

		 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY
Příjemci: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. ENKI, o.p.s.		Poskytovatel: Ministerstvo vnitra - Česká republika

Projekt s názvem: **Strategie řízení nápravy území po radiační havárii**
s identifikačním kódem: VH20172020015

Název předkládaného výsledku:

Kritéria pro stanovení referenčních úrovní pro kategorizaci kontaminovaných odpadů vzniklých v rámci obnovy území pro potřeby jejich skladování a dočasného nebo trvalého uložení

.....

Typ výsledku dle UV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
(V_{souhrn}) Souhrnná výzkumná zpráva	56/2020	2020
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno
	bude vyvěšena na: https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/strategie-rizeni-napravy-uzemi-po-radiacni-havarii	Po odsouhlasení MV a SÚJB

Anotace výsledku:

Zpráva shrnuje podklady pro přípravu kritérií a referenčních úrovní pro kategorizaci kontaminovaných odpadů pro potřeby jejich shromažďování, třídění, zpracování, úpravy, skladování a ukládání v rámci existující expoziční situace (EES) a vzniklých při obnově území po radiační havárii.

V současné legislativě neexistují kritéria pro nakládání s radioaktivními odpady, které vzniknou v průběhu havárie a při obnově. Uvolňovací úrovně v legislativě uvedené jsou použitelné pro normální podmínky a jsou založeny na požadavku, aby riziko zdravotních následků z působení odpadů s extrémně nízkou úrovní aktivity bylo zanedbatelné.

V průběhu havárie a následně při obnově vznikne velké množství radioaktivního odpadu s velkým rozsahem vlastností, původu a aktivity, které zřejmě nebude možné zpracovat a uložit s využitím existujících prostředků a postupů. Pro ochranu obyvatelstva a životního prostředí před dodatečným ozářením je třeba nakládání s velkým množstvím odpadů řídit, včetně budování zařízení pro jejich zpracování, přepravu a provizorní a definitivní uložení.

.....

Manažer: Irena Češpírová

Řešitelský tým: Jiří Hůlka, Karol Feik, Irena Češpírová, Jitka Mikšová

.....

Obsah

I.	Úvod	3
II.	Pojmy, zkratky a definice	6
III.	Vznik odpadu při nápravě: východiska a základní činnosti	7
IV.	Očekávaná skladba objemů kontaminovaných hmot (odpadů) podle typů a původu ..	10
V.	Zemědělské odpady a jejich likvidace (plodiny).....	11
VI.	Zemědělské odpady a jejich likvidace (Kontaminovaná hospodářská zvířata).....	14
	VI.1 Možnosti likvidace masa v ČR	15
	VI.2 Možnosti likvidace mléka v ČR:.....	16
VII.	Radioaktivní odpady v intravilánu	16
VIII.	Shrnutí zkušeností a poznatků při nakládání s odpady při nápravě velkých radiačních havárií.....	19
IX.	Očekávané hodnoty měrných aktivit v kontaminovaných odpadech podle zón a oblastí pro návrh kritérií.....	21
X.	Nakládání s odpady, kritéria pro nakládání s odpady, referenční úrovně a dávky.....	27
XI.	Návrh zásad pro nakládání s radioaktivními odpady	28
	XI.1. Klasifikace odpadů podle charakteru	28
	XI.2. Klasifikace odpadů podle způsobu ukládání.....	29
	XI.3. Kritéria přijatelnosti pro ukládání pro normální podmínky	29
XII.	Návrh kritérií a referenčních úrovní	30
XIII.	Literatura	35
XIV.	Přílohy	46
	Příloha 2: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem (Černobyl)	48
	Příloha 3: Zkušenosti z nakládání s živočišnými odpady	51
	Příloha 4: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem po RH v Goianii	54
	Příloha 5: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem „Nordic countries“	55
	Příloha 6: Současný stav skládek a úložišť v ČR.....	57
	Příloha 7: Spalovny radioaktivního materiálu.....	70

I. Úvod

Zpráva shrnuje podklady pro přípravu kritérií a referenčních úrovní pro kategorizaci kontaminovaných odpadů pro potřeby jejich shromažďování, třídění, zpracování, úpravy, skladování a ukládání v rámci existující expoziční situace (EES) a vzniklých při obnově území po radiační havárii. Nezabývá se přímými odpady z havarované jaderné elektrárny. V současné legislativě neexistují zatím kritéria pro nakládání s radioaktivními odpady, např. typu kontaminovaná biomasa, které vzniknou v průběhu havárie a při obnově. Uvolňovací úrovně v legislativě uvedené jsou použitelné pro normální podmínky a jsou založeny na požadavku, aby riziko zdravotních následků z působení odpadů s extrémně nízkou úrovní aktivity bylo zanedbatelné. Jediný krátký text je v Konceptu¹ nakládání s RAO.

V průběhu havárie a následně při obnově vznikne ovšem velké množství radioaktivního odpadu s velkým rozsahem vlastností, původu a aktivity, které zřejmě nebude možné zpracovat a uložit s využitím existujících prostředků a postupů, skládek a úložišť. Jen pro úplnost: problém radioaktivních odpadů vznikne samozřejmě pouze v případě takové skladby radioizotopů, kdy dojde kromě úniku do životního prostředí nejen radioaktivních vzácných plynů, ale i k významnému úniku dalších skupin radioizotopů, zejména skupiny radioizotopů jodu a teluru s poměrně krátkými poločasy hodin a dnů (klíčovou roli z hlediska kontaminace životního prostředí má ¹³¹I) a dále k úniku radionuklidů s delšími poločasy řádů až desítky let, zejména ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs (částečně zpravidla o řád méně ⁹⁰Sr). Z hlediska dopadu na ŽP a člověka by měly menší význam střednědobé izotopy (např. ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru+¹⁰⁶Rh, ¹⁴⁴Ce+¹⁴⁴Pr apod.) a v okolí JE zpravidla i transuranů ^{238,239,240}Pu. Z hlediska odpadů jsou problémem především dlouhodobé radioizotopy ¹³⁷Cs (méně významné ¹³⁴Cs) a částečně zpravidla o řád méně ⁹⁰Sr. Problematické mohou být též transurany (izotopy plutonia a americia), které by se mohly vyskytovat v okolí havarované JE.

Pro ochranu obyvatelstva a životního prostředí před dodatečným ozářením je třeba nakládání s velkým množstvím odpadů řídit a regulovat, budovat zařízení pro jejich zpracování, přepravu a provizorní nebo konečné uložení. Uvolňovací úrovně stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb. pro uvolňování radioaktivních látek z pracovišť, které vycházejí z odpovídajících scénářů a efektivní dávky 10 μSv/rok pro obyvatelstvo, nejsou použitelné

¹ Koncepte nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice (schválená 26. srpna 2019 usnesením vlády České republiky č. 597/2019) „V případech radiační havárie, kdy únik radioaktivních látek zasáhne do okolí, bude o způsobech zneškodnění radioaktivní kontaminace rozhodnuto v rámci činnosti organizace havarijní odezvy v souladu s havarijním plánem jaderného zařízení. I v tomto případě budou radioaktivní odpady upravovány tak, aby splnily podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť radioaktivních odpadů. Stávající technologie pro úpravu a zpracování RAO jsou schopny zpracovat předvídatelné množství RAO z radiační havárie. Ve specifických případech, kdy to bude technologicky opodstatněné, lze uvažovat o možnostech zřízení deponií/skládek kontaminovaného materiálu. Pokud bude zpracovaný RAO splňovat podmínky přijatelnosti pro jednotlivá úložiště, bude možné ho uložit. Úložiště Dukovany bylo ke konci roku 2016 zaplněno z 21 % a v nadcházejících desetiletích zde bude vždy dostatečná volná kapacita. Pokud nastane situace, kdy RAO nesplní podmínky přijatelnosti do stávajících ÚRAO, budou skladovány v jaderném zařízení a uloženy později v HÚ“.

pro odpady kontaminované v důsledku RH (např. uvolňovací úroveň 100 Bq/kg pro ^{137}Cs je nižší než referenční hodnota pro potraviny po RH) a je tedy třeba vytvořit specifický přístup zacházení s radioaktivními odpady v případě RH. Při obnově území v rámci EES, kdy např. v zóně s kontrolovaným pobytem mohou být roční efektivní dávky až 20 mSv, je třeba počítat s vyššími referenčními úrovněmi pro ukládání odpadů. Jako základní referenční úroveň roční efektivní dávky reprezentativní osobě ze shromažďování, třídění, zpracování, úpravy, skladování a ukládání odpadů po RH může být použita hodnota 1 mSv. Na základě této hodnoty jsou navrženy referenční úrovně hmotnostních aktivit pro nakládání s různými typy odpadů po RH a kritéria pro jejich kategorizaci. Součástí strategie nakládání s radioaktivními odpady jsou i kritéria pro kategorizaci odpadů například podle místa vzniku, aktivity, typu (půda, tráva, listí, větve, povrchové usazeniny, trosky, a jiné) a původu (kontaminované spadem, z dekontaminace, z demolice budov, a jiné). Pro všechny fáze nakládání s odpady jsou potřebná kritéria, typicky pro třídění odpadů podle druhu, aktivity a způsobu zpracování, pro provizorní uskladnění, dočasné uložení a definitivní uložení.

V procesu rozhodování o nápravě (obnově), která je doprovázena vznikem odpadů se musí vzít do úvahy více faktorů, protože každá lokalita má své charakteristiky. Nejdůležitější je ztotožnit se s tím, že činnosti při nápravě musí být zdůvodněny a optimalizovány, to znamená, že musí mít větší užitek než případné škody. Konečné rozhodnutí o nápravě je vždy založeno na vyváženosti mezi rizikem, náklady, přínosem a možnostmi nápravy. Při rozhodování o nápravě se musí zvažovat faktory technické, ekonomické i sociální, včetně přijatelnosti pro obyvatele. Typicky to jsou:

- Radiologické riziko při užívání území, které je odvozeno od ohodnocení ozáření osob z radioaktivních materiálů nacházejících se na území.
- Profesionální ozáření osob podílejících se na nápravě.
- Čistý přínos nápravy pro dotčené obyvatele
- Tvorba radioaktivních odpadů při nápravě, jejich množství a vlastnosti.
- Etické problémy, protože náprava vždy ovlivňuje způsob života obyvatelů v daném území.
- Finanční náklady na nápravu jsou obecně vysoké, proto musí být jasné zdroje financování
- Jiná než radiologická rizika. Území mohou být kontaminovány nejenom radioaktivními látkami, ale také jinými škodlivinami - například těžkými kovy nebo škodlivými chemikáliemi.

Kritéria pro nakládání s odpady vycházejí z jejich roztřídění podle místa vzniku, aktivity a typu. Je nutné posoudit jednotlivé kroky nakládání s odpady (shromažďování, třídění, zpracování, úprava, skladování a ukládání) a odpovídající ozáření osob provádějících tyto činnosti. Dále je třeba uvážit přístupnost vymezených zón dle NRHP (nebezpečná zóna, zóna s omezeným přístupem a zóna s kontrolovaným pobytem), např. nebezpečná zóna bude nepřístupná pro obyvatelstvo, ale právě zde se předpokládá skladování odpadů s vyšší aktivitou a tedy vstup pracovníků nakládajících s odpady. Kromě sledování časové náročnosti vykonávaných činností a osobních dávek pracovníků je třeba vzít v úvahu také možné ozáření z budoucího vstupu pracovníků při kontrole skládek nebo dalším zpracování odpadů. V zóně s kontrolovaným pobytem je třeba počítat s další klasifikací a členěním území na oblasti

s cílem optimalizovat nakládání s odpady a obdržené dávky s tím spojené. Je třeba zvažovat nejenom radiační parametry, ale také ostatní charakteristiky odpadů a provádět s tím související bezpečnostní analýzy podle průběžných zkušeností, a to včetně socioekonomického dopadu.

Klasifikace odpadů a následné nakládání s nimi jsou výsledkem iterativního procesu, ve kterém jsou respektovány všechny dostupné požadavky radiační ochrany, poznatky o odpadech a zkušenosti z dosavadních závažných RH.

V rámci procesu nakládání s odpady ve shodě s celkovou strategií nápravy je třeba

- soustředit všechny dostupné předběžné údaje o odpadech a jejich objemech;
- určit technicky možné a dostupné způsoby nakládání s odpady; využít existujících zkušeností a dostupných technických prostředků systému nakládání s odpady, včetně požadavků na bezpečnost, způsoby ukládání a systém klasifikace;
- provést bezpečnostní analýzy, především pro nejrizikovější odpady a nedostatečně charakterizované odpady; průběžně upřesňovat údaje pro třídění odpadů, zejména nejrizikovější, upřesňovat požadavky na bezpečnostní analýzy, způsoby ukládání a klasifikaci odpadů².

Při klasifikaci a postupech nakládání s odpady je třeba, kromě aktivity radionuklidů v odpadech, uvážit různý přístup podle vymezených zón v souladu s NRHP (nebezpečná zóna; zóna s omezeným přístupem a zóna s kontrolovaným pobytem, která je dále členěna na oblasti I, II, III) a podle typu užívání kontaminovaných území:

- obydlená území (intravilán obcí, obytné, průmyslové a rekreační oblasti), kde je třeba řešit kontaminované odpady typu materiály staveb a silnic, včetně trosk po demolici, lokální zeleň a půdu, dopravní prostředky, nářadí a nástroje, předměty denní potřeby, odpady z čističek vod a odpady z dekontaminace (samostatným problémem jsou v této oblasti kapalně odpady vzniklé po provedené dekontaminaci – dekontaminační roztoky a kontaminovaná voda);
- zemědělsky využívaná území, zejména půda, zatravněné plochy, zemědělské organické materiály (rostliny, hospodářská zvířata a jejich produkty);
- lesy, zejména dřevo, lesní půda, opadané listy, kůra, lesní podrost apod.;
- vodní systémy, vodní plochy a toky, sedimenty a biota.

² speciálním případem je např. riziko produkce plynů ze zemědělských odpadů (hromadění metanu v uzavřených v plastových vacích) a jejich hrozící exploze

II. Pojmy, zkratky a definice

EES	Existující expoziční situace
JE	Jaderná elektrárna
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
NES	Nehodová expoziční situace
NRHP	Národní radiační havarijní plán
PES	Plánovaná expoziční situace
RAO	Radioaktivní odpad
RH	Radiační havárie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.
ŽP	Životní prostředí

Kritérium přijatelnosti

Bezpečnostní, technická nebo administrativní podmínka nebo mez veličin určující jejich přijatelnost z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události nebo zabezpečení.

Kritéria přijatelnosti radioaktivního odpadu definují radiologické, mechanické, fyzikální, chemické a biologické vlastnosti zabalených nebo nezabalených odpadů, které mají být zpracovány, skladovány nebo uloženy. Kritéria přijatelnosti mohou například stanovovat omezení buď celkové aktivity nebo koncentraci, nebo produkované teplo, formu či obal.

Referenční úroveň

Úroveň ozáření nebo rizika ozáření v nehodové expoziční situaci (NES) nebo v existující expoziční situaci (EES), kterou je nežádoucí překročit; snížením úrovně ozáření nebo rizika ozáření na referenční úroveň nelze mít optimalizaci radiační ochrany za docílenou.

Skladování (Storage)

Předem časově omezené umístění radioaktivního odpadu do prostoru, objektu nebo zařízení s úmyslem jej znovu vyjmout.

Ukládání (Disposal)

Trvalé umístění radioaktivního odpadu do prostoru, objektu nebo zařízení bez úmyslu jej vyjmout.

III. Vznik odpadu při nápravě: východiska a základní činnosti

Typ kontaminovaného odpadu závisí na charakteru území, ze kterého odpad pochází:

a) Obydlená území – obytné a komerční budovy, průmyslové a rekreační zóny

- materiály staveb a silnic,
- dopravní prostředky,
- nářadí a nástroje,
- předměty denní potřeby,
- trosky po demolici nebo destrukci budov,
- části kovových konstrukcí

b) Zemědělsky využívaná území (města i venkov) – zejména

- půda,
- zatravněné plochy
- zemědělské organické materiály (rostliny, zvířata a jejich produkty)

c) Lesy – opadané listy, dřevo, kůra, půda

d) Vodní systémy (vodní plochy a toky)

Orientační přehled vzniku odpadů dle zkušeností po havárii JE Fukušima je v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled vzniku odpadů při dekontaminaci

Cílová sanace	Metody dekontaminace
Domy a budovy	- Odstranění usazenin ze střechy, paluby a okapů ev. demolice - Stírání střech a stěn - Vakuové broušení - Vysokotlaké mytí
Školní pozemky, zahrady a parky	- Odstraňování ornice, plevele, trávy, pastvin
Silnice, chodníky	- Vysokotlaké mytí - Odstranění usazenin v příkopech
Zahrady a stromy	- Sekání - Odstranění padlých listů - Odstranění ornice - Vysokotlaké mytí - čištění povrchů stromů
Zemědělská půda	- Odstranění ornice - Zpevnění a odstranění půdy - Zpracování půdy (např. zvýšená aplikace hnojiv) - Odstranění rostlin
Živočišná výroba	- Kontrola hladin radiocézia v krmivech pro zvířata - Likvidace zvířat
Lesy	- Odstranění padlých listů, jehličí, větví, prořezávání

Samostatným problémem jsou kapalné odpady - dekontaminační roztoky a kontaminovaná voda.

Každé rozhodnutí o dekontaminaci postiženého území musí být založeno na hodnocení dopadů vznikajících odpadů na obyvatelstvo, charakter životního prostředí a způsob ukládání těchto odpadů. Do hodnocení je zahrnut odhad aktivity, množství

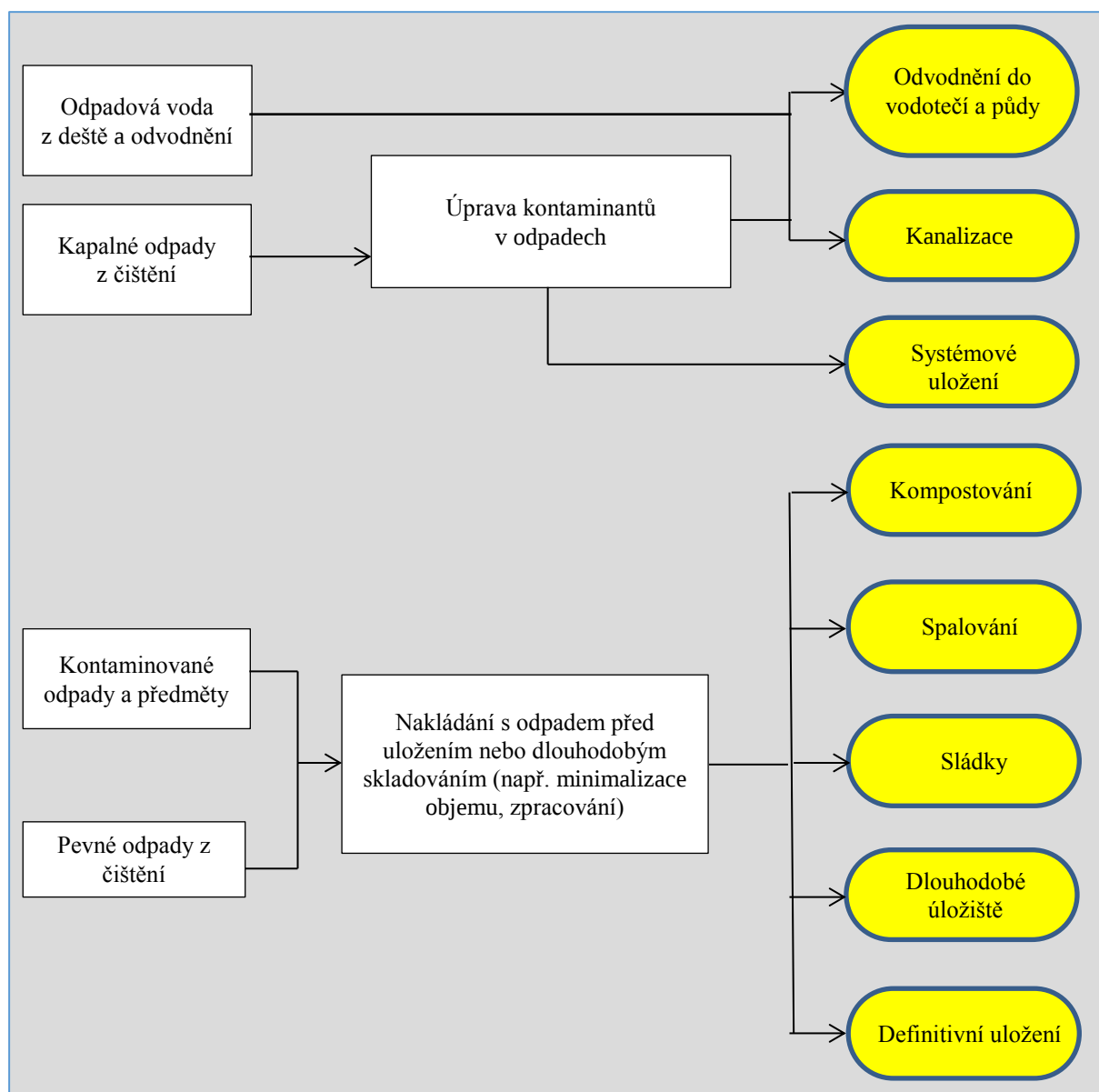
vytvořených odpadů, odhad dávek osob pracujících s odpady a dávky z uložení nebo uskladnění na obyvatelstvo.

Při nápravě území postiženém radiační havárií vznikne odpad, jehož aktivita je větší, než jsou uvolňovací úrovně pro odpad z pracovišť. Důležité je, aby vzniklé odpady byly tříděny podle druhu (charakteru) a úrovně aktivity a takto byly i navzájem separovány. Je výhodnější mít menší množství středněaktivního odpadu, než velké množství nízkoaktivního. V každém případě je potřeba množství a charakteristiku odpadů hodnotit ještě před samotnou dekontaminací. Jestliže při dekontaminaci vzniká velké množství odpadů, je potřebné před jejich uložením snížit objem, nebo přepracovat je do jiné formy.

Možnosti uložení

Hlavními aspekty pro ukládání radioaktivních odpadů jsou:

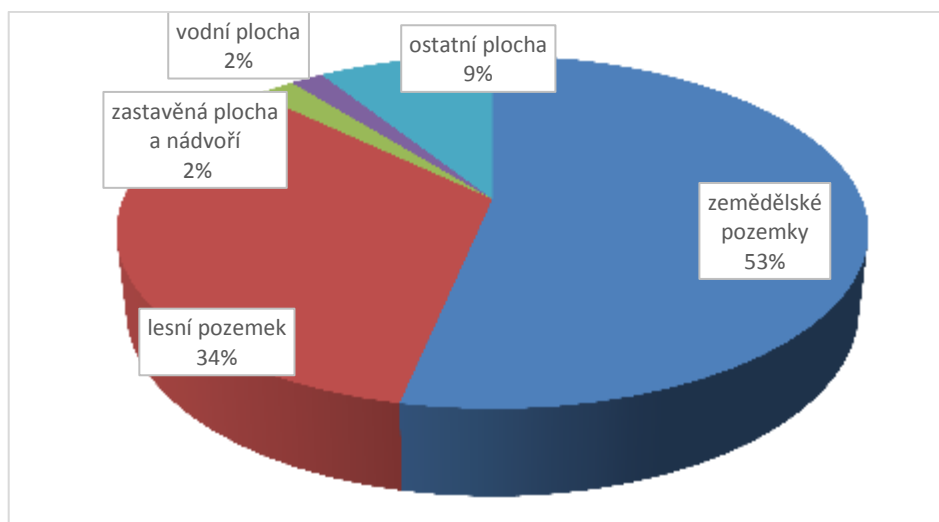
- a) Stáří – jestliže odpady obsahují krátkodobé radionuklidy, je obvykle nejvhodnější jejich dočasné skladování
- b) Izolace – odpady musí být uloženy izolované od okolí
- c) Ředění – není obvykle přijatelné.



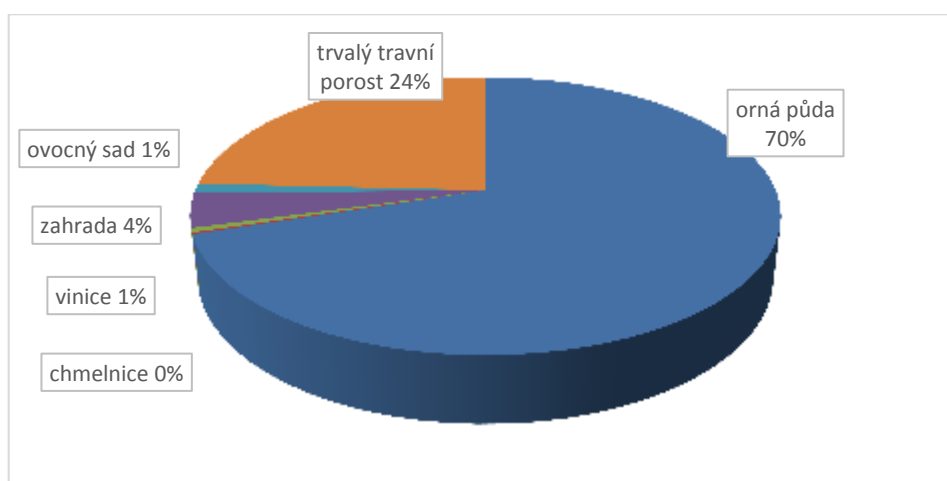
Obrázek 1.: Přehled způsobů nakládání s kapalnými a pevnými radioaktivními odpady [13]

IV. Očekávaná skladba objemů kontaminovaných hmot (odpadů) podle typů a původu

Základní představu o očekávaných objemech vzniklých odpadů si lze udělat z podílu ploch jednotlivých pozemků (viz obrázky 2 a 3).



Obrázek 2: Podíl zemědělských a nezemědělských pozemků (stav k 31.12.2019)



Obrázek 3: Rozčlenění zemědělských pozemků (stav k 31. 12. 2019)

Na očekávané objemy vzniklých odpadů ukazují podíly ploch jednotlivých pozemků v České republice. V objemech odpadů zcela dominují zemědělské (53 %) a lesní pozemky (34 %), ze zemědělských pak orná půda (70 %) a trvalý travní porost (24 %). Kontaminace zemědělských ploch představuje z hlediska vzniku kontaminovaných odpadů po RH naprosto dominantní problém³. Proto je odpadům v zemědělství věnována hlavní pozornost.

Na množství a způsob nakládání s odpady v zemědělství má zcela zásadní vliv, zda k RH došlo ve vegetační sezóně nebo mimo ní. V případě radioaktivního spadu během vegetační sezony dojde k velké povrchové kontaminaci nadzemní části rostlin, část

³ např. v zóně havarijního plánování JE Temelín se odhaduje cca 700 tisíc tun zemědělských plodin [9]

kontaminantu propadá na půdu. Poměr kontaminace rostlin k celkové plošné kontaminaci je dán faktorem intercepce [45]. Kontaminace deponovaná na půdě, přestupuje do rostlin kořenovým systémem částečně již v prvním roce RH, zejména však v dalších letech. Při růstu rostlin dochází ke snižování hmotnostní kontaminace v důsledku nárůstu hmoty rostlin, popřípadě i k transpozici radioaktivity do jiných částí rostlin. Povrchová kontaminace rostlin ze spadu má o několik řádů vyšší podíl na celkové kontaminaci rostliny, než následek kořenového přestupu radionuklidu z půdy. Podobná situace je v lesích a sadech, kde velká část kontaminace je na listech a jehličích.

Kontaminace masa a mléka hospodářských zvířat [46] (hmotnostní nebo objemová aktivita) je řádově podobná kontaminaci krmiv a plodin, z hlediska objemu odpadů představuje však o několik řádů méně významný problém než rostliny.

Kontaminace vodních toků a nádrží je díky ředění a usazení radionuklidů v sedimentech z hlediska odpadů podstatně menší problém, než zemědělské odpady [49].

Samostatným tématem je odpad z kontaminace a dekontaminace částí intravilánu obcí (povrchy budov, silnic, zahrad, předmětů, komunální odpad apod.) vznikající při čištění ev. demolicích. Kontaminace zeleně bude v obdobných hodnotách jako v zemědělství a byla pro konkrétní situaci jižních Čech řešena podrobně v [49]. Povrchová kontaminace budov, komunikací, předmětů odpovídá hodnotě spadu. Hmotnostní aktivity vznikajícího odpadu odpovídají přepočtu z plochy na hmotu likvidovaného předmětu. V případě dekontaminace povrchu je aktivita v odpadu dána plošnou kontaminací předmětu a hmotou vzniklého odpadu (obroušením, oplachem apod.). Ve srovnání s odpady v zemědělství představují odpady z intravilánu problém mnohem menšího rozsahu.

Některé způsoby dekontaminace v intravilánu (např. tlakové mytí) generují tekuté odpady s velkými objemy kontaminované odpadní vody. Shromažďování odpadních vod v intravilánu může být obtížné, a pokud nebude možné zavést čištění dekontaminačních vod (odpadních vod), může být nevyhnutelné jejich vypouštění do kanalizace. Procesy prováděné v čistírnách odpadních vod odstraní radioaktivní materiál z vody a zároveň zvýší koncentraci ve filtrech a kalech v čističkách. Koncentraci radionuklidů v kalu z čističek a nakládání s tímto kalem je třeba věnovat zvláštní pozornost.

V. Zemědělské odpady a jejich likvidace (plodiny)

Postup pro rychlý odhad množství a distribuce nadzemní biomasy vegetace (plodin) na zemědělsky obhospodařovaných pozemcích a odhad rozdělení depozice radioaktivního materiálu mezi porost a povrch půdy v případě radiační kontaminace je v ČR připraven [45]. Zde pouze uvádíme klíčové informace pro souvislost s postupy a kritérii pro odpady. Na základě znalosti plošné kontaminace zjištěné z modelu, leteckých či pozemních měření bude možné navrhnout opatření pro snížení kontaminace na zemědělských pozemcích a objem odpadů již v rané fázi případné radiační havárie. Metodika je založena na výpočtu plošné kontaminace pomocí softwaru SARCA [45] pracující s příslušnými podklady a vrstvami v prostředí GIS. Výpočet zahrnuje intercepční faktor pro každou plodinu a časové období, otázku atmosférických srážek, je tedy umožněn výpočet jak suché, tak i mokré depozice daného radionuklidu. Metodika odhadu úrovně kontaminace je obecná pro podmínky ČR, není tedy vázána na konkrétní specifickou oblast [49]. Předpokládá se proto využití obecně

dostupných podkladů z kteréhokoliv území. Důležitým podkladem potřebným pro výpočet množství biomasy plodin a distribuce radioaktivního kontaminantu mezi porost a půdu je výměra a rozmístění zemědělských pozemků v dotčené oblasti. Nejkomplexnější dostupná data v tomto směru obsahuje centrální databáze evidence půdy na úrovni jednotlivých farmářských bloků - databáze LPIS (LPIS MZe). Jedná se o GIS (geografický informační systém) databázi pod správou Ministerstva zemědělství ČR. V programu SARCA jsou základní možnosti nápravy kontaminovaného krajinného krytu spočívající v likvidaci plodin, potravin, krmiv rostlinného původu, které nejsou použitelné pro konzumaci ani pro krmiva, nemohou být využity jinak než pro nepotravinářské účely, nebo odstranění půd apod. Postup je zaměřen na kontaminaci dlouhodobými radionuklidy (zejména $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$). V případě kontaminace krátkodobými radionuklidy (jejímž hlavním představitelem je ^{131}I s poločasem přeměny 8 dní) se dá problém nápravy, resp. likvidace „odpadu“, řešit např. odložením sklizně, tedy obecně vyčkáním na snížení obsahu ^{131}I radioaktivní přeměnou.

Při rozhodování o nápravě, zejména v případě alternativy odstranění a odvozu plodin nebo půd na speciální místo (skládku), třeba uvážit rozsah havárie a s tím související objem odpadů. Při havárii doprovázené kontaminací pouze malých ploch na úrovni maximálně jednotek ha nebo km^2 lze uvažovat o uložení na speciálních skládkách (eventuálně komunálních - ty jsou však již dnes téměř zaplněny (příloha 7). Při rozsáhlé havárii nelze o uložení na existujících skládkách vzhledem k jejich kapacitě uvažovat vůbec, a musí se najít řešení jejich uložení v běžném prostředí. Dosavadní zkušenosti z havárií jaderných elektráren ve Fukušimě a Černobyli ukazují, že následná likvidace této biomasy je ekonomicky a logisticky velmi nákladná. Vysoký obsah vody v rostlinné biomase limituje její uskladnění a následnou likvidaci např. spalováním. V konečném důsledku to může znamenat omezení až zastavení zemědělské činnosti na delší dobu s následnými negativními sociálně ekonomickými dopady v regionu.

Inovativním řešením je využití bioplynové stanice [47]. Česká republika má dlouhodobou tradici ve zpracování biomasy v bioplynových stanicích. V současnosti jich je v provozu přes 500 a ročně zpracovávají miliony tun cíleně pěstované nebo odpadní biomasy. Například v Jihočeském kraji je takových stanic 39 a některé v okolí jaderné elektrárny Temelín.

Bioplynová stanice slouží k produkci bioplynu, který vzniká při mikrobiálním rozkladu organické hmoty v bezkyslíkatém prostředí. Druhým produktem při výrobě bioplynu je digestát tvořený hlavně nerozloženými zbytky zpracovávané biomasy. Výroba bioplynu v bioplynových stanicích je kontinuální proces, který může být udržován léta bez přerušení. Provoz je vysoce automatizován, umožňuje dálkové řízení a vyžaduje minimum času pro přímou přítomnost obsluhy. Provozní (sledování reziduálního ^{137}Cs) i laboratorní experimenty (s umělou kontaminací ^{134}Cs) a výpočty potvrdily možnost využitelnosti bioplynových stanic ke zpracování radiačně kontaminované biomasy. Technologické modifikace jsou potřebné zejména v organizačně technických opatřeních k ochraně personálu. Analýzy a model radiačního pole potvrzují, že lze dosáhnout takové úrovně ochrany obsluhy, že nehrozí žádná významná zdravotní rizika.

Hlavními výhodami této technologie jsou:

- relativně rychlá konzervace a uskladnění velkého množství biomasy v silážních žlabech bioplynových stanic;

- významná redukce množství organické hmoty při zpracování radiačně kontaminované biomasy v bioplynových stanicích na bioplyn a digestát;
- bezpečné použití vznikajícího bioplynu k výrobě elektrické energie, tepla nebo biometanu a tím, díky příjmům z prodeje těchto energií vyrobených z kontaminované biomasy, i snížení nákladů na likvidaci odpadů;
- možnost využití elektrické energie a tepla vyrobených z bioplynu k výrazné redukci objemu a hmotnosti digestátu tzn. frakce, do které přechází kontaminace z biomasy a
- zachování zemědělské činnosti v kontaminované lokalitě.

V bioplynové stanici dojde ke koncentraci aktivity do digestátu. Ten je možné dále sušit ev. po vysušení spálit ve spalovnách (toto však není v ČR zatím dořešeno – viz příloha). Pro likvidaci koncentrovaného odpadu v digestátu platí stejná kritéria jako pro tekutý odpad.

V případě havárie a následné kontaminace ve vegetační sezoně platí obecně totéž co mimo sezonu, s několika specifiky navíc, těmi jsou zejména možnost

- odstranění povrchově kontaminované biomasy (odvoz);
- zaorání kontaminované biomasy a
- shrnutí zeminy, vč. pokryvu biomasou.

V případě, že je potřeba uvažovat o sklizni biomasy zasažené kontaminací a odpadech, je potřeba počítat s různým stádiem vegetačního cyklu (fenofáze) u jednotlivých plodin v době kontaminace. Stádium vegetačního cyklu není závislé jenom na dni v roce, ale i na klimatických podmínkách, aktuálních i v období před kontaminací (průběh teplot, velikost srážek, doba slunečního svitu apod.). To vše se může projevit na úrovni kontaminace a jejím rozdělení mezi kontaminaci plodin (vegetačního krytu) a kontaminaci povrchu půdy. Z toho vyplývá, že před vlastní sklizní je potřeba posoudit aktuální podmínky a stav plodin, odhadnout úroveň jejich kontaminace a následně rozhodnout o tom, které plochy a plodiny se budou sklízet, kdy a jakým způsobem. Období kontaminace tedy může rozhodujícím způsobem ovlivnit logistiku následných opatření za účelem snížení kontaminace zemědělské půdy obecně a objem odpadů.

Logistika rozhodování o zásazích spojených se sklizní nadzemní biomasy zahrnuje:

- identifikaci kontaminovaných plodin (porostů), jejich stavu a podmínek prostředí (meteo - situace, vlhkost půdy apod.);
- kvantifikaci aktuálního množství biomasy jednotlivých druhů plodin (porostů) pěstovaných na zemědělské půdě a úroveň jejich kontaminace;
- návrh technologií sklizně pro jednotlivé plodiny a pozemky;
- analýzu kapacit (technika, doprava, technologické linky, skladování...) a
- návrh způsobu dalšího nakládání s biomasou.

Podrobnosti ke vzniku odpadů při nápravě (např. podle typu opatření: odstranění půdy, seřiznutí pokud možno tenké vrstvy půdy (jednotky cm) a následné uložení, odstranění kontaminované sněhové pokrývky, zaorání, odstranění biomasy s uložením nebo dalším zpracováním, sklizeň, skládkování, kompostování a uložení, silážování a senážování, anaerobní fermentace, spalování, fytořemediace, hnojení ke snížení přestupu do rostlin, cílené

zalesnění, změna pěstování plodin (např. na technické plodiny nebo plodiny s nízkým přestupovým koeficientem i alternativa nechat ladem) jsou podrobně popsány v Doporučení [48]

VI. Zemědělské odpady a jejich likvidace (Kontaminovaná hospodářská zvířata)

Na území s takovou mírou kontaminace, že v něm nebude možný běžný pobyt osob (ukrytí/evakuace osob), vznikne patrně významný organizační problém s hospodářskými zvířaty a jejich živočišnými produkty. Ukrytí/evakuace obyvatelstva (byť krátkodobě) znamená, že nebude k dispozici obsluha hospodářských zvířat, která by zajistila krmení, dojení a další potřebné úkony. I kdyby předúniková fáze byla dostatečně dlouhá (desítky hodin, dny), nepředpokládá se, že bude dostatek času na odvoz zvířat mimo očekávanou plochu kontaminace (toto není připraveno kapacitně, lidskými zdroji, finančně). Otázkou by také bylo, jak zvířata převést a kam. Zde i na území, kde bude pobyt osob možný (byť i dočasný, může však dojít následně k přesídlení), mohou být potraviny a zvířata kontaminována tak, že s vysokou pravděpodobností přesáhnou nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace. Maso a ostatní živočišné produkty, získané ze zvířat pocházejících z oblasti kontaminované při radiační mimořádné události může být uvolněno pro zásobování jen po stanovení obsahu radioaktivních prvků v nich. Pro uvedení potraviny živočišného původu na trh jsou rozhodujícími hodnotami nejvyšší přípustné hodnoty radioaktivní kontaminace potravin pro radiační mimořádnou situaci. Pokud by výše uvedené hodnoty byly překročeny a pokud není možné použít některé z opatření pro snížení obsahu radionuklidu ve zvířatech anebo v živočišných produktech (např. odloženou porážkou, krmením nekontaminovaným krmivem, přidáváním látek, které vedou k snížení kontaminace nebo jiným opatřením do krmiva), je nutno po uvážení všech ekonomických, sociálních a etických hledisek zvířata anebo produkty zlikvidovat⁴. Předpokládá se přitom, že tyto produkty budou spotřebiteli ze strachu odmítnuty, i když nebudou mít zvýšený obsah radioaktivních látek.

Z hlediska možné likvidace kontaminovaných zvířat, resp. jejich produktů (např. z důvodu, že je není možné uvést na trh/do spotřeby) byly pro ČR uvažovány následující kritické oblasti a okruhy:

- Hospodářská zvířata (vč. domácích hospodářských zvířat) - z hlediska počtu je důležité řešit hovězí dobytek a prasata. Ty jsou uvažovány jako modelový případ, ostatní zvířata, např. kozy nebo ovce, jsou minoritní a řešili by se obdobně.
- Volně žijící zvěř (divoká prasata atd.) - nepředpokládá se jejich likvidace, pravděpodobně by byl přijat následující postup: vydání zákazu k odstřelu, zákazu distribuce na trh a monitoring. V ČR se pro volně žijící zvěř nepředpokládají žádná speciální opatření typu krmení zvěře ve volné přírodě nezamořeným krmivem, přidávání přísad apod.

⁴ Rovněž nakládání s exkrementy (likvidace, úklid) bude regulováno na základě stanovení úrovně obsahu radionuklidu.

Z uvedených skupin jsou z hlediska problému kontaminovaných hmot hodny pozornosti zejména hospodářská zvířata s tím, že se řeší jen z ohledu kontaminace radionuklidy ^{137}Cs a ^{90}Sr (neboť ^{131}I nepředstavuje z hlediska odpadů problém).

Za hlavní problémy v ČR byly vytipovány opatření k likvidaci kontaminovaného masa (resp. celých zvířat) a opatření k likvidaci kontaminovaného mléka. Pro představu o objemech potenciálně kontaminovaných hmot, které by v případě mimořádné události mohly vzniknout, by se např. v případě radioaktivní kontaminace území jednoho kraje jednalo o desetitisíce krav (resp. deseti až statisíce prasat), což objemově představuje jednotky tisíc (resp. desetitisíce) m^3 kontaminovaného masa. Obecně je tedy objem kontaminovaných zvířat podstatně menší než objem kontaminovaných zemědělských plodin. Z hlediska uložení kontaminovaných hmot by zatížení bylo tedy menší než v případě hmoty rostlinné. Otázku likvidace zvířat řešíme spíše z ekonomického hlediska, protože zvířata sama s největší pravděpodobností neobdrží takové dávky záření, aby onemocněla akutní formou nemoci z ozáření, aby musela být utracena ze zdravotních důvodů. Jejich maso a živočišné produkty ale pravděpodobně nebudou prodejné, nebo budou veřejností odmítány. Ke kontaminaci zvířat v živočišné výrobě může docházet třemi cestami: přímou kontaminací zvířat přestupem přes kůži (tato cesta je obzvláště podstatná u zvířat, která se nacházejí na pastvinách), inhalací a ingescí. Z vyjmenovaných cest je nejdůležitější cestou vstup radionuklidu do těla spolu s kontaminovaným krmivem [27] [60].

O přesném postupu likvidace rozhodne v případě právnických osob SVS ČR formou vydání opatření obecné povahy, s tím, že povinnost doložitelně zlikvidovat se týká všech zvířat a živočišných produktů (otázkou zůstává, jak by se řešilo u zvířat u individuálních chovatelů). Závažným problémem je rozhodnutí o umístění zařízení pro likvidaci zvířat i jimi produkovaných živočišných produktů. Zvířata mohou být likvidována buď přímo v nejlépe kontaminované zóně anebo mohou být přemístěna do oblastí méně kontaminovaných. Obě varianty s sebou přináší některé výhody i nevýhody, které musí být uváženy před přijetím rozhodnutí o místě likvidace. Přehled použitelných opatření podle typu produktu (Biologická likvidace (trávení) mléka, zakopávání mrtvých zvířat, kompostování, spalování, ukládání na skládkách, hnojení mlékem nebo kalem, zpracování a skladování mléčných produktů před likvidací uložením na skládce nebo spalováním, likvidace v kafilériích) je podrobně v [46]. Pouze v souhrnu uvádíme:

VI.1 Možnosti likvidace masa v ČR

- Likvidace v kafilérii a uložení vzniklé masokostní moučky: Kafilerie je asanační podnik, ve kterém se neškodně odstraňují odpady živočišného původu (dnes označované jako vedlejší živočišné produkty) jako např. zkažené maso, uhynulá zvířata a především pro lidskou výživu nevyužívané části zvířat porážených na jatkách. Při likvidaci v kafilérii jde o zpracování za teploty kolem $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, tzn. ^{137}Cs nevytěká a zůstane v masokostní moučce. Tento způsob likvidace je technicky proveditelný, systém sběru a likvidace je užívaný, provozy kafilérii v ČR existují a jsou funkční. Objemově/hmotnostně dojde zpracováním v kafilérii ke snížení na cca 50 % původního objemu (odpaření vody). Výsledkem je biologický materiál - masokostní moučka, kterou lze uložit/zahrabat (vyzkoušený a schůdný způsob).

- Spálení vzniklé masokostní moučky: Dojde ke zmenšení objemu na cca 10 % původního objemu, z hlediska objemu je tedy potom snadnější uložení na skládku. Spálení však není v ČR zavedeno v oblasti radioaktivní kontaminace.
- Uložení („zahrabání“) zvířat: Zahraboviště v současné době v ČR neexistují, v případě potřeby je může příslušná krajská veterinární Správa vyhlásit mimořádným veterinárním opatřením. Zahrabání kadáverů i masokostní moučky je provedeno tak, aby se předešlo pronikání radionuklidů do spodních vod, přestupu do kořenového systému rostlin (aby se zabránilo přestupu do potravního řetězce) a aby bylo zajištěno dostatečné snížení dávkových příkonů na povrchu po konečném překrytí zahraboviště. Tato úložiště by mělo být zaznamenáno v registru, který prozatím není vytvořen.

VI.2 Možnosti likvidace mléka v ČR:

- Likvidace kontaminovaného mléka je komplexním problémem a větším než likvidace masa (viz Příloha 3). Pokud hodnoty obsahu radionuklidů v mléce nebo v mléčných produktech přesahují nejvyšší přípustné úrovně, je zapotřebí mléko nebo mléčné výrobky buď přímo zlikvidovat anebo použít některé z opatření pro snížení obsahu radionuklidu v mléčných výrobcích. Pro představu o objemech potenciálně kontaminovaných hmot mléka je důležité znát roční produkci mléka v ČR - cca 2,6 mil tun, tj. v průměru cca 500 tisíc litrů (tj. 500 m³) na kraj a den. Objem kontaminované hmoty je tedy po několika týdnech zhruba srovnatelný s objemem kontaminovaného masa hospodářských zvířat.
- Hnojení mlékem nebo syrovátkou - pro tuto metodu likvidace chybí podrobná znalost dopadu na ŽP. Vylitím mléka do půdy se nejen vnáší kontaminace, ale také se mění její chemismus (vysoký obsah vápníku v mléce) a může docházet ke změně celého biotopu. Ohroženy průsakem radionuklidů mohou být také spodní vody.
- Vylití mléka do kanalizace/vodoteče - z hlediska ochrany přírody vylití do toků přímo nepřipadá do úvahy, nekontrolované může způsobit např. úhyn ryb. Řízené vylití do kanalizace souvisí s parametry čističek odpadních vod.
- Zpracování a skladování mléčných produktů a následná likvidace - ze způsobů úpravy použitelné hlavně sušení mléka, umožní snížení objemu zhruba na desetinu původního objemu, s následným uložením. Otázka kapacity není ale vyjasněna z důvodu rušení výroben sušeného mléka v ČR.

VII. Radioaktivní odpady v intravilánu

Účinné a efektivní nakládání s odpady v intravilánu je zásadní pro obnovu a nápravu komunit a životního prostředí. Každé rozhodnutí o nápravě, které produkuje radioaktivní odpad, by mělo být podpořeno posouzením dopadu, který bude mít vytvořený odpad na veřejnost, pracovníky a životní prostředí, a úvahami o způsobu zneškodňování odpadu. Toto posouzení zahrnuje odhad radioaktivity v odpadech, odhad množství vyprodukovaného odpadu a posouzení vystavení pracovníků a veřejnosti účinkům tohoto odpadu [13].

Pokud je to možné, mělo by se zamezit směšování radioaktivních a neradioaktivních odpadů, protože bude obtížné tyto odpady později separovat. Obecně lze při různých typech dekontaminace očekávat velký rozptyl hmotnostních aktivit i hmotností vzniklých odpadů (např. z 1 m² kontaminované plochy řádově od několika gramů - povrchová jemná

dekontaminace - až po stovky kg - demolice). Vybraná možnost odstraňování odpadu bude záviset na povaze odpadu, úrovni aktivity v odpadu, dostupnosti a přijatelnosti odstraňování odpadu. U některých předmětů může postačovat jednoduchá dekontaminace např. oplachováním v mobilním dekontaminačním stanu s jejich následným uvolněním bez podmínek, čímž se sníží množství radioaktivního odpadu. Je důležité, definovat pro každý vyprodukovaný druh odpadu cíle. Problémy s likvidací mohou také nastat, pokud se jedná o extrémně velké množství odpadních materiálů, a bude nutné pečlivě zvážit, jak nakládat s těmito odpady v dohodě s regulačními orgány. Proto může být užitečné mít centralizovaný pohled a systém dohlížení na nakládání s odpady. Některé metody dekontaminace budou generovat tekuté odpady. Pokud byla voda použita k čištění, např. tlakové čištění, existuje potenciál pro generování velkých objemů kontaminované odpadní vody. Existují možnosti čištění odpadních vod. Shromažďování odpadních vod však může být obtížné, takže pokud nebude možné zabudovat čištění tak, že se odpadní voda čistí průběžně (např. zeolitové bloky), může být nevyhnutelné vypouštění odpadních vod do kanalizace. Procesy prováděné v čistírnách odpadních vod odstraní radioaktivní materiál z vody, to však vyžaduje odhad dávek pracovníkům a veřejnosti po vypouštění vyčištěného odtoku a kalu. K tomu je nutné provést odhady pravděpodobných úrovní kontaminace v odpadech vyplývajících z možností čištění v závislosti na úrovni depozice.

Další možností je použití detergentních roztoků. Některé z těchto detergentů budou zředěné a neagresivní, zatímco jiné mohou být vysoce kyselé nebo alkalické. Kyselost roztoku do značné míry určuje stupeň znečištění spojeného s částicemi.

Pro odstranění kontaminujících iontů z roztoku může být použito několik metod; jednou z jednodušších metod je koncentrování kontaminace pomocí odpařování. Tato technika vyžaduje velmi velké množství energie a nemusí být snadno zvládnutelná (kromě toho by byla problematická přítomnost těžkých kontaminantů, jako je ruthenium). Alternativním způsobem je vysrážení kontaminujících látek přidáním flokulačního činidla a úpravou pH roztoku na neutrální hodnotu. Neutralizační proces by však vedl ke generování velkého množství sraženiny. Ve spojení s odpařováním i srážením by bylo zapotřebí velkých specializovaných zařízení. Další, potenciálně atraktivní alternativní metoda je odstranění kontaminantů z roztoku iontovou výměnou. Pro čištění relativně velkého množství kontaminované kapaliny mohou být membránové filtry založené na principu reverzní osmózy, vysoce účinné při snižování koncentrací radionuklidů v kapalném odpadu. Kapalně radioaktivní odpady by mohly být i naředěny, aby poskytovaly dostatečně nízké koncentrace aktivity v odpadu, které mohou být likvidovány jako běžná odpadní kapalina. Za tímto účelem byly vyvinuty míchací systémy pro certifikaci homogenity roztoků radioaktivního kapalného odpadu. Zředění však musí být dostatečně účinné s ohledem na toxicitu, kyselost a obsah radionuklidů.

Komunální odpad

Pokud nedochází k žádné významné kontaminaci, domácí a komerční odpady se obvykle odesílají na skládku nebo jsou spalovány. To může zahrnovat případy, kdy je odpad ručně tříděn, a vhodné položky jsou odesílány k recyklaci. Organický odpad ze zahrad lze sbírat odděleně a odesílat do kompostovacích zařízení. V případě radiální havárie budou

některé odpady nekontaminované, protože budou před uložením umístěny do zakrytých nádob.

Skladování odpadu

Je třeba včas najít vhodné místo/zařízení pro dočasné skladování odpadu před výběrem vhodné cesty k likvidaci. Nakládání s kontaminovaným odpadem může zahrnovat řadu procesů zpracování před konečným uskladněním nebo zneškodněním odpadu. Kromě toho, pokud například dominují příspěvky krátkodobých radionuklidů nebo pokud odpad vyžaduje před konečnou likvidací použití různých zpracovatelských procesů, může být užitečné kontaminovaný odpad dočasně skladovat. Skladovací zařízení pro kontaminovaný odpad nejsou ovšem vhodná pro běžnou likvidaci. Místní komunity nemusí být ochotny ukládat odpad ve své oblasti.

Stabilizace pevného odpadu k zabránění migrace kontaminantů

Některé druhy pevného odpadu, které vznikají při nápravě (např. pouliční prach, popel ze spalování kontaminované biomasy), mohou obsahovat zvláště vysoké koncentrace radionuklidů. Při výstavbě podzemních úložišť silně kontaminovaného pevného odpadu může být vhodné zavést zvláštní opatření k zabránění migrace kontaminantů do podzemních vod (membrány kolem kontaminovaného materiálu budou obecně poskytovat dobrou ochranu spolu s jílovými bariérami a vypouštěcími vrstvami šterku a byly by doporučovány pro jakékoli podzemní úložiště pevného odpadu). Pro stabilizaci dalšího odpadu z vysoce kontaminovaných povrchů by se mohlo uvažovat o cementaci, zejména pokud by kontaminanty jinak měly vysokou environmentální mobilitu. Například popílek ze spalování by byl „přírodní“ složkou cementové směsi. Konvenční cementační procesy však nejsou možné pro všechny materiály, protože přítomnost některých materiálů zpomaluje nebo zabraňuje tuhnutí.

Možnosti nakládání s organickým odpadem

Organický odpad z obydlené oblasti zahrnuje trávu, stromy a keře (prořezy a celé rostliny) odstraněné ze zahrad a parkových oblastí. Mohlo by se potenciálně vytvořit velké množství organického odpadu a aktivita v odpadu může být vysoká. Kromě toho mohou mít listy vysokou koncentraci aktivity ihned po depozici. Snížení objemu odpadu může být proto velmi důležité. Je také nezbytné stabilizovat odpad kvůli jeho organické povaze. V závislosti na úrovni kontaminace lze zvážit řadu metod k využití kontaminované biomasy. Postupy jsou analogické postupům v zemědělství [45].

Jiné možnosti nakládání s odpady

Další možnosti nakládání s odpady, které mohou být za zvláštních okolností vhodné, jsou skladování materiálu, který dobře udržuje kontaminaci. Příkladem materiálu, který dobře udržuje kontaminaci, jsou střešní tašky, zvláště účinné při zadržování uložených iontů cesia (může trvat mnoho let, než zvětráváním klesne obsah cesia). Skladování takových materiálů v omezeném prostoru proto bude představovat pouze minimální riziko migrace kontaminace do okolní půdy. Podobně zředění kontaminovaného asfaltu z povrchu vozovky novým asfaltem spolu se stíněním novým materiálem sníží ozáření z vozovky.

Možnosti nakládání s kapalnými odpady vznikajícími při čištění

Možnosti nápravy, které vedou ke vzniku kapalného kontaminovaného odpadu, by měly být podrobně diskutovány před provedením nápravy (rozhodnutí mezi likvidací do kanalizace nebo sběrem odpadu a skladování). Skladování velkého množství tekutého odpadu pravděpodobně nebude proveditelné. Vypouštění do kanalizačního systému, bude vyžadovat povolení. V tomto případě by v rámci povolení bylo nutné odhadnout dávky pro pracovníky čistíren odpadních vod, možné dávky pro obyvatelstvo a hladiny dalších kontaminujících látek ve vodě, jako jsou detergenty.

Kanalizace a systémy čištění odpadních vod a možnosti likvidace kalů

Radionuklidy v kontaminované odpadní vodě jsou buď v roztoku, nebo adsorbovány na suspendované pevné látky a distribuce mezi těmito dvěma fázemi závisí na použitých radionuklidech. Čistírny odpadních vod obvykle používají k čištění odpadních vod kombinaci fyzikálních a biologických metod. Během zpracování se radionuklidy dělí na odpadní vody a splaškové kaly. Trasy zneškodňování odpadních vod budou zahrnovat vypouštění do řek.

Radionuklidy se nacházejí v pevné i odpadní fázi odpadu. Odstranění radionuklidů v čistírenských kalech závisí na obecné chemii prvku a chemické a biologické sloučenině, se kterou jsou radionuklidy při likvidaci spojeny. K přenosu radionuklidů z odpadních vod do čistírenských kalů dochází hlavně ve fázi sekundární úpravy.

VIII. Shrnutí zkušeností a poznatků při nakládání s odpady při nápravě velkých radiačních havárií

Při radiační havárii je území v místech přechodu radioaktivního mraku kontaminováno. Následující čištění a dekontaminace produkují velké množství odpadů. Systém klasifikace odpadů podle aktivity je složitý a není příliš transparentní a srozumitelný pro veřejnost, která se určitě bude podílet na rozhodování o skladování a ukládání radioaktivních odpadů.

Systém klasifikace postrádá soubor kritérií, podle kterých by odpady s dostatečně malou aktivitou mohly být uvolněny spod kontroly jako radioaktivní materiál. Problematické je zejména definování, co je odpad s velmi nízkou aktivitou.

MAAE doporučuje takový klasifikační systém, který by zahrnoval skupinu odpadů pro uvolnění. Přitom uvolňovací úroveň by byla definována jako individuální dávka z odpadu na jednotlivce z obyvatelstva, která se pokládá za zanedbatelnou. V systému MAAE není žádné radiologické omezení na odpady, jejichž aktivita je tak nízká, že při jejich uložení roční efektivní dávka na obyvatele nebude větší než 10 μSv .

Při hodnocení nápravy v Japonsku po havárii JE Fukušima Daiichi experti MAAE zdůraznili, že je důležité vyhnout se klasifikaci těch odpadů, při nakládání s kterými nejsou potřebná žádná ochranná opatření, jako odpadů radioaktivních. Současně také vyzvali relevantní orgány, aby posoudili zavedení realistických a důvěryhodných limitů (referenčních úrovní) a s nimi spojených osobních dávek. Části odpadů, které by dostatečně vyhovovali uvolňovací úrovni, by mohli být znovu použity, například jako příměs do stavebních materiálů, do hrází nebo do silnic. Přínosem z takovéto klasifikaci by bylo výrazné snížení zdrojů potřebných na nakládání s odpady a jejich uložení.

Také je možné, že zodpovědné orgány zavedou dvě referenční úrovně – jednu pro uložení odpadů a druhou pro opětovné použití jako konstrukční materiály. Navíc by mohla být definována úroveň aktivity pro nakládání bez jakýchkoliv omezení.

Vhodné a účinné nakládání s radioaktivními odpady je podstatným aspektem nápravy na postiženém území s ohledem na množství, vlastnosti a typ radioaktivních odpadů. Proto jakékoliv rozhodnutí o dekontaminaci musí zahrnovat posouzení toho, jaký vliv budou mít vzniklé radioaktivní odpady na obyvatelstvo, pracovníky, životní prostředí a také na jejich ukládání, tj. odhad aktivity odpadů a jejich množství a odpovídajících dávek na pracovníky a obyvatelstvo. Je zřejmé, že volba způsobu ukládání radioaktivních odpadů závisí na charakteru odpadů, jejich aktivitě, možnosti transportu s uvážením, že množství radioaktivních odpadů může být extrémně velké.

Velký problém vzniká tehdy, když při nápravě vznikají kapalně radioaktivní odpady. Sběr kapalných odpadů je komplikovaný. Také je nutné zvážit, že i po zpracování kapalných radioaktivních odpadů bude zřejmě nutné vypustit vodu částečně zbavenou radioaktivních látek do kanalizace nebo povrchových vod. V tomto případě musí být odhadnuty dávky na pracovníky i obyvatelstvo.

Podle zkušeností z nápravy se ukazuje nutnost plánovat některé aspekty nakládání s odpady předem. Jsou to například tyto oblasti:

- Úlohy a zodpovědnosti za vypracování a realizace strategie nakládání s odpady, určení způsobu komunikace a organizace s pravomocí rozhodovat.
- Určení hlavní potřebné nebo použitelné infrastruktury pro nakládání s odpady vzniklými při nápravě, včetně plánů na sběr, třídění, zpracování a/nebo skladování.
- Možnost úpravy existujících zařízení na nové podmínky.

Zkušenosti z třídění a klasifikace radioaktivních odpadů.

Pro dekontaminaci a nakládání s radioaktivními odpady jsou dva poněkud odlišné cíle: snížení měrné aktivity na přijatelnou úroveň a způsob uložení vzniklých radioaktivních odpadů.

Účelem plánu nakládání s radioaktivními odpady je jejich sběr, třídění, úprava, transport, a uskladnění nebo uložení. Podstatným faktorem je bezpečnost pracovníků podílejících se na nakládání s radioaktivním odpadem a obyvatelstva. Problémem může být zajištění dostatečného počtu zkušených pracovníků a vhodně klasifikovat odpady, protože v časně fázi havárie není prvořadým úkolem nakládání s radioaktivními odpady.

Klasifikace odpadů je základem pro definování vhodných toků a rozhodnutí o nakládání s nimi, jako například zpracování, úprava a uložení. Přitom nelze předpokládat, že v časně fázi havárie budou k dispozici dostatečné lidské a technické zdroje pro klasifikaci radioaktivních odpadů. Například bude omezena kapacita laboratoří, která budou měřit především aktivitu vzduchu, vody a půdy a charakterizace radioaktivních odpadů se omezí na správné třídění a krátkodobé uskladnění. Teprve později budou potřebné podrobné informace o aktivitě, radionuklidech, chemické a materiálové složení pro účely zajištění dlouhodobé bezpečnosti úložišť radioaktivních odpadů.

Existuje mnoho mezinárodních dokumentů zaměřených na klasifikaci radioaktivních odpadů, ale většinou popisují požadavky pro nakládání s odpady při normálních podmínkách, nebo likvidaci jaderných zařízení. I zkušenosti z havárií JE v Three Mile Island (USA),

Černobyly, Fukušimě a Goiânii ukazují, že ve všech případech se postupovalo ad-hoc podle místních podmínek.

Ukázalo se, že podstatné množství radioaktivních odpadů vzniklých při nápravě pochopitelně nesplňují kritéria přijatelnosti a proto se musely tvořit nová kritéria v spolupráci provozovatele, výzkumných ústavů a dozorných orgánů. Základní myšlenkou navržené klasifikace radioaktivních odpadů není jejich množství, způsob zpracování a fyzikální a chemické vlastnosti, ale aktivita specifických radionuklidů v radioaktivních odpadech v závislosti na typu použitého úložiště. Maximální měrné aktivity radioaktivních odpadů a celková aktivita by měly být odvozeny z hodnoty referenční úrovně efektivní dávky na jednotlivce z obyvatelstva. Limit byl pro normální provoz úložiště a po jeho uzavření (po 300 letech) 50 $\mu\text{Sv/rok}$ a 5 mSv/rok pro havarijní scénáře [11]. Ze zkušeností při třídění odpadů podle aktivity vyplývá, že není možné používat univerzální postup. Například při použití poločasu rozpadu radionuklidů jako kritéria pro třídění byl podstatný rozdíl v radionuklidovém složení v odpadech z nápravy po havárii v Černobyly, kde v kontaminantech se kromě dominantních izotopů ^{137}Cs a ^{90}Sr nacházely také částičky vyhořelého paliva s dlouhodobými alfa radionuklidy. Při použití kritéria aktivity (z hlediska poločasu rozpadu) by bylo v podstatě nemožné skladovat radioaktivní odpady takového druhu v podpovrchových skladech. Bohatá zkušenost z černobylské havárie je diskutována v [63] – [150]. Další třídění radioaktivních odpadů podle poločasu rozpadu má význam pouze ve specifických případech. Po těžké havárii v jaderné elektrárně je v kontaminantu dominantním prvkem ^{137}Cs . Do okolí se dostane frakce 0,126 % inventáře Cs v aktivní zóně, zatímco frakce ostatních štěpných produktů jsou řádově 10^3 krát menší [13].

Kritéria pro třídění radioaktivních odpadů při nápravě po haváriích v Černobyly, Fukušimě a Goiânii jsou uvedeny v přílohách tohoto dokumentu.

S radioaktivními odpady vzniklými při dekontaminaci postiženého území není možné nakládat stejným způsobem jako v normálních podmínkách z důvodů:

- velkého množství radioaktivních odpadů po dekontaminaci, případně ze zákazu konzumace vybraných potravin;
- odpady nejsou vhodné pro normální nakládání (např. mléko) a
- aktivita radioaktivních odpadů přesahuje kritérium přijatelnosti pro ukládání v normální situaci.

IX. Očekávané hodnoty měrných aktivit v kontaminovaných odpadech podle zón a oblastí pro návrh kritérií

Při kategorizaci a likvidaci odpadů je vhodné vycházet z vymezení zón tak, jak jsou primárně vymezeny na základě referenčních úrovní možných obdržených dávek z vnějšího i vnitřního ozáření v [19]. Jde o tři základní kategorie, z nichž každá má specifické určení:

- A. Nebezpečná zóna** – území, na kterém se vylučuje trvalý pobyt obyvatelstva. Vstup je povolen pouze osobám podílejícím se na realizaci nápravných opatření a zabezpečení monitorování radiační situace a na zabezpečení dalších nezbytných činností. Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby při trvalém pobytu, s přihlédnutím k místně specifickým podmínkám při zavádění režimových opatření, by byla $\geq 100 \text{ mSv/rok}$.

- B. **Zóna s omezeným přístupem** – území, ve kterém by i při zavedení režimových a jiných ochranných opatření byla v důsledku kontaminace území radioaktivními látkami předpokládána efektivní dávka reprezentativní osoby při trvalém pobytu v rozmezí 20 – 100 mSv/rok.
- C. **Zóna s kontrolovaným pobytem** – území, na kterém je pro reprezentativní osobu, která dodržuje stanovená režimová opatření, doporučená opatření v oblasti regulace pitné vody a spotřeby místní zemědělské produkce, včetně sběru místních plodin, zajištěno, že součet předpokládané efektivní dávky a předpokládaného úvazku efektivní dávky nepřekročí hodnotu 20 mSv/rok. V této zóně se v průběhu nápravy očekává optimalizace dávek i další postupný vývoj snižování referenčních hodnot.

Zkušenosti s předchozími velkými RH ukázaly, že i v zóně s kontrolovaným pobytem zavádějí země řadu dalších členění s cílem optimalizovat dávky a to podle zkušeností, které získávají. V této zóně bude v jednotlivých oblastech docházet k odlišnému přístupu k odpadům tak, jak během období nápravy budou odhady dávek upřesněny a potvrzeny na základě interpretace výsledků radiačního monitorování kontaminovaných oblastí a jak se bude lišit přístup k vývoji referenčních hodnot. Konkrétní způsob vymezení bude souviset s rozsahem jednotlivých oblastí, mírou kontaminace a obecně s podmínkami v daném místě. V jednotlivých zónách se také specificky přistupuje k realizaci nápravných opatření s ohledem na možnosti následné obnovy společenských a podnikatelských aktivit, přitom musí být zohledněna veškerá rizika i důsledky (radiologické a neradiologické), aby byly zajištěny rozumné a udržitelné životní podmínky na zasaženém území. Veškerá rozhodnutí musí být odůvodněná, musí být provedena optimalizace.

Níže je popsána očekávaná míra kontaminace jednotlivých částí životního prostředí a pragmaticky je vztažena k hodnotě plošné depozice ^{137}Cs , která má hlavní roli z hlediska dlouhodobé likvidace odpadů. Další menší roli mají i ^{90}Sr (zejména v důsledku rozpustnosti a mobility) a $^{238,239,240}\text{Pu}$. Kontaminace radioizotopy jódu (klíčový je ^{131}I) klesá během cca každých tří měsíců radioaktivním rozpadem o tři řády, a nepředstavuje problémy s dlouhodobým uložením odpadu. Kritéria jsou proto zaměřena na dlouhodobou kontaminaci izotopy ^{137}Cs . V přehledu v tabulce 2 jsou samostatně pojednány hlavní tj. zemědělské odpady, následně intravilán a vodní plochy. Lesy samostatně řešeny nejsou, jak ukazuje zkušenost z RH, ponechávají se zpravidla bez zásahu (maximálně s odklizením spadaného jehličí a listí). Kontaminované hmoty a odpady vznikající v zemědělství (plodiny, rostliny) a produkty hospodářských zvířat (maso a mléko) jsou pojednány odděleně pro RH ve vegetační sezoně a mimo vegetační sezonu. Očekávaná míra kontaminace podle zón a oblastí I, II, III vychází z přístupů strategie nápravy území. Očekávaný rozsah a míra kontaminace vzniklých odpadů dle vymezení zón [19] a oblastí je vztažena k depozici ^{137}Cs a je uvedena pro zemědělské odpady v Tabulce 2, pro odpady v intravilánu a ve vodách v Tabulce 3. Uvedené hodnoty vychází z vlastního výzkumu SÚRO, dále z mezinárodních zkušeností [13], [49] – [136].

Tabulka 2: Očekávaný rozsah a míra kontaminace vzniklých odpadů v zemědělství dle vymezení zón [19] a oblastí vztažená k depozici ^{137}Cs

Zóna (oblast) podle NRHP	Odpady v zemědělství (rostliny, maso a mléko hospodářských zvířat)	
	RH ve vegetační sezoně	RH mimo vegetační sezony
Nebezpečná zóna (Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby $>100 \text{ mSv/rok}$) Referenční úroveň ^{137}Cs $> 1,5 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Kontaminace vzrostlých plodin v důsledku povrchové kontaminaci ze spadu první rok po RH se očekává na úrovni řádu stovek kBq/kg až jednotek MBq/kg (podle intercepce). Kontaminace masa a mléka hospodářských zvířat se očekává v podobných měrných hodnotách. <i>Odpady:</i> Předpokládá se, že rostliny budou ponechány na místě nebo se přistoupí k jejich odstranění a likvidaci. Včasný odstranění rostlin před migrací radioizotopů do půdy je významné pro omezení kontaminace půdy.	Kontaminace plodin kořenovým přestupem první roky po RH (změna migračních vlastností Cs v půdě) se očekává v rozsahu jednotek až desítek kBq/kg. Kontaminace masa a mléka hospodářských zvířat se očekává v podobných hodnotách. <i>Odpady:</i> Předpokládá se, že plodiny budou ponechány na místě, odstranění v tomto případě už nepřispěje významně k omezení kontaminace půdy.
Zóna s omezeným přístupem (Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby $20 - 100 \text{ mSv/rok}$) Referenční hodnota ^{137}Cs $300 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2} - 1,5 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Kontaminace vzrostlých rostlin na úrovni řádu desítek a stovek kBq/kg, (ojediněle MBq/kg). Kontaminace masa a mléka hospodářských zvířat v důsledku ingesce se očekává v podobných měrných hodnotách. <i>Odpady:</i> podobně jako v nebezpečné zóně.	Kontaminace plodin kořenovým systémem v rozsahu jednotek výjimečně desítek kBq/kg. Podobně kontaminace potravin, krmiv, masa a mléka hospodářských zvířat. <i>Odpady:</i> obdobně jako v nebezpečné zóně.

Tabulka 2 - pokračování: Očekávaný rozsah a míra kontaminace vzniklých odpadů v zemědělství dle vymezení zón [19] a oblastí vztažená k depozici ^{137}Cs

Zóna (oblast) podle NRHP	Odpady v zemědělství (rostliny, maso a mléko hospodářských zvířat)	
	RH ve vegetační sezoně	RH mimo vegetační sezony
Zóna s kontrolovaným pobytem Oblast I (Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby 6 - 20 mSv/rok) Referenční úroveň ^{137}Cs $100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ - $300 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $20 < ^{90}\text{Sr} < 60 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, $0,5 < ^{238,239,240}\text{Pu} < 2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Kontaminace vzrostlých plodin ze spadu se očekává řádu desítek kBq/kg až stovek kBq/kg. Kontaminace masa a mléka hospodářských zvířat v důsledku ingesce se očekává v podobných koncentracích. <i>Odpady:</i> obdobně v nebezpečné zóně	Kontaminace plodin kořenovým systémem první roky na úrovni stovek Bq/kg až jednotek kBq/kg. <i>Odpady:</i> Vznik zemědělských odpadů se očekává jen v prvních dvou letech, v dalších letech ojedinělý.
Zóna s kontrolovaným pobytem Oblast II (Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby 2 - 6 mSv/rok) Referenční úroveň ^{137}Cs $30 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ – $100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $5 < ^{90}\text{Sr} < 20 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $0,2 < ^{238,239,240}\text{Pu} < 0,5 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Kontaminace vzrostlých plodin řádu jednotek a desítek kBq/kg (ojediněle stovek kBq/kg) Podobně kontaminace i masa a mléka hospodářských zvířat. <i>Odpady:</i> I zde má smysl likvidace odstraněním z terénu.	Kontaminace na úrovni desítek a stovek Bq/kg (ojediněle jednotek kBq/kg). <i>Odpady:</i> Vznik zemědělských odpadů i v prvních dvou letech spíše ojedinělý v dalších nepravděpodobný.
Zóna s kontrolovaným pobytem Oblast III (Předpokládaná efektivní dávka reprezentativní osoby nepřekročí 2 mSv/rok) Referenční úroveň $^{137}\text{Cs} < 30 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $^{90}\text{Sr} < 5 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $^{238,239,240}\text{Pu} < 0,2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Kontaminace vzrostlých plodin v širokém rozsahu od velmi nízkých hodnot po jednotky výjimečně desítky kBq/kg. <i>Odpady:</i> Očekává se minimální problém s odpady, pouze okrajově u některých komodit, Předpokládá se všeobecné likvidace odpadu bez omezení.	Kontaminace zemědělských komodit na úrovni jednotek až desítek Bq/kg (s výjimkou minoritních potravin např. lesních plodů) <i>Odpady:</i> V této oblasti se neočekává produkce kontaminovaných odpadů.

Možnosti likvidace zemědělských rostlinných odpadů, očekávané objemy a náklady jsou popsány v [45]. Možnosti likvidace odpadů z hospodářských zvířat (masa a mléka) viz [46].

Tabulka 3. Očekávaný rozsah a míra kontaminace vzniklých odpadů v intravilánu a ve vodách dle vymezení zón [19] a oblastí je vztažena k depozici ^{137}Cs

Zóna (oblast) podle NRHP	Intravilán obcí	Vodní toky, nádrže
Nebezpečná zóna Referenční úroveň ^{137}Cs: $> 1,5 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Povrchová kontaminace budov, komunikací, předmětů odpovídá referenční hodnotě spadu řádu $\text{MBq}\cdot\text{m}^{-2}$ Průměrné hmotnostní aktivity odpadu z přepočtu plochy na hmotu likvidovaného předmětu mohou být v rozmezí nižším než kBq/kg do MBq/kg.	Kontaminace povrchových vod (pokud nejsou extrémně mělké pod 1 m) je v porovnání s ostatními prvky krajiny malá, lze očekávat řádově stovky Bq/l až jednotky kBq/l. Kontaminace je nakonec fixována v sedimentech, kde jsou hodnoty ve vrstvě sedimentu ve stojatých vodách na úrovni spadu. Náprava a likvidace odpadu se zpravidla neprovádí. Je třeba ověřit hmotnostní aktivity v rybách, zejména predátorech, které v tocích mohou migrovat do jiných zón a oblastí.
Zóna s omezeným přístupem Referenční úroveň ^{137}Cs: $300 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2} - 1,5 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Povrchová kontaminace povrchů budov, komunikací, předmětů odpovídá referenční hodnotě spadu řádu stovky $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ Průměrné hmotnostní aktivity odpadu z přepočtu plochy na hmotu likvidovaného předmětu mohou být v rozmezí nižším než kBq/kg do stovek kBq/kg.	Stejně jako uvedeno výše.
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast I Referenční úroveň ^{137}Cs: $100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2} - 300 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $20 < {}^{90}\text{Sr} < 60 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$, $0,5 < {}^{238,239,240}\text{Pu} < 2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Povrchová kontaminace povrchů odpovídá referenční hodnotě spadu řádu stovky $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ Průměrné hmotnostní aktivity odpadu z přepočtu plochy na hmotu likvidovaného předmětu mohou být v rozmezí nižším než kBq/kg do max. stovek kBq/kg.	Problém odpadů se nepředpokládá I zde je třeba ověřit hmotnostní aktivity v rybách, zejména predátorech.
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast II Referenční úroveň ^{137}Cs: $30 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2} - 100 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $5 < {}^{90}\text{Sr} < 20 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ $0,2 < {}^{238,239,240}\text{Pu} < 0,5 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Povrchová kontaminace povrchů odpovídá referenční hodnotě spadu řádu desátky $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ Průměrné hmotnostní aktivity odpadu mohou být v rozmezí nižším než kBq/kg do max. desítek kBq/kg.	Viz výše
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast III Referenční úroveň ^{137}Cs: $< 30 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ ${}^{90}\text{Sr} < 5 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ ${}^{238,239,240}\text{Pu} < 0,2 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$	Problém s likvidací odpadů se nepředpokládá.	Viz výše

X. Nakládání s odpady, kritéria pro nakládání s odpady, referenční úrovně a dávky

Pro nakládání s odpady v rámci EES jsou stanoveny odlišné podmínky ve srovnání s PES. Vzhledem k velkým objemům odpadů musí být systém klasifikace, tj. nastavení kritérií a referenčních úrovní, i způsob rozhodování o nakládání s odpady optimalizován, aby byl zvládnutelný. Níže je navrženo možné obecné řešení optimalizovaného systému regulace nakládání s odpady zahrnující systém kritérií a referenčních úrovní. Je rozděleno do tří skupin z hlediska regulace:

- A. **Nakládání s odpady bez podmínek**, pouze s případným obecným poučením veřejnosti jak optimalizovat budoucí kontaminaci (např. odděleným kompostováním zemědělských odpadů z prvního roku po RH). Smyslem je minimalizovat regulaci u zcela dominující části odpadů. Do této skupiny musí patřit např. zemědělské odpady, které právě nesplní referenční úrovně pro potraviny a krmiva. Z hlediska dávky obyvatelstvu při realistickém scénáři nedojde při uvolnění bez podmínek k překročení přídatné efektivní dávky 1 mSv/rok.
- B. **Nakládání s odpady formou podmíněného uložení** (např. oznámení s vyžádanou informací o lokalizaci uložení odpadu, vymezení, označení a informování) **nebo podmíněného použití** (např. příměs do vybraných stavebních materiálů určených do staveb s minimálním pobytem člověka – hrází, silnic apod.). Přínosem je výrazné snížení zdrojů potřebných na nakládání s odpady a jejich uložení. Z hlediska dávky obyvatelstvu nedojde k překročení přídatné efektivní dávky 1 mSv/rok díky uvedeným podmínkám při uvolnění.
- C. **Nakládání s odpady na povolení** (na dočasné nebo trvalé uložení). Jde o odpady s nejvyšší aktivitou, kde se předpokládá jejich transport a uložení v nebezpečné zóně formou dlouhodobě regulované skládky.

Při odvození kritérií se přihlíží především k efektivní dávce reprezentativní osobě od velkých objemů odpadů, pokud se s odpady nakládá v blízkosti výskytu obyvatelstva, a také k dávkám pracovníků nakládajících s odpady po předpokládanou maximální pracovní dobu 2000 hodin ročně.

Ochrana obyvatelstva po uložení odpadu je zajištěna buď nepřístupností skládek, nebo překrytím odpadu vrstvou zeminy tak, aby dávkový příkon na povrchu při realistickém scénáři pobytu obyvatel v okolí uložených odpadů nevedl k dávce větší než je pro tento účel stanovená hodnota. Tou může být existující referenční hodnota pro skládky dle [7] – 0,4 $\mu\text{Sv/h}$ pro příkon prostorového dávkového ekvivalentu ve vzdálenosti 1 m od povrchu skládky v místě uložení na skládce. Nicméně při méně přísném požadavku pro EES (roční efektivní dávce 1 mSv) a při realisticky konzervativních scénářích, kdy lze počítat se setrváváním v takovém místě jednotky procent času ve venkovním prostoru, např. při velmi konzervativním odhadu 10 % času za rok setrvání na takovém místě, odpovídá navýšení efektivní dávky 1 mSv/rok navýšení dávkového příkonu v daném místě na jednotky $\mu\text{Sv/h}$. U tekutých odpadů je třeba kromě hlediska expozice zevním ozářením uvážit inženýrské bariéry proti migraci radionuklidů (zejména mobilního ^{90}Sr). Existující komunální skládky

nemají kapacitu pojmout odpady po RH, proto je nutné počítat s budováním samostatných skládek, a to jak pro běžné povrchové skladování, tak pro skladování s inženýrskými bariérami proti průsaku. Obecně platí, že odpady z nebezpečnější zóny nejsou transportovány do zón s nižším rizikem. Předpokládá se, že speciální úložiště budou vybudována v zónách s vyšším rizikem, zejména v nebezpečné zóně.

XI. Návrh zásad pro nakládání s radioaktivními odpady

Pro dekontaminaci a nakládání s radioaktivními odpady jsou dva poněkud odlišné cíle: snížení měrné aktivity na přijatelnou úroveň a uložení vzniklých radioaktivních odpadů.

Systém klasifikace a kategorizace radioaktivních odpadů není nikde ve světové praxi dán jednoznačně. Shoda je v tom, že klasifikace a kategorizace jsou výsledkem iterativního procesu, ve kterém jsou respektovány požadavky dozorných orgánů, nejnovější poznatky o odpadech a zkušenosti z předcházejících havárií. Je vhodné vycházet z existujících kritérií.

V rámci tohoto procesu, ve shodě s celkovou strategií nápravy, by se měly provést tyto akce:

- soustředění všech dostupných předběžných údajů o odpadech;
- adaptace, využití zkušeností a technických prostředků normálního systému nakládání s odpady, včetně požadavků na bezpečnost, způsoby ukládání a systému klasifikace;
- určení technicky možných způsobů nakládání s odpady;
- analýza bezpečnosti, především pro nejrizikovější odpady a nedostatečně charakterizované odpady;
- upřesňování údajů pro třídění odpadů, zejména nejrizikovějších;
- upřesňování požadavků na bezpečnostní analýzy, způsoby ukládání a klasifikaci odpadů a
- informování dozorného orgánu o plánovaných činnostech.

XI.1. Klasifikace odpadů podle charakteru

Při tvorbě systému pro klasifikaci a třídění odpadů vzniklých při havárii a nápravě, je vhodné vycházet z existujících kritérií. Přitom by se měly zvažovat nejenom radiační parametry, ale také možnosti ukládání odpadů a s tím související bezpečnostní analýzy.

Z hlediska minimalizace množství odpadů je třeba uvážit, že i zařízení pro zpracování odpadů po ukončení jejich provozu se stanou odpadem. Proto jejich typ, počet a umístění je třeba pečlivě zvažovat i s ohledem na kritéria radiační ochrany.

Konkrétní hodnoty aktivity pro třídění odpadů závisí na tom, jakým způsobem se bude s nimi nakládat. Přitom kritéria mohou být relativně jednoduchá (odpady spalitelné a nespalitelné, třídění podle aktivity nebo dávkového příkonu)

Radioaktivní odpady musí být tříděny v co největším rozsahu podle aktivity a typu. Přitom se využívá způsob třídění podle typu jako při normální situaci:

- Pevné radioaktivní odpady (nečistoty ze silnic, popel ze spalování, stavební odpad, půda, různé předměty a zařízení). Pevných odpadů vzniká velké množství s aktivitami od velmi malých až po velké – sekundární odpady, materiály přinesené do postižené oblasti a kontaminované při nápravě, různé další materiály – půda, smetí, kovy, vegetace, ochranné prostředky, kontaminovaný uhynutý dobytek, filtry, popel ze spalování, a podobně.

- Jen ve výjimečných případech mohou pevné odpady tvořit části vyhořelého paliva nebo tavenina z aktivní zóny. Jejich výskyt se dá předpokládat na území havarované elektrárny. To neplatí pro havárii v Černobylu, kdy části vyhořelého paliva se dostaly do okolí.
- Mokrý (vlhký) odpady. Aktivita těchto odpadů je od malých až po velké hodnoty – jsou to různé materiály, především z čištění radioaktivních kapalin – kaly, kašovitě směsi, zeolity, živice.
- Kapalných odpady. Při nápravě vzniká velké množství odpadů s aktivitami od malých až po velké, s různými chemickými vlastnostmi – olej, kapaliny se suspendovanými pevnými částicemi, soli, biologické nečistoty a podobně. Sběr kapalných odpadů není jednoduchý. I po zpracování kapalných odpadů různými metodami bude zřejmě nutné nějakou část vypustit do životního prostředí. Pro tento účel je nutné vypracovat odhad aktivity kapalných odpadů vznikajících při čištění, nejlépe v závislosti na aktivitě depozitu.
- Plynné odpady. Vznikat mohou při spalování radioaktivních materiálů, ovšem prchavé izotopy jako je cesium, jsou s vysokou účinností zachytávány na filtrech a v strategii nakládání s odpady se s nimi neuvažuje.
- Kaly z kapalných odpadů a ze zpracování vod
- Biomasa (tráva, krmivo, rašelina popel)
- Potraviny vyřazené z používání

XI.2. Klasifikace odpadů podle způsobu ukládání

Klasifikace by neměla vycházet z tvorby, úpravy, balení a fyzikálně chemických vlastností odpadů, ale ze způsobu jejich skladování/uložení. Tedy kritéria přijatelnosti by měly být zavedeny pro povrchové skladování, podpovrchové skladování s inženýrskými bariérami, podzemní skladování v středních hloubkách (mělké), hluboké geologické ukládání (to se týká jen vysokoaktivních odpadů).

XI.3. Kritéria přijatelnosti pro ukládání pro normální podmínky

Kritéria přijatelnosti pro ukládání odpadů byla vytvořena pro zajištění základních kritérií radiační ochrany – největší roční přípustná dávka z úložiště s ohledem na lokalitu a možné scénáře vývoje stavu vychází z výsledků bezpečnostních analýz a bezpečnostního hodnocení úložiště. Například kritéria přijatelnosti mohou být méně přísná pro úložiště, které by bylo uvnitř zóny se zákazem pobytu.

V legislativních dokumentech [7] nejsou definovány požadavky na klasifikaci radioaktivních odpadů vzniklých při nápravě po radiační havárii podle aktivity, ani způsobu uložení. Například pro uložení na skládkách je požadavek na průměrné hmotnostní aktivity v uvolňovaném předmětu nebo uvolňované pevné látce ve vztahu k uvolňovací úrovni, kdy součet podílů průměrných hmotnostních aktivit jednotlivých radionuklidů v uvolňovaném předmětu nebo uvolňované pevné látce a jejich uvolňovacích úrovní je menší než 1. Příkon prostorového dávkového ekvivalentu ve vzdálenosti 1 m od povrchu skládky v místě uložení na skládce musí být menší než 0,4 $\mu\text{Sv/h}$. Podobné požadavky platí také pro výpustě a popel ze spalování odpadů.

Po havárii by bylo nutné vytvořit kritéria přijatelnosti pro nová úložiště a cesty odpadů, protože by vznikaly netypické odpady s problematickými vlastnostmi. Při nakládání

s odpady od sběru až po uložení se musí respektovat kritéria přijatelnosti, protože jinak by mohly vzniknout odpady, které by nebylo možné skladovat a definitivně uložit. Pokud by na standardních skládkách odpadů měly být uloženy odpady vzniklé při havárii a nápravě, musí být provedena nová bezpečnostní studie skládky. Třídění materiálů podle aktivity na místě sběru po čištění a předtím, než se smíchají s ostatním shromážděným materiálem na místě dočasného skladování, usnadní další postup při snižování objemu shromážděného materiálu. Pro třídění materiálu do skupin v závislosti na koncentraci radionuklidů musí být sestavena kritéria. Materiály skupiny pro nepodmíněné uvolnění mohou být přepracovány, znovupoužity, nebo se s nimi nakládá jako s klasickým komunálním odpadem s použitím existující infrastruktury pro transport, manipulaci, zpracování pro snížení objemu a nakonec uložení na skládkách pevných komunálních odpadů. Pouze pro materiály klasifikované jako nízko a velmi nízko aktivní je možné požadovat splnění příslušných požadavků platných v nehavarijním stavu pro transport, vhodné zpracování, balení, zařízení pro dočasné skladování a uložení ve schváleném povrchovém úložišti.

XII. Návrh kritérií a referenčních úrovní

Pro nakládání s odpady v rámci EES jsou stanoveny odlišné podmínky ve srovnání s PES. Vzhledem k velkým objemům odpadů musí být systém klasifikace, tj. nastavení kritérií a referenčních úrovní, i způsob rozhodování o nakládání s odpady optimalizován, aby byl zvládnutelný. Níže je navrženo řešení optimalizovaného systému regulace nakládání s odpady zahrnující systém kritérií a referenčních úrovní.

- **Nakládání s odpady bez podmínek**, pouze s případným obecným poučením veřejnosti jak optimalizovat budoucí kontaminaci (např. odděleným kompostování zemědělských odpadů z prvního roku po RH). Smyslem je minimalizovat regulaci u zcela dominující části odpadů. Do této skupiny musí patřit např. zemědělské odpady, které právě nesplní referenční úroveň pro potraviny a krmiva. Z hlediska dávky obyvatelstvu při realistickém scénáři nedojde při uvolnění bez podmínek k překročení přídatné efektivní dávky 1 mSv/rok.
- **Nakládání s odpady formou podmíněného uložení** (např. oznámení s vyžádanou informací o lokalizaci uložení odpadu, vymezení, označení a informování) **nebo podmíněného použití** (např. příměs do vybraných stavebních materiálů určených do staveb s minimálním pobytem člověka – hrází, silnic apod.). Přínosem je výrazné snížení zdrojů potřebných na nakládání s odpady a jejich uložení. Z hlediska dávky obyvatelstvu nedojde k překročení přídatné efektivní dávky 1 mSv/rok díky uvedeným podmínkám při uvolnění.
- **Nakládání s odpady na povolení** (na dočasné nebo trvalé uložení). Jde o odpady s nejvyšší aktivitou, kde se předpokládá jejich transport a uložení v nebezpečné zóně formou dlouhodobě regulované skládky.

Při odvození kritérií se přihlíží především k efektivní dávce reprezentativní osobě od velkých objemů odpadů, pokud se s odpady nakládá v blízkosti výskytu obyvatelstva, a také k dávkám pracovníků nakládajících s odpady po předpokládanou maximální pracovní dobu 2000 hodin ročně. Vychází se z konverčních koeficientů získaných expertními odhady [13].

Pro odhad dávek pracovníků nakládajících s odpady obdržených při činnostech nakládání s radioaktivními odpady je expertně odhadnut měrný dávkový příkon při nakládání s radioaktivním odpadem vztažený na hmotnostní aktivity v odpadu (Tabulka 4)

Tabulka 4.: Měrný dávkový příkon při nakládání s radioaktivním odpadem [13]

Činnost	Dávkový příkon na jednotku měrné aktivity odpadů [$\text{Sv.h}^{-1}/\text{Bq.kg}^{-1}$]			
	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	^{131}I ¹⁾	^{137}Cs ²⁾	^{239}Pu ³⁾
Sběr odpadů	$8 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$
Přeprava	$1 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$
Překládka	$1 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$
Třídění	$4 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-11}$
Lokální spalování	$7 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Přeprava spalin	$1 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-15}$
Ukládání na skládky	$1 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-11}$
Kompostování ⁴⁾	$8 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-10}$

¹⁾ Může se použít také pro ^{99}Mo , ^{132}Te , ^{136}Cs , ^{140}La , ^{140}Ba , ^{169}Yb

²⁾ Může se použít také pro ^{60}Co , ^{75}Se , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{144}Ce , ^{192}Ir , ^{235}U , ^{226}Ra

³⁾ Může se použít také pro ^{238}Pu , ^{241}Am

⁴⁾ Kompostování může trvat několik týdnů až 3 měsíce. Personál může být ozařován i déle, také v případě, že se bude kompostovat také neradioaktivní odpad

Pro odhad dávek obdržených reprezentativní osobou od velkých objemů odpadů, pokud se s odpady nakládá v blízkosti výskytu obyvatelstva nebo v případě pobytu na kontaminovaných hmotách, jsou v tabulce 5 uvedeny hodnoty celodenních efektivních dávek. Z nich lze při použití realistických scénářů připravit odhady efektivních ročních dávek odpovídajících dané hmotnostní aktivitě odpadu.

Tabulka 5: Odhad integrální efektivní dávky za jeden den při povrchové depozici nebo objemové kontaminaci vybraných radionuklidů

Nuklid	Konverzní koeficienty integrální efektivní dávky za jeden den pro vybrané izotopy	
	při plošné kontaminaci (nekonečná plocha) [mSv/kBq.m ⁻²]	při hmotnostní kontaminaci velkého objemu odpadů (seminekonečný prostor tzv. 2 π geometrie) ve vzdálenosti 1 m nad odpadem [mSv/kBq.kg ⁻¹]
⁶⁰ Co	1,40E-04	1,34E-02
⁷⁵ Se	2,10E-05	2,04E-03
⁹⁵ Zr *	4,10E-05	3,84E-03
⁹⁵ Nb	4,20E-05	4,08E-03
⁹⁹ Mo *	7,30E-06	8,16E-04
¹⁰³ Ru *	2,70E-05	2,40E-03
¹⁰⁶ Ru *	1,20E-05	1,06E-03
¹³² Te *	1,10E-04	1,06E-03
¹³¹ I *	2,10E-05	1,94E-03
¹³⁴ Cs	8,70E-05	8,16E-03
¹³⁶ Cs	1,20E-04	1,15E-02
¹³⁷ Cs *	3,30E-05	3,12E-03
¹⁴⁰ Ba *	3,20E-05	9,84E-04
¹⁴⁴ Ce *	2,60E-06	8,88E-05
¹⁹² Ir	4,60E-05	4,08E-03
²³⁸ Pu	5,10E-09	4,56E-07
²³⁹ Pu	4,20E-09	4,08E-07
²⁴¹ Am	8,80E-07	9,84E-05

* Dávky z dceřiných radionuklidů jsou zahrnuty do mateřského radioizotopu - viz tabulka 6

Tabulka 6: Mateřské a dceřinné radionuklidy

mateřský radioizotop	zahrnuje dceřiné radionuklidy
⁹⁵ Zr	^{95m} Nb, ⁹⁵ Nb
⁹⁹ Mo	^{99m} Tc, ⁹⁹ Tc
¹⁰³ Ru	^{103m} Rh
¹⁰⁶ Ru	¹⁰⁶ Rh
¹³² Te	¹³² I
¹³¹ I	^{131m} Xe
¹³⁵ I	^{135m} Xe, ¹³⁵ Xe
¹³⁷ Cs	^{137m} Ba
¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La
¹⁴⁴ Ce	¹⁴⁴ Pr

Ochrana obyvatelstva po uložení odpadu je zajištěna buď nepřístupností skládek, nebo překrytím odpadu vrstvou zeminy tak, aby dávkový příkon na povrchu při realistickém scénáři pobytu obyvatel v okolí uložených odpadů nevedl k dávce větší než je pro tento účel stanovená hodnota (viz kap. X.).

Souvislost typu nakládání s odpadem a dávkovými kritérii je uvedena v tabulce 7.

Tabulka 7: Souvislost mezi typem nakládání s odpadem a dávkovými kritérii

Typ nakládání s odpadem a způsob regulace	Souvislost s dávkovými kritérii pro obyvatelstvo a pracovníky likvidujícími odpad
Uvolnění odpadu bez podmínek (s případným obecným poučením veřejnosti jak je možné omezit dávky z budoucí kontaminace v souladu se strategií optimalizované radiační ochrany)	Uvolňovací úroveň pro koncentrace aktivity v odpadech v EES je v tomto případě stanovena tak, aby byla pouze poněkud vyšší (ne více než o řád) než jsou nejvyšší přípustné aktivity pro potraviny a krmiva [13]. Z hlediska dávek obyvatelstvu i pracovníků: dávkový příkon od velkých objemů těchto odpadů i bez překrytí nekontaminovaným materiálem bude maximálně na úrovni jednotek $\mu\text{Gy/h}$. Při rozumně konzervativních scénářích je nepravděpodobné, že by mohlo dojít k přídatné dávce (pro obyvatelstvo i pracovníky) vyšší než 1 mSv/rok.
Nakládání s odpady formou podmíněného uvolnění (např. na oznámení s vyžádanou informací o lokalizaci uložení odpadu a jejím vymezení, označení a ev. uzavření vč. informování) nebo podmíněné uvolnění (pro tekuté odpady na skládkách s kontrolou průsaků) a informací o odhadu dávek pracovníků.	Jedná se o míru kontaminace, kdy dávkový příkon od velkých objemů odpadů budou jednotky až desítky $\mu\text{Gy/h}$. Předpokládá se, že uložení odpadu na vymezené skládce bude zabezpečeno tak, aby neumožňovalo pobyt a ozáření obyvatel. Z hlediska dávek obyvatelstvu se jedná o expozici při sběru a transportu po omezenou dobu. Je nepravděpodobné, že by mohlo dojít k přídatné dávce pro obyvatelstvo vyšší než 1 mSv/rok. Z hlediska dávek pracovníkům, kteří budou odpad likvidovat (jde o expozici při shromažďování, třídění, zpracování, úpravě, skladování a ukládání v rámci EES), se požaduje informace o odhadu dávek pracovníkům na základě monitorování dávkových příkonů v prostředí a odhadu času při práci, nebo monitorování osobních dávek.
Nakládání s odpady na základě povolení (k dočasnému nebo trvalému uložení na specializované a regulované skládce podle rozhodnutí státních orgánů, zpravidla s možností využití nebezpečné zóny)	Jedná se o úroveň kontaminace, kdy dávkový příkon v případě práce s velkými objemy odpadů bude na úrovni stovek $\mu\text{Gy/h}$ a vyšších. Bude třeba osobní monitorování dávek a regulace ozáření pracovníků likvidujících odpad. Předpokládá se, že transport a uložení odpadu na vymezené skládce (zpravidla v nebezpečné zóně) bude zabezpečeno tak, že neumožní obyvatelům přístup k odpadu. Z hlediska dávek obyvatelstvu se tedy jedná o spíše náhodnou expozici po velmi omezenou dobu (z hlediska likvidace půjde o regulovanou činnost). Proto i zde je vysoce nepravděpodobné, že by mohlo dojít k přídatné dávce (pro obyvatelstvo) vyšší než 1 mSv/rok)

U tekutých odpadů je třeba kromě hlediska expozice zevním ozářením uvážit inženýrské bariéry proti migraci radionuklidů (zejména mobilního ^{90}Sr).

Existující komunální sklárky nemají kapacitu pojmout odpady po RH, proto je nutné počítat s budováním samostatných skládek, a to jak pro běžné povrchové skladování, tak pro skladování s inženýrskými bariérami proti průsaku.

Obecně platí, že odpady z nebezpečnější zóny nejsou transportovány do zón s nižším rizikem. Předpokládá se, že speciální úložiště budou vybudována v zónách s vyšším rizikem, zejména v nebezpečné zóně

Tabulka 8: Návrh kritérií a referenčních úrovní pro nakládání s odpadem podle typu a aktivity ^{137}Cs nebo ^{90}Sr

Typ nakládání s odpadem a způsob regulace	Zemědělské odpady (rostlinné i živočišné) a příklad uložení	Ostatní pevné odpady (zejména z intravilánu)	Tekutý odpad
Uvolnění odpadu bez omezení	< 10 kBq/kg (např. kompostování)	< 10 kBq/kg (např. na běžné komunální sklárky)	< 1 kBq/kg (např. do kanalizace)
Nakládání s odpady formou podmíněného uvolnění	10 kBq/kg – 100 kBq/kg (např. uložení na komposty, zahraboviště, možné použití v bioplynkách)	10 kBq/kg – 100 kBq/kg (např. uložení na sklárky s evidencí a chráněné proti průsaku)	1 kBq/kg – 100 kBq/kg (např. do kanalizace s informací o vypouštění a evidencí kalů z čističek nebo uložení na jednoduché sklárky chráněné proti průsaku)
Nakládání s odpady na základě povolení k dočasnému nebo trvalému uložení na specializované a regulované sklárky podle rozhodnutí státních orgánů	> 100 kBq/kg (ponechání na místě – oblast bude patrně nepřístupná veřejnosti, při likvidaci povrchové uložení s překryvem, nebo podpovrchové uložení, možné zpracování v bioplynkách)	> 100 kBq/kg (evidované povrchové uložení na uzavřených skládkách s následným překryvem, nebo podpovrchové uložení)	> 100 kBq/kg (uložení na sklárky s bariérami proti průsaku)

XIII. Literatura

- [1] Susanta Kumar Samanta: Developing the Post Accident Waste Management Strategy.
- [2] Zoran Drace, Lessons Learned in Post Accident Management of Contaminated Material and Radioactive Waste. IAEA Waste Technology Section, Vienna 2012.
- [3] IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Vienna 2014.
- [4] IAEA Safety Standards Series No. GSG-1. Classification of radioactive waste: Safety Guide. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009.
- [5] The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 5, Post-accident recovery. IAEA, Vienna 2015.
- [6] Final report of the International Mission on Remediation of Large Contaminated Area Off-site the Fukushima Daiichi NPP. IAEA, October 2011.
- [7] Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- [8] Protective Measures in Early and Intermediate Phases of a Nuclear or Radiological Emergency. Nordic Guidelines and Recommendations, 2014.
- [9] A.S. Paschoa, A. Tranjan Filho, and J.J. Rosenthal - Revisiting Goiania: Toward a final repository for radioactive waste. IAEA BULLETIN. 1/1993.
- [10] Zákon 263/2016 Sb. – Atomový zákon
- [11] Management of Radioactive Waste after a Nuclear Power Plant Accident. OECD 2016, NEA No. 7305.
- [12] Radioactive Waste Management And Contaminated Site Clean-up. Processes, technologies and international experience. Woodhead Publishing Limited. Cambridge UK, 2013.
- [13] UK Recovery Handbooks for Radiation Incidents 2015. Inhabited Areas Handbook Version 4. Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards Public Health England, June 2015.
- [14] Vyhláška č. 377/2016 Sb. o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie
- [15] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
- [16] Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události
- [17] Vyhláška č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace
- [18] Národní program monitorování
- [19] Národní radiační havarijní plán, v přípravě
- [20] Experience and Lessons Learned in Predisposal Management of Radioactive Waste in the Aftermath of Nuclear Accidents. Dokument IAEA v přípravě. IAEA 2015.
- [21] RS-G-1.7 Application of the concepts of exclusion, exemption and clearance: safety guide. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2004
- [22] The Radiological Accident in Goiânia. IAEA, Vienna, 1988
- [23] IAEA Safety Glossary: Terminology used in Nuclear Safety and Radiation Protection: 2007 Edition

- [24] Zoran Drace - IAEA: Lessons Learned in Post Accident Management of Contaminated Material and Radioactive Waste. Prezentace na symposiu The Experience and Technology of Russia, Ukraine and Other Commonwealth of Independent States (CIS) Countries on Remediation and Restoration of Environments. Japonsko 2012
- [25] Publikace 103. Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007
- [26] ČSÚ, veřejná databáze. Dostupné na Internetu:
http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/zemedelstvi_zem
- [27] IAEA. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience. Vienna, 2006
- [28] Metodika pro hodnocení úrovně kontaminace plodin a rizika vzniku kontaminovaného odpadu
- [29] “SRRWM-85” - Sanitary regulations for radioactive waste treatment. Moscow, 1986
- [30] Sanitary rules to the management of the waste of deactivation forming on account of Chornobyl accident consequences negotiation (SRDWM-98), Minsk: Ministry of public health, 1998.
- [31] Serebryanyj G.Z., Rolevich I.V., Gvozdev A.A., Golikova N.B., Starobinets S.E., Polivko L.A. The Characteristics of storage sites of radioactive products of decontamination arranged at the territory of the Republic of Belarus. Report of Fifth international Conference of radioactive waste management and environmental remediation, ICEM 95 . Berlin, vol.2,p.1629-1630
- [32] Gvozdev A.A., Rolevich I.V., Golikova N.B., Polivko L.A., Serebryany G.Z., Starobinez S.E., Sidorenko G.G. Creating the system on monitoring the radionuclides migration from storages into underground water. Belarussian National Academy of Science News. № 4. 1995. p. 78-84.
- [33] Gvozdev A.A., Golikova N.B., Rolevich I.V., Skurat V.V., Starobinez S.E., Sharovarov G.A. Post-Chernobyl reduction of radioactive contamination of objects and ensuring the radioactive waste management safety. Belarussian National Academy of Science News. № 4. 1998. c.147-154.
- [34] Digest of the information-normative materials on problems of negotiating the Chernobyl accident consequences in Russia, Moscow, 1993
- [35] Parkhomenko V.I., Ramzaev V.P., Ponomarev A.V. et al. Estimation of radiation hazard of temporary radioactive waste repositories in Krasnogorsk district of Bryansk region. The report of branch of the research institute of Radiation Hygiene, Novozybkov, 1993.
- [36] Antropov V.M., Ledenev A.I., Ovcharov P.A., Mishunina I.B., Observations of the complex monitoring the radioactive waste temporary dumps conditions within Exclusion zone // Problems of ChNPP exclusion zone. Learned-methodical digest. - 1995. - №2. - p. 46 - 51.
- [37] Zhyllinski V.V., Antropov V.M., Habrika A.I. (“Complex”). Long-lived radionuclides inventory // Bulletin on the Exclusion zone ecological condition - 4(9), Feb. 1997: Chornobylinterinform, 1997. - p. 29 – 35.
- [38] Kumshaev S.B., Vasiliev U.O., Mayboroda S.V., Kolodka S.V., Zhyllinski V.V., Antropov V.M. Cadastre of the radioactive waste within Exclusion zone. Condensed matter physics, 1997, N12, P. 189-205.

- [39] Sobotovich E.V, Bondarenko G.M. The Problem of the Radioactive Substances in the Chornobyl Exclusion Zone // Chornobyl Catastrophe / Editor-in-chief V.G. Baryakhtar. – Kyiv: Editorial House of Annual Issue “Export of Ukraine”, 1997. – P. 394 – 406.
- [40] Sobotovich E.V., Kholosha V.I., Skvortsov V.V. The Conceptual Base for the Long-Term Management of the Chornobyl Exclusion Zone // Chornobyl Catastrophe / Editor-in-chief V.G. Baryakhtar. – Kyiv: Editorial House of Annual Issue “Export of Ukraine”, 1997. – P. 387 – 394.
- [41] Skurat, N.M., Shiryayeva, A. A., Gvozdev, G. Z., Serebryanyi, N. K: "Operational Conditions of Storage for Products of Decontamination at the Territory of Belarus after the Accident at the Chernobyl NPP and Evaluation of their Radioecological State.", Proc. of the Fifth Int. Conf. of Radioactive Waste Management and Environmental Remediation., Berlin, Germany, September 3-7, 1995, Vol.2, ASME, New York (1995) 1417-1419.
- [42] ROOD "GW SCREEN: A Semi-Analytical Model for Assessment of the Groundwater Pathway from Surface or Buried Contamination." Theory and User's Manual Version 2.0. EGG-GEO-10707, Idaho National Engineering Laboratory (1994).
- [43] SEREBRYANYI, J.V. ROLEVICH, A.A. GVOZDEV, A.A. BARKLAI, N.B. GOLIKOVA, S.E. STAROBINETS, Z.A. POLIVKO. "The Characteristics of Storage Sites of Radioactive Products of Decontamination at the Territory of the Republic of Belarus." Proc. of the Fifth Int. Conf. of Radioactive Waste Management and Environmental Remediation., Berlin, Germany, September 3-7, 1995, Vol.2, ASME, New York (1995) 1629-1630.
- [44] Project: Management of Radioactive Waste in Dumps in the Chernobyl Exclusion Area (TACIS UR/029). Final Report. Waste in the Chernobyl Exclusion Area. Consortium member K.A.B.AG.1995.
- [45] Metodika pro hodnocení úrovně kontaminace plodin a rizika vzniku kontaminovaného odpadu (SARCA:Software pro hodnocení prostorové radioaktivní kontaminace zemědělských plodin), Jihočeská universita, České Budějovice 2015
- [46] Metodika pro likvidaci odpadů ze živočišné výroby, SÚRO 2015
- [47] Likvidace radiačně kontaminované biomasy po havárii JE - distribuce v krajině, logistika sklizně, využití bioplynovou technologií „Č. projektu VI20172020098 Poskytovatel: Ministerstvo vnitra Název programu: VI - Bezpečnostní výzkum České republiky, 2017-2020. Zpráva ENKI- SURO 2020
- [48] Nařízení Rady (Euratom) 2016/52 ze dne 15. ledna 2016, kterým se stanoví nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin a krmiv po jaderné havárii nebo jiném případě radiační mimořádné situace a zrušují nařízení (Euratom) č. 3954/87 a nařízení Komise (Euratom) č. 944/89 a (Euratom) č. 770/90
- [49] Hesslerová, P. a kol: Stanovení různých postupů obnovy území v závislosti na úrovni kontaminace vycházející ze zkušeností v EU a ve světě. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola E), Třeboň, ENKI, 2020
- [50] The Fukushima Daiichi Accident; Technical Volume 5; Post-Accident Recovery; IAEA, Vienna, 2015

- [51] Government of Japan, Nuclear Emergency Response Headquarters, Additional Report of the Japanese Government to the IAEA: Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, Second Rep., Government of Japan (2011).
- [52] Ministry of The Environment, Guidelines for Treatment of Waste Contaminated with Radioactive Materials Discharged by the Accident, MOE, Tokyo (2013)
- [53] Ministry Of The Environment, Guidelines on Disposal Methods for Incinerated Ash and Other Waste with Radiation Levels Higher than 8,000 Bq/kg up to Less than 100,000 Bq/kg (outline), official communication (2011)
- [54] Biesold, H., Artmann, A., Deville-Cavellin, G.: The French-German Initiative for Chernobyl: Study of the Radioecological Consequences (Programme 2); Publisher: GRS, IRSN, Slavutych; March 2006
- [55] Zákon č. 185/2001 Sb. Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- [56] Zákon č. 477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)
- [57] <https://www.cenia.cz/odpadove-a-obehove-hospodarstvi/isoh/>
- [58] Vyhláška č. 383/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady
- [59] Safety Series No. 108, Design and Operation of Radioactive Waste Incineration Facilities. IAEA, 1992
- [60] . Technical Report Series 472: Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Vienna, 2010.
- [61] 40 years of experience in incineration of radioactive waste in Belgium, Vanbrabant, R. (BELGOPROCESS), IAEA-CSP--6/C. 2001. Technologies for the management of radioactive waste from nuclear power plants and back end nuclear fuel cycle activities. Proceedings.
- [62] M J Crick, G S Linsley: An assessment of the radiological impact of the Windscale reactor fire, October 1957. Int J Radiat Biol Relat Stud Phys Chem Med. 1984 Nov;46(5):479-506.

Literatura z řešení odpadů černobylské havárie v ruštině

- [63] Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85), Москва: Министерство здравоохранения, 1986.
- [64] Санитарные правила обращения с отходами дезактивации, образующимися в результате работ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (СПООД-98), Минск: Министерство здравоохранения, 1998.
- [65] Гвоздев А.А., Ролевич И.В., Баклай А.А., Голикова Н.Б., Поливко Л.А., Серебряный Г.З., Старобинец С.Е., Сидоренко Г.Г. Создание системы наблюдения за миграцией радионуклидов из пунктов хранения радиоактивных отходов в подземные воды. Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. ФТН. № 4. 1995. с.78-84.
- [66] Гвоздев А.А., Голикова Н.Б., Ролевич И.В., Скурат В.В., Старобинец С.Е., Шароваров Г.А. Снижение радиоактивного загрязнения объектов после катастрофы на Чернобыльской АЭС и обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами. Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Сер. ФТН. № 4. 1998. с.147-154.

- [67] Сборник информационно-нормативных материалов по вопросам преодоления в Российской Федерации последствий чернобыльской катастрофы, М., 1993.
- [68] Пархоменко В.И., Рамзаев В.П., Пономарев А.В. и др. Оценка радиационной опасности временных хранилищ радиоактивных отходов в Красногорском районе Брянской области. Отчет филиала НИИ радиационной гигиены, Новозыбков, 1993а.
- [69] Пархоменко В.И., Рамзаев В.П., Попов А.В. и др. Разработка комплексных технологий, технических средств, практических мероприятий и оценка их эффективности для реабилитации населенных пунктов. Отчет филиала НИИ радиационной гигиены, Новозыбков, 1993б.
- [70] Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций СПАЭС-79. М., 1979
- [71] «Ведомость инвентаризации мест хранения и захоронения радиоактивных отходов по состоянию на 01.12.98 г, ГСП «Комплекс», 1999 г.
- [72] Антропов В.М., Жилинский В.В., Трембач Б.В., Барсуковский В.В., Обращение с радиоактивными отходами в Чернобыльской зоне, Международная конференция “Десятилетие после Чернобыля: оценка радиологических последствий аварии”, 8-12 апреля 1996 г., г.Вена, Австрия, IAEA - CN - 63/331
- [73] В.М.Антропов, А.И.Леденев, И.Б.Мишунина, П.А.Овчаров, Результаты комплексных исследований радиационного состояния пунктов временной локализации радиоактивных отходов в зоне отчуждения ЧАЭС, УДК 621.039.75, Проблеми чорнобильської зони відчуження, № 2, 1995 г.
- [74] О.В.Войцехович, Г.В.Лаптев, В.В.Канівець, Д.А.Бугай, С.П.Джепо, А.С. Скальський, М.І.Железняк, Радіаційне забруднення водних об'єктів зони відчуження ЧАЕС, Бюллетень екологічного стану зони відчуження, № 1, 1996, Адміністрація зони відчуження.
- [75] «Бюллетень екологічного стану зони відчуження», №3, серпень 1996, спец. Випуск. Адміністрація зони відчуження.
- [76] В.И.Холоша, Полигон планетарного масштаба, “Киевский вестник”, № 35, 1 апреля, 1999 г.
- [77] Жилинский В.В., Антропов В.М., Хабрыка В.И. Инвентаризация долгоживущих радионуклидов. Бюллетень экологического состояния зоны отчуждения, 4(9), февраль 1997, стр. 29-35.
- [78] Кумшаев С.Б., Васильев Ю.О., Майборода С.В., Колодка С.В., Жилинский В.В., Антропов В.М. Кадастр радиоактивных отходов зоны отчуждения. Condensed matter physics, 1997, N12, P. 189-205.
- [79] Табачний Л.Я., Іщук О.О., Проскура М.І., Железняк М.І., Чабанюк В.С., Кумшаєв С.Б., Антропов В.М., Авдєєв О.К. Використання геоінформаційних систем для оцінки радіоекологічних наслідків аварії на ЧАЕС. Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного відселення. №13, березень 1999, стр. 59.
- [80] Леденев А.И., Овчаров П.А., Мишунина И.Б., Антропов В.М. Результаты комплексных исследований радиационного состояния пунктов временной локализации радиоактивных отходов в зоне отчуждения ЧАЭС // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. Науково-технічний збірник. - 1995. - №2. - С. 46 - 51.

- [81] Соботович Е.В., Бондаренко Г.М. Проблема радіоактивних речовин у зоні відчуження ЧАЕС // Чорнобильська катастрофа / Головний редактор В.Г. Бар'яхтар/ - Київ: Наукова Думка, 1995. - С. 385 – 392.
- [82] Соботович Е.В., Холоша В.І., Скворцов В.В. Концептуальні основи довготривалого утримання Чорнобильської Зони відчуження // Чорнобильська катастрофа / Головний редактор В.Г. Бар'яхтар/ - Київ: Наукова Думка, 1995. - С. 393 - 403.
- [83] Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. Москва, Энергоатомиздат 1988, 150 с.
- [84] Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85), Москва: Министерство здравоохранения, 1986.
- [85] Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций СПАЭС-88. М., 1988
- [86] Концепция обращения с радиоактивными отходами Украины. Соботович Э.В. и др., Киев, Академия наук Украины, 1993 г., 132 с.
- [87] Underground Disposal of Radioactive wastes. Basic guidance. Safety series, n 54. IAEA, Vienna, 1981.
- [88] Санитарные правила обращения с отходами дезактивации, образующимися в результате работ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (СПООД-98), Минск: Министерство здравоохранения, 1998.
- [89] Порядок освобождения радиоактивных отходов и побочных радиоактивных материалов от регуляционного контроля, 10 декабря 1997 г., № 583/2387
- [90] Отчет по договору № 247-Н (дополнительное соглашение № 3) "Разработка проектов консервации ПВЛРО в 30-км зоне отчуждения ЧАЭС». Геофизическое обследование объектов ПВЛРО секторов «г. Припять» и «Нефтебаза» (прибрежные участки секторов) общей площадью до 30 га. Картирование аномалий, определение запасов РАО на основе каротажа скважин, оконтуривание объектов ПВЛРО знаками радиационной опасности и реперами". НТЦ КОРО, г. Желтые Воды, 1994 г.
- [91] Отчет по договору N 247-Н (доп. Соглашение №7)" Разработка проектов консервации ПВЛРО в 30–км зоне отчуждения ЧАЭС, Этап 1.2. Завершение работ по обследованию ПВЛРО. Отбор и исследование проб грунта и воды, обработка результатов полевых работ, оконтуривание ПВЛРО знаками радиационной опасности". НТЦ КОРО, г. Желтые Воды, 1995 г.
- [92] Отчет по договору № 13/111Н-98 "Радиационное обследование ПВЛРО «Песчаное плато» и анализ влияния захоронения на окружающую среду". НТЦ КОРО, г. Чернобыль, г. Желтые Воды, 1998 г.
- [93] Жилінський В.В., Антропов В.М., Хабрика А.І. (ДП “Комплекс”). Інвентаризація тривалоіснуючих радіонуклідів // Бюлетень екологічного стану зони відчуження - 4(9), лютий 1997:Чорнобильінтерінформ, 1997. - С. 29 - 35.
- [94] Леденев А.И., Овчаров П.А., Мишунина И.Б., Антропов В.М. Результаты комплексных исследований радиационного состояния пунктов временной локализации радиоактивных отходов в зоне отчуждения ЧАЭС // Проблемы

- Чорнобильської зони відчуження. Науково-технічний збірник. - 1995. - №2. - С. 46 - 51.
- [95] Chornobyl Catastrophe. // Editor-in-chief V.G.Baryakhtar. – Kyiv: Editorial House of Annual Issue “Export of Ukraine”, 1997. – 573 p.
- [96] Нагорский В.А. Оценка запасов активности основных радионуклидов на территории Чернобыльской зоны отчуждения на основе картографического и системного подходов./Экологически проблемы захоронения радиоактивных отходов. Международная конференция 9 – 11 марта 2000 г. Сборник тезисов. Киев, 2000.
- [97] В.Лінс, Е.В.Соботович, В.В.Скворцов. Розробка стратегії поводження з рав, локалізованих у зоні відчуження. Проект TACIS UR/029.// Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов’язкового) відселення. № 14, жовтень 1999. С. 25.
- [98] Skvortsov V. The temporary radwaste localization sites in the Chernobyl zone and the safety problem.// Disposal Technologies and Concepts 1998 (DisTec’98). International Conference on Radioactive Waste Disposal. September 9-11, 1998, Hamburg – Germany.
- [99] Керри Н. Праг, Уильямс С. Амо, Джеймс Д. Фокселл. Секреты Access 97. Диалектика, Киев-Москва, 1997, 500 с.
- [100] Антышев С.Г. и др. Отчет о предварительной разведке подземных вод для орошения земель колхоза «Комсомолец» Новозыбковского района Брянской области, проведенной в 1982-84 гг. Пос.Белые Берега, 1985. ЦГФ ЦРГЦ, инв.№ 36771.
- [101] Гоголь С.Б. Отчет о результатах геолого-экологического изучения отдельных районов Брянской и Орловской областей в условиях долговременного радиоактивного загрязнения за 1990-1994 гг. Место хранения: Центральный Геологический фонд ЦРГЦ, инв. № 40106.
- [102] Пархоменко В.И., В.П. Рамзаев, А.В. Пономарев и др. Оценка радиационной опасности временных хранилищ радиоактивных отходов в Красногорском районе Брянской области. Отчет филиала НИИ радиационной гигиены, Новозыбков, 1993а.
- [103] Пархоменко В.И., В.П. Рамзаев, А.В. Попов и др. Разработка комплексных технологий, технических средств, практических мероприятий и оценка их эффективности для реабилитации населенных пунктов. ра. Отчет филиала НИИ радиационной гигиены, Новозыбков, 1993б.
- [104] Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций СПАЭС-79. М., 1979.
- [105] Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85). М., 1986.
- [106] Сборник информационно-нормативных материалов по вопросам преодоления в Российской Федерации последствий чернобыльской катастрофы, М., 1993.
- [107] Временные санитарные правила обращения с отходами дезактивации. – Минск, Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 1998.
- [108] International Atomic Energy Agency, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, Vienna, 1995.

- [109] Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85), Москва: Министерство здравоохранения, 1986.
- [110] Отчет о научно-исследовательской работе по договору 13/111Н-98. Этап 6. Обобщение результатов работ по обращению с РАО в ПВЛРО за последние пять лет и определение направлений дальнейших исследований. А.И. Леденев (руководитель), В.М. Яковлев, П.А. Овчаров, И.Б. Мишунина. Желтые Воды: 1999. 50 с.
- [111] Паспортизация пунктов захоронения радиоактивных продуктов дезактивации в Гомельской области. В 9-ти частях. Отчет о НИР / ИРЭП АН Б^{ел} инв. №28. – Минск 1992.
- [112] Дать рекомендации по обустройству и содержанию пунктов хранения радиоактивных отходов и продуктов дезактивации: Отчет / ИРЭП АНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Л.А.Поливко и др. Инв.№ 37. -Минск, 1992. - 133 с.
- [113] Создание системы наблюдения за процессами миграции радионуклидов в системе “почва-поверхностные и грунтовые воды” в зонах расположения пунктов хранения радиоактивных отходов и продуктов дезактивации: Отчет о НИР / ИРЭП АНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Л.А.Поливко и др. Инв.№ 51. - Минск, 1993. - 170с.
- [114] Создание системы наблюдения и радиационного контроля за процессами миграции радионуклидов в системе “почва-поверхностные и грунтовые воды” в зонах расположения пунктов хранения радиоактивных отходов и продуктов дезактивации в ареале “Сожского следа”: Отчет о НИР / ИРЭП АНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Л.А.Поливко и др. Инв.№ 81. - Минск, 1994. - 157с.
- [115] Паспортизация пунктов захоронения радиоактивных продуктов дезактивации в Могилевской области: Отчет о НИР / ИРЭП НАНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Г.Г.Сидоренко и др. Инв. № 100. – Минск 1995. - 90с.
- [116] Проведение экспериментально-теоретических работ по определению влияния ПХ РПД на содержание радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в грунтовых водах на созданной сети гидрогеологических наблюдательных скважин: Отчет о НИР / ИРЭП АНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Н.Б.Голикова и др. Инв.№111. - Минск, 1995. - 86с.
- [117] Паспортизация пунктов захоронения радиоактивных продуктов дезактивации (ПЗ РПД) в Гомельской области: Отчет о НИР / ИРЭП НАНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Г.Г.Сидоренко и др. Инв. № 129. - Минск 1996. - 93с.
- [118] Радиационное обследование, определение объемов отходов дезактивации и паспортизация десяти временных пунктов захоронения отходов дезактивации в Гомельской области. Этап 1: Отчет о НИР / ИРЭП НАНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Г.Г.Сидоренко и др. Инв. №.156 -Минск, 1997. - 87с.
- [119] Радиационное обследование, определение объемов отходов дезактивации и паспортизация десяти временных пунктов захоронения отходов дезактивации в Гомельской области. Этап 2: Отчет о НИР / ИРЭП НАНБ; Исп. А.А.Гвоздев, Г.З.Серебряный, Г.Г.Сидоренко и др. Инв. №.193. -Минск, 1998. -88с.
- [120] Радиационное обследование, определение объемов отходов дезактивации и паспортизация пунктов захоронения отходов дезактивации, расположенных

- в Луненецком районе Брестской области. Отчет о НИР. ИРЭП НАНБ. Инв. №225. Минск. 1999. 54с.
- [121] Радиационное обследование, определение объема отходов дезактивации и паспортизация проектного пункта захоронения, расположенного в Столинском районе Брестской области. Отчет о НИР. ИРЭП НАНБ. Инв. №247. Минск, 2000, 33с.
- [122] Гвоздев А.А., Ролевич И.В., Баклай А.А. и др. Создание системы наблюдения за миграцией радионуклидов из пунктов хранения радиоактивных отходов в подземные воды. - Изв. АНБ. Сер. Физ.-тех. наук, 1995, № 4, с.78-84.
- [123] Н.Б. Голикова, А.А.Гвоздев. Особенности поведения ^{90}Sr в радиоактивных отходах дезактивации в пунктах хранения, созданных после аварии на ЧАЭС / Тез. докл. Междунар. научн. конф. "Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы)". Минск, 1996. с.71.
- [124] А.А.Гвоздев, И.В.Ролевич, Н.Б.Голикова и др. Проведение радиоэкологического мониторинга подземных вод в местах размещения пунктов хранения радиоактивных отходов дезактивации. Тез. докл. Междунар. конф. «Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы)». Минск, 1996.
- [125] A.Gvozdev, I.Rolevich, N.Golicova et. al. Radioecological Monitoring of the Ground Water in the Areas of Storage Sites of Radioactive Products of Decontamination. Extended Synopses of the Int. Symp. on Extended Synopses of the Int. Symp. on Experience in the Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities. Vienna, Austria, 1996.
- [126] N.Golicova, A.Gvozdev, G.Serebryanyi et. al. Studying the Effect of Radioactive Waste Storage Sites on Environment. The Sixth Int. Conf. On Radioactive Waste Management and Environment Remediation. Singapore, ICEM, 1997.
- [127] А.А.Гвоздев, Н.Б.Голикова, В.В.Котович и др. Оценка радиоэкологической безопасности хранилищ радиоактивных отходов дезактивации Чернобыльского происхождения в Беларуси. / Тез. докл. на Международной конф. УкрЯО "Безопасность и защита АЭС". - Одесса, 1997. - с.63-64.
- [128] Гвоздев А.А., Голикова Н.Б., Ролевич И.В. и др. Снижение радиоактивного загрязнения объектов после катастрофы на Чернобыльской АЭС и обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами. - Изв. НАНБ. Сер. Физ.-тех. наук, 1998, № 4, с.151-158.
- [129] А.А.Гвоздев, М.Г.Герменчук, Н.Б.Голикова и др. Загрязнение и контроль водной среды в ареале выпадений радионуклидов Чернобыльского происхождения. Материалы Междун. Семинара «Конверсия научных исследований в Беларуси в рамках деятельности МНТЦ», ч.1, Минск, 1999.
- [130] А.А.Гвоздев, Н.Б.Голикова, С.Е.Старобинец и др. Исследование динамики вымывания радионуклидов из отходов дезактивации. Весці Нацыян. Акад. Навук Беларусі. Сер. фіз.-техн. Навук, №2, 2000.
- [131] Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В., Сиротенко Г.И. Исследование механизма и скорости миграции радионуклидов из пунктов временной локализации радиоактивных отходов. \ Наука. Чорнобиль-96. Науково-практична конференція 11-12 лютого 1997 р. Збірка доповідей. Київ, 1997. С. 315 – 319.

- [132] Деревець В.В., Іванов Ю.П., Казаков С.В., Марченко В.І., Дорошенко Л.А. Радіаційний стан зони відчуження. \ Бюллетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обовязкового) відселення. №13, березень 1999. С. 9 – 19.
- [133] Звіт з аналізу безпеки поводження з радіоактивними відходами зони відчуження в 2000 році. / Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “Чорнобильський радіоекологічний центр”. Чорнобиль: 2001.
- [134] Звіт про виробничо-господарську діяльність ДСНВП “Екоцентр” за 1999 рік. / Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “Чорнобильський радіоекологічний центр”. Чорнобиль: 2000.
- [135] Звіт про виробничо-господарську діяльність ДСНВП “Екоцентр” за 2000 рік. / Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “Чорнобильський радіоекологічний центр”. Чорнобиль: 2001.
- [136] Отчет «Обобщение результатов работ по обращению с РАО в ПВЛРО за последние пять лет и определение направлений дальнейших исследований \ Научно-технический центр «КОРО». 1999
- [137] Гвоздев А.А. и др. Создание системы наблюдения за миграцией радионуклидов из пунктов хранения радиоактивных отходов в подземные воды. Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. № 4. стр.78-84. М., 1995.
- [138] Продолжение радиационно-экологического мониторинга подземных вод в местах размещения пунктов захоронения отходов дезактивации и разработка рекомендаций по их безопасному хранению. Отчет о НИР №246 ИРЭП НАНБ. 81 с. М., 2000.
- [139] Менеджмент чернобыльских отходов дезактивации в России. Отчет ИБРАЭ, М., 2001.
- [140] Исследование и инвентаризация ПВЛРО участка 5.1 сектора “Нефтебаза”.
- [141] Исследование и инвентаризация ПВЛРО уч. 5.2, 5.3 сектора “ Нефтебаза”. Отчет. НТЦ КОРО. Желтые Воды, 1995.
- [142] Радиохимические исследования характера радионуклидного загрязнения почвы в зонах ПВЛРО ЧАЭС и разработка технических решений по локализации и ограничению миграции радионуклидов. Отчет. Радиевый институт им. В.Г. Хлопина. Ленинград., 1992.
- [143] Фракционирование радионуклидов в топливных горячих частицах, образовавшихся в результате аварии на ЧАЭС. Сборник научных трудов Укр НИИ сельхозрадиологии. Выпуск 2. Киев, 1992.
- [144] Ядерно-физические характеристики Чернобыльских горячих частиц Сборник научных трудов Укр НИИ сельхозрадиологии. Выпуск 2. Киев, 1992.
- [145] Концепция по обращению с радиоактивными отходами в пунктах временной локализации на территории Украины. Отчет о НИР ВНИПИпт, Москва, -1991.
- [146] Либов Е.А., Ильичев В.А. и др. «Изучение мест захоронения РАО, разработка технологий и мероприятий по их долговременной локализации», ВНИПИпт, Чернобыль/Фонды Чернобыля. –1992
- [147] Отчет о НИР «Классификация участков ПВЛРО по условиям радиоактивного загрязнения грунтовых и поверхностных вод» / Джепо С.П., Марчук В.В.,

Скальский А.С., Бугай Д.А., Крашенинникова Т.М.// Институт геологических наук АН Украины, Киев, 1993. 96с.

[148] Саверский С.Ю., Бугай Д.А., Антропов В.М., Новиков А.Д., Рудько В.М.»Опыт и перспективы обращения с радиоактивными отходами в зоне отчуждения», Бюллетень экологического состояния зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения, № 17, апрель 2001г.

[149] Методологические рекомендации по поиску и обследованию ПВЛРО в 30км зоне отчуждения. Отчет о НИР, А-593Н\ Фонды НТЦ КОРО, г.Желтые воды.-1995г.

XIV. Přílohy

Příloha 1: Přístup k nakládání s odpadem (Fukušima)

Strategie nakládání s radioaktivními odpady

Hlavními prvky strategie nakládání s radioaktivními odpady formulované japonskou vládou byly:

- Soustředění odpadů vzniklých při nápravě v místech dočasného skladování v blízkosti místa vzniku.
- Přeprava odpadů vzniklých při nápravě z míst dočasného skladování do zařízení na přechodné skladování.
- Snížení objemu spalitelných odpadů spalováním ve vhodných místních spalovnách pevného komunálního odpadu vybavených zařízením pro čištění plynů na zadržení ^{134}Cs a ^{137}Cs .
- Snížení objemu půdy použitím techniky vymývání na separaci půd s vyšším obsahem cesia.
- Ukládání odpadů v závislosti na aktivitě do dočasných úložišť nebo na společné nebo speciální místní skládky, nebo podpovrchové úložiště.
- Inventarizace shromážděného materiálu pro sledování množství a aktivity odpadů.

Pro zavedení této strategie:

- Byla využita stávající infrastruktura pro nakládání s tak velkým množstvím vytvořeného odpadu včetně sběru a třídění v místě zdroje podle aktivity
- Bylo vybudováno mnoho míst pro dočasné skladování odpadů
- Byly poskytnuty prostředky pro přepravu, zpracování, redukci objemu a místo na skládkách komunálního odpadu
- Byla zjištěna místa možného dočasného skladování velkého množství odpadů na požadovanou dobu
- Byla zjištěna místa pro úložiště různých typů odpadů

Kategorizace odpadů

Kategorizace odpadů je na základě těchto kritérií:

- Místo vzniku;
- Měrná aktivita ^{134}Cs a ^{137}Cs ($< 8000 \text{ Bq/kg}$, $< 100\,000 \text{ Bq/kg}$, $> 100\,000 \text{ Bq/kg}$);
- Typ odpadů (spalitelný, nespalitelný, půda);
- Původ (činnosti při nápravě, demolice poškozených budov, odpady z čištění budov v zóně evakuace)

Třídění odpadů

Odpad byl tříděn na místě sběru podle aktivity cesia s ohledem na formu (spalitelné, nespalitelné) do tří skupin [53]:

- $< 8 \text{ kBq/kg}$
- $> 8 \text{ kBq/kg}$ a $< 100 \text{ kBq/kg}$

- $> 100 \text{ kBq/kg}$

Odpady s aktivitou $< 8 \text{ kBq/kg}$ byly zpracovány jako klasický neaktivní komunální odpad. Pro nakládání s odpady, jejichž aktivita byla větší než 8 kBq/kg , byly vypracovány příslušné postupy pro přepravu, úpravu, případně recyklaci a znovupoužití, nebo pro uložení na vybraných úložištích vybavených systémem monitorování průsaků.

Pro uložení odpadu nebyla definována kritéria na celkovou aktivitu, ale byla stanovena podmínka, že dávka v okolí úložiště nesmí být větší než 1 mSv/rok .

Spalování se ukázalo jako vhodná metoda pro zpracování velkého množství odpadů, ale použití spaloven si vyžadovalo vypracovat a uplatnit celou řadu požadavků na spalovny radioaktivního odpadu. Proto kromě kritérií pro třídění odpadů podle aktivity byly zpracovány:

- Požadavky na projekt spalovny
- Kritéria přijatelnosti na odpad určený na spalování,
- Limit pro vypustě ze spalovny
- Požadavky na monitorování vypustí ze spalovny do vzduchu a do vody
- Podmínky pro přepravu radioaktivního popele do úložiště

Limity aktivity pro různé typy uskladnění a uložení

Pro popel ze spalování byly limity určeny takto:

- $< 8 \text{ kBq/kg}$ pro standardní skládky
- $> 8 \text{ kBq/kg}$, ale $< 100 \text{ kBq/kg}$ pro úpravu a uložení na určených skládkách
- $> 100 \text{ kBq/kg}$ podle rozhodnutí státních orgánů

V japonské legislativě není definován limit celkové aktivity odpadů v úložišti. Uplatnil se limit dávky 1 mSv/rok na obyvatele v blízkosti úložiště. Odpady s aktivitou $> 8 \text{ kBq/kg}$ a současně $< 100 \text{ kBq/kg}$ byly převezeny na skládky s kontrolou průsaků. Odpady s aktivitou $> 100 \text{ kBq/kg}$ byly uskladněny na speciálních dočasných skládkách. Protože odpadů bylo velké množství a kapacita skládek byla omezena, v jednotlivých prefekturách se používali postupy pro redukci množství odpadů [16].

Příloha 2: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem (Černobyl)

Klasifikace radioaktivních odpadů s neznámou měrnou aktivitou

Kritériem pro klasifikaci odpadů s neznámou měrnou aktivitou byl dávkový příkon gama záření ve vzdálenosti 1 m od povrchu [20]:

- Nízkoaktivní: $1 \div 100 \mu\text{Gy/h}$
- Středněaktivní: $100 \div 10.000 \mu\text{Gy/h}$
- Vysokoaktivní: $> 10.000 \mu\text{Gy/h}$

Odpady podle původu byly tříděny takto:

- a) Radioaktivní odpady z elektrárny pocházející z výstavby krytu nad 4. blokem
- b) Radioaktivní odpady s obsahem štěpných produktů smíchané s odpadem z provozu
- c) Radioaktivní odpady z dočasných míst skladování v různých místech zakázané zóny
- d) Radioaktivní odpady z existujících úložišť

Dočasná zařízení na skladování radioaktivních odpadů

Na rozdíl od systému nakládání s radioaktivními odpady je nakládání s nimi po Černobylu charakteristické tím, že skladování a ukládání ne vždy bylo přehledně řízeno a také evidence je nedostatečná [36] [43] [44].

Nejvíce radioaktivních odpadů vytvořených v souvislosti se 4. blokem je umístěno na území zakázané zóny. Místa pro dočasné skladování jsou skládky nebo zářezy (rýhy) vybudované krátce po havárii ve vzdálenosti 0,5 až 15 km od elektrárny.

V letech 1986 až 1987 byla vybudována západně od Černobylu dočasná místa pro uskladnění odpadů vytvořených po havárii při dekontaminaci území s cílem omezit rozptylování prachu, snížit dávkový příkon a usnadnit práci na 4. bloku. Tato místa byla vybudována bez dokumentace, inženýrských bariér a hydrogeologického průzkumu. Většina těchto míst uskladnění jsou ve formě rýh hlubokých 1,5 až 2,5 m a po zaplnění překryty vrstvou 0,2 až 0,5 m půdy z blízkého okolí.

Kromě toho existuje mnoho dalších dočasných skládek. Odhaduje se, že je to přibližně 800 vykopaných rýh s objemem odpadu od 800 do $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Podle odhadů pro několik míst, aktivita uskladněných odpadů je velmi vysoká – 10 až 1.000 TBq.

V průběhu sanačních prací, jak v lokalitě JE Černobyl, tak v jejím okolí, byly generovány velké objemy radioaktivního odpadu a ukládány do dočasných úložišť na povrchových úložištích umístěných ve „exclusion zóně“ ve vzdálenosti 0,5 až 15 km od areálu JE.

V letech 1986 až 1987 byla vytvořena místa pro dočasné ukládání odpadu (zákopy a skládky) pro radioaktivní odpady vzniklé v důsledku čištění kontaminovaných oblastí. Celkovým cílem těchto likvidací bylo především zabránit šíření prachu, snížit úroveň záření a umožnit lepší pracovní podmínky na 4. bloku a jeho okolí. Všechna tato úložiště však byla zřízena bez řádné projektové dokumentace, inženýrských bariér nebo hydrogeologických průzkumů podle současných bezpečnostních požadavků a norem.

Je tomu tak i v Bělorusku, kde masivní dekontaminace zasažených území, která byla zřízena v letech 1986 až 1989, vedla k více než 80 „pohřebišť odpadů“, která byla zřízena bez ohledu na geologické a hydrogeologické podmínky při výběru oblastí k jejich instalaci (Výbor pro Problémy důsledků havárie na JE Černobyl 2001). Obrázek ukazuje pohřebišť

identifikovaná v Bělorusku v roce 2001, která se nacházejí na zasaženém území, některé z nich daleko za vylučovací zónou.



Průzkum provedený v rámci francouzsko-německé iniciativy (IFA) (Biesold a Deville-Cavellin 2006) za účasti Běloruska, Ukrajiny a Ruska identifikoval asi 800 lokalit a vyhodnotil objemy odpadu takto:

- Více než 2 miliony m^3 rozdělené na téměř 12 oblastí na Ukrajině;
- Více než 400 tisíc m^3 rozloženo na 12 oblastí v Bělorusku;

Více než 100 tisíc m^3 rozloženo do 5 zón v Rusku. Průzkum také vedl k identifikaci četných „zákopů“, které nebyly dosud inventarizovány (pouze polovina z nich byla dobře zdokumentována). Výsledkem jsou velké nejistoty, pokud jde o objem odpadu, aktivitu, typ a umístění [27]. Odhaduje se, že celkový objem by mohl přesáhnout 3 miliony m^3 , což odpovídá více než 10^{16} Bq celkem.

Ekonomické a lidské zdroje však byly rozšířeny, aby poskytovaly systematickou analýzu a zlepšenou strategii pro nakládání s existujícím radioaktivním odpadem. Tímto způsobem, aby bylo možné posoudit potenciální rizika, která představují různá úložiště, byla původně rozdělena do čtyř skupin (I - IV) na základě dvou kritérií: „specifická aktivita ^{137}Cs “ a „specifická aktivita“. Kategorizace byla založena na národních normativních dokumentech pro hodnocení radioaktivního odpadu, obecných zásadách MAAE a specifických vlastnostech černobylského odpadu. Poté byly tyto skupiny odpadu rozděleny do pěti místních kategorií (A - E), v závislosti na umístění zařízení na zneškodňování odpadu, přítomnosti (nebo nepřítomnosti) vytvořených bariér, přítomnosti (nebo nepřítomnosti) izolace, režimu ukládání radioaktivního odpadu a dostupnost obalů (pro obaly radioaktivního odpadu). Dále byl analyzován odpad z hlediska použitých technik zpracování (zhutnění, dekontaminace, recyklace, těžba a stabilizace), aby bylo možné nalézt strategická rozhodnutí a přijmout konkrétní opatření k likvidaci odpadu [54].

U odpadu kontaminovaného nespécifikovanými směsmi radionuklidů emitujících gama záření je povoleno použití klasifikace „nízká“, „střední“ a „vysoká“ s kritérii dávkového příkonu ve vzduchu ve vzdálenosti 0,1 m (základní sanitární zařízení - Pravidla 2000).

Podle dostupných informací lze typy zařízení na odstraňování odpadů dosažené ve všech třech státech rozdělit do tří kategorií. Střední a vysoce aktivní odpady udržované pod kontrolou:

Lokalita „Podlesný“.

Toto úložiště, které bylo provozováno od konce roku 1986 do konce roku 1988, obsahuje více než 11 000 m³ radioaktivního odpadu střední úrovně a někdy i odpadu vysoké úrovně (v závislosti na materiálech je specifická aktivita mezi 10⁴ Bq.g⁻¹ a více než 10⁶ Bq.g⁻¹); různé odpady (kovové konstrukce, beton, písky, trosky paliv, bitumen, vegetace) jsou uloženy v betonových trezorech.

Lokalita Komplexny.

Toto úložiště, které bylo provedeno mezi konci roku 1986 a 1988, přijalo přibližně 30 000 m³ radioaktivního odpadu střední úrovně (mezi 10⁴ Bq.g⁻¹ a přibližně 10⁵ Bq.g⁻¹). Odpad (kovové konstrukce, beton, ocel) je balen do kovových sudů a uložen v betonových trezorech.

Lokalita Buriakovka.

Toto úložiště, které fungovalo od roku 1987, přijalo více než 650 000 m³ nízko a středního odpadu (např. Beton, písky, asfaltová silnice a vegetace). Odpady jsou ukládány do 30 zákopů, typu kopců, vytvořených z podstatného krytí vodotěsné a hlíny.

Příloha 3: Zkušenosti z nakládání s živočišnými odpady

V evropské prostoru a zkušenosti existují popsané a rozsáhlé zkušenosti s nakládání s živočišnými odpady u dvou radiačních havárií – Windscale a Černobyl [20] [46] [62], stručně klíčové zkušenosti jsou popsány níže.

a) Windscale (Sellafield), 1957

Ve Windscale po havárii jaderného zařízení došlo k významnému úniku radionuklidů [62] nejvýznamnějším byl ^{131}I . Protože k havárii došlo 10. října, jednalo se o zemědělskou oblast a hospodářská zvířata byla v této roční době na pastvinách (proto došlo ke kontaminaci zvířat jak inhalačně, tak i ingesční cestou přes kontaminovanou pastvu) Vzhledem k velké kontaminaci mléka britské úřady stanovily mez pro používání mléka pro lidskou spotřebu na $0,1 \mu\text{Ci } ^{131}\text{I} / \text{l}$, tj. $3700 \text{ Bq } ^{131}\text{I} / \text{l}$ (v RH Windscale dominoval únik ^{131}I , podíl ^{137}Cs byl malý ve srovnání s TH Černobyl) a přijaly opatření pro jeho likvidaci: vylévání kontaminovaného mléka do kanálů (to způsobilo problémy s kontaminací kanalizace biologickým odpadem) anebo rozlévání na půdu (hnojení mlékem). Takto bylo zlikvidováno 250 000 galonů, tj. $1,1 \cdot 10^6$ litrů mléka od 600 stád krav na území 200 – 300 čtverečních mil, tj. 320 – 480 km^2 . Délka tohoto opatření byla po dobu 2 – 3 týdnů, v souvislosti s poločasem rozpadu ^{131}I .

b) Černobyl, 1986

Černobylská havárie proběhla v pozdním jaru, v období intenzivního růstu a vývoje rostlin, všechny plochy byly již osety a hovězí dobytek byl vyhnán na pastvinách.

Časná fáze:

V období mezi 2. – 5. květnem 1986 bylo z oblasti evakuační zóny okolo Černobylské jaderné elektrárny evakuováno spolu s lidmi okolo 50 000 kusů hovězího dobytka, 13 000 prasat, 3 300 ovcí a 700 koní [27]. Z důvodu nedostatku krmiva a organizačních těžkostí bylo mnoho z těchto evakuovaných zvířat později poraženo. Okolo 20 000 domestikovaných zvířat (včetně koček a, psů), která zůstala v evakuované zóně, bylo utraceno a spáleno.

Protože v časně fázi po havárii nebylo možné zjistit úroveň kontaminace měřeními, udává se, že v období května až července 1986 bylo poraženo 95 500 kusů hovězího dobytka a 23 000 prasat [27]. Mnoho takto poražených kusů bylo spáleno, některé byly zamrazeny v lednicích. Obě tato opatření však přinášela velké hygienické, praktické a ekonomické těžkosti. Jedním z hlediska organizačního snadno přijatelných opatření po havárii bylo rozhodnutí o masivních porážkách a zákaz spotřeby masa. Bylo však velmi nákladné a vzniklo při něm velké množství více či méně kontaminovaného odpadu.

Několik měsíců po havárii byla část hovězího dobytka krmena nekontaminovaným krmivem, což za dobu 1 – 2 měsíců vedlo ke snížení obsahu ^{137}Cs v mase pod směrnou hodnotu [27]. Toto opatření však nemohlo být přijato hromadně, částečně také kvůli nedostatku nekontaminovaného krmiva (stalo se na jaře, kdy už staré zásoby byly z velké části spotřebovány). Kritéria se lišila pro různé oblasti podle jejich kontaminace.

Pozdní fáze:

Také v pozdní fázi, na počátku 90. let, bylo na Ukrajině z některých míst mnoho dobytka v soukromém vlastnictví přemístěno spolu s majiteli [27]. Pro obyvatele, kteří zůstali v kontaminovaných oblastech a vlastnili dobytek, byl zajištěn dovoz nekontaminovaného krmiva z jiných oblastí. I v Ruské federaci bylo v letech 1987 – 1988 pokračováno v přemísťování dobytka, udává se, že efektivněji než na Ukrajině [27]. Protože byl zaznamenán velký přestup Cs do těl ovcí, týkalo se přemístění všech ovcí z oblastí s kontaminací půdy vyšší než 555 kBq/m^2 . Z těchto vysoce kontaminovaných oblastí bylo přemístěno také 6880 kusů hovězího dobytka. Mnoho rodin vlastnících soukromě hovězí dobytek si však svá zvířata ponechalo. V Bělorusku došlo v letech 1989 - 1991 k přesídlení celkem 470 osad, domácí zvířata byla, pokud to bylo možné, přemístěna se svými majiteli [27]. Ekvivalentní dávky na štítnou žlázu pro dobytek byly dostatečné pro vyvolání radiačního efektu. Některá zvířata uhynula, byly pozorovány také ztráty plodu a vývojové vady u potomstva, nebyly pozorovány teratogenní efekty. Kromě toho byly také zaznamenány genetické mutace u hlodavců.

Řešení problému kontaminovaného mléka

Časná fáze:

V prvních týdnech po havárii bylo provedeno velké množství měření obsahu radionuklidů v mléce, která měla zabránit vstupu radionuklidů do potravního řetězce. Byla přijata následující opatření.

- převedení zvířat z pastvin do uzavřených stájí a vyloučení krmiva z kontaminovaných pastvin
- provádění měření ve zpracovatelských závodech a nepřijímání mléka, v němž byla naměřena aktivita ^{131}I vyšší než stanovená „akční“ hodnota 3500 Bq/l.
- zpracování mléka odmítnutého v kroku 2) – většinou se jednalo o přepracování mléka na produkty, které bylo možno skladovat, jako jsou kondenzované anebo sušené mléko, sýry nebo máslo

Měření byla prováděna především na farmách kolektivního zemědělství, jen málo soukromých zemědělců bylo zařazeno do tohoto programu. Ani výsledky měření mléka nebyly předávány soukromým zemědělcům, ti tedy spotřebovávali své mléko bez omezení, což vedlo k nízké účinnosti opatření v zemědělských oblastech.

Pozdní fáze:

I v letech následujících po havárii bylo zapotřebí zajistit, aby do potravního řetězce vstupovalo pouze mléko, jehož objemové aktivity byly nižší než limitní úrovně [27]. Toto bylo zajištěno zavedením monitorování mléka. Toto bylo nejintenzivnější v letech 1986 – 1992, poté docházelo k redukci počtu měření hlavně z finančních důvodů.

Dalším z opatření, vlastně jedním z nejdůležitějších a nejpoužívanějších v zemích bývalého Sovětského svazu i v dalších evropských zemích, bylo zajištění nekontaminovaného krmiva pro hovězí dobytek [27]. Oficiální odhady hovoří o zajištění nekontaminovaného krmiva pro 5 000 – 20 000 kusů hovězího dobytka v Ruské federaci a o dalších asi 20 000 kusech na Ukrajině, kde toto opatření bylo do roku 1996 dotováno státem.

Po roce 2000 byly vyvinuty sofistikované metody na kontrolu masa a mléka na základě měření in vivo v terénu a PC programy na výpočet vývoje kontaminace z hlediska možného hospodářského využití zvířat.

Příloha 4: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem po RH v Goianii

Pro dekontaminaci území byly přijaty limity, které však v důsledku politických tlaků byly nezdůvodněně nízké. Pro nápravu byla stanovena hodnota roční dávky v prvním roce 5 mSv a v dalších letech 1 mSv. Podle aktivity byly odpady vzniklé při nápravě rozděleny do třech skupin [18]:

- Neradioaktivní s aktivitou < 74 kBq/kg
- Nízkoaktivní s dávkovým příkonem na povrchu < 2 mSv/h
- Středněaktivní s dávkovým příkonem na povrchu > 2 mSv/h a < 20 mSv/h

V Brazílii stanovený limit dávky 0,3 mSv/rok v okolí úložiště odpovídá uloženým odpadům s měrnou aktivitou přibližně 87 Bq/g. Odpady z nápravy v Goianii byly zařazeny do pěti skupin podle Tabulky P.1. Hodnoty objemu a průměrné měrné aktivity byly odvozeny ze způsobu zabalení odpadů a průměrné hmotnosti kontejneru 1 700 kg. Odpady s největším podílem na celkovém množství by bylo technicky možné uvolnit.

Tabulka P.1.: Odpady s obsahem ^{137}Cs dočasně uskladněné v Abadia de Goias [9]

Skupina odpadů	Objem [m ³]	Podíl na celkovém množství [%]	Průměrná aktivita [kBq/kg]	Doba vymírání [roky]
5	51	1.5	$3,21 \cdot 10^5$	356
4	429	12.8	$1,43 \cdot 10^4$	221
3	578	17.2	$1,45 \cdot 10^3$	122
2	769	22.9	$3,2 \cdot 10^2$	57
1	1534	45.6	26,9	0

Poznámka: Doba vymírání je počet roků požadovaných na dosažení měrné aktivity rovné nebo menší než 87 kBq/kg (je to uvolňovací úroveň podle brazilské legislativy)

Příloha 5: Přístup k nakládání s radioaktivním odpadem „Nordic countries“

Příklady ze skandinávského přístupu lze shrnout takto. Pro nakládání s podmíněně uvolněným materiálem je třeba připravit speciální postupy pro transport, zpracování, případně pro recyklaci a uložení na určených skládkách, které jsou vybaveny systémy pro sběr filtrátů, kontrolu plynů a přiměřené monitorování. Příklad třídění radioaktivních odpadů podle velikosti měrné aktivity je v Tabulce P.2

Tabulka P.2: Příklady třídění radioaktivních odpadů podle měrné aktivity [8]

Kategorie	Měrná aktivita [kBq/kg]		
	Alfa radionuklidy	Silné beta a gama radionuklidy ⁵⁾	Slabé beta a gama radionuklidy ⁶⁾
I	> 100	> 1.000	> 10.000
II	1 ÷ 100	10 ÷ 1.000	100 ÷ 10.000
III	0,1 ÷ 1	1 ÷ 10	10 ÷ 100
IV	< 0,1	< 1	< 10

Hodnoty uvedené v tabulce P.2 platí pro velké objemy – více než 100 m³. Pro menší objemy by se měly uplatnit přísnější hodnoty měrné aktivity. Pro nakládání s jednotlivými kategoriemi platí tyto požadavky:

- Kategorie I – požaduje se uzavření a izolaci od životního prostředí
- Kategorie II – požaduje se kontrolované nakládání pro redukci dávky
- Kategorie III – požaduje se ohodnocení způsobu nakládání pro redukci dávky
- Kategorie IV – nízké riziko při nakládání (materiál není vhodný pro budoucí použití kvůli nízké kontaminaci)

Odpady kategorie I nemohou být zpracovány jako normální odpady. Musí být buď dočasně skladovány (po dobu rozpadu krátkodobých radionuklidů) nebo trvale izolovány od okolí. Zpracován je popel ze spalování nebo kompostovaná biomasa, filtry ze vzduchotechnických systémů, materiál z mechanického čištění silnic a půda kontaminována dešťovou vodou ze střech budov.

Dávky osob nakládajících s touto kategorií odpadů mohou být významné, a proto musí být monitorovány a optimalizovány při plánování a výkonu činností při nakládání s odpady.

Odpady kategorie II musí být buď dočasně skladovány (po dobu rozpadu krátkodobých radionuklidů) nebo vhodným způsobem izolovány trvale od okolí. Možností jak zpracovávat odpad je více jako v případě odpadů kategorie I. Množství těchto odpadů se odhaduje na tisíce metrů krychlových.

Dávky osob nakládajících s touto kategorií odpadů mohou být významné, a proto musí být monitorovány a optimalizovány při plánování a výkonu činností při nakládání s odpady.

Odpady kategorie III různých typů jsou recyklovány a ukládány jako normální odpady se zohledněním aspektů radiační ochrany. Produkty dekontaminace mohou být použity například na rekonstrukci silnic a úpravu terénu, pokud jsou pro tento účel vhodné.

⁵⁾ Silné (vysoce energetické) gama a beta zářiče, například: ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹⁰⁶Ru, ^{110m}Ag, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce, ⁹⁰Sr, ¹⁹²Ir, ²²⁶Ra

⁶⁾ Slabé (nízkoenergetické) gama a beta zářiče, například: ³H, ¹⁴C, ⁵¹Cr, ⁵⁵Fe, ⁶³Ni

Odpady této kategorie jsou potraviny a krmivo s aktivitou větší než jsou povolené hodnoty, vrchní vrstva půdy a rostliny odstraněny při dekontaminaci obytných zón. Množství odpadů této kategorie se odhaduje na sta až tisíce metrů krychlových.

Dávky osob nakládajících s touto kategorií odpadů pravděpodobně nebudou větší než 1 mSv za rok.

Odpady kategorie IV jsou materiály nevhodné pro použití kvůli kontaminaci, byť nízké. Typicky to jsou potraviny, krmivo a suroviny s aktivitou větší než jsou povolené hodnoty a také jiné zboží a výrobky, jejichž použití není přijatelné kvůli kontaminaci radioaktivními látkami.

Příloha 6: Současný stav skládek a úložišť v ČR

Seznam vybraných pojmů v oblasti odpadového hospodářství

Nakládání s odpady je v působnosti zákona o odpadech [55], podmínky ukládání odpadů na skládky jsou upraveny vyhláškou č. 294/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Kategorizace odpadů

Odpady lze zjednodušeně rozdělit na:

- ostatní, tj. bez nebezpečných vlastností
- nebezpečné, tj. obsahující minimálně jednu z níže uvedených nebezpečných vlastností

Odpad se hodnotí jako odpad nebezpečný, jestliže je překročeno alespoň jedno z kritérií uvedených v příloze č. 2 zákona o odpadech (pro uvedené nebezpečné vlastnosti odpadů. Nebezpečné vlastnosti odpadů uvedené v příloze č. 2 zákona o odpadech pod označením kódem H1, H2, H3-A, H3-B, H12, H14 a H15 hodnotí právnická osoba nebo fyzická osoba pověřená Ministerstvem životního prostředí, ostatní nebezpečné vlastnosti uvedené v příloze č. 2 k zákonu o odpadech hodnotí právnická osoba nebo fyzická osoba pověřená Ministerstvem zdravotnictví.

Zařazování odpadů podle kategorií

Podle § 6 zákona o odpadech

(1) Původce a oprávněná osoba jsou povinni pro účely nakládání s odpadem zařadit odpad do kategorie nebezpečný, pokud:

- a) vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v příloze č. 2 k
- b) tomuto zákonu (vyjmenované v bodě 2. této zprávy),
- c) je uveden v Katalogu odpadů jako nebezpečný odpad, nebo
- d) je smíšen nebo znečištěn některým z odpadů uvedených v Katalogu odpadů jako
- e) nebezpečný.

Způsoby odstraňování odpadů

Příloha č. 4 zákona o odpadech uvádí následující způsoby odstraňování odpadů:

Tabulka P3: Způsob odstraňování odpadů

Kód	Způsob odstraňování odpadů
D1	Ukládání v úrovni nebo pod úrovní terénu (např. skládkování apod.)
D2	Úprava půdními procesy (např. biologický rozklad kapalných odpadů či kalů v půdě apod.)
D3	Hlubinná injektáž (např. injektáž čerpatelných kapalných odpadů do vrtů, solných komor nebo prostor přírodního původu apod.)
D4	Ukládání do povrchových nádrží (např. vypouštění kapalných odpadů nebo kalů do prohlubní, vodních nádrží, lagun apod.)
D5	Ukládání do speciálně technicky provedených skládek (např. ukládání do oddělených, utěsněných, zavřených prostor izolovaných navzájem i od okolního prostředí apod.)
D6	Vypouštění do vodních těles, kromě moří a oceánů
D7	Vypouštění do moří a oceánů včetně ukládání na mořské dno
D8	Biologická úprava jinde v této příloze nespecifikovaná, jejímž konečným produktem jsou sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým z postupů uvedených pod označením D1 až D12
D9	Fyzikálně-chemická úprava jinde v této příloze nespecifikovaná, jejímž konečným produktem jsou sloučeniny nebo směsi, které se odstraňují některým z postupů uvedených pod označením D1 až D12 (např. odpařování, sušení, kalcinace)
D10	Spalování na pevnině
D11	Spalování na moři
D12	Konečné či trvalé uložení (např. ukládání v kontejnerech do dolů)
D13	Úprava složení nebo smíšení odpadů před jejich odstraněním některým z postupů uvedených pod označením D1 až D12
D14	Úprava jiných vlastností odpadů (kromě úpravy zahrnuté do D13) před jejich odstraněním některým z postupů uvedených pod označením D1 až D13
D15	Skladování odpadů před jejich odstraněním některým z postupů uvedených pod označením D1 až D14 (s výjimkou dočasného skladování na místě vzniku odpadu před shromážděním potřebného množství)

Skládkování odpadů

Nejlevnější je likvidace odpadu na skládkách inertního odpadu, následují skládky ostatního odpadu. Uložení odpadu na skládce nebezpečného odpadu je cenově podobné likvidaci odpadu ve spalovně a výrazně nákladnější než na skládce ostatního odpadu. Vždy je třeba respektovat, jak může být dle platné legislativy odpad odstraněn.

Uložení odpadu na skládku

V současné době nejsou povolovány výstavby nových skládek, některé stávající skládky ale mohou být rozšířeny. Opatření souvisí se snahou omezit množství odpadů ukládaných na skládky a zvýšit využívání a recyklaci odpadů.

Dle současně platné legislativy v odpadovém hospodářství se skládky rozdělují **na skládky skupiny S – OO a S – NO**. Skládky S – OO jsou skládky určené pro ukládání odpadů kategorie ostatní odpad. To jsou odpady, které nevykazují žádnou nebezpečnou vlastnost, dle přílohy č. 2 zákona 185/2001 [55].

Tabulka P4: Dělení skládek dle stupně technického zabezpečení pro ukládání odpadů kategorie „ostatní odpad“ dělí (dle vyhl. č. 294/2005 Sb. ve znění pozdějších předpisů)

Stupeň technického zabezpečení	Skládky určené pro ukládání:
S-IO	inertních odpadů,
S-OO1	odpadů kategorie ostatní odpad s nízkým obsahem organických biologicky rozložitelných látek a odpadů z azbestu za splnění zvláštních podmínek,
S-OO3	odpadů kategorie ostatní odpad včetně odpadů s podstatným obsahem organických biologicky rozložitelných látek, odpadů, které nelze hodnotit na základě jejich vodného výluhu a odpadů z azbestu za splnění zvláštních podmínek.
Skládky S – NO	nebezpečných odpadů, tedy těch, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností.

Obecně platí, že odpad „nižší kategorie“ lze ukládat na více zabezpečenou skládku, opačně ale postupovat nelze (např. inertní odpad lze ukládat na všechny druhy skládek, ale odpad s nebezpečnými vlastnostmi výhradně na skládku S – NO).

Podmínky ukládání odpadu na skládky jsou stanoveny ve vyhl. č. 294/2005 Sb. Jedno z kritérií rozhodujících, na kterou skládku bude odpad uložen, je vodný výluh dle přílohy č. 2. Na skládky inertního odpadu se mohou ukládat odpady, jejichž vodný výluh splňuje limity

pro třídu vyluhovatelnosti I, na skládky skupiny S – OO, jejichž vodný výluh splňuje limity pro třídu vyluhovatelnosti II a na skládky S – NO odpady, jejichž vodný výluh splňuje limity pro třídu vyluhovatelnosti III. Je třeba ovšem respektovat i další podmínky uvedené v příslušné vyhlášce (uvedení všech podmínek je nad rámec tohoto dokumentu). Některé odpady lze ukládat bez provedení analýz.

Ukončení provozu skládky

Skládka, která přestane být využívána k ukládání odpadů, je následně uzavřena a rekultivována dle projektu schváleného příslušným krajským úřadem.

Provoz uzavřené skládky probíhá dle provozního řádu schváleného příslušným krajským úřadem. Skládka je po uzavření zpravidla monitorována min. 30 let, **monitorování se netýká radionuklidů.**

Spalovny

Odpady, které nebylo možné využít nebo odstranit výše uvedenými způsoby, lze zpravidla zlikvidovat ve spalovně. Spalovny dle zákona o odpadech musí plnit podmínky stanovené právními předpisy o ochraně ovzduší a o hospodaření s energií (např. Zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. a Zákon o hospodaření energií 406/2000 Sb.). Monitoring spaloven je uveden ve výrokové části integrovaného povolení a je popsán v provozním řádu. Spalovny uvolněnou tepelnou energii zpravidla využívají následujícími způsoby: zdroj tepla pro vlastní spotřebu, výrobu elektrické energie nebo vytápění objektů. Je třeba rozlišit spalovny komunálních a nebezpečných odpadů. Dále je třeba si uvědomit, že spalovny komunálních odpadů mohou spalovat i nebezpečný odpad a spalovny nebezpečného odpadu odpad ostatní včetně komunálního. Teploty ve spalovnách orientačně dosahují při vlastním hoření až 1000°C, při vyhořívání a odvádění tepla až 1200°C. Pevné odpady vznikající ve spalovnách nebezpečných odpadů jsou obvykle ukládány jako nebezpečný odpad na skládkách nebezpečných odpadů. Některé jsou před uložením stabilizovány. Vzniklý popel a struska tvoří okolo 10-20% vstupů.

Spoluspalování odpadů

Spoluspalování odpadů v ČR se využívá v cementářském průmyslu. Výhodou je poměrně vysoká teplota v plameni (až 2100 °C, délka plamene až 15 m, zdržení hořícího paliva v plameni v rotační peci cca 2 – 5 sekund při teplotě nad 1200 °C).

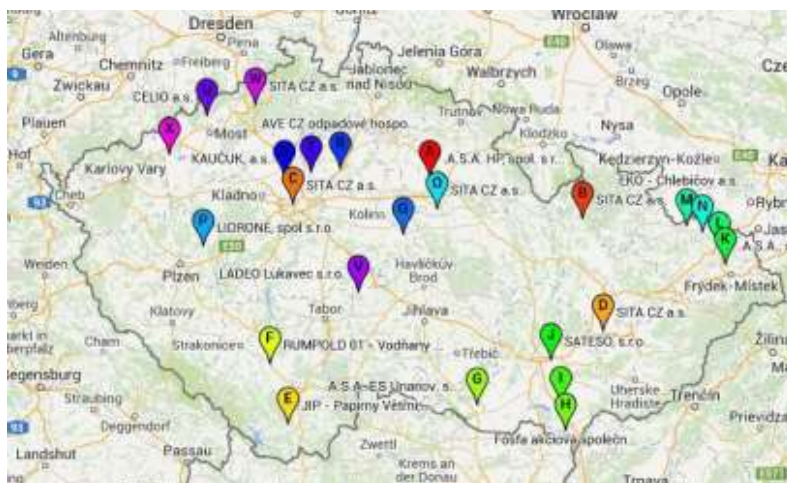
Seznam zařízení pro nakládání s odpady

Na uvedených webových Informační systém odpadového hospodářství ISOH je ucelený a celostátní databázový informační systém obsahující data ohlašovaná na základě zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů [55], a zákona č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů.

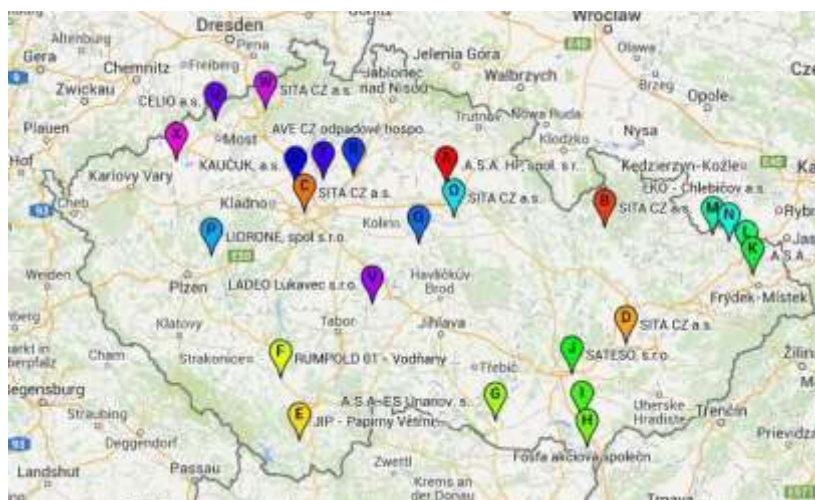
Souhlas k provozování zařízení

Zařízení, která nakládají s odpady, musí mít souhlas k provozování, který uděluje příslušný krajský úřad. Udělení souhlasu může vázat na podmínky, které jsou specifikovány

v souhlasu. Krajský úřad také schvaluje provozní řád) zařízení. Obsah provozního řádu je uveden v příloze č. 1 k vyhlášce č. 383/2001 Sb.



Obrázek P3: Orientační přehled skládek nebezpečných odpadů na území České republiky



Obrázek P4: Orientační přehled skládek ostatních odpadů na území České republiky

Přehled skládek v Moravskoslezském kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	platnost
.A.S.A., spol. s r.o.- Skládka průmyslových odpadů Řepiště	45809712	Ďáblická 791/89	18200	Řepiště	S - NO	neomezeno
ASOMPO, a.s. - skládka SOO	25872826	194	74272	Životice u Nového Jičína	S - OO3	neomezeno
AWT Rekultivace a.s. - skládka NO	47676175		71300	Ostrava	S - NO	neomezeno
Biocel Paskov a.s. - skládka odpadů S-OO	26420317	Zahradní 762	73921	Paskov	S - OO1	neomezeno
BM servis a.s. - skládka SOO	47672315	Krátká 775	73581	Bohumín	S - IO, S - OO	neomezeno
BorsodChem MCHZ, s.r.o.- skládka odpadů	26019388	Chemická 1/2039	70903	Ostrava - Mariánské Hory a Hulváky	S - OO1	30.9.2017
Czech Slag - Nová Huť s.r.o.-skládka S IO - Studený odval	60775289	Frýdecká 462	71900	Ostrava - Slezská Ostrava	S - IO	30.11.2018
Depos Horní Suchá, a.s. - skládka S-OO3 Solecká	47677287	Solecká 1/1321	73535	Horní Suchá	S - OO3	neomezeno
EKO - Chlebičov a.s. - skládka odpadů EKO-Chlebičov	47676591	Hlavní 65	74731	Chlebičov	S - NO	neomezeno
ELIO Slezsko a.s. - skládka odpadů Holasovice	60913860	skládka Holasovice II 202	74774	Holasovice	S - OO	neomezeno
Frýdecká skládka, a.s. - skládka Panské Nové Dvory	47151552	Panské Nové Dvory 3559	73801	Frýdek-Místek	S - OO3	neomezeno
ITALPE s.r.o. - skládka odpadů Dvorce - Rejchartice	25832000	31	79501	Dolní Moravice	S - OO	neomezeno
MS UTILITIES & SERVICES a.s. - skládka průmyslových odpadů	29400074		73593	Bohumín	S - OO3	neomezeno
OZO Ostrava s.r.o.-skládka SOO a plocha pro biolog.úpravu	62300920	Frýdecká 680/444	71900	Ostrava - Slezská Ostrava	S - OO	neomezeno
SKLADEKO s.r.o. - Skládka Staříč	45194360	Staříč 315	73943	Staříč	S - OO3	neomezeno
SOMA Markvartovice a.s. - skládka odpadů Markvartovice	47677902	Markvartovická 1148	74801	Markvartovice	S - OO	neomezeno
TALPA - RPF, s.r.o. - skládka S-OO3 a S-NO	64615391	Holvekova 645/36	71800	Dolní Benešov	S - OO3, S - NO	neomezeno
Technické služby města Vítkova-Skládka TKO Nové Těchanovice	37494	Dělnická 705	74901	Nové Těchanovice	S - OO	neomezeno
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. - skládka Neboranka	18050646			Ropice	S - IO	31.12.2015
TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. - skládka Neboranka rekultivace	18050646			Ropice	S - IO	31.8.2017
Van Gansewinkel HBSS s.r.o. - skládka SOO a SNO	25834061	Leskovská 572	79312	Horní Benešov	S - OO	neomezeno

Přehled skládek ve Zlínském kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	platnost
.A.S.A. skládka Bystřice, s.r.o.	26227959	Cihelna 1600	76861	Bystřice pod Hostýnem	S - 003	neomezeno
Alpiq Generation (CZ) s.r.o.	26735865	tř. Tomáše Bati 650	76001	Zlín	S - 00	neomezeno
DEPOZ, spol.s r.o.	49445138	27	76802	Zdounky	S - 003	neomezeno
EKO-UNIBAU a.s.Praha - Skládka Březová	63483866	Březová 200	76315	Slušovice	S - 003	neomezeno
Moravská skládková společnost a.s.	46343687	skládka Kvítkovice	76502	Otrokovice	S - 003	neomezeno
RUMPOLD UHB, s.r.o. Prakšice	60704756	skládka Prakšice	68756	Prakšice	S - 00	neomezeno
Skládka odpadů Slavičín s.r.o.	27725481		76321	Slavičín	S - 003	neomezeno
Valašskokloboucké služby s.r.o.	26233771	Brumovská 522	76601	Valašské Klobouky	S - 003	neomezeno

Přehled skládek v Olomouckém kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	platnost
AVE Lipník, zájmové sdružení	61985333	parc.č. 3359,3398,3388,3387,35 66,3336,3357	75131	Lipník nad Bečvou	S - 003	neomezeno
EKO-UNIMED s.r.o.	62303431	Medlov	78391	Medlov	S - 003	neomezeno
EKOLTES Hranice, a.s.	61974919	Jelení kopec	75301	Běloutín	S - 003	neomezeno
LO Haná s.r.o.	25369806	k. ú. Mrsklesy	78353	Mrsklesy	S - 003	neomezeno
Město Javorník	302708	JZ od středu města Javorník, za ulicí Sv. Čecha	79070	Javorník	S - 003	neomezeno
Obec Bohuňovice	298697	Bohuňovice	78314	Moravská Loděnice	S - 003	neomezeno
Obec Opatovice	301655	Opatovice - Osilná	75356	Opatovice u Hranic	S - IO	neomezeno
Obec Žulová	303682	k.ú. Žulová	79065	Žulová	S - IO	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	Rapotín	78814	Rapotín	S - NO	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	Hradčany	75111	Hradčany	S - NO	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	Novosady 616	79827	Němčice nad Hanou	S - NO	neomezeno
Skládka sdružení obcí (skupiny S-003)	299421	Senice na Hané	78345	Senice na Hané	S - 003	neomezeno
Technické služby Jeseník a.s.	64610063	mezi obcemi Supíkovice, Písečná, Hradec	79001	Supíkovice	S - 003	neomezeno
Technické služby města Přerova	63701227	Přerov - Žeravice v k.ú. Žeravice	75011	Žeravice	S - 003	neomezeno

Přehled skládek v Jihomoravském kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	Platnost
.A.S.A. ES Únanov, s.r.o.	46966803	skládky Únanov	67131	Únanov	S - 003, S - NO	neomezeno
.A.S.A. Žabčice, spol. s r.o.	48910201	areál skládky	66463	Žabčice	S - 001, S - 003	neomezeno
EKOR, s.r.o.	60700262	Těmice 283	69684	Těmice	S - 001, S - 003	neomezeno
Fosfa akciová společnost	152901	skládky	69141	Břeclav (Poštorná)	S - NO	neomezeno
HANTÁLY a.s.	42324068	skládky odpadů	69106	Velké Pavlovice	S - 003, S - NO	neomezeno
HOUSS RECYCLING s.r.o.	27705374	skládky S-IO	67913	Vysočany- Housko	S - IO	31.7.2016
MĚSTO KLOBOUKY U BRNA	283258	lokalita Martinice	69172	Klobouky u Brna	S - 001, S - 003	neomezeno
Město Strážnice	285315	U cihelny	69662	Strážnice	S - 003	neomezeno
Obec Rešice	636967		67173	Rešice	S - IO	31.3.2017
RESPONO,a.s.	49435612	areál skládky Kozlany	68341	Kozlany	S - 003	neomezeno
SATESO, s.r.o.	60746718	Zemědělská	66451	Šlapanice	S - NO	30.4.2016
Skládka Hraničky, spol. s r.o.	25561405	skládky	69611	Mutěnice	S - 001, S - 003	neomezeno
STAVOS Brno, a.s.	65277911	skládky Bratčice	66467	Bratčice	S - 003	neomezeno
VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.	49455842		67102	Štítary	S - 001	31.5.2017

Přehled skládek v Plzeňském kraji

provozovatel	IČ	místo	PSČ	obec	typ skládky	platnost
EKODEPON s.r.o.	49790927	skládky Černošín	34901	Černošín	S - 003	neomezeno
EKODEPON s.r.o.	49790927	skládky Kladruby	34961	Kladruby u Stříbra	S - 003	neomezeno
LAZCE-GIS, spol. s r. o.	49192761	skládky Lazce	34601	Horšovský Týn	S - 003	neomezeno
LIDRONE, spol.s.r.o.	49786105	skládky Flóra	33824	Břasy	S - NO	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920	skládky Vysoká	33441	Dobřany	S - 003	neomezeno
Město Kdyně	253464	skládky Libkov	34506	Libkov	S - 003	neomezeno
Město Kralovice	257966	skládky Kralovice	33141	Kralovice	S - 003	neomezeno
Město Plánice	255980	skládky Boubín	34034	Plánice	S - IO	31.12.2022
Městys Kolinec	255688	Skládka na Kozláku	34142	Kolinec	S - OO	31.7.2018
Obec Losiná	256871	skládky, p.p.č. 579, 583 a 593	33204	Losiná	S - IO	15.12.2015
Obec Nebílovy	574198	skládky Nebílovy	33204	Nebílovy	S - IO	31.12.2015
Odpadové hospodářství Klatovy, s.r.o.	26378108	skládky Štěpánovice	33901	Klatovy	S - 003	neomezeno
OKULA Nýrsko a.s.	45359083	skládky Chudenín	34022	Chudenín	S - OO	31.12.2014
OMGD, s.r.o.	27115551	skládky Kaznějov	33151	Kaznějov	S - IO	31.7.2018
Plzeňská teplárenská, a.s.	49790480	skládky Chotíkov	33017	Chotíkov	S - 003	neomezeno
Reality Hrádek, a.s.	45359016	skládky ŽH a.s.	33842	Hrádek u Rokycan	S - 003	neomezeno
Rumpold - R Rokycany s.r.o.	62619357	skládky Němčičky	33701	Rokycany	S - 003	neomezeno
Služby a obchod města Zbiroh s.r.o.	29064236	skládky Chotětín	33808	Zbiroh	S - 003	neomezeno
SLUŽBY OBCE STRAŠICE s.r.o.	26331705	skládky Strašice	33845	Strašice	S - 003	neomezeno
TERASO Horažďovice, s.r.o.	884430	skládky Boubín	34111	Horažďovice	S - IO	31.12.2014

Přehled skládek v Jihočeském kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	platnost
.A.S.A. České Budějovice, s.r.o.	25171941	Lišov	37372	Lišov	S - OO	neomezeno
.A.S.A. Dačice s.r.o.	19012161	Borek	38001	Dačice	S - OO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	Otín	10200	Jindřichův Hradec	S - OO	neomezeno
ČEZ, a. s.	45274649	Skládka S-IO Temelínec	37301	Temelín	S - IO	13.12.2019
ČEZ, a. s.	45274649	Skládka S-OO3	37301	Temelín	S - OO3	5.8.2020
František Hejtmánek s.r.o.	26073137	Libínské Sedlo	38422	Prachovice- Libínské Sedlo	S - OO	neomezeno
JIP - Papírny Větrník, a. s.	45022526	Lověšice	38211	Přidolí	S - NO	neomezeno
Město Jistebnice	252425	lokalita Hranice	39133	Jistebnice	S - OO	neomezeno
Městské služby Vimperk, s.r.o.	26015391	Pravětín	38501	Vimperk	S - OO	neomezeno
OBEC CHRÁŠTANY	245003	Pašovice	37304	Chrástany	S - OO	neomezeno
ODPADY PÍSEK s.r.o.	49062417	Smrkovice - Vydlaby	39701	Písek	S - OO	neomezeno
OK PROJEKT s.r.o.	46679189	Zahájí	37348	Zahájí	S - OO	neomezeno
Podnik místního hospodářství v Hluboké nad Vltavou	70203	Munice	37341	Munice	S - OO	neomezeno
RUMPOLD 01 - Vodňany s.r.o.	49023098	Stožice	38901	Vodňany- Stožice	S - OO3, S - NO	neomezeno
RUMPOLD s.r.o.	61459364	Skládka Želeč	39174	Želeč u Tábora	S - OO	neomezeno
Růžov a.s.	25961942	Růžov	37312	Růžov	S - OO	neomezeno
Služby města Český Krumlov s.r.o.	25151321	U Pinskrova Dvora	38101	Český Krumlov- Chabčovice	S - OO	neomezeno
Služby Města Milevska, spol. s r.o.	49061186	Skládka Jenišovice	39901	Milevsko	S - OO	neomezeno
Technické služby Kaplice spol. s r.o.	63907992	Malonty	38241	Malonty	S - OO	neomezeno
Technické služby města Blatné s.r.o.	63250748	Hněvkov	38801	Blatná	S - OO	neomezeno
Technické služby Tábor s.r.o.	62502565	Klenovice	39201	Soběslav- Klenovice	S - OO	neomezeno
Technické služby Třeboň, s.r.o.	62502735	Stráž nad Nežárkou	37802	Stráž nad Nežárkou	S - OO	neomezeno
Teplárna Písek, a.s.	60826801	Lom Semice	39701	Písek 1	S - IO	neomezeno

Přehled skládek ve Středočeském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	typ skládky	platnost
.A.S.A. HP, spol. s r.o.	49623877	Bláto	28504	Uhliřské Janovice	S - OO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	Hejdof 1666	28601	Čáslav	S - NO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	Hejdof 1666	28601	Čáslav	S - OO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	k.ú. Jílové u Prahy	25401	Jílové u Prahy	S - OO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	k.ú. 700274 Mšeno	27735	Mšeno u Mělníka	S - OO	neomezeno
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	49356089	Průmyslová 1002	29471	Benátky nad Jizerou	S - NO, S - OO1, S - OO3	neomezeno
COMPAG MLADÁ BOLESLAV s.r.o.	47551984	Michalovice	29301	Mladá Boleslav	S - OO	neomezeno
COMPAG VOTICE s.r.o.	47542080	k.ú. Votice	25901	Votice	S - OO	neomezeno

Přehled skládek v Ústeckém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	typ skládky	Platnost
CELIO a.s.	48289922	V Růžodolu 2 S-NO	43514	Litvínov	S - NO	31.12.2017
CELIO a.s.	48289922	V Růžodolu 2 - S-OO	43514	Litvínov	S - OO	neomezeno
CELIO a.s.	48289922	V Růžodolu 2 S-IO	43514	Litvínov	S - IO	neomezeno
LADEO Lukavec s.r.o.	28715292	skládky S-NO	41002	Lukavec	S - NO	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920	skládky S-OO	41713	Modlany	S - OO3	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920	skládky S-OO1, S-OO3	43159	Vysoká Pec	S - OO3	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920	Rožany skládka	40747	Šluknov	S - OO3	neomezeno
Mondí Štětí a.s.	26161516	Litoměřická 272	41108	Štětí	S - OO	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	Podhoří 328/28	40010	Ústí nad Labem	S - NO	neomezeno
Skládka Tušimice a.s.	25005553	vnější výsypka Libouš, k.ú. Tušimice a k.ú. Břez	43201	Kadaň	S - IO, S - OO1, S - OO3, S - NO	neomezeno
SKLÁDKA VRBIČKA s.r.o.	47781131	Vrbička	44101	Vroutek	S - OO3	neomezeno
Služby města Vejprty	61345750	České Hamry skládka	43191	Vejprty	S - OO3	neomezeno
SONO PLUS, s.r.o.	25034839	104 S-OO	41112	Čížkovice	S - OO3	neomezeno
Technické služby Děčín a.s.	64052257	skládky Oriík IV	40502	Malšovice	S - OO3	neomezeno

Přehled skládek v Pardubickém kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	Platnost
AVE Nasavrky a.s.	27498697	Nasavrky	53825	Nasavrky	S - OO	neomezeno
Bohemian Waste Management a.s.	42194938	Zdechovice	53311	Zdechovice	S - OO	neomezeno
EBEH Opatovice, a.s.	45534292	Bukovina	53213	Opatovice nad Labem	S - IO	neomezeno
Eko Bi s.r.o.	64827500	Třebovice	56124	Třebovice	S - OO2, S - OO3	neomezeno
EKOLA České Libchavy s.r.o.	49813862	České Libchavy 172	56114	České Libchavy	S - OO	neomezeno
Město Luže	270440	Luže-Dolečka	53854	Luže	S - IO	31.7.2016
P-D Refractories CZ a.s.	16343409	Březinka	56943	Slatina	S - OO3	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	STOH V	53354	Rybitví	S - NO	neomezeno
Stavební firma Balcar s.r.o.	25261126	Písník Běstovice	56501	Běstovice	S - IO	31.12.2014
Technické služby Hlinsko, s.r.o.	25951611	Srní	53901	Hlinsko	S - OO3	neomezeno
Technické služby Chrudim 2000 spol. s r.o.	25292081	Podhůra	53701	Podhůra	S - IO	31.5.2016
Technické služby Lanškroun, s.r.o.	25951459	Dolní Třešňovec	56301	Lanškroun	S - OO3	neomezeno
Technické služby Města Bystré s.r.o.	27483100	Bystré	56992	Bystré	S - OO3	neomezeno
TRAMON s.r.o.	48172022	Malinové Dolce	57001	Malinové Dolce	S - IO	31.1.2015

Přehled skládek v Libereckém kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	platnost
ČEFOS s.r.o.	25047507		46401	Frýdlant	S - OO3	neomezeno
České dřevařské závody Praha a.s.	14010	Boleslav	46401	Frýdlant	S - OO1	1.1.2030
EKO Volfartice, a.s.	25028758		47112	Volfartice	S - OO3	neomezeno
Ekoservis Ralsko s.r.o.	27327451	Svébořice, parcela č. 85 - 89, Ralsko,	47124	Ralsko	S - OO3	neomezeno
ENERGIE Holding a.s.	27594301	Jezová	47124	Ralsko	S - IO	neomezeno
GESTA a.s. Chotyně II skládka S-OO	44569785	Chotyně-pč.581/1, 1065/1,604/3,592/6 kú.	46333	Chotyně	S - OO2	neomezeno
GESTA a.s. RYNOLTICE - skládka	44569785		46352	Osečná-Družcov	S - OO1, S - OO3	neomezeno
Marius Pedersen, a.s. skládka Košťálov	42194920		51202	Košťálov	S - OO	neomezeno

Přehled skládek v Karlovarském kraji

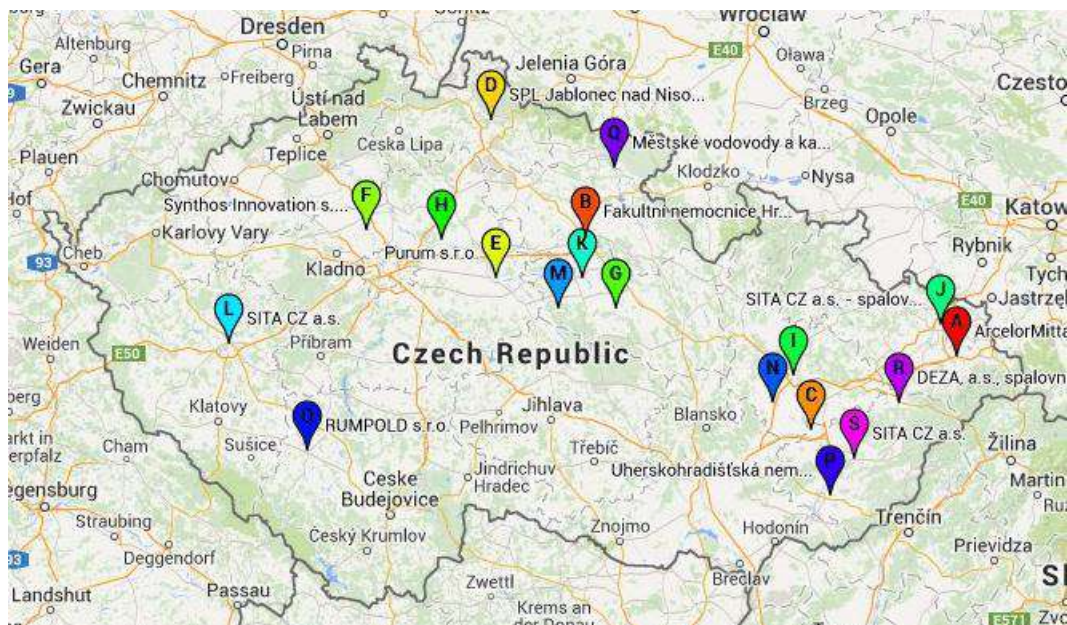
provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	Platnost
.A.S.A., spol. s r.o.	45809712		35601	Březová	S - OO	neomezeno
SUAS - skládková, s.r.o.	62584961		35735	Vintřov	S - OO	neomezeno
Technická služba Nová Role, s.r.o.	26329883		36225	Božičany	S - OO	neomezeno
ZITAS - TKO spol. s r.o.	46887601		43201	Hradiště	S - OO	neomezeno

Přehled skládek v Kraji Vysočina

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	typ skládky	platnost
DIAMO, státní podnik	2739	Bukov	59251	Bukov	S - OO	neomezeno
ESKO-T s.r.o.	25333411	Petrůvky	67552	Petrůvky	S - OO	neomezeno
MĚSTO PŘIBYSLAV	268097	Ronov nad Sázavou	58222	Přibyslav	S - OO	neomezeno
OPEC SEDLEJOV	286605	45	58862	Sedlejev	S - OO	30.11.2016
SLUŽBY MĚSTA JIHLAVY s.r.o.	60727772	Henčov	58821	Jihlava	S - OO	neomezeno
SOMPO, a.s.	25172263	Hrádek	39501	Pacov	S - OO	neomezeno
TECHNICKÁ A LESNÍ SPRÁVA CHOTĚBOŘ s.r.o.	25999729	Lapíkov	58301	Chotěboř	S - OO	neomezeno
TECHNICKÉ A BYTOVÉ SLUŽBY SVĚTLÁ NAD SÁZAVOU	42234	Rozinov	58291	Světlá nad Sázavou	S - OO	neomezeno
Technické služby Velká Bíteš spol. s r.o.	25594940	lokalita Vlkovská	59453	Osová Bítýška	S - OO	neomezeno
Technické služby VM s.r.o.	25509659	K Novému nádraží 736	59401	Velké Meziříčí	S - OO	neomezeno
TS města a.s.	25303660	Železná	59301	Věchnov	S - IO	31.5.2015

Přehled skládek v Královéhradeckém kraji

provozovatel	IČ	ulice	PSČ	obec	typ skládky	Platnost
.A.S.A. HP, spol. s r.o.	49623877	Lodín - skládka	50315	Nechanice	S - NO	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920	Průběžná 1940/3	50009	Hradec Králové	S - OO	neomezeno
Marius Pedersen a.s.	42194920		54362	Dolní Branná	S - OO	neomezeno
Marius Pedersen a.s. Skládka Křovice	42194920		51801	Dobruška	S - OO	neomezeno
Obec Potštejn	275271	Lázeňská 93	51743	Potštejn	S - OO3	31.12.2015
Společnost Horní Labe a.s. Skládka Kryblice II	46506306	Bohuslavice 226	54103	Trutnov	S - OO	neomezeno
Technické služby města Jičína	64814467	Na Tobolce 110	50601	Jičín	S - OO3	neomezeno



Obrázek P5: Přehled spaloven na území České republiky

Spalovny na území ČR v členění dle krajů

Přehled spaloven v Karlovarském kraji

V kraji není spalovna

Přehled spaloven v Kraji Vysočina

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
Envir s.r.o.	28771419	Řepníky 88	53865	Řepníky	30.9.2015
RUMPOLD s.r.o.	61459364	Strojírenská 9	58821	Jihlava	31.8.2015
SPORTEN, a.s.	15531457	U Pohledce 1347	59231	Nové Město na Moravě	31.3.2015

Přehled spaloven v Královéhradeckém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
Fakultní nemocnice Hradec Králové	179906	Sokolská 581	50005	Hradec Králové	30.6.2015
Městské vodovody a kanalizace Úpice	60150823	T.G.Masaryka 120	54232	Úpice	30.10.2014

Přehled spaloven v Moravskoslezském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
ArcelorMittal Frýdek-Místek a.s. - spalovna	14613581	Křížkova 1377	73801	Frýdek-Místek	30.4.2018
SITA CZ a.s. - spalovna	25638955		70900	Ostrava	neomezeno

Přehled spaloven ve Zlínském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
DESTRA Co., spol.s.r.o. Spalovna průmyslového odpadu Chropyně	60709286	Komenského 75	7681	Chropyně	7.7.2015
DEZA, a.s., spalovna průmyslových odpadů	11835	Masarykova 753	75728	Valašské Meziříčí	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	areál Tajmac ZPS	76302	Zlín	neomezeno
Uherskohradištská nemocnice a.s.	27660915	J.E. Purkyně 365	68668	Uherské Hradiště	31.3.2019

Přehled spaloven v Olomouckém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
MEGAWASTE-EKOTERM, s.r.o.	26227274	U spalovny 6/4225	79601	Prostějov	neomezeno
SITA CZ a.s.	25638955	areál Fakultní nemocnice Olomouc	77520	Olomouc	neomezeno

Přehled spaloven v Jihomoravském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
E K O T E R M E X, a. s.	15526305	Pustiměřské Prusy 268	68321	Pustiměř	31.1.2015
Nemocnice Znojmo, příspěvková organizace	92584	MUDr. J. Jánského 11	66902	Znojmo 2	31.1.2016

Přehled spaloven v Jihočeském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
RUMPOLD s.r.o.	61459364	Heydukova 1111	38601	Strakonice	2.8.2017

Přehled spaloven v Plzeňském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
SITA CZ a.s.	25638955	Skladová 488/10	32600	Plzeň	30.9.2016

Přehled spaloven ve Středočeském kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
Purum s.r.o.	62414402	par.č. 830, 831, a 907	28002	Kolín 2	neomezeno
BDW LINE, spol. s r.o.	40766411	par.č. 2086-2091,2858/2-5,2867/5 a 3594/2 k.ú. Lysá nad Labem	28922	Lysá nad Labem	neomezeno
Synthos Innovation s.r.o.	27935574	O. Wichterleho 810	27801	Kralupy nad Vltavou	neomezen

Přehled spaloven v Ústeckém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
BIOPLYN ENERGY s.r.o.	27314413	Všebořice	40001	Ústí nad Labem	31.12.2015
SITA CZ a.s.	25638955	Na Rovném 865	40004	Trmice	neomezeno
WEKUS spol. s r.o.	25013831	Ahňkov	43001	Máilkov	31.12.2016

Přehled spaloven v Pardubickém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
Hamzova odborná léčebna pro děti a dospělé	183024	Košumberk 80	53854	Luže	30.6.2015
Holcim (Česko) a.s., člen koncernu	15052320	Prachovice, Vápenný Podol	53804	Prachovice	neomezeno
Pardubická krajská nemocnice, a.s.	27520536	Kyjevská 44	53203	Pardubice IV	30.6.2015

Přehled spaloven v Libereckém kraji

provozovatel	IČ	adresa	PSČ	obec	platnost
SPL Jablonec nad Nisou, s.r.o.	25024922	Belgická 4613/1A	46605	Jablonec nad Nisou	neomezeno

Příloha 7: Spalovny radioaktivního materiálu

Zatím nelze počítat s tím, že by v ČR bylo možné využívat spaloven k minimalizaci odpadu, rozhodně ne ve větším rozsahu. Spalovny radioaktivního materiálu [59] jsou sice používány v zahraničí, ale omezeně. O spalovaném objemu si lze udělat představu z tabulky P3. Porovnání s objemem odpadů po RH je vidět, že kapacity spaloven by stačily stěží na zlomky procent kontaminovaných hmot.

Příkladem spalovny (nikoliv však pro havarijní situace) je belgická spalovna CILVA [61] s kapacitou pro tuhý odpad 8 t/týden, pro odpad kapalný 1 – 5 t/týden (může být v provozu 100 h týdně). Pro jiné spalovny byla nalezena kapacita v rozmezí 40 až 500 kg/hodinu (viz tabulka). Z hlediska aktivity spalovaného materiálu je v CILVA pro odpad s gama-beta zářením limitní hodnotou 40 GBq.m^{-3} , pro alfa záření 40 MBq.m^{-3} . To koresponduje s požadavky pro vstupní materiál do spaloven v dokumentu [6], kde jsou uvedeny limity pro koncentraci radionuklidů v odpadu, který může být zpracován v určených spalovnách: pro gama a beta zářiče je to $3,7 \cdot 10^6 \text{ Bq.kg}^{-1}$ a pro zářiče alfa pak $3,7 \cdot 10^5 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Limity jsou stanoveny také pro výpustě do životního prostředí. Lze očekávat, že po spálení může dojít kvůli redukcí objemu ke koncentrování aktivity řádově faktorem 10 tj. objemová aktivita popela vyšší než v původním materiálu, což bude vyžadovat vyšší náklady na ochranu dělníků.

Spalovna bývá obvykle složena z primárního spalovacího prostoru (spalování a pyrolýza při teplotě $900 - 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$), sekundárního spalovacího prostoru (spalování je podpořeno přívodem vzduchu), chladiče plynů, filtrů plynů (HEPA) a pračky plynů (odstraňují HCl a oxidy síry). Pro spalování odpadů s Cs je však třeba snížit teploty pod bod těkání Cs.

Příklady dalších spaloven jsou uvedeny v tabulce č. P.3. V Japonsku, kde je první zkušenost se spalování komunálního kontaminovaného odpadu je povoleno ukládat na konvenční (komunální) skládky odpadu popel s hmotnostní aktivitou do $8\,000 \text{ Bq.kg}^{-1}$, popel s hmotnostní aktivitou vyšší musí být uložen na speciální skládky odpadu, u kterých je zajištěno důkladné monitorování úniků do životního prostředí. Případně může být zpevněn vitrifikací, bitumenací, apod. [6].

Pro ukládání popela z našeho pohledu není třeba jiných požadavků, než je popsáno v návrhu kritérii výše.

Tabulka P.3: Provozované spalovny radioaktivního odpadu; PM = pevný materiál, KP = kapaliny

Země	Zařízení / Místo	Uvedení do provozu	Kapacita	Poznámky
Rakousko	Seibersdorf Výzkumné centrum	1983	40 kg/h (PM)	
Belgie	CILVA, Belgoprocess	1995	80 kg/h (PM) 50 kg/h (KP)	Pevný materiál, kapaliny, měniče iontů
Kanada	Ontario Power Generation, Western Waste Management Facility	2002	2 t/d (PM) 45 l/h (KP) (limitováno licencí)	Kontinuální plnicí systém za sníženého obsahu vzduchu
Indie	BARC Kalpakkam	90. léta	50 kg/h (PM)	Organické pevné látky bez Cl a S
Francie	Socodei Centraco	1999	2000 t/rok (PM) 1100 t/rok (KP)	Komerční zařízení LLW
Japonsko	PNC Tokai-Mura	1991	50 kg/h (PM)	
Holandsko	COVRA Vlissingen-Oost	1994	60 kg/h (PM) 40 l/h (KP)	Dvě pece, jedna pro kapaliny, druhá pro kadávery zvířat a jiné pevné materiály
Rusko	RADON	1982	100 kg/h (PM) 20 l/h (KP)	
Slovensko	Jaslovské Bohunice BNC	2001	50 kg/h (PM) 10 kg/h (KP)	Používáno v kampaních pro LLW
Španělsko	ENRESA E1 Cabril	1992	50 kg/h (PM + KP)	Umístěno v areálu zařízení pro nakládání s LLW
Švédsko	Studsvijk	1977	150 kg/h (PM)	