Optimalizace systému terénních měření a opatření v živočišné výrobě po jaderné havárii, identifikační kód VI20192022128

odborný seminář REALIZACE NÁSLEDNÝCH OCHRANNÝCH OPATŘENÍ NA ÚZEMÍ PO RADIAČNÍ HAVÁRII,
Praha, 25. 9. 2023

Řešitelský tým:
M. Bartusková, A. Selivanová, J. Hůlka, P. Rulík, J. Škrkal, M. Kuzmiaková – SÚRO,
J. Rosmus - SVÚ

Proč živočišná výroba?

- Tématu se SÚRO věnuje již přibližně 10 let, tým podobného složení zpracoval například projekt VF20102015014, Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace s cílem modernizovat odpovídající části systému, kde jsme mj. řešili :
  - Metodiku pro likvidaci odpadů ze živočišné výroby v případě radiační mimořádné události
  - Metodiku pro systém odběrů vzorků živočišných produktů z hlediska radioaktivní kontaminace po radiační mimořádné události, včetně sběru kritických informací pro návrh opatření.
  - Doporučení ke snížení obsahu radionuklidů ve zvířatech a v živočišných produktech
- Návaznost na program IAEA "Enhancing National Capabilities for Response to Nuclear and Radiological Emergencies"; Component on: "Re-enforcing Veterinary Authorities to Respond to Nuclear Emergencies" z let 2016 – 2018 (Bartusková). Díky němu navázání spolupráce s Ústavem radiobiologie v Gomelu, Bělorusko (NAN).
- V ČR nebylo prozatím v praxi komplexněji řešeno, vnímali jsme jako oblast, ve které je zapotřebí shrnout poznatky ze zahraničí, adaptovat a rozvinout je pro podmínky ČR

Plánované výstupy:

- **Metodika pro měření hmotnostní aktivity ^{137}Cs ve skotu za živa, $N_{met}S$.**

  Zavést metodiku, jak měřit živá zvířata pomocí přenosných přístrojů s cílem přímo v terénu rozhodnout o tom, které zvíře je možno porazit okamžitě (aktivita v jeho mase natolik nízká, že je možno dodat okamžitě na trh pro zásobování obyvatelstva) a u kterého je aktivita tak vysoká, že je třeba přijmout opatření ke snížení aktivity (odložení času porážky, krmení čistým krmivem, podání vychytávačů iontů ve střevech – ferrokyanidy, …)

- **Funkční vzorek: Přístroj/systém pro měření obsahu radionuklidů v živých zvířatech, G_{funk}**

  Sestavit funkční vzorek přenosného přístroje, který by bylo možné použít pro terénní měření popsaná v bodě výše.

- **Software pro predikci kontaminace hospodářských zvířat radionuklidy a optimalizaci směsi krmiv, R**

  Vytvořit program, který by pro podmínky živočišné výroby v ČR (chov hovězího dobytka) uměl vypočíst kontaminaci masa (Cs-137) a mléka (Cs-137 a Sr-90) způsobenou obsahem radionuklidů v krmné dávce. Slouží i jako pomůcka pro rozhodnutí o tom, kdy je možné porazit zvířata na maso tak, aby maso mohlo být dodáno na trh pro zásobování obyvatelstva.

- **J: Recenzovaný odborný článek**

Metodika pro měření hmotnostní aktivity ^{137}Cs ve skotu za živa, $N_{met}S$.

Původní plán:

- Na základě zkušeností kolegů z NAN Gomel aplikovat metodiku měření zvířat za živa v podmínkách ČR. V Bělorusku je k tomuto používán přístroj TIM 601, výstupem měření jsou přímo hodnoty hmotnostních aktivit Cs-137 ve svalovině zvířat – je kalibrován pro měření hovězího dobytka buď s hmotnostní 40 – 100 kg nebo s hmotností více než 100 kg.
- Vytvořit plexisklový fantom a měřit zdroje se známou aktivitou radionuklidu
- V ČR změřit kontrolní skupinu krav (na základě výsledků stanovení spektrometrie gama, prováděných pravidelně v rámci monitorování ČR byl předpoklad aktivit Cs-137 v nich pod mezí detekce).
- V Bělorusku v oblastech kontaminovaných po havárii JE Černobyl proměřit skupinu krav s kontaminací), poté měly být krávy poraženy a jejich maso měřeno pomocí laboratorní spektrometrie záření gama – ověření metodiky měření.

Skutečnost:

Proběhly osobní návštěva běloruských kolegů v Praze kvůli konzultacím.

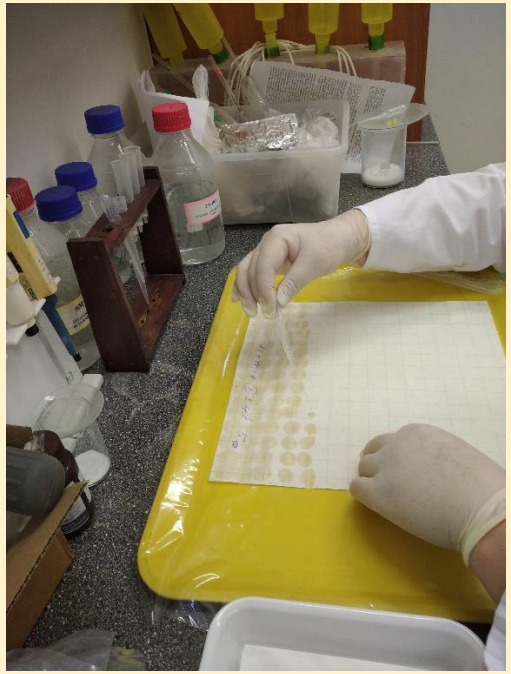
Plánovanou cestu do Běloruska nebylo možné uskutečnit:

1) pandemii COVID-19 (uzavření hranic cca 10 dnů před plánovaným odletem do Běloruska)
2) změna politické situace v Bělorusku

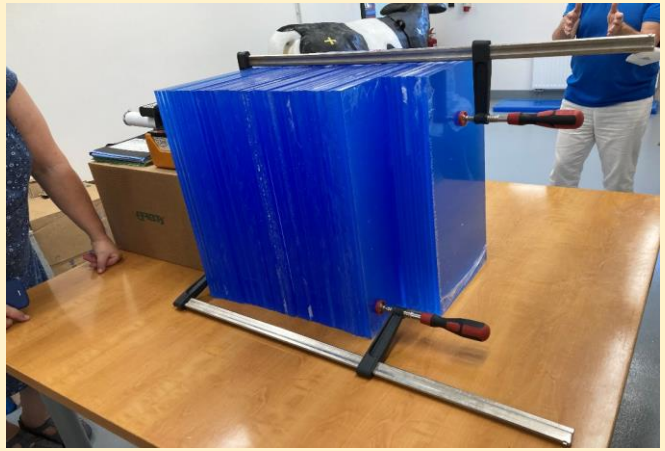
Kontakt s NAN udržován pomocí on-line meetingů. Kolegové z NAN měření kontaminovaných krav přístrojem TIM 601 uskutečnili včetně porovnání s výsledky spektrometrie záření gama. Výsledky si odpovídají, tj. možné údaje z TIM 601 brát pro hovězí dobytek jako správné. Přístroj TIM 601 byl pro účely ověřování metodiky pořízen.

Plexisklový (PMMA) fantom – simulace kontaminované svalové hmoty:

- Vrstvy plexiskla 50 x 50 cm, 40 vrstev
- Mezi jednotlivé vrstvy vkládány velkoplošné zdroje se známou aktivitou Cs-137
- Měřeno jednotlivými přístroji čelně



Příprava velkoplošných zdrojů aktivity - nanášení radioaktivního roztoku na filtrační papír

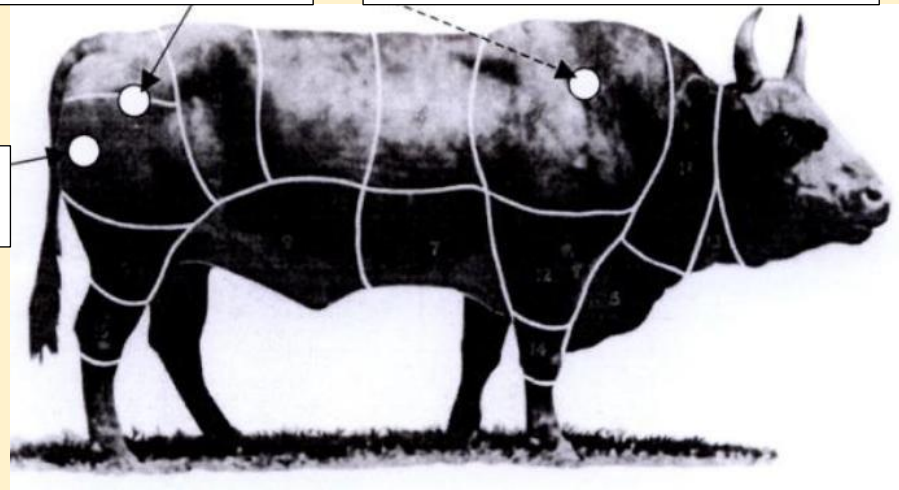


Pláty plexiskla vytvářející fantom pro měření hmotnostní aktivity radionuklidů v živých kravách

(2) - Nelze-li použít bod (1) „Zespodu“

(3) - Nelze-li použít body (1) ani (2)

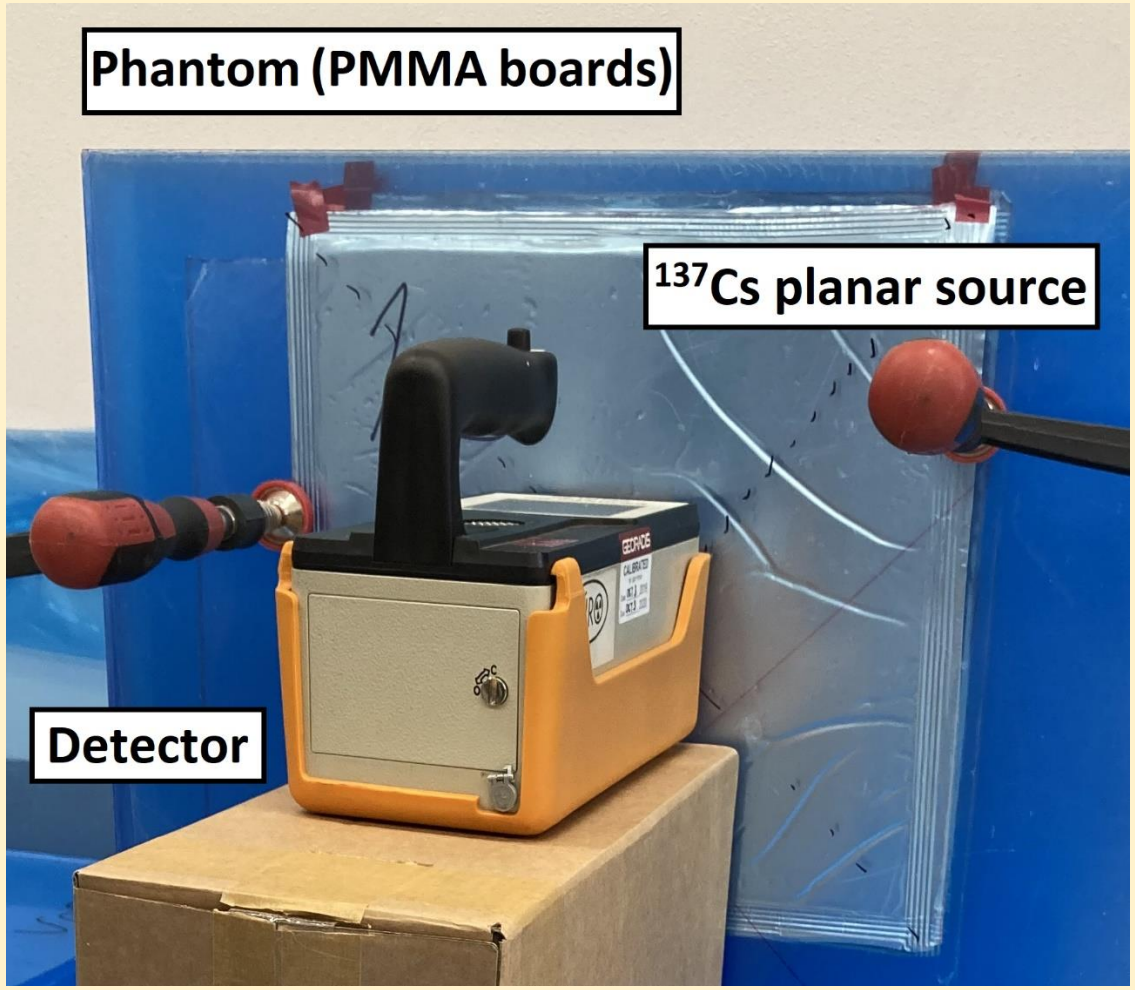
(1) - **Zespodu** (nejvhodnější)



Měřicí místa na těle zvířete (nejvíce svaloviny)

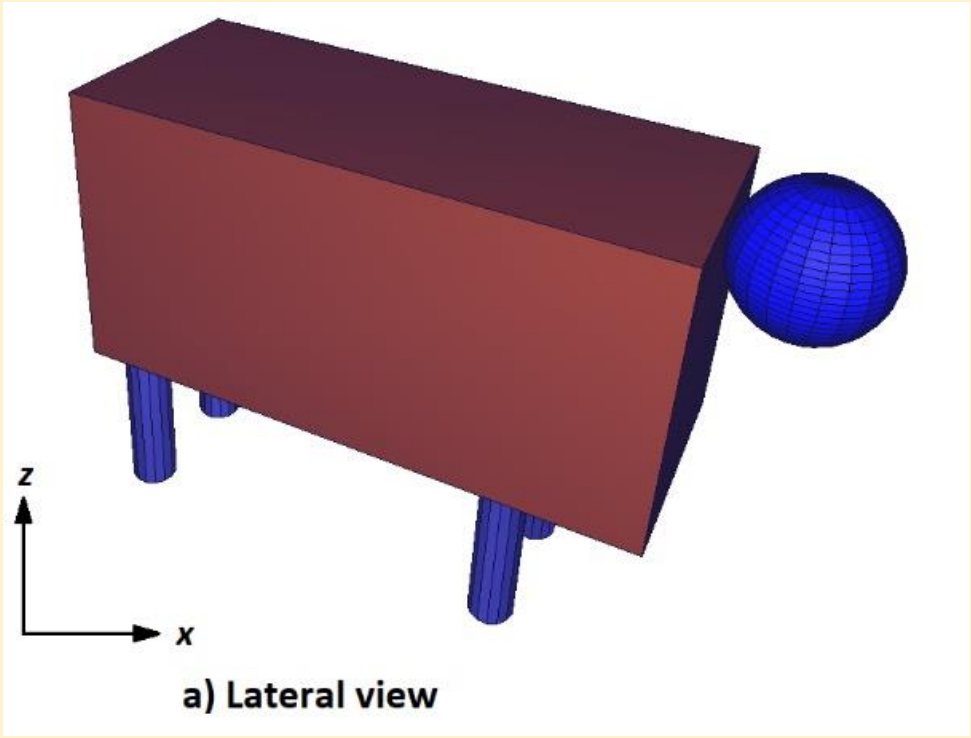
Monte Carlo simulace s fantomem krávy – A. Selivanová

1. Kalibrace pomocí PMMA fantomu
   - NaI(Tl), CeBr, GAGG, CZT
   - Výpočet FEPE
   - Výpočet MDA
2. Monte Carlo simulace
   - Vytvoření matematického fantomu krávy
   - ^{137}Cs, homogenní distribuce ve svalovině
   - Použití Monte Carlo kódu MCNP6.1
   - Pro detektor CZT Kromek
   - Výpočet MDA
3. Porovnání výsledků -> **OK** ☺



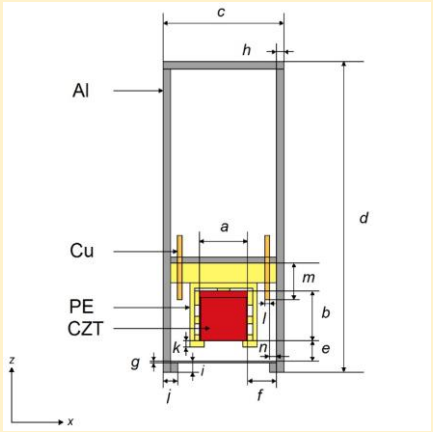
Matematický fantom

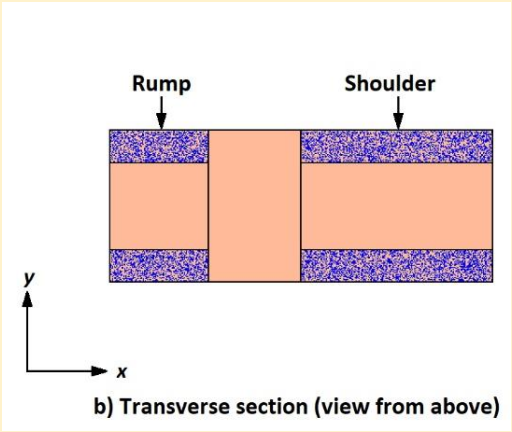
1. Český strakatý skot – reálné parametry
   - Jednoduché geometrické útvary
2. Tři polohy detektoru
   - Kýta – dolů/nahoře
   - Lopatka
3. Hmotnost svaloviny (zdroj)
   - Na základě konzultací s SVÚ



MDA – porovnání

- MDA z měření a simulací, rozdíl < 20 %
- **Nejlepší – $CeBr_3$** ☺





Měření s nekontaminovanými krávami v ČR

Metodika měření ověřena měřením se živými krávami v ČR (výsledky nižší než mez detekce nebo jen těsně nad ní)

Další ověřování metodiky probíhalo náhradním způsobem – měření odlovených kanců pomocí přenosných přístrojů a poté porovnání získaných hodnot s výsledky měření laboratorní spektrometrií záření gama

Zjištění – nedají se použít přímo hodnoty naměření TIM 601, protože ten kalibrován pro hmotnost a geometrii měření u větších zvířat, hovězího dobytka. Přesto se podařilo získat úvodní hodnotu přepočtového koeficientu, který by mohl být používán k přepočtu výsledků z TIM – důležité kvůli nutnosti měřit hmotnostní aktivity Cs-137 před uvolněním masa divočáka pro konzumaci lidmi.

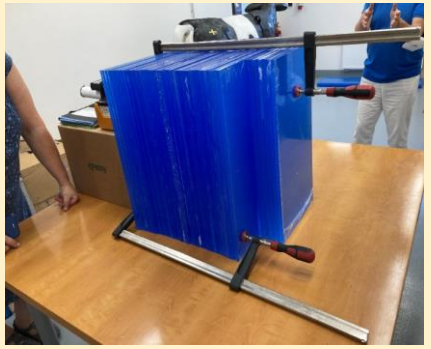
Ověřování metodiky měřením živých krav v ČR přístrojem TIM 601

Měření odlovených divočáků přístrojem TIM 601

Funkční vzorek: Přístroj/systém pro měření obsahu radionuklidů v živých zvířatech, G_{funk}

Původní plán:

- Sestavit přenosné měřicí trasy s několika různými detekčními jednotkami (NaI(Tl) v Exploranium GR 130/135, $CeBr_3$, CdTe (Kromek) a GAGG). Otestovat jejich odezvy na fantomu z plexiskla v porovnání s hodnotami od TIM 601.



Plexisklový fantom

- V ČR změřit kontrolní skupinu krav (na základě výsledků stanovení spektrometrie gama, prováděných pravidelně v rámci monitorování ČR byl předpoklad aktivit Cs-137 v nich pod mezí detekce)

- V Bělorusku v oblastech kontaminovaných po havárii JE Černobyl proměřit skupinu krav s kontaminací), poté měly být krávy poraženy a jejich maso měřeno pomocí laboratorní spektrometrie záření gama – ověření metodiky měření.

Měření s maketou krávy

Skutečnost:

Proběhly měření s plexisklovým fantomem, do kterého byly vkládány plošné zdroje radionuklidů, připravené přidáním známé aktivity radioaktivního roztoku. Jak v uspořádání „na stole“, tak vložením do makety krávy

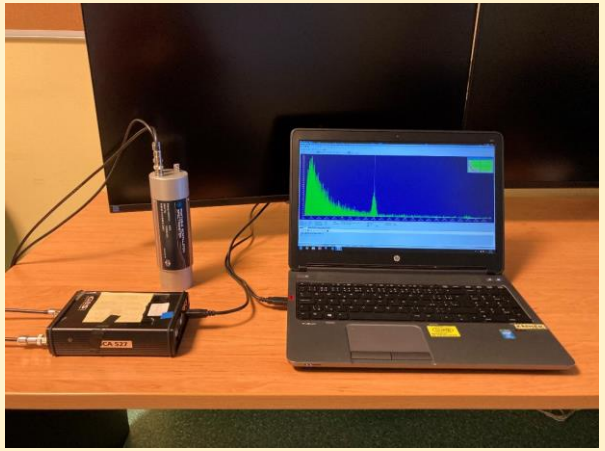
Byly měřeny odezvy všemi popsanými měřicími trasami, výsledky byly vyhodnoceny

Cesta do Běloruska nemohla být uskutečněna z důvodů popsaných dříve.

Proto i zde byly přístroje testovány měřením odezev odlovených divočáků a ty potom byly porovnávány s hodnotami hmotnostních aktivit získaných měřením spektrometrií záření gama v laboratoři SVÚ.

Jako nejvhodnější pro měření vyhodnocena měřicí trasa: detekční jednotka $CeBr_3$ s mnohokanálovým analyzátorem GBS elektronik MCA 527, v. č.: 1286 + NTB, vyhodnocení spekter pomocí SW GamWin. Celý systém je během měření nabíjen buď přímo z baterie MCA anebo je možno použít jako zálohu Power banku.

Měření odlovených divočáků přenosnými systémy s různými typy detekčních jednotek



Funkční vzorek = detekční jednotka $CeBr_3$ s mnohokanálovým analyzátorem GBS elektronik MCA 527, v. č.: 1286 + NTB, vyhodnocení spekter pomocí SW GamWin.

Shrnutí převodních vztahů mezi odezvami měřicích přístrojů a hmotnostní aktivitou ^{137}Cs při měření v divočácích

Přístroj	Převodní vztah:
TIM 601	dospělý kus: $a_m = \frac{a_{m(TIM)}}{0{,}80}$ sele: $a_m = \frac{a_{m(TIM)}}{0{,}36}$
GR 130	$a_m = 4{,}1069 * P - 504{,}41$
CZT	$a_m = 7995 * N + 47{,}458$
$CeBr_3$	$a_m = 66{,}471 * N - 351{,}37$
GAGG	$a_m = 361{,}81 * N - 142{,}6$

Software pro predikci kontaminace hospodářských zvířat radionuklidy a optimalizaci směsi krmiv, R

Původní plán:

- Vytvořit aktualizovanou rešerži chovu hovězího dobytka v ČR, která by sloužila jako vstupní informace pro program. Shromáždění informací o složení krmných dávek pro jednotlivé skupiny zvířat (dojnice, dobytek pro výkrm). Shromáždit také informace o tom, jak se vypočítávají krmné dávky v ČR, shromáždit informace o obsahu živin jednotlivých složek krmných dávek zvířat.

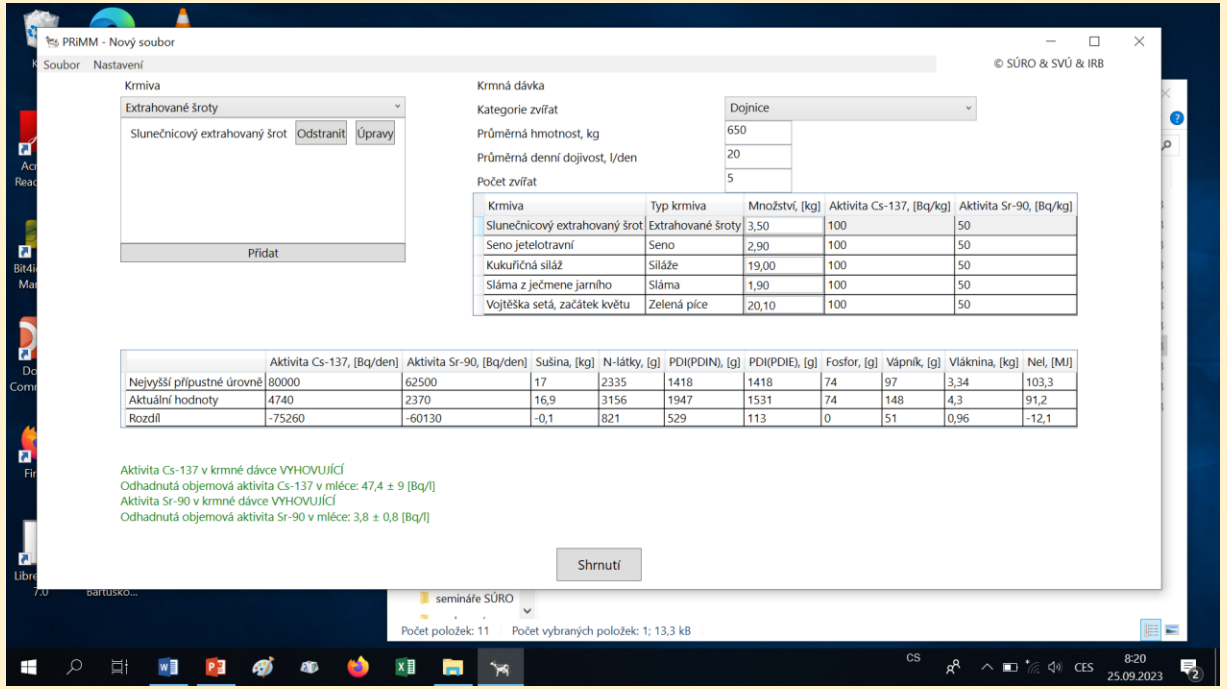
- Vytvořit program pro výpočet kontaminace masa (Cs-137) a mléka (Cs-137 a Sr-90) způsobenou obsahem radionuklidů v krmné dávce. Slouží i jako pomůcka pro rozhodnutí o tom, kdy je možné porazit zvířata na maso tak, aby maso mohlo být dodáno na trh pro zásobování obyvatelstva.

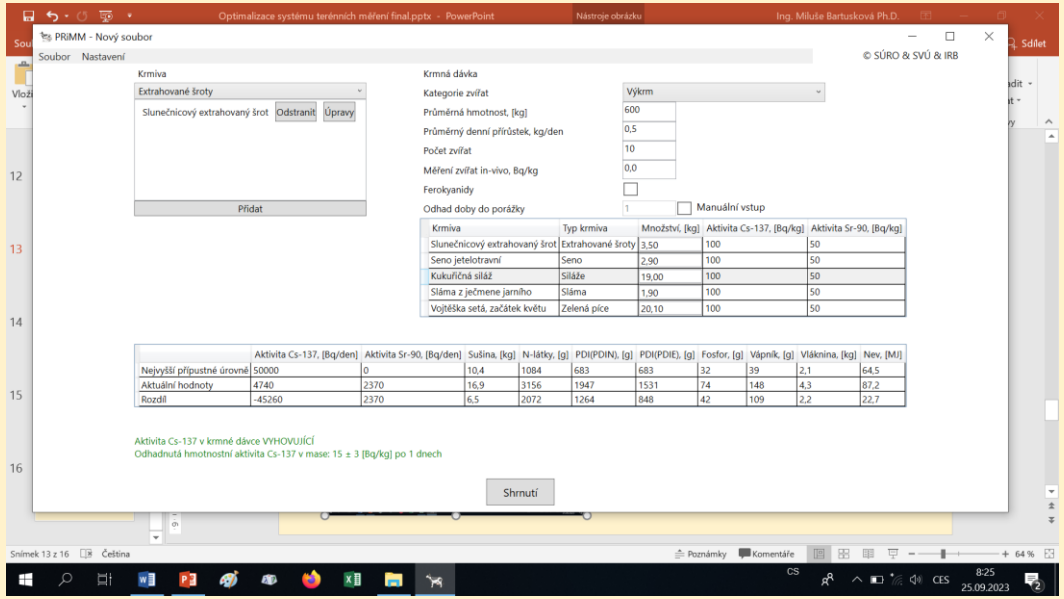
Skutečnost:

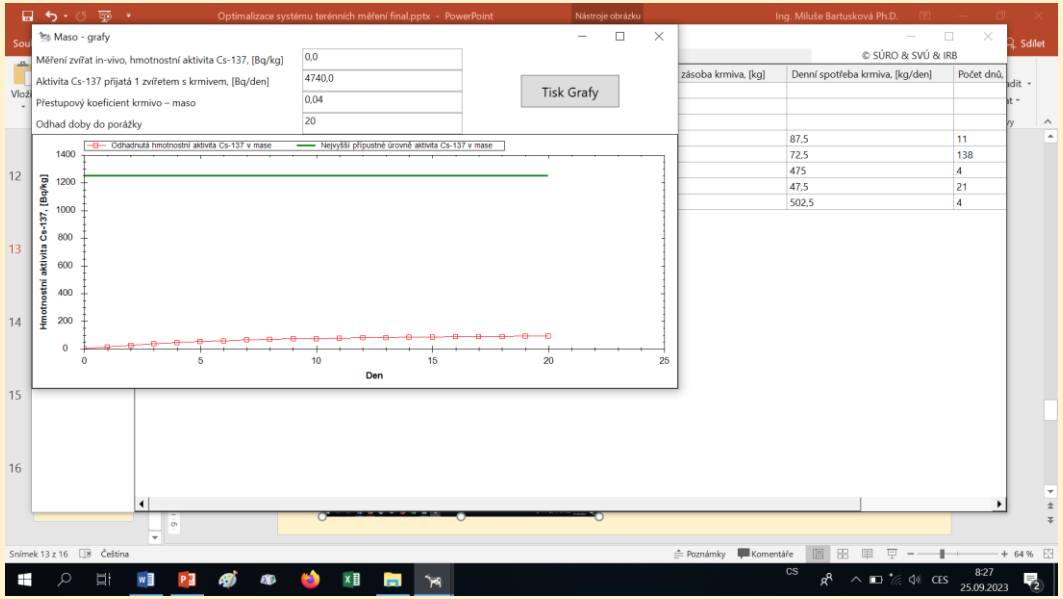
Program vytvořen a je funkční. Existuje uživatelská příručka, která v sobě obsahuje uživatelský, instalační a programátorský manuál.

Program bude na vyžádání e-mailem na adresu: miluse.bartuskova@suro.cz zaslán elektronicky včetně uživatelské a instalační příručky

PRiMM
Soubor Nastavení
© SÚRO & SVÚ & IRB
MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY
SÚRO
STÁTNÍ VETERINÁRNÍ ÚSTAV PRAHA
IRB
Projekt № V120192022128
PRiMM
SOFTWARE PRO PREDIKCI AKTIVIT Cs-137 A Sr-90 V MLÉCE A MASE NA ÚZEMÍCH KONTAMINOVANÝCH RADIONUKLIDY A POSOUZENÍ JEJICH SHODY S NEJVYŠŠÍMI PŘÍPUSTNÝMI ÚROVNĚMI RADIOAKTIVNÍ KONTAMINACE V ČESKÉ REPUBLICE


PRiMM - Nový soubor
Soubor Nastavení
© SÚRO & SVÚ & IRB
Krmiva
Extrahované šroty
Slunečnicový extrahovaný šrot Odstranit Úpravy
Přidat
Krmná dávka
Kategorie zvířat Dojnice
Průměrná hmotnost, kg 650
Průměrná denní dojivost, l/den 20
Počet zvířat 5
Krmiva | Typ krmiva | Množství, [kg] | Aktivita Cs-137, [Bq/kg] | Aktivita Sr-90, [Bq/kg]
Slunečnicový extrahovaný šrot | Extrahované šroty | 3,50 | 100 | 50
Seno jetelotravní | Seno | 2,90 | 100 | 50
Kukuřičná siláž | Siláže | 19,00 | 100 | 50
Sláma z ječmene jarního | Sláma | 1,90 | 100 | 50
Vojtěška setá, začátek květu | Zelená píce | 20,10 | 100 | 50
Aktivita Cs-137, [Bq/den] | Aktivita Sr-90, [Bq/den] | Sušina, [kg] | N-látky, [g] | PDI(PDIN), [g] | PDI(PDIE), [g] | Fosfor, [g] | Vápník, [g] | Vláknina, [kg] | Nel, [MJ]
Nejvyšší přípustné úrovně | 80000 | 62500 | 17 | 2335 | 1418 | 1418 | 74 | 97 | 3,34 | 103,3
Aktuální hodnoty | 4740 | 2370 | 16,9 | 3156 | 1947 | 1531 | 74 | 148 | 4,3 | 91,2
Rozdíl | -75260 | -60130 | -0,1 | 821 | 529 | 113 | 0 | 51 | 0,96 | -12,1
Aktivita Cs-137 v krmné dávce VYHOVUJÍCÍ
Odhadnutá objemová aktivita Cs-137 v mléce: 47,4 ± 9 [Bq/l]
Aktivita Sr-90 v krmné dávce VYHOVUJÍCÍ
Odhadnutá objemová aktivita Sr-90 v mléce: 3,8 ± 0,8 [Bq/l]
Shrnutí


PRiMM - Nový soubor
Soubor Nastavení
© SÚRO & SVÚ & IRB
Krmiva
Extrahované šroty
Slunečnicový extrahovaný šrot Odstranit Úpravy
Přidat
Krmná dávka
Kategorie zvířat Výkrm
Průměrná hmotnost, [kg] 600
Průměrný denní přírůstek, kg/den 0,5
Počet zvířat 10
Měření zvířat in-vivo, Bq/kg 0,0
Ferokyanidy
Odhad doby do porážky 1 Manuální vstup
Krmiva | Typ krmiva | Množství, [kg] | Aktivita Cs-137, [Bq/kg] | Aktivita Sr-90, [Bq/kg]
Slunečnicový extrahovaný šrot | Extrahované šroty | 3,50 | 100 | 50
Seno jetelotravní | Seno | 2,90 | 100 | 50
Kukuřičná siláž | Siláže | 19,00 | 100 | 50
Sláma z ječmene jarního | Sláma | 1,90 | 100 | 50
Vojtěška setá, začátek květu | Zelená píce | 20,10 | 100 | 50
Aktivita Cs-137, [Bq/den] | Aktivita Sr-90, [Bq/den] | Sušina, [kg] | N-látky, [g] | PDI(PDIN), [g] | PDI(PDIE), [g] | Fosfor, [g] | Vápník, [g] | Vláknina, [kg] | Nev, [MJ]
Nejvyšší přípustné úrovně | 50000 | 0 | 10,4 | 1084 | 683 | 683 | 32 | 39 | 2,1 | 64,5
Aktuální hodnoty | 4740 | 2370 | 16,9 | 3156 | 1947 | 1531 | 74 | 148 | 4,3 | 87,2
Rozdíl | -45260 | 2370 | 6,5 | 2072 | 1264 | 848 | 42 | 109 | 2,2 | 22,7
Aktivita Cs-137 v krmné dávce VYHOVUJÍCÍ
Odhadnutá hmotnostní aktivita Cs-137 v mase: 15 ± 3 [Bq/kg] po 1 dnech
Shrnutí


Maso - grafy
Měření zvířat in-vivo, hmotnostní aktivita Cs-137, [Bq/kg] 0,0
Aktivita Cs-137 přijatá 1 zvířetem s krmivem, [Bq/den] 4740,0
Přestupový koeficient krmivo – maso 0,04
Odhad doby do porážky 20
Tisk Grafy
Odhadnutá hmotnostní aktivita Cs-137 v mase
Nejvyšší přípustné úrovně aktivita Cs-137 v mase
Hmotnostní aktivita Cs-137, [Bq/kg]
Den
© SÚRO & SVÚ & IRB
Denní spotřeba krmiva, [kg/den] | Počet dnů,
87,5 | 11
72,5 | 138
475 | 4
47,5 | 21
502,5 | 4

J: Recenzovaný odborný článek

Zvolili jsme zpřísnění si podmínek, místo pouze recenzovaného článku jsme zvolili publikaci v impaktovaném časopise. Článek **Comparison of different detection techniques of ^{137}Cs measurement of cattle *in vivo*** autorů: M. Bartusková, A. Selivanova, I. Malátová, J. Hůlka, J. Škrkal, J. Rosmus, A. Kapyltsova, P. Rulík byl přijat k publikaci do odborného časopisu Radiation Protection Dosimetry (RPD) s IF = 0,954.

O: Zveřejnění výsledků

Příspěvek **Uses of gamma-radiation detectors within the development of new on-site measurement techniques of contaminated cattle** (plakátové sdělení) byl prezentován na konferenci European Radiation Protection Week 2022 (EPW), Estoril, Portugalsko, konané 9. – 14. října 2022. Byli jsme požádáni o prezentaci výsledku na konferenci, abychom vysvětlili způsoby postupů využití technologie, které používáme. Našim cílem bylo seznámení široké odborné veřejnosti s pokroky v problematice měření krav za živa přímo v terénu po jaderné/radiační havárii.

Video

Bylo natočeno krátké a srozumitelné informativní video o celém výzkumném projektu, které je zveřejněno na www stránkách SÚRO a má sloužit jako informace o projektu především pro veřejnost.

https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/optimalizace-systemu-terennich-mereni-a-opatreni-v-zivocisne-vyrobe-po-jaderne-havarii

Další perspektivy budoucího výzkumu

Výzkum byl realizován pro skot, nicméně je zde řada možností dalšího výzkumu v této oblasti (např. u divočáků, dalších druhů domácích zvířat, včetně domácích mazlíčků).

Existuje memorandum o spolupráci s IAEA a SÚRO, jehož součástí je i náprava následků po havárii JE ve Fukushimě. Tuto spolupráci budeme dále rozvíjet, SÚRO bylo IAEA vyžádáno k návštěvě JE Fukushima, kde budou prezentovány výsledky výzkumných prací SÚRO v této oblasti.

DĚKUJI ZA POZORNOST!