

Abordare interdisciplinara a modelarii dinamice a transferului tritiului in plante agricole PN-II-ID-PCE-2011-3-0396 / IDEI65/2011
Raport 2015

Studii preliminare de variabilitate si incertitudine (Efecte sezonale in riscul emisiilor accidentale de tritiu; decelarea surselor de incertitudine si potentiale imbunatatiri pe viitor)

I. INTRODUCERE

Romania dezvolta energetica nucleara pe baza filierei CANDU, reactor ce foloseste uraniu natural si apa grea. Reactorii CANDU au un grad ridicat de siguranta in caz de accident sever cu topire de miez. Ambele unitati ale CNE Cernavoda, asa cum au fost proiectate, intretinute si operate, indeplinesc cerintele stipulate in proiectul initial si, mai mult, detin o margine de securitate suficient de mare in cazul unor cutremure puternice, inundatii, pierderi totale a alimentarii cu energie electrica si pierderi totale a ultimei surse de racire sau combinatii ale acestora. Reactorii CANDU au insa un mare inventar de tritiu si evacuari in mediu. In conditii de operare normala, rezultatele monitorarii si ale modelelor de impact radiologic demonstreaza clar ca emisiile in mediu determina doze minuscule pentru populatie, de cativa microSv/an fata de limita legala de 1000 microSv/an. Pentru potentiale disfunctii, incidente tehnice sau accidente, impactul unei emisii accidentale de tritiu se estimeaza pe baza unor modele. Transferul tritiului in mediu implica procese complexe deoarece tritiul intra direct in ciclul vietii (Galeriu and Melintescu, 2010) si, in momentul actual, multe aspecte nu sunt inca clarificate. Ca urmare, modelele radiologice pentru emisii accidentale au o putere predictiva redusa si nu exista o armonizare pe plan international.

In cadrul acestui proiect de IDEI EXPLORATORII ne-am propus sa tratam contaminarea produselor alimentare cu tritiu, in mod dinamic, si sa EXPLORAM anumite aspecte, procese, unde inca nu exista pe plan international solutii (sub-modele) care sa raspunda necesitatilor practice in evaluarea riscului emisiilor de tritiu. In proiectare, licentiere, pregatirea de accident si managementul accidentului sunt necesare modele cu o buna putere predictiva, moderat conservative, relativ simple si transparente pentru utilizator si care sa poata trata si cazurile cele mai defavorabile, atat determinist, cat si probabilist. Aceste modele trebuie sa foloseasca parametri clar definiti sau sa nu ceara costuri exagerate pentru baza de date.

In cazul tritiului, datorita complexitatii proceselor de transfer, aceste deziderate sunt dificil de indeplinit si suntem obligati sa abordam multidisciplinar ca sa decelam gradat sursele de incertitudine. Contaminarea produselor agricole depinde de dinamica concentratiei de tritiu in aer si aceasta nu poate fi obtinuta numai direct, experimental, astfel incat suntem constransi sa folosim modele de transport atmosferic. Contaminarea plantelor in timp de ploaie a fost mentionata in documentele IAEA (2014) ca un subiect inca neexplorat si in raportul nostru din 2014 am propus sa folosim informatii din studiile de imprastiere a pesticidelor. In 2015 am aprofundat subiectul si am cerut colaborarea unor specialisti straini (in Romania nu exista expertiza). In pregatirea activitatii pe anul viitor si a contributiilor noastre anterioare la transferul in animale, in Capitolul V ne ocupam de revizia timpilor biologici la animale. In emisiile de rutina, datorita variabilitatii transportului atmosferic, concentratia in aer la receptor variaza puternic, astfel incat contaminarea plantelor este dinamica si nu in regim de echilibru. Deoarece masuratorile de tritiu legat organic (OBT) sunt dificile si costisitoare, orice informatie trebuie folosita. Raportul concentratiilor de OBT si HTO din aceste date releva o situatie de neechilibru si nu este inca explicat. Corelatia dintre emisiile de rutina si cele

accidentale este prezentata in Capitolul VI. In continuarea activitatii din 2014, am alocat mult interes pentru producerea OBT in timpul noptii (Capitolul VII). Anul acesta ne-am concentrat asupra ipotezei ca noaptea OBT este produsa si datorita cresterii plantelor.

Bibliografie

Galeriu, D., Melintescu, A., 2010. Tritium in: Atwood, D.A. (Ed.), Radionuclides in the Environment. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, pp. 47-64.

IAEA, 2014. Transfer of tritium in the environment after accidental releases from nuclear facilities. Report of Working Group 7 of the IAEA's Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme. IAEA-TECDOC-1738. International Atomic Energy Agency Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1738_web.pdf.

II. ASIGURAREA CALITATII PENTRU MODELELE DINAMICE DE TRANSFER - INCERTITUDINEA DE PREDICTIE

Scopul cercetarii de fata NU este un model operational, supus unor conditii specifice de robustete a predictiei, ci este pregatirea bazei stiintifice pentru un ulterior model operational ce se intentioneaza a fi dezvoltat pentru si cu colaborarea CNE Cernavoda. Pentru orientarea cercetarilor suntem insa obligati sa consideram cerintele de incertitudine ale unui model operational. Notiunea de incertitudine a unui model nu este intotdeauna inteleasa si necesita consideratii speciale expuse in documentul tehnic la IAEA (2014), Capitolul 15, cu larga contributie a directorului de proiect actual.

Termenul de incertitudine se refera la lipsa de cunoastere sau informatie despre procesele ce se modeleaza, parametrii (variabili) sau constantele necesare, datele de intrare si conceptele utilizate.

Asigurarea calitatii poate fi definita ca un complex de protocoale si ghiduri pentru aplicarea corecta a modelelor prin folosirea metodelor optime (best practice), asigurarea consensului intre participanti (inclusiv utilizatori) si sa certifice ca performanta modelului este in acord cu scopul proiectului.

Incetitudinea care afecteaza calitatea modelului are cateva componente dominante:

- Incertitudinea conceptuala (epistemiologica) datorita incompletei cunoasteri a unor procese, a simplificarilor nejustificate sau a unor limitari in rezolutia spatiala si temporală;
- Incertitudinea tehnica a unor cantitati din model, cum ar fi datele de intrare sau parametrii de model, erori de masurare sau de agregare a parametrilor;
- Incertitudini de nisa rezultate din aplicarea modelului in afara domeniului pentru care a fost definit sau prin combinarea mai multor modele cu scari spatiale si temporale diferite.

Caracterul complex al proceselor de transfer al tritiului in emisii accidentale sau de rutina, si multitudinea aspectelor de elucidat necesita o larga participare internationala, o tratare multidisciplinara si eforturi financiare considerabile. Posibilitatile noastre sunt limitate.

In proiectul de fata, intereseaza predictia concentratiei de apa tritiata (HTO) si a compusilor organici (OBT) in plante LA RECOLTA. Contaminarea cu HTO are o dinamica rapida in urma unei emisii atmosferice, dar scaderea ei este limitata de aportul radicular (HTO in sol). Dinamica OBT este cumulativa, dupa cresterea din timpul accidentului, ea nu scade, ci continua cu o crestere lenta prin aportul radicular al HTO. Ca urmare, ne intereseaza procesele care sunt active nu numai in timpul accidentului, ci si ulterior, pana la recolta. In proiectul de fata ne-am concentrat asupra unor aspecte putin studiate sau neexplicate si care contribuie la incertitudinea modelului in diferite scenarii de utilizare, dar si asupra definirii parametrilor de model necesari a se cunoaste pentru viitoare aplicatii operationale.

Bibliografie

IAEA, 2014. Transfer of tritium in the environment after accidental releases from nuclear facilities. Report of Working Group 7 of the IAEA's Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme. IAEA-TECDOC-1738. International Atomic Energy Agency Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1738_web.pdf.

III. CONCENTRATIA DE POLUANT IN TIMPUL NOPTII

In situatia unei atmosfere stabile, dispersia poluantului este limitata de inaltimea de amestec, cu valoare generica de 200 m. Daca inaltimea de emisie este sub valoarea inaltimei de amestec, concentratia la sol creste mult, mai ales la apusul soarelui. Daca inaltimea de emisie este peste inaltimea de amestec, concentratia la sol este diminuata. In multe cazuri, apare o inversie de temperatura (pe verticala) la o inaltime sub 200 m, care perturba puternic dispersia poluantului. Detectarea acesteia cere un echipament instrumental complex si de precizie, nu intotdeauna posibil. La IFIN-HH se masoara atat parametrii meteorologici (30 si 60 m), cat si radonul, iar activitatea de meteorologie nucleara (Galeriu et al., 2014) a fost apreciata si am stabilit un Memorandum of Understanding cu specialistii australieni, experti in radon (ANSTO Australia).

IFIN-HH este intr-o zona periurbana cu mari variatii ale distributiei obstacolelor si deci, profilul vertical al vantului este perturbat fata de situatia unui teren orizontal uniform. Neuniformitatea obstacolelor se cunatifica printr-un parametru de rugozitate. S-a alcatuit o harta de rugozitate (Figura III.1) si s-au folosit modele avansate pentru estimarea vitezei echivalente in teren omogen.

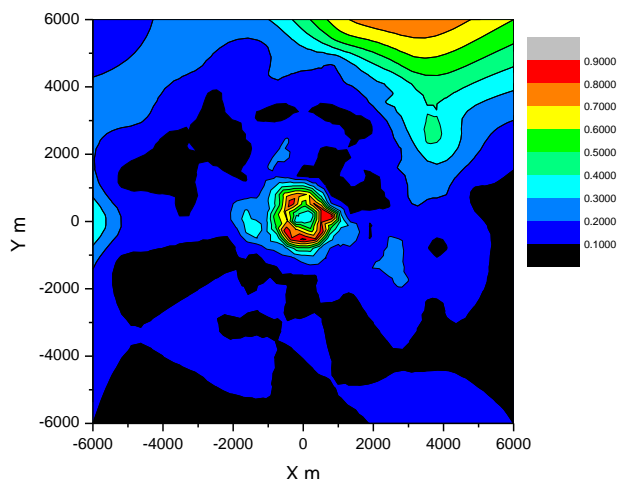


Figura III.1. Harta de rugozitate a IFIN-HH

Mediata de-a lungul a opt luni, variatia diurna a radonului (Figura III.2) este caracterizata de o valoare maxima la rasaritul soarelui si un minim dupa amiaza, cand inaltimea de amestec este maxima. In medie, concentratia de radon incepe sa scada la ora 7 a.m., cand radiatia neta devine pozitiva si convectia distruge stratul laminar nocturn. Numai cand radiatia neta scade la 50 % din valoarea maxima (dupa amiaza), acumularea radonului incepe (Chambers et al., 2015).

Se pun in evidenta episoade in care concentratia marita a radonului semnaleaza inversii de temperatura la inatimi joase (ex. 10 m), nedectate de masurari ale profilului temperaturii si mult mai jos decat poate semnala ceilometrul (Figura III.3). Metoda aplicata (Chambers et al., 2015) poate si fi extinsa in conditiile CNE Cernavoda si astfel, situatiile critice din timpul noaptii pot fi decelate. Pe baza observatiilor ceilometrului , pentru situatiile nestabile din timpul zilei, inaltimea de amestec este 1200-1800 m, vara si 500-900 m, iarna.

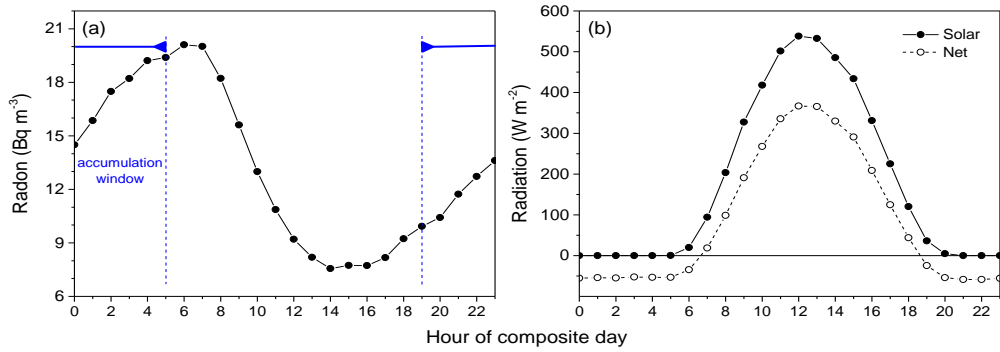


Figura III.2. Variatia diurna a radonului, radiatiei solare si nete

Metoda descrisa si dezvoltata cu ajutorul specialistilor australieni este de real folos pentru micșorarea incertitudinii provenite din modelele de transport atmosferic, care dau datele de intrare pentru modelul de transfer in plante al tritiului.

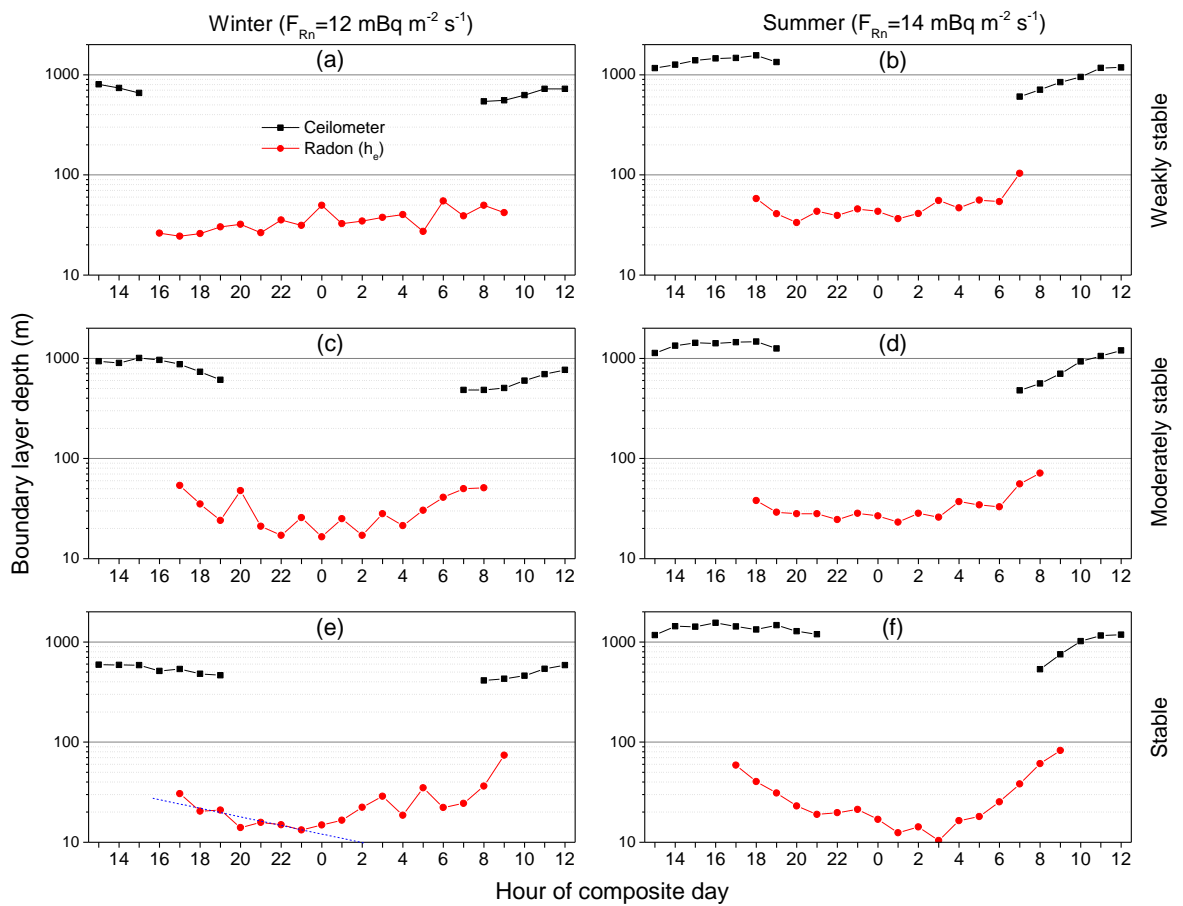


Figura III.3. Inaltimea de amestec in timpul verii dupa amiaza (a, c, e) si situatii slab stabile (b, d, f) determinate combinand ceilometrul cu radonul

Bibliografie

Chambers, S.D., Galeriu, D., Williams, A.G., Melintescu, A., Griffiths, A.D., Crawford, J., Dyer, L., Duma, M., Zorila, B., 2015. Atmospheric stability effects on potential radiological

releases at a nuclear research facility in Romania: characterising the atmospheric mixing state. Submitted to *J. Environ. Radioact.*

Galeriu, D., Melintescu, A., Duma, M., Zorila, B., Gheorghiu, A., 2014. Nuclear meteorology at IFIN-HH. *Rom. J. Phys.* 59, 999–1011.

IV. CONTAMINAREA PLANTELOR IN TIMPUL PLOII

Unul dintre subiectele de interes din documentul tehnic (IAEA, 2014) este depunerea și preluarea tritiului de către plante, ca urmare a depunerii lui pe frunze în timpul precipitațiilor și acest subiect este discutat în prezentul raport. În absența datelor experimentale privind ploaia tritiată asupra plantelor agricole, diferite formalisme de calcul au fost dezvoltate.

Pentru apa tritiată (HTO) interceptată de către plante în condiții de ploaie, modelul francez, GAZAXI (Patryl and Armand, 2002) consideră că stomatele plantelor sunt în contact cu un strat fin de HTO reținută pe frunze și are loc un proces de difuzie între cavitatea stomatală și vaporii de apă saturați, ce corespund cu concentrația de HTO în ploaie (Patryl et al., 2010). Conceptul unui strat fin (0.2 mm) pe frunze este un caz ideal. Pe frunzele umede, unde există un film lichid de apă, preluarea de CO₂ necesar fotosintezei, este redusă, deoarece CO₂ difuzează de 10000 ori mai lent în apă decât în aer.

Codul german UFOTRI (Raskob, 2007) consideră că în timpul ploii, rezistența stomatală este foarte scăzută și numai rezistența atmosferică este relevantă. Concentrația de HTO în frunze variază odată cu scăderea vitezei de schimb și a concentrației de HTO din aer. Aproximații similare au fost considerate în codul de tritiu FDMH din proiectul RODOS (Galeriu et al., 2000).

Formalismele anterioare privind concentrația de HTO în frunze în timpul ploii poate avea un domeniu larg al predicțiilor ce depind de concentrația de HTO în picăturile de ploaie și de umiditatea aerului la înălțimea coroanei plantei. Diferența dintre concentrația de HTO în aerul umed la suprafața frunzelor și ploaia care cade poate fi de ordine de mărime. Dacă frunzele sunt acoperite de un strat de apă, concentrația de HTO din frunze se echilibrează cu cea din ploaie. Dacă nu, ele se echilibrează cu umiditatea aerului. După ploaie, concentrația de HTO din frunze depinde de fluxul de transpirație și concentrația de HTO din solul din jurul rădăcinii. Raportul prezent se bazează pe date experimentale și modelele dezvoltate pentru pesticide (și apă) pulverizate pe frunze, pentru a da rezultate pentru ploaia tritiată deasupra plantelor agricole în condiții de câmp. Structura coroanei plantei și profilul deschiderii stomatelor influențează transferul ploii tritiată în frunze. Fotosinteza și formarea tritiului legat organic (OBT) sunt mai intense în partea superioară a coroanei plantei, unde cade inițial ploaia, dar aderența pe picături la nivelul superior al coroanei este scăzută în cazul unei ploii intense. Dinamica HTO în frunze în cazul unei concentrații de HTO în aer (și ploaie) este un proces rapid și la câteva zile după trecerea norului, ea scade la nivele ce depind de concentrația de HTO existentă în aer și sol cu două luni înainte de recoltare plantei. În cazul pesticidelor, picăturile pulverizate au diametrul sub 1 mm și viteze de impact între 1 și 9 m/s. În cazul ploii, există o distribuție a diametrelor picăturii ce depinde de intensitatea ploii, iar viteza de impact a picăturii depinde de diametrul acesteia. Am făcut o revizuire a literaturii privind viteza picăturilor de ploaie și am eliminat parametrizări ce nu corespund datelor experimentale.

Pentru a alege formalismul optim ce descrie distribuția diametrului picăturilor de ploaie și fluxul pe o suprafață, am consultat literatura și am ales o parametrizare care corespunde caracteristicilor majorității ploilor din Dobrogea. S-a obținut distribuția fluxului picăturilor de ploaie în funcție de diametrul picăturii și intensitatea ploii. Ca urmare, putem face distincția dintre pulverizarea pesticidelor (sau apei) și ploii în interacția cu frunzele.

O documentare vastă asupra pulverizării pesticidelor și apei a fost făcută. Pentru ca pesticidul să adere pe frunze, s-au făcut numeroase studii și s-au dezvoltat modele privind procesele și parametrii ce intervin în impactul picăturilor pe frunze de diferite tipuri. În funcție de diametrul și viteza picăturii, mai multe procese participă la impact (Figura IV.1). În urma

impactului initial, picatura se poate imprastia pe frunza sau sparge in picaturi mai mici. Daca se imprastie, sunt doua posibilitati: 1) picatura adera si ramane pe frunza; 2) picatura se desprinde de pe frunza. Probabilitatea acestor fenomene depinde de energia cinetica initiala a picaturii (diametru si viteza), proprietatile de aderenta si frecare pe frunza si inclinarea frunzei. Picaturile care nu au aderat, au o traiectorie in coroana plantei si pot cadea in continuare pe alte frunze.

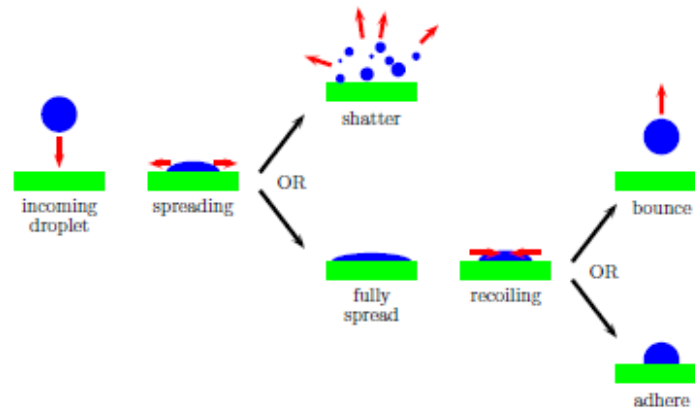


FIGURE 1: The processes involved in the droplet-leaf impact showing the three possible outcomes.

Figura IV.1. Procesele ce intervin in impactul picaturii pe frunze

Proprietatile frunzelor care intervin in impact si aderenta sunt: unghiul de contact pentru apa sau un amestec de apa si acetone (CA), umectarea frunzei (wettability), unghiul frunzei fata de verticala si parametrul critic de contact (K_{crit})

Consultarea extensiva a literaturii ne-a permis sa intelegem procesele si modul in care sunt modelate (Yarin 2006; Dong et al., 2015; Forster et al., 2014; Hao et al. 2014; Verhaeghe 2011). Pentru grau, putem distinge intre domeniul unde picaturile adera si cel in care se sparg si putem analiza ce picaturi vor adera la impactul initial in functie de diametrul si viteza de impact.

Pentru impactul initial pe stratul superior de frunze, numai picaturile cu diametrul sub 0.6 mm adera, celelalte se imprastie pe frunzele de la nivelele inferioare. In absenta evaporarii, se poate calcula masa picaturilor care adera si suprafata ocupata in functie de intensitatea ploii. Procesul continua pana cand toate picaturile ajung la sol si in final, se poate obtine suprafata frunzelor ocupate de picaturile care au aderat. Calculele dupa impactul initial necesita modelarea 3D a intregii coroane frunzoase si urmarirea traiectoriilor picaturilor care nu au aderat initial. Am apelat la cercetatori in domeniu (Dr. Mathieu Massionon, Universitatea Liege, Belgia), care ne pot ajuta fara nici un cost. Deoarece in timpul ploii concentratia de HTO in apa de ploaie sau in aerul umed din jurul frunzelor poate diferi cu un factor 20, concentratia de HTO in interiorul frunzelor depinde de proportia stomatelor acoperite de apa. Deci, incertitudinea se reduce cu un factor 5-10 si putem distinge intre plantele de interes.

Cu ajutorul specialistilor din domeniu, un articol va fi trimis la publicare in 2016.

Bibliografie

Dong, X., Heping Zhu, H., Xuejun Yang, X., 2015. Characterization of droplet impact and deposit formation on leaf surfaces. *Pest Manag. Sci.* 71, 302–308.

Forster, W.A., Gaskin, R.E., Strand, T.M., Manktelow, D.W.L., van Leeuwen, R.M., 2014. Effect of target wettability on spray droplet adhesion, retention, spreading and coverage: artificial collectors versus plant surfaces. *N. Z. Plant Prot.* 67, 284-291.

Galeriu, D., Raskob, W., Melintescu, A., Turcanu, C., 2000. Model Description of the Tritium Food Chain and Dose Module FDMH in RODOS PV 4. RODOS (WG3)-TN(99)-54.

Hao, P.F., Lv, C.J., Niu, F.L., Yu. Y., 2014. Water droplet impact on superhydrophobic surfaces with microstructures and hierarchical roughness. *Sci. China Ser. A.* 57, 1376–1381.

IAEA, 2014. Transfer of tritium in the environment after accidental releases from nuclear facilities. Report of Working Group 7 of the IAEA's Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme. IAEA-TECDOC-1738. International Atomic Energy Agency Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1738_web.pdf.

Patryl, L., Armand, P., 2002. Presentation des modeles physiques du logiciel GAZAXI version 2002. Report CEA/DIF/DASE/SRCE/323/2008/DO (in French).

Patryl, L., Galeriu, D., Arman, P., 2010. Sensitivity analysis of rain characteristics on HTO concentration in drops. *Fusion Sci. Technol.* 60, 1228-1331.

Raskob, W., 2007. Test and validation studies performed with UFOTRI and NORMTRI. TW5-TSS/SEP2 – deliverable 4. Forschungszentrum Karlsruhe, Germany. <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/NDASGLVSETSSGI4MEETWLZGG4ZPSFYE3/full/1.pdf>.

Verhaeghe, M., 2011. Experimental investigation of droplet impact on artificial and leaf surfaces. PhD thesis. Catholic University, Leuven, Belgium. http://pure.ilvo.vlaanderen.be/portal/files/773905/Verhaeghe_Micheline_droplet_impact_jun_11.pdf

Yarin, A.L., 2006. Drop Impact Dynamics: Splashing, Spreading, Receding, Bouncing *Annu. Rev. Fluid Mech.* 38, 159–92.

V. TIMPUL DE INJUMATATIRE BIOLOGIC LA ANIMALE

In planul de lucru pentru 2016 se prevede unificarea modului de contaminare a plantelor cu cel de contaminare a produselor animale. In cursul ultimei decade, am elaborat un model dinamic de transfer al ^{14}C si ^3H in animale de ferma (Galeriu et al., 2009a) si ulterior, l-am extins si la cele salbatice (Galeriu et al., 2009b; Melintescu and Galeriu, 2010). In cursul primului semestru din 2015, am considerat util sa investigam efectul unui accident de tritiu asupra faunei (mamifere, pasari, reptile, etc) si am facut un studiu privind datele experimentale si abordarile teoretice. In afara de putine date despre dinamica ^3H in animale de ferma, nu am gasit nimic despre cele salbatice. Cum OBT este intim legat de carbon, am investigat literatura privind dinamica carbonului in animale. Daca in hrana animalelor se introduce un amestec ^{12}C si ^{13}C diferit de cel natural, se va observa o schimbare a raportului ^{12}C si ^{13}C in animale, pentru diferite organe si in functie de timpii biologici caracteristici. Conform datelor din literatura, timpii de injumatatire ai carbonului in unele mamifere si pasari, pentru muschi si ficat, sunt dati in Tabelul V.1.

Tabel V.1. Timpii de injumatatire biologici pentru muschi si ficat pentru cateva mamifere si pasari

| Caz | Cinteza australiana zebrata | Vrabie | Prepelita japoneza | Soarece cu picioare albe | Soarece de casa | Soarece de camp | Gerbil | Sobolan de laborator | Alpaca | Bou |
|----------------|-----------------------------------|--------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------|----------------------------|--------|------|
| masa (kg) | 0.016 | 0.022 | 0.102 | 0.023 | 0.02 | 0.02 | 0.08 | 0.3 | 60 | 600 |
| T1/2 Muschi | 14.5 | 23 | 12.4 | 30 | 23 | 18 | 27 | 29 | 170 | 210 |
| T1/2 ficat | 8.3 | 9.8 | 2.6 | 4.55 | 5 | 3 | 6.4 | 10 | 37 | 16.5 |

Aplicand modelul nostru (Melintescu and Galeriu, 2010), obtinem o subevaluare de un factor 2 la mamifere mari si un factor 5 la mamifere mici si pasari. Acest rezultat ne-a obligat la o revizie a bazei teoretice a modelului, initiat in 2002 int-o colaboare cu Anglia (Grant Royal Society - Tratare holistica).

Considerand metabolismul bazal, nu toata energia participa la ciclarea materiei organice, asa cum am presupus initial, ci numai o parte din energie este folosita pentru ciclarea proteinelor, lipidelor si carbohidratilor si mai ales, contribuie tesuturile viscerelor.

Este cunoscut ca mamiferele mici (cu masa sub 100 g) fac un efort mai mare pentru a-si controla temperatura corpului si au diferente in rata metabolica bazala (BMR) si rata metabolica de camp (FMR). In consecinta, am cautat informatie pentru ciclarea proteinelor in animalele mici. Concluzia noastra preliminara este ca modelul trebuie sa considere energia metabolica pentru ciclarea materiei organice. Prin imbunatatirea modelului, el poate fi folosit/adaptat si pentru alti radionuclizi:

1. Cs (analog al K; K este folosit ca traser pentru determinarea masei corporale fara tesut adipos). Cs este transferat lent tesutului adipos. In modelul nostru, transferul catre tesutul adipos nu mai este considerat. Am comparat datele experimentale pentru C cu cele pentru Cs pentru mamifere (de exemplu).
2. Sr este transferat mai ales in oase (este analog cu Ca); se altereaza transferul ca in modelul uman.

Bibliografie

Galeriu, D., Melintescu, A., Beresford, N.A., Takeda, H., Crout, N.M.J., 2009a. The dynamic transfer of ^3H and ^{14}C in mammals - a proposed generic model. *Rad. Environ. Bioph.* 48, 29–45.

Galeriu, D., Melintescu, A., Beresford, N.A., 2009b. Energy metabolism - as a general principle for modeling the transfer of carbon and tritium across animals. *Proceedings of the international conference on environment: survival and sustainability*, Nicosia, Northern Cyprus, 19–24 February 2007, Volume 5, pp. 1953–1964.

Galeriu, D., Melintescu, A., 2010. Retention of tritium in reference persons: a metabolic model. Derivation of parameters and application of the model to the general public and to workers. *J. Radiol. Protect.* 30, 445-468.

VI. CORELATII INTRE EMISII DE RUTINA SI ACCIDENTALE

In practica curenta pentru estimarea riscului radiologic la emisii de rutina se considera emisia anuala (media anuala) si modele statistice de transport atmosferic in care se estimeaza media anuala a dispersiei atmosferice de la sursa la receptor. Transferul tritiului din aer si sol catre plante si animale se estimeaza presupunand o situatie de echilibru. Cel mai nou standard din 2014 (CSA, 2014) introduce si OBT, dar tot pentru situatii de echilibru. In ghidul IAEA (IAEA, 2014), se procedeaza similar cu diferenta ca in contaminarea plantei se separa calea atmosferica de cea radiculara (sol). Standardul Canadian (CSA, 2014) foloseste numai concentratia din aer, modificata cu un factor constant. Analiza datelor de monitorire din jurul centralelor CANDU sau a altor unitati nucleare a generat o dezbatere, deoarece raportul masurat OBT/HTO (OBT exprimat ca apa de combustie) difera mult de cel dat de standarde, presupunand o situatie de echilibru (Korolevych et al., 2014). Valorile mari ale raportului OBT/HTO se intalnesc si in locatii departe de surse si par mai mari in apropierea unor facilitati ce emit si tritium gazos (HT) (Thompson et al., 2015).

Grupurile antinucleare au acuzat utilitatile nucleare ca subestimeaza doza anuala din emisii de rutina, deoarece se foloseste o media anuala a emisiei, care contine si emisii de scurta durata, dar intense. In Marea Britanie grupul de lucru national pentru evaluarea dozei a considerat mai in detaliu situatia unei emisii scurte si intense, comparativ cu aceeasi emisie totala anuala. S-a considerat aceeasi emisie totala, dar distributia pe o durata scurta (o zi sau mai putin) sau pe un an (clasic). Stabilitatea atmosferei, pe durata scurta, a fost variabila, cuprinzand numai starea F sau media unei zile din UK. Tritiumul a fost inclus si s-a aplicat modelul englez TRIF (Higgins, 1997). Acesta nu contine cereale. Presupunand o emisie de 1 TBq si considerand dozele in μSv , se obtin urmatoarele valori pentru doze (Tabel VI.1).

Tabel VI.1. Dozele de ingestie pentru nou nascut, copil si adult in cazul unei emisii atmosferice de 1 TBq, in diferite conditii de stabilitate atmosferica si durata

| Caz | Zi normala | Cat. D | Cat. F | Un an | Raportul cat. F/cont. |
|------------|------------|--------|--------|-------|-----------------------|
| Nou nascut | 1.33 | 2.22 | 8.24 | 0.23 | 35.21 |
| Copil | 1.68 | 2.77 | 10.20 | 0.24 | 41.80 |
| Adult | 1.80 | 3.96 | 14.30 | 0.26 | 55.21 |

Se observa ca o emisie de scurta durata determina o doza mult mai mare decat aceeasi emisie distribuita pe un an, iar in cazul stabilitatii F, diferenta este de un factor mai mare decat 35. Concluzia generala a fost: "Cand se considera numai limitele anuale de emisie si se presupune conservativ ca aceste emisii se produc la aceste limite, atunci dozele estimate ale unei singure emisii realiste pe termen scurt sunt cu un factor 20 mai mari decat dozele estimate pentru o emisie continua."

In timpul functionarii normale, emisia la cos este monitorizata si nu variaza excesiv daca nu sunt incidente tehnologice. In transportul atmosferic apar insa variatii mari ale directiei si vitezei vantului, iar gradul de stabilitate al atmosferei variaza. Ca urmare, la receptor avem un sir de picuri peste un fond natural si deci, nu avem conditii de echilibru. Concentratiile de HTO in timpul zilei sunt semnificativ mai mici decat noaptea si multe din picuri apar noaptea. Ca urmare, modelarea trebuie sa include cazurile de noapte si efectul concentratiilor mai ridicate.

Deducem ca in conditii normale de contaminare atmosferica si irigare, raportul OBT/HTO este mare si datorat proceselor din frunza in conditii dinamice (nu avem echilibru).

Recent, am analizat cum se poate modifica modul de calcul al contaminării plantelor pentru emisii de rutină și care este incertitudinea evaluării. Considerăm o situație în care valoarea medie a HTO în aer este 1 Bq/m^3 fără fluctuații marcante (incident tehnic). Aplicăm procedurile din Standardul Canadian (CSA, 2014) în mod probabilist. Fiecarui parametru din Standard îi aplicăm o distribuție probabilistică (bazată pe observații), iar pentru raportul OBT/HTO considerăm o distribuție lognormală (GM). Considerând cazul conservativ, maximal, ajungem la concluzia că incertitudinea raportului OBT/HTO are același efect ca incertitudinea valorii apei de băut a animalelor și doza maximă pentru public nu este decât de 2 ori mai mare decât cea standard. Ca urmare, la emisii de rutină, incertitudinea datorată OBT nu este mare și dozele pentru public rămân foarte mici.

În cazul unei emisii accidentale, rolul OBT crește și incertitudinea de modelare este importantă.

Bibliografie

CSA, 2014. Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Materials in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operation of Nuclear Facilities, CSA N288.1-14. Canadian Standards Association. Mississauga, Canada.

IAEA, 2014. Transfer of tritium in the environment after accidental releases from nuclear facilities. Report of Working Group 7 of the IAEA's Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS II) Programme. IAEA-TECDOC-1738. International Atomic Energy Agency Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1738_web.pdf.

Higgins, N.A., 1997. TRIF — An intermediate approach to environmental tritium modelling. J. Environ. Radioact. 36, 253-267.

Korolevych, V., Kim, S.B., Davis, P.A., 2014. OBT/HTO ratio in agricultural produce subject to routine atmospheric releases of tritium. J. Environ. Radioact. 129, 157-168.

Mihok, S. et al., 2015. Tritium dynamics in soils and plants grown under three irrigation regimes at a tritium processing facility in Canada. Submitted to J. Environ. Radioact.

Thompson, P.A., Kwamena, N.-O.A., Ilin, M., Wilk, M., Clark, I.D., 2015. Levels of tritium in soils and vegetation near Canadian nuclear facilities releasing tritium to the atmosphere: implications for environmental models. J. Environ. Radioact. 140, 105-113.

VII. PROCESE CARE CONTRIBUIE LA FORMAREA OBT IN TIMPUL NOPTII

In raportul din 2014 am prezentat un prim model pentru a explica formarea OBT in timpul noptii. In esenta, se considera mai in detaliu procesele din frunza cu includerea reciclarii proteinelor (protein turnover). Am demonstrat, principial, ca reciclarea proteinelor poate explica formarea si remanenta OBT in frunze, chiar si dupa incetarea cresterii frunzelor si are un efect de intirziere a transferului catre boabele de grau. Modelul pentru tritium se bazeaza pe un model dinamic al proteinelor si carbohidratilor nestructurali din frunza (schelet), iar producerea OBT se modeleaza prin reactii de aditie a HTO. Principiul de baza al modelului a fost inclus in publicatii (Melintescu et al., 2015) si a fost exersat de noi mai in detaliu. Pe baza informatiilor din literatura, dinamica materiei organice nestructurale se poate modela de-a lungul dezvoltarii graului de la inflorire la recolta. Dificultati au aparut la considerarea tritiului in reciclarea proteinelor.

Plantele trebuie sa creasca si sa se reproduca, iar energia necesara este cea solara (ziua). Procesele metabolice sunt continue si este nevoie sa se stocheze energie pentru continuarea metabolismului in noapte. Daca frunza exporta mai mult decat valoarea minimala, planta poate creste **si noaptea**. Ca urmare, OBT se poate produce si noaptea datorita cresterii.

Un export crescut in timpul noptii cere utilizarea mai intensa a rezervelor acumulate in timpul zilei si consum de energie crescut in pomparea catre sistemul phloemic. Rezervele din frunza seara constau in carbohidrati solubili (glucoza, sucroza, fructoza si fructani) si carbohidrati insolubili (amidon). Rezervele solubile nu sunt suficiente in general (prea multa sucroza blocheaza fotosinteza in timpul zilei) si plantele acumuleaza ziua amidon. Noaptea, amidonul se degradeaza (hidolizeaza) si se transforma in sucroza (glucoza). Degradarea se face cu aditie de apa si consum de energie. Respiratia de noapte a frunzei mature reflecta aceste procese si necesitati.

Respiratia totala a plantei are o componenta de mentinere si una de crestere. Pentru mentinere o parte importanta se consuma pentru ciclarea proteinelor. Din acest motiv respiratia de mentinere are o componenta lenta (vezi Raportul din 2014).

Adaptarea plantelor la conditiile de mediu (variabile) si necesitatea de a stoca energie ziua si a consuma (converti) amidonul noaptea, au dus la un sistem extrem de complex de senzori, semnale si reactii de feed back, in relatie cu variatiile diurnale ale factorilor de mediu si necesitatea de a optimiza folosirea resurselor. Amidonul are un rol tranzitoriu esential si exportul este un proces controlat (Ainsworth and Bush, 2011; Weise et al., 2011). Acumularea amidonului ziua impiedica cresterea sucrozei la nivele ce blocheaza fotosinteza, iar degradarea lui in forme solubile impiedica lipsa carbonului in metabolismul nocturn (avoid carbon starvation). Un mecanism complex regleaza procesele, asa numitul ceas circadian, antrenand multe specii de molecule in interactie. Modele recente implica 30 de molecule si 100 parametri (Pokhilko et al., 2014).

Pentru a dezvolta un model simplu pentru aceste procese complexe, am revizuit literatura in ceea ce priveste dinamica carbohidratilor in frunze si a ratei de degradare a amidonului in timpul noptii. Pentru a dezvolta modelul, am plecat de la ipoteza ca putem ignora, pentru inceput, ciclarea proteinelor in frunza si ne concentram pe crestere, ziua si noaptea.

Definim noaptea ca incepand o ora inainte de apus si terminandu-se la o ora dupa rasarit, cuprinzand si tranzitia zi/noapte in respiratia frunzei si perioada in care fotosinteza nu acopera necesarul de respiratie a frunzei. Tinem cont de faptul ca adaptarea la schimbari bruste a parametrilor meteorologici dureaza 10-20 minute, iar datele meteo nu sunt instantanee si medii pe o perioada de 10 minute sau o ora (cf. procedurilor curente). Ca urmare, modelarea

proceselor se face pe intervale de timp (maxim o ora). Simplificam modelul prezentat in Raportul din 2014, eliminand proteinele (Figura VII.1).

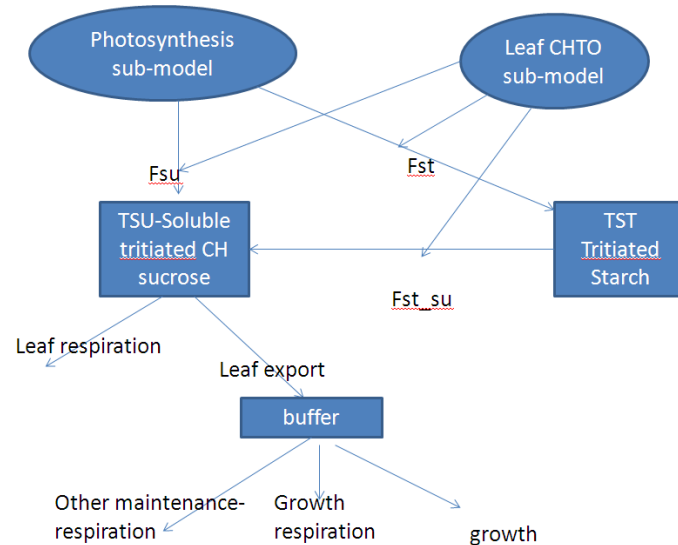


Figura VII.1. Schema modelului simplificat (fara proteine) pentru producerea de OBt in timpul noptii

Precizam ca masa de amidon si carbohidrati solubili, cat si rata de export sunt marimi masurabile si vom folosi la maxim valorile experimentale

Urmatorul aspect de care trebuie sa tinem seama este legat de respiratia de mentinere a frunzei si a plantei. Exportul din frunza este rezultatul consumului de sucroza si a respiratiei frunzei si trebuie sa asigure mai mult decat respiratia de mentinere a plantei. Respiratia frunzei in prezenta luminii difera de cea in intuneric. La plantele de tip C3, ziua, respiratia e inhibata de lumina (fotorespiratie), dar temperatura este mai mare ca noaptea. Daca planta C3 consuma noaptea amidon, necesarul de respiratie creste, chiar daca noaptea temperatura e mai mica. La plantele de tip C4 nu avem fotorespiratie. Tehnicile experimentale au evoluat si in prezent se poate masura respiratia frunzei in prezenta sau absenta luminii. Pentru C3 exista o corelatie intre respiratia zi/noapte si amidonul acumulat seara (consumat noaptea).

La acest stadiu al dezvoltarii ipotezei noastre ramane sa ne concentram asupra ratei de degradare a amidonului. Avem nevoie de un model simplu (fara 30 de molecule ca in Pokhilko et al., (2014)). Parcurgand literatura, observam cazul cel mai simplu - degradare liniara - care matematic are o expresie simpla. Dar nu este suficient si consideram valorile experimentale ale dinamicii amidonului noaptea pentru grau, porumb si soia.

In acest moment, putem dezvoltati modelul schelet - fara tritiu. Avem ca variabile de model cantitatea de amidon (ST), cea de sucroza (SU), rata de fotosinteza ziua (pas), rata de degradare a amidonului noaptea (V2) si rata de consum a sucrozei (U). Mai intervine si efectul temperaturii asupra ratelor de degradare si consum (Q10). In compartimentul de sucroza includem si alti carbohidrati solubili. Masele se exprima relativ la echivalenul de fotosintat (CH₂O), dupa cum am explicat in raportul anterior.

Presupunem ca gradul de inorare nu variaza in timpul zilei si rata de fotosinteza este sinusoidală, si este data de un model robust ce depinde de temperatura.

In prezentul raport ne concentram asupra graului, pentru care avem suficiente informatii sa putem aprecia respiratia frunzei si altor organe, de-a lungul perioadei de vegetatie si mai ales, dupa inflorire. Date recente privind respiratia de noapte si zi a frunzelor, precum si dependenta ei de stadiul de dezvoltare au fost folosite, iar ecuatiile de model pentru structura de baza au fost rezolvate cu valori realiste ale fotosintezei si temperaturii, ca medii orare. Se poate modela dinamica amidonului (ST) si sucrozei (SU) ca si exportul din frunza

Exportul din frunza este maxim in timpul zilei, minim la rasarit, dar in multe zile este suficient noaptea pentru a suporta si o mica crestere.

Ecuatiile modelului au solutii analitice si depind de doi parametri: fractia din fotosinteza alocata amidonului (as) si rata de consum a sucrozei (U). Daca impunem valori medii ale temperaturii ziua si noaptea, parametrii de model sunt constransi de valorile experimentale ale continutului de amidon si sucroza dimineata si seara. In acest mod, putem urmari dinamica de-a lungul dezvoltarii plantei, tinem cont de necesitatile de respiratie (menținere si crestere) si distingem intre cresterea in timpul zilei si cea in timpul noptii.

Din acest moment, consideram tritiul similar cu modelul prezentat in raportul anterior. Numai coeficientii de aditie a apei au fost modificati cu mai putin de 20 %, folosind mai multe informatii din literatura. Pentru inceput, am considerat cazul in care concentratia de HTO in frunze are un nivel de 100 Bq/L si brusc, este crescuta (accidental) la valori de 700 ori mai mari, ziua sau noaptea. Rezultatele sunt in acord cu datele experimentale, dar supra estimeaza cu un factor 3-4 valorile la recolta datorate in mare masura nivelului de baza (100 Bq/L) din model, dar apropiat de 4 Bq/L in experiment. In timpul expunerii si la 1-2 zile dupa expunere, procesele sunt dominate de concentratia de HTO in aer, dar ulterior, apa de transpiratie in sol mentine HTO in frunze.

Aceste rezultate sunt perfect explicabile, deoarece producerea OBT este influentata nu numai de dinamica hidrolizei amidonului sau a sucrozei, ci si de concentratia de HTO in frunza **in momentul** producerii. Teste de sensibilitate ale modelului au fost facute privind tipul degradarii amidonului (grau sau liniar). Incertitudinea datorata formei de degradare este mai mica decat cea data de dinamica HTO in frunza.

Rezultatele de mai sus au fost obiectul unei prezentari orale la 4th OBT Workshop (<http://obt2015.cne.ro/>). Ulterior, ne-am concentrat asupra dinnamicii HTO in frunze. Aceasta depinde de rezistenta coroanei frunzoase care intervine si in rata de transpiratie. Daca acum 20 de ani se considera ca plantele nu transpira (sau foarte putin) in timpul noptii, recent au aparut rezultate care atesta ca transpiratia din timpul noptii poate atinge 30 % din cea diurna. Ca urmare, modelul nostru trebuie sa tina seama de acest fapt si sa fie adaptat tipului de planta. Simplificari se pot face numai dupa stabilirea influentei fiecarui sub-proces si parametru asupra rezultatului final – concentratia la recolta.

Bibliografie

Ainsworth, E.A., Bush, D.R., 2011. Carbohydrate Export from the Leaf: A Highly Regulated Process and Target to Enhance Photosynthesis and Productivity. *Plant Physiol.* 155, 64–69.

Melintescu, A., Galeriu, D., Diabaté, S., Strack, S., 2015. Preparatory steps for a robust dynamic model for OBT dynamics in agricultural crops. *Fusion Sci. Technol.* 67, 479-482.

Pokhilko, A., Flis, A., Sulpice, R., Stitt, M., Ebenhoeh, O., 2014. Adjustment of carbon fluxes to light conditions regulates the daily turnover of starch in plants: a computational model. *Mol. BioSyst.* 10, 613–627.

Weise, S.E., van Wijk, K.J., Sharkey, T.D., 2011. The role of transitory starch in C3, CAM, and C4 metabolism and opportunities for engineering leaf starch accumulation. *J. Exp. Bot.* 62, 3109–3118.

VIII. CONCLUZII

Procesele de transfer ale tritiului in continuul aer-sol-plante sunt complexe si putin intelese. Incertitudinea modelarii este tolerabila pentru emisii de rutina, doza pentru public fiind sub 0.01 din limita legala (1 mSv/an). In cazul emisiilor accidentale, incertitudinea este nepermis de mare pentru ca modelele sa fie utilizate in ajutorul deciziei. In cele doua cazuri, procesele sunt comune, deoarece la rutina, concentratia in aer e fluctuanta. In ambele cazuri, ne intereseaza concentratia de HTO si OBT la recolta si ca urmare, modelul dezvoltat de noi a fost extins pentru a cuprinde intreaga perioada de crestere (primavara, toamna) cu pas orar sau mai mic. Am dedicat eforturile pentru acele aspecte unde gradul de cunoastere este redus sau datele de intrare nu sunt intotdeauna corespunzatoare.

Colaborarea cu cercetatorii australieni ne permite sa dezvoltam o metoda alternativa, folosind radonul, pentru estimarea concentratiei de poluant in conditii de stabilitate si inversie de temperatura.

Aplicand rezultate experimentale si modelari specifice pulverizarii pesticidelor pe plante, am initiat o metoda - model, pentru contaminarea cu tritium a plantelor in timpul precipitatiei, subiect nerezolvat pe plan international.

In absenta datelor experimentale privind timpii biologici ai OBT in animale, am revizuit literatura pentru carbon si am initiat revizia modelului nostru prin considerarea ciclarii proteinelor, ceea ce va reduce incertitudinea cu probabil, un factor 2-3. Activitatea se continua in prima parte a anului viitor.

Corelatiile dintre emisiile de rutina si accidentale analizate ne-au permis semnalarea unor aspecte inca neelucidate si pe care le luam in considerare (ex. rolul contaminarii radiculare).

Formarea OBT in timpul noptii este un process neelucidat inca si am continuat eforturile pentru a genera ipoteze explicative. Am considerat in detaliu procesele legate de continuitatea metabolismului si cresterii in timpul zilei si noptii, diferenta intre respiratia de zi si de noapte, precum si dinamica carbohidratilor si exportului din frunza. Folosind rezultate experimentale, am dedus expresii simple si analitice pentru dinamica carbohidratilor solubili si insolubili si a exportului din frunza. Considerand necesitatile respiratiei si rata de aditie a apei in procese, se poate estima componenta de crestere in producerea de OBT. Analiza rezultatelor ne-a condus la considerarea mai atenta a rolului fluxului de transpiratie zi/noapte in contaminarea frunzelor cu HTO. Continuarea acestei activitati in lunile urmatoare ne va permite elaborarea unui model relativ simplu pentru producerea OBT si utilizarea lui in dinamica in plante, pana la recolta.

Modelul prototip este functional pentru grau si da rezultate utile, atat pentru emisii de rutina, cat si accidentale. In forma finala, gradul de incertitudine poate fi estimat. Extinderea la plantele predominante in zona Cernavoda este necesara. Aplicarea operativa cere o baza de date locala care nu este inclusa in proiect.

Rezultatele imediat urmatoare sunt anuntate ca participare romana la Conferinta Internationala TRITIUM 2016 (<http://tritium2016.org/>).

Diseminare

Galeriu, D., Melintescu, A., 2015. Progresses in tritium accident modelling in the frame of IAEA EMRAS II. *Fusion Sci. Technol.* 67, 343-348.

Melintescu, A., Galeriu, D., Diabaté, S., Strack, S., 2015. Preparatory steps for a robust dynamic model for OBT dynamics in agricultural crops. *Fusion Sci. Technol.* 67, 479-482.

Golubev, A., Balashov, Y., Mavrin, S., Golubeva, V., **Galeriu, D.**, 2015. HTO washout model: On the relationship between exchange rate and washout coefficient. *Fusion Sci. Technol.* 67, 349-352.

Baglan, N., Kim, S.B., Cossonnet, C., Croudace, I.W., Fournier, M., **Galeriu, D.**, Warwick, P.E., Momoshima, N., Ansoberlo, E., 2015. Organically bound tritium analysis in environmental samples. *Fusion Sci. Technol.* 67, 250-253.

Chambers, S.D., **Galeriu, D.**, Williams, A.G., **Melintescu, A.**, Griffiths, A.D., Crawford, J., Dyer, L., **Duma, M., Zorila, B.**, 2015. Atmospheric stability effects on potential radiological releases at a nuclear research facility in Romania: characterising the atmospheric mixing state. Submitted to *J. Environ. Radioact.*

Melintescu, A., Galeriu, D., Uncertainty of OBT models. 4th Organically Bound Tritium (OBT) Workshop, August 31 – September 2, 2015, Bucharest, Romania.

Galeriu, D., Melintescu, A., Night production of OBT in crops – a hypothesis. 4th Organically Bound Tritium (OBT) Workshop, August 31 – September 2, 2015, Bucharest, Romania.

Melintescu, A., Galeriu, D., Probability distribution functions (PDFs) of tritium and C-14 transfer in environment. In: IAEA TECDOC - Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides (follow to be published). Fourth Technical Meeting on Modelling and Data for Radiological Impact Assessment (MODARIA), WG 5 – Uncertainty and variability analysis for assessments of radiological impacts arising from routine discharges of radionuclides, 9 – 13 November 2015, IAEA Headquarters, Vienna, Austria.

Melintescu, A., Galeriu, D., C-14 and tritium transfer in biota. In: IAEA TECDOC - Assessing the exposure of wildlife to ionising radiation: lessons learnt during IAEA EMRAS and MODARIA programmes (follow to be published). Fourth Technical Meeting on Modelling and Data for Radiological Impact Assessment (MODARIA), WG 8 – Biota Modelling: Further development of transfer and exposure models and application to scenarios, 9 – 13 November 2015, IAEA Headquarters, Vienna, Austria.

EXTENDED ABSTRACT OF RESEARCH REPORT 2015

Romania develops nuclear energetics based on CANDU reactors using natural uranium and heavy water. Unit I started to operate in 1997 and Unit II in 2007. In the meanwhile, before Fukushima accident, many changes of the initial design project were carried out, increasing the safety level of the power plant. The stress tests after Fukushima accident were successfully. CANDU reactors have an increased level of safety in case of a severe accident involving the core melting. Between the accident initiation and emission to the environment, there is a period of time long enough in order to apply protective measures. CANDU reactors have a large tritium inventory and subsequent releases to the environment. During normal operation of the reactors, the monitoring results together with the radiological impact assessment models demonstrate that the public doses are extremely low, of few microSv per year, much lower than the legal limit of 1000 microSv per year. For potential technical incidents or accidents, the environmental impact assessment is based on model results. Tritium transfer into the environment involves complex processes, because tritium enters straight into the life cycle and many processes and sub-processes are still not clarified. The radiological models for accidental tritium emissions have a weak predictive power and there is not yet a harmonised model internationally agreed.

Due to the reactors aging, the probability of a tritium accident cannot be ignored and efforts for models improvements are carried out at national and international level.

The goal of present EXPLORATORY IDEAS project is to investigate the specific processes involved in tritium transfer in crops still not yet clarified or the uncertainties associated to those processes are unacceptable large. The sources of uncertainty were analysed in Chapter II, including the efforts to avoid the compensatory errors and the improper knowledge of the processes. The contamination of agricultural products depends on the dynamics of tritium concentration in air, which cannot be directly measured and consequently the results of atmospheric transport models must be used. For the unfavourable situations during the night time, an alternative method based on atmospheric radon measurements is proposed (Chapter III) as a result of a collaboration between IFIN-HH and Australian National Science and Technology Organisation (ANSTO), already submitted to publication.

The plant contamination during the rain events was emphasised in IAEA documents as an unexplored subject and in our Report since 2014, we proposed to use information based on pesticide spray spread on crops. In 2015, we developed the subject based on collaboration with foreign Researchers (in Romania there is no expertise in the field). The present results are summarised in Chapter IV and we will submit a paper in 2016.

In order to prepare the activities for the next year and based on our previous experience regarding the tritium transfer in animals, the biological half-lives of animals are revised in Chapter V. Continuing our international collaboration in the field, the subject will be finalised in 2016 with a paper.

During the routine emissions, due to the variability of atmospheric transport, the tritium concentration at the receptor strongly varies and consequently, the plant contamination is a dynamic process and not a steady state one. The experimental data in many areas of interest demonstrate a large variability of the values during a year. The measurements of organically bound tritium (OBT) are difficult and expensive and any information regarding OBT must be used. The experimental data regarding the ratio between OBT and HTO concentration demonstrate a non-equilibrium situation and this fact is not yet explained. The correlations between routine and accidental emissions are presented in Chapter VI, using results provided in an oral presentation at 4th International OBT Workshop (<http://obt2015.cne.ro>). For

routine emissions, the higher values of OBT concentration do not excessively change the dose to population (which it is less than 10 microSv). Based on probabilistic assessment, for tritium transfer in food stuff during normal operation of a nuclear facility, we demonstrated that the uncertainty coming from OBT is comparable with that coming from drinking water for animals and conservatively, the dose increases with a factor of 2, but it is less than 10 microSv.

Continuing the activities since 2014, we dedicated many efforts to the OBT production during the night time. This year we focused on the hypothesis that during the night time, the OBT is produced also due to the plant growth. In Chapter VII, we briefly present the main ideas and preliminary results (presented also at the 4th International OBT Workshop). We will further emphasise the efforts regarding the OBT production during the night time in 2016 and we will submit a paper.