



Příjemci podpory:

Poskytovatel:

Projekt s názvem: **Centrum pro podporu obyvatelstva pro případ skutečného nebo domnělého vzniku mimořádných jaderných a radiálních událostí**

s identifikačním kódem: **VJ01010116:**

Název předkládaného výsledku:
Analýza stavu občanských měření

Typ výsledku dle UV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
(V souhrn) Souhrnná výzkumná zpráva	11/2021	2021
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno
-	bude vyvěšena na: https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/	Po odsouhlasení aplikačním garantem SÚJB

Anotace k výsledku:

Souhrnná výzkumná zpráva obsahuje aktuální stav a analýzu občanských měření ve světě ke konci roku 2021. Je proveden rozbor využitelnosti pro účely projektu. Zabývá se i otázkou možného propojení s národní databází MonRaS. Jako optimální vychází systém na bázi GM počítače (ve tvaru pancake), s robustnějším provedením než standard Safecast, a s přesnějším GPS senzorem. Novinkou od roku 2020 jsou občanské spektrometry (s CsI krystalem), zatím však s nedostatečnou doloženou dokumentací. Je analyzováno použití vestavěných kamer mobilního telefonu pro indikaci dávkového příkonu pomocí CCD/CMOS prvků se zpracováním dat přímo v mobilní aplikaci běžící na daném chytrém telefonu.

Manažer: Jaroslava Merunková

Řešitelský tým:

Jan Helebrant, Jiří Hůlka, Petr Kuča, Marek Helebrant, Pavel Fojtík
Ivan Štekl, Jitka Svobodová, Karel Smolek,
Jan Vevera
Jiří Vinopal

*Nehodící nevyplňujte

** Vše se musí vejít na tuto jednu stránku

Analýza stavu občanských měření (Souhrnná výzkumná zpráva)

**Výsledek projektu:
VJ01010116 - Centrum pro podporu obyvatelstva pro
případ skutečného nebo domnělého vzniku
mimořádných jaderných a radiačních událostí**

Autoři:

Jan Helebrant, Jiří Hůlka, Petr Kuča, Marek Helebrant, Pavel Fojtík
(Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., Praha)

Ivan Štekl, Jitka Svobodová, Karel Smolek
(ÚTEF ČVÚT)

Jan Vevera
(IPVZ)

Jiří Vinopal
(Sociologický ústav AV ČR, v. v. i.).

Praha, 31. prosince 2021

OBSAH

1	SOUHRN	3
2	ZKRATKY	5
3	ÚVOD	6
4	DETEKTORY PRO OBČANSKÁ MĚŘENÍ DÁVKOVÉHO PŘÍKONU GAMA, (STACIONÁRNÍ I MOBILNÍ)	9
4.1	SAFECAS.T.ORG (JAPONSKO – USA).....	9
4.2	OPENRADIATION (FRANCIE).....	15
4.3	RADIOACTIVE@HOME, POLSKO	18
4.4	POLISMART, (FIRMA POLIMASTER, BĚLORUSKO)	21
4.5	DETEKTORY FIRMY NPP KB RADAR (RUSKO)	23
4.6	GAMMA SAPIENS (GS ECOTEST) APPLICATION (UKRAINE).....	25
4.7	DETEKTORY RADIATION WATCH A POCKET GEIGER (UK)	26
4.8	MINERALAB (USA).....	27
5	OBČANSKÁ GAMA SPEKTROMETRICKÁ MĚŘENÍ	28
5.1	SPEKTROMETR RIUM PRO (FRANCIE)	28
5.2	SPEKTROMETR RADIA CODE-101 (RUSKO)).....	29
5.3	SPEKTROMETR RAYSID (POLSKO))	31
6	OBČANSKÁ MĚŘENÍ S VESTAVĚNÝMI SENZORY MOBILNÍCH TELEFONŮ	33
7	OBČANSKÁ MĚŘENÍ ŠTÍTNÉ ŽLÁZY A POTRAVIN	35
8	SROVNÁVACÍ TABULKA DETEKTORŮ	37
9	ZÁVĚR	38
10	LITERATURA	39

1 SOUHRN

Výzkum aktuálního stavu zařízení pro občanská měření ve světě během roku 2021 (tj. detekčních systémů, které umožňují provádět měření přímo občany buď proto, že jsou cenově dostupné, nebo se počítá s tím, že budou občanům zapůjčeny) ukázal na stále rostoucí zájem o tuto problematiku ze strany výrobců, výzkumných organizací i různých zájmových uskupení. Tento posun v zapojení veřejnosti je patrný zejména od havárie JE Fukušima po zavedení systému občanských měření SAFecast, i když první pokusy byli již po havárii JE v Černobylu (např. francouzský projekt ETHOS v Bělorusku 2007 (blíže viz [1], [2], [3])). Zejména v posledních letech došlo k velkému rozvoji zařízení nebo aplikací schopných proměnit chytré telefony v detektory záření tím, že přístroje vybavené polovodičovými nebo plynovými detektory se zapojí k chytrému telefonu (přes kabel nebo bezdrátově) se zobrazením, ukládáním a sdílením dat prostřednictvím vyhrazených mobilních aplikací. Některé přístroje jsou i vybaveny zabudovaným displejem pro kontrolu příkonu a dávky. Alternativně se zkouší i místo detektoru použití vestavěných kamer mobilního telefonu pro indikaci dávkového příkonu pomocí CCD/CMOS prvků se zpracováním dat přímo v mobilní aplikaci běžící na daném chytrém telefonu. Určitou nevýhodou tohoto řešení je jednak nutnost světlotěsného zakrytí fotoaparátu po celou dobu měření, a dále potřeba speciálního software nainstalovaného do mobilního telefonu. Spolehlivost těchto měření je zatím nedostatečná, zejména patrně kvůli rychlým změnám v součástkové základně a její nedostatečné dokumentaci pro uživatele.

Některá zařízení/aplikace jsou již dostupné k prodeji nebo jsou patentovány. Zařízení obsahují jako detektor diody, Geigerovy počítače nebo scintilátory a jsou určeny pro měření dávkového příkonu nebo jeho monitorování po trase. Kromě těchto aplikací se jako novinka objevují občanské spektrometry (např. s CsI krystalem) pro spektrometrii záření gama sledovaných radioizotopů.

Tématu občanských měření se nyní věnují prakticky ve všech zemích s jadernou energetikou (USA, Rusko, Čína, Francie, Česko), jak je popsáno podrobněji v této zprávě.

Výzkum a vývoj detektorů a metodik z hlediska použitelnosti občanských měření v dalších oblastech (odhad obsahu I-131 ve štítné žláze, screeningové měření

radioaktivity potravin) ukázal, že k občanské detektory jsou ke screeningovým účelům použitelné – byť takováto měření vyžadují důslednější dodržování pracovních postupů a podmínek měření.

Výsledky občanských měření jsou občany-měřiči předávány do datových center (automaticky on-line nebo dávkově off-line) a z nich prezentovány na volně přístupných veřejných mapách, zřizovaných a provozovaných často v rámci výzkumných projektů. V ukládání dat z občanských měření a jejich zobrazení v mapových podkladech není dosud žádná standardizace, jednotlivé skupiny si vytvořily vlastní přístup, trvalé propojení s profesionálními (vládními) monitorovacími systémy zatím standardně neexistuje (s výjimkou snahy IRSN, Francie).

Podstatné poznatky a závěry z výzkumu zejména z hlediska vývoje českého monitoru lze shrnout takto:

- I. jako optimální (propracovaný, robustní s GM detektorem ve formě „pancake“ s tenkým okénkem, cenově dostupný, spolehlivě funkční a s jednoduchou obsluhou) vychází stále systém skupiny SAFECAST, navíc je již 10 let úspěšně implementován. (pozn.: distribuce přístroje SAFECAST bGeigie Nano byla v roce 2021 ukončena, SAFECAST.org připravuje jeho nástupce)
- II. vývoj funkčního vzorku a testovací série českého monitoru dávkového příkonu bude proto založen na obdobné platformě, tj. GM počítače ve tvaru pancake, ještě s robustnějším bezokénkovým provedením GM detektoru, s přesnějším GPS senzorem, lépe čitelným displejem a využitím pokročilejších interních technologií elektroniky.
- III. na základě několikaleté zkušenosti s ovládáním přístroje budou upraveny některé technické prvky tak, aby byl vhodný i pro použití neprofesionálními týmy (občané, obce, dobrovolní hasiči) a pro měření I-131 ve štítné žláze a pro screening potravin.
- IV. nepředpokládáme, že vývoj cenově dostupných gama-spektrometrů (CsI), pokročí tak, že v době řešení projektu bude možné mít pro veřejnost k dispozici tento přístroj ve větším počtu kusů.
- V. nepředpokládáme, že indikace dávkového příkonu pomocí CCD prvků v mobilních chytrých telefonech se speciálním software pokročí tak, že v době řešení projektu bude možné mít pro veřejnost k dispozici robustní řešení.

2 ZKRATKY

CPM	četnost v impulsech za minutu
ČR	Česká republika
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
ExPeS-II	Expertní systém pro zpracování dat verze II (SÚJB, SÚRO)
GM	Geiger-Müllerův detektor
JE	jaderná elektrárna
MEXT	The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japonsko
MonRaS	databázový systém SÚJB (Monitorování Radiační Situace)
MRS	Monitorování radiační situace
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

3 ÚVOD

Tato souhrnná zpráva shrnuje aktuální stav tzv. občanských měření ve světě ke konci roku 2021. Cílem bylo získat maximálně komplexní přehled o stavu vhodných detektorů a aplikací vč. zobrazení dat a jejich webové prezentace a otázky možného propojení a předávání dat s naší národní databází MonRaS.

Zpráva se zabývá zejména detektory vhodnými pro občany, které jsou připraveny pro dlouhodobá měření dávkového příkonu záření gama v časových řadách nebo po trasách (tj. s GPS). Nezabývá se detektory vhodnými pouze pro okamžitá měření dávkového příkonu záření gama (těch je na trhu velké množství a velmi rychle se obměňují) ani detektory a software, které byly nabízeny, ale jsou již evidentně opuštěny. S rozvojem pokročilých technologií a jejich zpřístupněním běžným občanům především díky snížení ceny se do hry dostávají i různé spektrometrické detektory (zejména na bázi scintilátoru s malým krystalem CsI). Ty sice svými parametry (citlivostí) nemohou konkurovat profesionálním přístrojům, ale jsou již cenově dostupné. Jedná se o malé kapesní přístroje s vestavěnou baterií, které pro zpracování a vyhodnocení dat využívají tablet nebo chytrý telefon a lze je použít pro velmi orientační spektrometrická měření. Zpráva se zmiňuje i o této skupině přístrojů, protože nelze vyloučit, že mohou mít v dalších letech perspektivu i jako občanské detektory.

Jako zdroje dat a informací pro výzkum byly použity veřejné zdroje (zpravidla webové stránky, ale i informace ze sociálních sítí) výrobců a dodavatelů detektorů, výzkumných organizací (typu IRSN), sdružení a organizací vyvíjejících občanské monitory (typu SAFECAST), dále byl proveden i průzkum nabídek na stránkách prodejců občanských a informace z osobních jednání nebo korespondence s organizacemi vyvíjejícími občanská měření (např. SAFECAST), a pochopitelně i rešerše článků, zabývajících se touto problematikou.

Z hlediska využití dat z občanské měřicí sítě v případě jejich integrace do národní databáze MonRaS se předpokládá především možnost prezentace dat jako samostatné vrstvy, obdobné existujícím/stávajícím vrstvám prezentujícím výsledky. Výsledky ze stacionárních měření ve vrstvě obdobné stávající vrstvě „Sít' včasného zjištění“, a výsledky z mobilního monitorování přístroji SAFECAST analogicky ve vrstvě obdobné stávající vrstvě „Trasy monitorování“. Takto je již připraveno předávání dat z projektu RAMESIS (VI20152019028) pro výsledky jak stacionárních měření přístroji „RAMESIS monitor radiace“, tak i mobilních měření přístroji SAFECAST bGeigie Nano a

CzechRad) – blíže viz [4]. Integrace těchto dat do MonRaS by pak umožnila i využití dat z občanské měřicí sítě v aplikaci ExPeS-II – viz [5]. Data získávaná pomocí občanských měřicích sítí mohou být, díky k jejich struktuře odpovídající obdobným datům získávaným v rámci MRS (SVZ a mobilní skupiny), zpracována programovým prostředkem ExPeS-II umožňujícím rychlé zpracování velkého množství dat monitorování ve střední fázi radiační havárie a jejich další vyhodnocení s ohledem na posouzení významnosti parametrů, veličin a informací důležitých z hlediska zabezpečení havarijní odezvy v této fázi radiační havárie. Přitom je možné využít už existující moduly vytvořené v ExPeS-II – a to jak v případě, že by data z občanských měření byla integrována do MonRaS, tak i při napojení ExPeS-II na databázi RAMESIS jako externí zdroj dat. V prvním uvedeném případě – tj. integraci dat z občanských měření do MonRaS - by využití dat z občanských měření nevyžadovalo další programové úpravy v ExPeS-II, pouze by se u už existujících modulů upravil (na uživatelské úrovni) rozsah vstupních dat tak, aby kromě základních variant modulů využívajících pouze data z MonRaS byly doplněny i jejich varianty zahrnující alternativně buď pouze data z občanských měření, nebo používající data z obou zdrojů souběžně (pozn. toto doplnění je snadno realizovatelné zkopírováním existujících modulů a úpravou jejich konfigurace provedenými operátory ExPeS-II – tj. bez nutnosti úprav externími dodavateli). V druhém případě – tj. využití systému RAMESIS jako externího zdroje dat pro ExPeS-II – by pak pro zprovoznění přístupu k datům bylo zapotřebí ExPeS-II nakonfigurovat pro přístup k databázi RAMESIS jako externímu zdroji dat, což by zřejmě znamenalo potřebu servisního zásahu (spíše jen menšího rozsahu) na obou stranách, tj. v ExPeS-II i v RAMESIS, provedeného servisní organizací.

Zpráva se v první části věnuje občanským detektorům pro měření dávkového příkonu vč. mapového zobrazení dat, v další občanským spektrometrům, dále otázce jejich použití pro občanská měření štítné žlázy a potravin. V závěru jsou v tabulce shrnuty parametry hlavních detektorů a systémů a jejich vhodnost pro použití v ČR.

Spolupráce se Sociologickým ústavem AV ČR, v.v.i, a s IPVZ, a diskuse s kolegy ukázaly na důležitost otevřeného přístupu k datům a zejména významu možnosti občanů provést si vlastní měření. To výrazně zlepšuje u veřejnosti pocit kontroly nad krizovou situací a umožní její zvládnutí lepší akceptací zaváděných opatření na základě

porozumění veřejnosti aspektům dané situace. Možnost porovnat vlastnoručně naměřené hodnoty s hodnotami “oficiálních” institucí zvyšuje i důvěryhodnost institucí v očích veřejnosti.

4 DETEKTORY PRO OBČANSKÁ MĚŘENÍ DÁVKOVÉHO PŘÍKONU GAMA, (STACIONÁRNÍ I MOBILNÍ)

4.1 SAFecast.org (Japonsko – USA)

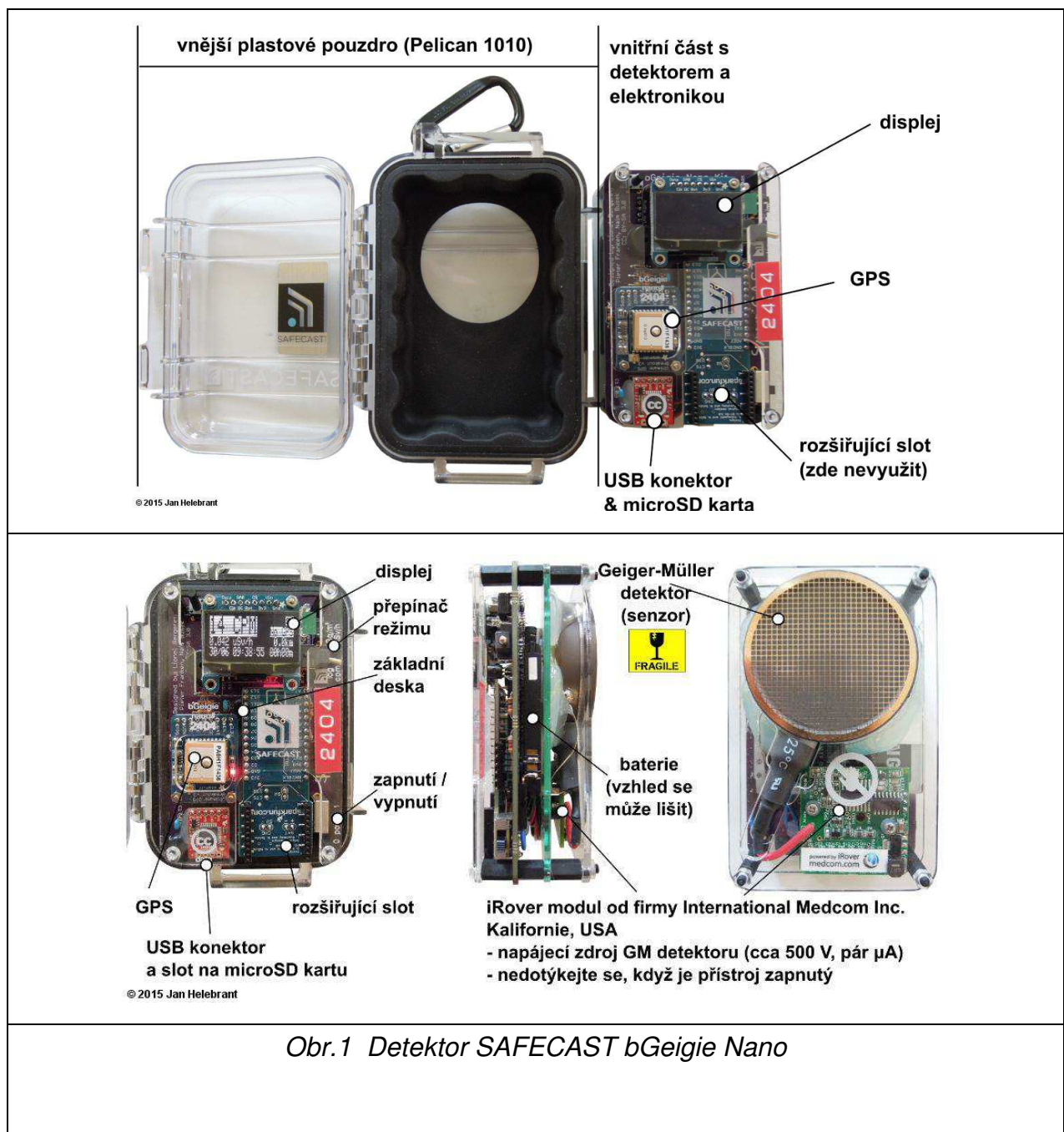
SAFecast patří mezi největší občanské sítě ve světě a zůstává aktivní již více než 10 let. Tato organizace vznikla po havárii v japonské jaderné elektrárně Fukushima Dai-Ichi v roce 2011. Prvotní snahou bylo zpřehlednit situaci ohledně radiačních dat, takže první verze online aplikace shromažďovaly naměřená data z různých zdrojů do jedné mapy – k dispozici byla jak převzatá oficiální měření MEXT a zahraničních organizací, tak různá občanská měření z různých (převážně doma sestavených) zařízení.

S ohledem na potřebu proměřit poměrně rychle velkou část Japonska a absenci cenově dostupného řešení tohoto typu na trhu navrhl SAFecast postupně několik detektorů vybavených GM detektorem s GPS, v odolném plastovém pouzdru a konstruovaných pro vnější montáž na osobní automobil. Tyto detektory poskytovaly data v jednotném formátu a data byla nahrávána do online portálu (mapy), přičemž výsledky měření bylo možné i stáhnout pro další zpracování. SAFecast navrhl nejen jednoduchý a cenově vcelku dostupný měřič příkonu záření gama s jednoduchým ovládáním SAFecast bGeigie Nano, ale i laikům srozumitelnou metodiku měření a hlavně vytvořil a provozuje webovou platformu pro sdílení a prezentaci výsledků měření. Data publikuje pod licencí CC0 Public Domain Dedication, tzn. jejich další využití není omezeno.

V roce 2013 byl do volného prodeje uvolněn přístroj SAFecast bGeigie Nano, který se stal základem přístrojového vybavení sítě SAFecast. Přístroj se prodával formou stavebnice (kitu), jehož sestavení však vyžadovalo určité elektrotechnické dovednosti a práci s pájkou, SAFecast dal k dispozici návody a dokumentaci k sestavení přístroje a pořádal i různé workshopy pro veřejnost, při kterých si zájemci mohli přístroj sestavit. V přístroji osazená americká GM trubice LND 7317 typu pancake s tenkým okénkem má proti typu všeobecně používané a oblíbené GM trubici sovětské výroby SBM-20 přibližně dvojnásobně lepší citlivost (pro představu v ČR na běžném pozadí se hodnoty CPM měřené přístrojem SAFecast pohybují kolem 50-60). Přístroj umožňuje i instalaci Bluetooth modulu pro komunikaci se smartphonem.

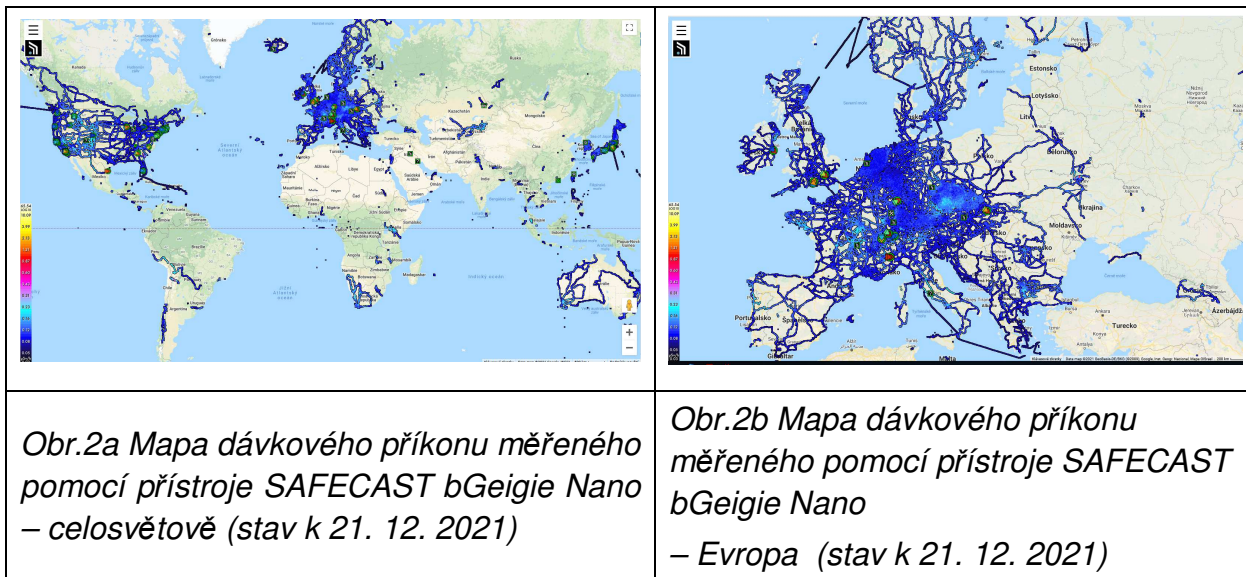
Pro ověření věrohodnosti dat získávaných pomocí měřičů SAFecast (sady senzorů jsou ručně sestavovány amatérsky s různou úrovní technické odbornosti a senzory např. nemusí být správně nasazeny) byly provedeno terénní ověření. Data SAFecast

byla ověřena v terénu porovnáním s daty shromážděnými Ministerstvem energetiky USA (DOE) a Národním úřadem pro jadernou bezpečnost USA (NNSA) v prefektuře Fukušima krátce po havárii jaderné elektrárny Dai-Ichi. Výsledky tohoto porovnání ukázaly vysokou míru korelace, přičemž pozorování DOE/NNSA byla obecně poněkud vyšší než měření SAFECAST. Tato korelace ukázala, že SAFECAST je přijatelný detektor a cenný zdroj dat z monitorování záření gama i pro vládní účely – blíže viz [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14].



O celosvětové popularitě SAFECAST svědčí počet dat na mapovém serveru, který řádově převyšuje data z ostatních dále zmíněných systémů

(<https://map.SAFECAST.org/>)



Jako zajímavost uvádíme, že při příležitosti 10 let od zemětřesení v Japonsku, havárie v



jaderné elektrárně Fukushima a také 10 let od svého založení uspořádal SAFECAST rozsáhlé online setkání s panelovými diskusemi vysílané živě prostřednictvím služby Youtube <https://SAFECAST.org/SAFECAST10/>, kterého

se zúčastnili zájemci z celého světa - to asi nejlépe svědčí o životaschopnosti koncepce SAFECAST.

Organizace SAFECAST se angažuje i mimo oblast měření radiace např. ve zpracování dat při pandemii COVID-19, dále v rozšíření nabídky stacionárních senzorů o sledování kvality ovzduší např. produkt Solarcast, jde o kompaktní, bezdrátový, přenosný a autonomní přístroj vybavený jednotkou, která identifikuje dostupné komunikační protokoly a sama se nakonfiguruje tak, aby je používala, má nízkou spotřebu energie pro dlouhý bezobslužný provoz na solární / bateriové napájení, duální senzory záření gama a duální senzory prašnosti zvyšující spolehlivost dat, a je navržen a ověřen pro dlouhodobé venkovní použití.

Kromě provozu stávajících přístrojů SAFECAST pracuje i na nástupci mobilního detektoru bGeigie Nano a průběžně inovuje i své online aplikace.

Další možný nástupce bGeigie Nano: bGeigie Zen

V dubnu 2021 SAFECAST představil “nového a vylepšeného” nástupce mobilního detektoru bGeigie Nano pod názvem bGeigie Zen, vycházejícího z prototypu bGeigie Raku.

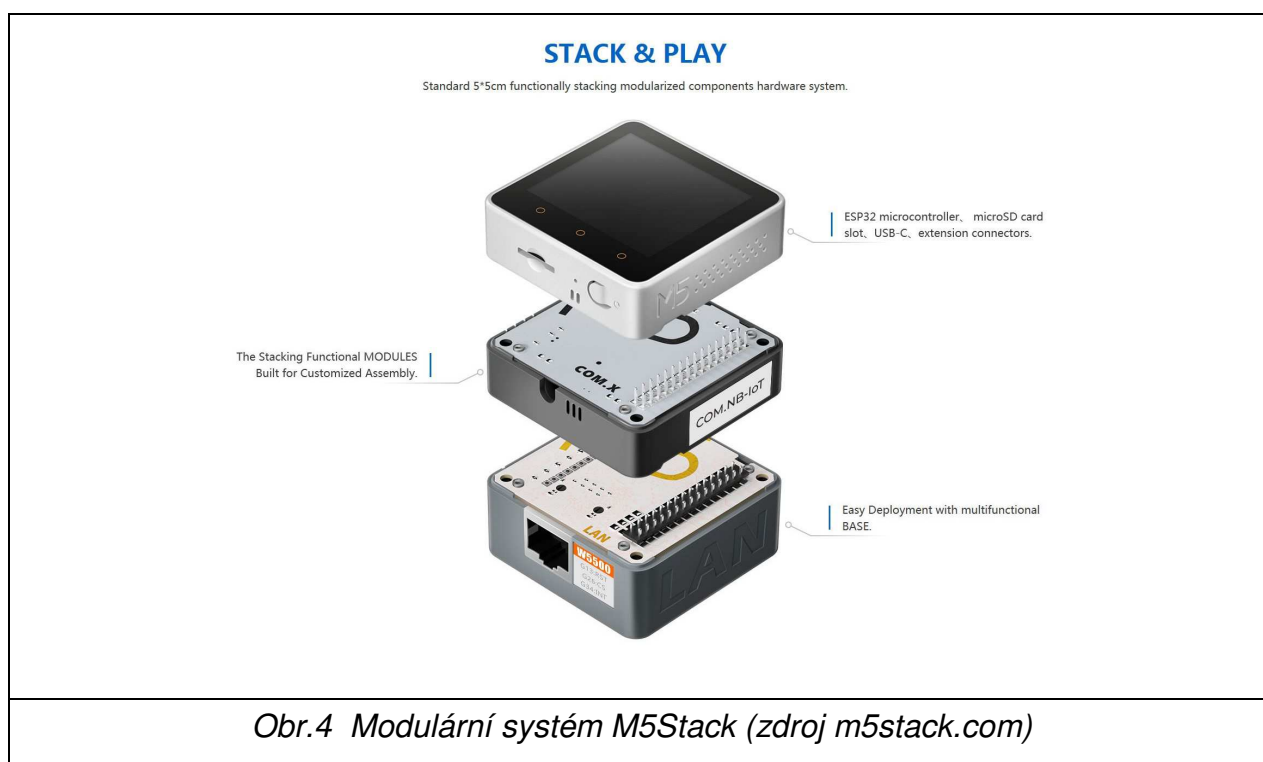


Obr.3 Nový „bGeigie Zen“, zdroj: SAFECAST.org

K dispozici zatím není kompletní specifikace, ale přístroj by měl být založen na dále zmíněném modulárním systému M5Stack (blíže viz [15]) zaměřeném především na tzv. „Internet věcí“ neboli IoT – různá „chytrá“ zařízení propojená přes internet. Patří sem kromě profesionálních zařízení i tzv. chytré domácnosti, amatérské meteostanice s posíláním dat na internet atd. Návrh detektoru na bázi M5Stack může být jednak snaha vyřešit problémy s modulárností a výrobou jednotlivých komponentů (u bGeigie Nano pocházely od různých subdodavatelů), ale také potenciální zjednodušení tvorby různých variant detektoru – mobilní, stacionární, online posílání dat přes GSM nebo ethernet atd. – aniž by toto technicky musel řešit SAFECAST, protože toto bude řešeno v rámci modulů M5Stack. Na druhou stranu by v takovém případě SAFECAST byl plně závislý na podpoře M5Stack a dodávkách jejich hardware.

M5Stack je technologická společnost, která navrhuje a vyrábí open-source vývojovou sadu přístrojů, včetně hardwaru, programovací platformy a řešení IoT. Založena byla v roce 2017 se sídlem v Shenzhen v Číně.

Systém M5Stack využívá ESP32 - SoC (System-on-Chip) - procesor kombinovaný s moduly pro bezdrátovou komunikaci (Wi-Fi a Bluetooth) v jednom pouzdře a nabízí uživatelsky snadno realizovatelnou modulárnost přidáváním (pouze „nacvaknutím“ konektoru, bez nutnosti pájení) různých „dílů stavebnice“ - modulů poskytujících různé funkce (GPS, ethernet komunikace atd.). Cílem může mimo jiné být i snaha umožnit přístroji měření a nahrávání dat do mapy bez nutnosti používat další zařízení s mobilní aplikací.



SAFECAST zatím nevedl podrobnosti týkající se detekční jednotky, ale doposud všechny jejich přístroje využívaly „pancake“ Geiger-Müller detektor LND 7317 od americké firmy LND, Inc. a tento typ je zmíněn i ve schématu nové senzorové desky (viz dále). Nový bGeigie Zen by měl být osazen nově vyvinutou senzorovou deskou nazvanou SafePulse. Jde o náhradu proprietárního modulu iRover firmy International Medcom používaného doposud, s využitím vlastního, na míru vyvinutého otevřeného řešení zdroje vysokého napětí nazvaného “Open High-Voltage Power Supply”. Proti proprietárnímu modulu iRover by měl být SafePulse otevřený design, který by mohl pro

SAFECAST vyrábět jakýkoliv vhodný výrobce, přičemž cena modulu by měla být znatelně nižší.

Zbot - algoritmus pro automatické schvalování dat

V roce 2019 SAFECAST vylepšil svou online infrastrukturu přidáním automatického schvalovacího nástroje Zbot, který výrazně snížil zátěž lidských moderátorů SAFECASTu, kteří dříve museli ručně schvalovat veškeré nahrané LOG soubory z přístrojů bGeigie.

Zbot schvaluje data na základě několika podmínek, které musejí být splněny:

- data neobsahují body (datové řádky) s CPM=0,
- data (kromě měření označených “*cosmic*”, běžná měření se označují jako “*drive*”) neobsahují hodnoty CPM>120 (cca 0.4 microSv/h),
- data obsahují méně než 50% neplatných GPS dat,
- data od uživatele (bGeigie ID) s minimálně 10 schválenými datovými soubory v minulosti,
- žádné zamítnuté soubory pro daného uživatele během posledního roku.

Měření na úrovni běžného přírodního pozadí od “osvědčených” uživatelů jsou tedy schválena prakticky ihned po nahrání a vyplnění příslušných metadat na SAFECAST API. Tím se nutnost manuálního schvalovacího procesu omezuje na nové uživatele a data s hodnotami dávkového příkonu nad výše zmíněnou hranicí 120 CPM (pozn.: V České republice jde například o lokality spjaté s výskytem, těžbou a zpracováním radioaktivních surovin. Oblasti mírně zvýšených příkonů způsobených např. výskytem hornin typu žula – typicky např. oblast Třebíčského masivu – nebo historická centra měst s hojným využitím žulové dlažby doposud nepřekračovaly zmíněný limit a byly tedy schvalovány automaticky.)

Celkově je propracovanost koncepce systému SAFECAST na vynikající úrovni.

SÚRO má s detektory SAFECAST již dlouholeté zkušenosti, první měření s tímto přístrojem SÚRO publikoval na jaře 2015, od té doby počet přístrojů vzrostl na cca 60 kusů. Celý systém byl též doplněn o sadu vlastních nástrojů pro zpracování a mapové zobrazení dat nezávisle na webové aplikaci SAFECAST.org, kde základ tvoří bezplatně dostupný open-source program QGIS s na míru vyvinutým pluginem pro zpracování SAFECAST dat a vše je doplněno množstvím informačních a výukových materiálů.

4.2 OpenRadiation (Francie)

Francouzský projekt OpenRadiation (openradiation.org) vznikl díky spolupráci několika francouzských organizací zahrnujících významný institut IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) i univerzitu (Sorbonne Université). Primárně šlo o web s interaktivní mapou pro nahrání, stažení a zobrazení dat, informacemi pro uživatele atd. – blíže viz [16] [17].

OpenRadiation je organizována jako občanský vědecký program a data jsou publikována jako open data pod licencí ODC-ODbL (uživatelská licence s povinností sdílet data stejným způsobem).

Aplikace OpenRadiation je podle stránek projektu kompatibilní nejen s vlastním vyvinutým detektorem (viz níže) ale i s detektory dalších výrobců - např. Atom Tag, Radiation-watch Pocket Geiger Type 6, Polimaster Polismart II, RIUM GM, nebo SAFECAST bGeigie Nano s přidaným Bluetooth modulem.

The image shows a screenshot of the OpenRadiation website. The main content is a map of France with numerous blue dots representing radiation measurement locations. The map is titled 'Mesures au sol' (Ground measurements). The website has a navigation bar with tabs: 'LE PROJET', 'MESURES AU SOL', 'MESURES EN VOL', 'LA COMMUNAUTÉ', and 'LES MISSIONS'. On the right side, there is a registration form with fields for 'Nom d'utilisateur' and 'Mot de passe', and buttons for 'S'INSCRIRE' and 'SE CONNECTER'. Below the registration form, there are buttons for 'SE PROCURER UN CAPTEUR' and 'TÉLÉCHARGER L'APPLICATION'. A 'NEWS' section is visible at the bottom right, listing recent news items with dates and titles. The bottom of the page features a color scale for radiation levels and a search bar.

Obr.5 web projektu OpenRadiation (openradiation.org)
a ukázka mapového zobrazení v projektu OpenRadiation

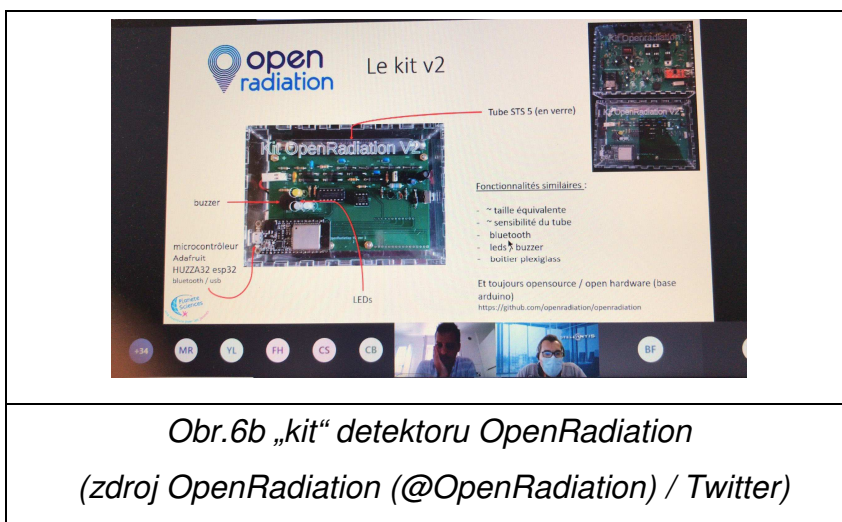
Detektor vyvinutý pro OpenRadiation

V projektu byl nicméně vyvinut vlastní detektor využívající čip kombinující mikrokontroler a moduly bezdrátové komunikace (Wi-Fi a Bluetooth) ESP32 - SoC (System-on-Chip) a jako detektor sovětskou trubici STS-5 či její ekvivalent SBM-20, má tedy přibližně poloviční citlivost proti přístroji SAFecast bGeigie Nano. Detektor OpenRadiation nemá displej, zobrazení hodnot a práce s daty probíhá přes Bluetooth na obslužném mobilním zařízení (mobil, tablet) s aplikací OpenRadiation. Aplikace je dostupná zdarma pro operační systémy Android a Apple iOS prostřednictvím standardních distribučních kanálů (Google Play, Apple App Store).



Obr.6a Fotografie detektoru a aplikace OpenRadiation
(Zdroj: Google Play a github.com/openradiation/)

Detektor byl nabízen jako „Kit“ přímo na webu i na sociálních sítích zástupci projektu. Aktuálně (stav prosinec 2021) jsou odkazy na tento kit bohužel nefunkční a lze pouze dohledat dokumentaci pro výrobu detektoru vlastními silami.



Obr.6b „kit“ detektoru OpenRadiation
(zdroj OpenRadiation (@OpenRadiation) / Twitter)

Detektor Rium GM

Dalším francouzským detektorem vhodným pro občanské měření, který byl připraven tak, aby byl schopen předávat data do datového systému OpenRadiation, je detektor Rium GM, který vyvinul startup ICOHUP ve spolupráci s IRSN. Patří mezi nejlevnější (odhad ceny 120 EUR prosinec 2021). RIUM GM s plastovým pouzdem, o rozměrech 13 x 2,8 x 2,8 cm a hmotnosti 55 g není samostatně použitelný detektor, nemá displej. K zobrazení a obsluze slouží chytrý telefon nebo tablet se systémem Android / iOS, případně počítač se systémem Windows. K produktu Rium GM není bohužel dosud (prosinec 2021) dostupná podrobná technická specifikace ani popis detektoru, podle dostupných informací se v principu jedná o pouzdro s GM trubicí, napájením a elektronikou s možností posílání dat přes USB kabel nebo bezdrátově přes Bluetooth modul – blíže viz [18].

Aktuálně jsou výsledky měření a počty detektorů francouzského projektu OpenRadiation velmi sporadické a zatím omezené de facto jen na Francii.



4.3 Radioactive@home, Polsko

Polský projekt (s účastí USA) Radioactive@home je aktivita polské komunity v rámci "BOINC Polska" (BOINC Polsko) vzniklé v roce 2012 – blíže viz [19]. Nabídl kombinaci velmi levných stacionárních detektorů (detektor se prodával přes web www.radioactiveathome.org za cenu pouhých 30 EUR z Polska) a vlastní webovou aplikaci. Spolehlivost dodávky detektorů nebyly ovšem velká. Detektor je velmi jednoduchý modul s procesorem typu PIC, napájením přes USB a malým černobílým LCD displejem pro zobrazování hodnot, k dispozici je kompletní technická dokumentace včetně technických výkresů. Pro detekci záření gama se zde používá GM trubice SBM-20. Vše je v plastovém pouzdru, které není použitelné (bez dalších úprav) pro umístění venku mimo budovy, napájení je realizováno přes usb kabel. Detektor není příliš robustní. Detektor vyžaduje PC s obslužným softwarem, aby mohl naměřená data zasílat přes Internet do online aplikace. Obsluha detektoru a předávání dat probíhá přes multiplatformní (Windows, Mac OS X, Linux), bezplatně dostupný software BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing, <https://boinc.berkeley.edu/>), známý např. z projektů *SETI@HOME* apod. Aby se data posílala do mapy, musí být k dispozici připojení k internetu. V offline režimu detektor pouze zobrazuje hodnoty dávkového příkonu.

Rozhraní software BOINC pro uživatele tvoří buď BOINC manager s grafickým klikacím rozhraním, nebo alternativně konzolový software Boinctui. Data se automaticky posílají na web radioactiveathome.org, kde jsou po dobu přibližně jednoho měsíce k dispozici v databázi, poté jsou z důvodu omezené kapacity serveru přemazány novými daty. SÚRO má k databázi přístup a hlavní správce projektu souhlasil s možným načítáním dat z jejich databáze např. do databáze RAMESIS, za předpokladu, že bude řádně označen zdroj dat.

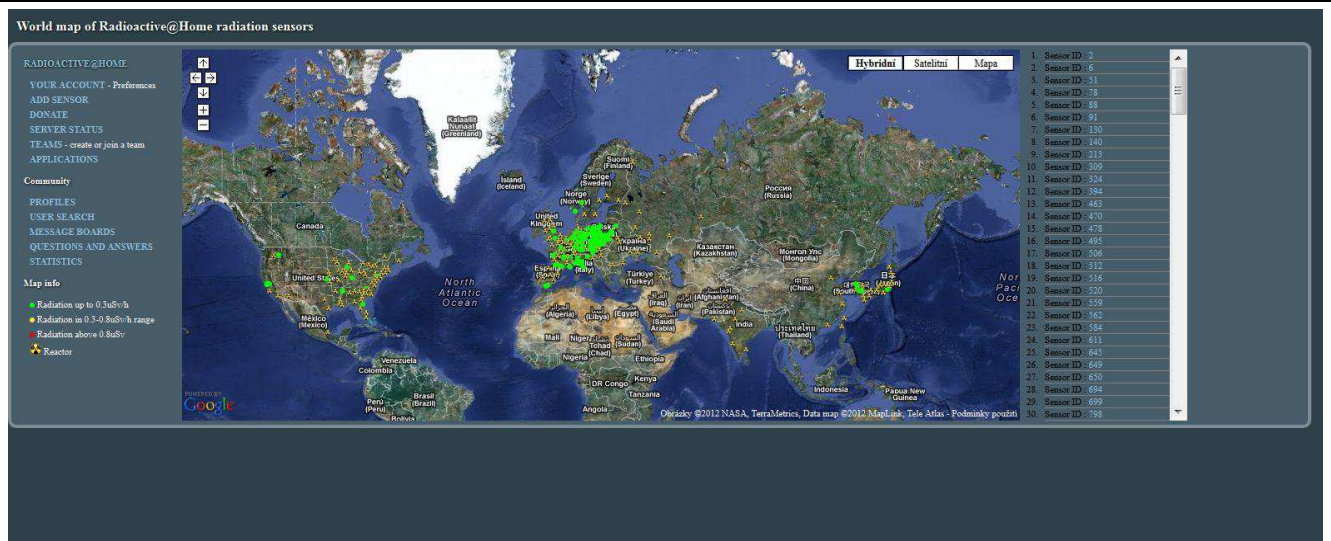
Detektor byl navázaný na webovou službu s ukládáním a zobrazením dat. Mapa zobrazuje naměřená data z detektorů ve třech různých barvách (zeleně do 0.3 $\mu\text{Sv/h}$, žlutě 0.3-0.8 $\mu\text{Sv/h}$, červeně nad 0.8 μSv).



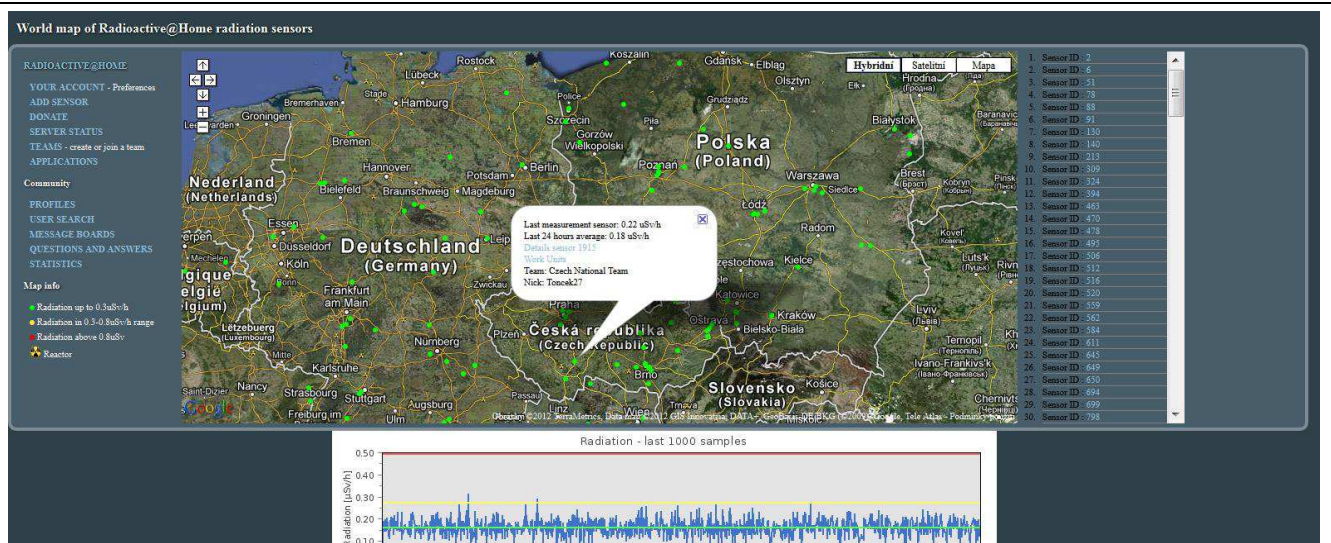
Obr.8a Detektor Radioactive@home



Obr.8b Detektor Radioactive@home - detail



Obr.9a Mapa na webu www.radioactiveathome.org
(hustota rozmístění měřících míst po světě)



Obr.9b Mapa na webu www.radioactiveathome.org
(detail dat ze stanice)

Projekt Radioactive@Home, přesto že byl rozšířen v řadě zemí, se zdá být nyní ve fázi útlumu, byť podle diskuzního fóra je o detektory i nadále zájem. Síť byla již delší dobu ve stavu nečinnosti - poslední zprávy na stránkách projektu (radioactiveathome.org) jsou z roku 2012. Aktuálně již nefunguje ani mapa detektorů. Detektory jsou díky vlastnímu displeji přinejmenším funkční samostatně, při použití USB napájení a s ohledem na jejich zdokumentovanost a jednoduché rozhraní detekční jednotky je v principu možné získávat data z nich i jiným software a zahrnout tato zařízení do jiné detekční sítě.

4.4 POLISMART, (firma Polimaster, Bělorusko)

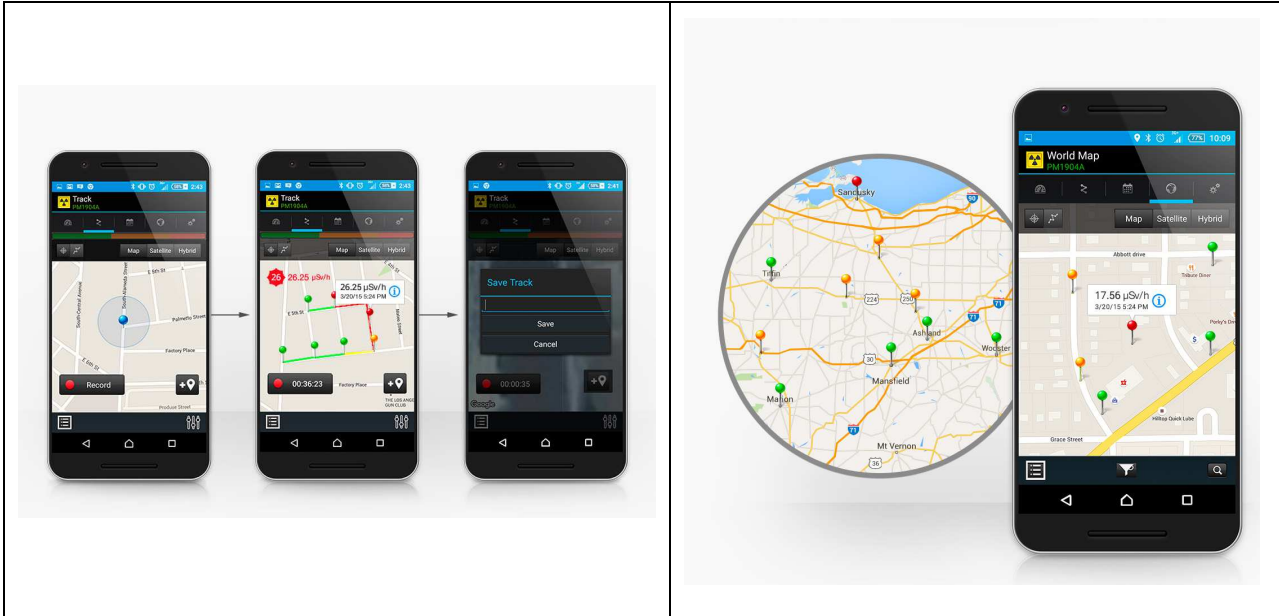
Detektory vč. software pro občanská měření a mapové zobrazení dat (označení POLISMART) nabízí i běloruský výrobce Polimaster (známý např. i výrobou hodinek s GM detektorem, ale vyrábějící i dozimetry a další detekční techniku).

Vychází z elektronického osobního dozimetru PM1904A, který je navržen tak, aby nepřetržitě monitoroval a kvantifikoval akumulovanou dávku záření gama. PM1904A si vyměňuje data s mobilním zařízením v reálném čase prostřednictvím bezdrátového připojení Bluetooth 4.0 LE (pro iOS nebo Android™). Poskytuje přímo vizuální a zvukové alarmy při překročení předem nastavených prahových hodnot. (Předchozí model PM1904 se připojuje k iPhone pomocí dokovacího konektoru) – blíže viz [20].

System má umožnit předávat data i do francouzského datového systému OpenRadiation. Polimaster žádnou vlastní síť ani veřejnou databázi zatím nepředložil, také nejsou k dispozici údaje o rozšíření tohoto systému jako občanského detektoru. Na serveru francouzského projektu OpenRadiation jsou data velmi sporadická.



Obr.10 POLISMART : detektor a mobilní telefon s ukazatelem měření a alarmem

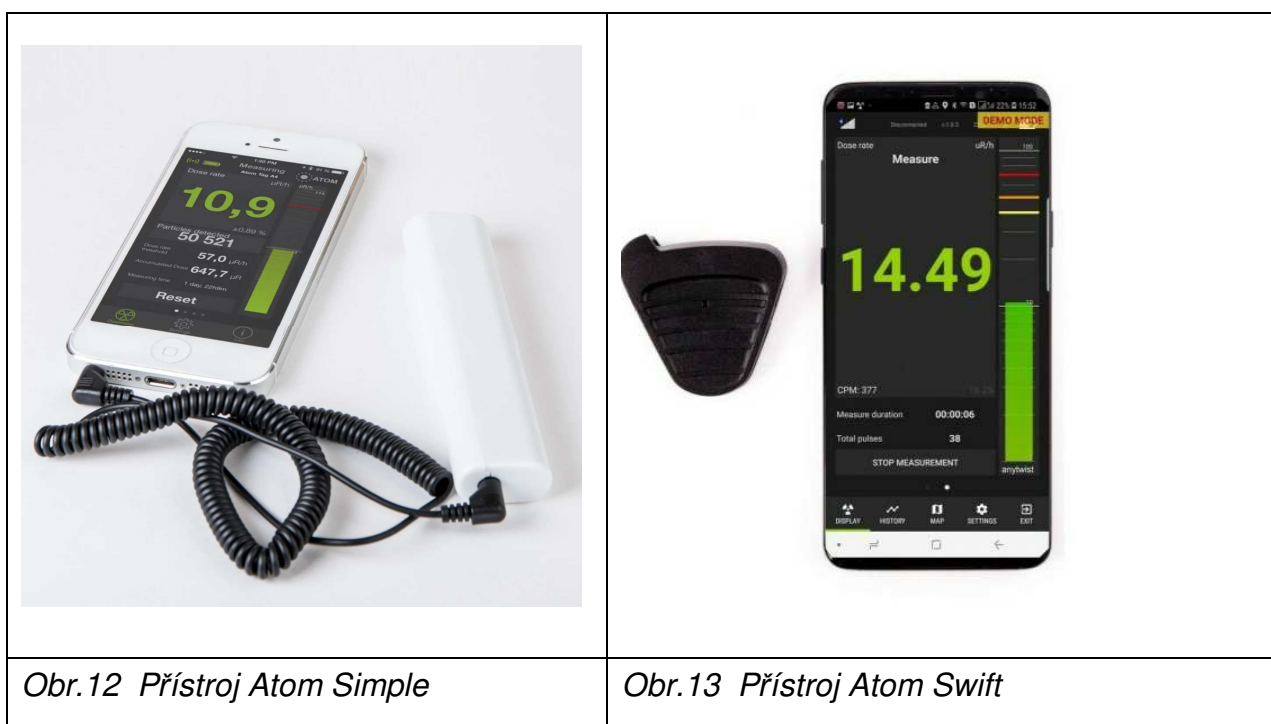


Obr.11 POLISMART : možností mapového zobrazení

4.5 Detektory firmy NPP KB Radar (Rusko)

Ruská firma NPP KB Radar postupně a poměrně rychle uvádí na trh několik typů občanských detektorů (Atom Simple, Atom Tag, Atom Start, Atom Swift, Atom Fast) – blíže viz [21].

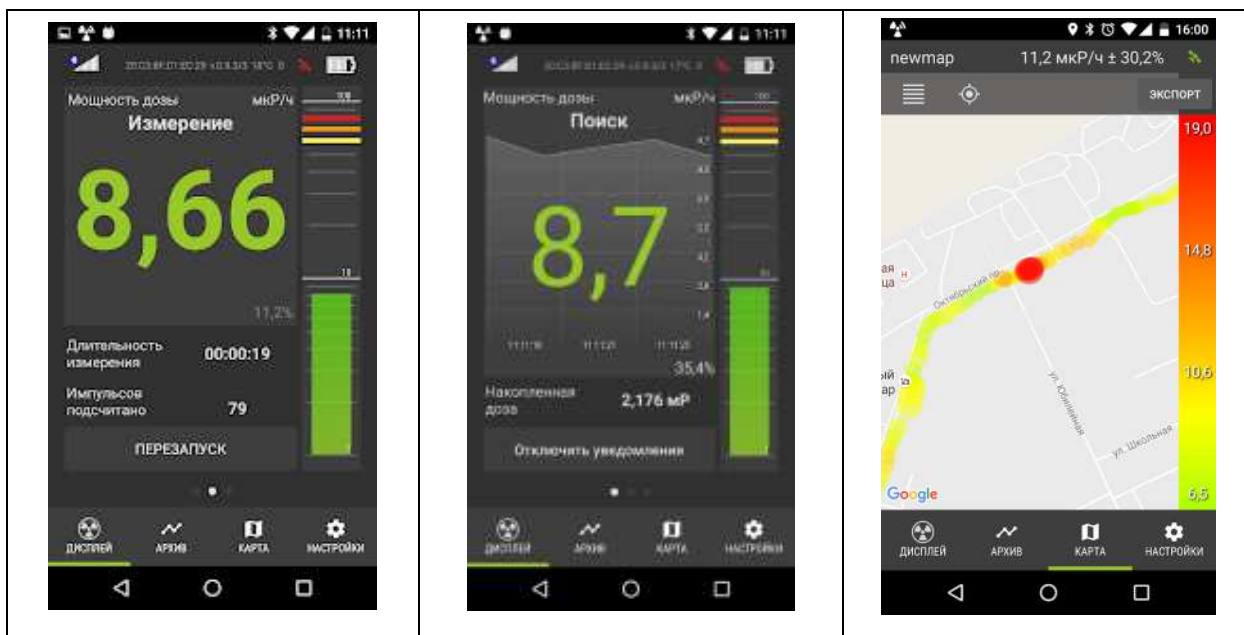
Detektor “**Atom Simple**” (o rozměrech 11 x 2 x 1.2 cm) je osazen standardní trubicí SBM-20, tj. citlivost za běžného přírodního radiačního pozadí cca 30 CPM –. Tento detektor má nicméně nevýhodu v připojení přes konektor 3,5 mm jack používaný pro sluchátka / headsety, protože mnohé dnešní telefony už tento konektor nemají, a funkčnost detektoru připojeného přes redukci USB-C na 3,5mm jack není ověřena.



Podstatně pokročilejší dozimetr Atom Swift je vhodný pro mapování (využívá GM trubice a také již scintilátoru), je propojen přes kanál bluetooth se smartphone nebo s tabletem. Výsledky zaznamenává do Google maps. Citlivost detektoru je asi 25-krát větší, než je citlivost SBM20 používané v modelech Atom simple.

Podobně model Atom Fast je radiometr-dozimetr konstruovaný pro spolupráci s chytrým telefonem nebo tabletem pro radiační monitorování (gama a rentgenového záření). Atom Fast obsahuje radiační senzor (CsI scintilační krystal a křemíkový fotonásobič), veškerou elektroniku potřebnou k napájení a získávání hodnot ze senzoru, bezdrátové rozhraní Bluetooth 4.0 a lithium-iontovou baterii. Drobné plastové pouzdro chrání scintilační detektor a elektroniku. Smartphone nebo tablet PC se používají ke

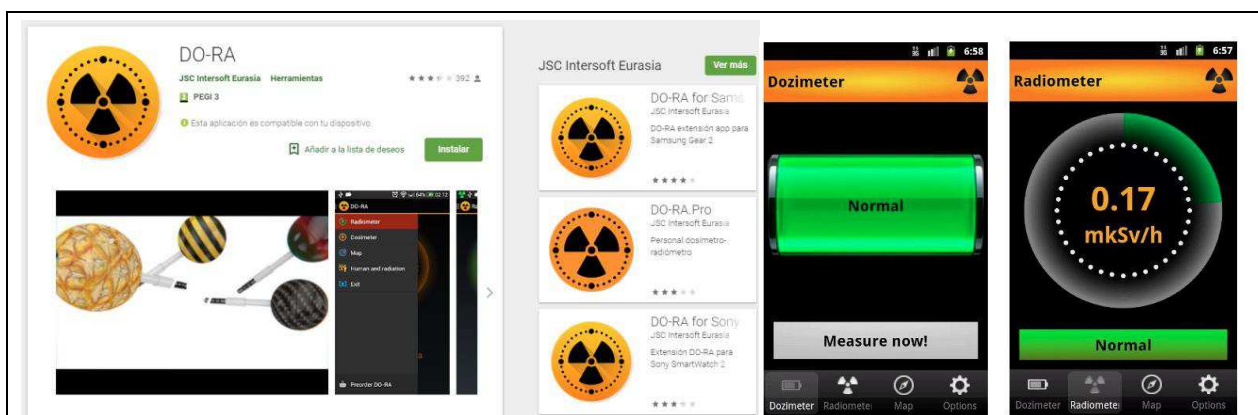
zpracování informací získaných ze scintilačního detektoru a zobrazení naměřených hodnot na obrazovce. Atom Fast funguje v samostatném režimu, pokud dojde ke ztrátě bezdrátové komunikace se smartphonem nebo tabletem. Jeden smartphone nebo tablet lze připojit k mnoha Atom Fastům najednou. Údaje o rozšíření a používání tohoto detektoru a aplikace nejsou zatím k dispozici. Firma žádnou vlastní síť ani veřejnou databázi zatím nepředložila.



Obr.14 Ukázka zobrazení dat k dozimetru Atom Swift

DO-RA

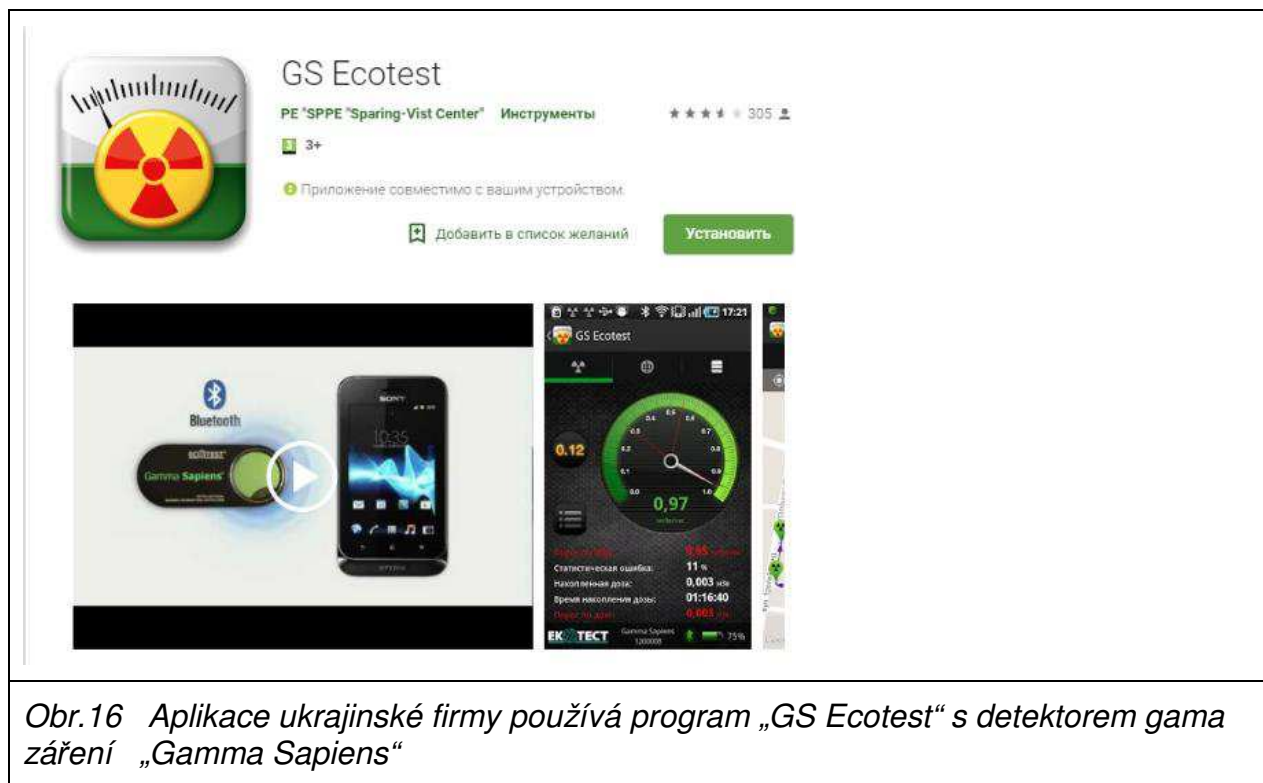
Jde o jiný starší typ detektoru a aplikace z Ruska. Aplikace vyžaduje zařízení Do-Ra připojené ke smartphonu pomocí 3,5 mm jack audio konektoru, aby bylo možné měřit úroveň záření. Aplikaci lze spustit i v režimu emulace – blíže viz [22] [23] [24].



Obr.15 Přístroj DO-RA

4.6 Gamma Sapiens (GS Ecotest) application (Ukraine)

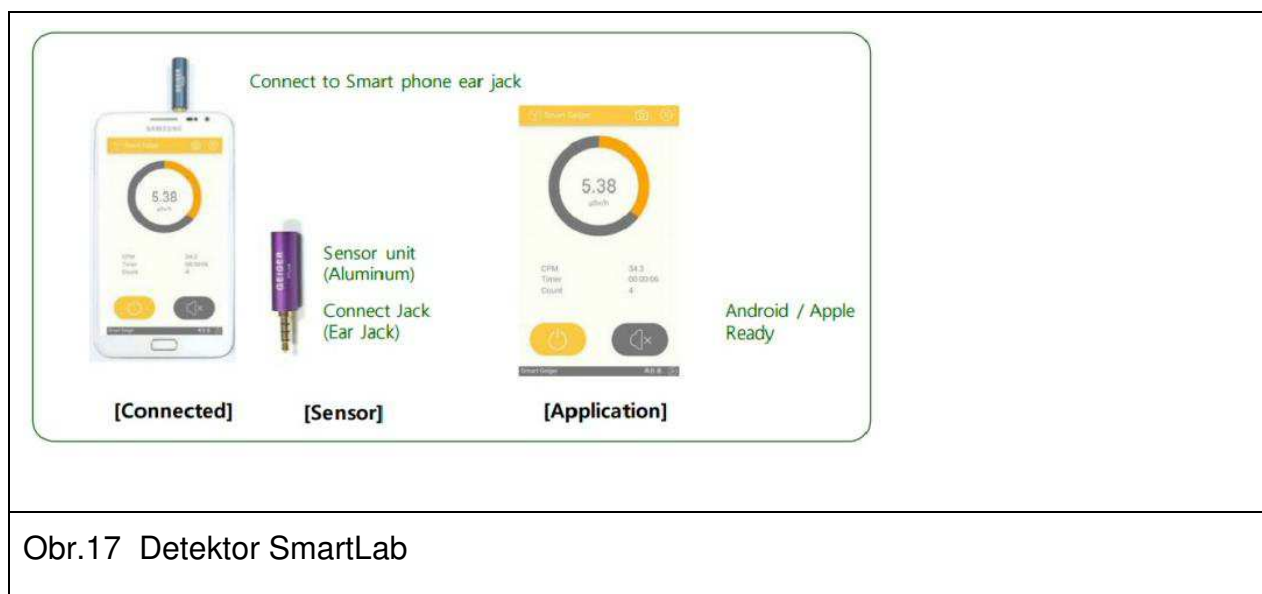
Aplikace ukrajinské firmy používá program „GS Ecotest“ s detektorem gama záření „Gamma Sapiens“ (celkové rozměry detektoru - 19 mm x 40 mm x 95 mm; hmotnost detektoru bez baterií - 50 g) nebo s dozimetry MKS-05 „TERRA“, RKS-01 „STORA-TU“ – blíže viz [25]. Výsledky měření jsou nepřetržitě přenášeny z „Gamma Sapiens“ do „GS Ecotest“ pomocí rozhraní Bluetooth do chytrého telefonu nebo tabletu, jsou zaznamenávány do databáze, zobrazovány na mapě, umisťovány trasy atd. Program "GS Ecotest" poskytuje informace o úrovni radiace a akumulované dávce z detektoru "Gamma Sapiens" na smartphonu přes rozhraní Bluetooth v reálném čase; zobrazení přijatých dozimetrických informací s GPS souřadnicemi na mapě terénu; automatické generování tras dozimetrických měření podle různých kritérií, která si uživatel nastaví; nastavení jednoho nebo více prahů pro dávkový příkon a dávku, při překročení se spustí světelné, zvukové a vibrační alarmy na chytrém telefonu; uchovávání nezbytných dozimetrických informací (dávkového příkonu) v relační databázi; prohlížení dozimetrických informací uložených v databázi (dávkový příkon) po libovolně dlouhou dobu; export dozimetrických měření v souborech formátu KMZ pro prohlížení v Google Earth a Google Maps, s možností odeslání přes internet a umístění na sociálních sítích.



4.7 Detektory Radiation Watch a Pocket Geiger (UK)

SmartLab

Detektor Radiation-Watch je zřejmě nejmenší a bohužel málo citlivý GM detektor. Tento detektor se připojuje k iPhone, Androidu a PC pomocí USB kabelu, sluchátkového konektoru nebo Bluetooth. Mobilní telefon má internet, na kterém jsou registrovány GPS informace a data měření radiace – blíže viz [26].



Obr.17 Detektor SmartLab

Pocket Geiger

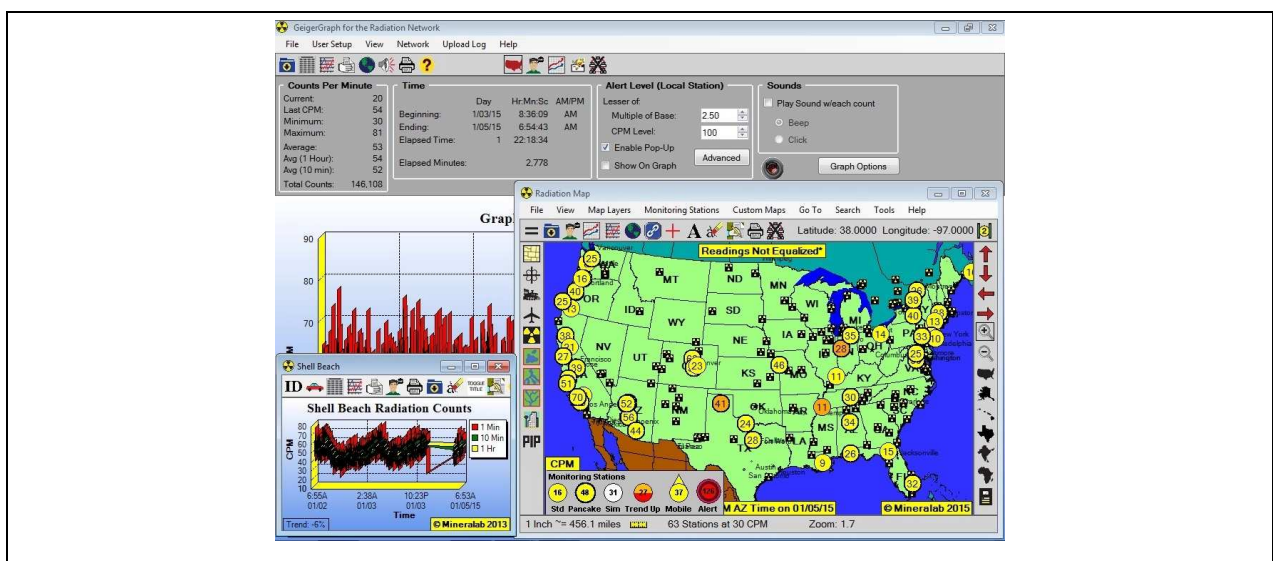
Podobně **Pocket Geiger** s GM senzorem má jednoduchý pulzní výstup, který lze použít s jakýmkoli mikro-kontrolerem (uvádí rozsah měření od 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ do 10 mSv/h při době měření dvě minuty). Citlivost je tedy velmi nízká – blíže viz [27].



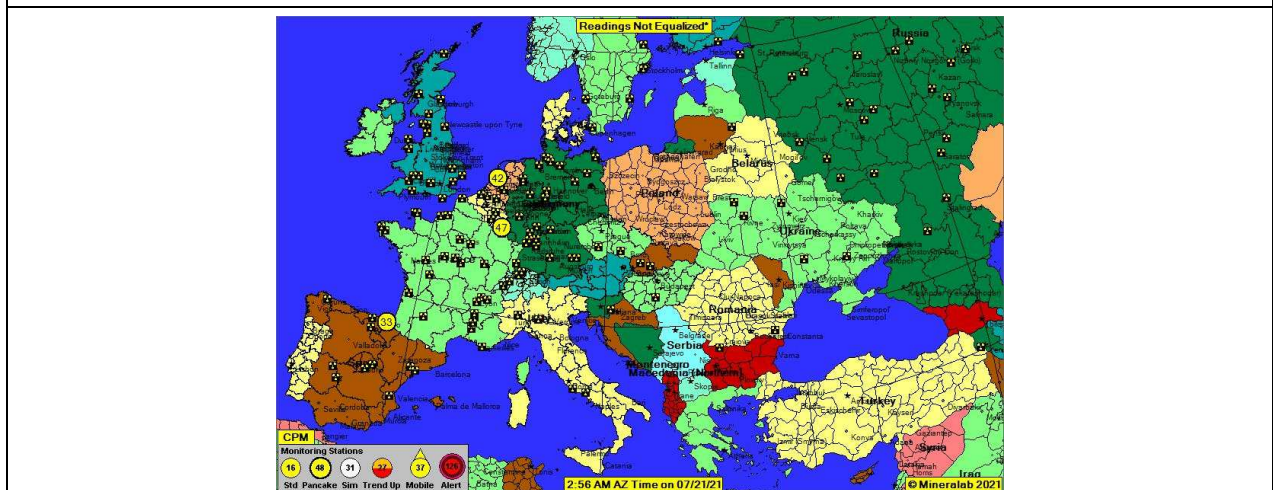
Obr.18 Detektor Pocket Geiger

4.8 Mineralab (USA)

System zobrazení občanských měření od americké firmy Mineralab uvádíme jen pro úplnost - patří totiž mezi uzavřené sítě. Firma Mineralab, provozující weby GeigerCounters.com a radiationnetwork.com, nabízí placený software (cca 80 USD) umožňující zobrazit v mapě data z různých podporovaných přístrojů. Národní radiální mapa, zobrazující úroveň radiace v životním prostředí v USA, je aktualizována v reálném čase každou minutu. Pro veřejnost jsou na webu www.radiationnetwork.com publikovány mapy, ale pouze formou obrázků vybraných regionů bez jakékoliv interaktivnosti. Neumožňuje stažení samotných dat.



Obr.19 placený software GeigerGraph firmy Mineralab (zdroj: geigercounters.com)



Obr.20 veřejné zobrazení dat sítě firmy Mineralab (zdroj: radiationnetwork.com)

5 OBČANSKÁ GAMASPEKTROMETRICKÁ MĚŘENÍ

Ačkoliv níže zmíněné spektrometrické přístroje nemohou zatím sloužit jako náhrada za profesionální citlivé přístroje s detektory s vyšší účinností, mohou tyto přístroje posloužit k rychlým orientačním měřením a k přibližnému určení příčiny vyšších hodnot dávkového příkonu v dané lokalitě. S ohledem na postupné zvyšování nabídky přístrojů této cenové kategorie na trhu a potenciální nárůst zájmu v oblasti občanských měření je vhodné i této problematice věnovat pozornost.

5.1 Spektrometr Rium Pro (Francie)

Mezi roky 2019 a 2020 se na trh dostal asi první občanský přístroj pro spektrometrická měření v terénu - Rium Pro od francouzské firmy ICOHUP (www.ichup.com).




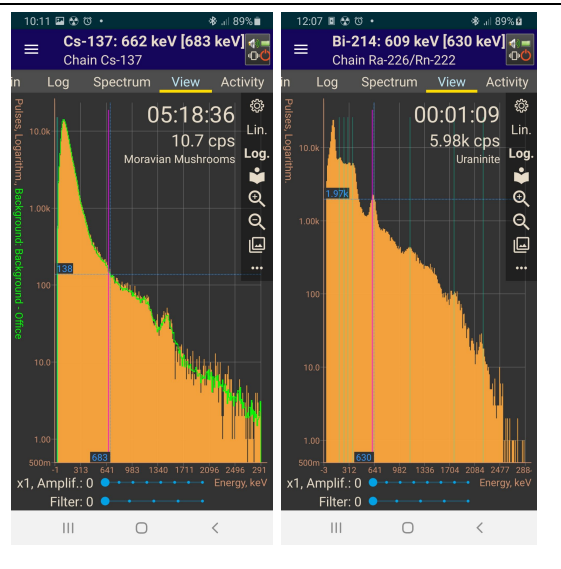
Obr.21 Spektrometrické detektory Rium - vlevo občanská varianta, vpravo Rium Pro

Výrobce bohužel pro svou řadu přístrojů pro veřejnost neposkytuje prakticky žádné technické specifikace. Přístroj Rium obsahuje scintilační detektor s konvenčním fotonásobičem, desku s elektronikou pro zpracování, ukládání (interní paměť) a odesílání dat na obslužné zařízení - smartphone / tablet s OS Android nebo Apple IOS. Občanská verze detektoru Rium je dodávána v dřevěném pouzdru o rozměrech 15,1 × 7,4 × 3,2 cm a váží 250 g. Varianta Rium PRO o podobných rozměrech 11,8 × 7,8 × 3,1 cm, a váže 190g podle dostupných fotografií zřejmě obsahuje stejnou detekční jednotku - zde výrobce udává scintilační detektor typu CsI:TI o rozměrech 50 × 6 × 6 mm. Podobně jako u Rium GM lze i data ze spektrometru Rium sdílet s uživateli v rámci sítě OpenRadiation. V databázi ale zatím žádná taková data nejsou a výrobce neposkytuje žádná data ani na ukázkou.

5.2 Spektrometr RadiaCode-101 (Rusko)

RadiaCode-101 je kapesní spektrometr ruské firmy Scan-Electronics. Přístroj je osazen krystalem Csl (Tl) o rozměrech 10 × 10 × 10 mm a křemíkovým fotonásobičem (SiPM). Spektrum má rozlišení 256 kanálů, výrobce udává schopnost detekovat záření gama, vysokoenergetické beta a rentgenové záření v energetickém rozsahu 0.05 - 3.0 MeV a dávkový příkon v rozsahu 0.1-1000 $\mu\text{Sv} / \text{h}$ – blíže viz [28].

K dispozici je režim měření dávkového příkonu nebo režim spektrometrie. Dávkový příkon dokáže přístroj zaznamenávat průběžně, s využitím GPS dat i zobrazit na mapě a vytvořit datový soubor pro další zpracování. Záznam spekter musí uživatel vyvolat ručně, spektrometrické mapování je dle výrobce otázkou software a přidání takové funkce do budoucna možné. Obrázek ukazuje zobrazení spekter v aplikaci pro Android telefony - obě spektra jsou zobrazena v logaritmické stupnici, první (na obrázku vlevo) je naměřený vzorek blíže nespecifikovaných hub (měřeno přes 5 hodin - na obrázku oranžově), zobrazení obsahuje pro porovnání i spektrum pozadí (na obrázku zeleně) z téhož místa, ale bez vzorku, měřeno přes 2 dny. Vpravo je ukázka spektra vzorku smolince (uraninitu) - je zvýrazněn pík radionuklidu Bi-214, což je dceřiný produkt rozpadu uranu U-238.

	
<p>Obr.22 RadiaCode-101 rozměry a konstrukce (zdroj: scan-electronics.com)</p>	<p>Obr.23 ukázka naměřených spekter v mobilní aplikaci (data: Bob Greenyer [28], Radek Zemánek [29])</p>

Spektra se ukládají ve standardním formátu XML - jejich další zpracování není problém, po drobné ruční úpravě lze načíst i do tabulkového procesoru typu LibreOffice Calc, nebo Microsoft Excel, případně je zpracovávat na míru vytvořeným software a zobrazovat například na webových stránkách.

5.3 Spektrometr RAYSID (Polsko)

Detektor RAYSID polské výroby (rozměry 57mm x 35mm x 16mm) obsahuje dle výrobce scintilační krystal CsI(Tl) o objemu 5cm³ - jde tedy o stejný scintilační materiál jako u předchozího spektrometru RadiaCode-101, ale 5x větší. Energetický rozsah udává výrobce 25keV-3MeV, nastavení kanálů spektra 200/600/1800, citlivost 15-25cps/0,10μSv/h. Stejně jako RadiaCode-101 umí i RAYSID mapování dávkového příkonu s využitím GPS dat z připojeného mobilního telefonu – blíže viz [30].

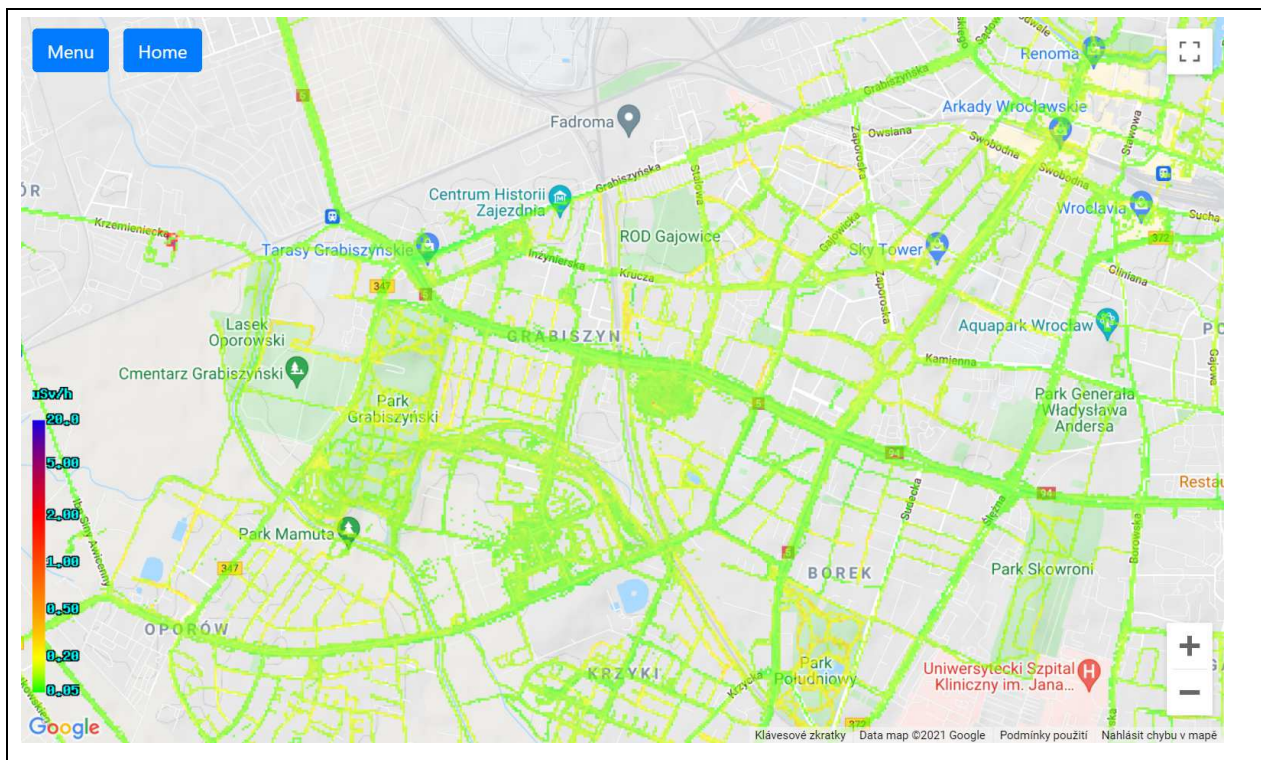


Obr.24a detektor RAYSID – rozměry a ukázka zobrazení dat (zdroj:www.raysid.com)



Obr.24b detektor RAYSID mapové zobrazení v aplikaci

K dispozici je také Raysid Map (raysid.com/map/) - mapové zobrazení podobné mapě SAFecast, na bázi podkladových map Google. Nicméně ze stránek výrobce není jasné, jakým způsobem probíhá nahrávání dat do mapy a zda je možné ho nějak ovlivnit. K datům samotným není proti SAFecastu přístup a proti RadiaCode-101 působí mobilní aplikace mnohem jednodušeji / méně propracovaně. Vzorky dat nebyly k dispozici.



Obr.25 detektor RAYSID - mapové zobrazení na webu

6 OBČANSKÁ MĚŘENÍ S VESTAVĚNÝMI SENZORY MOBILNÍCH TELEFONŮ

Princip činnosti

Digitální fotoaparáty mobilních telefonů jsou založeny na technologii CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor field effect tranzistor). Ta převádí světelné signály na signály elektrické, které jsou dále převedeny z analogových na digitální. Každý snímač se skládá z mnoha (až několika milionů) buněk snímače, které tvoří pixely. Každý pixel je p-n dioda (fotodioda) o velikosti pouze několika mikrometrů a je pokryta filtry červeného, zeleného a modrého světla. Pod filtry jsou umístěny fotodiody pro detekci světelných signálů a některé obvody s tranzistory CMOS zesilující elektrický signál generovaný fotodiodami. Snímače CMOS jsou ideální volbou pro digitální fotoaparáty v chytrých telefonech a tabletech díky nízké spotřebě energie a malým rozměrům, protože všechny elektronické obvody lze zabudovat do jednotlivých pixelů. CMOS se používají jako digitální senzory viditelného světla ve fotoaparátech chytrých telefonů, ale jsou citlivé i na fotony s vyšší energií.

CMOS kamery indikují záření gama pomocí fotoelektrického jevu a Comptonova rozptylu. Měření se provádějí v režimu videa s černou lepicí páskou na čočkách fotoaparátu, aby byl obraz chráněn před viditelným světlem. Interakce gama paprsků s čipy CMOS se jeví jako blikající světlé body na tmavém pozadí a lze je jasně pozorovat (viz obrázek níže). Po měření se video soubor převede na obrázky. Počet světlých bodů na všech snímcích se počítá pomocí speciálního softwaru. Software analyzuje signály produkované snímačem kamery se snímkovou frekvencí chytrého telefonu a sčítá počet detekovaných částic v po sobě jdoucích zvolených časových obdobích

Závislost dávkového příkonu a linearita odezvy vestavěných kamerových senzorů

Odezva kamerových detektorů je počet pixelů aktivovaných za časovou jednotku. Toto číslo je úměrné dávkovému příkonu záření. Linearita byla potvrzena několika autory (blíže viz [31] [32] [33] [34] [35]). Odezva se mezi vzorky smartphonů však značně liší [34]. Z tohoto důvodu výrobci poskytují kalibrační koeficient přizpůsobený pro jednotlivé modely smartphonů. Tyto koeficienty jsou obvykle dostupné na webových stránkách výrobce nebo jsou integrovány v aplikaci, ale ne všechny modely jsou pokryty a někteří výrobci přestali poskytovat nové kalibrační křivky.

Citlivost detektoru záření CMOS závisí spíše na kvalitě CMOS čipu a na jeho velikosti než na rozlišení obrazu nebo celkovém počtu obrazových pixelů [31]. Úrovně přírodního pozadí (z kosmického záření a terestriálního záření gama) byly experimentálně detekovány za cca 8 hodin až 1 den, úroveň 5 microGy/h byla detekována za cca 7 minut [35]. To znamená, že doba měření pro získání spolehlivého výsledku měření významně závisí na úrovni radiační expozice. Většina aplikací výrazně nadhodnocuje nebo podhodnocuje dávkový příkon nebo nejsou zkalibrovány z hlediska dávkového příkonu (citace Van Hoey et al. (2016)). Detektor má pochopitelně vlastní pozadí. V některých aplikacích pro chytré telefony lze měřit a ukládat do paměti šum senzoru a emise na pozadí a lze je odečítat od každého měření vzorku. Ne všechny aplikace však poskytují kompenzaci na pozadí.

Je třeba zmínit vliv viditelného světla na snímač fotoaparátu, neboť okolní světlo přispívá k falešné detekci záření. Např. v přítomnosti plného světla byly dávkové příkony záření 40 $\mu\text{Sv/h}$ systémem hlášeny jako 400 $\mu\text{Sv/h}$ [35]. Proto musí být čočka fotoaparátu důkladně překryta světlotěsnou černou páskou nebo kombinací pásky a hliníkové fólie. Kromě toho je umístění pásky na objektiv nepohodlné a může ohrozit optickou čočku fotoaparátu [36]. Jsou ovšem ve vývoji některé algoritmy pro měření ionizujícího záření v reálném čase bez nutnosti zakrytí čočky kamery (viz například [36] [37]).

Zmiňme jen některé mobilní aplikace využívající měření dávkového příkonu z vestavěného senzoru fotoaparátu:

- 1) Radioactivity Meter – Spit consult
<https://androidappsapk.co/detail-radioactivity-meter/>
- 2) RadSensor – Zhang Hong
<https://play.google.com/store/apps/details?id=cn.org.italian.app.radsensor&hl=it>
- 3) GammaPixLite
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ImageInsightInc.GammaPixLite&hl=es>
<https://www.abc.es/tecnologia/moviles-aplicaciones/20130817/abci-detecta-radiactividad-movil-201308171357.html>
- 4) RadioactivityCounter
<http://www.hotray-info.de/html/radioactivity.html>
- 5) Gamma Guard
<http://www.gammawatch.com/gammaguard-camera-detector-removal/>
- 6) MAKING SENSE (GAMMA SENSE)
<http://making-sense.eu/campaigns/gamma-sense/>

7 OBČANSKÁ MĚŘENÍ ŠTÍTNÉ ŽLÁZY A POTRAVIN

Občanská měření obsahu I131 ve štítné žláze, tj. „samo-měření“ prováděná občany, nebyla po haváriích JE hlášena.

V rámci evropského projektu CATHyMARA (Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident) (Monitorování štítné žlázy u dětí a dospělých po havárii reaktoru) [38] byla otestována řada detektorů dávkového příkonu pro možné terénní měření radioaktivního jódu ve štítné žláze osob po havárii v jaderné elektrárně. Byly provedeny i praktické zkoušky zahrnující fantom (figurínu) s vloženým zdrojem radiojodu odpovídající hodnotám ve štítné žláze v podobných situacích (zkušenosti z havárií v Černobylu a Fukušimě). V rámci projektu bylo uspořádáno srovnávací cvičení pro dospělé a měření štítné žlázy dětí nespektroskopickými přístroji [39].

Celkem se zúčastnilo 12 detekčních zařízení ze 7 evropských zemí. Hlavním závěrem tohoto vzájemného srovnání je prokázaná schopnost provádět hodnocení aktivity 131I ve štítné žláze exponované populace. Výsledky byly úspěšné pro měření na dětských a dospělých fantomech, což znamená uspokojivou úroveň připravenosti v Evropě. Byly prezentované kalibrační faktory pro některé nespektrometrické přístroje, které mohou sloužit pro laboratoře se stejným typem přístroje.

Mezi testovanými detektory byl i přístroj SAFECAST bGeigie Nano, jehož detektor se v dané kategorii občanských přístrojů ukázal být velmi dobře použitelný pro občanské měření aktivity 131I ve štítné žláze podle hodnot dávkového příkonu záření gama. S ohledem na srovnatelnou citlivost detektoru u nově vyvíjeného přístroje CzechRad se dá očekávat použitelnost na občanská měření radiojodu ve štítné žláze i u něj.

Podobně ani měření potravin prováděná přímo občany nebyla po haváriích JE zmiňována (pomineme-li zmíněný projekt Ethos v Bělorusku, kde to bylo prováděno za přístrojové pomoci francouzských vědců, nebo měření prováděná profesionály pro občany v terénu).

Na rozdíl od měření obsahu I131 ve štítné žláze, kde je citlivost detekce občanskými detektory dostatečná pro posouzení aktivity na úrovni referenčních hodnot ([40] [41] [42] [43]), je měření obsahu radionuklidů v potravinách pomocí dávkového příkonu záření gama na úrovni referenčních hodnot pro potraviny (hmotnostní aktivita Cs137 typicky 1000 Bq/kg) v běžných podmínkách prakticky nemožné, pokud máme na mysli měření bez stínění a malého vzorku potravy cca 1 kilogram. Důvodem je to, že přírodní

pozadí (kosmické záření a pozadí z horninového podloží) je v ČR běžně na úrovni 0,05 – 0,1 $\mu\text{Gv/h}$, a že dávkový příkon záření gama z potravin může dále ovlivnit přítomný draslík K-40. Příspěvky umělých radionuklidů, přítomných v potravinách v důsledku havárie, k dávkovému příkonu jsou poměrně malé. S pomocí postupů a dat uvedených v publikaci IAEA-TECDOC-1162 Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency byl proveden výpočet (konzervativní odhad) příspěvků dávkového příkonu od různých radionuklidů [44] [45] a např. 1 kg potravin kontaminované Cs,137 na úrovni 1 kBq/kg zvýší dávkový příkon ve vzdálenosti 0,1 m cca o 0,01 $\mu\text{Gy/h}$ - to na běžném přírodním pozadí není možné použitím pouze detektoru dávkového příkonu odlišit. Řešením je měření velkého množství potravin najednou, nebo minimálně v jednoduchém stínění. Občanské detektory jsou však dobře použitelné ke screeningu potravin kontaminovaných vyššími hodnotami umělých radionuklidů, typicky na úrovni desítek kBq/kg a vyšší.

8 SROVNÁVACÍ TABULKA DETEKTORŮ

Hodnotící ukazatele byly voleny z hlediska možné použitelnosti v ČR takto:

- poskytuje data mobilní / stacionární, (binární kritérium)
- jaká je otevřenost dat a možný přenos dat do národní databáze, (binární kritérium)
- robustnost detektoru a systému, (bodové hodnocení od nejnižší k nejvyšší 1- 5)
- zkušenost z implementace (bodové hodnocení od nejnižší k nejvyšší 1- 5)

Typ detektoru	data Mobilní / stacionární	Otevřenost dat a přenos dat do národní databáze	Robustnost detektoru a systému	Zkušenost z implementace
SAFECAST.ORG (JAPONSKO – USA)	A/A	5	5	5
OPENRADIATION (FRANCIE)	N/A	5	4	3
RADIOACTIVE@HOME, (POLSKO)	N/A	problematická	2	2
POLISMART, (FIRMA POLIMASTER, (LITVA)	A/A	neznámá / neuvedena	4	1
GAMMA SAPIENS (FIRMA GS ECOTEST) (UKRAJINA)	A/A	neznámá / neuvedena	4	1
DETEKTORY FIRMY NPP KB RADAR (RUSKO)	A/A	neznámá / neuvedena	4	1
MINERALAB (USA)	N/A	N	-	1

9 ZÁVĚR

Výzkum aktuálního stavu zařízení pro občanská měření ukázal řadu alternativ zařízení/aplikací pro měření dávkového příkonu v čase po trase, které jsou již mnohdy dostupné k prodeji. Také rozbor metodik z hlediska použitelnosti občanských měření v dalších oblastech (odhad obsahu I-131 ve štítné žláze, screeningové měření radioaktivity potravin) ukázal, že občanské detektory jsou ke screeningovým účelům použitelné. V ukládání dat z občanských měření a jejich zobrazení v mapových podkladech není dosud žádná standardizace.

Podstatné poznatky a závěry z výzkumu zejména z hlediska vývoje českého monitoru lze shrnout takto:

- a) Z hodnocení jednoznačně vyplývá, že nejvhodnější dlouhodobě osvědčená je koncepce SAFECAST. Jeví se jako propracovaný, robustní (s GM pancake), cenově přijatelný a funkční, navíc je již 10 let úspěšně implementován. Proto na obdobné platformě bude vybudován český systém CzechRad.
- b) vývoj funkčního vzorku a testovací série českého monitoru dávkového příkonu bude proto založen na GM detektoru ve tvaru pancake, s robustnějším provedením GM detektoru než dosavadní standard SAFECAST, a s přesnějším GPS senzorem.
- c) Vzhledem k tomu, že podle zkušeností SÚRO s několikaletým poskytováním přístrojů SAFECAST pro občanská měření v rámci projektu RAMESIS nemalá část uživatelů chce svá data před nahráním vidět a mít možnost případně i data z některé části měřené trasy odstranit, nepředpokládáme zavedení automatického on-line předávání dat z přístrojů CzechRad na centrální server.
- d) nepředpokládáme, že vývoj cenově dostupných gama-spektrometrů (Csl), pokročí tak, že v době řešení projektu bude možné mít pro veřejnost k dispozici tento přístroj ve větším počtu kusů.
- e) nepředpokládáme, že indikace dávkového příkonu pomocí CCD prvků v mobilních chytrých telefonech se speciálním software pokročí tak, že v době řešení projektu bude možné mít pro veřejnost k dispozici robustní řešení.

10 LITERATURA

- [1] Dubreuil G H, Lochard J et all. Chernobyl post-accident management: the ETHOS project. Health Phys 1999 Oct;77(4):361-72. doi: 10.1097/00004032-199910000-00003.
- [2] Beresford N.A , Voigt G et all : Self-help countermeasure strategies for populations living within contaminated areas of Belarus, Russia and Ukraine J Environ Radioact., 2001;56(1-2):215-39.
- [3] Lepicard S , Dubreuil G H. Practical improvement of the radiological quality of milk produced by peasant farmers in the territories of Belarus contaminated by the Chernobyl accident. The ETHOS project. J Environ Radioact 2001;56(1-2):241-53.
- [4] Kuča P, a kolektiv: Koncepce „Nové systémy modelování šíření radionuklidů vzdušnou cestou“. Souhrnná výzkumná zpráva k projektu TAČR THÉTA ID TK01010142, SÚRO Praha, 2020
- [5] Koc J, Kuča P, et all: Postupy (metodologie) využití výsledků občanských měření radiační situace v průběhu nehodové expoziční situace. Výzkumná zpráva projektu BV MV ID VH20172020006: Inovace havarijní připravenosti pro zajištění havarijní odezvy v časně a střední fázi radiační havárie jaderných zařízení, SÚRO Praha, 2020
- [6] <https://SAFECAST.org/about/>
- [7] www.SAFECAST.org/devices/
- [8] www.SAFECAST.org/map/
- [9] Validating Safecast data by comparisons to a U. S. Department of Energy Fukushima Prefecture aerial survey, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 171, May 2017, Pages 9-20
- [10] Safecast / bGeigieZen - GitHub <https://github.com/Safecast/bGeigieZen>
- [11] Pieter Franken, Safecast.org, email sdělení, 16. 5. 2021
- [12] Open High-Voltage Power Supply – GitHub <https://github.com/Safecast/open-hvps>
- [13] SAFECAST 10 – Live from Fukushima, Around the Globe <https://safecast.org/safecast10/>
- [14] SAFECAST-10 EVENT: “Read the Air” — Thu, April 22 18:00 JST, <https://safecast.org/2021/04/safecast-10-event-read-the-air-thu-april-22-1800-jst/>
- [15] M5Stack <https://m5stack.com/>
- [16] www.openradiation.org/
- [17] Download OpenRadiation dataset (raw data) <https://request.openradiation.net/download.html>
- [18] RiumGM - A Geiger counter in partnership with France's radioprotection and nuclear safety
- [19] www.radioactiveathome.org/
- [20] <http://www.polismart.com/>
- [21] Detektor Atom Simple - Дозиметр радиации Atom Simple для смартфона/планшета, СБМ-20 <https://kbradar.org/p68397049-dozimetr-radiatsii-atom.html>
- [22] <https://intersofteurasia.ru>
- [23] <https://www.ferra.ru/ru/games/news/2011/11/16/do-ra-Android/>
- [24] <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.dora.android>
- [25] www.ecotestgroup.com
- [26] <https://www.radiation-watch.co.uk/smartlab>
- [27] Y. Ishigaki, Y. Matsumoto, R. Ichimiya, and K. Tanaka, Development of mobile radiation monitoring system utilizing smartphone and its field tests in Fukushima, IEEE Sens. J. 13 (2013), pp. 3520–3526.
- [28] RadiaCode 101 - Sharing spectrum data And viewing it with free RadiaCode Android software Bob Greenyer, Martin Fleischmann Memorial Project, <https://remoteview.substack.com/p/radiacode-101-sharing-spectrum-data>
- [29] osobní sdělení (p. Radek Zemánek)
- [30] www.raysid.com

- [31] Sandy Tith, Nares Chankow, Measurement of Gamma-Rays Using Smartphones. Open Journal of Applied Sciences, 2016, 6, 31-37
- [32] Cogliati J.J., Derr K.W., Wharton J. Using CMOS Sensors in a Cellphone for Gamma Detection and Classification. arXiv. physics.ins-det. 2014. January 4,
- [33] Trompier F., Evaluation d'applications disponibles sur smartphones pour la mesure de la dose ambiante. Rapport PRP-HQM n.2013-08,
- [34] Van Hoey O., Alexia Salavrakos, Antonio Marques, Alexandre Nagao, Ruben Willems, Filip Vanhavere, Vanessa Cauwels and Luana F. Nascimento. Radiation dosimetry properties of Smartphone CMOS sensors. Radiation Protection Dosimetry (2016), Vol. 168, No. 3, pp. 314–321
- [35] Drukier et al, Low cost, pervasive detection of radiation threats, 2011 IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security (HST),
DOI: [10.1109/THS.2011.6107897](https://doi.org/10.1109/THS.2011.6107897),
<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/6095437/proceedings>
- [36] Qing-Yang Wei, Ru Bai, Zhen-Peng Wang, Ru-Tao Yao, Yu Gu, Tian-Tian Dai, Surveying ionizing radiations in real time using a smartphone. NUCL SCI TECH (2017) 28:70
- [37] Jochen K., Molz A., Gröber S., Frübis J. iRadioactivity — Possibilities and Limitations for Using Smartphones and Tablet PCs as Radioactive Counters. The Physics Teacher 52, 351 (2014)
- [38] Open Project for the European Radiation Research Area (OPERRA, 2017), “CaThyMARA” (Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident <http://www.melodi-online.eu/operra.html>)
- [39] Výzkumná souhrnná zpráva projektu: Testování nových systémů hromadného měření radiojódů ve štítné žláze po havárii jaderně energetického zařízení (ID VF20162016050), SÚRO Praha 2017
- [40] Mats Isaksson, David Broggio, et al : Assessing ¹³¹I in thyroid by non-spectroscopic instruments - A European intercomparison exercise. Radiation Measurements, Volume 128, September 2019, 106115, <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2019.04.018>
- [41] Fojtík P et al, Technical recommendations for thyroid dose rate measurements made by members of the public. Radiation Measurements, Volume 128, September 2019,
- [42] Broggio D, Baudé S. et al. Child and adult thyroid monitoring after a reactor accident (CATHyMARA): Technical recommendations and remaining gaps. Radiation Measurements, Volume 128, September 2019,
- [43] Review of applications and devices for citizen dose measurement, Report : Shamisen-Sings, EJP-CONCERT, European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection, Research, H2020 – 662287, 2018
- [44] Alessandri S. In the Field Feasibility of a Simple Method to Check for Radioactivity in Commodities and in the Environment. Version 1. PLoS Curr. 2017 May 30; 9: ecurrents.dis.07059b54a787dcfcf53ac46ab5a6a809
- [45] Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency. IAEA TECDOC No. 1162 <https://www.iaea.org/publications/5926/generic-procedures-for-assessment-and-response-during-a-radiological-emergency>