

**Analiza impactului radiologic transfrontalier ca urmare a implementării
Proiectului de re tehnologizare a U1 CNE Cernavodă și extindere a DICA cu module MACSTOR 400**

1. Impactul radiologic transfrontalier al implementării subproiectului de re tehnologizare a U1 CNE Cernavodă

Din punct de vedere al evaluării impactului radiologic asupra mediului și populației, în cazul implementării subproiectului de re tehnologizare a U1 CNE Cernavodă s-au analizat două situații legate de regimul de funcționare al instalației: funcționare normală și situație de accident nuclear, aplicate în diferitele etape relevante referitoare la implementarea proiectului, respectiv: pregătirea – implementarea re tehnologizării și funcționarea U1 în ciclul 2 de operare.

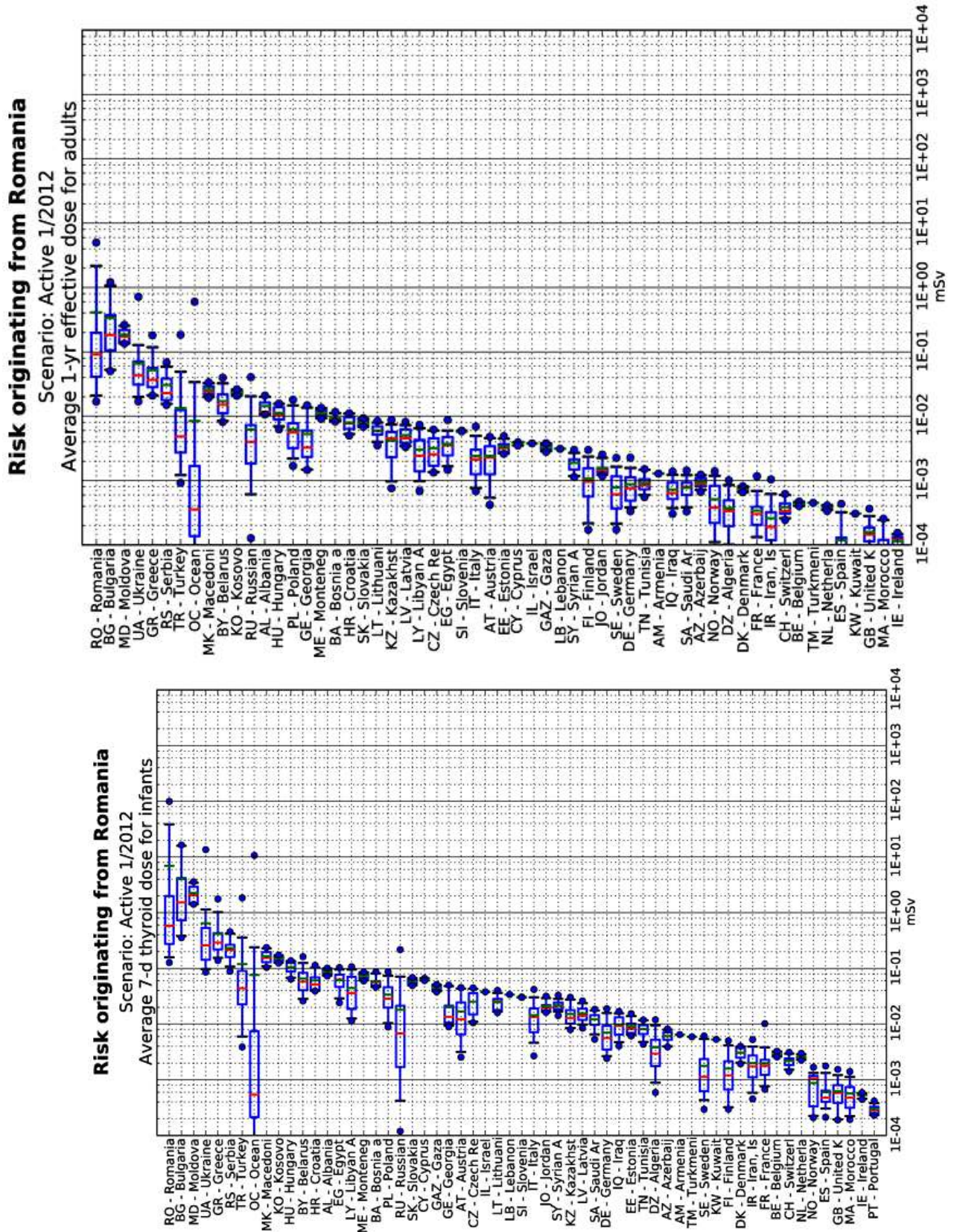
Pe baza informațiilor de automonitorizare înregistrate în perioada de operare a celor două unități aflate în exploatare la CNE Cernavodă, precum și a aplicării modelelor de dispersie a efluenților gazoși și lichizi, utilizate în procesul de elaborare a documentațiilor pentru aprobarea limitelor derivate de evacuare, s-a stabilit că impactul radiologic se datorează exclusiv emisiilor de tritium și C-14, fiind unul nesemnificativ, iar datele de modelare și măsurătorile realizate în vecinătatea graniței cu Bulgaria au arătat că nu există niciun impact radiologic al funcționării centralei pe teritoriul Bulgariei, ceea ce înseamnă că nici în cazul Ucrainei, Ungariei, sau Austriei **nu se poate vorbi despre un impact radiologic, asupra teritoriului acestor state, datorat funcționării în condiții normale a centralei**. Această concluzie se aplică etapei de funcționare, în condiții normale, a U1 în ciclul 2 de operare.

Pentru etapa de pregătire și implementare a re tehnologizării, evaluarea s-a făcut în mod conservativ pornind de la datele cu privire la emisiile radioactive înregistrate în proiecte similare din Canada (Point Lepreau și Bruce), arătându-se că în condițiile utilizării aceluiași model de dispersie ca la funcționare normală, impactul radiologic (în termeni de doză la persoana reprezentativă din populație) se menține la un nivel nesemnificativ, ceea ce înseamnă că **nu există niciun impact transfrontalier asupra teritoriilor statelor interesate (Bulgaria, Ucraina, Ungaria și Austria)**.

În ceea ce privește impactul radiologic în situații de accident, s-au analizat scenariile de accident bază de proiect prezentate în Raportul Final de Securitate al Unității 1, ediția 2022, reținându-se că pentru Evenimentul Baza de Proiect (DBA) „Feeder Stagnation Break” se pot anticipa consecințele cele mai grave din punct de vedere al impactului radiologic asupra populației. Astfel, în condițiile conservative utilizate pentru modelarea dispersiei poluanților, la o distanță de 30 de km de centrală se poate estima o doză maximă de 16 microSv/eveniment, ceea ce înseamnă că pentru orice persoană localizată pe teritoriul țărilor interesate (Bulgaria, Ucraina, Ungaria sau Austria), doza efectivă ca urmare a oricărui alt Eveniment Bază de Proiect (DBA), va fi inferioară acestui nivel. Astfel, se poate concluziona că **impactul radiologic transfrontalier ca urmare a unui eveniment bază de proiect la unul din reactoarele CNE Cernavodă este nesemnificativ**.

Pentru categoria de accidente dincolo de baza de proiectare, care includ accidentele severe produse în timpul operării centralei, s-au luat în considerare studiile prezentate în publicațiile: *Study of Consequences of a Hypothetical Severe Nuclear Accident and Effectiveness of Mitigation Measures, Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) 2015, CC172-119/2015E-PDF* – disponibil on line și *Flexrisk - Flexible tools for assessment of nuclear risk in Europe. Final Report, by Petra Seibert, Delia Arnold, Nikolaus Arnold, Klaus Gufler, Helga Kromp-Kolb, Gabriele Mraz, Steven Sholly, Antonia Wenisch (2013)*. Primul dintre documentele menționate prezintă rezultatele aplicării unei metodologii de evaluare conservativă a consecințelor radiologice ale unui accident sever la o centrală nucleară tip CANDU. Acesta pornește de la un termen sursă specific și utilizează modelul de dispersie implementat în codul de calcul MACCS, recomandat pentru transportul atmosferic al poluanților la distanțe medii, în scopul evaluării impactului radiologic asupra populației, în termeni de doză efectivă pentru întregul corp (expunere integrată pentru un an) și doză echivalentă pentru tiroidă. Concluzia studiului CNSC este că valorile mărimilor radiologice evaluate scad puternic cu distanța față de punctul de emisie, astfel că, în toate scenariile analizate, la distanțe de peste 36 de km de centrală acestea se situează la valori sub 2 mSv (doză pentru întregul corp) și sub 25 mSv (doză pentru tiroidă), iar la distanțe mai mari de 90 km acestea scad sub 0,4 mSv (doză pentru întregul corp), respectiv sub 5,2 mSv (doză pentru tiroidă). Cel de-al doilea document prezintă rezultatele proiectului Flexrisk, în cadrul căruia s-a evaluat riscul radiologic asociat unor accidente severe produse la centralele nucleare de pe teritoriul european aflate în operare la nivelul anului 2012. Metodologia utilizată s-a bazat pe definirea unor termeni sursă specifici fiecărui tip de

reactor și pe utilizarea unui model de dispersie atmosferică destinat simulării transportului poluanților pe distanțe lungi (modelul lagrangean). Rezultatele evaluărilor pentru CNE Cernavoda sunt prezentate în figurile de mai jos sub forma reprezentării grafice a intervalelor de valori ale dozei efective pentru întregul corp și a dozei echivalente pentru tiroidă pentru locuitorii de pe teritoriul fiecărei țări impactate.



Așa cum se poate observa, în cazul unui accident sever care să implice simultan ambele unități de la CNE Cernavodă se estimează următoarele consecințe radiologice:

- pentru persoanele de pe teritoriul Bulgariei doza efectivă pentru întregul corp este cuprinsă în intervalul 0,06 – 1,1 mSv, în timp ce doza echivalentă pentru tiroidă este cuprinsă între 0,4 și 20 mSv
- pentru persoanele de pe teritoriul Ucrainei doza efectivă pentru întregul corp este cuprinsă în intervalul 0,02 – 0,15 mSv, în timp ce doza echivalentă pentru tiroidă este cuprinsă între 0,1 și 1 mSv
- pentru persoanele de pe teritoriul Ungariei doza efectivă pentru întregul corp este cuprinsă în intervalul 0,006 – 0,02 mSv, în timp ce doza echivalentă pentru tiroidă este cuprinsă între 0,06 și 0,2 mSv
- pentru persoanele de pe teritoriul Austriei doza efectivă pentru întregul corp este cuprinsă în intervalul 0,4 – 6 microSv, în timp ce doza echivalentă pentru tiroidă este cuprinsă între 3 și 50 microSv

Astfel, putem concluziona că **impactul radiologic al unui accident sever la CNE Cernavodă, inclusiv în cazul unor scenarii cu afectarea simultană a ambelor unități este unul moderat, cu o extindere regională, acesta afectând doar o parte din teritoriul Bulgariei, în timp ce pentru Ucraina acesta este neglijabil, iar pentru Ungaria și Austria este nesemnificativ.**

Codurile de calcul actuale pentru dispersia dozei și evaluările impactului nu sunt concepute pentru a oferi rezultate semnificative peste 300 km. Această limitare este o constrângere recunoscută la nivel internațional în instrumentele și metodologiile de utilizate în analizele de Securitate nucleară. Validarea codurilor de calcul pentru evaluarea consecințelor radiologice la distanțe de peste 300 km este o provocare din cauza complexităților precum sistemele meteorologice la mezoscala și scala sinoptică, topografia și mecanismele de transport pe distanță lungă. Incertitudinile asociate cu calculele consecințelor radiologice pentru distanțe de peste 300 km nu permit o estimare semnificativă a potențialului impact transfrontalier. În plus, validarea sistematică peste ~1.000 km nu poate fi realizată, din cauza lipsei de baze de date de observație consistente și cuprinzătoare. Studiile pentru dispersia pe rază lungă sunt utilizate pentru cercetare științifică, nu în scopuri de reglementare și de luare a deciziilor.

Cu toate acestea, pentru a estima consecințele radiologice ale accidentelor severe, pe lângă scenariile ipotetice acoperite de analizele de Securitate nucleară baza de autorizare pentru evenimentele severe care conduc la deteriorarea zonei active, datele efective colectate din măsurătorile nivelurilor de contaminare și ale dozelor efective au rezultat din accidente survenite la Cernobil și Fukushima Daiichi și pot fi folosite pentru comparație.

Cantitatea de Cs-137 eliberată în urma accidentului de la Cernobil-4 este estimată la aproximativ 85 PBq, ceea ce a fost considerat a reprezenta 20% până la 40% din inventarul total din zona activă a reactorului RBMK-1000. RBMK-1000 a folosit combustibil cu dioxid de uraniu ușor îmbogățit (2% U-235). Reactoarele de la Cernobil nu au avut o anvelopă de izolare rezistentă la presiune. (<https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident> ; https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_28292/chernobyl-chapter-ii-the-release-dispersion-deposition-and-behaviour-of-radionuclides)

Cantitatea totală de Cs-137 eliberată din cele 3 unități afectate în accidentul de la Fukushima Daiichi este estimată la aproximativ 15 PBq. Reactoarele de la Fukushima au folosit combustibil cu uraniu îmbogățit. Reactoarele Fukushima Daiichi aveau anvelope de izolare de tip Mark I. (<https://world-nuclear.org/information-library/appendices/fukushima-radiation-exposure>; https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2021-09/7525_bsaf.pdf)

Inventarul total de Cs-137 din zona activă a reactorului CANDU-6, care utilizează uraniu natural neîmbogățit, este de aproximativ 50 PBq, ceea ce este de câteva ori mai mic decât inventarul total al reactorului de la Cernobil 4. Reactoarele CANDU-6 au anvelope de izolare robuste și au fost echipate cu sisteme moderne de atenuare a concentrației de hidrogen și sisteme de ventilație filtrate la urgență, care previn defecțiunile anvelopei în scenarii de accidente severe. Chiar și cu presupunerea nerealistă că întregul inventar al unei unități CANDU-6 ar fi eliberat în atmosferă, scenariu care nu este posibil fizic, consecințele radiologice pentru Austria ar fi neglijabile, din cauza distanței mari (cea mai scurtă distanță dintre Cernavoda, România, și cel mai apropiat oraș austriac este de peste 800 de kilometri).

Nu este credibil un scenariu care ar implica accidente simultane cu defectarea zonei active la mai mult de o unitate CANDU de pe amplasamentul CNE Cernavodă. Reactoarele unitatilor sunt situate la mai mult de 150 m una de alta, sunt complet independente (nu au sisteme comune) și au marje de siguranță substanțiale pentru a face față chiar și evenimentelor externe extreme cu mult peste baza de proiectare inițială. Cu toate acestea, scenariile de pierdere totală a alimentării cu energie electrică, scenariile de pierdere a ultimei surse de răcire și combinarea acestor două categorii de scenarii au fost analizate în cadrul „Testelor de stres” post-Fukushima pentru unitățile de la CNE Cernavodă și au fost implementate modificări de proiect importante din punct de vedere al securității nucleare, descrise în rapoartele publice care documentează aceste evaluări <http://www.cncan.ro/assets/Informatii-Publice/06-Rapoarte/RO-National-Report-for-2nd-Extraordinary-Meeting-under-CNS-May2012-doc.pdf> ; <https://www.ensreg.eu/EU-Stress-Tests/Country-Specific-Reports/EU-Member-States/Romania>. Scenariile de accidente care implică ambele unități sunt evaluate cu scopul exclusiv de a testa aranjamentele de pregătire și răspuns în caz de urgență.

Pe baza experienței internaționale în situații excepționale de accidente severe survenite la centralele nucleare și care au condus la eliberări în mediu, cuprinzând date din accidentele de la Cernobîl și Fukushima, dozele radiologice la distanțe mai mari de 300 km față de locul unui accident nuclear sever sunt foarte mici, în intervalul microSieverts (μSv).

În conformitate cu informațiile furnizate în următoarele link-uri <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2294074/>; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2094123/>; <https://www.nature.com/articles/pr1994202>; <https://www.ages.at/en/environment/radioactivity/caesium-137-in-austria>, dozele efective provenite din precipitațiile radioactive din accidentul de la Cernobîl au fost mai mici de 1 mSv în primul an. Chiar dacă accidentul de la Cernobîl a dus la o eliberare radioactivă masivă, direct în atmosferă, dozele în Austria au fost scăzute din cauza distanței mari de la punctul de eliberare (cea mai scurtă distanță dintre Cernobîl, Ucraina și cel mai apropiat oraș austriac este mai mare de 1000 de kilometri).

Toate măsurile de protecție recomandate în publicațiile AIEA acoperă distanțe de până la o distanță de maxim 300 km de la locul accidentului; cu toate acestea, se recunoaște că restricțiile alimentare specifice pot fi luate în considerare pentru distanțe mai mari de 300 km, dacă este necesar, dar nu există nicio recomandare specifică disponibilă în acest sens.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_953_web.pdf ; https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_955_prn.pdf https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-NPP_PPA_web.pdf ; https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Protection_Strategy_web.pdf

Dozele medii la nivel național în țările europene, determinate ca urmare a accidentului de la Cernobîl, au fost mai mici de 1 mSv în primul an, cu doze în scădere progresivă în anii următori. Doza medie pe parcursul unei vieți în țările îndepărtate ale Europei a fost estimată la aproximativ 1 mSv. Aceste doze sunt comparabile cu o doză anuală de la radiația de fond naturală (media globală este de 2,4 mSv) și, prin urmare, au o semnificație radiologică mică.

Evaluările impactului radiologic sunt de obicei limitate la o distanță de 300 km, dincolo de care se așteaptă ca dozele să fie neglijabile pe baza dovezilor istorice de la accidente majore precum Cernobîl și Fukushima. La astfel de distanțe, chiar și termenii sursă mari, cum ar fi cele rezultate din accidentele de la Cernobîl și Fukushima, care nu sunt posibile fizic pentru reactoarele CANDU-6, conduc la doze potențiale sub limita de reglementare de 1 mSv/an, comparabile cu radiația naturală de fond.

Mai mult, pentru a pune lucrurile în perspectivă, merită să comparăm riscurile percepute asociate cu industria nucleară cu riscurile demonstrate asociate cu alte surse de expunere potențială la substanțe nocive. De exemplu, este important de remarcat faptul că există multe alte activități care prezintă o expunere la factori nocivi zi de zi și care pun oamenii la un risc semnificativ mai mare (de exemplu, poluare, fumat etc.) decât scenariile ipotetice ale accidentelor nucleare. în țările UE:

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/austria-air-pollution-country-2023-country-fact-sheets> ; <https://www.meduniwien.ac.at/web/en/about-us/news/detailsite/2018/news-im-maerz->

2018/doctors-against-smoking-six-million-deaths-a-year-from-smoking-14000-in-austria/ ;
<https://globalactiontoendsmoking.org/research/tobacco-around-the-world/austria/> .

Pe baza tuturor considerentelor de mai sus, putem afirma că și în cazul unui scenariu ipotetic de accident sever, în cel mai rău caz la CNE Cernavodă nu ar prezenta un impact transfrontalier negativ semnificativ pentru populația și mediul austriac.

2. Impactul radiologic transfrontalier al implementării subproiectului de extindere a DICA cu module MACSTOR 400

În condiții de operare normală Depozitul Intermediar de Combustibil Ars nu produce efluenți radioactivi, astfel că impactul radiologic al acestuia se datorează exclusiv expunerii externe a lucrătorilor pe durata operațiilor specifice de transfer și încărcare a containerelor cu combustibil ars în modulele depozitului. Astfel că **în condiții normale de operare nu există niciun impact transfrontalier al depozitului DICA CNE Cernavodă.**

Pentru evaluarea impactului radiologic în situații de accident la DICA relevante sunt analizele de securitate prezentate în Raportul Final de Securitate Nucleară pentru DICA-MACSTOR 200 și analizele de securitate efectuate în pregătirea implementării subproiectului de extindere cu module MACSTOR 400. În acest sens, s-au analizat o serie de evenimente postulate pentru perioada de exploatare a depozitului, precum și evenimente legate de operațiile din zona de transfer și încărcare a combustibilului ars. Rezultatele evaluării riscului radiologic pentru cazurile de accident bază de proiect (cu frecvența de apariție mai mare decât 10^{-6} /an), postulate la DICA Cernavodă, indică faptul că valorile dozei de radiații pentru populația stabilă, situată la minim 800 m față de centrul depozitului de stocare, sunt mai mici de 1% din valoarea limită anuală impusă de CNCAN pentru DICA Cernavodă (50 microSv/an). Astfel, se poate concluziona că evenimentele bază de proiect considerate pentru DICA nu pot conduce la consecințe radiologice semnificative în afara zonei de excludere a centralei, deci **nu există niciun impact radiologic transfrontalier asociat cu evenimentele bază de proiect de la DICA CNE Cernavodă.**

Scenariile de accident sever la instalația DICA, bazate pe ipoteza prăbușirii unui avion asupra depozitului, sunt totuși limitate de imposibilitatea afectării integrității a mai mult de un modul de stocare. În scopul analizelor conservatoare, ce servesc ca bază pentru planificarea intervenției în situații de urgență, pentru cele mai defavorabile scenarii, s-a considerat ca un întreg modul de stocare este afectat de impactul cu un avion și de incendiul produs ca urmare a aprinderii combustibilului din avion. S-au făcut ipoteze cu privire la cantitatea de combustibil de avion consumată în incendiu și la durata incendiului și s-au făcut modelări ale dispersiei poluanților plecând de la înălțimea coloanei de emisie și datele meteorologice. Deși este foarte puțin probabil ca întregul modul de stocare să fie uniform afectat de incendiu, în scopul calculării emisiilor radioactive s-a presupus în mod conservator că toate fasciculele de combustibil din modulul de stocare, umplut la capacitate maximă, sunt deteriorate. Rezultatele acestor analize deterministe au arătat că expunerea potențială a populației din vecinătatea amplasamentului ar fi sub nivelurile generice de intervenție pentru adăpostire (10 mSv) și evacuare (50 mSv). Astfel, pe baza experienței internaționale în situații de accidente severe la centrale nucleare, care au condus la eliberări radioactive în mediu, cuprinzând date din accidente de la Cernobîl și Fukushima, consecințele radiologice scad rapid cu distanța față de punctul de emisie astfel că la distanțe de peste 300 km dozele la populație se situează sunt de ordinul microSv. De asemenea, așa cum se arată și în raportul CNSC, citat mai înainte, valorile dozelor, estimate prin modelare conservativă sunt sistematic mai mari decât valorile înregistrate (așa cum s-a observat în cazul accidentului de la Fukushima), factorul de supraestimare putând fi între 2 și 5 ori.

În concluzie, **impactul radiologic al unui accident sever la DICA CNE Cernavodă, pentru scenariile analizate este unul moderat, cu o extindere regională, acesta afectând doar o parte din teritoriul Bulgariei, în timp ce pentru Ucraina acesta este neglijabil, iar pentru Ungaria și Austria este lipsă impact.**