FÖLDTANI KÖZEG ÉS FELSZÍN ALATTI VÍZ A TELEPHELYEN ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETÉBEN

TARTALOMJEGYZÉK

13 FÖLDTANI KÖZEG ÉS FELSZÍN ALATTI VÍZ A TELEPHELYEN ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETÉBEN 9

13.1 Jogszabályi háttér – Területi besorolás, határértékek 9
13.2 A vizsgált területhorizontális és vertikális lehatárolása 9
13.3 A vizsgált felszín alatti vízi környezet általános jellemzői 10
13.3.1 Rövid vízföldtani jellemzés 10
13.3.2 Felszín alatti víztestek besorolásai 10
13.4 A földtani közeg és a felszín alatti víz alapállapota a telephelyen és közvetlen környezetében 10
13.4.1 A földtani közeg alapállapota a tervezett beruházási területen 10
13.4.2 A felszín alatti víz alapállapota a telephelyen és közvetlen környezetében 13
13.4.2.1 A telephelyen és környezetében üzemeltetett talajvíz monitoring rendszer archív mérési eredményeinek értékelése 13
13.4.2.1.1 Az atomerőmű üzeme előtti időszak 15
13.4.2.1.2 A talajvíz szennyezettségi állapota a monitoring eredmények alapján 15
13.4.2.2 A 2012-ben mintázott kutakban mért eredmények értékelése 15
13.4.2.3 A vizsgálati komponensek 17
13.4.2.4 A terepi talajvíz mérési eredményeket befolyásoló tényezők ismertetése 18
13.4.2.4.1 A talajvíztároló réteg 18
13.4.2.4.2 Duna és a talajvíz kapcsolata 18
13.4.2.5 A terepi mérési eredmények értékelése 19
13.4.2.6 A 2012-ben mért talaj és talajvíz szennyezettség együttes értékelése 21
13.4.3 A telephely felszín alatti vizeinek hidrológiai modellezése 22
13.4.3.1 A talajvíz és a felszíni vizek egymásra gyakorolt hatásának értékelése 31
13.4.3.2 A telítetlen zóna modellezésének eredményei 32
13.4.3.3 Validálás 35
13.4.3.4 A talajvíz és a rétegvíz közötti transzportfolyamatok értékelése 36
13.4.3.5 A trícium eloszlásának változása a talajvízben 36
13.4.4 Csámpai üzemelő rétegvíz termelő vízmű 38
13.4.4.1 Általános vízföldtani jellemzés 38
13.4.4.2 Alapadatok 38
13.4.4.3 A víztest minőségi állapota 38
13.4.4.4 A víztest mennyiségi állapota 39
13.4.4.5 A víztest hidrogeológiai modellje (megnövekedett vízkitermelés hatása a rétegvíz nyomásszintjeire) 39
13.5 Paks II létesítésének hatása a telephely alatti földtani közegre és a felszín alatti vizekre 48
13.5.1 A létesítés hatása a telephely alatti felszín alatti vizekre 48
13.5.1.1 Közvetlen hatások 48
13.5.1.1.1 A munkagödör víztelenítésének hatásai a talajvízre 48
13.5.1.1.2 Az alapozási munkagödörből eltávolított víz trícium mennyiségének becslése 58
13.5.1.2 Közvetett hatások 61
13.5.1.2.1 Víztelenítés során eltávolított víz Dunába helyezésének hatása 61
13.5.1.2.2 A létesítés hatása a földtani közegre 71
13.5.2 A létesítés hatásterületei 72
13.5.2.1 Közvetlen hatások 73
13.5.2.2 Közvetett hatások 74
13.5.2.3 Országhatáron átterjedő környezeti hatások 75
13.6 Paks II üzemelésének hatásai a telephely földtani közegére és felszín alatti vizeire 76
13.6.1 A normál üzemelés 76
13.6.1.1 Paks II üzemelésének hatásterületei 77
13.6.1.1.1 Közvetlen hatások 77
13.6.1.1.2 A talajvíz monitoring rendszer koncepcionális kialakítása 94
13.6.1.1.3 Közvetett hatások 97
13.6.1.2 Paks II és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatása 99
13.6.1.3 Paks II és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatásterületei 99
13.6.1.3.1 Közvetlen hatások 99

13.6.1.3.2 Közvetett hatások 105
13.6.1.3.3 Országhatáron átterjedő környezeti hatások 105
13.6.2 Üzemzavarok, haváriák 106
13.7 Paks II felhagyásának hatásai a telephely alatti földtani közegre és a felszín alatti vizekre 106
13.8 Irodalomjegyzék 107

ÁBRAJEGYZÉK

13.4.1-1. ábra: A tervezett erőművi területen mélyült fúrások elhelyezkedése 11
13.4.2-1. ábra: A figyelőkutak területi csoportosítása 14
13.4.2-2. ábra: A monitoringba bevont kutak 16
13.4.3-1. ábra: A hidegvíz csatornánál mért vízszintek a vizsgált időszakban 22
13.4.3-2. ábra: A vizsgálat során felépített modelltér 23
13.4.3-3. ábra: A vizsgálat során felépített rétegszerkezet 24
13.4.3-4. ábra: A vizsgálat során felépített rácsháló cellabeosztása 24
13.4.3-5. ábra: A modellezés során kialakított peremfeltételek elhelyezkedése 25
13.4.3-6. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.08.22.-én alacsony Duna vízállás esetén (85,14 mBf) 27
13.4.3-7. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.02.17.-én közepes Duna vízállás esetén (87,56 mBf) 27
13.4.3-8. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.06.11.-én magas Duna vízállás esetén (94,01 mBf) 28
13.4.3-9. ábra: Az áramlásirányok alakulása alacsony Duna vízállás esetén (85,14 mBf) 2013.08.22.-én 28
13.4.3-10. ábra: Az áramlásirányok alakulása közepes Duna vízállás esetén (87,56 mBf) 2013.02.17.-én 29
13.4.3-11. ábra: Az áramlásirányok alakulása magas Duna vízállás esetén (94,01 mBf) 2013.06.11.-én 29
13.4.3-12. ábra: A főépület és a HVCS környezetében kialakuló sebességtér alacsony Duna vízállás esetén 30
13.4.3-13. ábra: A főépület és a HVCS környezetében kialakuló sebességtér magas Duna vízállás esetén 30
13.4.3-14. ábra: A feltételezett forrásoktól indított vízrészecskék útvonala 31
13.4.3-15. ábra: Telített/telítetlen zónában elhelyezett részecskék pályái 33
13.4.3-16. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe alacsony Duna vízállás esetén 33
13.4.3-17. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe közepes Duna vízállás esetén 34
13.4.3-18. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe magas Duna vízállás esetén 34
13.4.3-19. ábra: A mért és a modell által kalkulált vízszintek összevetése 35
13.4.3-20. ábra: Az erőmű épülete alatt feltételezett trícium források számbavétele 36
13.4.3-21. ábra: Tríciumlencse eloszlásának kontúrtérképe a vizsgálati időszak végén 37
13.4.3-22. ábra: A mért és a modell által kalkulált trícium aktivitás koncentrációk összevetése 37
13.4.4-1. ábra: Az 1. telep I-1 számú megfigyelő kút vízszintjének10 éves idősora 39
13.4.4-2. ábra: Az 1. telep I-3 számú megfigyelő kút vízszintjének 8 éves idősora 40
13.4.4-3. ábra: Az 1. telep I-7 számú megfigyelő kút vízszintjének 10 éves idősora 40
13.4.4-4. ábra: A 2. telep II-2 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora 41
13.4.4-5. ábra: A 2. telep II-6 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora 41
13.4.4-6. ábra: A 3. telep III-8 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora 42
13.4.4-7. ábra: A 3. telep III-9 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora 42
13.4.4-8. ábra: A kiterjesztett modell geometriája 43
13.4.4-9. ábra: A modell rácsháló ja 43
13.4.4-10. ábra: A rétegek szivárgáshidraulikai paramétei 44
13.4.4-11. ábra: A modellterület átnézeti térképe 45
13.4.4-12. ábra: A termelő kutak környezetében kialakuló áramlási irányok, az 50 éves elérési idejű pályák, illetve a depressziós tölcsérek 45
13.4.4-13. ábra: Az áramlás iránya NY - K-i metszet mentén 46
13.4.4-14. ábra: A jelenlegi állapot validációs görbéje 46
13.4.4-15. ábra: A termelő kutak környezetében kialakuló áramlási irányok, az 50 éves elérési idejű pályák, illetve depressziós tölcsérek 47
13.4.4-16. ábra: Az áramlás iránya NY - K-i metszet mentén 47

13.4.4-17. ábra: A jelenlegi állapothoz viszonyított 646 m³/napos növekmény validációs görbéje 48
13.5.1-1. ábra: Az alapozási munkagödör horizontális elhelyezkedése 49
13.5.1-2. ábra: Az alapozási munkagödör vertikális képe 49
13.5.1-3. ábra: A telephely összes megfigyelő kútjának éves vízszintingadozása 50
13.5.1-4. ábra: A felvonulási és építési területen található megfigyelő kutak éves vízszintingadozása 50
13.5.1-5. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak kezdetén 51
13.5.1-6. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 50. napján 51
13.5.1-7. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 100. napján 52
13.5.1-8. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 200. napján 52
13.5.1-9. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 365. napján 53
13.5.1-10. ábra: Az alapozási munkagödör víztelenítéséhez és szárazon tartásához szükséges kifolyó vízmennyiség 54
13.5.1-11. ábra: A második alapozási munkagödör horizontális elhelyezkedése 54
13.5.1-12. ábra: A második alapozási munkagödör vertikális képe 55
13.5.1-13. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak kezdetén 55
13.5.1-14. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 50. napján 56
13.5.1-15. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 100. napján 56
13.5.1-16. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 200. napján 57
13.5.1-17. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 365. napján 57
13.5.1-18. ábra: A második alapozási munkagödör víztelenítéséhez és szárazon tartásához szükséges kifolyó vízmennyiség 58
13.5.1-19. ábra: A trícium mennyiségének becsléséhez definiált zóna 59
13.5.1-20. ábra: A zónán áthaladó éves vízmennyiség 59
13.5.1-21. ábra: A trícium nyugat-keleti szelvény menti eloszlása 60
13.5.1-22. ábra: A trícium csóva áramlásának iránya alapállapotban 61
13.5.1-23. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (1. nap) 61
13.5.1-24. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (50. nap) 62
13.5.1-25. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (100. nap) 62
13.5.1-26. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (200. nap) 63
13.5.1-27. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (365. nap) 63
13.5.1-28. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (1. nap) 64
13.5.1-29. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (50. nap) 64
13.5.1-30. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (100. nap) 65
13.5.1-31. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (200. nap) 65
13.5.1-32. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (365. nap) 66
13.5.1-33. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (1. nap) 66
13.5.1-34. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (50. nap) 67
13.5.1-35. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (100. nap) 67
13.5.1-36. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (200. nap) 68
13.5.1-37. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (365. nap) 68
13.5.1-38. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (1. nap) 69
13.5.1-39. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (50. nap) 69
13.5.1-40. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (100. nap) 70
13.5.1-41. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (200. nap) 70
13.5.1-42. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (365. nap) 71
13.5.2-1. ábra: Az első munkagödör víztelenítésének hatásterülete 73
13.5.2-2. ábra: A második munkagödör víztelenítésének hatásterülete 73
13.6.1-1. ábra: A telephely új erőművel és melegvíz csatornaággal módosított képe 77
13.6.1-2. ábra: Alacsony Duna vízállás (85,14 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe 78
13.6.1-3. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe 78
13.6.1-4. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe 79
13.6.1-5. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó alacsony Duna vízállás esetén 79
13.6.1-6. ábra: A háromfázisú zóna képe állandó alacsony Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén 80

13.6.1-7. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó alacsony Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén 80
13.6.1-8. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén 81
13.6.1-9. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén 81
13.6.1-10. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén 82
13.6.1-11. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén 82
13.6.1-12. ábra: Közepes Duna vízállás (87,73 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe 83
13.6.1-13. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe 83
13.6.1-14. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe 84
13.6.1-15. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó közepes Duna vízállás esetén 84
13.6.1-16. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó közepes Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén 85
13.6.1-17. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó közepes Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén 85
13.6.1-18. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 86
13.6.1-19. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 86
13.6.1-20. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 87
13.6.1-21. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 87
13.6.1-22. ábra: Trícium csóva eloszlása harminc évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 88
13.6.1-23. ábra: Trícium csóva eloszlása negyven évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén 88
13.6.1-24. ábra: Magas Duna vízállás (94,01 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe 89
13.6.1-25. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe 89
13.6.1-26. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe 90
13.6.1-27. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó magas Duna vízállás esetén 90
13.6.1-28. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó magas Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén 91
13.6.1-29. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó magas Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén 91
13.6.1-30. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén 92
13.6.1-31. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén 92
13.6.1-32. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén 93
13.6.1-33. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén 93
13.6.1-34. ábra: Trícium csóva eloszlása harminc évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén 94
13.6.1-1. ábra: A monitoring rendszer kútjainak telepítési fázisai és az áramlási pályák 94
13.6.1-2. ábra: Hulladék gyűjtőhelyek, olajos és veszélyes anyagok tárolóhelyei, illetve a monitoring kutak elhelyezkedése 95
13.6.1-1. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után fél évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén 99
13.6.1-2. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén 100
13.6.1-3. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén 100
13.6.1-4. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után fél évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén 101
13.6.1-5. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén 101
13.6.1-6. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén 102
13.6.1-7. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tíz évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén 102
13.6.1-8. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tizenhét évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén 103
13.6.1-9. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés fél évvel tartósan magas Duna vízállás esetén 103
13.6.1-10. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan magas Duna vízállás esetén 104
13.6.1-11. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan magas Duna vízállás esetén 104
13.6.1-12. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tiz évvel tartósan magas Duna vízállás esetén 105

TÁBLÁZATJEGYZÉK

13.4.1-1. táblázat: A beruházási terület talajmintáinak összesítő laboratóriumi vizsgálati eredményei 12
13.4.1-2. táblázat: Naftalin és PAH indikációk a beruházási területen mélyült fúrások talajmintáiban 13
13.4.2-1. táblázat: A Duna és a monitoring rendszer kútjainak vízjárás kapcsolata 13

13.4.2-2. táblázat: A talajvíz figyelő kutakban mért paraméterek összefoglalása 19
13.4.3-1. táblázat: Havi csapadékmennyiség a telephely területén....23
13.4.3-2. táblázat: A modellben alkalmazott szivárgási tényezők x,y,z komponensei....26
13.4.3-3. táblázat: Egyéb szivárgáshidraulikai paraméterek 26
13.4.4-1. táblázat: A csámpai kutak paraméterei 39
13.4.4-2. táblázat: A paksi R63-as és a 4 darab csámpai termelő kút trícium aktivitása....44
13.5.1-1. táblázat: Az alapozási munkagödör víztelenítésének hatása az egyes megfigyelőkutakban 53
13.5.1-2. táblázat: Az alapozási munkagödör víztelenítésének hatása az egyes megfigyelőkutakban 58
13.5.2-1. táblázat: A Paksi Atomerőmű normál üzemi ellenőrzött folyékony radioaktív kibocsátásai 2013-ban 74
13.5.2-2. táblázat: A Duna vízhozama Paksnál jellegzetes vízállások függvényében 74
13.5.2-3. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek 2013-ban 74
13.6.1-1. táblázat: Paks II blokkjainak üzemeltetési periódusai, együttes üzemelése a Paksi Atomerőmű meglévő blokkjaival....76
13.6.1-1. táblázat: Olaj és vegyszer tárolás az üzemelés időszakában 96
13.6.1-2. táblázat: A monitoring kutak elnevezése és EOV koordinátái....96
13.6.1-1. táblázat: Paks II normál üzemi ellenőrzött folyékony radioaktív kibocsátásai 97
13.6.1-2. táblázat: A Duna vízhozama Paksnál jellegzetes vízállások függvényében 98
13.6.1-3. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek Paks II 1. blokk 98
13.6.1-4. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek Paks II. 1. és 2. blokk 98
13.6.1-1. táblázat: A kibocsátott alfa-, béta- és gamma-sugárzó izotópok által okozott össz aktivitáskoncentráció növekmény a Dunában 105

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Rövid név	Teljes név
KHV	Környezeti hatásvizsgálat
KHT	Környezeti hatástanulmány
HVCS	hidegvíz-csatorna
MVCS	melegvíz-csatorna
mBf	Balti-tenger közepes vízszintje feletti magasság
KV	kisvíz
KÖV	középvíz
NV	nagyvíz
VGT	Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve
VKI	Víz Keretirányelv
PAH	policiklusos aromás szénhidrogének
BTEX	Benzol és alkilbenzolok
TPH	környezeti minták C6-C40 szénatom;számú szénhidrogén típusú szennyezőanyagainak együttes mennyisége
KKÁT	Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója
GHB	általános peremfeltétel (general head boundary)
CHB	konstans peremfeltétel (constant head boundary)
WHO	World Health Organisation (Egészségügyi Világszervezet)

13 FÖLDTANI KÖZEG ÉS FELSZÍN ALATTI VÍZ A TELEPHELYEN ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETÉBEN

13.1 JOGSZABÁLYI HÁTTÉR – TERÜLETI BESOROLÁS, HATÁRÉRTÉKEK

Európai Uniós joganyagok (Decision, Directive)

Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról

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.) Kormányrendelet.

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet.

123/1997. (VII. 18.) Kormányrendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről.

Kormányhatározat

A Kormány 1042/2012. (II. 23.) Korm. határozata Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről

Miniszteri rendeletek

A kármentesítési tényfeltárás szűrővizsgálatával kapcsolatos szabályokról szóló 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet.

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

A felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről szóló 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet.

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

13.2 A VIZSGÁLT TERÜLETHORIZONTÁLIS ÉS VERTIKÁLIS LEHATÁROLÁSA

A földtani közeg és a felszín alatti víz állapotának meghatározása és jellemzése a Paksi Atomerőmű területén, a kijelölt bővítési területre és annak szűk környezetére terjed ki.

A felszín alatti vízi környezet jellemzése, a vizsgálati területen belül található talajvíz, partiszűrésű víz és rétegvíz tároló rétegekre terjed ki. Az atomerőmű területén és környezetében jelenleg is üzemelő, több mint 220 db kútból álló felszín alatti vízszint-, és vízminőségi észlelőhálózat, valamint a Csámpai Vízmű kútjai határozzák meg a vizsgálati terület horizontális kiterjedését talaj-, és rétegvíz vonatkozásában.

A vizsgálatok – a rétegvízadók helyzetét figyelembe véve – vertikálisan a felszíntől számított 210 méteres mélységig terjedő földtani térrészt érintették.

13.3 A VIZSGÁLT FELSZÍN ALATTI VÍZI KÖRNYEZET ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

13.3.1 RÖVID VÍZFÖLDTANI JELLEMZÉS

A térségben kétféle felszín alatti víz fordul elő: rétegvíz a pannon homokszintekben, amely mélyen vízrekesztő rétegek alatt helyezkedik el, s e fölött, a pleisztocén-holocén összletben lévő, összefüggő talajvíz.

A telephelyen a talajvízig változó vastagságú és összetételű feltöltés található, amely alatt a Duna áradásából származó újholocén öntésagyag, öntéshomok, öntésiszap települ. A Duna medrétől távolodva óholocén futóhomok összlet borítja az eredeti térszint. A fenti rétegeken keresztül függőlegesen szivárogva juthat el a csapadék a talajvízig. Az alacsony árteret a feltöltött hajdani meanderek hálózzák be. Jelenleg az árvízi elöntéstől a 96-97 mBf-re kiépített árvédelmi gátak megvédik, de a Duna vízállásváltozásai – elsősorban a lefűződött egykori meder anyagán keresztül – élénken befolyásolják a talajvízszint alakulását.

A Duna felső- és középső-pleisztocén allúviuma fölé, mintegy 6-8 m-rel emelkedik annak óholocén terasza, melynek anyaga aprókavicsos rétegekkel tagolt folyóvízi apró-és középszemű homok. Ennek felszínét újholocén futóhomok borítja. A terasz talajvízállás viszonyait a Duna már kevésbé, vagy alig befolyásolja.

A Duna-völgyét ÉNy felől 160-180 mBf magasságig emelkedő löszplató szegélyezi. A löszplató felszínére hulló és beszivárgó csapadékvíz a vályogzónák felett összegyülekezve a porózusabb szintekben az erózióbázis fele vezetődik. Ez a Duna-völgyi talajvíz tápterülete. 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 vertikális szivárgási tényezője 10^{-6}-10^{-7} m/s. A felső-pannóniai képződmények vastagsága a területen kb. 500 m. A víztartó rétegekben tárolt víz nyomásviszonyai miatt természetes körülmények között a talajvizek nem juthatnak le a rétegvizekhez

A kutak ebből általában 200 l/p-es vízhozamokat szolgáltatnak, de az egyes kutak hozama között jelentős eltérések vannak.

13.3.2 FELSZÍN ALATTI VÍZTESTEK BESOROLÁSAI

Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási terve (VGT) – A Kormány 1042/2012. (II. 23.) Korm. határozata Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről - szerint a Paksi Atomerőmű környezete az 1-11 Sió vízgyűjtő-tervezési alegységhez tartozik, és annak K-i peremén helyezkedik el.

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 2. sz. mellékletének 2. c) pontja szerint a Paksi Atomerőmű környezete a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny területnek számít, mivel a porózus fő vízadó képződmény teteje a felszín alatt 100 m-en belül található.

Emellett a rendelet 2. sz. mellékletének 1. a) pontja alapján a felszín alatti víz állapota szempontjából fokozottan érzékeny területnek számítanak az üzemelő és távlati ivóvízbázisok belső, külső és hidrogeológiai védőterületei. Ez a Paks II. fejlesztés tekintetében az erőmű szociális vízellátását biztosító csámpai vízbázist érinti.

13.4 A FÖLDTANI KÖZEG ÉS A FELSZÍN ALATTI VÍZ ALAPÁLLAPOTA A TELEPHELYEN ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETÉBEN

13.4.1 A FÖLDTANI KÖZEG ALAPÁLLAPOTA A TERVEZETT BERUHÁZÁSI TERÜLETEN

A földtani közeg környezeti állapotának meghatározása és jellemzése a 2012 évi helyszíni vizsgálatok alapján történt.

A tervezett erőművi területen 40 db (TB-1. – TB-40. jelű), 10 m mély feltáró fúrás mélyült, direct push technológiával, folyamatos magmintavétellel, 47 mm-es furat átmérővel. A mélyült fúrások elhelyezkedését a 13.4.1-1. ábra mutatja.

13.4.1-1. ábra: A tervezett erőművi területen mélyült fúrások elhelyezkedése

A talajból 0–1 m, 1–3 m, 4–7 m és 8–10 m mélységközökből pontmintákat vettünk kémiai laboratóriumi vizsgálatok céljából (összesen 200 db minta).

A felszín közeli (0–1 m) és a kapilláris tartományból (4–7 vagy 8–10 m) származó talajmintákból a 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet 2. számú mellékletében megadott szerves vegyületek kémiai analitikai vizsgálata történt meg a PAH–BTEX–TPH komponensekre.

Amennyiben a felszín közeli, vagy a kapilláris tartományból származó minta vizsgálata során valamely komponens koncentrációja meghaladta a „B" szennyezettségi határértéket (a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 1. számú melléklete szerint), úgy a fúrásból származó többi minta korlátozott számú szerves összetevőinek (PAH, BTEX, TPH) meghatározását is elvégeztük.

A fúrások pontmintáiból elvégeztük a 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet 2. számú mellékletében megadott összes szervetlen vegyület (fémek, félfémek, pH, vezetőképesség) kémiai analitikai vizsgálatát.

A 13.4.1-1. táblázatban a beruházási terület különböző pontjairól származó 40 db fúrásmag minta vizsgálati eredményeit összesítettük, a komponensenként mért maximális, minimális és az átlagos koncentrációk feltüntetésével.

Komponensek	Mértékegység	„B" szennyezettségi határértékek	Maximális érték	Minimális érték	Átlag
pH		-	9,5	7,3	8,5
Vezetőképesség	µS/cm	2500	620	36	75
Króm	mg/kg	75	104	4	17,4
Kobalt		30	13	1	3,8
Nikkel		40	44	3	12
Réz		75	63	2	8,6
Cink		200	58	7	20,1
Molibdén		7	<1	<1	<1
Szelén		1	0,4	<0,3	<0,3
Kadmium		1	<0,3	<0,3	<0,3
Ón		30	3	<1	<1
Bárium		250	157	4	31,3
Ólom		100	22	1	5,5
Ezüst		2	<0,9	<0,9	<0,9
Arzén		15	11	1	3,3
Higany		0,5	0,08	<0,02	<0,02
Benzol	mg/kg	0,2	<0,05	<0,05	<0,05
Toluol		0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Etilbenzol		0,5	<0,05	<0,05	<0,05
Xilolok összesen		0,5	<0,1	<0,1	<0,1
Σ Egyéb alkilbenzolok		0,5	<0,5	<0,5	<0,5
TPH /C5-C40/		100	<50	<50	<50
Naftalinok összesen	mg/kg		0,53	-	-
Összes PAH	mg/kg	1	0,56	-	-

13.4.1-1. táblázat: A beruházási terület talajmintáinak összesítő laboratóriumi vizsgálati eredményei

A TB-19. fúrás 0,45 m-es minta (iszapos feltöltés) fajlagos vezetőképessége – a többi mintához képest – kiugróan magas, 620 µS/cm volt. Ez azt jelenti, hogy ezen a területen a talaj oldható ásványi sótartalma magasabb, az egyéb vizsgált területekhez képest.

A TB-19. fúrás 8,35 m-es mélységből vett talajmintájában 104 mg/kg-os króm koncentrációt („B" = 75 mg/kg) és 44 mg/kg-os nikkel koncentrációt („B" = 40 mg/kg) mértünk. A vizsgált minta szürke középszemű folyóvízi homok volt. Ezek a fémszennyeződések jelentéktelen mértékűek, a nagyobb mélység miatt valószínűleg természetes akkumulációról lehet csak szó. A többi mintában „B" határértéket meghaladó koncentrációt egyetlen komponensre sem tapasztaltunk.

A szénhidrogén komponensek közül a BTEX és a TPH egyetlen vizsgált talajmintában sem volt kimutatható, még indikáció formájában sem. A mérési eredmények rendre az alkalmazott vizsgálati analitikai módszer kimutathatósági határértéke alatt maradtak.

A naftalinok és a PAH-ok esetében sem mutattunk ki talajszennyeződéseket, de kisebb indikációk kevés helyen előfordultak, ahogy ezt a 13.4.1-2. táblázat mutatja:

Talajminta jele	Naftalinok (mg/kg)	Összes PAH (mg/kg)
TB-33. F. – 0,4 m	0,07	0,07
TB-34. F. – 8,4 m	0,53	0,56
TB-35. F. – 0,45 m	-	0,11

13.4.1-2. táblázat: Naftalin és PAH indikációk a beruházási területen mélyült fúrások talajmintáiban

Összefoglalóan megállapítható, hogy a beruházási területen a feltárt 10 méteres mélységig a földtani közeg a vizsgált komponensek vonatkozásában – a TB-19. fúrás kivételével – szennyezetlennek tekinthető.

A TB-19. fúrás 8,35 m-es mintájában kimutatott króm-, és nikkelszennyeződések jelentéktelen mértékűek és nagy valószínűséggel természetes eredetűek.

13.4.2 A FELSZÍN ALATTI VÍZ ALAPÁLLAPOTA A TELEPHELYEN ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETÉBEN

A vízföldtani állapotfelmérést a rendelkezésre álló információk összegyűjtése, adatbázisba való rendezése és értékelése alapozta meg és foglalta keretbe. Az adatbázis összeállításának célja a rendelkezésre álló adatok összegyűjtésén túl azok feldolgozása, egységesítése és az adatsorokból levonható következtetések, tendenciák értékelése volt.

A vízminták és az archív adatok értékelését a 2012. évi monitoring eredményének ismeretében, a vélhetően hibás adatok kiszűrésével, a felszín alatti vizek minőségi jellemzésére a 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet és a 6/2009. (IV. 14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet előírásainak megfelelően végeztük.

13.4.2.1 A telephelyen és környezetében üzemeltetett talajvíz monitoring rendszer archív mérési eredményeinek értékelése

Az archív vízszint mérési adatok feldolgozásával röviden jellemeztük a PA Zrt. által üzemeltetett monitoring rendszerrel észlelt talaj-, és sekély rétegvízadók vízjárását.

A 13.4.2-1. ábra mutatja azon kútcsoportok elhelyezkedését, melyek hasonló vízjárással jellemezhetők a vizsgált 14 éves adatsor alapján. A Duna, és a Hidegvíz-csatorna mellett felállított vízmércéken mért vízszintek, és a kutak vízjárása közti leegyszerűsített összefüggést rendkívül tömören a 13.4.2-1. táblázatban mutatjuk be.

Mért paraméter	Kútcsoport			
	I.	II.	III.	IV.
Mért max. vízállás (mBf)	93,54	91,15	91,28	Azon kutak melyek vízjárása, és a Duna vízszintje között nem mutatható ki kapcsolat. Döntően a Dunától, a Hidegvíz-csatornától való távolság, illetve a vízadó típusa határozza meg.
Mért min. vízállás (mBf)	84,61	84,48	88,25	
Max. vízjárás (m)	8,93	6,67	3,03	
Átlagos vízjárás (m)	5,4	2,52	1,95	
Duna hatás	közvetlen (2-4 nap)	szoros (5-8 nap)	időben eltolt (9-45 nap)	nem mutatható ki

13.4.2-1. táblázat: A Duna és a monitoring rendszer kútjainak vízjárás kapcsolata

13.4.2-1. ábra: A figyelőkutak területi csoportosítása

13.4.2.1.1 Az atomerőmű üzeme előtti időszak

Az atomerőmű és térségének talajviz jellemzői az atomerőmű építését megelőző időszakban az ekkor készült nagyszámú talajmechanikai feltárás során vett vízmintákból, illetve a kifejezetten a talajvíz megfigyelésére létesített figyelőkutak vizsgálatából ismertek. Az építkezések során még számos geotechnikai feltárásból származó vízminta minőségvizsgálata történt meg.

A vizsgálatok döntő része az akkor érvényes műszaki előírások utasításait követve a kalcium, magnézium, nátrium, kálium, ammónium, nitrát, lúgosság, hidrogénkarbonát, klorid, szulfát, pH, valamint a szabad széndioxid, illetve az oldott oxigéntartalom meghatározására terjedt ki.

A rétegvizek minősége a Csámpai Vízmű kútjainak vizsgálataiból volt ismert. Ezek a kutak a felső-pannon korú formációk 50–200 m-es mélységintervallumának homokos rétegeiből nyerik vizüket.

13.4.2.1.2 A talajvíz szennyezettségi állapota a monitoring eredmények alapján

A talajvíz szennyezettségi állapotát a rendelkezésünkre álló adatsorok alapján elemeztük. Ezek az adatsorok a 2005. januártól 2010 decemberéig terjedő időszakot fedik le, a nitrát tartalom vonatkozásában 2003 novemberétől vannak adataink.

A rendszeresen vizsgált monitoring kutak területi eloszlása nem egyenletes, ezeket a kutakat elsősorban a potenciálisan szennyező üzemrészek vagy műtárgyak területén vagy annak szomszédságában létesítették:

- az ipari zagytér monitoring kútjai: Z01, Z02, Z02/a, Z05, T65, T66, T72;
- a gázolajtartályok köré telepített monitoring kutak: O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8;
- a veszélyes hulladék üzemi gyűjtőhely monitoring kútjai: T73, T74, KG03;
- az udvartér fekáliás csatornarendszerének monitoring kútjai: T7/a, T20/a, T23, T24/a, M05, M06, M07;
- a KKÁT szennyvízelvezető csatorna monitoring kútjai: M08, M09, M10, M11;
- a KKÁT területének monitoring kútjai: KH01, KH02, KH06, KH08;
- a pótvíz előkészítő üzem monitoring kútjai: T7/a, T13, T23, T24/a, O1, O2, O5, M09;
- az erőmű blokkok közvetlen környezetének monitoring kútjai az udvartérben: M04, M07, T15, T16, T17, T24, T37/a, T39/a, T45/a, T53, T55.

13.4.2.2 A 2012-ben mintázott kutakban mért eredmények értékelése

A felszín alatti vizek alapállapot vizsgálatához a telephelyen, kizárólag a területen már meglévő korábban kiépített, és jelenleg is üzemeltetett monitoring kutakat használtuk fel. A mintázáshoz kiválasztott kutakat előzetesen egyeztetettük a Megbízóval, és az egyes kutak kijelölésénél törekedtünk arra, hogy különböző mélységre szűrőzötteket is vizsgáljunk. Az előzetesen kiválasztott kutak mintavételre való alkalmasságát helyszíni bejáráson ellenőriztük.

A fenti kiválasztási elvek alapján a 13.4.2-2. ábra szerinti kutak negyedéves monitoring vizsgálatát végeztük el 2012. évben:

- Szennyezőanyag monitoring már ismert szennyezett területen: O1, O3, Z02, T73, M10;
- Alapállapot felvétel: R63, R64, C1.2., C2.2., C3.1., C4.1., C4.2., T21, T22, T31A, T32A, T59, T82, V206a, V219.

13.4.2-2. ábra: A monitoringba bevont kutak

13.4.2.3 A vizsgálati komponensek

A vizsgálatokat végző Wessling Hungary Kft. (1047 Budapest, Fóti u. 56.), a NAT-1-1398/2012 számon bejegyzett akkreditált vizsgálólaboratórium. A kémiai analitikai vizsgálatok folyamata megfelelt a vizsgáló laboratórium által alkalmazott „Minőségirányítási kézikönyvben" foglaltaknak, illetve a vonatkozó MSZ EN ISO/IEC 17025 szabvány előírásainak.

Az I. negyedéves vizsgálati kör esetében a kármentesítési tényfeltárás szűrővizsgálatával kapcsolatos szabályokról szóló 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet 1. sz. melléklet szerinti komponensekre vonatkozó vizsgálatokat végeztük el, a monitoring tervnek megfelelően:

Szervetlen komponensek: pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, fluorid, klorid, nitrit, nitrát, szulfát, foszfát, ammónium, összes Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Se, Cd, Sn, Ba, Pb, Ag, As, Hg;

Szerves komponensek:

Illékony szerves vegyületek:

- alifás szénhidrogének TPH (C5-C9);
- benzol, toluol, etil-benzol, xilolok és egyéb alkilbenzolok (BTEX);
- aromás halogénezett szénhidrogének (klórbenzol, diklórbenzol, triklórbenzol, brómbenzol, klórnaftalinok);
- halogénezett alifás szénhidrogének (kivéve: vinil-klorid);
- egyéb vegyületek körében: izopropil-alkohol, glikolok, piridin, tetrahidrofurán, tetrahidrotiofén;

Nem illékony szerves vegyületek:

- alifás szénhidrogének TPH (C10-C40);
- fenolok;
- policiklikus aromás szénhidrogének (PAH kivéve: benzo(a)pirén);
- klórozott aromás szénhidrogének (tetra, penta, hexa), klórfenolok;
- GC-vel mérhető növényvédő szerek (fenoxiecetsavak, karbamátok, triazinok).

A további vizsgálatok esetében – az I. negyedéves eredmények alapján – a kármentesítési tényfeltárás szűrővizsgálatával kapcsolatos szabályokról szóló 14/2005. (VI. 28.) KvVM rendelet 1. sz. melléklet szerinti komponensekre vonatkozó vizsgálatokat, csak a szervetlen komponensekre vonatkozóan végeztettük el. A szerves komponensek esetében, csak az I. negyedévben méréshatár feletti összetevőkre történtek vizsgálatok:

Illékony szerves vegyületek:

- alifás szénhidrogének TPH (C5-C9);
- benzol, toluol, etil-benzol, xilolok és egyéb alkilbenzolok (BTEX)-

Nem illékony szerves vegyületek:

- alifás szénhidrogének TPH (C10-C40);
- policiklikus aromás szénhidrogének (PAH kivéve: benzo(a)pirén).

A vizsgálatsorozat mintáiban egyetlen komponens koncentrációja sem haladta meg a rá vonatkozó „B" szennyezettségi határértéket (a 6/2009 [IV. 14.] KvVM–EüM–FVM együttes rendelet 2. számú illetve 3. B. számú melléklete szerint).

13.4.2.4 A terepi talajvíz mérési eredményeket befolyásoló tényezők ismertetése

13.4.2.4.1 A talajvíztároló réteg

A talajvíz a Paksi Atomerőmű térségében a felső-pleisztocén korú folyóvízi üledékképződményekben (homok, kavicsos homok, homokos kavics) mozog, a Duna menti sávban a partiszűrésű vízkészlet része. A vízadó képződmények összes vastagsága 20–23 méterre tehető, a legalsó 7–11 méter vastagságú szakasza kavicsos, az e felett lévő üledéksorban már a homok dominál, ahol szemcseméret felfelé egyre finomodik. Ez a felső homokos réteg közvetlen kapcsolatban áll a Duna medrével.

Az alsó kavicsos szint határozza meg a talajvíz mozgás és a víztározás fontosabb feltételeit, ennek szivárgási tényezője területi átlagban $k = 4 \times 10^{-4}$ m/s.

A fedő jól osztályozott öntéshomok szivárgási tényezőjének területi átlaga $k = 1,5 \times 10^{-4}$ m/s.

A talajvíztároló összlet feküjét a felső-pannon korú, folyóvízi fáciesű Zagyvai Formáció eróziós felszíne alkotja. A feküt nagyrészt rossz vízvezető pelites üledékek alkotják, de lokálisan homokos közbetelepülések is előfordulhatnak. Ebben az esetben a két víztípus között hidraulikus kapcsolat áll fenn, egységes vízrekesztő feküről tehát nem beszélhetünk.

13.4.2.4.2 Duna és a talajvíz kapcsolata

A talajvíz a területen összefüggő rendszert képez, az átlagos talajvízszint a felső homokos képződményekben húzódik, a terepszint alatt 8–10 méteres mélységben. A mindenkori talajvízállást döntően a Duna aktuális vízállása szabályozza. A monitoring munkálatok időpontjaiban a Duna vízállása a paksi vízmércén március 12-én 197 cm, június 11-én 300 cm, szeptember 19-én 164 cm, október 1-jén 101 cm volt, a vízszint a márciusi a szeptemberi és az októberi méréskor apadt, a júniusi méréskor áradt. 2012. december 10-én a Duna Paksnál apadt, vízállása 52 cm volt.

2012-ben az átlagos vízállás 176 cm, a maximális vízállás 485 cm, míg a minimális 14 cm volt. A nagyobb árhullámok január végén, június közepén (ekkor mérték a legnagyobb vízállást) és december legvégén vonultak le a folyón. A legkisebb vizeket február közepén, augusztus utolsó harmadában, november végén és december közepén mérték. 2012-ben a gyors és rövid periódusú vízszintváltozások jellemezték a folyót.

Regionális léptékben a talajvízről elmondható, hogy – átlagos és alacsony vízállás mellett – mintegy 2-3 ‰-es eséssel DK-felé áramlik a folyó medre irányába. Ilyenkor a víz utánpótlódása a háttér felől, a Mezőföld és környezetének löszplatóin beszivárgó csapadékvizekből történik.

Magas vízálláskor, árvízkor a folyó betáplál a talajvíztartó rétegekbe, a háttér felől szivárgó talajvíz visszaduzzad, és a talajvíznívó megemelkedik. A Duna vízállás-változásainak hatása – a vízjáték meghaladja a 8,5 métert – a talajvízfigyelő kutak adatai szerint a folyót szegélyező mintegy 200–500 m-es szélességű sávban jelentkezik leginkább, de ez a hatás még a partéltől számított 1500 méteres távolságban is kimutatható. A hatás késleltetett, csak a tartós árvizek ideje alatt jelentkezik, a vízszint emelkedés mértéke a parttól távolodva egyre kisebb. Rövid idejű árhullámok idején mértéke jelentéktelen. Az árhullámok okozta talajvízszint emelkedés a parttól 100–200 méterre kb. 2 nap múlva jelentkezik.

A Hidegvíz-csatorna mellett a maximális talajvízszintek 94 mBf körül várhatók. Az erőmű Dunától távolabb eső területein a sokéves átlagos szezonális vízszintingadozás 2 m körül van. A talajvíz áramlási sebessége nem egyenletes, a vízadó réteg szemcseösszetételétől függően változik.

A talajvíz kémiai összetételét tekintve kalcium-hidrogén karbonátos. A víz összes oldott anyag tartalma átlagosan 300-400 mg/l, pH-ja kissé lúgos, összes keménysége átlagosan 15–25 nk°, a klorid-ion koncentráció jellemzően 20–30 mg/l, szulfát-ion tartalma átlagban 100–150 mg/l. Jellemző a magasabb vas (0,5–1,0 mg/l) és mangán (0,3–0,8 mg/l) tartalom.

13.4.2.5 A terepi mérési eredmények értékelése

A talajvízszint az első mérési kampány során a kutak csőperemeitől 5,66–10,73 méterre volt mérhető, amelyek 89,78–87,45 mBf abszolút magasságnak felelnek meg. A második mérési sorban a vízszintek a csőperem alatt 5,51–10,27 méterre húzódtak. A III. negyedéves mérések során a vízszintek a csőperemtől mérve 5,42–10,92 méterre voltak. A IV. negyedévben a csőperemtől mérve 5,94–11,58 m-es mélységben húzódott a talajvíznívó.

A Z02-es kút erős vízszintingadozása a (kisszámú) négy mérés és a Dunához közeli elhelyezkedése alapján magyarázható a Duna vízjárásával, a vízszint ingadozásával.

A kutakban a legmagasabb talajvízállások a II. negyedévi mérések idején, míg a legalacsonyabbak a decemberi észlelések időpontjában voltak mérhetők. A talajvízszint ingadozás mértéke a Duna medrétől mért távolság függvényében 0,38–3,89 m között változott.

Az R64 jelű rétegvízkút vízjárása igazodott a talajvíz kutakéhoz, a legmagasabb vízállásokat a II. negyedévben, a legalacsonyabbakat a IV. negyedévben mértük. Az abszolút ingadozás mértéke 1,15 m volt.

A terepi fiziko-kémiai paraméterek mérési eredményei is rámutatnak arra – a több mint egy évtizede üzemelő monitoring-rendszer által is alátámasztott tényre –, hogy a vizsgálati terület talajvizének minősége megegyezik az átlagos területeken észlelhetővel. A mért vízkémiai paraméterek közül a határértékkel szabályozott kémhatás (nem szennyezett talajvíznek minősül a 6,5-9,0 pH közti víztest) és a vezetőképesség értéke („B”=2500 µS/cm) nem haladja meg a szennyezettségi határértéket egyetlen kútban sem.

		I. negyedév	II. negyedév	III. negyedév	IV. negyedév
a talajvízszint mért értéke a kutak csőperemétől	m	5,66–10,73	5,51–10,27	5,42–10,92	5,94–11,58
a felszín alatti víz kémhatása (pH)		6,8–7,5	7,1–8,0	7,4–8,6	7,8–8,2
vezetőképesség	µS/cm	<600	<500	500 - 800**	515–1597
a talajvíz oldott oxigén koncentrációja	mg/l	<5	<4*	<4	1,43–5,86l
a redox potenciál értékek	mV	100	-90 és 150	-60 és 100	-28 és -78

Megjegyzés:
* a T21A kutat kivéve, ahol az oldott oxigén koncentráció 8 mg/l
** (néhány kút estében haladják meg az 1000 µS/cm értéket: V219 kút: 1255 µS/cm, T82 kút: 1156 µS/cm, C4.1 kút: 1172 µS/cm, R63 kút: 1217 µS/cm, Z02 kút: 1401 µS/cm)

13.4.2-2. táblázat: A talajvíz figyelő kutakban mért paraméterek összefoglalása

A kutakban a legmagasabb talajvízállások a II. negyedévben, míg a legalacsonyabbak a decemberi észlelések időpontjában voltak. A talajvízszint ingadozás mértéke a Duna medrétől mért távolság függvényében 0,38–3,89 m között változott.

Az R64 jelű rétegvízkút vízjárása igazodott a talajvíz kutakéhoz, a legmagasabb vízállásokat a II. negyedévben, a legalacsonyabbakat a IV. negyedévben mértük. Az abszolút ingadozás mértéke 1,15 m volt.

A kémiai laboratóriumi vizsgálati eredményeket a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 2. és 2b. mellékletében megadott „B” szennyezettségi határértékekkel hasonlítottuk össze.

A 2012. I. negyedéves laboratóriumi vizsgálati eredményeket összefoglalva az alábbi megállapítások tehetők:

- TPH, BTEX, PAH szennyezettség egyik vízmintában sem volt detektálható,
- halogénezett alifás és halogénezett aromás szénhidrogének nem detektálhatók,
- fenolok, klórfenolok sem mutathatók ki a mintákban,
- szerves oldószerek és egyéb szerves vegyületek nem detektálhatók,
- peszticid származékokat nem lehetett a talajvízben kimutatni,
- a fémek és félfémek közül a kobalt, nikkel, réz, cink, ólom és arzén mutathatók ki néhány kút mintájában „B” határérték felett (Z02, T31, M10, R64 jelű kutakban),

- a vizsgált általános vízkémiai paraméterek közül a nitrát és ammónium koncentrációja haladta meg néhány kútban a „B" határértéket (O3, T21, V219, Z02, M10 jelű pontok). A maximális koncentráció túllépés alig haladta meg a szennyezettségi határérték kétszeresét.

A 2012. II. negyedéves vizsgálat eredményei alapján, figyelembe véve az első negyedéves eredményeket is, az alábbi következtetések vonhatóak le:

- BTEX szennyezettség a kutakban továbbra sem volt mérhető,
- Néhány kútban csekély mértékű PAH-szennyeződés mutatható ki, (T31, M10, V219 jelű kutak), de a határérték túllépések minimálisak voltak
- Az R64, a T21 és a T31 kutak mintáiban csekély mértékű TPH-szennyeződés mutatható ki (106–155 µg/l), itt felmerült a mintavételi hiba lehetősége
- a fémek és félfémek közül a kobalt, nikkel, réz, cink, ólom mutatható ki néhány kútban (Z02, T73, T31, T82) „B" határérték felett;
- A Z02 kútban a kobalt, a nikkel az ólom és a réz koncentrációja a „B" határérték feletti érték többszöröse, ez utóbbi ráadásul az első méréshez képest jelentősen megnövekedett (kétszeresére);
- a vizsgált általános vízkémiai paraméterek közül a nitrát és ammónium koncentrációja haladta meg néhány kútban (O3, T21, Z02, M10, C4.2) a „B" határértéket;
- Az M10 jelű kútban az ammónium koncentráció mért értéke mindkét mérésben határérték feletti, a második mérésben az első érték háromszorosát mértük. Ez utalhat szennyező forrás jelenlétére (pl. hibás szennyvízcsatorna).

A 2012. III. negyedéves vizsgálat eredményei alapján, figyelembe véve a korábbi vizsgálati eredményeket is, az alábbi következtetések vonhatóak le:

- A kutak vízmintáiban TPH, BTEX, PAH szennyeződéseket nem lehetett kimutatni;
- a fémek és félfémek közül a kobalt, nikkel, réz, cink, ólom és mutatható ki néhány kútban (Z02, C1.2, T31), „B" határérték felett;
- A Z02 kútban a kobalt, a nikkel az ólom és a réz koncentrációja a „B" határérték feletti érték többszöröse;
- A C1.2-es kútban az előző mérésekhez képest új elemként megjelent a réz, ráadásul elég magas, a határértéket 5-szörösen meghaladó értékkel;
- Az M10-es kútban az ammónium szintje mindhárom mérésben, jóval határérték feletti, ami valószínűsíti egy állandó szennyező forrás jelenlétét, a mintavételi pont közelében. A második és a harmadik mérésben a C4.2 kútban megjelent, magas és emelkedő mértékű ammóniumszennyezés okai, hasonlóan az M10-es kúthoz a negyedik mérés után lesznek keresendők és feltárandók.

A 2012. IV. negyedéves vízminta vizsgálat eredményei alapján, figyelembe véve a korábbi vizsgálati eredményeket is, az alábbi következtetések vonhatóak le:

- Néhány kút vízmintájában (T21, M10, V219) újból kimutathatók PAH-komponensek a „B" szennyezettségi határértékeket meghaladó koncentrációkban. A határérték túllépések elérhetik a 4–5-szörös mértéket is. TPH és BTEX szennyeződéseket továbbra sem lehetett kimutatni.
- Toxikus fémszennyeződés (kobalt, nikkel, réz, ólom) a molibdén kivételével, a IV. negyedévben csak a Z02. kút vízmintájából volt kimutatható, a szennyeződés koncentrációja valamelyest csökkent. Ezt a fémszennyeződést nagy valószínűséggel a zagymedence okozza.
- A C1.2-es kútban eltűnt a III. negyedévben mért magas réz koncentráció, a mért érték a kimutathatósági határ alatt volt (<0,5 µg/l).
- Az R64 jelű rétegvízkút mintájában csekély mértékű molibdén szennyeződés volt kimutatható.
- Az M10-es kútban az ammónium koncentrációja egész (2012.) évben magas volt, mintegy 4-szerese a „B" szennyezettségi határértéknek. Ez egy állandó szennyező forrás jelenlétét bizonyítja a mintavételi pont környezetében. A C4.2 kútban nem lehetett ammónium-szennyeződést kimutatni.
- A nitrát-koncentráció a IV. negyedévben az O1, az O3 és a Z02 pontokon haladta meg a szennyezettségi határértéket. A túllépések azonban nem voltak nagymértékűek.

A monitoring vizsgálatok során összesen 15 db kút vízmintájában lehetett a vonatkozó „B" szennyezettségi határértékeket meghaladó mértékű szennyeződéseket kimutatni. Mindössze 3 db olyan kút volt (O3, Z02, M10), ahol minden mintavételkor, legalább egy vizsgált komponens koncentrációja meghaladta a vonatkozó „B" szennyezettségi határértéket. A vízszennyeződéseket általános vízkémiai komponensek (nitrát-ion, ammónium-ion), toxikus fémek és félfémek (kobalt, nikkel, réz, cink, ólom, arzén, molibdén), valamint egyes PAH-komponensek (fenantrén, benzo[a]pirén, indenol[1,2,3-cd]pirén, benzo[a]antracén, krizén, benzo[b]fluorantén) okozták.

A vizsgálati eredményeket áttekintve általánosságban megállapítható, hogy a felszín alatti vizekben szerves szennyezőanyagokat csak kis koncentrációban lehetett kimutatni néhány PAH-komponens vonatkozásában, egyenlőtlen területi eloszlásban (T21, T31, M10, V219 jelű kutak). A PAH-koncentrációk időbeli eloszlása erősen változó, így véleményünk szerint a kutak környezetében állandó jellegű szennyező forrással számolni nem kell.

A II. negyedévben az R64, a T21 és a T31 jelű kutak vízmintáiban kimutatott minimális mértékű TPH-szennyeződést (106–155 µg/l) feltételezhetően mintavételi/analitikai hiba okozhatta, mivel ez időpont előtt és után vett vízmintákban rendre az alkalmazott analitikai módszer kimutathatósági határánál (50 µg/l) kisebb koncentrációkat mértek. Ezen kutak környezetében nem található olyan technológia, vagy műtárgy, amelyből szénhidrogén szennyeződés lenne valószínűsíthető.

Állandó jellegű, nagyobb koncentrációjú toxikus fémszennyeződéseket csak a zagytározó medencék környezetében (Z02 jelű kút) lehetett kimutatni. A T31 kút mintájában az első három negyedévben magas volt a réz és a cink koncentráció, a szennyeződéseket a IV. negyedévben nem lehetett kimutatni.

Az O3 és a Z02. kutak talajvízmintáiban az egész vizsgálati periódusban magas nitrát koncentrációk adódtak. Az M10 kút talajvizében végig magas ammónium-ion koncentrációkat mértünk, ez a közelben húzódó szennyvíz-csatorna meghibásodására utalhat.

A 2012-ben elvégzett mintavételek és kémiai analitikai vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a mintavételi pontokban nem lehet olyan mértékű szennyeződést kimutatni, amelyek alapján a területen a jelenleg folytatott monitoring tevékenységen túlmenően egyéb beavatkozás lenne indokolt. A feltárt szennyeződések minden bizonnyal pontszerűek, az érintett kút közvetlen környezetére korlátozódnak, de nem zárható ki ezen mért szennyezettségek rétegeredete (pl. arzén) sem. A szervetlen szennyeződések között feltárt ammónium és nitrát szennyezettség minden bizonnyal a területen húzódó szennyvíz közművekkel és ezek esetleges szivárgásával hozható összefüggésbe.

13.4.2.6 A 2012-ben mért talaj és talajvíz szennyezettség együttes értékelése

A talaj és talajvíz szennyezettség együttes értékelését azokon a helyszíneken tudtuk elvégezni, ahol a talajmintavételi pontok viszonylag közel estek egy vizsgált monitoring kúthoz.

Ilyen helyszínek voltak a beruházási területen:

- a C4.1, C4.2 talajvízkutak és a TB-12. feltáró fúrás;
- a T21 talajvízkút és a TB-2. feltáró fúrás;
- a C1.2 talajvízkút és a TB-31. feltáró fúrás;
- az R64 rétegvízkút és a TB-36. feltáró fúrás;
- az R63 rétegvízkút és a TB-6. feltáró fúrás;
- a C2.2 talajvízkút és a TB-17. feltáró fúrás.

A beruházási területre eső fenti helyszíneken a talajfeltáró fúrásokban szennyeződéseket kimutatni nem lehetett a vizsgált komponensek vonatkozásában. A C4.2 kút vízmintájában kissé magas volt a talajvíz ammónium koncentrációja 2012. év II-III. negyedévben. A T21. ponton a talajvízben időszakosan kissé magas nitrát és PAH (fenantrén) koncentráció jelentkezett. A C1.2 kút vízmintájában egyszeri alkalommal (III. negyedév) kiugróan magas réz tartalmat mértünk, míg a többi esetben alig volt kimutatható réz a talajvízben. Valószínűleg mintavételi probléma okozhatta az anomáliát. Az R64. rétegvízkút mintájában a IV. negyedévben jelentéktelen molibdén szennyeződést detektáltunk. Az R63. rétegvízkút valamint a C2.2 talajvízkút mintáiból egyetlen alkalommal sem mutattunk ki szennyeződéseket.

A beruházási területen a talaj és a talajvíz szennyezettségi állapota között összefüggéseket megállapítani nem lehetett.

A beruházási területen kívül mindössze két helyszínen tehető meg az összehasonlítás, ezek a veszélyes hulladék üzemi gyűjtőhely és a zagytározó medencék É-i előtere:

- a T-2 és T-3 feltáró fúrások (veszélyes hulladék üzemi gyűjtőhely környezete);
- a Z02 talajvízkút és a T-7 feltáró fúrás (zagytározók területe).

A veszélyes hulladék üzemi gyűjtőhely mellett mélyült talajfeltáró fúrások mintái nem mutattak szennyeződéseket. A zagytározók É-i előterében a T-7 fúrás felszín közeli talajmintájában (0,8 m) minimális toluol indikáció jelentkezett, míg 5,5 m-es mélységben kis koncentrációjú bárium és nikkel-szennyeződésekre derült fény. A Z02 kút talajvízmintáiban a vizsgálatok folyamán végig jelentősebb nitrát-, és toxikus fémszennyeződések voltak mérhetők. A talaj és a talajvíz szennyeződések között közvetlen összefüggés nem mutatható ki.

13.4.3 A TELEPHELY FELSZÍN ALATTI VIZEINEK HIDROLÓGIAI MODELLEZÉSE

A Paksi Atomerőmű telephelyének szűkebb környezetében végzett komplex talajvíz és rétegvíz áramlási modell-vizsgálatok, illetve a hozzá tartozó legmobilisabb radioaktív anyag a trícium – ^{3}H terjedésének elemzése megtörtént. 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 2012.11.01. és 2013.10.31. közötti időszakban mért adatok szolgáltatták [13-5]. Az adott évet 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.

13.4.3-1. ábra: A hidegvíz csatornánál mért vízszintek a vizsgált időszakban

Havi csapadékmennyiség [mm]	
november	25,7
december	51,9
január	44,3-
február	83,7
március	131,9
április	33,2
május	85,7
június	41,5
július	32,3
augusztus	15,6
szeptember	62,2
október	38,3

13.4.3-1. táblázat: Havi csapadékmennyiség a telephely területén

Megjegyzés:
Az ábrán látható fontosabb objektumok: zöld oszlopok: talajvízfigyelő kutak (alattuk a sárga oszlopok a szűrőzés helye), kék szín: alaptérkép felszíni vizeket határoló kontúrja, fehér vonal: üzemi terület, sárga vonal: nem az erőmű területéhez tartozó fontosabb objektumok kontúrja, kék pöttyök: talajvízfigyelő kutak, piros vonalak: földalatti üzemi szennyvíz-vezetékek.

13.4.3-2. ábra: A vizsgálat során felépített modelltér

A modellben 20 réteget alkalmaztunk, a legkisebb cella beosztás pedig 7-8 méternek felel meg.

13.4.3-3. ábra: A vizsgálat során felépített rétegszerkezet

13.4.3-4. ábra: A vizsgálat során felépített rácsháló cellabeosztása

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 löszplató. Ezen peremfeltételek által körülzárt területen érvényesek a modellből kapott megállapítások.

13.4.3-5. ábra: A modellezés során kialakított peremfeltételek elhelyezkedése

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 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 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).

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]
1	0,0003	0,0003	0,00009
2	0,000035	0,000035	0,0000035
3	0,00013	0,00013	0,000018
4	0,0006	0,0006	0,0005
5	0,00000048	0,00000048	0,000000008
6	1,8	1,8	1,8
7	0,00000005	0,00000005	0,000000005
8	0,00009	0,00009	0,000013
9	0,0001	0,0001	0,000015
10	0,00012	0,00012	0,000017

Megjegyzés:
Extrém magas, Kxyz =1.8 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.

13.4.3-2. táblázat: A modellben alkalmazott szivárgási tényezők x,y,z komponensei

Zone	Ss [1/m]	Sy	Eff. Por.	Tot. Por.
1	0,0005	0,25	0,15	0,25
2	0,005	0,25	0,3	0,33
3	0,0005	0,24	0,28	0,3
4	0,0005	0,22	0,26	0,3
5	0,0005	0,15	0,26	0,28

Megjegyzés:
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.
Totál porozitás: A porózus közegben a pórusok térfogatának és a teljes térfogatnak az aránya.(Hézagtérfogat.)
Effektív porozitás:A víz mozgásában részt vevő pórustér térfogatának és a teljes térfogatnak az aránya.

13.4.3-3. táblázat: Egyéb szivárgáshidraulikai paraméterek

A fentebb említett időszak 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 85,14 és 94,01 mBf között ingadoztak a vizsgált időszakban. Januárban, februárban és júniusban voltak olyan magas árhullámok, amelyek a HVCS, illetve a Duna felé történő áramlást blokkolták, vagy amely során az erőmű területe felé zajló visszaduzzasztás jött létre.

13.4.3-6. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.08.22.-én alacsony Duna vízállás esetén (85,14 mBf)

13.4.3-7. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.02.17.-én közepes Duna vízállás esetén (87,56 mBf)

13.4.3-8. ábra: A talajvíztükör kontúrtérképe 2013.06.11.-én magas Duna vízállás esetén (94,01 mBf)

13.4.3-9. ábra: Az áramlásirányok alakulása alacsony Duna vízállás esetén (85,14 mBf) 2013.08.22.-én

13.4.3-10. ábra: Az áramlásirányok alakulása közepes Duna vízállás esetén (87,56 mBf) 2013.02.17.-én

13.4.3-11. ábra: Az áramlásirányok alakulása magas Duna vízállás esetén (94,01 mBf) 2013.06.11.-én

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.

13.4.3-12. ábra: A főépület és a HVCS környezetében kialakuló sebességtér alacsony Duna vízállás esetén

13.4.3-13. ábra: A főépület és a HVCS környezetében kialakuló sebességtér magas Duna vízállás esetén

A maximális sebességek összehasonlítása alapján kijelenthető, hogy a legkisebb sebesség a közepes Duna vízszint alatt alakult ki, Vmin = 7,7E-6 m/s. A legnagyobb sebességek a legkisebb Duna vízállás esetén voltak tapasztalhatóak, Vmax = 1,6E-5 m/s. A fenti sebességek a Duna és a HVCS mentén jellemzőek, a főépület közvetlen környezetében a talajvíz áramlása lassabb. A fenti sebességek napi 0,66 – 1,38 méter megtételét jelentik a HVCS közelében. A HVCS mellett és a főépület mellett mért sebességek különbsége akár egy nagyságrendnél is több lehet. A főépület környezetében számolt naponta megtett utak a hely és idő függvényében 0,028 – 0,53 méter között ingadoztak a vizsgált időszakban.

Megjegyzés:
A markerek a 100 nap alatt megtett utat ábrázolják.

13.4.3-14. ábra: A feltételezett forrásoktól indított vízrészecskék útvonala

Az időben változó sebességtér speciális pályákra kényszeríti az adott rétegbe került részecskéket. A pályákat a potenciális forrásoktól (a fő épülettömböt nyugatról határoló szennyvízcsatorna rendszer, a segédépületek, a blokkok és a TM55 vezeték) indítottuk. 100 méter megtételéhez 72 – 150 nap szükséges az adott viszonyok között.

13.4.3.1 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 tizenhárom éves (2000-2013) 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 2013.06.11.-én jelentkezett. A paksi vízmércénél 94,29 mBf szintet mértek, míg a HVCS-nál 94,01 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 visszaduzzasztás sokkal erőteljesebb. A Duna telephely melletti déli részén nyugati irányú duzzasztó hatás figyelhető meg a Halastavak felé. A HVCS keleti oldalán délkeleti duzzasztó hatás 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 délkeleti áramlással találkozva lecsillapodik. Ebben az esetben a Duna és a HVCS képezi a forrás tagokat, míg a halastavak pedig a nyelő tagokat.

13.4.3.2 A telítetlen zóna modellezésének eredményei

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 vertikális elmozdulásokat kapunk. A sebességek több nagyságrenddel kisebbek, a telített zónában kialakult sebességeknél.

Megjegyzés:
A markerek a 100 nap alatt megtett utat ábrázolják.

13.4.3-15. ábra: Telített/telítetlen zónában elhelyezett részecskék pályái

13.4.3-16. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe alacsony Duna vízállás esetén

13.4.3-17. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe közepes Duna vízállás esetén

13.4.3-18. ábra: Telítetlen (háromfázisú zóna) vertikális képe magas Duna vízállás esetén

A görbék 0,1 és 1 intervallum közötti értéket vesznek fel. Az 1-es érték jelenti a telített-telítetlen zóna határát, míg a 0,1-es 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.

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.

13.4.3.3 Validálás

Az eredmények jóságát ellenőriztük. A számolt értékeket számos, a vizsgált periódusban (2012.11.01.-2013.10.31.) mért vízszinttel 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.

13.4.3-19. ábra: A mért és a modell által kalkulált vízszintek összevetése

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.

13.4.3.4 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, amely 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 megoldást alkalmaztuk és jól visszaadja a két kút vízszintjének időbeni változásait. Ennek következtében feláramlási (megcsapolási) területről beszélhetünk a telephely környezetében, így a talajvízből szennyeződés nem juthat a rétegvizekbe.

13.4.3.5 A trícium eloszlásának változása a talajvízben

Azokat a helyeket, amelyek esetén, modell szinten trícium forrásokat tételeztünk fel, a 13.4.3-20. ábra összegzi.

A főépület (blokkok) alatt 100 Bq/dm^3, aktivitáskoncentrációjú helyeket tételeztünk fel.

Továbbra is forrásként vettük figyelembe a TM55 vezeték korábbi meghibásodása miatt kialakult feltehetően fokozatosan ürülő, tríciummal terhelt területet. Itt az aktivitáskoncentráció értékét lecsökkentettük 230 Bq/dm^3-ről 160 Bq/dm^3-re. 100 és 30 Bq/dm^3 aktivitáskoncentrációjú helyekkel közelítettük a szennyvízvezeték egyes szakaszait, 220 és 60 Bq/dm^3 aktivitás koncentrációt tételeztünk fel az EÜ épület és az 1. segédépület mentén.

13.4.3-20. ábra: Az erőmű épülete alatt feltételezett trícium források számbavétele

13.4.3-21. ábra*:* Tríciumlencse eloszlásának kontúrtérképe a vizsgálati időszak végén

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 terjedését számolta a modell. A kezdeti feltételként adott trícium lencsét egy, a tranziens számolást megelőző, 2012 október 31-i viszonyokat figyelembe vevő, időben állandósult állapotnak megfelelő egyenleteket megoldó „steady state” szimulációból kaptuk. A tríciummal kapcsolatos számolások esetén elsősorban a főépület környezetére koncentráltunk. A validáló kutak a főépületet veszik körbe.

13.4.3-22. ábra: A mért és a modell által kalkulált trícium aktivitás koncentrációk összevetése

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 kút esetén a program túlbecsült értéket mutat, míg a T17 kút esetén alábecsült a mért értékekhez képest. A TM55 vezeték és a szennyvízcsatorna javításának köszönhetően (mely 2011-ben történt meg) a mért értékek stabilan 300 Bq/dm^3 alatt vannak és ennek köszönhetően összességében csökkenő trendet jeleznek. A normált RMS értéke mind a vizsgált időszak elején, mind az időszak végén 25 % alatti. A becslés sztenderd hibája 10 Bq/dm^3 alatt marad.

13.4.4 CSÁMPAI ÜZEMELŐ RÉTEGVÍZ TERMELŐ VÍZMŰ

Az Erőműtől NY-DNY-i irányba találhatóak a csámpai vízmű pannon rétegvízre telepített vízműkútjai.

13.4.4.1 Általános vízföldtani jellemzés

Paks környékén a felső-pannon összlet porózus szintjei rétegvizeket tároznak. A rétegvizek átlagos mennyisége 1,0-1,5 l/s/km^3. A megcsapolt felső-pannon vízadó rétegek mélysége 60–229 m között változott. A kutak nyugalmi vízszintjei – létesítésük idején – rendre az adott terepszint felett álltak be, tehát pozitív kutakról beszélhettünk. A nyomásszintek mértéke +0,1 – +6,7 m között változott, a vízadó rétegek mélységétől függetlenül pozitív nyomásgradienssel jellemezhetően. A fajlagos vízhozamok 5,2–87,7 l/perc/m értékek között mozogtak, a kitermelt vizek hőmérséklete 14–23 °C között változott a vízadó rétegek mélységétől függően.

A fentiek alapján a felső-pannon üledékes összlet sekély rétegvizei valószínűleg több, egymástól független önálló hidraulikai rendszert képeznek. A nyomásviszonyok alapján kommunikáció csak a rétegvizek felől a talajvíz felé volt lehetséges.

A rétegvizek minősége elsősorban a vízadó rétegek anyagi összetételétől függ. A vizek alapvíz típusa általában kalcium–magnézium–hidrogénkarbonátos, a pH lúgos. Az összes oldott anyag tartalom általában nem éri el az 1000 mg/l-es koncentrációt. A mélyebb rétegekből származó vizek általában több oldott sót tartalmaznak. A klorid-ion tartalom (10–190 mg/l) a mélység függvényében növekszik. A vizek gyakorlatilag szulfátmentesek. A jelentős vas és mangán tartalom miatt a víz kezelésére van szükség.

13.4.4.2 Alapadatok

A Paksi Atomerőmű ivóvíz ellátását, a Csámpa-pusztai vízbázis pannon homokrétegekre telepített rétegvíz kútjai biztosítják. A vízbázis sérülékeny, a diagnosztikai és biztonságba helyezési vizsgálatokat 2006–2007 között végezték el.

13.4.4.3 A víztest minőségi állapota

A víztest minőségi értékeléséhez az észlelő és termelő kutak mintavételéből végzett laboratóriumi vizsgálatok adatai álltak rendelkezésre a 1990–2010 időszakból.

A mért egyes paraméterek értékelése során a 6/2009 (IV.14) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a 2. és 2B. mellékletében szereplő szennyezettségi határértékeket használtuk. A csámpai vízmű termelt kútjainak alapvíz minősége a kalcium, magnézium hidrogén karbonátos típusba tartozik.

A vizsgált kutakban sor került toxikus fém vizsgálatokra is, azonban a mért koncentrációk, a mérési határértékek alatt voltak. A mért komponensek közül csak a réteg eredetű ammóniumion koncentráció jelentkezett a határértéket meghaladó mennyiségben. Amint az a fenti táblázatból is kiderül, a határérték túllépés sem jelentős. A termelt víz minőségéről általánosságban elmondható, hogy igen alacsony az oldott anyagtartalma.

A víztesten belül anaerob körülmények uralkodnak, ami üledékföldtani adottságból származik. A rétegekben lévő szerves anyag bomlása során keletkező ammónia nem bomlik tovább nitritre és nitrátra, mert nincs hozzá megfelelő mennyiségű oxigén.

13.4.4.4 A víztest mennyiségi állapota

A termeltetett kutak közül, 2-2 darab szűrőzi a gyengébb (sekélyebb) illetve a jobb (mélyebb) vízadó rétegeket.

A rétegvíz kutak eredeti pozitív nyugalmi vízszintje, a 2011. évi mérések szerint jelentősen csökkent a több évtizedes termelés hatására. A termelő kutak kihasználtsága az engedélyezett vízkivétel alapján 83%-os, és egyéb kutak is termelik a csámpai vízmű rétegeit. Mindezen tények alapján túl nagy tartalék, az után pótlódó rétegvíz készletben valószínűleg nincs.

13.4.4.5 A víztest hidrogeológiai modellje (megnövekedett vízkitermelés hatása a rétegvíz nyomásszintjeire)

A Csámpa-pusztai vízbázis látja el a Paksi Atomerőművet ivóvízzel. A jelenlegi állapot szerint 4 darab termelő és 3 darab tartalék kút alkotja a vízkitermelő és megfigyelő rendszert. A termelő kutak összhozama 800 m^3/nap körül ingadozik, ami Paks II építési szakaszában körülbelül 1400-1500 m^3/napra emelkedik az előzetes számítások alapján. A növekmény 646 m^3/napot tesz ki. Az elmúlt 10 évben (2004 és 2013 közötti időszak) a kitermelés mértéke csökkenő tendenciát mutat, aminek következtében mind a nyugalmi, mind az üzemi vízszintek emelkedtek. A kutak adatait 13.4.4-1. táblázat tartalmazza, míg az üzemelő és megfigyelő kutak vízszintjeinek idősorait a 13.4.4-1. ábra- 13.4.4-7. ábrasorozat jeleníti meg.

Csámpa 1., 2., 3. vízmű-telep					
Kút száma	**EOV X**	**EOV Y**	**Kút mélysége**	**Kitermelhető vízhozam**	**Szűrözöttség**
I/1. sz.	137785,43	632753,61	117 m	200 l/perc	77,1-91,5; 98,8-107,4
I/3. sz.	137840,97	632718,93	76 m	200 l/perc	63,3-69,7
I/7. sz.	137825,38	632722,28	117 m	500 l/perc	58,0-69,0; 78,0-93,0; 68,0-107,0
II/2. sz.	137201,25	632204,16	142 m	1200 l/perc	76,1-91,6; 101,4-107,2; 117,6-136,6
II/6. sz	137227,84	632417,43	154 m	900 l/perc	77,0-89,0; 92,5-103,5; 111,0-125,0; 129,0-146,0
8. sz.	136511,53	632570,97	129 m	870 l/perc	68-80,7; 85,1-93,7; 96,3-118,8
9. sz.	136293,03	632277,22	125 m	870 l/perc	86,8-93; 98,6-108,6

13.4.4-1. táblázat: A csámpai kutak paraméterei

13.4.4-1. ábra: Az 1. telep I-1 számú megfigyelő kút vízszintjének10 éves idősora

13.4.4-2. ábra: Az 1. telep I-3 számú megfigyelő kút vízszintjének 8 éves idősora

13.4.4-3. ábra: Az 1. telep I-7 számú megfigyelő kút vízszintjének 10 éves idősora

13.4.4-4. ábra: A 2. telep II-2 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora

13.4.4-5. ábra: A 2. telep II-6 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora

13.4.4-6. ábra: A 3. telep III-8 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora

13.4.4-7. ábra: A 3. telep III-9 számú termelő kút vízszintjének 10 éves idősora

Csak ennél az egy darab kútnál figyelhető meg csökkenő tendencia az üzemi vízszintben, ami nem drasztikusan zajlik, hanem inkább fokozatosan. Véleményünk szerint a szűrők eltömődése okozhatja a jelenséget, mivel a termeltetés a négy darab termelő kútból csak kettővel történik és azok is egymástól eltérő vízmű telephez tartoznak, ráadásul folyamatosan cserélődnek heti rendszerességgel.

A Paksi Atomerőmű alóli magasabb trícium koncentrációjú talajvíz eljutásának valószínűsége a Csámpa-pusztai vízbázisba, illetve a rétegvíztartó rétegekbe olyan kicsi, hogy hidrogeológiai szempontból indokolatlan annak vizsgálata. Ez ugyanis egy feláramlási terület, tehát a nyomás a mélységgel nő és a Duna jelenti a rétegvíz feláramlásának bázisát. Ugyanakkor, mivel a hatóság kérte a vizsgálatot, felépítettünk egy mind vertikálisan, mind horizontálisan kiterjesztett hidrogeológiai modellt, amihez a telephely és a távlati vízbázisok vizsgálatára készített modellek egyes elemeit használtuk fel. Az alapok elkészítéséhez 5 réteget alkalmaztunk, melyek térbeli geometriáját a 13.4.4-8. ábra mutatja.

13.4.4-8. ábra: A kiterjesztett modell geometriája

13.4.4-9. ábra: A modell rácshálója

A szivárgáshidraulikai paraméterek zónáit és adatait a 13.4.4-10. ábra mutatja.

13.4.4-10. ábra: A rétegek szivárgáshidraulikai paramétei

Mivel a Duna nyomáshulláma árvizi állapotok esetén nem érzékelhető a parttól 200 méteres távolságra, nem láttuk fontosnak a nagyvizi események szimulációját, így csak a közepes Duna vízállást (88 mBf) és az átlagos csapadék beszivárgást (65 mm/év) vettük figyelembe. A modell permanens állapotokra lett futtatva az új erőmű építési időszakának 10 éves periódusára. A termelő kutak hozamát az elmúlt 10 év legmagasabb értékével definiáltuk, míg a megfigyelő kutakban mért vízszinteket az elmúlt 10 év nyugalmi vízszintjeinek átlagával azonosítottuk. A termelő kutak környezetében az elmúlt 10 év üzemi vízszintjeinek átlagát vettük figyelembe. A jelenlegi állapotokhoz képest vizsgáltuk a vízkitermelés növekedésének hatását a rétegvíz nyomásszintjeire. Az építés miatt megnövekedett vízkivétel mértékét 646 m^3/nap értékkel vettük figyelembe. A peremfeltételeket északról, nyugatról és délről általános peremfeltételekkel (GHB - "general head boundary") definiáltuk a vízadó rétegekben. Keletről a Duna, mint konstans peremfeltétel (CHB - "constant head boundary") lett figyelembe véve. A felszínre pedig a 65 mm/év csapadék beszivárgás (recharge boundary) alkalmazását irányoztuk elő. A Dunától keletre levő térfogatot inaktív celákkal kizártuk a szimulációból. Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy az erőműből esetlegesen kikerülő szennyeződések (pl. trícium, illetve ennek megfelelően más anyag sem) nem juthatnak el a potenciális vízbázishoz és víztartó rétegekhez. Ezt mérésekkel is bizonyítottuk, ugyanis a telephely területén található R63-as rétegvízfigyelő, illetve a csámpai 4 darab termelő kútból vízmintát vettünk és trícium tartalmukat nagypontosságú $T/^3He$ módszerrel megmértük. Az eredmények gyakorlatilag "0" értékeket adtak, melyeket a 13.4.4-2. táblázat tartalmaz.

Kút neve	Mintavétel	TU	hiba
Csámpa_II/2	2014.04.15	-0,076	0,037
Csámpa II/6	2014.04.15	0,082	0,053
Csámpa III/8	2014.04.15	-0,064	0,038
Csámpa III/9	2014.04.15	-0,105	0,037
Paks_R63	2014.04.15	-0,024	0,177

13.4.4-2. táblázat: A paksi R63-as és a 4 darab csámpai termelő kút trícium aktivitása

13.4.4-11. ábra: A modellterület átnézeti térképe

Megjegyzés: jelenlegi állapot

13.4.4-12. ábra: A termelő kutak környezetében kialakuló áramlási irányok, az 50 éves elérési idejű pályák, illetve a depressziós tölcsérek

Megjegyzés: jelenlegi állapot

13.4.4-13. ábra: Az áramlás iránya NY - K-i metszet mentén

13.4.4-14. ábra: A jelenlegi állapot validációs görbéje

Megjegyzés: a jelenlegi állapothoz viszonyított 646 m^3/napos növekmény hatása

13.4.4-15. ábra: A termelő kutak környezetében kialakuló áramlási irányok, az 50 éves elérési idejű pályák, illetve depressziós tölcsérek

Megjegyzés: a jelenlegi állapothoz viszonyított 646 m^3/napos növekmény hatása

13.4.4-16. ábra: Az áramlás iránya NY - K-i metszet mentén

13.4.4-17. ábra: A jelenlegi állapothoz viszonyított 646 m³/napos növekmény validációs görbéje

A leszívás mértékéből (validációs görbe eltérése, 4-5m), illetve a depressziós tölcsérek térbeli elhelyezkedéséből egyértelműen látszik, hogy a megnövekedett kitermelés nem tud olyan hatást előidézni, hogy a talajvízből szennyező tudjon lejutni a rétegvízbe. Ezen réteg érintetlenségét igazolja a víz gyakorlatilag nulla tríciumkoncentrációja mind Csámpa, mind az erőmű alatti területen. Mindazonáltal javasoljuk, hogy az erőmű szűk környezetében csak nagy körültekintéssel létesüljenek, a rétegvizet is elérő fúrások, hogy a jelenlegi állapotok fennmaradjanak.

13.5 PAKS II LÉTESÍTÉSÉNEK HATÁSA A TELEPHELY ALATTI FÖLDTANI KÖZEGRE ÉS A FELSZÍN ALATTI VIZEKRE

13.5.1 A LÉTESÍTÉS HATÁSA A TELEPHELY ALATTI FELSZÍN ALATTI VIZEKRE

A víztelenítés talajvízszint-csökkentő hatásának, mint hatásterület lehatárolásához szükséges peremfeltételt, a telephely összes monitoring kútjában észlelt éves vízszintingadozások átlagos értékével (~3,12 m = 3 m) definiáltuk.

13.5.1.1 Közvetlen hatások

13.5.1.1.1 A munkagödör víztelenítésének hatásai a talajvízre

Az új erőmű létesítése során az alapozáshoz lemélyített munkagödör víztelenítése hatással lesz a talajvízszintre, illetve a víztelenítéssel nagy mennyiségű talajvizet fognak eltávolítani, ami a Dunába kerül. A műszaki alaprajzok alapján helyeztük el a blokkok tervezett mélyalapozású épületeit, amiket inaktív cellaként (a felszín alatti vizek áramlásából kiiktatott cellák) vettünk figyelembe a létesítés utáni állapotban. A műszaki adatok alapján a fentebb említett épületek alapozási mélysége 14 és 20 m között feltételezhető. A vizsgálatunk során 20 méteres mélységgel számoltunk. Az új blokkok alapozása valószínűleg nem egyszerre fog történni, ezért a modellben is külön-külön vizsgáljuk a hatásaikat (először Paks II 1. blokk, aztán a 2. blokk).

A munkagödröt, melyet inaktív cellaként vesz figyelembe a modell, drénhálózattal vettük körbe. Ennek technikai okai vannak, mivel így lehet szimulálni a munkagödör víztelenítését. A drénhálózat teljes mértékben eltávolítja a rendszerből (munkagödör) a vizet és a rajta áthaladó vízmennyiség becsléséhez nyújt segítséget, melyet grafikonon is ábrázolunk. A gyakorlatban valószínűleg szükség lesz egyfajta védőfal vagy szádfal elhelyezésére a munkagödör peremén, aminek a

visszatöltődés fékezésében, illetve a rézsű fizikai stabilizálásában lesz majd szerepe. A modellben a munkagödröt fallal vettük körbe, melynek mélysége néhány méterrel meghaladja a munkagödör 20 méteres mélységét. A vizsgálat alapjául a 2012. november 1-től 2013. október 31-ig terjedő időszakasz alatt uralkodó hidrológiai folyamatok szolgálnak.

13.5.1-1. ábra: Az alapozási munkagödör horizontális elhelyezkedése

13.5.1-2. ábra: Az alapozási munkagödör vertikális képe

A telephely teljes területén található megfigyelő kutakban mért éves vízszintingadozások átlagos értéke valamivel több, mint 3 méter. A telephely északi részén, az építési és felvonulási területen található monitoring kutakban mért éves vízszintingadozások átlagos értéke pedig valamivel több, mint 4 méter.

13.5.1-3. ábra: A telephely összes megfigyelő kútjának éves vízszintingadozása

13.5.1-4. ábra: A felvonulási és építési területen található megfigyelő kutak éves vízszintingadozása

Ennek ismeretében a hatásterület lehatárolásához az első értéket vettük alapul, hogy konzervatívak maradjunk. Így az alapozási munkagödör víztelenítésének hatását, a telephely összes monitoring kútjában észlelt éves vízszintingadozások átlagos értékével (~3,12 m = 3 m) definiáltuk. A hatásterület a 3 méteres vízszint csökkenés vonaláig (piros kontúrral jelölve) terjed ki.

13.5.1-5. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak kezdetén

13.5.1-6. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 50. napján

13.5.1-7. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 100. napján

13.5.1-8. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 200. napján

13.5.1-9. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 365. napján

A 3 méternél nagyobb vízszintcsökkenést elszenvedő megfigyelőkutakat egy táblázatba rendeztük, melyek közül a T38/A, T46/A, T48/A és a T49/A nevű kutak vannak legközelebb a jelenlegi atomerőműhöz. Ezen kutak alapján valószínűsíthető, hogy a jelenlegi erőmű északi oldalának közvetlen környezetében 3 - 3,5 méter leszívás értékek adódnak. Ezek az értékek nagy valószínűséggel nem okozhatnak a főépület északi oldalánál statikai problémákat, mivel az épület súlya alatt a talaj az évek során konszolidálódott, illetve jelenleg is érik legalább ekkora hatások a Duna vízszintingadozásának köszönhetően.

Kútnév	X-Modell	Y-Modell	X-Helyi	Y-Helyi	Mért vízszint [mBf]	Kalkulált vízszint [mBf]	Kalkulált-mért [m]	Idő
C1.2/A	2189,277	2177,291	1265,416	11990,45	88,4	77	-11,4	365
C2.2/A	2245,759	2423,758	1324,59	12236,29	87,95	81,97668	-5,973323	365
R64/A	2280,675	2124,917	1356,236	11937,08	88,15	84,5181	-3,631903	365
T38/A	2058,694	1960,146	1132,466	11774,75	89,09	85,83922	-3,250782	365
T46/A	2144,098	1908,944	1217,306	11722,61	88,92	85,90364	-3,016359	365
T48/A	2142,025	1941,282	1215,587	11754,97	88,86	85,46479	-3,39521	365
T49/A	2142,69	1954,825	1216,399	11768,51	88,84	85,25167	-3,588329	365

13.5.1-1. táblázat: Az alapozási munkagödör víztelenítésének hatása az egyes megfigyelőkutakban

A munkagödör teljes víztelenítését 16930 m^3/nap vízkitermelési hozam mellett körülbelül 50 nap alatt lehet elérni. Ahhoz, hogy a munkagödör szárazon maradhasson a munkálatok alatt, elvileg 13705 m^3/napos vízkitermelési hozam szükséges, amely nagymértékben függ a Duna aktuális vízszintjétől. A Duna árhullámai megnövelhetik a kitermelendő víz mennyiségét, mint ahogy azt a 13.5.1-10. ábra is jól mutatja. 2013.06.11-én a Duna vízszintje meghaladta a 94 mBf szintet és ekkor a kitermelendő vízmennyiség megemelkedett 17694 m^3/napra.

13.5.1-10. ábra: Az alapozási munkagödör víztelenítéséhez és szárazon tartásához szükséges kifolyó vízmennyiség

A második blokk alapozási munkagödrének mélyítése és víztelenítése időben eltolódik, ezért azt feltételeztük, hogy az első blokk alpozásának befejezése után visszaáll a nyugalmi vízszint, mely az alapállapothoz képest már tartalmazza az első blokk hatását.

13.5.1-11. ábra: A második alapozási munkagödör horizontális elhelyezkedése

13.5.1-12. ábra: A második alapozási munkagödör vertikális képe

13.5.1-13. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak kezdetén

13.5.1-14. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 50. napján

13.5.1-15. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 100. napján

13.5.1-16. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 200. napján

13.5.1-17. ábra: A depressziós tölcsér kiterjedése és az áramlástér a vizsgálati időszak 365. napján

A második blokk alapozási munkagödrének víztelenítése folyamán kisebb vízszintcsökkenés észlelhető, mivel a 2. blokkhoz tartozó létesítmények alapterülete kisebb. A hatásterület nem nyúlik el a jelenlegi blokkok északi csücskéig, így semmilyen hatás nem várható a meglévő blokkok területén. Ugyanakkor az első blokk alapozásánál figyelembe kell venni a második blokk víztelenítésének hatását.

Kútnév	X-Modell	Y-Modell	X-Helyi	Y-Helyi	Mért vízszint [mBf]	Kalkulált vízszint [mBf]	Kalkulált-mért [m]	Idő
C1.2/A	2189,277	2177,291	1265,416	11990,45	88,4	85,42711	-2,97289	365
C2.2/A	2245,759	2423,758	1324,59	12236,29	87,95	79,38374	-8,56626	365
R64/A	2280,675	2124,917	1356,236	11937,08	88,15	86,828	-1,32201	365
T38/A	2058,694	1960,146	1132,466	11774,75	89,09	87,8017	-1,2883	365
T46/A	2144,098	1908,944	1217,306	11722,61	88,92	87,74595	-1,17405	365
T48/A	2142,025	1941,282	1215,587	11754,97	88,86	87,56118	-1,29882	365
T49/A	2142,69	1954,825	1216,399	11768,51	88,84	87,47144	-1,36856	365

13.5.1-2. táblázat: Az alapozási munkagödör víztelenítésének hatása az egyes megfigyelőkutakban

A második munkagödör teljes víztelenítését 16186 m^3/nap vízkitermelési hozam mellett körülbelül 50 nap alatt lehet elérni. Ahhoz, hogy a munkagödör szárazon maradhasson a munkálatok alatt, elvileg 12846 m^3/napos vízkitermelési hozam szükséges, amely nagymértékben függ a Duna aktuális vízszintjétől. A Duna árhullámai megnövelhetik a kitermelendő víz mennyiségét, mint ahogy azt a 13.5.1-18. ábra is jól mutatja. 2013.06.11.-én a Duna vízszintje meghaladta a 94 mBf szintet és ekkor a kitermelendő vízmennyiség megemelkedett 16209 m^3/napra.

13.5.1-18. ábra: A második alapozási munkagödör víztelenítéséhez és szárazon tartásához szükséges kifolyó vízmennyiség

13.5.1.1.2 Az alapozási munkagödörből eltávolított víz trícium mennyiségének becslése

A trícium mennyiségének becslésére két módszert alkalmaztunk. Az egyik módszer az alapozási munkagödör déli környezetében definiált zónán áthaladó vízmennyiség és trícium aktivitáskoncentráció szorzatával számol. Ehhez el kell helyeznünk egy zónát, amin a program kiszámolja mennyi víz halad át a vizsgálati időszak alatt. Az értékek közül kiválasztjuk a legnagyobb és legkisebb vízmennyiséget. E mellé társul a zóna környezetében mérhető legnagyobb trícium aktivitáskoncentráció értéke, ami jelen esetben körülbelül 80 Bq/dm^3-t jelent. A kettő szorzata adhat egy közelítő értéket.

13.5.1-19. ábra: A trícium mennyiségének becsléséhez definiált zóna

13.5.1-20. ábra: A zónán áthaladó éves vízmennyiség

A zóna teljes térfogatáram értéke: Qv = 2701,5 – 4171,1 m^3/nap

Jellemző maximális aktivitáskoncentráció a zóna mentén: I = 80 Bq/dm^3

A zónán áthaladó trícium aktivitás napi mennyisége: QT = Qv x I = (216 - 333) MBq/nap

A második módszernél az adott zóna mentén felvettünk egy nyugat - keleti szelvény menti trícium aktivitáskoncentráció eloszlást, melyre egy ~9 m^2 felületű rácshálót helyeztünk. A zóna menti átlagos áramlási sebesség 3,2E-6 m/s-nak adódott, ami ~0,28 m/napnak felel meg. A sebességet megszoroztuk a felületekre jellemző aktivitáskoncentrációkkal és az elemi felületek nagyságával, majd a kapott értékeket összegeztük.

Q = [(385 x 9 x 0,1+
289 x 9 x 0,5+
256 x 9 x 1+
224 x 9 x 2+
185 x 9 x 5+
152 x 9 x 10+
117 x 9 x 20+
97 x 9 x 30+
80 x 9 x 40+
62 x 9 x 50+
45 x 9 x 60+
29 x 9 x 70+
17 x 9 x 80) x 1000](Bq/m) x 0,28 (m/nap)

Qösszes = 52,9 MBq/nap

A második módszer jóval realisztikusabb becslést ad a trícium mennyiségére, mint az első, mivel nem a zónán átfolyó víz trícium-koncentrációjának szélsőértékeivel számol (legnagyobb trícium koncentráció), hanem azt kisebb ($9m^2$) cellákra osztja és az ottani trícium-koncentráció várható értékével. Ugyanakkor kellően konzervatív is, mivel nem számoltunk a porozitással, azaz úgy vettük, mintha az adott felület teljes keresztmetszetén víz áramlana, holott annak csak kb. 30%-a „hasznos” a vízáramlás szempontjából.

13.5.1-21. ábra: A trícium nyugat-keleti szelvény menti eloszlása

13.5.1.2 Közvetett hatások

13.5.1.2.1 Víztelenítés során eltávolított víz Dunába helyezésének hatása

Az alapozási munkagödrök víztelenítése okozta depressziós tölcsér "magához húzza" a környezetéből a vizet, amivel a legmobilisabb szennyezőanyag, a trícium is mozog. A trícium csóva alapállapotban a Hidegvíz-csatorna irányába, észak-északkeleti irányban áramlik. A víztelenítés hatására pedig északi irányt vesz fel.

13.5.1-22. ábra: A trícium csóva áramlásának iránya alapállapotban

13.5.1-23. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (1. nap)

13.5.1-24. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (50. nap)

13.5.1-25. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (100. nap)

13.5.1-26. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (200. nap)

13.5.1-27. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (365. nap)

A mélység függvényében történő változások nyomon követésére észak-déli irányú metszet mentén is ábrázoltuk a trícium csóva mozgását.

13.5.1-28. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (1. nap)

13.5.1-29. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (50. nap)

13.5.1-30. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (100. nap)

13.5.1-31. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (200. nap)

13.5.1-32. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (365. nap)

A második alapozási munkagödör-víztelenítés hatásának szimulálására a kezdeti értékeket, az előző munkagödör-víztelenítés hatását szimuláló modellfuttatás utolsó napjának eredményei adják. Mivel pontos információink nincsenek az alapozás menetéről, ezért a visszatöltődés hatását a trícium csóva terjedésére nem vettük figyelembe. Ugyanakkor a trícium aktivitáskoncentráció értékek a munkagödrök környezetében valószínüleg csökkennek a hígulás, illetve a kimosódás következtében, azaz a jelenlegi megközelítés pesszimista becslésnek tekinthető a víztelenítés következtében eltávolítandó trícium mennyiségére nézve.

13.5.1-33. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (1. nap)

13.5.1-34. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (50. nap)

13.5.1-35. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (100. nap)

13.5.1-36. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (200. nap)

13.5.1-37. ábra: A depressziós tölcsér hatása a trícium csóva áramlásának irányára (365. nap)

A mélység függvényében történő változások nyomon követésére észak-déli irányú metszet mentén is ábrázoltuk a trícium csóva mozgását.

13.5.1-38. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (1. nap)

13.5.1-39. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (50. nap)

13.5.1-40. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (100. nap)

13.5.1-41. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (200. nap)

13.5.1-42. ábra: A trícium csóva függőleges terjedése (365. nap)

13.5.1.2.2 A létesítés hatása a földtani közegre

A beruházás jelentős mértékben és nagy területeken érinti a földtani képződményeket a tereprendezés és a munkagödrök létesítése kapcsán. A munkagödrök méreteit az építmények méretei mellett, a közlekedési és szállítási útvonalak helyzete és a víztelenítés körülményei is meghatározzák. Előzetes számítások szerint a kitermelendő földanyag maximális mennyisége 800 000 m^3-re becsülhető. A várható maximális alapozási mélység 20 méter.

Terep előkészítés, tereprendezés, közműkiváltások:

A beruházási terület az üzemelő erőmű 4. blokkjának É-i szomszédságában, hozzávetőlegesen 400 m × 700 m-es téglalap alakú területet foglal el. A terület feltöltése a 97,15 mBf tervezési szintre már korábban megtörtént.

Ezen a területrészen jelenleg építmények már nincsenek, csak betonalapok maradványai. Az egész terület sík, egy része nagyméretű betonlapokkal fedett, a többi részét fűnemű növényzet borítja (lokálisan facsemeték), a növényzetet rendszeresen kaszálják. A földalatti közművek (csatorna, tűzivíz-hálózat) még megvannak.

A tervezett beruházás felvonulási területe (76,2 ha) közvetlenül É felé csatlakozik az építési területhez. Ezt a területrészt is már feltöltötték a tervezési szintre. Ny-on jelenleg az atomerőművet kiszolgáló cégek földszintes, könnyűszerkezetes csarnokai és iparvágányok találhatók. A leendő felvonulási terület K-i és É-i része beépítetlen, füves, fás ligetes jellegű. A hidegvíz csatorna partján parti szűrésű kútsor húzódik.

A tervezési szakaszban komolyabb, nagyobb volumenű munkálatokra, így az ezekkel járó hatásokra sem kell számítani. Csak fakivágások és a közműhálózat áthelyezésével járó kisebb földmunkák várhatók. A beruházási és a felvonulási területen is több talajvíz-megfigyelő kút található, ezek megszüntetéséről/áthelyezéséről gondoskodni kell.

A humusz tartalmú talajrétegek letakarítása:

Az új létesítmények alapozásához létesülő munkagödrökből kikerülő talajok általában hulladéknak minősülnek, de elhelyezésük az építési területen biztosítható. A humuszos termőréteget további felhasználás céljából a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény, valamint a termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvény szerint külön kell kezelni és deponálni. A humuszos rétegek kezelésére előzetesen humuszmentesítési tervet kell készíteni, amelyet az illetékes szakhatósággal (Tolna Megyei Kormányhivatal, Növény- és Talajvédelmi Igazgatóság) konzultálva célszerű összeállítani.

A szelektíven letermelt humuszos termőréteg a beruházási területen depóniába kerülhet és parkosításra később felhasználható. Egy másik lehetőség, hogy elszállítva az építési területről egy hasonló adottságú területen, termőréteg vastagításra hasznosítják.

A humuszos termőtalajok a munkagödrök létesítésekor termelhetők ki, így mennyiségük jelenleg még nem becsülhető.

A talajkiporzás:

Az alapozási munkagödrök, rézsűk, felvonulási utak létesítésével a talajok kiporzása is előtérbe kerül. Ez a hatás csak a felszíntől számított 20 cm-es mélységig érvényesül. A munkagödrök által feltárt talajok átlagos mértékadó szemcseméretе 0,1–0,3 mm között változik, ezért ezek a talajok szemcseösszetételüknél fogva kiporzásra hajlamosak. A talajok kiporzása különösen a száraz, meleg nyári időszakban jelentkezik. A téli félévben az alacsonyabb hőmérséklet és magas relatív páratartalom miatt a jelenség nem számottevő.

A kiporzás ellen az egyik szóba jöhető védekezési mód a terület locsolása. A 3–4%-os víztartalom már töredékére csökkenti a kiporzás mértékét. A másik, olcsóbb lehetőség a szállító útvonalak homokos kaviccsal való felszórása.

A munkagödrök rézsűinek eróziója a csapadékvíz hatására (lepelerózió):

Az alapok munkagödreinek állékonyságát – a talajvízszint felett – leginkább az intenzív csapadékhullás veszélyezteti. A homokos talajok igen erózió érzékenyek, ezért a munkagödrök megfelelő állapota csak a csapadékvizek szakszerű elvezetésével biztosítható (árkok, aknák, talajstabilizáció, szádfalazás).

Az alapozások hatása az altalajra:

A beépítések területén a létesítmények súlyából adódóan, a rétegterhelés növekedése várható. A növekvő rétegterhelés következménye a talajok fokozatos tömörödése, kompakciója.

Az egyenletes szemcseméretű homokos üledékek térfogata már a lerakódás után – a szemcsék egyszerű átrendeződése útján akár 20%-kal csökkenhet. Legnagyobb mértékben a szervesanyag-tartalmú, finomszemű pelites üledékek nyomódnak össze, míg legkevésbé a durvább szemű törmelékes üledékek (homokos kavics) tömörödnek. A beruházási területen ezek a képződmények mind megtalálhatók, de a létesítmények terhelő hatása elsősorban a homoküledékeket érintheti.

A jelenleg működő reaktorblokkok vonatkozásában az volt a tapasztalat, hogy az alapok alatt a kompakció (így a térfogat csökkenésből adódó süllyedések) nagyobb része viszonylag hamar, néhány év alatt lezajlott. A süllyedés mértéke az 1980-as évek végéig az 1. és a 2. blokkok alatt 55,5 mm, a 3. blokk alatt 58,1 mm, a 4. blokk alatt pedig 72,6 mm volt. A süllyedések sebessége a kezdeti időszak (néhány év) után már nagyon lecsökken, a teljes konszolidáció csak évtizedek múltán következett be. A létesítmények súlyából eredő, a süllyedéseket okozó feszültségek határmélysége az atomerőmű területén – a számítások szerint – 47 m-ben adható meg.

13.5.2 A LÉTESÍTÉS HATÁSTERÜLETEI

Az előkészítő munkálatok hatása semleges. Az építkezés során a humuszos talajok kitermelésének hatása egyszeri, időben jól lehatárolható. A jelenlegi eltemetett állapotban lévő humuszos talajok hasznosulnak, így ez a hatás javítónak mondható.

A talajok kiporzása, mint hatás a levegő minőségét tekintve kedvezőtlen, különösen a földmunkák szűkebb környezetében, a hatásterület a munkagödrök méreteitől függ. A kiporzás jelensége időszakos, csak a nyitott munkagödrökhöz kapcsolódik, a kedvezőtlen hatás locsolással, illetve a szállító útvonalak kaviccsal való felszórásával csökkenthető.

Az alapozások hatása az altalajra semleges hatásnak vehető, sőt egyes talajfizikai tulajdonságok (pl. tömörség, vízvezetőképesség) kedvezőbbé válnak. Ugyanakkor a tömörödéssel együtt járó egyenlőtlen talajsüllyedések az építmények szerkezetére károsak lehetnek.

13.5.2.1 Közvetlen hatások

Az alapozási munkagödrök víztelenítésének hatását, a telephely összes monitoring kútjában észlelt éves vízszintingadozások átlagos értékével (~3,12 m = 3 m) definiáltuk. A hatásterület a 3 méteres vízszint csökkenés vonaláig (piros kontúrral jelölve) terjed ki.

13.5.2-1. ábra: Az első munkagödör víztelenítésének hatásterülete

13.5.2-2. ábra: A második munkagödör víztelenítésének hatásterülete

13.5.2.2 Közvetett hatások

A fejezetben azt vizsgáljuk, hogy az erőmű pesszimista körülmények között (konzervatív becslés) mekkora radioaktív aktivitáskoncentráció-növekményt okozhat a Dunában és így közvetve egy partiszűrésű vízbázisban. Konzervativizmusként használtuk a legkisebb vízhozamot, nem számoltunk azzal, hogy a partiszűrésű vízbázisok csak részben nyernek Duna vizet (20-40%). Teljes elkeveredéssel számoltunk, mivel a vízbázisok távol helyezkednek el a torkolati zónától, illetve nem akartunk különbséget tenni a két partszakasz között.

A 13.5.2-1. táblázat és 13.5.2-3. táblázatokból látható, hogy egyetlen izotóp van, ami értelmezhető módon emeli meg a Duna radionuklid koncentrációját és ez a trícium. A többi nemhogy sugár-egészségügyi kockázattal nem jár, de legtöbb esetben kimutatásuk sem lehetséges, még a legérzékenyebb mérési módszerekkel sem. A másik esetlegesen kimutatható radionuklid a ^{14}C lenne, de az is csak igen speciális méréstechnikával. Megjegyezzük azonban, hogy a primerköri vízkezelés sajátossága miatt (általában savas kémhatású) ez valószínűleg nem tekinthető meghatározó radionuklidnak a folyékony kibocsátás aktivitáskoncentrációja szempontjából. Mivel azonban a ^{14}C igen könnyen beépül az élővilág egyes elemeibe és a légköri kibocsátásnál dózisjáruléka meghatározó, egy becsléssel közelítjük.

PAKS							
Nuklid	**Kibocsátás [Bq/év]**	**Nuklid**	**Kibocsátás [Bq/év]**	**Nuklid**	**Kibocsátás [Bq/év]**	**Nuklid**	**Kibocsátás [Bq/év]**
H-3	2,24E+13	**Fe-59**	2,71E+07	**Pu-238**	9,08E+05	**Ag-110m**	2,97E+07
***C-14**	2,10E+09	**Co-60**	1,02E+08	**Pu-239/240**	6,84E+05	**Cs-134**	1,14E+07
Cr-51	7,50E+07	**Sr-89**	2,54E+06	**Am-241**	1,67E+05	**Cs-137**	9,07E+07
Mn-54	4,52E+07	**Y-90+Sr-90**	5,79E+06	**Cm-242**	5,37E+03	**I-131**	2,15E+07
Co-58	1,63E+07	**Tc-99**	4,03E+07	**Cm-244**	8,92E+03		

Megjegyzés: *Egy biztonsági faktorral (10%) módosított érték

13.5.2-1. táblázat: A Paksi Atomerőmű normál üzemi ellenőrzött folyékony radioaktív kibocsátásai 2013-ban

	Q [m^3/s]	Q [m^3/év]	Q [l/év]
NV	5500	1,73E+11	1,73E+14
KÖV	2600	8,20E+10	8,20E+13
KV	600	1,89E+10	1,89E+13

13.5.2-2. táblázat: A Duna vízhozama Paksnál jellegzetes vízállások függvényében

PAKS							
Nuklid	**NV, KÖV, KV [Bq/dm^3]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm^3]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm^3]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm^3]**
H-3	1,29E-01	**Fe-59**	1,56E-07	**Pu-238**	5,23E-09	**Ag-110m**	1,71E-07
	2,73E-01		3,31E-07		1,11E-08		3,62E-07
	1,18E+00		1,43E-06		4,80E-08		1,57E-06
C-14	1,22E-05	**Co-60**	5,88E-07	**Pu-239/240**	3,94E-09	**Cs-134**	6,57E-08
	2,56E-05		1,24E-06		8,34E-09		1,39E-07
	1,11E-04		5,39E-06		3,61E-08		6,02E-07
Cr-51	4,32E-07	**Sr-89**	1,46E-08	**Am-241**	9,63E-10	**Cs-137**	5,23E-07
	9,15E-07		3,10E-08		2,04E-09		1,11E-06
	3,96E-06		1,34E-07		8,83E-09		4,79E-06
Mn-54	2,61E-07	**Y-90+Sr-90**	3,34E-08	**Cm-242**	3,10E-11	**I-131**	1,24E-07
	5,51E-07		7,06E-08		6,55E-11		2,62E-07
	2,39E-06		3,06E-07		2,84E-10		1,14E-06
Co-58	9,40E-08	**Tc-99**	2,32E-07	**Cm-244**	5,14E-11		
	1,99E-07		4,92E-07		1,09E-10		
	8,61E-07		2,13E-06		4,71E-10		

13.5.2-3. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek 2013-ban

A KHV 13.5.1 fejezetében tárgyaltuk a korábbi meghibásodásokból a talajvízbe került trícium eloszlását és terjedését az erőmű környezetében. A modellből számolható a feltételezett napi kibocsátás mennyisége. Ez pesszimista becslés szerint is maximum 160 MBq/nap lehet [13-5]. Mivel a talajvíz jellemző áramlási iránya a hidegvíz csatorna irányába mutat, e kibocsátás végső befogadó közege is a Duna lesz. Mértékét tekintve tríciumra ez a folyékony kibocsátásból származó kibocsátás 2,6‰-e, azaz hibahatáron belül nem módosítja a kibocsátást. Mennyiségét tovább csökkenti az, hogy az elérési idő (főépület-Duna) 10-20 év is lehet, ami a tríciumnál már összevethető annak felezési idejével (12,32 év). A többi radionuklidra egy pesszimista becslést adhatna, ha azokat a tríciummal azonos módon terjedőnek (nincs szorpció a talajban) tekintenénk és a kibocsátás mértékét ugyanolyan arányban vennénk figyelembe, mint az a trícium esetében mérhető, illetve számolható. Ez már önmagában is egy igen pesszimista becslés, mégsem jelent többletterhelést a Dunára nézve (mivel a 2,6‰ itt is hibahatáron belül van). Mivel azonban az erőművet körbevevő talajvíz-monitoring rendszer 2000-es üzembe helyezése óta, 1E-06−1E-03 Bq/dm^3-es nuklidspecifikus kimutathatósági határa ellenére sem detektált egyértelműen azonosítható, erőműből származó radionuklidot a tríciumon és ^{14}C-en kívül, így azok hatásával egyáltalán nem számolunk.

A trícium az új erőmű, Paks II építése és üzemelése során, két úton juthat a Dunába. A természetes talajvízárammal, illetve a víztelenítés során eltávolított vízzel. A talajvízárammal a maximális napi trícium mennyisége 160 MBq, a víztelenítés eredményeképpen 53 MBq. Ez a Dunában rendre 0,003 Bq/dm^3 illetve 0,001 Bq/dm^3 maximális trícium aktivitáskoncentráció növekményt eredményez kisvíz esetén, ami a folyékony kibocsátáshoz képest elhanyagolható.

A szerves formában kibocsátott radiokarbon mennyiségéről nincs mérési adat. Ez valószínűleg azért nem áll rendelkezésre, mivel annak mennyisége feltételezhetően jóval kisebb a karbonát formához viszonyítva (savas vízüzem), illetve méréstechnikája is bonyolult. A karbonát formában jelenlévő radiokarbon aktivitását a kibocsátott hulladékvizek negyedéves átlagmintái aktivitáskoncentrációiból becsülik. Ez alapján a 2013-as kibocsátási érték 1,9E+09 Bq volt. Ez az érték volt a legmagasabb az elmúlt 10 évben és ezt további 10%-al növeljük a szerves fázisban történő kibocsátás figyelembevételéhez. Így a Paksi Atomerőmű által kibocsátott ^{14}C mennyiségét 2,1E+09 Bq-lel becsülhetjük. Mivel a létesítendő két új blokk tervezett folyékony kibocsátásra nincs megadva a ^{14}C aktivitása, ellenben a trícium kibocsátás a két új blokkra jó egyezést mutat Paks jelenlegi kibocsátásával, így azt blokkonként 1,05E+09 Bq-nek vesszük. Ezt az értéket majd Paks II hatásánál vesszük figyelembe.

A 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz radioaktivitását két kritérium alapján korlátozza. A trícium aktivitáskoncentrációja nem lehet 100 Bq/dm^3-nél magasabb, illetve az összes indikatív dózis (trícium, kálium-40, radon és a radon bomlástermékei nélkül) nem lehet magasabb 0,1mSv/év-nél. „Nem kell vizsgálni az ivóvizet a tríciumra vagy a radioaktivitásra az összes indikatív dózis meghatározása érdekében abban az esetben, ha más vizsgálat szerint a számított indikatív dózis trícium szintje messze a határérték alatt van.” Ennek teljesüléséhez a WHO ivóvízre vonatkozó ajánlása szolgáltathat bővebb információt [13-8], hiszen a vonatkoztatási szint ott is 0,1mSv/év. Kiszámolták az említett dózishoz tartozó lehetséges radionuklid-koncentrációkat, valamint deklarálja azt is, hogy ha az összes alfa aktivitáskoncentráció 0,5 Bq/dm^3, az összes béta aktivitáskoncentráció pedig 1 Bq/dm^3 alatt van, szintén teljesül a fenti feltétel. Ennél nagyobb értékeknél (összalfa-, összbéta-aktivitáskoncentráció) célszerű izotópspecifikus számításokat végezni és ezek alapján pontosítani a dózist.

Mivel normálüzem esetén, a Duna hígító hatása miatt a ^{14}C koncentrációja sem közelíti meg a fent említett korlátokat (a többi radioizotópé pedig 6-10 nagyságrenndel alatta van), marad az egyetlen mérhető hatással bíró izotóp a trícium. Az erőmű maximum 1,18 Bq/dm^3-el képes a Duna trícium aktivitás-koncentrációját megemelni kisvíz esetén egyenletes elkeveredést feltételezve. Összehasonlításul, a jelenlegi csapadék trícium aktivitáskoncentrációja 0,5-2 Bq/dm^3 az ivóvízkorlát pedig 100 Bq/dm^3, tehát nincs számottevő hatással sem a Dunára, sem a részben Duna-vizet hasznosító parti szűrésű vízbázisokra, a hatásterület ebből a szempontból nem értelmezhető.

13.5.2.3 Országhatáron átterjedő környezeti hatások

A telephely hidrológiai modelljéből egyértelműen levonható az a két következtetés, hogy a víztelenítésnek csak igen korlátozott hatása van (néhány 10 méter átmérőjű hatásterület), valamint a talajvízbe kerülő bármely szennyező anyag, csak közvetett útvonalon (talajvíz→Duna) juthat a szomszédos országokba. A talajvízbe bárminemű szennyezőanyag kijutása normál üzemben nem engedélyezett. Általában is elmondható, hogy még üzemzavar esetén is, a talajvízbe kikerülő szennyezők mennyisége, csak töredéke a tervezett folyékony kibocsátásnak, így ez országhatáron átterjedő hatást nem okoz, illetve hibahatáron belül nem módosítja az egyébként meghatározó légköri terjedésből származó hatásokat.

13.6 PAKS II ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSAI A TELEPHELY FÖLDTANI KÖZEGÉRE ÉS FELSZÍN ALATTI VIZEIRE

13.6.1 A NORMÁL ÜZEMELÉS

A létesítést követő üzemeltetési periódusokat a 13.6.1-1. táblázat szemlélteti.

Tevékenység	Idő intervallum
A Paksi Atomerőmű 1-4 blokkok és Paks II. 1. blokk együttes üzeme	2025-2030
A Paksi Atomerőmű 1-4 blokkok és Paks II. 1-2 blokkok együttes üzeme	2030-2032
A Paksi Atomerőmű 1-4 blokkok meghosszabbított üzemidejének végét elérő 1-4 blokkok végleges leállítása	2032-2037
A Paksi Atomerőmű 1-4 blokkok leállítását követően Paks II. 1. és 2. blokk önálló, együttes üzeme	2037-2085
Paks II. 1. blokk üzemidejének lejárta	2085
Paks II. 1. blokk leállítását követően Paks II. 2. blokk önálló üzemelése	2085-2090
Paks II. 2. blokk üzemidejének lejárta	2090

13.6.1-1. táblázat: Paks II blokkjainak üzemeltetési periódusai, együttes üzemelése a Paksi Atomerőmű meglévő blokkjaival

Az új blokkok üzemelésének hatásai

Az új reaktorblokkok üzemelése folyamán a mai helyzethez képest számottevő újabb hatásokkal valószínűleg nem kell számolnunk. Az új reaktorblokkok működése során, a technológiai előírások maradéktalan betartása mellett talajszennyeződéssel nem kell számolni. Talajszennyeződést csak haváriák okozhatnak.

A létesítmények terhelő hatása az altalajra

Az építkezések befejezése után, már az üzemeltetés időszakában, az alapok alatt a teherviselő talaj konszolidációja egyre lassuló mértékben, de tovább folytatódik. A talaj tömörödése terhelés hatására irreverzibilis folyamat. A konszolidációs folyamatok hatása hasonló a létesítési szakaszban fellépő hatásokéhoz, csak a hatás időtartama hosszabb.

Turbinaalapok (gépalapok) vibrációs hatásai a talajokra

Az alapok alatt a talajok tovább tömörödnek, sőt szélsőséges esetben a talajfolyósodás jelensége is felléphet. Ezért az alapozások előtt igen alapos geotechnikai vizsgálatokra van szükség. Kedvezőtlen esetben talajszilárdítást vagy talajstabilizációt kell végezni. A vibrációs hatások az altalaj egyes tulajdonságait javíthatják ugyan, de az esetlegesen fellépő egyenlőtlen talajsüllyedések a létesítményekre károsak lehetnek.

13.6.1.1 Paks II üzemelésének hatásterületei

13.6.1.1.1 Közvetlen hatások

A telephely módosított (kiegészítve az új blokkok, meleg és hidegvíz csatornabővítések, egyéb épületek helyzetével, melyek módosíthatják a jelenlegi áramlási viszonyokat) hidrológiai modelljéből származtatott áramlási pályák, elérési idők bemutatása a Duna jellegzetes kisvízi, középvízi és nagyvízi vízszintjeihez igazítottan történik. A modellfuttatások permanens állapotot mutatnak be, ami azt jelenti, hogy a Duna vízszintje állandó az üzemelés egész periódusa során. Paks II önálló üzemelése 2037-től 2090-ig terjed. Valószínűleg az egyes üzemelési periódusok között lesz átfedés. Paks II hatása a talajvíz áramlási irányára illetve sebességére csak a mélyalapozású épületek alatti térfogatban, illetve közvetlen környezetében figyelhető meg. Az építmények oldalán eltérítődik az áramlás, de az uralkodó iránya így is a hidegvíz csatorna felé vezet. Az építmények alatti térfogatban pedig az áramlás sebessége megnő, mivel az agyagosabb réteg és az alapok között kisebb térfogaton keresztül tud áramlani a víz. Az irányok kisvízi és középvízi Duna vízállásoknál nem térnek el az előbb említett iránytól, csak a sebességek változnak, mégpedig úgy, hogy kisvíznél alakulnak ki a legmagasabb sebességek a hidegvíz csatorna irányába. Hangsúlyozzuk, hogy a permanens modellfuttatások pesszimista becslések és 53 évre vonatkoznak. Olyan kis- és nagyvizek soha nem tudnak kialakulni a Dunán, hogy akár fél évnél tovább tartsanak, mivel a folyó vízhozama és vízszintje állandóan változik.

A Paksi Atomerőmű üzemidejének lejártakor megszűnik a trícium utánpótlása és ennek következtében a trícium csóva fokozatosan zsugorodik, mely hatáshoz hozzáadódik a trícium bomlásának folyamata is. A trícium felezési ideje 12,32 év, melyet a modell a trícium bomlási állandójával vesz figyelembe. A bomlási állandó értéke:

$$\lambda = \frac{ln2}{\mathrm{t}_{1/2}} = \frac{ln2}{4500} = 0{,}00015403/nap$$

Ahol:
λ: bomlási állandó
$t_{1/2}$: felezési idő.

Megjegyzés:
Mélyalapozású épületek 20 m mélységig, összes egyéb épület 5 m mélységig nyúlik le a felszíntől számítva.

13.6.1-1. ábra: A telephely új erőművel és melegvíz csatornaággal módosított képe

KISVÍZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

A hidegvíz csatorna és a Duna vízszintje a telephelynél 85,14 mBf szintre lett beállítva. Évi 40 mm-es csapadék beszivárgással számolva a maximális sebességek 1,5E-5 m/s-ra becsülhetők.

13.6.1-2. ábra: Alacsony Duna vízállás (85,14 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe

Megjegyzés:
Az építmények alatti térfogatban az áramlás sebessége megnő, mivel az agyagosabb réteg és az alapok között kisebb térfogaton keresztül áramlik a víz.

13.6.1-3. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-4. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-5. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-6. ábra: A háromfázisú zóna képe állandó alacsony Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén

13.6.1-7. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó alacsony Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén

13.6.1-8. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-9. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-10. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-11. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően alacsony Duna vízállás esetén

KÖZÉPVÍZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

A hidegvíz csatorna és a Duna vízszintje a telephelynél 87,73 mBf szintre lett beállítva. Évi 40 mm-es csapadék beszivárgással számolva a maximális sebességek 3,8E-6 m/s-ra becsülhetők.

13.6.1-12. ábra: Közepes Duna vízállás (87,73 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe

13.6.1-13. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-14. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-15. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-16. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó közepes Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén

13.6.1-17. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó közepes Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén

13.6.1-18. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-19. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-20. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-21. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-22. ábra: Trícium csóva eloszlása harminc évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-23. ábra: Trícium csóva eloszlása negyven évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően közepes Duna vízállás esetén

NAGYVÍZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

A hidegvíz csatorna és a Duna vízszintje a telephelynél 94,01 mBf szintre lett beállítva. Évi 40 mm-es csapadék beszivárgással számolva a maximális sebességek 9,2E-6 m/s-ra becsülhetők.

13.6.1-24. ábra: Magas Duna vízállás (94,01 mBf) esetén kialakuló talajvíztükör és sebességtér kontúrtérképe

13.6.1-25. ábra: A talajvízszint és sebességtér É – D-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-26. ábra: A talajvízszint és sebességtér NY – K-i metszet mentén vett vertikális képe

13.6.1-27. ábra: Az erőmű alatti rétegben elhelyezett vízrészecskék pályája állandó magas Duna vízállás esetén

13.6.1-28. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó magas Duna vízállás esetén É – D-i metszet mentén

13.6.1-29. ábra: A háromfázisú zóna képe allandó magas Duna vízállás esetén NY – K-i metszet mentén

13.6.1-30. ábra: Trícium csóva eloszlása egy évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén

13.6.1-31. ábra: Trícium csóva eloszlása öt évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén

13.6.1-32. ábra: Trícium csóva eloszlása tíz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén

13.6.1-33. ábra: Trícium csóva eloszlása húsz évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén

13.6.1-34. ábra: Trícium csóva eloszlása harminc évvel a Paksi Atomerőmű leállítását követően magas Duna vízállás esetén

13.6.1.1.2 A talajvíz monitoring rendszer koncepcionális kialakítása

A számolt áramlási pályák és a technológiai rendszerek feltételezett elhelyezkedése alapján, javaslatot teszünk a monitoring rendszerhez tartozó talajvíz figyelő kúthálózat telepítési helyeire. A monitoring kutakat úgy kell elhelyezni, hogy bárhol is történik ellenőrizetlen szivárgás a talajvízbe, vagy esetleg a telítetlen zónába, a monitoring rendszer ezt nagy biztonsággal képes legyen detektálni, az elérhető legrövidebb időn belül és jóval a szennyező Dunába kerülése előtt. A kutak kialakításánál figyelembe kell venni, hogy a két erőmű hatása egyértelműen elkülöníthető legyen. A blokképületekhez közel eső kutakat az alapozási és utólagos tereprendezési munkálatok lezárulta után célszerű kialakítani. A rétegvíz kutaknál figyelembe kell venni, hogy egy fúrástechnikai hiba, illetve a rétegvíz nyomásszintjének drasztikus csökkenése, még együttes hatással se válthassa ki az esetleges szennyezők vízbázisba migrálását.

13.6.1-1. ábra: A monitoring rendszer kútjainak telepítési fázisai és az áramlási pályák

13.6.1-2. ábra: Hulladék gyűjtőhelyek, olajos és veszélyes anyagok tárolóhelyei, illetve a monitoring kutak elhelyezkedése

Sorszám	Megnevezés	Mennyiség
1, 2, 3, 4	Dízel generátor (épületenként 2db)	325 m^3 / dízel generátor
5	Hidrazin és ammónia tároló	Ammónium-hidroxid 1 m^3 Hidrazin 3 t
6	Hidrogén tároló	13 m^3
7	Vegyszer raktár	Salétromsav 51 m^3 Kénsav 80 m^3
8	Vízkezelő üzem	Sósav 53 m^3 Nátrium-hidroxid 40 m^3
9, 10	Bórsav tárolás	2 x 3 t
11, 12	Gőzturbina olajrendszer	2 x 120 m^3
13, 14	Generátor hidrogénhűtés	8 m^3
15	Stratégiai üzemanyagtöltet	225,6 t
16, 17, 18; 22, 23, 24	1 fázisú főtranszformátor	2 x 3 x 90 t
19, 20; 25, 26	3 fázisú háziüzemi transzformátor	2 x 2x 33 t
21; 27	Tartalék/indító hálózati transzformátor	2 x 33 t

13.6.1-1. táblázat: Olaj és vegyszer tárolás az üzemelés időszakában

A terület megfigyelésére az alábbi monitoring kutak telepítését javasoljuk.

Kút neve	EOV Y	EOV X	Kút neve	EOV Y	EOV X
TII-1	634943	137042	TII-28	635030	137131
TII-2	635003	137042	TII-29	634970	137149
TII-3	635067	137042	TII-30	634968	137196
TII-4	635140	137044	TII-31	634967	137236
TII-5	635214	137044	TII-32	635013	137492
TII-6	635289	137054	TII-33	635063	137495
TII-7	635358	137068	TII-34	635093	137516
TII-8	635295	137120	TII-35	635183	137517
TII-9	635361	137118	TII-36	635228	137492
TII-10	635322	137196	TII-37	635229	137368
TII-11	635371	137201	TII-38	635132	137365
TII-12	635321	137250	TII-39	635089	137335
TII-13	635370	137240	TII-40	635046	137328
TII-14	635316	137351	TII-41	635030	137367
TII-15	635357	137363	TII-42	634987	137414
TII-16	635308	137413	TII-43	634967	137427
TII-17	635359	137413	TII-44	634966	137456
TII-18	635295	137481	TII-45	634967	137481
TII-19	635017	137255	TII-46	634917	137495
TII-20	635074	137259	TII-47	634916	137369
TII-21	635147	137280	TII-48	634977	137300
TII-22	635192	137282	TII-49	634916	137261
TII-23	635228	137256	TII-50	634916	137125
TII-24	635232	137131	RII-1	634911	137043
TII-25	635150	137130	RII-2	634915	137326
TII-26	635090	137094	RII-3	635067	137604
TII-27	635047	137092			
	Rétegvíz figyelő kút (első fázis)				
	Talajvíz figyelő kút (első fázis)				
	Talajvíz figyelő kút (második fázis)				

13.6.1-2. táblázat: A monitoring kutak elnevezése és EOV koordinátái

Talajvíz figyelő kutak

A javasolt talajvíz figyelő monitoring kutak talpmélysége 20 m, a szűrők teteje a felszíntől 7,5 méterre, a szűrők alja pedig 15 méterre helyezkedik el. A csövezés átmérője 175 mm.

A TII-1, TII-4, TII-6, TII-8, TII-10, TII-12, TII-14, TII-16, TII-18, TII-19, TII-20, TII-21, TII-22, TII-23, TII-25, TII-26, TII-28, TII-30, TII-31, TII-32, TII-33, TII-34, TII-35, TII-38, TII-39, TII-41, TII-45, TII-46, TII-50 talajvíz figyelő kutakból:

havonta trícium aktivitáskoncentráció LSC méréstechnikával, dúsítás nélkül.

kéthavi átlagmintából: gamma-spektrometria (Trícium indikáció esetén)

4 havi átlagmintából: ^{14}C,

féléves átlagmintából: ^{90}Sr és alfaspektrometria (Trícium indikáció esetén)

A TII-10, TII-12, TII-18, TII-23, TII-24, TII-25, TII-28, TII-29, TII-30, TII-31, TII-33, TII-36, TII-38, TII-41, TII-45, TII-46, TII-47, TII-48, TII-49, TII-50 talajvíz figyelő kutakból:

félévente: pH, vezetőképesség, PO_43^-, F^-, NH_4+, NO_2^-, NO_3^-, Cl^-, SO_42^-, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Se, Cd, Sn, Ba, Pb, Ag, As, Hg;

évente: pH, vezetőképesség, m-lúgosság, összes oldott anyag tartalom, Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, PO_43^-, F^-, NH_4+, NO_2^-, NO_3^-, Cl^-, SO_42^-, CO_32^-, HCO_3^-, összes keménység, összes szerves szén, KOIps, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Ti, Tl, U, V, Zn, PAH, TPH, BTEX

A potenciális források környezetében lévő kutakban a teljes komponenskörre végzett alapszint mérése után már csak a felhasznált vegyi anyagoknak megfelelő komponsek mérését tartjuk szükségesnek, negyedéves gyakorisággal.

Rétegvíz figyelő kutak

Az RII-1, RII-2, RII-3 rétegvíz figyelő kutakból ***évente*** trícium aktivitáskoncentráció $T/^3He$ módszerrel, a trícium mentesség (meglévő állapot) ellenőrzéséhez.

13.6.1.1.3 Közvetett hatások

A létesítendő két új blokk tervezett folyékony kibocsátásában nincs megadva a ^{14}C aktivitása, ellenben a T kibocsátás a két új blokkra jó egyezést mutat Paks jelenlegi kibocsátásával, így azt blokkonként 1,05E+9 Bq-nek vesszük.

PAKSII 1. blokk		PAKSII 1. és 2. blokk	
Nuklid	**Kibocsátás [Bq/év]**	**Nuklid**	**Kibocsátás [Bq/év]**
H-3	9,10E+12	**H-3**	1,82E+13
I-131	3,50E+07	**I-131**	7,00E+07
I-132	2,30E+06	**I-132**	4,60E+06
I-133	1,20E+07	**I-133**	2,40E+07
I-134	1,40E+06	**I-134**	2,80E+06
I-135	3,90E+06	**I-135**	7,80E+06
Sr-89	8,10E+05	**Sr-89**	1,62E+06
Sr-90	2,30E+03	**Sr-90**	4,60E+03
Cs-134	8,00E+07	**Cs-134**	1,60E+08
Cs-137	1,20E+08	**Cs-137**	2,40E+08
Co-58	5,60E+05	**Co-58**	1,12E+06
Mn-54	6,10E+05	**Mn-54**	1,22E+06
Co-60	2,50E+06	**Co-60**	5,00E+06
Cr-51	5,50E+05	**Cr-51**	1,10E+06
***C-14**	1,05E+09	***C-14**	2,10E+09

Megjegyzés: * Becsült érték

13.6.1-1. táblázat: Paks II normál üzemi ellenőrzött folyékony radioaktív kibocsátásai

	Q [m³/s]	Q [m³/év]	Q [l/év]
NV	5500	1,73E+11	1,73E+14
KÖV	2600	8,20E+10	8,20E+13
KV	600	1,89E+10	1,89E+13

13.6.1-2. táblázat: A Duna vízhozama Paksnál jellegzetes vízállások függvényében

PAKSII 1. blokk					
Nuklid	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**
H-3	5,25E-02	**I-135**	2,25E-08	**Co-58**	3,23E-09
	1,11E-01		4,76E-08		6,83E-09
	4,81E-01		2,06E-07		2,96E-08
I-131	2,02E-07	**Sr-89**	4,67E-09	**Mn-54**	3,52E-09
	4,27E-07		9,88E-09		7,44E-09
	1,22E-07		4,28E-08		3,22E-08
I-132	1,33E-08	**Sr-90**	1,33E-11	**Co-60**	1,44E-08
	2,81E-08		2,81E-11		3,05E-08
	1,22E-07		1,22E-10		1,32E-07
I-133	6,92E-08	**Cs-134**	4,61E-07	**Cr-51**	3,17E-09
	1,46E-07		9,76E-07		6,71E-09
	6,34E-07		4,23E-06		2,91E-08
I-134	8,07E-09	**Cs-137**	6,92E-07	***C-14**	6,07E-06
	1,71E-08		1,46E-06		1,28E-05
	7,40E-08		6,34E-06		5,56 E-5

Megjegyzés: * Becsült érték.

13.6.1-3. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek Paks II 1. blokk

PAKSII 1. és 2. blokk					
Nuklid	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**	**Nuklid**	**NV, KÖV, KV [Bq/dm³]**
H-3	1,05E-01	**I-135**	4,50E-08	**Co-58**	6,46E-09
	2,22E-01		9,51E-08		1,37E-08
	9,62E-01		4,12E-07		5,92E-08
I-131	4,04E-07	**Sr-89**	9,34E-09	**Mn-54**	7,03E-09
	8,54E-07		1,98E-08		1,49E-08
	3,70E-06		8,56E-08		6,45E-08
I-132	2,65E-08	**Sr-90**	2,65E-11	**Co-60**	2,88E-08
	5,61E-08		5,61E-11		6,10E-08
	2,43E-07		2,43E-10		2,64E-07
I-133	1,38E-07	**Cs-134**	9,22E-07	**Cr-51**	6,34E-09
	2,93E-07		1,95E-06		1,34E-08
	1,27E-06		8,46E-06		5,81E-08
I-134	1,61E-08	**Cs-137**	1,38E-06	***C-14**	6,07E-06
	3,41E-08		2,93E-06		1,28E-05
	1,48E-07		1,27E-05		5,56 E-5

Megjegyzés: * Becsült érték.

13.6.1-4. táblázat: A Duna jellegzetes vízhozamaival számolt aktivitáskoncentráció értékek Paks II. 1. és 2. blokk

Mivel normálüzem esetén, a két új blokkból kibocsátott radionuklidok messze nem növelik a Duna vizének összes alfa aktivitást 0,5 Bq/dm³, az összes béta aktivitását pedig 1 Bq/dm³ aktivitás-koncentrációval, az egyetlen mérhető hatással bíró izotóp itt is a trícium lesz. A két blokk maximum 0,96 Bq/dm³-el képes a Duna trícium aktivitás-koncentrációját megemelni kisvíz esetén. Összehasonlításul, a jelenlegi csapadék trícium aktivitáskoncentrációja 0,5-2 Bq/dm³ az ivóvízkorlát pedig 100 Bq/dm³, tehát nincs számottevő hatással sem a Dunára, sem a részben Duna-vizet hasznosító parti szűrésű vízbázisokra, a hatásterület nem értelmezhető.

13.6.1.2 Paks II és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatása

Az együttes üzemelés hatásaként a megépített blokkok körüli depressziós tölcsér megszüntének következtében a trícium csóva terjedése fokozatosan visszaáll az eredeti irányba. A talajvíz a hidegvíz csatorna felé kezd el áramlani ismét.

13.6.1.3 Paks II és a Paksi Atomerőmű együttes üzemelésének hatásterületei

A régi és az új erőművi blokkok egyidejű üzemeltetése alatt a földtani közeget érintő újabb hatásokkal nem kell számolnunk. A régi és az új blokkok egyidejű működése idején hasonló hatások (a létesítmények terhelő hatása az altalajra, turbinaalapok vibrációs hatásai) érik a földtani közeget, de ezek a hatások térben és időben egymástól teljesen elkülönülnek. Talajszennyeződések csak haváriák esetén fordulhatnak elő.

13.6.1.3.1 Közvetlen hatások

Az létesítési időszakot követő depressziós tölcsér fokozatos megszűnése, a trícium csóva terjedési irányára lesz hatással. A trícium csóva terjedésének iránya fokozatosan visszaáll az eredeti keleti-északkeleti, hidegvízcsatorna felé történő áramlási irányba. Eme folyamat vizsgálatára tizenhétéves periódusra történő permanens modellfuttatásokat végeztünk a jellegzetes Duna vízállások függvényében.

KISVIZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

Kisvizi viszonyok esetén nagyjából fél év alatt visszaállhat az eredeti K-ÉK-i áramlási irány és öt év alatt a trícium csóva terjedés, mivel alacsony Duna vízállás esetén alakul ki a legnagyobb áramlási sebesség a Duna és a hidegvíz csatorna irányába.

13.6.1-1. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után fél évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-2. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén

13.6.1-3. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan alacsony Duna vízállás esetén

KÖZÉPVIZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

Középvizi viszonyok esetén nagyjából egy év alatt visszaállhat az eredeti K-ÉK-i áramlási irány és 10 év alatt a trícium csóva terjedés, mivel közepes Duna vízállás esetén lassul az áramlás sebessége a Duna és a hidegvíz csatorna irányába.

13.6.1-4. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után fél évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-5. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-6. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-7. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tíz évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén

13.6.1-8. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tizenhét évvel tartósan közepes Duna vízállás esetén

NAGYVIZI VISZONYOK MODELLFUTTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

Nagyvizi viszonyok esetén az eredeti K-ÉK-i áramlási irány Ny-DNY-vá válik és az övcsatorna irányába kezd el a csóva terjedni. Hangsúlyozzuk, hogy a valóságban jellegzetes tartós vízállás néhány hónapig állhat fenn és a permanens szimulációk extrém szélsőséges eseteket prognosztizálnak.

13.6.1-9. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés fél évvel tartósan magas Duna vízállás esetén

13.6.1-10. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után egy évvel tartósan magas Duna vízállás esetén

13.6.1-11. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után öt évvel tartósan magas Duna vízállás esetén

13.6.1-12. ábra: A trícium csóva eloszlása a víztelenítés után tíz évvel tartósan magas Duna vízállás esetén

13.6.1.3.2 Közvetett hatások

Mivel normálüzem esetén, a négy régi és két új blokkból kibocsátott radionuklidok nem növelik a Duna vizének összes alfa aktivitást 0,5 Bq/dm^3, az összes béta aktivitását pedig 1 Bq/dm^3 aktivitás-koncentrációval, az egyetlen mérhető hatással bíró izotóp itt is a trícium lesz. A két erőmű maximum 2,14 Bq/dm^3-el képes a Duna trícium aktivitás-koncentrációját megemelni kisvíz esetén. Összehasonlításul, a jelenlegi csapadék trícium aktivitáskoncentrációja 0,5-2 Bq/dm^3 az ivóvízkorlát pedig 100 Bq/dm^3, tehát nincs számottevő hatással sem a Dunára, sem a részben Duna-vizet hasznosító parti szűrésű vízbázisokra, a hatásterület nem értelmezhető.

	Duna vízszint	Szumma kibocsátásból származó aktivitáskoncentráció növekmény (trícium kivételével)
PaksII 1. és 2. blokk	NV	1,51E-05
	KÖV	3,19E-05
	KV	1,38E-04
Paks 1.-4. blokk	NV	1,37E-05
	KÖV	2,28E-04
	KV	5,52E-04
Szumma	NV	2,88E-05
	KÖV	6,08E-05
	KV	2,64E-04

13.6.1-1. táblázat: A kibocsátott alfa-, béta- és gamma-sugárzó izotópok által okozott össz aktivitáskoncentráció növekmény a Dunában

13.6.1.3.3 Országhatáron átterjedő környezeti hatások

A telephely hidrológiai modelljéből egyértelműen levonható az a következtetés, hogy szennyező anyag, csak közvetett útvonalon (talajvíz→Duna) juthat a szomszédos országokba. A talajvízbe bárminemű szennyezőanyag kijutása normál üzemben nem engedélyezett. Általában is elmondható, hogy még üzemzavar esetén is a talajvízbe kikerülő szennyezők mennyisége csak töredéke a tervezett folyékony kibocsátásnak, így ez országhatáron átterjedő hatást nem okoz, illetve hibahatáron belül nem módosítja az egyébként meghatározó légköri terjedésből származó hatásokat.

13.6.2 ÜZEMZAVAROK, HAVÁRIÁK

Mivel az egyes forgatókönyvek a radioaktív szennyező anyagok talajvízbe jutását nem valószínűsítik, így a talajvizek elszennyezése, csak közvetett formában lehetséges: Légköri kihullás, illetve kimosódás a talajfelszínre → majd terjedés a telítetlen zónában a telített zóna eléréséig. Ennek a folyamatnak nem lesz hatása a talajvízre a talaj nagy szorpciós képessége illetve az izotópspecifikus, akár többszáz éves elérési idő miatt (a leszivárgási idő még tríciumra is néhány évtől, 10 éves tartományba eshet). Ugyanakkor az is igaz, hogy a telített zóna esetleges elérése után, a jellemző áramlási viszonyok miatt a talajvíz (és az azzal együtt mozgó anyagok) végső befogadója a Duna lesz. Mivel azonban az elérési idők a telephely, és a Duna között még a talajvízzel együtt áramló tríciumra is 12-20 éves tartományba esik, az esetleges események kezelésére, kármentesítésére elegendő idő áll rendelkezésre, még mielőtt a kikerült szennyezőanyagok elérhetnék a Dunát. Így a parti szűrésű vízbázisokra ez az esemény nem lesz hatással.

A nem üzemszerű működés következtében, balesetek és haváriák esetén különböző (nem radioaktív) szennyezőanyagok kerülhetnek ki a környezetbe, így a földtani közegbe illetve a felszín alatti vizekbe is. A felszín alatti nyomás viszonyok miatt (a rétegvizek nyomása megasabb, mint a talajvízé) csak a talajvíz lehet érintett, a rétegvizeket jelenleg nem érheti felszíni szennyeződés. Az esetleges szennyeződések mértékének megítélése a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM rendelet 1-4. mellékleteiben leírtak szerint történik.

Az új blokkok tervezett területén a legvalószínűbb potenciális szennyezőforrásként a vegyszerek tárolása, a transzformátorok olajtartalma, illetve a gázolajtárolás nevesíthető. Az olajszennyezők terjedését alpvetően 4 folyamat határozza meg, az advektív transzport, a diszperzió, a szorpció, illetve a biodegradáció. Amíg a szivárgási tartományban az olajbeszivárgás befejeződése után csak a talajszemcsékhez adszorbeált (viszonylag kis mennyiségű) olajtartalom marad, addig a kapilláris sávban a szabad olajmennyiség feldúsul és mozgását korlátozza a kapilláris erő hatása. Míg a szivárgó sávban viszonylag gyorsan mozog az olaj, addig a kapilláris sávban hónapok múlva, sőt évek múlva is maradhat nagyobb olajmennyiség. Az olajlencse legnagyobb függőleges terjedési sebessége a jellemző földtani közegben maximum a 1 E-8 m/s tartományba eshet. Az üzemi terület kb. 1000 méterre van a Duna partéltől, tehát a migráló olajlencse kb. 3000 év alatt érné el a Dunát. Mivel az olajszennyezők vízben kevésbé oldódnak (20-80mg/l) a direkt talajvizes transzport nem lesz meghatározó tényező, bár az is 12-20 év múlva érheti el a Dunát. Az olajszármazékokra a jellemző biodegradációs felezési idő 1-2 éves tartományba esik (megfelelő oxigéntartalom biztosítása mellett), így a feltételezett olajlencse lehatárolására és kármentesítésére elegendő idő áll rendelkezésre mielőtt elérné a Dunát.

A nagy mennyiségben használt (raktározott) vegyszerek a következők: Bórsav (szilárd formában és meghatározóan a konténmenten belül), hidrazin, ammónia, nátrium-hidroxid, kálium-hidroxid, sósav és salétromsav. A lefejtő állomás úgy lesz kialakítva, hogy a vegyszerek lefejtésénél ne lehessen vegyszerszivárgás, elfolyás. Annak érdekében, hogy vegyszerek ne kerülhessenek ki a környezetbe havária események kapcsán, megfelelő kármentő medencék lesznek kialakítva.

13.7 PAKS II FELHAGYÁSÁNAK HATÁSAI A TELEPHELY ALATTI FÖLDTANI KÖZEGRE ÉS A FELSZÍN ALATTI VIZEKRE

A felhagyási, leszerelési szcenáriók közül jelenleg az azonnali leszerelés tekinthető a legvalószínűbb forgatókönyvnek. Ebben az esetben, az alépítmény (lemezalap) bontása során kerülhet a talajvízbe (elsősorban kioldódással) radioaktív anyag a szerkezeti elemekből. Ezen esetben a rövid felezési idejű radionuklidokkal nem kell számolnunk. Az esetlegesen talajvízbe kerülő radioizotópok hatását erősen korlátozza a szorpció, illetve az, hogy a főépület és a Duna közötti elérési idő 12-20 év (a legmobilisabb tríciumra) a hely és vízállás függvényében. Mivel azonban a jelenlegi erőmű alapozása (a Duna vízállásának függvényében) jelenleg is a telített zónában található, nem feltételezhető a működő állapottól jelentősen eltérő többletterhelés, amiről az előző fejezetek részletesen beszámolnak. Általánosságban elmondható, hogy a tríciumot és a radiokarbont kivéve az így talajvízbe jutó radioaktív anyagok mobilitása csekély, a leszerelés során az esetleges lokális kontamináció ellenőrizhető és időben felszámolható, így annak hatásával a jelenlegi keretek között nincs értelme foglalkozni. További kockázatot jelent a hulladékszállítási útvonalon, a nem szándékolt elszórás, így a talajba történő bemosódás, azonban ennek hatásával csak a konkrét leszerelési terv elkészülte után lehet számolni.

13.8 IRODALOMJEGYZÉK

[13-1] A Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbítása, Környezeti hatástanulmány, 000000K00004ERE/A, ETV-ERŐTERV Rt., 2006. február 20.

[13-2] Breuer J.: A bányászati víztelenítés hatásai a Mátra-Bükkaljai külfejtéses területen, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, PhD értekezés tézisei, Kézirat, Miskolc, 2004.

[13-3] Értékelő jelentés a vízszintészlelő mintavételi kutak mérési adatainak feldolgozásáról, 2009-es hidrológiai év. GEOPARD Geotechnikai, Környezetvédelmi, Kutató-fejlesztő Szolgáltató Kft., Pécs, 2009. december 5.

[13-4] A Paksi Atomerőmű 2×1000 MW-os bővítésének mérnökgeológiai-geotechnikai vizsgálata, Kézirat, Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, Budapest, 1987. Budapest

[13-5] A talajvíz hidrológiai modelljének rendszeres aktualizálása, Isotoptech ZRt. (2010 – 2014)

[13-6] Lévai Projekt, A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi és vizsgálati és értékelési programok, Zárójelentés, VI. fejezet: A telephely hidrológiai modellezése

[13-7] Visual MODFLOW v.2011.1, User's Manual, For Professional Applications in Three-Dimensional Groundwater Flow and Contaminant Transport Modeling, Waterloo Hydrogeologic Inc.

[13-8] WHO Guidelines for Drinking-water Quality FOURTH EDITION, 2011