

Co přinesl Černobyl v oblasti havarijní připravenosti

Zdeněk Prouza

Státní ústav radiační ochrany Praha

Úvod

Cílem tohoto sdělení je pokusit se s odstupem dvaceti let o stručné shrnutí dopadů radiační havárie, která se stala na jaře roku 1986 na černobylské jaderné elektrárně, na systémy havarijní připravenosti a odezvy.

Jsou shrnuty principy havarijní připravenosti a na příkladu naší republiky je demonstrováno jaká opatření byla plánována a připravována před „černobylskou havárií“.

V další části sdělení jsou uvedena základní ochranná opatření, která byla realizována v průběhu a po ukončení úniku radionuklidů do životního prostředí v případě „černobylské havárie“ v bývalém SSSR, a je poukázáno na problémy, které vznikly s jejich zaváděním a později s hodnocením jejich účinnosti.

V závěru jsou shrnuty významné změny systémů havarijní připravenosti, ke kterým došlo v posledních 20 letech na základě analýz důsledků „černobylské havárie“ a dopadů provedených ochranných opatření. Vývoj principů, postupů, metod hodnocení radiační havárie a jejich následků, plánování opatření na ochranu osob a likvidaci následků vážné radiační havárie je demonstrován i na současném systému havarijní připravenosti ČR.

Je třeba zdůraznit, že předmětem tohoto sdělení není analýza průběhu „černobylské havárie“; pokud jsou zmíněny její důsledky, pak pouze ve vztahu k provedeným opatřením, a to z hlediska dopadů na systémy havarijní připravenosti.¹

Havarijní připravenost před „černobylskou havárií“

V současné době ([1] až [3]) hlavním cílem havarijní připravenosti² v případě vzniku radiační havárie je mít k dispozici funkční systém nezbytných sil a prostředků, metod a nástrojů k:

1. získání zdroje, jenž se vymknul kontrole, znovu pod kontrolu,
2. zabránění, či alespoň omezení důsledků nastalé havárie,
3. zabránění vzniku deterministických zdravotních účinků, a to jak u pracovníků³ havarovaného zařízení, tak obyvatelstva v havárii zasažených oblastech,
4. poskytnutí první pomoci významně ozářeným a kontaminovaným osobám,
5. zajištění speciální diagnostické a léčebné péče o ozářené a kontaminované osoby,
6. omezení vzniku stochastických účinků ionizujícího záření u havárií zasaženého obyvatelstva na rozumě dosažitelnou úroveň (uplatnění principu ALARA),
7. ochraně životního prostředí a majetku v prakticky dosažitelném rozsahu (uplatnění principu optimalizace),
8. obnově společenských a ekonomických aktivit v prakticky dosažitelném rozsahu (uplatnění principu optimalizace).

¹ S ohledem na možný rozsah prezentace jsou k jednotlivým oblastem uváděny pouze základní poznámky a komentáře.

² Veškeré dále uvedené cíle a požadavky se vztahují k jaderným zařízením/jaderným elektrárnám, pro jiná pracoviště se zdroji ionizujícího záření (dále ZIZ), či pracoviště vykonávající činnosti vedoucí k ozáření, jsou tyto požadavky menší, úměrně míře možného rizika vzniku nehody/havárie na těchto pracovištích.

³ V případě havárie se tento požadavek pochopitelně vztahuje i na další osoby podléhající se na záchranných, likvidačních a jiných, s havárií souvisejících, pracích.

Naplnění prvního a druhého cíle/požadavku je plně pod odpovědností provozovatele/držitele povolení k provozu daného jaderného zařízení (dále provozovatele). Ostatní cíle a požadavky jsou pak společnou odpovědností provozovatele a organizací/institucí zapojených do státního systému havarijní připravenosti.

Které z uvedených požadavků byly v roce 1986 mezinárodně doporučeny a zavedeny

Již koncem 70. a zejména na počátku 80. let dokumenty Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) a Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP) doporučovaly ([4] až [11]) vytvářet havarijní plány jaderných elektráren (dále JE) a jejich okolí (plány ochrany obyvatelstva a hospodářství/ekonomiky) a zabezpečit většinu výše uvedených požadavků. I v bývalém Sovětském svazu byly [5] základní požadavky mezinárodních doporučení implementovány do technicko-normativních dokumentů a havarijních plánů JE.

Lze říci, že významnou roli v přípravě těchto doporučení (jak v oblasti jaderné bezpečnosti tak radiační ochrany) sehrálo vyhodnocení průběhu a následků radiační havárie jaderné elektrárny Three Mile Island, USA, ke které došlo v roce 1979.

Co především přinesla/revidovala tato doporučení:

- kritéria pro umístování, výstavbu a provoz JE,
- nové požadavky na funkci a postavení státních dozorců - nad jadernou bezpečností a nad ochranou zdraví obyvatel a pracovníků se zářením – kontrolujících naplnění stanovených kritérií,
- požadavky na systém krizového řízení – na struktura systému, na odpovědnosti a kompetence provozovatele/držitele licence k provozu, správních/samosprávných orgánů, na jimiž spravovaném území JE leží, orgánů s celostátní působností a majících kompetence a úkoly v systému havarijní připravenosti,
- požadavky na zpracování havarijních plánů.

Zejména v poslední oblasti došlo k významnému posunu – součástí havarijních plánů se staly postupy a kritéria pro zavádění opatření na ochranu pracovníků JE a obyvatel v jejím okolí při vzniku jaderné/radiační havárie a opatření ke snížení a likvidaci následků takové havárie. Již tehdy se kladl důraz na sledování odchylek od normálního provozu zařízení a včasné zjištění mimořádného stavu, který by mohl vést k nehodě/havárii, včetně prognózy jejich důsledků. V procesu plánování se požadovalo ([4] až [11]), aby opatření na ochranu obyvatelstva byla plánována a zaváděna s ohledem na:

- možné expoziční cesty,
- množství radioaktivních látek, jež při havárii mohou uniknout,
- předpokládaný časový vývoj úniku,
- reálné meteorologické podmínky a vzdálenost od zdroje úniku.

Je však třeba říci, že doporučení, postupy, kritéria k naplnění těchto požadavků, měla svá omezení. Zejména je třeba uvést, že i když havarijní plány, jak bude ukázáno níže, měly obsahovat opatření i pro případ havárií větších než maximální projektové havárie, nebyla stanovena kritéria, jaké z možných nadprojektových havárií mají být z hlediska plánování brány v úvahu. Neznamená to však, že se nikdo dopady nadprojektových havárií nezabýval - v USA byly počítány ([9] až [11]) radiologické důsledky pro nadprojektové havárie s pravděpodobností vzniku nižší než 10^{-10} /reaktor.rok; využití v havarijním plánování se však tyto výpočty tehdy neuplatnily.

Pokud jde o cíle/požadavky uvedené pod body č. 6. až 8., aplikace principu optimalizace byla sice teoreticky podložena, ale jak se ukázalo v průběhu „černobylské havárie“ a první měsíce po ní, a to nejen v SSSR, ale i v jiných zemích Evropy, aplikace

některých kritérií nebyla správná buď proto, že byla špatně interpretována, či nebyla pochopena.

V tehdejší ČSSR byl systém havarijní připravenosti budován v souladu s doporučeními přijatými RVHP, které prakticky vycházely i z mezinárodních doporučení IAEA a ICRP ([4] až [8]). Již v roce 1979 bylo předsednictvem vlády ČSSR přijato stanovisko, že je „možné budovat JE s reaktory typu WWER-440, bude-li havarijní plán obsahovat účinná opatření i pro případ nepředvídatelných nehod větších než maximální projektová nehoda, tzn. nehoda mající největší radiační vliv na okolí ze všech nehod braných v úvahu v návrhu jaderného energetického zařízení“.

V letech 1979 až 1980 byla schválena řada dokumentů – od požadavků na umístění, výstavbu a provoz JE vydaných Československou komisí pro atomovou energii (ČSKAE) až po příručku/pomůcku „Ochrana obyvatelstva a opatření v národním hospodářství při radiační havárii jaderně-energetického zařízení (JEZ)“ (dále Příručka) [12] vydanou ČSKAE a Ministerstvem obrany.

Příručka [12] popisovala systém kompetencí orgánů odpovědných za havarijní připravenost a řízení v případě radiační havárie, obsahovala i požadavky na zpracování havarijních plánů (JEZ, okolí a teritoria) a popisovala opatření, která měla být plánována a zaváděna v případě radiační havárie, včetně kritériální báze.

Je třeba si uvědomit, že politický a ekonomický systém té doby dovoľoval centralizovaný, direktní přístup, a to jak k plánování, tak k realizaci ochranných opatření. S ohledem na administrativní uspořádání státu (republika – kraj – okres) byly ustaveny příslušné havarijní komise - Vládní komise pro koordinaci opatření při radiační havárii (VHK) byla zřízena vládou ČSSR (její schválen statut byl schválen 10.12.1981). Podobně byly ustaveny krajské a okresní havarijní komise vedené představiteli příslušných územních celků. Jednotky armády, civilní obrany a sboru národní bezpečnosti se měly podílet jak na plánování, tak na zavádění ochranných opatření (na nich se pochopitelně měly podílet i další resorty).

VHK schválila dne 13.2.1986 Směrnici o zásadách monitorování při radiační havárii JEZ, kdy důraz byl kladen na komplexní monitorování vzniklé mimořádné situace (včetně využití mobilních skupin) s cílem upřesnit její důsledky. Je třeba říci, že tato směrnice nepočítala s radiační havárií JE, která by měla dopad území sousedního státu, ani naopak, s havárií v jiném státě s dopadem na území ČR.

V havarijních plánech se za výchozí prognózu pro maximální únik radioaktivních látek uvažovalo prasknutí primárního okruhu JE a následné tavení 10% aktivní zóny [12]. I když havarijní plán měl obsahovat účinná opatření i pro případ nepředvídatelných nehod, větších než maximální projektová nehoda, jak již bylo uvedeno, nebyla (ani mezinárodně) stanovena kritéria, pro které z možných „nadprojektových“ havárií mají být plánována/připravována ochranná opatření.

Jaká opatření byla plánována a připravována ČSSR

Podle zmíněné Příručky [12] byla plánována a připravována následující systémy a opatření:

- systém vyrozumění, jehož úkolem bylo včas informovat odpovědné instituce a orgány o vzniklé havárii,
- systém varování obyvatelstva na území v okolí JE, kde se předpokládalo zavádění ochranných opatření,

- systém monitorování vzniklé situace⁴,
 - opatření na ochranu obyvatel, která se již tehdy dělila na neodkladná a následná:
 - neodkladná opatření - v závislosti na výsledcích monitorování a reálné meteorologické situaci se připravovalo ukrytí a jódová profylaxe (byly stanoveny akční úrovně) a v další fázi - evakuace obyvatelstva (přednost měly „dětské kolektivy“); součástí neodkladných opatření byla i regulace pohybu osob (dopravní uzávěry),
 - následná opatření – na základě výsledků komplexního monitorování radiační situace a vývoje meteorologické situace byla připravována opatření k zdravotnickému zabezpečení postižených osob, dále režimová ([12]) zemědělská, vodohospodářská, hygienická, obchodní opatření k regulaci potravních řetězců, k náhradnímu zásobování potravinami a vodou, k dezaktivaci osob, oděvů, hospodářských zvířat, techniky, komunikací; součástí následných opatření byla i režimová opatření v jednotlivých resortech, jakož i zpracovávání „přehledů o morálně-politickém stavu obyvatelstva a opatřeních k jeho dalšímu upevnění“.
- Podobné systémy havarijní připravenosti byly budovány v zemích bývalého socialistického bloku, tedy i v SSSR.

Jaká opatření byla realizována v průběhu a po „černobylské havárii“⁵

S ohledem na radiační situaci v době průchodu kontaminovaných vzdušných mas při „černobylské havárii“ v naší republice a s ohledem na úroveň kontaminace zemského povrchu po jejich průchodu nebyl soubor opatření, která bylo nutno realizovat v tehdejší ČSSR tak rozsáhlý, aby na něm bylo možno demonstrovat do jakých problémů se dostaly systémy havarijní připravenosti. Z těchto důvodů je opatřením přijatým v naší republice věnováno zvláštní sdělení [13] a následující část tohoto sdělení je věnována stručnému přehledu základních ochranných opatření přijatých a přijímaných v SSSR (a později v Bělorusku, Rusku a na Ukrajině) s cílem demonstrovat problémy související s jejich zaváděním a hodnocením.

Předně je třeba zdůraznit – a je to patrné i z výše zmíněné a v našich předpisech uvedené havárie, pro kterou byly plánována ochranná opatření – že takový rozsah a vážnost jaderné havárie jaký měla „černobylská havárie“ nebyl předvídan a překvapil prakticky všechny národní autority odpovědné za havarijní připravenost v zemích provozujících JE. Doporučovaná kritéria a postupy neodpovídaly ani očekávanou délkou úniku radionuklidů a ani jeho rozsahem nastalé situaci. Osoby/instituce odpovědné za rozhodování a řízení havárie nebyly připraveny na volbu a aplikaci adekvátních ochranných opatření. I když existovala již zmíněná mezinárodní doporučení [4] až [8] (např. i pro regulaci potravních řetězců), v mnoha případech (pochopitelně především v SSSR a zemích sousedních a blízkých zemích místu havárie) byla přijata opatření, kdy rozhodující roli nehrála radiologická/radiačně-hygienická hlediska, ale spíše sociálně-ekonomická a politická hlediska.

V prvních dnech „černobylské havárie“ bylo provedení určitých, okamžitých akcí považováno v některých zemích Evropy za nezbytné, jak však ukázala pozdější hodnocení efektivity těchto opatření, jejich zavádění bylo motivováno spíše nepřiměřenou mírou konzervatismu než informovaným, odborným posouzením (např. zaořávání zemědělských plodin, omezení porážek některých druhů hospodářských zvířat, omezení distribuce některých

⁴ Poznámka: V době prvního průchodu kontaminovaných vzdušných mas nad územím ČR při „černobylské havárii“ se radiační situace, bohužel, posuzovala podle údajů více než 1900 měřicích stanic Civilní obrany (určených pro válečné podmínky), které však měly práh detekce vyšší než byly v té době reálné hodnoty příkonu dávky.

⁵ Opatřením zavedeným v naší republice je věnováno speciální sdělení Malátová a kol. [13].

druhů mas na jedné straně a vyplácení pojistek a finančních příspěvků, neomezení distribuce druhé sklizně, apod. na straně druhé). Tyto rozdílné reakce systémů havarijní připravenosti (od nezavádění žádných specifických ochranných opatření na základě hodnocení výsledků zintenzivněných programů monitorování v některých zemích - až po nucené, ne vždy zdůvodněné restriktce týkající se distribuce a spotřeby potravin, zpravidla nezávislé na skutečné míře rizika, v jiných zemích) vyvolaly mnohdy zmatek a nejistotu nejen mezi obyvatelstvem, ale i mezi orgány odpovědnými za zavádění opatření.

Je však třeba říci, že uvedené problémy byly brzy identifikovány a úsilí mezinárodních, ale i v mnoha zemích vládních, institucí a organizací vedlo v následujících měsících a letech ke zpracování „poučení“ a k přijetí harmonizovaných kritérií, postupů a doporučení [14] až [24]⁶.

Věnujme se nyní opatřením zavedeným v bývalém SSSR v průběhu a po „černobylské havárii“. S ohledem na to, že šlo o největší průmyslovou havárii při mírovém využívání jaderné energie, je třeba analyzovat dopad tehdy přijímaných opatření na ochranu osob a k likvidaci následků této havárie a vyvodit příslušné závěry, aby pravděpodobnost opakování podobné události byla omezena na co nejnižší, sociálně a ekonomicky zdůvodněnou míru.

Současně je třeba ocenit, přes neomluvitelné lidské chyby, k nimž došlo v posledních hodinách před vznikem havárií (v době probíhajícího experimentu, jehož cílem bylo využití zbytkové tepelné energie při odstavení jaderného reaktoru ke krátkodobému napájení čerpadel havarijního chlazení), obrovské úsilí všech záchranářských a likvidačních jednotek a odborných i řídicích pracovníků, kteří realizovali, či podíleli se na realizaci ochranných a likvidačních opatření od prvních dnů „černobylské havárie“.

Lze tedy shrnout:

- „Černobylská havárie“ byla důsledkem nejen nedostatků v projektu havarovaného reaktoru RBMK-1000 (nedostatečné ochranné bariéry, nestabilita provozu při nízkých výkonech, složitý systém kontroly, řízení, odstavení reaktoru a jeho chlazení, apod.), ale zejména důsledkem hrubých porušení provozních předpisů i postupů při experimentu, v jehož průběhu k havárii došlo (ztráta smyslu pro hodnocení rizik, chybějící „safety culture“).
- Následky havárie na personál JE a v první fázi havárie na zasahující jednotky (hasiče, zdravotníky) byly značné. Nejen, že v průběhu daného experimentu byly provozní směnou JE neodpovědně znehodnoceny funkce bezpečnostních systémů reaktoru, ale v době bezprostředně po výbuchu reaktoru (i když havarijní plán JE s takovým scénářem nepočítal) nebyla provedena prakticky žádná opatření na ochranu personálu JE ani na ochranu hasičů a záchranářů:
 - nebylo zajištěno vybavení ochrannými pomůckami a lidé si nebyli vědomi rizika, které podstupují,
 - hasiči v průběhu 3 hodin lokalizovali a uhasili požár na 4. havarovaném bloku a zabránili jeho rozšíření na další bloky JE; třetí blok JE odstaven půldruhé hodiny po vzniku havárie, 1. a 2. bloky až 24 hodin po té,
 - dostupné přístroje na JE (ani osobní dozimetrie) nebyly schopny měřit dávkové příkony nad 100 Gy/h, které se vyskytly kolem JE (obr. 1); ani v okolí JE nebyly automatizované monitorovací stanice, které by daly informaci o reálné radiační situaci.
- Krátce po explozi reaktoru a vzniku havárie byly signály o této skutečnosti automaticky předány Státnímu výboru pro využití jaderné energie v Moskvě, kde bylo rozhodnuto vyslat odborníky z Moskvy na místo havárie, aby řídili havarijní operace; současně byla vytvořena vládní komise, která měla pravomoc mobilizovat potřebné zdroje - vedení JE

⁶ ČR tato doporučení převzala postupně do svých právních předpisů; proces byl ukončen v průběhu harmonizace právních předpisů s legislativou EU.

nemělo k dispozici ani tyto zdroje, ani oprávnění řídit opatření nutná k likvidaci havárie takového rozsahu a jejich následků; navíc, vypracovaný havarijný plán neodpovídal vzniklé situaci.

- Ráno v sobotu 26.4.1986 byly o havárii informovány okresní úřady CO; policie zablokovala přístupové cesty k JE, kolem poledne bylo zahájeno monitorování radiační situace; v městě Pripjati (3 km od JE) probíhal normální den - obyvatelé nebyli rovněž oficiálně informováni o situaci, nebyl dán požadavek na ukrytí ani nebyly systematicky vydávány I-tablety (příslušníci CO provádějící měření ve městě neoficiálně doporučovali, aby lidé zůstali doma a rozdávali jódové tablety).
- Oficiální informace o možných důsledcích havárie na okolní státy byla zveřejněna až v neděli 27.4.1986.
- Vyhlášení ukrytí a rozdávání jódových tablet bylo provedeno rovněž až v neděli 27.4., krátce před zahájením evakuace (pozdější odhady ukázaly [19], že obyvatelé Pripjati obdrželi 20 až 60% celkové dávky na štítnou žlázu inhalací radionuklidů jódu).
- I když vyrozumění odpovědných orgánů proběhlo více méně podle připraveného plánu, s ohledem na centralizaci řízení v oblasti využívání jaderné energie v SSSR, reakce systému byla neúměrná rozsahu a průběhu havárie (důvody však byly spíše v politické než technické a odborné rovině), systém varování obyvatel selhal (jiné události z dalších let – rozsáhlé povodně v Asii, v USA - potvrdily, že existence/kvalita systémů vyrozumění s varování může významně ovlivnit důsledky havárii či jiné katastrofy, včetně počtu postižených osob).
- Pokud jde o evakuaci obyvatel - evakuace města Pripjat' byla zahájena 27.4.1986 ve 14:00 ([16], [19]) a v průběhu 3 hodin bylo město prázdné (bylo přistaveno kolem 1200 autobusů z Kyjeva a okolí). 2.5.1986 byla evakuace rozšířena ([19], [20]) na celou zakázanou zónu (do 30 km od JE) a skončila 6.5.1986. Evakuace se týkala celkem 116 tis. lidí; pro rozšířenou evakuaci byla zvolena následující kritéria:
 - evakuace povinná v místech, kde dávkový příkon byl 1. den havárie byl větší než 1 mSv/h,
 - v případě ozáření dávkovými příkony v intervalu (0,1 – 0,3) mSv/h byly evakuovány pouze děti,
 - v místech, kde dávkové příkony byly menší než 0,1 mSv/h se evakuace neprováděla.
- S ohledem na to, že začátek evakuace probíhal za stále stálého úniku radionuklidů z havarovaného reaktoru a o víkendu, nelze ji hodnotit jako neúspěšně provedené ochranné opatření (potvrzují to i evakuace prováděné v případě jiných katastrof v průběhu následujících let). Z evakuovaných lidí méně než 10% obdrželo v roce 1986 dávky vyšší než 50 mSv a méně než 5% dávky vyšší než 100 mSv [16], [19], [20]. Základní chybou odpovědných orgánů však bylo, že obyvatelstvo nebylo včas varováno (informováno o havárii) a nebyly včas nařízeny a provedeny ukrytí a jódová profylaxe.
- Rozsáhlé záchranné a likvidační práce v samotném areálu JE s cílem dostat pod kontrolu havarované systémy, zlikvidovat rozptýlené zbytky havarovaného reaktoru a uvolněného jaderného paliva, výstavba ochranné obálky (sarkofágu) nad havarovaným reaktorem a udržování jejího režimu (tlakové a teplotní poměry) vyžadovaly obrovské úsilí. V průběhu let 1986 - 87 se na těchto činnostech podílelo 200 tisíc „likvidátorů“ z řad vojáků a dalších osob, včetně dobrovolníků (statut likvidátorů obdrželo až na 600 tisíc osob). Nejvyšší dávky obdrželi likvidátoři v první dny, kdy ozáření nebylo nijak regulováno (uvádí se [19], [20], že kolem 400 osob – personál JE, hasiči, zdravotnický personál – obdrželo celotělové dávky od jednotek Gy až po smrtelné dávky převyšující 10 Gy) a vybavení těchto lidí bylo nedostatečné. Odhaduje se [17], že v letech 1986-7 likvidátoři obdrželi v průměru dávky 100 mSv, z nich méně než 5% dávky vyšší než 500 mSv.

➤ Další, následná, střednědobá a dlouhodobá opatření ([16], [19] až [23]) týkající se likvidace následků havárie v prostoru JE, dekontaminačních prací v sídlištních jednotkách a na kontaminovaných půdách, regulace potravních řetězců a přesídlení osob ze zasaženého území (v letech 1990 až 1995 bylo přijato vládami Ukrajiny, Běloruska a Ruska rozhodnutí přesídlit dalších cca 210 tis. osob), preventivní a léčebné péče o obyvatele žijící na kontaminovaném území, byla masivní a v zásadě, z hlediska času a rozsahu, většinou zdůvodněná a účinná. Při aplikaci jednotlivých opatření však vznikaly již zmíněné problémy, když se odpovědné osoby snažily aplikovat/stanovit kritéria pro zavádění a hodnocení účinku těchto opatření. Mezinárodní týmy odborníků, které hodnotily ([16], [19] až [23]) přístupy k zavádění ochranných opatření, konstatovaly, že přijatá kritéria, např. pro přesídlení, nebyla plně v souladu s mezinárodně doporučenými přístupy, že „ochranná opatření již přijatá nebo plánovaná z dlouhodobého hlediska všeobecně přesahují opatření, která bylo nutno přijmout z čistě radiologického hlediska, i když byla dobře míněna.“ Hodnotitelé měli na mysli, že kritéria pro zavádění opatření se odvozovala od projektovaných dávek a ne od dávek odvrácených (dávek jimž daným opatřením má být zabráněno). Např. pro přesídlení byly stanoveny nejprve dočasné roční limity (postupně se snižovaly od 100 mSv/rok v květnu 1986 do 25 mSv/rok v roce 1989) a v roce 1990:

- byl stanoven celoživotní limit, tzn. celková dávka ze zevního a vnitřního ozáření po dobu 70 let o hodnotě 350 mSv (což je v průměru 5 mSv ročně),
- byl stanoven limit vyjádřený v úrovni povrchové kontaminace v místě trvalého bydliště, kdy pro povrchovou kontaminaci byla stanovena hodnota 1480 kBq/m²,
- současně bylo nařízeno povinné přestěhování žen a dětí z oblastí s povrchovou kontaminací (555 – 1480) kBq/m² (obyvatelé v těchto oblastech měli dostat 30 rublů/měsíčně finanční kompenzaci),
- z oblastí s povrchovou kontaminací pod hodnotu 555 kBq/m² přestěhování nebylo nutné, kompenzace činila 15 rublů.

Mezinárodními experty [16] bylo konstatováno, že do dávkového limitu neměly být započteny i minulé dávky, nicméně cílem zvoleného postupu bylo ujistit veřejnost že pro uvedené „limity“ ozáření nebudou vyvolány deterministické účinky záření.

➤ Významná byla a dosud jsou opatření týkající preventivní a léčebné péče o osoby, u nichž s ohledem na ozáření je zvýšená pravděpodobnost vzniku nádorových onemocnění (zejména štítné žlázy), a opatření zaměřená na kontrolu produkce, distribuce a spotřeby potravin na kontaminovaném území. Tato opatření se týkají velkého počtu lidí na kontaminovaných územích Ukrajiny, Běloruska a Ruska (okolo 270 tis. obyvatel žije na území, kde úroveň kontaminace zemského povrchu převyšuje 555 kBq/m²). Rozsah a pokračování v těchto opatřeních jsou závislé spíše na ekonomických možnostech těchto zemí a na odborném, technickém a ekonomickém suportu ze zahraničí. Např. efektivním se pochopitelně ukázal dovoz „čistých“ potravin do nejvíce kontaminovaných oblastí, z nichž obyvatelé nebyli přesídlení. Podařilo se dosáhnout stavu, kdy naměřené celotělové dávky u obyvatel v těchto oblastech byly významně nižší (obr. 2 a 3 [25]), než u obyvatel v méně kontaminovaných oblastech. Bohužel, když z ekonomických důvodů se dovoz „čistých“ potravin snížil, či dokonce ustal, celotělové dávky obyvatel opět vzrostly na úroveň korelující s úrovní kontaminace půdy v dané oblasti. Toto, celotělovým měřením prokázané, zjištění má obecně velký význam z hlediska plánování dlouhodobých opatření, zejména ve vyspělých zemích, kde podíl spotřeby z místní produkce je ve srovnání se spotřebou dovezených potravin i ze vzdálených míst (mezinárodní sítě hypermarketů) nízký.

Porovnání dávek odhadnutých z celotělových měření vnitřně kontaminovaných osob a z modelových prognóz (vycházejících z naměřených úrovní kontaminace půdy a na

této půdě vypěstovaných a konzumovaných potravin) ukázalo, že hodnoty skutečných dávek byly (8 až 30)-krát nižší⁷ než hodnoty dávek odhadnutých z modelů (obr. 4 [16]) Potvrdilo se, že úroveň povrchové kontaminace sama o sobě není postačujícím kritériem pro odhad dávky obyvatelstva – tato dávka silně závisí na místních půdních podmínkách, způsobu výživy a na životním stylu obecně.

- Efektivnost opatření provedených v době havárie a těsně po ní mohla být účinnější, pokud by obyvatelstvo bylo včas a kvalifikovaně informováno (zmíněné nedostatečné ukrytí a jódová profylaxe, dále spotřeba kontaminovaného mléka v případě nedostatečně informovaných soukromých producentů a spotřebitelů, atd.). Na druhé straně některá provedená (nejen v SSSR, ale i v jiných zemích Evropy) dlouhodobá opatření byla z hlediska hygienického a ekonomického nezdůvodněná, či neefektivní (porážení telat v některých oblastech, dlouhodobá opatření na ochranu vodních systémů proti pronikání radioaktivity z kontaminovaných půd) - např. v roce 2004 by bylo z hlediska radiačních kritérií (dávka na obyvatele nepřesáhne 1mSv/rok) možno vrátit hospodářskému využívání více než 70% opuštěných půd. S uvážením ekonomických (vyšší obchodní cena produkce z těchto půd) a sociálně-psychologických faktorů (podvědomý „odpor“ ke konzumaci produkce z těchto půd) se však výrazně snižují množství využitelné půdy (tab. 1 [19]).
- Vlády Ukrajiny, Běloruska a Ruska po rozpadu SSSR zahájily vlastní politiku z hlediska pokračování v dlouhodobých ochranných opatřeních a je třeba říci, že se přitom snažili respektovat nová mezinárodní doporučení; např. maximálně přípustné úrovně kontaminace potravin, jež jsou v těchto zemích používány, jsou srovnatelné, zpravidla však nižší než jsou mezinárodně doporučené hodnoty [14], [17], [25] (tab.2). K nejzávažnějším provedeným/prováděným opatřením lze říci:
 - Jako vysoce efektivní se ukázala a ukazují restriktivní opatření v rané fázi havárie týkající se pitných vod (zajištění náhradních zdrojů) a později rekultivační opatření na zemědělských půdách, a to nejen s ohledem na míru kontaminace, nýbrž i na jejich kvalitu (písečné a rašelinné půdy s vysokým koeficientem přechodu radionuklidů z půdy do rostlin). Efektivním opatřením bylo omezení/zákaz spotřeby vysoce aktivních potravin (lesních plodů a zvěřiny), ale i zákaz využívání vysoce kontaminovaného dřeva k topení, apod.
 - Dekontaminace půd a sídlišť (tab. 3) byly ve značném rozsahu aplikovány první rok po havárii ke snížení zevního ozáření obyvatel v těchto sídlištích; opatření byla efektivní, pokud jim předcházelo monitorování dávkových příkonů v daných místech. Dekontaminace však vedly ke vzniku značného množství nízko-aktivních odpadů, což vytvářelo problém „kam s nimi“;
 - Zemědělská opatření – radikální „zúrodnění“ - hluboká orba plus použití různých kombinací radio-protektivních látek vázajících fyzikálně či chemicky cesium, či stroncium (berlínká modř, tufové sorbenty) se ukázala pochopitelně výrazně efektivnější než povrchové úpravy půdy (obracení půdy, vápnění, hnojení (tab. 4). zemědělská opatření různém rozsahu dále pokračují;
 - Rovněž i nadále realizovaná, rozsáhlá opatření na rehabilitaci a využití vedle půd i jiných kontaminovaných ekosystémů - vod (řeky, jezera, spodní vody), lesů, atd. mají svůj význam, je však třeba je posuzovat v širších souvislostech.
- Ekonomické problémy tří havárií nejvíce dotčených zemí vedly k tomu, že některá opatření musela být postupně omezena, či zastavena (např. již zmíněné dovozy „čisté“ stravy do některých kontaminovaných oblastí). A nyní vzniká otázka jaká míra

⁷ Tento fakt potvrzuje význam celotělového měření, jakožto nespolehlivějšího prostředku pro rozhodování o opatřeních týkajících se regulace potravních řetězců.

konzervatismu je ještě z dlouhodobého hlediska akceptovatelná. Přínosem dobře míněných, ale nedostatečně zdůvodněných dlouhodobých opatření jistě může být na jedné straně povzbuzení a pokles stresu/úzkosti obyvatel dotčených oblastí, jestliže však tato opatření po nějaké době budou zrušena (lidé si např. zvykli na finanční podporu, „čistou“ stravu, atd.), konečný výsledek ze sociálního a psychologického hlediska může být opačný (a to se nezmiňujeme sekundární, např. další environmentální dopady – nezodpovědný zákaz zemědělské produkce vede k narušení přirozených produkčních cyklů, apod.). Pro ilustraci - náklady na uvedená dlouhodobá opatření byly v roce 1991 oceněny tak, že odvrácení kolektivní dávky 1 Sv odpovídalo nákladům (200 až 700) tis. US \$. V té době v západních zemích se cena tzv. finančního ekvivalentu jednotky odvrácené dávky, tj. 1 manSv na provedení dlouhodobých opatření oceňovala na (10 až 20) tis. US \$.

- Závěrem, pro ilustraci míry ozáření obyvatel v bývalých zemích SSSR, lze uvést, že kolektivní efektivní dávka (nezahrnující dávku na štítnou žlázu) obdržená 5-ti miliony obyvatel v kontaminovaných oblastech (kde povrchová aktivita byla vyšší než 37 kB/m²) v období 1986 až 1995 byla odhadnuta [19] na 40 tisíc manSv (průměrně 8 mSv /obyvatele). V období 1996 - 2006 se odhaduje, že bude dále obdržena dávka 9 tis. manSv, přičemž hlavními expozičními cestami budou i nadále zevní ozáření od kontaminovaných povrchů a ingesce kontaminovaných potravin. Kolektivní dávka na štítnou žlázu je odhadována na 2 miliony Gy (téměř polovinu obdrží lidé na Ukrajině), přičemž rozložení dávek se liší v závislosti na věku, době a místu inhalace od 0,1 do 10 Gy. Hlavní expoziční cestou v tomto případě byla konzumace čerstvého mléka. Obyvatelé měst obdrželi 1,5 až 2-krát nižší dávku od zevního ozáření při stejné úrovni kontaminace zemského povrchu v důsledku lepších stínících vlastností městských domů; podobně efektivní dávka a dávka na štítnou žlázu způsobené ingescí byly a 2 až 3-krát nižší u městských obyvatel než na venkově – v důsledku většího podílu domácí produkce potravin na venkově.

Jak ovlivnila „černobylská havárie“ a její důsledky systémy havarijní připravenosti

Všechny výše zmíněné zkušenosti a zjištění mají nesmírnou cenu pro celosvětový vývoj doporučení, kritérií a standardů k zajištění jaderné bezpečnosti, k plánování a zavádění ochranných opatření, k vývoji a ověřování nových modelů šíření radionuklidů v životním prostředí a pro studium biologických účinků záření obecně (epidemiologické a lékařské studie a výzkumy). Pokračující opatření v oblasti kontroly a regulace potravních řetězců v bývalých zemích SSSR budou i nadále zdrojem informací pro zpracovávání a hodnocení kritériální báze a doporučení pro plánování a zavádění podobných opatření, bude-li to třeba, v budoucnu.

Na základě faktů a zkušenosti vyplývajících z realizace a hodnocení v průběhu a po „černobylské havárii“ provedených opatření, bylo možno formulovat obecná doporučení:

- Nutnost výstavby/provozování funkčních systémů varování a informování obyvatelstva nejen pro období vzniku havárie, zavádění neodkladných opatření, ale i pro pozdní fáze zavádění následných opatření, včetně procesu analýzy faktorů ovlivňujících akceptaci daného opatření veřejností.
- Vytvoření mezinárodně akceptovatelné báze kritérií pro zajištění jaderné bezpečnosti a požadavků radiační ochrany, vytváření postupů pro zavádění ochranných opatření, včetně metodiky hodnocení, zahrnující vážení zdravotní újmy a nákladů na plánovaná a uskutečněná opatření.

Následné roky po „černobylské havárii“ ukázaly významný pokles důvěry v jadernou energetiku, který šel tak daleko, že v některých zemích došlo k zastavení/přerušování jaderných

programů (Rakousko, Itálie, Německo). Tento fakt vedl odbornou i politickou veřejnost k přehodnocování aplikace jednoho z principů radiační ochrany – optimalizace. I když již před „černobylskou havárií“ se v mezinárodních doporučeních [7], [8] požadovalo nehodnotit přínosy daných ochranných opatření a náklady na ochranná opatření jen v ekonomických ukazatelích, tzn. neporovnávat jen náklady na ochranná opatření proti finančnímu ekvivalentu odvrácené dávky (viz. výše), a doporučovalo se hodnotit i finančně těžko vyjádřitelné přínosy či ztráty z oblasti sociální, psychologické, environmentální, tato oblast propracována dostatečně nebyla, a optimalizace většinou končila u porovnání ekonomických ukazatelů.

Ukazuje se proto nezbytným věnovat větší pozornost nejen ekonomickým důsledkům vážných havárií, ale i jejich sociálně-psychologickým aspektům. Tento směr naznačila i mezinárodní konference o havarijní připravenosti konaná v roce 2003 v Salzburgu [26], kde byl zdůrazněn význam účasti tzv. „stakeholders“ v procesu hodnocení dané mimořádné události. „Stakeholders“ jsou chápáni jako partneři těch osob a struktur, které řídí, rozhodují o řešení dané havárie („decision makers“). „Stakeholders“ nejsou součástí složek podílejících se na zavádění ochranných opatření a provádění opatření na zmírnění, či likvidaci následků dané havárie, ale daná problematika se jich dotýká – jde o osoby, které :

- budou buď zapojeny do procesu hodnocení („decision aiders“) havárie a jejich důsledků – pracovníci analytických center provádějících nezávisle na jaderné elektrárně hodnocení dané události, dále právníci, ekonomové, sociologové, psychologové, kteří se budou podílet na hodnocení důsledků dlouhodobých opatření – regulace potravních řetězců, řešení případných problémů s přesídlením, odškodňováním způsobených škod, apod.,
- nebo půjde o osoby, skupiny obyvatel, které danou událostí mohou být přímo dotčeny, a jejichž hlas v procesu plánování musí být brán v úvahu.

„Černobylská havárie“ ukázala, že tak rozsáhlý únik radionuklidů nezná hranic, a proto jejím nejdůležitějším důsledkem je skutečnost, že jak odborníci, tak politici si začali plně uvědomovat, že bezpečný provoz JE, snížení pravděpodobnosti vzniku podobné události vyžaduje mezinárodní spolupráci v řadě oblastí, které souvisejí s havarijní připraveností. Příkladem je přijetí Úmluvy o včasném oznamování jaderné havárie a Úmluvy o vzájemné pomoci v případě jaderné havárie a radiologické nehody [27] a přijetí Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES) (v březnu 1990) společně Mezinárodní agenturou pro jadernou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA).

Zejména první z Úmluvy by měla zabránit situaci vzniklé v průběhu „černobylské havárie“ – tzn. nedostatečnému, či pozdnímu oznámení mimořádných událostí, které mohou mít přeshraniční důsledky.

Rovněž třetí dokument – stupnice INES má velký význam, a to usnadnit komunikaci a dorozumění mezi odborníky v oblasti jaderné bezpečnosti a radiační ochrany na jedné straně a sdělovacími prostředky a veřejností na straně druhé v případech vzniku mimořádné události na jaderných zařízeních. V roce 1992 byla INES upřesněna a rozšířena tak, aby byla použitelná i při událostech mimo jaderná zařízení, spojených s nakládáním se ZIZ/radioaktivními látkami (včetně přeprav) či s činnostmi vedoucími k ozáření osob.

V tehdejší ČSSR byly:

- Usnesením vlády č.121 z 3.9.1987 schváleny zásady pro uplatňování Úmluvy o včasném oznamování jaderné havárie; ČSKAE byla pověřena výkonem styčného místa (nejpozději od 1.1.1990) a Vládní komise pro koordinaci opatření při radiační havárii měla zajišťovat koordinaci opatření ve vztahu k Úmluvě,
- Usnesením vlády č.10 z 5.1.1988 byla doporučena presidentovi ratifikace Úmluvy o pomoci v případě jaderné nebo radiační nehody (podepsaná za ČSSR ve Vídni dne 26.9.1986) a byly stanoveny požadavky na uplatnění Úmluvy.

Analýzy „černobylské havárie“ zaměřené jednak na oblast technologických nedostatků v zajištění jaderné bezpečnosti reaktoru RBMK, tak na oblast provozních chyb a porušení předpisů ze strany personálu JE v Černobyli, a prováděné na mezinárodní úrovni pod koordinací IAEA, Evropské unie (EU) a Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD) ([28] až [31]) vyústily v řadu doporučení na zlepšení/zdokonalení systémů řízení a kontroly a některých technologických systémů/komponent (kvalifikační požadavky na materiál, funkci i provedení – nedestruktivní testy, bezpečnostní analýzy), požadavky na výcvik a školení personálu. Tyto požadavky doporučení byly postupně rozšířeny i na další typy reaktorů. Z hlediska havarijní připravenosti jsou významné zejména dvě oblasti:

- zkvalitnění hodnocení pravděpodobnosti vzniku nadprojektových a těžkých havárií, jejich důsledků a implementace opatření na jejich zvládnutí (jde o havárie, při nichž dochází k poškození zařízení a komponent jaderné elektrárny vedoucí k nezvratné degradaci aktivní zóny - AZ, jejímu tavení, k úniku radionuklidů do okolí JE);
- zkvalitnění samotných systémů havarijní připravenosti od vyrozumění a varování až po zavádění dlouhodobých opatření na ochranu obyvatel a opatření likvidaci následků havárie.

Cílem první oblasti je zpracování programu zvládnutí těžkých havárií („Severe Accident Management“), který tvoří jednak systém havarijních provozních postupů („Emergency Operating Procedure“ – EOP), návodů/instrukcí na zvládnutí těchto havárií („Severe Accident Management Guideline“ - SAMG), jednak systém připravenosti na realizaci nutných opatření k zabránění rozvoje havárie nebo alespoň zmírnění/potlačení jejích následků. Program je zaměřen na:

- ukončení degradace AZ, pokud k ní již došlo,
- zmírnění následků poškození AZ,
- udržení funkce a těsnosti kontejnmentu co možná nejdéle,
- minimalizaci úniků radioaktivních materiálů jak v prostorách JE, tak do okolí JE,
- navrácení JE do stabilizovaného, bezpečného a plně kontrolovaného stavu.

Postupy, návody/instrukce jsou zpravidla symptomaticky orientované, tzn. jsou založeny na činnostech, které se provádějí na základě hodnot přímo měřitelných parametrů JE. Vedle deterministického hodnocení průběhu a následků havárií jsou aplikovány i pravděpodobnostní přístupy k těmto analýzám („probability safety analysis“ - PSA). Analýzy jsou prováděny ve třech úrovních PSA-1 až PSA-3. PSA-1 je studie, ve které jsou identifikovány havarijní scénáře, které vedou k degradaci aktivní zóny (AZ), a je kvantifikována pravděpodobnost jejich vzniku. PSA-2 je nadstavbou PSA-1 a zaměřuje se na pravděpodobnostní hodnocení integrity kontejnmentu a kategorií úniků radioaktivních látek do okolí JE. PSA-3 navazuje na PSA-2 a provádí pravděpodobnostní hodnocení radiologických důsledků vybraných havarijních scénářů.

Proces zpracování EOP a SAMG byl na počátku 90. let zahájen i v JE v ČR. Výběr havarijních scénářů byl proveden s cílem pokrýt v analýzách jednak události s největší četností výskytu a jednak události s největšími možnými radiologickými následky na okolí. Byla provedena celá řada výpočtů a analýz pokrývajících celé spektrum sekvencí, aby bylo zajištěno, že budou uvažována všechna relevantní ohrožení bezpečnostních funkcí a všechna možná selhání bezpečnostních systémů a jejich potenciální kombinace.

JE Dukovany předložila v roce 2000 výběr sekvencí těžkých havárií a návrh opatření ke snížení jejich rizika; byly zpracovány studie PSA-1 a PSA-2 (neustále probíhají jejich revize tak, jak se objevují nové poznatky a metody zpracování bezpečnostních analýz). Podobně na JE Temelín byly od počátku 90. prováděny bezpečnostní analýzy zhruba dvaceti havarijních scénářů (s použitím pokročilých kódů MELCOR a CONTAIN). Současně s těmito aktivitami probíhalo zpracování pravděpodobnostních bezpečnostních analýz první a druhé úrovně (PSA-1, PSA-2). Předpisy EOP byly v roce 1998 vydány jako provozní předpis.

Zpracování SAMG pro ETE probíhalo ve spolupráci s fy. WESE (USA) a ÚJV Řež od roku 2000.

Do této oblasti lze zahrnout i snahy IAEA, EU a OECD vypracovat základní, mezinárodně přijaté bezpečnostní standardy pro pracující a projektované jaderné reaktory podobné standardům, jaké má radiační ochrana [18]. Tento proces nebude jednoduchý – jsou provozovány JE založené na různých technologiích a z různého období vývoje; nicméně rostoucí potřeba elektrické energie si vynutí řešení tohoto problému.

Pokud jde o druhou, výše zmíněnou oblast - systémy havarijní připravenost, „černobylská havárie“ ukázala, že základním předpokladem úspěšného zvládnutí havárie je efektivní systém řízení a kompetencí při zavádění ochranných opatření a jejich hodnocení. I poslední „nejaderné“ události (např. hurikán v Los Angeles) ukazují, jak významnou roli hrají jasné kompetence mezi vládní a regionální/místní úrovní plánování a řízení mimořádných stavů. Lze říci, že nikde, a ukazuje to i řešení proběhlých teroristických útoků, situace není ideální.

Pokud jde o národní úroveň, i díky povodním v konci minulého století se podařilo skoro po deseti letech přijmout tzv. „krizové zákony“ [32], [33] a na ně navazující prováděcí právní předpisy [34], [35], kterými jsou stanoveny principy vyhlášení krizových situací, kompetence orgánů státní správy, samosprávy, odpovědných resortů a základní struktura havarijní připravenosti ČR (obr. 5) odpovídající požadavkům současného administrativního uspořádání státu. Je však třeba říci, že nemůžeme být úplně spokojeni – s ohledem na velikost ČR a počet specialistů v dané oblasti, je systém plánování a řízení zbytečně komplikovaný - prakticky stejná skupina osob zasedá ve dvou centrálních institucích – v jedné, zaměřené na plánování (Výbor civilního nouzového plánování, VCNP) a ve druhé, zaměřené na řízení havárie (Ústřední krizový štáb, ÚKŠ – který v současné době má kompetence zabývat se pouze „nevojenskými“ událostmi). Podobně bude třeba dořešit i některé kompetenční problémy na úrovních centrum - regiony s ohledem na vyhlášení a řízení různých typů mimořádných událostí (krizová situace, stav ohrožení, nouzový stav). Naštěstí, na úrovni vlády ČR a Bezpečnostní rady státu v současné době probíhající proces optimalizace Bezpečnostní strategie ČR dává naději, že tyto problémy v oblasti krizového plánování a odezvy budou dořešeny.

Významnou součástí celostátního systému řízení v případě radiační havárie jsou i aktivity SÚJB, jehož Krizový štáb (KŠ) v souladu s atomovým zákonem [36] vyhodnocuje údaje a technologická data o stavu JZ a vývoji situace, řídí činnost celostátní radiační monitorovací sítě (RMS) a na základě vyhodnocení těchto dat a informací připravuje podklady pro rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo odvrácení ozáření a předpokládaných důsledcích radiační havárie na území ČR. Tyto údaje průběžně předává ÚKŠ a dalším dotčeným institucím. K plnění těchto úkolů je KŠ SÚJB vybaven odpovídající vyhodnocovací technikou – má k dispozici moderní kódy/modely (vyvinuté v ČR nebo zahraničí HAVAR, ESTE, RODOS [37]), které na základě dat z JE, z RMS a reálné meteorologické situace jsou schopny připravit prognózu o vývoji dané havárie a jejích dopadech (obr. 6).

Velmi důležitým procesem bylo vytvoření funkčního Integrovaného záchranného systému (IZS) v ČR [33], [34] na bázi Hasičského záchranného sboru ČR (HZS), Policie ČR a lékařské Záchrané služby.

I když legislativní zajištění již existuje [34], problémem (zejména ekonomickým) je vytváření tzv. zařízení civilní ochrany. Bývalé řídicí složky CO byly převedeny z resortu Ministerstva obrany (MO) do resortu Ministerstva vnitra (do HZS); „ruce“ CO – záchranné prapory, však zůstaly v resortu MO. Zařízení CO by měla nahradit dřívější, tzv. nevojenské složky CO podílející se na ochranných opatřeních (zdravotní pomoc, evakuace, dekontaminace a jiné záchranné a likvidační práce v průmyslových, zemědělských a dalších objektech).

S plánováním a řešením/řízením havárie úzce souvisí i stanovení kompetencí mezi provozovatelem zařízení, v němž může dojít k mimořádné události s dopadem na obyvatelstvo (JE). V této oblasti ČR přijala jak mezinárodně akceptovaná doporučení [2] týkající se plánování a zavádění ochranných opatření, tak právní dokumenty [36], [38] až [40], kterými byly stanoveny principy zavádění ochranných opatření, struktura a obsah vnitřních havarijních plánů pro zařízení jakými jsou JE.

Již před „černobylskou havárií“ se předpokládalo [8], že je účelné pro efektivní zavádění ochranných opatření v případě radiační havárie na JE stanovit tzv. zóny havarijního plánování (ZHP)⁸, v nichž by se neodkladná opatření plánovala. Zkušenosti z „černobylské havárie“ pozměnily koncepci vytváření ZHP. V současné době [2] se okolí JE dělí na dvě oblasti:

- o plochu vlastního zařízení (JE) („on-site area“); tato plocha (oblast) je pod kontrolou a odpovědností provozovatele/držitele licence pro provoz JE (dále provozovatele),
- o oblast v okolí zařízení („off-site area“) – kde se uvažují 3 typy zón havarijního plánování ZHP (obr. 7), v nichž jsou plánována, či připravována a bude-li to nutné, i zaváděna ochranná opatření (v těchto oblastech koordinační roli hraje stát, avšak i provozovatel JE má nemalé zákonem [36] a Nařízením vlády [41] stanovené úkoly.

První dvě ZHP znázorněné na obr. 7 - tzv. Zóna předběžných opatření (ZPO) a Zóna neodkladných ochranných opatření (ZNO), jsou určeny k plánování a zavádění neodkladných opatření na ochranu obyvatel, tzn. zejména ukrytí, jódová profylaxe, evakuace z ohrožených míst. Třetí typ, tzv. Zóna následných (dlouhodobých) opatření (ZDO) je určena pro zavádění ochranných opatření, jejichž cílem je snížit dávku ozáření osob v důsledku kontaminace zemského povrchu radionuklidy – jde především o kontrolu a regulaci potravních řetězců a případné přesídlení vymezené skupiny osob z nejvíce zamořených lokalit.

V ZPO jsou ochranná opatření předem plánována a předpokládá se, že budou zaváděna bezprostředně po vyhlášení radiační havárie. V ZNO jsou neodkladná ochranná opatření rovněž předem plánována, jejich zavádění se však bude provádět zpravidla až na základě výsledků monitorování nastalého úniku, přičemž tato opatření se nemusí zavádět v celé zóně. Naopak, potvrdí-li to výsledky monitorování a hodnocení reálné situace (rozsah a průběh havárie, meteorologické podmínky, apod.) ochranná opatření se mohou provádět i za hranicí ZNO. Proto v havarijních plánech příslušných úřadů státní správy a samosprávy je nutné evidovat materiální a technické zdroje a kapacity, které by bylo možno využít v případě, kdy by bylo rozhodnuto o zavádění ochranných opatření za hranicí ZNO.

Opatření v ZDO se zavádějí až na základě speciálního monitorování (nejsou časově tak naléhavá). Při jejich plánování a zavádění je třeba vycházet z již několikrát zmíněného principu optimalizace s uvážením nejen ekonomických, nýbrž i sociálních a psychologických faktorů. V tom jsou poznatky z hodnocení důsledků „černobylské havárie“ více než aktuální. Mezinárodní doporučení [2] uvažují rozsah ZDO 60 a více km. S ohledem na velikost ČR bylo rozhodnuto nestanovovat ZDO, vytvořit komplexní systém radiačního monitoringu pokrývající celé území státu a v případě potřeby pak zavádět výše uvedená opatření předpokládaná pro ZDO tam, kde to bude potřeba.

Již v roce 1987 vláda ČSSR svým usnesením [42] formalizovala zřízení Celostátní radiační monitorovací sítě (RMS). Lze říci, že naše RMS je i v zahraničí vysoce hodnocena, zejména s ohledem na její komplexnost. Jednotlivé složky RMS tvoří např. více než 50 nepřetržitě pracujících měřičů dávkových příkonů, tzv. Síť včasného zjišťování (SVZ),

⁸ Na rozdíl od jiných JE ve světě, bývalé sovětské projekty JE (týká se to i JE v Dukovanech a Temelíně) předpokládaly v jejich bezprostředním okolí (do vzdálenosti 2 – 3 km) vytvoření tzv. ochranných pásem, v nichž se nesměli nacházet residenté. Toto opatření, i když bolestivé pro obyvatele, jichž se týkalo vystěhování z těchto pásem, výrazným způsobem snižuje riziko vzniku deterministických účinků u obyvatel v důsledku ozáření vysokými dávkami v okolí JE.

rozmístěných po území republiky, více jak dvacet podobných měřičů "na plotech" každé z obou jaderných elektráren (teledozimetrický systém) a v blízkých obcích v okolí. Tento systém je zárukou včasného zjištění plošně významné změny radiační situace na území státu.

Dalšími složkami RMS jsou teritoriální a lokální sítě téměř 200 termoluminiscenčních dozimetrů rovněž pokrývajících celé území státu s vyšší hustotou kolem jaderných elektráren a dále systém mobilních pozemních a leteckých skupin a speciálně vybavených laboratoří schopných změřit obsah radionuklidů v jakémkoliv vzorku odebraném v životním prostředí, ve vzorcích potravních řetězců a konečně i v těle osoby, u které je podezření, že byla vnitřně kontaminována.

RMS za více než 15 let činnosti prokázala schopnost s vysokou citlivostí signalizovat únik radionuklidů do životního prostředí ze zdroje nejen u nás, nýbrž i v zahraničí s důsledky na naše území. Na základě dvoustranných dohod se sousedními státy se provádí či je ve fázi příprav vzájemná výměna dat z RMS. Mezi námi a Rakouskem již výměna dat ze SVZ probíhá, stejně jako s dalšími zeměmi EU v rámci projektu EURDEP.

Lze tedy říci, že zónou pro přípravu a zavádění dlouhodobých opatření (ZDO) je vlastně území celé republiky díky celoplošnému monitoringu prováděnému na vysoké odborné, technické i organizační úrovni.

Podle mezinárodně přijatých kritérií Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále SÚJB) postupoval při stanovování ZHP i v případě českých jaderných elektráren. JE zpracovaly bezpečnostní rozborů požadované našimi právními předpisy, které kromě jiného obsahovaly i hodnocení všech, nadprojektových havárií (viz. výše), které jednak mají pravděpodobnost vzniku až do úrovně 10^{-7} /rok a současně, které mají největší radiologické důsledky. Mimochodem, tento požadavek byl v roce 1999 podpořen již zmíněným Nařízením vlády ČR č. 11 [41]. Pro vybrané havárie byly vypočteny jejich radiologické dopady na obyvatele v okolí JE a na základě pravděpodobnostních a kvalifikovaných inženýrských hodnocení s využitím různých výpočetních modelů [37] byl stanoven rozsah ZHP. Schématicky je vymezení ZPO a ZNO pro JE Temelín znázorněno na **obr. 8** (ZHP JE Temelín byla stanovena Rozhodnutím SÚJB č. 311, ze dne 5.8.1997). Srovnání s rozsahem našich ZHP a ZHP v jiných zemích je pak uvedeno v **tab. 5**.

Pro havárie s pravděpodobností vyšší než je zmíněná jedna desetimiliontina za rok, musí ZPO a ZNO pokrývat oblast, za jejíž hranici již ozáření obyvatel nepřekročí horní meze zásahových úrovně pro zavádění neodkladných opatření tak, jak je stanovila vyhláška SÚJB [40], což například pro evakuaci obyvatel v okolí jaderné elektrárny je hodnota dávky 500 mSv za týden. Rád bych zdůraznil, že výše uvedená pravděpodobnost vzniku radiační havárie, tj. jedna desetimiliontina za rok je desetkrát nižší, tedy přísnější, než např. doporučuje IAEA. Vezmete-li v úvahu, že po povodních v Praze před několika lety byla diskutována otázka, zda je zdůvodněné připravovat opatření proti „tisícileté vodě“, tzn. pro události s pravděpodobností 10^{-3} /rok, v případě JE se uvažují neodkladná opatření pro události, jejichž pravděpodobnost je desettisíckrát menší.

Závěr

Havárie jaderné elektrárny v ukrajinském Černobylu v koncem dubna roku 1986 způsobila, že se pozastavily či zpomalily jiné projekty, jako např. vývoj termojaderného reaktoru, které by odstranily problémy související se současným způsobem průmyslového využívání jaderné energie – vznik a nutná dlouhodobá péče o vyhořelé jaderné palivo (pokud se nenajde metoda jeho dalšího, mírového využití) a nenulová pravděpodobnost vzniku radiační havárie.

Zejména tato potenciální hrozba radiační havárie vedla odbornou (a nejen ji) veřejnost k analýze a hledání cest, jak pravděpodobnost vzniku havárie ještě více omezit. Zmínil jsem řadu opatření od mezinárodně přijatých Úmluv, přes mezinárodní doporučení zaměřená na technologii a provoz JE (ochranné bariéry, systémy kontroly a řízení, kvalifikace systémů a komponent, kvalita materiálu, kvalita oprav, práce, kvalifikace personálu, pod.) až po doporučení směřující do systémů havarijní připravenosti (pravděpodobnostní a deterministické analýzy pro hodnocení mimořádných událostí a jejich radiologických důsledků – vývoj nových modelů/kódů, plánování a připravenost zavádět ochranná opatření a opatření na likvidaci následků mimořádné události).

Dalším, významným důsledkem „černobylské havárie“ byla dlouhodobá ztráta důvěry u části obyvatelstva k používání tohoto zdroje energie. Nepatřím mezi propagátory jaderné energetiky, nicméně s ohledem na možné, v ČR dostupné, zdroje (zásoby, efektivita, vedlejší účinky, apod.), nevidím z racionálního hlediska v nejbližší době (při zachování jisté „energetické“ nezávislosti a zachování trendu rozvoje společnosti) jinou možnost než se smířit s existencí nevýznamného podílu výroby elektrické energie z „jádra“. To znamená naučit se s ním žít a jeho rizika přijmout jako součást dané etapy technického pokroku.

Všechna výše uvedená opatření směřují ke snížení tohoto rizika, ke snížení pravděpodobnosti vzniku vážné radiační havárie. Bylo by nečestné uzavřít toto sdělení konstatováním, že havárie s významným únikem radionuklidů do životního prostředí nemůže nikdy nastat. Pokud by přece jenom nastala havárie, o níž jsme dnes přesvědčeni, že má pravděpodobnost vzniku nižší než 10^{-7} /rok, řešila by se opět ad hoc.

Jakákoliv lidská činnost přináší jistá rizika, co však je podstatné umět míru rizika ocenit a na řešení následků jakékoliv průmyslové havárie, avšak i přírodní katastrofy (vzpomeňme na diskuse o monitorovacích a informačních systémech v souvislosti se záplavami – tsunami v oblasti Indonésie před koncem loňského roku) se připravit. Je mimo pochybnost, že nejdůležitějšími nástroji v případě radiační situace jsou komplexní funkční systémy vyrozumění varování a monitorování, které včas poskytnou informaci o hrozbě či vzniku dané události a jejím rozsahu a možných důsledcích a systém rychlé reakce na snížení následků vzniklé události. Podmínkou pro správnou funkci všech systémů jsou pravidelná cvičení a tréninky/nácviky osob, institucí, celých systémů.

Vedle vývoje a aplikace nových technologií (nové generace reaktorů, spojení využívání „jádra“ a vodíku, apod.) je třeba i nadále zlepšovat provozované jaderné reaktory zejména v oblasti systémů kontroly a řízení (probíhající modernizace JE Dukovany), v oblasti metod a postupů zvládání mimořádných událostí, ale zejména v oblasti snižování vlivu lidského faktoru, tzn. snížit možnost lidského selhání na minimum. Reaktor v Černobylu by pravděpodobně nehavaroval, kdyby TI, kteří jej v danou dobu provozovali neporušili prakticky vše, co se porušit z hlediska jeho bezpečného provozu porušit dalo.

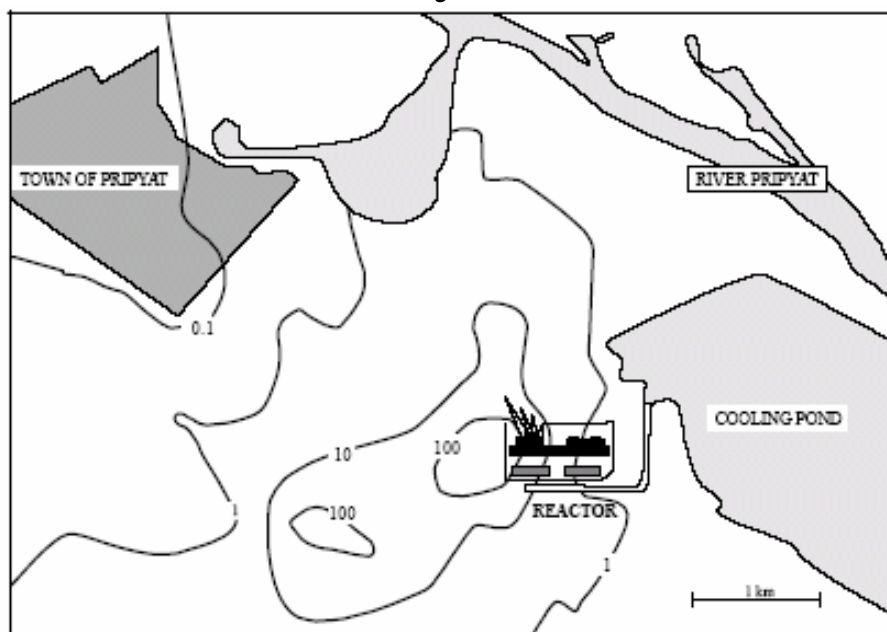
Literatura

- [1] Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements, Safety Standard Series No. GS-R, IAEA, Vienna, 2002.
- [2] Metod for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency, Updating IAEA-TECDOC-953, EPR-METHOD, IAEA, Vienna, 2003.
- [3] Planning of Off-Site Response to Radiation Accident in Nuclear Facility, Safety Series No. 55, IAEA, Vienna, 1994.
- [4] Recommendations International Commission on Radiological Protection, Publ. 26, Pergamon Press, Oxford, 1977.

- [5] Bezpečnosť atomných elektrostancíj – eksploatacía, vvod v eksploatacíju i snjatíe s eksploatacíju AES, Svod položeníj, Seríja izdaníj po bezpečnosti, No. 50-C-0, MAGATE, Vena, 1979.
- [6] Preparedness of the Operating Organization Licensee for Emergencies at Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-SG-G6, IAEA, Vienna, 1982.
- [7] Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accident: Principles for Planning, ICRP Publ. 40, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [8] Principles for Establishing Intervention Levels for the Protection of the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Safety Series No. 72, IAEA, Vienna, 1985.
- [9] Manual of Protection Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents, EPA-520/1-75-0021, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1980.
- [10] Planning Basis for the Development of State and Local Government Radiological Emergency Response Plans in Support of Light Water Nuclear Power Plants, NUREG-0396, EPA 520/1-78-016, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1978.
- [11] Ericsson, D.M., Jr.“ Accident Description for Emergency Response Exercise Scenarios, NUREG/CR-0388, SAND78-0269, Sandia Lab., USA, 1978.
- [12] Ochrana obyvatelstva a opatření v národním hospodářství při radiační havárii JEZ, Pomůcka, CO-51-6, ČSKAE, MNO, Praha, 1980.
- [13] Malátová, I., Hůlka, J.: Opatření v ČR, „20 let po Černobylu“, Seminář AV ČR/SÚJB, 5.dubna 2006, Praha.
- [14] Council Regulation No 3954/87 of 22 December 1987 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency, Regulation 3954/87/EURATOM.
- [15] Recommendations International Commission on Radiological Protection, Publ. 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [16] Mezinárodní projekt ČERNOBYL, Přehledová zpráva, „Rozbor radiačních následků a vyhodnocení ochranných opatření“, Zpráva Mezinárodního poradního výboru, IAEA, 1991, 48 s.
- [17] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources Safety Series, No. 115, IAEA, Vienna, 1996 .
- [18] Council Directive of 13 May 1996 laying down Basic Safety Standards for Health of the General Public and Workers against Ionizing Radiation, Directive No. 96/29/EURATOM.
- [19] Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experiences, Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group „Environment“ (EGE), Working Material (Limited Distribution), August 2005, IAEA, Vienna.
- [20] One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, Int. Conference 8-12 April 1996, Rep. 96-02659, IAEA, Vienna, 1996.
- [21] Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update od „Chernobyl: Ten Years On“, Report NEA/OECD, ISBN 92-64-18487-22002.
- [22] Stakeholders and Radiological Protection: Lessons from Chernobyl after 20 years, Report CRPPH, Draft, v7B, OECD/NEA, Paris, 2006.
- [23] Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, IAEA/PI/A.87/05-28601, Vienna, 2005.
- [24] The Codex Guideline Levels for Radionuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination for Use in International Trade, CAC/GL5-1989.

- [25] Vasilenko, V.V., Výzkumné Centrum nukleární medicíny AV Ukrajiny, Kyjev, osobní sdělení, 2006.
- [26] Off-site Nuclear Emergency Management – Capability and Challenges, International Symposium, 29. Sept. – 3. Oct. 2003, Salzburg, Austria, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 109, No 1-2, 2004.
- [27] Convention on Early Notification of a Nuclear Accident, and Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Legal Series, No. 14, IAEA, Vienna (1987).
- [28] Safety Standards Series NS-R-2, Safety of NPPs: Operation, IAEA, Vienna, 2000.
- [29] INSAG-10 Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna, 1996.
- [30] INSAG-12 Basic Safety Principles for NPPs, IAEA, Vienna, 1999.
- [31] Safety Standards Series NS-G-2.2, Operating Procedures for NPPs, IAEA, Vienna, 2000.
- [32] Zákon č.240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon).
- [33] Zákon č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému.
- [34] Vyhláška č. 380/2002 Sb. k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva.
- [35] Vyhláška 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení IZS, ve znění vyhlášky č. 429/2003 Sb. a vyznačením změn a doplňků.
- [36] Zákon č. 18/1992 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon) ve znění platných předpisů.
- [37] Joint Summary Report “Implementation of the Brussels Agreement of November 29th 2001“ Working Group an Comparisons of Calculations Regarding the Radiological Consequences of BDBA established according to Item 7 a) of the "Road Map" of the Brussels Agreement in the frame work of the bilateral Agreement between the Government of Austria and the Government of the Czech Republic an Issues of Common Interest in the Field of Nuclear Safety and Radiation Protection (Art. 7(4)), 2003.
- [38] Vyhláška SÚJB č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě.
- [39] Vyhláška SÚJB č. 318/2002 Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah havarijního plánu a havarijního řádu.
- [40] Zásady monitorování pro zdraví obyvatelstva při radiační havárii, Usnesení vlády ČSSR č. 62 z 26.3.1987, 23 s.
- [41] Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.
- [42] Nařízení vlády č. 11 ze dne 9.12.1998 o zóně havarijního plánování

Пříloha 1: obrázky

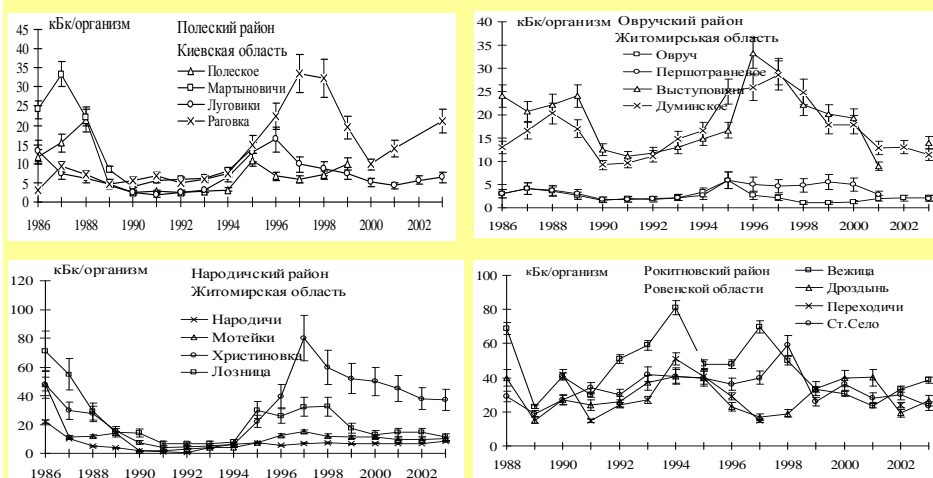


Obrázek č. 1: Dávkový příkon v okolí JE Černobyl 26.4.1986 (izolinie 10 odpovídá 2 Gy/den) [19].

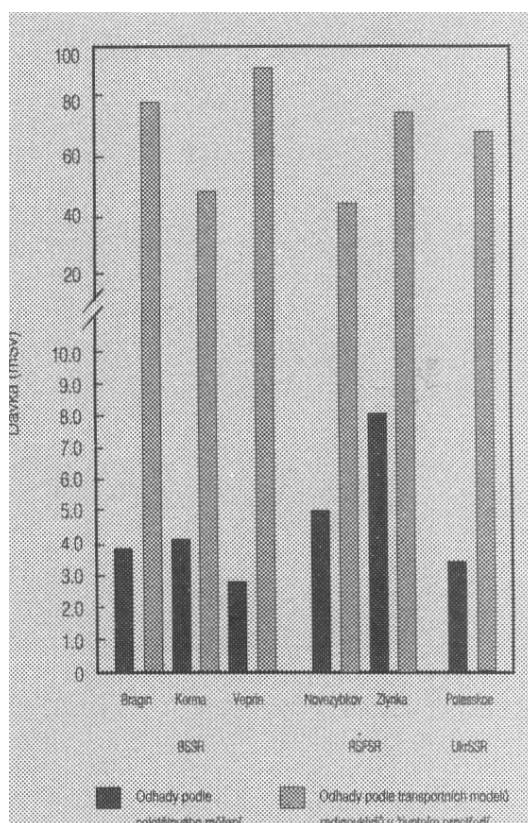


Obrázek č. 2: Vývoj dávek vnitřního ozáření Cs-137 (mSv/rok) obyvatelů v okresech s anomálně vysokými dávkami vnitřního ozáření [25].

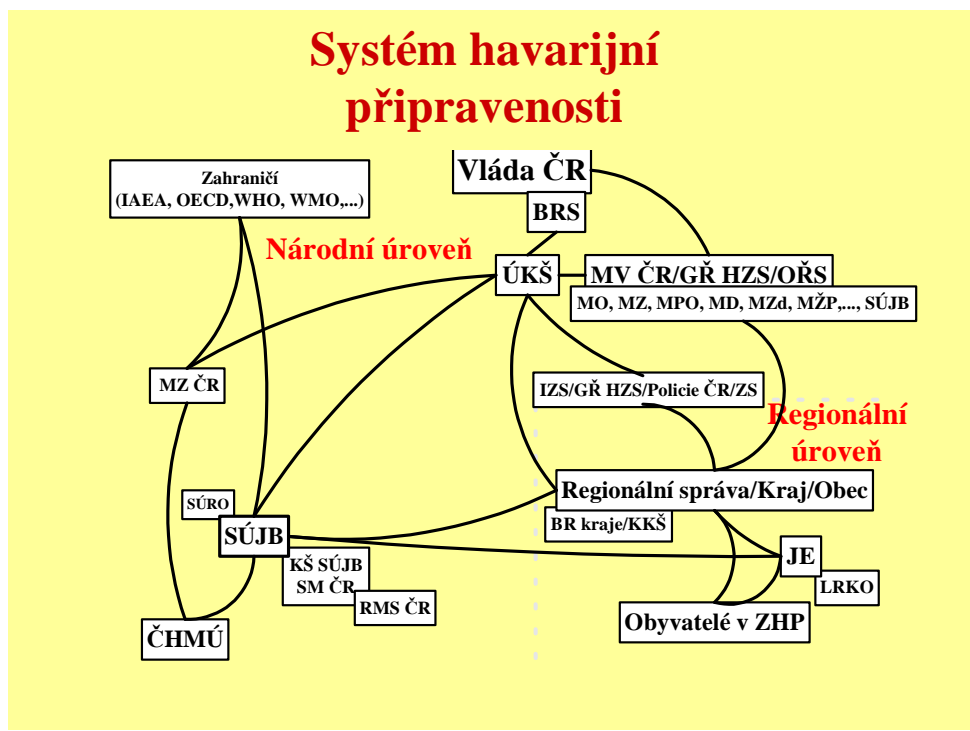
**Динамика содержания инкорпорированного радиоцезия
(медианные значения)
у взрослого населения некоторых населенных пунктов Украины
1986-2003 гг.**



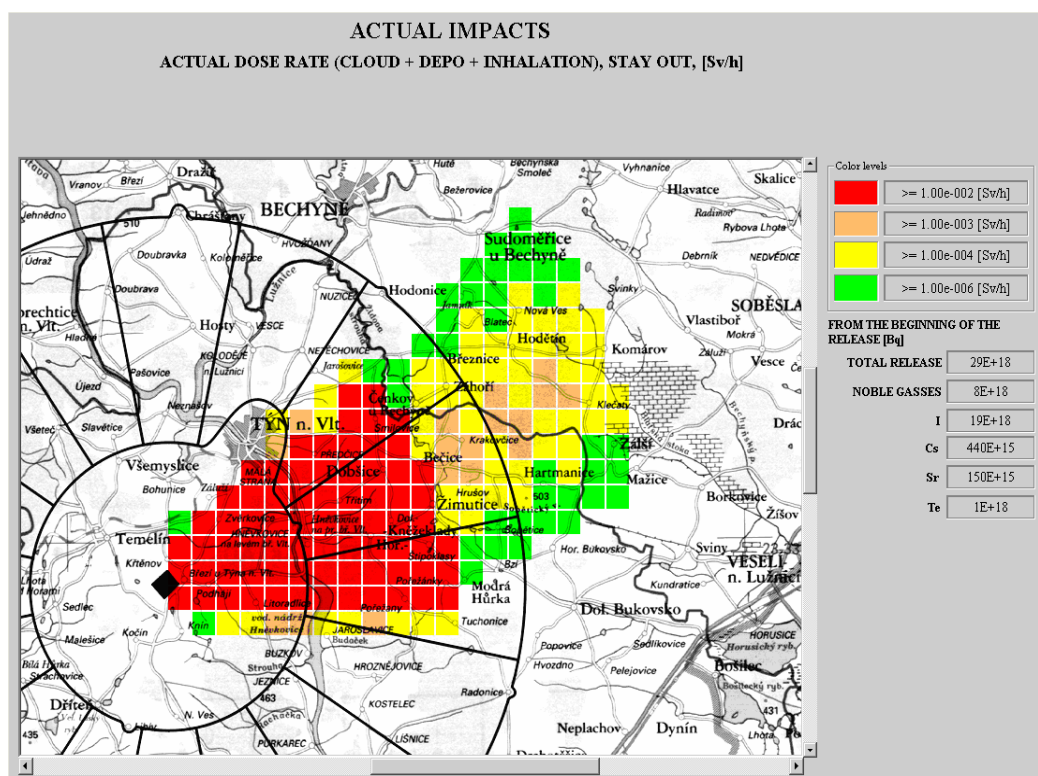
Obrázek č. 3: Vývoj střední celotělové aktivity Cs-137 (kBq) u dospělých obyvatel v některých okresech Ukrajiny [25].



Obrázek č. 4: Porovnání celotělových dávek vnitřního ozáření (černé sloupce) a dávek odhadnutých modelovým výpočtem na základě úrovně kontaminace zemského povrchu v některých lokalitách Ukrajiny [16].



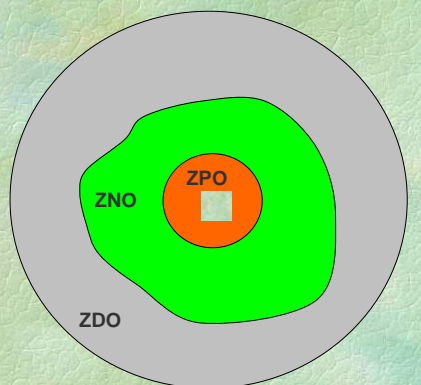
Obrázek č. 5: Schéma systému havarijní připravenosti ČR



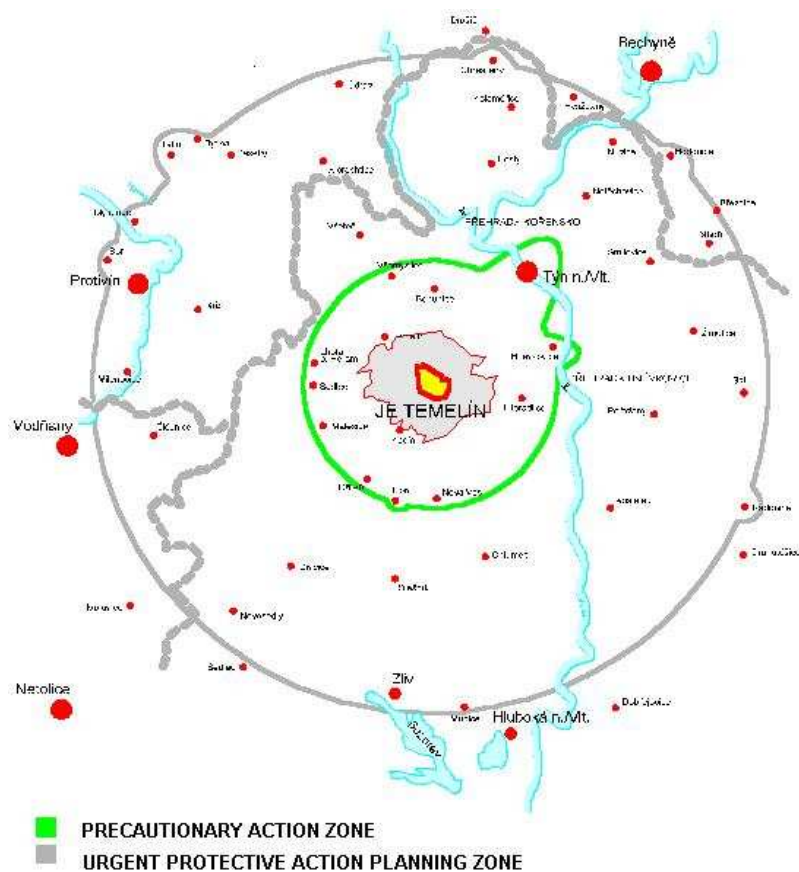
Obrázek č. 6: Příklad modelových výpočtů programem ESTE [37].

ZÓNY HAVARIJNÍHO PLÁNOVÁNÍ

- * Zóna plánování předběžných opatření (ZPO)
- * Zóna plánování neodkladných opatření (ZNO)
- * Zóna plánování následných opatření (ZDO)



Obrázek č. 7: Schématické znázornění tří typů ZHP – ZPO, ZNO, ZDO [2].



Obrázek č. 8: Zóny havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín (zelená, vnitřní křivka – ZPO, šedá, vnější křivka – ZNO).

Příloha 2: Tabulková část

Plocha	Opuštěná půda [ha]	Půda, která může být využívána, jsou-li posuzována radiologická, ekonomická a sociální kritéria [ha]
	Kyjevská oblast	
1998-2000		3475
2001-2005		4720
Celkem	29342	8205
	Žitomyrská oblast	
1998-2000		2620
2001-2005		4960
Celkem	71943	7580

Tabulka č. 1: Rehabilitace půd v oblasti přesídlení za 30 zakázanou zónou [19]

Country, International body	CAC	EU	Belarus	Russia	Ukraine
Year of adoption	1989	1986	1999	2001	1997
Milk	1000	370	100	100	100
Infant food			37	40-60	40
Dairy products		50-200	100-500	100	
Meat and meat products		180-500	160	200	
Fish		600	150	130	150
Eggs		-	80	6 Bq/egg	
Vegetables, fruits, potato, root-crops		40-100	40-120	40-70	
Bread, flour, cereals		40	40-60	20	

Tabulka č. 2: Akční úrovně pro aktivitu Cs-137 a Sr-90 v potravinách - mezinárodně doporučené [14],[17],[24] a přijaté Běloruskem, Ruskem a Ukrajinou [19].

Povrch	Technika	Dekontaminační faktor
Okna	Mytí	10
Stěny	Pískování	10 – 100
Střechy	Stříkání (hadicí) a/nebo pískování	1 – 100
Zahrady	Přeorání	6
Zahrady	Odstranění povrchu	4 – 10
Stromy, křoviny	Ořezání, očištění	~ 10
Ulice	Důkladné (tlaková voda) postřiky	1 – 50
Ulice (asfalt)	Nový povrch	> 100

Tabulka č. 3: Dekontaminační faktory/účinnost dekontaminace pro různá opatření a různé objekty [19].

Číslo	Opatření	Cs-137	Sr-90
1	Normální orba	2.5–4	-
2	Odstranění povrchu, hluboká orba	8–16	-
3	Vápnění	1.5–3	1.5–2.6
4	Umělé hnojení minerální/organické)	1.5-3/1.5-2	0.8-2/1.2-1.5
5	Látky vázající Cs	2-5	-
6	Normální rekultivace (op. 1+3+4)	1.5-3	1.5-2.5
7	Radikální rekultivace (op. 2+5)	1.5-9	1.5–3.5
8	Regulace krmení/“čistění“ krmiv	3-9	
9	Regulace mléka/řepky do výrobků	4-6/250	5-10/600

Tabulka č. 4: Efektivita/redukční faktory aktivity Cs-137 a Sr-90 po aplikaci různých opatření v zemědělské výrobě [19].

Země	Vzdálenost [km]		
	Ukrytí	Jódová profylaxe	Evakuace
Velká Británie	-	-	1.5 – 5
Francie	10	-	5
SRN	-	10	10
Česká republika	13	13	5 - 7
Belgie	-	-	10
Španělsko	10	10	4
Švédsko	12 - 15	12 -15	12-15
Švýcarsko	20	7	7
Finsko	100	20	20
Itálie	50	50	2 – 3
USA	16	-	8 – 10
Japonsko	8 – 10	8 - 10	8-10

Tabulka č. 5: Rozměry ZHP v některých zemích.