

KÖRNYEZETI RADIOAKTIVITÁS - A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSE

TARTALOMJEGYZÉK

20 KÖRNYEZETI RADIOAKTIVITÁS - A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSE.....	9
20.1 Jogszábai háttér, határértékek	9
20.1.1 Jogszábai háttér.....	9
20.1.2 Határértékek	10
20.1.2.1 A lakosság sugárterhelésének korlátozása	10
20.1.2.2 Dózismegszorítás	10
20.1.2.2.1 A vonatkoztatási csoport (reprezentatív személy) kiválasztása	10
20.1.2.2.2 A paksi telephelyen tervezett új blokkokra vonatkozó dózismegszorítás.....	11
20.1.2.3 A sugárterheléssel összefüggő baleset-elhárítási intézkedési szintek.....	11
20.1.2.3.1 Optimált, általános beavatkozási szintek sürgős védelmi intézkedésekre	11
20.1.2.3.2 Optimált, általános beavatkozási szintek a lakosság áttelepítésére	12
20.2 A vizsgált 30 km sugarú terület jelenlegi környezeti radioaktivitása.....	12
20.2.1 A vizsgált 30 km sugarú környezetben 2001-2011. között mért adatok feldolgozása	12
20.2.1.1 A radioaktív anyagok terjedését meghatározó jellemzők a telephelyen és annak környezetében	18
20.2.1.2 A Paksi Atomerőmű körüli légköri, felszíni vízi és felszín alatti vízi környezet radiológiai viszonyai	21
20.2.1.2.1 A környezeti elemek mérési eredményei – HAKSER adatok	21
20.2.1.2.1 A környezeti elemek mérési eredményei – ÜKSER adatok	27
20.2.1.2.2 A felszín alatti vízi környezet radiológiai viszonyai - talajvíz mérési eredmények.....	31
20.2.2 A vizsgált 30 km sugarú környezetben a radioizotópok megjelenésének 2012. évi vizsgálatai.....	32
20.2.2.1 Üzemidő hosszabbítás vizsgálati helyei	32
20.2.2.2 Vizsgálati eredmények	34
20.2.3 Összefoglalás	38
20.3 A vizsgált 30 km sugarú környezetben élő lakosság egészségügyi állapota	38
20.3.1 A vizsgálat első fázisa, adatbázisok feldolgozása	39
20.3.1.1 A vizsgálati területek lehatárolása	39
20.3.1.2 A vizsgálat módszertana	39
20.3.1.3 Felhasznált alapadatok áttekintése	40
20.3.1.4 Halálzási kockázat értékelése az erőmű körzetében	43
20.3.1.5 Fejlődési rendellenességek regisztrált gyakoriságának értékelése az erőmű körzetében.....	45
20.3.1.6 Betegségek előfordulási kockázatának elemzése	46
20.3.1.7 Az első fázis következtetései.....	50
20.3.2 A vizsgálat második fázisa, háziorvosok bevonása	51
20.3.2.1 Adatok feldolgozása	52
20.3.2.2 A vizsgálatban használt daganatos megbetegedési csoportok.....	54
20.3.2.3 A háziorvosok bevonásának összefoglaló értékelése	54
20.4 A telephely 30 km-es környezetében élő lakosság jelenlegi sugárterhelése.....	55
20.4.1 A vizsgálat és az értékelés módszertana.....	56
20.4.1.1 Légköri kibocsátásból származó terjedés és sugárterhelés	56
20.4.1.2 Vízi kibocsátásból származó sugárterhelés	57
20.4.1.3 Egyéb források - külső sugárterhelés	57
20.4.2 A lakosság sugárterhelésének számítása	58
20.4.2.1 Radioaktív izotópok légköri terjedése.....	58
20.4.2.2 Vízi kibocsátásból származó sugárterhelés	62
20.4.2.3 Radioaktív hulladékok elszállítása.....	68
20.4.2.4 Friss fűtőelem telephelyre szállítása	69
20.4.2.5 Kiegészítő fűtőelem szállítása a KKÁT-ba	71
20.4.2.6 A telephely területén, felületükön radionuklidot tartalmazó eszközök, sugárforrások mozgatása.....	72
20.4.2.7 Ipari radiográfiás vizsgálatok.....	72
20.4.3 Összegzés.....	73
20.5 Paks II. létesítésének hatása a telephely környezetében élő lakosság sugárterhelésére.....	74
20.5.1 Paks II. telepítésének hatásterületei.....	74

20.5.1.1	Közvetlen hatások	74
20.5.1.2	Közvetett hatások	74
20.5.1.3	Országhatáron áttérjedő hatások	74
20.6	Paks II. üzemelésének hatása a telephely környezetében élő lakosság sugárterhelésére	74
20.6.1	A normál üzemelés	74
20.6.1.1	Normál üzemi kibocsátási adatok	74
20.6.1.2	Dózisszámítások	76
20.6.2	Tervezési üzemzavar (TA4 / DBC4)	82
20.6.2.1	TA4 / DBC4 kategóriájú esemény	83
20.6.2.1.1	Kibocsátások – TA4 / DBC4	83
20.6.2.1.2	Dózisok – TA4 / DBC4	85
20.6.3	A folyékony kibocsátásokból származó sugárterhelés	87
20.6.3.1	A folyékony kibocsátási adatok	90
20.6.3.2	A lakossági sugárterhelésre vonatkozó eredmények	91
20.6.4	Paks II. kibocsátásaiból származó környezeti aktivitáskoncentrációk és esetleges felhalmozódások kimutathatóságának vizsgálata	91
20.6.5	Paks II. üzemelésének hatásterületei	100
20.6.5.1	Közvetlen hatások	100
20.6.5.2	Közvetett hatások	101
20.6.5.3	Országhatáron áttérjedő hatások	102
20.6.6	Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT együttes üzemelésének hatása és hatásterülete	103
20.6.6.1	Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT együttes üzemelésének hatása	103
20.6.6.2	Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT együttes üzemelésének hatásterületei	103
20.6.6.2.1	Közvetlen hatások	103
20.6.6.2.2	Közvetett hatások	103
20.6.6.2.3	Országhatáron áttérjedő hatások	103
20.6.7	Javasolt sugárvédelmi monitoring rendszer	104
20.7	Paks II. felhagyásának hatása a telephely környezetében élő népesség sugárterhelésére	106
20.8	Irodalomjegyzék	106

ÁBRAJEGYZÉK

20.2.1-1. ábra: A szektorcsoportok felosztása az erőmű 30 km-es környezetében	16
20.2.1-2. ábra: A típusú mérőállomások (A1 – A9) a Paksi Atomerőmű 5 km sugarú környezetében	27
20.2.1-3. ábra: A trícium mintavevőkutak elhelyezkedése és jelölése	31
20.2.2-1. ábra: A programban meghatározott mintavételi helyek műholdas képe	33
20.3.1-1. ábra: A vizsgálati terület (a) országon belüli elhelyezkedése	42
20.3.1-2. ábra: A hatásterület zónáiba tartozó települések	42
20.3.2-1. ábra: Az életkorra, nemre, dohányzásra, képzettségre, foglalkozási sugárexpozícióra, családi halmozódásra és egyes gyakori betegségekre (cukorbetegség, magas vérnyomás, ischaemiás szívbetegség) korrigált esélyhányadosok (95 %-os megbízhatósági tartományokkal) a 20 km-es hatásterületen belül élők megbetegedési esélyéről a hatásterület erőműtől számított 20-30 km-es zónájában élőkhez képest daganat típusonként	55
20.4.2-1. ábra: Csámpai gyermekek (kritikus csoport) éves dózisainak alakulása az erőműi kéménykibocsátásokból	61
20.4.2-2. ábra: Csámpai felnőttek éves dózisainak alakulása az erőműi kéménykibocsátásokból	61
20.4.2-3. ábra: Csámpai gyermekek (kritikus csoport) éves dózisainak alakulása a KKAT kibocsátásaiból	62
20.4.2-4. ábra: Csámpai felnőttek éves dózisainak alakulása a KKAT kibocsátásaiból	62
20.4.2-5. ábra: A PA folyékony kibocsátásából származó sugárterhelések a gerjени gyermek (1-2 éves) és felnőtt korcsoportokra vonatkozóan	66
20.4.2-6. ábra: A KKÁT folyékony kibocsátásából származó sugárterhelések a gerjени gyermek (1-2 éves) és felnőtt korcsoportokra vonatkozóan	66
20.4.2-7. ábra: A radioaktív anyag bejutása az erőműből a talajvízbe	67
20.4.2-8. ábra: Szállítókonténer	68
20.4.2-9. ábra: A V-60 SZK típusú vasúti kocsik körül számolt dózisteljesítmény (E') értékek a távolság függvényében	70
20.4.2-10. ábra: A C-30-as konténer körül számolt dózisteljesítmény értékek	71
20.6.1-1. ábra: Normál üzemi kibocsátási pontok (zöld: kémény; turbina épület)	75
20.6.2-1. ábra: TA4 / DBC4 esemény kibocsátási pontok (zöld: kémény; sárga: épület ventilátor)	83
20.6.5-1. ábra: Paks II. normál üzemelésének hatásterülete: 500 m sugarú kör az 500 m-es biztonsági övezetben	101
20.6.5-2. ábra: Paks II. tervezési üzemzavari eseménynél (TA4) a 400 m hatásterület	102
20.6.7-1. ábra: A javasolt Paks II. sugárvédelmi monitoring rendszer elvi felépítése	105

TÁBLÁZATJEGYZÉK

20.1.2-1. táblázat: Veszélyhelyzeti sugárterhelésre vonatkozó beavatkozási szintek - sürgős védelmi intézkedésekre	11
20.1.2-2. táblázat: Veszélyhelyzeti sugárterhelésre vonatkozó beavatkozási szintek - a lakosság áttelepítésére	12
20.2.1-1. táblázat: Alapadatok - HAKSER adatbázis 2001-2011 közötti méréseinek [20.2-10] értékelése	15
20.2.1-2. táblázat: Természetes élő- és termőhelyek közötti főbb kölcsönhatások	18
20.2.1-3. táblázat: Termőterületeknél előforduló főbb kölcsönhatások	19
20.2.1-4. táblázat: A ¹³⁷ Cs kölcsönhatásmátrix erdei ökoszisztémára	20
20.2.1-5. táblázat: Aeroszol aktivitáskonzentráció összesített adatai	21
20.2.1-6. táblázat: Fallout aktivitás időbeli eloszlása	21
20.2.1-7. táblázat: Talaj aktivitáskonzentráció összesített adatai	21
20.2.1-8. táblázat: Talaj aktivitáskonzentráció térbeli eloszlása	22
20.2.1-9. táblázat: Fű és takarmány aktivitáskonzentráció térbeli eloszlása	22
20.2.1-10. táblázat: Fű és takarmány aktivitáskonzentráció összesített adatai	23
20.2.1-11. táblázat: Paks előtti Duna szakasz vízminta aktivitáskonzentráció távolsági eloszlása	23
20.2.1-12. táblázat: Paks előtti Duna szakasz vízminta aktivitáskonzentráció összesített adatai	23
20.2.1-13. táblázat: Paks utáni Duna szakasz vízminta aktivitáskonzentráció távolsági eloszlása	23
20.2.1-14. táblázat: Paks utáni Duna szakasz vízminta aktivitáskonzentráció összesített adatai	24
20.2.1-15. táblázat: Paks előtti Duna szakasz üledék aktivitáskonzentráció távolsági eloszlása	24
20.2.1-16. táblázat: Paks előtti Duna szakasz üledék aktivitáskonzentráció összesített adatai	24
20.2.1-17. táblázat: Paks utáni Duna szakasz üledék aktivitáskonzentráció távolsági eloszlása	24

20.2.1-18. táblázat: Paks utáni Duna szakasz üledék aktivitáskoncentráció összesített adatai	24
20.2.1-19. táblázat: Paks utáni Duna szakasz víziállat aktivitáskoncentráció összesített adatai	25
20.2.1-20. táblázat: Az állóvízi vízminta aktivitáskoncentráció összesített adatai	25
20.2.1-21. táblázat: Állóvízi üledék aktivitáskoncentráció összesített adatai.....	25
20.2.1-22. táblázat: Tehéntej aktivitáskoncentráció térbeli eloszlása.....	25
20.2.1-23. táblázat: Tehéntej aktivitáskoncentráció összesített adatai	25
20.2.1-24. táblázat: A dózisteljesítmények térbeli eloszlása	26
20.2.1-25. táblázat: Dózisteljesítmény időbeli eloszlása	26
20.2.1-26. táblázat: Levegőminták mérési eredményei.....	28
20.2.1-27. táblázat: Fallout aktivitás az erőmű környezetében.....	29
20.2.1-28. táblázat: Talajminta aktivitáskoncentráció az erőmű környezetében	29
20.2.1-29. táblázat: Fűminta aktivitáskoncentráció az erőmű környezetében.....	29
20.2.1-30. táblázat: Környezeti dózisegyenérték teljesítmény TLD-vel mérve	30
20.2.1-31. táblázat: A tríciumot mérő figyelőkutakban vett minták mérési eredményei.....	32
20.2.2-1. táblázat: Növények laboratóriumi radioaktivitás mérésének eredményeiből számolt átlag értékek vizsgálati helyszínenként.....	34
20.2.2-2. táblázat: Talaj minták laboratóriumi radioaktivitás mérésének eredményeiből számolt átlag értékek vizsgálati helyszínenként	35
20.2.2-3. táblázat: A vizsgálati helyek talaj és növény vonatkoztatási szint értékei	35
20.3.1-1. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált okspecifikus halálozási kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája (2001-2010).....	44
20.3.1-2. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált okspecifikus halálozási kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján (2001-2010)	44
20.3.1-3. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált okspecifikus fejlődési rendellenesség kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája (2004-2009).....	45
20.3.1-4. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított okspecifikus fejlődési rendellenesség kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján. (2004-2009).....	46
20.3.1-5. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált daganatos (2007-2009) és kardiovaszkuláris (2009) megbetegedési kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája.....	47
20.3.1-6. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált daganatos (2007-2009) és kardiovaszkuláris (2009) megbetegedési kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján.....	47
20.3.1-7. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált gyermekkori daganatos megbetegedés kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája (2005-2009).....	48
20.3.1-8. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált gyermekkori daganatos megbetegedés kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján. (2005-2009).....	48
20.3.1-9. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált fejlődési rendellenesség és központi idegrendszeri megbetegedés kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája a szakellátás betegforgalmi adatai alapján (2005-2009)	49
20.3.1-10. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált fejlődési rendellenesség és központi idegrendszeri megbetegedés kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján a szakellátás betegforgalmi adatai alapján (2005-2009).....	50
20.4.2-1. táblázat: Az erőmű légköri kibocsátásaiból származó sugárterhelés	60
20.4.2-2. táblázat: Az egy hordóra átlagolt és maximális aktivitás adatok	68
20.4.2-3. táblázat: Az 1 év alatt szállított felszabadított hulladékból származó dózisteljesítmény	69
20.4.2-4. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsi közelében számolt dózisteljesítmény értékek, gammaforrással számolva	69
20.4.2-5. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsi közelében számolt dózisteljesítmény értékek, neutronforrás esetében	70
20.4.2-6. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsi közelében számolt dózisteljesítmény értékek	70
20.4.2-7. táblázat: A kiégett fűtőelem szállító konténer közelében számolt dózisteljesítmény értékek.....	71

20.4.2-8. táblázat: A felületükön radioaktív anyagot tartalmazó eszköz mozgatása során okozott dózisteljesítmény-értékek.....	72
20.4.2-9. táblázat: A radiográfias vizsgálat közbeni dózisteljesítmények a használt sugárforrástól függően	73
20.6.1-1. táblázat: Paks II. normál üzemi kibocsátási források EOY koordinátái	74
20.6.1-2. táblázat: A normál üzemi kéményen keresztül történő (I) és turbinaépület feletti (II) kibocsátások a két blokkra (Bq/év).....	76
20.6.1-3. táblázat: A csámpai 1-2 éves kisgyermek - a megadott normál üzemi kéménykibocsátásokból (I.) származó - teljes dózisa [Sv], 2001 és 2012 között	77
20.6.1-4. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló aktivitás-koncentrációk (I+II)	78
20.6.1-5. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló, 1-2 éves kisgyermekre vonatkozó dózisek (I+II, Sv)	79
20.6.1-6. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló, felnőttekre vonatkozó dózisek (I+II, Sv).....	80
20.6.1-7. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján az egyes területeken 1-2 éves kisgyermekre kialakuló dózisek, besugárzási útvonalanként (I+II, Sv).....	81
20.6.1-8. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján az egyes területeken felnőttekre kialakuló dózisek, besugárzási útvonalanként (I+II, Sv)	81
20.6.2-1. táblázat: TA4/DBC4 esemény kibocsátási EOY koordinátái	82
20.6.2-2. táblázat: A korai dózisek kibocsátásai (Bq)	84
20.6.2-3. táblázat: A késői dózisek kibocsátásai (Bq)	84
20.6.2-4. táblázat: Az 1-2 éves kisgyermek korai dózisa (Sv)	85
20.6.2-5. táblázat: A felnőttek korai dózisa (Sv)	85
20.6.2-6. táblázat: Az 1-2 éves kisgyermek késői dózisa (Sv).....	86
20.6.2-7. táblázat: A felnőttek késői dózisa (Sv).....	86
20.6.2-8. táblázat: Az egyes esetek összesített teljes dózisa (Sv)	87
20.6.3-1. táblázat: Környezeti átviteli tényezők (koncentráció faktorok)	89
20.6.3-2. táblázat: Dóziskonverziós tényezők	90
20.6.3-3. táblázat: Fogyasztási adatok [20.6.4-4].....	90
20.6.3-4. táblázat: Életmódjellemzők [20.6.4-4].....	90
20.6.3-5. táblázat: Az orosz VVER 1200 MW típusú blokk tervezett folyékony kibocsátásai (Bq/év) [20.6.4-4].....	90
20.6.3-6. táblázat: A gerjeni lakosság 1-2 éves gyermek és felnőtt korcsoportjainak dózisa az orosz VVER 1200 MW típusú blokkonkénti, éves folyékony kibocsátásából (nSv/év)	91
20.6.4-1. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított levegő aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/m ³), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	92
20.6.4-2. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított talaj aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/m ²), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	93
20.6.4-3. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított hús aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	94
20.6.4-4. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított gabona aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	95
20.6.4-5. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított zöldség aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	96
20.6.4-6. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított tej aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/ dm ³), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai	97
20.6.4-7. táblázat: A 2 db orosz VVER-1200 típusú blokkal felszerelt atomerőmű tervezett folyékony kibocsátásaiból létrejövő maximális aktivitáskoncentrációk egyes környezeti elemekben	98
20.6.4-8. táblázat: A Paksi Atomerőmű környezet-ellenőrzési programját jellemző kimutatási határok.....	99
20.6.4-9. táblázat: A kimutatási határok és a maximális aktivitáskoncentrációk arányai.....	99
20.6.6-1. táblázat: Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT teljes dózisa a maximális évből az 1-2 éves kisgyermekre, Sv	103
20.6.6-2. táblázat: Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT teljes dózisa a maximális évből a felnőttekre, Sv	103
20.6.6-3. táblázat: A folyékony kibocsátások legnagyobb együttes hatása Gerjenben éves szinten.....	103

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Rövid név	Teljes név
ÁNTSZ OTH	Állami Népegészségügyi Tisztiorvosi Szolgálat Országos Tisztifőorvosi Hivatal
BNO	Betegségek Nemzetközi Osztályozása
DBC4	Design Basis Category 4 Conditions (EUR Main poticies and objectives, Revision D, 2012.)
ERMAH	Egészségügyi Radiológiai Mérő és Adatszolgáltató Hálózat
HAKSER	Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KHA	Kimutatási Határ Alatt
KKÁT	Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója
KSH	Központi Statisztikai Hivatal
MCNP	Monte Carlo N-Particle
MIR	Modernized International Reactor
MVM	Magyar Villamos Művek Zrt.
NAÜ	Nemzetközi Atomenergia Ügynökség
NBSz	Nukleáris Biztonsági Szabályzat (118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet)
OKSER	Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer
OSSKI	Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet
OTH	Országos Tisztifőorvosi Hivatal
TA4	Nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavar (az NBSz 10. Melléklet 163. pont alapján)
ÜKSER	Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer
VBJ	Végleges Biztonsági Jelentés
VVER	Víz-Vizes Energetikai Reaktor

20 KÖRNYEZETI RADIOAKTIVITÁS - A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSE

20.1 JOGSZABÁLYI HÁTTÉR, HATÁRÉRTÉKEK

20.1.1 JOGSZABÁLYI HÁTTÉR

Európai Unió joganyagok (Decision, Directive)

Európa Tanács 96/29/EURATOM irányelve

Törvények

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról

1997. évi I. törvény a nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében Bécsben, 1994. szeptember 20-án létrejött Egyezmény kihirdetéséről

Kormányrendeletek

A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet
A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet

275/2002 (XII.21.) Kormányrendelet az országos sugárzási helyzet és radioaktív anyagkoncentrációk ellenőrzéséről

Miniszteri rendeletek

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

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

Ezen belül külön kiemeljük az alábbi pontokat:

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

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

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

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

- a keletkezés helyét,
- a keletkezés módját,
- a keletkező aktivitásokat,
- a kibocsátás módját,
- a kibocsátás útvonalát,
- a kibocsátott radioaktív anyag jellemzőit,
- a tervezett kibocsátási szinteket.

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

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

20.1.2 HATÁRÉRTÉKEK

20.1.2.1 A lakosság sugárterhelésének korlátozása

Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet szabályozza a munkavállalók és a lakosság sugárterhelésének korlátozását, valamint a sugárterheléssel összefüggő baleset-elhárítási intézkedési szinteket.

Lakossági dóziskorlát

A 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet 2. számú melléklet I. Dóziskorlátok, radon-koncentrációk munkavállalókra vonatkozó cselekvési szintjei fejezet 4.2 pontja szerint

*A lakosság tagjainak mesterséges forrásokból származó, külső és belső sugárterhelésének összege - az orvosi diagnosztikai és terápiás beavatkozással, a nem foglalkozásszerű betegápolással, az orvosi kutatásban való önkéntes részvétellel járó sugárterhelésen kívül - **nem haladhatja meg az évi 1 mSv effektív dóziskorlátot.***

20.1.2.2 Dózismegszorítás

Alapvető sugárvédelmi cél, hogy a lakosság indokolatlan többlet sugárterhelést ne kapjon egy adott forrásból (tevékenységből), ezért kell alkalmazni a dózismegszorítás elvét.

A lakosságra vonatkozóan az évi sugárterhelés nem haladhatja meg az 1 mSv dózis határértéket (16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet), ezért ezen korláton belül kell megállapítani egy dózismegszorítás értéket az adott forrásra (tevékenységre) úgy, hogy a már meglévő és még az esetlegesen a jövőben létesülő forrásokat is figyelembe veszik.

A 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet 2. számú melléklet II. Dózismegszorítás fejezet szerint

Annak érdekében, hogy egy adott tevékenységből származó, adott és ellenőrzés alatt tartott forrásból eredő foglalkozási vagy a lakosság tagjaira vonatkozó sugárterhelés az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szintet jelentősen ne haladja meg, a forrásra vonatkozóan dózismegszorítást kell alkalmazni. Ennek - a dóziskorláton belüli - értékét (a munkavállalókra vonatkozóan tartományát, a lakosság egy csoportjának számára az effektív dózis évi felső határát) az adott forrásra, foglalkozási területre és lakossági csoportra vonatkozóan - a sugár-egészségügyi helyzet figyelembevételével - az OTH határozza meg.

20.1.2.2.1 A vonatkoztatási csoport (reprezentatív személy) kiválasztása

A SOM SYSTEM Kft. elkészítette 2011-ben a dózismegszorítás meghatározását megalapozó, SOM(R)435/3, Rev.3. 5401 03A00015 SSA számú tanulmányt. A tanulmány a 2011-ben számításba vehető ötféle reaktortípust elemezte. A számítások kiterjedtek az egyes reaktortípusokra mind a normál üzemi körülményekre, mind a várható eseményekre is, és meghatározták a környező lakosság sugárterhelését a folyékony és a légek kibocsátások útvonalaira, megfelelő modellek és feltételek felhasználásával. A részletes elemzések eredményei azt mutatták, hogy a jelenleg a Paksi Atomerőmű 4 blokkjára alkalmazott 90 µSv-es dózismegszorítás tartható mind az öt új kiválasztott reaktortípusra is.

A számítások alapján azonosították a lakosság vonatkoztatási csoportját. A javasolt lakossági vonatkoztatási csoport az új atomerőművi blokkok tekintetében egy olyan hipotetikus felnőtt csoport, amelynek tagjai a légek kibocsátások hatását a csámpai buszmegálló közelében, míg a folyékony kibocsátások hatását Gerjenben viselik el.

Megjegyezzük, hogy jelenleg a paksi telephelyre (Paksi Atomerőmű, KKÁT) meghatározott vonatkoztatási csoport a hipotetikus gyerekek csoportja, ahol a korábbi számítások nem vették figyelembe a várható események hatásait. A jelen tanulmány számításainál az új blokkokra vonatkozóan figyelembe vették ezen eseményeket is, így a vonatkoztatási csoport a felnőtt csoport lett, mint a nagyobb sugárterhelés viselője.

20.1.2.2.2 A paksi telephelyen tervezett új blokkokra vonatkozó dózismegszorítás

AZ ÁNTSZ OTH KEF- 14381-4/2012 sz. határozata szerint:

Az ÁNTSZ Országos Tisztifőorvosi Hivatal (1097 Budapest, Gyáli út 2-6., a továbbiakban: OTH) az MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt. (7030 Paks, Gagarin u. 1. III. em. 302/B, a továbbiakban: MVM Paks II. Zrt.) kérelmére a Paksi Atomerőmű telephelyén létesülő új atomerőművi blokkokra, mint az ionizáló sugárzás mesterséges forrása részére a lakosság tagjai vonatkozásában

90 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ (effektív dózis)

d ó z i s m e g s z o r í t á s t

határoz meg.

Az OTH kötelezi az MVM Paks II. Zrt-t, hogy az új blokkok üzembe helyezését követően az előírt évenkénti dózismegszorítás teljesüléséről küldjön mérési eredményeket, illetve azokon alapuló számításokat, becsléseket az OTH részére.

Határidő: A tárgyévet követő március 31.

20.1.2.3 A sugárterheléssel összefüggő baleset-elhárítási intézkedési szintek

Veszélyhelyzetben (rendkívüli esemény által kiváltott állapot vagy a rendkívüli eseményt követő, tartósan fennálló sugárterhelési körülmények) a sugárterhelésre vonatkozó beavatkozási szinteket az 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet 2. számú melléklet 1. számú függeléké tartalmazza. Az indokolt óvintézkedésekhez tartozó, elnyelt dózisban kifejezett szinteket a rendelet 2. sz. melléklet III. 4. pontja tartalmazza.

20.1.2.3.1 Optimált, általános beavatkozási szintek sürgős védelmi intézkedésekre

Ennek értelmében védelmi intézkedést kell foganatosítani, ha az elkerülhető sugárterhelés meghaladja az intézkedésnek megfelelő beavatkozási szintet.

Védelmi intézkedés	Beavatkozási dózisszint Effektív dózis, E	Lekötött elnyelt dózis a pajzsmirigyben, D(τ)
Elzárkóztatás	10 mSv, 2 napnál nem hosszabb időszak alatt	
Kimenekítés	50 mSv, 1 hétnél nem hosszabb időszak alatt	
Jódprofilaxis	-	100 mGy

20.1.2-1. táblázat: Veszélyhelyzeti sugárterhelésre vonatkozó beavatkozási szintek - sürgős védelmi intézkedésekre

A lakosság tagjai sugárterhelésének növekedését elhárító vagy csökkentő intézkedéseknek a beavatkozási szintekhez (dózis), illetőleg a cselekvési szintekhez (aktivitás koncentráció) kell igazodniuk.

Az intézkedések mértékének és végrehajtásának eldöntése során azt az alapelvet kell érvényesíteni, hogy a sugárzás okozta egészségkárosodás kellő mértékű csökkentése igazolja a beavatkozás során keletkező károkat és költségeket. A beavatkozás módját, méreteit és időtartamát a lehető legkedvezőbben kell megválasztani.

A beavatkozási szintekben meghatározott, elkerülhető dózisokat (a védelmi intézkedés nélkül és annak végrehajtásával várható dózisok különbsége) a lakoságból választott csoportokra vonatkozó átlag értékekre kell tekinteni.

A 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet 2. számú mellékletének III. 4. pontja szerint:

A lakosság tagjai életének és egészségének védelme érdekében indokolt a sugárzási viszonyoknak megfelelő intézkedések foganatosítása, ha előre láthatóan a legfeljebb 2 nap alatti sugárterhelés előre jelzett, az egészségtelen vagy a csontvelőben elnyelt dózisa meghaladja az 1 Gy szintet, vagy a szemlencsében elnyelt dózis a 2 Gy, vagy a bőrben vagy ivarmirigyekben a 3 Gy, vagy a pajzsmirigyben az 5 Gy, vagy a tüdőben a 6 Gy szintet.

20.1.2.3.2 Optimált, általános beavatkozási szintek a lakosság áttelepítésére

Az áttelepítés jellege	Beavatkozási szint az áttelepítés	
	kezdeményezésére (effektív dózis)	megszüntetésére (effektív dózis)
Ideiglenes	30 mSv / hónap	10 mSv / hónap
Végleges	1 Sv / élettartam	

20.1.2-2. táblázat: Veszélyhelyzeti sugárterhelésre vonatkozó beavatkozási szintek - a lakosság áttelepítésére

20.2 A VIZSGÁLT 30 KM SUGARÚ TERÜLET JELENLEGI KÖRNYEZETI RADIOAKTIVITÁSA

A Paksi Atomerőmű környezetének ellenőrzése a különböző környezeti minták radioaktivitásának mérésével már 1978 óta folyik, kezdve az alapszint (nullszint) felméréstől egészen a folyamatos üzemelési mérésekig. A méréseket a Paksi Atomerőmű, a hatóságok és több más intézmény is végezte.

20.2.1 A VIZSGÁLT 30 KM SUGARÚ KÖRNYEZETBEN 2001-2011. KÖZÖTT MÉRT ADATOK FELDOLGOZÁSA

A Paksi Atomerőmű környezeti radioaktivitásának jellemzésére a következő környezeti elemek mérési eredményeit használtuk fel:

- A környezeti sugárzás dózisteljesítménye,
- Az in-situ gamma-spektrometriai mérések,
- A légköri aktivitáskoncentráció,
- A talaj- és a fűminták aktivitáskoncentrációi,
- A felszíni vizek aktivitáskoncentrációi,
- A felszíni vízgyűjtők iszapmintáinak aktivitáskoncentrációi,
- A halminták aktivitáskoncentrációi,
- A talajvíz minták aktivitáskoncentrációi,
- A tejminták aktivitáskoncentrációi.

A környezet radiológiai jellemzőinek vizsgálata és értékelése a telephely 30 km-es környezetében, 11 éves időszakra, az alábbi témakörökre vonatkozóan történt:

- a radioaktív anyagok terjedését meghatározó jellemzők a telephelyen és annak környezetében,
- a radioaktív anyagok légköri, felszíni vízi és felszín alatti vízben történő terjedésének jellemzői,
- a telephely környezetének radiológiai viszonyai.

Az értékeléshez elsősorban az Üzemi Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (ÜKSER) és a Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (HAKSER) 2001-2011. éves jelentéseit [20.2-10], a Paksi Atomerőmű által készített sugárvédelmi tevékenységeket bemutató éves jelentések [20.2-9] teljes körű feldolgozását, valamint az átadott dokumentumokat vettük alapul, másodsorban pedig olyan speciális vizsgálatok (pl. felhalmozódások mérései) jelentéseit, amelyeket az adott időszakban a Paksi Atomerőmű környezetében végeztek:

- földfelszíni levegő aktivitáskoncentrációja (aeroszolok, radiojódok, trícium és radiokarbon),
- talaj- és fűminták aktivitáskoncentrációja (gamma-sugárzó izotópok, radiostroncium),
- a dunai víz- és iszapminták aktivitáskoncentrációja (gamma-sugárzó izotópok, radiostroncium, trícium),
- halastavak hal-, víz- és iszapmintáinak aktivitáskoncentrációja (gamma-sugárzó izotópok, radiostroncium, trícium),
- talajvíz aktivitáskoncentrációja (gamma-sugárzó izotópok, trícium),
- tejminták aktivitáskoncentrációja (gamma-sugárzó izotópok),
- gamma-sugárzás dózisteljesítménye a környezetben.

Alapadatok

A legfontosabb két adatbázis, az ÜKSER és a HAKSER. A főbb mérések, amikor is a minták radioaktivitását és sugárzási szinteket határoztak meg a Paksi Atomerőműhöz kötődően:

ÜKSER alapján

2001-2011. évi légköri és folyékony kibocsátás, nukleáris környezetellenőrzés adatai (zárójelben a mérés specifikumait, irányultságait tüntettük fel):

Folyékony kibocsátások vizsgálata

Kibocsátás ellenőrzés	Környezetellenőrzés	
Ellenőrző tartályok	Vízminták	Izalminták
összes-béta (= öb) izotóp-összetétel (gamma-spektrometriai mérés = gs) trícium (folyadék scintillációs mérés = fsz) radiostroncium (fsz) radiokarbon (fsz) alfa-sugárzók (alfa-spektrometriai mérés= as) összes-alfa (= öa) röntgensugárzók (SiLi detektor)	csatornavizek (gs, fsz, öa) talajvizek (öb, gs, fsz) halastavak (öb, gs, fsz) övások (öb, gs, fsz) mésziszap medencék (öb, gs, fsz) Duna víz (gs, fsz)	Duna iszap (öb, gs) halastavak (öb, gs, fsz) övások, Faddi árok (gs) mésziszap (gs) fekáliás iszap (gs)

Légnemű kibocsátások vizsgálata

Kibocsátás ellenőrzés	Mintagyűjtő állomásokon mért adatok:
nemesgázok (gs) aeroszol, radiojód (gs) radiostroncium (fsz) trícium (HTO/HT) (fsz) radiokarbon (CO ₂ /C _n H _m) (fsz)	aeroszol, radiojód (gs) elemi jód (gs) szerves jód (jód-távmérő, aktív szén), (gs) aeroszol (nagyterfogató), (öb, gs) elemi jód (nagyterfogató), (gs) szerves jód (akt. sz., nagyterfogató), (gs) radiostroncium (fsz) trícium (HTO/HT)(fsz) radiokarbon (C _n H _m , CO ₂) (öb) fall-out (gs,)

Környezetellenőrzés időszakos vizsgálata:

talajminta (gs, as, öb)
 fűminta (gs, öb)
 tejminta (gs)
 halminta (gs)
 dózis (TLD)
 helyszíni mérések (in-situ gamma-spektrometria, dózisteljesítmény)

HAKSER alapján

2001-2011 közötti hatósági mérések (zárójelben a mérés specifikumait, irányultságait tüntettük fel):

- légköri aeroszol (öb, gs),
- légköri kihullás (öb, gs),
- felszíni vizek (folyók, természetes és mesterséges tavak, csatornák), (öb, gs, H-3, Sr-90),
- ivóvíz, (öb, gs, H-3, Sr-90),
- üledék (folyók, természetes és mesterséges tavak), (öb, gs, H-3, Sr-90),
- talajok, (öb, gs, H-3, Sr-90),
- növény, (öb, gs, H-3, Sr-90),
- húsfélék, (öb, gs, Sr-90),
- nyers tej, (öb, gs, Sr-90),
- gamma dózisteljesítmény.

Az alapadatok összegyűjtése során elsőként a HAKSER adatbázisa és jelentései 2001-2011 [20.2-10] adataiból indultunk ki.

Mérés	Mérésszám, kimutatási határ felett	Mérésszám, kimutatási határ alatt	Mérésszám, Összes
Légköri aeroszol			
Összes-béta	2010	892	2902
⁷ Be	453	3	456
¹³⁴ Cs	0	348	348
¹³⁷ Cs	28	426	454
¹³¹ I	6	422	428
²¹⁰ Pb	430	4	434
Légköri kihullás (fallout, dryout)			
Összes-béta	958	0	958
⁷ Be	648	23	671
¹³⁷ Cs	16	707	723
⁴⁰ K	45	1	46
Felszíni vizek (folyók, természetes és mesterséges tavak, csatornák)			
Összes-béta	1731	1	1732
²²⁸ Ac	10	0	10
²¹⁴ Bj	56	0	56
⁶⁰ Co	0	3	3
¹³⁴ Cs	2	3	5
¹³⁷ Cs	104	316	420
⁴⁰ K	470	9	479
²¹² Pb	9	2	11
²¹⁴ Pb	82	35	117
²²⁶ Ra	10	0	10
²³⁴ Th	9	0	9
²⁰⁸ Tl	14	74	88
²³⁵ U	382	29	411
³ H	615	340	955
⁹⁰ Sr	271	140	411
Ivóvíz (kutak, mélységi)			
Összes-béta	536	2	538
¹³⁴ Cs	0	178	178
¹³⁷ Cs	21	275	296
⁴⁰ K	24	0	24
³ H	133	90	223
⁹⁰ Sr	73	107	180

Mérés	Mérésszám, kimutatási határ felett	Mérésszám, kimutatási határ alatt	Mérésszám, Összes
Üledék (folyók, természetes és mesterséges tavak)			
Összes-béta	872	0	872
²²⁸ Ac	239	0	239
⁷ Be	85	0	85
²¹⁴ Bj	240	0	240
⁶⁰ Co	5	5	10
¹³⁴ Cs	30	566	596
¹³⁷ Cs	974	122	1096
⁴⁰ K	1044	2	1046
²¹² Pb	237	0	237
²¹⁴ Pb	319	4	323
²²⁶ Ra	224	0	224
²³⁴ Th	224	0	224
²⁰⁸ Tl	324	0	324
²³⁵ U	344	26	370
⁹⁰ Sr	328	275	603
Talajok (öntözött és nem öntözött szántó, kerti, réti és út menti)			
Összes-béta	469	0	469
¹³⁴ Cs	38	544	582
¹³⁷ Cs	665	62	727
⁴⁰ K	727	3	730
⁹⁰ Sr	268	20	288
Fű			
Összes-béta	200	0	200
¹³⁴ Cs	21	61	82
¹³⁷ Cs	79	131	210
⁴⁰ K	214	0	214
³ H	117	1	118
⁹⁰ Sr	180	14	194
Leveles zöldség (konyhakerti indikátornövény, nyers konyhakerti táplálék, gyümölcs)			
Összes-béta	349	0	349
¹³⁴ Cs	10	136	146
¹³⁷ Cs	120	238	358
⁴⁰ K	362	2	364
³ H	5	0	5
⁹⁰ Sr	151	38	189
Húsfélék (sertés, marha, juh, baromfi, vad)			
Összes-béta	34	0	34
¹³⁴ Cs	12	21	33
¹³⁷ Cs	33	15	48
⁴⁰ K	52	0	52
⁹⁰ Sr	1	0	1
Nyers tej			
Összes-béta	736	0	736
¹³⁴ Cs	47	471	518
¹³⁷ Cs	147	654	801
¹³¹ I	0	139	139
⁴⁰ K	761	4	765
⁹⁰ Sr	259	170	429
Dózisteljesítmény			
-	408	0	408

20.2.1-1. táblázat: Alapadatok - HAKSER adatbázis 2001-2011 közötti méréseinek [20.2-10] értékelése

A rendelkezésre álló 2001-2011 közötti környezeti mérési eredményeket területi elhelyezkedésük szerint csoportokra bontottuk. Az előzetes vizsgálatok alapján az erőmű környezetét 3 távolságra és 4 irányra osztottuk fel az alábbiak szerint:

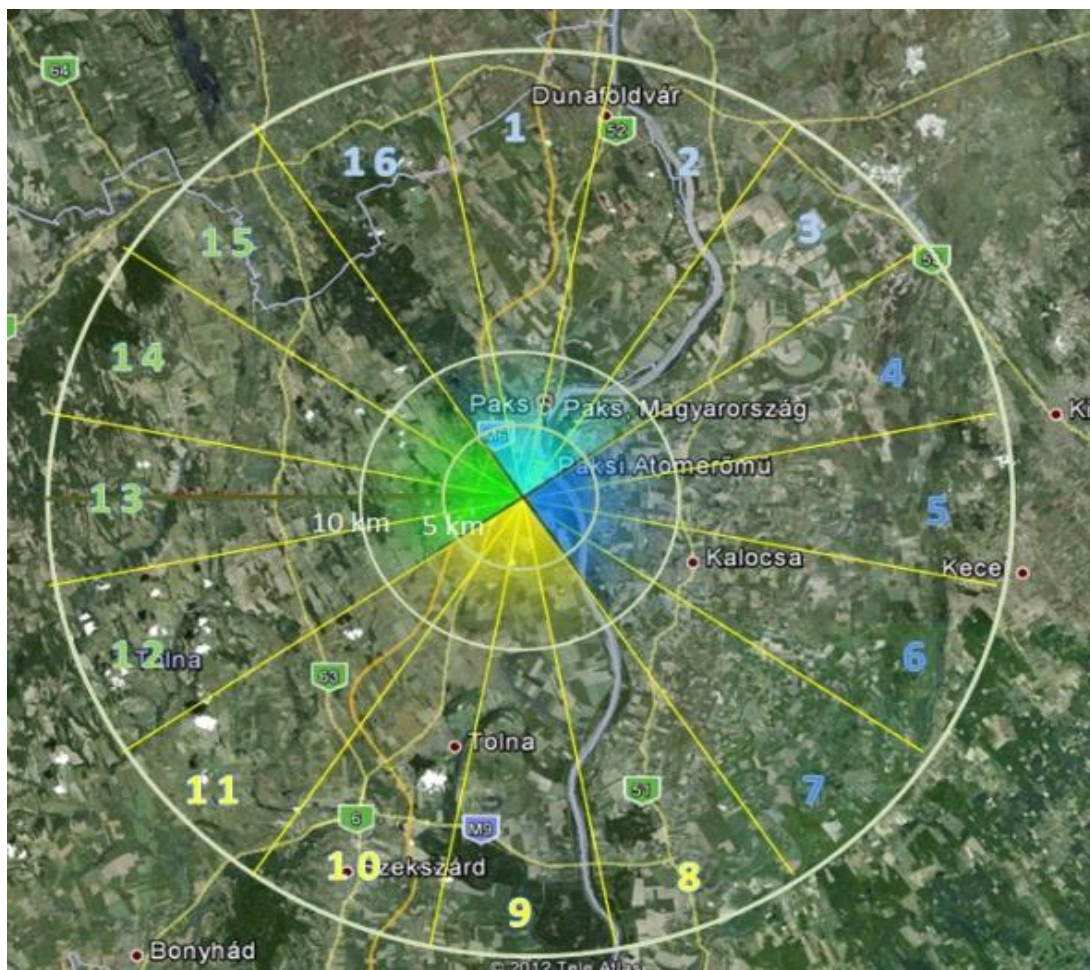
Távolság:

- kisebb, mint 5 km,
- 5-10 km között,
- nagyobb, mint 10 km (legfeljebb 30 km).

Irány:

- Északi rész: 16,1-3 szektorok,
- Keleti rész: 4-7 szektorok,
- Déli rész: 8-11 szektorok,
- Nyugati rész: 12-15 szektorok.

A HAKSER-ben az északnyugati félkör az északi (világoskék) és nyugati (zöld) részeknek, a délkeleti félkör a déli (sárga) és keleti (sötétkék) részeknek felelt meg.



20.2.1-1. ábra: A szektorcsoportok felosztása az erőmű 30 km-es környezetében

A HAKSER-ben 16 szektorból több szektorban és távolságban vannak mérési adatok, ezeket a szektor/távolság adatokat úgy vontuk össze, hogy lehetőleg statisztikailag értékelhető mennyiségű darabszámot (n legalább 10-20 legyen) kapjunk egy-egy területre, egy-egy méréstípusból.

Az így kialakított helyek esetében megadjuk az egyes jellemzők statisztikai adatait (átlag, darabszám, szórás, minimum, maximum).

A Dunai víz és iszapminták esetében az alábbi felosztást alkalmaztuk:

Paks előtti Duna szakasz:

- *nagyobb, mint 10 folyamkilométer (legfeljebb 35 km),*
- *kisebb, mint 10 folyamkilométer.*

Paks utáni Duna szakasz:

- *kisebb, mint 10 folyamkilométer,*
- *10-20 folyamkilométer között,*
- *20-50 folyamkilométer között,*
- *nagyobb, mint 50 folyamkilométer (legfeljebb 100 km).*

Az így felosztott cellákra adtuk meg az adatok teljes időtartamra (2001-2011) vonatkozó statisztikai paramétereit.

Ezen felül a környezeti radioaktivitás időbeliségének jellemzéséhez megadtuk a teljes területre vonatkozó statisztikai paramétereket is éves bontásban, valamint a teljes időszakra vonatkozólag is.

A további térbeli és/vagy időbeli bontást csak szükség esetén, a további vizsgálatok függvényében tartjuk célszerűnek elvégezni, mert a fenti bontásban is gyakran előfordul, hogy üres vagy kevés adatot tartalmazó csoportok jönnek létre.

Elsődlegesen megpróbáltuk tartani magunkat az előzetes tervekhez, ami szerint csak a 20%-nál kisebb hibájú adatokat vesszük figyelembe, de több minta, ill. radionuklid esetében ez üres vagy statisztikailag kevésbé értékelhető csoportokat adott, ezért megadtuk a teljes adatbázisra (akármekkora hibával rendelkező, ill. kimutatási határ alatti (KHA) adatokra) vonatkozó statisztikákat is külön táblázatokban. Mindkét esetben tartottuk magunkat ahhoz, hogy átlagot és szórást csak legalább 10 érték esetén adtunk meg mindegyik csoportban, de egy érték esetén a maximumot, két értékből pedig a minimumot és a maximumot adtuk meg, azaz, ha 1 darab mért érték volt az adott sorban - adott mintafajta, adott mérés az adott helyen, v. időszakban -, akkor azt a maximum oszlopba írtuk, ha 2-9, akkor ezek minimumát a minimum, maximumát a maximum oszlopba, illetve az átlag és szórás oszlopokat nem töltöttük ki - ez utóbbiakat csak legalább 10 mérés esetén adtuk meg. A teljes adatbázis statisztikáinak esetében az átlagba és szórásba a KHA adatokat is beszámítottuk, a HAKSER-ban megadott értékkel (KHA v. a KHA alatti mért érték).

A HAKSER mérési adatokból elhagytuk a szakmai szempontok alapján is kiugrónak, értelmezhetetlennek tekinthető értékeket (összesen 64 darab). A vizsgálatok során 89 mérésnél kiderült, hogy helytelenül nem voltak KHA értékek definiálva. A mérési adatokból a teljes időszakra és területre vonatkozóan, KHA-val együtt az 1-2 mérést tartalmazó vizsgálati irányokat is elhagytuk. Ahol lehetett, ott megadtuk az erőmű létesítését megelőzően felvett alapszint értékeket is. Az adatokat a HAKSER-jelentéseknél megszokott formához hasonlóan adtuk meg (átlag, min-max; darab (KHA), a darabszámok a rendelkezésünkre álló (heti, havi stb.) adatok (és nem feltétlenül a mérések) számát jelentik.

Az ÜKSER adatokat is feldolgoztuk hasonlóan.

A Paksi jelentésekben található [20.2-9] és egyéb helyről (ÜKSER, KKÁT, Isotoptech Zrt.) származó adatok összegyűjtését is elvégeztük.

Az üzemi jelentésekben található Paksi Atomerőművi kibocsátások kiegészítéseként gyűjtöttük a KKÁT légnemű és folyékony kibocsátásait is, nuklidonként éves bontásban.

20.2.1.1 A radioaktív anyagok terjedését meghatározó jellemzők a telephelyen és annak környezetében

A radioaktív anyagok mozgása és megkötődése a környezeti elemekben összetett folyamatok eredménye, így pl. a radioizotópok növényi felvételét számos tényező befolyásolja, a lényegesebbek az alábbiak:

- a talajszerkezet, a talaj kötöttsége, mechanikai összetétele,
- a talaj vízellátottsága,
- a talaj kémiai összetétele, szervesanyag-tartalma, tápanyag-ellátottsága,
- az alkalmazott agrotechnikai és agrokémiai eljárások,
- a vegetáció fajtája,
- a növények gyökérmélysége, a földalatti és föld feletti növényi részek aránya,
- a vegetációs időszak hossza, az időjárási, meteorológiai viszonyok.

A környezeti elemek egymásra hatását, azaz ezek kölcsönhatásait a NAÜ által koordinált BIOMASS (BIOSphere Modelling and ASSESSment) ajánlásával az úgynevezett kölcsönhatási mátrixokkal lehet legegyszerűbben leírni. A kölcsönhatások révén lehetséges a környezetbe került radioaktív anyagok mozgásának a leírása is.

A természetes élő- és termőhelyeket, mint a legáltalánosabb rendszerfelosztást, az erőmű térségében a következő elemekből lehet összeállítani:

- erdőség,
- termőterület,
- füves terület,
- folyó és
- tó.

A 20.2.1-2. táblázat mutatja természetes élő- és termőhelyeket és ezek főbb egymásra hatásait, amelyeken keresztül a radioaktív szennyeződések tovább terjednek, átkerülhetnek egyik helyről a másikra. A kölcsönhatási mátrix átlójában található a főbb környezeti elemek, a mellettük lévő cellák pedig a kölcsönhatás közöttük. A kölcsönhatások az óramutató járásával megegyezően értendők a diagonális elemek között.

	1	2	3	4
1	Erdőség	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu használat (trágyázás) Állatok trágyájának használata (trágyázás) Szerves bomlástermékek Fatermékek használata	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu kiülepedés (égetés) Szerves bomlástermékek Állati táplálékok	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu kiülepedés (égetés)
2	Szél (aeroszol, párolgás) Hamu kiülepedés (égetés)	Termőterület	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu kiülepedés (égetés) Szerves bomlástermékek Állati táplálékok	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu kiülepedés (égetés) Szerves bomlástermékek
3	Szél (aeroszol, párolgás) Hamu kiülepedés (égetés) Házi állatok, állatok trágyája	Szél (aeroszol, párolgás) Hamu kiülepedés (égetés) Állatok trágyájának használata	Füves terület	Szél (aeroszol, párolgás) Talajvíz, felszíni víz (lefolyás) Talaj (talajkeveredés) Hamu kiülepedés (égetés) Szerves bomlástermékek
4	Szél (aeroszol, párolgás, permet) Víz (állatok itatása) Áradás	Szél (aeroszol, párolgás, permet) Talajvíz (befolyás) Szediment (kotrásból) Víz (állatok itatása) Öntözés Áradás	Szél (aeroszol, párolgás, permet) Talajvíz (befolyás) Szediment (kotrásból) Víz (állatok itatása) Öntözés Áradás	Folyó, tó

20.2.1-2. táblázat: Természetes élő- és termőhelyek közötti főbb kölcsönhatások

Egy másik jellemző kölcsönhatási mátrix, amikor az emberi közösséget is belevesszük a kölcsönhatásokba, a 20.2.1-3. táblázatban főbb elemek: víz, termőföld, táplálék és takarmány, házi állatok, mezőgazdasági termék, emberi közösség

	1	2	3	4	5	6
1	Víznyerés szennyezett vízbázisból	Öntözés, Szediment transzfer	Öntözés Levél szennyeződés	Víz, szediment lenyelés	X	Víz, szediment lenyelés
2	X	Termőföld	Gyökér felvétel Talajjal szennyezés (reszuszpenzió)	Fogyasztás (szennyezett takarmánnyal)	Talajtranszfer növényi termékekre	Talaj lenyelés Külső besugárzás
3	X	Növényi maradékok	Táplálék, takarmány	Takarmány lenyelése	Begyűjtés, aratás	X
4	X	Trágyázás	X	Házi állatok	Levágás, fejés, tojásgyűjtés	X
5	X	Zöldtrágyázás, komposztálás	X	Tárolt takarmány fogyasztása	Mezőgazdasági termék tárolása, feldolgozása, elosztása	Mezőgazdasági termék lenyelése
6	X	X	X	X	X	Emberi közösség

Megjegyzés:

X jelöli, amikor nincs lényeges kölcsönhatás az elemek között.

20.2.1-3. táblázat: Termőterületeknél előforduló főbb kölcsönhatások

Az erőmű környezetében található erdős terület kölcsönhatási mátrixát (¹³⁷Cs mozgására) a 20.2.1-4. táblázat mutatja.

A környezeti elemek kölcsönhatásait mérésekkel nagyon ritkán lehet meghatározni, ezért kompartment modell alkalmazásával és a kompartmentek közötti transzferfaktorok használatával tudjuk azokat megjeleníteni, amelyeket az egyes környezeti elemek radioaktivitásának mérésével vagy leginkább kísérleti úton tudunk meghatározni. A kompartment-rendszer lényege, hogy a környezetben (levegőben, talajban, emberi testben stb.) található olyan morfológiailag vagy akár funkcionálisan jól elkülönülő részek (úgynevezett kompartmentek), melyekben a vizsgált radioaktív anyag eloszlása homogénnek tekinthető.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Léggör	Nedves kihullás	Nedves kihullás	X	X	Nedves kihullás	X	X	Nedves kihullás	Nedves kihullás	Belélegzés
2	X	Falevelek	Erózió	Transzlokáció	Transzlokáció	Levélhullás, erózió	X	X	Erózió, terjedés	Erózió, terjedés	Lenyelés
3	X	X	Fa külső részei	Transzlokáció		Erózió, terjedés	X	X	Erózió, terjedés	Erózió, terjedés	Lenyelés
4	X	Transzlokáció	Transzlokáció	Erdő	Transzlokáció	X	Beporzás	Beporzás	Mikorrhiza transzfer	X	Lenyelés
5	X	X	X	Transzlokáció	Száraz erdő	X	X	X	X	X	X
6	Reszuspenzió	X	Eső felverődés	Felvétel a gyökéren keresztül	X	Hulladék	Bomlás	Szivárgás a talaj, biotákba	Tápanyag felvétel	Eső felverődés, felvétel a gyökéren keresztül	Lenyelés
7	X	X	X	Felvétel a gyökéren keresztül	X	X	Szerves talaj	Átszivárgás advekció, talaj biota	Tápanyag felvétel	Felvétel a gyökéren keresztül	X
8	X	X	X	Felvétel a gyökéren keresztül	X	X	Kapilláris emelkedés, talaj bióta, diffúzió	Ásványanyag a talajban	Tápanyag felvétel	Felvétel a gyökéren keresztül	X
9	X	X	X	Felvétel a gyökéren keresztül (mikorrhizák)	X	Beporzás	Beporzás	Beporzás	Gomba	Felvétel a gyökéren keresztül (mikorrhizák)	Lenyelés
10	Kipárolgás	X	X	X	X	Levélhullás, erózió, felfogás	Beporzás	Beporzás	Mikorrhizák transzfer	Aljnövényzet	Lenyelés
11	X	X	X	X	X	Beporzás	X	X	X	X	Vadak

20.2.1-4. táblázat: A ¹³⁷Cs kölcsönhatásmátrix erdei ökoszisztémára

20.2.1.2 A Paksi Atomerőmű körüli légköri, felszíni vízi és felszín alatti vízi környezet radiológiai viszonyai

A Paksi Atomerőmű környékén a környezeti elemek radioaktivitásának elemzéséhez elsősorban a HAKSER [20.2-10] és az ÜKSER adatbázist, illetve az Isotoptech Zrt. adatait használtuk fel, s azon radionuklidokat, amelyek mesterséges eredetűek, hogy megállapítható-e esetleges atomerőművi eredetük. Az adatok értékelése után csak azon adatokat vettük alapul, amelyek kimutatási határ feletti és hibájuk nem nagyobb 20 %-nál. Az adatok a 2001-2011 közötti mérésekből származnak, s először a HAKSER adatokat elemeztük az egyes környezeti elemekben. Az elemzéseknél átlagot és szórást csak 10-nél több mérési adatból képeztünk és emellett megadtuk a minimum–maximum értékeket, valamint az értékelhető mérések számát és az előző részben említett szektor előfordulásokat is feltüntettük.

Legalább 10 minta esetén a minták átlagát, 10 minta alatt a minimum és maximum értékek számtani közepét tekintjük vonatkoztatási szintnek. A több éves adatgyűjtési időszak hosszához viszonyítva rövid felezési idejű radionuklidokra nem állapítottunk meg vonatkoztatási szintet. Ezek a következők: ^{134}Cs ($T_{1/2}=2,06$ év), ^{131}I ($T_{1/2}=8$ nap), ^{58}Co ($T_{1/2}=71$ nap), ^{60}Co ($T_{1/2}=5$ év) és ^{54}Mn ($T_{1/2}=312$ nap).

A globális szennyezők, mint a ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr nagy valószínűséggel a nukleáris kísérletekből vagy a csemobili katasztrófából származnak, s a tríciumot (^3H) és a radiokarbot (^{14}C) is nehéz külön választani, hogy kozmogén eredetűek-e vagy globális szennyezők-e, vagy a Paksi Atomerőmű működéséből származnak-e.

20.2.1.2.1 A környezeti elemek mérési eredményei – HAKSER adatok

Az **aeroszol** aktivitáskoncentráció mérési adataiból csak a ^{134}Cs , ^{137}Cs és a ^{131}I *térbeli eloszlására* (>10 km-nél) kaptunk értékelhető adatokat. A ^{131}I 11-szer fordul elő 10 km-nél nagyobb távolságnál, amely esetleg lehet kórházi alkalmazásból származó is, illetve a 2011-es adatok lehetnek az Izotóp Intézet Kft. kibocsátásából (vagy Fukusimából) származóak.

Nuklid	Év	Átlag [Bq/m ³]	Min [Bq/m ³]	Max [Bq/m ³]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/m ³]
^{134}Cs	2001-2011	-	8,4E-06	4,0E-05	-	5	-
^{137}Cs	2001-2011	-	9,0E-06	5,0E-05	-	5	2,95E-05
^{131}I	2001-2011	8,4E-4	1,0E-05	3,1E-3	1,1E-3	11	-

20.2.1-5. táblázat: Aeroszol aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **fallout**¹ aktivitás értékek *időbeli eloszlás*nál is csak 1-1 értékelhető adat van, összesen 3 db, amelyek nem különböznek az országos átlagtól:

Nuklid	Év	Átlag [Bq/(m ² ·hó)]	Min [Bq/(m ² ·hó)]	Max [Bq/(m ² ·hó)]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/(m ² ·hó)]
^{137}Cs	2003	-	-	0,39	-	1	-
^{137}Cs	2005	-	-	0,26	-	1	-
^{137}Cs	2008	-	-	0,44	-	1	-
^{137}Cs	2001-2011	-	0,26	0,44	-	3	0,35

20.2.1-6. táblázat: Fallout aktivitás időbeli eloszlása

A **talaj**minták állandó *időbeli* radioaktivitása is azt mutatja, hogy globális eredetű radioaktív anyagokat találunk inkább az erőmű környezetében, valamint az is látható, hogy az átlagértékek az országos átlag alatt maradnak:

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Országos átlag [Bq/kg]	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
^{134}Cs	2001-2011	-	0,26	2,6	-	5	-	-
^{137}Cs	2001-2011	9,7	0,5	52	6,0	516	17	9,7
^{90}Sr	2001-2011	1,8	0,18	56	4,6	183	2,3	1,8

20.2.1-7. táblázat: Talaj aktivitáskoncentráció összesített adatai

¹ A levegőben lévő radioaktív izotópok kihullása végbe mehet száraz lerakódással és nedvesség hatására is a felhőképződés során, illetve a lehulló csapadék (eső, hó) kimosó hatása következtében. Ezeket a folyamatokat nevezzük együttesen fallout-nak (kihullásnak).

A *térbeli eloszlást* nézve a **talaj** aktivitáskoncentrációknál is többnyire a globális eredetű radioaktív anyagok fordulnak elő a Paksi Atomerőmű környezetében (Bq/kg-ban):

Nuklid	Szektor	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab
		< 5 km				
¹³⁴ Cs	12-15	-	-	0,26	-	1
	16-03	-	1,4	2,6	-	2
¹³⁷ Cs	04-07	8,6	2,1	24	4,8	30
	12-15	9,7	0,69	24	5,8	69
	16-03	13	2,9	52	6,7	93
⁹⁰ Sr	04-07	3,1	0,64	15	3,9	19
	12-15	1,1	0,18	17	2,8	35
	16-03	0,39	0,18	0,89	0,24	10
5-10 km						
¹³⁷ Cs	04-07	8,9	0,64	23	4,9	19
	16-03	6,6	0,55	21	3,9	40
⁹⁰ Sr	04-07	-	1,3	4,5	-	8
	16-03	1,7	0,73	5,1	1,2	14
> 10 km						
¹³⁴ Cs	04-07	-	1,3	1,6	-	2
¹³⁷ Cs	04-07	11	1,1	50	7,3	130
	08-11	7,1	2,1	19	3,0	75
	12-15	-	-	6,5	-	1
	16-03	7,7	3,5	21	2,8	59
⁹⁰ Sr	04-07	2,8	0,21	56	8,2	47
	08-11	1,8	0,19	8,8	2,1	21
	16-03	0,63	0,21	1,5	0,33	29

20.2.1-8. táblázat: Talaj aktivitáskoncentráció térbeli eloszlása

A **fű** és **takarmány** aktivitáskoncentráció térbeli eloszlásánál a talaj radioaktivitásával hasonló jellemzőket találunk, kivéve, hogy itt a trícium is előfordul:

Nuklid	Szektor	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab
		< 5 km				
¹³⁷ Cs	04-07	-	0,080	0,30	-	8
	16-03	0,49	0,027	1,4	0,31	20
³ H	04-07	2,5	0,34	11	1,9	76
⁹⁰ Sr	04-07	0,57	0,12	3,4	0,59	63
	16-03	2,5	0,34	6,9	1,5	47
5-10 km						
¹³⁷ Cs	04-07	0,40	0,090	0,94	0,23	23
	16-03	0,37	0,095	0,71	0,20	15
³ H	04-07	2,3	0,070	6,5	2,0	11
	16-03	2,1	0,94	6,0	1,4	12
⁹⁰ Sr	04-07	3,0	0,16	89	8,7	148
	16-03	0,96	0,12	5,9	1,2	55
> 10 km						
¹³⁷ Cs	04-07	1,6	0,11	27	5,7	22
	16-03	0,54	0,058	5,6	1,3	21
³ H	04-07	2,0	0,66	10	1,5	52
	08-11	-	2,9	6,2	-	2
	16-03	-	1,3	5,8	-	7
⁹⁰ Sr	04-07	1,1	0,11	5,0	1,1	144
	08-11	-	0,15	0,33	-	3
	16-03	0,63	0,085	2,3	0,60	59

20.2.1-9. táblázat: Fű és takarmány aktivitáskoncentráció térbeli eloszlása

A **fű és takarmány** évenkénti aktivitáskoncentrációk időbeli eloszlásánál a ^{90}Sr egyenletes felvételét figyelhetjük meg a teljes vizsgálati időszakban:

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
^{137}Cs	2001-2011	0,66	0,027	27	2,6	109	0,66
^3H	2001-2011	2,3	0,070	11	1,8	160	2,3
^{90}Sr	2001-2011	1,7	0,085	89	4,8	519	1,7

20.2.1-10. táblázat: Fű és takarmány aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **Paks előtti Duna szakasz** vízminta aktivitáskoncentrációk folyamatkilométer szerinti eloszlása is azt mutatja, hogy a Paksi Atomerőmű folyékony kibocsátási pontja előtt is találunk a folyóban radioaktív anyagokat (Bq/dm³-ben):

Nuklid	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab
< 10 km					
^{137}Cs	0,0012	0,0003	0,0029	0,00069	18
^3H	2,7	1,2	4,4	0,9	33
^{90}Sr	0,0051	0,0019	0,03	0,0071	15
> 10 km					
^{137}Cs	-	0,0017	0,0045	-	5
^3H	2	0,09	7,2	1,1	105
^{90}Sr	0,0031	0,00033	0,0069	0,0015	14

20.2.1-11. táblázat: Paks előtti Duna szakasz vízminta aktivitáskoncentráció távolsági eloszlása

A három jellemző globális eredetű radioaktív anyag (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H) időben is folyamatosan kimutatható.

Nuklid	Év	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/dm ³]
^{137}Cs	2001-2011	0,0015	0,00030	0,0045	0,0010	27	0,0015
^3H	2001-2011	2,1	0,99	7,2	0,93	157	2,1
^{90}Sr	2001-2011	0,0041	0,00033	0,030	0,0052	29	0,0041

20.2.1-12. táblázat: Paks előtti Duna szakasz vízminta aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **Paksi Atomerőmű utáni Duna szakasz** vízmintáiban közel azonos aktivitáskoncentrációkat találunk, mint a kibocsátási pont előtt, néhol a kibocsátási pont előtti mért érték magasabb, mint a Paks utáni mért érték:

Nuklid	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab
< 10 km					
^{137}Cs	0,0013	0,00047	0,0024	0,00059	12
^3H	2,8	1,2	8,3	1,2	61
^{90}Sr	0,0020	0,00045	0,0031	0,00074	11
10 - 20 km					
^{137}Cs	-	-	-	-	-
^3H	2,5	0,96	12	1,5	98
^{90}Sr	0,0035	0,0022	0,0066	0,0013	18
20 - 50 km					
^{137}Cs	-	0,0016	0,0093	-	4
^3H	2,9	1,7	4,8	0,78	62
^{90}Sr	-	0,0023	0,0040	-	6
> 50 km					
^{137}Cs	0,0020	0,00020	0,032	0,0046	48
^3H	2,6	1,5	4,9	0,61	106
^{90}Sr	0,0020	0,0010	0,0045	0,00071	52

20.2.1-13. táblázat: Paks utáni Duna szakasz vízminta aktivitáskoncentráció távolsági eloszlása

Nuklid	Év	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/dm ³]
¹³⁷ Cs	2001-2011	0,0021	0,00020	0,032	0,0041	64	0,0021
³ H	2001-2011	2,6	0,96	12	1,1	327	2,6
⁹⁰ Sr	2001-2011	0,0024	0,00045	0,0066	0,0011	87	0,0024

20.2.1-14. táblázat: Paks utáni Duna szakasz vízminta aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **Paksi Atomerőmű előtti Duna szakaszon** az **üledékben időben egyenletes ¹³⁷Cs** előfordulást láthatunk.

Nuklid	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab
< 10 km					
¹³⁷ Cs	29	2,8	83	15	161
⁹⁰ Sr	-	0,18	4,4	-	7
> 10 km					
¹³⁴ Cs	-	1,7	2,2	-	4
¹³⁷ Cs	25	0,50	87	23	115
⁹⁰ Sr	-	0,17	5,4	-	8

20.2.1-15. táblázat: Paks előtti Duna szakasz üledék aktivitáskoncentráció távolsági eloszlása

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
¹³⁴ Cs	2001-2011	-	1,7	2,2	-	4	-
¹³⁷ Cs	2001-2011	27	0,50	87	19	276	27
⁹⁰ Sr	2001-2011	2,4	0,17	5,4	2,4	15	2,4

20.2.1-16. táblázat: Paks előtti Duna szakasz üledék aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **kibocsátási pont utáni Duna szakasz** üledékében időben is egyenletesen fordulnak elő a ¹³⁷Cs és a ⁹⁰Sr radionuklidok, amelyek nem magasabbak jelentősen az erőmű előtti értékeknél:

Nuklid	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab
< 10 km					
¹³⁴ Cs	-	1,6	2,7	-	7
¹³⁷ Cs	34	3,0	91	19	106
⁹⁰ Sr	-	2,7	3,8	-	3
10 - 20 km					
¹³⁷ Cs	9,0	0,65	55	11	78
⁹⁰ Sr	-	0,20	0,45	-	3
20 - 50 km					
¹³⁴ Cs	2,1	1,7	2,6	0,27	11
¹³⁷ Cs	44	14	67	14	54
Ss-90	-	2,4	4,7	-	5
> 50 km					
¹³⁴ Cs	-	1,9	2,3	-	3
¹³⁷ Cs	30	0,35	81	14	322
⁹⁰ Sr	4,4	1,3	12	2,2	25

20.2.1-17. táblázat: Paks utáni Duna szakasz üledék aktivitáskoncentráció távolsági eloszlása

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
¹³⁴ Cs	2001-2011	2,1	1,6	2,7	0,30	21	2,1
¹³⁷ Cs	2001-2011	29	0,35	91	17	560	29
⁹⁰ Sr	2001-2011	3,8	0,20	12	2,2	36	3,8

20.2.1-18. táblázat: Paks utáni Duna szakasz üledék aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **Paks utáni Duna szakasz vízi állataiban** mérhető aktivitáskoncentrációk csak igen kis számban és távol (>50 km) mutathatók ki, az **időbeli eloszlás** a kis mérhető előfordulások miatt is változó, az országos átlagtól nem tér el jelentősen:

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Országos átlag [Bq/kg]	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	2001-2011	0,31	0,10	0,80	0,15	57	0,42	0,31
⁹⁰ Sr	2001-2011	0,54	0,20	1,0	0,27	11	0,48	0,54

20.2.1-19. táblázat: Paks utáni Duna szakasz víziállat aktivitáskoncentráció összesített adatai

Az **állóvízi vízminta** aktivitáskoncentráció **térbeli eloszlása**, nem tér el a más hazai állóvízi aktivitáskoncentráció értékeitől. Az állóvízi mérhető minták időbeli változása inkább a ⁹⁰Sr-ra figyelhető meg, a ³H érték az országos átlag (³H: 4,3 Bq/dm³, HAKSER és OKSER adatok alapján) alatt marad.

Nuklid	Év	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/dm ³]
¹³⁷ Cs	2001-2011	-	0,0059	0,0059	-	2	0,0059
³ H	2001-2011	-	0,83	2,4	-	7	1,62
⁹⁰ Sr	2001-2011	0,0041	0,0018	0,010	0,0021	16	0,0041

20.2.1-20. táblázat: Az állóvízi vízminta aktivitáskoncentráció összesített adatai

Az **állóvízi üledék** aktivitáskoncentráció **időbeli eloszlása** ¹³⁷Cs-re mérhető leginkább.

Nuklid	Év	Átlag [Bq/kg]	Min [Bq/kg]	Max [Bq/kg]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [Bq/kg]
¹³⁷ Cs	2001-2011	5,4	1,2	25	3,7	115	5,4
⁹⁰ Sr	2001-2011	0,44	0,18	0,75	0,20	10	0,44

20.2.1-21. táblázat: Állóvízi üledék aktivitáskoncentráció összesített adatai

Az **állóvízi víziállat** aktivitáskoncentráció **térbeli eloszlására** csak 1-1 értékelhető adat van, ezekben átlagosan 0,22 Bq/kg volt a ¹³⁷Cs aktivitáskoncentrációja. Ez az országos átlagot (0,42 Bq/kg) nem haladja meg.

A **tehéntejben** mért aktivitáskoncentrációk **területi megoszlásáról** csak a ¹³⁷Cs és ⁹⁰Sr radionuklidokra volt értékelhető adat. A tehéntej aktivitáskoncentráció **időbeli eloszlása** egyenletes volt, az országos átlag nagyságrendjébe esnek.

Nuklid	Szektor	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab
		< 5 km				
¹³⁷ Cs	16-03	-	0,021	0,073	-	6
⁹⁰ Sr	16-03	-	0,044	0,083	-	7
5-10 km						
¹³⁷ Cs	04-07	-	0,023	0,060	-	4
⁹⁰ Sr	04-07	0,089	0,024	0,93	0,16	33
> 10 km						
¹³⁷ Cs	04-07	-	0,020	0,040	-	5
	08-11	-	-	0,050	-	1
	16-03	0,041	0,027	0,068	0,011	21
⁹⁰ Sr	04-07	-	0,063	0,48	-	2
	16-03	-	0,040	0,23	-	5

20.2.1-22. táblázat: Tehéntej aktivitáskoncentráció térbeli eloszlása

Nuklid	Év	Átlag [Bq/dm ³]	Min [Bq/dm ³]	Max [Bq/dm ³]	Szórás	Darab	Országos átlag [Bq/dm ³]	Vonatkoztatási szint [Bq/dm ³]
¹³⁷ Cs	2001-2011	0,040	0,020	0,073	0,014	37	0,055	0,040
⁹⁰ Sr	2001-2011	0,092	0,024	0,93	0,15	47	0,066	0,092

20.2.1-23. táblázat: Tehéntej aktivitáskoncentráció összesített adatai

A **dózisteljesítmény (TLD-vel mérve) térbeli eloszlása** azt mutatja, hogy a Paksi Atomerőmű környékén az értékek inkább a hazai mért értékek alsó tartományába esnek.

Szektor	Átlag [nSv/h]	Min [nSv/h]	Max [nSv/h]	Szórás	Darab
< 5 km					
12-15	67	54	99	7,4	34
16-03	72	61	160	17	35
5-10 km					
04-07	80	66	110	7,4	68
08-11	78	67	110	8,5	34
12-15	82	72	110	6,5	34
> 10 km					
04-07	78	59	130	12	69
08-11	83	73	120	8,2	34
12-15	76	62	120	9,5	67
16-03	83	60	230	28	33

20.2.1-24. táblázat: A dózisteljesítmények térbeli eloszlása

A dózisteljesítmény időbeli eloszlása:

Év	Átlag [nSv/h]	Min [nSv/h]	Max [nSv/h]	Szórás	Darab	Vonatkoztatási szint [nSv/h]	
2001	79	66	95	7,8	47		
2002	80	63	96	8,7	48		
2003	77	61	95	9	47		
2004	76	54	92	7,9	44		
2005	74	57	96	7,5	48		
2006	74	60	87	7,4	45		
2007	92	65	230*	28	45		
2008	75	58	91	7,9	48		
2009	71	59	110	9,7	36		
2010	-	-	-	-	-		
2011	-	-	-	-	-		
2001-2011	78	54	230	13	408		78

20.2.1-25. táblázat: Dózisteljesítmény időbeli eloszlása

*Abban a negyedévben, amikor ez a mérési adat keletkezett az országos TLD mérőhálózat eredményeiben is megjelentek irreálisan magas kiugró mérési eredmények random jellegűen. Legvalószínűbben mérési hibára vezethető vissza az eltérés.

20.2.1.2.1 A környezeti elemek mérési eredményei – ÜKSER adatok

Az ÜKSER mérések elsősorban az „A” típusú mérőállomások (A1-A9) és a kontroll mérőállomás (B24) környezetére, illetve a telephelyre és annak közvetlen környezetére estek.

A mérőállomások Paksi Atomerőmű körüli elhelyezkedését az alábbi ábra mutatja.



20.2.1-2. ábra: A típusú mérőállomások (A1 – A9) a Paksi Atomerőmű 5 km sugarú környezetében

Az „A” típusú állomások a Paksi Atomerőműhöz közelebb helyezkednek el, így itt nagyobb valószínűséggel mérhetők az atomerőmű kibocsátásából származó radionuklidok. Itt is csak a mesterséges radionuklidokat vettük alapul.

A levegőminták adatai az üzemi mérések alapján azt mutatják, hogy csak néhány, az atomerőműre tipikusan jellemző radionuklidot (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co) lehetett csak kimutatni a vizsgált 2001-2011 közötti időszakban. Látható, hogy az A típusú állomások és a kontroll B típusú állomás ^{137}Cs , ^{14}C és ^3H aktivitáskoncentráció értékei hasonlóak. A fallout-, talaj- és fű minták mérései alapján egyedül a ^{60}Co radionuklid volt jellemző a Paksi Atomerőműre, a ^{137}Cs és a ^{90}Sr nuklidok egyúttal globális eredetű radioaktív izotópok is. A levegő- és fallout minták ^{131}I radionuklidja a fukushimai atomerőműi baleset és az Izotóp Intézet Kft. kibocsátásaiból származhat. A telephely és annak közvetlen környezetében vett iszap- és talajmintákban az atomerőműi (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{106}Ru , ^{144}Ce) radionuklidok megjelenése az összefolyások, így a felhalmozódás eredménye, de egyértelműen atomerőmű kibocsátási eredetre utal.

Ezen felhalmozódási helyeken kívül atomerőműi radionuklidok más környezeti elemekben egyértelműen nem mutathatók ki. A dózisteljesítmény értékek szintén a hazai mért értékek alsó tartományát foglalják el.

Levegőminták mérései (a felső sorban az átlag érték szerepel, míg az alsó sorokban a minimum-maximum érték és az értékelhető mérések száma (kimutatási határ felettiek)):

Nuklid / állomás	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B24	Vonatkoztatási szint
⁵⁴ Mn [μ Bq/m ³]			6,5 1	14,7 6,3 - 23; 2							-
¹³⁷ Cs [μ Bq/m ³]	7,3 5,5 - 9,1; 2	10,1 4,1 - 23; 3	2,8 2,5 - 3; 2	3,5 2 - 5; 2	5,0 1,7 - 10; 4	7,6 1,7 - 14; 3	4,1 2,5 - 9; 9	4,5 1 - 7,7; 8	3,1 1,1 - 5; 9	6,7 2,6 - 10; 4	29,5
⁶⁰ Co [μ Bq/m ³]		9,5 1	20,0 1	43,0 7 - 64; 3		3,4 1	9,3 2,7 - 23; 4	3,7 1,6 - 5,7; 2	3,2 1,1 - 4,3; 3		-
⁵⁸ Co [μ Bq/m ³]							19,2 4,4 - 34; 2				-
¹⁴ C (CO ₂) [mBq/m ³]	43,1 41,3 - 45,3; 128		42,9 42,1- 44,6; 23	43,6 41,7 - 51; 125	42,2 41,6 - 42,7; 12	43,1 41,7 - 45,5; 127	42,2 41,7 - 43,2; 12	43,3 41,6-45,2; 127	42,7 40,8- 45,2; 24	43,0 41,5 - 44,68; 126	42,9
¹⁴ C (CO ₂ + C _n H _m) [mBq/m ³]	43,7 42 - 45,49; 124		46,2 42,3 - 53,7; 129	44,6 42,3 - 55,3; 128	43,7 42,8 - 44,5; 12	43,5 42,8 - 45,1; 23	44,0 42,5 - 47,6; 12	44,0 42 - 46,7; 128	43,4 42,5 - 45; 24	42,9 41,8 - 44,2; 120	44,0
³ H (HT+HTO) [mBq/m ³]*	12,9 4,06 - 37,8; 48"			21,6 3 - 57; 48"		14,3 0,47 - 46; 48"		18,3 4 - 55; 48"		10,7 1 - 43; 48"	24,1
⁹⁰ Sr [μ Bq/m ³]										8,9 1,3 - 27; 74	8,9
¹³¹ I [μ Bq/m ³]	236,3 8,2 - 701; 6	255,7 7,2 - 820; 6	278,5 10,7 - 711; 5	301,3 10,7 - 801; 5	278,7 11,6 - 684; 5	336,5 10,5 - 785; 5	279,5 13,5 - 789; 5	280,4 16 - 711; 5	276,6 13,9 - 688; 5	368,3 14,4 - 1013; 5	-

*2005-2008 közötti adatok

20.2.1-26. táblázat: Levegőminták mérési eredményei

Fallout minták mérései:

Nuklid / állomás	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B24	Vonatkoztatási szint
¹³⁷ Cs [Bq/m ²]	0,3 0,07 - 0,8; 8	0,3 0,09 - 1,24; 9	0,7 0,1 - 1,4; 3		0,3 0,3 - 0,4; 4	0,2 0,1 - 0,4; 5	0,2 0,1 - 0,3; 3		0,2 0,1 - 0,3; 5	0,3 0,2 - 0,4; 2	0,35
⁶⁰ Co [Bq/m ²]	0,2 0,1 - 0,3; 2	0,3 0,1 - 0,45; 5		0,3 1	0,4 0,1 - 1,9; 4		0,3 1		0,25 0,2 - 0,3; 2		-
¹³¹ I [Bq/m ²]	3,5 1,93 - 5,03; 2	2,7 2,31 - 3,02; 2	2,4 1,6 - 3,27; 2	2,9 2,94 - 2,94; 1	2,2 1,33 - 3,06; 2	2,2 1,27 - 3,14; 2	3,7 3,68 - 3,68; 1	3,6 3,6 - 3,6; 1	3,6 3,61 - 3,61; 1	1,7 1,69 - 1,69; 1	-

20.2.1-27. táblázat: Fallout aktivitás az erőmű környezetében

Talajminták mérései:

Nuklid / állomás	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B24	Vonatkoztatási szint
⁹⁰ Sr [Bq/kg]	2,8 1,2 - 9,3; 22	1,6 0,72 - 3,2; 22	1,3 0,24 - 2,4; 21	2,1 0,54 - 6,1; 22	1,6 0,53 - 3,1; 22	2,9 1,2 - 8,1; 22	2,2 0,54 - 4,7; 22	1,6 0,39 - 3,6; 20	1,6 0,57 - 3,3; 22	1,7 0,9 - 2,6; 22	1,8
¹³⁷ Cs [Bq/kg]	1,6 0,36 - 4,4; 6	3,1 0,23 - 8,4; 8	1,3 0,2 - 3,29; 10	0,7 0,4 - 0,9; 4	1,6 0,52 - 2,6; 5	2,1 0,6 - 7,5; 6	2,6 0,77 - 10; 7	1,1 0,8 - 1,4; 3	0,7 0,3 - 1,11; 6	3,3 0,7 - 13; 5	9,7

20.2.1-28. táblázat: Talajminta aktivitáskoncentráció az erőmű környezetében

Fűminták mérései:

Nuklid / állomás	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B24	Vonatkoztatási szint
⁹⁰ Sr [Bq/kg]	0,6 0,2 - 1,7; 16	0,5 0,16 - 0,7; 15	0,6 0,27 - 1,1; 14	0,4 0,17 - 0,92; 20	0,6 0,2 - 1,8; 19	0,7 0,18 - 2,2; 19	0,8 0,2 - 2,7; 20	0,5 0,2 - 0,81; 17	0,5 0,16 - 0,83; 20	0,9 0,45 - 2,6; 17	1,7
¹³⁷ Cs [Bq/kg]	13,7 1,6 - 23; 21	8,4 0,71 - 29; 21	5,0 1,25 - 15; 21	7,0 0,3 - 12,2; 21	7,6 3,9 - 15; 21	12,1 1,38 - 38; 21	6,6 0,38 - 21; 21	5,6 0,2 - 11; 21	4,5 1,42 - 12; 21	8,6 0,88 - 15; 21	0,66

20.2.1-29. táblázat: Fűminta aktivitáskoncentráció az erőmű környezetében

Környezeti dózisegyenérték teljesítmény TLD-vel mérve:

Állomás	Dózisteljesítmény [nSv/h]	Évek
A1	65,5 46 - 82; 130	2001-2011
A2	66,6 57 - 78; 128	2001-2011
A3	73,3 60 - 88; 130	2001-2011
A4	77,0 64 - 100; 128	2001-2011
A5	73,8 49 - 92; 130	2001-2011
A6	68,7 54 - 82; 129	2001-2011
A7	63,8 51 - 75; 130	2001-2011
A8	82,2 65 - 110; 130	2001-2011
A9	66,4 52 - 85; 130	2001-2011
B24	82,1 63 - 104; 128	2001-2011
C10	80,7 34 - 101; 130	2001-2011
C11	71,1 57 - 87; 129	2001-2011
C12	77,2 61 - 95; 130	2001-2011
C13	79,2 59 - 99; 130	2001-2011
C14	67,7 54 - 89; 130	2001-2011
C15	80,0 64 - 100; 130	2001-2011
C16	81,1 62 - 103; 130	2001-2011
C17	85,3 65 - 105; 130	2001-2011
C18	85,9 60 - 116; 130	2001-2011
C19	70,4 47 - 98; 128	2001-2011
C20	84,7 51 - 107; 130	2001-2011
C21	69,8 58 - 118; 130	2001-2011
C22	88,3 73 - 112; 129	2001-2011
C23	80,5 61 - 98; 130	2001-2011
L25	72,7 60 - 134; 129	2001-2011
átlag	75,8	2001-2011
Vonatkoztatási szint HAKSER alapján	78	2001-2011

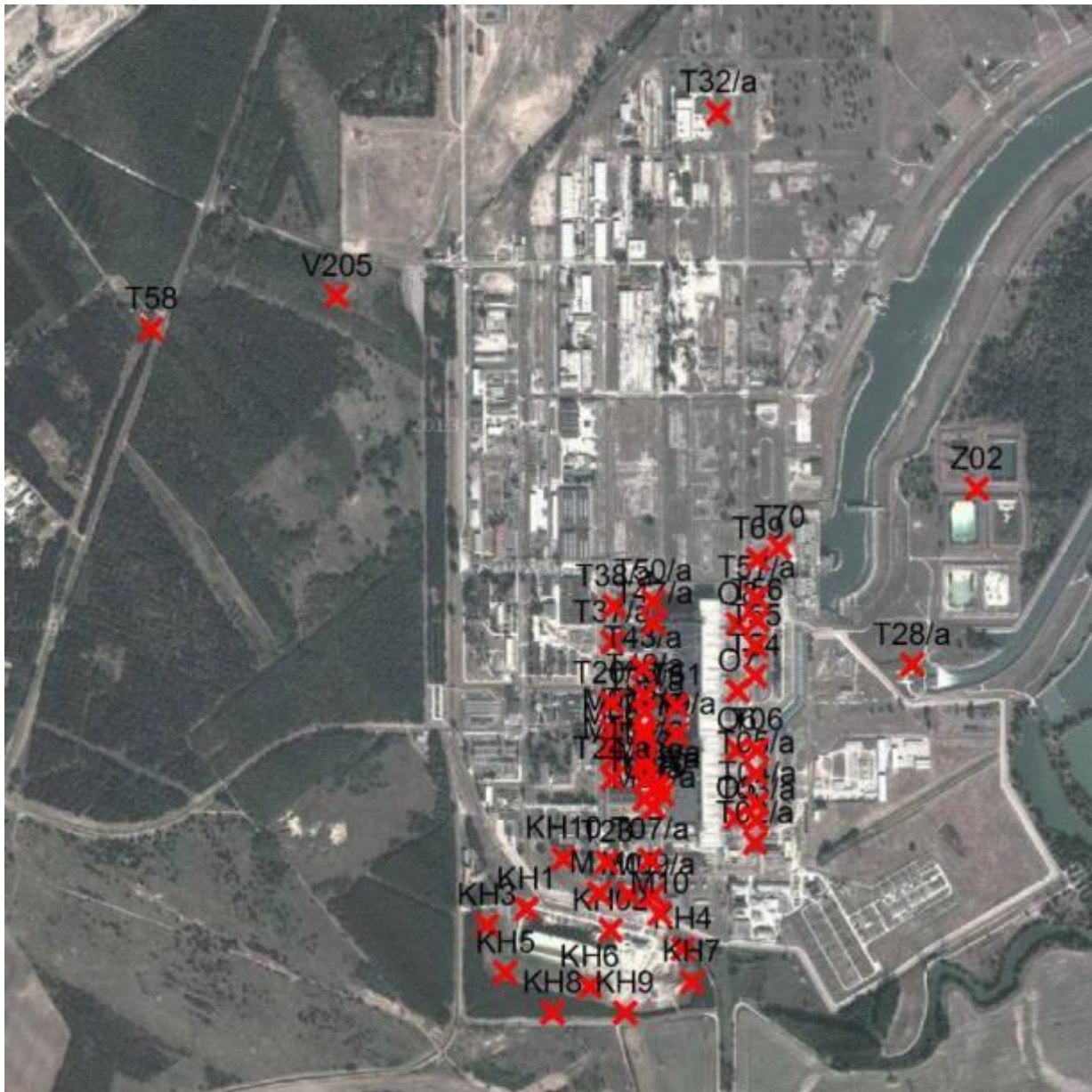
20.2.1-30. táblázat: Környezeti dózisegyenérték teljesítmény TLD-vel mérve

A környezeti dózisteljesítmény vonatkoztatási szintje 78 nSv/h a HAKSER adatai alapján.

20.2.1.2.2 A felszín alatti vízi környezet radiológiai viszonyai - talajvíz mérési eredmények

A Paksi Atomerőmű telephelyén és a környezetében több helyen is létrehozottak mintavevő kutakat, hogy a ${}^3\text{H}$ és egyéb radioaktív izotóp aktivitását mérni lehessen a talajvízben. A telephelyen belül található helyekről vett mintákban nagy ingadozással lehet a tríciumot kimutatni. Az értékek maximuma 2 és 8 020 Bq/ dm^3 között, a minimuma 1 és 136 Bq/ dm^3 között, míg az átlaga 2 és 2 326 Bq/ dm^3 között változik az évszak, a vízállás és az áramlási sebesség függvényében.

Az egyes mintavételi kutak elhelyezkedését mutatja a 20.2.1-3 ábra, amelyről jól leolvasható, hogy a telephelyen kívül mindössze 4 mintavevő kút adatait lehet figyelembe venni, a többi a Paksi Atomerőmű telephelyén belül található.



20.2.1-3. ábra: A trícium mintavevőkutak elhelyezkedése és jelölése

A négy mérési pontban mérhető értékek jellemzői láthatók a 20.2.1-31 táblázatban. Az értékekből megfigyelhető, hogy a talajvízben mért átlag értékek nagyon hasonlóak a természetes talajvizekben is előforduló átlag trícium-koncentrációkhoz. A telephelyen kívül nem lehet kimutatni jelentősen megemelkedett trícium koncentrációt.

Kutak jele	Minimum [Bq/dm ³]	Maximum [Bq/dm ³]	Átlag [Bq/dm ³]	Vonatkoztatási szint [Bq/dm ³]
T32/a	1	13	2,95	2,95
Z02	1	96	4,36	4,36
T58	1,4	6,4	2,92	2,92
V205	1,4	4,5	1,94	1,94

20.2.1-31. táblázat: A tríciumot mérő figyelőkutakban vett minták mérési eredményei

Az Isotoptech Zrt. mérési és modellezési vizsgálatai alapján az alábbi általános jellegű következtetések vonhatók le:

- A trícium áramlása többnyire É - ÉK irányú a Paksi Atomerőmű fő épületének szűk környezetében.
- A terhelés terjedési irányát a magas Duna vízszintek perturbálják. Magas szintek esetén, az áramlási irány É - ÉNy irányba fordul és a terhelés terjedése megtorpan, illetve területe Ny-i irányban is kiszélesedik.
- A korábban meghibásodott, de már kijavított hulladékvíz vezeték környezetében jelentős koncentráció gradiens alakult ki.
- Az erőmű területén inkább lokálisan elszórt góccok alakultak ki. A kutakban mért adatok eredményeiből nem következik, hogy az erőmű fő épülete alatt kiterjedt, jelentős trícium koncentrációval jellemezhető terület van.
- Nem zárható ki, hogy a fő épülettömb alatt lokális góccok helyezkednek el, amelyek azonban az épülettől távolabb és ritkábban elhelyezkedő kutakra nézve nem fejtenek ki jelentős hatást.
- Tríciumon kívül, csak kismértékű ¹⁴C volt kimutatható, más mesterséges eredetű radionuklidot a talajvíz kutakban nem lehet kimutatni.
- A mérési eredmények azt mutatják, hogy a trícium aktivitáskoncentrációk folyamatosan csökkennek.

20.2.2 A VIZSGÁLT 30 KM SUGARÚ KÖRNYEZETBEN A RADIOIZOTÓPOK MEGJELENÉSÉNEK 2012. ÉVI VIZSGÁLATAI

A 30 km sugarú környezet jelenlegi állapotának (radioizotópok koncentrációja) jellemzésére 5 vizsgálati helyen az alábbi méréseket hajtottuk végre:

- in-situ gamma-spektrometriai mérés (50 mérés),
- gamma dózisteljesítmény mérése (50 mérés),
- talaj aktivitáskoncentrációjának mérése (felsőtalaj 0-5 cm-es részből vett 50 db minta mérése gamma-sugárzó izotópokra és ⁹⁰Sr-re),
- fű, sás és fakéreg aktivitáskoncentrációjának mérése (50 db minta mérése gamma-sugárzó izotópokra és ⁹⁰Sr-re).

20.2.2.1 Üzemidő hosszabbítás vizsgálati helyei

A vizsgálatok a Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbítás környezetvédelmi megalapozása során, morfológiai alapon azonosított alábbi potenciális felhalmozódási helyeken kerültek végrehajtásra:

I. sz. vizsgálati hely (8 szektor - 4,9 km): K-Ny-i, ívesen kanyarodó, 200-300 m széles, 1 km hosszú, 1,5 m mély meanderben² található. A meander felszínének mintegy 70 %-a mezőgazdaságilag művelt, közvetlen a csatorna partját fűz-ligeterdő maradványai kísérik.

II. sz. vizsgálati hely /7 szektor - 4,1 km): ÉK-DNy-i irányú, 150-200 m széles, 500-600 m hosszú, 1,5 m mély lefolyástalan meanderben foglal helyet. A mérési pont közvetlen a meander tengelyében helyezkedik el. Mezőgazdaságilag művelt terület.

² A meander egy szabályozott, ármentesített medertípust képvisel

III. sz. vizsgálati hely (7 szektor - 2,7 km): sík, alacsony ártéri térszínen, egykori övzátonyon található. A 91,8 m tszf-i magasságú, réti csernozjom talajjal fedett felszín mezőgazdaságilag művelt terület.

IV. sz. vizsgálati hely (7 szektor - 1,4 km): az erőmű közvetlen környezetében (Kondor tó mellett) helyezkedik el. A mérési hely geo-ökológiai szempontból karakterisztikus helyen található, amely É-D-i lefutású, 50-100 m széles lefolyástalan meander az időszakos talajvízhatás alatt álló meanderek típusát képviseli. Természeteshez közelálló vegetációja réti és magassági társulásokból áll, környezete mezőgazdaságilag művelt.

V. sz. vizsgálati hely (3 szektor - 3,2 km): települési környezetben, Dunaszentbenedek község közvetlen szomszédságában („Dunaszentbenedek legelő”) fekszik. A házsorok mellett 92 m tszf-i magasságú magasártéri felszínen intenzív legelőgazdálkodás folyik. A trágyázott legelőt a természeteshez közelálló gyeptársulások jellemzik. A felszín egyhangúságát a magas ártéri felszínt tagoló, 5 m mély, 2-5 m széles egykori feltöltött meanderek teszik változatosabbá.

A vizsgálati helyszínekhez tartozó mérési pontok kiválasztása az alábbi szempontok szerint történt:

- a kijelölt mérési pont és közvetlen környezete lehetőség szerint ne bolygatott területre essen
- a kijelölt mérési ponton levő növényzet jellemző legyen a vizsgálandó területre
- az 5 mérési pont együttesen lefedje a teljes vizsgálandó területet
- a kijelölt pont lehetséges felhalmozódási helyre essen



20.2.2-1. ábra: A programban meghatározott mintavételi helyek műholdas képe

A kijelölt mérési helyekről a vegetáció két szakaszában (tavaszi-nyári és késő nyári-őszi) vett talaj és növényi minták radionuklid koncentrációjának meghatározására került sor.

A kijelölt 5 vizsgálati helyről 5-5 mintavételi ponton a helyre jellemző növényi takaró (fű, sás, mezőgazdasági növény, fakéreg, stb.), illetve a növényzet alatti talaj mintázását végeztük el.

A minták feldolgozása után gamma-spektrometriai méréssel meghatároztuk a természetes és mesterséges gamma-sugárzó izotópokat, a környezet-ellenőrzés során alkalmazott, monitorozásra alkalmas összes-béta és kálium-koncentrációkat, illetve feltárás után a minták ⁹⁰Sr aktivitáskoncentrációját.

Laboratóriumi mérés:

- talaj aktivitáskoncentráció mérés (50 db minta mérése gamma-sugárzó izotópokra és ⁹⁰Sr-re),
- fű-, sás- és fakéreg aktivitáskoncentráció mérés (50 db minta mérése gamma-sugárzó izotópokra és ⁹⁰Sr-re).

20.2.2.2 Vizsgálati eredmények

A Paksi Atomerőmű környezetében kijelölt mintavételi pontokon vett növény és talajminták laboratóriumi radioaktivitás méréseinek eredményeiből vizsgálati helyszínenként képzett átlag értékét és az átlagértékekből számított egyszeres standard deviációt mutatjuk be vizsgálati irányonként és nuklidonként a 20.2.2-1 táblázatban és a 20.2.2-2 táblázatban. A táblázatokban feltüntettük továbbá az adott vizsgálati helyszínen vett mintákból mért minimum és maximum értékeket. Ahol a szórásértéket nem tüntettük fel, ott legfeljebb csak két mintában volt az adott nuklid kimutatható.

Növény Bq/kg száraz tömeg	Átlag ± szórás (min. – max.)				
	I. hely	II. hely	III. hely	IV. hely	V. hely
Tavaszi					
Összes béta	943 ± 24 % (663 – 1236)	540 ± 22 % (409 – 693)	651 ± 13 % (556 – 785)	757 ± 21 % (641 – 1023)	637 ± 9 % (538 – 684)
⁹⁰ Sr	0,65 ± 50 % (0,41 – 1,19)	0,95 ± 41% (0,75 – 1,44)	0,86 ± 20 % (0,67 – 1,10)	1,47 ± 79 % (0,11 – 3,25)	0,79 ± 56 % (0,10 – 1,18)
¹³⁷ Cs	0,12 (0,12 – 0,12)	0,23 (0,23 – 0,23)	0,33 ± 47 % (0,15 – 0,42)	kh* (0,26 – 0,46)	0,49 ± 31 % (0,31 – 0,63)
⁴⁰ K	1040 ± 20 % (818 – 1298)	654 ± 63 % (498 – 888)	755 ± 21 % (576 – 1015)	903 ± 20 % (698 – 1149)	760 ± 8 % (691 – 858)
⁷ Be	99 ± 41 % (44 -145)	184 ± 87 % (103 -352)	159 ± 59 % (43 -267)	166 ± 14 % (129 – 196)	179 ± 29 % (139 – 262)
Őszi					
Összes béta	488 ± 13 % (436 – 596)	593 ± 74 % (344 – 946)	786 ± 28 % (521 – 1073)	492 ± 52 % (226 – 912)	659 ± 52 % (375 – 1227)
⁹⁰ Sr	0,85± 20 % (0,56 – 0,97)	1,27 ± 50 % (0,46 – 2,00)	0,72 ± 39 % (0,42 – 1,09)	1,60 ± 17 % (1,37 – 1,96)	1,47 ± 45 % (1,06 – 2,65)
¹³⁷ Cs	0,26 ± 6 % (0,25 – 0,28)	0,57 (0,56 – 0,57)	0,97 (0,57 – 1,37)	0,33 (0,28 – 0,38)	0,79 (0,45 – 1,13)
⁴⁰ K	513 ± 22 % (433 – 702)	840 ± 71 % (529 – 1304)	789 ± 41 % (517 – 1260)	558 ± 47 % (281 – 983)	800 ± 56 % (400 – 1439)
⁷ Be	284 ± 16 % (230 – 341)	300 ± 59 % (255 – 382)	230 ± 39 % (99 – 329)	187 ± 32 % (113 – 263)	292 ± 24 % (217 – 386)

20.2.2-1. táblázat: Növények laboratóriumi radioaktivitás mérésének eredményeiből számolt átlag értékek vizsgálati helyszínenként

Talaj Bq/kg száraz tömeg	Átlag ± szórás (min- max.)				
	I. hely	II. hely	III. hely	IV. hely	V. hely
Tavaszi					
Összes béta	631 ± 15 % (498 – 716)	671 ± 7 % (611 – 712)	582 ± 11 % (507 – 644)	474 ± 10 % (410 – 529)	588 ± 5 % (557 – 630)
⁹⁰ Sr	1,10 ± 32 % (0,51 - 1,37)	0,40 ± 77% (0,09 – 0,68)	0,37 ± 40 % (0,12 – 0,50)	0,75 ± 57 % (0,41 – 1,47)	0,97 ± 25 % (0,54 – 1,13)
¹³⁷ Cs	14 ± 41 % (4,7 – 18,6)	11 ± 44 % (7,4 – 17,7)	7 ± 44 % (5,0 – 12,5)	8 ± 59 % (3,5 – 15,5)	18 ± 36 % (7,1 – 22,7)
⁴⁰ K	497 ± 6 % (448 – 515)	540 ± 6 % (499 – 577)	462 ± 6 % (434 – 505)	397 ± 6 % (367 – 429)	472 ± 6 % (437 – 507)
⁷ Be	5,1 (5,1 – 5,1)	6,3 (4,8 – 7,7)	4,7 (4,7 – 4,7)	2,4 (2,4 – 2,4)	kh* (7,5 – 16,7)
²³² Th sor	28 ± 9 % (24 – 32)	31 ± 5 % (29 – 34)	27 ± 13 % (21 – 33)	20 ± 13 % (16 – 23)	26 ± 9 % (22 – 30)
²³⁸ U sor	26 ± 6 % (23 – 28)	32 ± 8 % (29 – 36)	28 ± 12 % (22 – 30)	21 ± 12 % (17 – 24)	28 ± 9 % (24 – 34)
Őszi					
Összes béta	694 ± 10 % (601 – 788)	682 ± 5 % (651 - 724)	653 ± 13 % (544 – 751)	481 ± 13 % (416 – 573)	635 ± 8 % (587 – 701)
⁹⁰ Sr	0,38 ± 55 % (0,11 – 0,67)	0,62 ± 35% (0,40 – 0,87)	0,39 ± 39 % (0,15 – 0,56)	0,48 ± 14 % (0,39 – 0,55)	0,85 ± 47 % (0,50 – 1,54)
¹³⁷ Cs	15 ± 44 % (3,3 – 18,4)	11 ± 38 % (7,3 – 15,1)	8 ± 35 % (5,3 – 13,2)	8 ± 68 % (3,3 – 16,8)	15 ± 61 % (3,6 – 26,9)
⁴⁰ K	550 ± 5 % (518 – 583)	550 ± 3 % (535 – 571)	479 ± 8 % (443 – 534)	396 ± 7 % (362 – 429)	457 ± 8 % (414 – 510)
⁷ Be	2,3 (2,3 – 2,3)	7,3 (7,3 – 7,3)	6,5 (3,9 – 9,1)	kh* (4,3 – 10,8)	10,3 (10,3 – 10,3)
²³² Th sor	32 ± 5 % (29 – 34)	31 ± 6 % (28 – 34)	28 ± 12 % (23 – 34)	20 ± 22 % (15 – 28)	25 ± 10 % (21 – 28)
²³⁸ U sor	35 ± 6 % (32 – 38)	35 ± 5 % (32 – 37)	28 ± 11 % (24 – 33)	23 ± 26 % (16 – 35)	27 ± 10 % (22 – 29)

Megjegyzés:

* 'kh'-val azt jelöltük, amikor mindegyik mérési ponton vett minta értéke kimutatási határ alatti volt

20.2.2-2. táblázat: Talaj minták laboratóriumi radioaktivitás mérésének eredményeiből számolt átlag értékek vizsgálati helyszínenként

Az vonatkoztatási szintet az 5 mérési hely és a két időszak hosszú felezési idejű radionuklidjaira határoztuk meg (20.2.2-3 táblázat). Megjegyeznénk, hogy az itteni vonatkoztatási szintek eltérnek az ÜKSER, HAKSER adatbázisból képzettől, mivel itt a szintek kisebb számú eredményekből képzettek.

Nuklid	Vonatkoztatási szint (Bq/kg)	
	Talaj	Növény
⁹⁰ Sr	0,63	0,93
¹³⁷ Cs	11,5	0,45
⁴⁰ K	480,0	761,2
²³² Th sor	26,8	-
²³⁸ U sor	28,3	-

20.2.2-3. táblázat: A vizsgálati helyek talaj és növény vonatkoztatási szint értékei

²³⁸U sor és ²³²Th sor

Talaj- és iszapminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett talajmintákban a természetes ²³⁸U sor elemeinek (²¹⁴Pb és ²¹⁴B) és a ²³²Th sor elemeinek (²²⁸Ac- és ²⁰⁸Tl) aktivitáskonzentrációja jellemzően 25-35 Bq/kg közötti volt, átlaguk 29 Bq/kg-nak adódott. Ettől számottevően csak a IV. vizsgálati helyszínen, a Kondor-tó környezetében mért értékek tértek el, ahol csak 20-22 Bq/kg volt. Az összes vizsgált mintát tekintve a minimum – maximum érték 16-34 Bq/kg volt.

Az UNSCEAR Reportban [20.2-13] magyarországi talajokra megadott referencia értékek: átlagok és (minimum - maximum tartományok) ²³⁸U sor béli elemekre 29 Bq/kg (12-66 Bq/kg), ²³²Th sor elemeire 28 Bq/kg (12-45 Bq/kg). A mérési eredményeink jól illeszkedtek a megadott értékekhez.

⁴⁰K

Talaj- és iszapminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett talajminták ⁴⁰K radioizotóp aktivitáskonzentrációja a IV. vizsgálati területen volt a legalacsonyabb, átlagosan 397 Bq/kg-nak adódott. A többi vizsgálati területen vett mintában átlagosan 501 Bq/kg volt. Az összes vizsgált mintát tekintve a minimum – maximum érték 362-583 Bq/kg volt.

Az UNSCEAR Reportban [20.2-13] magyarországi talajok ⁴⁰K fajlagos aktivitására megadott referencia értéke: átlaga és (minimum - maximum tartománya) 370 Bq/kg (79 – 570 Bq/kg).

Növényminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett növényminták ⁴⁰K koncentrációja 281 és 1439 Bq/kg közötti volt. A növények ⁴⁰K koncentrációjában egy évszakos változás volt megfigyelhető, ugyanis a tavasszal begyűjtött mintákban (néhány kivételtől eltekintve) magasabb száraz tömegre vonatkoztatott ⁴⁰K aktivitáskonzentráció volt mérhető, mint az ősszel vett mintákban. A tavasszal vett növényekben mért átlagérték 822 Bq/kg volt, az ősszel vett növényekben pedig 700 Bq/kg. Összehasonlításként az OSSKI udvarán 2009. és 2012. között vett fűminták ⁴⁰K tartalma átlagosan 820 Bq/kg-nak adódott. Az egyes értékeket tekintve az is látható volt, hogy nagy tartományon belül szórtak: 223-1182 Bq/kg között, amiből arra lehet következtetni, hogy a növények K felvételét sok tényező befolyásolja.

⁷Be

Talajminták

A talajok ⁷Be aktivitáskonzentrációja egy-két minta kivételével minden esetben kimutatási határ alatti, azaz < 6-10 Bq/kg volt.

Növényminták

A növényminták ⁷Be aktivitáskonzentrációja azonban jól mérhető volt. A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett összes növény minta ⁷Be aktivitáskonzentrációjának átlaga 208 Bq/kg, a mért értékek terjedelme 43 – 386 Bq/kg közötti volt. A ⁷Be fajlagos aktivitásában is megfigyelhető volt egy évszakos változás. Az ősszel vett növény mintákban átlagosan kétszer magasabb volt a koncentrációja a tavasziakéhoz képest. A tavaszi mintákból mért értékek átlaga 158 Bq/kg volt, az őszi mintáké 259 Bq/kg. Ez valószínűleg (többek között) azzal is magyarázható, hogy az őszi mintavételezés csapadékos időszakra esett, míg a tavaszi szárazabbra.

Összes béta-aktivitáskonzentráció

Általánosságban megállapítható, hogy a talaj és növény mintákból mért összes béta-aktivitáskonzentráció a minták többségénél 80 – 95 %-ban a minták ⁴⁰K tartalmából származott, így a két érték egymással jó közelítést mutatott.

Talaj- és iszap minták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett talajminták átlagos összes béta-aktivitáskonzentrációja 612 Bq/kg volt. A mért értékek a 410 – 788 Bq/kg tartományon belül változtak.

Növényminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett növényminták átlagos összes béta-aktivitáskonzentrációja tavasszal 706 Bq/kg-nak, ősszel 604 Bq/kg-nak adódott. A mért értékek egy szélesebb tartományon belül, 226 – 1236 Bq/kg között változtak. Látható, hogy a ⁴⁰K izotóp esetében leírt évszakos változás természetesen ezen értékek esetében is megjelent.

¹³⁷Cs és ⁹⁰Sr

Talaj- és iszapminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett talajokban a legmagasabb ⁹⁰Sr és ¹³⁷Cs aktivitás koncentrációkat (átlagosan 1,0 Bq/kg, illetve 15 Bq/kg-ot) az I. és az V. vizsgálati helyszínen mértük, a legalacsonyabbakat a III. vizsgálati helyszínen (átlagosan 0,4 Bq/kg, illetve 7 Bq/kg-ot). Megjegyzendő, hogy az I. és V. vizsgálati helyszín mérési pontjai egy-egy meanderbe estek és ezek a területek állapota felelt meg leginkább a természetesnek. A II. és III. vizsgálati terület mérési pontjai pedig mezőgazdaságilag művelt területre estek és az itt mért talaj koncentráció értékek általában alatta maradtak a többi vizsgálati helyszínen mért értékeknek. Az itt kijelölt mérési pontok mezőgazdaságilag művelt területbe ékelődtek bele. A III/4 és III/5 mérési pontok viszont az árvízvédelmi töltés közelében lettek kijelölve, itt a ¹³⁷Cs talajbéli aktivitáskoncentrációja a természetes állapotukban maradt területekét közelítette. Megjegyeznénk, hogy elsődlegesen csak a természetes állapotukban megmaradt területek, közöttük is a meanderek tudnak felhalmozódási helyként viselkedni, hiszen a többi terület folyamatosan bolygatva van.

A talajmérések eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy az I. és az V. vizsgálati helyszínen levő meanderek felhalmozódási pontként működhetnek. Ezt az is alátámasztja, hogy az ugyanazon helyszínen belül, de nem a meanderben végzett mérések eredményei alacsonyabbnak adódtak (lásd V/2. pont).

Hasonlóan felhalmozódási pontnak mutatkozott a IV/1 mérési pont, amely a Kondor-tó medrének folytatásában húzódó árokba esett, közvetlenül egy műút mellett. Itt a felszíni lemosódás hatása is érvényesülhetett. A talajban mért ⁹⁰Sr és a ¹³⁷Cs aktivitáskoncentrációk (átlagosan 1,0 illetve 16,1 Bq/kg) itt magasabbak voltak, mint a IV. vizsgálati helyszín többi mérési pontján. Az utóbbi pontokon mért koncentráció értékek volumenükben nem tértek el, a művelés alatt levő területeken mértéktől.

Általánosságban megállapítható, hogy a talajminták tavaszi és őszi mérési eredményeiben nem várható évszak szerinti különbség, ha nem történik radiológiai eseményhez köthető kihullás és nincs más mesterséges beavatkozás sem (pl. a talaj megbolygatása beszántással).

Ugyanakkor az iszapmintákban a talaj eredményekkel összevetve mind a ⁹⁰Sr, mind a ¹³⁷Cs izotópok koncentrációit tekintve alacsonyabb értékeket mértünk. Az iszapmintákban az átlagos ⁹⁰Sr aktivitáskoncentráció 0,30 Bq/kg volt 0,06 – 0,62 Bq/kg minimum - maximum tartomány mellett, a ¹³⁷Cs átlagos aktivitáskoncentrációja 5,9 Bq/kg volt, 0,7-15,8 Bq/kg szórás tartomány mellett. Összehasonlításként a balatoni iszapban mért ⁹⁰Sr aktivitáskoncentrációk átlaga 0,92 Bq/kg volt (0,16 – 3,24 Bq/kg minimum - maximum tartomány mellett), a ¹³⁷Cs izotópé 45 Bq/kg volt átlagosan, az értékek a 4 – 123 Bq/kg tartományba estek. A Velencei-tó iszapjában az átlagos ⁹⁰Sr aktivitáskoncentráció 4,39 Bq/kg volt (0,41 - 22,7 Bq/kg minimum-maximum mellett), a ¹³⁷Cs átlagos koncentrációja 31 Bq/kg volt (az összes értékek a 3 – 73 Bq/kg tartományon belüli volt).

Növényminták

A Paksi Atomerőmű 30 km sugarú környezetében vett növényminták közül a legmagasabb ¹³⁷Cs koncentrációk (átlag 0,6 Bq/kg) szintén az V. vizsgálati helyszínen vett mintákban voltak mérhetőek, a legalacsonyabbak azonban az I. helyszínen begyűjtöttekben (0,2 Bq/kg). A ⁹⁰Sr koncentrációja a IV. helyszínen vett mintákban volt a legmagasabb (1,5 Bq/kg). Az összes növényminta eredményéből képzett átlagos ¹³⁷Cs aktivitáskoncentráció 0,44 Bq/kg, a ⁹⁰Sr aktivitáskoncentrációk átlaga pedig 1,06 Bq/kg volt.

A növényminták ¹³⁷Cs és ⁹⁰Sr aktivitáskoncentrációjában is megfigyelhető egy évszakai változás. Az ősszel vett növényminták ¹³⁷Cs koncentrációja (átlagosan 0,58 Bq/kg) szinte minden mintában magasabb volt, mint a tavasszal begyűjtöttekben (átlagosan 0,30 Bq/kg), a ⁹⁰Sr koncentrációja esetében pedig a minták többségében (őszi mintákban átlagosan 1,18 Bq/kg, a tavasziakban 0,94 Bq/kg).

20.2.3 ÖSSZEFOGLALÁS

A 2001-2011 közötti időszakban az atomerőmű környezetéből (0-30 km) származó különböző környezeti mintákban (elemekben) a Hatósági Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (HAKSER), a Paksi Atomerőmű által készített Éves Sugárvédelmi Jelentések Nukleáris Környezetellenőrzés fejezetei szerint elsősorban a ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr és ^{137}Cs mesterséges radionuklidokat tudták kimutatni. A ^{90}Sr és a ^{137}Cs radionuklidok feltételezhetően nem atomerőműi járulékok, hanem a csernobili baleset és a légköri atomrobbantások származékai. Ezt támasztják alá az értékelő elemzések is, miszerint a ^{90}Sr és a ^{137}Cs radionuklidok megjelenései és aktivitáskoncentrációi az egyes környezeti elemekben, hasonlóak az országos mérési adatokkal (ERMAH [Egészségügyi Radiológiai Mérő és Adatszolgáltató Hálózat] labor és OKSER [Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer] adatok), így ezek egyértelműen nem tulajdoníthatók a Paksi Atomerőműnek.

A trícium (^3H) és a radiokarbon (^{14}C) megjelenése is elsősorban globális eredetből adódik. Erről sajnos országos lefedettséggel bíró mérési adatbázis korlátozottan áll rendelkezésre, de az atomerőmű környékén megjelenő értékek egy része az atomerőműnek tudható be. A telephelyen a felszín alatti vízben való megjelenésük, az biztosan atomerőműi eredetű, viszont a terhelés kiterjedése csak a telephelyre korlátozódik.

Az atomerőműre jellemző radionuklidok az értékelhető tartományban csak néhány esetben fordultak elő a környezeti ellenőrző mérések során levegő-, fallout-, iszap és talajmintákban, s elsősorban ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{58}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ radionuklidokat találtak. A környezeti mintákban alfa-spektrometriai méréseket nem végeztek.

A radiojód nuklidok megjelenése olyan esetekben fordult elő, amikor üzemzavar volt az atomerőműben, fukushimai baleset hatása megjelent hazánkban, illetve az Izotóp Intézet Kft. kibocsátását mérték. Az erőműtől távolabbi pontokban a radiojód megjelenése lehet orvosi alkalmazás során történő kikerülés is.

A 2001-2011 közötti mérési adatok feldolgozása mellett az atomerőmű környezetében 5 különböző vizsgálati helyen in-situ gamma-spektrometriai és gamma dózisteljesítmény méréseket is végeztünk 2012-ben, valamint talaj és növénymintákat is vettünk laboratóriumi mérésekhez. A mérések szintén csak a ^{90}Sr és ^{137}Cs radionuklidokat mutatták ki a különböző környezeti mintákban. Egyedül egy helyen (a Paksi Atomerőmű közelében) egyszer tudtunk talajban ^{60}Co radionuklidot kimutatni. Hasonlóan a 1990-es években ezen a helyeken (amelyek mint felhalmazódási pontok lettek kijelölve morfológiai megfontolások és szélirány alapján) végzett mérések is csak egy-két esetben tudtak kimutatni radionuklidot, nevezetesen $^{110\text{m}}\text{Ag}$ -et.

Elemzéseket végeztünk arra vonatkozóan, hogy maximális mért kibocsátási értékek mellett milyen várható környezeti aktivitás értékek jelennek meg az egyes környezeti elemekben és azok a jelenlegi mérőeszközök kimutatási értékeivel meghatározhatóak-e. Végeredményben azt kaptuk, hogy csak igen kevés számú radionuklidot (trícium, radiokarbon) lehet az erőmű környezetében kimutatni légköri kibocsátás során. A vízi kibocsátásnál is csak a radiocéziumot lehetne halban kimutatni a vizsgálatba bevont izotópok közül.

Ezek alapján elmondható, hogy az atomerőmű normál kibocsátásának környezeti hatásait, a radionuklidok környezetbeli viselkedését mérésekkel nem lehet követni és azok vándorlását, mozgását nem lehet leírni az egyes környezeti elemekben. A környezeti gamma dózisteljesítmények is azt támasztják alá, hogy az atomerőmű környezetében nem találhatók emelkedett értékű helyek.

20.3 A VIZSGÁLT 30 KM SUGARÚ KÖRNYEZETBEN ÉLŐ LAKOSSÁG EGÉSZSÉGÜGYI ÁLLAPOTA

A telephely környezetében élők egészségügyi állapotának vizsgálatával értékelni kell, hogy az ionizáló sugárzással potenciálisan kapcsolatos megbetegedések milyen gyakorisággal fordulnak elő a telephely 30 km-es környezetében élő népesség körében. Az elemzéseknek arra a kérdésre kell válaszolniuk, hogy a megbetegedések megfigyelhető mintázata alapján felmerül-e annak a gyanúja, hogy a Paksi Atomerőműhöz egyes betegségek többletkockázata kapcsolódik-e.

A telephely környezetében élők egészségi állapotának vizsgálatát, meghatározását hatjuk végre:

- az okspecifikus halálozás (10 évre),
- a daganatos betegségek miatti kórházi ellátás alapján megállapított morbiditás (3 évre),
- a fejlődési rendellenességek előfordulási gyakorisága (3 évre),

- a genetikai komponenssel rendelkező, nem daganatos betegségek szakellátás igénybevétele révén megfigyelhető előfordulási gyakoriság indikálja (5 évre),
- a szív-érrendszeri betegségek miatti kórházi ellátás alapján megállapított morbiditás (1 évre)

A vizsgálat fő feladata nem a kiváltott hatás mérése volt, hanem annak demonstrálása, hogy az atomerőmű a környékén élők egészségét nem veszélyezteti. A technológiai hibákhoz köthető, időben korlátozott és akut élettani hatások kiváltására alkalmas expozíciókat ki lehet zárni (az egészségállapot értékelésnek sem ilyen hatások feltárására kell fókuszálnia), ebből kifolyólag nincs specifikus vizsgálati végpont (nem lehet dózist, időzítést és exponáltak körét figyelembe vevő vizsgálatot szervezni). A daganatok, szív-érrendszeri betegségek kifejlődése hosszú folyamat. A klinikai megjelenésig tartó idő jelentős egyéni variabilitást mutat (azonos időzítésű és dózisú expozíció esetén sem várjuk, hogy időben koncentrált lesz a kiváltott hatás megjelenése), emiatt a vizsgálati végpontok, a monitorozott egészségkárosodások kijelölésekor nem a rövid ideig ható jelentős dózisok, hanem az alacsony dózisok hatásainak az észlelésére kellett koncentrálni. A vizsgált időszakot ezért úgy kell kijelölni, hogy elég nagy esetszám álljon rendelkezésre ahhoz, hogy érdemi statisztikai erővel lehessen az esetleges kockázatemelkedést kimutatni (ennek megfelelően kerültek kiválasztásra a vizsgált végpontok). A halálozás, a kórházi betegforgalom alapján észlelt morbiditás esetszámai jelentősen eltérnek. Célszerű a halálozás kisebb esetszámaihoz hosszabb vizsgálati periódust definiálni (a nem daganatos megbetegedések esetén a daganatoknál magasabb betegséggyakoriság miatt rövidebb vizsgálati periódus is elég statisztikai erőt biztosít az elemzésekhez). A vizsgálat elvi menete ezért az volt, hogy első lépésben a biztonságot kell demonstrálni (nincs az atomerőmű környezetében olyan egészségvesztés, ami az erőműből származó hatásokhoz kapcsolható). Amennyiben ezen a végponton gyanú alapozódik meg a többletkockázatokkal kapcsolatban, akkor kell a környezet-egészségügyi gyakorlatnak megfelelő célzott (és jelentős erőforrásokat, valószínűleg jelentős lakossági együttműködést igénylő) részletes vizsgálatot lefolytatni.

A vizsgálatot a két fázisban végeztük el. Az első fázisban oly módon kell elvégezni az elérhető adatbázisok alapján, hogy a további vizsgálatok számára jó viszonyítási alapot (alapállapotot) jelentsenek az eredmények. A vizsgálat második fázisában került sor a háziorvosok bevonására. Itt kellett tisztázni, hogy az adatbázisok feldolgozásával kapott adatok hogyan függnak össze, hogyan korrigálандók az életmódi tényezők, családi anamnézis és egyéb zavaró tényezők alapján.

20.3.1 A VIZSGÁLAT ELSŐ FÁZISA, ADATBÁZISOK FELDOLGOZÁSA

20.3.1.1 A vizsgálati területek lehatárolása

A vizsgálat számára különböző elvek alapján lehetséges a hatásterület kijelölése. Elvben az emisszió természetére és a terjedés körülményeit befolyásoló környezeti tényezőkre vonatkozó idősorok használatával dózis szerinti térképek készíthetők, melyek alapján pontos hatásterület definiálható.

Mivel egészségügyi kockázattal járó környezet terhelést egyelőre nem észleltek, az elvi hatásterületet a Paksi Atomerőmű körüli körökkel lehet definiálni, melynek sugarát úgy érdemes meghatározni, hogy az széleskörű elvárásoknak feleljen meg.

Vizsgálati területnek a Paksi Atomerőmű központjától 30 km-es sugarú kört tekintjük a vizsgálat indításakor.

A vizsgálati terület kijelölésével egy potenciálisan exponálódó populációt adunk meg. A vizsgálatba ezért a 10 km-es körzeten belüli populációt (mint elsődleges potenciális hatásviselőt), a 10-20 km-es sávban élőket (mint másodlagos potenciális hatásviselőket) és a 20-30 km-es sávban belül élő populációt (mint a helyi viszonyokat legjobban tükrözni képes kontroll populációt) külön-külön értékelve vesszük figyelembe.

20.3.1.2 A vizsgálat módszertana

Az epidemiológiai jellegű értékelésre konkrétan nem vonatkoznak jogszabályi előírások. Szabványokban rögzített feldolgozási módszerek sincsenek. Az alkalmazott módszertanra vonatkozóan a nemzetközi szakirodalomban publikált eredményeket tekintjük irányadónak.

Az értékelésekhez az Európai Unió és a WHO Európai Iroda által támogatott Biomed 2 program keretein belül szervezett projekt eredményeit összefoglaló kiadványt, módszer gyűjteményt (Lawson A, Biggeri A, Böhning D, Lessafre E, Viel J-F, Bertollini R: Disease Mapping and Risk Assessment in Public Health, Wiley, 1999) tekintettük elsődleges referenciának.

A feladat végrehajtása során meghatározó kritérium, hogy az érintett népesség egészségi állapotában, életminőségében esetleg bekövetkező változások nyomon követhetőségének alapjait epidemiológiai felméréssel, elemzésekkel végezzük el.

A kritériumokat az emberen végzett orvostudományi kutatásokról szóló 23/2002. (V. 9.) EüM rendelet alapján teljesítettük.

Csak olyan betegségekre, illetve betegségcsoportokra vonatkozó indikátorok képezik a jelentés alapját, amelyek a Betegségek Nemzetközi Osztályozásában önálló BNO kóddal rendelkeznek, illetve amelyek esetében a referencia populációra vonatkozó adatelemzés során nem merül fel a jelentési gyakorlat anomáliáira utaló statisztikai eltérés (azaz, amelyek esetében a nemzetközi referencia értékekhez viszonyított magyar referencia adat nem mutat aránytalan nagy eltérést; s amelyek esetében a referencia populációban a területi eltérések és időbeli trendek nem mutatnak a betegségek természetével össze nem egyeztethető aránytalanságot).

20.3.1.3 Felhasznált alapadatok áttekintése

Halál okának diagnózisa

A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) gyűjti Magyarországon hosszú évek óta a halott vizsgálati bizonyítványokat, melyekre a halált megállapító orvos rögzíti a demográfiai adatokat és szintén ő rögzíti a halál okának diagnózisát.

A haláloki diagnózis – szemben a hagyományos diagnózissal - nem egy betegség megállapítását jelenti, hanem a halálhoz vezető folyamat megfelelő szabályok szerinti leírását. A folyamat kiindulópontját jelentő kórképet tekintjük az egészségmonitorozás során használható indikátornak, hiszen a betegség kialakulásával kapcsolatos potenciális kockázati tényező lehetséges hatásainak értékelése a projekt alapvető célkitűzése.

A településeken évenként megfigyelt halálesetek számát kórképenként összesítve 2001-2010-re vonatkozóan a KSH bocsátotta rendelkezésünkre.

Társadalmi státusz

A vizsgálati területen belül jelentősek az egyes településeken élők társadalmi-gazdasági státuszbeli különbségei. Mivel ez a státusz befolyással van az életmód számos elemén keresztül a betegségek kialakulásának valószínűségére, a vizsgálatok során ezeket a hatásokat, mint kontrollálandó zavaró tényezőket figyelembe kell venni, aminek első lépése a rájuk vonatkozó adatok begyűjtése.

Az aggregált adatelemzéseknél a legmegbízhatóbb terület-specifikus társadalmi-gazdasági státusz indikátorok forrása a Népszámlálás adatbázisa, amelyet utoljára 2011-ben végeztek, ez az adatbázis ad széles körű információt társadalmi-gazdasági helyzetekre. Mivel a program során olyan betegségek előfordulási gyakoriságát fogjuk elemezni, amelyek kialakulásához éveken keresztül ható expozíciókra van szükség, a 2011-es népszámlálási státuszindikátorok alkalmasak a vizsgálat céljainak eléréséhez.

Gyakorlatilag minden betegségre igaz, hogy a betegség kialakulásában szerepet játszó expozíciós mintázat fenntartásában meghatározó szerepe van a társadalmi-gazdasági státusznak. Ezért ennek a faktornak a kontrollálása nélkül az elemzések eredményeit nem tudjuk jól értelmezni.

Erre a feladatra alkalmazható módszer a Carstair-score számításán alapul. Ez a képzettség, a munkanélküliség, a jövedelmi helyzet és a lakások zsúfoltsága alapján meghatározott sok szempontból vizsgált, nemzetközi gyakorlatban gyakran alkalmazott mérőszám, amely adat népszámlálási adatbázisok használatával állítható elő a vizsgált településekre. Ennek elemeit használtuk fel a lokális rizikó korrigálására.

- Képzettségi index
- Komfort fokozat
- Egy lakosra jutó lakások száma
- Aktív keresők aránya
- Standardizált társadalmi-gazdasági státusz indikátorok
- Korrigált lokális rizikó-mérőszámok

Lakosság-nyilvántartás

A településsoros lakosság-nyilvántartás az elmúlt 10 évben változó, de jogfolytonosságot mindig biztosító intézményekben zajlott. A jogelődöktől (BM Központi Adatfeldolgozó, Nyilvántartó és Választási Hivatal, Igazgatásfejlesztési Főosztály, Szolgáltatási Osztály) kapott adatbázisok struktúráját, az adatok gyűjtésének módját és az adatok elérhetővé tételének megoldásait a jelenlegi felelős intézmény, a Közigazgatási és Elektronikus Közszolgáltatások Központi Hivatala (KEKKHs) változatlanul meghagyta. A program során az egyes évekre meghatározott indikátorok számításához az év közepi lakónépesség demográfiai adatainak ismerete szükséges, amit a KEKKH adatai segítségével tudunk előállítani.

A településsoros demográfiai adatbázisban korév pontossággal, adott év december 31-re vonatkoztatott lélekszám adatok vannak férfiakra és nőkre vonatkozóan, külön-külön a 2001-2010-es időszakra. A hatásterületen belüli települések adatait a teljes ország népességének adatai alapján számított várható esetszámokhoz viszonyítva értékeljük a standardizálás segítségével.

Fejlődési rendellenességek

A fejlődési rendellenességeket Magyarországon, a világon szinte teljesen egyedülálló módon teljes országot lefedő, törvény által előírt jelentési rendszerre alapuló, speciális regiszterben tartják nyilván. A regiszter minőségét jelzi, hogy tagja az EUROCAT-nek, ami az európai fejlődési rendellenességek regisztereinek szövetsége. A regiszterben évtizedek óta folyamatos az adatgyűjtés. A fejlődési rendellenességek részletes besorolással és a gyerekek lakóhelyének, születési dátumának pontos meghatározása után kerülnek rögzítésre. A település-specifikus kockázatmérő indikátorok előállítására ezért oldható meg megbízható minőségű indikátorok révén a hazai regiszter segítségével.

Járóbeteg és fekvőbeteg szakellátás

A járóbeteg és a fekvőbeteg szakellátásban folyó ellátásról tételes teljesítmény-elszámolási jelentést kell készítenie minden magyarországi szolgáltatónak. A jelentések tartalmát jogszabály írja elő, minőségét pedig az Országos Egészségbiztosítási Pénztár szavatolja. Amennyiben a beküldött elszámolási jelentés nem felel meg a kívánalmaknak, akkor javításra visszaküldik a szolgáltatónak és mindaddig nem teljesítik a kifizetést, amíg a jelentés formailag, tartalmilag nem felel meg az előírásoknak.

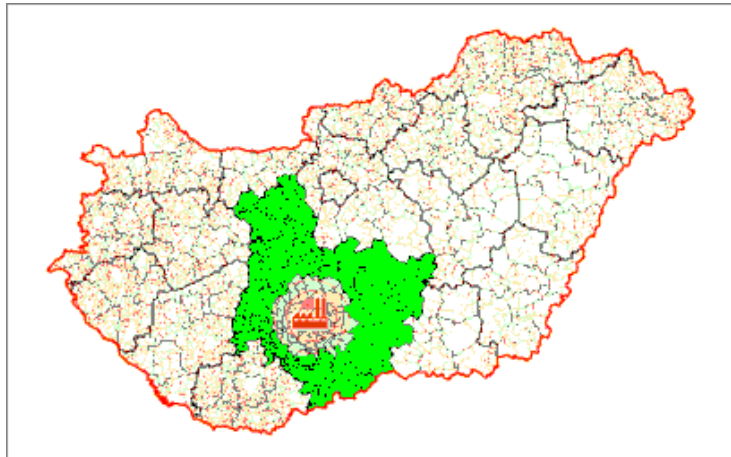
Mivel a hazai egészségügyi szolgáltatók alapvetően az Országos Egészségbiztosítási Pénztárral kötött szerződések alapján finanszírozzák a gyógyítást, az Országos Egészségbiztosítási Pénztár pedig az egyedüli pénztár, a szakellátási adatbázisok segítségével a teljes betegforgalmat lefedő adatbázishoz juthatunk.

Az adathozzáférést epidemiológiai jellegű vizsgálatok számára biztosítják.

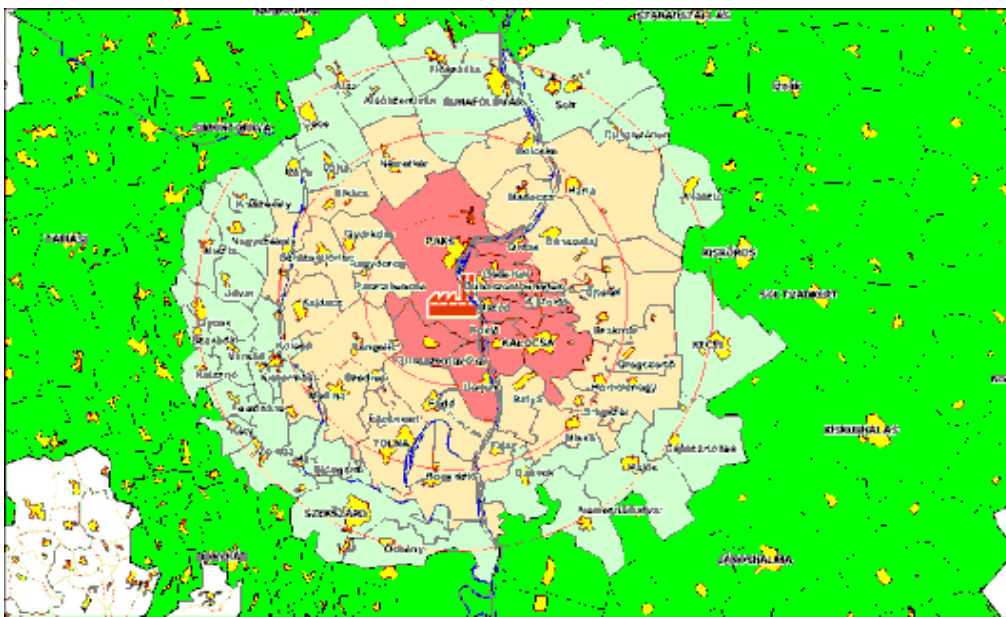
Az egyedi azonosítást lehetővé nem tevő, de az egy beteghez tartozó ellátási események összekapcsolását biztosító rendszer révén a program számára fontos betegségekre vonatkozóan jól használható alapadatokat nyerhetünk.

Hatásterület meghatározása

A vizsgálat során a hatásterületen belül település szintű, illetve irányítószámok szerint csoportba rendezett települések aggregált adatait dogoztuk fel (20.3.1-1 ábra és 20.3.1-2 ábra). A népesség nyilvántartása települések szintjén valósul meg. A haláloki diagnózisok és a fejlődési rendellenességek előfordulása is települések szintjén regisztrált adat, de a szakellátás betegforgalmi adatai a betegek lakóhelyének irányítószámai alapján kerülnek rögzítésre. Mivel az irányítószámok és a települések nevei közt kölcsönösen egyértelmű leképezés nem valósítható meg, ezért a legkisebb zárt településcsoportokat alakítottuk ki a teljesítmény-elszámolási rekordok feldolgozásakor.



20.3.1-1. ábra: A vizsgálati terület (a) országon belüli elhelyezkedése



20.3.1-2. ábra: A hatásterület zónáiba tartozó települések

A vizsgálatba a 10 km-es körzeten belüli populációt (mint elsődleges potenciális hatásviselőt), a 10-20 km-es sávban élőket (mint másodlagos potenciális hatásviselőket) és a 20-30 km-es sávban belül élő populációt (mint a helyi viszonyokat legjobban tükrözni képes kontroll populációt) külön-külön értékelve vettük figyelembe. A települések zónákon belüli elhelyezkedése illetve az egyes települések erőműtől való távolsága jelentette a kockázati viszonyok területi elrendeződésének alapadatát.

Adatfeldolgozás menete

Halálozási és megbetegedési viszonyok értékelése során lényegében azt vizsgáltuk, hogy milyen a viszony a várható és a megfigyelt esetek száma között. Ennek az elemzésnek első lépése, hogy a kor, nem és vizsgálati év szerint standardizált hányadosokat előállítjuk:

- Indirekt standardizálás
- Távolságtrend
- Társadalmi-gazdasági státusz hatásának értékelése

Indirekt standardizálás célja, hogy olyan gyakorisági adatot kapjunk, amely úgy fejezi ki a mortalitási / morbiditási kockázatot egy populációban, hogy annak referencia értékhez képest magas vagy alacsony voltát a demográfiai összetétel zavaró hatásától függetlenül meg lehessen ítélni.

Távolságtrend elemzésnél, amennyiben az atomerőmű telephelye már ma is valamilyen egészségkárosító hatás pontforrásaként hatna, akkor tőle távolodva csökkenő gyakoriságot kellene kapni. Az atomerőmű kibocsátásából eredő irányfüggést itt nem vettük figyelembe, hisz az érintett területen ezt nehéz lenne megvalósítani és az ehhez tartozó megfelelő adatbázist létrehozása is körülményes lenne (ahogy 20.3.1.1 fejezetnél is leírtuk), így körszimmetrikusan vizsgáltuk az adatokat.

Társadalmi-gazdasági státusz hatásának értékelése azért lényeges, mert ennek a faktornak a kontrollálása nélkül az elemzések eredményeit nem tudjuk jól értelmezni.

20.3.1.4 Halálozási kockázat értékelése az erőmű körzetében

A halálozási adatok az egyes halálokoknak megfelelően kerültek feldolgozásra. Minden halálok esetében értékelésre került Paks városban megfigyelt halálozási kockázat és a megfigyelt esetszámok várható értékektől való eltérésének statisztikai értékelése.

Statisztikai értékelések készültek a 30 km-es környék településein megfigyelt halálozási kockázatról és annak referencia szinttől való eltérésének statisztikai tesztelése során kapott eredményekről.

- Ajak, szájüreg, garat rosszindulatú betegségei okozta halálozás
- Nyelőcső rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Gyomor rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Vastagbél rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Végbél, szigmabél, végbélnyílás rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Emésztőszervek egyéb daganatai okozta halálozás
- Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Emlő rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Méhnyak és méh rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Agy rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Hodgkin limfóma okozta halálozás
- Leukémia és non-Hodgkin limfóma okozta halálozás
- Daganatok okozta halálozás
- Magas vérnyomás betegség okozta halálozás
- Ischaemiás szívbetegségek okozta halálozás
- Agyérbetegségek okozta halálozás
- Keringési rendszer betegségei okozta morbiditás
- Légzőrendszer betegségei okozta halálozás
- Alkoholos májbetegségek okozta halálozás
- Emésztőrendszer betegségei okozta halálozás
- Öngyilkosság és önsértés okozta halálozás
- A morbiditás és mortalitás külső okai okozta halálozás
- Összhalálozás

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett halálozási kockázat és annak referencia szinttől (megyei) való eltérésének tesztelése, illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése (20.3.1-1. táblázat és 20.3.1-2. táblázat) révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

c	Ajak, szájüreg, garat, rosszindulatú daganata	Nyelőcső rosszindulatú daganata	Gyomor rosszindulatú daganata	Vastagbél rosszindulatú daganata	Végbél, szigmbél, végbélnyílás rosszindulatú daganata	Emésztőszervek egyéb daganata	Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganata	Emió rosszindulatú daganata	Méhnyak és méh rosszindulatú daganata	Az agy rosszindulatú daganata	Hodgkin limfóma	Leukémia és non-Hodgkin limfóma
<10km	0,957	0,895	1,036	1,159	1,041	0,998	0,946	0,842	0,716	0,772	1,232	0,898
<20km	1,021	1,053	1,109	1,054	0,926	1,138	1,032	0,836	0,917	0,921	0,643	0,904
<30km	0,943	1,067	0,886	1,005	1,025	0,964	0,945	0,943	1,066	1,203	1,29	0,949
<10km	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<20km	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<30km	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

c	Daganatok	Magasvérnyomás betegség	Ischaemiás szívbetegség	Agyérbetegségek	Keringési rendszer betegségei	Légzőrendszer betegségei	Alkoholos májbetegség	Emésztőrendszer betegségei	Öngyilkosság és önsértés	A morbiditás és mortalitás külső okai	Összhalálozás
<10km	0,979	1,171	0,897	0,903	0,934	0,853	0,915	0,93	0,972	0,969	0,949
<20km	1,031	0,986	0,975	1,035	0,974	0,906	0,917	0,966	0,911	0,994	0,988
<30km	0,979	1,163	0,999	1,061	1,013	0,828	0,956	0,961	0,933	1,064	1,001
<10km	ns	magas	alacsony	alacsony	alacsony	alacsony	ns	ns	ns	ns	alacsony
<20km	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<30km	ns	magas	ns	magas	ns	alacsony	ns	ns	ns	ns	ns

ns: nem tér el szignifikánsan a referencia szinttől

alacsony/magas: szignifikánsan eltér a referencia szinttől

20.3.1-1. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált okspecifikus halálozási kockázatok és azok referencia szinttől való eltéréseinek szignifikanciája (2001-2010)

	Ajak, szájüreg, garat, rosszindulatú daganata	Nyelőcső rosszindulatú daganata	Gyomor rosszindulatú daganata	Vastagbél rosszindulatú daganata	Végbél, szigmbél, végbélnyílás rosszindulatú daganata	Emésztőszervek egyéb daganata	Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganata	Emió rosszindulatú daganata	Méhnyak és méh rosszindulatú daganata	Az agy rosszindulatú daganata	Hodgkin limfóma	Leukémia és non-Hodgkin limfóma
Regresszió koefficiens	0,0011	0,0003	0	-0,0001	-0,0002	-0,0001	0	0,0005	0	-0,0002	0,0005	0,0001
p	0,293	0,086	0,993	0,052	0,431	0,477	0,903	0,048	0,942	0,697	0,931	0,313

	Daganatok	Magasvérnyomás betegség	Ischaemiás szívbetegség	Agyérbetegségek	Keringési rendszer betegségei	Légzőrendszer betegségei	Alkoholos májbetegség	Emésztőrendszer betegségei	Öngyilkosság és önsértés	A morbiditás és mortalitás külső okai	Összhalálozás
Regresszió koefficiens	0	-0,002	0,0004	0,0002	0,0008	0,003	0,0015	0,0011	0,0011	0,0004	0,0008
p	0,931	0,165	0,505	0,598	0,089	0,003	0,002	0,001	0,026	0,236	0,023

20.3.1-2. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált okspecifikus halálozási kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján (2001-2010)

20.3.1.5 Fejlődési rendellenességek regisztrált gyakoriságának értékelése az erőmű körzetében

A Veszületett Rendellenességek Országos Nyilvántartása által regisztrált fejlődési rendellenességek az egyes rendellenesség csoportoknak megfelelően kerültek feldolgozásra. Minden csoport esetében értékelésre került Paks városban megfigyelt előfordulási kockázat és a megfigyelt esetszámok várható értékektől való eltérésének statisztikai értékelése.

Statisztikai térképes megjelenítésű ábrák készültek a 30 km-es körvonal településeinek megfigyelt előfordulási kockázatról és annak referencia szinttől való eltérésének statisztikai tesztelése során kapott eredményekről.

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett előfordulási kockázat és annak referencia szinttől való eltérésének tesztelése, illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

- Idegrendszer fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Fej-nyaki régió fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Szív- és érrendszer fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Légzőrendszer fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Ajak-és szájpád-hasadékok előfordulási gyakorisága
- Tápcsatorna fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Nemi szervek fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Húgyrendszer, csont- és izomrendszer fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- A kültakaró fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Kromoszóma rendellenességek előfordulási gyakorisága
- Fejlődési rendellenességek előfordulási gyakorisága

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett előfordulási kockázat és annak referencia szinttől (országos) való eltérésének tesztelése (20.3.1-3. táblázat), illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése (20.3.1-4. táblázat) révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

zóna	Q0 (idegrendszer fejlődési rendellenességei)	Q1 (fej-nyaki régió fejlődési rendellenessége)	Q2 (szív és érrendszeri fejlődési rendellenessége)	Q30-34 (légzőszervi fejlődési rendellenessége)	Q35-37 (ajak és szájpádhasadékok)	Q38-45 (tápcsatorna fejlődési rendellenessége)	Q5 (urogenitális rendszer fejlődési rendellenessége)	Q6-7 (csont és izomrendszer fejlődési rendellenessége)	Q8 (kültakaró fejlődési rendellenessége)	Q9 (kromoszóma rendellenességek)	Mind
<10	0,56	0,3	1,34	1,32	1,79	2,61	0,82	1,41	1,55	1,18	1,34
<20	1,36	0,49	1,36	1,59	0,72	1,49	1,4	1,41	1,23	1,12	1,32
<30	1,26	0,82	1,94	2,66	0,6	2,49	1,32	1,14	1,46	1,78	1,55
<10	ns	ns	ns	ns	ns	magas	ns	magas	ns	ns	magas
<20	ns	ns	magas	ns	ns	ns	ns	magas	ns	ns	magas
<30	ns	ns	magas	magas	ns	magas	ns	ns	ns	magas	magas

ns: nem tér el szignifikánsan a referencia szinttől
alacsony/magas: szignifikánsan eltér a referencia szinttől

20.3.1-3. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált okspecifikus fejlődési rendellenesség kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája (2004-2009)

	Q0 (idegrendszer fejlődési rendellenességei)	Q1 (fejnyaki régió fejlődési rendellenessége)	Q2 (szív és érrendszeri fejlődési rendellenessége)	Q30-34 (légzőszervi fejlődési rendellenességei)	Q35-37 (ajak és szájpadhasadékok)	Q38-45 (tápcsatorna fejlődési rendellenességei)	Q5 (urogenitális rendszer fejlődési rendellenességei)	Q6-7 (csont és izomrendszer fejlődési rendellenességei)	Q8 (kültakaró fejlődési rendellenességei)	Q9 (kromoszóma rendellenességek)	Mind
Regressziós koefficiens	0,0238	0,0086	0,0218	0,0383	-0,046	-0,003	0,0012	0,0046	0,0095	0,0602	0,0115
p	0,322	0,678	0,027	0,737	0,143	0,551	0,858	0,593	0,057	0,034	0,03

20.3.1-4. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított okspecifikus fejlődési rendellenesség kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján. (2004-2009)

20.3.1.6 Betegségek előfordulási kockázatának elemzése

A szakellátást nyújtó egészségügyi intézmények jelentései alapján számított előfordulási gyakoriságok betegcsoportonként kerültek feldolgozásra. Minden betegcsoport esetében értékelésre került Paks városban megfigyelt morbiditási kockázat és a megfigyelt esetszámok várható értékektől való eltérésének statisztikai értékelése. Statisztikai térképes megjelenítésű ábrák készültek a 30 km-es környék településein megfigyelt morbiditási kockázatról és annak referencia szinttől való eltérésének statisztikai tesztelése során kapott eredményekről.

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett relatív kockázat és annak referencia szinttől való eltérésének tesztelése, illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

Daganatos és kardiovaszkuláris betegségek szakellátás során megfigyelt előfordulási kockázatának értékelése az erőmű körzetében

- Ajak, szájüreg, garat rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Nyelőcső rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Gyomor rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Vastagbél rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Végbél, szigmbél, végbélnyílás rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Emésztőszervek egyéb rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Emlő rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Méhnyak és méh rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Az agy rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Hodgkin limfóma okozta morbiditás
- Leukémia és non-Hodgkin limfóma okozta morbiditás
- Daganatok okozta morbiditás
- Magasvérnyomás betegség okozta morbiditás
- Ischaemiás szívbetegségek okozta morbiditás
- Agyérbetegségek okozta morbiditás
- Keringési rendszer betegségei okozta morbiditás

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett relatív kockázat és annak referencia szinttől való eltérésének tesztelése (20.3.1-5. táblázat), illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése (20.3.1-6. táblázat) révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

zóna	Ajak, szájüreg, garat, rosszindulatú daganata	Nyelőcső rosszindulatú daganata	Gyomor rosszindulatú daganata	Vastagbél rosszindulatú daganata	Végbél, szigmbél, végbélnyílás rosszindulatú daganata	Emésztőszervek egyéb daganata	Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganata	Emlő rosszindulatú daganata	Méhnyak és méh rosszindulatú daganata
<10km	0,85	0,98	0,82	1,2	1,19	0,97	0,88	0,93	0,95
<20km	1,12	0,76	0,91	1,07	1,07	1,03	0,85	0,91	1,04
<30km	0,86	0,59	0,86	1,07	1,02	1	0,87	1,06	1,15
<10	ns	ns	ns	magas	ns	ns	ns	ns	ns
<20	ns	ns	ns	ns	ns	ns	alacsony	ns	ns
<30	ns	alacsony	ns	ns	ns	ns	alacsony	ns	ns

zóna	Az agy rosszindulatú daganata	Hodgkin limfóma	Leukémia és non-Hodgkin limfóma	Daganatok	Magasvérnyomás betegség	Ischaemiás szívbetegség	Agyérbetegségek	Keringési rendszer betegségei
<10km	0,65	0,6	0,76	0,95	2,76	1,58	2,87	2,27
<20km	1,07	1,27	0,85	0,94	1,83	1,04	1,36	1,29
<30km	1,17	0,99	0,9	0,96	1,19	0,95	1,22	1,08
<10	ns	ns	alacsony	ns	magas	magas	magas	magas
<20	ns	ns	ns	alacsony	magas	ns	magas	magas
<30	ns	ns	ns	ns	magas	ns	magas	magas

ns: nem tér el szignifikánsan a referencia szinttől
alacsony/magas: szignifikánsan eltér a referencia szinttől

20.3.1-5. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált daganatos (2007-2009) és kardiovaszkuláris (2009) megbetegedési kockázatok és azok referencia szinttől való eltéréseinek szignifikanciája.

	Ajak, szájüreg, garat, rosszindulatú daganata	Nyelőcső rosszindulatú daganata	Gyomor rosszindulatú daganata	Vastagbél rosszindulatú daganata	Végbél, szigmbél, végbélnyílás rosszindulatú daganata	Emésztőszervek egyéb daganata	Légcső, hörgő, tüdő rosszindulatú daganata	Emlő rosszindulatú daganata	Méhnyak és méh rosszindulatú daganata
Regressziós koefficiens	0,0004	0,0024	0,0005	-0,0002	-0,0002	0,0001	0,0005	0	-0,0001
p	0,2886	0,0265	0,15	0,0403	0,2377	0,5492	0,1284	0,8817	0,8482

	Az agy rosszindulatú daganata	Hodgkin limfóma	Leukémia és non-Hodgkin limfóma	Daganatok	Magasvérnyomás betegség	Ischaemiás szívbetegség	Agyérbetegségek	Keringési rendszer betegségei
Regressziós koefficiens	-0,0004	0,0001	0,0001	0	-0,0077	-0,0018	-0,0084	-0,0061
p	0,3988	0,955	0,1685	0,964	0	0,2373	0	0

20.3.1-6. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált daganatos (2007-2009) és kardiovaszkuláris (2009) megbetegedési kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján.

Gyermekkori malignus betegségek szakellátás során megfigyelt előfordulási kockázatának értékelése az erőmű körzetében

- Gyermekkori daganatok okozta morbiditás
- Gyermekkori limfoid leukémiák okozta morbiditás
- Gyermekkori akut limfoid leukémiák okozta morbiditás
- Gyermekkori myeloid leukémiák okozta morbiditás
- Gyermekkori akut myeloid leukémiák okozta morbiditás
- Gyermekkori agydaganatok okozta morbiditás
- Gyermekkori vesedaganatok okozta morbiditás
- Gyermekkori Hodgkin limfóma okozta morbiditás
- Gyermekkori non-Hodgkin limfóma okozta morbiditás
- Perifériás idegrendszer gyermekkori daganatai okozta morbiditás
- Gyermekkori végtag-szarkómák okozta morbiditás
- Gyermekkori nem végtag eredetű szarkómák okozta morbiditás

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett relatív kockázat és annak referencia szinttől való eltéréseinek tesztelése (20.3.1-7. táblázat), illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése (20.3.1-8. táblázat) révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

zóna	gyermekkori daganatok	limfoid leukémia	akut limfoid leukémia	myeloid leukémia	akut myeloid leukémia	agydaganat	vesedaganat	Hodgkin limfóma	non-Hodgkin limfóma	perifériás idegrendszer daganata	végtagok sarcomája	egyéb sarcoma
<10	1,29	0,88	0,9	0,56	0,61	0,8	0	0	0	0	1,29	1,22
<20	0,99	0,79	0,82	1,7	1,39	0,61	0,52	1,26	0,8	0,95	0,99	1,87
<30	1,33	1,08	0,9	1,88	2,05	1,45	1,14	1,52	1,56	0,71	0	0,34
<10	magas	ns	ns	ns	ns	ns	nsz	nsz	nsz	nsz	ns	ns
<20	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<30	magas	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	nsz	ns

ns: nem tér el szignifikánsan a referencia szinttől
alacsony/magas: szignifikánsan eltér a referencia szinttől
nsz: nem számítható (nincs megfigyelt eset a zónában)

20.3.1-7. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált gyermekkori daganatos megbetegedés kockázatok és azok referencia szinttől való eltéréseinek szignifikanciája (2005-2009)

	gyermekkori daganatok	limfoid leukémia	akut limfoid leukémia	myeloid leukémia	akut myeloid leukémia	agydaganat	vesedaganat	Hodgkin limfóma	non-Hodgkin limfóma	perifériás idegrendszer daganata	végtagok sarcomája	egyéb sarcoma
Regressziós koefficiens	-0,021	-0,012	-0,011	-0,027	-0,03	-0,001	0,002	-0,01	-0,003	-0,013	-0,001	-0,015
p	0,152	0,404	0,464	0,029	0,025	0,933	0,796	0,408	0,863	0,359	0,892	0,094

20.3.1-8. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált gyermekkori daganatos megbetegedés kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján. (2005-2009)

Fejlődési rendellenességek és központi idegrendszeri megbetegedések szakellátás során megfigyelt előfordulási kockázatának értékelése az erőmű körzetében

- Idegrendszer fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Fej-nyaki régió fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Szív- és érrendszeri fejlődési rendellenességek okozta morbiditás
- Légzőszervi fejlődési rendellenességek okozta morbiditás
- Ajak- és szápad-hasadékok okozta morbiditás
- A tápcsatorna fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Nemi szervek fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Húgyrendszer fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Csípőficam okozta morbiditás
- Egyéb mozgásszervi fejlődési rendellenességek okozta morbiditás
- A kültakaró fejlődési rendellenességei okozta morbiditás
- Kromoszóma rendellenességek okozta morbiditás
- Down szindróma okozta morbiditás
- Szex-kromoszóma rendellenességei okozta morbiditás
- Huntington-kór okozta morbiditás
- Örökítő ataxia okozta morbiditás
- Gerincvelői eredetű izomsorvadás okozta morbiditás
- Központi idegrendszeri eredetű izomsorvadás okozta morbiditás
- Myasthaenia gravis okozta morbiditás

A 10 km-enként definiált zónákon belül összegzett relatív kockázat és annak referencia szinttől való eltérésének tesztelése (20.3.1-9. táblázat, illetve a társadalmi-gazdasági státusszal korrigált lokális kockázatok és az erőműtől mért távolság közti kapcsolat értékelése (20.3.1-10. táblázat) révén az erőmű potenciális pontforrás szerepét teszteltük.

zóna	Q0 (idegrendszer fejlődési rendellenességei)	Q1 (fejnyaki régió fejlődési rendellenessége)	Q2 (szív és érrendszeri fejlődési rendellenessége)	Q30-34 (légzőszervi fejlődési rendellenességei)	Q35-37 (ajak és szápadhasadékok)	Q38-45 (tápcsatorna fejlődési rendellenességei)	Q5 (urogenitális rendszer fejlődési rendellenességei)	Q60-64 (Húgyrendszer fejlődési rendellenességei)	Q65 (csípőficam)	Q66-79 (egyéb mozgásszervi fejlődési rendellenességek)
<10	0,87	1,34	0,78	1,14	0,69	1,46	0,85	1,11	1,03	2,4
<20	0,74	1,46	0,88	1,03	1	0,8	0,83	1,28	1,06	2,57
<30	1,41	1,97	1,17	1,17	1,49	0,95	1,23	1,58	1,46	3,18
<10	ns	magas	alacsony	ns	ns	magas	ns	ns	ns	magas
<20	alacsony	magas	alacsony	ns	ns	alacsony	alacsony	magas	ns	magas
<30	magas	magas	magas	ns	magas	ns	magas	magas	magas	magas

zóna	Q8 (kültakaró fejlődési rendellenességei)	Q9 (kromoszóma rendellenességek)	Q90 (Down szindróma)	Q96,97,98 (szexkromoszóma rendellenességei)	G10 (Huntington-kór)	G11 (örökítő ataxia)	G12 (gerincvelői eredetű izomsorvadás)	G13 (központi idegrendszeri eredetű sorvadás)	G70 (myasthaenia gravis)
<10	0,88	0,81	0,76	0,97	1,15	0,62	1,33	0,46	0,86
<20	0,66	0,77	0,97	0,76	0,23	0,37	0,74	0,18	0,74
<30	1,01	1,39	1,62	1,96	0,35	1,67	1,14	0,86	1,02
<10	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<20	alacsony	ns	ns	ns	ns	ns	ns	alacsony	ns
<30	ns	magas	magas	magas	ns	magas	ns	ns	ns

ns: nem tér el szignifikánsan a referencia szinttől
alacsony/magas: szignifikánsan eltér a referencia szinttől

20.3.1-9. táblázat: Az egyes zónákon belül aggregált kor és nem szerint standardizált fejlődési rendellenesség és központi idegrendszeri megbetegedés kockázatok és azok referencia szinttől való eltérésének szignifikanciája a szakellátás betegforgalmi adatai alapján (2005-2009)

	Q0 (idegrendszer fejlődési rendellenességei)	Q1 (fej-nyaki régió fejlődési rendellenessége)	Q2 (szív és érrendszeri fejlődési rendellenessége)	Q30-34 (légzőszervi fejlődési rendellenességei)	Q35-37 (ajak és szájpadahasadékok)	Q38-45 (lápcsatorna fejlődési rendellenességei)	Q5 (urogenitális rendszer fejlődési rendellenességei)	Q60-64 (Húgyrendszer fejlődési rendellenességei)	Q65 (csipőficam)	Q66-79 (egyéb mozgásszervi fejlődési rendellenességek)
Regressziós koefficiens	-0,016	-0,03	-0,023	-0,019	-0,007	-0,005	-0,028	-0,026	-0,047	-0,112
p	0,168	0,014	0,191	0,157	0,672	0,623	0,088	0,034	0,082	0,001

	Q8 (kültakaró fejlődési rendellenességei)	Q9 (kromoszóma rendellenességek)	Q90 (Down szindróma)	Q96,97,98 (szexkromoszóma rendellenességei)	G10 (Huntington-kór)	G11 (öröklődő ataxia)	G12 (gerincvelői eredetű izomsorvadás)	G13 (központi idegrendszeri eredetű sorvadás)	G70 (myasthaenia gravis)
Regressziós koefficiens	-0,038	-0,011	-0,011	-0,018	0	-0,007	0,001	-0,034	-0,013
p	0,002	0,38	0,509	0,047	0,984	0,49	0,934	0,077	0,164

20.3.1-10. táblázat: A települések társadalmi-gazdasági státuszával korrigált empirikus Bayes becsléssel simított kor és nem szerint standardizált fejlődési rendellenesség és központi idegrendszeri megbetegedés kockázatok kapcsolata az erőműtől való távolsággal lineáris regressziós elemzés alapján a szakellátás betegforgalmi adatai alapján (2005-2009)

20.3.1.7 Az első fázis következtetései

Össességében a hatásterületen élő populáció egyes kórkép vizsgálati végeredménye a referencia értékekhez viszonyítva kedvezőnek vagy a referencia populációkban megfigyelthez hasonló egészségi állapotúnak jellemezhető.

Az alábbi végpontokon (egyres kórképek vizsgálati végeredményében) merült fel a statisztikai mutatók alapján az erőművel kapcsolatba hozható kockázatemelkedés elvi lehetősége:

- Vastagbél rosszindulatú daganatai okozta halálozás
- Magas vérnyomás betegség okozta halálozás
- Tápcsatorna fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága
- Vastagbél rosszindulatú daganatai okozta morbiditás
- Magas vérnyomás betegség okozta morbiditás
- Ischaemiás szívbetegségek okozta morbiditás
- Agyérbetegségek okozta morbiditás
- Keringési rendszer betegségei okozta morbiditás
- Egyéb mozgásszervi fejlődési rendellenességek okozta morbiditás
- Gerincvelői eredetű izomsorvadás okozta morbiditás

A keringési rendszer betegségei okozta morbiditás a magas vérnyomás betegség, az ischaemiás szívbetegség és az agyérbetegségek lényegében azonos kockázati profilját mutatja és ezeknek a betegségcsoportoknak az eseteit összegzi, emiatt nem tekinthető önállóan értékelendő potenciálisan kockázatemelkedést jelző vizsgálati végeredményként.

A keringési rendszer betegségei okozta szakellátás során regisztrált kockázati többleteket magyarázhatja, hogy a Pakshoz közel lakók gondozásában jelentősebb részt tud vállalni a szakellátó, akinek a szerepét a messzebb lakók esetében az alapellátó háziorvosok veszik át. Elvileg az erőmű közelében élők kedvezőtlenebb kardiovaszkuláris kockázati faktor (dohányzás, elhízás, mozgásszegény életmód) mintázata is magyarázhatná a helyi kockázat emelkedését. Viszont a Pakstól való távolság függvényében csökkenő helyi kockázatok miatt valószínűbb a szakellátás különbözőségén alapuló magyarázat.

A kardiovaszkuláris betegségek etiológiai tényezői közt ma még nem egyértelműen tisztázott az ionizáló sugárzás szerepe, a helyi kockázatok emelkedése mögött valószínűleg nem az ionizáló sugárzás többletexpozíciója áll.

A 82 vizsgált indikátor közt 8 összegző indikátor (daganatok összesen, kardiovaszkuláris betegségek összesen, tápcsatorna betegségei összesen, erőszakos halálmek együtt) szerepelt. A 74 részletes indikátor közül 6 foglalkozott szívérrendszeri krónikus betegségekkel, melyek etiológiai faktoraik közt nem szerepel ionizáló sugárzás alacsony dózisa. Ezek figyelembevételével 68 indikátoresetén került sor statisztikai értékelésekre. A statisztikai műtermék eredmények száma ilyen elemzésszámnál $68 \times 0,05 = 3,4$. Ez alapján (feltételezve a pozitív és negatív irányú látszólagos szignifikáns eltéréseket produkáló tesztek számának egyenlőségét) 1,7 az olyan statisztikailag szignifikáns eltérések várható száma, melyek mögött véletlenül is magyarázható kockázateloszlás van.

A vastagbél rosszindulatú daganatai okozta halálozás (magas paksi kockázat 63 eset alapján), a gerincvelői eredetű izomsorvadás okozta morbiditás (magas paksi kockázat 8 eset alapján) és a vastagbél rosszindulatú daganatai okozta morbiditás is (magas 0-10 km-es zónakockázat 136 eset alapján) 1-1 statisztikailag szignifikáns kockázatemelkedés alapján került kiemelésre, a tápcsatorna fejlődési rendellenességeinek előfordulási gyakorisága és az egyéb mozgásszervi fejlődési rendellenességek okozta morbiditás pedig 2-2 szignifikáns statisztikai teszt alapján (magas paksi kockázat 13, illetve 1936 eset alapján, és magas 0-10 km-es zónakockázat 17, illetve 2599 eset alapján). Ezek közt biztosan van statisztikai műtermék (2 végponton 7 szignifikáns kockázatemelkedést figyeltünk meg a 3,4 várhatóval szemben). A rendelkezésre álló adatok alapján azonban nem lehet a statisztikai műterméket és a valódi halmozódást mutató végpontokat elkülöníteni. Ehhez a kórképek etiológiai viszonyait kell értékelni, illetve a kockázati faktorok hatásterületen megfigyelhető intenzitását kellene ismerni. Utóbbi elsősorban a vastagbélrák esetében volna fontos, mert ez a daganat mind a mortalitási, mind a szakellátásban regisztrált morbiditási elemzésekben helyi kockázatemelkedést mutatott.

A kockázatemelkedést mutató végpontok alapadatainak megbízhatósága nem egyforma. A szakellátásban regisztrált betegségek egy része kivizsgálások alkalmával használt iránydiagnózis (a betegség gyanúja alapján kerül csak regisztrálásra). A fejlődési rendellenességek jelentési fegyelme területi variabilitást mutat. A szövettani diagnózison alapuló daganatos haláloki diagnózis tekinthető a legmegbízhatóbbnak a kockázatemelkedést mutató indikátorok alapadatai közül. Ez a megfontolás is a vastagbélrákok előfordulási viszonyainak pontosabb feltárásának szükségességét támasztja alá.

20.3.2 A VIZSGÁLAT MÁSODIK FÁZISA, HÁZIORVOSOK BEVONÁSA

A programban az egyéni szinten ható életmódi rizikófaktorok interpretációs nehézségeket okoznak, ha az egyes betegségek előfordulási gyakoriságát nem tudjuk az életmódhoz kapcsolódó zavaró tényezők (pl. dohányzás, alkoholfogyasztás, családi halmozódás stb.) hatásától megtisztítani. Az aggregált adatokon nyugvó elemzéseket ezért kell kiegészíteni primer adatgyűjtéssel is a vizsgálati területen, ami nem csak a lakók egészségi állapotát írja le, de a kockázati profiljukat is.

Ilyen adatbázis felépítése a házi orvosok segítségével, de a lakosság aktív közreműködése nélkül képzelhető el. Ennek érdekében együttműködő házi orvosi szolgálatot kell szervezni, mert a házi orvosok ismerik (a házi orvosi törzskartonokban rögzítendő kötelező feladataik ellátása miatt) azokat az alapvető kockázati tényezőket, amik a programban vizsgált betegségek kialakulására jelentős hatással bírnak. Ezért segítségükkel mind az egészségi állapot, mind a kockázati profil rögzíthető az adatvédelmi szabályok tiszteletben tartásával, a vizsgálat számára fontos teljes lefedettséget biztosítva és a megkívánt minőségben.

Az atomerőmű 30 km-es körzetében élő házi orvosok önkéntes csatlakozásán alapuló felmérés az elmúlt 3 év incidens eseteinek leírására vállalkozik. Ennél hosszabb visszaemlékezési idő jelentősen rontaná az eredmények megbízhatóságát, ezért nem érdemes ilyen módon növelni az esetszámot. A nagyobb esetszám miatti statisztikai erő javulását kompenzálná a romló adatminőség.

A vizsgálat az alábbi menetet követte:

1. Vizsgálati protokoll részletes kidolgozása és az etikai engedély beszerzése.
2. Az együttműködő háziorvosok hálózatának megszervezése, és a háziorvosok adatgyűjtésének koordinálása:
 - az együttműködő háziorvosok felkészítése,
 - a 2010-2012 időszakban diagnosztizált új daganatos megbetegedések regisztrálása a háziorvosok praxisaiban,
 - az incidens esetek mellé kontroll személyek illesztése a háziorvosok segítségével,
 - a betegek és a kontroll személyek családjában előforduló megbetegedések, életmódi rizikófaktorok, foglalkozáshoz kapcsolódó kockázatok leírása a vizsgálati protokollban szereplő kérdőív kitöltése révén.
3. A vizsgálat alapadatbázisának felépítése a háziorvosok által kitöltött kérdőívek alapján.
4. Az adatbázis feldolgozása során olyan korrigált esélyhányadosok előállítás, melyek az erőmű közelségének önálló megbetegedési kockázatonövelő szerepét zavaró tényezők hatásaitól megtisztított formában mutatják be.
5. Az erőmű potenciális pontforrás szerepét értékelő, az egyes vizsgálati végpontokon kapott eredmények együttes értékelését tartalmazó jelentés összeállítása.

A háziorvosok az onkológiai betegségben szenvedő pácienseik gondozásában fontos szerepet töltenek be. Ezért volt lehetőség a daganatos betegekkel kapcsolatos információk beszerzésére ebből a forrásból. A betegek mellé a háziorvos olyan nem daganatos páciensének is meg tudta adni az adatait, aki életkorát, nemét és képzettségét tekintve megfelelt a daganatos betegének. Lényegében eset-kontroll adatbázis kialakítására került tehát sor.

A daganatokra ható kockázati tényezők leírásához nem fejlesztettünk saját kérdőívet, hanem a Nemzetközi Egészségügyi Világszervezet (WHO) CINDI projektje által kidolgozott, validált illetve publikált, emiatt szabadon felhasználható kérdéseket fordítottuk le. A kérdőívet Magyarországon is kiterjedten használják. Nem volt szükség még a megfogalmazások szintjén sem adaptációs munkára.

Mivel a kérdőív önbevallásos alapon került kitöltésre, egyes kérdésekre megtagadhatták a választ a vizsgálatban résztvevők. Néhány esetben ezért a kérdőívek nem voltak teljesen kitöltve, és a vizsgálatban résztvevő kockázati tényezői nem voltak teljesen megítélhetők. Az egyes kérdésekre való válaszmegtagadás oka kapcsolatban lehet valamilyen daganatkezelés szempontjából fontos kockázati tényezővel, azokat a kérdőíveket, melyek kitöltési hiányai nem technikai hibának voltak köszönhetőek, kizártuk a tényleges adatfeldolgozásból.

20.3.2.1 Adatok feldolgozása

Az életkort korévre számítottuk. Az adatfeldolgozáskor dichotomizált változókra volt szükségünk, ezért egy adott életkorhoz képest fiatalabb és idősebb populációt határoztunk meg. A küszöb a 70. életév volt.

A képzettség az általános társadalmi-gazdasági státusz közelítő jellegű leírására alkalmazható paraméter a széleskörű epidemiológiai tapasztalatok alapján. A vizsgált mintát két csoportra osztottuk a befejezett középiskolai képzésnek megfelelően. Alacsonyabban képzettnek a befejezett középiskolai tanulmányokkal nem rendelkezőket definiáltuk.

Férfi és női nemet különböztettünk meg.

A daganatok kialakulása szempontjából a régebbi tartós, rendszeres dohányzásnak van jelentősége, ezért a kérdőívek adatai alapján két csoportot alakítottunk ki. Az egyikbe azok a résztvevők kerültek, akik vagy jelenleg és régebben is rendszeresen dohányoztak vagy ma már nem dohányoznak, de régebben rendszeresen dohányoztak. A másik csoportba azok kerültek, akik soha nem dohányoztak rendszeresen.

A kérdőíven szereplő kérdések alapján az olyan munkaköröket lehetett azonosítani, ahol valamilyen speciális védőeszközt kellett használni. A védőeszköz a potenciális munkahelyi egészségkárosító hatás jelzője. A tényleges expozíció leírása alapján pedig azok a vizsgálati alanyok voltak azonosíthatók, akik ionizáló sugárzás szempontjából veszélyes munkahelyen dolgoztak és valamilyen védőfelszerelést/ruhát kellett viselniük. Ez utóbbi csoportot definiáltuk munkahelyi sugárexpozícióval veszélyeztetettnek.

A daganatok mögött sokszor az egyes családokra jellemző genetikai tulajdonságok állnak, amik miatt a daganatok a családban halmozottan fordulnak elő. Emellett a jelenlegi vizsgálat a külső expozíciók kockázatonövelő szerepére fókuszált, így szükség volt a halmozott családi daganat-előfordulás, a genetikai konstitúció szerepének kontrollálására.

Akkor tekintettük pozitívnak valakinek a családi anamnéziséét, ha legalább egy első fokú rokonánál (szüleinél, testvérénél, gyerekénél) diagnosztizáltak már daganatot.

A kontroll csoport kiválogatásánál a háziorvos számára kézenfekvő megoldás volt a rendelőben megjelenő nem daganatos páciensek közül kiválasztani a korban, nemben és képzettségben illeszkedő kontrollt. Torzító hatást engedünk ezzel a megoldással a vizsgálatba, hiszen akik felkeresik az orvost azok eleve betegek és nem a teljes nem daganatos népességet reprezentálják. Mivel a legnagyobb számban a krónikus degeneratív betegségben szenvedők látogatják a háziorvosokat, a cukorbetegség, az ischaemiás szívbetegség és a magas vérnyomás túlréprezentált a kontroll mintában. Ezeknek a népegészségügyi szempontból jelentős súlyú betegségeknek vannak olyan rizikófaktorai, melyek a daganatok szempontjából is kockázat növelők. Ezért a rájuk vonatkozó adatgyűjtés és hatásuk figyelembe vétele a számítások elvégzésekor feltétlenül szükséges volt.

A (potenciális) lakókörnyezeti expozíciókat a vizsgálatban résztvevők lakóhelyének az erőműtől való távolságával lehet közelítő jelleggel leírni. A települések centrumát használtuk a települések közötti távolság meghatározásakor. Ennek alapján a Pakstól 20 km-nél távolabb lakókat nem exponálnak a közelebb lakókat pedig (potenciálisan) exponálnak tekintettük.

A vizsgálatban arra kerestünk választ, hogy van-e kapcsolat a daganatos megbetegedések előfordulása és a potenciális atomerőművi expozícióval korreláló lakóhely-erőmű távolság között. A számított kapcsolati mérőszám az esélyhányados volt, ami szemléletesen azt mutatja meg, hogy hányszor nagyobb a daganatos megbetegedések előfordulási esélye az erőmű közelében élők között, mint a távolabb élő referencia népességben.

Alapesetben „a” számú daganatos vizsgálati alany él az erőmű közelében és „c” számú pedig attól távolabb. A nem daganatos (kontroll) személyek száma az erőmű közelében „b”, az erőműtől távolabb pedig „d”. A megbetegedés esélye az erőmű közelében tehát „a/b”, az erőműtől távolabb pedig „c/d”. A két esély hányadosa („ad/cb”) fejezi ki, hogy van-e szerepe az erőműtől való távolságnak a megbetegedési esély kialakításában.

	erőműhöz képest	
	közeli	távoli
daganatos	a	c
kontroll	b	d
daganat előfordulás esélye:	a/b	c/d
esélyhányados:	ad/cb	

Ha az erőmű közelsége növeli a daganat kialakulásának kockázatát, akkor az esélyhányados 1 feletti értékű. Ha az erőmű közelsége protektív hatású, azaz csökkenti a daganatok előfordulásának gyakoriságát, akkor ez az 1 alatti esélyhányadosban mutatkozik meg. Ha nincs kapcsolat az erőműtől való távolság és a daganat gyakoriság között, akkor az esélyhányados éppen 1.

A semleges viszonyra tehát az esélyhányados 1-es értéke utal. Egy-egy számított esélyhányados a mintavételi daganatok incidenciája és a betegek lakóhelyének elhelyezkedése között. Annak eldöntésére, hogy az adott esélyhányados 1-től való eltérése szignifikáns vagy véletlenül magyarázható statisztikai tesztet alkalmazhatunk vagy megadhatjuk az esélyhányados 95%-os megbízhatósági tartományát. Az esélyhányados révén a daganatgyakoriságot növelő (szignifikánsan 1 feletti esélyhányados), a daganatgyakoriságot csökkentő (szignifikánsan 1 alatti esélyhányados) és a daganatgyakoriságra nem ható (1-től szignifikánsan nem eltérő) hatótényezőket tudunk megkülönböztetni. Természetesen minden kockázati tényezőre és minden daganattípusra külön-külön megadhatóak ezek az esélyhányadosok.

A valóságban a daganatképződésre sok tényező hat. Ezek együttes hatásának leírására többváltozós statisztikai eljárásokat alkalmazunk, melyek végeredményben kockázati tényezőként adják meg az esélyhányadosokat. A vizsgálat során logisztikus regressziós elemzésekkel állítottuk elő a kockázati tényezőkénti esélyhányadosokat minden daganattípusra. A statisztikai interpretációhoz pedig a 95%-os megbízhatósági tartományokat illetve a semleges értéktől (az 1-es esélyhányadostól) való eltérést vizsgáló szignifikancia teszt eredményét (p) adtuk meg.

20.3.2.2 A vizsgálatban használt daganatos megbetegedési csoportok

A vizsgálatban használt daganatos megbetegedési csoportok:

- Ajak, szájüreg és garat rosszindulatú daganatai
- Gyomor rosszindulatú daganatai
- Vastagbél rosszindulatú daganatai
- Végbél rosszindulatú daganatai
- Gége rosszindulatú daganatai
- Tüdő rosszindulatú daganatai
- Emlő rosszindulatú daganatai
- Méhnyak rosszindulatú daganatai
- Prosztata rosszindulatú daganatai
- Vese rosszindulatú daganatai
- Húgyhólyag rosszindulatú daganatai
- Agy rosszindulatú daganatai
- Limfómák
- Leukémiák
- Egyéb daganatok

20.3.2.3 A háziorvosok bevonásának összefoglaló értékelése

A háziorvosok bevonásánál olyan vizsgálati megközelítést alkalmaztunk, amely lehetővé tette, hogy a daganatok kialakulására ható kockázati tényezők hatásainak korrekciója révén, önmagában az atomerőműből származó expozíció daganatos kockázat befolyásoló képességét számszerűsítsük.

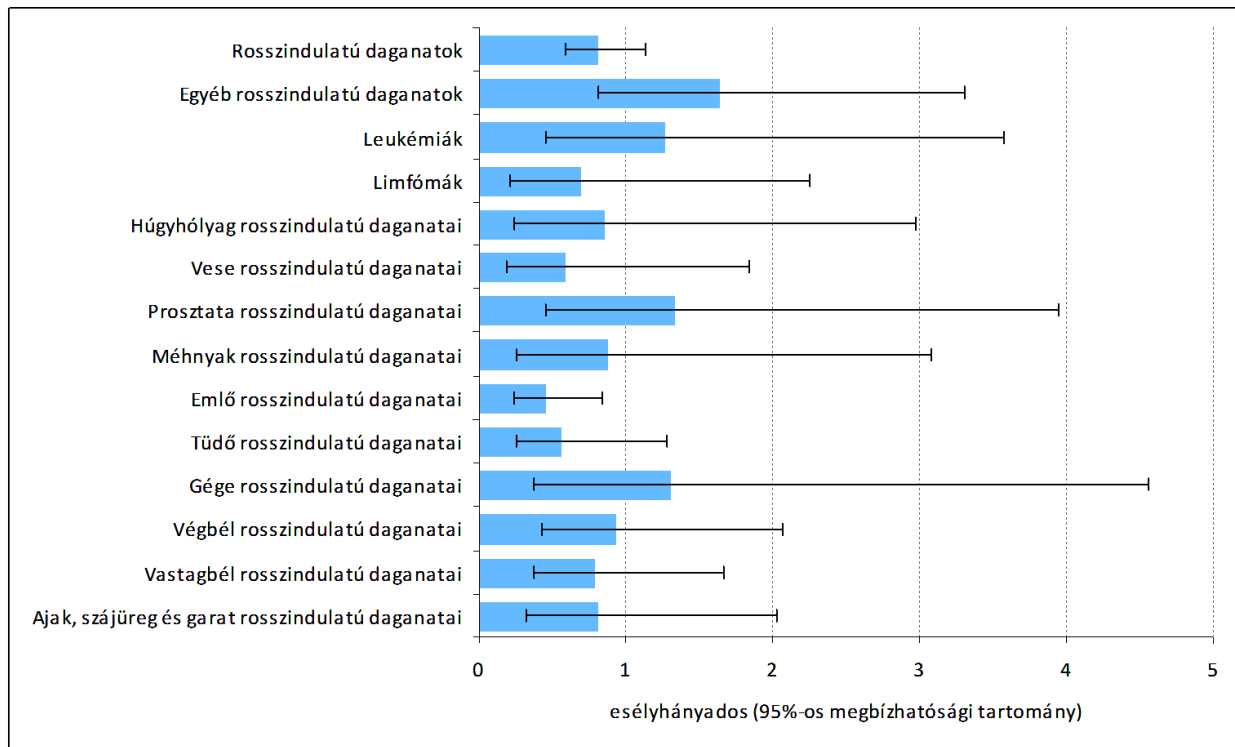
A vizsgált expozíciót (a Paksi Atomerőműből a környezetbe kerülő ionizáló sugárzás dóziséját) közvetlen mérési adatai helyett, a vizsgálati alanyok lakóhelye és az atomerőmű közötti távolsággal becsültük meg. A kiváltott egészségkárosodás a daganatos megbetegedések háziorvos által regisztrált incidenciája volt. A kontrollált egyéb kockázati tényezők a következők voltak: kor, nem, képzettség, dohányzás, foglalkozási sugárterhelés, családi daganatos halmozódás, cukorbetegség, magas vérnyomás, ischaemiás szívbetegség.

A vizsgálat során 3 megye, a Paksi Atomerőműhöz képest 30 km-nél közelebb elhelyezkedő településeinek folytatták a háziorvosok az adatgyűjtést, nemzetközi standardok alapján összeállított kérdőív segítségével. A háziorvos az általa gondozott, 2010. január 1. és 2012. december 31. közt diagnosztizált, felnőtt daganatos betegeiről kitöltötte az adatlapot, majd korban, nemi és képzettségben megfelelő nem daganatos kontroll pácienszt választott, akiről szintén elkészítette az adatlapot.

A feldolgozás során daganat típusonként elemeztük a rizikófaktorok hatását. Leírást készítettünk az eset és a kontroll populációról, majd meghatároztuk az egyes rizikófaktorok kockázat befolyásoló szerepét multiplex logisztikus regresszió segítségével.

A kockázati tényezők elemzése során részben olyan eredményeket kaptunk, melyek az adott daganat természetével jó összhangban voltak (dohányzás növeli a gégerák, tüdőrák, fej-nyaki daganatok és a húgyhólyagrak kialakulásának esélyét), illetve, amik a minta válogatás hatásait tükrözték. (Mivel kor, nem, képzettség szerint illesztett kontrollok segítségével épült fel az adatbázis, a tökéletes illesztés mellett nem láthattuk volna ezeknek a faktoroknak a kockázatbefolyásoló tulajdonságát annak ellenére, hogy az nyilvánvalóan megvan. Ugyanakkor, a háziorvos a nem daganatos betegek közül válogatott kontrollokat, ezért a kontroll csoportban a teljes nem daganatos populációhoz képest felülreprezentáltak voltak a gyakori betegségekben szenvedők. Ennek hatására mutatkozott sok elemzésben protektív tényezőnek a magas vérnyomás betegség, ami pedig nyilván nem rendelkezik daganatos kockázat csökkentő tulajdonsággal.)

Az egyes daganatos lokalizációk értékelése során általában nem láttunk pozitív kapcsolatot a Paksi Atomerőmű közelsége és a daganatok előfordulása között. Az emlőrák esetében a statisztikai feldolgozás szignifikáns gyakoriságcsökkenést láttunk az erőmű közelében. Sok daganatos lokalizáció vizsgálatára került sor, ezért az esélyhányadosok eloszlásának értékelése teszi csak lehetővé az erőmű hatásának értékelését. A daganattípusonkénti esélyhányadosok a semleges érték körül egyenletesen szóródnak (20.3.2-1 ábra).



20.3.2-1. ábra: Az életkorra, nemre, dohányzásra, képzettségre, foglalkozási sugárterhelésre, családi halmozódásra és egyes gyakori betegségekre (cukorbetegség, magas vérnyomás, ischaemiás szívbetegség) korrigált esélyhányadosok (95 %-os megbízhatósági tartományokkal) a 20 km-es hatásterületen belül élők megbetegedési esélyéről a hatásterület erőműtől számított 20-30 km-es zónájában élőkhez képest daganat típusonként

(Az ábrán kék oszlop az esélyhányados, ami szemléletesen azt mutatja meg, hogy hányszor nagyobb a daganatos megbetegedések előfordulási esélye az erőmű közelében élők között, mint a távolabb élő referencia népességben (a fekete bárvonál az oszlopok tetején a 95%-os megbízhatósági tartományt mutatja.)

A vizsgálati eredmények együttes értékelése tehát arra mutat, hogy az erőmű környékén tapasztalható daganatos megbetegedési kockázatot nem növeli az erőmű közelsége.

A vizsgálatban fontos kockázati tényezőket kontrolláltunk, ezért a negatív konklúziót nem magyarázhatja még elvben sem az egyéb kockázati tényezők területi mintázata.

Összességében megállapítható, hogy a vizsgálat nem talált daganatos megbetegedési kockázatnövekedést a Paksi Atomerőmű közelében élők között.

20.4 A TELEPHELY 30 KM-ES KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG JELENLEGI SUGÁRTERHELÉSE

A lakosság sugárterhelésének becslése a következők szerint történt:

- A telephelyen lévő, jelenleg üzemelő nukleáris létesítmények radioaktív kibocsátási adatai, a direkt és szórt sugárzás dózisteljesítményei, a nukleáris környezetellenőrzés adatai alapján megbecsültük a lakossági sugárterhelését.
- Az egyéb mesterséges forrásokból származó sugárterhelés becsléséhez figyelembe vettük a különböző tevékenységekből, így a radioaktív hulladék elszállítás, friss és kiégett fűtőelem szállítás, sugárforrások mozgatása a telephelyen belül és ipari radiográfiás vizsgálatokból eredő mesterséges sugárterheléseket is.

A sugárterhelés becslését a telephely 30 km-es környezetére, 11 év adatainak felhasználásával és nemzetközileg elfogadott módszerekkel, programokkal végeztük el.

20.4.1 A VIZSGÁLAT ÉS AZ ÉRTÉKELÉS MÓDSZERTANA

A feladat végrehajtásához kiegészítő terepi mérésekre nem volt szükség, az értékelést a meglévő (és átadott) adatok összegyűjtésével, rendszerezésével és elemzésével hajtottuk végre. A vizsgálat és az értékelés célja, hogy a telephely környezetében élő lakosság sugárterhelését a jelenlegi forrásokból meghatározzuk és értékeljük. A vizsgálat és az értékelés kritériuma, hogy a környezet hatásvizsgálati dokumentumokhoz a radiológiai elvárásokat (lakosság sugárterhelésének korlátjának betartását) teljesítsük és a telephely engedélyezéshez szükséges adatbázist összeállítsuk.

A lakosság sugárterhelésének becsléséhez a radioaktív anyagok terjedését meghatározó (technológiai, meteorológia, geológiai, stb.) telephelyi és környezeti jellemzők meghatározása után scenáriókat dolgoztunk ki a feltételezett kibocsátásokra. A scenáriók a légkörbe, felszíni és felszín alatti vizekbe történő kibocsátásokat, illetve ezek kombinációját tartalmazták. A sugárterhelés becsléshez figyelembe vettük még a különböző tevékenységekből, forrásokból eredő sugárterheléseket is, így a radioaktív hulladék elszállítását, friss és kiegészítő fűtőelem szállítást, sugárforrások mozgatását a telephelyen belül és ipari radiográfiás vizsgálatokat. Megjegyeznénk, hogy a Paksi Atomerőműtől közvetlen származó szórt és direkt sugárzás gyakorlatilag elhanyagolható. Minthogy a dózisteljesítmény mérési adatok háttér tartományba esnek, ebből kifolyólag ezekből lakossági sugárterhelést nem lehet számolni a nukleáris létesítményekre vonatkoztatva. A lakosságot elsősorban a fűtőelemek mozgatásából és egyéb sugárforrásokból érheti nagyobb direkt és szórt sugárzás, így ezért ezekre végzünk modell számításokat.

A modellezett scenáriók alapján meghatároztuk a kritikus csoport potenciális sugárterheléseit az egyes, illetve a megfelelőképpen összevont esetekre. A sugárterhelés becslését nemzetközileg elfogadott módszerekkel, programokkal végezzük el, s ezekhez az ICRP és IAEA (NAÜ) ajánlásait és adatait használtuk fel.

A számítások alapján értékeltük, hogy a dózismegszorításban meghatározott dózis megfelel-e a Paksi Atomerőmű és a KKÁT üzemeltetéséhez a kritikus (csámpai és gerjéni gyermek lakosságot magába foglaló hipotetikus csoport) lakosságra nézve. Ezt az értéket 1998-ban határozták meg 100 $\mu\text{Sv}/\text{év}$ értékben, aminek a 90 %-át a Paksi Atomerőmű, míg 10 %-át a KKÁT használhatja ki.

20.4.1.1 Léggöri kibocsátásból származó terjedés és sugárterhelés

A léggöri terjedés leírására a normál üzemi számítások során a nemzetközi ajánlásokon alapuló ún. szektor-átlagolt Gauss-féle csóvamoddellen alapuló eljárást használtuk. A módszer hosszú időre (pl. 1 évre) állandó átlagos léggöri viszonyokat feltételez a forrás közelében, a levegőben a talajfelszín felett kialakuló nuklid koncentrációt, illetve a talajfelszíni depozíciót számítjuk vele. Az üzemzavari terjedéshez az előzőhöz hasonló modellt használtunk, amely egy adott ideig tartó állandó kibocsátás és meteorológiai viszonyok mellett adja meg a koncentrációkat.

A szárazföldi tápláléklánc egyes komponensei szennyeződésének leírása az ún. koncentráció-faktor technikán alapult. A növényzet szennyezettségének leírásakor a modell figyelembe veszi a növényzet felületére történő külső depozícióból illetve a hosszú felezési idejű izotópok esetén azok gyökérszinten keresztüli felszívódását is. Az állati termékek szennyezettségének becslésekor a modell erősen konzervatív, mivel a felhasznált takarmány kizárólag a helyben termelt, szennyezett növényekből kerül ki. A koncentráció faktorok a nemzetközi szakirodalomból származnak, míg a növényekre és állatokra vonatkozó paramétereket magyarországi mezőgazdasági adatokból határoztuk meg.

A fentiek alapján számított koncentrációkból az alábbi dózisosokat határozzuk meg:

- külső sugárterhelés
 - bemerülési gamma-dózis
 - talajfelszíni gamma-dózis
 - reszuszpenzióból származó gamma-dózis
 - bemerülési béta-dózis (bördózis)
- belső sugárterhelés
 - inhalációból származó dózis
 - reszuszpenzióból származó inhalációs dózis
 - élelmiszer fogyasztásból származó lenyelési dózis

A módszer hat korcsoport dózisainak meghatározását is lehetővé teszi.

A használt modellek és főbb paramétereik forrása elsősorban az IAEA Safety Series No. 57 [20.4-2] és az IAIE Safety Report Series No. 19 kiadványok, a belégzési és lenyelési dózistényezőket az IAEA Safety Series No. 15, a korcsoportos külső-gamma dózistényezőket az FZK GSF 12/90 tartalmazza.

20.4.1.2 Vízi kibocsátásból származó sugárterhelés

A Dunába történő kibocsátást leíró modell figyelembe veszi, hogy az oldalirányú elkeveredés – a kibocsátási ponttól nagy távolságban is – csak részlegesen valósul meg. A hidrológiai paraméterekből meghatározhatók a távolságfüggő, ún. részleges elkeveredési korrekciós tényezők, amelyek megadják, hogy a dunai kibocsátási ponttól adott távolságban, a jobb parton hányszor lesz nagyobb a radionuklidok koncentrációja a teljes elkeveredéshez képest.

A folyóvízi terjedést, illetve az aktivitáskoncentrációkat befolyásolja a szedimentumhoz való kötődés is. Konzervatív megközelítésként a szedimentáció aktivitáskoncentráció-csökkentő hatását a számításokban elhanyagoltuk.

A terjedési modellhez kapcsolódó tápláléklánc- és dozimetriai modell komplex hasznosítást feltételezve a következő besugárzási útvonalakat veszi figyelembe:

- külső sugárterhelés
 - a szennyezett víztömegektől,
 - az elszennyeződött folyóparttól, és
 - az öntözött talajtól;
- belső sugárterhelés
 - az ivóvíz,
 - a hal,
 - az öntözött növények, és
 - az itatás, illetve öntözött növényekkel történő takarmányozás miatt elszennyeződött állati eredetű élelmiszerek fogyasztásából.

A számításokhoz szükséges paramétereket a következőképpen csoportosíthatók:

- átviteli tényezők (koncentráció faktorok),
- életmód jellemzők (környezethasznosítás),
- ivóvíz- és élelmiszer-fogyasztási adatok,
- külső sugárzások dóziskonverziós tényezői.
- lenyelési dózistényezők.

A fenti paraméterek forrása elsősorban az IAEA Safety Reports Series No. 19 kiadványa [20.4-1], amelyet hazai fogyasztási és becsült életmód jellemzőkkel egészítettünk ki. Egyes radionuklidok átviteli tényezőit az IAEA Technical Reports Series No. 472 [20.4-4], lenyelési dózistényezőit pedig az IAEA Safety Series No. 115 és IAEA General Safety Requirements Part 3 ajánlásokból; a szennyezett víztömegektől származó külső sugárterhelés számításához szükséges dóziskonverziós tényezőket az US Federal Guidance Report No. 12 kiadványból vettük.

20.4.1.3 Egyéb források - külső sugárterhelés

A feladatban megbecsültük a lakosságot érő sugárterhelést az egyes külső besugárzási útvonalakon és összevetjük az elérhető mérési adatokkal.

Számítógépes modellt készítettünk a különböző tevékenységek szimulációjára az elérhető adatok alapján, valamint a Paksi Atomerőmű és a KKÁT végleges biztonsági jelentéseit is felhasználjuk.

A forrás meghatározásánál a vizsgálni kívánt tevékenységhez tartozó izotóparányokat használtuk fel. A szimulációkhoz az MCNP5 nevű programot használtuk, ami egy nemzetközileg elismert, háromdimenziós neutron- és gammatranszport kód. A program Monte Carlo módszer segítségével számolja végig a részecskék pályáját, amely azon alapszik, hogy véletlen számok segítségével kisorsolja a részecske irányát, helyét, hogy reakcióba lép-e az adott magreakció hatáskeresztmetszete alapján és hogy a reakció eredményeképpen hogyan változik az iránya, energiája, illetve milyen új részecskék keletkeznek. A modellekhez annyi részecskét indítunk, hogy a kapott eredmény hibája többnyire 5 % alatti legyen, esetenként így a modellezésben ez akár több milliárd részecskét is jelenthet.

Az egyéb forrásokból a számítások a következőkre terjedtek ki:

A külső sugárterhelés számításai a mesterséges sugárforrásokból következőkre terjed ki:

- *Radioaktív hulladékok elszállítása*
- *Felszabadított radioaktív hulladékok szállítása*
- *Friss fűtőelem telephelyre szállítása*
- *Kiégett fűtőelem szállítása a KKÁT-ba*
- *A telephely területén szennyezett eszközök, sugárforrások mozgatása*
- *Ipari radiográfiás vizsgálatok*

ELFOGADHATÓSÁGI KRITÉRIUMOK

A feladat végrehajtása során meghatározó kritérium, hogy a jelenlegi lakossági sugárterhelést bemutassuk „A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII.25.) Kormányrendelet” alapján, valamint a telephely engedélyeztetéshez a szükséges elemzéseket a „118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, NBSZ 7. kötet” szerint elvégezzük és az elvart adatbázist összeállítjuk.

A lakossági sugárterhelés számításoknál olyan input mérési eredmények használhatók fel, amelyeket akkreditált mérésekkel végeztek. A számításokhoz nemzetközileg (NAÜ, EU) elfogadott adatokat, számítási formulákat és programokat lehet felhasználni.

20.4.2 A LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSÉNEK SZÁMÍTÁSA

20.4.2.1 Radioaktív izotópok légköri terjedése

Terjedés normál üzemvitel esetén

A légköri kibocsátásból származó légköri terjedés, a szárazföldi tápláléklánc-elemek koncentrációinak és az egyes besugárzási útvonalakból származó sugárterheléseknek a meghatározása a főként az IAEA Safety Series No. 57 [20.4-2] és az IAEA Safety Reports Series No. 19 [20.4-1] kiadványokban leírt modelleken alapuló saját fejlesztésű "SS57" nevű programcsomaggal történik.

A számítás során az ún. szektorra átlagolt Gauss-féle csóvamoddellen alapuló eljárást használjuk. A nemzetközi ajánlásokon alapuló, a világ sok országában összegyűlt tapasztalatokat egyesítő, a rutinszerű gyakorlat számára egyszerűen használható eljárást alkalmaztunk. A módszer hosszú időre (pl. 1 évre) állandó átlagos légköri viszonyokat feltételez a forrás közelében.

A levegőben a talajfelszín felett kialakuló nuklid koncentrációt illetve a talajfelszíni koncentrációt az alábbi két formula adja meg:

$$C(x, p) = Q \cdot f_r \cdot f_d \cdot f_w \cdot \frac{N}{\sqrt{2 \cdot \pi^2 \cdot x}} \cdot \sum_{j=1}^M \frac{e^{-\frac{H^2}{2\sigma_{zj}^2}}}{\sigma_{zj}} \sum_{k=1}^K \frac{\delta_{pjk}}{u_{jk}}$$

ahol

C(x,p): a levegő-koncentráció a p-ik irányszektorban x távolságra a forrástól (Bq/m³)

Q: a forrás intenzitása (Bq/s)

H: a kibocsátás effektív magassága (m)

N: az irányszektorok száma (16 db)

M: a Pasquill kategóriák száma (6 db)

K: a szélesebbeségi kategóriák száma (8 db)

σ_z : a Pasquill-kategóriától és távolságtól függő diszperziós paraméter (csóva függőleges kiterjedése) (m)

u_{jk} : szélesebbesség a j-ik Pasquill és k-ik szélesebbességi kategóriában (m/s)
 δp_{jk} : a szélgyakoriság a p-ik szektorban a j-ik Pasquill és k-ik szélesebbességi kategóriában (-)
 f_r, f_d, f_w : a bomlásból, a depozícióból és kimosódásból eredő redukáló tényezők (-).

$$\Phi(x, p) = C(x, p) \cdot (v + W \cdot I_p) \cdot \left(\frac{1 - e^{-\lambda \tau}}{\lambda} \right)$$

ahol

$\Phi(x, p)$: a depozíció a p-ik szektorban x távolságra (Bq/m²)
v: a kihullás sebessége (m/s)
W: a kimosódási állandó (-)
 I_p : a csapadékintenzitás a p-ik szektorban (m/s)
 λ : a bomlási állandó (1/s)
 τ : a vizsgált időtartam (s).

A képlet segítségével lehet folyamatos kibocsátás mellett a stacionárius koncentrációt, illetve az éves depozíciót kiszámítani.

Terjedés üzemzavari körülmények között

A légköri koncentrációt ebben az esetben a következő formula adja meg egy adott ideig tartó kibocsátás esetén, meghatározott meteorológiai viszonyok mellett:

$$C(x, z) = \frac{Q \cdot f_r \cdot f_d \cdot f_w}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot T \cdot u} \cdot \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

ahol

C(x, z): a légköri koncentráció a csóva középpontjában forrástól x távolságra z magasságban (Bq/m³)
Q: a kibocsátott mennyiség (Bq)
 σ_y, σ_z : az y és z irányú csóvaszélességek (m)
T: a kibocsátás időtartama (s)
u: szélesebbesség (m/s)
(a többi paraméter a fentiekkel egyező).

A C(x, z)-t egy stacionárius állapottal közelítjük, ami az üzemzavar időtartama alatt időben állandó koncentrációt feltételez.

A szárazföldi tápláléklánc

A szárazföldi tápláléklánc egyes komponensei radioaktív anyag tartalmának leírása az ún. koncentráció-faktor technikán alapul. A növényzet aktivitáskoncentrációjának leírásakor a modell figyelembe veszi a növényzet felületére történő külső depozíciót, illetve a hosszú felezési idejű izotópok esetén azok gyökérzetten keresztüli felszívódását is. Az állati termékek aktivitáskoncentrációjának becslésekor a modell erősen konzervatív, mivel a felhasznált takarmány kizárólag a helyben termelt növényekből kerül ki. A koncentrációfaktorok a nemzetközi szakirodalomból származnak, míg a növényekre és állatokra vonatkozó paramétereket magyarországi mezőgazdasági adatokból határoztuk meg.

A dózisok számítása

A külső bemelegítési dózisok számítása az alábbi általános formula alapján történik:

$$E_{mer} = c \cdot DF_{bem} \cdot t \cdot R$$

ahol

- c: a légköri koncentráció (Bq/m³)
- DF_{bem}: a megfelelő dóziszfaktor (Sv m³/(Bq s))
- t: a csóvában tartózkodás ideje(s)
- R: a szabadban, ill. épületben tartózkodás arányát figyelembe vevő redukciós tényező (-)

Talajfelszíni gamma dózissnál a koncentráció helyett depozíció szerepel, míg a t a vizsgált ott tartózkodási időtartam.

A belélegzésből származó dózist az alábbi formula adja meg:

$$E_{leg} = c \cdot V \cdot DF_{bel} \cdot t \cdot R$$

ahol

- V : a légzésteljesítmény (a többi paraméter ugyanaz, mint fent, t a csóvában tartózkodási idő) (m³/s) .
- DF_{bel}: a belélegzési dózistényező (Sv/Bq)
- (a többi paraméter ugyanaz, mint fent).

Egy adott élelmiszer lenyeléséből származó sugárterhelést a következő képlet adja meg:

$$E_{leny} = c \cdot F \cdot DF_{le} \cdot t$$

ahol

- c: az élelmiszerre számolt koncentráció (Bq/kg)
- F: a fogyasztás az adott élelmiszerből (kg/s)
- DF_{le}: a lenyelési dózistényező (Sv/Bq)
- t: a fogyasztás időtartama (s).

A számítás során figyelembe vettük a reszuszenzióból származó dóziseket és a leányelemek hatását is. A módszer több korcsoport meghatározását is lehetővé teszi.

A légköri kibocsátásokból számolt lakossági sugárterhelés

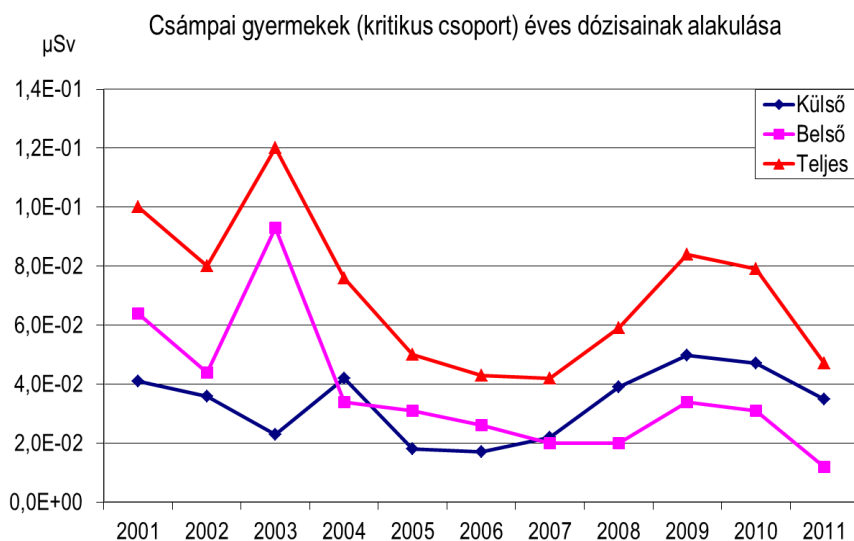
A légköri terjedésből származó dózisek konzervatív becsléséhez először a HAKSER [20.2-10] és ÜKSER jelentések alapján megvizsgáltuk, hogy a 2001-2011 közötti időszakban a lakosság kritikus csoportja (csámpai gyermek) melyik évben kapta az erőmű légköri kibocsátásaiból származó legmagasabb sugárterhelést, a 20.4.2-1 táblázatban megadtuk ezeket a vizsgált időszakra.

Ugyan a 2003-as 116 nSv érték (20.4.2-1. táblázatban *- jelölés) a legmagasabb, de az ekkor történt üzemzavar miatt nem volt egyértelműen elkülöníthető a normál üzemi dózis a teljes dózistól, ezért inkább a 2009 évi (második legnagyobb) értéket választva a légköri terjedésből származó jellemző, de még konzervatív sugárterheléseket a 2009-es év kibocsátásaiból és meteorológiai paramétereiből számítottuk.

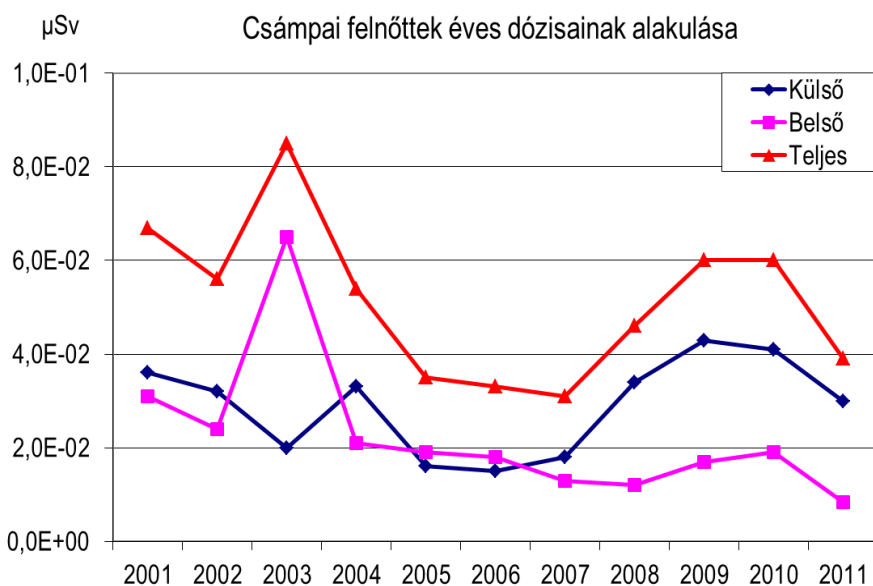
Év	Teljes dózis nSv
2001	25
2002	79
2003	116 *
2004	73
2005	50
2006	43
2007	42
2008	59
2009	85
2010	78
2011	47

20.4.2-1. táblázat: Az erőmű légköri kibocsátásaiból származó sugárterhelés

A PA légköri kibocsátásokból származó sugárterhelések számítását a 2001-2011 közötti időszak minden évre elvégeztük. A csámpai gyermek (kritikus csoport) és felnőtt korcsoportra vonatkozó számításokat a 20.4.2-1 ábra és a 20.4.2-2 ábra mutatja. Az üzemzavari évtől eltekintve 2001 és 2007 között a teljes sugárterhelés folyamatos csökkenést mutatott, ezt követően emelkedés jelentkezett 2009-ig (a 2010-11-es értékek már újra csökkenést mutattak).



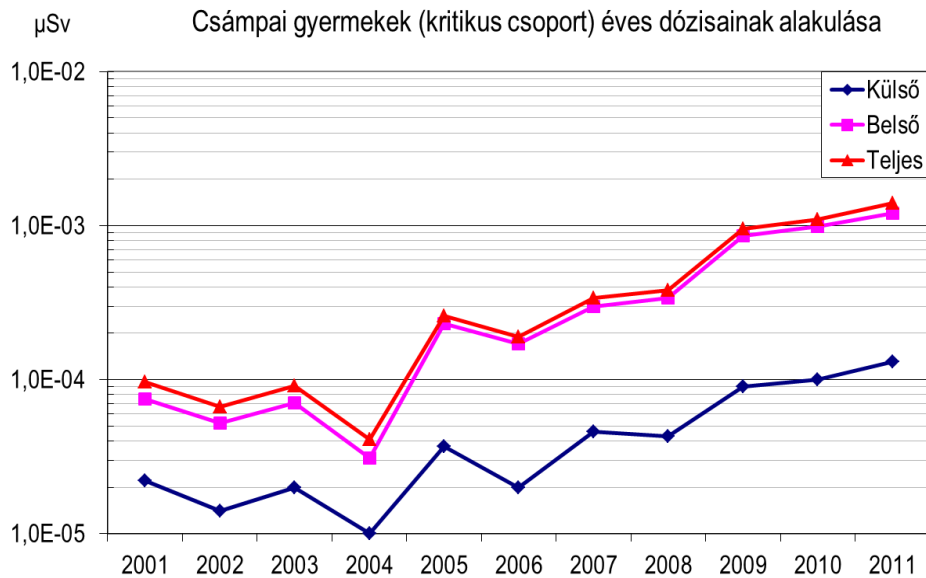
20.4.2-1. ábra: Csámpai gyermekek (kritikus csoport) éves dózisainak alakulása az erőművi kéménykibocsátásokból



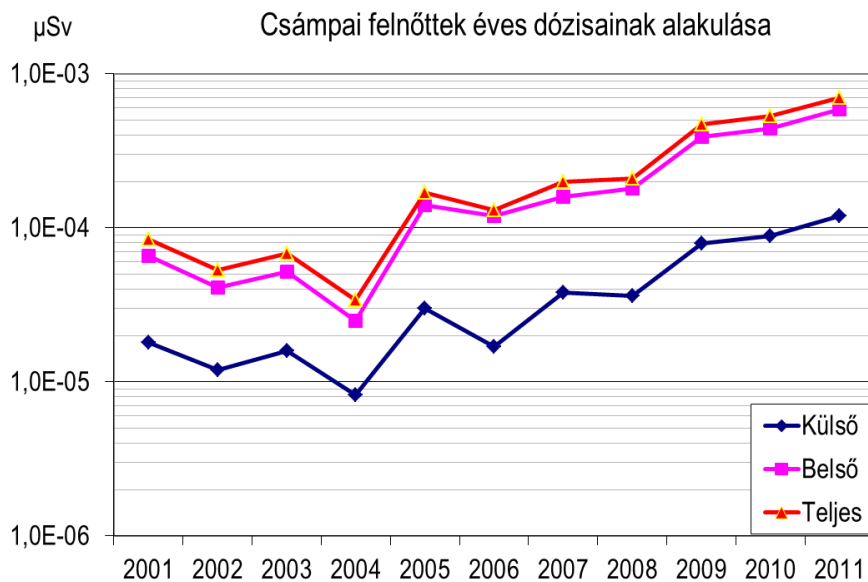
20.4.2-2. ábra: Csámpai felnőttek éves dózisainak alakulása az erőművi kéménykibocsátásokból

A számításokat elvégeztük a KKAT 2001-2011 közötti kibocsátásaira is a Paksi Atomerőmű légköri kibocsátásokhoz használt kiindulási feltételekkel megegyező módon, kivéve a kibocsátás 20 m-es magasságát és az ehhez tartozó 20 m-re vonatkozó évenkénti szélgyakoriság mátrixokat.

Az alábbi ábrákon (20.4.2-3. ábra és 20.4.2-4. ábra) mutatjuk be a Csámpai lakosság dózisainak évenkénti alakulását. Az enyhe emelkedés az két oknak tudható be az egyik a pontosabb kibocsátási mérőrendszer használata, a másik a növekvő kiégett fűtőelem szám.



20.4.2-3. ábra: Csámpai gyermekek (kritikus csoport) éves dózisainak alakulása a KKAT kibocsátásaiból



20.4.2-4. ábra: Csámpai felnőttek éves dózisainak alakulása a KKAT kibocsátásaiból

20.4.2.2 Vízi kibocsátásból származó sugárterhelés

Aktivításkoncentrációk számítása a vízi környezetben

Folyóvízi terjedés számítása

A folyóvízbe kibocsátott radioaktív anyagok – miközben a befogadó közeggel együtt terjednek – koncentrációja diffúziós, szedimentációs folyamatok és a radioaktív bomlás miatt csökken. A felhasználás helyén - pontosabban annak valamilyen környezetében - a radionuklidok fizikai, kémiai folyamatok révén kötődnek a környezeti elemekhez, illetve beépülnek a biológiai szervezetekbe, szövetekbe. Ezt követően a radionuklidok a fizikai, biológiai anyagokkal terjednek a különböző, ún. besugárzási útvonalakon keresztül.

Az atomerőműből történő folyékony kibocsátások végül a Dunába, mint befogadó víztömegbe kerülnek. Konzervatív megközelítés, ha a közbenső szakaszon – gyűjtőtartályok, melegvíz csatorna – a hígulási, szedimentációs folyamatokat

elhanyagoljuk (a radioaktív bomlás a Dunával való terjedés során is elhanyagolható, csak a kiülepedett radionuklidok esetén kell figyelembe venni).

A folyóvízi hígulás és terjedés leírására alkalmazható legegyszerűbb modell teljes elkeveredést tételez fel. A kibocsátás helyéhez eléggé közel ez a feltevés bizonyosan nem teljesül, így a csóvában nagyobb koncentrációk várhatók, mint a teljes elkeveredéssel számoltak. Ennek mértékét nehéz pontosan megadni, mivel egyrészt igen sok paramétertől függ (kibocsátott víz és befogadó víztömegek, hőmérsékletek, áramlási sebességek stb.), továbbá a probléma matematikai kezelése is meglehetősen bonyolult.

A fentiek miatt, egyszerűsítő közelítésként a radioaktív anyagok Dunában történő hígulásánál, a kialakuló koncentrációk meghatározásánál a IAEA SRS No. 19 kiadvány modelljét használtuk számításainkban.

Ivó- és itatóvíz aktivitáskoncentrációja

SRS No. 19 kiadványban – konzervatív közelítésként – az ivó, illetve itatóvíz aktivitáskoncentrációját a folyóvízével veszik megegyezőnek, azaz a víztisztítás hatását elhanyagolják. Ugyan hazai viszonyok között nem fordul elő a felszíni vizek ivóvízként való használata - valójában itatóvízként történő használatuk sem jellemző -, számításainkban elfogadtuk ezt a konzervatív közelítést.

Öntözött talaj és növényzet aktivitáskoncentrációja

A radionuklid koncentrációját a talajban három alapvető folyamat határozza meg: a kiülepedés, a fizikai bomlás és a talajból történő eltávozás. Az utóbbi több részfolyamatot foglal magában, így a talaj mélyebb – a növények számára nem elérhető – rétegeibe való lemosódást, a növények felvételét és a reszuszpenziót. (A hatások jelentősége ebben a sorrendben csökken.)

A növényzet két úton képes a radioaktív anyagokat felvenni:

- a növény felületére történő kiülepedés, felszívódás, majd a fogyasztásra kerülő részbe való továbbítás,
- a gyökéren keresztül történő felszívódás, majd a fogyasztásra kerülő részbe való továbbítás.

Az első folyamatnál figyelembe kell venni, hogy a kiülepedésnél a növény-talaj határos felületek aránya lesz a meghatározó, továbbá a növény felszínéről a radionuklidok környezeti hatásokra (szél, csapadék) el is távozhatnak.

A fenti két folyamat eredményeként a növénybe került radionuklid koncentrációja a fizikai bomlás következtében csökken (itt figyelembe veendő a tárolási idő, azaz a betakarítás és fogyasztás közötti időtartam is).

Állati termékek aktivitáskoncentrációja

Az állatok radionuklid felvételét a takarmányok esetében az öntözés miatt következik be, az itatóvíznél pedig a közvetlen (folyóvíz – öntözővíz) használata okozza (lásd a korábbi szakaszokban).

A hazai fogyasztási szokásoknak megfelelően a tej esetében csak a tehéntejjel, azaz a tehenre vonatkozó paraméterekkel számoltunk, a SRS No. 19 kiadvánnyal összhangban; a húsfogyasztásnál azonban mind a marha-, mind a baromfi-, mind a sertéshúst, illetve az állatokat jellemző paramétereket figyelembe kellett venni. Mivel az utóbbi két állatfajra a NAÜ újabb kiadványában már nincsenek paraméterek, azokat egy korábbi NAÜ kiadvány alapján állítottuk össze. Természetesen mindez csupán a paraméterekre vonatkozik, a hús aktivitáskoncentrációjának számítása mindhárom esetben azonos módon történik.

Külső sugárterhelés a folyóparton való tartózkodásból

A radionuklid koncentrációjának számítása a parti szedimentumban. A folyópart felületi aktivitáskoncentrációja a következőképpen számolható:

$$C_{S,S} = \frac{(0,1) \cdot (0,001) \cdot K_d \cdot 60 \cdot C_{w,tot}}{1 + 0,001 \cdot K_d \cdot S_S} \times \frac{1 - e^{-\lambda_i \cdot T_e}}{\lambda_i \cdot T_e}$$

ahol,

- 0,1 a parti és egyéb szedimentum K_d értékeinek aránya a szuszpendálódottéhoz viszonyítva,
0,001 a l/kg és m³/kg egységek átváltási aránya,
60 a part menti szedimentum felületi sűrűsége (kg/m²),
 T_e a radionuklid akkumulációjának ideje ($T_e = 3,1 \cdot 10^7$ s).
 K_d szedimentumhoz kötődött és a vízben oldott radionuklidok koncentrációinak arányát jellemző megoszlási tényező ((Bq/kg)/(Bq/l))

A folyóvíz – folyópart (szedimentum) közötti kölcsönhatás révén kialakuló aktivitáskoncentráció számítási eredményéből a folyóparton való tartózkodás (strandolás, napozás) következtében létrejövő külső sugárterhelés számítása:

$$E_m = C_{s,s} \cdot DF_{gr} \cdot O_f$$

ahol

- $C_{s,s}$ a folyópart felületi aktivitáskoncentrációja (Bq/m²),
 $D \cdot F_{gr}$ az i radionuklidra a talajfelszíni dózistényező ((Sv/év)/(Bq/m²)),
 Q_f az expozíció éves időhányada.

Megjegyezzük, hogy egyes modellek a különböző besugárzási geometria miatt - a talajfelszín végtelen síknak tekinthető, míg a folyópart véges kiterjedésű – a fenti egyenletben korrekciós tényezőt alkalmaznak. Számításainkban a SRS No. 19 kiadványhoz hasonlóan ettől eltekintettünk, ez konzervatív közelítést eredményez.

Külső sugárterhelés a folyóvízben való tartózkodásból

Ezt a besugárzási útvonalat a SRS No. 19 kiadvány elhanyagolta. Számításaink szerint járuléka valóban nem számottevő, azonban a teljesség kedvéért befoglaltuk modellünkbe.

A besugárzási útvonal tulajdonképpen két részútvonalra bontható:

- úszás, fürdés (bemerülés a vízbe),
- csónakázás (a vízfelületen való tartózkodás).

A sugárterhelést a következő képlettel számítottuk:

$$E_{im,w} = C_w \cdot DF_{im,w} \cdot g_{im,w} \cdot Q_f$$

ahol

- C_w az i radionuklid aktivitáskoncentrációja a folyóvízben (Bq/dm³),
 $DF_{im,w}$ az i radionuklidra a vízi bemerülési dózistényező ((Sv/év)/(Bq/dm³)),
 $g_{im,w}$ az i radionuklidra a geometriai korrekciós tényező (irodalmi adat: úszásra = 1, csónakázásra = 0,5),
 Q_f az expozíció éves időhányada.

Külső sugárterhelés az öntözött földeken tartózkodásból

A számítás a folyóparton tartózkodás képlettel megegyező módon történik. Figyelembe vettük a talaj felületi aktivitáskoncentrációját, az öntözött területeken való tartózkodás éves időhányadát és a külső besugárzás dóziskonverziós tényezőit.

A belégzésből származó belső sugárterhelés

A radionuklidokat tartalmazó felhőben az ott tartózkodás során nem csak külső, hanem a levegő belégzése révén belső sugárterhelés is fellép. A belső sugárterhelés számítása:

$$E_{inh} = C_A \cdot P_{inh} \cdot DF_{inh}$$

ahol

E_{inh}	a belézésből eredő belső dózis (Sv/év),
C_A	az i radionuklid levegő aktivitáskonzentrációja (Bq/m ³),
P_{inh}	az éves légzésteljesítmény (m ³ /év),
DF_{inh}	az i radionuklidra a belézési dózistényező (Sv/Bq).

Az előbbi egyenlet csak a szabadban való tartózkodás esetén érvényes, épületekben az épület szűrőhatása révén az aktivitáskonzentráció kisebb lesz. A SRS No. 19 kiadvány konzervatív közelítésként feltételezte, hogy a vonatkoztatási csoport tagjai teljes évben a szabadban tartózkodnak. Számításainkban realisabb feltevessel éltünk, és az épületek szűrőhatását is figyelembe vettük. A talajról és növényzetről visszaporló (reszuszpendálódott) radionuklidok belézése által okozott belső sugárterhelés az előbbi képlethez hasonlóan történik.

Az ivóvíz és élelmiszerek fogyasztásából származó belső sugárterhelés

$$E_{ing,p} = C_{p,i} \cdot F \cdot DF_{ing}$$

ahol

$E_{ing,p}$	az i radionuklidra az ivóvíz és élelmiszerek fogyasztásából származó éves, belső dózis (Sv/év),
$C_{p,i}$	az i radionuklid koncentrációja a p élelmiszerben,
F	az éves fogyasztás (kg/év),
DF_{ing}	az i radionuklidra a lenyelési dózistényező (Sv/Bq).

A ³H és ¹⁴C izotópok speciális modellje

A trícium táplálékláncban történő migrációjának leírása alapvetően eltér a korábban ismertetett – koncentráció faktorokon – alapuló modellektől.

A trícium esetén az alapfeltevés az, hogy specifikus aktivitása - azaz a trícium aktivitása az egységnyi víztömeghez viszonyítva – minden környezeti komponensben és élő szervezetben azonos, tehát nincs ún. izotóp effektus. A modell szerint csak a HTO formájú trícium képes a – vízzel együtt – beépülni az élőlényekbe, a légnemű, szerves forma legfeljebb belézési dózist okozhat. (Mivel a trícium lágybéta-sugárzó, külső sugárterheléssel nem kell számolni.)

A vonatkoztatási csoport tríciumtól származó belső sugárterhelését a SRS No. 19 kiadvány szerint számoltuk.

A SRS No. 19 kiadvány nem foglalkozik a folyékony kibocsátású ¹⁴C sugárterhelésének meghatározásával. A probléma megoldására a trícium és a ¹⁴C specifikus aktivitáson alapuló modelljeiből indultunk ki, a következőkben leírt feltevések alkalmazásával.

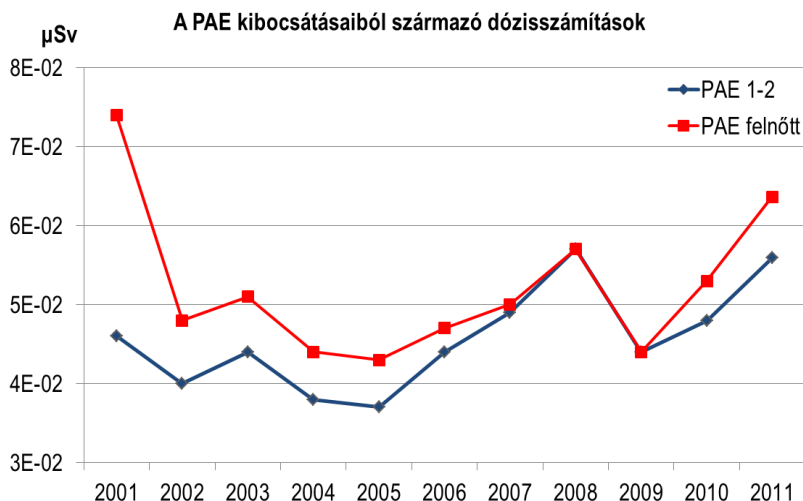
Atomerőmű esetén a folyékony kibocsátásban a karbonát formában jelenlévő ¹⁴C-et mérik (éves sugárvédelmi jelentések szerint).

A ¹⁴C aktivitáskonzentrációja a receptor pontnál a tríciuméhoz hasonlóan határozható meg. A ¹⁴C aktivitáskonzentrációja a többi radionuklid hígulásával azonosan számolható, a Duna-víz szénkoncentrációját pedig az oldott hidrokarbonát tartalmából (175 mg/dm³) származtathatjuk (34 mg/ dm³).

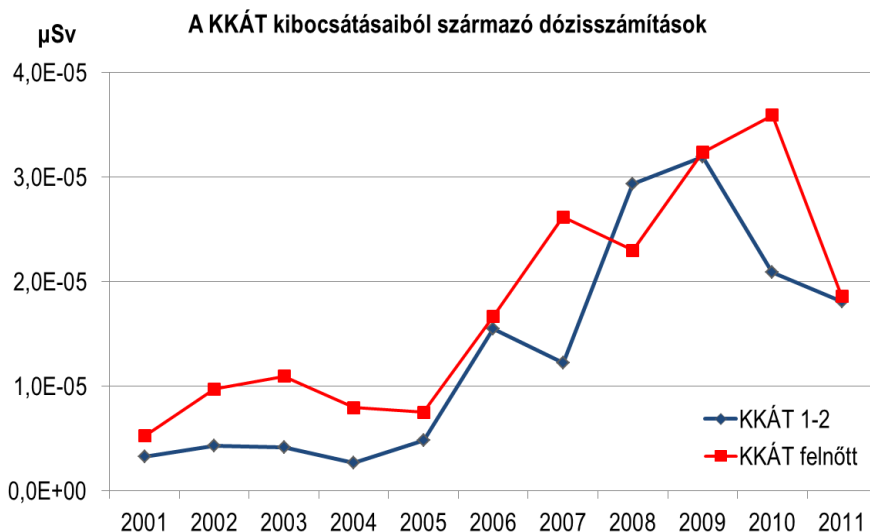
Itt csak a vízi tápláléklánctól - ezen belül a meghatározó járuléku halfogyasztásból - származó sugárterhelés vizsgálatára szorítkoztunk. (Ez esetben a csatlakozó szárazföldi tápláléklánc járuléka is elhanyagolható.) A aktivitáskonzentrációs modell alapján a Duna-víz és a hal ¹⁴C aktivitáskonzentrációja megegyező. Mivel – a légköri kibocsátástól eltérően – nem várható, hogy ezen egyedüli útvonal hatására az emberben is ugyanilyen specifikus aktivitás alakuljon ki, a sugárterhelést az éves halfogyasztás és lenyelési dózistényezővel számoltuk.

A Paksi Atomerőmű és a KKÁT folyékony kibocsátásaiból származó sugárterhelés

A Paksi Atomerőmű és a KKÁT folyékony kibocsátásaiból származó külső belső sugárterhelések számítását a 2001-2011 közötti időszak minden évre elvégeztük, a gerjени gyermek (1-2 éves) és felnőtt korcsoportokra vonatkozóan a 20.4.2-5. ábra és a 20.4.2-6. ábra mutatja.



20.4.2-5. ábra: A PA folyékony kibocsátásából származó sugárterhelések a gerjени gyermek (1-2 éves) és felnőtt korcsoportokra vonatkozóan



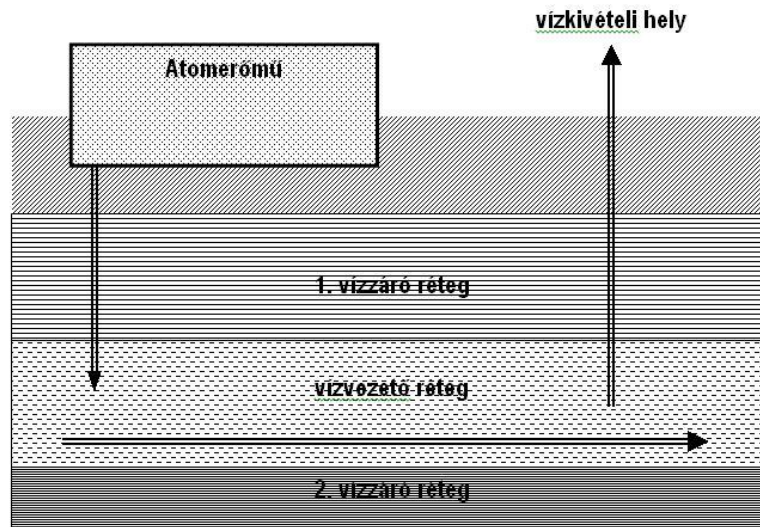
20.4.2-6. ábra: A KKÁT folyékony kibocsátásából származó sugárterhelések a gerjени gyermek (1-2 éves) és felnőtt korcsoportokra vonatkozóan

A talajvízbe bekerülő trícium terhelésből származó sugárterhelés becslése

A Paksi Atomerőmű telephelyén a talajvízbe került radioaktív anyagok esetében fontos megállapítani, hogy mekkora sugárterhelés éri a lakosságot egy esetleges ivóvízbe kerülés esetén.

A Paksi Atomerőmű esetében a talajvízi terjedési modellezéséhez a már meglévő kutakból kapott adatokból számítottuk ki a forrás nagyságát, majd erre építve számoltuk ki a sugárterhelést.

A modellünket egyszerű módon állítottuk össze, feltételezve, hogy a talajba bejutott radionuklid a vízzáró rétegen átjutva a talajvíz mozgásával terjed tovább. Ezt az esetet vázlatosan a 20.4.2-7. ábra szemlélteti.



20.4.2-7. ábra: A radioaktív anyag bejutása az erőműből a talajvízbe

A vizsgálat során figyelembe vett főbb folyamatok és feltételezések a következők:

- a kikerülő víz az erőmű alapterületén felgyülemlik,
- az erőmű alatti talajrétegen a radioaktív víz lassan átszivárog,
- az 1. vízzáró réteg a radioaktív izotópok egy részét abszorbeálja,
- az agyagréteg alján a radioaktív víz bejut és elkeveredik a vízvezető rétegben áramló talajvízzel,
- a vízvezető rétegben a talajvíz áramlása a radioaktív izotópokat elszállítja a vízkivételi helyre (egy „I” m-re lévő ásott kúthoz),

Meghatároztuk, miképp változik az erőműtől mintegy 500 m-re levő vízkivételi helynél a talajvízben a trícium aktivitáskonzentrációja (minthogy a Paksi Atomerőmű alatti talajvízben gyakorlatilag csak a tríciumot tudták kimutatni mesterséges forrásként, konzervatívan HTO formával számoltunk).

Az így kapott aktivitáskonzentráció értékre 16,5 Bq/ m³ adódott egy 500 m-re lévő képzeletbeli kút vizében. Hangsúlyozni kell, hogy a fenti eredmények valószínűleg felülbecsült értékek, ugyanis a számítások során az alábbi konzervatív feltételezéseket alkalmaztuk:

- a vízvezető rétegben eltekintettünk az izotópok talajvízáramlásra keresztirányú diszperziójától, csak egyszerű áramlási és keveredési folyamatok feltételezésével írtuk le a terjedést,
- az atomerőműből kikerülő aktivitás teljes mennyiségét oldhatónak tekintettük,
- a vízvezető réteget telítetlennek tekintettük, vagyis az agyagrétegből kiszivárgó víz teljes egészében el tud keveredni a vízvezető rétegben áramló talajvízzel,
- eltekintettünk a mélyebben fekvő rétegek felé történő transzportfolyamatoktól.

Azt az erősen konzervatív esetet feltételezve, hogy a lakosság egy tagja folyamatosan a biztonsági övezet határán lévő kút vizét issza, ezáltal a következő módon kapható meg a talajvízben lévő trícium által okozott dózis:

$$E_{\text{leny}} = c_{\text{H-3}} \cdot DF_e \cdot n \cdot d$$

ahol

$c_{\text{H-3}}$: a trícium számított aktivitáskonzentrációja 500 m-re az erőműtől a talajvízben (16,5 Bq/m³)

DF_e : a trícium lenyeléséből származó effektív dózis tényezője (1,8E-11 Sv/Bq)

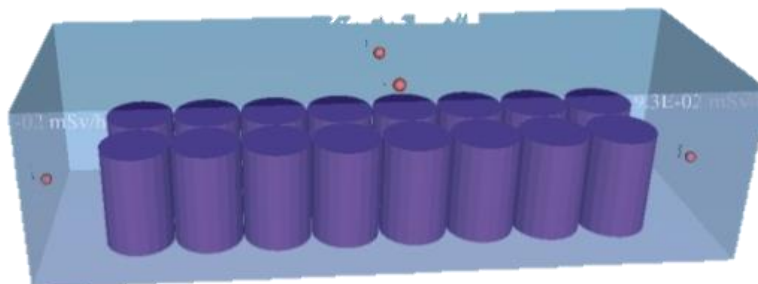
n : egy évben a napok száma (365 nap/év)

d : átlagosan naponta elfogyasztott víz mennyisége (3 dm³/nap).

Az így kapott effektív dózis 0,33 nSv/év-nek adódott. A 201/2001 (X.25.) Korm. r. szerint az ivóvíz trícium koncentrációra vonatkozó határérték 100 Bq/dm³, az 500m-re számított érték közel 4 nagyságrenddel ez alatt van, a konzervatív feltételezéssel számolt sugárterhelés (0,33 nSv/év) pedig a 90 µSv/év dózismegszorítás alatt 6 nagyságrenddel van.

20.4.2.3 Radioaktív hulladékok elszállítása

A modellezéshez azt a szállítókonténert (20.2.1-1. ábra) használtuk, amelyben 16 db hordó (200 l-es) helyezhető el.



20.4.2-8. ábra: Szállítókonténer

A számításokhoz csak gamma-sugárzást vizsgálunk. A radioizotóp összetételekből meghatároztuk a gamma-energiákat, amiből definiáljuk a forrást. A forrást úgy készítjük el, hogy a hordókba homogén módon van beletöltve minden anyag (radioaktív hulladék, beton, stb.). Az átlagos és a maximális radioizotóp összetételt mutatja a 20.4.2-2. táblázat egy hordóra átlagolva a jelenlegi atomerőműi adatok alapján [20.4-22].

Izotóp	Átlagos aktivitás [Bq/hordó]	Maximális aktivitás [Bq/hordó]	Izotóp	Átlagos aktivitás [Bq/hordó]	Maximális aktivitás [Bq/hordó]
⁵¹ Cr	1.64E+08	6.72E+09	¹³⁷ Cs	2.25E+06	8.71E+07
⁹⁵ Nb	9.29E+07	6.94E+10	⁶³ Ni	1.32E+07	1.92E+08
⁵⁹ Fe	1.18E+07	1.12E+09	²³⁸ Pu	3.91E+01	2.59E+02
¹²⁴ Sb	5.73E+06	1.75E+08	²⁴¹ Am	1.6E+02	2.6E+03
⁹⁵ Zr	2.26E+07	1.06E+09	¹⁴ C	5.8E+06	9.91E+07
⁵⁸ Co	2.39E+07	1.13E+09	⁹⁴ Nb	3.86E+06	1.01E+07
²⁴² Cm	2.28E+01	4.13E+02	²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	3.67E+01	3.09E+02
⁶⁵ Zn	2.33E+06	1.22E+07	⁵⁹ Ni	2.23E+05	1.85E+06
^{110m} Ag	1.76E+07	4.12E+08	⁴¹ Ca	1.69E+01	1.88E+02
⁵⁴ Mn	2.41E+07	1.68E+09	⁹⁹ Tc	5.47E+02	1.13E+03
¹³⁴ Cs	2.64E+06	5.24E+07	²³⁴ U	1.5E+01	2.96E+01
⁵⁵ Fe	1.83E+06	1.6E+07	³⁶ Cl	4.38E+01	3.21E+02
⁶⁰ Co	5.34E+07	1.46E+09	¹²⁹ I	2.23E+00	2.34E+01
³ H	1.68E+07	3.19E+07	²³⁵ U	1.64E+00	2.93E+00
²⁴⁴ Cm	2.99E+01	2.56E+02	²³⁸ U	1.07E+01	1.87E+01
⁹⁰ Sr	5.58E+03	4.06E+04			

20.4.2-2. táblázat: Az egy hordóra átlagolt és maximális aktivitás adatok

Ha a radioaktív hulladék keletkezésének üteme követi a jelenlegit, akkor évente kb. 850 darab 200 l-es hordónyi hulladékkal lehet számolni. Ez a mennyiség 54 fuvarral szállítható el, ami azt jelenti, hogy az egy szállítás során okozott sugárterhelést ezzel a számmal kell felszorozni. A szállítási útvonalnak egy része lakott terület mellett halad, így viszonylag közel is tartózkodhat civil a teherautóhoz. Ezért a számításoknál úgy gondolkodtunk, hogy a kereszteződésből való kiforduláshoz esetlegesen 5 percre is szükség lehet a forgalom miatt. Ekkor az út mellett tartózkodó ember akár 5 m távolságra is tartózkodhat. Ha feltételezzük, hogy szállítások során 5 olyan eset adódik, hogy ugyanaz a személy tartózkodik az út mellett, úgy 2,1 µSv sugárterhelést kaphat, ha az átlagos aktivitású hordókkal számolunk.

A hulladékok felszabadítása történhet feltétel nélkül, illetve feltételesen, az ÁNTSZ Országos Tisztifőorvosi Hivatal (OTH) engedélye alapján. A feltétel nélküli és a feltételesen felszabadított hulladékok az utóbbi években azt a tendenciát mutatták, hogy a legnagyobb mennyiségű hulladékok a feltételes felszabadítás során kerülnek ki a telephelyről, a feltétel nélkül felszabadított hulladék elszállítására csak kisebb mennyiségben kerül sor.

A számítások elvégzéséhez egy viszonylag egyszerű modellt alkottunk. A felszabadított hulladékot egy fém konténerbe helyezve szállítják. Az egyszerűség kedvéért azt feltételeztük, hogy a hulladék a konténerben homogén. Az eredményeket a 20.4.2-3. táblázat tartalmazza.

s (m)	E' (μSv/h)
2	3,21E-03
5	8,09E-04
10	2,45E-04
20	6,76E-05
50	1,10E-05
100	2,44E-06
200	4,20E-07
500	1,30E-08

20.4.2-3. táblázat: Az 1 év alatt szállított felszabadított hulladékból származó dózisteljesítmény

Itt ugyanazzal a feltevéssel élünk, mint a kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok szállításánál, azaz a szállító teherautó mellett 5 méterre tartózkodik valaki. Ezek az értékek az 1 év alatt szállított mennyiségre vonatkoznak. Ha feltesszük, hogy ugyanaz a személy tartózkodik az autó mellett (ez egy elég konzervatív becslés) és a kanyarodáshoz 10 percre van szükség, akkor a sugárterhelés értéke: 0,135 nSv évente.

20.4.2.4 Friss fűtőelem telephelyre szállítása

Egy szállításkor 400 db fűtőelemet szállítanak a jelenlegi atomerőműhöz, így a több kocsiból álló szerelvényen összesen 100 TK-SZ4 típusú konténer található. A számításhoz használt modellt kétféle sugárterhelésre vizsgáltuk és 3,82% dúsítású fűtőelemekkel számoltunk [20.4-21]:

- Az első esetben a fűtőelemből kijutó gamma-sugárzás által okozott dózist vizsgáljuk. A fűtőelem összetételéből meghatározzuk a keletkező gamma-fotonok energiáját és gyakoriságát, majd ezzel készítjük el a forrásunkat.
- A második esetben a fűtőelemben található urán spontán hasadásából felszabaduló neutronok reakcióiból gamma-fotonok keletkeznek, így kiszámoljuk mind a neutron-sugárzás által okozott, mind pedig a gamma-sugárzás által okozott dózist a lakosságra nézve.

Az eredményeket egy részecskére normálva kapjuk, így a jelenlévő fűtőelemekben található ²³⁵U, ²³⁴Pa illetve ^{234m}Pa aktivitásának az értékével be kell szorozni. A háromféle izotópból külön futtatva kaptuk meg az összegzett eredményeket. A számításokat 0,1, 2, 5, 10, 20 és 50 m távolságban végeztük el, amiből a lakosságot ért sugárterhelést meghatároztuk. Az eredmények a 20.4.2-4. táblázatból olvashatók ki.

s (m)	²³⁵ U		²³⁴ Pa		^{234m} Pa	
	E' (μSv/h)	Δ E'	E' (μSv/h)	Δ E'	E' (μSv/h)	Δ E'
0,1	2,68E-01	1,98%	2,31E-01	1,60%	1,96E+01	1,33%
2	3,69E-02	0,61%	3,61E-02	0,48%	3,00E+00	0,39%
5	1,66E-02	0,85%	1,52E-02	0,67%	1,27E+00	0,55%
10	7,21E-03	1,17%	5,92E-03	1,00%	4,86E-01	0,83%
20	2,58E-03	2,04%	1,87E-03	1,73%	1,52E-01	1,45%
50	3,60E-04	4,85%	2,86E-04	4,36%	2,37E-02	3,60%

20.4.2-4. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsik közelében számolt dózisteljesítmény értékek, gammaforrással számolva

A neutronok számításánál nem csak a neutronok által okozott sugárterhelést, hanem a neutronok reakcióiból, gerjesztéseiből keletkező fotonok által okozott sugárterhelést is számításba kell venni. Az ezek által összegzett dózisosokra lehet a végkövetkeztetéseket meghozni, az eredményeket a 20.4.2-5. táblázat mutatja.

s (m)	Neutron		Gamma	
	E'	$\Delta E'$	E'	$\Delta E'$
	$\mu\text{Sv/h}$	%	$\mu\text{Sv/h}$	%
2	2,19E-02	0,15	4,89E-05	0,54
5	9,72E-03	0,21	2,17E-05	0,73
10	3,73E-03	0,33	8,32E-06	1,12
20	1,08E-03	0,62	2,40E-06	1,99
50	1,24E-04	1,75	2,50E-07	4,9

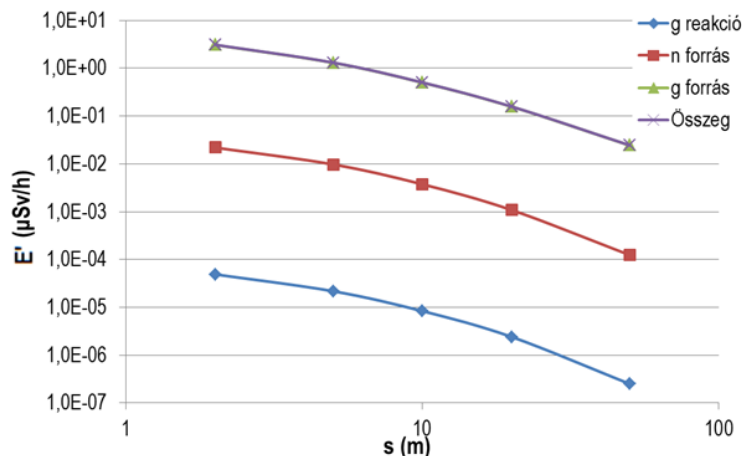
20.4.2-5. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsi közelében számolt dózisteljesítmény értékek, neutronforrás esetében

Ha a különböző módon előálló neutron- és gamma-dózisteljesítményeket külön-külön összegezzük, akkor megkapjuk a friss fűtőelemet szállító vasúti kocsi környezetében lévő gamma- és neutron forrásra vonatkozó dózisteljesítmény értékeket (20.4.2-6. táblázat).

s (m)	E' g	E' n
	$\mu\text{Sv/h}$	$\mu\text{Sv/h}$
2	3,07E+00	2,19E-02
5	1,30E+00	9,72E-03
10	4,99E-01	3,73E-03
20	1,56E-01	1,08E-03
50	2,43E-02	1,24E-04

20.4.2-6. táblázat: A friss fűtőelem szállító vasúti kocsi közelében számolt dózisteljesítmény értékek

A három forrásmódból, valamint az összegükből származó dózisteljesítmény értékek láthatóak a 20.4.2-9. ábrán, ahol a „g reakció” a neutronforrásból származó, fotonok okozta dózisteljesítményt, az „n forrás” a neutronforrásból származó, neutronok okozta dózisteljesítményt, a „g forrás” a gammaforrásból származó, fotonok okozta dózisteljesítményt, valamint az „Összeg” a három forrásból eredő dózisteljesítményt jelenti.



20.4.2-9. ábra: A V-60 SZK típusú vasúti kocsi körül számolt dózisteljesítmény (E') értékek a távolság függvényében

Az első esetben azt vettük alapul, hogy a szerelvény elhalad az állomáson és valamilyen okból (forgalmi akadály) meg kell állnia. Ekkor a vonatra várakozók egy ideig (1/2 óra), viszonylag közel, 5 m távolságban tartózkodhatnak a vonathoz. Ebben az esetben az egy vasúti kocsitól származó lakossági sugárterhelés: 0,66 μSv .

A második eset: amikor a szerelvény áthalad az állomáson megállás nélkül. Ez esetben 30 km/h sebességgel számolunk a maximális 60 km/h helyett, mivel azt is figyelembe vesszük, hogy a hazai vasúti hálózat állapota miatt elképzelhető, hogy lassabb haladásra kényszerül a vonat. A kritikus személyt, aki szintén az állomáson a vonatra várakozik, 5 m távolságban tartózkodik a kocsi külső falától. A vasúti kocsi hossza 26,4 m, így 30 km/h-s sebességgel 3,2 s-ig tart az elhaladása. Ha ezt felszorozzuk a kocsik számával egy szállítás során (9), akkor azt kapjuk, hogy a szerelvény elhaladása közben a lakosság kritikus tagját 1,17 nSv sugárterhelés éri.

20.4.2.5 Kiegészítő fűtőelem szállítása a KKÁT-ba

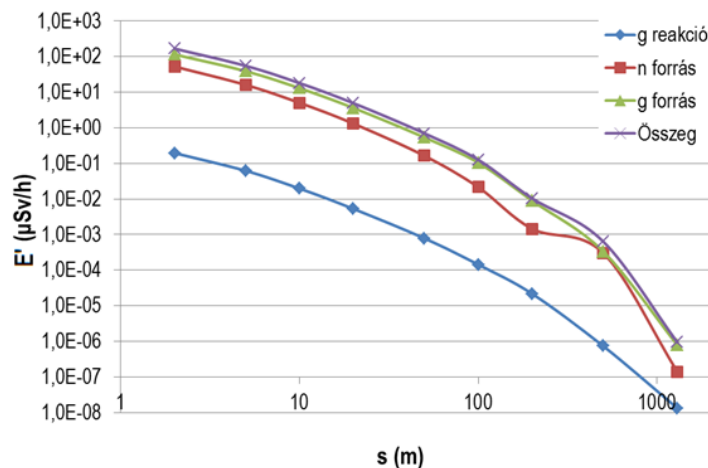
A telephelyen belüli, kiegészítő fűtőelem C-30-as szállítókonténerrel KKÁT-ba átszállítása során okozott neutron- és gamma- sugárterhelést számoltuk a lakosságra, a telephelytől különböző távolságokra, valamint a kritikus csámpai lakosságra nézve. A számításoknál egy átlagosan kiegészítő (40,9 GWnap/tU) fűtőelem 3 év pihentetési idejű izotópösszetételéből kapott energia szerinti neutron- és foton- számot vettük figyelembe, C-30 konténerben 30 db ilyen fűtőelemmel számoltunk [20.4-23].

Hasonlóan a friss fűtőelemnél itt is összegeztük a három forrásmódból kapott értékeket, amire a 20.4.2-7. táblázat szerinti eredményeket kaptuk.

s (m)	E' g	E' n
	μSv/h	μSv/h
1	1,91E+02	9,23E+01
2	1,16E+02	5,27E+01
5	3,92E+01	1,61E+01
10	1,30E+01	5,04E+00
20	3,63E+00	1,32E+00
50	5,36E-01	1,63E-01
100	7,73E-02	2,14E-02
200	1,35E-02	1,45E-03
500	5,11E-04	3,02E-04
1300	1,33E-06	1,38E-07

20.4.2-7. táblázat: A kiegészítő fűtőelem szállító konténer közelében számolt dózisteljesítmény értékek

A három forrásmódból, valamint az összegükből származó dózisteljesítmény értékek láthatóak a 20.4.2-10. ábrán, ahol a „g reakció” a neutronforrásból származó, fotonok okozta dózisteljesítményt, az „n forrás” a neutronforrásból származó, neutronok okozta dózisteljesítményt, a „g forrás” a gammaforrásból származó, fotonok okozta dózisteljesítményt, valamint az „Összeg” a három forrásból eredő dózisteljesítményt jelenti.



20.4.2-10. ábra: A C-30-as konténer körül számolt dózisteljesítmény értékek

Az ábráról, valamint a táblázatos értékekből is kiolvasható, hogy a legnagyobb dózist a gamma-fotonok képesek okozni. Ez annak köszönhető, hogy a kiegészítő fűtőelemekben még pihentetés után is annyi radioaktív izotóp van jelen a hasadási termékekből, hogy nagy mennyiségben jönnek létre az atommag bomlását kísérő gamma-fotonok, de a nagy áthatolóképességű neutronok sem elhanyagolhatóak az összegzés szempontjából.

Az értékeket összehasonlítottuk a mért értékekkel. A mérések szerint a gamma-dózisteljesítmény értékének maximuma a C-30-as szállítókonténer felületétől 1 m-re 190 μSv/h, míg neutronra 120 μSv/h adódott, vagyis nagyságrendileg megegyeznek az értékek, hiszen a modellünk alkalmazásával 191 μSv/h gamma-, valamint 92,3 μSv/h neutron-dózisteljesítmény értékeket kaptunk a konténer 1 m-es távolságában.

A kritikus lakosságnak (1300 m-re a konténer külső falától) okozott sugárterhelést ebből úgy kaptuk meg, hogy az átrakás idejét 1 órának feltételezve, valamint 480 átszállított kiégett fűtőelemet feltételeztünk egy év alatt, ami maximális értéknek tekinthető. Ebből az okozott sugárterhelés 0,0235 nSv-nek adódott.

A KKÁT, illetve a Paksi Atomerőmű biztonsági övezet határa a 246/2011. (XI.24.) Kormányrendelet alapján legalább 500 m-re van a létesítménytől, így semmi nem akadályozza a lakosságot abban, hogy az átszállítások alatt csak 500 m távolságra tartózkodjanak. Ugyanazokat a feltételeket számításba véve azt kaptuk, hogy 13 nSv sugárterhelés éri az ott tartózkodókat. Természetesen ez egy erősen konzervatív becslés, mivel azt feltételezi, hogy minden átrakás pillanatában ugyanaz a lakos tartózkodik ugyanott.

20.4.2.6 A telephely területén, felületükön radionuklidot tartalmazó eszközök, sugárforrások mozgása

A feladathoz egy egyszerű modellt készítünk, hiszen a forrást elegendő nagy távolságban pontforrásnak lehet tekinteni, mivel sugárforrásról, felületükön radionuklidokat tartalmazó eszközökről van szó, aminek hatását a lakosságra tekintve vizsgáljuk.

Ebben az esetben is megvizsgáljuk a sugárterhelést különböző távolságokra, úgymint 100, 200, 500 és 1300 m-re. A sugárzás csak akkor okozhat esetlegesen kimutatható értéket, amikor az eszközt átszállítják a telephely területén belül. A modellt, illetve a forrást úgy alkotjuk meg, hogy a szállítóeszköz védelmének külső falánál 1 $\mu\text{Sv}/\text{óra}$ (szabad zónabeli érték) dózisteljesítményt adjon.

A modellhez elsőként a forrást kellett meghatározni. Ezt úgy állapítottuk meg, hogy kiszámoltuk, az egyes nuklidokra azt az aktivitást, ami 2 cm acél árnyékolással, a felületétől 10 cm-re 1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ dózisteljesítményt lehet mérni.

s (m)	E'	$\Delta E'$	E'	$\Delta E'$	E'	$\Delta E'$	E'	$\Delta E'$
	⁶⁰ Co		¹³⁷ Cs		^{110m} Ag		⁵⁴ Mn	
	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	%	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	%	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	%	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	%
100	8,98E-07	0,16	7,79E-07	0,19	8,40E-07	0,06	7,77E-07	0,08
200	1,53E-07	0,21	1,22E-07	0,26	1,37E-07	0,08	1,25E-07	0,11
500	5,33E-09	0,49	2,65E-09	0,78	3,81E-09	0,20	3,25E-09	0,29
1300	5,91E-12	5,88	5,00E-13	19,43	2,61E-12	3,05	1,20E-12	5,68

20.4.2-8. táblázat: A felületükön radioaktív anyagot tartalmazó eszköz mozgása során okozott dózisteljesítmény-értékek

Az így kapott értékekből azt lehet megállapítani, hogy a legnagyobb dózisteljesítmény érték a ⁶⁰Co izotópnál van, így a következtetéseket erre az értékre tesszük (20.4.2-8. táblázat).

⁶⁰Co-nál 500 m-re 5,33E-09 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ dózisteljesítmény érték adódik. Ez azt jelenti, hogy kb. 21 év kellene ahhoz, hogy a felületükön radioaktív anyagot tartalmazó eszköz 1 nSv sugárterhelést tudjon okozni.

20.4.2.7 Ipari radiográfiás vizsgálatok

Az ipari radiográfiás vizsgálatok során nagy aktivitású sugárforrásokat használnak a különböző radiográfiái vizsgálatokra s általában két helyzetben vannak a források:

- Szállítás és a vizsgálatához való elhelyezés alatt, amikor a sugárforrás a saját árnyékoló munkatartójában van.

A vizsgálatokat két csoportra bonthatjuk. Az egyik, amikor a telephelyen kívül végzik a vizsgálatokat, a másik pedig, amikor belül. Ha a telephelyen kívül végzik, akkor akár 200 m-re is tartózkodhat a lakosság a mérés előkészítése során, így erre a távolságra határozzuk meg a dózist. Az előkészület során az 100 GBq-es ⁶⁰Co-tól származik a legnagyobb dózisteljesítmény. Egy ilyen vizsgálat előkészületei akár több órát is igénybe vehetnek, ezért mi átlagként 3 órával számolunk. A vizsgálatok előkészületéből származó, 200 m-re lévő sugárterhelés így 0,03 μSv -nek adódik.

– Vizsgálat alatt, amikor a sugárforrás védelem nélkül tartózkodik a környezetben.

A védelem nélküli számítások eredményeit a 20.4.2-9. táblázat tartalmazza 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 és 1300 m-re.

s (m)	E' (μSv/h)					
	Izotóp, aktivitás					
	¹⁹² Ir		⁷⁵ Se		⁶⁰ Co	
	5 TBq		5 TBq		100 GBq	
2	1,78E+05	0,01%	9,63E+04	0,01%	8,82E+03	0,03%
5	2,79E+04	0,01%	1,52E+04	0,01%	1,37E+03	0,04%
10	6,92E+03	0,01%	3,81E+03	0,01%	3,37E+02	0,04%
20	1,72E+03	0,01%	9,59E+02	0,01%	8,21E+01	0,04%
50	2,62E+02	0,02%	1,50E+02	0,02%	1,22E+01	0,04%
100	5,65E+01	0,02%	3,21E+01	0,02%	2,64E+00	0,05%
200	8,59E+00	0,03%	4,52E+00	0,03%	4,66E-01	0,07%
500	1,39E-01	0,11%	5,59E-02	0,13%	1,82E-02	0,16%
1300	1,01E-05	4,73%	8,81E-06	4,90%	2,34E-05	1,69%

20.4.2-9. táblázat: A radiográfiás vizsgálat közbeni dózisteljesítmények a használt sugárforrástól függően

Ebben az esetben a kritikus lakosságot nem az 1300 m-re élőket tekintjük, mivel a vizsgálatot nem csak a telephelyen végezhetik. Előfordulhat, hogy a telephelyen kívül kell a mérést végrehajtani. Ebben az esetben akár 200 m-re is tartózkodhat a lakosság. Egy év során jelenleg az üzemi területen kívül kb. 430 db felvétel készül 2 TBq kezdeti aktivitású ¹⁹²Ir, valamint 5 TBq kezdeti aktivitású ⁷⁵Se sugárforrásokkal.

Ha ezeket az adatokat beszorozzuk az egyes forrásoktól mért dózisteljesítmény értékével és a mérés idejét maximum 5 percnél feltételezve a következőket kaphatjuk:

Izotóp	Dózis/vizsgálat
¹⁹² Ir	0,14 μSv
⁷⁵ Se	0,23 μSv

A telephelyen kívül végzett radiográfiás vizsgálatok sugárterheléséhez, még hozzáadódhat a telephelyen végzett műveletek sugárterhelése. Ebben az esetben 1300 m-re, illetve 500 m-re kell a számításokat elvégezni. Azt feltételezve, hogy az előbb említett sugárforrásokkal kb. 2200 vizsgálatot végeznek, azt kapjuk, hogy 0,67 μSv, illetve 5,62 μSv sugárterhelést okoz.

20.4.3 ÖSSZEGRÉS

A modellezés során kapott lakossági sugárterhelések éves szintje minden esetben nagyságrendekkel a dóziskorlátozási (1 mSv), illetve a dózismegszorítási szint (100 μSv a Paksi Atomerőmű + KKÁT létesítményekre) alatt voltak olyan konzervatív feltételezések mellett is, amelyek a valóságban nagyon kis valószínűséggel fordulhatnak elő. A kibocsátásokból számított sugárterhelési értékek nSv/év nagyságrendbe estek, a további forrásokból (friss fűtőelem-, kiégett fűtőelem-, radioaktív hulladék szállítás, radiográfiái vizsgálatok) eredő hatások nagyobbak lehetnek, de ezek nem állandó estek, konzervatív körülményeket feltételezve a lakosság egyedeinek sugárterhelése a μSv/év nagyságrendbe eshet, ami több nagyságrenddel a szabályozásban meghatározott érték alatt marad.

Ekkora mértékű éves sugárterhelés változást mérésekkel gyakorlatilag nem lehet igazolni, így a továbbiakban is a modellezésekre, számításokra kell hagyatkoznunk.

20.5 PAKS II. LÉTESÍTÉSÉNEK HATÁSA A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSÉRE

Létesítés során a lakosságot érő sugárterhelés elsősorban a radiográfias vizsgálatokból származhat. A 20.4.2.7. fejezet számításait figyelembe véve, a radiográfias vizsgálatok számának ismeretében meghatározható az éves lakossági sugárterhelés nagysága. A korábban említett fejezetben található számításokkal nagyságrendileg megegyező értékek várhatók.

20.5.1 PAKS II. TELEPÍTÉSÉNEK HATÁSTERÜLETEI

20.5.1.1 Közvetlen hatások

A radiográfias vizsgálatok sugárterhelését közvetlen hatásnak tekintjük a 20.4.2.7. fejezet eredményeit ennek vehetjük.

20.5.1.2 Közvetett hatások

Létesítés fázisában nem értelmezhető.

20.5.1.3 Országhatáron áterjedő hatások

A telepítés során, az országhatáron áterjedő hatásokkal nem kell számolnunk.

20.6 PAKS II. ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSA A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ LAKOSSÁG SUGÁRTERHELÉSÉRE

20.6.1 A NORMÁL ÜZEMELÉS

A normál üzemi kibocsátásokból származó dózisos számítását a HAKSER számításokkal és a 20.4.1.1. fejezetben leírt módon, ugyanazzal a paraméterkészlettel végeztük az alábbiakban felsorolt kivételekkel:

- a csámpai lakosság elhelyezkedése kissé változott, az új kémények koordinátáinak megfelelően a számításokat a középponttól 1 500 méterre a 12-es szélirány-szektorban végeztük el.
- a megadott adatoknak megfelelően kétféle kibocsátással számoltunk, amelyek eredményeit azután összegeztük.

20.6.1.1 Normál üzemi kibocsátási adatok

Normál üzem esetén a kibocsátások 100 m-en (kémény) és 40 m-en (turbina épület) történnek.

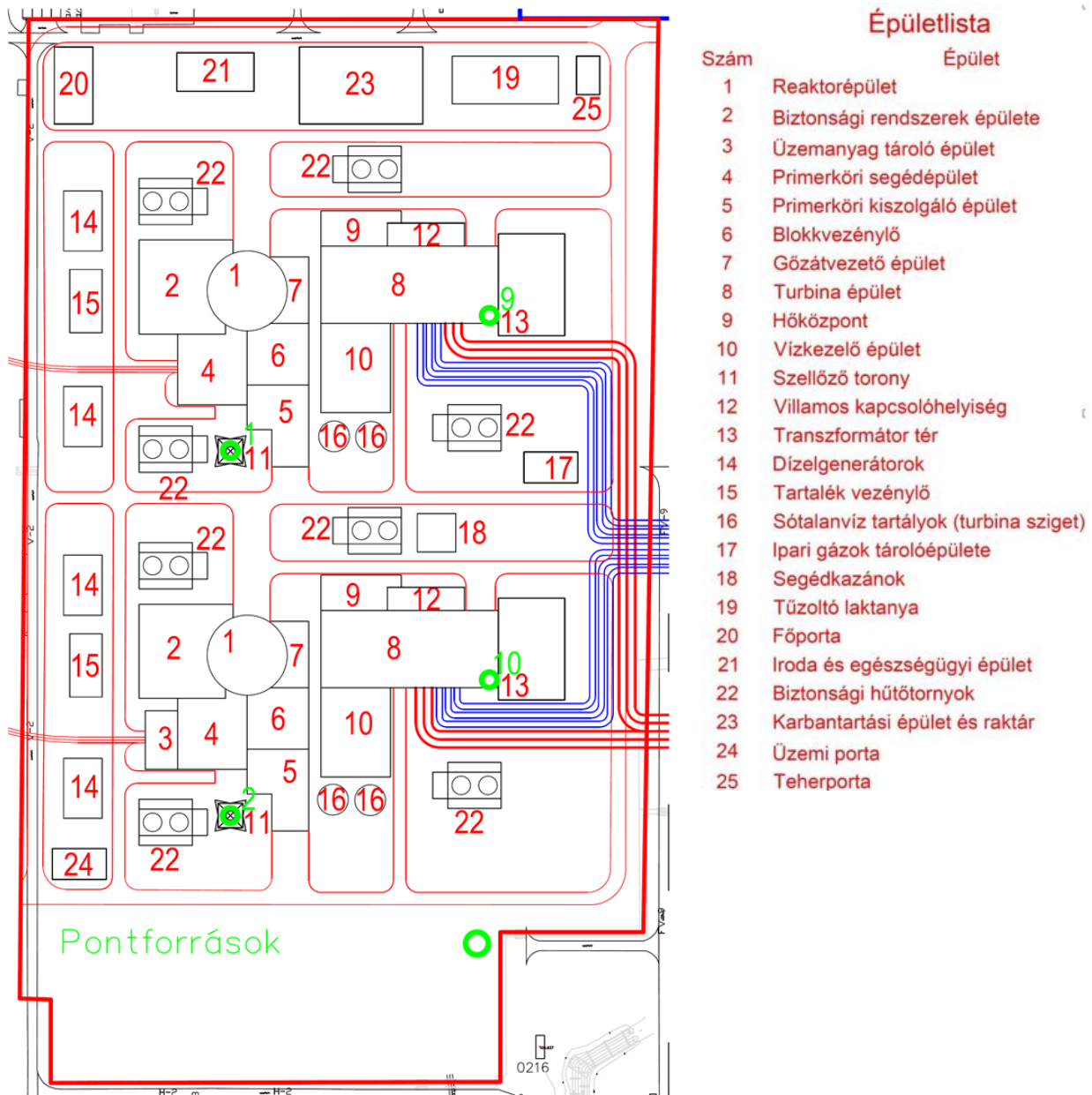
I. Kéményen keresztül történő kibocsátás: a megadott 100 m-es kéménymagasságból kiindulva a Paksi Atomerőmű hasonló viszonyait alapul véve 120 m-es effektív kibocsátási magassággal és a meteorológiai torony 120 m-es adataival számoltunk.

II. A turbinaépület teteje felett történő kibocsátás: a megadott 40 m-es kibocsátási magasságot itt is egy kissé magasabb, 50 m-es effektív magassággal vettük figyelembe, igazodva a meteorológiai torony 50 m-es adataihoz.

A normál üzemi kibocsátási források EOY koordinátái:

	Megnevezés	Y	X
1. blokk	Szellőztető kémény	635 030	137 110
	Turbina épület	635 198	137 197
2. blokk	Szellőztető kémény	635 030	137 346
	Turbina épület	635 198	137 433

20.6.1-1. táblázat: Paks II. normál üzemi kibocsátási források EOY koordinátái



20.6.1-1. ábra: Normál üzemi kibocsátási pontok (zöld: kémény; turbina épület)

A nuklidonkénti kibocsátásokhoz az MVM Paks II. Zrt (orosz fél adatai) által megadott normál üzemi értékekből indultunk ki, az alábbi kiegészítő megfontolásokkal (20.6.1-2. táblázat):

- a tríciumot 100 %-ban vízgőznek tekintettük
- a radiokarbont 5 %-ban CO₂-nak, 95 %-ban szervesnek vettük, a Paksi Atomerőmű sokéves kibocsátási adatai alapján.
- a radiojódokat 4 %-ban aeroszoknak, 40 %-ban elemi és 56 %-ban szervesnek tekintettük, a Paksi Atomerőmű utóbbi évek kibocsátási adatainak átlagai alapján.
- a nemesgázokat elemi gázként, a többi radionuklidot aeroszolként azonosítottuk.

Radionuklid	Kéményen keresztül történő kibocsátás	A turbinaépület teteje felett történő kibocsátás
	I. kibocsátás Bq/év	II. kibocsátás Bq/év
³ H	7,80E+12	2,40E+09
¹⁴ C (CO ₂)	3,00E+10	-
¹⁴ C (szerves)	5,70E+11	-
^{83m} Kr	1,34E+12	5,40E+10
^{85m} Kr	4,56E+12	1,22E+10
⁸⁵ Kr	7,12E+11	1,32E+08
⁸⁷ Kr	2,76E+12	1,28E+11
⁸⁸ Kr	1,01E+13	3,00E+11
^{131m} Xe	4,98E+11	3,20E+09
¹³³ Xe	5,62E+13	9,40E+11
¹³⁵ Xe	1,51E+13	6,60E+11
¹³⁸ Xe	5,72E+11	6,20E+10
¹³¹ I (aeroszol)	4,85E+07	2,48E+05
¹³² I (aeroszol)	6,46E+07	8,00E+05
¹³³ I (aeroszol)	9,20E+07	7,44E+05
¹³⁴ I (aeroszol)	4,40E+07	2,24E+05
¹³⁵ I (aeroszol)	7,53E+07	5,68E+05
¹³¹ I (elemi)	4,85E+07	2,48E+06
¹³² I (elemi)	6,46E+07	8,00E+06
¹³³ I (elemi)	9,20E+07	7,44E+06
¹³⁴ I (elemi)	4,40E+07	2,24E+06
¹³⁵ I (elemi)	7,53E+07	5,68E+06
¹³¹ I (szerves)	4,85E+07	3,47E+06
¹³² I (szerves)	6,46E+07	1,12E+07
¹³³ I (szerves)	9,20E+07	1,04E+07
¹³⁴ I (szerves)	4,40E+07	3,14E+06
¹³⁵ I (szerves)	7,53E+07	7,95E+06
⁵¹ Cr	1,57E+05	3,00E+02
⁵⁴ Mn	9,66E+03	4,20E+02
⁶⁰ Co	6,20E+04	4,80E+03
⁸⁹ Sr	6,50E+05	2,80E+04
⁹⁰ Sr	1,19E+03	8,80E+01
¹³⁴ Cs	4,00E+07	2,00E+06
¹³⁷ Cs	6,06E+07	2,60E+06

Forrás: MIR.1200 Preliminary data and information for safety and environmental licensing, Appendix 3

20.6.1-2. táblázat: A normál üzemi kéményen keresztül történő (I) és turbinaépület feletti (II) kibocsátások a két blokkra (Bq/év)

20.6.1.2 Dózisszámítások

A meteorológiai viszonyok konzervatív megközelítéseként 2001 és 2012 között minden évre összehasonlítottuk a csámpai 1-2 éves kisgyermek - a megadott normál üzemi kéménykibocsátásokból (I.) származó - teljes dózisait, és a részletezett számításokhoz azt a meteorológiai évet - 2009-et - választottuk, ahol ez maximális volt (20.6.1-3. táblázat). Ugyanis a 2009-es évi normál kibocsátási értékek mellett a rosszabb meteorológia viszonyoknak köszönhetően a maximális sugárterhelés ekkor adódott.

A 2009-es meteorológiai adatok alapján a részletesebb számításokat az 1-2 éves kisgyermek és a felnőttek korcsoportjára is elvégeztük. A csámpai lakosságra vonatkozó nuklidonként részletezett eredményeket mutatjuk be a 20.6.1-4. táblázattól a 20.6.1-6. táblázatig. A teljes területre vonatkozó besugárzási útvonalankénti összesített eredmények (a teljes dózis a különböző besugárzási útvonalakból eredő rész dózisok összege) láthatók a 20.6.1-7. táblázatban és a 20.6.1-8. táblázatban a két korcsoportra. Az alábbi területi felosztást követtük:

Szektor-csoport	Szektor	Környű	Távolság [km]
4-7	4,5,6,7	< 1 km	0,5
8-11	8,9,10,11	1-5 km	3
12-15	12,13,14,15	5-10 km	7,5
16-3	16,1,2,3	10-30 km	20
Csámpa	12	Csámpa	1,5

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
³ H	2,50E-09	3,70E-09	3,60E-09	2,70E-09	4,20E-09	3,40E-09	3,80E-09	3,30E-09	4,80E-09	3,90E-09	2,90E-09	3,20E-09
¹⁴ C (CO ₂)	5,60E-09	8,40E-09	8,00E-09	6,20E-09	9,60E-09	7,80E-09	8,50E-09	7,50E-09	1,10E-08	8,90E-09	6,50E-09	7,20E-09
¹⁴ C (szerves)	8,60E-10	1,30E-09	1,20E-09	9,40E-10	1,50E-09	1,20E-09	1,30E-09	1,10E-09	1,60E-09	1,40E-09	9,90E-10	1,10E-09
^{83m} Kr	3,10E-14	4,70E-14	4,40E-14	3,50E-14	5,20E-14	4,20E-14	4,70E-14	4,00E-14	6,00E-14	4,90E-14	3,60E-14	3,90E-14
^{85m} Kr	4,40E-10	6,60E-10	6,30E-10	4,90E-10	7,40E-10	6,00E-10	6,60E-10	5,70E-10	8,50E-10	7,00E-10	5,10E-10	5,60E-10
⁸⁵ Kr	2,40E-12	3,60E-12	3,50E-12	2,70E-12	4,10E-12	3,30E-12	3,70E-12	3,20E-12	4,70E-12	3,80E-12	2,80E-12	3,10E-12
⁸⁷ Kr	1,50E-09	2,30E-09	2,10E-09	1,70E-09	2,50E-09	2,00E-09	2,20E-09	1,90E-09	2,90E-09	2,40E-09	1,70E-09	1,90E-09
⁸⁸ Kr	1,40E-08	2,10E-08	2,00E-08	1,60E-08	2,40E-08	2,00E-08	2,20E-08	1,80E-08	2,80E-08	2,30E-08	1,70E-08	1,80E-08
^{131m} Xe	3,00E-12	4,40E-12	4,30E-12	3,30E-12	5,10E-12	4,10E-12	4,50E-12	4,00E-12	5,70E-12	4,70E-12	3,50E-12	3,80E-12
¹³³ Xe	1,10E-09	1,60E-09	1,60E-09	1,20E-09	1,90E-09	1,50E-09	1,70E-09	1,50E-09	2,10E-09	1,70E-09	1,30E-09	1,40E-09
¹³⁵ Xe	2,50E-09	3,70E-09	3,50E-09	2,70E-09	4,20E-09	3,40E-09	3,70E-09	3,30E-09	4,70E-09	3,90E-09	2,90E-09	3,10E-09
¹³⁸ Xe	3,40E-10	5,60E-10	5,00E-10	4,10E-10	5,70E-10	4,40E-10	5,10E-10	3,80E-10	6,90E-10	5,90E-10	4,20E-10	4,30E-10
¹³¹ I (aeroszol)	7,40E-11	9,50E-11	8,60E-11	8,30E-11	1,50E-10	1,10E-10	9,80E-11	8,30E-11	1,10E-10	1,30E-10	6,60E-11	7,40E-11
¹³² I (aeroszol)	4,00E-14	5,60E-14	5,10E-14	4,50E-14	7,40E-14	5,70E-14	5,60E-14	4,70E-14	6,90E-14	6,90E-14	4,10E-14	4,50E-14
¹³³ I (aeroszol)	3,90E-13	5,40E-13	5,00E-13	4,40E-13	7,20E-13	5,60E-13	5,60E-13	4,80E-13	6,80E-13	6,70E-13	4,00E-13	4,40E-13
¹³⁴ I (aeroszol)	1,70E-14	2,50E-14	2,20E-14	1,90E-14	3,00E-14	2,30E-14	2,40E-14	1,90E-14	3,00E-14	2,90E-14	1,80E-14	1,90E-14
¹³⁵ I (aeroszol)	9,10E-14	1,30E-13	1,20E-13	1,00E-13	1,70E-13	1,30E-13	1,30E-13	1,10E-13	1,50E-13	1,60E-13	9,20E-14	1,00E-13
¹³¹ I (elemi)	3,30E-09	5,10E-09	4,80E-09	3,70E-09	5,60E-09	4,60E-09	5,10E-09	4,30E-09	6,50E-09	5,30E-09	3,90E-09	4,30E-09
¹³² I (elemi)	1,20E-12	1,90E-12	1,80E-12	1,40E-12	2,10E-12	1,70E-12	1,90E-12	1,60E-12	2,50E-12	2,00E-12	1,50E-12	1,60E-12
¹³³ I (elemi)	1,30E-11	2,00E-11	1,80E-11	1,40E-11	2,20E-11	1,80E-11	2,00E-11	1,70E-11	2,50E-11	2,10E-11	1,50E-11	1,70E-11
¹³⁴ I (elemi)	4,20E-13	6,70E-13	6,10E-13	4,90E-13	7,10E-13	5,60E-13	6,50E-13	5,20E-13	8,50E-13	7,10E-13	5,10E-13	5,40E-13
¹³⁵ I (elemi)	3,00E-12	4,60E-12	4,30E-12	3,40E-12	5,10E-12	4,10E-12	4,60E-12	3,90E-12	6,00E-12	4,80E-12	3,60E-12	3,90E-12
¹³¹ I (szerves)	3,80E-11	5,60E-11	5,30E-11	4,20E-11	6,50E-11	5,30E-11	5,70E-11	5,00E-11	7,10E-11	6,00E-11	4,30E-11	4,70E-11
¹³² I (szerves)	3,50E-13	5,30E-13	4,90E-13	3,90E-13	5,90E-13	4,70E-13	5,30E-13	4,50E-13	6,70E-13	5,50E-13	4,00E-13	4,40E-13
¹³³ I (szerves)	4,70E-12	7,10E-12	6,80E-12	5,20E-12	8,10E-12	6,50E-12	7,20E-12	6,30E-12	9,20E-12	7,50E-12	5,50E-12	6,00E-12
¹³⁴ I (szerves)	1,40E-13	2,30E-13	2,10E-13	1,60E-13	2,40E-13	1,90E-13	2,20E-13	1,80E-13	2,80E-13	2,40E-13	1,70E-13	1,80E-13
¹³⁵ I (szerves)	9,30E-13	1,40E-12	1,30E-12	1,00E-12	1,60E-12	1,30E-12	1,40E-12	1,20E-12	1,80E-12	1,50E-12	1,10E-12	1,20E-12
⁵¹ Cr	1,00E-14	1,30E-14	1,20E-14	1,10E-14	2,00E-14	1,60E-14	1,30E-14	1,10E-14	1,60E-14	1,80E-14	9,00E-15	1,00E-14
⁵⁴ Mn	3,20E-14	4,10E-14	3,70E-14	3,60E-14	6,40E-14	4,90E-14	4,20E-14	3,60E-14	4,90E-14	5,70E-14	2,80E-14	3,20E-14
⁶⁰ Co	1,40E-12	1,80E-12	1,70E-12	1,50E-12	2,80E-12	2,10E-12	1,80E-12	1,50E-12	2,10E-12	2,50E-12	1,20E-12	1,40E-12
⁸⁹ Sr	3,60E-12	4,60E-12	4,10E-12	4,00E-12	7,20E-12	5,40E-12	4,70E-12	4,00E-12	5,40E-12	6,50E-12	3,10E-12	3,50E-12
⁹⁰ Sr	4,40E-14	5,70E-14	5,20E-14	5,00E-14	8,80E-14	6,80E-14	5,90E-14	5,00E-14	6,80E-14	8,00E-14	3,90E-14	4,40E-14
¹³⁴ Cs	1,00E-09	1,30E-09	1,20E-09	1,10E-09	2,00E-09	1,60E-09	1,30E-09	1,10E-09	1,60E-09	1,80E-09	8,90E-10	1,00E-09
¹³⁷ Cs	1,10E-09	1,50E-09	1,20E-09	1,20E-09	2,20E-09	1,70E-09	1,50E-09	1,20E-09	1,70E-09	2,00E-09	9,60E-10	1,10E-09
Total	3,40E-08	5,10E-08	4,90E-08	3,80E-08	5,90E-08	4,80E-08	5,20E-08	4,50E-08	6,60E-08	5,50E-08	4,00E-08	4,40E-08

20.6.1-3. táblázat: A csámpai 1-2 éves kisgyermek - a megadott normál üzemi kéménykibocsátásokból (I.) származó - teljes dózisa [Sv], 2001 és 2012 között

Környezeti elem	Levegő	Talaj	Hús	Gabona	Zöldség	Tej
Nuklid	Bq/m ³	Bq/m ²	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/dm ³
³ H	1,86E-02	0,00E+00	4,87E-02	2,48E-01	1,36E+00	5,66E-02
¹⁴ C (CO ₂)	7,15E-05	0,00E+00	1,91E-01	4,00E-02	9,53E-03	3,19E-02
¹⁴ C (szerves)	1,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
^{83m} Kr	3,12E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
^{85m} Kr	1,05E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
⁸⁵ Kr	1,70E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
⁸⁷ Kr	6,26E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
⁸⁸ Kr	2,39E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
^{131m} Xe	1,20E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
¹³³ Xe	1,38E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
¹³⁵ Xe	3,79E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
¹³⁸ Xe	9,11E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
¹³¹ I (aeroszol)	1,47E-08	9,68E-05	3,70E-07	5,39E-06	2,95E-06	1,94E-06
¹³² I (aeroszol)	1,99E-08	1,55E-06	5,52E-21	4,79E-20	1,44E-20	1,94E-20
¹³³ I (aeroszol)	2,86E-08	2,01E-05	7,48E-14	8,05E-11	6,69E-09	3,82E-08
¹³⁴ I (aeroszol)	1,12E-08	3,32E-07	1,19E-21	1,03E-20	3,10E-21	1,59E-21
¹³⁵ I (aeroszol)	2,30E-08	5,16E-06	1,81E-20	1,57E-19	1,21E-14	1,14E-11
¹³¹ I (elemi)	1,37E-07	5,53E-03	2,11E-05	3,08E-04	1,68E-04	1,11E-04
¹³² I (elemi)	1,84E-07	8,78E-05	3,13E-19	2,71E-18	8,14E-19	1,10E-18
¹³³ I (elemi)	2,65E-07	1,14E-03	4,23E-12	4,55E-09	3,79E-07	2,16E-06
¹³⁴ I (elemi)	1,05E-07	1,92E-05	6,86E-20	5,95E-19	1,79E-19	9,15E-20
¹³⁵ I (elemi)	2,13E-07	2,95E-04	1,03E-18	8,95E-18	6,93E-13	6,53E-10
¹³¹ I (szerves)	2,08E-07	4,51E-05	1,73E-07	2,52E-06	1,37E-06	9,04E-07
¹³² I (szerves)	2,83E-07	7,24E-07	2,58E-21	2,24E-20	6,71E-21	9,07E-21
¹³³ I (szerves)	4,07E-07	9,43E-06	3,50E-14	3,77E-11	3,13E-09	1,79E-08
¹³⁴ I (szerves)	1,58E-07	1,55E-07	5,54E-22	4,80E-21	1,44E-21	7,39E-22
¹³⁵ I (szerves)	3,26E-07	2,42E-06	8,47E-21	7,34E-20	5,69E-15	5,36E-12
⁵¹ Cr	3,71E-10	8,36E-06	2,81E-07	6,82E-07	2,44E-07	3,73E-08
⁵⁴ Mn	2,45E-11	3,43E-06	4,26E-09	9,12E-08	3,07E-08	1,77E-09
⁶⁰ Co	1,65E-10	3,18E-05	1,06E-06	6,27E-07	1,90E-07	9,48E-08
⁸⁹ Sr	1,64E-09	6,66E-05	5,74E-08	4,18E-06	1,41E-06	1,59E-07
⁹⁰ Sr	3,15E-12	6,41E-07	4,36E-10	1,25E-08	4,09E-09	9,71E-10
¹³⁴ Cs	1,02E-07	1,78E-02	4,07E-04	9,50E-04	1,16E-04	2,21E-04
¹³⁷ Cs	1,53E-07	3,12E-02	6,72E-04	1,46E-03	1,78E-04	3,59E-04

20.6.1-4. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló aktivitás-koncentrációk (I+II).

Dózis	Gamma	Gamma	Gamma	Béta*	Inhaláció	Inhaláció	Lenyelés	Külső	Belső	Teljes
Nuklid	felhő	talaj	reszuszp.			reszuszp.				
³ H	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,75E-10	0,00E+00	4,13E-09	0,00E+00	4,80E-09	4,80E-09
¹⁴ C (CO ₂)	1,81E-16	0,00E+00	0,00E+00	1,50E-13	1,03E-12	0,00E+00	1,09E-08	1,68E-15	1,10E-08	1,10E-08
¹⁴ C (szerves)	3,45E-15	0,00E+00	0,00E+00	2,85E-12	1,64E-09	0,00E+00	0,00E+00	3,19E-14	1,60E-09	1,60E-09
^{83m} Kr	5,17E-14	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,41E-14	0,00E+00	6,39E-14
^{85m} Kr	8,37E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,51E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,52E-10	0,00E+00	8,54E-10
⁸⁵ Kr	2,43E-12	0,00E+00	0,00E+00	2,25E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,68E-12	0,00E+00	4,70E-12
⁸⁷ Kr	3,04E-09	0,00E+00	0,00E+00	5,39E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,09E-09	0,00E+00	3,11E-09
⁸⁸ Kr	2,82E-08	2,12E-10	9,56E-18	1,36E-08	4,46E-10	2,18E-18	2,14E-22	2,87E-08	4,47E-10	2,94E-08
^{131m} Xe	5,16E-12	0,00E+00	0,00E+00	6,35E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,79E-12	0,00E+00	5,76E-12
¹³³ Xe	2,13E-09	0,00E+00	0,00E+00	4,85E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,17E-09	0,00E+00	2,16E-09
¹³⁵ Xe	5,02E-09	0,00E+00	0,00E+00	7,12E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,10E-09	0,00E+00	5,05E-09
¹³⁸ Xe	7,53E-10	2,93E-11	2,24E-18	7,24E-10	1,33E-11	2,13E-19	5,71E-24	7,90E-10	1,32E-11	8,00E-10
¹³¹ I (aeroszol)	3,07E-15	4,06E-13	5,83E-18	4,86E-15	8,00E-13	1,51E-15	1,20E-10	4,09E-13	1,18E-10	1,18E-10
¹³² I (aeroszol)	2,64E-14	3,93E-14	7,72E-21	3,51E-14	1,45E-14	4,23E-21	1,35E-26	6,60E-14	1,41E-14	8,00E-14
¹³³ I (aeroszol)	9,79E-15	1,40E-13	2,31E-19	1,80E-13	3,89E-13	9,22E-18	2,09E-13	1,51E-13	6,01E-13	7,56E-13
¹³⁴ I (aeroszol)	1,73E-14	1,17E-14	7,39E-22	2,34E-14	3,13E-15	1,34E-22	6,86E-28	2,93E-14	3,09E-15	3,20E-14
¹³⁵ I (aeroszol)	2,11E-14	8,55E-14	5,15E-20	2,79E-14	6,42E-14	1,58E-19	1,18E-17	1,07E-13	6,40E-14	1,66E-13
¹³¹ I (elemi)	2,87E-14	2,32E-11	3,33E-16	4,54E-14	1,65E-11	1,92E-13	6,88E-09	2,32E-11	6,89E-09	6,89E-09
¹³² I (elemi)	2,45E-13	2,23E-12	4,39E-19	3,26E-13	3,21E-13	5,76E-19	7,66E-25	2,48E-12	3,20E-13	2,85E-12
¹³³ I (elemi)	9,09E-14	7,94E-12	1,31E-17	1,68E-12	8,23E-12	1,19E-15	1,18E-11	8,05E-12	1,97E-11	2,74E-11
¹³⁴ I (elemi)	1,63E-13	6,77E-13	4,27E-20	2,21E-13	5,51E-14	1,44E-20	3,95E-26	8,42E-13	5,50E-14	8,99E-13
¹³⁵ I (elemi)	1,96E-13	4,87E-12	2,94E-18	2,59E-13	1,37E-12	2,07E-17	6,74E-16	5,07E-12	1,41E-12	6,52E-12
¹³¹ I (szerves)	4,35E-14	1,89E-13	2,71E-18	6,87E-14	2,04E-11	1,28E-15	5,62E-11	2,34E-13	7,62E-11	7,62E-11
¹³² I (szerves)	3,75E-13	1,83E-14	3,62E-21	5,00E-13	3,85E-13	3,72E-21	6,32E-27	3,98E-13	3,85E-13	7,80E-13
¹³³ I (szerves)	1,39E-13	6,56E-14	1,09E-19	2,56E-12	9,87E-12	7,69E-18	9,80E-14	2,30E-13	1,00E-11	1,02E-11
¹³⁴ I (szerves)	2,44E-13	5,46E-15	3,44E-22	3,32E-13	5,14E-14	7,24E-23	3,19E-28	2,53E-13	5,12E-14	2,99E-13
¹³⁵ I (szerves)	2,98E-13	4,00E-14	2,41E-20	3,96E-13	1,66E-12	1,34E-19	5,53E-18	3,42E-13	1,66E-12	1,99E-12
⁵¹ Cr	6,14E-18	2,86E-15	1,08E-19	6,96E-18	5,90E-17	1,03E-18	1,26E-14	2,87E-15	1,30E-14	1,60E-14
⁵⁴ Mn	1,19E-17	3,11E-14	3,69E-18	1,30E-17	1,15E-16	3,56E-17	2,11E-14	3,11E-14	2,14E-14	5,25E-14
⁶⁰ Co	2,37E-16	8,44E-13	1,19E-16	2,73E-16	1,07E-14	5,35E-15	1,55E-12	8,44E-13	1,58E-12	2,38E-12
⁸⁹ Sr	7,98E-18	5,15E-14	3,72E-19	6,35E-16	3,73E-14	1,74E-15	5,76E-12	5,15E-14	5,79E-12	5,79E-12
⁹⁰ Sr	3,44E-21	7,79E-16	1,84E-21	3,09E-18	9,54E-16	5,15E-16	7,38E-14	7,79E-16	7,53E-14	7,64E-14
¹³⁴ Cs	9,13E-14	2,95E-10	3,90E-14	1,07E-13	5,65E-13	2,42E-13	1,36E-09	2,95E-10	1,41E-09	1,73E-09
¹³⁷ Cs	1,05E-13	1,93E-10	2,83E-14	9,29E-14	6,38E-13	3,38E-13	1,60E-09	1,93E-10	1,61E-09	1,82E-09
Total	4,01E-08	7,69E-10	6,78E-14	3,35E-08	2,83E-09	7,83E-13	2,50E-08	4,12E-08	2,77E-08	6,88E-08

* A bemerülési bétadózis (bördózis) értékének 1%-a szerepel a külső és a teljes (effektív) dózisokban

20.6.1-5. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló, 1-2 éves kisgyermekre vonatkozó dózisok (I+II, Sv)

Dózis	Gamma	Gamma	Gamma	Béta*	Inhaláció	Inhaláció	Lenyelés	Külső	Belső	Teljes
Nuklid	felhő	talaj	reszuszp.			reszuszp.				
³ H	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-09	0,00E+00	1,87E-09	0,00E+00	2,90E-09	2,90E-09
¹⁴ C (CO ₂)	1,81E-16	0,00E+00	0,00E+00	1,50E-13	1,40E-12	0,00E+00	6,60E-09	1,68E-15	6,60E-09	6,60E-09
¹⁴ C (szerves)	3,45E-15	0,00E+00	0,00E+00	2,85E-12	2,48E-09	0,00E+00	0,00E+00	3,19E-14	2,50E-09	2,50E-09
^{83m} Kr	5,17E-14	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,41E-14	0,00E+00	6,39E-14
^{85m} Kr	7,43E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,51E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,58E-10	0,00E+00	7,63E-10
⁸⁵ Kr	2,25E-12	0,00E+00	0,00E+00	2,25E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,49E-12	0,00E+00	4,50E-12
⁸⁷ Kr	2,70E-09	0,00E+00	0,00E+00	5,39E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,75E-09	0,00E+00	2,79E-09
⁸⁸ Kr	2,73E-08	1,96E-10	8,23E-18	1,36E-08	2,48E-10	1,21E-18	4,95E-23	2,75E-08	2,45E-10	2,73E-08
^{131m} Xe	5,16E-12	0,00E+00	0,00E+00	6,35E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,79E-12	0,00E+00	5,76E-12
¹³³ Xe	1,97E-09	0,00E+00	0,00E+00	4,85E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,03E-09	0,00E+00	2,06E-09
¹³⁵ Xe	4,61E-09	0,00E+00	0,00E+00	7,12E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,68E-09	0,00E+00	4,72E-09
¹³⁸ Xe	6,62E-10	2,74E-11	2,07E-18	7,24E-10	7,40E-12	1,18E-19	1,61E-24	6,97E-10	7,40E-12	7,08E-10
¹³¹ I (aeroszol)	2,75E-15	3,42E-13	5,21E-18	4,86E-15	3,43E-13	6,48E-16	2,24E-11	3,45E-13	2,25E-11	2,25E-11
¹³² I (aeroszol)	2,19E-14	3,08E-14	6,44E-21	3,51E-14	6,90E-15	2,02E-21	2,55E-27	5,31E-14	6,88E-15	5,95E-14
¹³³ I (aeroszol)	8,53E-15	1,22E-13	2,01E-19	1,80E-13	1,36E-13	3,20E-18	2,55E-14	1,32E-13	1,56E-13	2,89E-13
¹³⁴ I (aeroszol)	1,48E-14	7,33E-15	6,34E-22	2,34E-14	1,94E-15	8,30E-23	1,67E-28	2,24E-14	1,92E-15	2,45E-14
¹³⁵ I (aeroszol)	1,90E-14	6,84E-14	4,66E-20	2,79E-14	2,32E-14	5,68E-20	1,55E-18	8,77E-14	2,32E-14	1,10E-13
¹³¹ I (elemi)	2,57E-14	1,95E-11	2,98E-16	4,54E-14	8,63E-12	1,00E-13	1,28E-09	1,96E-11	1,27E-09	1,27E-09
¹³² I (elemi)	2,04E-13	1,75E-12	3,66E-19	3,26E-13	1,81E-13	3,24E-19	1,44E-25	1,95E-12	1,83E-13	2,17E-12
¹³³ I (elemi)	7,92E-14	6,93E-12	1,15E-17	1,68E-12	3,35E-12	4,85E-16	1,44E-12	7,03E-12	4,82E-12	1,20E-11
¹³⁴ I (elemi)	1,40E-13	4,23E-13	3,66E-20	2,21E-13	4,98E-14	1,31E-20	9,60E-27	5,65E-13	4,97E-14	6,13E-13
¹³⁵ I (elemi)	1,76E-13	3,91E-12	2,65E-18	2,59E-13	6,19E-13	9,30E-18	8,87E-17	4,08E-12	6,20E-13	4,68E-12
¹³¹ I (szerves)	3,89E-14	1,60E-13	2,42E-18	6,87E-14	9,82E-12	6,12E-16	1,04E-11	1,99E-13	2,04E-11	2,04E-11
¹³² I (szerves)	3,12E-13	1,44E-14	3,01E-21	5,00E-13	1,69E-13	1,63E-21	1,19E-27	3,32E-13	1,74E-13	5,01E-13
¹³³ I (szerves)	1,21E-13	5,72E-14	9,46E-20	2,56E-12	3,99E-12	3,11E-18	1,19E-14	2,05E-13	4,01E-12	4,23E-12
¹³⁴ I (szerves)	2,09E-13	3,41E-15	2,95E-22	3,32E-13	2,49E-14	3,51E-23	7,75E-29	2,16E-13	2,45E-14	2,45E-13
¹³⁵ I (szerves)	2,70E-13	3,20E-14	2,18E-20	3,96E-13	6,99E-13	5,64E-20	7,28E-19	3,06E-13	6,96E-13	1,01E-12
⁵¹ Cr	5,74E-18	2,31E-15	1,01E-19	6,96E-18	4,33E-17	7,62E-19	3,58E-15	2,31E-15	3,61E-15	5,92E-15
⁵⁴ Mn	1,05E-17	3,03E-14	3,27E-18	1,30E-17	1,16E-16	3,59E-17	8,30E-15	3,04E-14	8,47E-15	3,86E-14
⁶⁰ Co	2,19E-16	7,02E-13	1,09E-16	2,73E-16	1,62E-14	8,04E-15	3,46E-13	7,02E-13	3,72E-13	1,07E-12
⁸⁹ Sr	7,06E-18	4,41E-14	3,29E-19	6,35E-16	4,09E-14	1,91E-15	1,42E-12	4,41E-14	1,50E-12	1,50E-12
⁹⁰ Sr	2,81E-21	7,08E-16	1,51E-21	3,09E-18	1,60E-15	8,58E-16	4,77E-14	7,08E-16	5,05E-14	5,16E-14
¹³⁴ Cs	8,12E-14	2,35E-10	3,47E-14	1,07E-13	2,12E-12	9,09E-13	2,75E-09	2,35E-10	2,71E-09	2,93E-09
¹³⁷ Cs	9,13E-14	1,79E-10	2,47E-14	9,29E-14	2,27E-12	1,20E-12	2,94E-09	1,79E-10	2,90E-09	3,11E-09
Total	3,79E-08	6,72E-10	5,98E-14	3,35E-08	3,82E-09	2,22E-12	1,55E-08	3,89E-08	1,95E-08	5,85E-08

* A bemerülési bétadózis (bördózis) értékének 1%-a szerepel a külső és a teljes (effektív) dózisosokban

20.6.1-6. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján a csámpai területen kialakuló, felnőttekre vonatkozó dózisosok (I+II, Sv)

Távolság	<1 km				1-5 km				5-10 km				10-30 km				1,5 km
	4-7	8-11	12-15	16-3	4-7	8-11	12-15	'16-3	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	
Bemerülési gamma	1,1E-07	1,3E-07	8,4E-08	7,2E-08	1,5E-08	2,2E-08	9,2E-09	1,4E-08	3,3E-09	5,0E-09	1,8E-09	3,2E-09	5,0E-10	7,7E-10	2,5E-10	5,1E-10	4,0E-08
Felszíni gamma	1,7E-09	2,1E-09	1,4E-09	1,2E-09	3,2E-10	4,8E-10	2,1E-10	3,0E-10	8,8E-11	1,4E-10	5,2E-11	8,7E-11	1,6E-11	2,5E-11	8,3E-12	1,7E-11	7,7E-10
Reszuszp. gamma	1,9E-13	2,3E-13	1,5E-13	1,3E-13	2,6E-14	3,8E-14	1,6E-14	2,4E-14	5,9E-15	8,8E-15	3,3E-15	5,7E-15	1,1E-15	1,6E-15	5,5E-16	1,1E-15	6,8E-14
Bemerülési béta*	7,8E-08	9,7E-08	6,2E-08	5,3E-08	1,3E-08	2,0E-08	8,6E-09	1,3E-08	3,5E-09	5,4E-09	2,0E-09	3,5E-09	6,1E-10	9,4E-10	3,1E-10	6,3E-10	3,4E-08
Összes külső	1,1E-07	1,3E-07	8,6E-08	7,4E-08	1,6E-08	2,3E-08	9,5E-09	1,4E-08	3,4E-09	5,2E-09	1,9E-09	3,3E-09	5,2E-10	8,0E-10	2,6E-10	5,3E-10	4,1E-08
Belégzés	6,4E-09	7,5E-09	5,0E-09	3,8E-09	1,2E-09	1,8E-09	7,4E-10	1,1E-09	3,1E-10	4,7E-10	1,8E-10	3,0E-10	6,3E-11	9,3E-11	3,2E-11	6,1E-11	2,8E-09
Reszuszp. belégzés	2,2E-12	2,7E-12	1,7E-12	1,5E-12	3,0E-13	4,4E-13	1,8E-13	2,7E-13	6,5E-14	9,7E-14	3,6E-14	6,2E-14	1,1E-14	1,7E-14	5,8E-15	1,1E-14	7,8E-13
Lenyelés	6,7E-08	7,9E-08	5,1E-08	4,2E-08	9,6E-09	1,4E-08	5,8E-09	8,6E-09	2,2E-09	3,2E-09	1,2E-09	2,0E-09	4,0E-10	5,9E-10	2,1E-10	3,9E-10	2,5E-08
Összes belső	7,4E-08	8,7E-08	5,6E-08	4,5E-08	1,1E-08	1,6E-08	6,5E-09	9,8E-09	2,5E-09	3,7E-09	1,4E-09	2,3E-09	4,7E-10	6,9E-10	2,4E-10	4,5E-10	2,8E-08
Teljes	1,8E-07	2,2E-07	1,4E-07	1,2E-07	2,6E-08	3,9E-08	1,6E-08	2,4E-08	5,8E-09	9,0E-09	3,3E-09	5,7E-09	9,9E-10	1,5E-09	5,0E-10	9,7E-10	6,9E-08

* A bemerülési bétadózis (bördózis) értékének 1%-a szerepel a külső és a teljes (effektív) dózisokban

20.6.1-7. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján az egyes területeken 1-2 éves kisgyermekre kialakuló dózisok, besugárzási útvonalanként (I+II, Sv)

Távolság	<1 km				1-5 km				5-10 km				10-30 km				1,5 km
	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	'4-7	'8-11	'12-15	'16-3	
Bemerülési gamma	1,0E-07	1,3E-07	8,0E-08	6,8E-08	1,4E-08	2,1E-08	8,7E-09	1,3E-08	3,1E-09	4,7E-09	1,7E-09	3,0E-09	4,7E-10	7,2E-10	2,4E-10	4,8E-10	3,8E-08
Felszíni gamma	1,4E-09	1,8E-09	1,2E-09	1,0E-09	2,8E-10	4,3E-10	1,8E-10	2,7E-10	7,8E-11	1,2E-10	4,6E-11	7,8E-11	1,4E-11	2,2E-11	7,4E-12	1,5E-11	6,7E-10
Reszuszp. gamma	1,6E-13	2,1E-13	1,3E-13	1,2E-13	2,3E-14	3,4E-14	1,4E-14	2,1E-14	5,2E-15	7,7E-15	2,9E-15	5,0E-15	9,5E-16	1,4E-15	4,9E-16	9,3E-16	6,0E-14
Bemerülési béta*	7,8E-08	9,7E-08	6,2E-08	5,3E-08	1,3E-08	2,0E-08	8,6E-09	1,3E-08	3,5E-09	5,4E-09	2,0E-09	3,5E-09	6,1E-10	9,4E-10	3,1E-10	6,3E-10	3,4E-08
Összes külső	1,0E-07	1,3E-07	8,2E-08	7,0E-08	1,5E-08	2,2E-08	8,9E-09	1,3E-08	3,2E-09	4,8E-09	1,8E-09	3,1E-09	4,9E-10	7,5E-10	2,5E-10	5,0E-10	3,9E-08
Belégzés	9,3E-09	1,1E-08	7,1E-09	5,4E-09	1,6E-09	2,3E-09	9,5E-10	1,4E-09	3,9E-10	5,8E-10	2,2E-10	3,6E-10	7,9E-11	1,1E-10	4,0E-11	7,5E-11	3,8E-09
Reszuszp. belégzés	6,1E-12	7,6E-12	4,8E-12	4,3E-12	8,5E-13	1,3E-12	5,2E-13	7,8E-13	1,9E-13	2,9E-13	1,1E-13	1,8E-13	3,5E-14	5,1E-14	1,8E-14	3,4E-14	2,2E-12
Lenyelés	4,1E-08	4,9E-08	3,2E-08	2,6E-08	6,0E-09	8,8E-09	3,6E-09	5,4E-09	1,4E-09	2,1E-09	7,7E-10	1,3E-09	2,7E-10	3,9E-10	1,4E-10	2,6E-10	1,5E-08
Összes belső	5,0E-08	6,0E-08	3,9E-08	3,1E-08	7,5E-09	1,1E-08	4,6E-09	6,8E-09	1,8E-09	2,6E-09	1,0E-09	1,7E-09	3,5E-10	5,0E-10	1,7E-10	3,3E-10	2,0E-08
Teljes	1,5E-07	1,9E-07	1,2E-07	1,0E-07	2,2E-08	3,3E-08	1,3E-08	2,0E-08	5,0E-09	7,5E-09	2,8E-09	4,8E-09	8,4E-10	1,3E-09	4,2E-10	8,2E-10	5,9E-08

* A bemerülési bétadózis (bördózis) értékének 1%-a szerepel a külső és a teljes (effektív) dózisokban

20.6.1-8. táblázat: A 2009-es meteorológiai adatok alapján az egyes területeken felnőttekre kialakuló dózisok, besugárzási útvonalanként (I+II, Sv)

A 20.6.1-3. - 20.6.1-8. táblázatok alapján látható, hogy az eredmények lényegében hasonlóak a korábbi blokkok alapján számított értékekhez, a csámpai kisgyermekre számított teljes-dózis eredmények alatta maradnak a korábbi sokéves maximumoknak. Ez köszönhető egyrészt annak, hogy Csámpa valamivel messzebb és kissé eltérő irányban fekszik az új kéményektől, másrészt a megadott átlagos kibocsátási értékek - természetesen - eltérnek a korábbiaktól.

A kibocsátásoknak megfelelően az egyes nuklidok aránya más, mint a korábbi blokkok esetében, de itt is a nemesgázok külső dózisa (^{88}Kr dominál) és a radiokarbonból származó lenyelés a meghatározó. Ezek mellett számottevő dóziszáruléka van a tríciumnak, az (elemi) ^{131}I -nek és a Cs izotópoknak. Az 1-2 éves kisgyermek dózisa valamivel magasabb a felnőttekéénél és mindkét esetben a külső dózisos a nagyobbak.

Mivel a számított effektív dózisos a vizsgált területen sehol sem haladják meg a 90 mikro-Sv értéket, a legnagyobb számított értékek (az 500 m-re számolt kisgyermek estében is csak 220 nSv) két és fél nagyságrenddel ez alatt maradnak, azt mondhatjuk, hogy semlegesnél nagyobb kockázatot (90 mikro-Sv értéket meghaladó) nem jelent a biztonsági övezeten túl az erőmű normál üzemi működése.

20.6.2 TERVEZÉSI ÜZEMZAVAR (TA4 / DBC4)

A tervezett blokkok minden egyes üzemállapotához meghatározhatók azok az események, amelyek az adott üzemállapoton belül a legnagyobb környezeti kibocsátással járnak. Az előzetes orosz adatszolgáltatás alapján a tervezett blokkok mértékadó üzemzavari eseményeit a 6.13.4 fejezet mutatja be.

A 118/2011. (VII.11) Korm. rendelettel kihirdetett Nukleáris Biztonsági Szabályzat 3.2.2.3300. pontja alapján új atomerőművi blokk esetén a feltételezett kezdeti események köréből kiszűrhető a rendszerek, rendszerelemek meghibásodása, vagy emberi hiba, vagy mindkettő következtében fellépő belső kezdeti esemény, ha gyakorisága kisebb, mint $10^{-6}/\text{év}$.

Erre tekintettel, az üzemzavari hatások és hatásterületek meghatározásakor a Tervezési alapba tartozó események közül a nagyon kis gyakoriságú TA4 tervezési üzemzavart vesszük figyelembe az NBSz 3. melléklet 3.2.2.0200 és a 10. melléklet 163. Üzemállapot alapján (Tervezési Alap 4: Tervezési alapba tartozó események, nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok: $10^{-4} > f > 10^{-6}$ [1/év]). Ezt tekintettük burkoló esetnek.

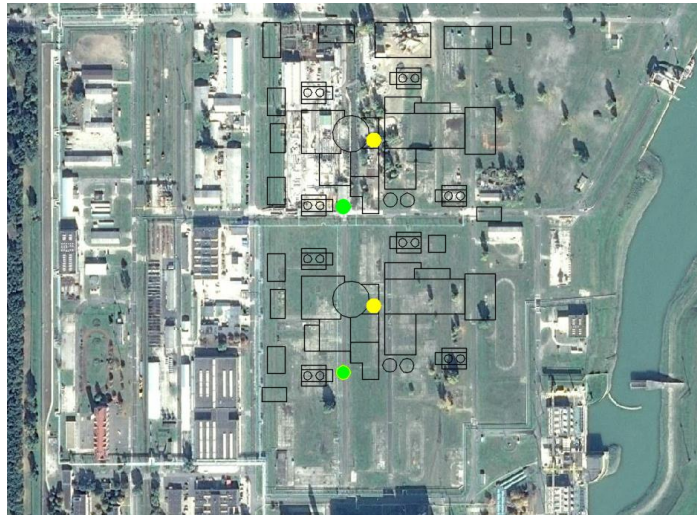
A tervezési üzemzavari események vizsgálatához a „Data for NPP environmental impact analysis (AES-2006 with VVER-1200)” előzetes orosz adatszolgáltatásban lévő DBC4 (Design Basis Category 4 Conditions) esetre megadott adatokat használtuk.

A TA4 / DBC4 esemény esetén a 100 m magas kéményen keresztül történő kibocsátásokat 120 m-es effektív magassággal vettük figyelembe, a "felszíni" kibocsátásoknál az épület tetején lévő ventilátorok 35 m-es magasságával számoltunk.

A TA4 / DBC4 esemény kibocsátási EOv koordinátái:

	Megnevezés	X	Y
1. blokk	Szellőztető kémény	635 030	137 110
	Épület ventilátor	635 074	137 442
2. blokk	Szellőztető kémény	635 030	137 346
	Épület ventilátor	635 074	137 206

20.6.2-1. táblázat: TA4/DBC4 esemény kibocsátási EOv koordinátái



20.6.2-1. ábra: TA4 / DBC4 esemény kibocsátási pontok (zöld: kémény; sárga: épület ventilátor)

A számításhoz most is a 20.4.2.1. fejezetben leírt „SS57” jelű modellünket alkalmaztuk. Két külön esetként vettük figyelembe a korai (10 napos kibocsátások alapján) és késői (30 napos kibocsátások alapján) dózisokat. Mindkét esetben egy meteorológiai helyzetre számítottuk ki a dózisokat az 1-2 éves kisgyermekek és a felnőttek korcsoportjára. Nyári kibocsátással számoltunk, a többi paraméter megegyezett a normál viszonyoknál használtakkal.

Meteorológiai viszonyok átlagosak, alacsony csapadékkal:

- Stabilitási (Pasquill) kategória: D
- Szélesség: 5 m/s (18 km/h)
- Csapadék: 1 mm/h

A hatásterület számításához közelítésekkel meghatároztuk azt a távolságot, ahol a dózisok maximálisak. Mivel ezen a távolságon a számított dózis semelyik esetben sem haladta meg a semleges (effektív dózis <math><90 \mu\text{Sv}/\text{év}</math>) hatást, így az eredményekben megadtuk nuklidonként és összegezve a maximális dózisokat (a hozzátartozó távolságra), ill. megadtunk még néhány jellemző távolságot az ott számítható dózissal.

A számításokat az alábbi távolságokra végeztük el a scenáriónál (forgatókönyveknél):

- 300 m,
- 400 m (a maximális dózis távolsága),
- 600 m,
- 800 m,
- 3 km,
- 10 km,
- 20 km,
- 30 km

20.6.2.1 TA4 / DBC4 kategóriájú esemény

20.6.2.1.1 Kibocsátások – TA4 / DBC4

Korai dózisok: a Forrás: Data for NPP environmental impact analysis (AES-2006 with VVER-1200), Rusatom Overseas JSC, 2014.09.23.]

20.6.2-2. táblázatban megadott 10 napos "felszíni" és kémény kibocsátásokból kiszámítottuk a felhőből és a talajfelszíntől származó alábbi dózisokat, majd ezek összegét adtuk meg:

- *bemerülési gamma-dózis*
- *bemerülés béta-dózis (az összegben az 1 %-a szerepel)*
- *talajfelszíni gamma-dózis*
- *inhalációból származó dózis*
- *reszuszpezióból származó dózisok*

Nuklid	10 napos kéménykibocsátás	10 napos "felszíni" kibocsátás
131I (elemi)	2,90E+08	2,10E+09
132I (elemi)	1,50E+07	1,00E+08
133I (elemi)	5,80E+07	4,00E+08
134I (elemi)	3,20E+06	2,30E+07
135I (elemi)	1,00E+07	7,10E+07
131I (szerves)	8,70E+09	6,10E+09
132I (szerves)	1,70E+08	1,20E+08
133I (szerves)	1,40E+09	9,80E+08
134I (szerves)	2,00E+07	1,40E+07
135I (szerves)	1,90E+08	1,30E+08
85mKr	9,60E+10	6,70E+08
87Kr	4,40E+10	3,10E+08
88Kr	1,80E+11	1,20E+09
133Xe	9,70E+13	6,80E+11
135Xe	3,30E+11	2,30E+09
138Xe	7,00E+09	4,90E+07
134Cs	6,20E+05	4,30E+07
137Cs	2,20E+05	1,60E+07

Forrás: Data for NPP environmental impact analysis (AES-2006 with VVER-1200), Rusatom Overseas JSC, 2014.09.23.]

20.6.2-2. táblázat: A korai dózisos kibocsátásai (Bq)

Késői dózisos: a 20.6.2-3 táblázatban megadott 30 napos "felszíni" és kémény kibocsátásokról kiszámítottuk a felhőből és a talajfelszíntől származó alábbi dózisosokat, majd ezek összegét adtuk meg:

- *bemerülési gamma-dózis*
- *bemerülés béta-dózis (az összegben az 1%-a szerepel)*
- *talajfelszíni gamma-dózis*
- *inhalációból származó dózis*
- *reszuszpezióból származó dózisosok*
- *lenyelésből származó dózis*

Nuklid	30 napos kéménykibocsátás	30 napos "felszíni" kibocsátás
131I (elemi)	4,30E+08	3,00E+09
132I (elemi)	1,50E+07	1,00E+08
133I (elemi)	5,80E+07	4,00E+08
134I (elemi)	3,20E+06	2,30E+07
135I (elemi)	1,00E+07	7,10E+07
131I (szerves)	1,40E+10	9,80E+09
132I (szerves)	1,70E+08	1,20E+08
133I (szerves)	1,40E+09	9,80E+08
134I (szerves)	2,00E+07	1,40E+07
135I (szerves)	1,90E+08	1,30E+08
85mKr	9,60E+10	6,70E+08
87Kr	4,40E+10	3,10E+08
88Kr	1,80E+11	1,20E+09
133Xe	1,30E+14	9,20E+11
135Xe	3,30E+11	2,30E+09
138Xe	7,00E+09	4,90E+07
134Cs	6,20E+05	4,30E+07
137Cs	2,20E+05	1,60E+07

20.6.2-3. táblázat: A késői dózisos kibocsátásai (Bq)

A számításokat a felnőttek és az 1-2 éves kisgyermek korcsoportjára is elvégeztük, a talajfelszíni depozícióból származó késői dózisosokat a felnőtteknél 50, a gyermekeknél 70 évre integráltuk, a belső dózisosoknál minden esetben lekötött dózistényezővel számoltunk. További konzervatív feltételezésként állandó ott tartózkodást és csak helyben termelt élelmiszer fogyasztását vettük alapul, valamint, hogy nem történik semmilyen óvintézkedés.

A számításoknál egyaránt figyelembe vettük a kéményen át történő és a "felszíni" kibocsátásokat is, az eredmény-táblázatokban az egyes esetekre a kettő együttes hatását (adott távolságra kiszámolt összegét) adtuk meg.

Az összes esetben azzal a konzervatív feltételezéssel éltünk, hogy a szél egy átlagos 5 m/s-os sebességgel folyamatosan egyirányba fúj, miközben folyamatosan egy átlagos 1 mm/h-ás csapadék van jelen. A számításokat az y-irányú csóvamaximumra, a talajfelszínre végeztük el.

20.6.2.1.2 Dózisok – TA4 / DBC4

A 20.6.2-4 - 20.6.2-7 táblázatokban közöljük az egyes esetek útvonalakra összegzett nuklidonkénti és teljes dózisokat, a 20.6.2-8. táblázatban külön a végösszegeket összesítve

Nuklid/távolság	300m	400m	600m	800m	3km	10km	20km	30km
¹³¹ I (elemi)	3,60E-07	4,50E-07	3,41E-07	2,22E-07	1,47E-08	8,00E-10	1,26E-10	4,00E-11
¹³² I (elemi)	1,10E-09	1,40E-09	1,00E-09	6,68E-10	4,34E-11	2,12E-12	2,90E-13	7,80E-14
¹³³ I (elemi)	1,80E-08	2,20E-08	1,71E-08	1,11E-08	7,39E-10	3,90E-11	6,20E-12	1,94E-12
¹³⁴ I (elemi)	1,40E-10	1,70E-10	1,30E-10	8,39E-11	5,19E-12	2,07E-13	2,06E-14	4,30E-15
¹³⁵ I (elemi)	1,60E-09	1,90E-09	1,50E-09	9,50E-10	6,34E-11	3,33E-12	4,90E-13	1,49E-13
¹³¹ I (szerves)	4,50E-07	5,61E-07	4,43E-07	3,09E-07	4,40E-08	5,40E-09	1,47E-09	7,47E-10
¹³² I (szerves)	2,50E-10	3,11E-10	2,37E-10	1,76E-10	2,40E-11	2,53E-12	6,11E-13	2,49E-13
¹³³ I (szerves)	1,80E-08	2,30E-08	1,85E-08	1,22E-08	1,79E-09	2,14E-10	5,98E-11	2,82E-11
¹³⁴ I (szerves)	2,00E-11	2,50E-11	1,96E-11	1,43E-11	1,77E-12	1,53E-13	2,93E-14	9,08E-15
¹³⁵ I (szerves)	5,90E-10	7,41E-10	5,87E-10	4,21E-10	6,00E-11	6,80E-12	1,81E-12	8,53E-13
^{85m} Kr	4,03E-11	5,88E-11	1,58E-10	2,85E-10	2,12E-10	3,51E-11	1,10E-11	5,10E-12
⁸⁷ Kr	1,11E-10	1,64E-10	4,30E-10	8,01E-10	5,65E-10	8,02E-11	2,00E-11	7,51E-12
⁸⁸ Kr	1,01E-09	1,54E-09	4,10E-09	8,08E-09	7,16E-09	1,40E-09	4,41E-10	1,90E-10
¹³³ Xe	7,95E-09	1,17E-08	3,06E-08	5,71E-08	4,34E-08	7,62E-09	2,50E-09	1,30E-09
¹³⁵ Xe	2,32E-10	3,31E-10	8,70E-10	1,64E-09	1,21E-09	2,11E-10	6,71E-11	3,30E-11
¹³⁸ Xe	2,72E-11	4,12E-11	1,13E-10	2,20E-10	1,82E-10	1,30E-11	6,71E-13	5,00E-14
¹³⁴ Cs	3,90E-08	4,80E-08	3,70E-08	2,40E-08	1,62E-09	7,37E-11	8,95E-12	2,24E-12
¹³⁷ Cs	5,50E-09	6,80E-09	5,10E-09	3,40E-09	2,33E-10	1,04E-11	1,29E-12	3,12E-13
Összesen	9,00E-07	1,10E-06	9,02E-07	6,56E-07	1,17E-07	1,59E-08	4,78E-09	2,38E-09

20.6.2-4. táblázat: Az 1-2 éves kisgyermek korai dózisa (Sv)

Nuklid/távolság	300m	400m	600m	800m	3km	10km	20km	30km
¹³¹ I (elemi)	2,40E-07	3,00E-07	2,21E-07	1,42E-07	9,70E-09	5,30E-10	8,30E-11	2,60E-11
¹³² I (elemi)	8,40E-10	1,00E-09	7,73E-10	5,06E-10	3,31E-11	1,57E-12	2,24E-13	6,00E-14
¹³³ I (elemi)	1,10E-08	1,40E-08	1,10E-08	6,98E-09	4,66E-10	2,52E-11	4,00E-12	1,23E-12
¹³⁴ I (elemi)	9,70E-11	1,20E-10	8,83E-11	5,76E-11	3,51E-12	1,39E-13	1,44E-14	3,00E-15
¹³⁵ I (elemi)	1,10E-09	1,40E-09	1,10E-09	6,97E-10	4,64E-11	2,37E-12	3,60E-13	1,09E-13
¹³¹ I (szerves)	2,20E-07	2,80E-07	2,16E-07	1,54E-07	2,18E-08	2,54E-09	7,45E-10	3,68E-10
¹³² I (szerves)	1,60E-10	2,00E-10	1,55E-10	1,10E-10	1,53E-11	1,64E-12	3,96E-13	1,62E-13
¹³³ I (szerves)	7,60E-09	9,42E-09	7,41E-09	5,30E-09	7,50E-10	8,80E-11	2,49E-11	1,19E-11
¹³⁴ I (szerves)	1,60E-11	2,00E-11	1,55E-11	1,09E-11	1,39E-12	1,23E-13	2,26E-14	7,14E-15
¹³⁵ I (szerves)	3,10E-10	3,81E-10	3,09E-10	2,11E-10	3,10E-11	3,52E-12	9,60E-13	4,43E-13
^{85m} Kr	3,52E-11	5,19E-11	1,34E-10	2,53E-10	1,92E-10	3,21E-11	9,61E-12	4,60E-12
⁸⁷ Kr	9,97E-11	1,42E-10	3,74E-10	7,03E-10	5,04E-10	7,12E-11	1,70E-11	6,71E-12
⁸⁸ Kr	9,87E-10	1,43E-09	3,96E-09	7,75E-09	6,75E-09	1,30E-09	4,01E-10	1,80E-10
¹³³ Xe	7,45E-09	1,08E-08	2,80E-08	5,37E-08	4,03E-08	7,12E-09	2,30E-09	1,20E-09
¹³⁵ Xe	2,11E-10	3,06E-10	8,00E-10	1,53E-09	1,11E-09	1,91E-10	6,11E-11	3,10E-11
¹³⁸ Xe	2,42E-11	3,65E-11	1,00E-10	1,97E-10	1,71E-10	1,20E-11	6,01E-13	4,50E-14
¹³⁴ Cs	3,20E-08	4,00E-08	3,00E-08	2,00E-08	1,32E-09	6,02E-11	7,33E-12	1,80E-12
¹³⁷ Cs	5,30E-09	6,60E-09	5,00E-09	3,30E-09	2,23E-10	1,01E-11	1,18E-12	3,01E-13
Összesen	5,30E-07	6,53E-07	5,22E-07	3,95E-07	8,40E-08	1,20E-08	3,65E-09	1,85E-09

20.6.2-5. táblázat: A felnőttek korai dózisa (Sv)

Nuklid/távolság	300m	400m	600m	800m	3km	10km	20km	30km
¹³¹ I (elemi)	2,10E-06	2,50E-06	1,91E-06	1,21E-06	8,39E-08	4,60E-09	7,30E-10	2,30E-10
¹³² I (elemi)	1,10E-09	1,40E-09	1,00E-09	6,68E-10	4,44E-11	2,12E-12	2,90E-13	7,80E-14
¹³³ I (elemi)	1,80E-08	2,20E-08	1,71E-08	1,11E-08	7,49E-10	4,10E-11	6,30E-12	1,97E-12
¹³⁴ I (elemi)	1,40E-10	1,80E-10	1,30E-10	8,39E-11	5,20E-12	2,07E-13	2,06E-14	4,30E-15
¹³⁵ I (elemi)	1,60E-09	1,90E-09	1,50E-09	9,60E-10	6,45E-11	3,34E-12	5,00E-13	1,51E-13
¹³¹ I (szerves)	7,80E-07	9,82E-07	7,73E-07	5,51E-07	7,70E-08	9,40E-09	2,71E-09	1,30E-09
¹³² I (szerves)	2,50E-10	3,11E-10	2,37E-10	1,76E-10	2,40E-11	2,53E-12	6,11E-13	2,49E-13
¹³³ I (szerves)	1,90E-08	2,30E-08	1,85E-08	1,22E-08	1,80E-09	2,14E-10	5,98E-11	2,92E-11
¹³⁴ I (szerves)	2,00E-11	2,50E-11	1,96E-11	1,43E-11	1,77E-12	1,53E-13	2,93E-14	9,08E-15
¹³⁵ I (szerves)	5,90E-10	7,41E-10	5,87E-10	4,21E-10	6,00E-11	6,80E-12	1,81E-12	8,53E-13
^{85m} Kr	4,03E-11	5,88E-11	1,58E-10	2,85E-10	2,12E-10	3,51E-11	1,10E-11	5,10E-12
⁸⁷ Kr	1,11E-10	1,64E-10	4,30E-10	8,01E-10	5,65E-10	8,02E-11	2,00E-11	7,51E-12
⁸⁸ Kr	1,01E-09	1,54E-09	4,10E-09	8,08E-09	7,16E-09	1,40E-09	4,41E-10	1,90E-10
¹³³ Xe	1,11E-08	1,53E-08	4,10E-08	7,69E-08	5,85E-08	1,00E-08	3,40E-09	1,70E-09
¹³⁵ Xe	2,32E-10	3,31E-10	8,70E-10	1,64E-09	1,21E-09	2,11E-10	6,71E-11	3,30E-11
¹³⁸ Xe	2,72E-11	4,12E-11	1,13E-10	2,20E-10	1,82E-10	1,30E-11	6,71E-13	5,00E-14
¹³⁴ Cs	6,60E-06	8,20E-06	6,20E-06	4,10E-06	2,73E-07	1,25E-08	1,51E-09	3,81E-10
¹³⁷ Cs	7,60E-06	9,40E-06	7,20E-06	4,80E-06	3,14E-07	1,45E-08	1,72E-09	4,35E-10
Összesen	1,70E-05	2,10E-05	1,61E-05	1,12E-05	8,30E-07	5,30E-08	1,07E-08	4,34E-09

20.6.2-6. táblázat: Az 1-2 éves kisgyermekek késői dózisa (Sv)

Nuklid/távolság	300m	400m	600m	800m	3km	10km	20km	30km
¹³¹ I (elemi)	7,90E-07	9,80E-07	7,32E-07	4,85E-07	3,29E-08	1,80E-09	2,80E-10	9,00E-11
¹³² I (elemi)	8,50E-10	1,00E-09	7,83E-10	5,06E-10	3,31E-11	1,58E-12	2,25E-13	6,00E-14
¹³³ I (elemi)	1,20E-08	1,50E-08	1,10E-08	7,18E-09	4,78E-10	2,54E-11	4,10E-12	1,26E-12
¹³⁴ I (elemi)	9,70E-11	1,20E-10	8,83E-11	5,76E-11	3,51E-12	1,39E-13	1,44E-14	3,00E-15
¹³⁵ I (elemi)	1,20E-09	1,40E-09	1,10E-09	6,98E-10	4,64E-11	2,38E-12	3,70E-13	1,09E-13
¹³¹ I (szerves)	3,70E-07	4,61E-07	3,70E-07	2,54E-07	3,70E-08	4,41E-09	1,35E-09	6,16E-10
¹³² I (szerves)	1,60E-10	2,00E-10	1,55E-10	1,10E-10	1,53E-11	1,64E-12	3,96E-13	1,62E-13
¹³³ I (szerves)	7,60E-09	9,42E-09	7,41E-09	5,30E-09	7,50E-10	8,80E-11	2,49E-11	1,19E-11
¹³⁴ I (szerves)	1,60E-11	2,00E-11	1,55E-11	1,09E-11	1,39E-12	1,23E-13	2,26E-14	7,14E-15
¹³⁵ I (szerves)	3,10E-10	3,81E-10	3,09E-10	2,11E-10	3,10E-11	3,52E-12	9,60E-13	4,43E-13
^{85m} Kr	3,52E-11	5,19E-11	1,34E-10	2,53E-10	1,92E-10	3,21E-11	9,61E-12	4,60E-12
⁸⁷ Kr	9,97E-11	1,42E-10	3,74E-10	7,03E-10	5,04E-10	7,12E-11	1,70E-11	6,71E-12
⁸⁸ Kr	9,87E-10	1,43E-09	3,96E-09	7,75E-09	6,75E-09	1,30E-09	4,01E-10	1,80E-10
¹³³ Xe	1,01E-08	1,42E-08	3,75E-08	7,14E-08	5,45E-08	9,53E-09	3,10E-09	1,60E-09
¹³⁵ Xe	2,11E-10	3,06E-10	8,00E-10	1,53E-09	1,11E-09	1,91E-10	6,11E-11	3,10E-11
¹³⁸ Xe	2,42E-11	3,65E-11	1,00E-10	1,97E-10	1,71E-10	1,20E-11	6,01E-13	4,50E-14
¹³⁴ Cs	8,30E-06	1,00E-05	7,80E-06	5,21E-06	3,54E-07	1,56E-08	1,94E-09	4,71E-10
¹³⁷ Cs	6,80E-06	8,50E-06	6,50E-06	4,30E-06	2,83E-07	1,35E-08	1,61E-09	3,91E-10
Összesen	1,60E-05	2,00E-05	1,51E-05	1,01E-05	7,75E-07	4,60E-08	8,80E-09	3,46E-09

20.6.2-7. táblázat: A felnőttek késői dózisa (Sv)

Eset/távolság	300m	400m	600m	800m	3km	10km	20km	30km
kisgyermek korai	9,00E-07	1,10E-06	9,02E-07	6,56E-07	1,17E-07	1,59E-08	4,78E-09	2,38E-09
felőtt korai	5,30E-07	6,53E-07	5,22E-07	3,95E-07	8,40E-08	1,20E-08	3,65E-09	1,85E-09
kisgyermek késői	1,70E-05	2,10E-05	1,61E-05	1,12E-05	8,30E-07	5,30E-08	1,07E-08	4,34E-09
felőtt késői	1,60E-05	2,00E-05	1,51E-05	1,01E-05	7,75E-07	4,60E-08	8,80E-09	3,46E-09

20.6.2-8. táblázat: Az egyes esetek összesített teljes dózisa (Sv)

A 20.6.2-4 - 20.6.2-8 táblázatokból látható, a számított dózis semelyik esetben sem haladta meg a semleges (effektív dózis <90 $\mu\text{Sv}/\text{év}$) hatást (a legnagyobb érték: 21 μSv - a kisgyermek késői dózisa 400 m-en), ezért mondhatjuk azt, hogy a biztonsági övezeten túl csak semleges hatás várható (valójában azon belül is).

A korai dózisosokról elmondható, hogy a közeli távolságokon (pl. a 400 m-es maximum esetében is) a dózis legnagyobb részét a "felszíni" kibocsátású ^{131}I okozza (elsősorban inhaláció útján), nagyobb távolságokon a nemesgázok, különösen a ^{133}Xe kéménykibocsátásából származó bemezőlési gamma-dózisa kerül előtérbe (ami természetesen nagyságrendekkel kisebb érték, mint a maximumban számolt dózis). A felőtték dózisa ebben a szcenárióban lényegesen kisebb (a közeli távolságokon közel fele), mint a kisgyermekké.

A késői dózisok javarésze a közeli távolságokon a két Cs-izotóp (és kisebb mértékben a ^{131}I) "felszíni" kibocsátásából származik (elsősorban a talajfelszíni gamma és lenyelés útján), míg nagyobb távolságokon már itt is főként a ^{133}Xe kéménykibocsátásából származó bemezőlési gamma-dózisa dominál. A felőtték dózisa ebben az esetben is kisebb, mint a gyermekeké, de közeli távolságokon csak kismértékben (itt a kisgyermek nagyobb talajfelszíni gamma-dózisát majdnem kompenzálja a felőtték lenyeléséből származó magasabb dózisa).

20.6.3 A FOLYÉKONY KIBOCSÁTÁSOKBÓL SZÁRMAZÓ SUGÁRTERHELÉS

A vízi terjedés modellje

A Paksi Atomerőmű folyékony kibocsátási útvonalán (melegvíz-csatorna) a Dunába bejutó, folyékony radioaktív hulladékok elkeveredés és hígulás után elérik a vízkivételi, illetve egyéb hasznosítási pontokat. Ily módon a radioaktív szennyeződés a Duna hasznosítása során közvetlenül, vagy közvetve (a vízi táplálékláncon keresztül) érintkezésbe kerül az emberrel, és külső, ill. belső sugárterhelést okozhat. A sugárterhelés számítására használt modell a NAÜ [20.6.4-1] ajánlásán alapul.

A kibocsátott, folyékony anyagoknak a víztömegben való hígulásánál – a [20.6.4-1] irodalommal összhangban - feltételeztük, hogy teljes elkeveredés csak függőleges irányban valósul meg, a csóvatengelyére merőleges oldalirányban az elkeveredés csak részleges, mind a jelenlegi és a tervezett blokkok kritikus csoportjának lakóhelyén (Gerjen, 10 km), mind a déli ország határnál (100 km). A részleges elkeveredési index számítása [20.6.4-1] alapján:

$$A = \frac{1,5Dx}{B^2}$$

ahol

- D – a folyó átlagos mélysége a mederszelvényben (m),
- x – a receptor pont távolsága folyásirányban (m),
- B - a folyó szélessége (m).

Az A index értéke a sokéves hidrológiai minimumot jellemző paraméterekkel (D=2,2 m, B=370 m, [20.6.4-2]), x = 10 km távolságban 0,241, 100 km távolságban 2,4. A [20.6.4-1] kiadvány szerint az indexekhez tartozó, a részleges elkeveredés miatti korrekciós tényező (P_r) értéke 4,5 és 1,9.

Ily módon a Duna vízének aktivitáskonzentrációja x távolságban a következőképpen számolható:

$$C_{w,tot} = C_t \cdot P_r,$$

ahol

- C_t a teljes elkeveredéshez tartozó koncentráció (Bq/m^3).

$$C_t = \frac{Q_i}{q_r} \exp\left(-\frac{\lambda_i x}{U}\right)$$

ahol

- Q_i – az i radionuklid átlagos kibocsátási sebessége (Bq/s),
- q_r – a folyó vízhozama (m^3/s),
- λ_i – az i radionuklid fizikai bomlási állandója (1/s),
- x – a kibocsátás és a receptor pont közötti távolság (m),
- U – a folyó átlagos sebessége (m/s).

Megjegyzendő, hogy konzervatív megközelítésben a q_r vízhozamra is sokéves minimumot (664 m^3/s , [20.6.4-2-3]) feltételeztünk.

A vízi tápláléklánc modellje

A radionuklidok vízi táplálékláncban történő terjedését az állandósult állapotok jellemzésére használható ún. koncentráció faktor módszerrel írtuk le [20.6.4-1]. Ebben a modellben a részegységek (kompartmentek) közötti, elsőrendű kinetikával jellemezhető anyagforgalom az egyensúlyi viszonyok feltételezése miatt algebrai egyenletrendszerrel jellemezhető.

A radionuklidok vízi környezeti kibocsátásából származó külső, ill. belső dózisok becslésénél figyelembe vettük a Duna hasznosítására vonatkozó összes fontos besugárzási útvonalat, azaz:

a külső besugárzást

- a szennyezett folyótól,
- a folyóparttól,
- az öntözött mezőgazdasági földektől,

a belső besugárzást

- az ivóvízfogyasztásból,
- a halfogyasztásból,
- az öntözés révén elszennyeződött zöldség-, illetve
- a szennyezett takarmányt és ivóvizet fogyasztó haszonállat tejének és húsának fogyasztása révén.

Megjegyezzük, hogy az összes fontos – vagy még inkább elméletileg lehetséges – hasznosítási, besugárzási útvonal figyelembe vétele bizonyosan konzervatív becslést eredményez, hiszen nem feltétlenül várható a szennyeződést tartalmazó dunai víz teljes és minden szempontból történő felhasználása és hasznosítása.

A folyékony kibocsátásból származó, a befogadó felszíni vízben C_v koncentrációra hígult radioizotóp aktivitás koncentrációja egyensúlyi állapotban a tápláléklánc valamely p elemében:

$$C_t = C_{w,tot} \cdot P_{v,p}$$

ahol

$P_{v,p}$ a koncentráció (bioakkumulációs) faktor, vagy ezek lineáris kombinációja.

A dunai eredetű vízöntözésre való felhasználása a szárazföldi tápláléklánc „hozzácsatolását” eredményezi. Ez a leírás a légnemű kibocsátásoknál alkalmazott tápláléklánc-modelltől (lásd előző rész) csak az input – azaz a radionuklidok forrása - tekintetében tér el, ott a száraz és nedves kihullás jelentette, itt az öntözés jelenti a radionuklidok forrását.

A vízi kibocsátásból származó külső és belső sugárterhelést a fenti $C_{w,tot}$, C_p aktivitáskoncentrációkból a következő általános képletekkel számíthatjuk.

Külső sugárterhelésre:

$$E_k = C_{w,tot} \cdot DFK_v \cdot g_v \cdot t_{w,tot} \text{ és}$$

$$E_k = C_p \cdot DFK_p \cdot g_p \cdot t_p$$

ahol

DFK - a megfelelő dóziskonverziós tényező,
g - a besugárzási geometria korrekciós tényezője,
t - az adott környezeti elemhez (közeghez) és tevékenységhez tartozó, környezethasznosítási idő.

Belső sugárterhelésre:

$$E_b = C_{w,tot} \cdot DFB_v \cdot k_v \cdot F_{w,tot} \text{ és}$$

$$E_b = C_p \cdot DFB_p \cdot k_p \cdot F_p$$

ahol

DFB - a lenyelési dózistényező,
k - a tisztítást és egyéb veszteségeket kifejező korrekciós tényező,
F - az adott élelmiszer fogyasztása.

A számítások részletes leírása megtalálható a [20.6.4-1] kiadványban, illetve az ugyancsak az ott ismertetett modellt felhasználó [20.6.4-4] tanulmányban. Itt most csak a felhasznált, leglényegesebb paramétereket mutatjuk be.

Elem	Fv – élelmi növ. (Bq/kg)/(Bq/kg)	Fv - takarmány (Bq/kg)/(Bq/kg)	Fm – tej (Bq/dm ³)/(Bq/d)	Ff - hús (Bq/kg)/(Bq/d)	Kd (Bq/kg)/(Bq/dm ³)	Bp (Bq/kg)/(Bq/dm ³)
Co	0,08	2	0,01	0,07	5000	300
Cr	1E-03	0,1	2E-04	0,09	10000	200
Cs	0,04	1	0,01	0,05	1000	10000
I	0,02	0,1	0,01	0,05	10	40
Mn	0,3	10	3E-04	7,0E-04	1000	400
Sr	0,3	10	3E-03	0,01	1000	75

Kd: folyóvíz – szedimentum megoszlási tényező (Bq/kg száraz tömeg) / (Bq/dm³)

Bp: folyóvíz – hal bioakkumulációs tényező (Bq/kg nyers tömeg) / (Bq/dm³)

20.6.3-1. táblázat: Környezeti átviteli tényezők (koncentráció faktorok)

Megjegyezzük, hogy a H és a C nem szerepel a fenti táblázatban, mivel a [20.6.4-1] kiadvány erre speciális, az aktivitáskoncentrációk állandóságán alapuló modellt alkalmaz, amit mi is átvettünk. A tríciumra - pontosabban HTO-ra – vonatkozó dóziskonverziós tényező: 2,6E-08 (Sv/év)/(Bq/dm³), a ¹⁴C-re közölt dóziskonverziós tényező pedig 5,6E-06 (Sv/év)/(Bq/g) a lakosság fajlagos radiokarbon koncentrációjára vonatkoztatva.

Radionuklid	Vízi bemerülési (Sv/s)/(Bq/m ³)	Talaj felszíni (Sv/év)/(Bq/m ²)	Lenyelés (Sv/Bq)	
			1 éves gyermek	Felnőtt
⁵⁸ Co	1,0E-16	3,0E-08	4,4E-09	7,4E-10
⁶⁰ Co	2,7E-16	7,5E-08	2,7E-08	3,4E-09
⁵¹ Cr	3,3E-18	9,8E-10	2,3E-10	3,8E-11
¹³⁴ Cs	1,6E-16	4,9E-08	1,6E-08	1,9E-08
¹³⁷ Cs	6,3E-17	1,8E-08	1,2E-08	1,3E-08
¹³¹ I	4,0E-17	1,2E-08	1,8E-07	2,2E-08
¹³² I	2,4E-16	7,2E-08	2,4E-09	2,9E-10
¹³³ I	6,4E-17	2,0E-08	4,4E-08	4,3E-09
¹³⁴ I	2,8E-16	8,3E-08	7,5E-10	1,1E-10
¹³⁵ I	1,7E-16	4,8E-08	8,9E-09	9,3E-10
⁵⁴ Mn	8,9E-17	2,6E-08	3,1E-09	7,1E-10
⁸⁹ Sr	1,5E-19	2,2E-09	1,8E-08	2,6E-09
⁹⁰ Sr	3,8E-19	3,5E-09	7,3E-08	2,8E-08

20.6.3-2. táblázat: Dóziskonverziós tényezők

Élelmiszer	Fogyasztás (kg/év)	
	1-2 éves gyermek	Felnőtt
ivóvíz	125	152
hal (*)	1	10
növényi eredetű (1)	43,4	136
növényi eredetű (2)	68	184
tej és tejtermékek	119	132
hús	28,3	91

- (1) – leveles zöldség, bogyós termésű zöldség, gyümölcs,
(2) – gyökérzöldség, burgonya, gabonafélék

20.6.3-3. táblázat: Fogyasztási adatok [20.6.4-4]

Élelmiszer	Tevékenység (h/év)	
	1-2 éves gyermek	Felnőtt
fürdés	150	150
csónakázás	50	300
vízparton tartózkodás	150	150
öntözött földeken tartózkodás	500	500

20.6.3-4. táblázat: Életmódjellemzők [20.6.4-4]

20.6.3.1 A folyékony kibocsátási adatok

Az orosz VVER 1200 MW típusú blokk tervezett folyékony kibocsátásait a 20.6.3-5. táblázat foglalja össze. Az adatok egy blokkra vonatkoznak és az orosz szállító adatközlésén alapulnak [20.6.4-4].

Radionuklid	³ H	¹⁴ C	¹³¹ I	¹³² I	¹³³ I	¹³⁴ I	¹³⁵ I	⁸⁹ Sr
Kibocsátás/blokk	9,1E+12	1,05E+09*	3,5E+07	2,3E+06	1,2E+07	1,4E+06	3,9E+06	8,1E+05
Radionuklid	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵¹ Cr	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	⁵⁸ Co	
Kibocsátás/blokk	2,3E+03	8,0E+07	1,2E+08	5,5E+05	6,1E+05	2,5E+06	5,6E+05	

* becsült érték az Isotoptech Zrt. által

Forrás: MIR.1200 Preliminary data and information for safety and environmental licensing, Appendix 4

20.6.3-5. táblázat: Az orosz VVER 1200 MW típusú blokk tervezett folyékony kibocsátásai (Bq/év) [20.6.4-4]

20.6.3.2 A lakossági sugárterhelésre vonatkozó eredmények

A gerjeni, lakossági vonatkoztatási (kritikus) csoport sugárterhelése

A gerjeni lakosság – amely egyúttal a tervezett új blokkok vonatkoztatási (kritikus) lakossági csoportját jelenti a folyékony kibocsátások vonatkozásában – 1-2 éves gyermek és felnőtt korcsoportjainak éves sugárterhelését a (20.6.3-6. táblázat) foglalja össze. A táblázat eredményei szerint a felnőtt lakosság dózisa – a megadott éves kibocsátások, és feltételezett fogyasztási adatok és életmódjellemzők mellett - meghaladja az 1-2 éves gyermekekét. Mindkét csoportnál – gyakorlatilag 100%-ban a belső sugárterhelés a meghatározó, ezen belül is a ³H és a ¹⁴C járuléka a legjelentősebb (a gyermekeknél a teljes sugárterhelés 90 %-a, a felnőtteknél közel 70%-át képviseli). A felnőtteknél jelentősnek mondható még a ¹³⁴Cs és ¹³⁷Cs járuléka is (együttesen 30 %). Mindazonáltal a sugárterhelések – az alkalmazott erősen konzervatív közelítések ellenére is - kicsik, két blokkra számítva is a dózismegszorításnak csak 2-3 ezrelékét teszik ki.

Radionuklid	1-2 éves gyermek			Felnőtt		
	külső	belső	teljes	külső	belső	teljes
⁵⁸ Co	4,2E-04	1,2E-03	1,7E-03	4,3E-04	5,8E-04	1,0E-03
⁶⁰ Co	1,8E-02	5,2E-02	7,0E-02	1,8E-02	1,6E-02	3,4E-02
⁵¹ Cr	9,0E-06	6,8E-05	7,7E-05	9,2E-06	4,2E-05	5,1E-05
¹³⁴ Cs	9,5E-02	2,6E+00	2,7E+00	9,6E-02	1,9E+01	1,9E+01
¹³⁷ Cs	1,4E-01	3,4E+00	3,5E+00	1,4E-01	2,0E+01	2,1E+01
³ H (HTO)	0,0E+00	5,1E+01	5,1E+01	0,0E+00	5,1E+01	5,1E+01
¹⁴ C	0	3,9E+01	3,9E+01	0	3,9E+01	3,9E+01
¹³¹ I	2,2E-04	9,3E-01	9,3E-01	3,5E-04	2,1E-01	2,2E-01
¹³² I	7,6E-05	2,0E-04	2,7E-04	1,3E-04	7,9E-05	2,1E-04
¹³³ I	1,1E-04	2,5E-02	2,6E-02	1,8E-04	6,9E-03	7,0E-03
¹³⁴ I	5,3E-05	3,7E-05	9,1E-05	9,2E-05	1,8E-05	1,1E-04
¹³⁵ I	9,2E-05	1,3E-03	1,4E-03	1,6E-04	4,4E-04	5,9E-04
⁵⁴ Mn	2,7E-04	5,9E-04	8,6E-04	2,8E-04	6,2E-04	9,0E-04
⁸⁹ Sr	8,1E-06	3,8E-03	3,8E-03	8,2E-06	1,4E-03	1,4E-03
⁹⁰ Sr	5,1E-07	1,7E-04	1,7E-04	5,1E-07	1,5E-04	1,5E-04
Total	2,5E-01	9,7E+01	9,7E+01	2,6E-01	1,3E+02	1,3E+02

20.6.3-6. táblázat: A gerjeni lakosság 1-2 éves gyermek és felnőtt korcsoportjainak dózisa az orosz VVER 1200 MW típusú blokkonkénti, éves folyékony kibocsátásából (nSv/év)

20.6.4 PAKS II. KIBOCSÁTÁSAIBÓL SZÁRMAZÓ KÖRNYEZETI AKTIVITÁSKONCENTRÁCIÓK ÉS ESETLEGES FELHALMOZÓDÁSOK KIMUTATHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Paks II. légköri kibocsátásaiból származó környezeti aktivitáskoncentrációk és esetleges felhalmozódások kimutathatóságának vizsgálata

Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, a 2 db orosz VVER-1200 típusú blokk légköri kibocsátásainak hatása mérhető-e a környezet egyes elemeiben és esetleges felhalmozódásokban. Konzervatív megközelítést alkalmaztunk abban az értelemben, hogy a legnagyobb aktivitáskoncentrációkat hasonlítottuk össze az erőmű által rutinszerűen végzett környezetellenőrzési program kimutatási határaival. Így a 2009-es kibocsátásból származó számított aktivitáskoncentrációkat hasonlítottuk össze az erőmű környezetellenőrző méréseinek jellemző kimutatási határaival.

Az egyes távolságokra (<1; 1-5 km, 5-10 km, 10-30 km) meghatározott aktivitáskoncentrációknak (levegő, talajfelszín, hús, gabona, zöldség, tej) vettük a különböző irányokra vonatkozó maximumát, valamint a 1,5 km-re számított értékeket, majd ezeket arányosítottuk a kimutatási határokhoz.

A táblázatokban az arányokat az alábbi színekkel is megjelöltük

- fehér szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció <10,
- világos szürke szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció 10 feletti, de < 100,
- sötétebb szürke szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció > 100.

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	5.48E-02	1.86E-02	1.08E-02	2.60E-03	5.19E-04	1.00E-03	1.82E-02	5.37E-02	9.23E-02	3.84E-01	1.93E+00
¹⁴ C (CO2)	2.11E-04	7.15E-05	4.16E-05	1.00E-05	2.00E-06	1.00E-04	4.74E-01	1.40E+00	2.40E+00	1.00E+01	5.01E+01
¹⁴ C (szerves)	4.01E-03	1.36E-03	7.91E-04	1.90E-04	3.79E-05	1.00E-04	2.50E-02	7.35E-02	1.26E-01	5.26E-01	2.64E+00
^{83m} Kr	1.10E-02	3.12E-03	1.67E-03	3.26E-04	4.21E-05	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	3.20E-02	1.05E-02	5.94E-03	1.30E-03	2.04E-04	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	5.00E-03	1.70E-03	9.87E-04	2.38E-04	4.73E-05	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	2.30E-02	6.26E-03	3.27E-03	6.02E-04	6.94E-05	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	8.03E-02	2.39E-02	1.31E-02	2.71E-03	3.90E-04	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	3.61E-03	1.20E-03	6.96E-04	1.67E-04	3.30E-05	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	4.29E-01	1.38E-01	7.94E-02	1.89E-02	3.72E-03	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	1.30E-01	3.79E-02	2.14E-02	4.83E-03	8.33E-04	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	5.01E-03	9.11E-04	3.93E-04	4.02E-05	1.32E-06	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	4.98E-08	1.47E-08	8.32E-09	1.91E-09	3.43E-10	5.00E-06	1.00E+02	3.41E+02	6.01E+02	2.62E+03	1.46E+04
¹³² I (aeroszol)	8.14E-08	1.99E-08	1.05E-08	2.03E-09	2.65E-10	5.00E-06	6.15E+01	2.51E+02	4.77E+02	2.46E+03	1.88E+04
¹³³ I (aeroszol)	1.04E-07	2.86E-08	1.60E-08	3.56E-09	6.10E-10	5.00E-06	4.81E+01	1.75E+02	3.13E+02	1.40E+03	8.19E+03
¹³⁴ I (aeroszol)	4.22E-08	1.12E-08	5.64E-09	9.55E-10	9.10E-11	5.00E-06	1.19E+02	4.47E+02	8.86E+02	5.24E+03	5.50E+04
¹³⁵ I (aeroszol)	8.33E-08	2.30E-08	1.27E-08	2.72E-09	4.25E-10	5.00E-06	6.00E+01	2.18E+02	3.95E+02	1.84E+03	1.18E+04
¹³¹ I (elemi)	4.86E-07	1.37E-07	7.27E-08	1.41E-08	2.00E-09	5.00E-06	1.03E+01	3.66E+01	6.88E+01	3.54E+02	2.50E+03
¹³² I (elemi)	7.88E-07	1.84E-07	9.25E-08	1.61E-08	1.81E-09	5.00E-06	6.34E+00	2.72E+01	5.41E+01	3.11E+02	2.76E+03
¹³³ I (elemi)	1.01E-06	2.65E-07	1.39E-07	2.67E-08	3.67E-09	5.00E-06	4.95E+00	1.89E+01	3.59E+01	1.88E+02	1.36E+03
¹³⁴ I (elemi)	4.13E-07	1.05E-07	5.13E-08	7.93E-09	6.67E-10	5.00E-06	1.21E+01	4.74E+01	9.75E+01	6.30E+02	7.50E+03
¹³⁵ I (elemi)	8.11E-07	2.13E-07	1.11E-07	2.07E-08	2.70E-09	5.00E-06	6.17E+00	2.35E+01	4.51E+01	2.41E+02	1.85E+03
¹³¹ I (szerves)	7.00E-07	2.08E-07	1.19E-07	2.81E-08	5.47E-09	2.00E-05	2.86E+01	9.62E+01	1.69E+02	7.13E+02	3.66E+03
¹³² I (szerves)	1.15E-06	2.83E-07	1.50E-07	2.97E-08	3.99E-09	2.00E-05	1.74E+01	7.08E+01	1.33E+02	6.75E+02	5.01E+03
¹³³ I (szerves)	1.47E-06	4.07E-07	2.30E-07	5.29E-08	9.69E-09	2.00E-05	1.36E+01	4.91E+01	8.71E+01	3.78E+02	2.06E+03
¹³⁴ I (szerves)	5.93E-07	1.58E-07	8.02E-08	1.37E-08	1.34E-09	2.00E-05	3.37E+01	1.27E+02	2.50E+02	1.46E+03	1.49E+04
¹³⁵ I (szerves)	1.17E-06	3.26E-07	1.82E-07	3.99E-08	6.57E-09	2.00E-05	1.70E+01	6.14E+01	1.10E+02	5.01E+02	3.04E+03
⁵¹ Cr	1.11E-09	3.71E-10	2.14E-10	4.95E-11	9.03E-12	5.00E-06	4.50E+03	1.35E+04	2.34E+04	1.01E+05	5.54E+05
⁵⁴ Mn	8.30E-11	2.45E-11	1.38E-11	3.18E-12	5.75E-13	5.00E-06	6.02E+04	2.04E+05	3.61E+05	1.57E+06	8.69E+06
⁶⁰ Co	6.10E-10	1.65E-10	9.25E-11	2.10E-11	3.79E-12	5.00E-06	8.20E+03	3.03E+04	5.40E+04	2.38E+05	1.32E+06
⁸⁹ Sr	5.57E-09	1.64E-09	9.30E-10	2.14E-10	3.86E-11	1.00E-06	1.79E+02	6.10E+02	1.07E+03	4.68E+03	2.59E+04
⁹⁰ Sr	1.15E-11	3.15E-12	1.77E-12	4.03E-13	7.25E-14	1.00E-06	8.66E+04	3.18E+05	5.65E+05	2.48E+06	1.38E+07
¹³⁴ Cs	3.53E-07	1.02E-07	5.78E-08	1.32E-08	2.39E-09	5.00E-06	1.42E+01	4.89E+01	8.65E+01	3.78E+02	2.09E+03
¹³⁷ Cs	5.19E-07	1.53E-07	8.69E-08	1.99E-08	3.61E-09	5.00E-06	9.63E+00	3.26E+01	5.75E+01	2.52E+02	1.39E+03

20.6.4-1. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított levegő aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/m³), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C (CO2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C (szerves)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{83m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	3.29E-04	9.68E-05	5.49E-05	1.26E-05	2.26E-06	2.00E-01	6.09E+02	2.07E+03	3.64E+03	1.59E+04	8.86E+04
¹³² I (aeroszol)	6.33E-06	1.55E-06	8.16E-07	1.58E-07	2.06E-08	2.00E-01	3.16E+04	1.29E+05	2.45E+05	1.27E+06	9.70E+06
¹³³ I (aeroszol)	7.30E-05	2.01E-05	1.12E-05	2.50E-06	4.28E-07	2.00E-01	2.74E+03	9.94E+03	1.78E+04	8.00E+04	4.67E+05
¹³⁴ I (aeroszol)	1.25E-06	3.32E-07	1.68E-07	2.83E-08	2.70E-09	2.00E-01	1.60E+05	6.02E+05	1.19E+06	7.06E+06	7.41E+07
¹³⁵ I (aeroszol)	1.88E-05	5.16E-06	2.85E-06	6.12E-07	9.59E-08	2.00E-01	1.06E+04	3.87E+04	7.02E+04	3.27E+05	2.09E+06
¹³¹ I (elemi)	1.97E-02	5.53E-03	2.94E-03	5.71E-04	8.09E-05	2.00E-01	1.02E+01	3.62E+01	6.81E+01	3.50E+02	2.47E+03
¹³² I (elemi)	3.76E-04	8.78E-05	4.41E-05	7.64E-06	8.61E-07	2.00E-01	5.33E+02	2.28E+03	4.54E+03	2.62E+04	2.32E+05
¹³³ I (elemi)	4.35E-03	1.14E-03	5.99E-04	1.15E-04	1.58E-05	2.00E-01	4.60E+01	1.76E+02	3.34E+02	1.75E+03	1.27E+04
¹³⁴ I (elemi)	7.51E-05	1.92E-05	9.34E-06	1.45E-06	1.21E-07	2.00E-01	2.66E+03	1.04E+04	2.14E+04	1.38E+05	1.65E+06
¹³⁵ I (elemi)	1.12E-03	2.95E-04	1.53E-04	2.86E-05	3.72E-06	2.00E-01	1.79E+02	6.78E+02	1.31E+03	7.00E+03	5.38E+04
¹³¹ I (szerves)	1.52E-04	4.51E-05	2.58E-05	6.10E-06	1.19E-06	2.00E-01	1.31E+03	4.43E+03	7.75E+03	3.28E+04	1.68E+05
¹³² I (szerves)	2.94E-06	7.24E-07	3.84E-07	7.59E-08	1.02E-08	2.00E-01	6.80E+04	2.76E+05	5.20E+05	2.63E+06	1.95E+07
¹³³ I (szerves)	3.40E-05	9.43E-06	5.32E-06	1.22E-06	2.23E-07	2.00E-01	5.89E+03	2.12E+04	3.76E+04	1.64E+05	8.95E+05
¹³⁴ I (szerves)	5.80E-07	1.55E-07	7.85E-08	1.34E-08	1.31E-09	2.00E-01	3.45E+05	1.29E+06	2.55E+06	1.49E+07	1.52E+08
¹³⁵ I (szerves)	8.71E-06	2.42E-06	1.35E-06	2.96E-07	4.88E-08	2.00E-01	2.30E+04	8.27E+04	1.49E+05	6.75E+05	4.10E+06
⁵¹ Cr	2.50E-05	8.36E-06	4.81E-06	1.12E-06	2.03E-07	2.00E-01	8.00E+03	2.39E+04	4.16E+04	1.79E+05	9.84E+05
⁵⁴ Mn	1.17E-05	3.43E-06	1.95E-06	4.46E-07	8.08E-08	2.00E-01	1.71E+04	5.83E+04	1.03E+05	4.48E+05	2.47E+06
⁶⁰ Co	1.18E-04	3.18E-05	1.78E-05	4.06E-06	7.30E-07	2.00E-01	1.70E+03	6.28E+03	1.12E+04	4.93E+04	2.74E+05
⁸⁸ Sr	2.26E-04	6.66E-05	3.77E-05	8.65E-06	1.56E-06	2.00E-01	8.84E+02	3.00E+03	5.30E+03	2.31E+04	1.28E+05
⁹⁰ Sr	2.35E-06	6.41E-07	3.60E-07	8.17E-08	1.47E-08	2.00E-01	8.50E+04	3.12E+05	5.55E+05	2.45E+06	1.36E+07
¹³⁴ Cs	6.15E-02	1.78E-02	1.01E-02	2.30E-03	4.17E-04	2.00E-01	3.25E+00	1.13E+01	1.99E+01	8.69E+01	4.80E+02
¹³⁷ Cs	1.06E-01	3.12E-02	1.77E-02	4.05E-03	7.34E-04	2.00E-01	1.89E+00	6.41E+00	1.13E+01	4.93E+01	2.72E+02

20.6.4-2. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított talaj aktivitáskonzentráció értékek maximumai (Bq/m²), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	1.43E-01	4.87E-02	2.83E-02	6.80E-03	1.36E-03	5.00E-01	3.49E+00	1.03E+01	1.76E+01	7.35E+01	3.69E+02
¹⁴ C (CO ₂)	5.62E-01	1.91E-01	1.11E-01	2.67E-02	5.32E-03	5.00E-01	8.90E-01	2.62E+00	4.51E+00	1.88E+01	9.40E+01
¹⁴ C (szerves)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{83m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	1.26E-06	3.70E-07	2.10E-07	4.80E-08	8.63E-09	5.00E-01	3.98E+05	1.35E+06	2.38E+06	1.04E+07	5.79E+07
¹³² I (aeroszol)	2.25E-20	5.52E-21	2.91E-21	5.63E-22	7.35E-23	5.00E-01	2.22E+19	9.05E+19	1.72E+20	8.88E+20	6.81E+21
¹³³ I (aeroszol)	2.71E-13	7.48E-14	4.18E-14	9.29E-15	1.59E-15	5.00E-01	1.84E+12	6.69E+12	1.20E+13	5.38E+13	3.14E+14
¹³⁴ I (aeroszol)	4.49E-21	1.19E-21	6.01E-22	1.01E-22	9.68E-24	5.00E-01	1.11E+20	4.20E+20	8.32E+20	4.93E+21	5.17E+22
¹³⁵ I (aeroszol)	6.57E-20	1.81E-20	9.98E-21	2.14E-21	3.36E-22	5.00E-01	7.61E+18	2.77E+19	5.01E+19	2.34E+20	1.49E+21
¹³¹ I (elemi)	7.51E-05	2.11E-05	1.12E-05	2.18E-06	3.09E-07	5.00E-01	6.66E+03	2.36E+04	4.45E+04	2.29E+05	1.62E+06
¹³² I (elemi)	1.34E-18	3.13E-19	1.57E-19	2.72E-20	3.07E-21	5.00E-01	3.74E+17	1.60E+18	3.18E+18	1.84E+19	1.63E+20
¹³³ I (elemi)	1.61E-11	4.23E-12	2.23E-12	4.25E-13	5.86E-14	5.00E-01	3.10E+10	1.18E+11	2.25E+11	1.18E+12	8.54E+12
¹³⁴ I (elemi)	2.69E-19	6.86E-20	3.35E-20	5.18E-21	4.34E-22	5.00E-01	1.86E+18	7.28E+18	1.49E+19	9.64E+19	1.15E+21
¹³⁵ I (elemi)	3.92E-18	1.03E-18	5.36E-19	1.00E-19	1.30E-20	5.00E-01	1.28E+17	4.84E+17	9.33E+17	5.00E+18	3.84E+19
¹³¹ I (szerves)	5.82E-07	1.73E-07	9.86E-08	2.33E-08	4.54E-09	5.00E-01	8.60E+05	2.90E+06	5.07E+06	2.15E+07	1.10E+08
¹³² I (szerves)	1.05E-20	2.58E-21	1.37E-21	2.71E-22	3.65E-23	5.00E-01	4.77E+19	1.94E+20	3.65E+20	1.85E+21	1.37E+22
¹³³ I (szerves)	1.26E-13	3.50E-14	1.98E-14	4.53E-15	8.30E-16	5.00E-01	3.96E+12	1.43E+13	2.53E+13	1.10E+14	6.03E+14
¹³⁴ I (szerves)	2.08E-21	5.54E-22	2.81E-22	4.80E-23	4.70E-24	5.00E-01	2.41E+20	9.03E+20	1.78E+21	1.04E+22	1.06E+23
¹³⁵ I (szerves)	3.05E-20	8.47E-21	4.71E-21	1.04E-21	1.71E-22	5.00E-01	1.64E+19	5.90E+19	1.06E+20	4.82E+20	2.93E+21
⁵¹ Cr	8.41E-07	2.81E-07	1.62E-07	3.75E-08	6.84E-09	5.00E-01	5.95E+05	1.78E+06	3.09E+06	1.33E+07	7.31E+07
⁵⁴ Mn	1.45E-08	4.26E-09	2.42E-09	5.54E-10	1.00E-10	5.00E-01	3.45E+07	1.17E+08	2.07E+08	9.02E+08	4.98E+09
⁶⁰ Co	3.92E-06	1.06E-06	5.94E-07	1.35E-07	2.43E-08	5.00E-01	1.28E+05	4.72E+05	8.42E+05	3.70E+06	2.06E+07
⁸⁹ Sr	1.95E-07	5.74E-08	3.26E-08	7.46E-09	1.35E-09	5.00E-01	2.56E+06	8.71E+06	1.54E+07	6.70E+07	3.71E+08
⁹⁰ Sr	1.60E-09	4.36E-10	2.45E-10	5.56E-11	1.00E-11	5.00E-01	3.12E+08	1.15E+09	2.04E+09	8.99E+09	4.98E+10
¹³⁴ Cs	1.41E-03	4.07E-04	2.31E-04	5.27E-05	9.55E-06	5.00E-01	3.55E+02	1.23E+03	2.17E+03	9.48E+03	5.24E+04
¹³⁷ Cs	2.28E-03	6.72E-04	3.81E-04	8.73E-05	1.58E-05	5.00E-01	2.20E+02	7.44E+02	1.31E+03	5.73E+03	3.16E+04

20.6.4-3. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított hús aktivitáskonzentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	7.31E-01	2.48E-01	1.44E-01	3.47E-02	6.91E-03	5.00E-01	6.84E-01	2.02E+00	3.46E+00	1.44E+01	7.23E+01
¹⁴ C (CO ₂)	1.18E-01	4.00E-02	2.33E-02	5.60E-03	1.12E-03	5.00E-01	4.24E+00	1.25E+01	2.15E+01	8.93E+01	4.48E+02
¹⁴ C (szerves)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{83m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	1.83E-05	5.39E-06	3.06E-06	7.00E-07	1.26E-07	5.00E-01	2.73E+04	9.27E+04	1.63E+05	7.14E+05	3.97E+06
¹³² I (aeroszol)	1.96E-19	4.79E-20	2.52E-20	4.88E-21	6.37E-22	5.00E-01	2.56E+18	1.04E+19	1.98E+19	1.02E+20	7.85E+20
¹³³ I (aeroszol)	2.92E-10	8.05E-11	4.49E-11	1.00E-11	1.71E-12	5.00E-01	1.71E+09	6.21E+09	1.11E+10	5.00E+10	2.92E+11
¹³⁴ I (aeroszol)	3.89E-20	1.03E-20	5.21E-21	8.80E-22	8.39E-23	5.00E-01	1.28E+19	4.84E+19	9.60E+19	5.68E+20	5.96E+21
¹³⁵ I (aeroszol)	5.70E-19	1.57E-19	8.65E-20	1.86E-20	2.91E-21	5.00E-01	8.77E+17	3.19E+18	5.78E+18	2.69E+19	1.72E+20
¹³¹ I (elemi)	1.09E-03	3.08E-04	1.64E-04	3.18E-05	4.51E-06	5.00E-01	4.57E+02	1.62E+03	3.05E+03	1.57E+04	1.11E+05
¹³² I (elemi)	1.16E-17	2.71E-18	1.36E-18	2.36E-19	2.66E-20	5.00E-01	4.31E+16	1.84E+17	3.67E+17	2.12E+18	1.88E+19
¹³³ I (elemi)	1.74E-08	4.55E-09	2.39E-09	4.58E-10	6.30E-11	5.00E-01	2.88E+07	1.10E+08	2.09E+08	1.09E+09	7.93E+09
¹³⁴ I (elemi)	2.33E-18	5.95E-19	2.90E-19	4.50E-20	3.77E-21	5.00E-01	2.14E+17	8.40E+17	1.72E+18	1.11E+19	1.33E+20
¹³⁵ I (elemi)	3.40E-17	8.95E-18	4.65E-18	8.68E-19	1.13E-19	5.00E-01	1.47E+16	5.59E+16	1.08E+17	5.76E+17	4.43E+18
¹³¹ I (szerves)	8.48E-06	2.52E-06	1.44E-06	3.40E-07	6.61E-08	5.00E-01	5.89E+04	1.99E+05	3.48E+05	1.47E+06	7.56E+06
¹³² I (szerves)	9.08E-20	2.24E-20	1.19E-20	2.35E-21	3.17E-22	5.00E-01	5.50E+18	2.23E+19	4.21E+19	2.13E+20	1.58E+21
¹³³ I (szerves)	1.36E-10	3.77E-11	2.13E-11	4.88E-12	8.93E-13	5.00E-01	3.68E+09	1.33E+10	2.35E+10	1.02E+11	5.60E+11
¹³⁴ I (szerves)	1.80E-20	4.80E-21	2.44E-21	4.16E-22	4.08E-23	5.00E-01	2.78E+19	1.04E+20	2.05E+20	1.20E+21	1.23E+22
¹³⁵ I (szerves)	2.64E-19	7.34E-20	4.09E-20	8.99E-21	1.48E-21	5.00E-01	1.89E+18	6.81E+18	1.22E+19	5.56E+19	3.38E+20
⁵¹ Cr	2.04E-06	6.82E-07	3.92E-07	9.10E-08	1.66E-08	5.00E-01	2.45E+05	7.33E+05	1.27E+06	5.49E+06	3.01E+07
⁵⁴ Mn	3.10E-07	9.12E-08	5.17E-08	1.19E-08	2.15E-09	5.00E-01	1.61E+06	5.48E+06	9.67E+06	4.22E+07	2.33E+08
⁶⁰ Co	2.32E-06	6.27E-07	3.51E-07	7.99E-08	1.44E-08	5.00E-01	2.16E+05	7.97E+05	1.42E+06	6.26E+06	3.48E+07
⁸⁹ Sr	1.42E-05	4.18E-06	2.37E-06	5.42E-07	9.81E-08	5.00E-01	3.52E+04	1.20E+05	2.11E+05	9.22E+05	5.10E+06
⁹⁰ Sr	4.59E-08	1.25E-08	7.03E-09	1.60E-09	2.88E-10	5.00E-01	1.09E+07	4.00E+07	7.11E+07	3.13E+08	1.74E+09
¹³⁴ Cs	3.29E-03	9.50E-04	5.38E-04	1.23E-04	2.23E-05	5.00E-01	1.52E+02	5.27E+02	9.29E+02	4.07E+03	2.25E+04
¹³⁷ Cs	4.97E-03	1.46E-03	8.30E-04	1.90E-04	3.45E-05	5.00E-01	1.01E+02	3.41E+02	6.02E+02	2.63E+03	1.45E+04

20.6.4-4. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított gabona aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	4.02E+00	1.36E+00	7.95E-01	1.91E-01	3.80E-02	5.00E-01	1.24E-01	3.66E-01	6.29E-01	2.62E+00	1.31E+01
¹⁴ C (CO2)	2.81E-02	9.53E-03	5.55E-03	1.33E-03	2.66E-04	5.00E-01	1.78E+01	5.24E+01	9.01E+01	3.75E+02	1.88E+03
¹⁴ C (szerves)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{83m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	1.00E-05	2.95E-06	1.67E-06	3.83E-07	6.87E-08	5.00E-01	5.00E+04	1.70E+05	2.99E+05	1.31E+06	7.27E+06
¹³² I (aeroszol)	5.87E-20	1.44E-20	7.56E-21	1.47E-21	1.91E-22	5.00E-01	8.52E+18	3.48E+19	6.61E+19	3.41E+20	2.62E+21
¹³³ I (aeroszol)	2.43E-08	6.69E-09	3.74E-09	8.32E-10	1.42E-10	5.00E-01	2.06E+07	7.47E+07	1.34E+08	6.01E+08	3.51E+09
¹³⁴ I (aeroszol)	1.17E-20	3.10E-21	1.56E-21	2.64E-22	2.52E-23	5.00E-01	4.28E+19	1.61E+20	3.20E+20	1.89E+21	1.99E+22
¹³⁵ I (aeroszol)	4.41E-14	1.21E-14	6.70E-15	1.44E-15	2.25E-16	5.00E-01	1.13E+13	4.12E+13	7.46E+13	3.48E+14	2.22E+15
¹³¹ I (elemi)	5.98E-04	1.68E-04	8.95E-05	1.74E-05	2.46E-06	5.00E-01	8.36E+02	2.97E+03	5.59E+03	2.88E+04	2.03E+05
¹³² I (elemi)	3.48E-18	8.14E-19	4.09E-19	7.08E-20	7.98E-21	5.00E-01	1.44E+17	6.14E+17	1.22E+18	7.06E+18	6.26E+19
¹³³ I (elemi)	1.45E-06	3.79E-07	1.99E-07	3.81E-08	5.24E-09	5.00E-01	3.46E+05	1.32E+06	2.51E+06	1.31E+07	9.54E+07
¹³⁴ I (elemi)	7.00E-19	1.79E-19	8.71E-20	1.35E-20	1.13E-21	5.00E-01	7.14E+17	2.80E+18	5.74E+18	3.71E+19	4.42E+20
¹³⁵ I (elemi)	2.63E-12	6.93E-13	3.60E-13	6.72E-14	8.75E-15	5.00E-01	1.90E+11	7.21E+11	1.39E+12	7.44E+12	5.72E+13
¹³¹ I (szerves)	4.63E-06	1.37E-06	7.85E-07	1.86E-07	3.61E-08	5.00E-01	1.08E+05	3.64E+05	6.37E+05	2.69E+06	1.38E+07
¹³² I (szerves)	2.73E-20	6.71E-21	3.57E-21	7.04E-22	9.50E-23	5.00E-01	1.83E+19	7.45E+19	1.40E+20	7.10E+20	5.26E+21
¹³³ I (szerves)	1.13E-08	3.13E-09	1.77E-09	4.06E-10	7.43E-11	5.00E-01	4.43E+07	1.60E+08	2.83E+08	1.23E+09	6.73E+09
¹³⁴ I (szerves)	5.41E-21	1.44E-21	7.32E-22	1.25E-22	1.22E-23	5.00E-01	9.25E+19	3.47E+20	6.83E+20	4.01E+21	4.09E+22
¹³⁵ I (szerves)	2.05E-14	5.69E-15	3.17E-15	6.97E-16	1.15E-16	5.00E-01	2.44E+13	8.79E+13	1.58E+14	7.18E+14	4.36E+15
⁵¹ Cr	7.29E-07	2.44E-07	1.40E-07	3.25E-08	5.93E-09	5.00E-01	6.85E+05	2.05E+06	3.56E+06	1.54E+07	8.43E+07
⁵⁴ Mn	1.05E-07	3.07E-08	1.74E-08	4.00E-09	7.24E-10	5.00E-01	4.78E+06	1.63E+07	2.87E+07	1.25E+08	6.90E+08
⁶⁰ Co	7.03E-07	1.90E-07	1.07E-07	2.42E-08	4.36E-09	5.00E-01	7.11E+05	2.63E+06	4.69E+06	2.06E+07	1.15E+08
⁸⁹ Sr	4.80E-06	1.41E-06	8.00E-07	1.83E-07	3.32E-08	5.00E-01	1.04E+05	3.54E+05	6.25E+05	2.73E+06	1.51E+07
⁹⁰ Sr	1.50E-08	4.09E-09	2.30E-09	5.21E-10	9.41E-11	5.00E-01	3.33E+07	1.22E+08	2.18E+08	9.59E+08	5.32E+09
¹³⁴ Cs	4.01E-04	1.16E-04	6.56E-05	1.50E-05	2.72E-06	5.00E-01	1.25E+03	4.32E+03	7.62E+03	3.33E+04	1.84E+05
¹³⁷ Cs	6.03E-04	1.78E-04	1.01E-04	2.31E-05	4.19E-06	5.00E-01	8.29E+02	2.81E+03	4.96E+03	2.16E+04	1.19E+05

20.6.4-5. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított zöldség aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/kg), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

Nuklid	<1km	1,5km	1-5km	5-10km	10-30km	KHA	Arány/<1km	Arány/1,5km	Arány/1-5km	Arány/5-10km	Arány/10-30km
³ H (HTO)	1.67E-01	5.66E-02	3.30E-02	7.91E-03	1.58E-03	5.00E-01	3.00E+00	8.83E+00	1.52E+01	6.32E+01	3.17E+02
¹⁴ C (CO ₂)	9.41E-02	3.19E-02	1.86E-02	4.47E-03	8.91E-04	5.00E-01	5.31E+00	1.57E+01	2.69E+01	1.12E+02	5.61E+02
¹⁴ C (szerves)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{83m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{85m} Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁵ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁷ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
⁸⁸ Kr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
^{131m} Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³³ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁵ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³⁸ Xe	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (aeroszol)	6.58E-06	1.94E-06	1.10E-06	2.52E-07	4.52E-08	5.00E-01	7.60E+04	2.58E+05	4.55E+05	1.99E+06	1.11E+07
¹³² I (aeroszol)	7.92E-20	1.94E-20	1.02E-20	1.98E-21	2.58E-22	5.00E-01	6.31E+18	2.58E+19	4.89E+19	2.53E+20	1.94E+21
¹³³ I (aeroszol)	1.39E-07	3.82E-08	2.13E-08	4.75E-09	8.13E-10	5.00E-01	3.61E+06	1.31E+07	2.34E+07	1.05E+08	6.15E+08
¹³⁴ I (aeroszol)	5.99E-21	1.59E-21	8.01E-22	1.35E-22	1.29E-23	5.00E-01	8.35E+19	3.15E+20	6.24E+20	3.69E+21	3.88E+22
¹³⁵ I (aeroszol)	4.16E-11	1.14E-11	6.31E-12	1.35E-12	2.12E-13	5.00E-01	1.20E+10	4.37E+10	7.92E+10	3.69E+11	2.35E+12
¹³¹ I (elemi)	3.93E-04	1.11E-04	5.88E-05	1.14E-05	1.62E-06	5.00E-01	1.27E+03	4.51E+03	8.50E+03	4.37E+04	3.09E+05
¹³² I (elemi)	4.71E-18	1.10E-18	5.52E-19	9.57E-20	1.08E-20	5.00E-01	1.06E+17	4.55E+17	9.05E+17	5.23E+18	4.64E+19
¹³³ I (elemi)	8.25E-06	2.16E-06	1.14E-06	2.17E-07	2.99E-08	5.00E-01	6.06E+04	2.31E+05	4.40E+05	2.30E+06	1.67E+07
¹³⁴ I (elemi)	3.59E-19	9.15E-20	4.46E-20	6.91E-21	5.79E-22	5.00E-01	1.39E+18	5.46E+18	1.12E+19	7.23E+19	8.64E+20
¹³⁵ I (elemi)	2.48E-09	6.53E-10	3.39E-10	6.33E-11	8.24E-12	5.00E-01	2.02E+08	7.66E+08	1.47E+09	7.90E+09	6.07E+10
¹³¹ I (szerves)	3.05E-06	9.04E-07	5.16E-07	1.22E-07	2.38E-08	5.00E-01	1.64E+05	5.53E+05	9.68E+05	4.10E+06	2.10E+07
¹³² I (szerves)	3.68E-20	9.07E-21	4.82E-21	9.51E-22	1.28E-22	5.00E-01	1.36E+19	5.51E+19	1.04E+20	5.26E+20	3.90E+21
¹³³ I (szerves)	6.45E-08	1.79E-08	1.01E-08	2.32E-09	4.24E-10	5.00E-01	7.76E+06	2.80E+07	4.95E+07	2.16E+08	1.18E+09
¹³⁴ I (szerves)	2.77E-21	7.39E-22	3.75E-22	6.40E-23	6.27E-24	5.00E-01	1.81E+20	6.77E+20	1.33E+21	7.82E+21	7.98E+22
¹³⁵ I (szerves)	1.93E-11	5.36E-12	2.98E-12	6.56E-13	1.08E-13	5.00E-01	2.59E+10	9.33E+10	1.68E+11	7.62E+11	4.63E+12
⁵¹ Cr	1.12E-07	3.73E-08	2.15E-08	4.98E-09	9.08E-10	5.00E-01	4.48E+06	1.34E+07	2.33E+07	1.00E+08	5.51E+08
⁵⁴ Mn	6.01E-09	1.77E-09	1.00E-09	2.30E-10	4.16E-11	5.00E-01	8.32E+07	2.83E+08	4.99E+08	2.18E+09	1.20E+10
⁶⁰ Co	3.50E-07	9.48E-08	5.31E-08	1.21E-08	2.17E-09	5.00E-01	1.43E+06	5.28E+06	9.41E+06	4.14E+07	2.30E+08
⁸⁹ Sr	5.41E-07	1.59E-07	9.02E-08	2.07E-08	3.74E-09	5.00E-01	9.24E+05	3.14E+06	5.54E+06	2.42E+07	1.34E+08
⁹⁰ Sr	3.56E-09	9.71E-10	5.45E-10	1.24E-10	2.23E-11	5.00E-01	1.40E+08	5.15E+08	9.17E+08	4.04E+09	2.24E+10
¹³⁴ Cs	7.63E-04	2.21E-04	1.25E-04	2.85E-05	5.17E-06	5.00E-01	6.55E+02	2.27E+03	4.00E+03	1.75E+04	9.67E+04
¹³⁷ Cs	1.22E-03	3.59E-04	2.03E-04	4.66E-05	8.45E-06	5.00E-01	4.11E+02	1.39E+03	2.46E+03	1.07E+04	5.92E+04

20.6.4-6. táblázat: A 2009-es normálüzemi, kémény és turbinaépület feletti kibocsátásokból (I+II) számított tej aktivitáskoncentráció értékek maximumai (Bq/ dm³), illetve a KHA értékhez viszonyított arányai

A 20.6.4-1. - 20.6.4-6. táblázatokról látható, hogy az első (megvalósítható mérést jelentő) csoportba csak néhány radionuklid kimutatására van lehetőség, különösen a trícium és radiokarbon tekintetében. Megjegyzendő, hogy ezek globális szennyezők is, így az atomerőműi járulék kimutatását nehezíti. A második (csak nagyobb erőfeszítéssel megvalósítható mérést jelentő) csoportban a levegőkonzentráció néhány radionuklidja mellett még a talajfelszíni aktivitás egyes elemei lennének elvben mérhetőek pl. elemi jód, radiocézium (ami viszont az erőműtől függetlenül is jelen van, az itt megállapítottnál magasabb koncentrációban), de ezeket inkább a Paksi Atomerőműhöz közelebbi távolságokon lehetne kimutatni. A számítások szerint az összes többi radionuklid a nem-mérhető kategóriába esik.

Paks II. folyékony kibocsátásaiból származó környezeti aktivitáskonzentrációk és esetleges felhalmozódások kimutathatóságának vizsgálata

Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, a 2 db orosz VVER-1200 típusú blokkal felszerelt atomerőmű folyékony kibocsátásainak hatása mérhető-e a környezet egyes elemeiben és esetleges felhalmozódásokban. Konzervatív megközelítést alkalmaztunk abban az értelemben, hogy az egyes elemekben a várható legnagyobb aktivitáskonzentrációkat hasonlítottuk össze az erőmű által rutinszerűen végzett környezetellenőrzési program kimutatási határaival.

Mivel itt üzemi kibocsátási adatok, kibocsátási idősorok még nem álltak rendelkezésünkre, a 20.6.3. fejezetben ismertetett módon, a tervezett kibocsátási szintekből és az ott megadott, sokéves minimum hidrológiai paraméterekkel számoltunk. Az elemzéshez radionuklidonként meghatároztuk a kialakuló aktivitáskonzentrációkat, majd a maximális aktivitáskonzentrációk figyelembevételével határoztuk meg az egyes környezeti elemekre a legjellemzőbb 5 radionuklidot.

A kiválasztásnál érvényesített további szempontok:

- ❖ a ^3H és a ^{14}C radioizotópot csak a Duna-vízre lehetett figyelembe venni, mert az alkalmazott, speciális modell [20.6-1] nem az egyes környezeti elemekben kialakuló aktivitáskonzentrációkból számolja a lakossági sugárterhelést,
- ❖ a teljesebb kép érdekében egy elem ismétlődő radionuklidjaiból csak az adott környezeti elemre a legnagyobb értékkel rendelkezőt választottuk ki.

Ily módon, összességében a következő 8 radionuklidot vettük figyelembe: ^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{54}Mn és ^{51}Cr (20.6.4-7. táblázat).

Az aktivitáskonzentrációkat a következő környezeti elemekre számítottuk ki a 20.6.4 fejezetben ismertetett módon:

- a vízi táplálékláncból a Duna-víz, szedimentum és hal,
- az öntözési útvonalon keresztül bekapcsolódó talaj, leveles zöldség, takarmány, tehéntej és marhahús.

Az előzőekben leírtak alapján meghatározott, maximális aktivitáskonzentrációkat a 20.6.4-7. táblázatban foglaltuk össze.

Radionuklid	c_Duna (Bq/dm ³)	c_szedim. (Bq/kg)	c_hal (Bq/kg)	c_talaj (Bq/kg)	c_zöldség (Bq/kg)	c_takarmány (Bq/kg)*	c_tej (Bq/dm ³)	c_hús (Bq/kg)
^3H	4,0E+00	-	-	-	-	-	-	-
^{14}C	4,5E-04**							
^{137}Cs	5,2E-05	4,9E-03	2,3E-01	1,4E-03	4,3E-04	5,3E-03	8,8E-04	3,3E-03
^{131}I	1,5E-05	-	6,0E-04	5,9E-07	4,3E-05	4,3E-04	5,7E-05	2,1E-04
^{60}Co	1,1E-06	4,0E-04	3,2E-04	9,9E-06	8,7E-06	1,0E-04	1,7E-05	8,8E-05
^{89}Sr	3,5E-07	6,6E-06	-	8,6E-08	2,1E-06	2,3E-05	8,9E-07	2,2E-06
^{54}Mn	2,6E-07	1,7E-05	1,0E-04	4,0E-07	2,0E-06	2,2E-05	1,1E-07	-
^{51}Cr	-	1,7E-05	4,7E-05	-	-	-	-	1,0E-05

* száraz tömegre vonatkoztatva,

** becsült érték Isotopech Zrt. által

20.6.4-7. táblázat: A 2 db orosz VVER-1200 típusú blokkal felszerelt atomerőmű tervezett folyékony kibocsátásaiból létrejövő maximális aktivitáskonzentrációk egyes környezeti elemekben

A jelenlegi Paksi Atomerőmű környezet-ellenőrzési programját jellemző kimutatási határokat a 2011. évi jelentés alapján a 20.6.4-8. táblázatban szerepeltetjük. Egyéb információ hiányában azt feltételeztük, hogy az új blokkokkal üzemelő erőmű környezet-ellenőrzési rendszere a jelenlegihez hasonló kimutatási határokkal fog működni.

Radionuklid	c_Duna (Bq/dm ³)	c_szedim. (Bq/kg)	c_hal (Bq/kg)	c_talaj (Bq/kg)	c_zöldség (Bq/kg)	c_takarmány (Bq/kg)**	c_tej (Bq/dm ³)	c_hús (Bq/kg)
³ H	2,0E-00	-	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C	1,0E-03							
¹³⁷ Cs	5,0E-03	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-02*	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01*
¹³¹ I	5,0E-03	-	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-02*	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01*
⁶⁰ Co	5,0E-03	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-02*	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01*
⁸⁹ Sr	1,0E-03*	5,0E-01*	-	5,0E-01*	5,0E-02*	5,0E-01*	5,0E-01*	5,0E-01*
⁵⁴ Mn	5,0E-03	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-01	5,0E-02*	5,0E-01	5,0E-01	-
⁵¹ Cr	-	5,0E-00*	5,0E-00	-	-	-	-	5,0E-00*

* jelölt kimutatási határok arányosítással becsült értékek

** száraz tömegre vonatkoztatva

20.6.4-8. táblázat: A Paksi Atomerőmű környezet-ellenőrzési programját jellemző kimutatási határok

A kimutatási határok és a maximális aktivitáskoncentrációk két értékes jegyre kerekített arányait a 20.6.4-9. táblázat mutatja be. Az értékek megjelenítése mellett a nagyságrendi eltérések szemléltetésére a táblázatban az egyes cellákat szürke árnyalatokkal is jellemeztük, a következők szerint:

- fehér szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció < 10,
- világos szürke szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció 10 feletti, de < 100,
- sötétebb szürke szín, ha az arány: kimutatási határ / maximális aktivitáskoncentráció > 100.

Radionuklid	c_Duna (Bq/dm ³)	c_szedim. (Bq/kg)	c_hal (Bq/kg)	c_talaj (Bq/kg)	c_zöldség (Bq/kg)	c_takarmány (Bq/kg)*	c_tej (Bq/dm ³)	c_hús (Bq/kg)
³ H	0,50	-	-	-	-	-	-	-
¹⁴ C	2,2							
¹³⁷ Cs	97	100	2,2	360	120	94	560	150
¹³¹ I	330	-	830	850000	1200	1200	8800	2400
⁶⁰ Co	4700	1200	1600	51000	5700	4900	30000	5700
⁸⁹ Sr	2900	76000	-	5800000	23000	21000	560000	230000
⁵⁴ Mn	19000	29000	4800	1300000	25000	23000	4500000	-
⁵¹ Cr	-	290000	110000	-	-	-	-	480000

* száraz tömegre vonatkoztatva

20.6.4-9. táblázat: A kimutatási határok és a maximális aktivitáskoncentrációk arányai

Az első csoportnál - ide csupán a Duna-víz trícium, radiokarbon tartalma, valamint a halban várható ¹³⁷Cs aktivitáskoncentráció esetét - a rutin ellenőrzési programnál nem lényegesen nagyobb erőforrás-igényű, célzott vizsgálattal, elméletileg már esély lenne az új blokkok hatásának kimutatására. Meg kell azonban a következőket jegyezni:

- a Duna tényleges vízhozama a sokéves minimum értéknek többszöröse (pl. 2012-ben több mint háromszorosa volt a számításba vett minimumnak), azaz a kialakuló koncentrációk valójában ennyiszor kisebbek lennének,
- a trícium koncentrációjának háttérértéke a Duna-vízben az utóbbi években 1-4 Bq/dm³ nagyságú volt, ami a kimutatást mindenképpen megnehezíti,
- a csernobili atomerőmű baleset hazai hatása következtében a 2-3 tized Bq/kg nagyságú ¹³⁷Cs aktivitáskoncentráció-többlet kimutatására sajnos nincs reális esély. (Ez a hatás nyilvánvalóan csökkenni fog, de 10-20 éves távlatban legfeljebb 1,5-2-szeres csökkenésre lehet számítani.),
- az átmeneti években, amikor a jelenlegi és az új blokkok együtt fognak működni, az esetlegesen mért többletekről nehezen dönthető el, hogy melyik erőmű kibocsátásából származnak.

A második csoportnál már sokszorta nagyobb erőfeszítések (igen nagy mintamennyiség, extrém érzékeny mérőberendezés, nagyon hosszú mérési idő) esetén lenne esetleg esély a hatás mérésére. (Itt ismét zavaró lehet a

csernobili ¹³⁷Cs maradvány és a jelenlegi erőmű hatása.) Úgy látjuk, hogy a harmadik csoport esetén az erőmű környezeti hatásának kimutatásának egyáltalán nincs reális esélye.

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a normál üzemelésnél a légköri és a vízi kibocsátásokra tekintettel a radiológiai hatás semleges (effektív dózis <90 µSv/év), s a felhalmozódások a modellezések alapján olyan kismértékűek, hogy gyakorlatilag nem lehet majd kimutatni a környezetben.

20.6.5 PAKS II. ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSTERÜLETEI

A radiológiai hatás minősítésénél az alábbi kategorizálást használjuk:

Minősítés	Radiológiai hatás (E=effektív dózis)
semleges	$E < 90 \mu\text{Sv}/\text{év}$
elviselhető	$90 \mu\text{Sv}/\text{év} < E < 1 \text{ mSv}/\text{év}$
terhelő	$1 \text{ mSv}/\text{év} < E < 10 \text{ mSv}/2 \text{ nap}$ vagy $10 \text{ mSv}/\text{esemény}^*$
károsító	$10 \text{ mSv}/2 \text{ nap}$ vagy $10 \text{ mSv}/\text{esemény} < E < 1 \text{ Sv}/\text{esemény}^{**}$
megszüntető	$1 \text{ Sv}/\text{élettartam} < E$

* tápláléklánc hatása nélkül

** teljes élettartamra (felnőttekre 50 év, gyermekekre 70 év), a tápláléklánc hatása nélkül

ahol

90 µSv/év effektív dózis az ÁNTSZ-OTH által meghatározott dózismegszorítási érték

1 mSv/év effektív dózis a lakossági dóziskorlát

10 mSv elkerülhető effektív dózis 2 nap alatt az elzárkóztatásra vonatkozó beavatkozási dózisszint normál üzemtől eltérő esetben

1 Sv/élettartam a végleges áttelepítésre vonatkozó vészhelyzeti beavatkozási szint.

A semleges hatás felső korlátjának a 90 µSv/év értéket tekintjük, mert a paksi telephelyen üzemelő reaktorblokkok dózismegszorítása szintén 90 µSv/év, valamint a Paksi Atomerőmű és Paks II. azonos tevékenységet végeznek és a kapacitásuk is közel azonos (2000 – 2400 MWe). A semleges hatás szempontjából ez elfogadható, mivel a dózismegszorítás értéke jóval a dóziskorlát (1 mSv/év) alatt helyezkedik el és ez a dózismegszorítás érték alacsonyabb a természetes háttérsugárzásból származó sugárterhelés ingadozásánál is.

Az elviselhető hatás felső korlátjának az 1 mSv/év értéket tekintjük, mert az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet szerint a lakosság tagjainak mesterséges forrásból származó, külső és belső sugárterhelésének összege – az orvosi diagnosztikai és terápiás beavatkozással, a nem foglalkozásszerű betegápolással, az orvosi kutatásban való önkéntes részvétellel járó sugárterhelésen kívül – nem haladhatja meg ezt a dóziskorlátot.

A terhelő hatás felső korlátjának a 10 mSv/év értéket tekintjük. A 16/2000. EüM rendelet szerint 10 mSv/2 nap elkerülhető effektív dózis a legkisebb beavatkozási dózisszint, amelynél veszélyhelyzetben valamilyen védelmi intézkedést kell tenni (elzárkóztatás). Amennyiben a várható dózis egy év alatt nem éri el a beavatkozási szintet, úgy az elkerülhető dózis sem érheti el azt 2 nap alatt. További konzervativizmust jelent, hogy az elkerülhető dózis kizárólag arra a besugárzási útvonalra / útvonalakra vonatkozik, amelyre / amelyekre az intézkedés irányul, míg a radiológiai hatásterület meghatározásához az összes besugárzási útvonalra vonatkozó effektív dózist számítjuk. Ennek megfelelően – konzervatívan – dóziskritériumnak a beavatkozási szintet fogadjuk el.

Optimált, általános beavatkozási szint a lakosság végleges áttelepítésére a 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet szerint a vészhelyzeti sugárterhelés esetén: > 1 Sv/élettartam.

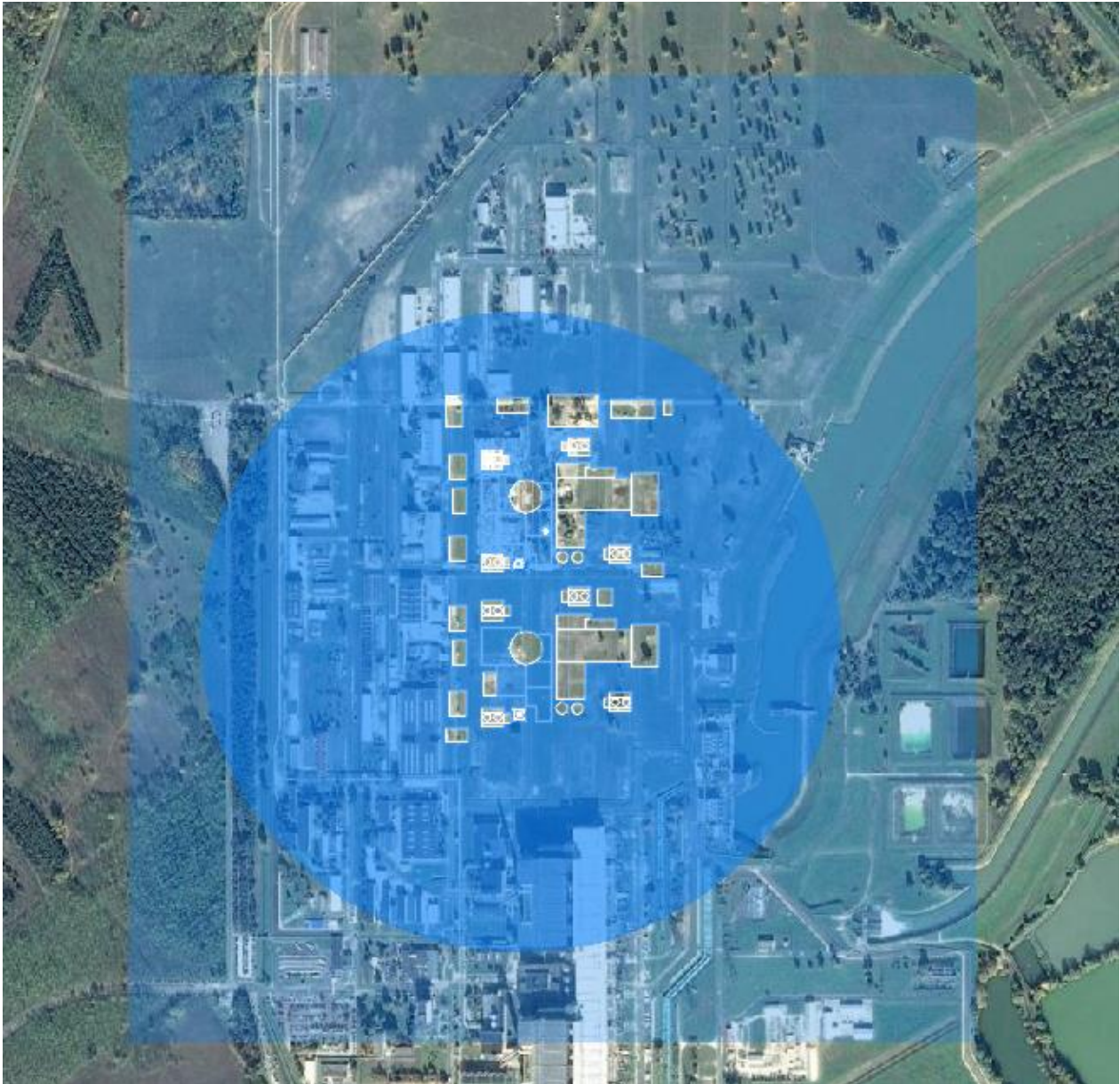
20.6.5.1 Közvetlen hatások

A 20.4.2. fejezet számításait (friss fűtőelem-, kiégett fűtőelem-, radioaktív hulladék szállítás, ipari radiográfia, radioaktív anyagot tartalmazó tárgyak mozgatása) figyelembe véve lehet meghatározni a közvetlen hatásokat. A Paks II.-nél hasonló esetek fordulnak elő, így az eredmények azt mutatják, hogy az 500 m belül a radiológiai hatás nem lépi túl a dózismegszorítás értékét. A biztonsági övezet határa (a külső technológiai épület falától 500 m) az 500 m sugarú körön kívül helyezkedik el, így a biztonsági övezet határán is teljesül, hogy a radiológiai hatás a dózismegszorítás alatt marad.

20.6.5.2 Közvetett hatások

A 20.6.1. és a 20.6.3. fejezetei alapján a kibocsátási számítások azt mutatják, hogy a radiológiai hatás az 500 m sugarú körön kívül nem lépi át a dózismegszorítás értékét. A biztonsági övezet határa (a külső technológiai épület falától 500 m) az 500 m sugarú körön kívül helyezkedik el, így a biztonsági övezet határán is teljesül, hogy a radiológiai hatás a dózismegszorítás alatt marad.

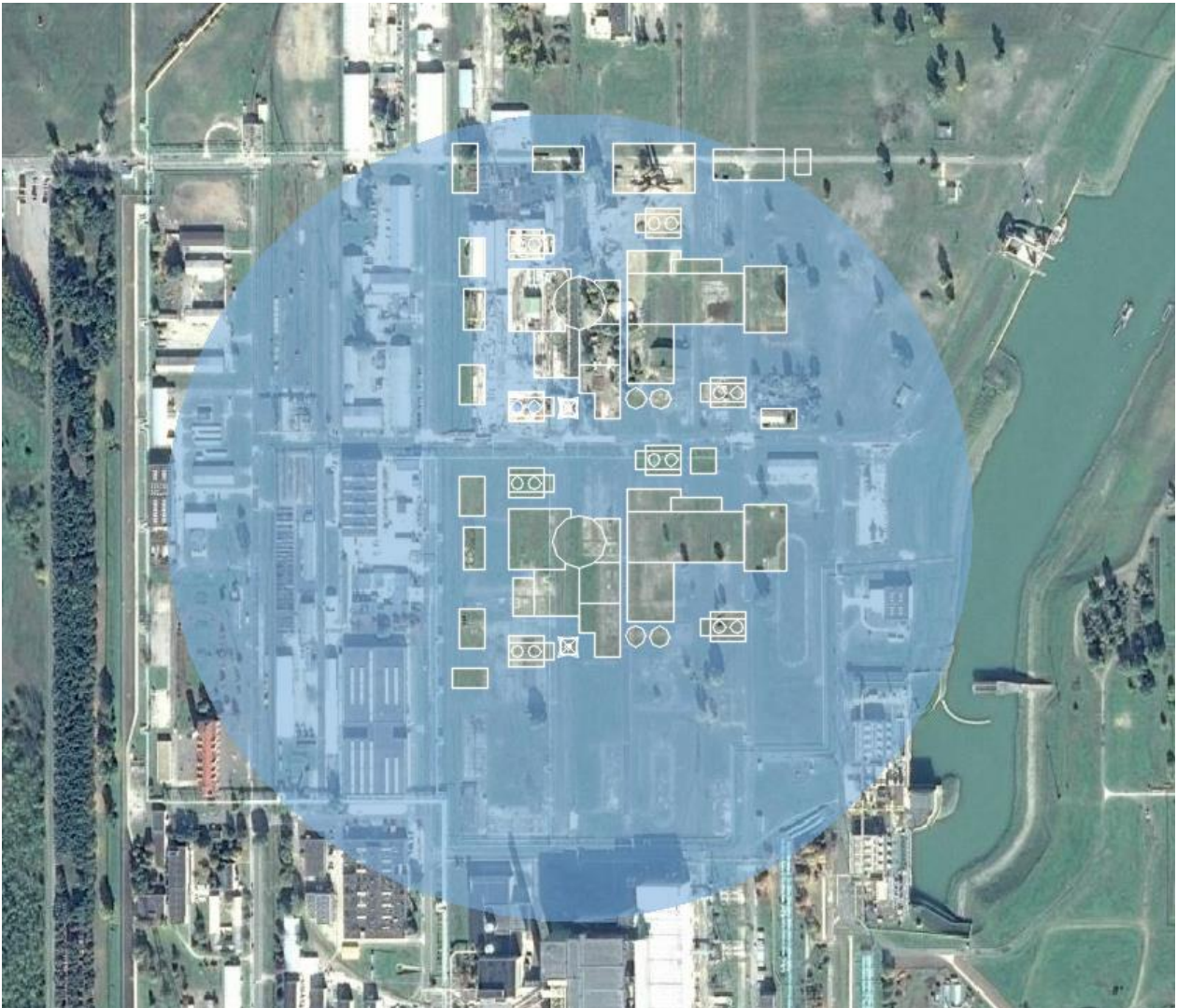
Az összegzett radiológiai hatások (közvetlen, közvetett) a normál üzemelésnél az 500 m sugarú körön belül a dózismegszorítás alatt (semleges hatás) maradnak, mivel ez teljesül a biztonsági övezet határára is, így: a hatásterület határának **normál üzemelésnél** a biztonsági övezet határa tekinthető (20.6.5-1. ábra).



20.6.5-1. ábra: Paks II. normál üzemelésének hatásterülete: 500 m sugarú kör az 500 m-es biztonsági övezetben

(A hatásterület feltüntetésénél a két kémény középpontját vettük, s a hatást e középpont körüli körben tüntettük fel (500 m sugarú kör) látható, hogy ez benne van az 500 m-es biztonsági övezetben.)

A 20.6.2. fejezet tervezési üzemzavar (TA4) esemény számításai alapján a radiológiai hatás: dózismegszorítás alatti értékű és 400 m sugarú körnél található a maximum érték. A **tervezési üzemzavarnál** hatásterületnek vehetjük így a 400 m sugarú kör határát, de valójában itt is az 500 m-es biztonsági övezet határa tekinthető a valós hatásterület határának (20.6.5-2.-ábra).



20.6.5-2. ábra: Paks II. tervezési üzemzavari eseménynél (TA4) a 400 m hatásterület

20.6.5.3 Országhatáron áterjedő hatások

A tervezési üzemzavarok bekövetkeztekor, a közvetett hatások hatásterületét az 500 m-es biztonsági övezet határával megegyező területtel azonosítottuk, ebből következik, hogy országhatáron áterjedő hatásokkal nem kell számolnunk.

20.6.6 PAKS II., A PAKSI ATOMERŐMŰ ÉS A KKÁT EGYÜTTES ÜZEMELÉSÉNEK HATÁSA ÉS HATÁSTERÜLETE

20.6.6.1 Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT együttes üzemelésének hatása

A normál üzemi légköri kibocsátások együttes hatása a 20.4.2, a 20.6.1 és a 20.6.3 fejezetek alapján meghatározható.

A területen üzemelő három egység (Paks II., Paksi Atomerőmű és KKÁT) összesített maximális teljes dózisait adtuk meg a 20.6.6-1. és a 20.6.6-2. táblázatokban a két korcsoportra és az egyes távolságokra. Ezek alapján látható, hogy az összesített dózis két nagyságrenddel a semleges érték alatt marad.

Üzem/terület	Csámpa	<5km	5-10km	10-30km
Paksi Atomerőmű (2009)	8,40E-08	4,00E-08	6,50E-09	1,00E-09
Paks II. (2009)	6,90E-08	3,90E-08	9,00E-09	1,50E-09
KKÁT (2011)	1,40E-09	4,00E-10	6,60E-11	1,00E-11
Összesen	1,54E-07	7,94E-08	1,56E-08	2,51E-09

20.6.6-1. táblázat: Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT teljes dózisa a maximális évből az 1-2 éves kisgyermekre, Sv

Üzem/terület	Csámpa	<5km	5-10km	10-30km
Paksi Atomerőmű (2009)	6,00E-08	2,90E-08	4,70E-09	7,30E-10
Paks II. (2009)	5,90E-08	3,30E-08	7,50E-09	1,30E-09
KKÁT (2011)	7,00E-10	2,10E-10	3,40E-11	6,60E-12
Összesen	1,20E-07	6,22E-08	1,22E-08	2,04E-09

20.6.6-2. táblázat: Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT teljes dózisa a maximális évből a felnőttekre, Sv

1-2 éves gyermek (nSv/év)	Felnőtt (nSv/év)
1,54E+02	2,04E+02

20.6.6-3. táblázat: A folyékony kibocsátások legnagyobb együttes hatása Gerjenben éves szinten

20.6.6.2 Paks II., a Paksi Atomerőmű és a KKÁT együttes üzemelésének hatásterületei

A normál üzemelésből származó sugárterheléseket összesíteni kell, hogy az együttes radiológiai hatást becsülni lehessen a 20.6.5 fejezet elején leírt minősítési kategorizálás szerint. E hatásterület a Paks II., Paksi Atomerőmű és a KKÁT egyesített biztonsági övezetek határa lesz.

20.6.6.2.1 Közvetlen hatások

A 20.4.2 fejezet hasonló számításait figyelembe véve lehet meghatározni a közvetlen hatásokat. Mindkét létesítményben hasonló események fordulnak elő, így az eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy az együttes hatásterület sehol sem lépi át a biztonsági övezet(ek) határánál (500 m) a dózismegszorítás értékét. A hatásterület határának normál üzemelésnél a biztonsági övezet(ek) határa tekinthető.

20.6.6.2.2 Közvetett hatások

A 20.4.2 és a 20.6.1 - 20.6.3 fejezetei alapján a kibocsátási számítások azt mutatják, hogy az együttes hatás hatásterület határa normál üzemelésnél a biztonsági övezet(ek) határa (500 m).

20.6.6.2.3 Országhatáron áttérjedő hatások

A közvetlen és a közvetett hatások hatásterületeként is a biztonsági övezet(ek) határával megegyező nagyságú terület tekinthető, ebből következően országhatáron áttérjedő hatásokról nem beszélhetünk.

20.6.7 JAVASOLT SUGÁRVÉDELMI MONITORING RENDSZER

A jelenleg működő környezeti sugárvédelmi monitoring rendszer teljes körűnek tekinthető, nemzetközi szinten is megállja a helyét.

Folyékony és légnemű kibocsátások mérése kétszintű ellenőrzéssel történik: távmérő rendszerek folyamatos mérésével, illetve mintavételezéssel.

A távmérő rendszerhez tartoznak a távmérő állomások: A (9 db), G (11db) C (15 db) és B (1 db, kontroll) típusú állomások (*Monitoring rendszerek a Paksi Atomerőmű környezetében* című alfejezetben már ismertetésre került).

Paksi Atomerőműnél folyékony kibocsátás ellenőrzést:

- tartály: összes-béta, izotóp összetétel, trícium, radiostroncium, radiokarbon, összes- alfa
- csatorna vizek (V1, V2, V3)

a légnemű kibocsátás ellenőrzést a kéményben:

- on-line: alfa és béta sugárzók, radiojód, nemesgáz, gamma sugárzók
- off-line: aeroszol, radiojód, nemesgáz, trícium, radiokarbon, radiostromcium

végzik.

A Környezetellenőrző Laboratórium mintavételezése során az alábbi környezeti méréseket végzik:

(Jelölés rövidítések: összes-béta = öb, gamma-spektrometriai mérés = gs, folyadék szcintillációs mérés = fsz, alfa-spektrometriai mérés= as, összes-alfa = öa)

Folyékony kibocsátások vizsgálata

Vízminták:

- csatornavizek (gs, fsz, öa)
- talajvizek (öb, gs, fsz)
- halastavak (öb, gs, fsz)
- övások (öb, gs, fsz)
- Duna víz (gs, fsz)

Izszapminták:

- Duna iszap (öb, gs)
- halastavak (öb, gs, fsz)
- övások (gs,)
- fekáliás iszap (gs)

Légnemű kibocsátások vizsgálata

Mintagyűjtő állomásokon:

- aeroszol, radiojód (gs)
- elemi jód (gs)
- szerves jód (jód-távmérő, aktív szén), (gs)
- aeroszol (nagyterfogatú), (öb, gs)
- elemi jód (nagyterfogatú), (gs)
- szerves jód (akt. sz., nagyterfogatú), (gs)
- radiostroncium (fsz)
- trícium (HTO/HT)(fsz)
- radiokarbon (C_nH_m, CO₂) (öb)
- fall-out (gs,)

Környezetellenőrzési vizsgálat az erőmű környezetében:

- talajminta (gs, as, öb)
- fűminta (gs, öb)
- tejminta (gs)
- halminta (gs)
- dózis (TLD)
- helyszíni mérések (in-situ gamma-spektrometria, dózisteljesítmény)

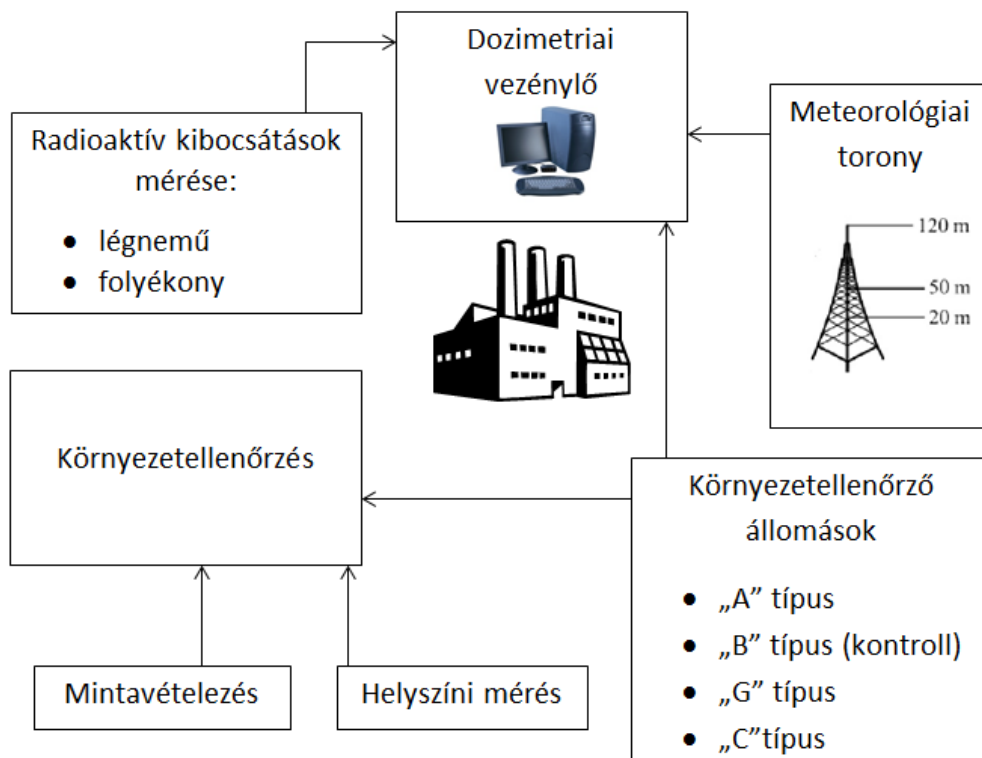
A Paks II. blokkjai nagyrészt a jelenlegi környezeti-monitoring rendszeren belülre kerülnek, néhány kivétellel.

- ❖ Így a Paksi Atomerőmű jelenleg üzemelő környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszerének kiegészítését javasoljuk a Paks II. telephelye körül.
- ❖ Az „A” típusú és „G” típusú mérőállomások számának növelését tartjuk szükségesnek.
- ❖ A „V” típusú állomások bővítését, az alkalmazott kibocsátási technológia függvényében tartjuk indokoltnak.
- ❖ A Környezetellenőrző Laboratórium mintavételezésének és mérésének Paks II. telephely körüli kiterjesztését javasoljuk a jelenlegi környezeti elemekre, ez a folytonosság és az összehasonlítás (vonatkoztatási szint) is fontos.
- ❖ Új talajvízfigyelő kutak létrehozása is szükséges, ahogy azt a *Földtani közeg és felszín alatti víz a telephelyen és közvetlen környezetében* című fejezet részletesen tartalmazza.

A Paks II. blokkjai légnemű és folyékony kibocsátásának kétszintű ellenőrzése céljából, az új kéményekben, illetve folyékony kibocsátási pontokban is telepíteni kell folyamatosan működő, a jelenlegihez hasonló mintavevő és távmérő rendszert.

A laboratóriumi méréseknél javasolt az izotóp szelektív mérések előnybe részesítése és kisebb kimutatási határral rendelkező eszközök beszerzése.

A javasolt Paks II. sugárvédelmi monitoring rendszer elvi felépítését vázoljuk a 20.6.7-1. ábraán.



20.6.7-1. ábra: A javasolt Paks II. sugárvédelmi monitoring rendszer elvi felépítése

20.7 PAKS II. FELHAGYÁSÁNAK HATÁSA A TELEPHELY KÖRNYEZETÉBEN ÉLŐ NÉPESSÉG SUGÁRTERHELÉSÉRE

A leszerelés tekintetében a nemzetközi gyakorlat alapján kijelenthető, hogy a normál üzemeléshez képest nagyobb környezeti hatás nem várható, a hatások a 20.4.2, a 20.6.1 és 20.6.3 elemzéseikhez hasonlóak lesznek, csak a kibocsátási pontok és a hulladék mennyisége változhat.

20.8 IRODALOMJEGYZÉK

20.1 fejezet

- [20.1-1] A paksi atomerőmű telephelyén létesítendő új atomerőművi blokk dózismegszorításának megalapozása, SOM System Kft., SOM(R)435/1 Rev.3., 5401 03A00014 SSA, 2011.

20.2 fejezet

- [20.2-1] Paksi Atomerőmű Környezetellenőrzés – Nullszint felmérés, MTA Központi Fizikai Kutató Intézete, Budapest, 1979.
- [20.2-2] Az országos környezeti sugárvédelmi ellenőrző rendszer (OKSER) éves jelentései (2005-2010)
- [20.2-3] Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No.19, IAEA, Vienna, 2001
- [20.2-4] A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány, ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február
- [20.2-5] Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében a vizek trícium tartalmának meghatározására elvégzett kétéves vizsgálati periódusról, ETV-ERŐTERV Rt.,0000K00ERA00057/B, 2005. szeptember
- [20.2-6] A Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentése 2. fejezet, Paksi Atomerőmű Rt., 2009.
- [20.2-7] Környezetvédelmi felülvizsgálatok jelentései, PA Zrt.
- [20.2-8] Trícium monitoring rendszer kialakítási koncepciótervnek elkészítése, Isotoptech Zrt., 2009, PAE-ISO/02/2009/SZ
- [20.2-9] Sugárvédelmi tevékenység a Paksi Atomerőműben 2001-2011 Éves jelentések: nukleáris környezetvédelemmel foglalkozó fejezetei, PA Zrt.
- [20.2-10] HAKSER jelentések 2001-2010, OSSKI
- [20.2-11] Előzetes konzultációs dokumentáció, PÖYRY ERŐTERV Zrt. ,6F111121/0002/O, 2012. 01.31.,
- [20.2-12] Ng, Y.C., COLSHER, C.S & THOMSON, S.E., 1979, Soil-to-plan concentration factors for radiological assessments, UCRL NUREG/CR, 1979.
- [20.2-13] UNSCEAR Report 2008, Source and effects of ionising radiation, United Nations, 2010. Annex B.
- [20.2-14] A Paksi Atomerőmű (PAE) üzemeltetéséből eredő radionuklidok környezeti viselkedésének vizsgálatát megalapozó tanulmány, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, 1997.
- [20.2-15] A Paksi Atomerőmű nukleáris létesítményeinek üzemeltetéséből eredő radionuklidok környezeti viselkedésének vizsgálata, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, 1999.

20.3 fejezet

- [20.3-1] Bailar JC, Mosteller F: Medical uses of statistics. Massachusetts Medical Society. 1986.
- [20.3-2] Bithel JF, Stone RA: On statistical methods for analysing the geographical distribution of cancer cases near nuclear installations. J Epidemiol Community Hlth. 1989, 43, 79-85.
- [20.3-3] Boyle P, Muir CS, Grundmann E: Cancer Mapping. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1989
- [20.3-4] Bruce Barrett, Melissa Stiles, Jeff Patterson: Radiation Risks: Critical analysis and commentary. Preventive Medicine, Preventive Medicine. Preventive Medicine, 2011
- [20.3-5] Carriere KC, Roos LL: Comparing standardized rates of events. American Journal of Epidemiology, 140: 472-482, 1994.
- [20.3-6] Carstairs V, Morris R. Deprivation and health in Scotland. Aberdeen University Press, 1992.
- [20.3-7] Clarke KC, McLafferty SL, Tempalski BJ: On epidemiology and geographical information systems: A review and discussion of future directions. Emerging Infectious Diseases 2: 85-92, 1996.
- [20.3-8] Cressie NAC: Statistics for spatial data. John Wiley&Sons. 1991.

- [20.3-9] Cressie, NAC: Smoothing regional maps using empirical Bayes predictors. *Geographical Analysis*, 1992, 24, 75-95.
- [20.3-10] Davis DL, Hoel D: Trends in cancer mortality in industrial countries. *ANYAS* 609, 1990.
- [20.3-11] Devier JR, Brownson RC, Bagdby jr. JR, Carlson GM, Crellin JR: A public health response to cancer cluster in Missouri. *American Journal of Epidemiology*, 1990, 132, S23-S31.
- [20.3-12] Dinya E: *Biometria az orvosi gyakorlatban*. Meidicina, Budapest, 2001.
- [20.3-13] E. Cardis, M. Hatch: The Chernobyl Accident - An Epidemiological Perspective. *Clinical Oncology*, 23: 251-260, 2011
- [20.3-14] Eddy DM: Setting priorities for cancer control programs. *JNCI* 1986, 76, 187-201.
- [20.3-15] Elliot P: *Geographical and environmental epidemiology*. Oxford University Press. 1992.
- [20.3-16] Fiore BJ, Hanrahan LP, Anderson H: State health department response to disease cluster reports: a protocol for investigation. *American Journal of Epidemiology*, 1990, 132, S14-S22.
- [20.3-17] Holtgrave DR, Weber EU: Dimensions of risk perception for financial and health risks. *Risk Analysis*, 1993, 13, 553-558.
- [20.3-18] Jardine C, Hrudehy S, Shortreed J, Craig L, Krewski D, Furgal C, McColl S.: Risk management frameworks for human health and environmental risks. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, 6: 569-720, 2003
- [20.3-19] Jerry M. Cuttler: What becomes of Nuclear Risk Assessment in light of radiation hormesis? *Dose-Response*, 5: 80–90, 2007
- [20.3-20] Kasperson RE: Six propositions on public participation and their relevance for risk communication, *Risk Analysis*, 1986, 6, 275.
- [20.3-21] Központi Statisztikai Hivatal: *Demográfiai évkönyv, 1987-2011*, Budapest.
- [20.3-22] Lawson A, Biggeri A, Böhning D, Lessafre E, Viel J-F, Bertollini R: *Disease Mapping and Risk Assessment in Public Health*, Wiley, 1999
- [20.3-23] Lin T Guey, Evelyn J Bromet, Semyon F Gluzman, Victoria Zakhosha, Vlodomyr Paniotto: Determinants of participation in a longitudinal two-stage study of the health consequences of the Chornobyl nuclear power plant accident. *BMC Medical Research Methodology*, 8: 27, 2008
- [20.3-24] Manton GK, Woodbury MA, Stallard E: Empirical Bayes procedures for stabilizing maps of U.S. cancer mortality rates. *J Am Stat Assoc*. 1989, 84, 637-650.
- [20.3-25] Martuzzi M, Hills M: Estimating the degree of heterogeneity between event rates using likelihood. *Am J Epidemiol* 1995; 141, 369-74.
- [20.3-26] McLoone Ph, Boddy FA: Deprivation and mortality in Scotland, 1981 and 1991, *BMJ*, 309:1465–70, 1994.
- [20.3-27] McNeil E, Arkin D, McCallum: How to talk about risk, *Toxic and Hazardous Substances*. Washington, DC: EPA, 1989.
- [20.3-28] Moulthon LH, Foxman B, Wolfe RA, Port FK: Potential pitfalls in interpreting maps of stabilized rates. *Epidemiology*. 1994, 5, 297-301.
- [20.3-29] Rothenberg RB, Steinberg KK, Thacker SB: The public health importance of clusters: A note from the centers for disease control. *American Journal of Epidemiology*, 132(S1): 3-5.
- [20.3-30] Rothman KJ: A sobering start for the cluster busters' conference. *American Journal of Epidemiology*, 1990, 132, S6-S13.
- [20.3-31] Saenko, V. Ivanov, A. Tsyby, T. Bogdanova, M. Tronko, Yu. Demidchik, S. Yamashita: The Chernobyl Accident and its Consequences. *Clinical Oncology* 23: 234-243, 2011
- [20.3-32] Samuels SJ, Beaumont JJ, Breslow NE: Power and detectable risk of seven tests for standardised mortality ratios. *American Journal of Epidemiology*, 133, 1191-1197, 1991.
- [20.3-33] Sándor J., Métneki J., Szunyogh M., Pálfi Gy.-né: Jelentés a Vezesületett Rendellenességek Országos Nyilvántartása (VRONY) 2003. évi adatairól. "Johan Béla" Országos Epidemiológiai Központ, Budapest, 2005.
- [20.3-34] Sharon R, Silver A, Shannon L, Hiratzka A: Chronic lymphocytic leukemia radiogenicity: a systematic review. *Cancer Causes Control*, 18: 1077–1093, 2007
- [20.3-35] Tim US: The application of GIS in Environmental Health Sciences: Opportunities and Limitations. *Environ Res* 1995; 71: 75-88.
- [20.3-36] Walter SD, Birnie SE, Marret LD: The geographic variation of cancer incidence in Ontario. *Am J Pub Hlth*. 1994, 84, 367-376.
- [20.3-37] Walter SD, Birnie SE: Mapping mortality and morbidity patterns: An international comparison. *Int. J. Epidemiol*. 1991, 20, 678-689.
- [20.3-38] Walter SD: The analysis of regional pattern in health data I. Distributional considerations. *Am J Epidemiol*. 1992, 136, 730-741.
- [20.3-39] Walter SD: The analysis of regional pattern in health data II. The power to detect environmental effects. *Am J Epidemiol*. 1992, 136, 742-759.
- [20.3-40] Wilson REA, Crouch C: Risk assessment and comparisons: an introduction, *Science* 1987, 236, 267.

- [20.3-41] Woloshin S, Schwartz LM: How can we help people make sense of medical data? *Effective Clinical Practice*, 2: 176-183, 1999.
- [20.3-42] Zeckhauser RJ, Viscusi K: Risk within reason, *Science*, 1990, 248, 559.

20.4 fejezet

- [20.4-1] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA, Vienna, 2001
- [20.4-2] IAEA Safety Series No. 57, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases: Exposures of Critical Groups, IAEA, Vienna, 1982
- [20.4-3] IAEA Technical Report Series No. 364, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, IAEA, Vienna, 1994
- [20.4-4] IAEA Technical Reports Series No. 472, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, IAEA, Vienna, 2010
- [20.4-5] IAEA Safety Series No. 115, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA, Vienna, 1996 (Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat: Az ionizáló sugárzás elleni védelem és a sugárforrások biztonsága, NAÜ Biztonsági Szabályzat, Biztonsági Sorozat No. 115, Budapest, 1996)
- [20.4-6] IAEA General Safety Requirements Part 3 (Interim), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011
- [20.4-7] US Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, External exposure to radionuclides in air, water and soil, 1993
- [20.4-8] Daniel A. Torres, Russell D. Mosteller, Jeremy E. Sweezy; Comparison of MCNP5 and Experimental Results on Neutron Shielding Effects for Materials; 2004 Annual Meeting of the American Nuclear Society; June 13-17, 2004; Pittsburgh, PA
- [20.4-9] Yoshitaka YOSHIDA, Akinao SHIMIZU, Yoshiko HARIMA and Kotaro UEKI; Development and Evaluation of a Fast Calculation Method for Gamma Ray Skyshine Dose Using Data Libraries; *Journal of Nuclear Science and Technology*, Vol. 48, No. 7, p. 1057–1068; 2011
- [20.4-10] Los Alamos National Laboratory, "MCNP A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5.0, User's Guide" (2003)
- [20.4-11] Minchul Kim, Jongrak Choi, Sunghwan Chung and Jaehoon Ko; Radiation Shielding Evaluation of IP-2 Packages for Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste; *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 40 No.6 October 2008
- [20.4-12] Mitsufumi ASAMI*, Kenichi SAWADA, Akiko KONNAI and Naoteru ODANO; Application of Dose Evaluation of the MCNP Code for the Spent Fuel Transport Cask; *Progress in Nuclear Science and Technology*, Vol. 2, pp.855-859; 2011
- [20.4-13] Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures, ICRP PUBLICATION 116, ELSEVIER, 2010
- [20.4-14] IAEA, Safety Series No. 57 (SS57), 1982
- [20.4-15] IAEA, Safety Reports Series No. 19 (SRS19), 2001
- [20.4-16] External exposure to radionuclides in air, water and soil (Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, 1993)
- [20.4-17] A táplálékfogyasztási jellemzők felmérése Bátaapáti térségében (kérdőíves felmérés (OSSKI, Budapest, 1999)
- [20.4-18] A Paks telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok dózismegszorításának megalapozása (SOM(R) 435/1 Rev.2, 2011.08.12)
- [20.4-19] Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP PUBLICATION 119, ELSEVIER, 2012
- [20.4-20] Los Alamos National Laboratory, MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, April 24, 2003 (Revised 2/1/2008)
- [20.4-21] Paksi Atomerőmű Zrt., Végleges Biztonsági Jelentés 2007.
- [20.4-22] Takács Tamás, Baksay Attila, Juhász László, Az NRHT üzemviteli fázisára vonatkozó radiológiai kockázatok elemzése, Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., 2010. október
- [20.4-23] Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft., KKÁT Végleges Biztonsági Jelentés, 2009.
- [20.4-24] QSA Global Incorporation, Sentinel 880 Operating and Maintenance Manual, May 2007.
- [20.4-25] HAKSER '93 - 2. Melléklet: A légköri terjedés számítása, 1993
- [20.4-26] Varga-Haszonits Zoltán: Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1987
- [20.4-27] M. I. Sheppard, D. H. Thibault: Default soil solid/liquid partition coefficients, K_{ds}, for four major soil types: a compendium. *Health Physics* Vol 59, No 4 (October), pp 471-482, 1990

20.6 fejezet

- [20.6-1] MIR.1200 Preliminary data and information for safety and environmental licensing, Appendix 3
- [20.6-2] Data for NPP environmental impact analysis (AES-2006 with VVER-1200), Rusatom Overseas JSC, 2014.09.23.
- [20.6-3] IAEA Safety Reports Series No.19, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA, Vienna, 2001
- [20.6-4] IAEA Safety Series No. 57, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases: Exposures of Critical Groups, IAEA, Vienna, 1982
- [20.6-5] IAEA Technical Report Series No. 364, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, IAEA, Vienna, 1994
- [20.6-6] IAEA Technical Reports Series No. 472, Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, IAEA, Vienna, 2010
- [20.6-7] A táplálékfogyasztási jellemzők felmérése Bácskai térségében (kérdőíves felmérés (OSSKI, Budapest, 1999)
- [20.6-8] KDV KTVF Laboratórium (2008-2010, Duna, Nagytétény)
- [20.6-9] A Paks telephelyen létesítendő új atomerőművi blokkok dózismegszorításának megalapozása (SOM(R) 435/1 Rev.2, 2011.08.12)
- [20.6-10] Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP PUBLICATION 119, ELSEVIER, 2012
- [20.6-11] HAKSER '93 - 2. Melléklet: A légköri terjedés számítása, 1994
- [20.6.4-1] Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment (IAEA Safety Report Series, No. 19, Vienna, 2001)
- [20.6.4-2] A Paksi Atomerőmű kibocsátási határértékeinek meghatározása (OSSKI, Budapest, 2001)
- [20.6.4-3] Paksi Atomerőmű Zrt, 1-4. blokk, Időszakos Biztonsági Jelentés 2007. (6. fejezet)
- [20.6.4-4] A Paks telephelyen létesítendő új erőművi blokkok dózismegszorításának megalapozása (SOM Sytem Kft., SOM(R)435/3 Rev.2, 2011)
- [20.6.4-5] MVM Paks II. Zrt. adatszolgáltatás
- [20.6.4-6] External exposure to radionuclides in air, water and soil (Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, 1993)
- [20.6.4-7] UNSCEAR 2008: Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York, Volume I: Sources.