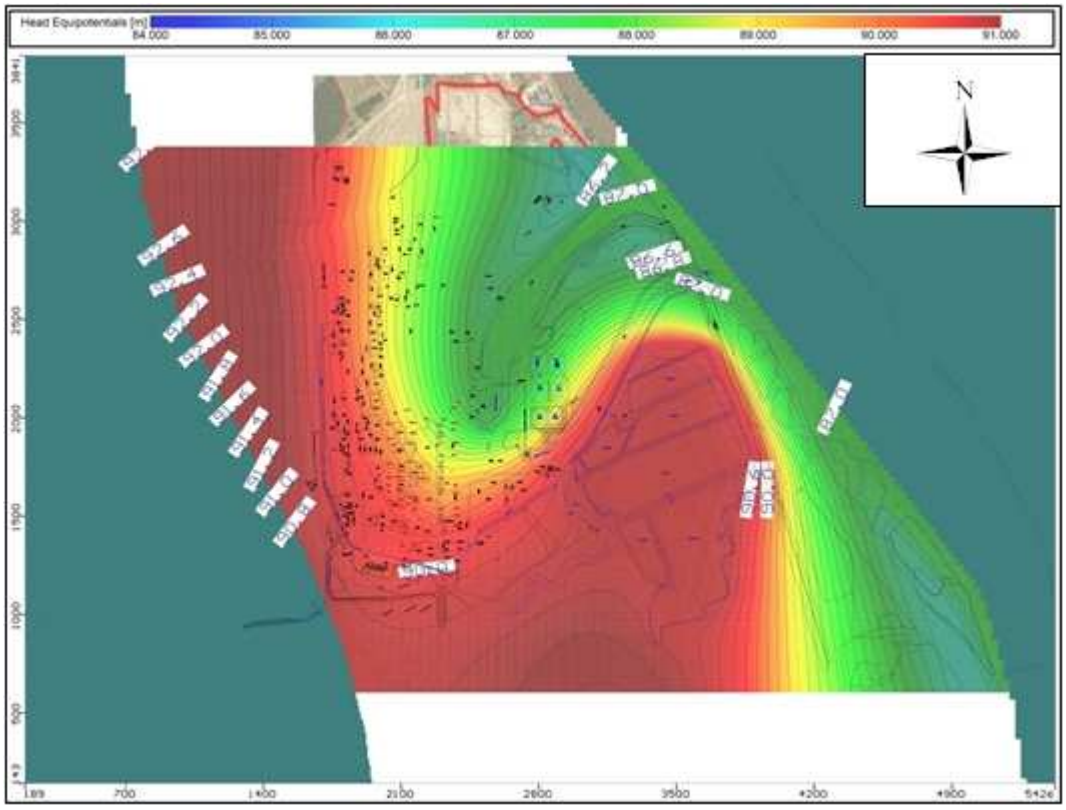
Az időben változó sebességtér speciális pályákra kényszeríti az adott rétegbe került részecskéket. A pályákat a potenciális forrásoktól indítottuk. Ezek a fő épülettömböt nyugatról határoló szennyvízcsatorna rendszer, a segédépületek, a blokkok és a TM55 vezeték. Emellett részecskéket helyeztünk el az új erőmű területén is ahhoz, hogy az építési és felvonulási terület pályáit is szemléltethessük. A vizsgált időszakban a Duna vízszintje 90 mBf alatt maradt. Ennek megfelelően a pályák nagymértékű visszakanyarodása nem volt tapasztalható. 82 – 88 mBf között a jellemző sebességek 0,05 – 0,25 m/nap között ingadoznak. 100 méter megtételéhez elvben 400 – 2000 nap szükséges a 2011 második hidrológiai félévében jellemző viszonyok között.

2011. második hidrológiai féléve

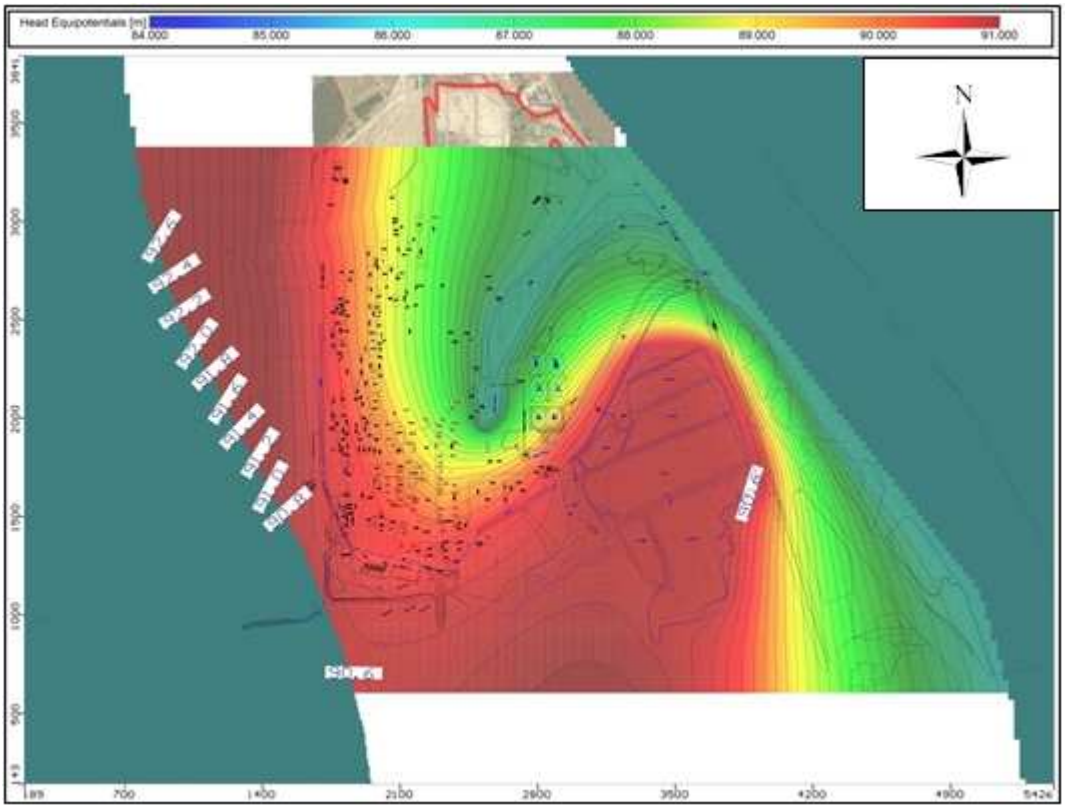
2011. második hidrológiai féléve során kialakuló vízszintek horizontális kontúrtérképeit az erőmű szűkebb környezetében a következő ábrasorozaton szemléltetjük. Megfigyelhető hogyan alakulnak az áramlási viszonyok (magasabb vízszinttől az alacsonyabbig) különböző Duna vízszintek esetén.



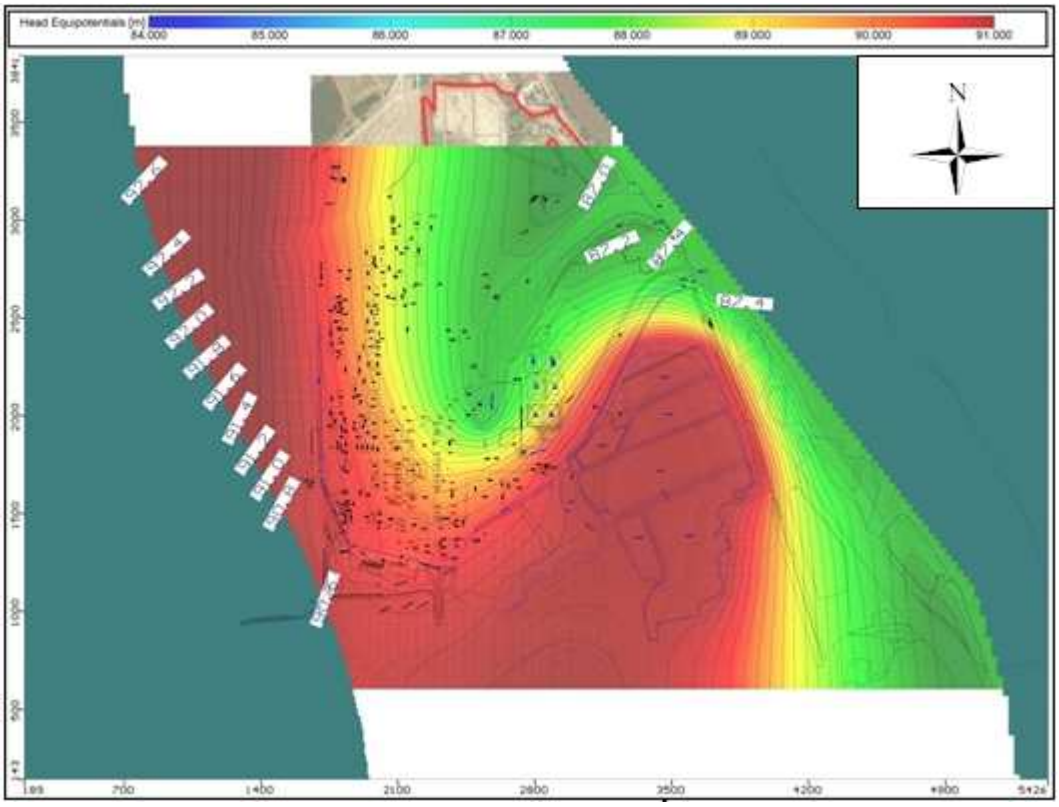
6.8-30. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe alacsony (85,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.05.10-én.



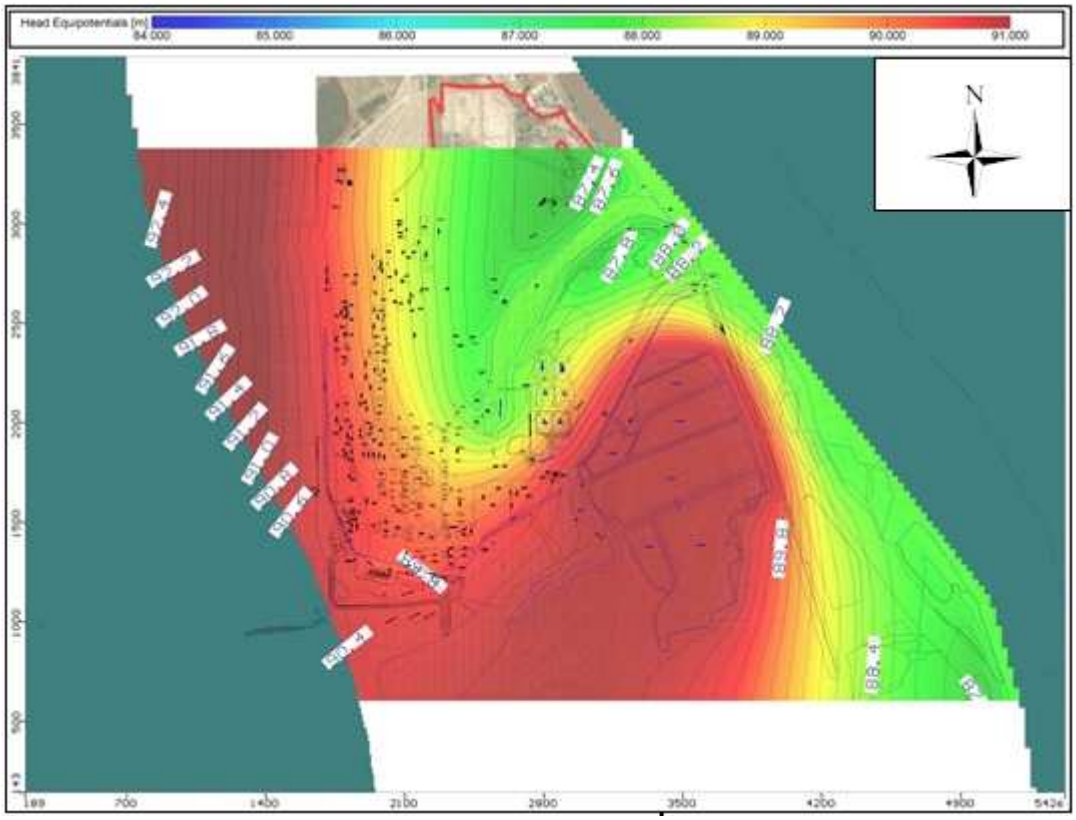
6.8-31. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.01-én.



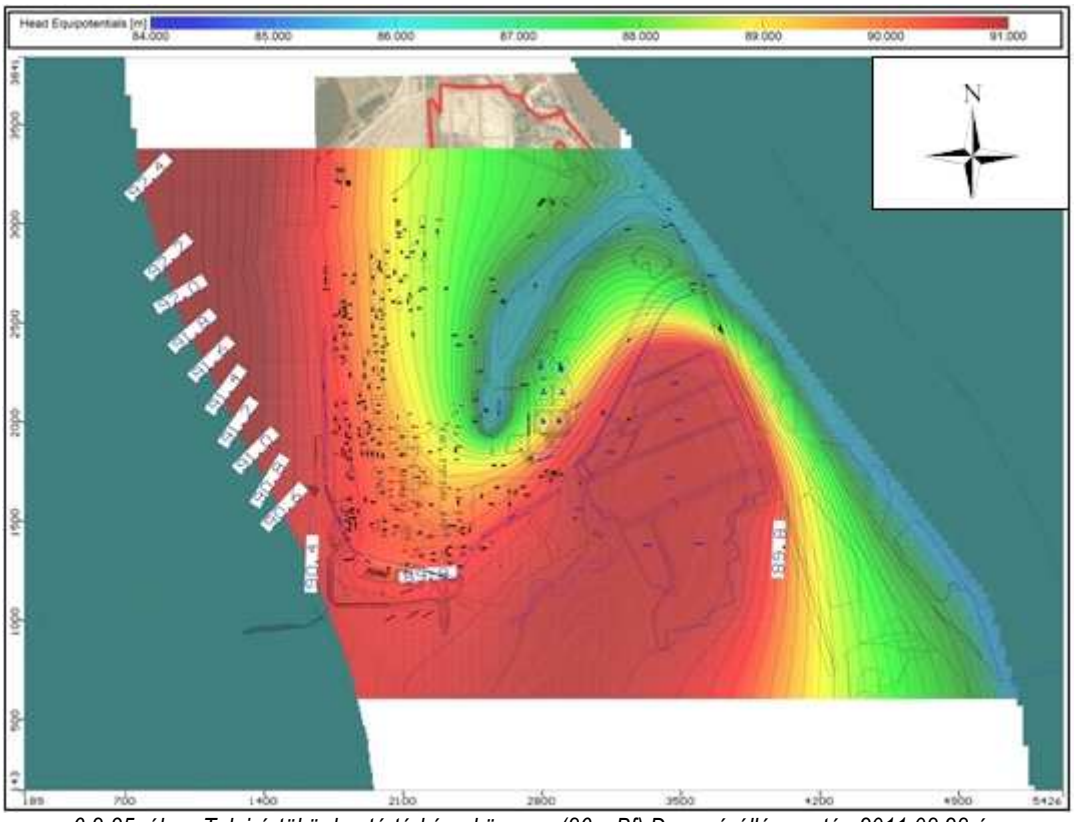
6.8-32. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11-én.



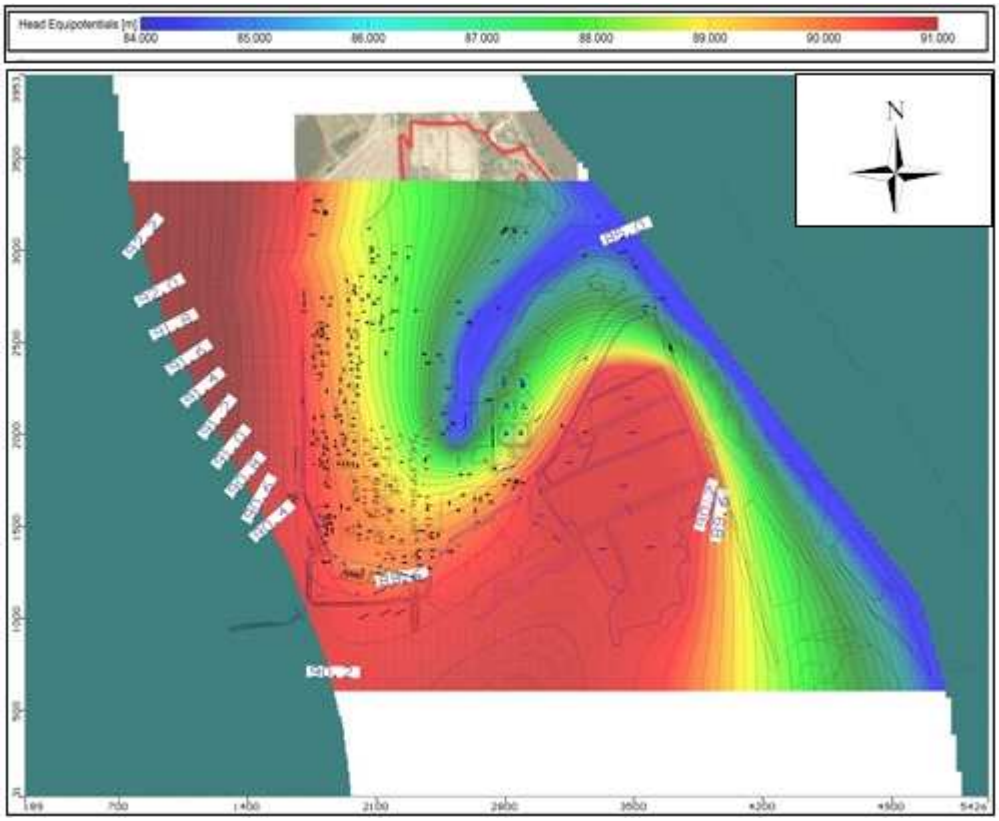
6.8-33. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (87,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.07.05-én.



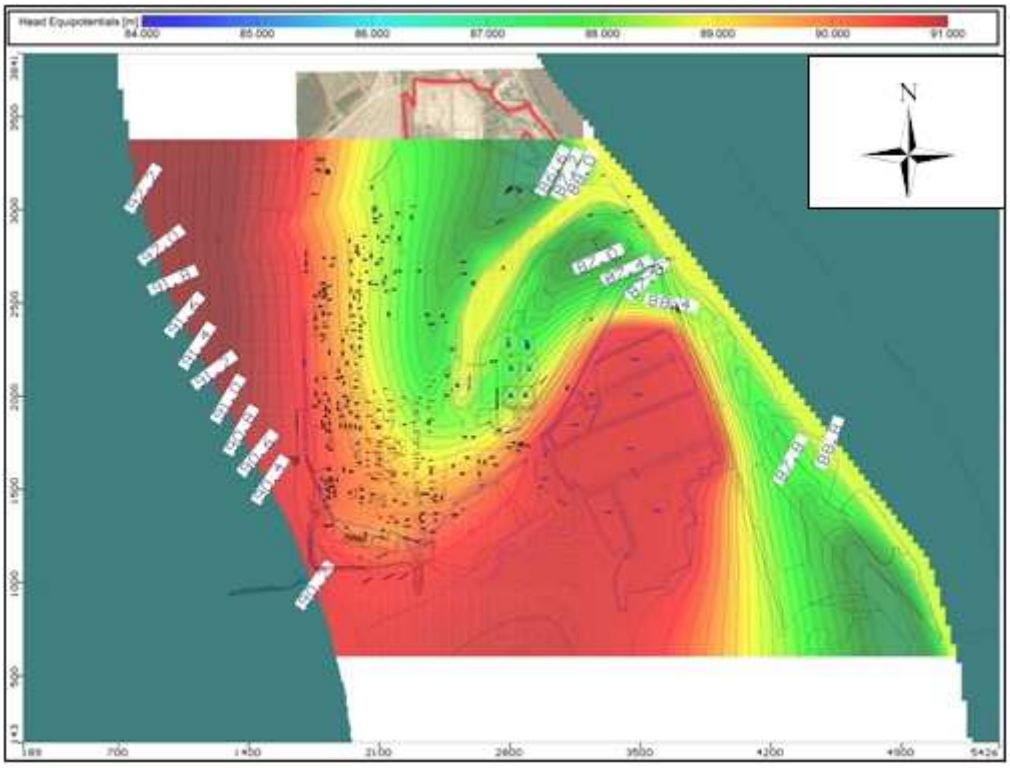
6.8-34. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe magas (88,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.12-én.



6.8-35. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.28-án.

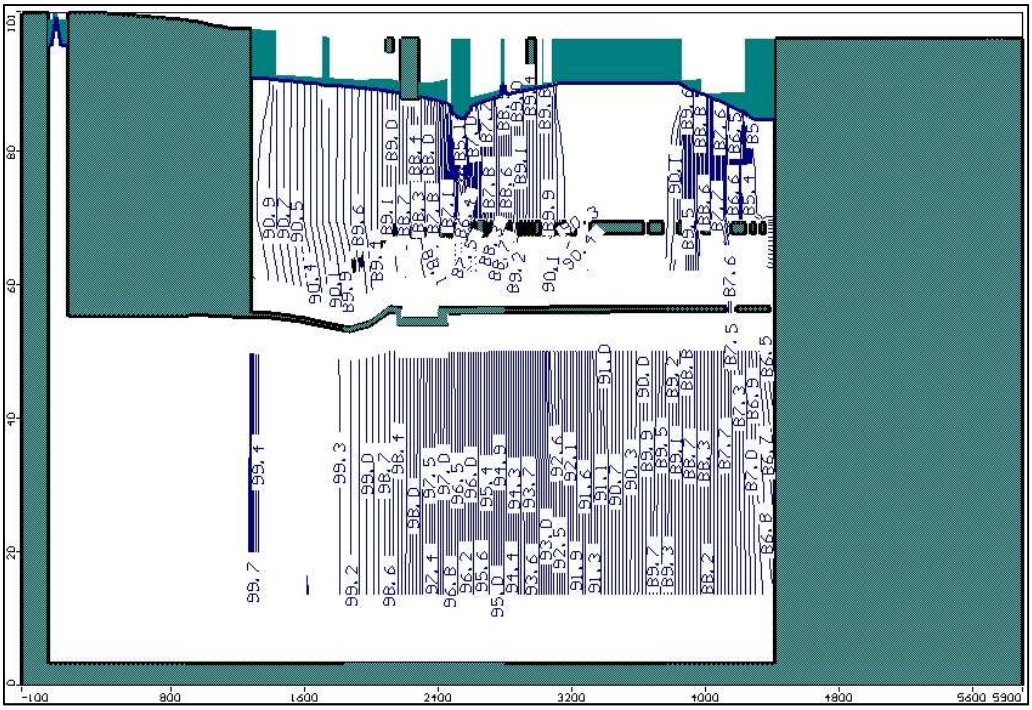


6.8-36. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07-én.



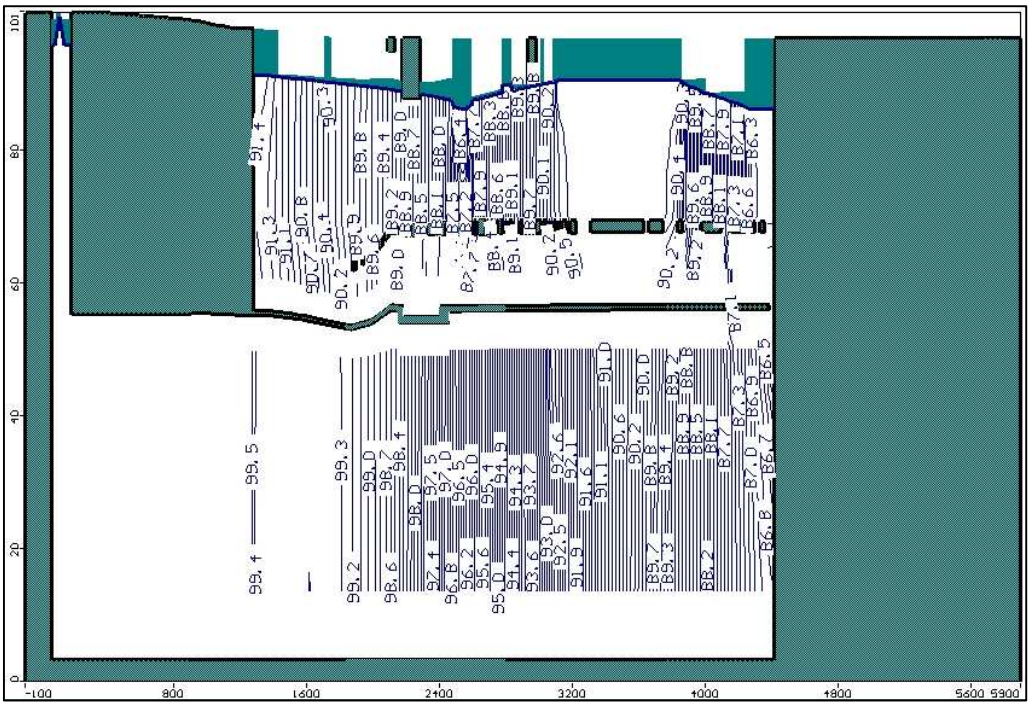
6.8-37. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16-án.

2011. második hidrológiai féléve során kialakuló vízszintek vertikális kirajzolódását az erőmű szűkebb környezetében a következő ábrasorozaton szemléltetjük. Az ábrák az 1. és 3. szelvény nyomvonala mentén értendőek.

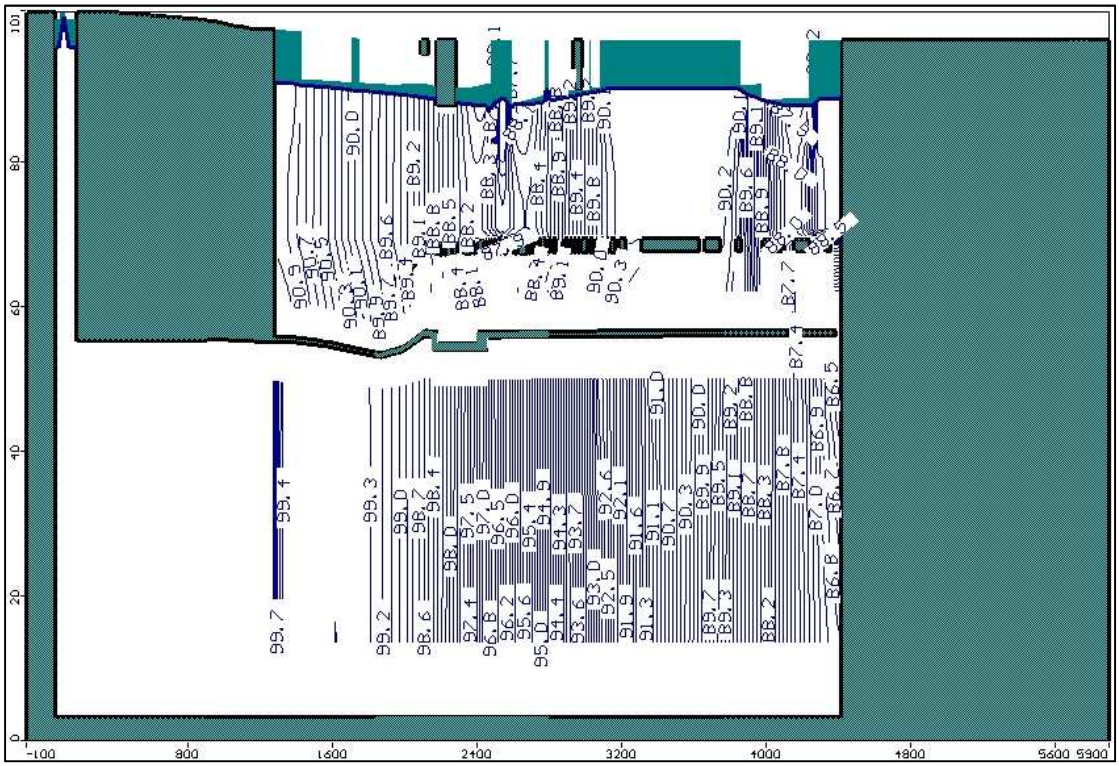


6.8-38. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt alacsony (84,9 mBf) *Duna vízállás esetén 2011.10.07.*

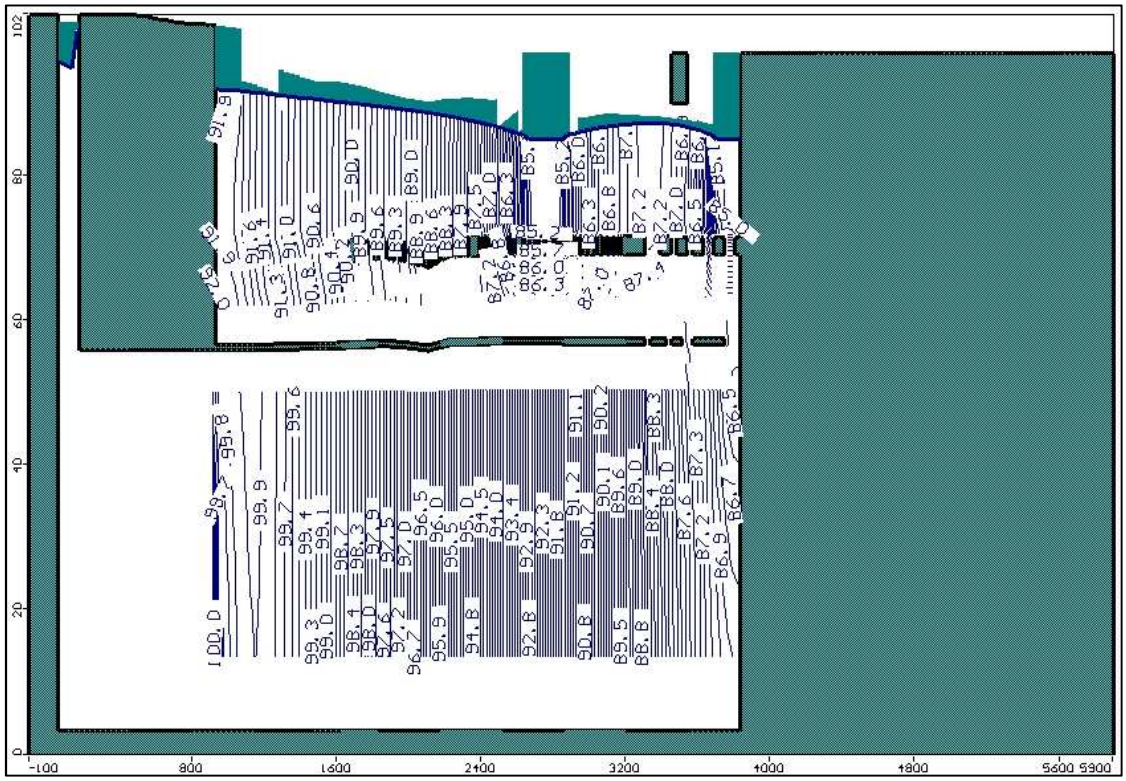
A felső közel vízszintes kék vonal jelöli a telített telítetlen zóna határát. Az alsó fehér tartomány a telített zóna. Zölddel az inaktív cellákat ábrázoltuk. A függőleges kék vonalak pedig az ekvipotenciális szintek.



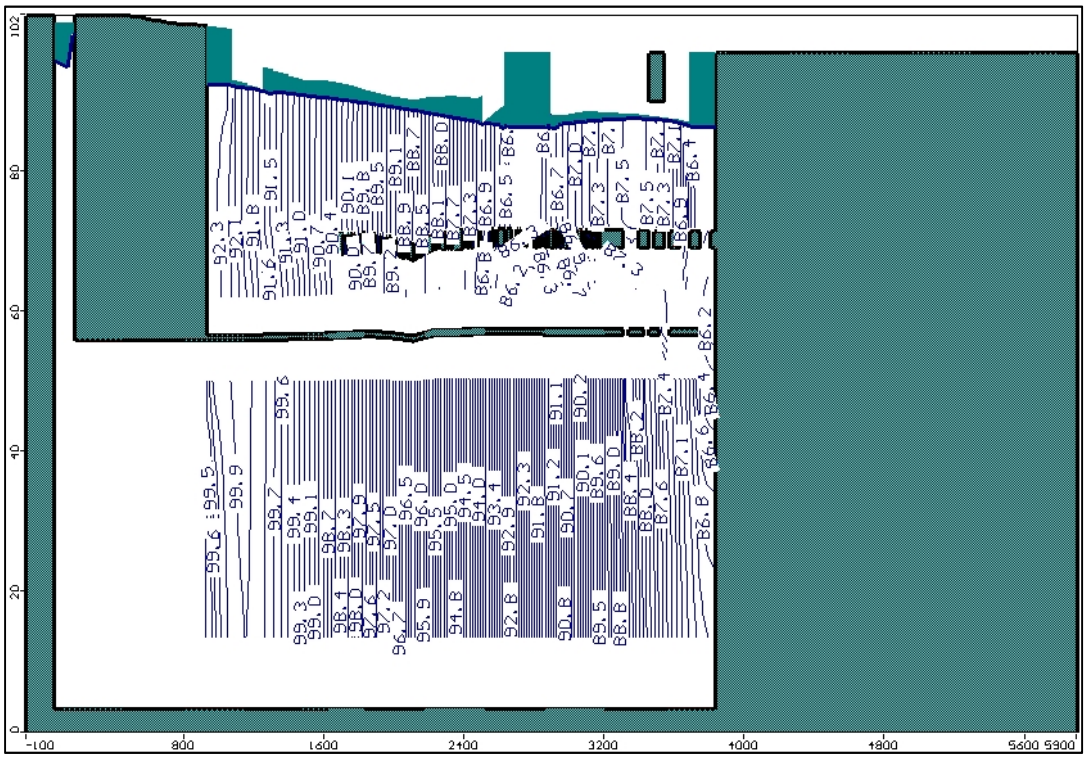
6.8-39. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11.



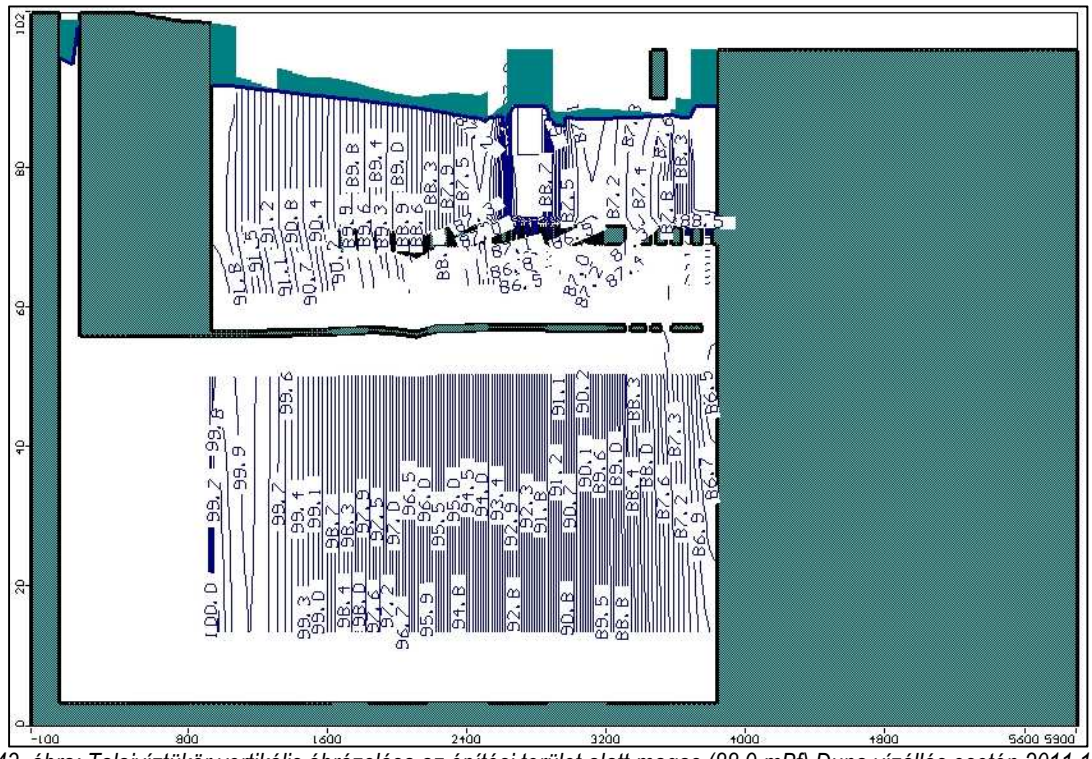
6.8-40. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az erőmű alatt magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16.



6.8-41. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt alacsony (84,9 mBf) *Duna vízállás esetén 2011.10.07.*



6.8-42. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11.



6.8-43. ábra: Talajvíztükör vertikális ábrázolása az építési terület alatt magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16.

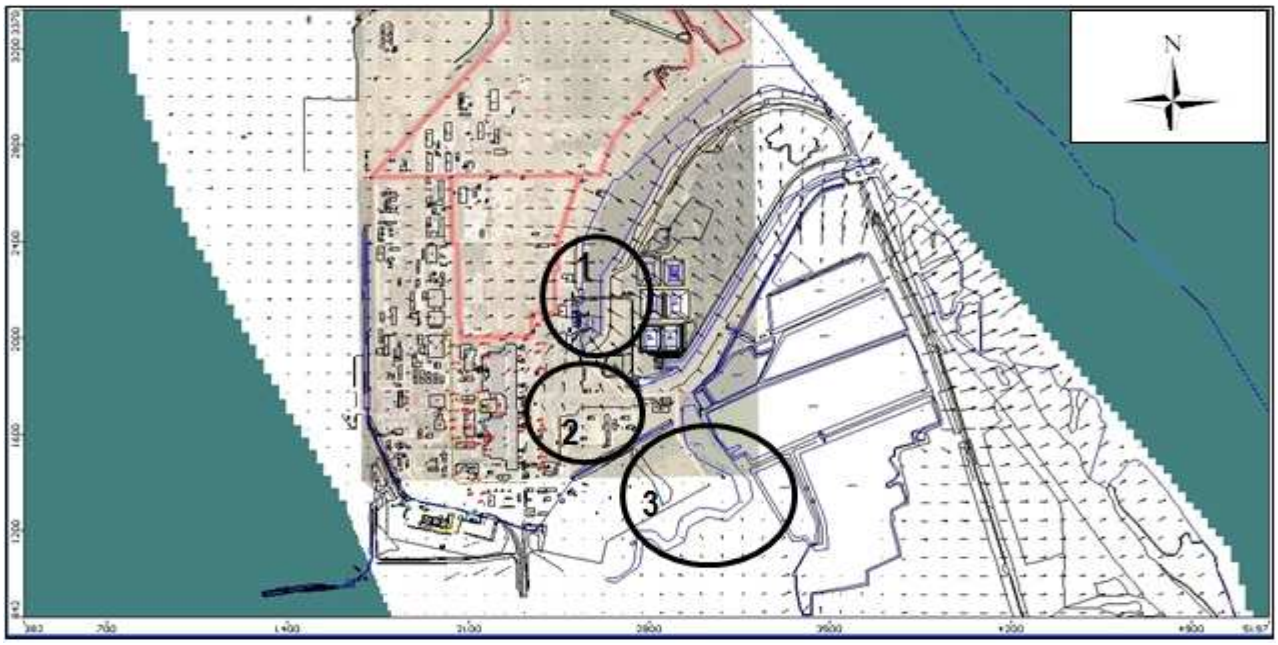
6.8.3.2 Az erőmű környezetében kialakuló sebességterek különböző Duna vízállások esetén

2011. második hidrológiai féléve során kialakuló sebességterek horizontális ábráit az erőmű szűkebb környezetében a következő ábrasorozaton szemléltetjük.
A területet átfogóan jellemző sebességtérből látható, hogy:

1. A főépület északi oldala és a HVCS közelében 1 – 2 nagyságrenddel nagyobb sebességek alakulnak ki, mint a déli oldalon.
2. A délkeleti oldalon, a két ellentétesen áramló tartomány találkozásánál egy lassú sebességű zóna alakul ki.
3. A T kútsor esetén (az O kútsortól keletre) a Kondor-tó felőli áramlás alakult ki (D-É) a teljes vizsgált időszak alatt.

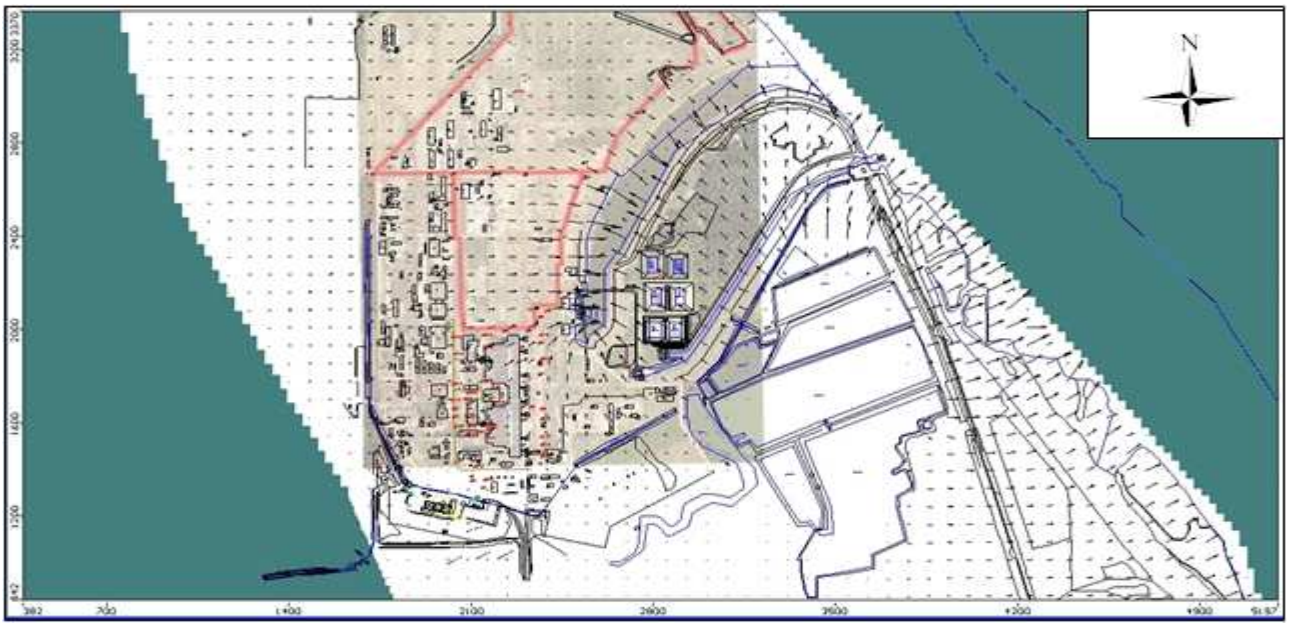
Alacsony Duna vízállás

A sebesség maximális értéke Vmax: 2,7E-5 m/s.

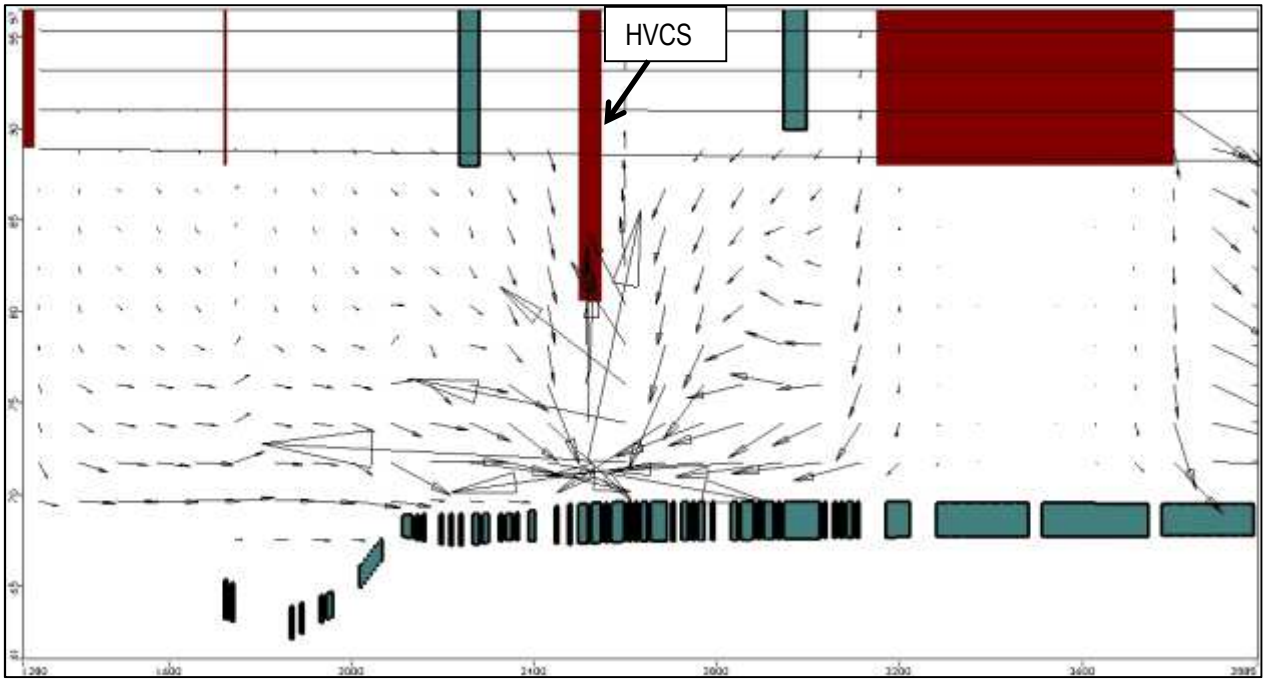


6.8-44. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér alacsony (85,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.05.10.

A sebesség maximális értéke Vmax: 2,7E-5 m/s.



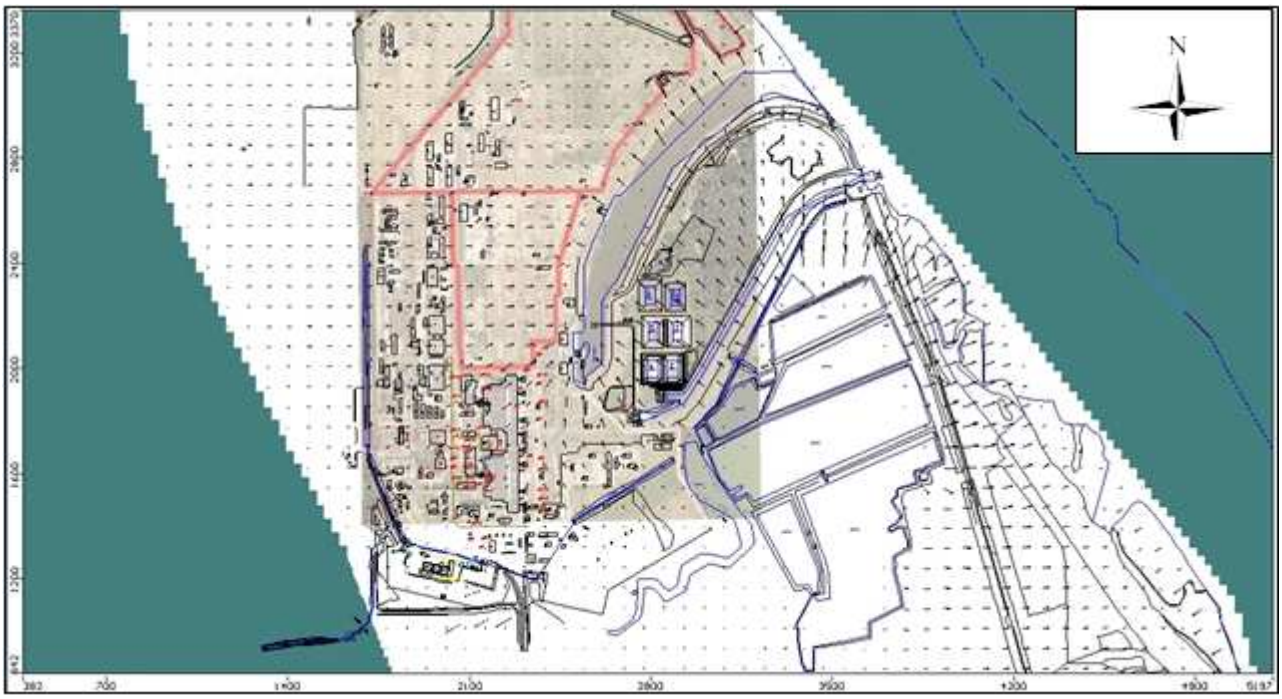
6.8-45. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér alacsony (84,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.07.



6.8-46. ábra: Alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.10.07.

Közepes Duna vízállás

A sebesség maximális értéke Vmax: 1E-5 m/s.



6.8-47. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.01.

A sebesség maximális értéke Vmax: 1,8E-5 m/s.

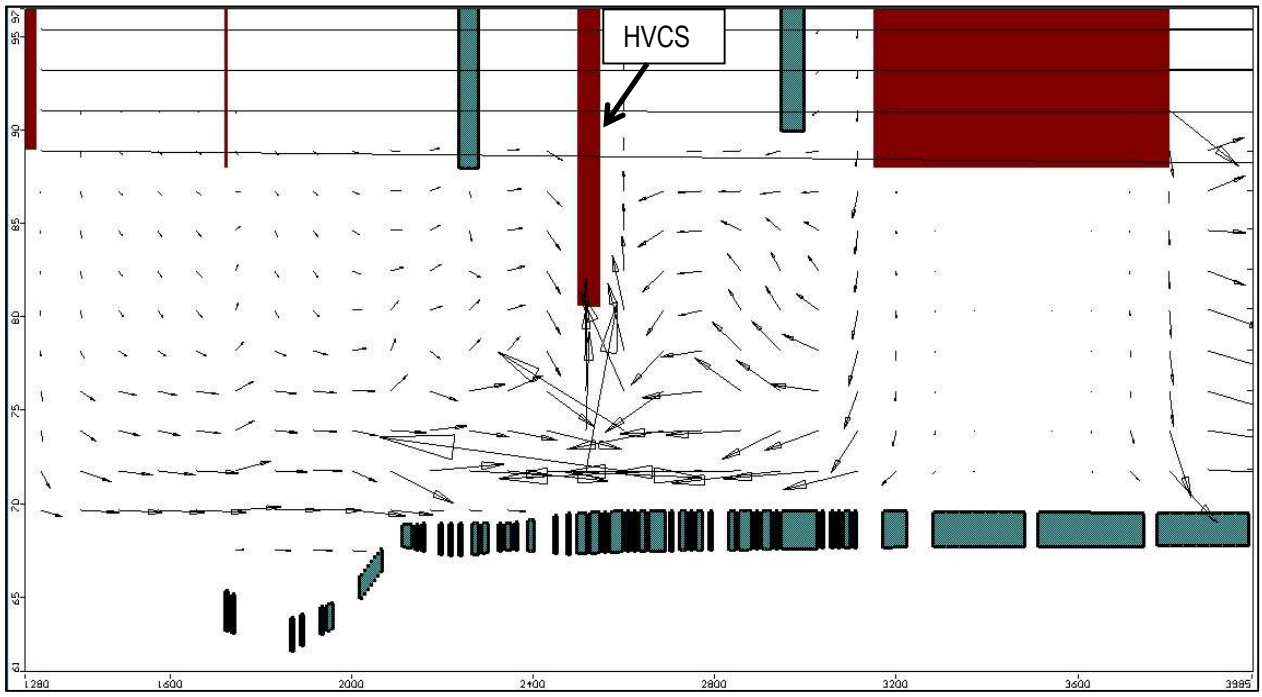
6.8-48. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (86,3 mBf) Duna vízállás esetén 2011.06.11.

A sebesség maximális értéke Vmax: 9,5E-6 m/s.

6.8-49. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (87,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.07.05.

A sebesség maximális értéke Vmax: 2E-5 m/s.

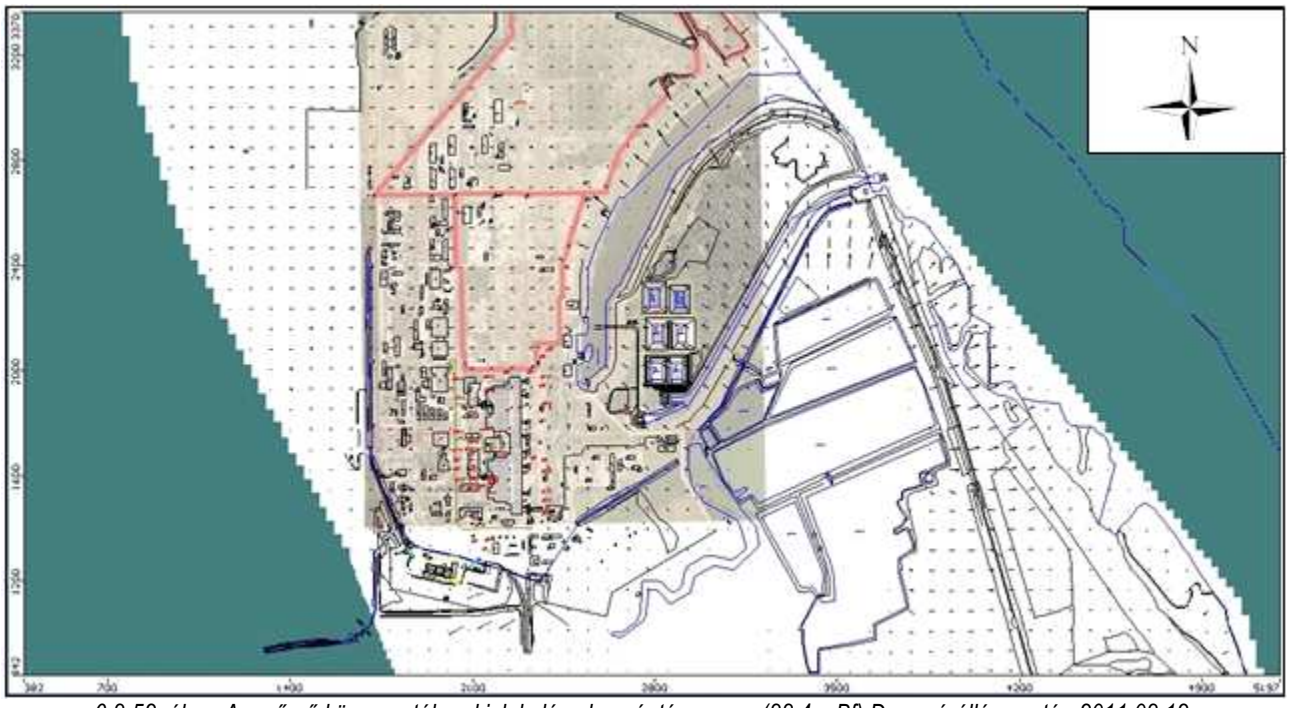
6.8-50. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.28.



6.8-51. ábra: Közepes Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.06.11.

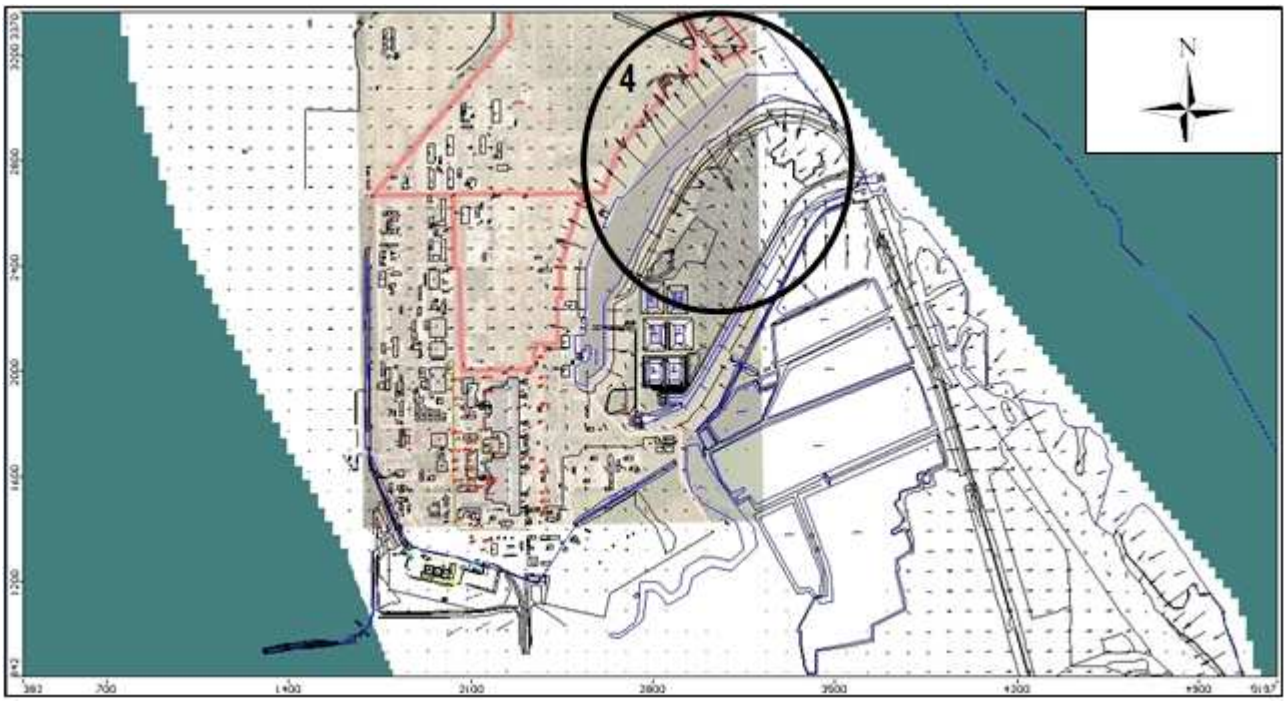
Magas Duna vízállás

A sebesség maximális értéke Vmax: 9,1E-6 m/s.

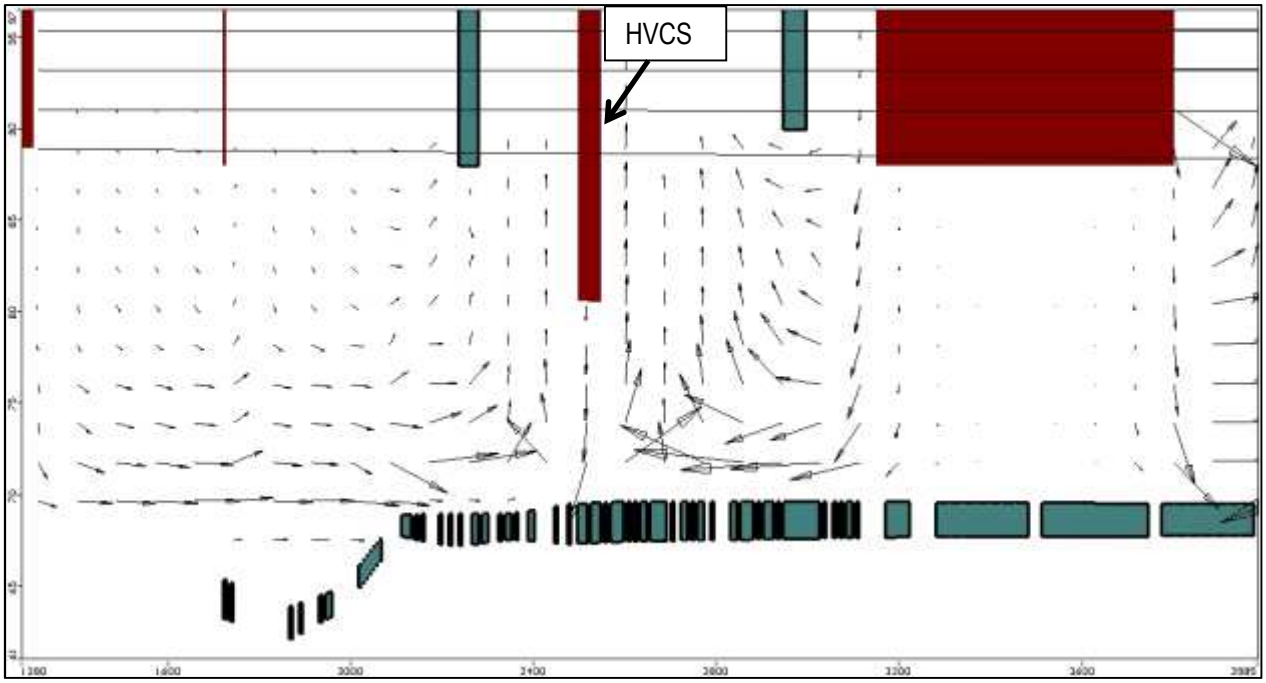


6.8-52. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér magas (88,4 mBf) Duna vízállás esetén 2011.08.12.

A sebesség maximális értéke Vmax: 8,5E-6 m/s.



6.8-53. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér magas (88,9 mBf) Duna vízállás esetén 2011.10.16.



6.8-54. ábra: Magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű és a HVCS alatt 2011.10.16.

A területet átfogóan jellemző sebességtérből látható, hogy:

4. A vizsgált időszakban 2011. október közepe körül alakult ki a Duna felől visszaáramlás. Ekkor a HVCS oldalán megtorpant a Duna felé történő áramlás, de a sebességtér iránya még mindig, inkább a Duna és a HVCS felé mutatott a vizsgált területen.

A hidegvíz csatorna felé történő áramlás figyelhető meg alacsony Duna vízállás esetén. Magas Duna vízszintnél pedig az ellenkezője, a hidegvíz csatornától való visszaáramlás észlelhető (függőleges hasábok magyarázata lásd *6.8-22. ábra* *6.8-23. ábra*, 2. szelvény nyomvonala).

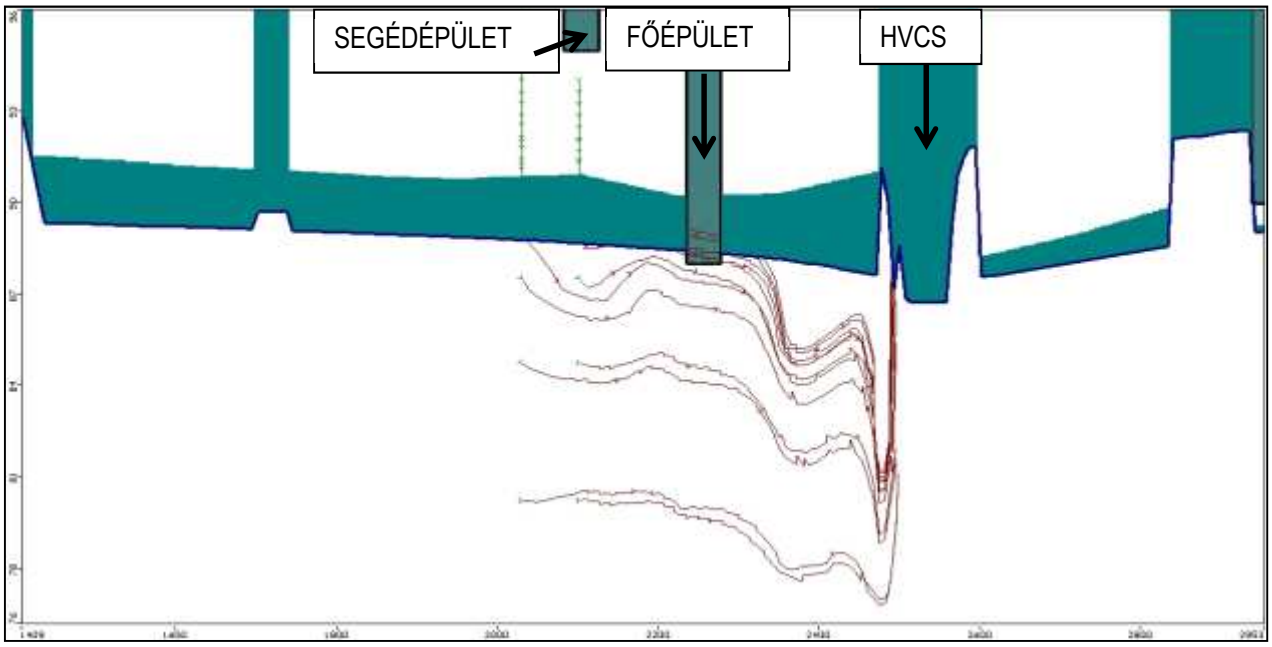
2011. második hidrológiai féléve során kialakuló pályák horizontális és vertikális ábráit az erőmű szűkebb környezetében a következő ábrasorozaton szemléltetjük. *6.8-55. ábra*- *6.8-57. ábra* a vizsgált időszakra vonatkozó és területre elhelyezett vízrészecskék teljes mozgási pályáit ábrázolják. (Azaz ha berakunk egy víz részecskét a modellezett időszak elején a vektorok kezdőpontjába, azok a modellezett időpont végére a vektorok végpontjáig jutnak).

A *6.8-55. ábra* horizontálisan mutatja be a főépület, valamint az új erőmű területe alatt kialakuló pályákat 88 mBf és 82 mBf között. A *6.8-58. ábra* a pályák vertikális viszonyait mutatja be. A monitoring kutak adataiért elsősorban, feltételezhetően az ebben a rétegben áramló terhelés a felelős. 88 mBf felett kisebb sebességek, rövidebb pályák, 82 mBf alatt, a durvább kavicsos réteg felső tartományában a nagyobb szivárgási tényezőnek köszönhetően hosszabb pályák és kisebb elérési idők alakulnak ki. A változás a vizsgált időszakban egy kettes faktornak felel meg. Azaz a 88 mBf feletti tartomány és 82 mBf alatti tartomány között fennálló sebességváltozás egy kettes faktornak felel meg.

6.8-55. ábra: A teljes területen kialakuló pályák.

6.8-56. ábra: A főépület alatt kialakuló pályák.

6.8-57. ábra: Az új erőmű építési területe alatt kialakuló pályák.



6.8-58. ábra: Jellemző vízrészecske pályák a telített és telítetlen zónában.

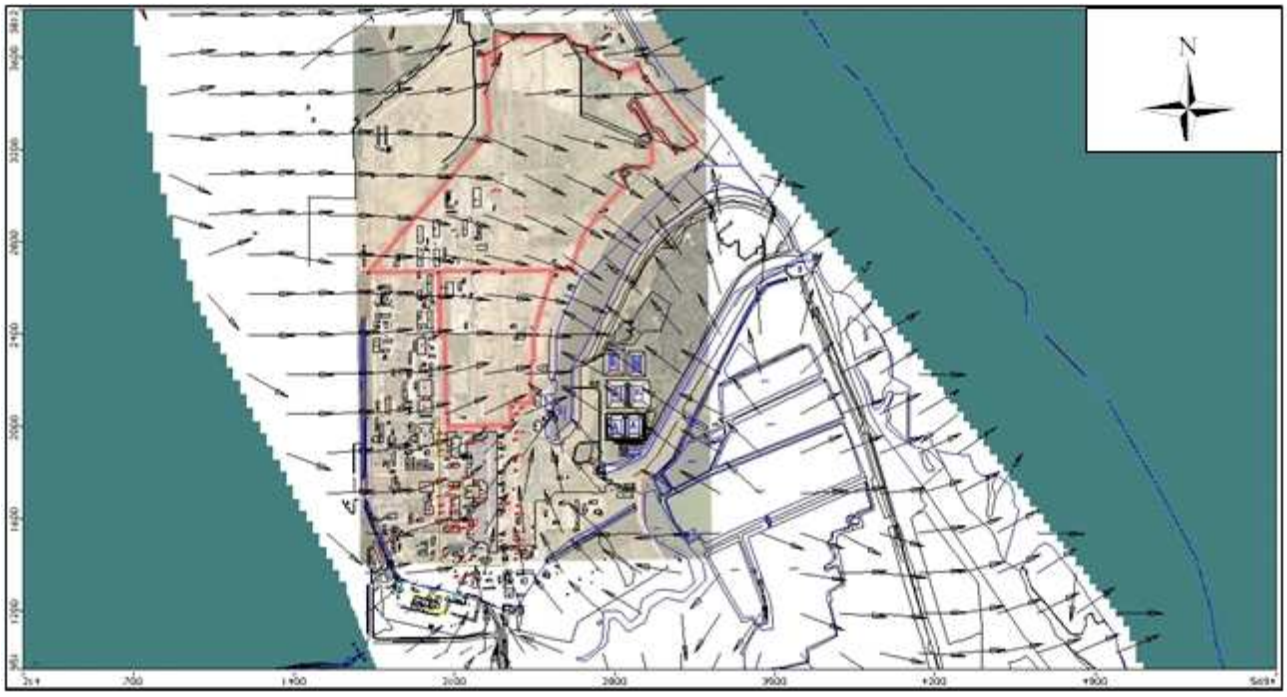
Az alsó fehér színű tartomány és a pirossal jelölt pályák a telített zóna viszonyait, a zöld pályák a telítetlen zóna viszonyait jellemzik. A kettő közötti kék elválasztó vonal a telített telítetlen zóna határa. A pályákon jelölt markerek 1000 nap alatti elmozdulásokat jelölnek. Jól látható, hogy a telítetlen zónára a telített zónához képest nagyságrendekkel kisebb sebességek jellemzők.

6.8.3.3 A telített zónában, időben állandósult állapotú („steady state") számolások alapján kialakuló sebességterek és pályák extrém Duna vízállások esetén

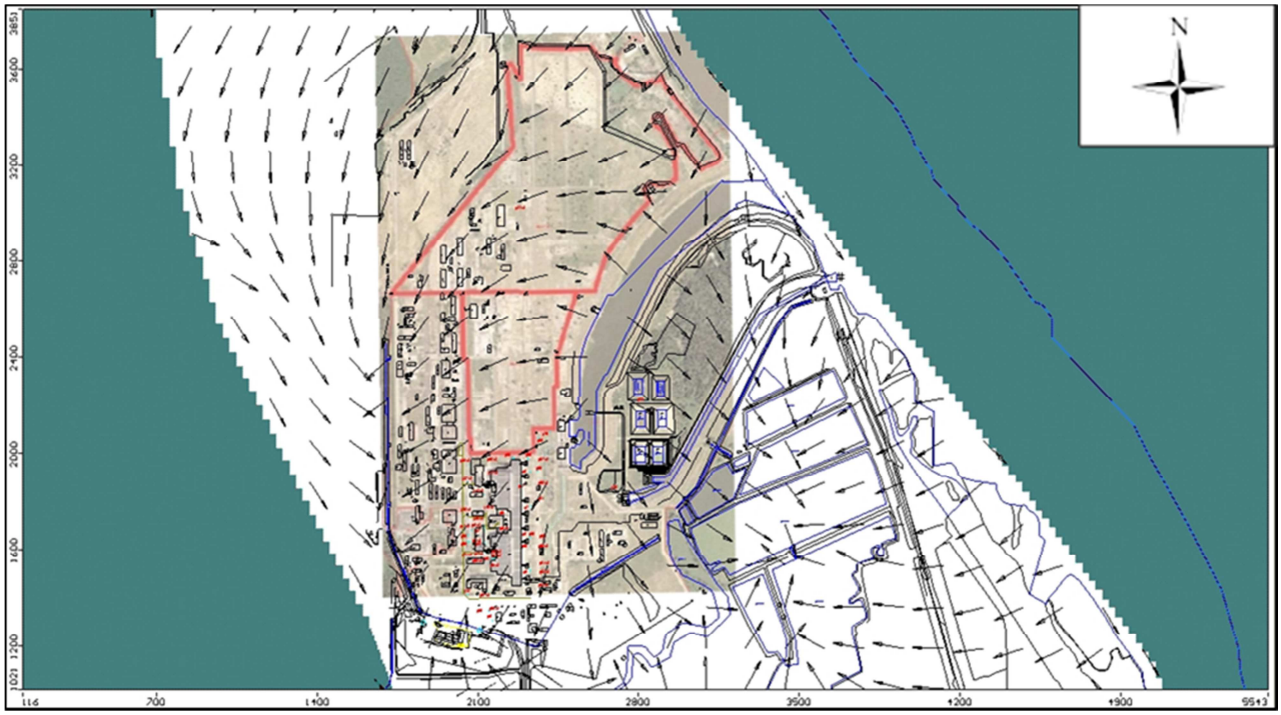
A talajvíz és a felszíni vizek egymásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a telephelyre és annak közvetlen környezetére vonatkozóan extrém Duna vízállások esetén fennálló viszonyokat alkalmazó hidrológiai modellt építettünk fel. A kiugró értékeket a paksi vízmérce és a hidegvíz csatornánál található Vízmű tizenegy éves adatsorából választottuk ki. A legalacsonyabb vízszint 2011.12.03.-án jelentkezett. A paksi vízmércénél 84,81 mBf szintet mértek, míg a HVCS-nál 84,3 mBf vízszintet észleltek. A legmagasabb érték 2006.04.06.-án jelentkezett. A paksi vízmércénél 93,99 mBf szintet mértek, míg a HVCS-nál 93,67 mBf vízszintet észleltek.

Extrém alacsony Duna vízállás esetén a folyamatok követik az alacsony vízállás során már korábban definiált folyamatokat, azaz a halastavaktól a Duna felé keleti áramlás, a HVCS felé pedig észak-nyugati áramlás figyelhető meg. A jelenlegi erőmű területéről észak-keleti áramlás figyelhető meg, míg a nyugati löszplató felől keleti irányban áramlik a HVCS felé a talajvíz. Ez azt jelenti, hogy alacsony Duna és HVCS vízállások esetén a halastavak forrásként, míg a Duna és a hidegvíz-csatorna nyelőként viselkedik.

Extrém magas Duna vízállás esetén a folyamatok ugyan követik a magas vízállás során már korábban definiált folyamatokat, de a visszaáramlás sokkal erőteljesebb. A Duna telephely melletti déli részén nyugati irányú visszaáramlás figyelhető meg a halastavak felé. A HVCS keleti oldalán délkeleti visszaáramlás figyelhető meg szintén a halastavak irányába. A HVCS-től délre az övcsatornánál találkoznak a nyugatra és keletre (nyugati löszplató felől) tartó áramlások, így az övcsatorna nyelő tagként viselkedik. A HVCS nyugati oldalán észak-nyugati áramlás figyelhető meg, mely a nyugati löszplató felől érkező dél-keleti áramlással találkozva lecsillapodik. Ebben az esetben a Duna és a HVCS képezi a forrás tagokat, míg a halastavak pedig a nyelő tagokat.

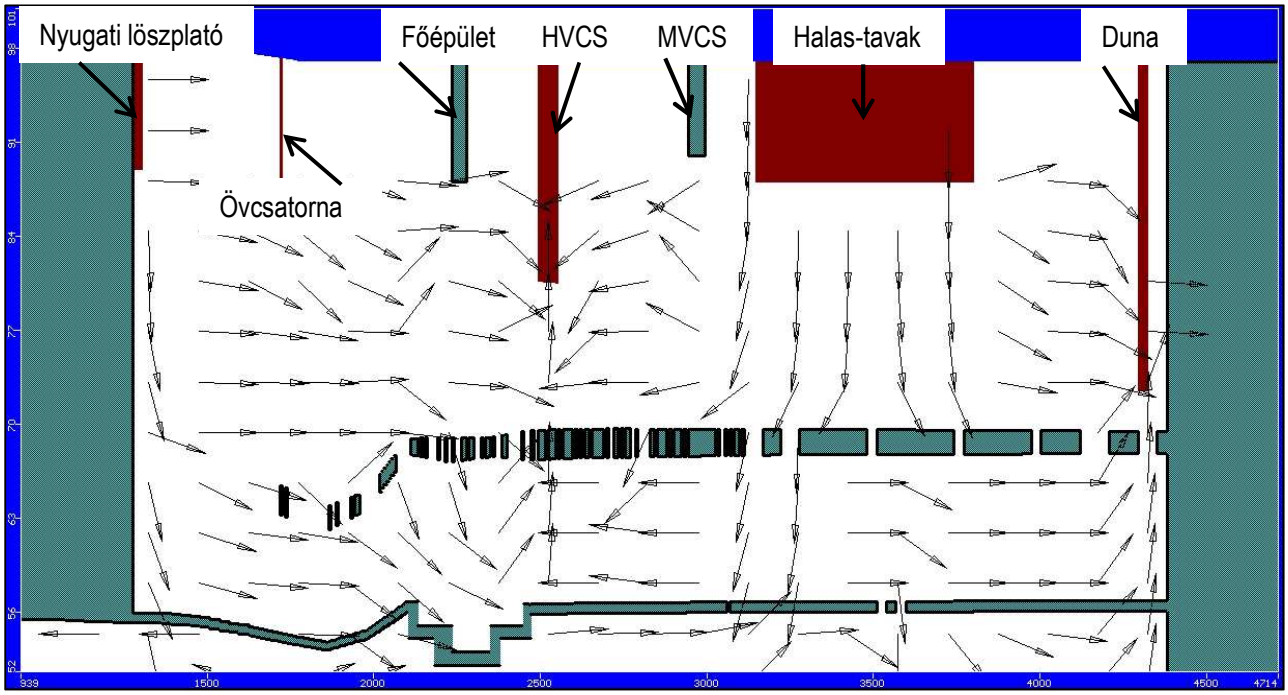


6.8-59. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03.

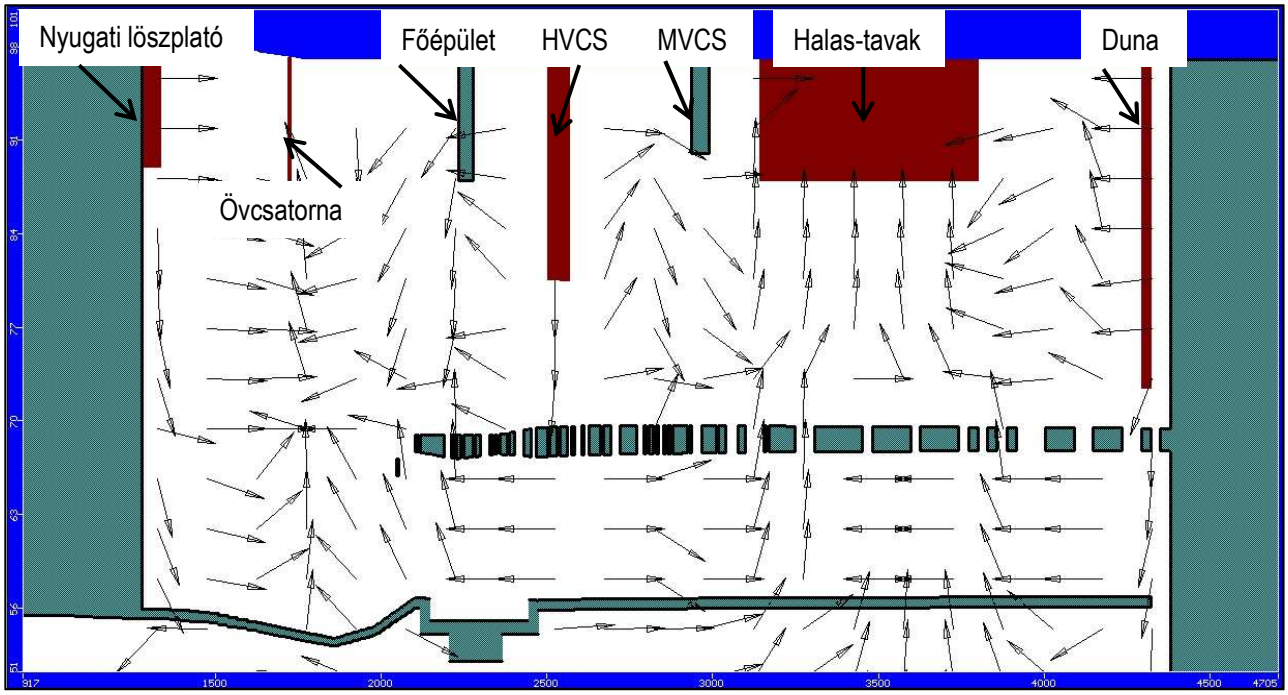


6.8-60. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06.

Az ábrák a 2. szelvény nyomvonala mentén értendőek.

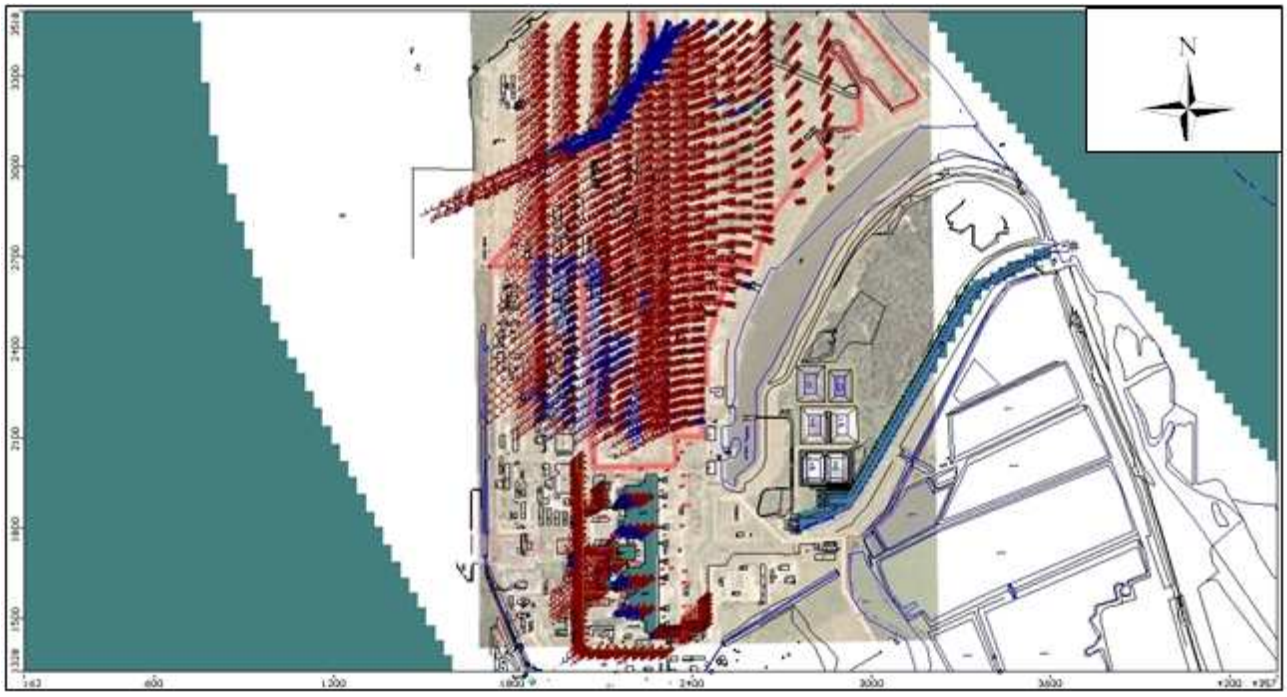


6.8-61. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03.



6.8-62. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06.

Extrém magas Duna vízállás esetén a jelenlegi telephely és a leendő telephely területén is a vízrészecske pályák nagyfokú visszakanyarodását figyelhetjük meg, az erőteljes visszaáramlásnak köszönhetően.



6.8-63. ábra: A teljes területen kialakuló pályák extrém magas Duna vízállás esetén.

6.8.3.4 A telítetlen zónában feltételezett részecskemozgások aktualizálása.

A telítetlen zóna modellezésére a program egy külön modulját alkalmaztuk, mely a Surfact nevet viseli. Ez a modul csak a felső, sűrűbben felosztott rétegekkel számol, így egy egyszerűsített modellteret hoztunk létre annak érdekében, hogy a számolások idejét lerövidítsük.

A telítetlen zónában, állandósult állapotú számolások alapján extrém Duna vízállások esetén kialakuló sebességterek jellemzésére a következő négy esetet különítettük el:

- Extrém alacsony Duna vízállás, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém alacsony Duna vízállás, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém magas Duna vízállás, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém magas Duna vízállás, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását.

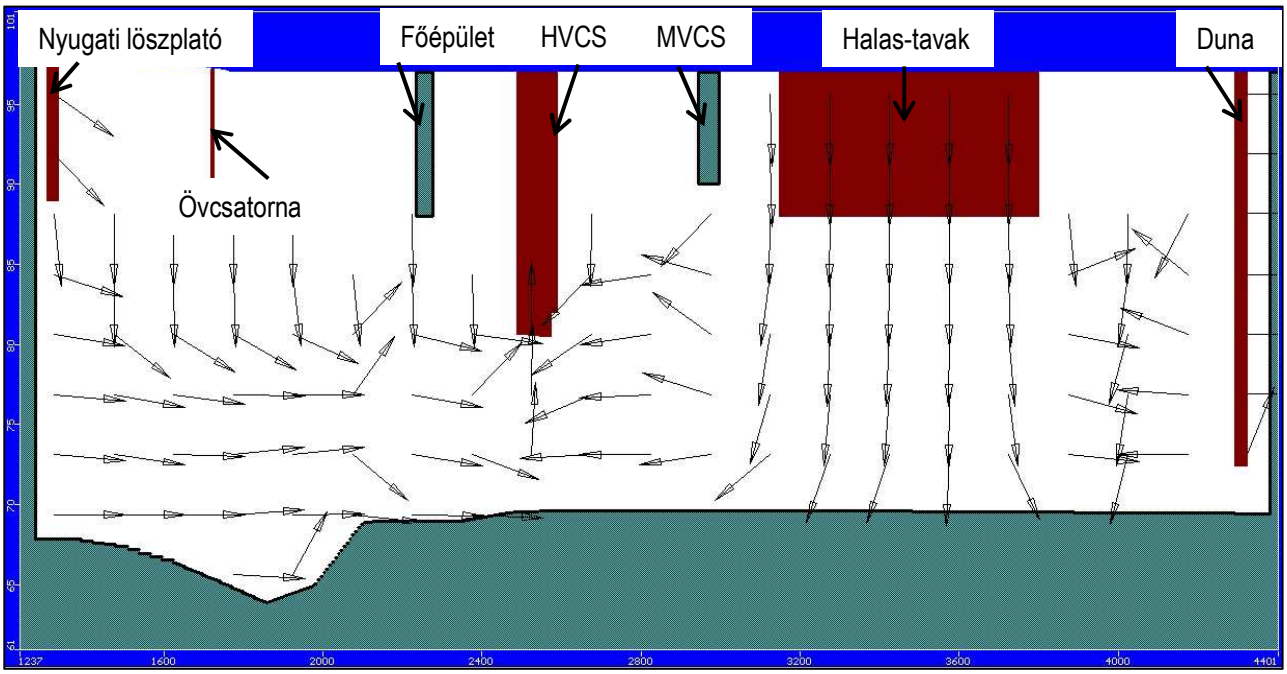
A négy eset elkülönítése azért volt célszerű, hogy bemutathassuk, az egyes természetes (halastavak, Duna, lösz plató), mesterséges (övcsatorna, HVCS) peremfeltételek és a talajvíz egymásra gyakorolt hatását. Az alábbiakban definiáljuk az egyes esetek során jellemző folyamatokat.

Extrém alacsony Duna vízállás

A halastavak és az övcsatorna hatásának köszönhetően a Duna és a HVCS nyelőként, míg a halastavak forrásként funkcionálnak.

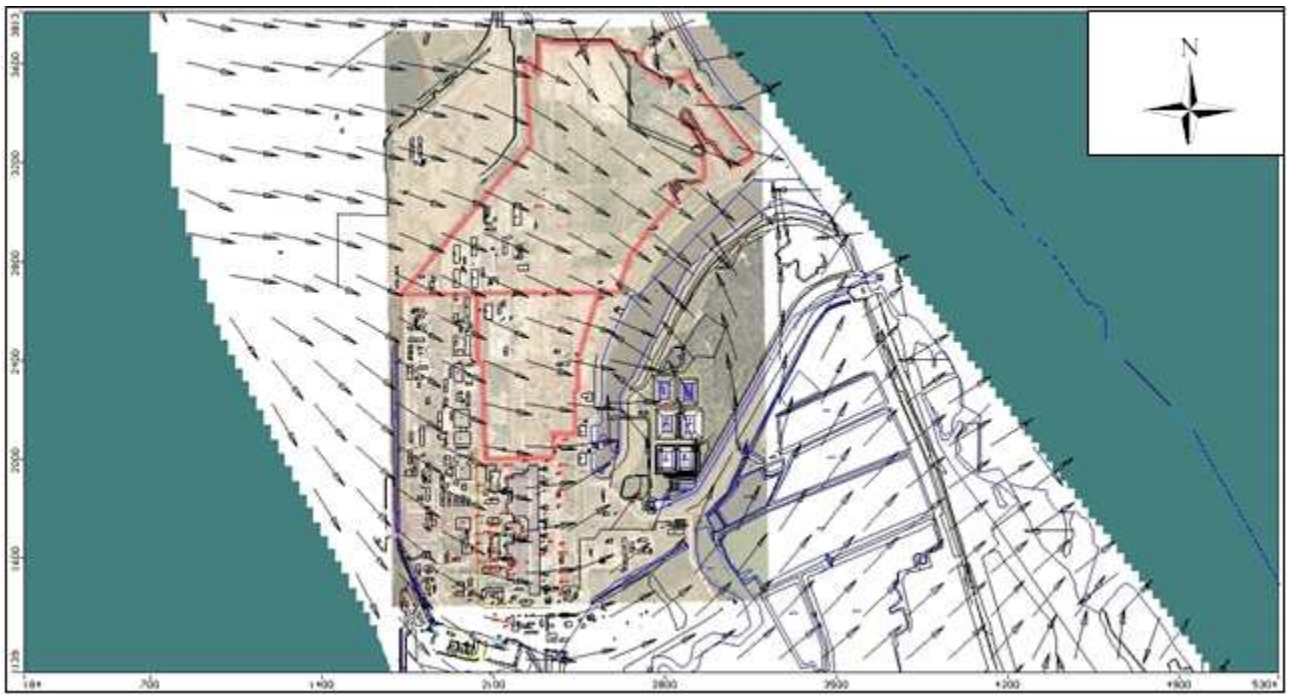
6.8-64. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03.

A *6.8-65. ábra, 6.8-67. ábra*, *6.8-69. ábra* és a *6.8-71. ábra* a 2. szelvény nyomvonala mentén értendőek.

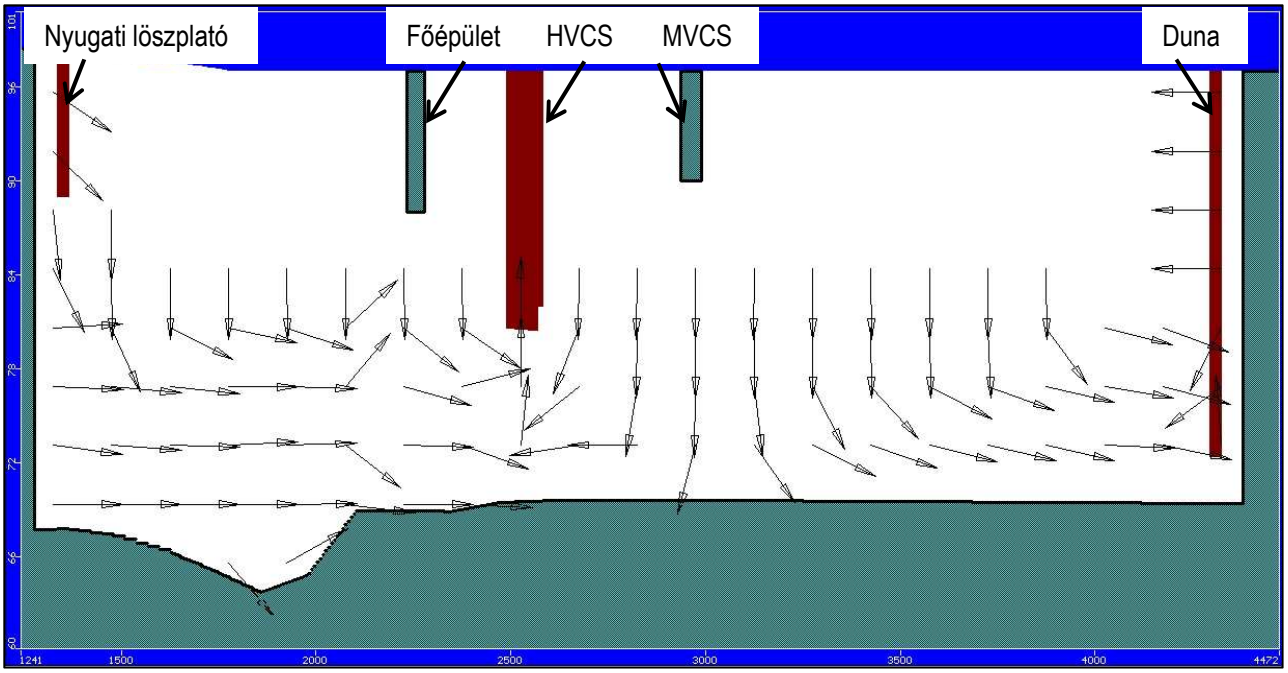


6.8-65. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03.

A halastavak és az övcsatorna hatását kiiktatva erőteljesebb áramlás alakul ki a Duna és a HVCS irányába. A modellterület nagy részéről inkább a HVCS felé történik az áramlás, míg a Duna csak a terület déli egynegyed részéről érkező talajvizet nyeli el.



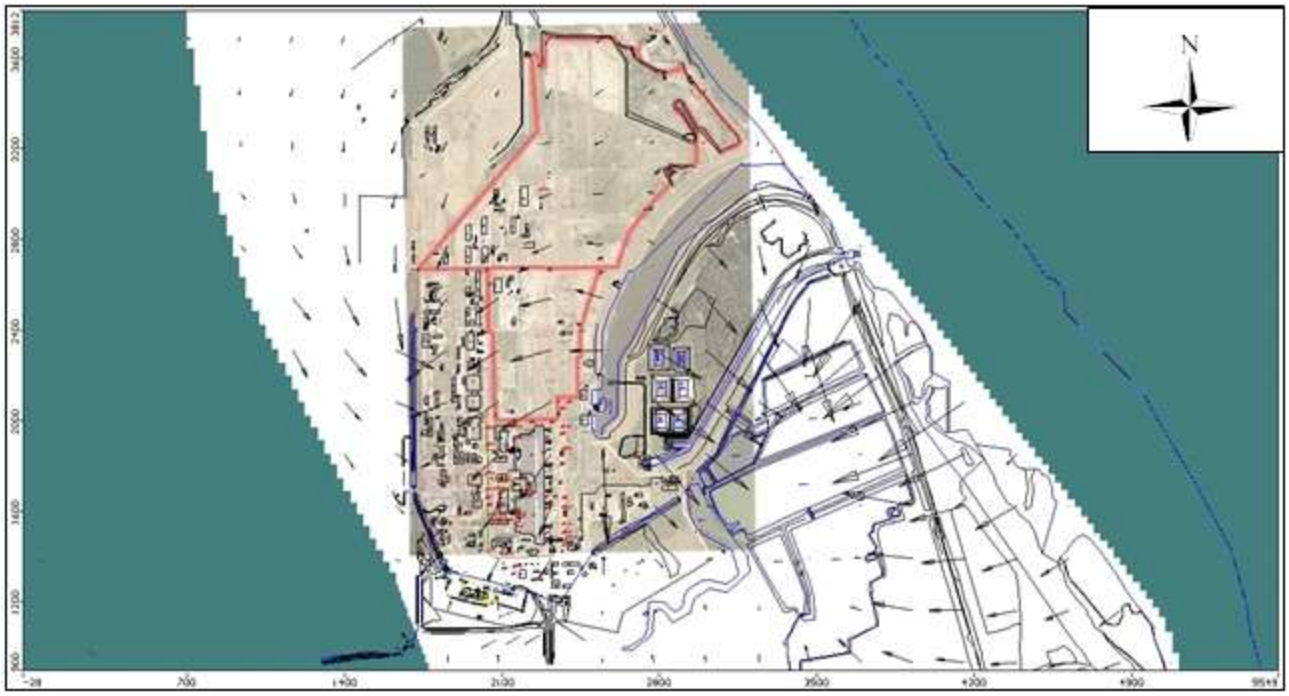
6.8-66. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém alacsony (84,81 mBf) Duna vízállás esetén 2011.12.03.



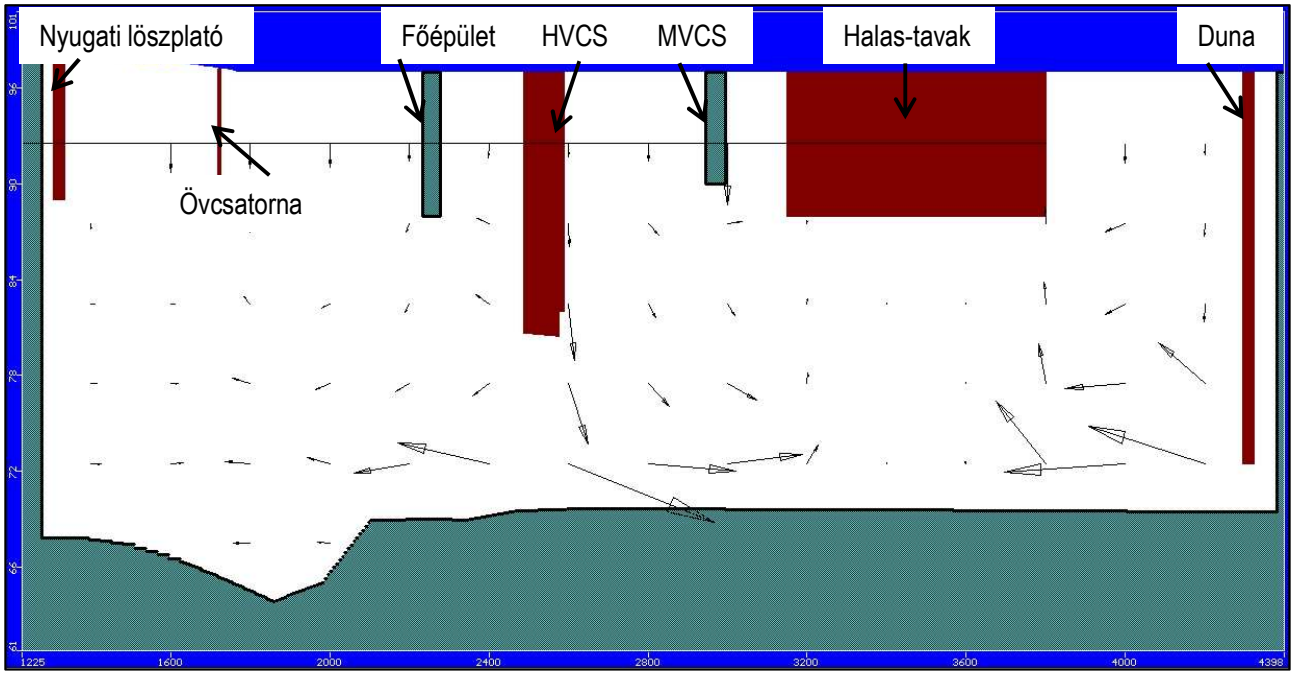
6.8-67. ábra: Extrém alacsony Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2011.12.03.

Extrém magas Duna vízállás

A halastavak és az övcsatorna hatásának köszönhetően északon egy lassan mozgó sebességtér alakul ki, mely az övcsatornát elérve felgyorsul és ebben az esetben az övcsatorna jelenti a nyelő tagot nyugaton. A HVCS-től délre szintén egy lassan mozgó sebességtér alakul ki. Keleten a Duna és a HVCS forrásként definiálható, melynek nyelő tagja a halastavak.

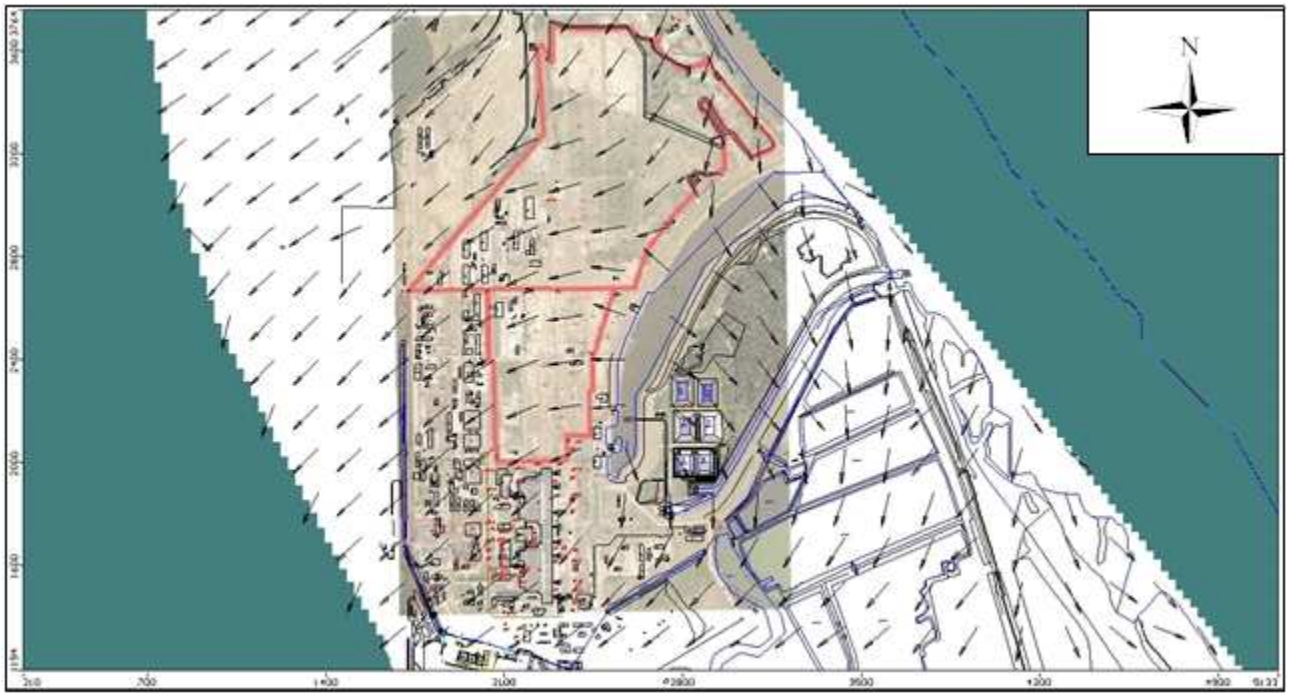


6.8-68. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06.

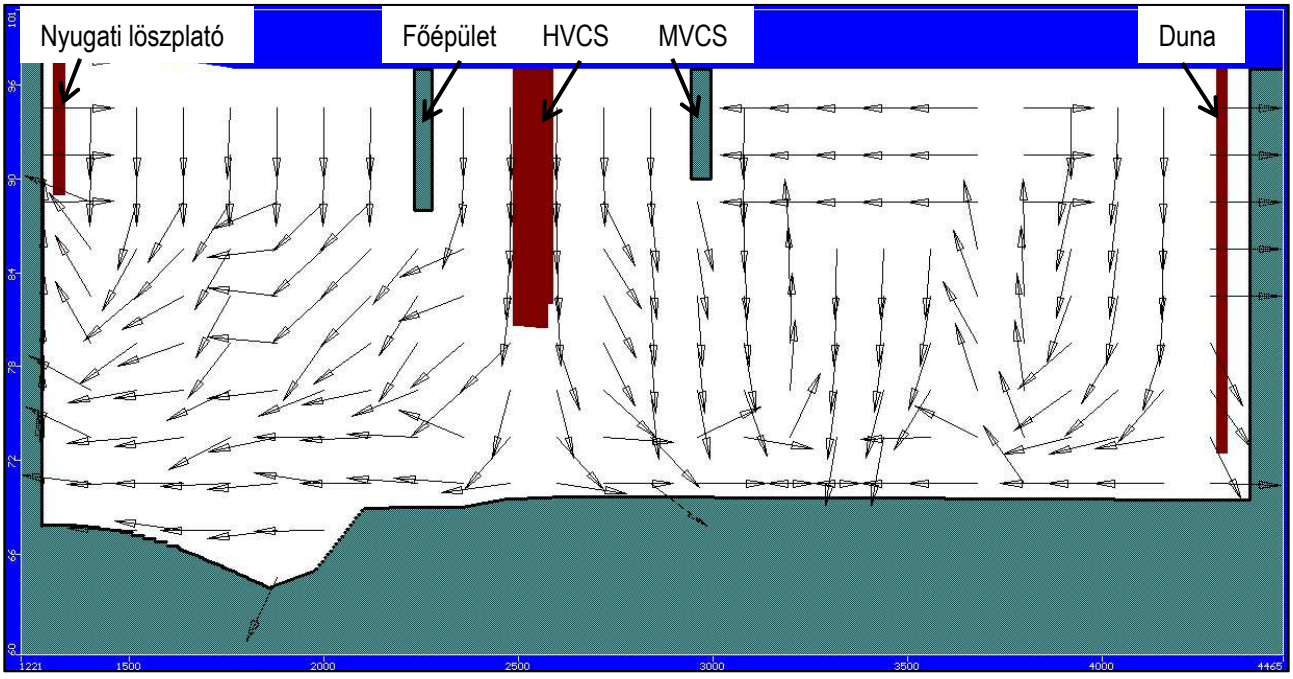


6.8-69. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06.

A halastavak és az övcsatorna hatásának kiiktatásával a nyugati löszplató felé történő erőteljes visszaáramlás figyelhető meg, mivel nincs semmilyen természetes illetve mesterséges nyelő vagy gát, ami felfogná, elnyelné az áramló talajvizet. Ez esetben is a Duna és a HVCS mint forrástagok szerepelnek.



6.8-70. ábra: Az erőmű környezetében kialakuló sebességtér extrém magas (93,99 mBf) Duna vízállás esetén 2006.04.06.



6.8-71. ábra: Extrém magas Duna vízállás esetén kialakuló vertikális sebességtér az erőmű környezetében 2006.04.06.

6.8.3.5 A telítetlen zóna szaturációs viszonyai

A Duna vízszint ingadozásaival összhangban felfelé és lefelé áramló periódusok váltják egymást a telítetlen zónában. Ennek következtében, egy a telítetlen zónában kialakult csőrepedés hatása érzékelhető az egyes monitoring kutakban mért trícium aktivitáskoncentrációk ingadozó értékeiből.

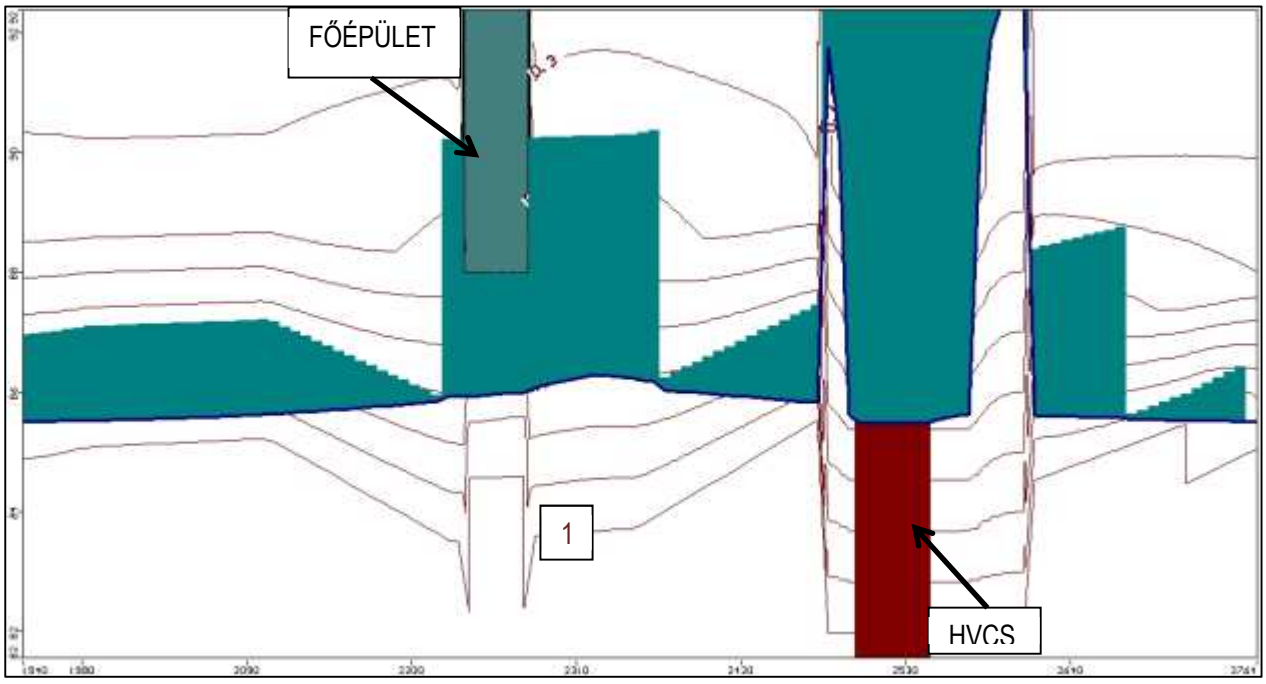
Az árhullámokkal összhangban dinamikus számolások alapján függőleges irányban oszcilláló, és egy lefelé illetve vízszintes irányba mutató mozgás együttesével lehet jellemezni a telítetlen zónába kijutott trícium kiürülését.

A folyamat az alábbi blokkséma szerint zajlik le:

- Oszcilláló mozgás a telítetlen zónákban.
- Alsó rétegekben a sebesség megnő és az alsó rétegekből kiáramlás jön létre.
- A kialakuló koncentráció gradiens a felsőbb, kevésbé telített rétegekből az alsó, nagyobb mértékben telített zónák felé hajtja a trícium terhelést.

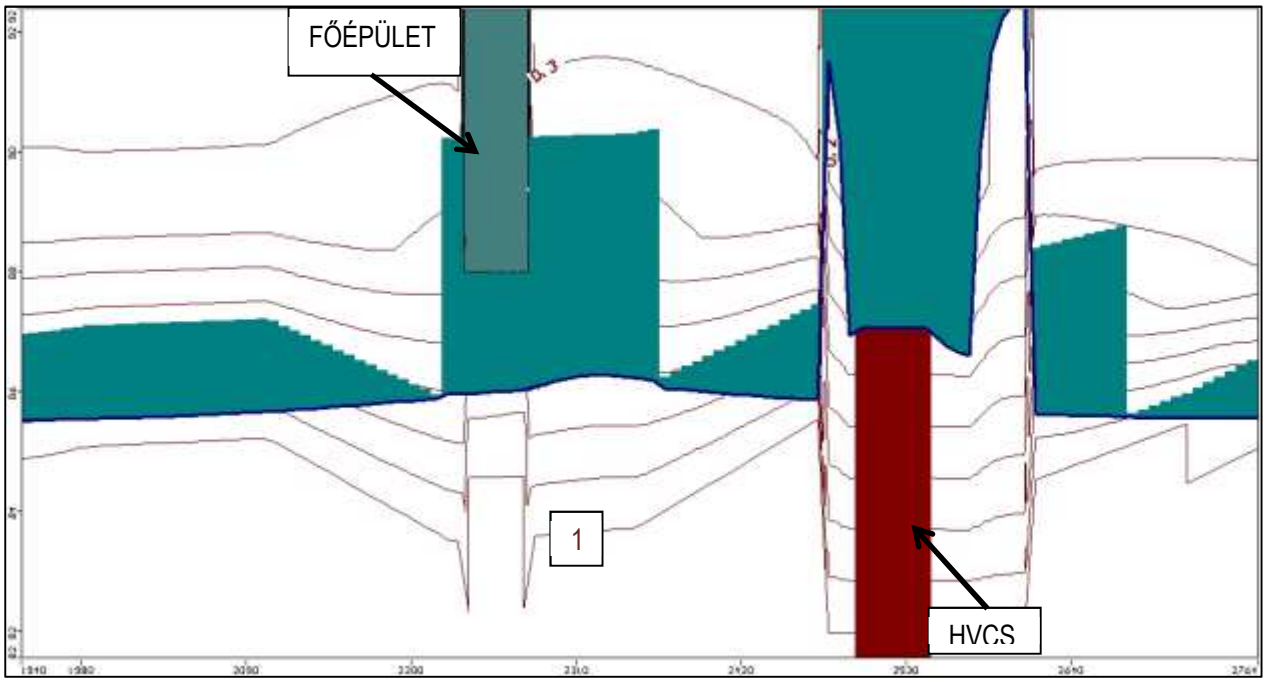
A *6.8-72. ábra* - *6.8-79. ábra*sorozat bemutatja az aktuálisan vizsgált időszak jellemző talajvíztükör és szaturációs szintek ingadozását. A görbék 0,3 és 1 intervallum közötti értéket vesznek fel. Az 1-es érték jelenti a telített-telítetlen zóna határát, míg a 0,3-as értéknél a legalacsonyabb a telítettség (1-es érték a teljes telítettséget jelenti, azaz a pórustérfogatot egészében víz tölti ki, az ettől kisebb érték pedig a telítettség mértékét adja meg). Az eredmények a korábbi vizsgálatokkal összhangban mutatják a telítetlen zóna nedvesedését – száradását, és a trícium ezzel összefüggésbe hozható kiürülését.

A telítetlen zónában, a korábbiakkal összhangban elsősorban vertikális elmozdulásokat kapunk. A sebességek több nagyságrenddel kisebbek, a telített zónában kialakult sebességeknél.

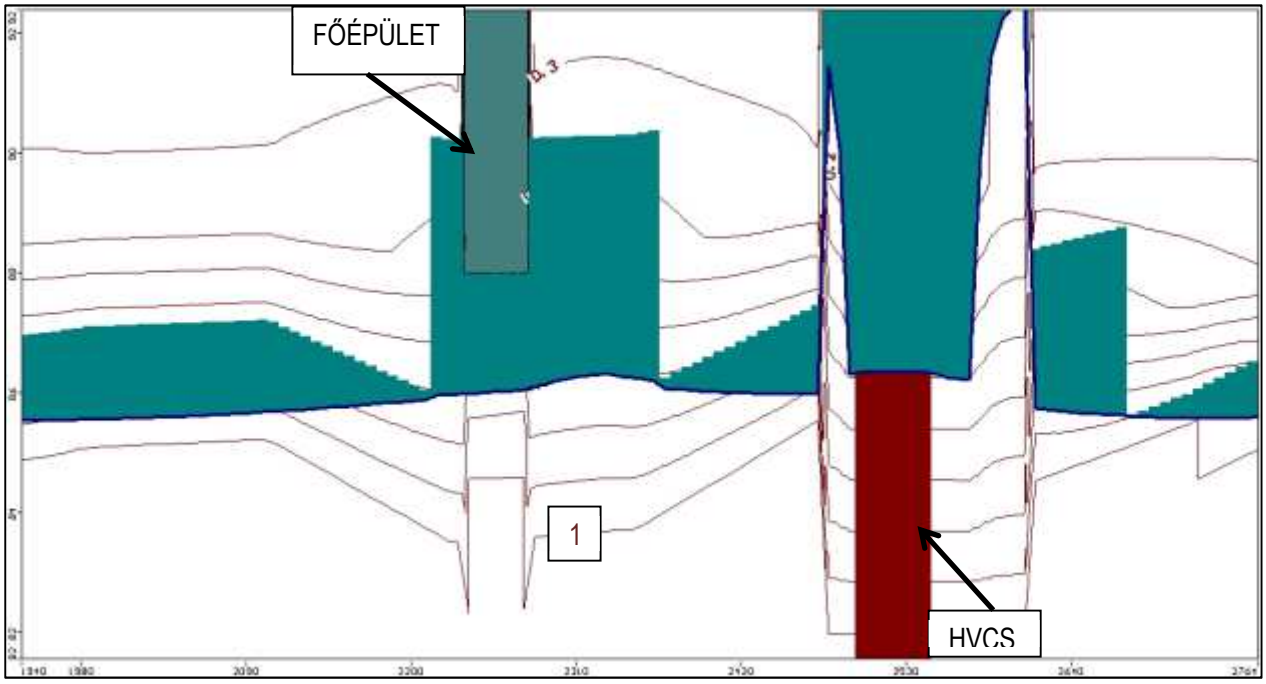


6.8-72. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.05.10.

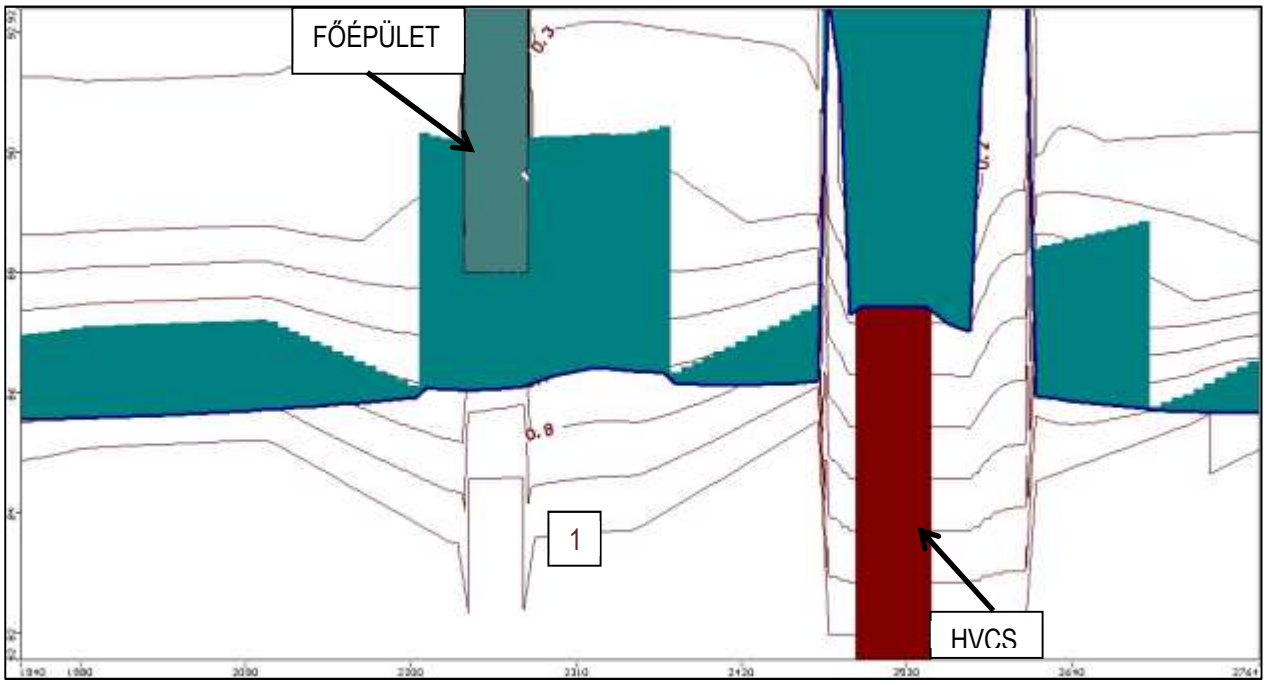
A főépület környezetében kialakuló törések a műtárgy (főépület) perturbációs hatásainak, míg a HVCS környezetében a csatorna vízelvezető és visszaduzzasztó hatásainak tulajdoníthatóak.



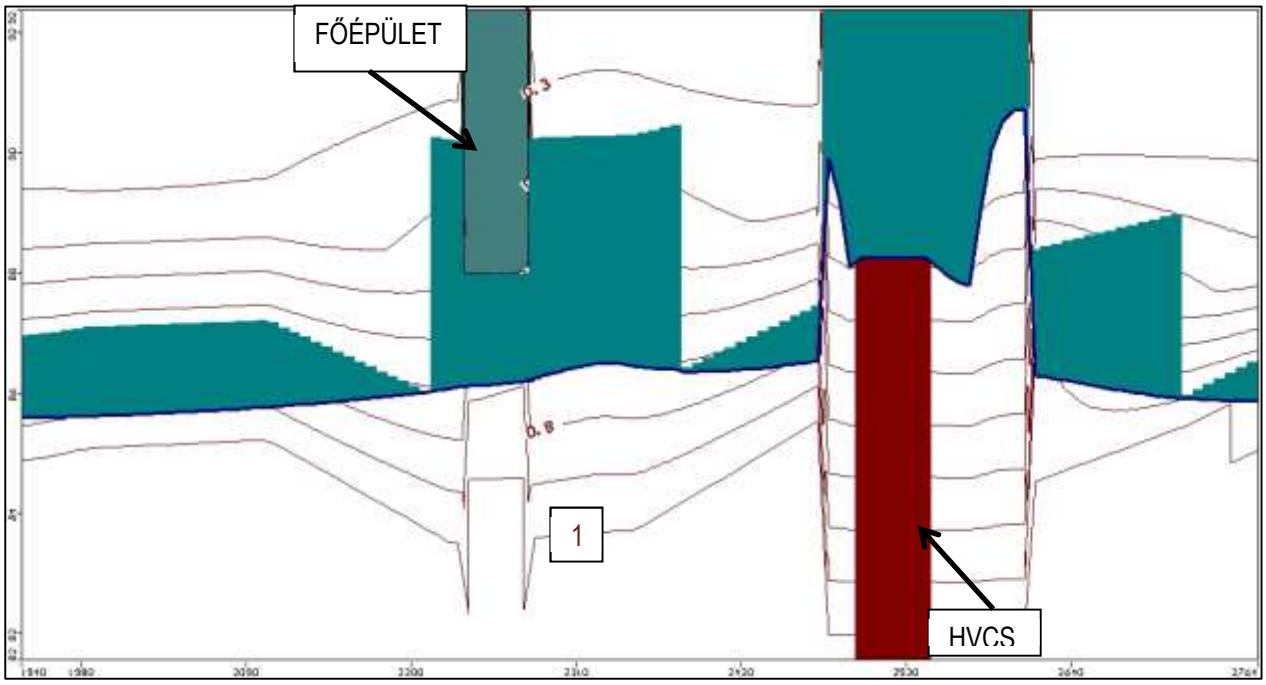
6.8-73. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.06.01.



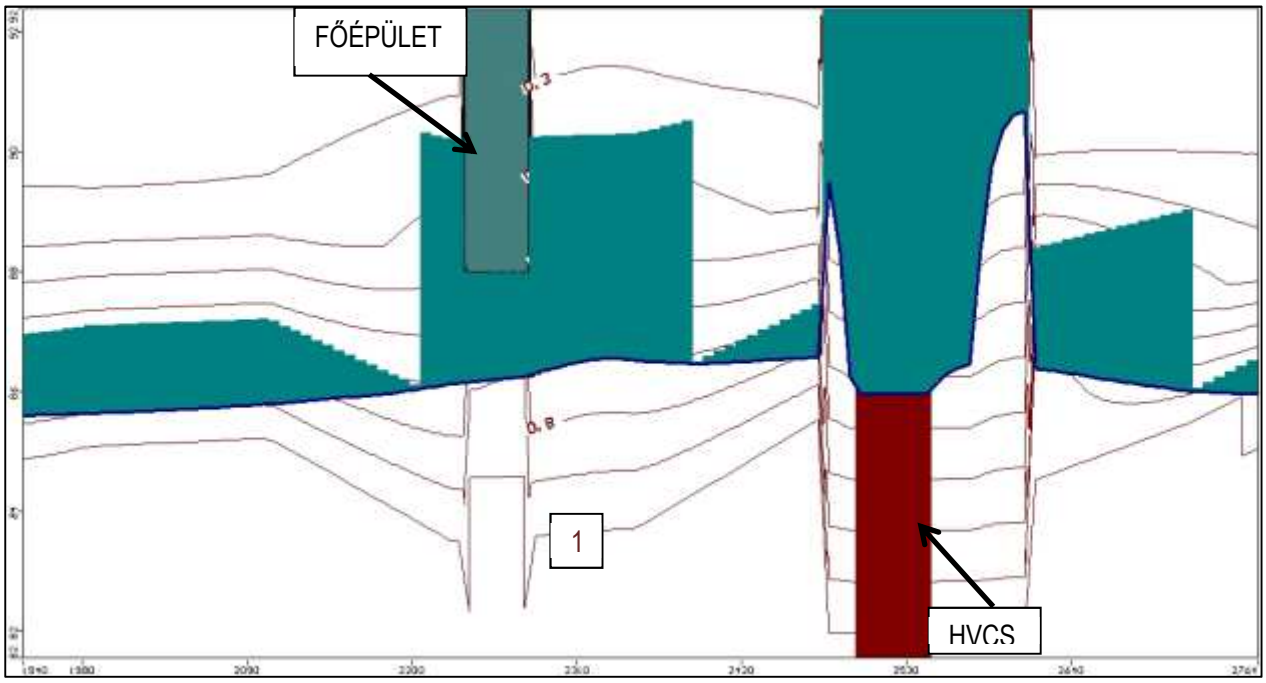
6.8-74. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.06.11.



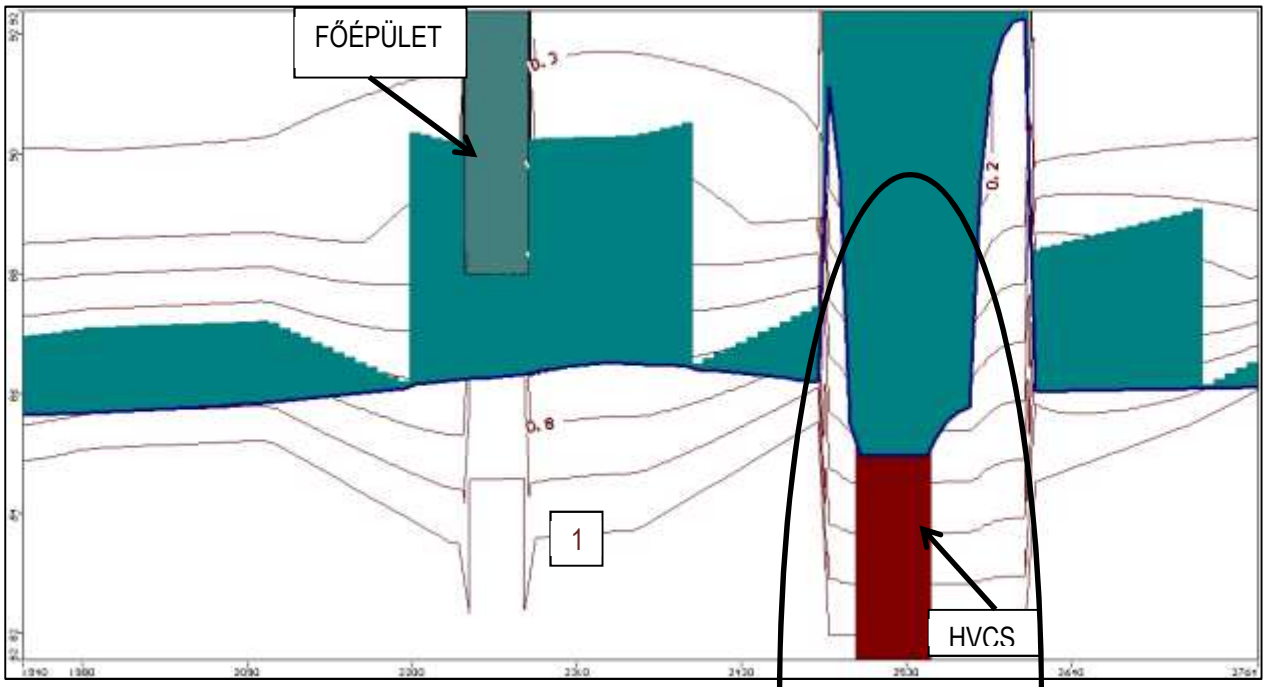
6.8-75. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.07.05.



6.8-76. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.08.12.

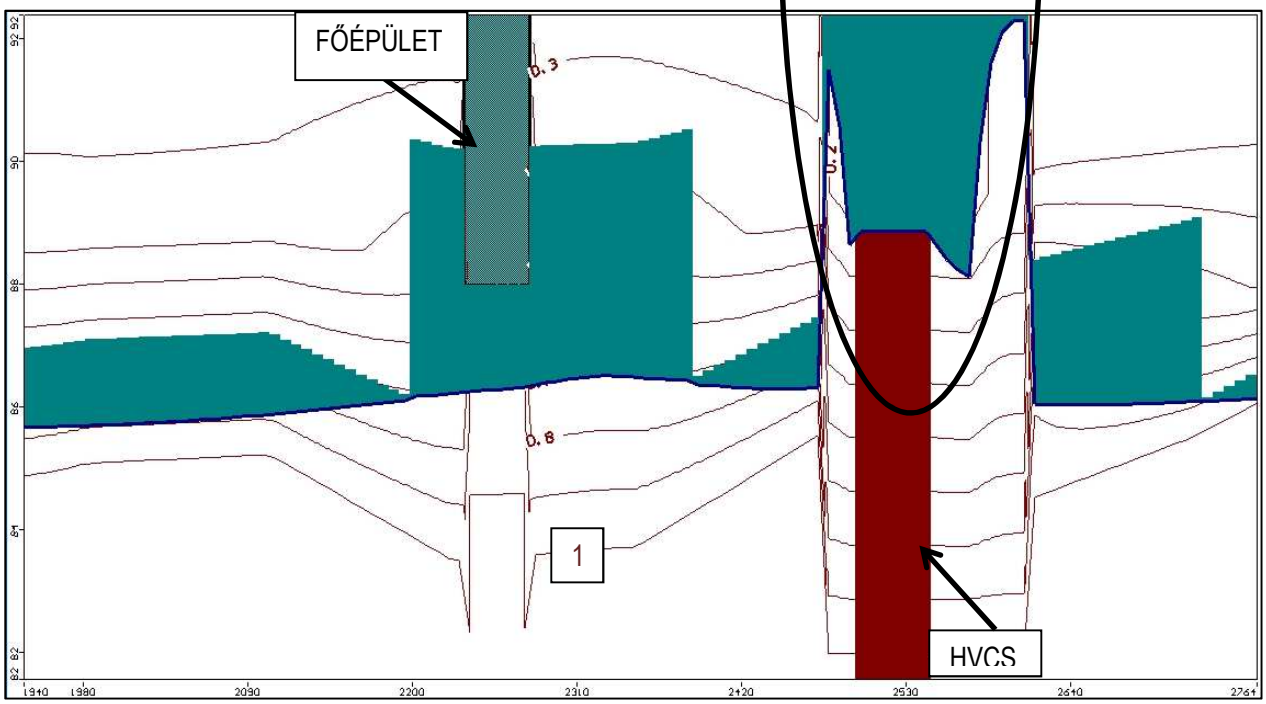


6.8-77. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke 2011.08.28.



6.8-78. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke alacsony Duna vízállás esetén 2011.10.07.

A telített telítetlen zóna határának oszcilláló mozgása figyelhető meg a hidegvíz csatornához közeli tartományban alacsony illetve magas Duna vízállás esetén. A sötétkék vonal a telített-telítetlen zóna határa.

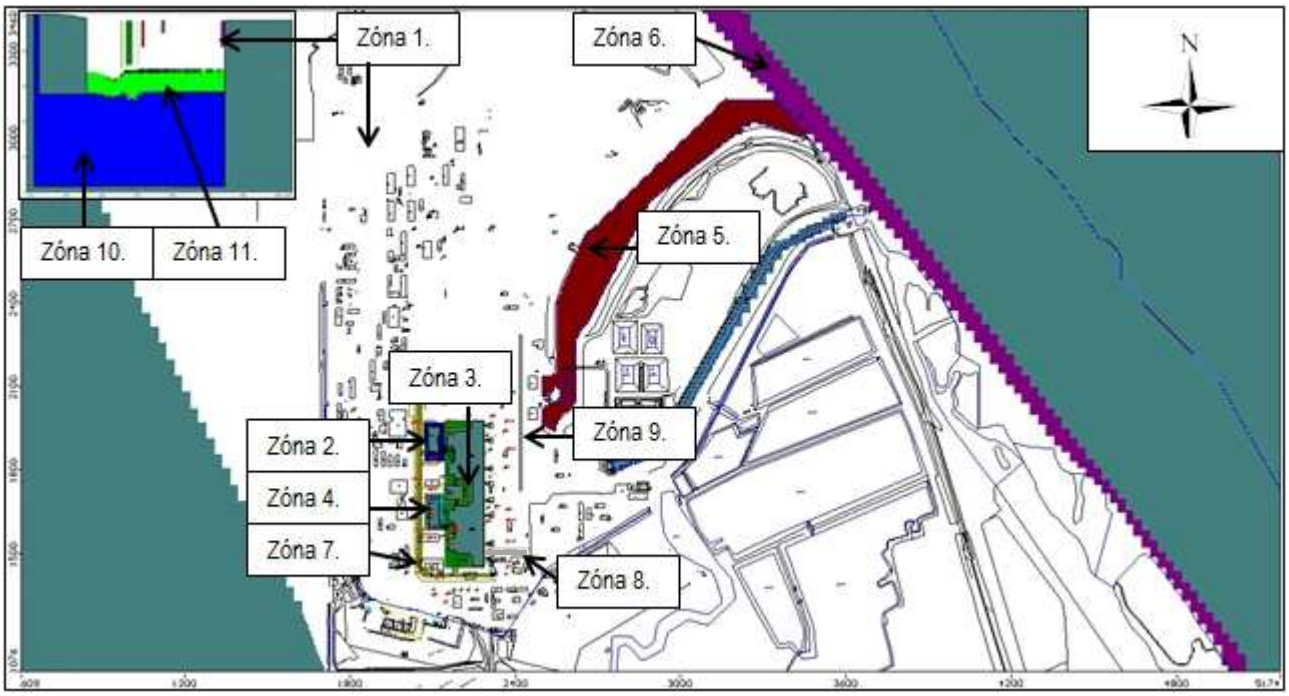


6.8-79. ábra: A telítettség (szaturáció) mértéke magas Duna vízállás esetén 2011.10.16.

6.8.4 A 3D TRANSZPORT MODELL FUTTATÁSA A TRÍCIUM-TERJEDÉS MEGHATÁROZÁSÁRA

6.8.4.1 Tömegáramok jellemzése

A telephely területén zónákat alakítottunk, melyek alapján a zónába beáramló és onnan kiáramló víztérfogat alapján lehetőség adódik a tömegáramok meghatározására. Az állandósult (peremfeltételek egész félév során egy meghatározott szintre vannak beállítva) és dinamikus (peremfeltételek követik a félév során mért vízszintek változását) állapotú számolások, valamint extrém esetek (egész félév során extrém alacsony vagy extrém magas Duna vízállás) tömegáramát a program által létrehozott grafikonok és jegyzőkönyvek alapján mutatjuk be.



6.8-80. ábra: A tömegáramok jellemzésére kialakított zónák.

A fenti ábra bal felső sarkában a 2. szelvény nyomvonalán felvett keresztmetszet látható.

Zónák magyarázata:

- Zóna 1. – Agyaglencsék feletti tartomány (fehér);
- Zóna 2. – Kettes segédépület (sötétkék);
- Zóna 3. – Főépület tömbje (zöld);
- Zóna 4. – Egyes segédépület (világoskék);
- Zóna 5. – Hidegvíz csatorna (piros);
- Zóna 6. – Duna (ibolya);
- Zóna 7. – Szennyvíz vezeték (mustár);
- Zóna 8. – O5 kút környezete (világosszürke);
- Zóna 9. – Ellenőrző térfogat (szürke);
- Zóna 10. – Agyagréteg alatti tartomány (kék);
- Zóna 11. – Agyaglencsék és agyagréteg közötti tartomány (rikító zöld).

A 2, 3, 4, 7, 8-as zónák a feltételezett trícium szivárgási helyeken lettek kijelölve. Ezek mellett a peremfeltételek közül a hidegvíz csatornát és a Dunát alakítottuk ki zónaként. További zónákat helyeztünk el az agyaglencsék feletti tartományban, az agyaglencsék és agyagréteg közötti tartományban és az agyagréteg alatti tartományban. Az általunk definiált 5.-ös és 6.-os zónák alapján meghatározható a hidegvíz csatorna és a Duna napi térfogatárama (az oda be-, illetve kiáramló talajvíz mennyisége) különböző peremfeltételek esetén. A 2, 3, 4, 7, 8-as zónák pedig segíthetnek a nem tervezett módon történő trícium terhelés számításaiban.

A program maga is kialakít zónákat, mégpedig úgy, hogy a különböző hidraulikai paraméterekkel definiált rétegeket veszi különálló zónáknak. E mellé még az áramlási peremfeltételek csatlakoznak („constant head"), valamint dinamikus állapotú számolások esetén a tárolókapacitás. Ezek összegeként alakul ki az egész rendszerre vonatkozó térfogatáram teljes be- és kiáramlási eredménye.

Az áramlási peremfeltételek külön magyarázatot igényelnek. A be-, és kiáramlási térfogatáramokban az adott körülmények között a vizsgálati tartomány határán forrásként és nyelőként funkcionáló peremfeltételek („constant head") a legjelentősebbek.

A telített zónában, állandósult állapotú („steady state") számolások alapján, közepes Duna vízállás (86.36 mBf) esetén meghatározott térfogatáramok:

Time (days): 182	
Constant Head = 3,412,700 [m^3/day]	- A peremfeltételek tartásához szükséges befolyó térfogatáram
Recharge = 2,464 [m^3/day]	- Beszivárgás (aktuális félévre vonatkozó csapadékösszeg 8%-a)
Zone 2 to 1 = 56.765 m^3/day	
Zone 3 to 1 = 657.69 m^3/day	
Zone 4 to 1 = 58.059 m^3/day	
Zone 5 to 1 = 44,860 m^3/day	
Zone 6 to 1 = 4,361 m^3/day	
Zone 7 to 1 = 822.2 m^3/day	
Zone 8 to 1 = 167.29 m^3/day	
Zone 9 to 1 = 1,153.4 m^3/day	
Zone 10 to 1 = 0.001736 m^3/day	
Zone 11 to 1 = 33.355 m^3/day	
Total IN = 3,467,300 m^3/day	
Constant Head = 3,400,100 [m^3/day]	
Recharge = 0 [m^3/day]	
Zone 1 to 2 = 243.65 m^3/day	
Zone 1 to 3 = 343.22 m^3/day	
Zone 1 to 4 = 165.78 m^3/day	
Zone 1 to 5 = 4,624.2 m^3/day	
Zone 1 to 6 = 59,692 m^3/day	
Zone 1 to 7 = 818.42 m^3/day	
Zone 1 to 8 = 188.91 m^3/day	
Zone 1 to 9 = 1,151.7 m^3/day	
Zone 1 to 10 = 1.1042E-5 m^3/day	
Zone 1 to 11 = 30.86 m^3/day	
Total OUT = 3,467,300 m^3/day	
Difference:	
IN - OUT = 3.6628 [m^3/day]	- Különbség
Percent Discrepancy = 0%	- Eltérés százalékban (ha 2% alatt van, a modell megbízható)

6.8-3. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok.

A telített zónában, állandósult állapotú („steady state”) számolások alapján, extrém alacsony Duna vízállás (84,81 mBf) esetén meghatározott térfogatáramok:

Time (days): 182	
Constant Head = 3,374,800 [m^3/day]	- A peremfeltételek tartásához szükséges befolyó térfogatáram
Recharge = 2,469.2 [m^3/day]	- Beszivárgás (aktuális félévre vonatkozó csapadékösszeg 8%-a)
Zone 2 to 1 = 74.645 m^3/day	
Zone 3 to 1 = 727.67 m^3/day	
Zone 4 to 1 = 73.027 m^3/day	
Zone 5 to 1 = 18.235 m^3/day	
Zone 6 to 1 = 122,790 m^3/day	
Zone 7 to 1 = 941.86 m^3/day	
Zone 8 to 1 = 183.61 m^3/day	
Zone 9 to 1 = 1,506.4 m^3/day	
Zone 10 to 1 = 0.0013557 m^3/day	
Zone 11 to 1 = 40.289 m^3/day	
Total IN = 3,503,600 m^3/day	
Constant Head = 3,371,200 [m^3/day]	
Recharge = 0 [m^3/day]	
Zone 1 to 2 = 287.23 m^3/day	
Zone 1 to 3 = 380.8 m^3/day	
Zone 1 to 4 = 187.51 m^3/day	
Zone 1 to 5 = 117,630 m^3/day	
Zone 1 to 6 = 11,310 m^3/day	
Zone 1 to 7 = 938.08 m^3/day	
Zone 1 to 8 = 201.26 m^3/day	
Zone 1 to 9 = 1,504.7 m^3/day	
Zone 1 to 10 = 1.3296E-5 m^3/day	
Zone 1 to 11 = 37.939 m^3/day	
Total OUT = 3,503,700 m^3/day	
Difference:	
IN - OUT = -88.645 [m^3/day]	- Különbség
Percent Discrepancy = 0%	- Eltérés százalákban (ha 2% alatt van, a modell megbízható)

6.8-4. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok extrém alacsony Duna vízállás esetén.

A telített zónában, állandósult állapotú („steady state") számolások alapján, extrém magas Duna vízállás (93,99 mBf) esetén meghatározott térfogatáramok:

Time (days): 182	
Constant Head = 3,350,100 [m^3/day]	- A peremfeltételek tartásához szükséges befolyó térfogatáram
Recharge = 2,434.2 [m^3/day]	- Beszivárgás (aktuális félévre vonatkozó csapadékösszeg 8%-a)
Zone 2 to 1 = 62.59 m^3/day	
Zone 3 to 1 = 570.07 m^3/day	
Zone 4 to 1 = 14.529 m^3/day	
Zone 5 to 1 = 1,238.1 m^3/day	
Zone 6 to 1 = 372,890 m^3/day	
Zone 7 to 1 = 234.99 m^3/day	
Zone 8 to 1 = 101.6 m^3/day	
Zone 9 to 1 = 1,541 m^3/day	
Zone 10 to 1 = 1.1302E-5 m^3/day	
Zone 11 to 1 = 25.482 m^3/day	
Total IN = 3,729,300 m^3/day	
Constant Head = 3,362,400 [m^3/day]	
Recharge = 0 [m^3/day]	
Zone 1 to 2 = 75.946 m^3/day	
Zone 1 to 3 = 466.77 m^3/day	
Zone 1 to 4 = 84.658 m^3/day	
Zone 1 to 5 = 333,250 m^3/day	
Zone 1 to 6 = 31,111 m^3/day	
Zone 1 to 7 = 231.21 m^3/day	
Zone 1 to 8 = 160.15 m^3/day	
Zone 1 to 9 = 1,539.3 m^3/day	
Zone 1 to 10 = 0.0018245 m^3/day	
Zone 1 to 11 = 23.718 m^3/day	
Total OUT = 3,729,400 m^3/day	
Difference:	
IN - OUT = -75.328 [m^3/day]	- Különbség
Percent Discrepancy = 0%	- Eltérés százalékban (ha 2% alatt van, a modell megbízható)

6.8-5. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok extrém magas Duna vízállás esetén.

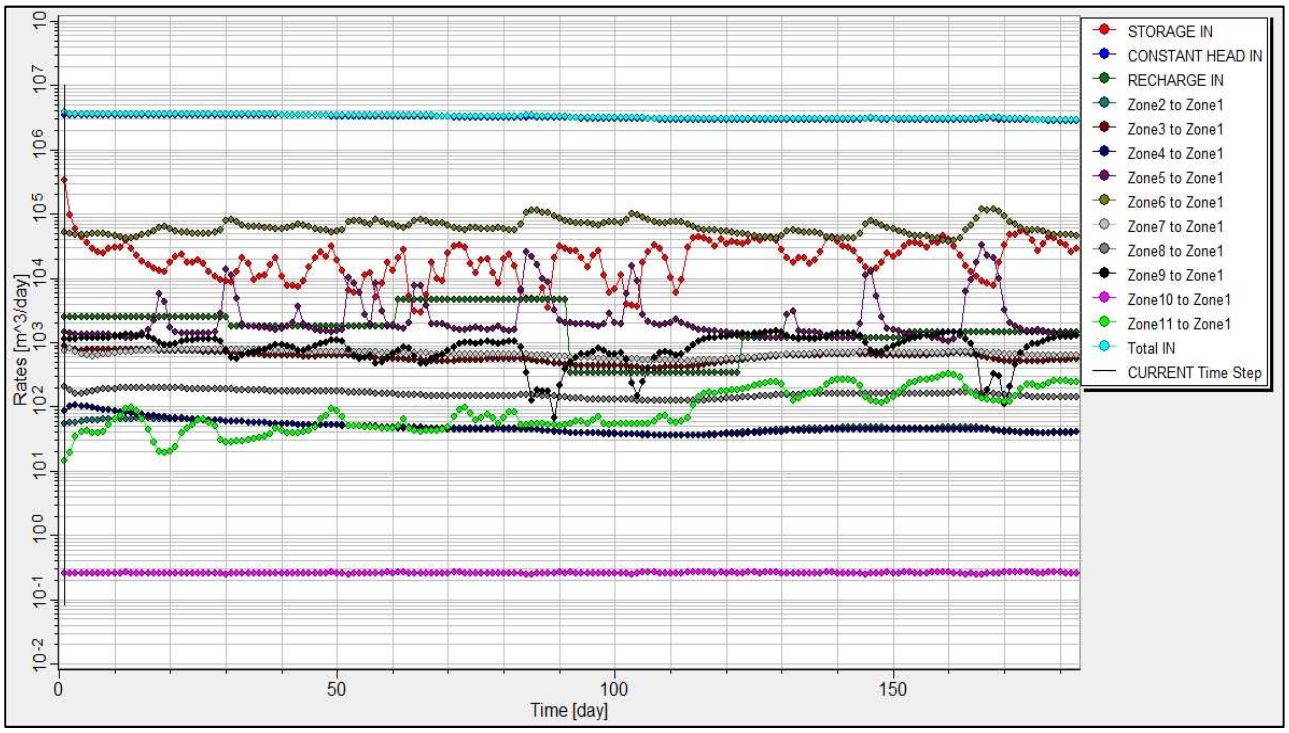
A telített zónában, dinamikus állapotú („transient") számolások alapján meghatározott térfogatáramok:

Time (days): 1	
Storage = 341,630 [m^3/day]	- Tárolókapacitás
Constant Head = 3,494,100 [m^3/day]	- A peremfeltételek tartásához szükséges befolyó térfogatáram
Recharge = 2,464.1 [m^3/day]	- Beszivárgás (az aktuális félévre vonatkozó csapadékösszeg 8%-a)
Zone 2 to 1 = 55.421 m^3/day	
Zone 3 to 1 = 885.97 m^3/day	
Zone 4 to 1 = 86.339 m^3/day	
Zone 5 to 1 = 1,474.8 m^3/day	
Zone 6 to 1 = 52,580 m^3/day	
Zone 7 to 1 = 745.75 m^3/day	
Zone 8 to 1 = 207.55 m^3/day	
Zone 9 to 1 = 1,119.6 m^3/day	
Zone 10 to 1 = 0.25716 m^3/day	
Zone 11 to 1 = 14.482 m^3/day	
Total IN = 3,895,400 m^3/day	
Storage = 328,010 [m^3/day]	
Constant Head = 3,490,900 [m^3/day]	
Recharge = 0 [m^3/day]	
Zone 1 to 2 = 248.23 m^3/day	
Zone 1 to 3 = 242.13 m^3/day	
Zone 1 to 4 = 267.29 m^3/day	
Zone 1 to 5 = 8,299.7 m^3/day	
Zone 1 to 6 = 65,067 m^3/day	
Zone 1 to 7 = 673.74 m^3/day	
Zone 1 to 8 = 298.03 m^3/day	
Zone 1 to 9 = 1,130.1 m^3/day	
Zone 1 to 10 = 0.2844 m^3/day	
Zone 1 to 11 = 186.55 m^3/day	
Total OUT = 3,895,400 m^3/day	
Difference:	
IN - OUT = -5.3838 [m^3/day]	- Különbség
Percent Discrepancy = 0%	- Eltérés százalékban (ha 2% alatt van, a modell megbízható)

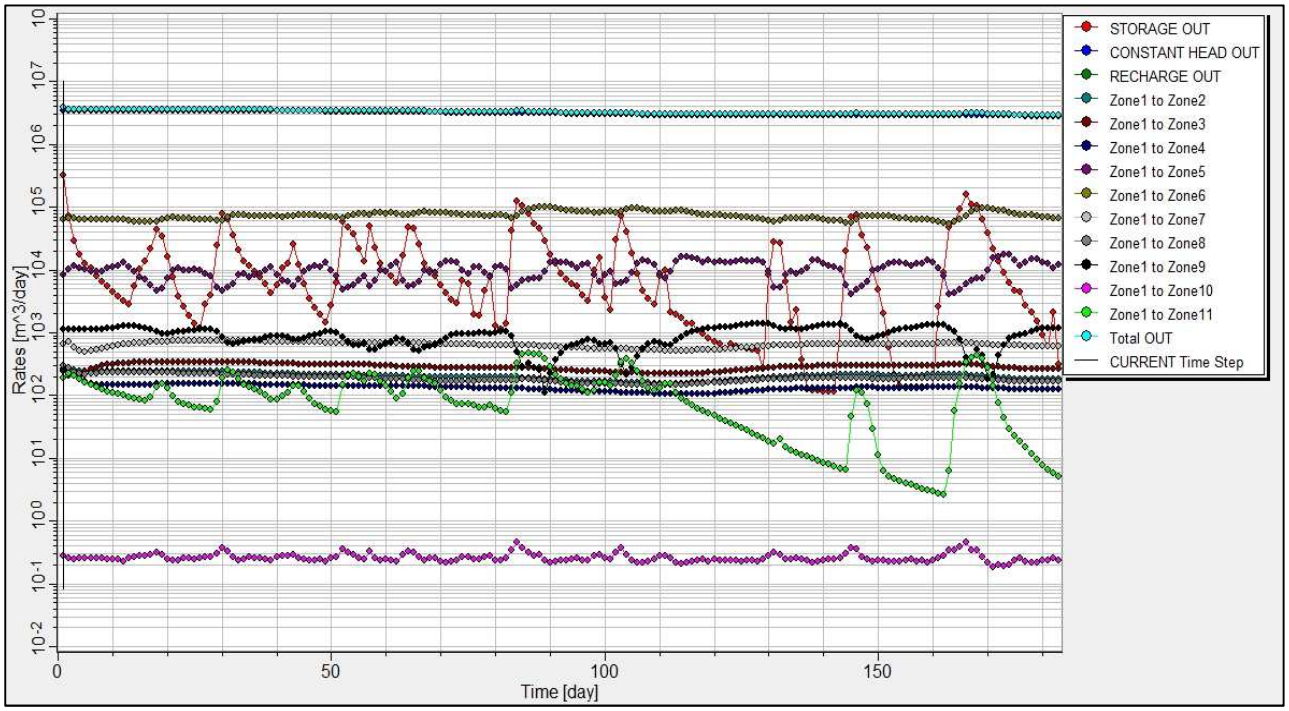
6.8-6. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok a vizsgált időszak első napján.

Time (days): 182	
Storage = 25,167 [m^3/day]	- Tárolókapacitás
Constant Head = 2,819,500 [m^3/day]	- A peremfeltételek tartásához szükséges befolyó térfogatáram
Recharge = 1,425.2 [m^3/day]	- Beszivárgás (az aktuális félévre vonatkozó csapadékösszeg 8%-a)
Zone 2 to 1 = 40.872 m^3/day	
Zone 3 to 1 = 547.72 m^3/day	
Zone 4 to 1 = 39.766 m^3/day	
Zone 5 to 1 = 1,353.8 m^3/day	
Zone 6 to 1 = 48,139 m^3/day	
Zone 7 to 1 = 627.39 m^3/day	
Zone 8 to 1 = 141.99 m^3/day	
Zone 9 to 1 = 1,238.4 m^3/day	
Zone 10 to 1 = 0.26067 m^3/day	
Zone 11 to 1 = 244 m^3/day	
Total IN = 2,898,500 m^3/day	
Storage = 2,088.9 [m^3/day]	
Constant Head = 2,816,700 [m^3/day]	
Recharge = 0 [m^3/day]	
Zone 1 to 2 = 184.68 m^3/day	
Zone 1 to 3 = 267.6 m^3/day	
Zone 1 to 4 = 123.86 m^3/day	
Zone 1 to 5 = 10,812 m^3/day	
Zone 1 to 6 = 66,384 m^3/day	
Zone 1 to 7 = 615.91 m^3/day	
Zone 1 to 8 = 165.19 m^3/day	
Zone 1 to 9 = 1,183.8 m^3/day	
Zone 1 to 10 = 0.25397 m^3/day	
Zone 1 to 11 = 5.7125 m^3/day	
Total OUT = 2,898,500 m^3/day	
Difference:	
IN - OUT = 6.593 [m^3/day]	- Különbség
Percent Discrepancy = 0%	- Eltérés százalékban (ha 2% alatt van, a modell megbizható)

6.8-7. táblázat: A zónákra, konstans szintekre és beszivárgásra vonatkozó térfogatáramok a vizsgált időszak utolsó napján.



6.8-81. ábra: Az egyes zónák térfogatárama az aktuális hidrológiai félévre lebontva (beáramlás).

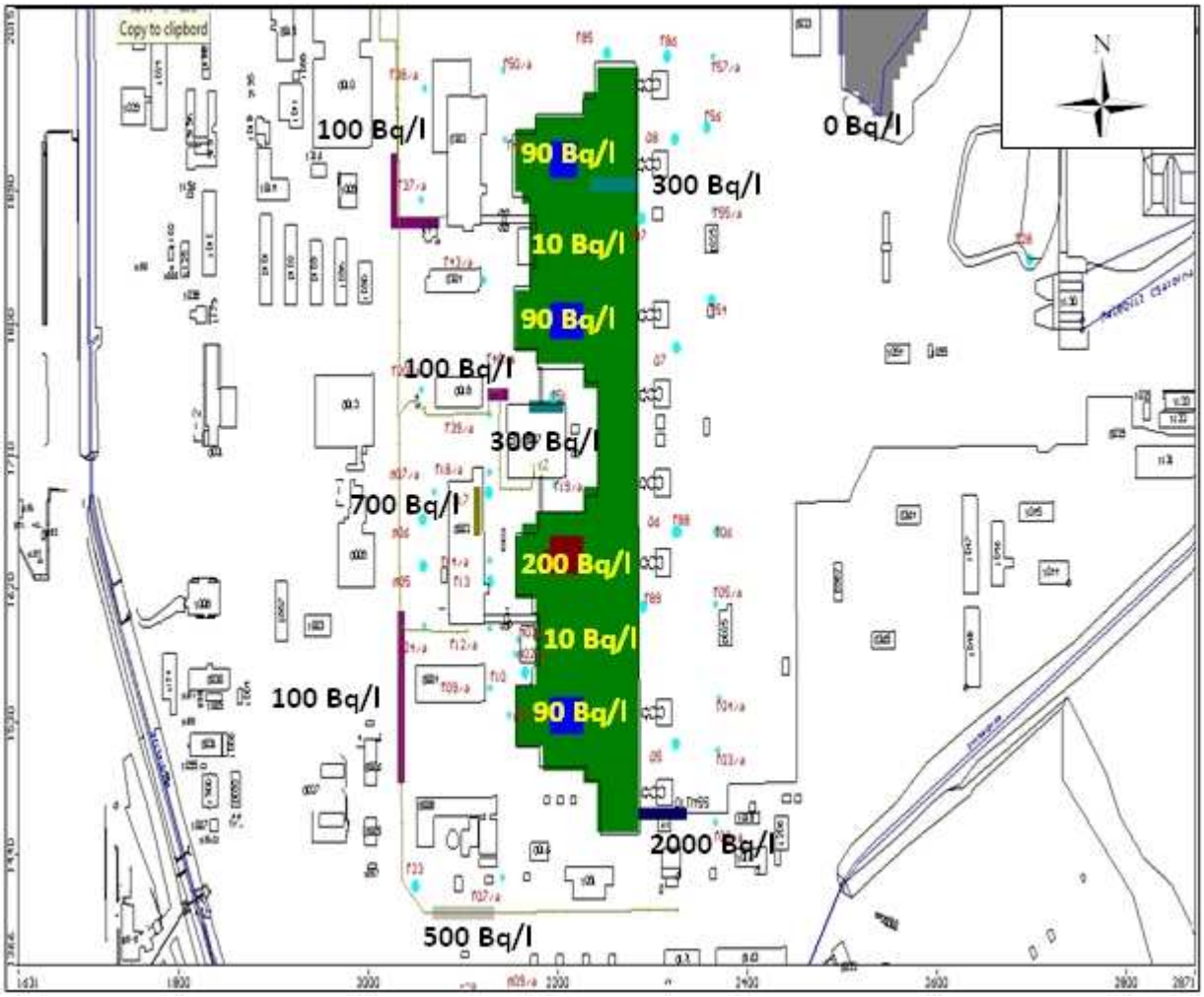


6.8-82. ábra: Az egyes zónák térfogatárama az aktuális hidrológiai félévre lebontva (kiáramlás).

Az aktuális hidrológiai félév itt 2011. második hidrológiai félévének felel meg, mely 2011.05.01.-től 2011.10.31.-ig tartott. A térfogatáramokból az aktuális időszakra és területre vonatkozó vízháztartási egyenleg állapítható meg.

6.8.4.2 A trícium terhelés eloszlásának vizsgálata

A *6.8-83. ábra* bemutatja a telített zóna felső rétegében általunk feltételezett konstans trícium aktivitáskoncentráció források elhelyezkedését.



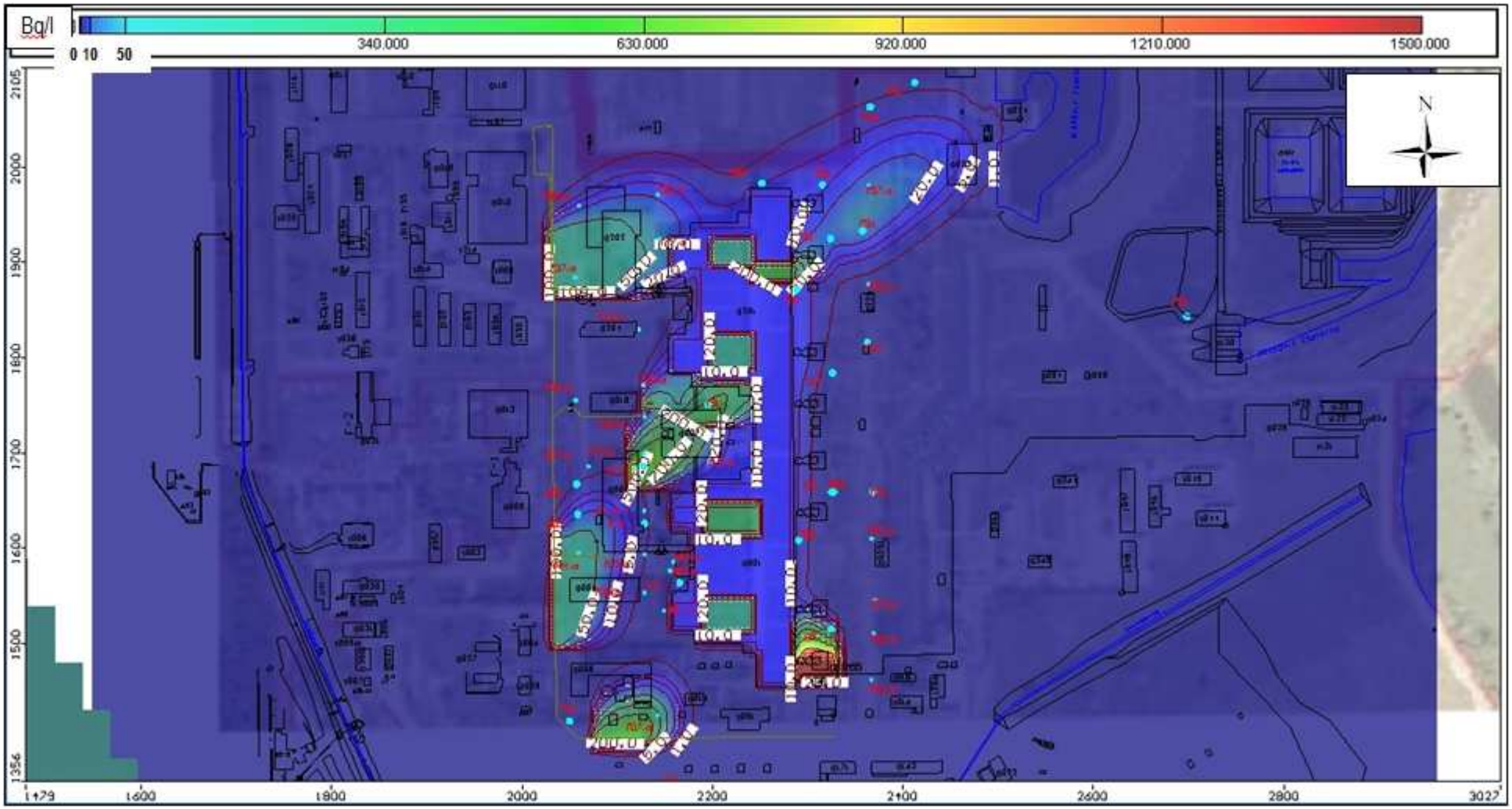
6.8-83. ábra: A lehetséges trícium terhelés-források elemzéséhez használt konstans koncentrációjú helyek 82 – 88mBf szinten

Az itt feltételezett trícium források figyelembe vételével becsültük a talajba kikerülő trícium terhelés mértékét. A *6.8-83. ábra*n összegezzük azokat a helyeket, amelyek esetén, modell szinten trícium forrásokat tételeztünk fel. A fő épület alatt 10 Bq/l, 90 Bq/l, 200 Bq/l és 300 Bq/l aktivitáskoncentrációjú helyeket valószínűsítettünk. Az 10 Bq/l átlagos érték, amelynél feltehetően lokálisan kisebb és nagyobb értékek is előfordulhatnak. A 200Bq/l koncentrációjú helyet a 2. blokk alatt, a 300 Bq/l koncentrációjú helyet pedig az erőmű keleti oldalán, a 4. blokkhoz közel tételeztük fel. Továbbra is forrásként vettük figyelembe a TM55 vezeték korábbi meghibásodása miatt kialakult feltehetően fokozatosan ürülő, tríciummal terhelt területet. Itt az aktivitáskoncentráció értékét 2000Bq/l-el közelítettük. 500 és 100 Bq/l aktivitáskoncentrációjú helyekkel közelítettük a szennyvízvezeték egyes szakaszait, 300 és 700 Bq/l aktivitáskoncentrációt tételeztünk fel az EÜ épület és az 1. segédépület mentén.

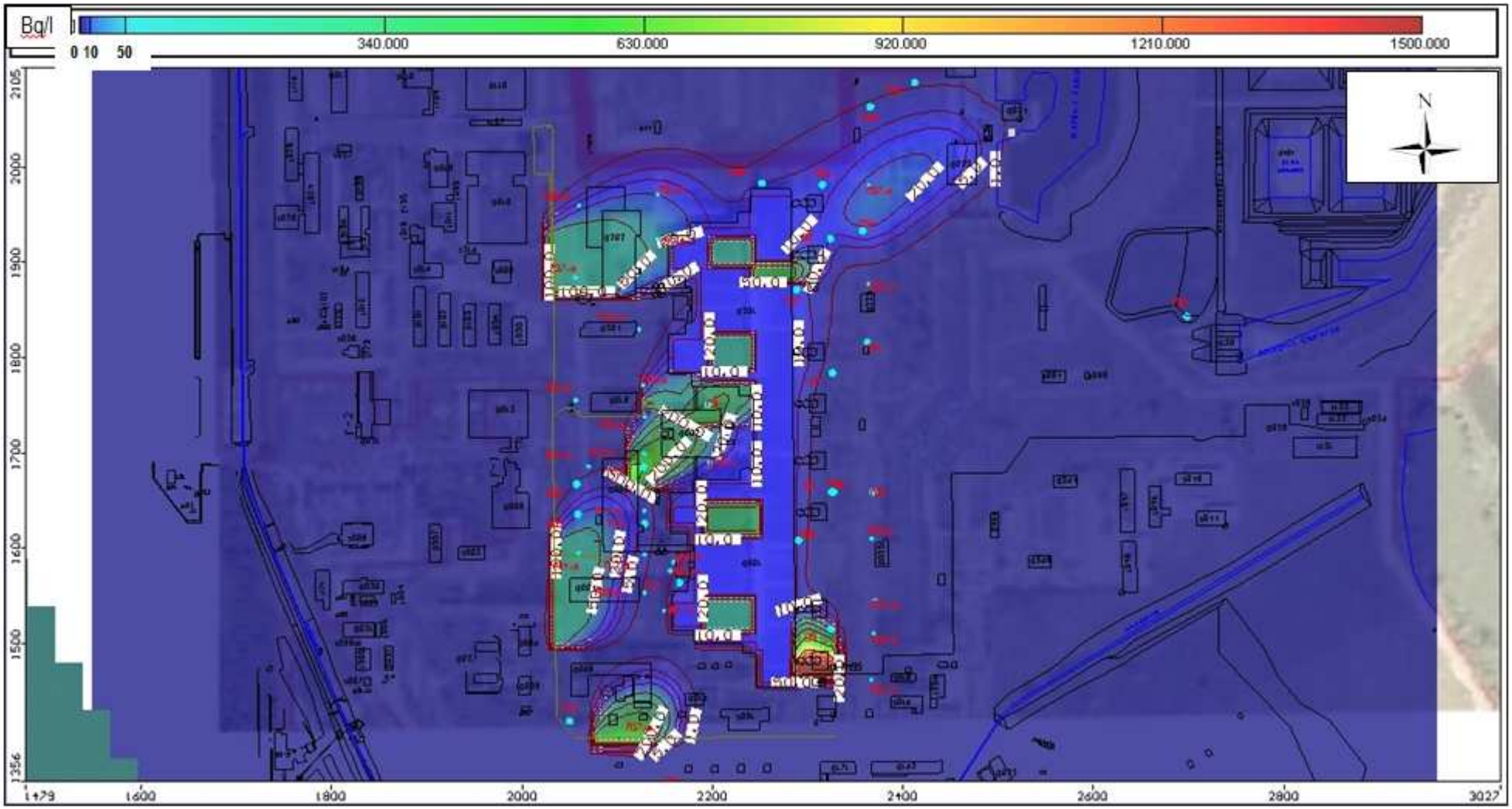
Az O5, és attól északra levő kutak esetén a TM55 által terhelt területről áramló trícium okozhat ingadozó jellegű aktivitást. Az ingadozást a változó talajvízszint és szaturáció, továbbá az ezzel összefüggésbe hozható fokozatos kimosódás okozza. Itt a trícium felhő fokozatos elkenődése és a TM55 javításának köszönhetően a terhelés összességében csökkenő trendje jellemző. A csökkenő trend jól érzékelhető az O5 kút adatainak időbeli váltakozásai esetén.

A T07 kúttól délre felvett forrást az előző hidrológiai félévhez képest kissé nyugatabbra toltuk. 2011 végére befejeződött a kommunális szennycsatorna béleléssel, illetve csőcserével történő javítása. A karbantartás a vegyészeti épülettől délre eső szakaszokon kezdődött. A telítetlen zónában korábban feltehetően nagyobb aktivitású tríciummal terhelt tartományok alakulhattak ki. Feltételezhető, hogy a T07 kútban és későbbiekben további, a szennyvízrendszer felől érkező vizet monitorozó, a T07-től északabbra található kutakban az aktivitáskoncentrációk ingadozó jelleggel, de csökkenő trendnek megfelelően fognak változni. Ha ez nem következik be a javításoknak köszönhetően, akkor egyéb eddig figyelmen kívül hagyott okok is szerepet játszhatnak a mért eredmények kialakulásában.

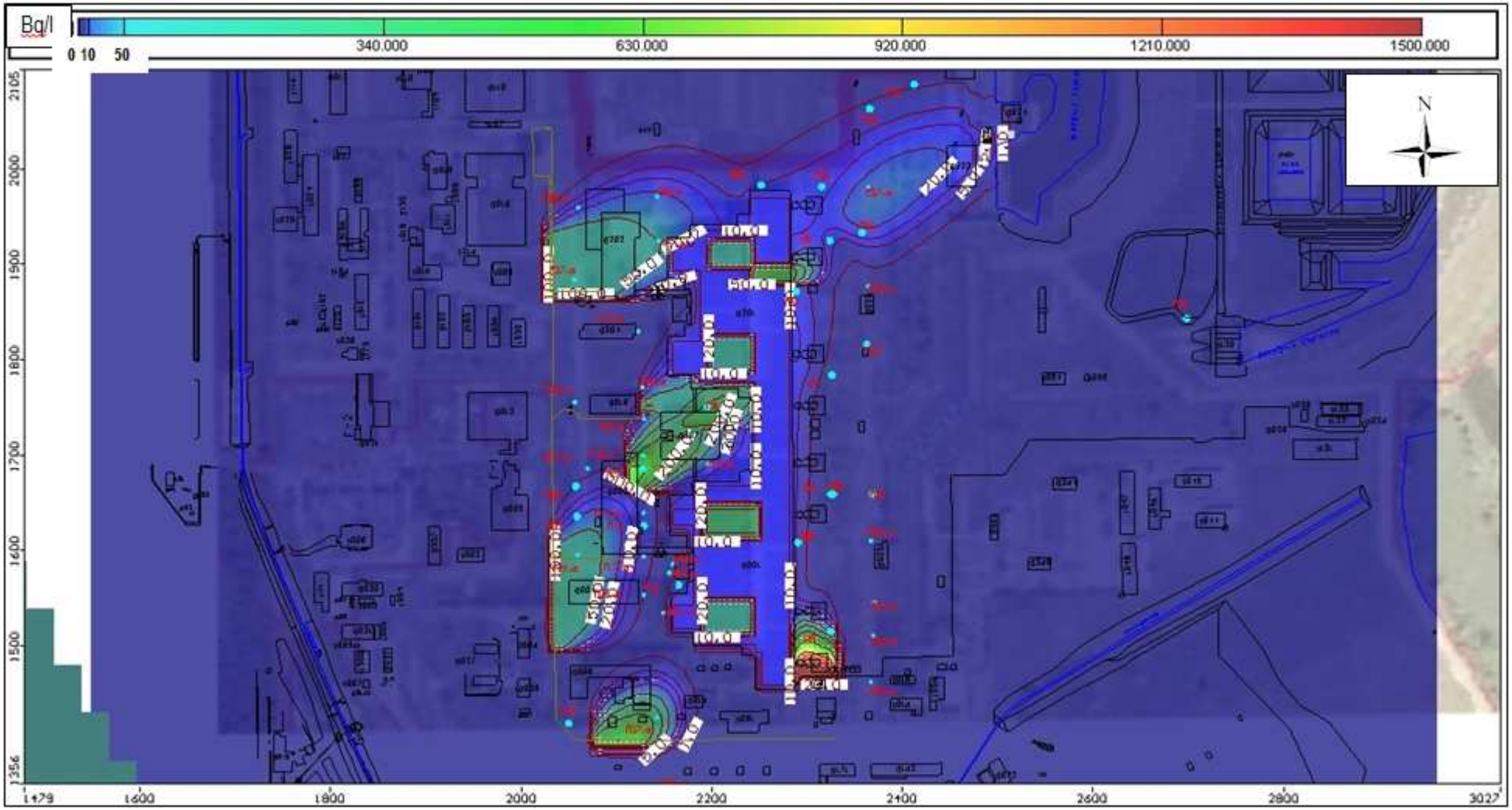
A T28 kútban tapasztalt trícium aktivitáskoncentrációk felvetik a TM55 vezeték főépülettől távolabbi, korábban hibás vezeték szakaszainak lehetséges szerepét. Nem kizárt, hogy a telítetlen zónában innen maradt vissza olyan terhelés, ami az erősen ingadozó vízszinteknek köszönhetően esetenként még most is megemelkedett trícium koncentrációt okoz a kútban. A nagyobb trícium aktivitáskoncentrációjú vizek a melegvizes csatornába a Duna felőli oldalon ömlenek be. Valószerűtlen, hogy ez okozná a T28 kútban tapasztalt értékeket.



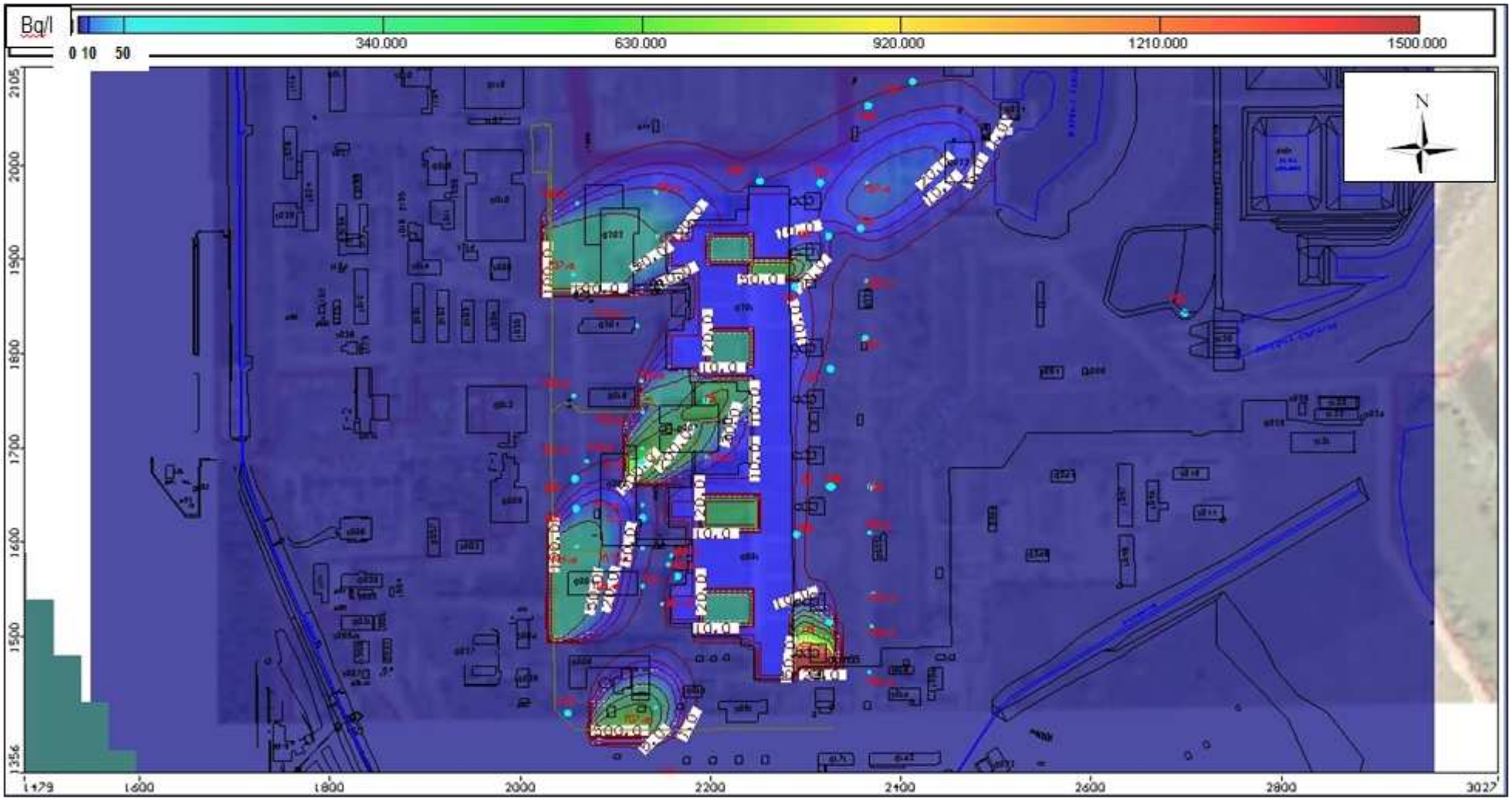
6.8-84. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.06.11.-én.



6.8-85. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.08.12.-én.



6.8-86. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.10.07.-én.

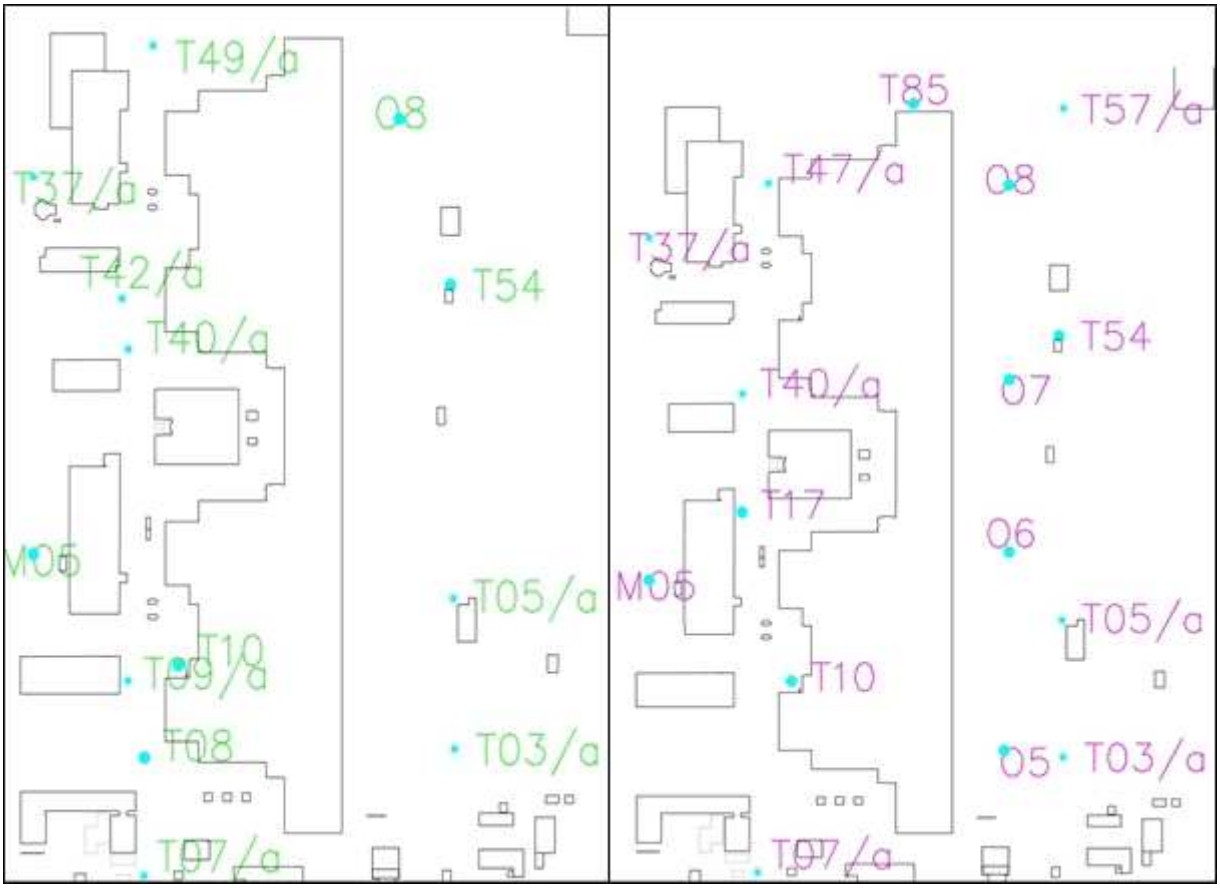


6.8-87. ábra: A térségben becsült trícium aktivitáskoncentráció eloszlás 2011.10.16.-án.

6.9 MODELL VALIDÁLÁSA A MÉRÉSI ADATOK ALAPJÁN

Az eredmények realitását ellenőriztük. A számolt értékeket számos, a vizsgált periódusban (2011.05.01.-2011.10.31.) mért vízszinttel és trícium aktivitáskoncentrációval összehasonlítottuk.

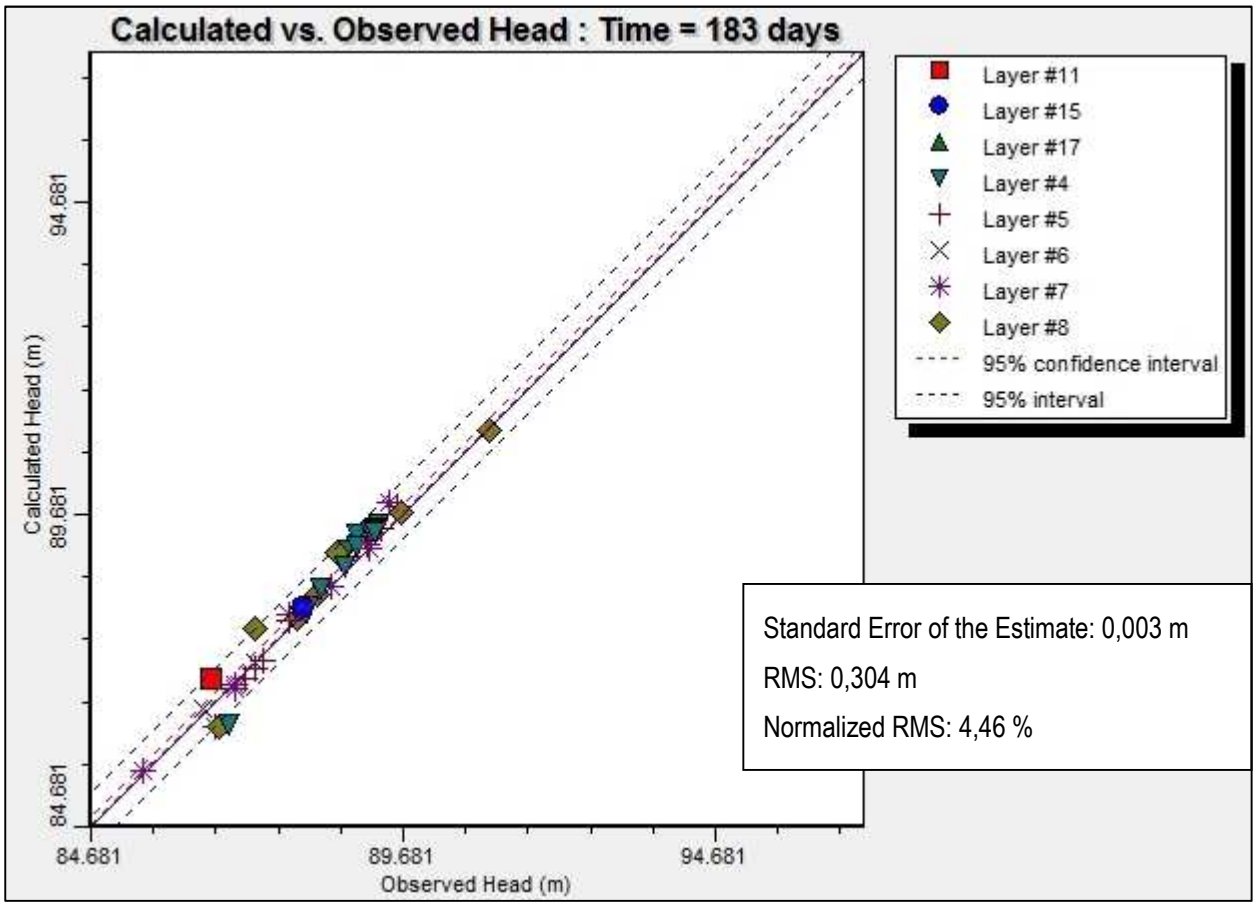
A *6.9-1. ábra* bemutatja azokat a kutakat, amelyek vízszintjének, és/vagy trícium tartalmának számolt értékekkel történt összehasonlítása alapján kalibráltuk a modellt. Jelen számolások esetén elsősorban a főépület környezetére koncentráltunk. A validáló kutak a főépületet veszik körbe.



6.9-1. ábra: A vízszintek (zöld) és a trícium koncentrációk (lila) ellenőrzésére szolgáló kalibrációs kutak elhelyezkedése az erőmű szűk környezetében.

Azon további kutak esetén, amelyek a bemenő adatok, „constant head”-szintek kialakításánál alapul szolgáltak, teljes vízszintegyezést kapunk. Teljes az egyezés például a PK2, PK3, PK4, PK5, T59, T83, T84, KH01, KH02, KH04, O5, O6, O7, O8, HVCS-vízmű szintjei esetén Az eredmények a számolt vízszintek tekintetében teljesen meggyőzőek.

A *6.9-2. ábra* bemutatja a „constant head”-ek kijelölésében részt nem vevő, kalibráló kutak számolt és mért szintjeinek összehasonlítását a teljes modellezett periódusra. A számolt vízszintek jól követik a mért szintek dinamikáját. A Standard Hiba: 0.003 m, az RMS (Root Mean Square): 0,304 m, a normált RMS értéke 4,46 %. A fenti összehasonlításban a triviálisan egyezést mutató, konstans szintek kijelölésénél szerepet játszó kutak adatai nincsenek jelen.



Egyazon rétegben szűrőzött kutak ugyanazt a jelölést kapják.

6.9-2. ábra: A számolt és mért vízszintek összehasonlítása a fő épületet övező kalibrációs kutakban.

Az ún. RMS (Root Mean Square) hiba értékét a transzformációs függvény alapján számított hely és a referenciaként megadott hely számított távolságai négyzetösszegének számtani közepéből vont négyzetgyökeként lehet megadni. Ha *F(x)* a transzformáció függvénye, egy *P* pont forráskoordinátáit (X_p ; Y_p) -vel, referenciakoordinátáit (X'_p ; Y'_p) -vel jelöljük,

akkor az eltérés: $$e_p = \sqrt{(\mathrm{F}(x_p) - x'_p)^2 + (F(y_p) - y'_p)^2}.$$

Az RMS hiba értékét *p* számú pont esetén a következő képlettel lehet kiszámítani:

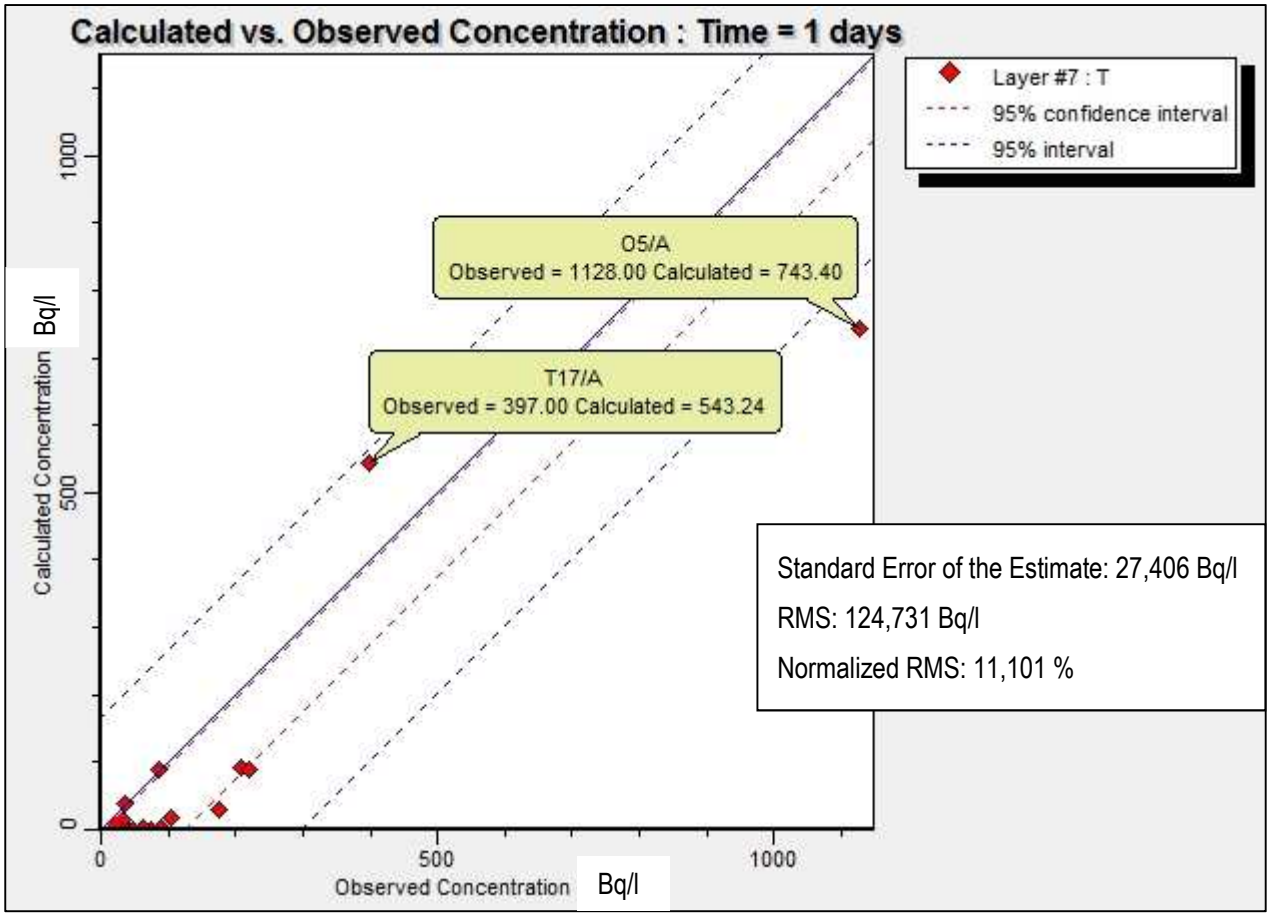
$$RMS = \sqrt{\frac{{e_1}^2 + {e_2}^2 + {e_3}^2 + \cdots + {e_p}^2}{p}}.$$

A szintek kalibrálása alapján a sebességtér, a sebességtér anizotrópiája, a pályák, az elérési idők reálisnak tekinthetők. A modellt hosszú távon is megbízhatónak validálják a korábbi számolások, amelyek például a 2006 évi extrém vízállás dinamikával jellemezhető hidrológiai viszonyok között is kielégítő eredményeket adtak (ISOTOPTECH Zrt. PAE-ISO 02/2009/SZ)

A modell sebességterét olyan helyekkel kapcsoltuk össze, amelyek esetén feltételeztük, hogy az adott hely, például blokk alatti terület, csővezeték adott szakasza, trícium forrásként funkcionálhat. A trícium lencse számolása során feltételeztük, hogy a kiválasztott helyeken, a trícium talajba kerülése miatt mindig meghatározott, a terheletlen területre jellemzőnél magasabb koncentráció alakul ki. Az ezeken a helyeken bevitt és a mérési adatokhoz illesztett kezdeti feltételként megadott trícium mennyiségének további kiterjedését számolja a modell. A kezdeti feltételként adott trícium lencsét egy a tranziens számolást megelőző, 2011 május 1-i viszonyokat figyelembe vevő, időben állandósult állapotnak megfelelő egyenleteket megoldó „steady state” szimulációból kaptuk.

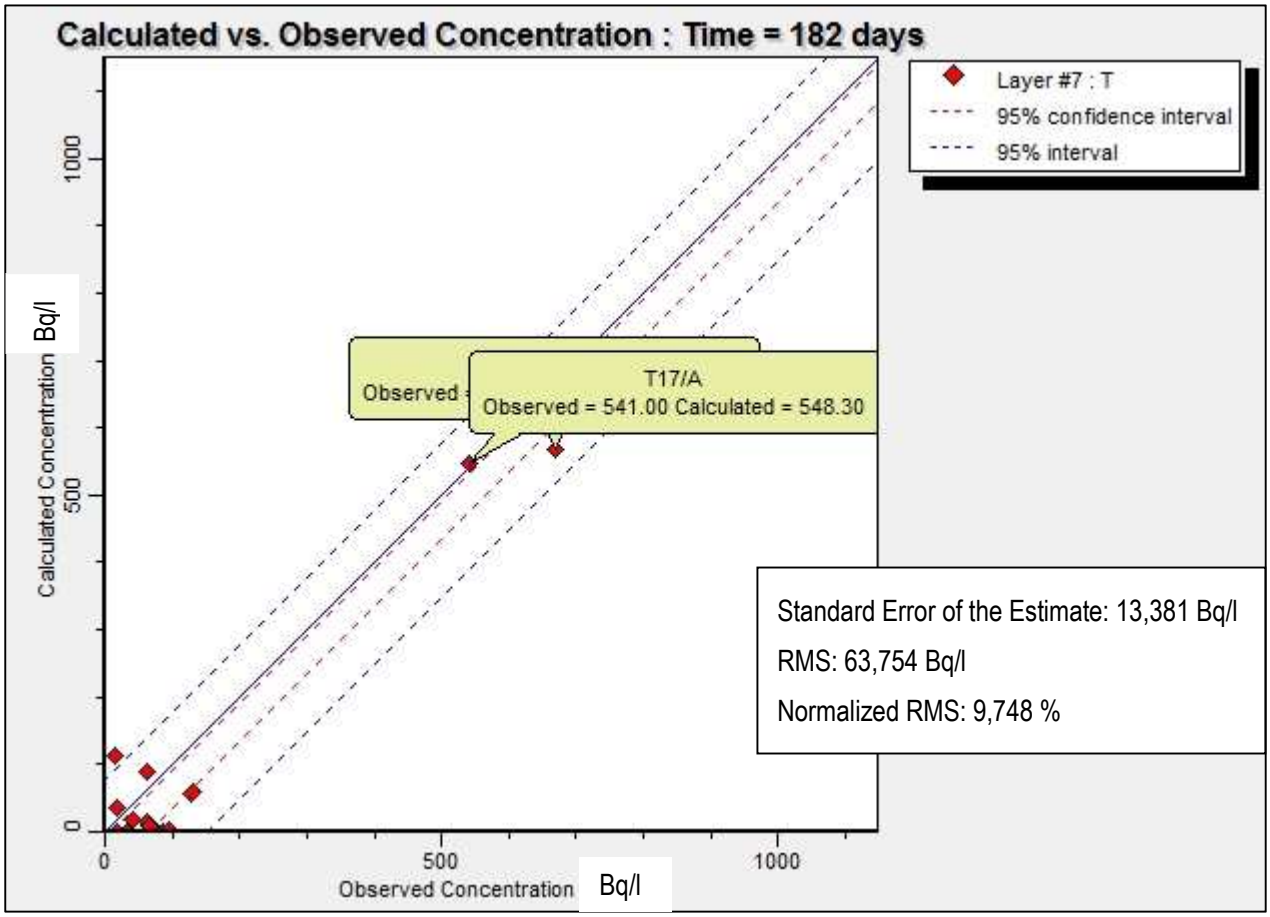
A *6.9-3. ábra* és *6.9-4. ábra* bemutatja a számolt és mért koncentráció értékeket a vizsgált ciklus elején és a ciklus végén. A korábbi modellezések során egyes időszakokban jellemző volt a koncentráció túlbecsült értéke. A jelenlegi számolás esetén ez kevésbé jellemző. A számolt trendek és a nagyságrendek megfelelnek a mért értékeknek. Az O5 esetén a program alábecsült értéket mutat, míg a T17 kút esetén még mindig előfordul némi túlbecslés a mért értékekhez képest. A TM55 vezeték és a szennyvízcsatorna javításának köszönhetően a mért értékek, bár még nincsenek stabilan 1000 Bq/l alatt, mégis egy összességében csökkenő trend figyelhető meg. A normált RMS értéke mind a vizsgált időszak elején, mind az időszak végén 15% alatti. A becslés sztenderd hibája 30 Bq/l alatt marad.

A vizsgált időszak kezdete:



6.9-3. ábra: A számolt és mért trícium koncentrációk összehasonlítása a fő épületet övező kutakban. 2011. május 1.

A vizsgált időszak vége.



6.9-4. ábra: A számolt és mért trícium koncentrációk összehasonlítása a fő épületet övező kutakban. 2011. október 31.

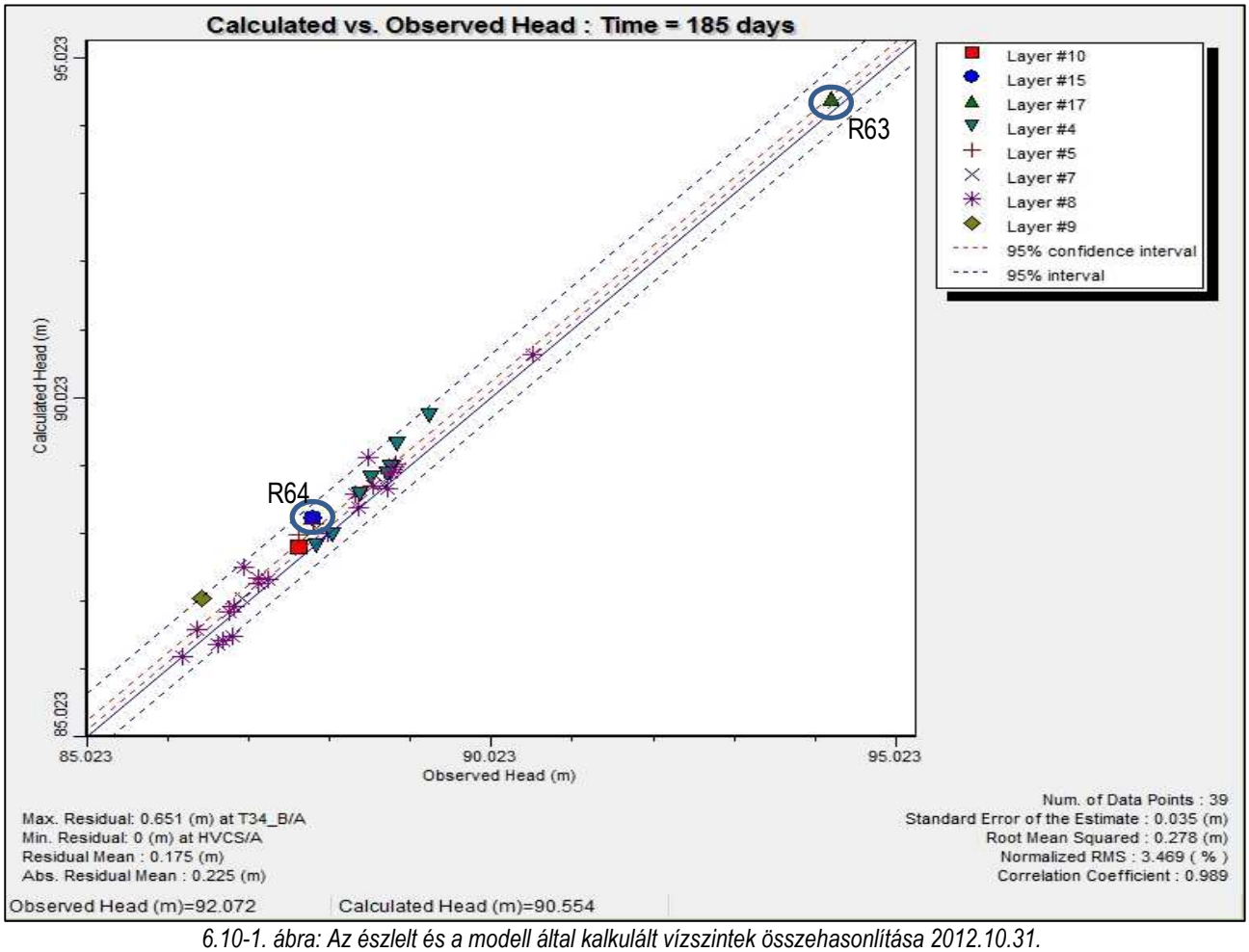
Az O5 kút környezetében a TM55 vezeték korábbi meghibásodásából visszamaradt trícium koncentrációja már 1000Bq/l körül ingadozik. Ugyanakkor számos esetben előfordulnak jóval 1000Bq/l alatti mért értékek is a Duna vízállásától és a telített-telítettlen zóna kölcsönhatásaitól függően. A modell egyes esetekben túlbecsülheti a tényleges koncentráció értékét.

6.10 A TALAJVÍZ ÉS A RÉTEGVÍZ KÖZÖTTI TRANSZPORTFOLYAMATOK ÉRTÉKELÉSE.

6.10.1 A RÉTEGVÍZ KUTAK ÉS A TELÍTETT FELSŐ ZÓNÁBAN SZŰRŐZÖTT KUTAK SZINTJEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA ÉS ELEMZÉSE

Felmerült a kérdés, hogy az R63 és R64 rétegvíz kutak esetén mi okozza az R63-as kút magasabb vízszint értékét. Az R64 kút kommunikál a talajvízszinttel, tehát hidraulikai kapcsolatban áll a felső telített zónával. Megegyezik a vízszint mért értéke a környező kutakkal. Az R63 kutat magasabb nyomás jellemzi, körülbelül 6-7 m-rel magasabb a mért vízszintje a környező kutakénál.

Az adott kutak környezetében elemeztük a rétegszerkezetet és a szemcseösszetételt. A magasabb nyomás lehetséges magyarázata, hogy az R63 kút szűrőzött rétege fölött egy második agyagréteg húzódik, mely hullámosan települt és jóval zártabb, egybefüggőbb és kevésbé áteresztő rétegként viselkedik. Az adott réteg hidrosztatikai nyomását, a magasabban fekvő löszplató hidraulikai paraméterei határozzák meg. Tehát az R63 kút szűrője a fent említett vízrekesztő réteg alatt, míg az R64-é pedig felette helyezkedik el. Ez magyarázhatja a két kút vízszintjeiben mért különbséget. A modellben ezt a feltevést alkalmaztuk és ez jól visszaadja a két kút vízszintjének időbeni változásait. A *6.10-1. ábra* mutatja, hogy a modell által kalkulált értékek jól közelítik a mért értékeket.



6.10-1. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.10.31.

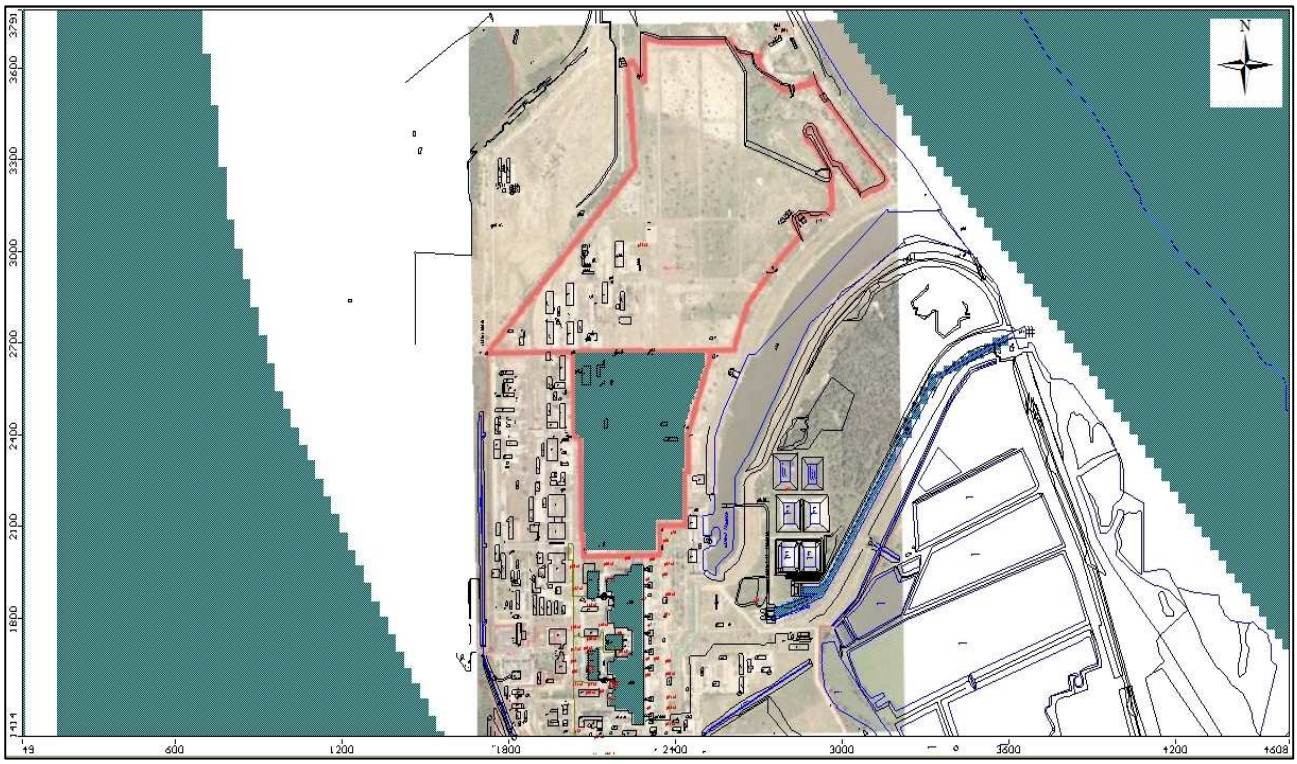
6.11 AZ ÉPÍTÉS ALATT VÁRHATÓ VÍZKIEMELÉS MÉRTÉKÉNEK ÉS HATÁSAINAK ELŐREJELZÉSE

6.11.1 ALAPADATOK

A munkagödör horizontális méretét 36 ha-ban, azaz 360.000 m^2-ben, továbbá a felszíntől (97 mBf) való mélységét 21 m-ben határoztuk meg előzetes egyeztetés alapján. Az építési terület egészét lefedő inaktív tömböt (a modellezés során a talajvízáramlásban részt nem vevő térfogati tömb) drén hálózattal vettük körbe, mely segített a várható vízkiemelés mértékének becslésében. A modell bemeneti paramétereit 2012. második hidrológiai félév (2012.05.01-2012.10.31) adataival aktualizáltuk azért, hogy a legfrissebb adatokkal mutathassuk be a telephely környezetében uralkodó hidrológiai folyamatokat.

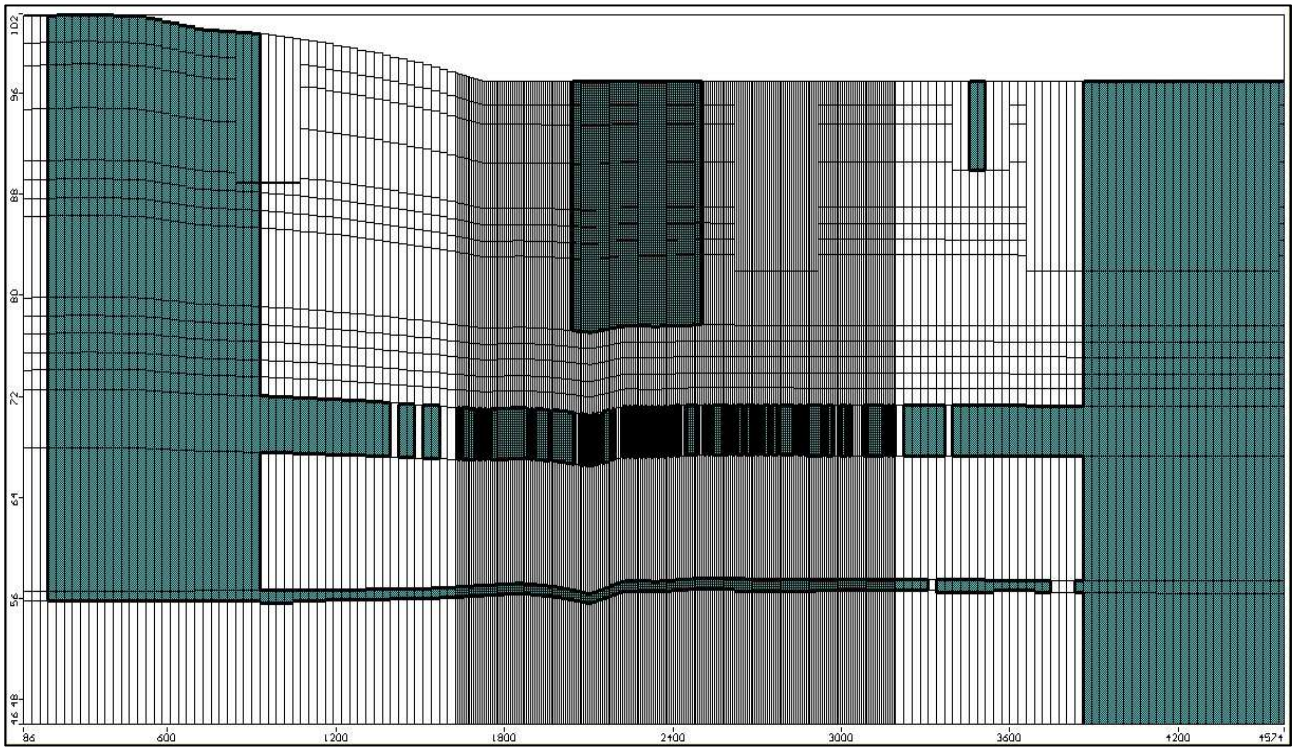
6.11.2 EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A *6.11-1. ábra* - *6.11-4. ábra*sorozaton bemutatjuk a munkagödör horizontális és vertikális paramétereit, illetve a drénhálózat elhelyezkedését.



6.11-1. ábra: A munkagödör horizontális elhelyezkedése.

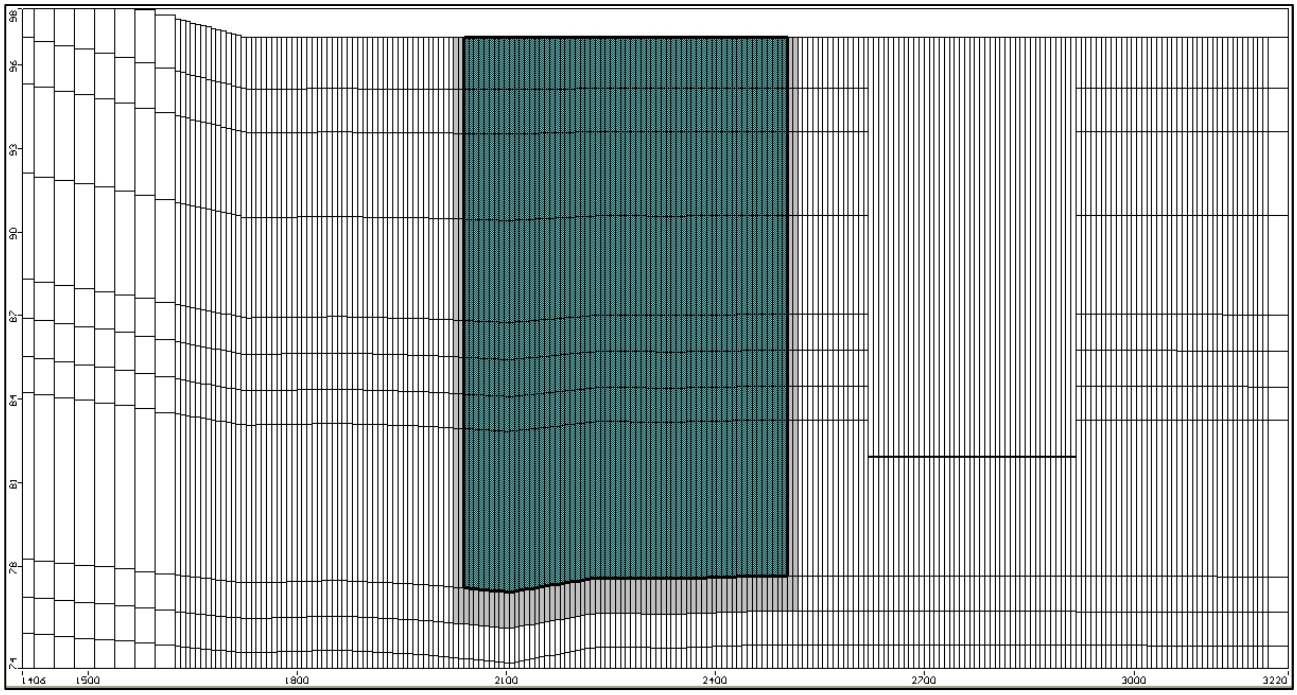
Az ábra az 1. szelvény nyomvonala mentén értelmezendő.



6.11-2. ábra: A munkagödör vertikális elhelyezkedése.

6.11-3. ábra: A drénhálózat horizontális képe.

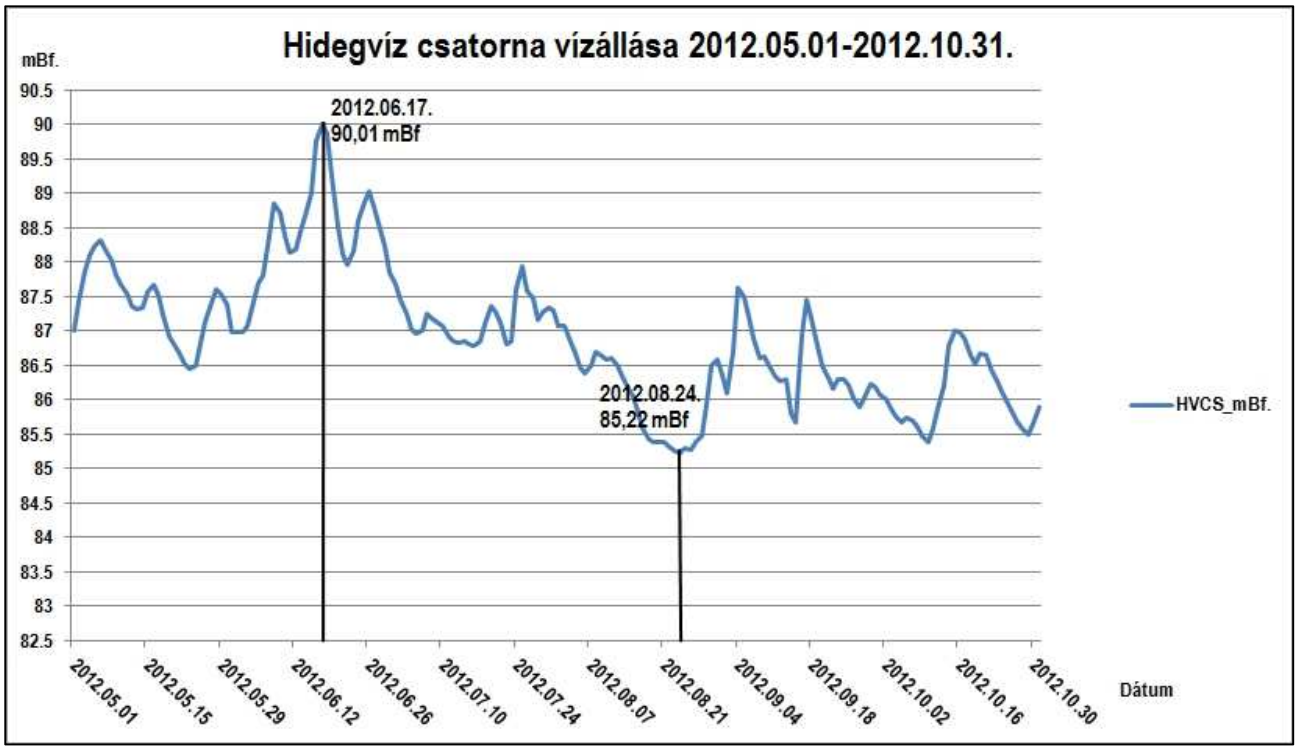
Szürke színnel jelöltük a drénhálózatot az 1. szelvény nyomvonala mentén. A munkagödör mélysége 21 m, 76-77 mBf szintig terjed.



6.11-4. ábra: A drénhálózat vertikális képe.

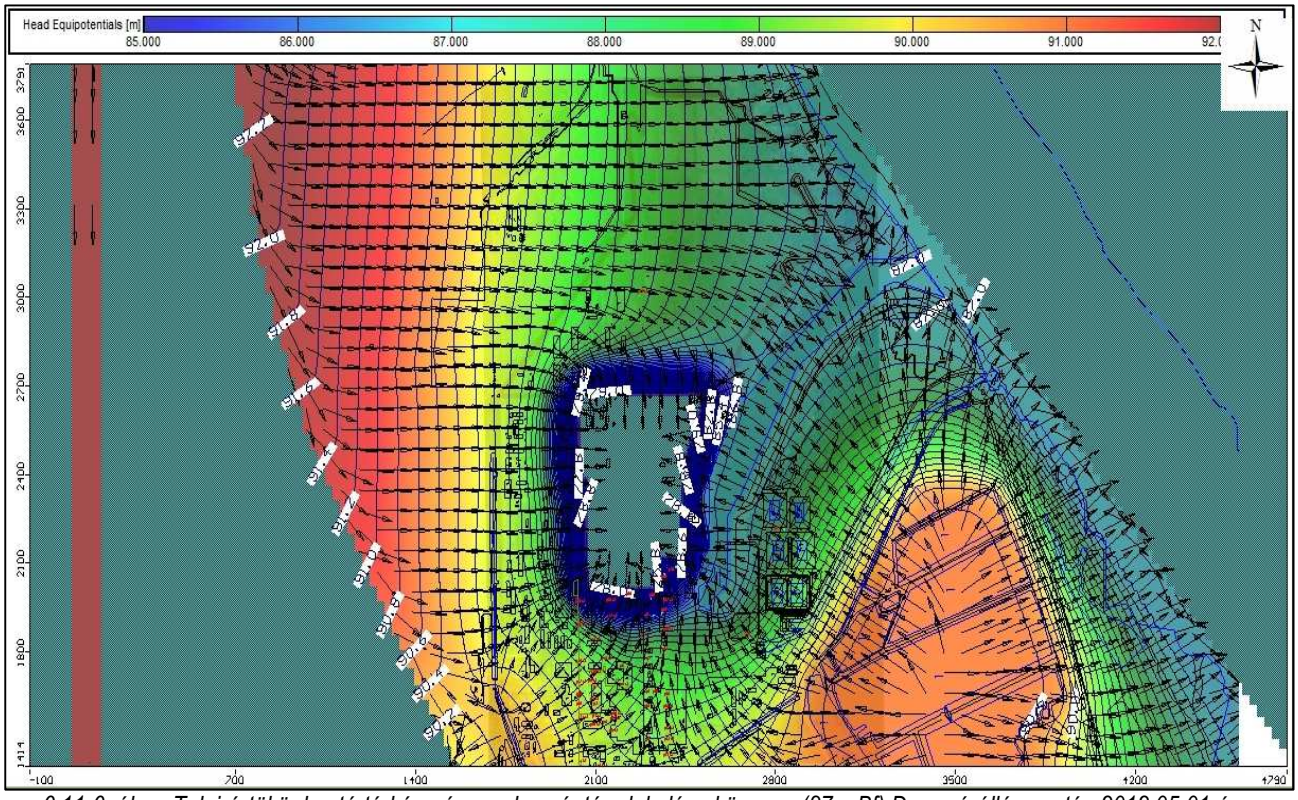
6.11.3 A MUNKAGÖDÖR VÍZTELENÍTÉS TALAJVÍZSZINTRE ÉS SEBESSÉGTÉRRE GYAKOROLT HATÁSA

A hidegvíz csatorna vízállása 2012. második hidrológiai félévében 85,22 mBf (KV) és 90,01 mBf (NV) között ingadozott.

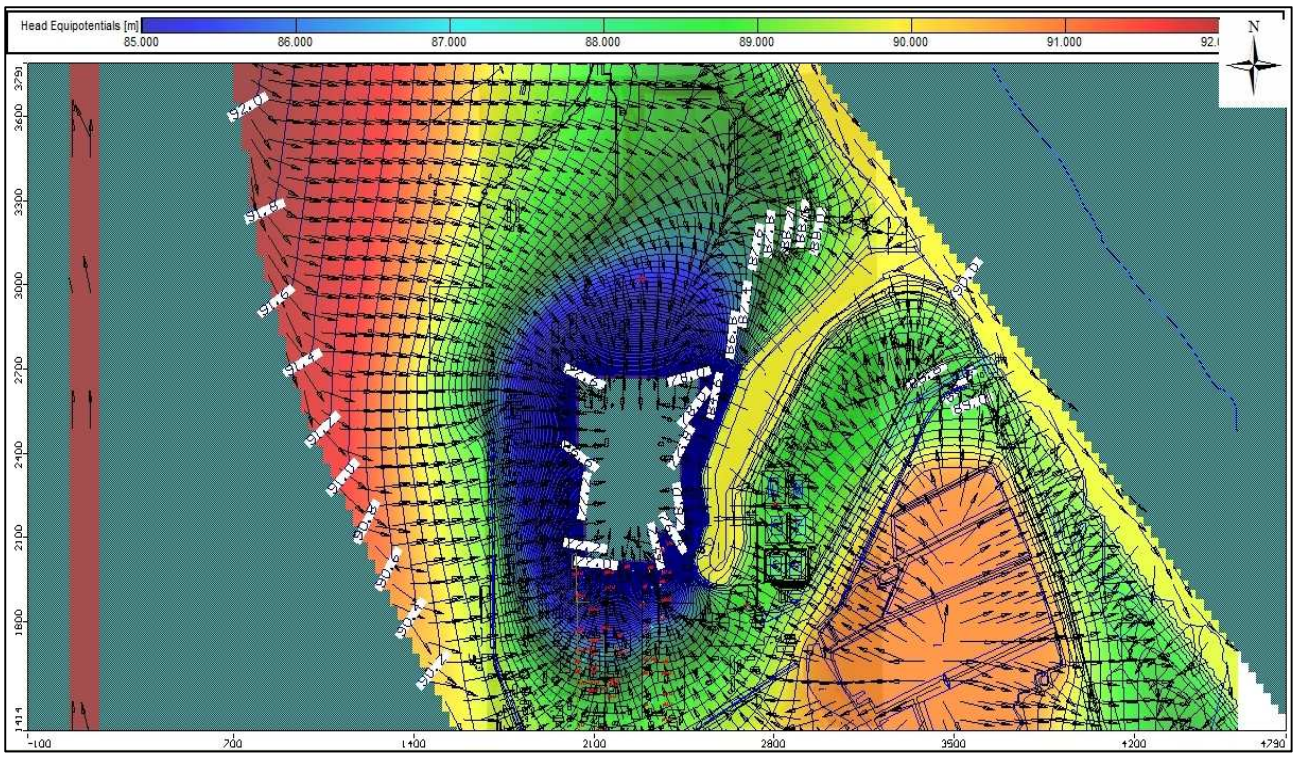


6.11-5. ábra: A hidegvíz csatorna vízszintjei a vizsgált időszakban.

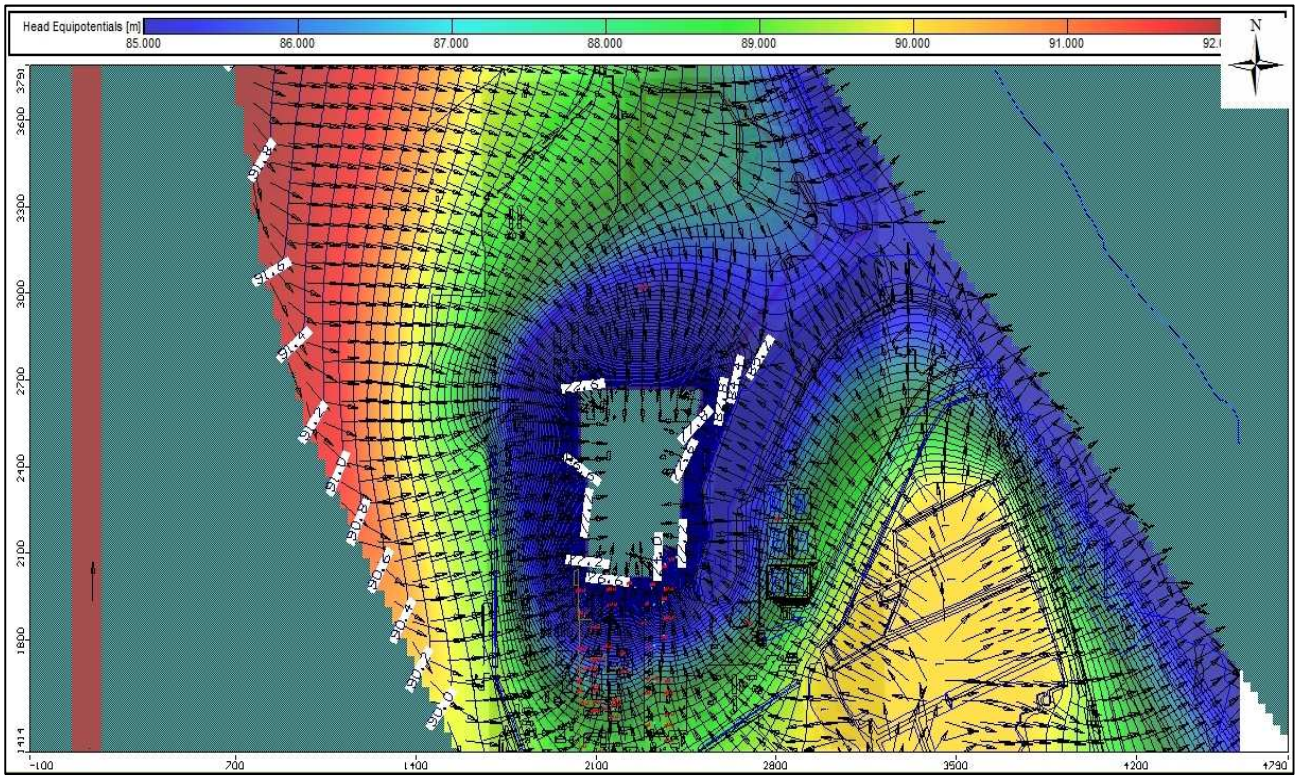
A *6.11-6. ábra* - *6.11-9. ábra*sorozaton a talajvíztükör horizontális alakulását mutatjuk be:



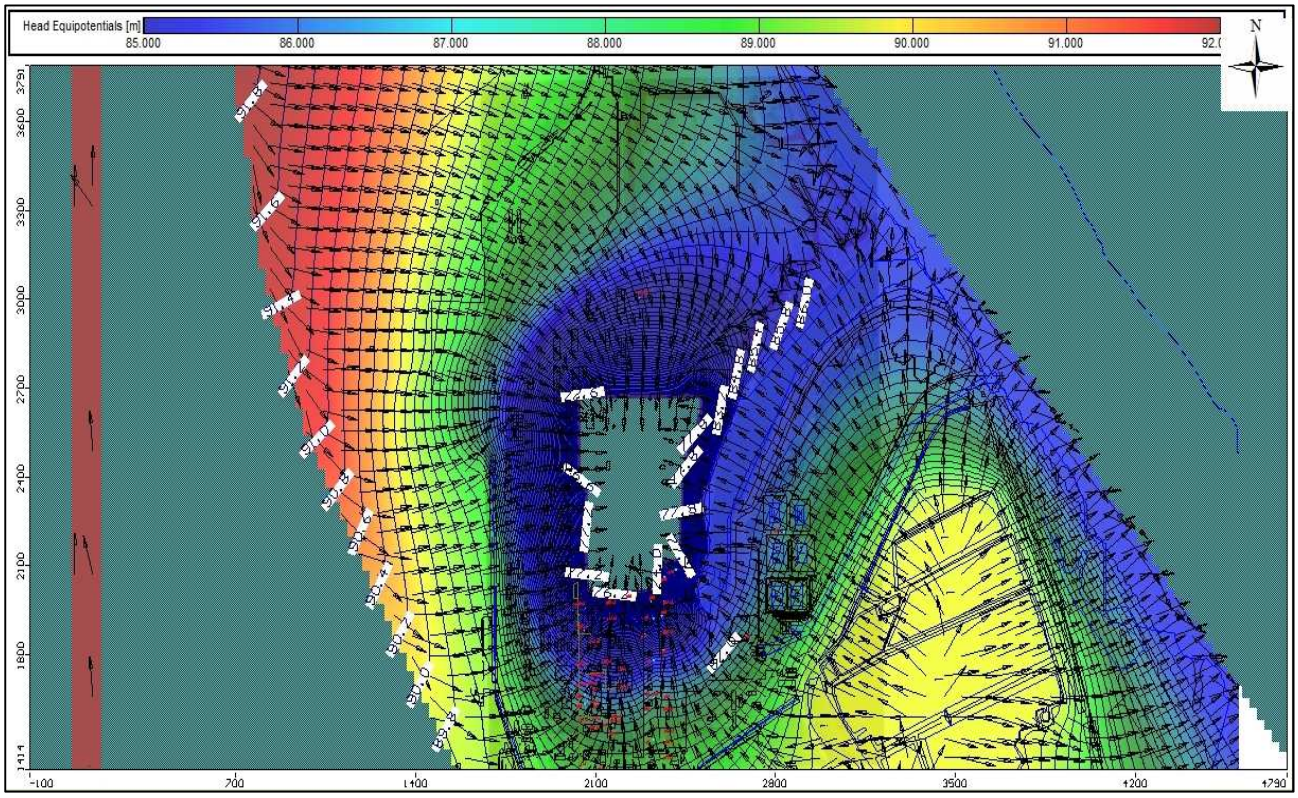
6.11-6. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.05.01-én.



6.11-7. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.06.17-én.



6.11-8. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.08.24-én.

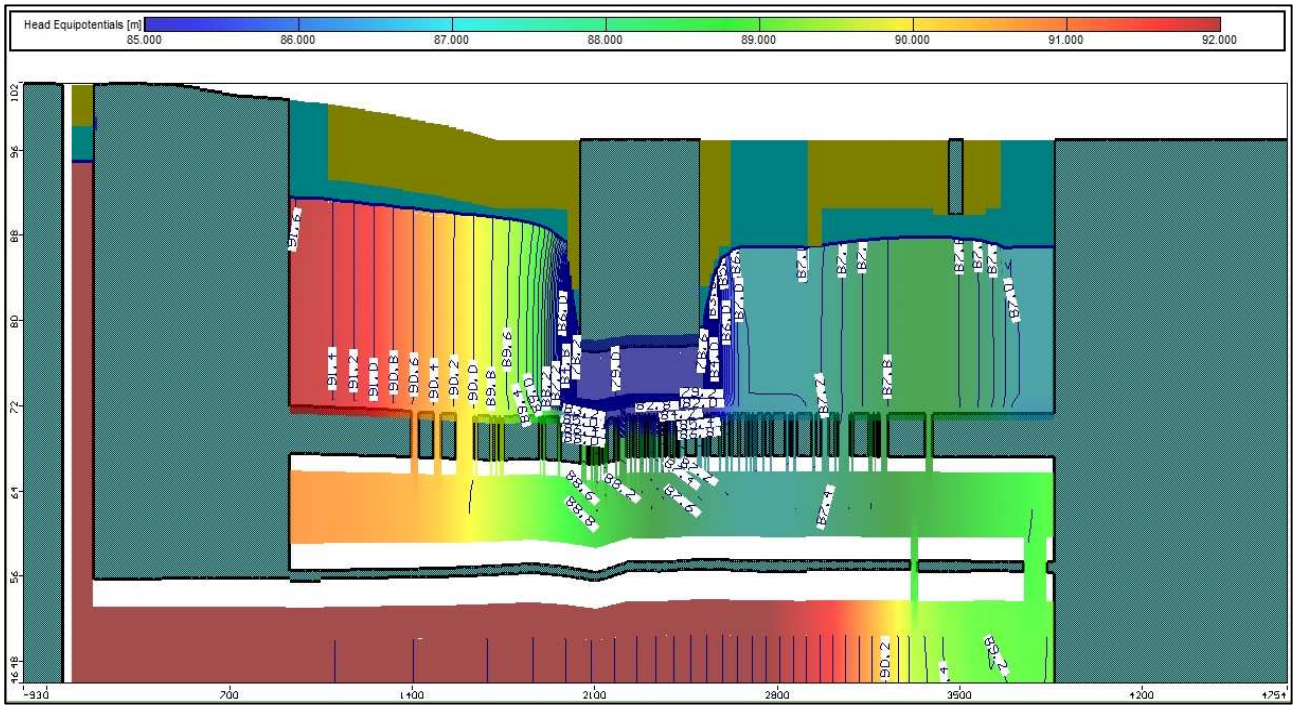


6.11-9. ábra: Talajvíztükör kontúrtérképe és a sebességtér alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.10.31-én.

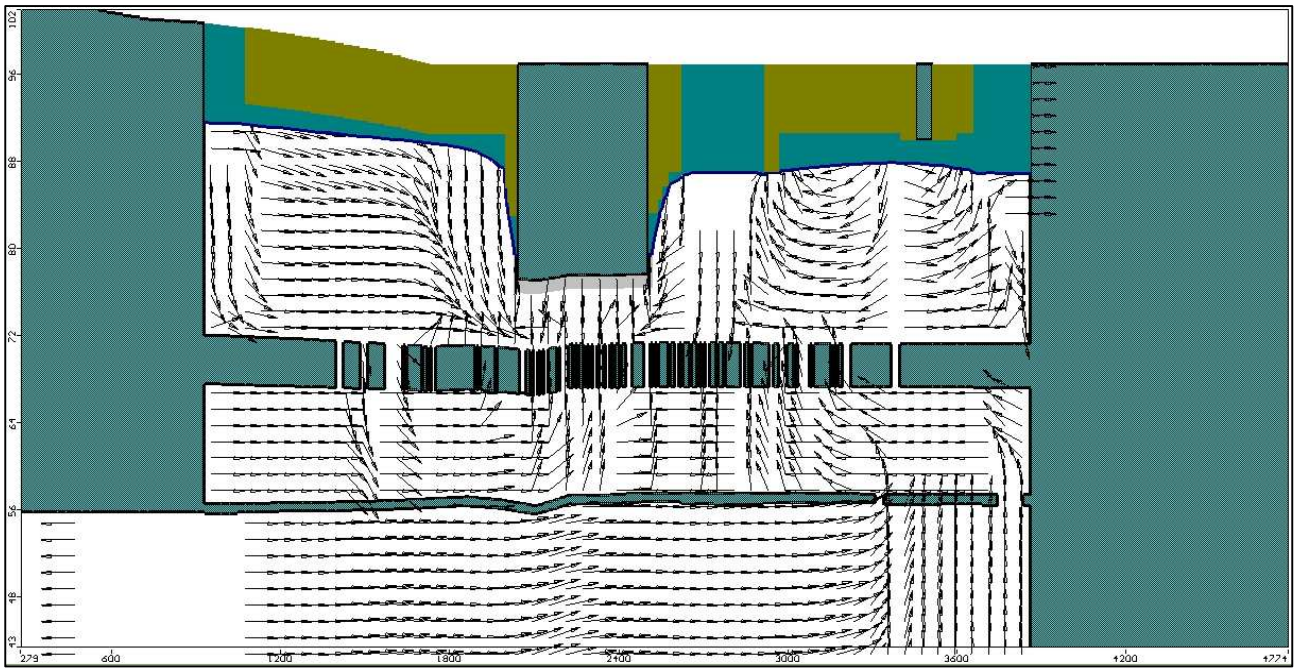
A *6.11-6. ábra* - *6.11-9. ábra*sorozaton látható, hogy a vizsgált időszak kezdetén csak a munkagödör közvetlen környezetében figyelhető meg depresszió (talajvízszint csökkenés). A sebességtér is ennek megfelelően alakul. Majd az

idő előrehaladtával egyre nagyobb depressziós tölcsér alakul ki a munkagödör környezetében és a sebességtér módosulása is arra enged következtetni, hogy egyre nagyobb területről és intenzitással fog a munkagödör irányába áramlani a víz. Ennek hidraulikai magyarázata abban rejlik, hogy a víz gravitációs hatások következtében mindig a legalacsonyabb potenciálú hely felé áramlik.

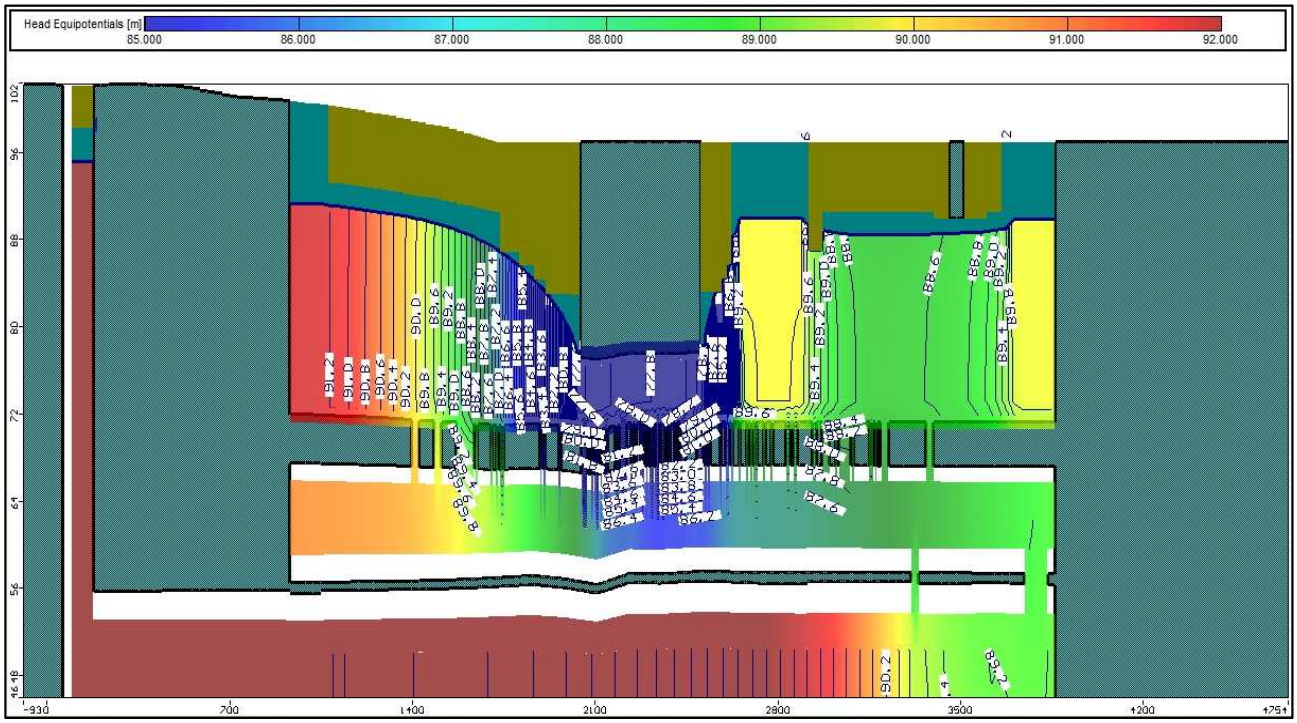
A *6.11-10. ábra* - *6.11-17. ábra*sorozaton bemutatjuk a talajvíztükör és sebességtér vertikális eloszlását, melyek az 1. szelvény mentén értendőek. A sebességteret bemutató ábrák a munkagödör környezetében illetve az agyagos, gyenge szivárgási tényezőjű rétegek között kialakuló viszonyokat ábrázolják.



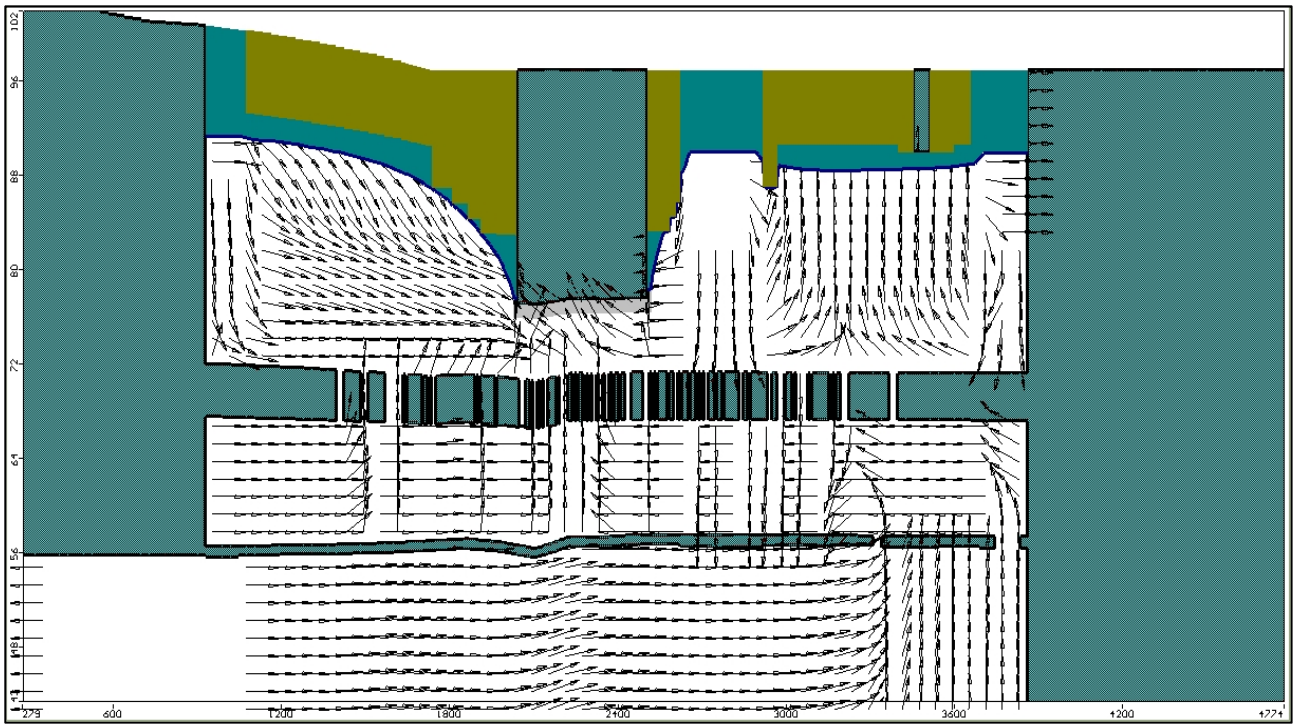
6.11-10. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én.



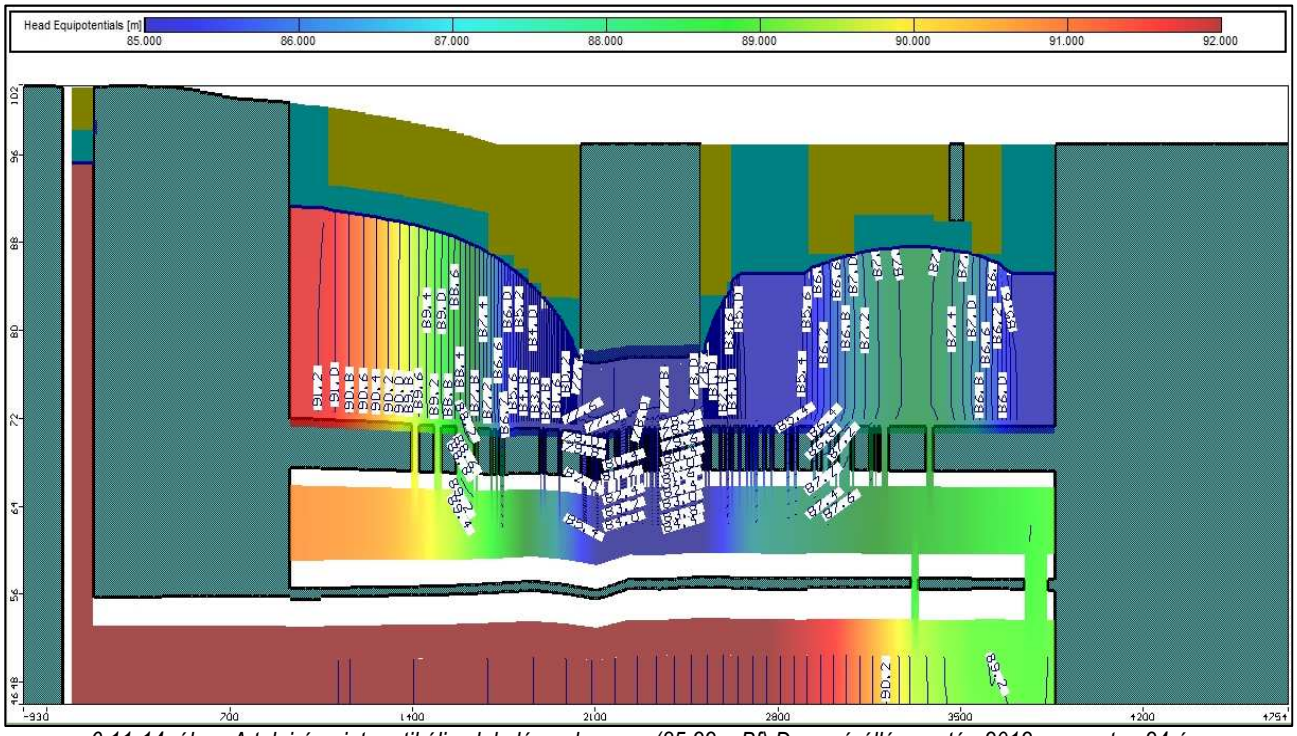
6.11-11. ábra: Sebességtér vertikális alakulása közepes (87 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én.



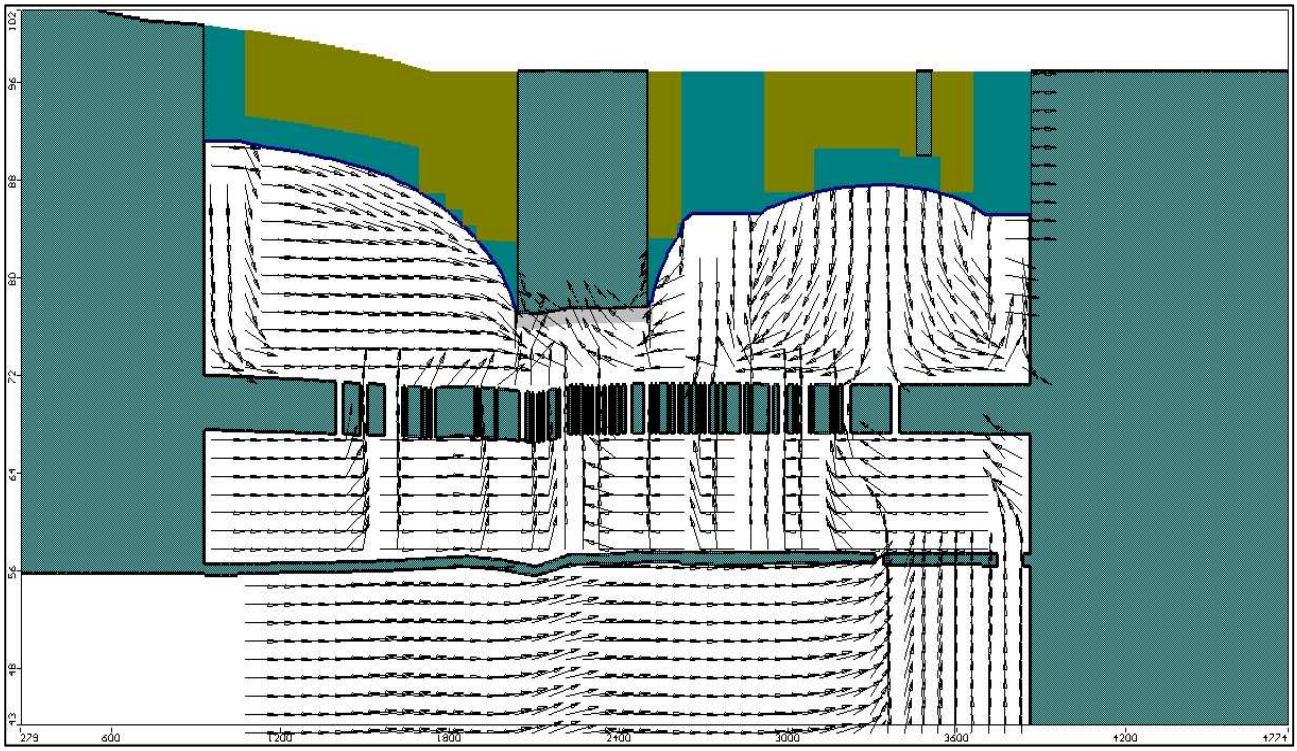
6.11-12. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.május 01-én.



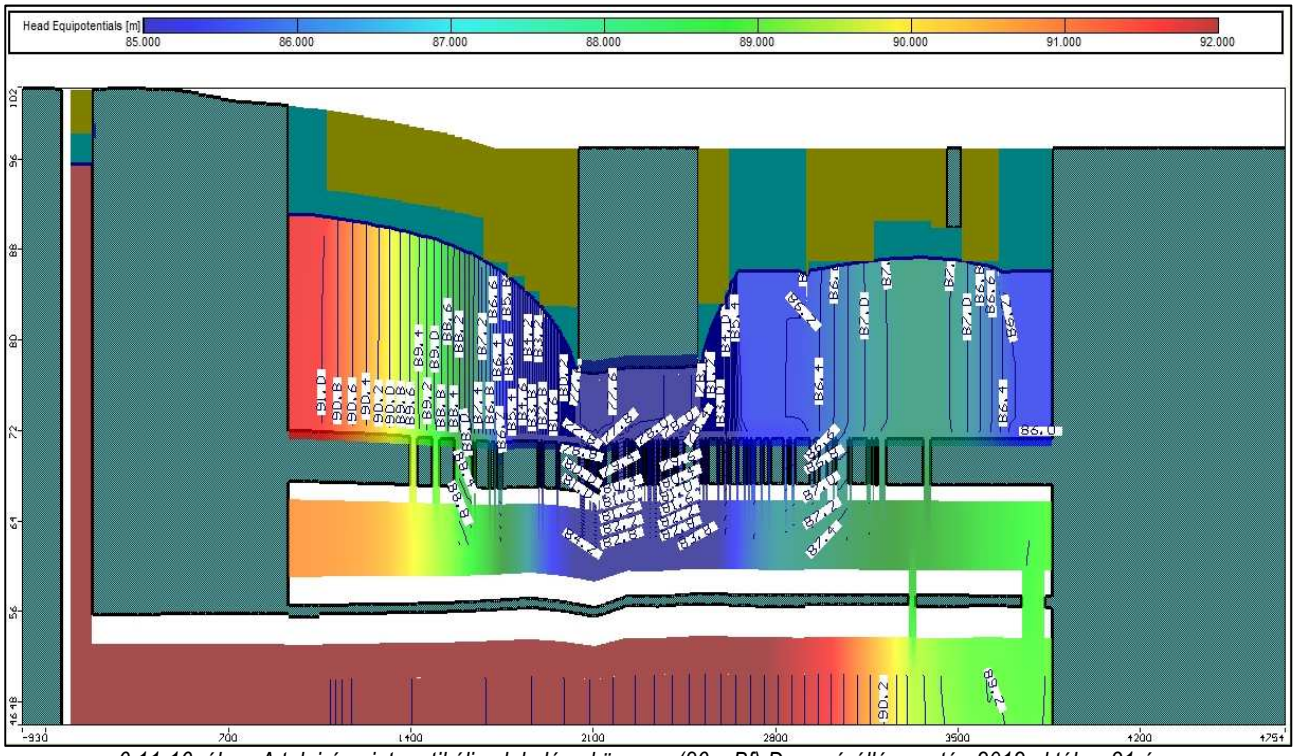
6.11-13. ábra: Sebességtér vertikális alakulása magas (90,01 mBf) Duna vízállás esetén 2012.június 17-én.



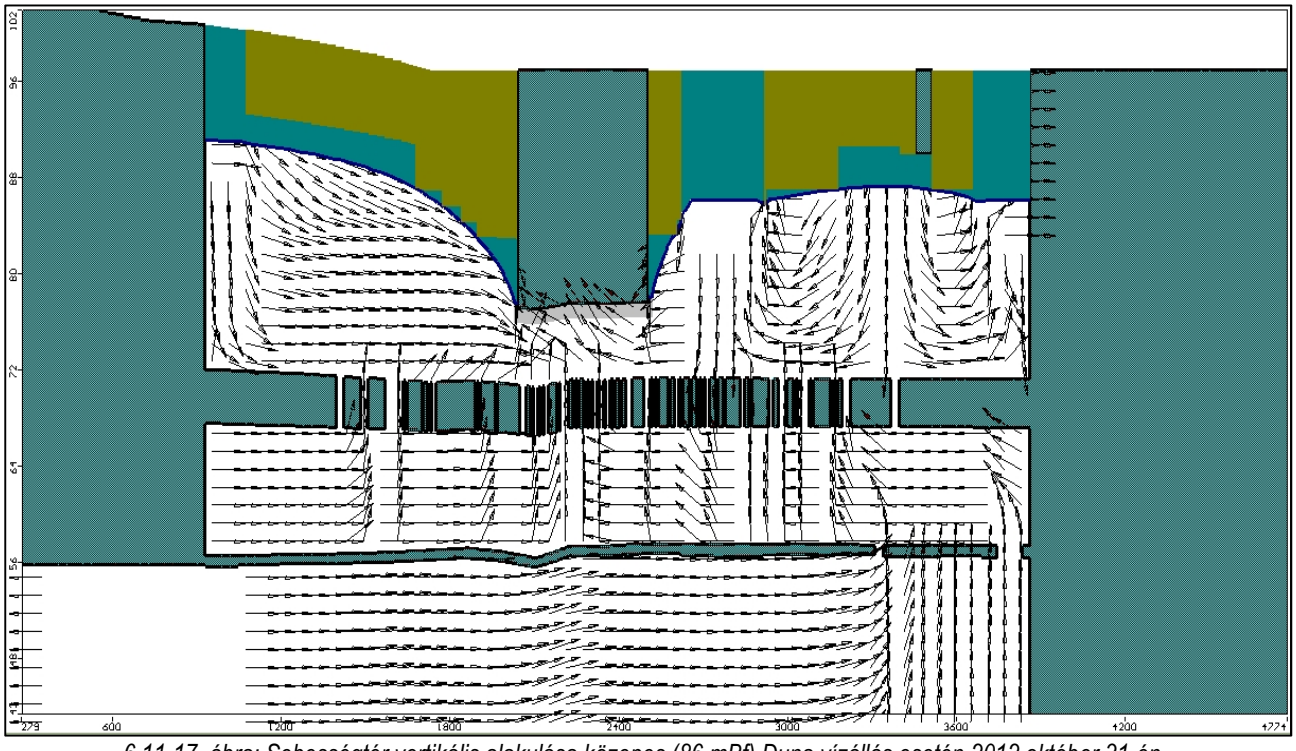
6.11-14. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.augusztus 24-én



6.11-15. ábra: Sebességtér vertikális alakulása alacsony (85,22 mBf) Duna vízállás esetén 2012.augusztus 24-én.



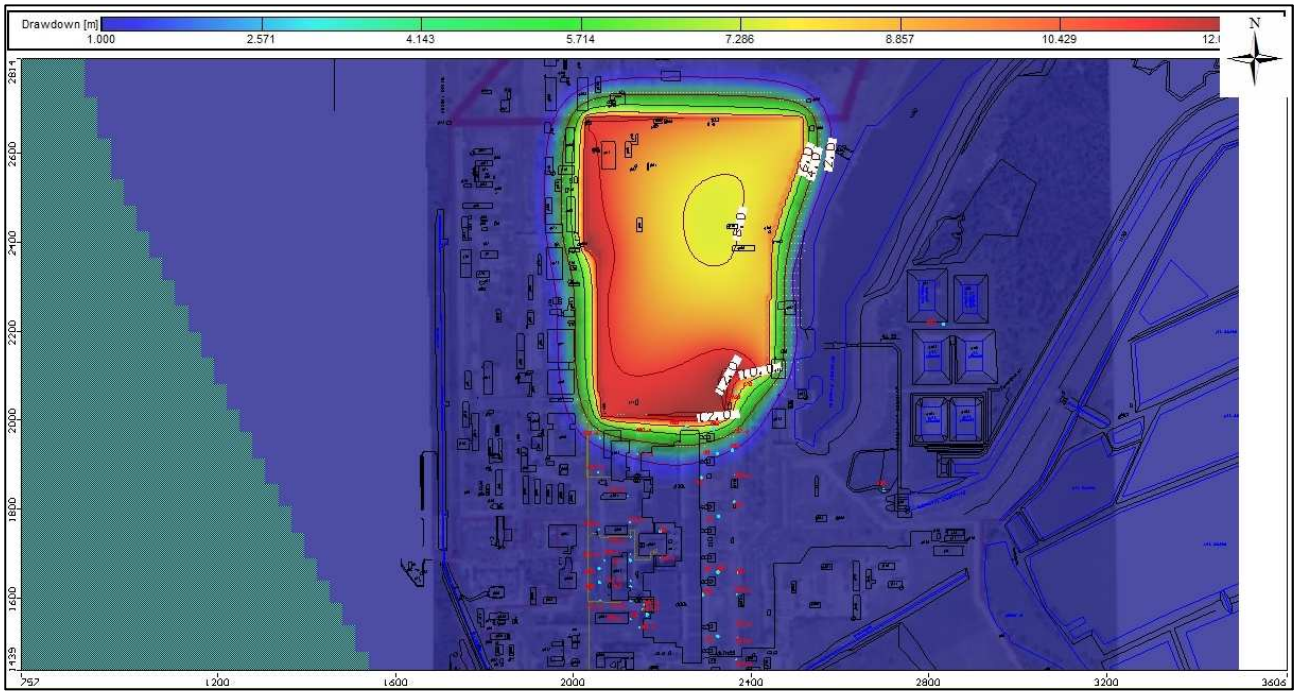
6.11-16. ábra: A talajvízszint vertikális alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.október 31-én.



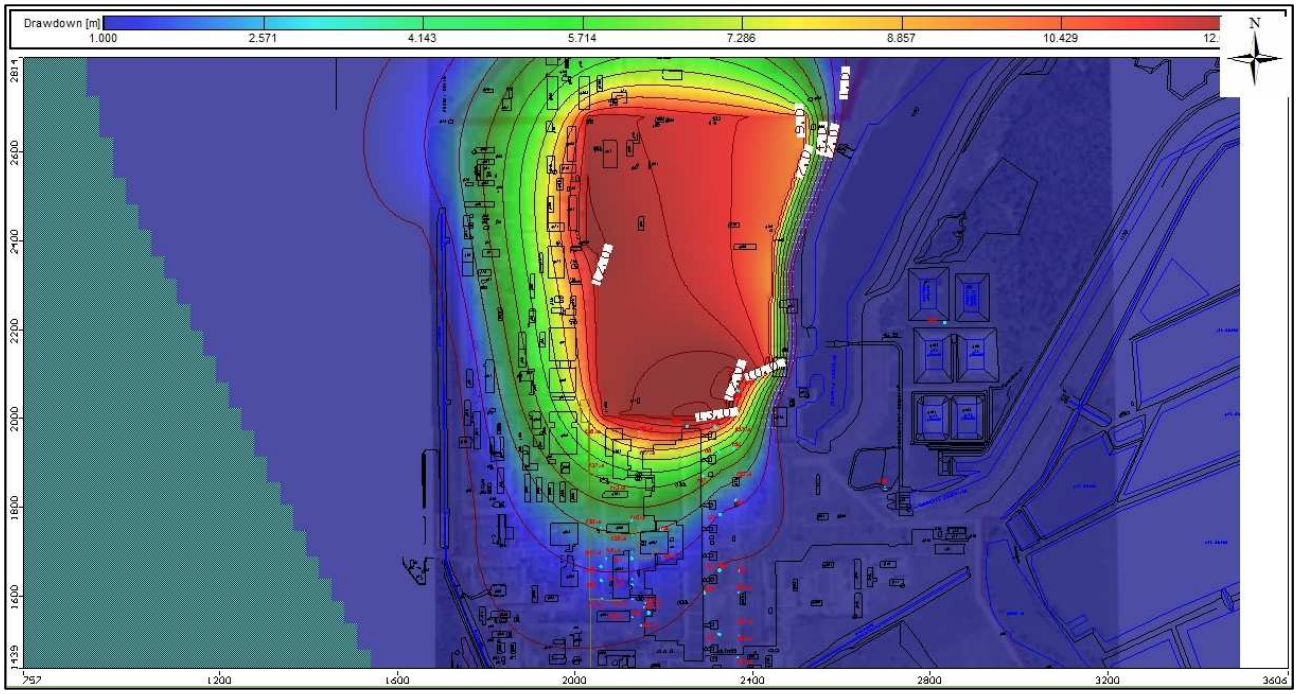
6.11-17. ábra: Sebességtér vertikális alakulása közepes (86 mBf) Duna vízállás esetén 2012.október 31-én.

6.11.4 A DEPRESSZIÓS (LESZÍVÁS) ÉRTÉKEK ALAKULÁSA

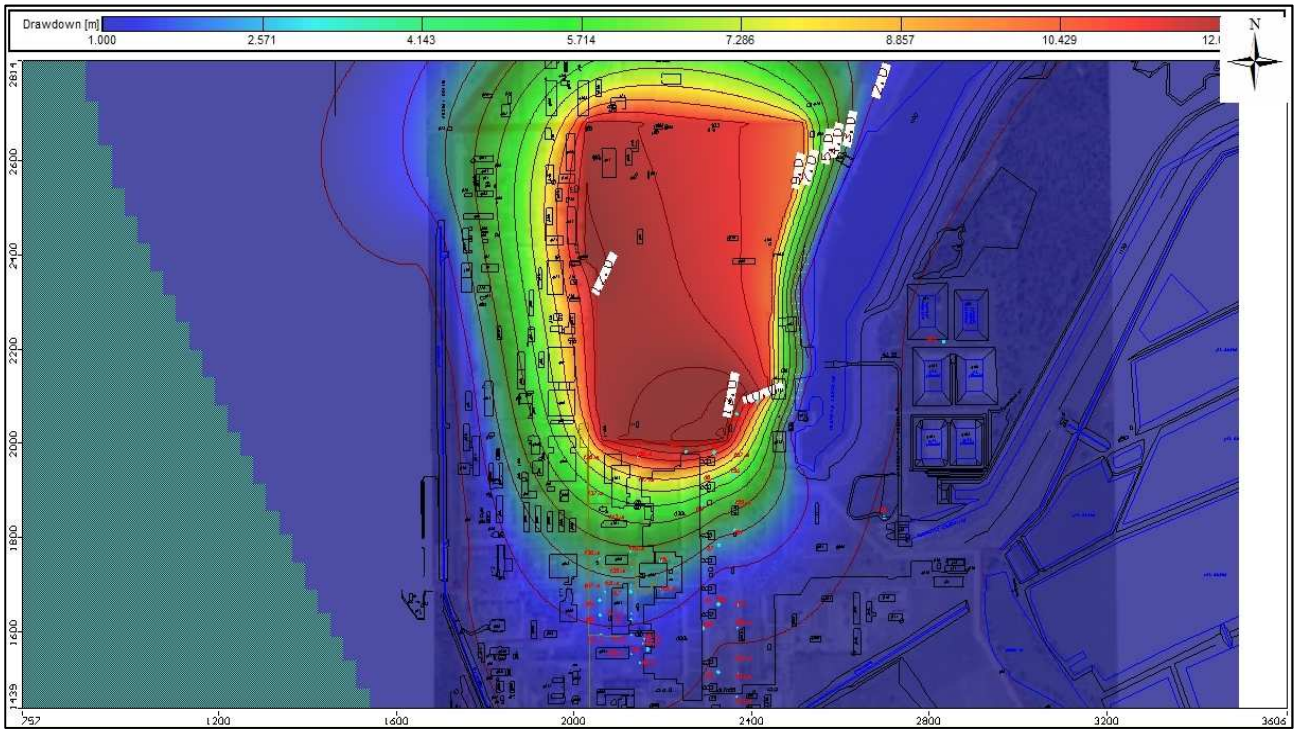
A munkagödrön belül 12-14 méter maximális leszívás értékek jelentkeztek vizsgálataink folyamán a nyugalmi talajvízszintekhez képest. Ennek következményeit a munkagödör környezetében található megfigyelő kutak vízszint csökkenésében láthatjuk majd. A depressziós tölcsér alakulását a következő ábrák jellemzik:



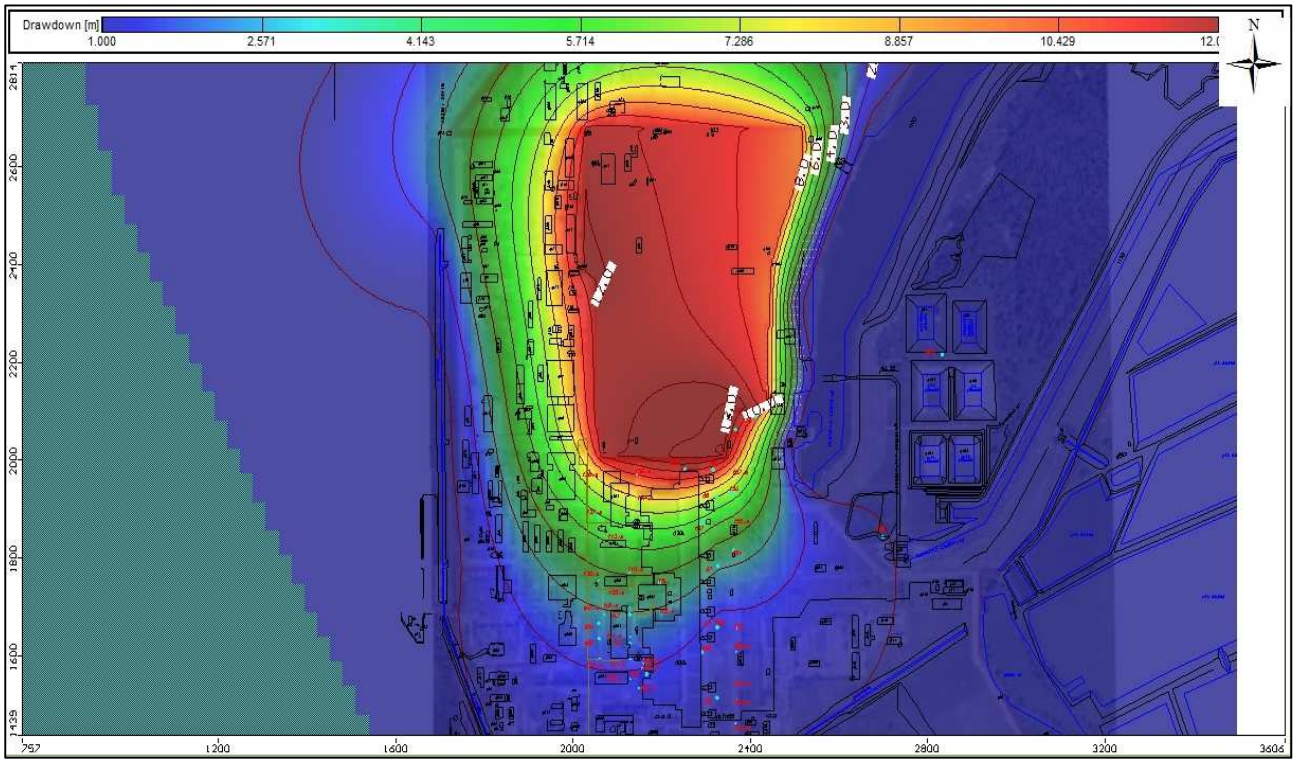
6.11-18. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.05.01.



6.11-19. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.06.17.



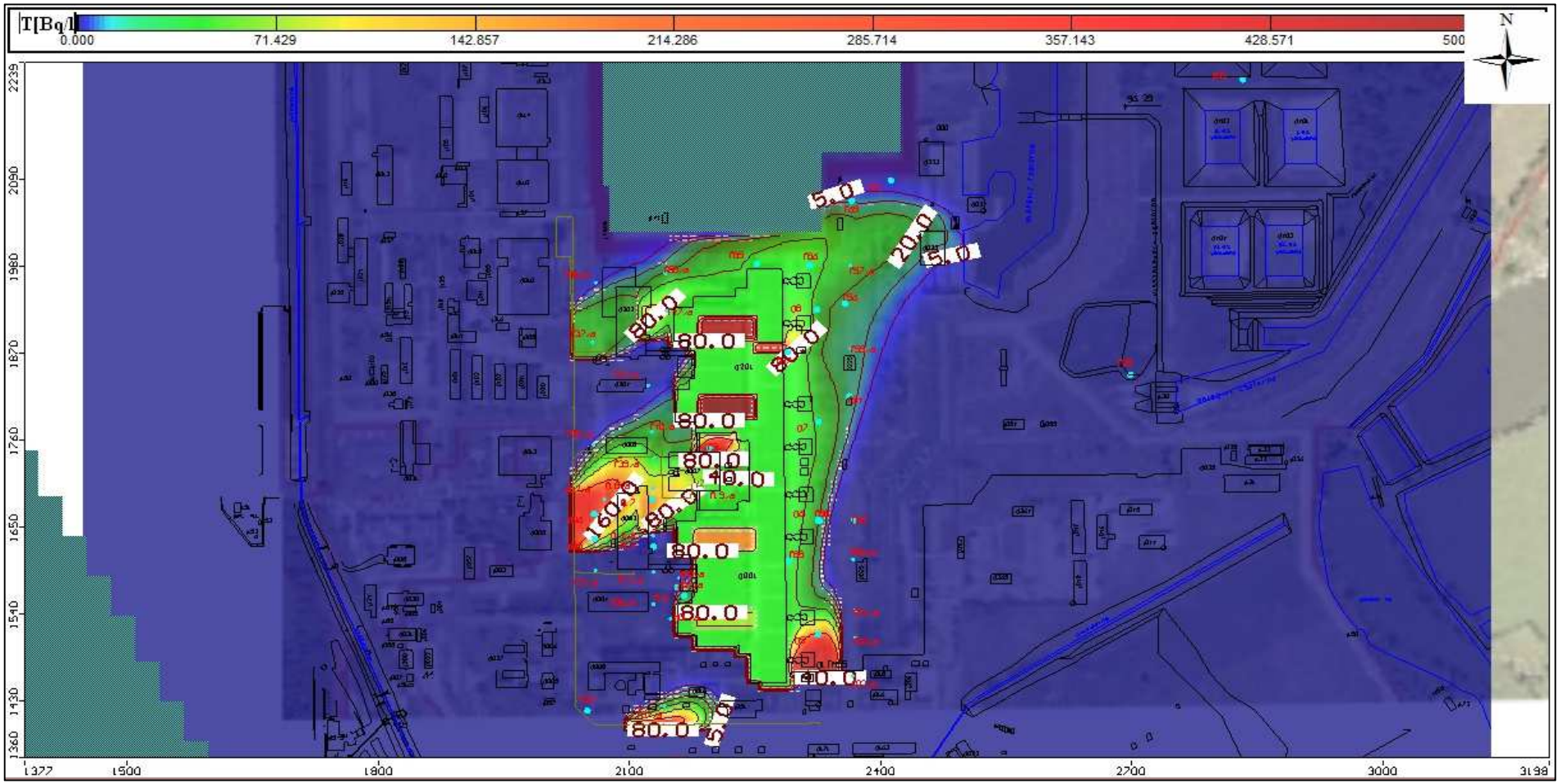
6.11-20. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.08.24.



6.11-21. ábra: Leszívás (drawdown) alakulása 2012.10.31.

A *6.11-21. ábra* jól mutatja, hogy a 2. kiépítés északi határán a leszívás értéke elérheti a 10 métert! Míg az egyes kiépítésen a víztelenítésnek gyakorlatilag nincs hatása. Ezen adatokból kiindulva javasoljuk az alapozás átgondolását és csak azon területek víztelenítését melyek az alapozáshoz feltétlenül szükségesek. A következő ábrákon bemutatjuk milyen hatása lett volna a víztelenítésnek a trícium-lencse mozgására, ha azt 2012 05.01-től hajtották volna végre.

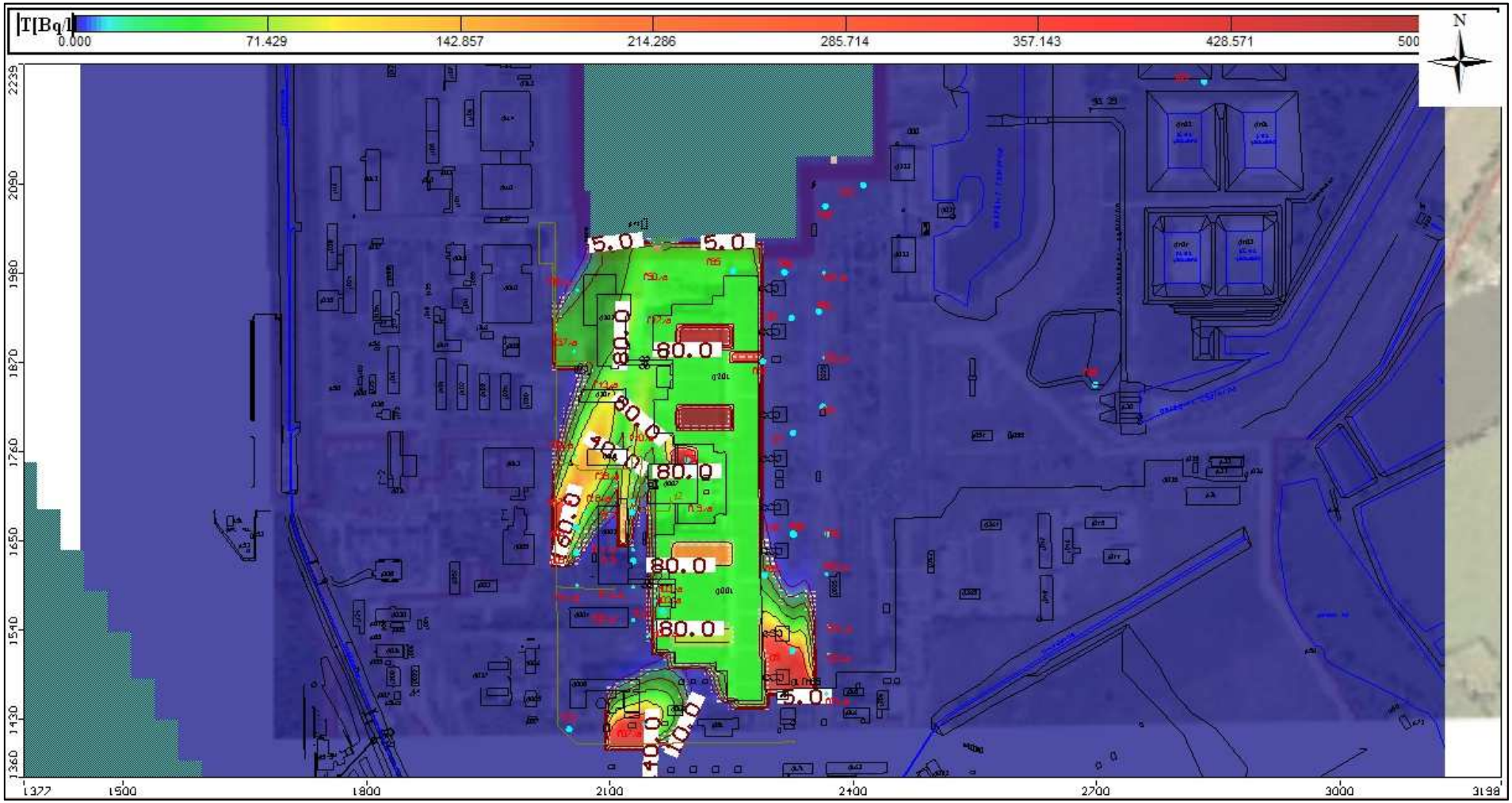
Trícium-lencse alakulása 2012 második hidrológiai félév során, a feltételezett víztelenítés hatására:



6.11-22. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.05.01.-én víztelenítés hatására. (0. nap).

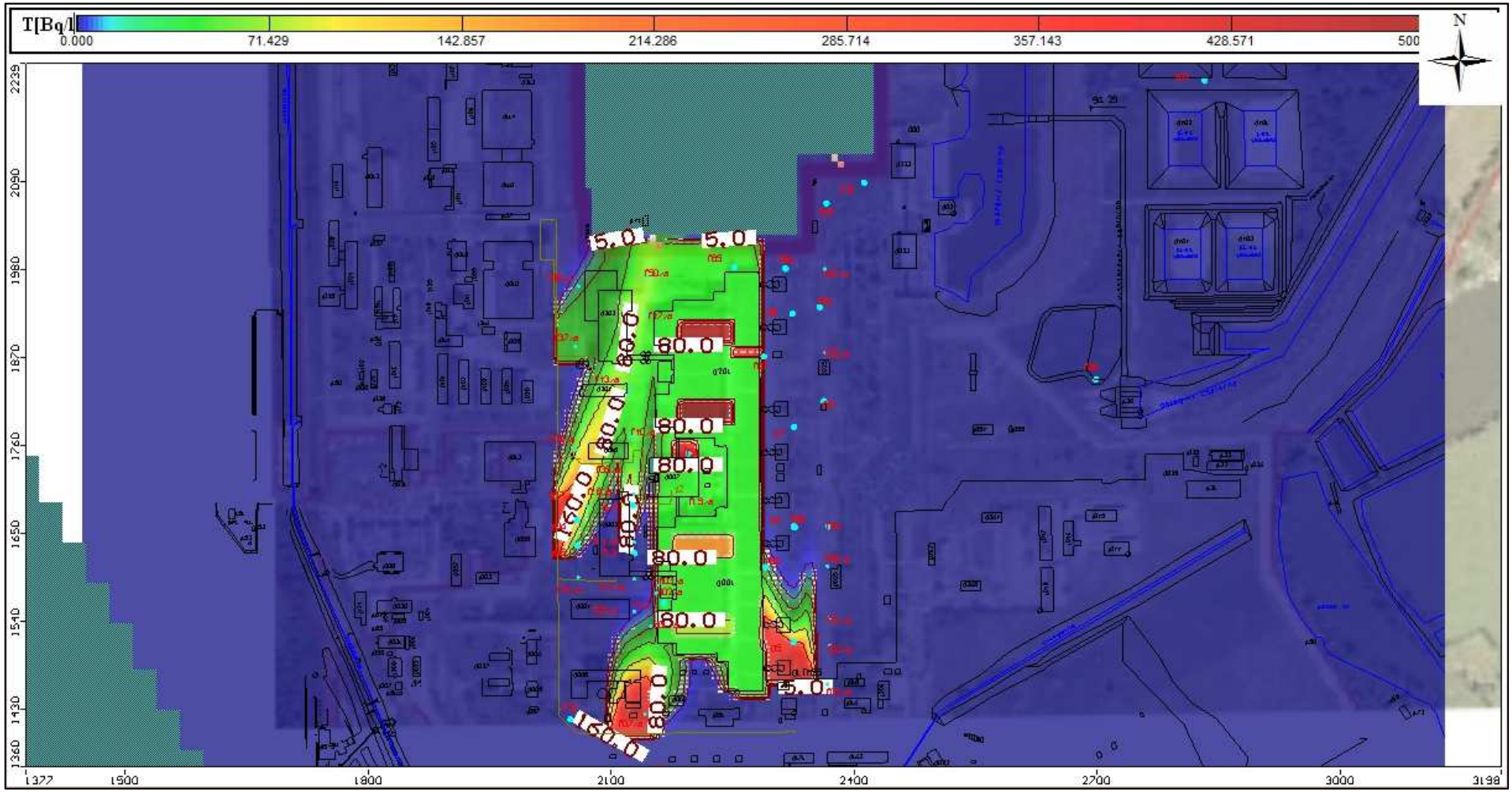
6.11-23. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.05.25.-én víztelenítés hatására. (25. nap).

6.11-24. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.06.19.-én víztelenítés hatására. (50. nap).



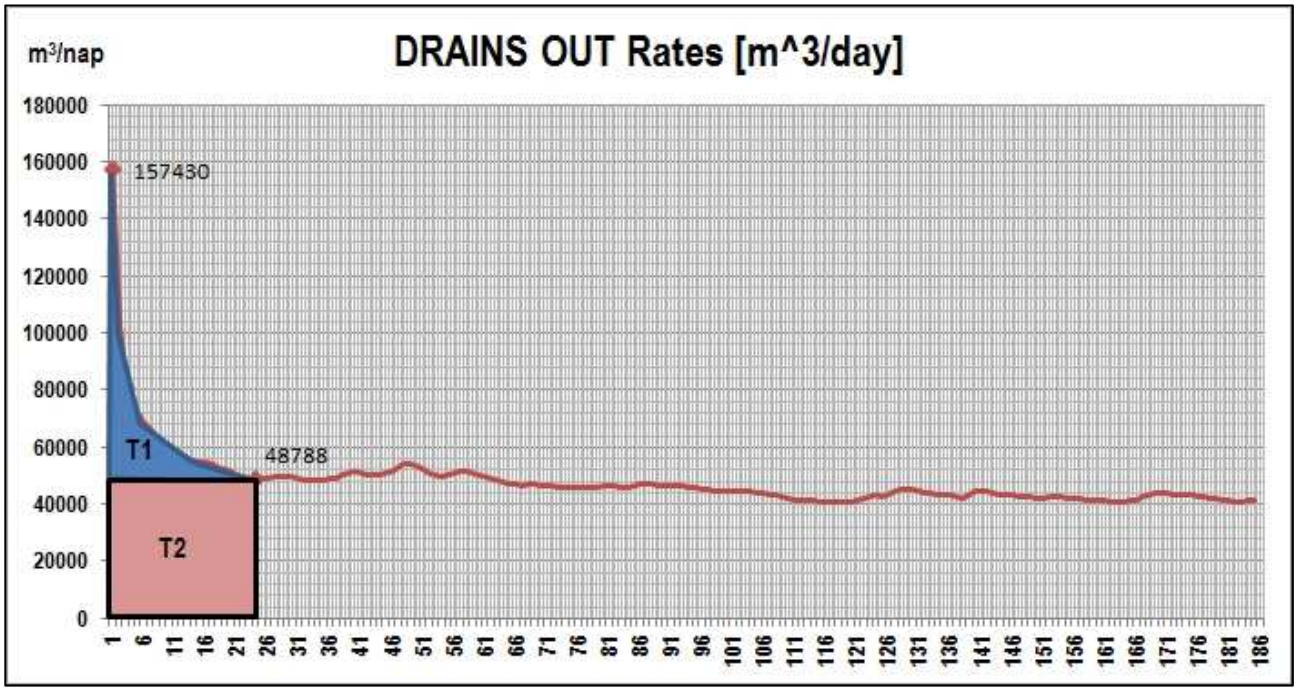
6.11-25. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.08.08.-án víztelenítés hatására. (100. nap).

6.11-26. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.09.27.-én víztelenítés hatására. (150. nap).



6.11-27. ábra: A trícium-lencse alakulása 2012.10.31.-én víztelenítés hatására. (185. nap).

A drénhálózat vízhozamát a *6.11-28. ábra* grafikon formájában ábrázolja:



Jelmagyarázat:

T1: A munkagödör teljes víztelenítéséhez (25 nap alatt) szükséges plusz vízmennyiséggel arányos terület.

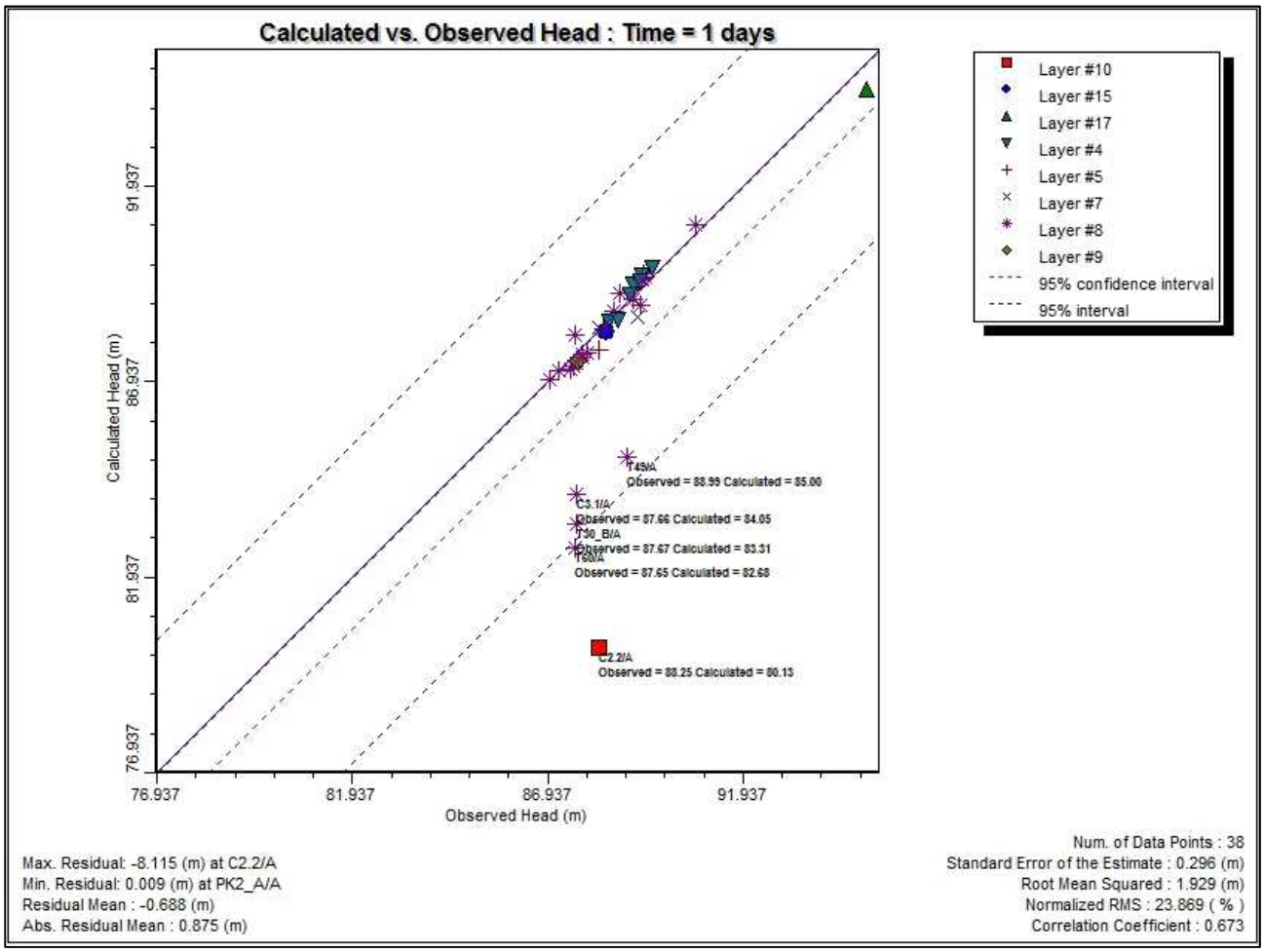
T2: A munkagödör szárazon tartásához (25 napos) szükséges vízkivétellel arányos terület, mely a Duna vízszintjének változásával együtt ingadozik.

6.11-28. ábra: A drénhálózat vízhozama.

A munkagödör szárazon tartásához ≈48.788 m³/nap-os vízkitermelés szükséges (T2/25nap). Ezen felül a munkagödör megnyitását megelőzően ki kell termelni az alapozási térfogatban található vízmennyiséget. Ezt növeli a depressziós tölcsér hatására a környező telített zónából beáramló vízmennyiség (T1).

Az ábrán T1-el jelölt terület nagysága ≈1.610.715m³ víznek felel meg. Ha a teljes víztelenítést 25 nap alatt el akarjuk érni, akkor ehhez az első 25 napban ≈64.428m³/nap-os plusz vízkitermelési teljesítmény szükséges.

Néhány kút esetén várhatunk vízszintcsökkenést. A grafikonon a megfigyelt, normális (depresszió nélküli, „observed") értékek vannak összehasonlítva a modell által a leszívást szimuláló (depresszió figyelembe véve, „calculated") értékekkel. Amennyiben a megadott víztelenítési folyamatot végre kívánják hajtani, javasoljuk a kettes kiépítés északi környezetében lévő megfigyelő kutakra vonatkozó időszakos monitoring megfigyelések gyakoribbá tételét. A következő diagramokon mutatjuk be ezeket a kutakat:

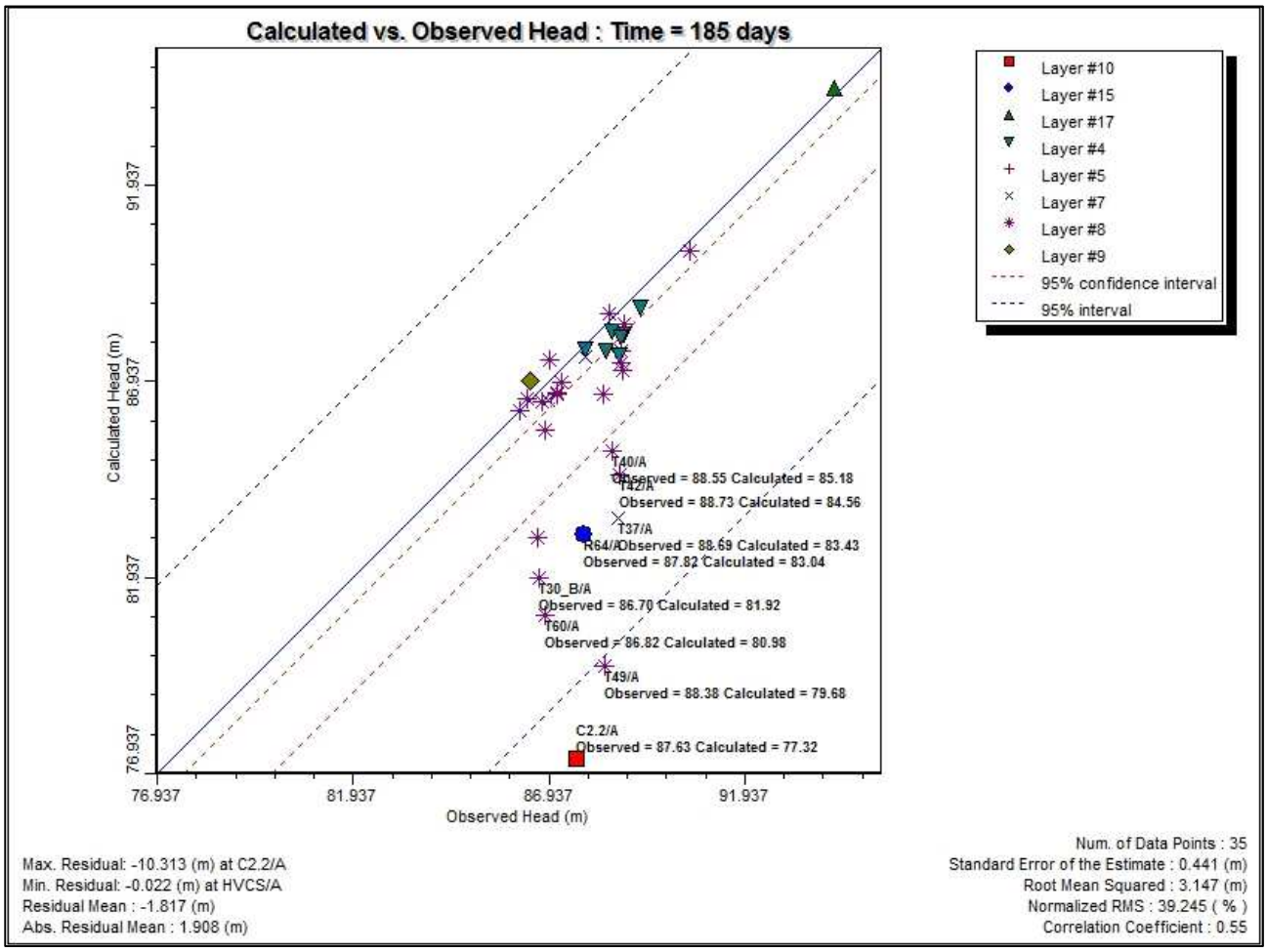


6.11-29. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.05.01.

Well/Point Name	X-Model	Y-Model	Obs.	Calc.	Calc.-Obs.	Times
C2.2/A	2245.759	2423.758	88.25	80.13486	-8.115143	1
C3.1/A	2489.145	2359.06	87.66	84.0531	-3.606899	1
HVCS/A	2565.88	2149.878	87.01	86.99283	-0.01717163	1
K03/A	1730.546	3270.496	89.63	89.85518	0.2251788	1
K05/A	1883.413	3239.367	89.25	89.42637	0.1763687	1
M05/A	2057.237	1634.302	89.41	89.61588	0.2058829	1
O8/A	2323.807	1923.636	88.53	88.47794	-0.05206421	1
PK2_A/A	2768.382	3745.136	87.21	87.21896	0.008963623	1
PK3_A/A	2313.158	3456.145	88.23	88.3148	0.08480408	1
PK4_A/A	2106.432	3116.859	88.62	88.74847	0.1284665	1
PK5/A	1272.708	2737.079	90.72	90.93647	0.21647	1
R63/A	2031.647	2573.053	95.09	94.43214	-0.6578635	1
R64/A	2280.675	2124.917	88.45	88.20394	-0.2460587	1
T03/A	2368.992	1509.777	89.14	89.41611	0.2761148	1
T05/A	2367.965	1609.391	89.03	89.17847	0.1484668	1
T07/A	2140.611	1425.37	89.4	89.69913	0.2991272	1
T08/A	2141.356	1500.555	89.36	89.64098	0.2809836	1
T09/A	2127.956	1553.657	89.37	89.59507	0.2250699	1
T10/A	2164.929	1564.079	89.32	89.52016	0.2001645	1
T12/A	2127.46	1594.6	89.34	89.53535	0.1953546	1
T22/A	2285.942	2837.821	88.24	87.76614	-0.4738562	1
T30_B/A	2489.025	2404.403	87.67	83.311	-4.358995	1
T31_A/A	2706.383	3058.422	87.61	87.31664	-0.2933572	1
T32/A	2270.715	3006.723	88.38	88.29597	-0.0840329	1
T34_B/A	2005.707	3662.948	88.8	89.18941	0.389415	1
T35_B/A	2597.719	3929.214	87.7	87.50256	-0.1974442	1
T37/A	2055.748	1883.68	89.25	88.57537	-0.6746292	1
T40/A	2125.971	1771.274	89.13	89.06673	-0.06327332	1
T42/A	2121.753	1804.524	89.32	88.89366	-0.4263385	1
T49/A	2142.69	1954.825	88.99	84.995	-3.994997	1
T54/A	2362.831	1814.78	88.73	88.50168	-0.2283215	1
T60/A	2524.484	2543.123	87.65	82.68407	-4.965933	1
T72/A	2934.77	2320.056	87.65	88.14645	0.4964539	1
T78/A	2646.101	3390.275	87.82	87.57307	-0.2469333	1
T79/A	2734.052	3365.289	87.67	87.40158	-0.2684192	1
T80/A	2596.129	3515.205	87.94	87.66397	-0.2760291	1
T81/A	2805.013	3382.279	87.53	87.27335	-0.2566464	1
T82/A	2616.118	3382.279	87.84	87.63387	-0.206127	1

6.11-1. táblázat: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek (mBf) összehasonlítása 2012.05.01.

Obs - observed: leszívás nélküli vízszint.
Calc - calculated: víztelenítés hatására kialakult vízszint.



6.11-30. ábra: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek összehasonlítása 2012.10.31.

Well/Point Name	X-Model	Y-Model	Obs.	Calc.	Calc.-Obs.	Times
C2.2/A	2245.759	2423.758	87.63	77.31695	-10.31305	185
C3.1/A	2489.145	2359.06	86.64	82.97205	-3.667954	185
HVCS/A	2565.88	2149.878	86.2	86.17815	-0.02184601	185
K03/A	1730.546	3270.496	89.26	88.82677	-0.433233	185
K05/A	1883.413	3239.367	88.85	88.13654	-0.7134567	185
M05/A	2057.237	1634.302	88.82	87.2169	-1.603104	185
O8/A	2323.807	1923.636	87.86	87.75588	-0.1041177	185
PK2_A/A	2768.382	3745.136	86.38	86.50935	0.129346	185
PK3_A/A	2313.158	3456.145	87.86	87.5457	-0.3142999	185
PK4_A/A	2106.432	3116.859	88.34	86.62844	-1.711559	185
PK5/A	1272.708	2737.079	90.54	90.2485	-0.2914954	185
R63/A	2031.647	2573.053	94.22	94.43213	0.2121289	185
R64/A	2280.675	2124.917	87.82	83.03892	-4.781082	185
T03/A	2368.992	1509.777	88.54	88.20258	-0.3374167	185
T05/A	2367.965	1609.391	88.4	87.70192	-0.6980804	185
T07/A	2140.611	1425.37	88.84	88.40568	-0.4343222	185
T08/A	2141.356	1500.555	88.78	88.03948	-0.7405179	185
T09/A	2127.956	1553.657	88.79	87.71075	-1.079246	185
T10/A	2164.929	1564.079	88.74	87.61866	-1.12134	185
T12/A	2127.46	1594.6	88.77	87.39576	-1.37424	185
T30_B/A	2489.025	2404.403	86.7	81.92079	-4.779208	185
T31_A/A	2706.383	3058.422	86.83	85.70885	-1.121145	185
T34_B/A	2005.707	3662.948	88.49	88.68452	0.1945169	185
T35_B/A	2597.719	3929.214	86.44	86.96622	0.5262247	185
T37/A	2055.748	1883.68	88.69	83.43105	-5.258954	185
T40/A	2125.971	1771.274	88.55	85.17828	-3.371716	185
T42/A	2121.753	1804.524	88.73	84.55683	-4.173169	185
T49/A	2142.69	1954.825	88.38	79.67786	-8.702144	185
T60/A	2524.484	2543.123	86.82	80.98177	-5.838234	185
T72/A	2934.77	2320.056	86.96	87.49956	0.5395575	185
T78/A	2646.101	3390.275	87.13	86.60862	-0.5213803	185
T79/A	2734.052	3365.289	86.93	86.46929	-0.4607083	185
T80/A	2596.129	3515.205	87.25	86.90508	-0.3449249	185
T81/A	2805.013	3382.279	86.78	86.414	-0.3659985	185
T82/A	2616.118	3382.279	87.14	86.62971	-0.5102927	185

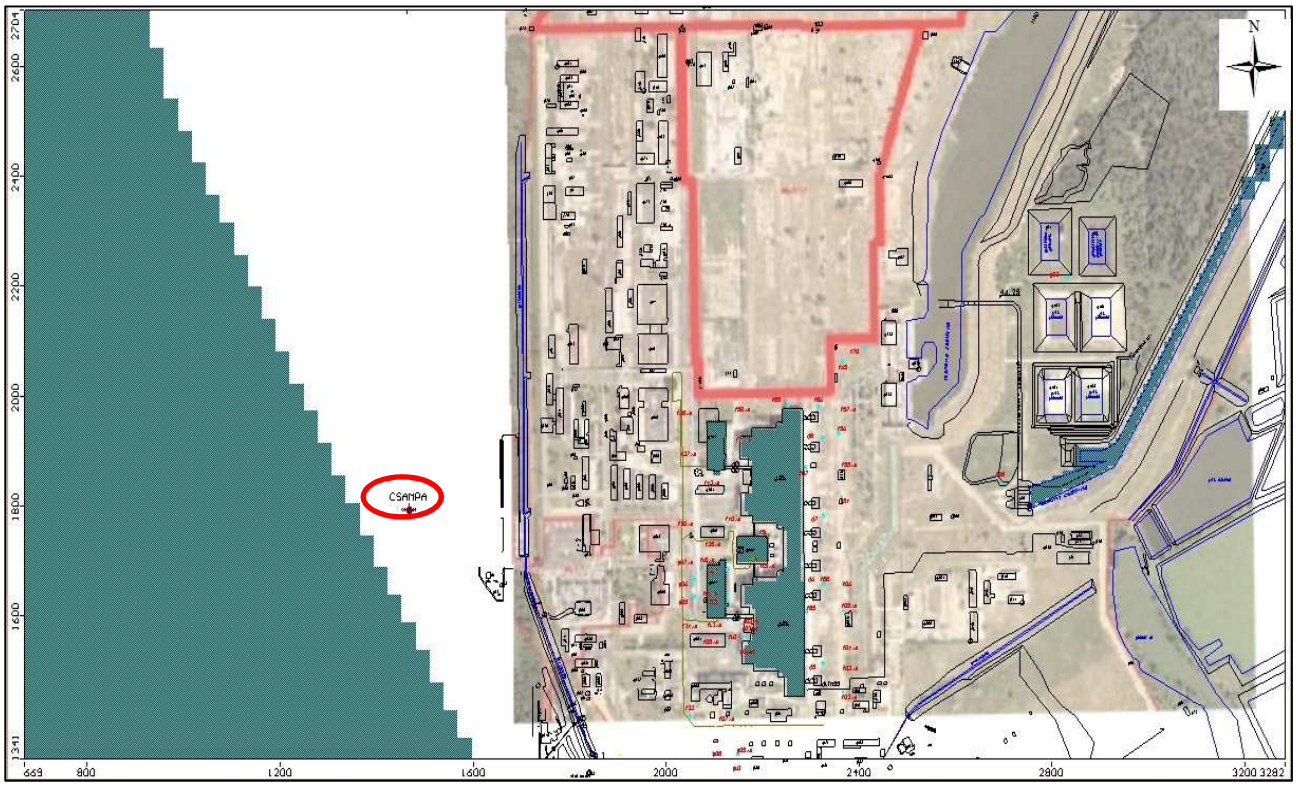
6.11-2. táblázat: Az észlelt és a modell által kalkulált vízszintek (mBf) összehasonlítása 2012.10.31.

Obs - observed: leszívás nélküli vízszint.
Cal - calculated: víztelenítés hatására kialakult vízszint.

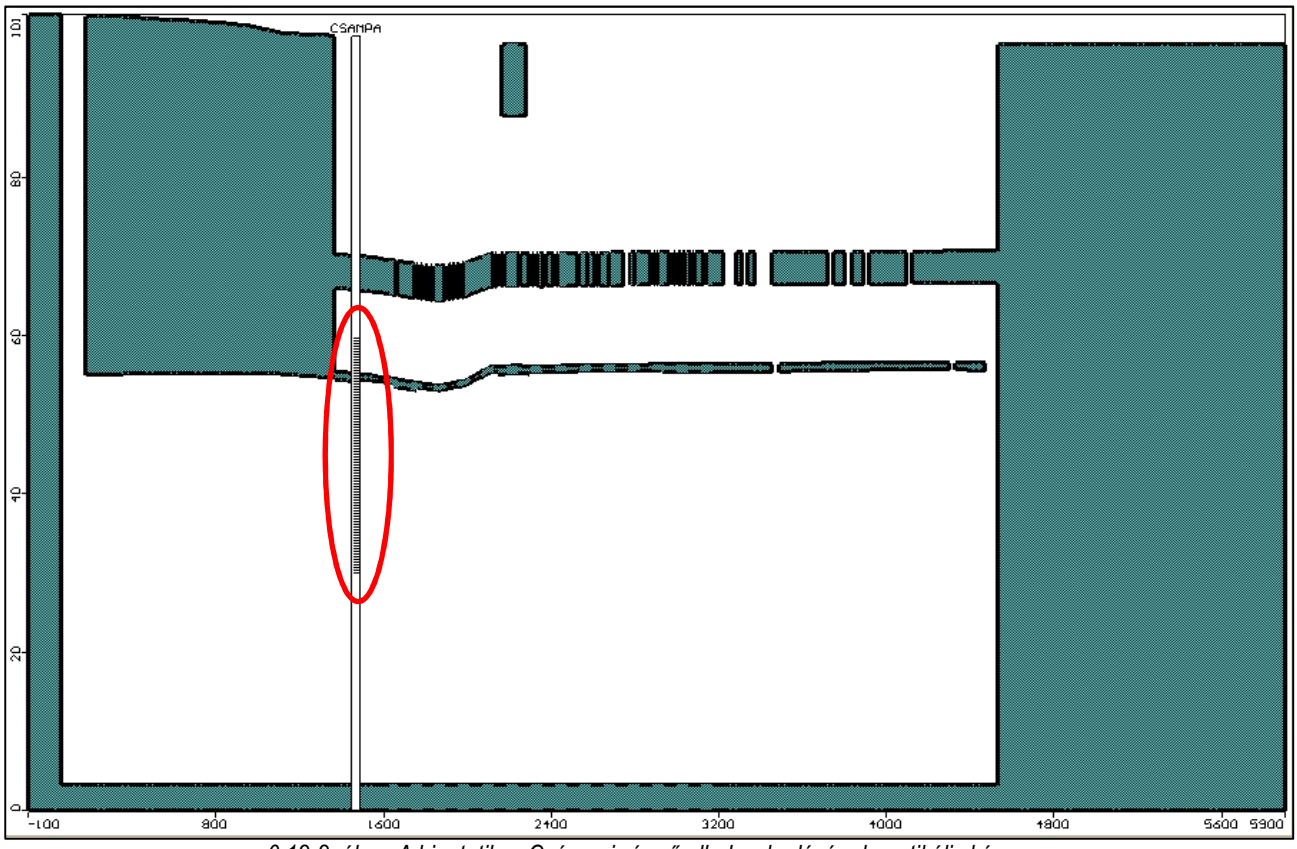
6.12 CSÁMPAI-VÍZMŰ (MINT LEGKÖZELEBBI IVÓVÍZBÁZIS) HIDROLÓGIAI FOLYAMATOKRA GYAKOROLT HATÁSA

Egy hipotetikus modellt építettünk fel, annak érdekében, hogy bemutathassuk a Csámpai-vízmű rétegvízszintre gyakorolt hatását. A modellben 710 m^3/nap-os vízkivételt tételeztünk fel. Mivel a Csámpai-vízmű rétegvizet termel, csak a mélyebb 30 – 60 mBf mélységben okoz depressziót, ennek következtében sebességtér módosulást a felszínhez közeli rétegekben nem okoz (ahova bármilyen szennyezőanyag kijuthatna mind a meglévő, mind a tervezett erőműből).

A rétegösszletek természetes nyomásszintje a mélység felé növekszik. Természetes állapotban tehát a talajvízből a rétegvíz felé történő áramlásra nincs lehetőség. Kutak, vagy vízmű kutak által intenzifikált területrészen (a kis szivárgási tényező miatt) néhány száz méteres lokális részen jelentkezhet a közel fekvő pannon rétegek között csekély mértékű vertikális leáramlás, de ennek a vizsgált területre regionális hatása nincs. A talajvíznek lefelé történő szivárgása, a vízrekesztő összletek nagy vastagsága miatt még ezeken a területrészeken sem képzelhető el.

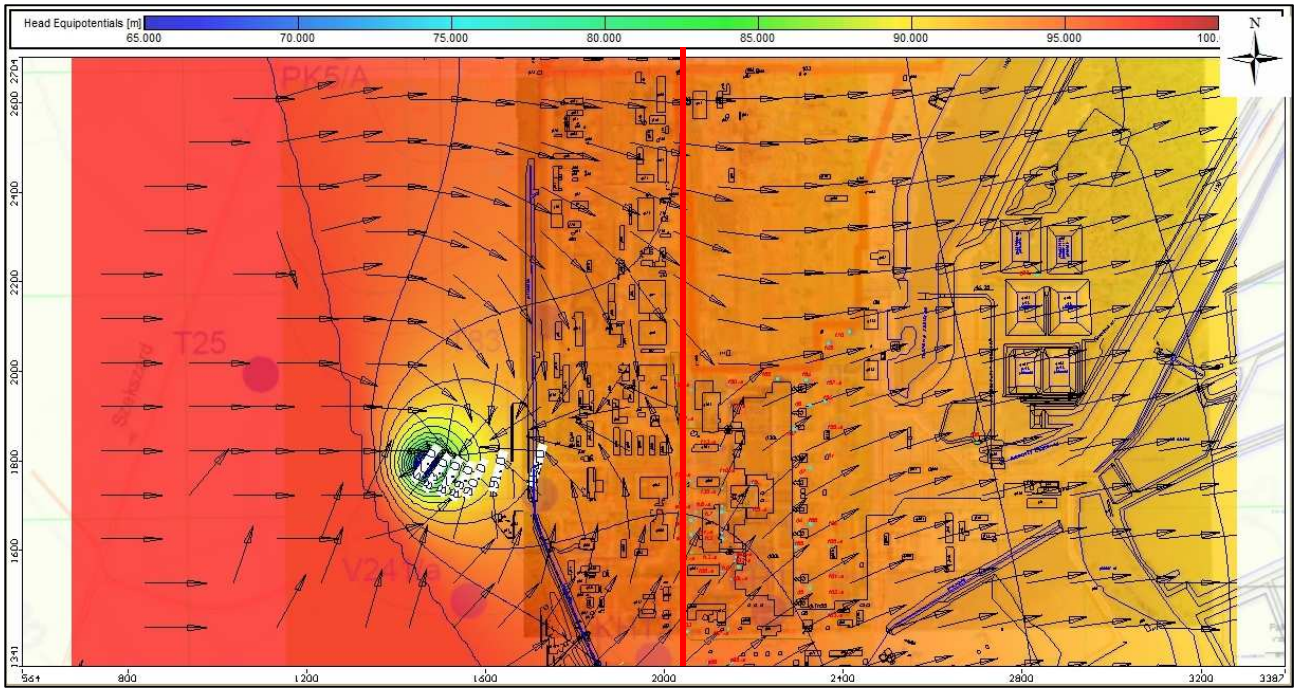


6.12-1. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű elhelyezkedésének horizontális képe.



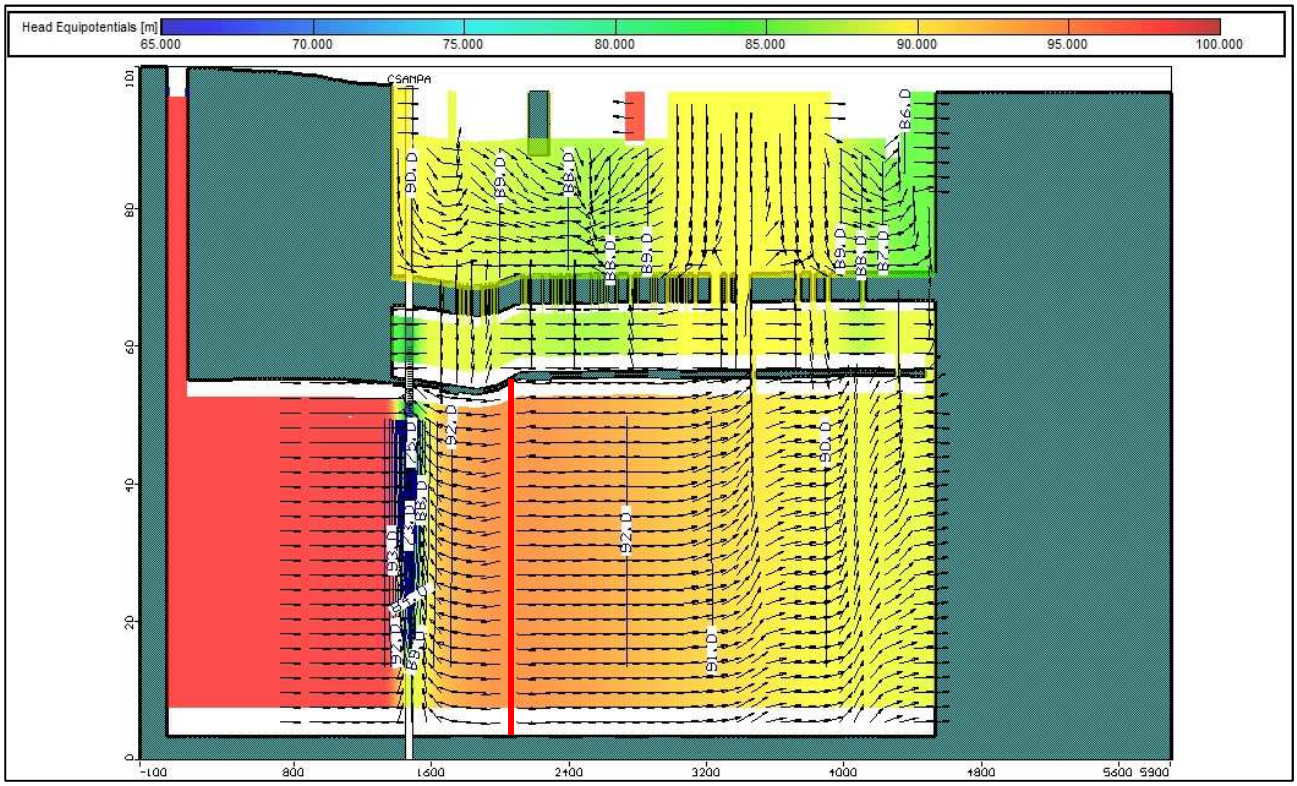
6.12-2. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű elhelyezkedésének vertikális képe.

A pirossal jelölt rész a kút szűrőjét ábrázolja.



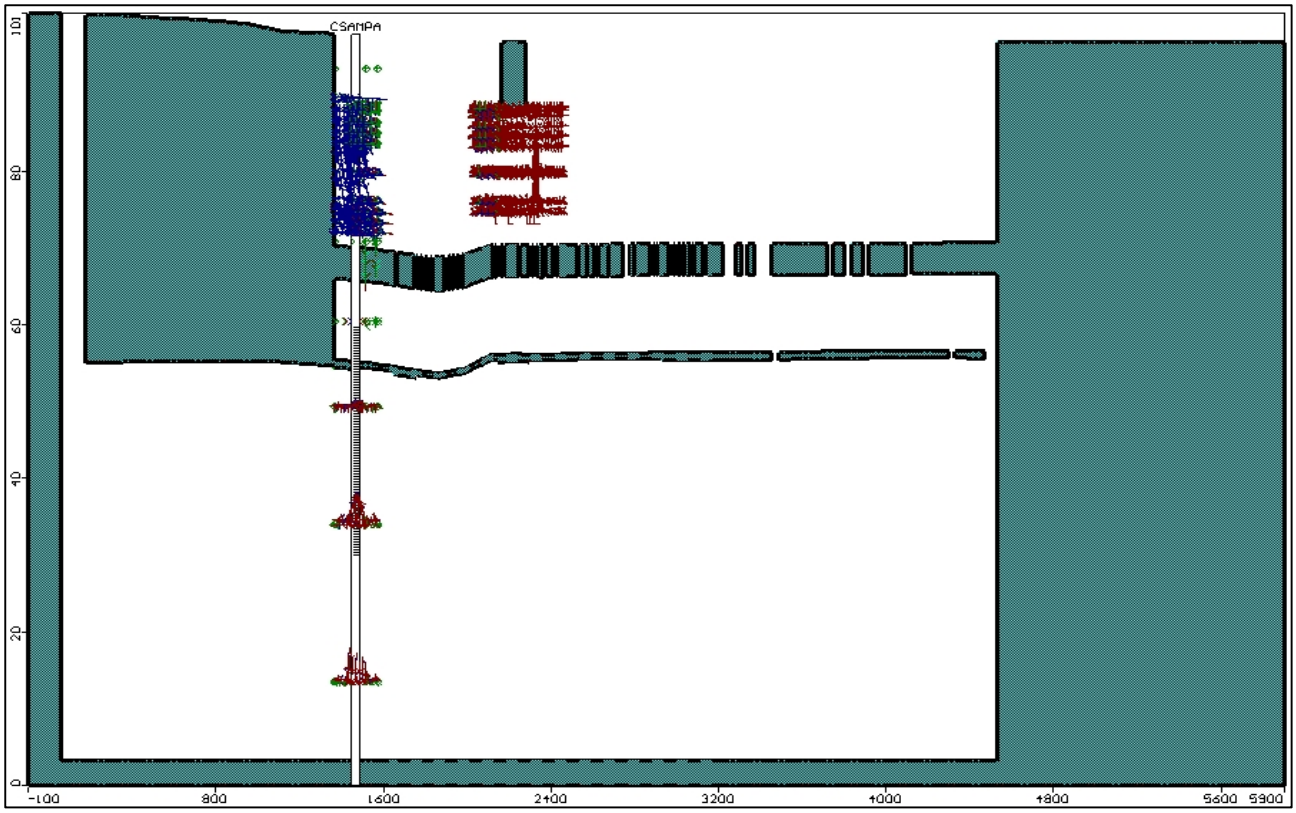
6.12-3. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű rétegvízszintre és sebességtérre gyakorolt hatása a vízrekesztő réteg alatti összletekben.

A piros vonaltól nyugatra kanyarodnak vissza a sebességvektorok.

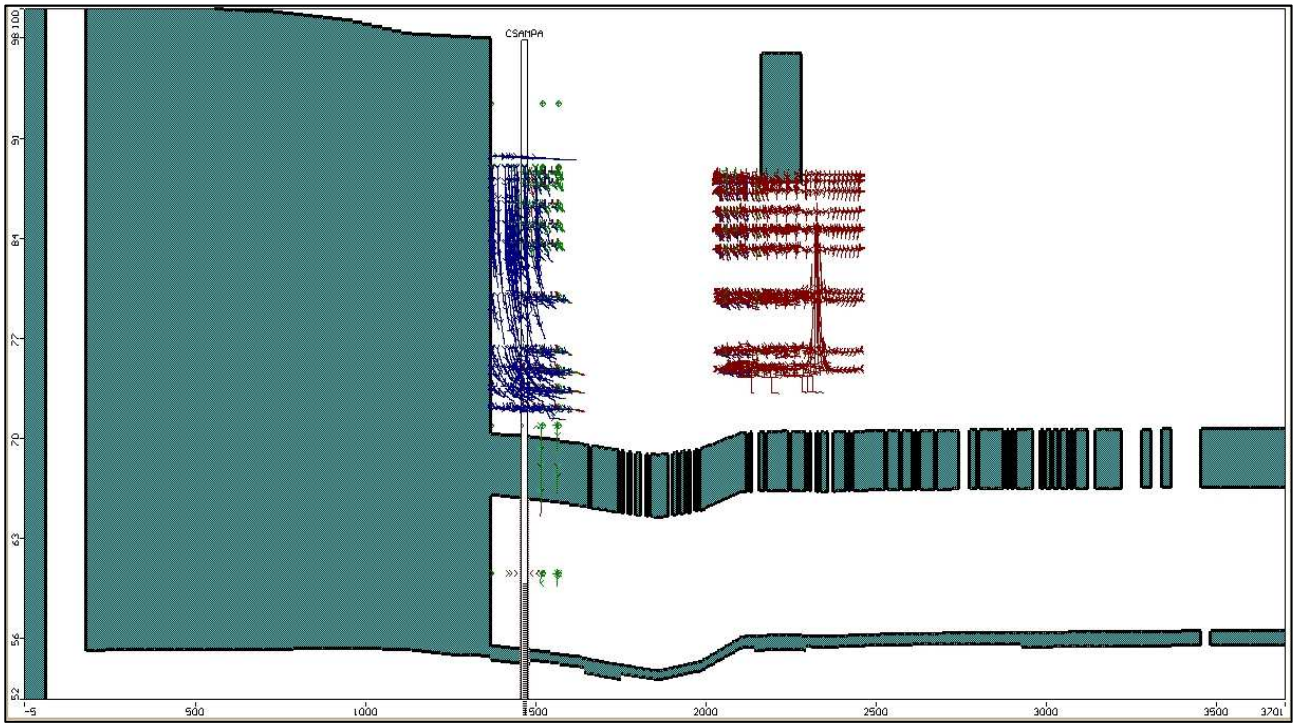


6.12-4. ábra: A hipotetikus Csámpai-vízmű rétegvízszintre és sebességtérre gyakorolt hatása a vízrekesztő réteg alatti összletekben.

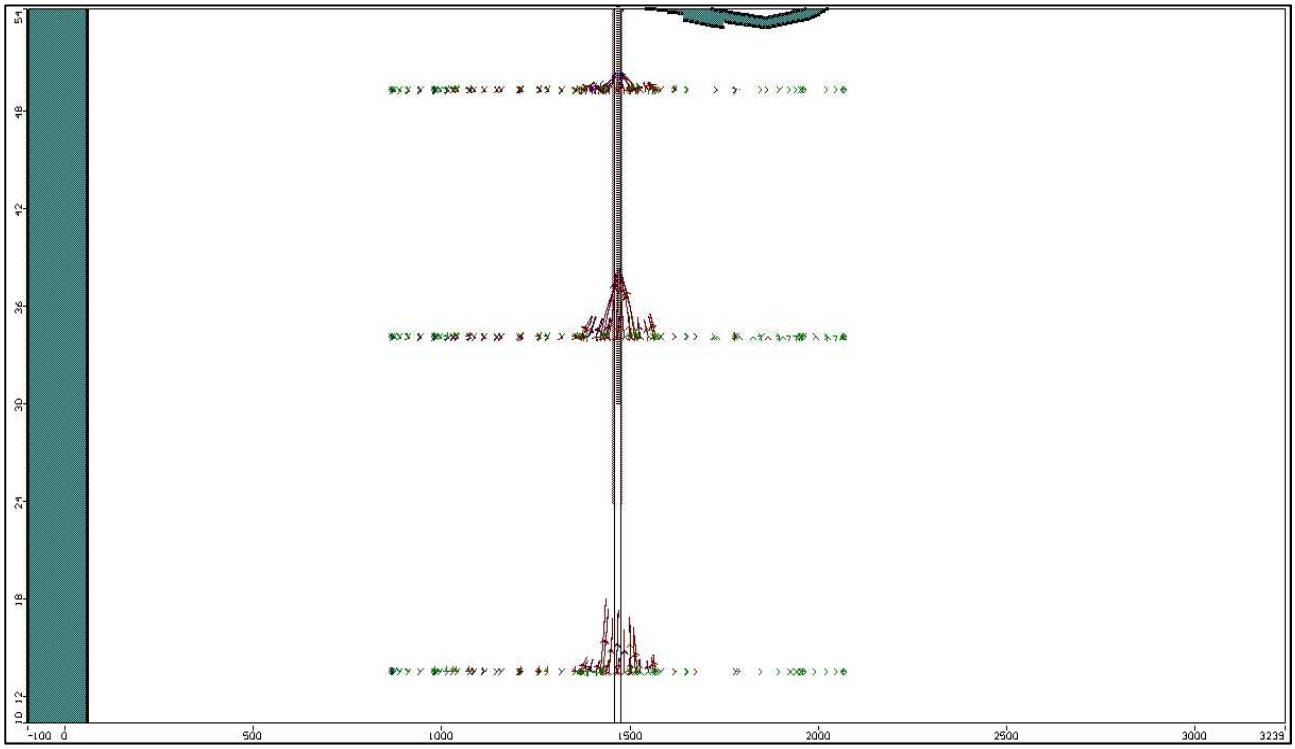
A piros vonaltól nyugatra kanyarodnak vissza a sebességvektorok.



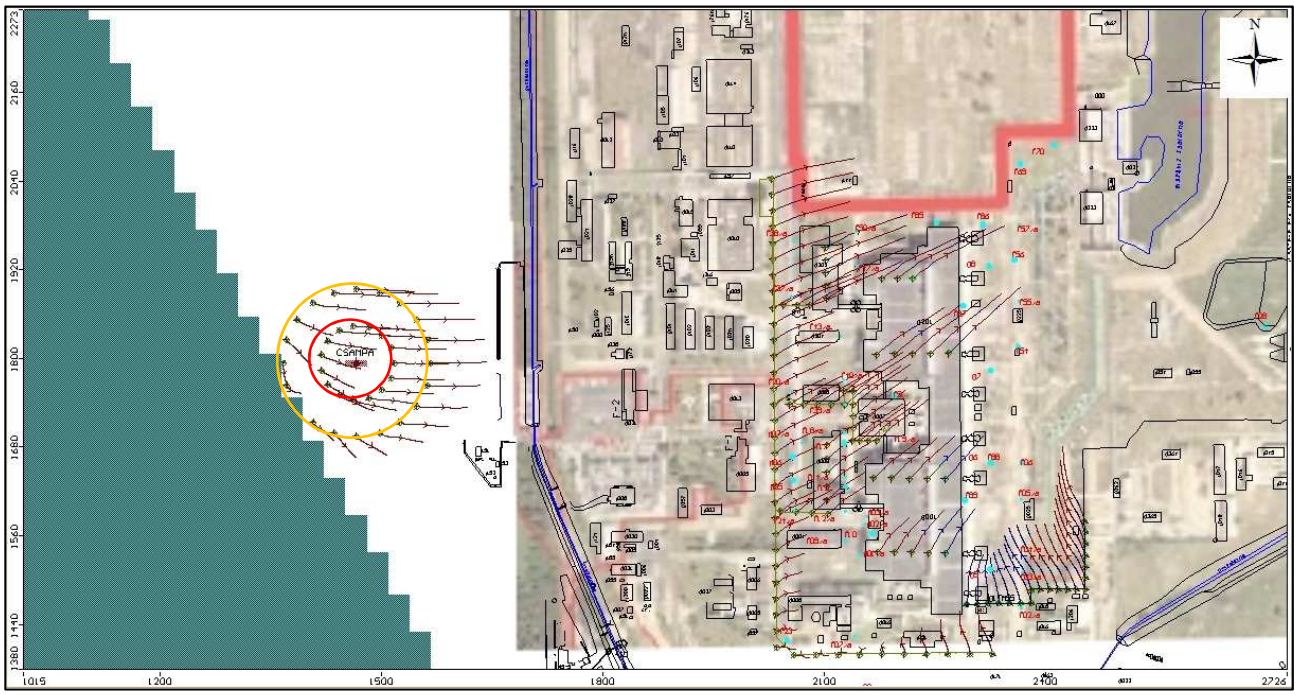
6.12-5. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a kitermelő kút és a főépület környezetében (185 napos mozgási pályák).



6.12-6. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a felső telített zónában (185 napos mozgási pályák).

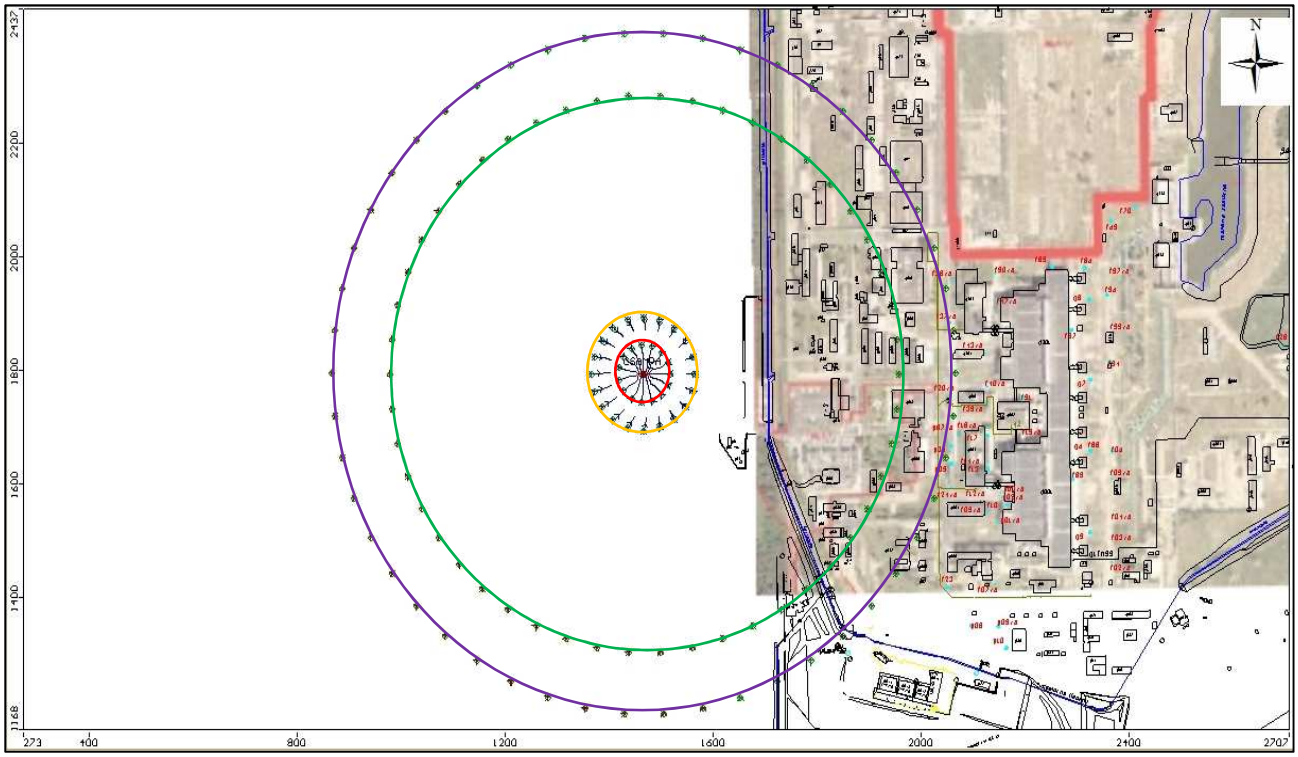


6.12-7. ábra: A vízrészecske pályák vertikális nézete a vízrekesztő rétegek alatt (185 napos mozgási pályák).



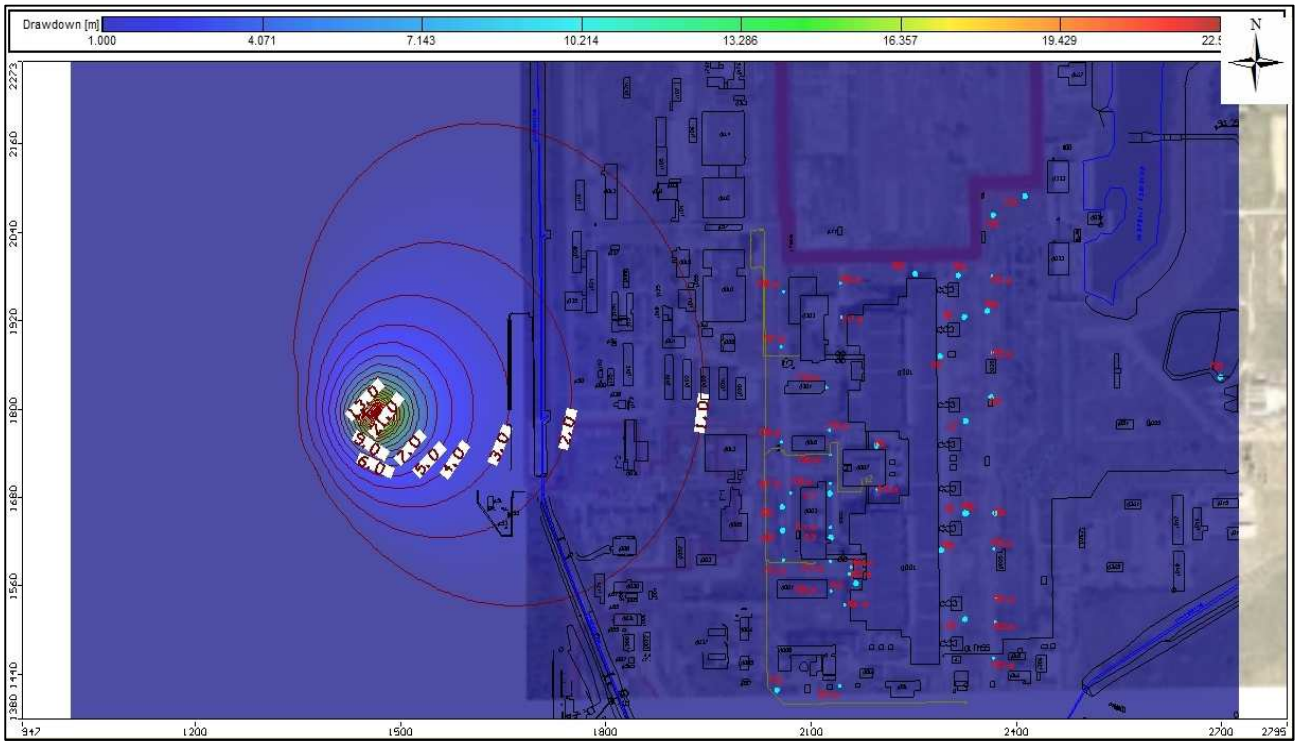
6.12-8. ábra: A vízrészecske pályák horizontális nézete a 10. rétegben (74 mBf), a vízrekesztő rétegek felett.

A vízrészecskéket négy különböző sugarú körben helyeztük el a kút körül. A piros színű 25m sugarat, a sárga színű 50m sugarat, a zöld színű 245m sugarat, míg a lila színű 250m sugarat szimbolizál (185 napos mozgási pályák, markerek 100 napot jeleznek).



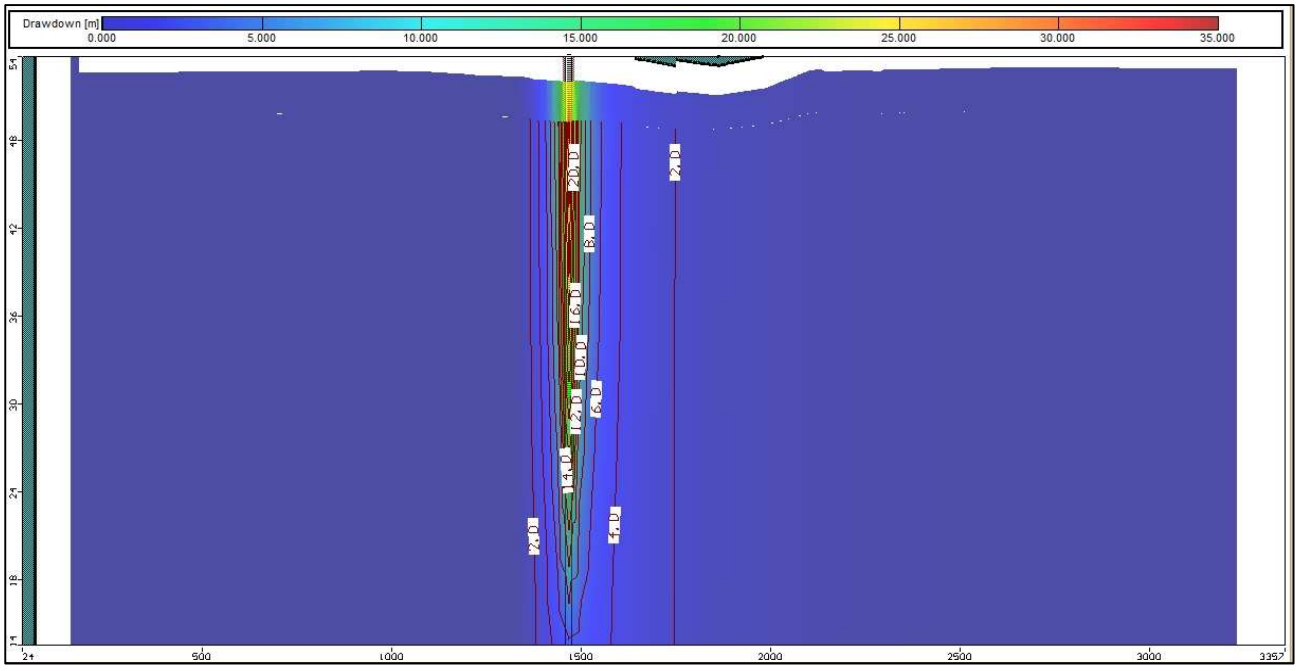
6.12-9. ábra: A vízrészecske pályák horizontális nézete a 18. rétegben (35 mBf), a vízrekesztő rétegek alatt.

A zöld és lila körök mentén elhelyezett vízrészecskék környezetében a sebességtér nagyon lassú mozgást eredményez, ezért itt a pályák szinte láthatatlanok (185 nap alatt alig mozdulnak el). Ez is azt mutatja, hogy a kút közvetlen környezetében érezhető csak a vízkitermelés hatása.



6.12-10. ábra: A leszívás értékek horizontális ábrázolása a kút környezetében (17. réteg, 49 mBf).

Maximális leszívás értékek csak a kút száz méteres környezetében érzékelhetők (max. drawdown: 30m).



6.12-11. ábra: A leszívás értékek vertikális ábrázolása a kút környezetében.

6.13 HIDROLÓGIAI MODELL ÖSSZEFOGLALÁSA

A paksi atomerőmű telephelyének szűkebb környezetében végeztünk komplex talajvíz és rétegvíz áramlási modell-vizsgálatokat, amihez hozzá tartozik a legmobilisabb radioaktív anyag a trícium – H^3 terjedésének elemzése is. Mivel az erőmű a Duna partján helyezkedik el, a környezetében uralkodó talaj- és rétegvíz áramlás legfőbb alakító tényezője maga a Duna és a hozzá szorosan kapcsolódó hidegvíz csatorna (HVCS). A két fő tényező mellett erős hatása van a Kondor-tónak és a nyugati löszplatónak. Mindezek együttes érvényesülése határozza meg a telephely környezetében a felszín alatti vizek adott időszakra vonatkozó áramlási viszonyait.

A telephely hidrológiai modelljének bemenő paramétereit a 2011.-es és 2012.-es években mért adatok szolgáltatták. Az adott féléves periódusokat azért választottuk, mert átlagos, alacsony és magas Duna vízállások egyaránt jelentkeztek azok folyamán. További szempont volt az is, hogy a legfrissebb adatokkal mutathassuk be a telephely környezetében uralkodó hidrológiai folyamatokat. A bemeneti paraméterek a következők voltak:

- Duna és a HVCS vízszintje a telephelynél,
- Kondor-tó vízszintje,
- a telephely területén található monitoring kutak vízszintjei,
- a telephely környezetében mért csapadék adatok,
- a telephely területén található monitoring kutak trícium aktivitáskoncentráció értékei.

A hidrológiai modell felépítéséhez szükségünk volt még:

- a rétegek geometriájára,
- a rétegek szivárgáshidraulikai paramétereire (szivárgási tényező, effektív porozitás, fajlagos tároló képesség, fajlagos hozam, diszperziós tényező és diffúziós együttható).

A modellben 20 réteget alkalmaztunk, a legkisebb cellabeosztás pedig 7-8 méternek felel meg. A futtatáshoz peremfeltételeket definiáltunk, melyek északról a PK-kútsor, keletről a Duna és a HVCS, délről a Kondor-tó és halas-tavak, nyugatról pedig az övcsatorna és a nyugati löszpláto. Ezen peremfeltételek által körülzárt területen érvényesek a modellből kapott megállapítások. A számolt vízszint értékeket mért adatokhoz hasonlítottuk, az eltérések mértéke validálja a modell megbízhatóságát.

A véges differencia módszerrel számoló Visual MODFLOW programot alkalmaztuk a felszín alatti vizek áramlásának definiálásához. A program lehetővé teszi a telephely környezetének statikus (időben állandósult) és dinamikus (időben változó) vizsgálatát. Minden dinamikus szcenárió bemeneti adatait egy előzőleg futtatott statikus modelleredményből kaptuk. A telített és telítetlen zónát külön modul kezeli. A telített zónát, melynek szintje (általában 89-90 mBf) az adott hidrológiai félévben uralkodó csapadékmennyiségtől és Duna vízszinttől függ a MODFLOW 2000 modullal futtattuk. A telítetlen zóna e felett található és a SURFACT modul kezelte.

A 2011.-es év második hidrológiai félév adatainak felhasználásával tanulmányoztuk a telített zónában kialakuló talajvíztükör, sebességtér eloszlását és részecske pályáit jellegzetes alacsony, közepes illetve magas Duna vízszintek során.

A hidegvíz csatorna vízszintjei 84.9 és 88.9 mBf között ingadoztak a vizsgált időszakban. Augusztusban és októberben voltak olyan magas árhullámok, amelyek a HVCS, illetve a Duna felé történő áramlást blokkolták, vagy amely során az erőmű területe felé zajló visszaáramlás jött létre. Ennek mértéke mérsékelt maradt, mivel a Duna vízszintje nem érte el a 90 mBf szintet.

A területet átfogóan jellemző sebességtérből látható, hogy:

- A főépület északi oldala és a HVCS közelében többnyire lényegesen nagyobb sebességek alakulnak ki, mint a déli oldalon. A különbség akár 1 – 2 nagyságrend is lehet.
- A délkeleti oldalon két ellentétesen áramló tartomány találkozik. Emiatt az O5 kúttól északi irányban egy lassan mozgó tartomány alakul ki.
- A T kútsor esetén (az O kútsortól keletre) a Kondor-tó felőli áramlás alakult ki (D-i) a teljes vizsgált időszak alatt.

Ez lényeges a lehetséges trícium források beazonosítása miatt, továbbá jelzi azt is, hogy a Kondor-tóba nem juthat az erőmű közvetlen környezetéből trícium.

- A vizsgált időszakban (2011.05.01.-2011.10.31.) 2011. október közepe körül alakult ki a Duna felől visszaáramlás. Augusztus közepén szintén igen magas Duna vízszint volt jellemző. Ekkor a HVCS oldalán megtorpant a Duna felé történő áramlás, de a sebességtér iránya még mindig, inkább a Duna és a HVCS felé mutatott a vizsgált területen.

A maximális sebességek összehasonlítása alapján láthatjuk, hogy a legkisebb sebesség a visszaáramlási időszakban alakult ki. Vmax = 8,5E-6 m/s, augusztus 12-én, a Duna magas vízállása esetén. A legnagyobb sebességek a legkisebb Duna vízállás esetén voltak tapasztalhatóak. Vmax = 2,7E-5 m/s október 7-én. A két fenti érték aránya ≈3/1. A fenti sebességek a Duna és a HVCS mentén jellemzőek, a főépület közvetlen környezetében a talajvíz áramlása lassabb. A fenti sebességek napi 0,73 – 2,33 méter megtételét jelentik a HVCS közelében. A HVCS mellett és a főépület mellett mért sebességek aránya akár több mint egy nagyságrend is lehet. A főépület környezetében számolt naponta megtett utak a hely és idő függvényében 0,05 – 0,25 méter között ingadoztak a vizsgált időszakban.

Az időben változó sebességtér speciális pályákra kényszeríti az adott rétegbe került részecskéket. A pályákat a potenciális terhelő-forrásoktól indítottuk. Ezek a fő épülettömböt nyugatról határoló szennyvízcsatorna rendszer, a segédépületek, a blokkok és a TM55 vezeték. Emellett részecskéket helyeztünk el az új erőmű területén is ahhoz, hogy az építési és felvonulási terület pályáit is szemléltethessük. A vizsgált időszakban a Duna vízszintje 90 mBf alatt maradt. Ennek megfelelően a pályák nagymértékű visszakanyarodása nem volt tapasztalható. 82 – 88 mBf között a jellemző sebességek 0,05 – 0,25 m/nap között ingadoznak. 100 méter megtételéhez 400 – 2000 nap szükséges a 2011 második hidrológiai félévében jellemző viszonyok között.

A talajvíz és a felszíni vizek egymásra gyakorolt hatásának értékelése

A talajvíz és a felszíni vizek egymásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a telephelyre és annak közvetlen környezetére vonatkozóan **extrém Duna vízállások** esetén fennálló viszonyokat alkalmazó hidrológiai modellt építettünk fel. A kiugró értékeket a paksi vízmérce és a HVCS-nál található Vízmű tizenegy éves (2000-2011) adatsorából választottuk ki. A legalacsonyabb vízszint 2011.12.03.-án jelentkezett. A paksi vízmércénél 84,81 mBf szintet mértek, míg a HVCS-nál 84,3 mBf vízszintet észleltek. A legmagasabb érték 2006.04.06.-án jelentkezett. A paksi vízmércénél 93,99 mBf szintet mértek, míg a HVCS-nál 93,67 mBf vízszintet észleltek.

Extrém alacsony Duna vízállás esetén a folyamatok követik az alacsony vízállás során definiált folyamatokat, azaz a halastavaktól a Duna felé keleti áramlás, a HVCS felé pedig észak-nyugati áramlás figyelhető meg. A jelenlegi erőmű területéről észak-keleti áramlás figyelhető meg, míg a nyugati löszplató felől keleti irányban áramlik a HVCS felé a talajvíz. Ez azt jelenti, hogy alacsony Duna és HVCS vízállások esetén a halastavak forrásként, míg a Duna és a hidegvíz-csatorna nyelőként viselkedik.

Extrém magas Duna vízállás esetén a folyamatok ugyan követik a magas vízállás során definiált folyamatokat, de a visszaáramlás sokkal erőteljesebb. A Duna telephely melletti déli részén nyugati irányú visszaáramlás figyelhető meg a halastavak felé. A HVCS keleti oldalán délkeleti visszaáramlás figyelhető meg szintén a halastavak irányába. A HVCS-től délre az övcsatornánál találkoznak a nyugatra és keletre (nyugati löszplató felől) tartó áramlások, így az övcsatorna nyelő tagként jelentkezik. A HVCS nyugati oldalán észak-nyugati áramlás figyelhető meg, mely a nyugati löszplató felől érkező dél-keleti áramlással találkozva lecsillapodik. Ebben az esetben a Duna és a HVCS képezi a forrás tagokat, míg a halastavak pedig a nyelő tagokat.

A Kondor-tó csak a Duna és a HVCS felől érkező talajvízzel érintkezhetne, mivel a HVCS dél-nyugati csücskétől áramlik az erőmű épülete felé a talajvíz szintén dél-nyugati irányban. Azonban figyelembe véve a Kondor-tó 93-95 mBf terepszintjét és néhány méteres mélységét, ez a talajvíz sem fog „felszivárogni" a tóba. Meg kell jegyezni azonban, hogy a melegvizes csatorna dél dél-keleti oldaláról nincsenek információink a talajvíz trícium koncentrációjára vonatkozóan, mivel az ott található talajvízfigyelő kutakból ezt nem mérik, viszont az is tény, hogy oda trícium csak a melegvizes csatorna repedezettsége (szivárgása) által juthatna.

A **telítetlen zóna modellezésére** a program egy külön modulját (Surfact) alkalmaztuk. Ez a modul csak a felső, sűrűbben felosztott rétegekkel számol, így egy egyszerűsített modellteret hoztunk létre annak érdekében, hogy a számolások idejét lerövidítsük.

A telítetlen zónában, állandósult állapotú számolások alapján extrém Duna vízállások esetén kialakuló sebességterek jellemzésére a következő négy esetet különítettük el:

- Extrém alacsony Duna vízállás, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém alacsony Duna vízállás, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém magas Duna vízállás, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását,
- Extrém magas Duna vízállás, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását.

A négy eset elkülönítése azért volt célszerű, hogy bemutathassuk, az egyes természetes (halastavak, Duna, lösz plató), valamint mesterséges (övcsatorna, HVCS) peremfeltételek és a talajvíz egymásra gyakorolt hatását. Az alábbiakban leírjuk az egyes esetek során jellemző folyamatok végkimenetelét.

Extrém alacsony Duna vízállás esetén, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását a Duna és a HVCS nyelőként, míg a halastavak forrásként funkcionálnak.

Extrém alacsony Duna vízállás esetén, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását erőteljesebb áramlás alakul ki a Duna és a HVCS irányába. A modellterület nagy részéről inkább a HVCS felé történik az áramlás, míg a Duna csak a terület déli egynegyed részéről érkező talajvizet nyeli el.

Extrém magas Duna vízállás esetén, figyelembe véve a halastavak és az övcsatorna hatását északon egy lassan mozgó sebességtér alakul ki, mely az övcsatornát elérve felgyorsul és ebben az esetben az övcsatorna jelenti a nyelő tagot nyugaton. A HVCS-től délre szintén egy lassan mozgó sebességtér alakul ki. Keleten a Duna és a HVCS forrásként definiálható, melynek nyelő tagja a halastavak.

Extrém magas Duna vízállás esetén, figyelmen kívül hagyva a halastavak és az övcsatorna hatását a nyugati löszplató felé történő erőteljes visszaáramlás figyelhető meg, mivel nincs semmilyen természetes illetve mesterséges nyelő vagy gát, ami felfogná, elnyelné az áramló talajvizet. Ez esetben is a Duna és a HVCS mint forrástagok szerepelnek.

A telítetlen zónában, a korábbiakkal összhangban elsősorban vertikális elmozdulásokat kapunk. A sebességek több nagyságrenddel kisebbek, a telített zónában kialakult sebességeknél.

A görbék 0,3 és 1 intervallum közötti értéket vesznek fel. Az 1-es érték jelenti, a telített-telítetlen zóna határát, míg a 0,3-as értéknél a legalacsonyabb a telítettség (1-es érték a teljes telítettséget jelenti, azaz a pórustérfogatot egészében víz tölti ki, az ettől kisebb érték pedig a telítettség mértékét adja meg). Az eredmények a korábbi vizsgálatokkal összhangban mutatják a telítetlen zóna nedvesedését – száradását, és a zónába korábban került trícium ezzel összefüggésbe hozható periódikus kiürülését.

A Duna vízszint ingadozásaival összhangban felfelé és lefelé áramló ciklusok váltják egymást a telítetlen zónában. Ennek következtében, egy a telítetlen zónában kialakult korábbi kibocsátás hatása érzékelhető az egyes monitoring kutakban mért trícium aktivitáskoncentrációk ingadozó értékeiben.

Az árhullámokkal összhangban dinamikus számolások alapján függőleges irányban oszcilláló, és egy lefelé illetve vízszintes irányba mutató mozgás együttesével lehet jellemezni a telítetlen zónába kijutott részecskék (trícium) kiürülését.

A folyamat az alábbi blokkséma szerint zajlik le:

- Oszcilláló mozgás a telítetlen zónákban.
- Alsó rétegekben a sebesség megnő és az alsó rétegekből kiáramlás jön létre.
- A kialakuló koncentráció gradiens a felsőbb, kevésbé telített rétegekből az alsó, nagyobb mértékben telített zónák felé hajtja a tríciumot.

A főépület környezetében kialakuló törések a telítettségi görbékben a műtárgy (főépület) perturbációs hatásainak, míg ugyanezek a törések a HVCS környezetében a csatorna vízelvezető és visszaduzzasztó hatásainak tulajdoníthatóak.

A modellben továbbra is forrásként vettük figyelembe a TM55 vezeték korábbi meghibásodása miatt kialakult, 2000Bq/l trícium aktivitáskoncentrációval közelített, a megtett intézkedések miatt fokozatosan ürülő területet. 500 és 100 Bq/l

aktivitáskoncentrációjú helyekkel közelítettük a szennyvízvezeték egyes szakaszait, 300 és 700 Bq/l aktivitáskoncentrációval jellemeztük az EÜ épület és az 1. segédépület egyes területeit.

A fő épület alatt 10 Bq/l, 90 Bq/l, 200 Bq/l és 300 Bq/l aktivitáskoncentrációjú helyeket tételeztünk fel. A 10 Bq/l átlagos érték, amelynél feltehetően lokálisan kisebb és nagyobb értékek is előfordulhatnak. A 200Bq/l koncentrációjú helyet a 2. blokk alatt, a 300 Bq/l koncentrációjú helyet pedig az erőmű keleti oldalán, a 4. blokkhoz közel tételeztük fel.

Az O5, és attól északra levő kutak esetén a TM55 által terhelt területről áramló trícium okozhat ingadozó jellegű aktivitáskoncentráció növekményt. Az ingadozást a változó talajvízszint és szaturáció, továbbá az ezzel összefüggésbe hozható fokozatos kimosódás okozza. Itt a trícium felhő fokozatos elkenődése és a TM55 javításának köszönhetően a terhelés összességében csökkenő trendje jellemző. A csökkenő trend jól érzékelhető az O5 kút adatainak időbeli váltakozásai esetén.

A T07 kúttól délre felvett forrást az előző hidrológiai félévhez képest kissé nyugatabbra toltuk. 2011-ben befejeződött a szennyvízvezeték rekonstrukciója. A karbantartás a vegyészeti épülettől délre eső szakaszokon kezdődött. A telítetlen zónában korábban feltehetően nagyobb aktivitású trícium aktivitású tartományok alakulhattak ki. Feltételezhető, hogy a T07 kútban és későbbiekben további, a szennyvízrendszer felől érkező vizet monitorozó, a T07-től északabbra található kutakban az aktivitáskoncentrációk ingadozó jelleggel, de csökkenő trendnek megfelelően fognak változni. Ha ez nem következik be a javításoknak köszönhetően, akkor egyéb eddig figyelmen kívül hagyott okok is szerepet játszhatnak a mért eredmények kialakulásában.

A T28 kútban tapasztalt trícium aktivitáskoncentrációk felvetik a TM55 vezeték főépülettől távolabbi, korábban hibás vezeték szakaszainak lehetséges szerepét. Nem kizárt, hogy a telítetlen zónában innen maradt vissza olyan terhelés, ami az erősen ingadozó vízszinteknek köszönhetően esetenként még most is megemelkedett trícium koncentrációt okoz a kútban. A nagyobb trícium aktivitáskoncentrációjú vizek a melegvizes csatornába a Duna felőli oldalon ömlenek be. Valószerűtlen, hogy ez okozná a T28 kútban tapasztalt értékeket.

Az eredmények realitását ellenőriztük. A számolt értékeket számos, a vizsgált periódusban (2011.05.01.-2011.10.31.) mért vízszinttel és trícium aktivitáskoncentrációval összehasonlítottuk.

Azon kutak esetén, amelyek a bemenő adatok, „constant head”-szintek kialakításánál alapul szolgáltak, teljes vízszintegyezést kapunk. Teljes az egyezés például a PK2, PK3, PK4, PK5, T59, T83, T84, KH01, KH02, KH04, O5, O6, O7, O8, HVCS-vízmű szintjei esetén Az eredmények a számolt vízszintek tekintetében teljesen meggyőzőek, azaz a modell validáltnak tekinthető.

A számolt vízszintek jól követik a mért szintek dinamikáját is. A Standard Hiba: 0.003 m, az RMS (Root Mean Square): 0,304 m, a normált RMS értéke 4,46 %. A fenti összehasonlításban a triviálisan egyezést mutató, konstans szintek kijelölésénél szerepet játszó kutak adatai nincsenek jelen.

A szintek kalibrálása alapján a sebességtér, a sebességtér anizotrópiája, a pályák, az elérési idők reálisnak tekinthetők. A modellt hosszú távon is megbízhatónak validálják a korábbi számolások, amelyek például a 2006 évi extrém vízállás dinamikával jellemezhető hidrológiai viszonyok között is kielégítő eredményeket adtak.

A modell sebességterét olyan helyekkel kapcsoltuk össze, amelyek esetén feltételeztük, hogy az adott hely, például blokk alatti terület, csővezeték adott szakasza trícium forrásként funkcionálhat. A trícium lencse számolása során feltételeztük, hogy a kiválasztott helyeken, a trícium talajba kerülése miatt mindig meghatározott, a terheletlen területre jellemzőnél magasabb koncentráció alakul ki. Az ezeken a helyeken bevitt és a mérési adatokhoz illesztett kezdeti feltételként bevitt trícium mennyiségének további kiterjedését számolta a modell. A kezdeti feltételként adott trícium lencsét egy a tranziens számolást megelőző, 2011 május 1-i viszonyokat figyelembe vevő, időben állandósult állapotnak megfelelő egyenleteket megoldó „steady state” szimulációból kaptuk.

A korábbi modellezések során egyes időszakokban jellemző volt a terhelés túlbecsült értéke. A jelenlegi számolás esetén ez kevésbé jellemző. A számolt trendek és a nagyságrendek megfelelnek a mért értékeknek. Az O5 esetén a program alábecsült értéket mutat, míg a T17 kút esetén még mindig előfordul némi túlbecslés a mért értékekhez képest. A TM55 vezeték és a szennyvízcsatorna javításának köszönhetően a mért értékek, bár még nincsenek stabilan 1000 Bq/l alatt, mégis egy összességében csökkenő trendet jeleznek. A normált RMS értéke mind a vizsgált időszak elején, mind az időszak végén 15% alatti. A becslés sztenderd hibája 30 Bq/l alatt marad.

A tríciummal kapcsolatos számolások esetén elsősorban a főépület környezetére koncentráltunk. A validáló kutak a főépületet veszik körbe.

A talajvíz és a rétegvíz közötti transzportfolyamatok értékelése

Felmerült a kérdés, hogy az R63 és R64 réteg kutak esetén mi okozza az R63-as kút magasabb vízszint értékét. Az R64 kút kommunikál a talajvízszinttel, tehát hidraulikai kapcsolatban áll a felső telített zónával. Megegyezik a vízszint mért értéke a környező kutakkal. Az R63 kutat magasabb nyomás jellemzi, körülbelül 6-7 m-rel magasabb a mért vízszintje a környező kutakénál. Az adott kutak környezetében elemeztük a rétegszerkezetet és a szemcseösszetételt. A magasabb nyomás lehetséges magyarázata, hogy az R63 kút szűrőzött rétege fölött egy második agyagréteg húzódik mely hullámosan települt és jóval zártabb, egybefüggőbb és kevésbé áteresztő rétegként viselkedik. Az adott réteg hidrosztatikai nyomását, a magasabban fekvő löszplató hidraulikai paraméterei határozzák meg. Tehát az R63 kút szűrőzése a fent említett vízrekesztő réteg alatt, míg az R64-é pedig felette helyezkedik el. Ez magyarázhatja a két kút vízszintjeiben mért különbséget. A modellben ezt a feltevést alkalmaztuk és ez jól visszaadja a két kút vízszintjének időbeni változásait.

Az új erőmű építéséhez kapcsolódó alapozási munkák

Elvégeztük az új erőmű építéséhez kapcsolódó alapozási munkák víztelenítéséhez szükséges talajvízszint csökkentés várható hatásainak elemzését. A munkagödör horizontális méretét 36 ha-ban, azaz 360.000 m^2-ben, továbbá a felszíntől (97 mBf) való mélységét 21 m-ben határoztuk meg előzetes egyeztetés alapján. Az építési terület egészét lefedő inaktív tömböt (a modellezés során a talajvízáramlásban részt nem vevő tömböt) drén hálózattal vettük körbe, mely eszközként szolgált a várható vízkiemelés térfogatáramának becslésében. A modell bemeneti paramétereit 2012. második hidrológiai félév (2012.05.01-2012.10.31) adataival aktualizáltuk. A hidegvíz csatorna vízállása 2012. második hidrológiai félévében 85,22 mBf (KV) és 90,01 mBf (NV) között ingadozott.

A vizsgált időszak kezdetén csak a munkagödör közvetlen környezetében figyelhető meg depresszió (talajvízszint csökkenés). A sebességtér is ennek megfelelően alakul. Majd az idő előrehaladtával egyre nagyobb depressziós tölcsér alakul ki és a sebességtér módosulása is arra enged következtetni, hogy egyre nagyobb területről és intenzitással fog a munkagödör irányába áramlani a víz. Ennek hidraulikai magyarázata, hogy a víz gravitációs hatások következtében mindig a legalacsonyabb potenciálú hely felé áramlik és minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál nagyobb intenzitással.

A munkagödör környezetében 12-14 méter maximális leszívás értékek jelentkeztek vizsgálataink folyamán a nyugalmi talajvízszintekhez képest. Ennek következményeit a munkagödör környezetében található megfigyelő kutak vízszint csökkenésében láthatjuk majd.

A munkagödör szárazon tartásához ≈48.788 m^3/nap-os vízkitermelés szükséges. Ezen felül a munkagödör megnyitását megelőzően ki kell termelni az alapozási térfogatban található vízmennyiséget. Ezt növeli a depressziós tölcsér hatására a környező telített zónából beáramló vízmennyiség, melynek nagysága ≈1.610.715m^3 25 napos leszívási időt feltételezve. Ha a teljes víztelenítést ezen 25 nap alatt el akarjuk érni, akkor ehhez az első 25 napban ≈64.428m^3/nap-os plusz szivattyúzási teljesítmény szükséges.

A 2. kiépítés északi határán a leszívás értéke elérheti a 10 métert! Míg az egyes kiépítésen a víztelenítésnek gyakorlatilag nincs hatása. Ezen adatokból kiindulva javasoljuk az alapozás átgondolását és csak azon területek víztelenítését melyek az alapozáshoz feltétlenül szükségesek.

A megfigyelt, normális (depresszió nélküli, „observed") értékek lettek összehasonlítva a modell által a leszívást szimuláló (depresszió figyelembe véve, „calculated") értékekkel. Amennyiben a megadott víztelenítési folyamatot végre kívánják hajtani, javasoljuk a kettes kiépítés északi környezetében lévő megfigyelő kutakra vonatkozó időszakos monitoring megfigyelések gyakoribbá tételét.

Csámpai-vízmű (mint legközelebbi ivóvízbázis) hidrológiai folyamatokra gyakorolt hatása

Egy hipotetikus modellt építettünk fel, annak érdekében, hogy bemutathassuk a Csámpai-vízmű rétegvízszintre gyakorolt hatását. A modellben 710 m^3/nap-os vízkivételt tételeztünk fel. Mivel a Csámpai-vízmű rétegvizet termel, csak a mélyebb 30 – 60 mBf mélységben okoz depressziót, ennek következtében sebességtér módosulást a felszínhez közeli rétegekben nem okoz (ahova bármilyen szennyező anyag kijuthatna mind a meglévő, mind a tervezett erőműből).

A rétegösszletek természetes nyomásszintje a mélység felé növekszik. Természetes állapotban tehát a talajvízből a rétegvíz felé történő áramlásra nincs lehetőség. Kutak, vagy vízmű kutak által intenzifikált területrészen (a kis szivárgási tényező miatt) néhány száz méteres lokális részen jelentkezhet a közel fekvő pannon rétegek között csekély mértékű vertikális leáramlás, de ennek a vizsgált területre regionális hatása nincs. A talajvíznek lefelé történő szivárgása, a vízrekesztő összletek nagy vastagsága miatt még ezeken a területrészeken sem képzelhető el.