

Publikace 101

Stanovení dávky reprezentativní osobě
pro účely radiační ochrany obyvatelstva

a

Optimalizace radiologické ochrany:
rozšíření procesu

Český překlad vydal se souhlasem ICRP: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2010

Český překlad: Prof. MUDr. Vladislav Klener, CSc.

Odborná redakce: Ing. Karla Petrová

K odborné a jazykové redakci přispěli: Ing. Božena Kyselová
Ing. Ivana Zachariášová
Ing. Zuzana Pašková, MBA
Mgr. Barbora Havránková

Technická redakce: Ing. Jan Vinklář

Editor anglické verze: Jack Valentin

Předmluva k českému vydání

Český překlad doporučení ICRP č.101 z roku 2006 navazuje na český překlad doporučení ICRP č.103, který byl Státním úřadem pro jadernou bezpečnost vydán v roce 2009. Tím se odborné veřejnosti a dalším zájemcům o problematiku radiační ochrany dostává do rukou ucelený blok nových základních doporučení aktualizující a doplňující doporučení ICRP č.60 z roku 1990.

ICRP č.101 se specificky věnuje problematice hodnocení dávky nově zavedené reprezentativní osoby pro účely radiační ochrany obyvatelstva a optimalizaci v její rozšířené a nové podobě a je chápána jako doplňující k základním doporučením ICRP č.103. Cílem obou těchto překladů do češtiny je zejména přispět k lepší srozumitelnosti a také k jednotnému chápání těchto základních doporučení. Věřím, že tento cíl bude úspěšně naplněn.

Děkuji tímto opět Prof. MUDr.Vladislavu Klenerovi, CSc., který se překladu stejně jako u ICRP č.103 ujal. Tím je opět zaručena vysoká odborná přesnost překladu a také jednotnost a návaznost těchto dvou publikací v české verzi.

V Praze dne 3.2.2010

Za Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Ing. Karla Petrová

Editorial

VŠECHNO ŠPATNÉ JE PRO NĚCO DOBRÉ ... NEBO SNAD NE?

Je relativně výjimečné, že *Anály ICRP (Annals of the ICRP)* sdružují do jediného čísla časopisu více než jednu zprávu. Nyní, když se Komise rozhodla učinit tak opět poprvé od vydání 2001a,b (*Supporting Guidance 2*), nabízí se jako nejpravděpodobnější důvod, který je přitom však nejméně důležitý, počet stránek v čísle.

V tomto čísle máme dvě zprávy, z nichž každá je důležitá a souhrnně zpracovaná – a protože každá z nich je příliš krátká, aby vydala na samostatné číslo *Análů*, bylo rozhodnuto vytisknout je v témže svazku. Komise by však z vlastního dobrého důvodu seskupila tyto zprávy do jednoho čísla v každém případě.

Předně obě zprávy se dotýkají vzájemně souvisejících témat, která pravděpodobně oslovují tutéž čtenářskou obec. První část tohoto čísla je zpráva o stanovení dávek reprezentativním osobám. Týká se klasického problému: zajistit, aby jednotliví obyvatelé byli patřičně chráněni a aby držitelé povolení k nakládání se zdroji mohli prokázat, že dodržují předpisy, přestože jednotliví obyvatelé nemohou a neměli by být monitorováni. Jak bylo poprvé prozkoumáno a vysvětleno v úctyhodné *Publikaci 7 (1966)*, takový průkaz vyžaduje modelování cest transportu radionuklidů v prostředí a životního stylu lidí, kteří by mohli být prostřednictvím těchto cest exponováni. K tomu poskytuje tato zpráva nejnovější doporučení a terminologii.

Zpráva o rozšíření procesu optimalizace, která tvoří druhou část tohoto čísla, představuje odlišný úhel pohledu v tom smyslu, že se zaměřuje spíše na konkrétní kroky v tomto procesu než na specifické typy exponovaných osob. Pojednává o nejkritičtější části tohoto procesu, protože optimalizace tvoří skutečné jádro úspěšné radiologické ochrany, a uvádí způsoby, jak rozšiřovat obsah procesu a posílit v něm smysl pro angažovanost a společnou odpovědnost.

Obě tyto zprávy se zabývají aplikací Doporučení Komise, a tak poskytují podrobnější vodítko, jak zavádět systém radiologické ochrany Komise v praxi. Každý, kdo se věnuje praktickým aspektům radiologické ochrany obyvatel, musí být seznámen s oběma zprávami. Obě byly naplánovány Výborem 4 ICRP pro aplikaci Doporučení ICRP a zpracovány Pracovními skupinami tohoto Výboru.

Vedle toho v současné době dokončuje Hlavní komise ICRP projednávání, revizi a nové uspořádání základních Doporučení Komise a tyto dvě zde předkládané zprávy společně tvoří důležitý opěrný pilíř těchto Doporučení.

Naopak se ovšem tu a tam vyskytne jednotlivý čtenář, který bude mít specifický zájem o jednu z těchto zpráv a který by dal přednost tomu, aby byly vytištěny odděleně. Jak dobře ví většina čtenářů, zprávy obsažené v *Annals of the ICRP* jsou k dispozici také ke stažení v PDF formátu na adrese www.sciencedirect.com – a odtud mohou být tyto dvě zprávy vytištěny jako jednotlivé soubory, takže uživatel si může dle svého výběru stáhnout jednu či druhou zprávu nebo obě.

To není jediná výhoda uveřejňování zpráv na Internetu. Předně soubory lze snadno vyhledat, odkazy jsou dle množností provázány přímo s originální citovanou publikací, distribuce je okamžitá a dostupná po dobu 24 hodin a to celosvětově. Díky velkorysosti našeho vydavatele, nakladatelství Elsevier, bude série souborů brzy zahrnovat všechny zprávy ICRP od dne 1 (tj. od r. 1928), a bude tak obsahovat i ty nejstarší zprávy, které nebyly vydány v naší vlastní vydavatelské řadě, ale v otevřených vědeckých časopisech, které tyto zprávy ochotně uveřejňovaly.

Prostřednictvím uveřejnění na Internetu jsme také schopni zasáhnout daleko větší čtenářskou obec, než jsme kdykoliv mohli doufat v době, kdy naší jedinou možností byl klasický tisk. Vedle toho Komise a nakladatelství Elsevier jsou hrdé na účast v programu HIDARI, takže naše zprávy jsou dostupné zcela zadarmo v 69 rozvojových zemích a pouze za minimální symbolický poplatek v dalších asi 30 zemích. Tištěné knihy a časopisy je ale stále snazší číst než elektronické kopie, a tedy jako takové nikdy nevyjdou z módy. Internetová publikace však určitě představuje přidanou hodnotu.

To nás přivádí zpět k současné publikaci, která je tak k dispozici jako jednotlivé tištěné číslo *Annals of the ICRP* a jako soubory PDF představující jednotlivé zprávy, z nichž se publikace skládá. A tak opravdu každý může mít svůj koláč a pochutnat si na něm.

JACK VALENTIN

Stanovení dávky reprezentativní osobě
pro účely radiační ochrany obyvatelstva

ICRP PUBLIKACE 101, ČÁST 1

Stanovení dávky reprezentativní osobě pro účely radiační ochrany obyvatelstva

ICRP Publikace 101

Schváleno Komisí v září 2005

Abstrakt – Komise vycházela ze záměru, aby novelizovaná Doporučení byla založena na jednoduchém, avšak široce použitelném systému ochrany, který by zpřehlednil své cíle a vytvořil základ pro propracovanější systémy potřebné pro provozní manažery a regulační orgány. Doporučení ustanovují kvantifikované optimalizační meze (constraints) nebo limity dávek jednotlivcům z konkrétních zdrojů. Tyto optimalizační meze se vztahují ke skutečným nebo reprezentativním osobám vystaveným profesní či lékařské expozici nebo expozici obyvatel. Tato zpráva aktualizuje dřívější pravidla pro stanovení dávek obyvatelstvu. Dávka obyvatel nemůže být měřena přímo a v některých případech nemůže být měřena vůbec. Pro ochranu obyvatel je tedy nezbytné charakterizovat jedince, buď hypotetické, nebo konkrétní, jejichž dávka může být použita pro určení shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi. Tento jedinec je definován jako „reprezentativní osoba“. Cíl Komise ochránit obyvatelstvo je dosažen, když se splní příslušná dávková optimalizační mez pro tohoto jedince z jednotlivého zdroje a když radiační ochrana je optimalizována.

Tato zpráva vysvětluje metodu odhadu roční dávky a zjišťuje, že pro tento účel je k dispozici určitý počet rozdílných metod. Tyto metody představují rozpětí od deterministických výpočtů až k poměrně složitým pravděpodobnostním technikám. Vedle toho lze používat i kombinaci těchto technik. Při výběru charakteristik reprezentativní osoby je třeba mít na mysli tři důležité pojmy: přiměřený realismus, dlouhodobou platnost, homogenitu.

Každý tento pojem je vysvětlen a jsou uvedeny příklady k ilustraci každého z nich. Dávky obyvatelům jsou prospektivní (mohou se vyskytnout v budoucnosti) nebo retrospektivní (vyskytly se v minulosti). Prospektivní dávky u hypotetického jedince mohou nebo nemusí v budoucnosti nastat, zatímco retrospektivní dávky jsou obvykle počítány pro konkrétního jedince.

Komise si je vědoma, že míra podrobnosti, která je umožněna vyčíslením dávkových koeficientů pro šest věkových kategorií, není nutná pro prospektivní stanovení dávky vzhledem k neodstranitelným nejistotám obvykle provázejícím odhad dávky obyvatelům a identifikaci reprezentativní osoby. Pro prospektivní stanovení doporučuje nyní použít k odhadu roční dávky reprezentativní osobě tři věkové kategorie. Tyto kategorie jsou 0–5 roků (kojenec), 6–15 roků (dítě) a 16–70 let (dospělý). Pro využití tohoto doporučení v praxi se mají použít k reprezentaci těchto tří věkových kategorií dávkové koeficienty a data o životních návycích pro jednoletého kojence, desítileté dítě a dospělého.

Pro pravděpodobnostní stanovení dávky, ať už z plánované činnosti nebo z existující situace, Komise doporučuje definovat reprezentativní osobu tak, aby osoba náhodně vybraná z populace mohla obdržet dávku větší než reprezentativní osoba jen s pravděpodobností menší než 5%. Jestliže takové hodnocení ukáže, že několik desítek nebo více lidí může obdržet

dávky nad příslušnými optimalizačními mezemi, je třeba charakteristiky těchto lidí přešetřit. Ukáže-li následná další analýza, že dávky u několika desítek lidí skutečně mohou překročit příslušnou dávkovou optimalizační mez, je třeba uvážit kroky k úpravě expozice.

Komise bere na vědomí úlohu, kterou mohou hrát při identifikaci charakteristik reprezentativní osoby dotčené subjekty (stakeholders). Zapojení dotčených subjektů může významně zlepšit kvalitu, chápání a přijatelnost charakteristik reprezentativní osoby a výsledný odhad dávky.

© 2006 ICRP. Vydal Elsevier Ltd.

Klíčová slova: expozice obyvatel; reprezentativní osoba; kritická skupina; stanovení dávky; neurčitost.

OBSAH

EDITORIAL	5
ABSTRAKT	9
OBSAH	11
PŘEDMLUVA	13
PRACOVNÍ SOUHRN	15
1. ÚVOD	19
1.1. Cíl zprávy	19
1.2. Širší zázemí problému	20
1.3. Základní principy a pojmy	22
2. STANOVENÍ DÁVKY	25
2.1. Účel stanovení dávky	25
2.2. Typy stanovení dávky	25
2.3. Přehled procesu stanovení dávky	26
2.4. Ošetření neurčitostí při stanovení dávky	28
2.5. Deterministické a pravděpodobnostní metody stanovení dávky	29
3. REPREZENTATIVNÍ OSOBA	31
3.1. Definice reprezentativní osoby	31
3.2. Cesty expozice, časový rámec a prostorové rozdělení radionuklidů	31
3.3. Charakteristiky reprezentativní osoby	32
3.4. Věkově závislé dávkové koeficienty	33
3.5. Určení shody	35
4. JINÉ ÚVAHY O REPREZENTATIVNÍ OSOBĚ	37
4.1. Vztah mezi monitorováním prostředí, modelováním a reprezentativní osobou	37
4.2. Situace potenciální expozice	37
4.3. Význam přínosu dotčených subjektů k charakterizaci reprezentativní osoby	38
PŘÍLOHA A: ANALÝZA VĚKOVÝCH KATEGORIÍ K POUŽITÍ PRO STANOVENÍ DÁVKY OBYVATELSTVU	41
PŘÍLOHA B: URČENÍ SHODY PŘI PRAVDĚPODOBNOSTNÍM HODNOCENÍ DÁVKY OBYVATELSTVU	49
ODKAZY	62

PŘEDMLUVA

Dne 20. října 2001 schválila Hlavní komise Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP) ustavení nové Pracovní skupiny pro definici jedince, podléhající 4. výboru. Jak se konstatovalo v zadání, cílem Pracovní skupiny bylo vypracovat principy, které by přispěly k definování jedince pro využití jeho charakteristik k odhadu dávky a průkazu shody v rámci systému ochrany Komise. Očekávalo se, že tyto principy budou důležité z toho důvodu, že doporučení Komise se dále vyvíjela a že se v těchto doporučeních očekával větší důraz na jedince než na společnost jako celek. Práce se měla zaměřit také na prokazování shody. Měly se posoudit také problémy spojené s pojetím neurčitosti ve vztahu k jedinci.

Tato zpráva je výsledkem práce této Pracovní skupiny. Představuje jeden z podpůrných dokumentů k novelizovaným doporučením Komise. Zpráva se zaměřuje na výše zmíněné oblasti a na některé jiné problémy, které se objevily v průběhu činnosti Pracovní skupiny. Návody obsažené v této zprávě rozvíjejí a nahrazují koncept kritické skupiny zavedený dříve ICRP. Zpráva také definuje reprezentativní osobu pro využití k průkazu shody s dávkovými optimalizačními mezemi a limity.

Složení pracovní skupiny:

J.E. Till (předseda)

J.R. Cooper

A.C. McEwan

D. Cancio

T. Kosako

C. Zuur

Dopisující členové:

M.E. Clark

D.A. Cool

K. Ulbak

Pracovní skupina vyjadřuje vděčnost za technickou podporu Dr. Wayne Oatwayovi z Národního úřadu radiologické ochrany (National Radiological Protection Board) ve Spojeném království, za příspěvi k výpočtům týkajícím se věkově závislých dávek. Pracovní skupina také děkuje paní Shawn Mohlerové za její účast na grafických pracích, panu George Killoughovi za jeho příspěvi ke statistickým otázkám prezentovaným v Příloze B a paní Cindy Galvinové za její podporu při redakci zprávy.

Pracovní skupina by ráda poděkovala těm organizacím, které poskytly svá zařízení a technickou podporu pro její setkání, a vyslovila dík i jejich pracovníkům. K nim patří Národní ústav radiační hygieny v Dánsku; Ministerstvo výstavby, územního plánování a životního prostředí v Holandsku; Národní úřad radiologické ochrany (nyní Odbor radiační ochrany Agentury ochrany zdraví – Radiation Protection Division of the Health Protection Agency) ve Spojeném království; Výzkumné centrum strojírenství, životního prostředí a technologie ve Španělsku; Agentura pro jadernou energii ve Francii a Ministerstvo energetiky, Jaderná regulační komise a Centrum pro kontrolu a prevenci nemocí v USA.

Tato zpráva byla schválena Komisí na jejím zasedání v Ženevě v září r. 2005.

PRACOVNÍ SOUHRN

(a) Dne 20. října 2001 schválila Hlavní komise Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP) ustavení nové Pracovní skupiny pro definici jedince. Cílem Pracovní skupiny bylo vypracovat principy, které pomohou definovat jedince, jehož dávka má být užitá jako základ pro průkaz shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi (dose constraints). O profesních a lékařských expozicích se v této zprávě nepojednává.

(b) V normálních a existujících situacích je dávková optimalizační mez specifikována pro regulační a administrativní účely jako roční dávka. Komise si je vědoma neurčitostí při stanovení dávky obyvatelům a krátkodobé povahy mnoha extrémních expozičních situací. V důsledku této neodstranitelné neurčitosti Komise připouští, že při prokazování shody pro normální situace existuje možnost, že dávka některým jedincům překročí dávkové optimalizační meze. Za předpokladu, že budou dodržena doporučení Komise, bude existovat jen malá pravděpodobnost, že dávka nějakému jedinci překročí příslušnou optimalizační mez.

(c) Komise rozlišuje tři typy expozičních situací: normální, existující a nehodovou. Vedle toho stanovení dávky může být prospektivní nebo retrospektivní. Prospektivní dávka se týká jedinců, kteří mohou dávku obdržet v budoucnosti, a retrospektivní dávky jsou takové, které se uskutečnily v minulosti.

(d) Stanovení dávky se může chápat jako mnohostupňový proces. Prvním stupněm je získání informací o zdroji, včetně údajů o typech a množstvích radionuklidů a emitovaného záření. Druhým stupněm je získat informace o prostředí, zejména o koncentracích radionuklidů pocházejících z dotyčného zdroje ve složkách prostředí. Ve třetí fázi procesu se kombinují tyto koncentrace s životními návyky definovanými expozičním scénářem. Čtvrtý stupeň spočívá v použití koeficientů, které buď převádějí koncentrace ve vzduchu a na povrchu na zevní dávkové příkony (zevní dávky), nebo převádějí jednotku příjmu na dávku (vnitřní dávky). Dávkové koeficienty se odhadují s použitím modelů o chování radionuklidů a absorpci záření v těle a jsou odvozeny a publikovány ICRP. Konečným krokem je sečtení příspěvků ze zevní a vnitřní dávky podle dané situace. Je důležité si uvědomit, že stanovení dávky je iterativní proces. Pomůckou k průhlednosti postupu je posuzovat tyto fáze odděleně, a to platí zvláště pro příjmy radionuklidů.

(e) Uznává se, že proměnlivost a neurčitost jsou vlastní kterékoliv metodě definující individuální charakteristiky a odhad dávky. Proměnlivost se týká skutečné a identifikovatelné různorodosti a diversity v přírodě. Neurčitost vzniká z nevyhnutelných omezení provázejících stanovení. Ať už jsou dávky odhadovány s použitím naměřených dat za použití modelů, nebo kombinací měření a výpočtů, proměnlivost a neurčitost přispívají k statistickému rozdělení možných hodnot. Stupeň proměnlivosti a neurčitosti je vyjádřen tvarem a rozsahem tohoto rozdělení. Komise zastává názor, že je věcí regulačních orgánů, aby přijaly konečné rozhodnutí, jak zahrnout neurčitosti do stanovení dávky pro účely průkazu shody s optimalizačními mezemi.

(f) Komise rozlišuje mezi veličinami vyjádřenými hodnotami, které jsou měřeny nebo odhadovány, a veličinami, které jsou zvoleny buď Komisí, nebo jinými organizacemi. Např. dávkové optimalizační meze, váhové faktory a dávkové koeficienty, když jsou užívány při stanovování shody a v rozhodovacím procesu, se volí jako pevné bodové hodnoty a nepředpokládá se u nich neurčitost. Komise si je však vědoma neurčitostí v modelech popisujících vztah mezi újmou a dávkou. Tyto neurčitosti jsou brány v úvahu při stanovení určených hodnot veličin jako jsou limity a optimalizační meze.

(g) Komise si je vědoma, že míra podrobnosti poskytovaná jejími doporučeními dávkových koeficientů pro šest věkových kategorií není pro prospektivní stanovení dávky obyvatelům nezbytná vzhledem k neurčitostem obvykle spojeným s těmito odhady. Komise tedy pro prospektivní stanovení pokračující expozice nyní doporučuje, že pro odhad roční dávky

reprezentativní osobě stačí tři věkové kategorie. Tyto kategorie jsou 0–5 roků (kojenec), 6–15 roků (dítě) a 16–70 let (dospělý). Kratší časové období je zvoleno pro kategorii 0–5 roků, kdy dozimetrické charakteristiky se mění nejrychleji, aby se zabránilo nežádoucímu potlačení významu, který se přikládá dávkám v mladších věkových skupinách. Používání těchto tří věkových kategorií se pokládá za dostatečné k charakterizaci radiologického působení zdroje a k přiměřenému zohlednění mladších citlivějších populací. Pro realizaci tohoto doporučení v praxi se mají použít k reprezentaci těchto tří věkových kategorií dávkové koeficienty a data o životních návycích pro jednoletého kojence, desítileté dítě a dospělého.

(h) Pokud odhady dávek těmto věkovým skupinám zahrnují významný příspěvek od radionuklidů způsobujících relativně vysoké dávky plodu nebo kojenému dítěti a blíží se hodnotám příslušných dávkových optimalizačních mezí, mají se dávky plodu nebo kojenému dítěti stanovit samostatně, aby se zajistilo splnění kvantitativních doporučení. Ve světle skutečnosti, že takový příjem se uskutečňuje pouze během velmi omezeného zlomku očekávané délky života jedince, Komise soudí, že přiměřená úroveň ochrany může být zajištěna srovnáváním dávky stanovené u plodu a kojeného dítěte s dávkovými mezními hodnotami pro jednotlivé obyvatele.

(i) Dávky obyvatelům se nemohou bez značných obtíží měřit přímo. V mnoha případech se nemohou měřit vůbec. Proto pro účel ochrany obyvatel je nutné charakterizovat jedince, který dostává dávku reprezentativní pro nejvíce exponované jedince v populaci. Tento jedinec je definován jako „reprezentativní osoba“. Tento termín je rovnocenný „průměrnému členu kritické skupiny“ popsanému ve dřívějších doporučení ICRP a nahrazuje ho.

(j) Cíle Komise je dosaženo, když hodnota dávky reprezentativní osobě je nižší, než je dávková optimalizační mez a když radiologická ochrana je optimalizována.

(k) Při posuzování dávky reprezentativní osobě se musí zvážit řada faktorů: (1) stanovená dávka musí zahrnovat všechny významné cesty expozice; (2) stanovená dávka musí vzít v úvahu rozdělení radionuklidů v prostoru, aby se zajistilo, že do odhadu je zahrnuta skupina s nejvyšší dávkou; (3) údaje o životních návycích musí se týkat exponované skupiny či populace a musí být rozumně zvolené, dlouhodobě platné a homogenní; a (4) musí se používat dávkové koeficienty pro příslušné věkově specifické kategorie. Když se tyto faktory vezmou v úvahu a rozhodne se o zvoleném způsobu stanovení (deterministickém, pravděpodobnostním nebo smíšeném), může se reprezentativní osoba určit a použít k průkazu shody s optimalizačními mezemi.

(l) Dávka reprezentativní osobě může být vypočítávána s použitím několika různých přístupů v rozpětí od jednoduchých deterministických metod k metodám pravděpodobnostním.

(m) V obou případech se vyžadují příslušné údaje o životních návycích. Jestliže konkrétní údaje o životních návycích nejsou k dispozici, mohou se potřebné hodnoty odvodit z odpovídajících údajů celostátních nebo regionálních. V pravděpodobnostních hodnoceních může být použito rozdělení těchto hodnot nebo z nich může být vybrán pro deterministické výpočty nějaký parametr tohoto rozdělení. Zpracované databáze napovídají, že 95. percentil míry spotřeby pro většinu základních potravin překračuje průměrné hodnoty přibližně o faktor 3. Komise soudí, že použití 95. percentilu dat o zvyklostech v deterministických výpočtech je konzervativním předpokladem pro definování míry spotřeby.

(n) Pečlivě je třeba se vyhnout volbě extrémních percentilových hodnot pro každou proměnnou, a zabránit tak přehnaně konzervativnímu hodnocení. Takový výsledek by mohl vést k nerealistickému přecenění dávky reprezentativní osobě a zatížit nepřiměřeně projekt lékařského nebo jiného zařízení. Z toho vyplývá, že výběr hodnot parametrů musí odpovídat rozumnému a dlouhodobě platnému scénáři.

(o) Deterministické metody zahrnují přímé násobení zvolených bodových hodnot parametrů a koncentrací v prostředí. Nejjednodušší způsob deterministických metod je screening, ve kterém jsou zvoleny velmi konzervativní předpoklady k odhadu dávky za použití koncentrací

radionuklidů v bodě výpustí do prostředí. V některých situacích jsou lidé zatíženi vyšší dávkou snadno identifikovány, protože expoziční data pro danou lokalitu jsou běžně dostupná a informace o životních návycích jsou známé. V jiných situacích je identifikace těchto jedinců iterativním procesem, který bere v úvahu klíčové cesty expozice a alternativní populace zatížené dávkami ze zdroje. Nakonec je identifikována skupina, v níž se očekává přijetí vyšších dávek. K odhadu dávky reprezentativní osobě se použijí průměrné charakteristiky této skupiny.

(p) K odhadu dávky je také možno použít pravděpodobnostních metod. V pravděpodobnostní metodě se kombinuje rozložení parametrů dílčích rozdělení do jednoho složeného rozdělení, které představuje rozpětí možných dávek vyplývajících z jejich pravděpodobnosti výskytu. Rozdělení dávky zahrnuje: (1) neurčitost a přírodní variabilitu v odhadu koncentrací ve složkách prostředí (tj. koncentrací radionuklidů ve vzduchu, vodě, půdě a potravě); a (2) neurčitost v údajích o životních návycích (kam patří např. míra plicní ventilace, spotřeba vody a potravin, čas strávený různými aktivitami).

(q) V prospektivních pravděpodobnostních odhadech dávek jedincům, ať už z plánovaného provozu, nebo z existující situace, Komise doporučuje definovat reprezentativní osobu tak, aby osoba náhodně vybraná z populace mohla obdržet dávku větší než reprezentativní osoba jen s pravděpodobností menší než 5%. Jestliže takové hodnocení ukáže, že několik desítek nebo více lidí může obdržet dávky nad příslušnými optimalizačními mezemi, je třeba charakteristiky těchto lidí přešetřit. Ukáže-li následná další analýza, že dávky u několika desítek lidí skutečně mohou překročit příslušnou dávkovou optimalizační mez, je třeba uvážit kroky k úpravě expozice.

(r) V pravděpodobnostním hodnocení má být při definování reprezentativní osoby věnována zvláštní pozornost území, kde se hodnocení provádí, a jeho obyvatelům. Je třeba pečovat o zahrnutí všech jedinců, jejichž dávka by mohla reprezentovat lidi, kteří obdrží vyšší dávku.

(s) Pro hodnocení retrospektivní dávky konkrétním jedincům, buď za účelem stanovení shody týkající se minulého období provozu zařízení, nebo pro existující situaci, zastává Komise názor, že odhad dávek ukazující na možnost překročení dávkových optimalizačních mezí by se měl vyhodnocovat případ od případu. V některých případech lze očekávat, že tyto dávky budou trvat jenom krátkou dobu, nebo že se nikdy nerealizují. Když však dávky konkrétním jedincům překračují dávkové optimalizační meze a očekává se, že budou pokračovat v budoucím období, měl by provozovatel a regulační orgán učinit rozhodnutí, zda je třeba přijmout omezující opatření u zdroje. Taková situace může vyžadovat doplňkové monitorování, aby se zmenšila neurčitost stanovení dávky, nebo aby se ověřila velikost dávky. Tyto úvahy je třeba oddělit od rozhodnutí o tom, zda dřívější projekt nebo provoz byl ve shodě s příslušnými podklady k udělení povolení.

(t) Komise uznává úlohu, jakou může hrát obyvatelstvo při identifikaci a charakterizaci reprezentativní osoby. Rozsah zapojení dotčených subjektů (stakeholders) bude kolísat podle jednotlivých zemí a situací. Dotčené subjekty mohou poskytnout vstupní data týkající se životních návyků, které jsou specifické pro jejich lokalitu. Dotčené subjekty mohou zejména pomoci v posouzení rozumnosti, dlouhodobé přijatelnosti a homogenity dat. Spolupráce s těmito subjekty může významně zvýšit kvalitu, obhajitelnost a přijatelnost charakteristik reprezentativní osoby a také posílit jejich podporu při průkazu shody a v rozhodovacím procesu.

(u) I když se ponechá stranou přístup užívaný k průkazu shody, Komise zdůrazňuje, že pro radiologickou ochranu je nutné zavedení uceleného systému ochrany, s použitím jak shody s kvantitativními optimalizačními mezemi, tak i postupů optimalizace ochrany.

1. ÚVOD

(1) Systém ochrany Komise je založen na principech kvantitativních standardů ochrany doplněných požadavkem optimalizovat dosažený stupeň ochrany. Systém je zaměřen na poskytování náležitých stupňů ochrany jedincům vůči rizikům spojeným s expozicí ionizujícímu záření.

(2) Komise se usnesla, aby novelizovaná doporučení byla založena na jednoduchém avšak široce použitelném systému ochrany, které by zřehlednil své cíle a vytvořil základ pro propracovanější systémy potřebné pro provozní manažery a regulační orgány. Doporučení ustanovují kvantifikované limity a optimalizační meze (constraints) ročních dávek jednotlivcům z konkrétních zdrojů. Tato omezení se vztahují k expozici skutečných nebo hypotetických jedinců. Do tohoto rámce Komise zařazuje i numerická omezení expozice jednotlivých obyvatel.

(3) Komise užívala v dřívější době pro účely aplikace svých doporučení k definici lidí, kteří obdrží nejvyšší expozici z konkrétního zdroje nebo souboru zdrojů záření, koncept kritické skupiny. Doporučení v této zprávě aktualizují dřívější pravidla pro stanovení roční dávky obyvatelům. I když je v této zprávě položen důraz na dávky prospektivní (dávky obyvatelům v budoucnosti), určitá pravidla se uvádějí také k dávkám retrospektivním (tj. k dávkám již obdrženým).

(4) Dávka¹ ze zdroje přijatá jednotlivým obyvatelem závisí na řadě faktorů, jako je čas, lokalita, transport radionuklidů prostředím a charakteristiky jedince. Tyto charakteristiky zahrnují fyziologické parametry (např. rychlost plicní ventilace), potravní informace (např. míru spotřeby různých potravin), data o bydlení (např. typ obydlí), použití lokálních zdrojů (např. zemědělských zdrojů), rekreační aktivity (např. plavání) a jakékoliv jiné k jednotlivci vztažené informace, které jsou nutné k odhadu roční dávky. Při stanovení dávky se konkrétní soubor takových charakteristik nazývá „expoziční scénář“. Komise užívá obvykle pro informace o potravě, pobytu a dalších charakteristikách, potřebných k odhadu expozice, výraz „životní návyky“.

(5) Oddíl 1 této zprávy určuje její cíl, poskytuje výchozí informace a popisuje základní principy a koncepty. Oddíl 2 podává přehled o metodě pro odhad dávky způsobené zdroji jednotlivým obyvatelům. Oddíl 3 pojednává o výběru charakteristik pro reprezentativní osobu. Oddíl 4 předkládá jiné úvahy týkající se reprezentativní osoby. Příloha A poskytuje technické informace k analýze věkových kategorií. Příloha B uvádí informace o posouzení shody s použitím pravděpodobnostních metod.

1.1. Cíl zprávy

(6) Cílem této zprávy je poskytnout pravidla jak stanovit dávku jedinci pro účely průkazu shody s doporučeními Komise pro ochranu obyvatelstva.

(7) Tyto aktualizované směrnice jsou nutné, protože systém ochrany Komise se průběžně vyvíjí a doporučení Komise se stávají základním prvkem regulace v mnoha zemích. Nehledě na tento vývoj uvnitř ICRP, významně se v posledních dvou dekadách zlepšila také schopnost provádět hodnocení s použitím důmyslnějších počítačových a softwarových nástrojů. Dávky mohou být nyní snáze hodnoceny pravděpodobnostně, takže se může spíše využívat rozdělení dávek, které zahrnuje neurčitosti, než bodového odhadu dávky. Tato zpráva také aktualizuje principy nutné k realizaci systému ochrany ICRP a je v souladu s metodami užívanými k odhadu dávek jedincům. Zpráva také zřehledňuje a vypracovává metody ke stanovení

¹ Pokud není uvedeno jinak znamená „dávka“ v této zprávě „efektivní dávku“, která zahrnuje příslušným způsobem dávkový úvazek z příjmu radionuklidů do 70 let věku a příspěvek ze zevního ozáření.

dávek obyvatelům za účelem jejich porovnání s dávkovými optimalizačními mezemi, optimalizuje ochranu a pomáhá v plánování a rozhodování v nehodových situacích.

(8) Zdroj a exponovaný jedinec jsou základní prvky každé kategorie expozice, ať už profesní, lékařské nebo expozice obyvatel. Musí existovat jasná úmluva o jedinci, pro kterého se dávka stanovuje, a jeho jasná charakterizace. U profesní expozice, což je expozice obdržena při práci a v principu vyplývající z práce, je charakterizace exponovaného jedince a zdroje obvykle jednoznačná. U těchto jedinců existují záznamy a jejich expozice jsou monitorovány nebo individuálně vyhodnocovány. Podobně v lékařské expozici, což je v principu záměrná expozice lidí jako součást jejich vlastní lékařské diagnostiky nebo léčení, jsou zdroj a expozice obvykle zřejmé. Profesní a lékařská expozice nejsou tedy dále v této zprávě předmětem zájmu.

(9) Pravidla pro budoucí ochranu jedinců v případě ukládání radioaktivních odpadů s dlouhým poločasem přeměny jsou zpracována v *Publikaci 81* (ICRP, 2000a) a zůstávají v platnosti.

(10) V novelizovaných doporučeních (ICRP, 2007) jsou expoziční situace roztrženy do třech širokých skupin: normální situace, existující situace a nehodové situace. Komise užívá normální situace k označení těch částí svého pole působnosti, které spočívají v nějaké záměrně zavedené a udržované lidské činnosti, způsobující nebo potenciálně způsobující radiální expozici. Existující situace jsou takové, ve kterých zdroje už existují; tyto situace mohou vznikat nezáměrně, nepřiměřeným jednáním nebo jako výsledek dřívějších lidských činností, které byly později zastaveny. V mnoha případech se existující situace mohou usměrnit pouze opatřeními měnícími cestu expozice. Nehodové situace se týkají nezáměrných nebo neočekávaných událostí, které mohou vyústit v expozice dostatečně opravňující úvahy o zavedení protiopatření. Směrnice pro každou tuto skupinu jsou uvedeny v oddíle 2 této zprávy.

(11) Když se hodnotí ochrana obyvatelstva v různých expozičních situacích, mohou se dávky odhadovat buď deterministicky nebo pravděpodobnostně. V obou případech příslušné hodnoty parametrů jsou neurčité a s těmito neurčitostmi je třeba se vypořádat. Při deterministickém přístupu je výsledkem bodový odhad dávky. Neurčitosti se zohledňují tak, že se hodnoty parametrů volí způsobem rozumně zajišťujícím nepodcenění dávky. V pravděpodobnostním přístupu se neurčitosti zohledňují zahrnutím celého rozpětí možných parametrických hodnot a prezentací rozdělení dávek.

(12) Pro určení expozic v existujících situacích bývá možné použít data z měření a další údaje o životních návycích specifických pro lokalitu. Tyto místně specifické údaje mohou značně zmenšit neurčitosti stanovených dávek. V případě retrospektivního hodnocení dávky pro určení expozice obyvatelstva se však také může stát, že výsledkem je rozdělení možných dávek.

1.2. Širší zázemí problému

(13) Koncept kritické skupiny byl poprvé zaveden v *Publikaci 7* (ICRP, 1965), aby byl vytvořen nástroj pro hodnocení shody s doporučeními Komise. V odstavci 15 této publikace se konstatuje:

„Přítomnost kritického nuklidu v některých kritických cestách nezpůsobuje tutěž expozici každému členu populace mimo zařízení a předprovozní průzkum [...] obvykle konstatuje existenci jedné nebo dvou skupin lidí, jejichž charakteristiky, tj. životní návyky, místní situace nebo věk způsobují, že obdrží větší dávky než ty, jímž je vystaven zbytek populace mimo zařízení a to vyžaduje, aby takové skupiny byly posuzovány odděleně, tj. aby byly označeny jako kritické. K definování takové skupiny v praxi je třeba velké rozvahy a je třeba přitom posoudit dále uvedená hlediska. Některá z nich se shodují s faktory uplatněnými

v plánu rutinního dohledu a v následujícím výčtu jsou tedy uvedena jen ta, která se týkají přímo kritické skupiny:

- lokalizace a věkové rozdělení potenciálně exponovaných skupin,
- potravní návyky (např. zvláštní složky stravy a spotřebovaná množství),
- zvláštní profesní činnosti (např. zacházení s rybářskými sítěmi),
- typ bydlení (např. charakteristiky stínění),
- chování v domácnosti (např. čas strávený mimo domov, frekvence osobního umývání a praní prádla),
- koníčky (např. sportovní rybaření nebo slunění).

Takové populační skupiny se mohou vyskytovat v sousedství zařízení nebo na některém vzdáleném místě; mohou zahrnovat dospělé muže, dospělé ženy, těhotné ženy a děti; mohou to být jedinci, kteří jedí jídla připravená zvláštním způsobem nebo pocházející ze zvláštních lokalit; nebo to mohou být lidé s zvláštní pracovní činností... Koncept kritické skupiny nabízí spolehlivou a praktickou cestu jak se vyrovnat s doporučeními komise týkajícími se jednotlivých obyvatel....“

(14) Odstavec 16 *Publikace 7 (ICRP, 1965)* pokračuje:

„Kritická skupina má být vybrána tak, že je reprezentantem nejvíce exponovaných jedinců v populaci a pokud jde o dávku je homogenní v míře prakticky dosažitelné, s přihlédnutím k faktorům uvedeným v odstavci 15, které ovlivňují dávku v konkrétním posuzovaném případě.“

(15) Odstavec 17 *Publikace 7 (ICRP, 1965)* konstatuje:

„Jakmile byla kritická skupina tímto způsobem identifikována je třeba vybrat reprezentativní vzorek této skupiny a zkoumat ho tak, aby se stanovila jeho [sic] skutečná nebo potenciální expozice. Průměrná expozice takového vzorku by měla být potom uznávána jako typická pro skupinu nejexponovanějších jedinců a doporučení Komise ohledně nejvyšší přípustné dávky pro jednotlivé obyvatele by se měla aplikovat na tento průměr. Rozptyl hodnot ve vzorku ukáže určitou míru jeho homogenity ve vztahu k charakteristikám jedinců (jako je rychlost metabolismu), které mohou ovlivnit přijatou dávku, ale které nejsou měřeny. Tyto individuální rozdíly mohou směřovat k většímu rozptylu individuálních dávek realizovaných uvnitř kritické skupiny. Musí se také připustit, že i mimo kritickou skupinu mohou existovat ojedinělí jedinci, jejichž životní návyky a charakteristiky jsou dramaticky neobvyklé. Takové zvláštnosti mohou někdy znamenat, že tito jedinci obdrží dávky o něco vyšší než členové kritické skupiny.“

(16) Koncept kritické skupiny byl v publikacích ICRP průběžně používán a byl v radiační ochraně široce aplikován. V odstavci 67 *Publikace 43 (ICRP, 1985)* se poznamenává:

„V extrémním případě může být výhodné definovat kritickou skupinu jako jednotlivého hypotetického jedince, např. když jde o podmínky daleko v budoucnosti, které nemohou být podrobně charakterizovány. Obvykle však kritická skupina nesestává z jednoho jedince, ani zase nebývá velmi rozsáhlá, neboť potom by se vytratila homogenita. Velikost kritické skupiny bude obvykle do několika desítek osob. V ojedinělých případech, kde jsou rovnoměrně exponovány velké populace, může být kritická skupina mnohem větší. Tato pravidla o velikosti mají určité důsledky; např. při průzkumu životních návyků není nezbytné pátrat po nejvíce exponovaném jedinci v kritické skupině se záměrem založit kontroly na této jediné osobě. Výsledky průzkumu životních návyků v určitém časovém bodě je třeba pokládat za indikátor existujícího rozložení a hodnota přijatá jako průměr by neměla být nepatřičně ovlivňována nalezením jednoho nebo dvou jedinců s extrémními návyky.“

(17) Doporučení z r. 1990 v *Publikaci 60* (ICRP, 1991) konstatují:

„Tyto skupiny se vybírají jako reprezentativní pro nejvíce exponované jedince v důsledku působení posuzovaného zdroje. Požaduje se, aby byly rozumně homogenní s ohledem na charakteristiky, které ovlivňují jejich dávky z tohoto zdroje. Když je to splněno, potom každá k jedinci vztahovaná optimalizační mez má být aplikována na střední hodnoty kritické skupiny. Vyplyvá z toho, že někteří příslušníci kritické skupiny obdrží dávky nad a jiní pod průměrem skupiny.“

(18) Komise nadále potvrzuje platnost principů vypracovaných v *Publikacích 7, 43 a 60* (ICRP, 1965, 1985, 1991), které se týkají výběru jedinců pro účely posuzování shody s dávkovými optimalizačními mezemi. Účelem této zprávy je ujasnit a propracovat aplikaci těchto principů s uvážením nových zkušeností a poznatků při hodnocení dávky jednotlivým obyvatelům.

1.3. Základní principy a pojmy

(19) V normálních a existujících situacích jsou pro regulační a administrativní účely dávkové optimalizační meze specifikovány ve veličině roční efektivní dávka. Komise si je vědoma neurčitostí v hodnocení dávky obyvatelstvu a přechodné povahy mnoha extrémních expozičních situací. Jako výsledek této neodstranitelné neurčitosti Komise připouští, že při posuzování shody pro normální situace existuje možnost, že dávky některým jedincům mohou překračovat dávkové optimalizační meze. Za předpokladu, že jsou dodržována doporučení Komise, je pravděpodobnost, že dávky u některého jedince přesáhnou příslušné optimalizační meze, malá.

(20) Optimalizační mez Komise pro obyvatelstvo za normálních situací je zčásti stanovena na základě expozičních situací u jedinců, a to pro situace o nichž se předpokládá, že se budou nadále vyskytovat v budoucnosti po řadu let (ICRP, 2007). Populace, která je v kterémkoliv daném čase exponována, se skládá ze spektra jedinců pokrývajících určitá věková rozmezí a jednotlivým obyvatelům je třeba poskytnout ochranu, jak budou stárnout v průběhu doby, kdy se očekává realizace expozice.

(21) Ve většině případů není možné přímo monitorovat dávku jednotlivým obyvatelům; monitorování se má zaměřit spíše na koncentrace radionuklidů v prostředí, které mohou být k expozici jedinců. Protože dávka obyvatelstvu se přímo neměří, musí se odhadovat s použitím koncentrací ve složkách prostředí, údajů o příslušných životních návycích a v případech příjmů radionuklidů za pomoci aplikace příslušných dávkových koeficientů. Metody užívané k výpočtu dávky zaujímají rozpětí od bodových hodnot odhadů (deterministické) k rozložení dávek (pravděpodobnostní). V obou případech nebo při aplikaci kombinace těchto metod, potřebují subjekty, které rozhodují, mít stanovena pravidla, jak konstatovat shodu.

(22) Od poloviny osmdesátých let začala ICRP vypracovávat věkově závislé dávkové koeficienty pro jednotlivé obyvatele. Byla vydána řada publikací uvádějících dávkové koeficienty pro šest věkových skupin, které byly založeny na referenčních biokinetických a dozimetrických modelech (ICRP, 1989, 1993, 1995, 1996a,b). Tyto dávkové koeficienty v kombinaci s příslušnými údaji o životních návycích se mohou užívat k hodnocení dávky z výpustí do životního prostředí.

(23) V některých situacích, k nimž patří situace existující v důsledku nehody nebo dřívější praxe, dávka obyvatelům může být odvozována z koncentrací v životním prostředí a údajů o konkrétních životních návycích. Příkladem toho jsou dávky rekonstruované po havárii v Černobylu (IAEA, 1991). V tomto případě bylo zpracováno rozložení dávek, které mohlo být vztahováno k jednotlivým obyvatelům. Většinou tato rozložení zahrnují určité množství

dávek, které leží výrazně nad dávkami typickými pro většinu populace a mají původ některých extrémních hodnotách týkajících se životních návyků.

(24) V jiných situacích, kde se posuzují teprve navržené výpustě do životního prostředí, musí se zavést předpoklady o životních návycích exponovaných jedinců.

(25) Pro účely ochrany obyvatelstva je tedy nutné charakterizovat jedince, který dostává dávku reprezentativní pro vyšší expozici jednotlivců v populaci. Tento jedinec je definován jako „reprezentativní osoba“. Dávka tomuto jedinci je rovnocenná střední dávce v kritické skupině, popsané v dřívějších doporučeních ICRP, a tuto dávku nahrazuje.

(26) Oddíly, které následují, popisují základní prvky procesu stanovení dávky. Vysvětlují také, jak je reprezentativní osoba charakterizována a identifikována pro rozhodování o shodě v normálních situacích, při nehodovém plánování a pro řešení dalších hledisek radiační ochrany jednotlivých obyvatel.

2. STANOVENÍ DÁVKY

2.1. Účel stanovení dávky

(27) Stanovení dávky se může provádět k určení shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi, může být vodítkem k rozhodování o úrovni řízení expozice a může usnadnit identifikaci akcí směřujících ke snížení ozáření. Např. v případě řízených výpustí do prostředí mohou výsledky porovnání s dávkovými optimalizačními mezemi určit, zda je nutná jejich další kontrola. Stanovují se také dávky za různá časová období, aby se vytvořily předpoklady pro nehodové plánování a aby se určily podmínky, za nichž se mají v případě nehody přijmout protipatření. Vedle toho se dávky stanovují v procesu optimalizace, kde nepostačuje nepřekročit dávkové optimalizační meze, ale kde je také nutné ukázat, že radiační ochrana je optimalizována s uvážením společenských a ekonomických hledisek (ICRP, 2007).

(28) Typ prováděného stanovení dávek a míra zahrnutí konkrétních informací záleží na účelu. V řadě situací se odlišný typ hodnocení vyžaduje při plánování, optimalizaci a průkazu shody. Např. při plánování a optimalizaci by se měly brát v úvahu různé okolnosti expozice a mělo by se vyhodnotit, kde okolnosti umožňují další ochranná opatření. Naproti tomu průkaz shody je obvykle pojat tak, aby konkrétně posoudil, zda předem stanovené podmínky jsou nebo nejsou dodržovány. Další část této zprávy se soustřeďuje na způsob, jak prokázat shodu s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi doporučenými Komisí.

2.2. Typy stanovení dávky

(29) Komise rozlišuje tři typy expozičních situací: normální situace, existující situace a nehodové situace. Hodnocení dávky může být prospektivní nebo retrospektivní (viz tab. 2.1). Stanovená roční dávka může být zařazena do toho i onoho typu podle toho, je-li dávka oceňována pro budoucí roky (prospektivní) nebo uplynulé roky (retrospektivní).

(30) Prospektivní dávky se určují u jedinců, kteří dosud nebyli exponováni, zatímco retrospektivní dávky se většinou odhadují pro skupiny jedinců, o nichž se ví, že expozici obdržely. Při oceňování prospektivních expozic se předpokládá, že existují jedinci, kteří mají určité životní návyky, nehledě na to, zda se tyto charakteristiky vztahují či nevztahují ke konkrétním osobám.

(31) Prospektivní hodnocení se provádí k odhadu budoucích expozic a k průkazu přijatelnosti a optimalizace navrhovaného sledu opatření (např. zavedení nového zdroje nebo pokračující provoz existujícího zdroje). Taková hodnocení musí vycházet z předpokladů o budoucích podmínkách. Jakmile je zdroj zaveden, tvoří výsledky takového prospektivního hodnocení základ pro průkaz shody.

(32) Prospektivní hodnocení se provádějí také k posouzení, zda pokračující situace bude vyhovovat příslušným dávkovým optimalizačním mezím i v budoucích letech. Ta mohou

Tab. 2.1. Příklady hodnocení dávek v různých expozičních situacích

Situace	Typ stanovení	
	Prospektivní	Retrospektivní
Normální	Určení shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi	Určení dávky obyvatelstvu z dřívějších operací
Existující	Budoucí dlouhodobá expozice (např. po ozdravných opatřeních)	Dřívější expozice (např. pobyt na kontaminovaném území)
Nehodová	Nehodové plánování	Skutečné důsledky nehody

obsahovat podrobnější informace o současných podmínkách specifických pro danou lokalitu, které by mohly zmenšit neurčitost, protože stávající podmínky jsou lépe známe, než prospektivní odhad pro vzdálenější budoucnost. Když se prospektivní stanovení užívá pro konkrétně zpracovávanou autorizaci zdrojů a pro průkaz shody, musí se forma a šíře záběru hodnocení konkretizovat, aby odpovídala základnímu požadavku.

(33) Prospektivní hodnocení se provádějí za nehodových situací, kdy radioaktivní materiál unikne do prostředí a obyvatelstvo může být ozářeno. V takovém hodnocení se používá dostupných terénních dat a měření, a ta se převádějí na odhady dávek pro řídicí složky, které vydávají doporučení pro krátkodobá ochranná opatření.

(34) Prospektivní hodnocení se užívají také pro pozdní fázi odezvy na nehodu, když událost už je pod kontrolou a časná ochranná opatření byla zavedena. Situace vytvořená zbytkovou radioaktivitou je v podstatě pokračující expozicí a je koncepčně totožná s existující expozicí.

(35) Prospektivní hodnocení se mohou konečně provádět k posouzení existujících situací, které nebyly dříve rozpoznány. Mohou také tvořit součást informací užívaných k rozhodnutí, zda se mají zavádět ochranná opatření ke snížení expozice.

(36) Existující situace mohou k posouzení důsledků navržených opatření vyžadovat buď hodnocení prospektivní, nebo retrospektivní. Když se takové případy odkryjí, poskytnou tato hodnocení základ pro pochopení budoucích důsledků neprovedených opatření a pro odhad odvrácené dávky, jsou-li určitá opatření prováděna. Poskytují také informaci, která může být předávána exponovaným obyvatelům, včetně alternativ opatření, která jsou k dispozici.

(37) Retrospektivní odhady se mohou provádět k průkazu shody s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi nebo se mohou použít jako základ pro epidemiologické studie (např. při rekonstrukci historické dávky). Jejich výpočet většinou obsahuje více informací než prospektivní analýzy. Vedle toho se retrospektivní hodnocení mohou provádět po počáteční fázi nehodových situací, aby se přesně charakterizoval i komentoval skutečný jejich dosah a účinek ochranných akcí popřípadě uskutečněných, aby se poskytly informace jednotlivým obyvatelům a aby se stanovilo zda jsou vhodná další opatření.

(38) V nehodových situacích existuje možnost poměrně vysokých dávek, které by působily po relativně krátké časové období. V nehodovém plánování se mohou provádět prospektivní odhady modelováním možných zdrojových členů a obyvatelstva v okolí konkrétního zdroje tak, aby se mohla zajistit preventivní ochranná opatření. Tato hodnocení se užívají k identifikaci jedinců a skupin, na které by se vztahovaly dávkové optimalizační meze pro příslušné činnosti, kdyby nastal uvažovaný nehodový scénář. Protiopatření při nehodě jsou zaměřena na snížení nebo usměrňování dávky jedincům v tomto krátkém časovém období.

(39) Ochranná opatření pro akutní expozici v nehodových situacích jsou často založena na ochraně specifických skupin, jako jsou děti. V těchto situacích jsou k ocenění příslušných dávek a k rozhodnutím o protiopatřeních užívány údaje o způsobu života podle věku a věkové závislé koeficienty. Z tohoto důvodu je třeba v hodnocení odezvy na nehodu explicitně uvést věkové skupiny nebo populace, které byly exponovány.

2.3. Přehled procesu stanovení dávky

(40) Stanovení dávky lze pokládat za vícestupňový proces, jak je ukázáno na obr. 2.1. Prvním stupněm je získání informací o zdroji, včetně údajů o typech a množstvích radionuklidů a emitovaného záření. Druhým stupněm je získání informací o prostředí, konkrétně o koncentracích radionuklidů pocházejících z posuzovaného zdroje ve složkách prostředí. Pro dávky zevního ozáření je třeba znát koncentrace radionuklidů ve vzduchu, půdě nebo vodě, nebo příkony zevní dávky. Po dávky vnitřního ozáření je nutné znát koncentrace radionuklidů v potravě, vodě nebo vzduchu, které mohou vnikat do těla. Třetím stupněm



Obr. 2.1. Proces stanovení dávky.

procesu je kombinování koncentrací s údaji o životních návycích, které jsou vybrány na základě expozičního scénáře příslušné osoby nebo skupiny. Pro zevní ozáření je třeba znát doby strávené v různých radiačních polích, zatímco pro vnitřní ozáření se ke stanovení příjmu aktivity vyžaduje informace o spotřebovaném množství potravy a vody nebo o množství vdechovaného vzduchu. Dalším stupněm je použití dávkových koeficientů, které buď převádějí koncentrace ve vzduchu nebo půdě na příkony zevního ozáření, nebo převádějí jednotku příjmu na dávku. Závěrečným stupněm je příslušné sečtení příspěvků ze zevního a vnitřního ozáření. Je užitečné pojednat o jednotlivých stupních odděleně.

(41) V prvním stupni by měl být charakterizován zdroj expozice. V případě výpusť do prostředí má tato charakteristika obsahovat množství vypouštěných radionuklidů, které jsou předmětem zájmu, výšky komínů, vzdálenosti významných sousedících budov, fyzikální a chemické formy vypouštěných látek a meteorologické podmínky. Zkoumat se má také přímé zevní záření pronikající ze zdrojů stíněním nebo působící prostřednictvím rozptylu či lomu vlivem látek přítomných v atmosféře.

(42) V druhém stupni se na různých lokalitách stanovují koncentrace v prostředí měřeními nebo modelováním rozptylu, depozice a přenosu radionuklidů složkami prostředí nebo se užívá kombinace obou. Jak měření, tak i modelování budou provázeny neurčitostmi. Výsledkem pro každou lokalitu je určité rozdělení koncentrací aktivit pro každý radionuklid a každou cestu prostředím v důsledku působení zdroje. V tomto stupni by zpracování rozdělení

mělo být nezávislé na přítomnosti nebo nepřítomnosti osob a mělo by záležet na tom, jestli zde existují potenciální cesty expozice.

(43) Třetím stupněm je kombinace koncentrací radionuklidů ve složkách prostředí s údaji o životních návycích a s dalšími informacemi definujícími expoziční scénář. Předmětem rozvahy jsou informace o lokalitě, stravování, aktivitách životního stylu vedoucích k ozáření a fyziologické faktory, jako je věk nebo rychlost plicní ventilace. O výběru těchto informací se pojednává v oddíle 3. V mnoha případech lze tyto informace získat z dostupných údajů o místní populaci. Některé situace však vyžadují použití příslušných regionálních nebo celostátních informací buď z důvodu chybění konkrétních místních údajů, nebo pro jejich doplnění či ověření.

(44) Čtvrtým stupněm procesu stanovení dávek je aplikace dávkových koeficientů a obdobných veličin. Pro příjmy radionuklidů jsou tyto koeficienty vyjádřeny jako úvazky efektivní dávky nějakému orgánu. Součet příspěvků z vnitřního a zevního ozáření dává celkovou roční dávku.

(45) Je důležité si uvědomit, že hodnocení dávky může být procesem iterativním. Hodnocení většinou začíná konzervativnějšími předpoklady o zdroji, hodnotách parametrů pro modelové výpočty, životních návycích a velikosti populace. Výsledky každé iterace se použijí k posouzení potřeby většího počtu místně specifických a realistických informací. Použití podrobnějších informací je zvláště důležité v případech, kdy velikost vypočítaných dávek se blíží příslušným optimalizačním mezím.

(46) Tato zpráva je vodítkem zejména pro třetí a čtvrtý stupeň procesu.

2.4. Ošetření neurčitostí při stanovení dávky

(47) Běžně se uznává, že variabilita a neurčitost jsou vlastní každé metodě používané k definování individuálních charakteristik a k odhadu dávek. Variabilita se vztahuje ke skutečné a rozpoznatelné heterogenitě nebo rozmanitosti v přírodě. Např. variabilita se může týkat rozdílů ve faktorech kořenové absorpce při změnách typů půd. Zdroje variability se mohou třídít do tří kategorií: prostorová variabilita, variabilita v čase a interindividuální variabilita (Tschurlovits, 2004). Neurčitost vzniká z nevyhnutelných omezení při stanovení. Např. měření koncentrací má neodstranitelně omezenou přesnost. Ať už dávky jsou odhadovány s použitím naměřených hodnot, aplikací modelů nebo kombinací měření a výpočtů, variabilita a neurčitost ovlivňují distribuci možných hodnot. Míra variability a neurčitosti se projevuje tvarem a šíří tohoto rozdělení. Pro stanovení důležitých parametrů může být v této souvislosti užitečná analýza senzitivity. V této zprávě se užívá termínu „neurčitost“ ve smyslu příspěvků jak variability, tak i neurčitosti, jak je to popsáno výše.

(48) Komise rozlišuje mezi veličinami, jejichž hodnoty vyplývají z měření nebo z odhadů v rámci hodnocení, a veličinami, jejichž hodnoty vyplývají z volby Komise nebo organizací. Např. dávkové optimalizační meze, váhové faktory a dávkové koeficienty jsou pro použití v posuzování shody a v rozhodovacím procesu zvoleny jako pevné bodové hodnoty a předpokládá se tedy, že nejsou neurčitě. Komise připouští neurčitost v modelech uvádějících do vztahu újmu a dávku. Tyto neurčitosti by se měly brát v úvahu při stanovení zvolených hodnot takových veličin, jako jsou limity a optimalizační meze.

(49) Neurčitosti spojené se stanovením dávky by se měly zohledňovat buď deterministicky volbou přiměřených hodnot jednotlivých parametrů výpočtu, nebo pravděpodobnostně zavedením rozdělení hodnot parametrů. Cílem každé z těchto metodologií by mělo být umět vyhodnotit dávku s potřebnou jednoznačností, aby se tím poskytla opora úvahám a rozhodnutím prováděným pro potřeby radiační ochrany.

(50) Komise zastává názor, že konečné rozhodnutí o tom, jak zahrnout neurčitosti stanovení dávky do řízení o shodě, by mělo příslušet regulačním orgánům.

2.5. Deterministické a pravděpodobnostní metody stanovení dávky

(51) Jak bylo již uvedeno, dávky reprezentativní osobě se mohou vypočítávat buď deterministicky, nebo pravděpodobnostně, nebo se může použít kombinace těchto metod. Použitá metoda bude záležet na specifické situaci i na kapacitách a údajích, které jsou k dispozici. Pochopení rozdílů těchto metod je důležité pro používání pravidel k určení shody s doporučeními Komise. Následuje tedy stručný popis těchto metod.

(52) Je třeba si uvědomit, že deterministické a pravděpodobnostní metody nemusí nutně poskytovat rovnocenné matematické výsledky. Výsledky obou metod jsou však použitelné k dosažení cíle Komise poskytnout základ pro rozhodování o požadované ochraně jednotlivých obyvatel. V obou případech je však důležité, aby proces hodnocení byl průhledný, aby předpoklady byly jasně srozumitelné a aby se vzala v úvahu pravidla pro výběr životních návyků. Nezávislá oponentura hodnocení a přizvání dotčených subjektů (stakeholders) jsou nezbytné pro úspěch procesu.

(53) Nejjednodušší metodou pro hodnocení shody je screeningové hodnocení. Tato metoda v typickém pojetí využívá zjednodušujících předpokladů, které vedou k velmi konzervativnímu odhadu dávky založenému např. na koncentracích radionuklidů v bodě výпустí ze zdroje. Jinou zjednodušující metodou je posoudit pro odhad dávky obyvatelstvu jedinou věkovou skupinu (např. dospělí) a výsledek porovnat s dávkovými optimalizačními mezemi (ICRP, 2000). Jestliže výsledky relativně konzervativního screeningového hodnocení ukáží, že dávky jsou zřetelně pod příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi, nemusí být zapotřebí dávku dále podrobně hodnotit. Byla vyvinuta řada screeningových metod, které jsou k dispozici k využití v praxi (IAEA, 2001; NCRP, 1966).

(54) V jiné modalitě deterministické metody se na základě expertního posudku, údajů z měření nebo jednoduchých výpočtů přibližně odhaduje postižená populace, cesty přenosu a kontaminující radionuklidy s cílem identifikovat skupinu nebo skupiny zasažené vyššími dávkami. V některých situacích se lidé zasažení vyššími dávkami snadno identifikují, protože specifické lokální expoziční údaje jsou snadno dostupné a životní návyky jsou známé. V jiných situacích identifikace těchto jedinců znamená iterativní proces, který posuzuje klíčové cesty expozice a populace vystavené dávkám ze zdroje. Iterativní proces často poukáže na oblasti, ve kterých se pravděpodobně realizuje největší expozice z každé jednotlivé cesty přenosu. Tyto oblasti se musí prozkoumat podrobněji. Konečně na základě uvážení všech cest se identifikuje skupina, v níž se očekává nejvyšší expozice. Střední dávka této skupině se pro průkaz shody porovnává s dávkovými optimalizačními mezemi. Tato metoda je stejná jako přístup doporučený dříve Komisí jako kritická skupina.

(55) K šíření neurčitostí v průběhu hodnocení dávky dochází v dnešní době snáze než v minulosti v důsledku pokroků v počítačové technice. Pravděpodobnostní metoda kombinuje rozdělení hodnot parametrů dílčích rozdělení do složeného rozdělení, které ukazuje rozpětí možných dávek založené na pravděpodobnosti jejich výskytu. Rozdělení vypočítaných dávek zahrnuje: (1) neurčitost a variabilitu odhadnutých koncentrací ve složkách prostředí (tzn. koncentrace radionuklidů ve vzduchu, vodě a potravinách); a (2) neurčitost a variabilitu životních návyků (rychlosti plicní ventilace, míry příjmu potravy a vody, doby strávené při různých aktivitách). Jako u deterministických metod bude identifikace exponované populace a příslušných expozičních scénářů spíše iterativním procesem. Subjekty odpovědné za rozhodování však potřebují návod, jak při užití pravděpodobnostních metod stanovit shodu s doporučeními Komise.

(56) Často se užívá kombinace deterministických a pravděpodobnostních metod. Příkladem toho je použití výsledků měření v existujících expozičních situacích pro stanovení dávky jedincům (IAEA, 1991). V tomto případě se dospěje k nějakému rozdělení dávek, neboť

existuje nejistota a variabilita ohledně životních návyků a údajů z měření, a toto rozdělení se pak stává základem pro určení shody.

3. REPREZENTATIVNÍ OSOBA

3.1. Definice reprezentativní osoby

(57) Dávka obyvatelům se musí odhadnout s použitím koncentrací v prostředí nebo expozičních příkonů a při znalosti příslušných životních návyků. Pro účely ochrany obyvatelstva je tedy nutné definovat osobu, která by byla vhodná pro prokazování shody s dávkovými optimalizačními úrovněmi. Toto je realizováno reprezentativní osobou. Tento jedinec, který bude téměř vždy hypotetickou konstrukcí, dostane dávku, která je reprezentativní pro více exponované jedince v populaci. Reprezentativní osoba odpovídá průměrnému příslušníku kritické skupiny, dříve doporučenému Komisí (ICRP, 1985), a nahrazuje ho.

(58) Při posuzování dávky reprezentativní osobě se musí vzít v úvahu řada faktorů: (1) stanovení dávky musí postihnout všechny významné cesty expozice; (2) stanovení dávky musí zohlednit prostorové rozdělení radionuklidů, aby se zajistilo, že více exponovaní jedinci jsou v hodnocení zahrnuti; (3) údaje o životních návycích by měly vycházet z exponované populace a musí být rozumné, dlouhodobě platné a homogenní; a (4) u specifických věkových kategorií se musí použít příslušných koeficientů. Za předpokladu zohlednění těchto faktorů a v závislosti na použitém přístupu hodnocení (deterministickém, pravděpodobnostním nebo kombinovaném) je reprezentativní osoba identifikována a použije se k průkazu shody. Následuje další rozpracování každého tohoto faktoru.

3.2. Cesty expozice, časový rámeček a prostorové rozdělení radionuklidů

(59) Je důležité, že dávka reprezentativní osobě obsahuje příslušné příspěvky od všech modalit expozice (např. z atmosférických výpustí, kapalných výpustí a z přímé zevní expozice). Je možné, že v některých hodnoceních převládá jedna nebo několik cest expozice. Může se také zavést předpoklad, že do výpočtu budou zahrnuty jenom cesty přispívající k expozici významným způsobem. Klíč k zahrnutí té či oné cesty závisí na typu hodnocení, ale celkově by se mělo zajistit, že se neopomine žádná důležitá cesta vedoucí k ozáření.

(60) Pro časové období asi 50 let do budoucna je rozumné předpokládat, že charakteristika jedinců může být založena na nynějších údajích. Prospektivní stanovení roční individuální dávky může být proto pokládáno za platné pro období řádově stejné.

(61) V prospektivních situacích se má při stanovení dávky uvážit, že se může provádět určitý úřední dohled na využití pozemků (např. jeho vyhlášení jako národní park nebo chráněná oblast). To by mohlo vyloučit některé typy aktivit ve vymezené oblasti (např. jeho využití k bydlení nebo k osévání orné půdy), takže např. získávání hlavních potravin z tohoto území by nebylo možné. Klimatické podmínky mohou také omezovat nebo naopak posilovat potenciál osídlení a lokální produkci potravin (např. v suchých oblastech nedostatek vody může bránit jak širokému osídlování, tak i trvalé produkci potravin). Výběr vhodných charakteristik musí přihlížet k těmto podmínkám.

(62) Musí se posoudit prostorové a časové rozložení radioaktivních výpustí a postupné narůstání dlouhodobých radionuklidů v prostředí během trvání provozu zařízení. Příkladem takového postupného narůstání je akumulace radionuklidů z kapalných výpustí v sedimentech řek a jezer. Takové narůstání může způsobovat expozici jedinců ve velké vzdálenosti od závodu nebo způsobovat jejich expozice za delší dobu.

(63) V prospektivním hodnocení je třeba posoudit možné budoucí změny v užívání půdy. Např. v nynější době nemusí existovat zemědělská činnost v sousedství projektovaného závodu, ale taková činnost může začít během jeho projektované životnosti. Orgán dozoru by měl v prospektivním hodnocení určit, zda se má taková zemědělská výroba předpokládat.

Přesto je v průběhu provozu zařízení důležité příležitostně znovu vyhodnotit vybrané charakteristiky, aby se počítalo s významnými změnami, které by mohly nastat v demografických datech a životních návycích.

3.3. Charakteristiky reprezentativní osoby

(64) Jak je uvedeno v odstavci 4, charakteristiky jedince jsou popsány věkově závislými fyziologickými parametry a údaji o životních návycích, které zahrnují informace o stravování, bydlení, užívání místních zdrojů a kterékoli další informace, které jsou nutné k odhadu dávky.

(65) Je důležité, aby individuální návyky (např. požívání potravy, rychlost plicní ventilace, místa pobývání, užívání místních zdrojů) užívané v deterministickém přístupu byly průměrné návyky malé skupiny jedinců, kteří reprezentují subjekty více exponované, a nikoliv extrémní návyky ojedinělých členů populace. Některé extrémní a neobvyklé návyky se mohou vyhodnotit, ale ty by neměly nutně určovat charakteristiky posuzovaných jedinců. Výjimkou může být způsob života samostatného jedince, o němž se může předpokládat, že potrvá po dlouhou dobu a bude se týkat tohoto jedince nebo popřípadě i jiných.

(66) Když se v pravděpodobnostním přístupu používá rozdělení údajů o životních návycích, mají tyto údaje zahrnovat rozpětí všech možných hodnot nalezených v prozkoumávané populaci. Rozdělení návyků má odpovídat posuzované lokalitě a situaci. Např. když předmětem hodnocení jsou výpustě s vlivem na pobřežní oblast, rozdělení návyků by mělo přinejmenším odrážet chování obyvatel pobřežních sídlišť.

(67) Nejsou-li pro místní populaci k dispozici konkrétní údaje o životních návycích (např. požívání ryb z pobřežní oblasti zatížené místními výpustěmi radionuklidů do mořského prostředí), mohou se potřebné hodnoty odvozovat z celostátních nebo regionálních populačních dat. V pravděpodobnostním hodnocení se může užívat distribuce těchto dat nebo pro deterministické výpočty může být vybrána hodnota pro životní návyky z rozdělení dat o návycích. Zpracované databáze napovídají, že 95. percentil míry spotřeby pro většinu základních potravin překračuje průměrné hodnoty přibližně o faktor 3. (Byrom et al., 1995). Komise soudí, že použití 95. percentilu dat týkající se zvyklostí v deterministických výpočtech, je konzervativním předpokladem pro definování míry spotřeby, chybí-li místně specifická data.

(68) Většinou pro jednotlivý zdroj převládá jedna expoziční cesta, která způsobuje dávku reprezentativní osobě z tohoto zdroje. Jestliže signifikantní příspěvek k dávce pochází od více než jedné cesty příjmu, není snad rozumné předpokládat, že 95. percentil příjmu je použitelný pro všechny cesty; převažující cestě by měl být přiznán příjem odpovídající 95. percentilu a ostatním cestám by měla být přiznána nižší hodnota v souladu s požadavkem, aby hodnocení představovalo soubor návyků, který je rozumný a dlouhodobě platný. Dokonce, přispívá-li více než jedna expoziční cesta významně k souhrnné efektivní dávce, projevuje se u jedinců postižených nejvyššími dávkami poměrně dobrá homogenita, pokud jde o strukturu návyků (Hunt et al., 1982, Hunt, 2004).

(69) Při výběru životních návyků pro reprezentativní osobu se musí zvažovat rozumnost, dlouhodobá platnost a homogenita.

(70) Rozumnost znamená, že data o životních návycích se přiřazují jedinci rozumně a nevybočují z rozpětí, se kterým se setkáváme v denním životě. Rozumnost výběru těchto dat se musí posuzovat bez ohledu na to, zda je použita metoda deterministická nebo pravděpodobnostní.

(71) Dlouhodobá platnost a homogenita jsou atributy rozumnosti. V deterministickém přístupu otázka rozumnosti při výběru údajů o návycích má vztah k rozumnosti homogenity, protože dávková optimalizační mez se porovnává s dávkami odvozenými ze středních hodnot

charakterizujících návyky v rozumně homogenní skupině. Homogenita skupiny je určena mírou, se kterou jsou nebo nejsou extrémní v jednotlivých návycích zahrnutých do hodnocení.

(72) Pro deterministická hodnocení Komise stanovila již dříve (ICRP, 1985), že nezbytný stupeň homogenity údajů o návycích v nejvíce exponované skupině závisí na výši střední dávky ve skupině jako zlomku příslušného dávkového limitu nebo optimalizační meze. Je-li tato frakce menší než asi jedna desetina, skupina má být pokládána za homogenní, když distribuce individuálních dávek leží v celkovém rozmezí o faktoru 10 (tj. faktor okolo 3 na každé straně průměru). U frakcí nad jednu desetinu má být celkové rozmezí nižší, zpravidla nepřesahující faktor 3.

(73) Dlouhodobá platnost se zaměřuje na očekávání doby, po kterou vybrané návyky mohou pokračovat i po době původního hodnocení. Je třeba, aby životní návyky byly vybrány s ohledem na dlouhodobost. Např. celkový příjem potravy by měl být v souladu s rozumnými požadavky na přísun kalorií. Je nepřiměřené např. předpokládat, že týž jedinec přijímá denní výživové dávky nezávisle z několika rozličných cest (např. ze zemědělské a rybářské produkce). Nevhodné je také předpokládat, že všechny potraviny spotřebované na nějakém území byly na tomto území vypěstovány, je-li zřejmé, že poloha a plocha půdy, která je k dispozici, by nemohla zajistit předpokládaný příjem potravin. Podobně spotřeba zvěřiny z nějaké oblasti nemůže překročit možné objemy úlovků. V případě významných příspěvků k dávce ze zevního ozáření se vyžadují rozumné odhady času stráveného na územích se zvýšenými expozičními příkony. Většinou se pokládá za dlouhodobě platné udržení expoziční situace po období alespoň pěti let.

(74) K omezení nadměrného konzervativizmu je třeba při hodnocení věnovat pozornost vyloučení extrémních percentilových hodnot pro všechny proměnné. Takové řešení by mohlo vést k významnému a nerealistickému nadhodnocení dávky reprezentativní osobě a mohlo by bezdůvodně zatížit projekt lékařských nebo jiných zařízení. Jednoduše řečeno výběr hodnot parametrů musí představovat rozumný a dlouhodobě platný scénář životních návyků.

3.4. Věkově závislé dávkové koeficienty

(75) Většinou se připouští, že zevní expozice v životním prostředí je spojena jen s malou variabilitou dávky na jednotku expozice v závislosti na věku (Golikov et al., 1999, 2000). Pro příjmy radionuklidů však Komise vydala věkově závislé koeficienty (stanovující dávku na jednotku příjmu, Sv/Bq) pro jednotlivé obyvatele v šesti věkových rozpětích kryjících časové období od kojeneckého věku do 70 let věku (ICRP, 1996a,b). Vydala také dávkové koeficienty pro zárodek/plod vzhledem k příjmu radionuklidů matkou (ICRP, 2001a,b) a dávkové koeficienty pro novorozence z příjmů radionuklidů v mateřském mléce (ICRP, 2005). Tyto koeficienty umožňují výpočty dávky pro specifické skupiny v populaci. Tento oddíl poskytuje další pravidla pro začlenění věkově závislých koeficientů pro vnitřní ozáření do výpočtů u reprezentativní osoby a rozlišuje jejich použití v různých situacích. Výhodiskem porozumění, jak užívat věkově závislé koeficienty v prokazování shody s doporučeními Komise, je pojednání o cílech a klíčových konceptech, které jsou základem Doporučení Komise.

(76) Používání dávkových koeficientů pro šest věkových skupin by se mělo vážit vzhledem k možnosti předpokládat koncentrace radionuklidů v prostředí z nějakého zdroje a k možnosti zohlednit neurčitosti v životních návycích exponovaných jedinců. Neurčitosti v odhadech dávky, zejména u prospektivních výpočtů, nejsou zásadně sníženy volbou vyššího počtu věkových kategorií, pro které jsou dávkové koeficienty k dispozici. Komise je nadále přesvědčena, že přesnost dosažená použitím celého souborů dávkových koeficientů není zdůvodněna pro existující neurčitosti v prospektivním odhadu dávky obyvatelům.

(77) Odstavec 20 poukazuje na to, že dávkové optimalizační meze jsou stanoveny, alespoň částečně, na základě expozic jedinců, které budou podle předpokladů pokračovat řadu let v budoucnosti. U většiny zařízení se očekávaná doba provozu odhaduje alespoň na 50 let. Proto je to týž jedinec, který je exponován po řadu let, a pro něhož se odhaduje shoda. Tento základní koncept pokračující expozice u téhož jedince ospravedlňuje použití omezeného množství věkových kategorií, které pokrývají několik let lidského života. V případě ukládání odpadu dlouhodobých radionuklidů, kdy dávky obyvatelům se mohou realizovat v daleké budoucnosti po celou dobu života jedince, Komise konstatuje, že „...je potom rozumné počítat roční dávku/riziko zprůměrnovanou přes celkovou dobu života jedince, což znamená že není nutné vypočítávat dávky různým věkovým skupinám; tento průměr může být přijatelným způsobem reprezentován roční dávkou/rizikem dospělé osobě“ (ICRP, 2000).

(78) Dávkové koeficienty doporučené Komisí udávají dávkový úvazek z příjmu za jeden rok. Tento konzervativní výpočet dávky zaručuje, že jedinci jsou chráněni vzhledem k celoživotní expozici bez ohledu na počet let, po které jsou exponováni. Např. v případě aktinidů dávkové koeficienty zahrnují integrovaný úvazek pro celoživotní expozici, což nadhodnocuje dávku nějakému jedinci v kterémkoliv daném roce.

(79) Komise dovoluje při hodnocení shody s dávkovými optimalizačními mezemi používat průměr dávky za období pěti let (ICRP, 1991) a doporučuje, aby podobný přístup se mohl použít pro stanovení počtu věkových skupin, které se berou v počet v prospektivním hodnocení pokračující expozice. Současná zkušenost ukazuje, že věkové kategorie se mohou kombinovat a tento postup nemá přitom v těchto situacích vliv na ochranu jednotlivých obyvatel.

(80) Z hlediska cílů a základních konceptů, z nichž vycházejí doporučení Komise, je oprávněné určitě sdružování věkově závislých dávkových koeficientů. V příloze A se diskutuje o důsledcích takového sdružování. Z těchto výpočtů je zřejmé, že s výjimkou aktinidů jsou rozdíly mezi dávkami v jednotlivých věkových skupinách většinou malé (zpravidla menší než 3) ve srovnání s nejistotami typicky provázejícími hodnocení dávek obyvatelstvu.

(81) Z tohoto důvodu pro účely průkazu shody s dávkovými optimalizačními úrovněmi pro pokračující expozici Komise doporučuje, aby roční dávka reprezentativní osobě byla definována pro tři věkové kategorie. Tyto kategorie jsou 0–5 roků (kojenec), 6–15 let (dítě) a 16–70 let (dospělý). Kratší časové období je vybráno pro kategorii kojeneček, kdy se dozimetrické charakteristiky mění rychleji, aby se čelilo neoprávněnému snížení významu připisovanému dávkám mladších věkových skupin. Používání těchto tří věkových kategorií je postačující pro charakterizování působení zdroje a pro zohlednění váhy mladší, citlivější populace. Pro zavedení tohoto doporučení v praxi se mají užívat k reprezentaci těchto tří kategorií koeficienty rizika a údaje o životních návycích pro jednoroční dítě (kojenec), desetileté dítě a dospělou osobu. Tato doporučení jsou shrnuta v tab. 3.1.

(82) Kategorie 0–5 roků nezahrnovala plod a kojenečké dítě. Ve většině případů dávka plodu a kojenečkému dítěti se zásadně nebude lišit od dávky stanovené pro věkovou kategorii 0–5 roků (viz Příloha A). Avšak některé radionuklidy, v podstatě izotopy fosforu a alkalických zemin, mohou způsobovat významně vyšší dávky plodu a kojenečkému dítěti než matce (ICRP,

Tab. 3.1. Dávkové koeficienty doporučené pro průkaz shody s dávkovými optimalizačními mezemi

Věková kategorie (roky)	Název věkové kategorie	Dávkové kategorie a životní návyky užívané ve výpočtu
0–5	Kojenec	Věk 1 rok
6–15	Dítě	Věk 10 roků
16–70	Dospělý	Dospělý

2001a,b). Tyto radionuklidy typicky způsobují také relativně vyšší dávku kategorii kojenců, takže založení shody na dávkách této věkové skupiny s použitím dávkového koeficientu pro kategorii kojenců by normálně zajišťovalo, že dávky matce a plodu vyhovují požadavkům shody. Přesto Komise vychází z názoru, že plod zasluhuje srovnatelnou pečlivost v průkazu ochrany. Proto, když součástí dávek stanovených pro jiné věkové skupiny jsou významné příspěvky z radionuklidů známých svým relativně vysokým příspěvkem k dávce plodu a stanovené dávky se blíží příslušným dávkovým optimalizačním mezím, je třeba samostatně stanovit dávky plodu a kojeneckému dítěti, aby se prokázalo splnění kvantitativních doporučení. Ve světle skutečnosti, že tento příjem bude realizován ve velmi omezeném zlomku individuálního celkového trvání života, Komise soudí, že přiměřená úroveň ochrany může být dosažena porovnáním dávky stanovené plodu nebo kojeneckému dítěti s dávkovou optimalizační mezí, která by mohla mít vyšší hodnotu, než je normálně používána pro jednotlivého obyvatele. Hodnota optimalizační meze pro plod nebo kojeneckého dítěte by však neměla překročit limit pro jednotlivého obyvatele.

(83) Toto sdružování věkově závislých dávkových koeficientů pomáhá vytvářet systém ochrany obyvatelstva, který je jednoznačný a dovoluje průběžný rozvoj informací o věkově závislé dozimetrii v souladu s pokrokem vědy. Komise hájí také názor, že používání tří věkových kategorií je v souladu s odvozením dávkových optimalizačních mezí ICRP pro obyvatelstvo v normálních a existujících expozičních situacích, které jsou založeny na pokračující expozici jedince z nějakého zdroje po řadu let.

(84) Při hodnocení zdravotních účinků v retrospektivních situacích, jako je rekonstrukce dávek, se však nadále aplikují všechna věkově závislá biokinetická data a modely Komise. V těchto případech kvalita a rozsah lokálně specifických údajů nutných k odhadu dávky většinou rozhodne, zda věkově závislé koeficienty rizika publikované Komisí zlepšší kvalitu výpočtu dávek a zmenší jejich neurčitost.

(85) Komise nadále podporuje používání všech věkově závislých dávkových koeficientů v nehodovém plánování a v odezvě na nehodu. Sdružené věkové kategorie navržené Komisí v této zprávě však mohou být v některých nehodových situacích přijatelné, zejména pokud jsou prováděny prospektivní odhady budoucích následků nehody, nebo při volbě alternativních nápravných opatření. Toto rozhodnutí by měl provádět příslušný regulační orgán.

3.5. Určení shody

(86) Stanovení dávky deterministickými metodami vede k jediné hodnotě dávky, která je pro určení shody porovnávána s příslušnými optimalizačními mezemi. Cíle Komise je dosaženo, když hodnota dávky reprezentativní osobě je menší než dávková optimalizační mez a když radiologická ochrana je optimalizována.

(87) Při pravděpodobnostním hodnocení je definování reprezentativní osoby a určení shody z rozdělení dávky obvykle složitější. Příloha B popisuje různá rozdělení dávky a způsob, jak mohou být tato rozdělení použita k identifikaci reprezentativní osoby pro účely průkazu shody. Jak se uvádí výše, existuje mnoho přijatelných přístupů a z nich vyplývajících rozdělení dávky. Komise proto nepředepisuje použití nějaké konkrétní metody pravděpodobnostního hodnocení.

(88) U některých pravděpodobnostních rozdělení dávky je možné, že v podstatě všechny dávky v rozdělení budou podle předpovědi menší než příslušná dávková optimalizační mez. V takovém případě se shoda snadno prokáže.

(89) V prospektivním pravděpodobnostním hodnocení dávky jedinci, ať už za normálního provozu, nebo při existující situaci, Komise doporučuje, aby reprezentativní osoba byla definována tak, že osoba náhodně vybraná z populace může obdržet dávku větší než reprezentativní osoba jen s pravděpodobností menší než 5%.

(90) Když takové hodnocení ukáže, že několik desítek nebo více lidí by mohlo obdržet dávky nad příslušnou optimalizační mez, je třeba charakteristiky těchto lidí prozkoumat. K rozhodnutí o tom, zda bylo vybráno nejvhodnější rozdělení by se mohla použít i analýza senzitivity zvolených parametrů. Pozornost je třeba věnovat také upozorněním jednotlivých obyvatel na existující nebo možné expoziční situace, které mohou znamenat extrémní v populaci. O takových příspěvcích k ozáření nemusí být v analýze provozovatele zmínka. I když takové příspěvky se mohou často týkat malých expozičních, zkušenost ukázala, že se tak někdy odkryjí potenciálně významné cesty expozice, které nebyly dříve pojmenovány a které si zaslouží další šetření. Když se na základě další analýzy ukáže, že dávky u několika desítek lidí skutečně mohou překročit relevantní optimalizační mez, měly by se uvážit akce k usměrnění expozice.

(91) Pro retrospektivní hodnocení dávky konkrétním jedincům, s cílem prokázat shodu buď pro dřívější období provozu, nebo pro existující situace, se Komise přiklání k názoru, že pokud stanovené dávky překračují dávkové optimalizační meze, měly by se odhadovat případ od případu. V některých případech lze očekávat, že tyto dávky budou pokračovat po krátkou dobu nebo že už k nim nedojde. Když však dávky konkrétním jedincům překračují dávkové optimalizační meze a očekává se, že budou pokračovat po delší dobu, musí provozovatel nebo regulační orgán rozhodnout, zda se požaduje opatření u zdroje. Taková situace vyžaduje doplňkové monitorování, aby se zmenšila neurčitost odhadu dávky nebo ověřila její výše. Uvedené úvahy je třeba oddělit od jakéhokoliv rozhodování o tom, zda dřívější projekt nebo provoz byly ve shodě s principy jejich autorizace.

(92) Bez ohledu na způsob použitý k průkazu shody Komise zdůrazňuje, že pro radiační ochranu je nutná aplikace celého systému ochrany s použitím jak průkazu shody s příslušnými optimalizačními mezemi, tak i postupů optimalizace ochrany. Tab. 3.2 shrnuje metody stanovení dávky popsané v tomto oddíle.

Tab. 3.2. Souhrn metod používaných k stanovení dávky reprezentativní osobě

	Výpočtová metoda	
	Pravděpodobnostní	Deterministická
Údaje o koncentracích v prostředí	Rozdělení odhadnutých nebo naměřených koncentrací	Jednotlivé hodnoty parametrů
Údaje o životních návycích	Rozpětí nebo pevné hodnoty údajů o životních návycích	Průměrné hodnoty pro více exponovanou skupinu, nebo 95. percentil příslušných regionálních nebo celostátních dat
Dávkové koeficienty Dávka reprezentativní osobě	Pevné hodnoty odpovídající věku Metoda vybraná provozovatelem nebo regulačním orgánem Reprezentativní osoba je identifikována tak, aby pravděpodobnost byla menší než asi 5%, že osoba vybraná náhodně populace by obdržela dávku vyšší	Pevné hodnoty odpovídající věku Součin výše uvedených hodnot

4. JINÉ ÚVAHY O REPREZENTATIVNÍ OSOBĚ

4.1. Vztah mezi monitorováním prostředí, modelováním a reprezentativní osobou

(93) Prospektivní hodnocení se obvykle provádějí k průkazu přijatelnosti projektovaných řízených výпустí do prostředí. Téměř vždy zahrnují použití modelů, které obvykle poskytují jediný nástroj k odhadu koncentrací radionuklidů v materiálech prostředí. O reprezentativní osobě se předpokládá, že pobývá v lokalitě, kde odhadnuté koncentrace v prostředí vedou k vyšším dávkám, při respektování požadavků rozumnosti, dlouhodobé stálosti a homogenity, o nichž byla výše řeč. Prakticky to znamená lokalitu, která je nebo může být obydlena. Také časová a prostorová měřítka vytvářena modely musí být pro zamýšlené využití vhodně zvolena.

(94) Když zdroj již existuje (pokračující normální situace, existující situace a nehodové situace), bude se monitorování úrovní radionuklidů v prostředí za účelem stanovení jejich koncentrací normálně provádět nejspolehlivějšími metodami měření. Na to byla přednostně zaměřena *Publication 43* (ICRP, 1985). Program monitorování by měl vycházet z identifikace dominantních cest radionuklidů s uvážením mezi detekce a zdroje radionuklidů. Monitorování pochodů v životním prostředí je také důležitou a doplňkovou složkou monitorování. *Publikace 43* (ICRP, 1985) uvádí pravidla pro použití jak monitorování, tak i modelování k odhadu dávek, a upozorňuje na jejich možná omezení.

4.2. Situace potenciální expozice

(95) V normálních expozičních situacích se roční dávky buď průběžně realizují, nebo k nim bude určitě docházet v budoucnosti. Mohou však existovat situace, ve kterých není jisté, že expozice nastane a předpokládaná dávka může mít jen malou pravděpodobnost, že k ní skutečně dojde. Toto se označuje jako „potenciální expozice“. Potenciální expozice může pokrývat široký rozsah situací, jako je lidský omyl, selhání zařízení, nehody se zdroji záření a také vysoce nerovnoměrné rozptýlení radioaktivních materiálů.

(96) Podle doporučení Komise potenciální expozice by se měla vyhodnocovat na základě kombinace pravděpodobností, a to pravděpodobnosti, že se dávka realizuje, a pravděpodobnosti zdravotního poškození, když se dávka skutečně realizuje. Součin těchto pravděpodobností je celková (nepodmíněná) pravděpodobnost vzniku zdravotních následků. Je třeba však poznamenat, že pro účely rozhodovacího procesu je významnější poskytnout informaci o míře pravděpodobnosti, že se dávka skutečně realizuje, než o dávce samotné (ICRP, 2000a).

(97) Vymezení reprezentativní osoby v situacích potenciální expozice by mělo při hodnocení vzít v úvahu vedle jiných faktorů i pravděpodobnost expozice. Roční dávka, kterou by takový jedinec obdržel, kdyby expozice skutečně nastala, není postačujícím ukazatelem, i když velikost dávky může být důležitá při rozhodování o volbě faktoru rizika. Tak vedle charakterizace návyků, lokality a koncentrace radionuklidů v prostředí je nutné charakterizovat pravděpodobnost, že jedinec bude exponován. Tato pravděpodobnost může být ve skutečnosti kombinací několika pravděpodobností, včetně pobývání na konkrétním místě a účasti na specifické činnosti, která způsobuje, že expozice nastane. V deterministickém hodnocení to vyžaduje volbu hodnoty pravděpodobnosti expozice, která se má zahrnout do výpočtu. Pro pravděpodobnostní hodnocení se může použít rozdělení hodnot, pokud je taková informace k dispozici.

(98) Příkladem potenciální expozice v prostředí jsou oblasti kontaminované řídce rozptýlenými horkými částicemi, jak je to ilustrováno hodnocením radiologické situace způsobené horkými částicemi plutonia na ostrovech Colette, Ariel a Vesta v atolu Mururoa

ve Francouzské Polynésii (IAEA, 1998). Na rozdíl od obvyklého předpokladu relativně rovnoměrné kontaminace zde existuje velmi malá pravděpodobnost, že jedinec by byl zasažen jednou z horkých částic, a ještě menší pravděpodobnost, že by tento materiál způsobil vnitřní ozáření požitím nebo absorpcí otevřeným poraněním. I když uskutečnění takového scénáře není pravděpodobné, v případě, že by lidé v kontaminované oblasti pobývali a horká částice skutečně pronikla poraněním do kůže, výsledná lokální dávka by byla vysoká a mohla by dokonce způsobit lokalizovaný deterministický účinek jako jsou mikronekrózy kolem inkorporované horké částice. Možnost takové expozice by přetrvávala tak dlouho, jak by se horké částice v prostředí vyskytovaly.

(99) Kvantitativní přístup k potenciálním expozicím je použitelný také v jiných situacích, kde expozice mohou být intermitentní nebo vzácné.

4.3. Význam přínosu dotčených subjektů k charakterizaci reprezentativní osoby

(100) Jak je uvedeno v *Publication 82* (ICRP, 2000b) měla by se úloha dotčených subjektů (stakeholders) v širším rozhodovacím procesu oficiálně uznávat. Úloha dotčených osob byla v *Publication 82* popsána v souvislosti s ochranou obyvatelstva v situacích dlouhodobé expozice. Od doby vydání *Publication 82* Komise nadále sleduje úlohu zúčastněných subjektů v systému ochrany ICRP a podporuje jejich účast. Komise však soudí, že jejich úlohu je třeba definovat, vyjasnit a rozšířit tak, aby zahrnovala jiné situace. Další informace o této otázce poskytuje následující zpráva v tomto čísle *Annals of the ICRP* nazvaná „Optimalizace radiologické ochrany: rozšíření procesu“; je však důležité uvést několik klíčových principů týkajících se zapojení dotčených subjektů do charakteristiky jedince, jak je popisována v této zprávě.

(101) Subjekt odpovědný za rozhodování a provozovatel mají jasně definované úlohy a odpovědnosti při charakterizaci jedince a při posuzování shody. Na druhé straně mohou k tomuto procesu přispět i jiné typy jedinců a skupin. Ty jsou považovány za dotčené subjekty a týkají se jedinců, kteří mají osobní, finanční, zdravotní nebo právní zájem na postojích nebo doporučeních, která se přímo dotýkají jejich osobních životních podmínek nebo stavu životního prostředí. Ve většině případů je úlohou dotčených subjektů přispět svou podporou a informacemi k rozhodovacímu procesu. Mohou nastat situace, kde dotčené subjekty mají pověření a odpovědnost zpracovávat doporučující stanoviska (jako jsou celostátně jmenované komise nebo výbory). Většinou však provozovatel a regulační orgán vykonávají rozhodnutí a dotčené osoby pomáhají v tomto procesu informacemi a připomínkami k prováděnému rozhodování.

(102) V případě definování charakteristik reprezentativní osoby může zapojení dotčených subjektů hrát významnou úlohu. Dotčené subjekty mohou znamenat cenný přínos, pokud jde o životní návyky charakteristické pro příslušnou lokalitu. Tyto subjekty mohou pomoci zejména k posouzení rozumnosti, dlouhodobé platnosti a homogenity údajů o životních zvyklostech. Spolupráce s dotčenými subjekty může významně zlepšit kvalitu, pochopení a přijatelnost charakteristik reprezentativní osoby a posílit podporu celého procesu a jeho výsledků.

(103) Je-li účast dotčených subjektů používána jako součást celkového rozhodovacího procesu, je třeba stanovit pravidla, aby se zajistila efektivita a smysluplnost tohoto postupu pro všechny zúčastněné. Některé z těchto instrukcí obsahují tyto položky, které je ovšem možné doplnit: (1) jasnou definici úlohy dotčených subjektů na počátku procesu; (2) dohodu o plánu jejich zapojení; (3) zajištění mechanismu pro dokumentování vstupů dotčených subjektů a příslušných odpovědí; (4) prohlášení provozovatelů a regulačních orgánů, že berou na vědomí případné spletité důsledky zapojení dotčených subjektů, včetně možného požadavku dalších zdrojů k realizaci jejich námětů.

(104) Komise chápe, že názory na účast dotčených subjektů mohou významně kolísat od jednoho státu k druhému z důvodů kulturních, společenských a politických. Proto přínos a rozsah začlenění těchto subjektů by měly být předmětem rozvahy příslušných orgánů v každé zemi. I tak je Komise přesvědčena, že zapojení dotčených subjektů může hrát důležitou úlohu v prosazování systému ochrany ICRP, v jeho pochopení a přijetí.

PŘÍLOHA A: ANALÝZA VĚKOVÝCH KATEGORIÍ K POUŽITÍ PRO STANOVENÍ DÁVKY OBYVATELSTVU

A.1. Úvod

(A1) Komise specifikovala dávkové koeficienty pro zárodek/plod, kojenné dítě a šest věkových skupin v populaci. Tato příloha prozkoumává, zda počet věkových skupin může být pro účely hodnocení dávek a jejich srovnávání s příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi sdružen pouze do tří skupin, a to zejména v prospektivním hodnocení (viz oddíl 3.4.). Tyto tři kategorie jsou 0–5 roků (kojenec), 6–15 let (dítě) a 16–70 let (dospělý). Při uplatňování tohoto doporučení v praxi mají být tyto tři věkové kategorie reprezentovány koeficienty rizika a údaji o životních návycích pro jednoroční dítě (kojence), desetileté dítě a dospělou osobu.

A.2. Širší zázemí problému

(A2) V polovině osmdesátých let se ukázala potřeba zavést dávkové koeficienty (dávkou na jednotku příjmu, Sv/Bq), které by mohly být používány pro stanovení dávek z příjmů radionuklidů vdechováním a požíváním pro všechny věkové skupiny v populaci. Pracovní skupiny Výboru 2 ICRP vyvinuly věkově závislé biokinetické modely, které byly použity pro výpočet dávkových koeficientů pro různé věkové skupiny. V řadě publikací (ICRP, 1989, 1993, 1995, 1996a,b) byly uvedeny věkově závislé dávkové koeficienty pro vybrané radionuklidy 31 prvků. Pro potřebné zohlednění vlivu tělesné hmotnosti i změn v biokinetice radionuklidů a dozimetrických parametrů se stoupajícím věkem zpracoval Výbor 2 dávkové koeficienty pro šest reprezentativních věkových skupin: 3-měsíčního kojence, dítě ve věku, 1-, 5-, 10- a 15- let a pro dospělého člověka. V případech, kde je třeba aplikovat dávkové koeficienty pro jiné věkové skupiny v populaci, se doporučuje, aby tyto koeficienty byly k příslušným věkovým rozpětím vztahovány takto:

- 3-měsíční kojenec, od 0 do 1 roku věku;
- dítě ve věku 1 roku, od překročení 1 do 2 let věku;
- dítě ve věku 5 let, od překročení 2 do 7 let věku;
- dítě ve věku 10 let, od překročení 7 do 12 let věku;
- dítě ve věku 15 let, od překročení 12 do 17 let věku;
- dospělý člověk, od překročení 17 let věku.

(A3) Nedávno byly dávkové koeficienty pro zárodek a plod uveřejněny v dokumentu *Publication 88* (ICRP, 2001a,b). Byly vypracovány také dávkové koeficienty pro příjem radionuklidů kojenci v jejich mateřském mléku (ICRP, 2005).

(A4) Dávkové koeficienty publikované ICRP pro šest věkových pásem byly přijaty také v dokumentech *European Basic Safety Standards* (EU, 1996) a *International Basic Safety Standards* (IAEA, 1996) a byly také použity v řadě národních předpisů a směrnic.

Tab. A1. Ilustrativní údaje o životních návycích užitých ve výpočtu dávek

	Spotřeba mléka (kg/rok)	Spotřeba listové zeleniny (kg/rok)	Spotřeba hovězího masa (kg/rok)	Vdechování (m ³ /h)
3 měsíce	350	15	10	0,12
1 rok	320	30	20	0,22
5 roků	280	32,5	25	0,37
10 roků	240	35	30	0,64
15 roků	260	45	35	0,84
Dospělé osoby	240	80	45	0,92

(A5) Těchto dávkových koeficientů je namístež použít v případech, kde je třeba mít úplné a detailní informace o dávkách jedincům, jako např. v některých studiích rekonstruujících dávku a v hodnocení dávek pro havarijní plánování a pro odezvu na nehody. V mnoha situacích však tento stupeň podrobnosti není potřebný a bylo by výhodné použít omezenější sestavu koeficientů. Při rozhodování o tom, zda takový omezený výběr věkově závislých koeficientů je vhodný pro hodnocení dávky, je důležité posoudit dávky, které jsou důsledkem příjmů radionuklidů různými věkovými skupinami populace. Porovnávání samotných dávkových koeficientů není dostatečné. V úvahu se musí vzít také údaje o životních návycích, protože radiologická kritéria, vůči nimž se výsledky hodnocení porovnávají, jsou primárně specifikována jako dávky. Příjmy radionuklidů v různých věkových skupinách nejsou pro stejné potraviny shodné, protože míra příjmu potravy se mezi věkovými skupinami liší. Pro spotřebu téže potravy různými věkovými skupinami budou tedy relativní dávky záviset nejen na hodnotách věkově závislých dávkových koeficientů, ale také na věkově závislých mírách spotřeby a na jiných biologických parametrech.

(A6) Tato příloha zkoumá možnost používat omezené sestavy věkově závislých dávkových koeficientů, spočívající ve výpočtu dávek pro tři vybrané věkové skupiny v populaci, a to

Tab. A2. Poměr dávek z požívání mléka s použitím ilustrativních údajů o životních návycích

Radionuklid	1-roční dítě: plod† a následné tříměsíční kojení novorozence	1-roční dítě: 5-leté dítě	10-leté dítě: 15-leté dítě
H-3	2,27	1,77	1,18
H-3 (organicky vázané tritium)	2,92	1,88	1,25
C-14	3,21	1,85	1,30
Na-22*	6,61	2,04	1,37
Mg-28*	32,05	2,16	1,54
P-32*	1,32	2,31	1,58
S-35 (organická)	5,71	2,29	1,55
K-42*	22,73	2,29	1,47
Ca-45	0,94	2,15	1,28
Fe-59	17,47	1,98	1,40
Co-60	18,70	1,82	1,29
Ni-63	21,02	2,09	1,44
Zn-65	6,51	1,89	1,31
Se-75	6,30	1,79	1,79
Sr-90	2,70	1,78	0,69
Zr-95	25,44	2,13	1,46
Nb-95	15,37	2,03	1,37
Mo-99	13,43	2,22	1,34
Tc-99m	10,67	2,06	1,42
Ru-106	197,98	2,24	1,61
Ag-110m	11,43	2,05	1,41
Sb-125	22,24	2,05	1,38
Te-127m	22,22	2,17	1,60
I-131	7,74	2,06	1,41
Cs-137	3,25	1,43	0,71
Ba-133	15,90	1,82	0,58
Ce-144	2203,39	2,35	1,56
Po-210	56,55	2,29	1,50
Np-237	102,91	1,71	0,92
Pu-239	78,32	1,45	1,04
Am-241	241,09	1,57	1,02
Cm-242	284,84	2,23	1,48

† Založeno na dávkovém koeficientu pro obyvatele ženského pohlaví a chronický příjem (ICRP, 2001a,b).

* Pro výpočet u plodu jsou dávkové koeficienty těchto radionuklidů brány vzhledem k pracující matce (Phipps et al., 2001).

dávek vyplývajících z požívání radionuklidů v potravinách a z vdechování radionuklidů ve vzduchu za použití reprezentativní míry spotřeby potravin a ventilační rychlosti. Tyto výsledky jsou porovnávány s dávkami získanými za použití všech šesti dávkových koeficientů.

A.3. Metoda

(A7) Pro požívání potravin byly dávky pro čtyři věkové skupiny (1-, 5-, 10- a 15- leté děti) počítány odděleně za použití konzumace jednotkových koncentrací radionuklidů v mléce, listové zelenině, hovězím mase a se zahrnutím důsledků vdechování vzduchu dítětem. Rychlosti příjmu jsou uvedeny v tab. A1. Tyto ilustrativní hodnoty jsou převzaty od Smithe a Jonese (2003) a jsou odvozeny z dat Spojeného království. Data o míře spotřeby pro konkrétní potraviny mohou od jedné země k druhé kolísat, ale takové údaje obvykle sledují stejný celkový trend. Např. spotřeba mléka je vyšší u mládeže a spotřeba pevné stravy je vyšší u dospělých. Lze tedy očekávat, že celkové závěry z této analýzy je většinou možné použít. Výpočty dávek byly provedeny pro všechny radionuklidy, pro které Komise uveřejnila

Tab. A3. Poměr dávek z požívání listové zeleniny s použitím ilustrativních údajů o životních návycích

Radionuklid	1-roční dítě: plod† a následně tříměsíční kojení novorozence	1-roční dítě: 5-leté dítě	10-leté dítě: 15-leté dítě
H-3	0,64	1,43	0,99
H-3 (organicky vázané tritium)	0,82	1,52	1,06
C-14	0,90	1,49	1,09
Na-22*	1,86	1,65	1,16
Mg-28*	9,01	1,75	1,30
P-32*	0,37	1,87	1,33
S-35 (organická)	1,61	1,85	1,31
K-42*	6,39	1,85	1,24
Ca-45	0,26	1,74	1,08
Fe-59	4,91	1,60	1,18
Co-60	5,26	1,47	1,08
Ni-63	5,91	1,69	1,21
Zn-65	1,83	1,52	1,11
Se-75	1,77	1,45	1,51
Sr-90	0,76	1,43	0,58
Zr-95	7,15	1,72	1,23
Nb-95	4,32	1,64	1,16
Mo-99	3,78	1,79	1,13
Tc-99m	3,00	1,67	1,19
Ru-106	55,68	1,81	1,36
Ag-110m	3,22	1,66	1,19
Sb-125	6,25	1,66	1,17
Te-127m	6,25	1,75	1,35
I-131	2,18	1,66	1,19
Cs-137	0,91	1,15	0,60
Ba-133	4,47	1,47	0,49
Ce-144	619,70	1,89	1,32
Po-210	15,90	1,85	1,26
Np-237	28,94	1,38	0,78
Pu-239	22,03	1,17	0,88
Am-241	67,81	1,26	0,86
Cm-242	80,11	1,80	1,24

† Založeno na dávkovém koeficientu pro obyvatele ženského pohlaví a chronický příjem (ICRP, 2001a,b).

* Pro výpočet u plodu jsou dávkové koeficienty těchto radionuklidů brány vzhledem k pracující matce (Phipps et al., 2001).

dávkové koeficienty. Dále byla také vypočítána dávka plodu z příjmu radionuklidu matkou po dobu 9 měsíců a z následného tříměsíčního kojení, a to pro ty radionuklidy, u nichž dávkové koeficienty byly publikovány pro obyvatele ženského pohlaví, pokud není jinak uvedeno v tab. A2–A4. Pro srovnání se vdechováním radionuklidů byla zase vypočítána dávka plodu pro devítiměsíční vdechování radionuklidů matkou s následným tříměsíčním vdechováním dítětem při ventilační rychlosti odpovídající tříměsíčnímu kojenci a tříměsíčním příjmem radionuklidů kojením s uvážením vdechování matkou. Tyto výpočty byly provedeny pro podskupinu radionuklidů na předpokládaných hranicích rozpětí možných výsledků (viz tab. A6).

A.4. Výsledky

(A8) Výsledky pro vybrané radionuklidy a příslušné cesty expozice jsou uvedeny jako relativní hodnoty v tabulkách A2–A6. S cílem stanovit, zda dávka jednorozčnímu dítěti může přijatelně reprezentovat dávky věkového rozmezí od stadia plodu do 5 let, jsou v tabulkách uvedeny jednak poměry dávky jednorozčnímu dítěti ve vztahu k dávce plodu s následným

Tab. A4. Poměr dávek z požívání hovězího masa s použitím ilustrativních údajů o životních návycích

Radionuklid	1-roční dítě: plod [†] a následné tříměsíční kojení novorozence	1-roční dítě: 5-leté dítě	10-leté dítě: 15-leté dítě
H-3	0,76	1,24	1,10
H-3 (organicky vázané tritium)	0,97	1,32	1,16
C-14	1,07	1,29	1,20
Na-22*	2,20	1,43	1,27
Mg-28*	10,68	1,51	1,43
P-32*	20,44	1,62	1,47
S-35 (organická)	1,90	1,60	1,44
K-42*	7,58	1,60	1,37
Ca-45	0,31	1,51	1,19
Fe-59	5,82	1,39	1,30
Co-60	6,23	1,27	1,19
Ni-63	7,01	1,46	1,33
Zn-65	2,17	1,32	1,22
Se-75	2,10	1,25	1,66
Sr-90	0,90	1,24	0,64
Zr-95	8,48	1,49	1,36
Nb-95	5,12	1,42	1,27
Mo-99	4,48	1,56	1,24
Tc-99m	3,56	1,44	1,32
Ru-106	65,99	1,57	1,50
Ag-110m	3,81	1,44	1,31
Sb-125	7,41	1,44	1,29
Te-127m	7,41	1,52	1,49
I-131	2,58	1,44	1,31
Cs-137	1,08	1,00	0,66
Ba-133	5,30	1,27	0,54
Ce-144	734,46	1,64	1,45
Po-210	18,85	1,60	1,39
Np-237	34,30	1,20	0,86
Pu-239	26,11	1,02	0,96
Am-241	80,36	1,10	0,94
Cm-242	94,95	1,56	1,37

[†] Založeno na dávkovém koeficientu pro obyvatele ženského pohlaví a chronický příjem (ICRP, 2001a,b).

* Pro výpočet u plodu jsou dávkové koeficienty těchto radionuklidů brány vzhledem k pracující matce (Phipps et al., 2001).

Tab. A5. Poměr dávek z vdechování s použitím ilustrativních dat o životních návycích

Radionuklid	Třída plicní absorpce	1-roční dítě: 3-měsíční kojeneček	1-roční dítě: 5-leté dítě	10-leté dítě: 15-leté dítě
H-3 (sloučeniny tritia)	F	1,41	1,08	1,06
H-3 (sloučeniny tritia)	M	1,46	1,15	1,18
H-3 (sloučeniny tritia)	S	1,53	0,94	1,03
H-3 (vdechování organicky vázaného tritia)		1,83	0,93	1,02
C-14	F	2,01	1,11	1,16
C-14	M	1,46	0,98	0,85
C-14	S	1,64	0,92	0,88
Na-22	F	1,38	1,14	1,22
Mg-28	F	1,63	1,27	1,36
Mg-28	M	1,81	1,22	1,17
P-32	F	1,15	1,37	1,40
P-32	M	1,25	1,11	1,01
S-35 (vdechování kysličníku siřičitého)		1,29	1,15	1,23
S-35 (vdechování sulfidu uhličitého)		1,28	1,19	1,24
K-42	F	1,15	1,35	1,32
Ca-45	F	0,96	1,27	1,00
Ca-45	M	1,34	0,99	0,85
Ca-45	S	1,47	0,99	0,84
Fe-59	F	1,13	1,09	1,23
Fe-59	M	1,32	0,98	0,91
Fe-59	S	1,40	0,95	0,87
Co-60	F	1,41	0,98	1,11
Co-60	M	1,48	0,96	0,95
Co-60	S	1,71	0,87	0,90
Ni-63 (vdechování tetrakarbonylu niklu)		1,54	0,99	1,04
Ni-63	F	1,59	1,08	1,11
Ni-63	M	1,39	1,03	1,01
Ni-63	S	1,64	0,95	1,00
Zn-65	F	1,22	1,04	1,16
Zn-65	M	1,40	1,04	0,96
Zn-65	S	1,62	0,91	0,92
Se-75	F	1,41	1,05	1,59
Se-75	M	1,53	1,07	1,00
Se-75	S	1,54	0,96	0,95
Sr-90	F	0,73	1,00	0,59
Sr-90	M	1,34	1,01	0,78
Sr-90	S	1,75	0,88	0,86
Zr-95	F	1,68	1,02	1,14
Zr-95	M	1,47	0,98	0,88
Zr-95	S	1,45	0,94	0,87
Nb-95	F	1,39	1,15	1,22
Nb-95	M	1,40	1,00	0,88
Nb-95	S	1,40	0,97	0,87
Mo-99	F	1,36	1,31	1,38
Mo-99	M	1,34	1,19	1,04
Mo-99	S	1,28	1,19	1,08
Tc-99m	F	1,33	1,26	1,22
Tc-99m	M	1,40	1,15	1,08
Tc-99m	S	1,41	1,14	1,07

Tab. A5. (pokračování)

Radionuklid	Třída plicní absorpce	1-roční dítě: 3-měsíční kojenec	1-roční dítě: 5-leté dítě	10-leté dítě: 15-leté dítě
Ru-106 (vdechování ruthenium tetroxidu)		1,26	1,07	1,28
Ru-106	F	1,38	1,23	1,33
Ru-106	M	1,44	1,02	1,01
Ru-106	S	1,62	0,98	0,98
Ag-110m	F	1,47	1,11	1,17
Ag-110m	M	1,47	0,98	0,99
Ag-110m	S	1,63	0,94	0,91
Sb-125	F	1,43	1,09	1,17
Sb-125	M	1,47	0,95	0,89
Sb-125	S	1,66	0,94	0,87
Te-127m (vdechování par telurů)		1,28	1,16	1,25
Te-127m	F	1,22	1,28	1,33
Te-127m	M	1,36	1,03	0,91
Te-127m	S	1,48	0,98	0,89
I-131 (vdechování methyljodidu)		1,83	1,04	1,17
I-131 (vdechování par elementárního jódu)		1,73	1,01	1,18
I-131	F	1,83	1,16	1,32
I-131	M	1,25	1,09	1,05
I-131	S	1,29	1,05	0,91
Cs-137	F	1,13	0,89	0,64
Cs-137	M	1,48	0,96	0,90
Cs-137	S	1,67	0,85	0,87
Ba-133	F	0,75	1,03	0,47
Ba-133	M	1,22	0,93	0,71
Ba-133	S	1,66	0,86	0,90
Ce-144	F	1,38	1,15	1,24
Ce-144	M	1,54	1,08	1,02
Ce-144	S	1,57	0,97	0,96
Po-210	F	1,19	1,30	1,29
Po-210	M	1,34	0,98	0,88
Po-210	S	1,43	0,97	0,88
Np-237	F	1,74	0,92	0,81
Np-237	M	1,67	0,85	0,76
Np-237	S	1,59	0,91	0,82
Pu-239	F	1,75	0,79	0,83
Pu-239	M	1,76	0,76	0,78
Pu-239	S	1,66	0,86	0,85
Am-241	F	1,83	0,89	0,83
Am-241	M	1,73	0,80	0,76
Am-241	S	1,59	0,88	0,85
Cm-242	F	1,43	1,25	1,16
Cm-242	M	1,50	0,97	0,87
Cm-242	S	1,45	0,94	0,86

F – rychlá absorpce, M – mírná, S – pomalá.

tříměsíčním kojením, jednak poměry dávky jednoročnímu dítěti ve vztahu k dávce pětiletému dítěti. Podobně k určení, zda dávka desítiletému dítěti může přijatelně reprezentovat rozmezí od 6 do 15 let, jsou uvedeny poměry dávky 10-letému dítěti k dávce 15-letému dítěti. Z těchto výpočtů je zřejmé, že s výjimkou aktinidů jsou rozdíly mezi dávkami různým věkovým skupinám většinou malé (převážně menší než faktor 3) ve srovnání s neurčitostmi typicky se

vyskytujícími v prospektivních hodnoceních dávky obyvatelům. U aktinidů zohledňují dávkové koeficienty integrovaný úvazek pro celoživotní expozici, což vede k přeceňování dávky jedinci v kterémkoliv jednotlivém roce. Největší podcenění v důsledku použití omezeného souboru věkových skupin odpovídá přibližně faktoru 4, a to jak pro inhalační cestu pro plod/kojené dítě, tak i pro cestu požíváním listové zeleniny pro tutéž věkovou skupinu.

A.5. Závěry

(A9) Výsledky pro radionuklidy, pro které Komise publikovala dávkové koeficienty, jsou shrnuty v tab. A7. Je patrné, že relativní hodnoty odpovídají přibližně faktoru 3–4. Lze tedy soudit, že v mnoha situacích dávka vypočítaná pro jednorocní dítě reprezentuje dávky ve věkovém pásmu od stadia plodu do 5 let dítěte. Podobně dávka desítiletému dítěti může přijatelně reprezentovat dávky ve věkovém pásmu od 6 do 15 let.

Tab. A6. Ilustrativní poměry dávek z inhalace materiálu ve vzduchu během období plodu a kojení ve vztahu k expozici jednorocního dítěte

Radionuklid	Třída plicní absorpce	1- roční dítě: plod a vdechování* během období plodu a kojení
P-32	F (odhadem)	0,22
Ca-45	M	1,01
Sr-90	M	1,73
I-131	F	0,78
Cs-137	F	0,53
Pu-239	M	5,25

* Dávka plodu po devítiměsíčním vdechování matkou s přidáním dávky plodu z tříměsíčního kojení (inhalace matkou) a tříměsíčního vdechování kojencem. Dávka jednorocnímu dítěti se bere jako dvanáctiměsíční inhalace dítětem. F – rychlá absorpce, M – mírná absorpce.

Tab. A7. Minimální a maximální poměry pro jednotlivé cesty všech radionuklidů s použitím ilustrativních údajů o životních návycích

Cesta	Poměr	Minimální poměr	Maximální poměr
Požívání mléka	1-roční dítě: plod a následné tříměsíční kojení dítěte*	0,94	312 888
	1-roční dítě: 5-leté dítě	1,14	2,51
	10-leté dítě: 15-leté dítě	0,49	3,15
Požívání listové zeleniny	1-roční dítě: plod a následné tříměsíční kojení dítěte*	0,26	88 000
	1-roční dítě: 5-leté dítě	0,92	2,03
	10-leté dítě: 15-leté dítě	0,41	2,66
Požívání hovězího masa	1-roční dítě: plod a následné tříměsíční kojení dítěte*	0,31	104 296
	1-roční dítě: 5-leté dítě	0,80	1,76
	10-leté dítě: 15-leté dítě	0,46	2,93
Vdechování	1-roční dítě: 3-měsíční kojenec	0,55	2,51
	1-roční dítě: 5-leté dítě	0,54	1,65
	10-leté dítě: 15-leté dítě	0,41	2,84

* Pro ty radionuklidy, kde byly publikovány dávkové koeficienty pro obyvatele ženského pohlaví (ICRP, 2001a,b).

(A10) Používání omezeného souboru věkově závislých dávkových koeficientů reprezentujících kojence (dávkový koeficient pro jednorochní dítě), dítě (dávkový koeficient pro desítileté dítě) a dospělou osobu je více méně v souladu s běžnou dostupností údajů o spotřebě potravin. Konkrétní údaje o spotřebě pro šest skupin, pro které Komise specifikovala dávkové koeficienty, by pravděpodobně nebyly běžně k dispozici. Údaje o spotřebě pro tři široké kategorie (kojence, děti a dospělí) jsou na celostátní úrovni většinou dostupné. Dávky pro šest věkových skupin mohou být však namísto ve studiích zaměřených na rekonstrukci dávky, na nehodové plánování, či na odezvu po nehodě.

PŘÍLOHA B: URČENÍ SHODY PŘI PRAVDĚPODOBNOSTNÍM HODNOCENÍ DÁVKY OBYVATELSTVU

B.1. Úvod

(B1) Když se dávky obyvatelstvu odhadují pravděpodobnostně a bere se ohled na neurčitosti, je výsledkem rozdělení možných dávek. Užívání pravděpodobnostních metod bude v budoucnu asi častější spolu s tím, jak pokrok v technologii zlepší možnost počítat s neurčitostmi, které jsou vlastní každému stanovení dávek. Očekává se také, že se pravděpodobnostní metody více rozšíří, když se s technikami jejich používání více seznámí regulační orgány, provozovatelé a dotčené subjekty. Komise proto potřebuje za účelem stanovení shody sestavit pravidla spíše pro postupy používající rozdělení dávek než pro nějaký deterministický (bodový) odhad. Tato příloha nabízí diskusi o rozděleních dávky, která jsou výsledkem pravděpodobnostních hodnocení.

(B2) Předpísat, jak mají být dávky pravděpodobnostně hodnoceny, přesahuje rámec působnosti této Komise. Existuje mnoho různých metod. U některých rozdělení dávky je možné, že dávky na krajním horním konci rozdělení se dobře vejdu do optimalizačních dávkových mezí stanovených Komisí. V tomto případě lze snadno stanovit, že shoda existuje. Je ovšem také možné, že pravděpodobnostní hodnocení dospěje na horním konci rozdělení k dávkám, které překračují dávkové optimalizační meze ICRP. K vypořádání s těmito situacemi je třeba dalších pravidel, aby se zajistilo, že jednotliví obyvatelé jsou chráněni v souladu s optimalizačními mezemi Komise.

(B3) Při zvažování pravděpodobnostního hodnocení dávky je důležité rozlišovat, zda rozdělení dávky je retrospektivní nebo prospektivní a zda dávky jsou důsledkem plánované nebo existující situace. Prospektivní expozice jedinců se mohou týkat plánované nebo existující expozice. Retrospektivní expozice se obvykle vztahují ke konkrétním jedincům v existujících (nebo dříve existujících) expozičních situacích. Následující oddíl se věnuje těmto situacím.

B.2. Retrospektivní a prospektivní dávky

(B4) Metody k provádění hodnocení rizika způsobeného zdrojem ionizujícího záření a pro interpretaci výsledků se liší podle toho, zda účinky se uskutečnily v minulosti (retrospektivní hodnocení), nebo se posuzují jako budoucí (prospektivní hodnocení). Prospektivní hodnocení se může použít pro nově navržený systém, přístroj, pracoviště nebo pro budoucí provoz existujícího zdroje. V obojím časovém rámci mohou být používány podobné matematické a pravděpodobnostní techniky, ale obvykle se liší otázky, na které analýzy hledají odpověď.

(B5) Retrospektivní hodnocení se může vztahovat k dřívějším akutním expozicím nebo k chronickým expozicím pokrývajícím dlouhé období v minulosti. Může směřovat k získání odhadů dávky a rizika a přispívat tak k epidemiologickým šetřením v exponované populaci. Může také poskytovat informace složkám rozhodujícím o zdravotních opatřeních v kontaminovaných prostorách nebo o odškodnění jedinců požadujících náhradu za škodu na zdraví či majetku. V takových případech k expozici již došlo (a v některých případech může pokračovat). V zásadě lze exponované jedince identifikovat a jejich dávku lze rekonstruovat, i když možná jen ze zlomkových a neurčitých informací. Exponovaní jedinci jsou konkrétní jednotlivci a výsledná hodnocení se mohou předkládat v rámci pravděpodobnostní analýzy neurčitosti. Položky takové analýzy mohou obsahovat neurčitosti týkající se zdrojů, transportu úniků v životním prostředí a časově vázaných koncentrací uvolňovaného radioaktivního materiálu ve složkách životního prostředí, kterým jsou lidé vystaveni. Jiné složky neurčitosti se mohou vztahovat k údajům o individuálních životních návycích, které by mohly odhady

ovlivnit (jsou to např. doby strávené v kontaminovaných lokalitách, množství kontaminované potravy, které mohlo být spotřebováno, a věk jednotlivců v časech konkrétních expozic). Je třeba, aby takové informace byly získány průzkumem naplánovaným a analyzovaným odborníky a aby neurčitosti ve výsledcích průzkumu byly založeny na této jejich analýze. Neurčitosti v dávkách a riziku bývají ovlivňovány oběma těmito složkami (zdroj/prostředí a individuální návyky).

(B6) Zjištěná rozdělení dávky konkrétním jedincům v retrospektivní analýze slouží několika účelům. Předně se používají v epidemiologických studiích nebo k informaci nositelům rozhodnutí, aby posoudili, zda v případě pokračující existence zdroje je další akce ke snížení expozic oprávněná. Protože retrospektivní dávky se už uskutečnily, nevyhovují většinou mantinelům Komise, i když doporučení Komise mohou poskytovat užitečné vodítko pro jejich vyhodnocení.

(B7) Prospektivní hodnocení často pomáhají odpovědět na otázky týkající se umístění a projektu plánovaných zařízení a jejich shody s předpisy. V takových případech může být exponovaná populace neznámá a analýza musí být založena na řadě předpokladů. V této souvislosti může pro účely předprovozního hodnocení, založeného na předběžných předpokladech o projektu, umístění a provozu, poskytnout vodítko koncept reprezentativní osoby. Taková reprezentativní osoba bývá definována nějakým expozičním scénářem založeným na místech pobytu, fyzikálních charakteristikách a životních návycích, které konkrétně mohou být očekávanými možnostmi pro některé jedince v exponované populaci. Přitom místa pobytu, fyzikální charakteristiky a životní návyky reprezentativní osoby by neměly ve svém souhrnu odpovídat extrémním kombinacím, které se téměř s jistotou nebudou v exponované populaci vyskytovat. Je-li analýza použita pro současný nebo budoucí provoz existujícího zařízení, současná exponovaná populace by měla být známa a mělo by být možné prozkoumat přítomnost potenciálně vysokých dávek. V tomto případě může být analýza návyků jedince zpracována také tak, aby umožnila v prvním přiblížení stanovení provozních pravidel, která by mohla být dále modifikována, kdyby se identifikovaly anomálně exponované skupiny nebo kdyby existovaly podmínky potenciálně způsobující dávky vyšší, než jsou dávkové optimalizační meze pro obyvatele stanovené Komisí.

(B8) Analýza neurčitosti prospektivních hodnocení by měla být chápána rozdílně od svého protějšku – retrospektivních hodnocení, jak jsou popsána v odstavcích B5 a B6. Reprezentativní osoba pro prospektivní hodnocení není reálný příslušník exponované populace a ani nemůže připomínat žádného konkrétního jedince, ale je spíše matematickou konstrukcí pro vymezení kritéria usměrňování provozu. Ta je založena na předpokladech, které by vedly k možné dávce značně blízké dávkám odhadovaným pro většinu populace. Je možné, že vypočítaná dávka se v exponované populaci vůbec nevyskytne. Je přitom důležité odlišit neurčitosti spojené se zdrojem a s prostředím od rozpětí hodnot, které analytici přisoudili parametrům definujícím jedince (např. rychlost ventilace, věk, potravinové návyky, doby strávené v konkrétních expozičních situacích).

(B9) Variacní šíře těchto proměnných jedince nevytváří rozdělení neurčitosti; proměnnými jsou parametry, které jsou určovány analytiky. Když rozpětí těchto proměnných je pravděpodobnostně kombinováno s rozložením neurčitosti, která reprezentují úniky radioaktivity, transport a koncentrace uvolněné radioaktivity ve složkách prostředí, pak interpretace složeného rozdělení uměle vytvořených rozpětí a reálných neurčitostí není jednoznačná. Jedinec nemůže být rozumně interpretován jako náhodně vybraný jedinec z dotyčné populace. Je třeba dát přednost specifikaci pevných středních nebo lehce konzervativních hodnot pro parametry, které definují jedince, a nechat, aby konečné rozdělení neurčitosti dávky reflektovalo především skutečné neurčitosti zdroje a prostředí. Je-li nutné studovat citlivost potenciální dávky na jednotlivé parametry, mohou být vytvořena vícečetná rozdělení dávky, kde každé rozdělení odpovídá parametru vztaženému k zájmu

významnému pro jedince. Takové cvičení může ukázat chování nějakého vysokého percentilu (třeba 95.) možné distribuce dávky a poukázat na kombinaci parametrů jedince, pro kterou možná dávka vykazuje nejvyšší citlivost. Přístup tohoto typu pomůže vyhnout se nedorozumění v interpretacích sensitivity vůči parametrům a neurčitostem vázaným na reálné veličiny.

B.3. Rozdělení vztahená k dávce

(B10) Při analýze dávky jedincům a populacím vychází koncept rozdělení dávky především ze dvou souvislostí a vztahuje se k souvislosti třetí.

- Typ 1. Když se při odhadech dávky jedincům, která je odvozena z modelových výpočtů nebo měření kontaminace, bere v úvahu neurčitost, pak váha rozdělení dávek se obvykle interpretuje jako pravděpodobnost, takže lze např. konstatovat „Pravděpodobnost, že roční dávka konkrétnímu jedinci nepřekročí 1 Sv je 0,95 (nebo 95%)“. Takové rozdělení přisuzuje statistickou závažnost intervalům dávky a rozdělení kvantifikuje analytikovo vnímání neurčitosti, kterou je zatížen odhad. Takový typ rozdělení může být užitečný ve vztahu k jedinci, jak je definován v odstavci B7.
- Typ 2. Když se používá pro všechny členy nějaké exponované populace (nebo pro kategorie expozice se známým počtem jedinců v každé kategorii) bodový (deterministický) odhad dávky, váhou každého dávkového intervalu může být zlomek celkové exponované populace, který obdrží dávku v daném intervalu. Takové rozdělení se může použít k odhadu zlomku exponované populace, jehož roční dávka nepřekročí nějakou konkrétní úroveň, jako např. 1 mSv, nebo se může použít ke stanovení roční dávky, která není překročena u 95% populace (tj. 95. percentil rozdělení). Rozdělení dávky tohoto typu může být užitečné pro kvantifikaci zásad limitování dávky, které se mají vztahovat na velkou většinu populace.
- Typ 3. Když se výše uvedené typy 1 a 2 kombinují, nahrazuje se v metodě vážení bodový odhad dávky každému jedinci, jak je uvedeno v bodě 2, marginálním rozdělením pravděpodobnosti, které odráží neurčitost dávky jedinci za podmínek expozice tohoto jedince. Rozdělení reprezentující celkovou populaci by se muselo interpretovat jako pravděpodobnost dávky náhodně vybranému členu exponované populace. Rozdělení neurčitosti přiřazená jedincům by byla marginální v poměru k dosti komplexnímu sdruženému rozdělení expozice a dávky při zohlednění příslušných korelací pro faktory, jako je lokalita a běžný vliv zdrojů uvolňované radioaktivity.

(B11) Rozdělení dávky se odhadují z teorie nebo zjištěných údajů, podle volby založené na zkušenosti nebo vzhledem k obecné použitelnosti (tj. poněkud libovolně, ale v rozumném tvaru). V retrospektivních studiích, kde dávku obdrželi konkrétní lidé a existují určité záznamy pro rekonstrukci, by se očekávalo, že jsou k dispozici nebo že se zpracují informace o populaci a expozičních faktorech podporující rozdělení typu 2. Je určitou obtíž, že informace o exponovaných jedincích mohou být útržkovité nebo neurčité a procesy v životním prostředí, které přispěly k expozicím, se musí rekonstruovat kombinací rozboru historických dat a matematického modelování. Tak nabývají důležitosti prvky typu 3. Tam, kde se užívá modelování zdrojového členu a transportu prostředím, může být zapotřebí zavést neurčitosti do struktury a parametrů modelu se záměrem odhadnout šíření neurčitosti do expozice a dávky. Mechanismus k znázornění neurčitostí ve zdrojovém členu a transportu radionuklidů prostředím má obvykle formu pravděpodobnostního rozdělení, které nahrazuje parametry v modelech.

(B12) Navržená rozdělení mohou být založena na měřeních (užívají se autentická data tam, kde existují taková měření pro příslušné doby, lokality a procesy), ale často se užívají

náhradní údaje založené na měřeních v jiných obdobích nebo lokalitách. V obojím případě je otázkou volby použít buď empirické rozdělení, vycházející přímo z histogramu dat, nebo teoretické rozdělení, které je idealizací histogramu a je reprezentováno spíše plynulou křivkou. Matematický tvar teoretického rozdělení je určitým předpokladem založeným na teorii nebo zkušenosti (a obvykle i výhodnosti), který může být podporován i demonstrací jeho souladu s příslušnými daty. Jsou-li data příliš útržkovitá, než aby naznačovala typ teoretického rozdělení, vychází se z obecných předpokladů; běžné volby pro ta rozdělení, která představují data v životním prostředí, jsou rozdělení normální nebo lognormální, ovšem i jiná rozdělení jsou možná a použitelná. Někdy teorie navrhuje v daném případě standardní typ rozdělení, nebo trend údajů může poukazovat na některý tvar teoretického rozdělení, i když pro to chybí teoretické zdůvodnění, a v takovém případě se volba pokládá za empirickou.

(B13) Při prospektivním hodnocení dávky jednotlivcům z exponované populace je populace obvykle hypotetická, i když může vycházet z reálné populace existující v době studie (a přestože se tato populace může neznámým způsobem měnit během budoucí expozice). Cílem může být posoudit účinek umístění nebo projektu navržené jaderné elektrárny nebo jiného jaderného zařízení nebo studovat účinek budoucího řízení provozu existujícího zdroje (např. kontaminace území). V takové prospektivní studii lze zavést neurčitosti vzhledem k zdrojovému členu a transportu uvolněné radioaktivity životním prostředím (jak je o tom pojednáno výše), zatímco individuální podrobnosti o členech populace nejsou k dispozici (s výjimkou předpokladů nebo extrapolací vycházejících z populace existující v době studie). Cílem je zajistit, aby překročení dávkových optimalizačních mezí bylo nepravděpodobné.

(B14) K tomu je důležité vyhodnotit expoziční scénáře pro jedince, které by vedly z hlediska většiny populace k vysokým dávkám, a těmto scénářům porozumět. Omezení dávky takové reprezentativní osobě zajistí ochranu většiny populace. Pro daný expoziční scénář se může uvažovat typ 1 rozdělení pravděpodobnosti roční dávky jedinci se složkami neurčitosti způsobenými pouze zdrojovým členem a transportem prostředím. Např. se může s odvoláním na distribuci určit, že roční dávka jedinci by při daném expozičním scénáři překročila 0,3 mSv pouze s 2% pravděpodobností. Přijme-li se expoziční scénář jako horní hranice normálních životních návyků a charakteristik, nikoliv však jako extrém, pak by takový závěr znamenal ochranu většiny obyvatel. V takovém výpočtovém cvičení by bylo třeba uvažovat pouze o pevných expozičních scénářích (tj. každému parametru odpovídajícímu návykům jedince, jako je např. ventilační rychlost, by měly být přiřazeny pevné avšak spíše konzervativní hodnoty); pokusy zavést do expozičních scénářů rozdělení pravděpodobnosti a kombinovat je se složkami neurčitosti způsobenými zdrojovým členem a transportem prostředím by mohly vést k výsledkům, které se interpretují obtížněji a které mohou být zavádějící.

(B15) Pro hypotetickou populaci v prospektivní studii může být odvozeno rozdělení dávky typu 2 (vážené populací), ale informace v tomto rozdělení jsou omezené v důsledku podrobností definujících populaci a metod stanovení dávky různými kategoriím jedinců (tj. daných expozičními scénáři). Např. když se uvažuje pouze radioaktivita ve vzduchu z bodového zdroje a plošné rozdělení populace je vyčísleno v jednokilometrových mezikružích větrné růžice s 16 výsečemi s uvedením počtu obyvatel v mezikružích 1 km širokých a vymezených úhlem 22,5 stupňů ve vzdálenosti 1–15 km od zdroje, potom při znalosti zdrojového členu (nebo modelového úniku) a modelu atmosférického transportu je možné stanovit přízemní koncentraci uvolněného radionuklidu ve vzduchu v každém segmentu (pro jednoduchost za předpokladu, že se ve výpusti vyskytuje jenom jeden radionuklid). V nejjednodušších expozičních scénářích se předpokládá, že průměrná ventilační rychlost je jednotná, že nedochází k žádnému pohybu populace mezi segmenty a že případný rozdíl mezi koncentracemi v budovách a venkovním ovzduší může být zanedbán.

Bodové odhady pro segmenty (nahlížené jako místní průměry) jsou součinem ročního úniku (Bq), difusního faktoru pro střed segmentu (nazývaného někdy χ/Q neboli „chí lomeno Q “), ventilační rychlosti (m^3/s) a dávkového koeficientu pro vdechování (Sv/Bq). Je potom možné konstruovat rozdělení vážená velikostí populací tabelováním odhadnutých segmentových průměrů dávky od nejmenších k největším spolu s počty obyvatel v jednotlivých segmentech. Z mnoha důvodů je užitečné normalizovat rozdělení dělením tabelovaných počtů obyvatel pro každý segment celkovým počtem obyvatel v exponované populaci.

(B16) Když se zvažují neurčitosti zdrojového členu a χ/Q , vede podobné cvičení jako v odstavci B15 k rozdělení typu 3. Interpretace takového rozdělení typu 3 by směřovala k výrokům jako „Osoba náhodně vybraná z populace má pravděpodobnost menší než 2%, že obdrží roční dávku překračující 0,3 mSv“.

B.4. Specifické formy rozdělení dávky

(B17) Vhodný předpoklad o matematickém tvaru rozdělení, které se nalezne jako výsledek oceňování dávky v životním prostředí, záleží na úloze, jakou má rozdělení v analýze hrát. Je třeba zdůraznit, že téměř vždy volbu ovlivňuje určitý moment zkušenosti a úsudku analytika; úspěch konání závisí zde skutečně na možnosti získat k provedení kvantitativní analýzy zkušené a obratné odborníky. Tato odbornost je zakotvena v desítkách statistických a výpočtových teorií a praktik, o jejichž přehled se zde nelze pokoušet.

(B18) K nejvyšší specializované úrovni patří rozdělení, která reprezentují parametry v modelech zdrojového členu a transportu uvolněných radionuklidů prostředím. Složitost modelů si obvykle pro simulaci šíření neurčitostí do odhadů koncentrací ve složkách prostředí (tj. ve vzduchu, půdě, potravinách, vodě) vynucuje použití metod Monte Carlo. Takových parametrů mohou být tucty, ne-li stovky; některé z nich závisí na primárních nebo zástupných údajích o procesech souvisejících se zdrojovým členem, na odhadech nejistoty v prognózách modelů difuze popisujících koncentrace ve vzduchu z uvolněných materiálů nebo na vzorcích z průzkumných vrtů, které monitorují spodní vodu. Pro některé parametry poskytuje vodítko literatura; u jiných si musí analytik poradit v rámci studie sám.

(B19) Transportní modely jsou často empiricky vyladěny s ohledem na měření v prostředí. V takových případech nemusí parametry doslovně odpovídat přímo zjišťovaným veličinám. Namísto toho parametry rozdělení mohou být odvozovány regresními metodami ze zbytků, které jsou vypočítávány jako rozdíl prognóz z modelů a odpovídajících měření modelovaných veličin (tj. koncentrací radionuklidů ve vzduchu a půdě). V takovém uspořádání se zachází se zbytky (nebo s nějakou jejich transformovanou verzí) často (ale nikoli vždycky) jako se vzorkem z nějakého normálního rozdělení s průměrem rovným nule a variancí vyplývající z regrese; taková volba je často navozena teoretickým pozadím regresních metod. Tento proces je poněkud spletitý, ale výsledky mohou být vcelku statisticky silné a přesvědčivé. Modely jsou často ve studovaných parametrech nelineární a toto téma se objevuje v literatuře pod názvem „nelineární parametrické hodnocení“.

(B20) V diskuzi o nějakém existujícím zařízení se často prezentuje soubor údajů o životním prostředí. Je obvyklé shrnovat takový soubor dat s odkazem na určité jejich rozdělení, z něhož jsou data interpretována jako náhodný vzorek, i když skutečný proces jeho vytvoření nemusí být v souladu s touto charakterizací. Snad nejběžnějším předpokladem pro data, k nimž se takto odkazuje, je normální rozdělení a tento předpoklad se může použít k uvedení intervalu spolehlivosti pro průměr (který v případě použití tradičních učebnicových metod bude obsahovat také „Studentovo“ t -rozdělení). Normální rozdělení nutně přiřazuje symetricky pravděpodobnost negativním a pozitivním intervalům jednostranně nekonečným a tato vlastnost může představovat nepříjemné problémy pro fyzikální interpretaci tam, kde se jedná o fyzikálně pozitivní veličiny. Často se vykytuje případ, že histogramům primárních dat chybí

symetrie, která je charakteristická pro normální rozdělení. Jeden z přístupů se pokouší obejít problémy použitím odříznutých (truncated) tvarů normálního rozdělení (tj. jeden nebo oba ohony rozdělení se oddělují v určeném bodě). Odříznuté rozdělení může vést k lepší přiléhavosti dat, ale bohužel ztrácí hodně z možností matematických operací s neodřezaným rozdělením.

(B21) Obecný teoretický vzorec pro nesouměrná rozdělení je lognormální rozdělení. Nezávisle proměnná y se pokládá za lognormálně rozdělenou, když její přirozený logaritmus $\ln y$ je rozdělen normálně, a takové rozdělení se může chápat jako vyplývající z transformace primárních dat (která všechna musí mít pozitivní hodnotu), z nichž se vezme přirozený logaritmus a použije se jeho normální rozdělení. Řada nepravidelných rozdělení nevykazuje však dobrou přiléhavost k lognormálnímu rozdělení a když je vzorek dostatečně veliký, uvádí se často, že empirické rozdělení vycházející přímo z primárních dat je nepřijatelnějším zobrazením. Když se pro matematickou nebo jinou jednoduchost vyžaduje rozdělení vyjádřené hladkou křivkou četnosti a přímé použití standardních rozdělení je vyloučeno, bývá pro zkušeného praktika obvykle možné přiřadit histogramu četnosti empirickou křivku požadované hladkosti. Pro posouzení přiléhavosti dat je také možno užít kumulativní četnost.

B.5. Normální rozdělení a centrální limitní věta.

(B22) Centrální limitní věta je obvykle citována jako zásadní zdůvodnění pro všudypřítomnost normálního rozdělení ve vědách závislých na pozorování. Ve velmi hrubém přiblížení centrální limitní věta říká, že při přijetí příslušných hypotéz směřuje sekvence rozdělení pravděpodobnosti standardizovaných součtů nekonečného sledu nezávislých náhodných proměnných $\{x_i\}_{i=1}^{\infty}$ ke standardnímu normálnímu rozdělení:

$$P\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}} < y\right] \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-t^2/2} dt \quad \text{když } n \rightarrow \infty$$

kde x_i má průměr μ_i a standardní odchylku σ_i . Integrovaný výraz za šipkou představuje rozdělení kumulativní pravděpodobnostní funkce normální distribuce hodnocené vzhledem k y . Existuje řada odkazů k pojednáním o hypotézách, které ukazují platnost této konvergence. Nezávisle od těchto omezení se pro náhodné proměnné $\{x_i\}_{i=1}^{\infty}$, nevyžaduje, aby měly nějaký specifický tvar rozdělení, ani nemusí mít všechny stejný tvar (Wilks, 1962).

(B23) Centrální limitní věta bývá obvykle uváděna k podpoře tvrzení, že součty náhodných proměnných veličin prostředí, i pro relativně malé n , mají přibližně normální rozdělení. Tato aproximace je však za určitých okolností chabá, dokonce i pro poměrně velké n . Aplikace centrální limitní věty na lognormální rozdělení používá sekvence logaritmičticky transformovaných náhodných veličin $\{\ln x_i\}_{i=1}^{\infty}$. Protože lognormální rozdělení se stalo ve studiích o dávkách v prostředí běžným, další oddíly zkoumají určitou teoretickou podporu pro procesy, které mohou k němu v tomto a příbuzných oborech vést.

B.6. Výskyt lognormálního rozdělení

(B24) V odborné literatuře existuje rozsáhlá diskuse o původu a aplikacích lognormálního rozdělení. Aitchison a Brown (1969, kap. 3) uvádějí příklady a další odkazy. Rovnice (1) – (4) uvedené v dalším jsou podobné jejich výkladu.

(B25) Základní matematický model, který vede k lognormálnímu rozdělení je stochastický proces, který vyhovuje rovnici:

$$X_k - X_{k-1} = \varepsilon_k X_{k-1}, \quad k=1,2,\dots \quad (1)$$

kde ε_k jsou vzájemně nezávislá a také nezávislá na X_k , která je v posloupnosti předcházející. Když proces pokračuje pro n kroků, může být rekurse v rovnici (1) řešena tak, že vychází:

$$\begin{aligned} X_n &= (1 + \varepsilon_n)X_{n-1} = (1 + \varepsilon_n)(1 + \varepsilon_{n-1})X_{n-2} = \dots \\ &= (1 + \varepsilon_n)(1 + \varepsilon_{n-1}) \dots (1 + \varepsilon_1)X_0 \end{aligned} \quad (2)$$

(B26) Když ε_k je dostatečně malé, aproximace $1 + \varepsilon_k \approx e^{\varepsilon_k}$ v rovnici (2) může být použita ve tvaru:

$$X_n = X_0 e^{\varepsilon_1} e^{\varepsilon_2} \dots e^{\varepsilon_n} = X_0 \exp\left(\sum_{k=1}^n \varepsilon_k\right) \quad (3)$$

(B27) Převedení na logaritmy v rovnici (3) dává

$$\ln X_n = \ln X_0 + \sum_{k=1}^n \varepsilon_k \quad (4)$$

součet nezávisle rozdělených náhodných veličin, které podle centrální limitní věty jsou asymptoticky normálně rozděleny (tj. směřují k normálnímu rozdělení, jak se n blíží nekonečnu, jak je patrné z předchozího oddílu), takže rozdělení X_k se blíží lognormalitě. Znamená-li index k sled časových kroků, může model rovnice (1) představovat proces růstu nějakého organismu, vyplývající z mnohotvárnosti multiplikativních účinků reprezentovaných ε_k . V takových interpretacích může X_n představovat např. hmotnost, výšku nebo některé jiné fyzikální vlastnosti organismu po n krocích v jeho růstu. Teoreticky je časový krok libovolný; může představovat podle souvislosti sekundy nebo roky. Model rovnice (1) by mohl také představovat sumu peněz investovaných na sdružený úrok při určité procentní sazbě za jednotku času, která kolísá s náhodnými změnami v ekonomice (např. když index k znamená roky, reprezentovalo by ε_k náhodně kolísající roční úroky). Předpověď pro hodnotu investice po např. $n = 30$ letech by byla rozumně modelována jako odpovídající lognormálním rozdělení. V jiných aplikacích může k popisovat účinky nezávislé na čase.

(B28) Byla zjištěna užitečnost lognormálního rozdělení v oblasti aerosolové fyziky při aplikaci na velikost částic. Skutečně se zdá, že v diskusích o vlastnostech aerosolu ve vztahu k velikosti částic se lognormální rozdělení pokládá za obecně použitelný předpoklad. Aitchison a Brown (1969) publikovali model rozrušování materiálu, který se zdá vhodný pro určité populace částic. Uvažovali abstraktní elementy (tj. částice), z nichž každá má kladné rozměry (např. hmotnost a účinný průměr). Tato populace podléhá řadě nezávislých procesů, které mají za důsledek rozrušování elementů.

(B29) O určitém konkrétnějším modelu se pojednává v dalším výkladu; uvažuje se o binárním procesu, ve kterém se na každém stupni rozrušení rozbije každá částice přesně jenom na dva nestejně veliké kusy, z nichž jeden je „malou“ částí originálu. Vychází se z předpokladu, že původní populace částic má homogenní hustotu a že veličinou zájmu je hmotnost částice. „Malá“ frakce je omezena podmínkou nepřekročení pevně stanovené frakce φ , která je menší než 0,5. (v této ilustraci je φ rovné 0,125). Náhodná hodnota malé frakce je vybrána z rovnoměrného rozdělení čísel mezi 0 a φ (mimo 0). Komplementární frakce odpovídá větší části rodičovské částice.

(B30) Je-li částice zvolena náhodně ze stupně rozrušení n , přísluší jí jedinečný rodokmen jejich mateřských částic vedoucí zpět k nějaké částici P_0 v původní populaci. Tak její hmotnost může být odvozena od částice P_0 jako sekvence násobení nezávislými náhodnými faktory:

$$\text{mass}(P_n) = \text{mass}(P_0) \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_n \quad (5)$$

kde η_k jsou identické a nezávisle rozdělené,

$$\eta_k = \begin{cases} \zeta & \text{s pravděpodobností } 0,5 \\ 1 - \zeta & \text{s pravděpodobností } 0,5 \end{cases}$$

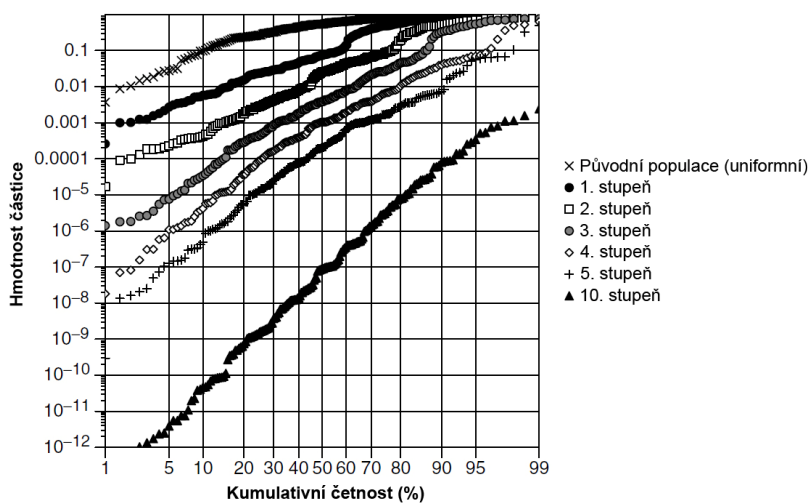
a náhodně proměnná ζ je rovnoměrně rozložená v intervalu $[0; 0,125]$ (0 je vynechána, 0,125 nikoliv). Pravděpodobnosti 0,5 vyjadřují skutečnost, že částice ve stavu k může být se stejnou pravděpodobností menší nebo větší částí vznikající rozrušením rodičovské částice (stavu $k-1$). Takže z rovnice (5) vyplývá:

$$\ln(\text{mass}(P_n)) = \ln(\text{mass}(P_0)) + \ln \eta_0 + \ln \eta_1 + \cdots + \ln \eta_n \quad (6)$$

(B31) S použitím centrální limitní věty lze učinit závěr, že logaritmus hmotnosti P_n je rozdělen asymptoticky normálně, takže hmotnost P_n je rozdělena asymptoticky lognormálně. Obr. B1 představuje logaritmicko-pravděpodobnostní rozdělení pro prvních pět stupňů a pro desátý stupeň rozrušování počínaje výchozí populací částic o hmotnostech vybraných náhodně z rovnoměrného rozdělení v intervalu $(0,1)$. Téměř lineární zobrazení průběhu pro desátý stupeň naznačuje, že se stavy postupného rozrušování blíží lognormalitě. Tato rozdělení byla získána simulací právě popsaného modelu metodou Monte Carlo s použitím 200 pokusů pro každý stupeň.

(B32) Model ilustrovaný na obr. B1 může být použitelný pro zvětvování některých typů půdy.

(B33) Jiný typ částicového modelu spočívá v populaci částic, které vznikají aglomerací malých částic na větší kondenzační jádra. Takový model může být interpretován ve světle modelu rovnice (1) za předpokladu, že příkládající se částice jsou dostatečně malé vůči částicím kondenzačních jader. V takových případech by model po dostatečném množství přírůstků vedl k závěru o asymptotické lognormalitě populace.



Obr. B1. Sekvence asymetrických binárních rozrušování částic počínaje rovnoměrně rozdělenou populací s hmotnostním rozdělením mezi 0 a 1. Rozdělení se týkají hmotností částic. Hmotnost menší části páru způsobeného rozbitím má rovnoměrné rozdělení $(0; 0,125)$. Sklon k linearitě na desátém stupni budí dojem působení centrální limitní věty.

(B34) Ve skutečnosti působí mnoho účinků, které způsobují vybočení od jednoduchého zde navrženého modelu a které narušují konvergenci k lognormalitě. Často se zjistí, že na populaci zkoumaných částic je mnohem přiměřenější nahlížet jako na směs dvou nebo více jasně odlišených populací, které samy jsou přibližně lognormálně rozděleny, avšak takovým způsobem, že vytvářejí superpopulaci, která lognormální není. Například částice zanášené větrem mohou někdy sestávat z písku (o průměru 10 až několik set mikrometrů), jílu, naplavenin či jemných částic jako jsou produkty spalování (o průměru několika setin až několika desetin mikrometrů). Tyto jasně odlišené subpopulace (které jednotlivě jsou někdy rozumně aproximovány jako rozdělení lognormální) se nemusí kombinovat do výsledného souboru, který by připomínal rozdělení lognormální. Aerosoloví odborníci často analyzují rozdělení velikosti částic podle lognormálního rozdělení, ale existují speciální případy, které nejsou dobře vystiženy rozdělením lognormálním a které vědci popisují speciálními typy rozdělení. Mezi příklady lze uvést určité hrubé prachy (např. z drcení uhlí), spreje s velkým rozpětím průměrů a některé práškovité materiály (Hinds, 1982, příloha ke kap. 4).

(B35) Jiné zkoumané veličiny jsou často spíše součty náhodných proměnných, které samy o sobě mohou nebo nemusí být lognormálně rozděleny. Někdy jde o případ, že součet lognormálně rozdělených náhodných veličin má rozdělení, které může být rozumně aproximováno lognormálním rozdělením, i když je známo, že součty lognormálně rozdělených náhodných veličin obvykle lognormální rozdělení nemají. To je zvláštní případ obecnějšího jevu, kde vynesení množiny zkoumaných dat napovídá, jako by data vznikla pořízením vzorku z lognormálního rozdělení, i když žádná známá teorie nepoukazuje na takový závěr. Přesto je obvyklou praxí modelovat nepravidelná empirická rozdělení obecným lognormálním rozdělením, i když nic mimo zkušenost nesvědčí pro takovou volbu. Měření radioaktivity ve složkách prostředí jsou často chápána jako lognormální vzorky, i když teoretická podpora takového předpokladu je malá, pokud vůbec nějaká.

(B36) Dávka záření nebo riziko pro konkrétní lidskou populaci může být někdy v souladu s empirickým lognormálním vzorcem, jak byl právě popsán (např. rozdělení typu 1,2,3, o nichž bylo pojednáno výše). Existuje mnoho cest, jak lze k takovému rozdělení dávky či rizika dospět, ale málo z nich skutečně znamená lognormální zákonitost, přesto že logaritmicke-pravděpodobnostní grafické znázornění naznačuje lineární trend. Je celkem snadné sestavit jednoduché příklady rozdělení dávky v populaci ve směru převládajícího větru od místa uvolňování radioaktivity do ovzduší, které není lognormálně rozděleno vzhledem k velikosti populace (viz příklad 2 v následujícím oddíle).

B.7. Příklady

(B37) V tomto oddíle jsou zpracovány dva relativně jednoduché příklady na typy rozdělení, o nichž se diskutuje v příloze. Realistické příklady by mohly být mnohem komplikovanější než to, co je uvedeno zde, ale přidané podrobnosti by mohly překrýt hlavní pointu.

B.7.1. Příklad 1. Rozdělení typu 1

(B38) Smyšlené existující jaderné zařízení uvolňuje radionuklidy do atmosféry. Studie dat měřených na stanicích monitorování ovzduší a jejich srovnávání s odhady úniků ukazují rozdělení hodnot na rozmezí, kde průměrné roční koncentrace ve vzduchu by byly kvazimaximální. Z teorie i bezprostřední představy je zřejmé, že s rostoucí vzdáleností od zařízení by měly mít koncentrace tendenci k poklesu. Může být logické umístit jedince na rozmezí maximálních koncentrací s předpokladem, že bydlí blízko této hranice, tráví většinu dní na volném prostranství a zůstává převážně blízko svého domova. Pro jednoduchost je

zvolen předpoklad jednorázového úniku. K odhadu dávky ze vdechování je třeba zjistit parametry rovnice podobné této:

$$H_{inhal} = [\chi/Q]_{annual} Q_{annual} (B_{out} U_{out} + B_{in} U_{in} R) D_{inhal},$$

kde H je roční dávka ze vdechování (mSv), $[\chi/Q]$ je přízemní koncentrace na jednotku úniku (s/m^3), D je dávkový koeficient pro efektivní dávku ze vdechování (mSv/Bq), B je rychlost ventilace typická pro pobyt v budovách a na volném prostranství, jak za pohybu, tak i klidu, U jsou poměrné doby strávené v budovách a na volném prostranství, R je poměrný faktor pro stanovení snížené koncentrace radionuklidu ve vzduchu budov.

(B39) Podobná rovnice by představovala zevní fotonovou dávku způsobovanou radionuklidem v ovzduší:

$$H_{extern} = [\chi/Q]_{annual} Q_{annual} (U_{out} + U_{in} S) D_{extern} \times 3,156 \times 10^7,$$

kde H je roční zevní dávka z radionuklidu v ovzduší (mSv), $[\chi/Q]$ je přízemní koncentrace na jednotku úniku (s/m^3), D je dávkový koeficient pro efektivní zevní dávku z radionuklidu v ovzduší (mSv/s/Bq/m³), S je poměrný faktor pro nižší expoziční příkon v budovách v důsledku snížené koncentrace uvnitř a stínění od koncentrace venku a $3,156 \times 10^7$ je počet sekund v jednom roce.

(B40) Předpokládá se, že všechna potrava pochází z nekontaminovaných zdrojů, neboť v blízkosti zařízení neexistují žádné známé zahrady ani zemědělská výroba.

(B41) Když se sečtou a uspořádají předchozí rovnice, vyjde vztah:

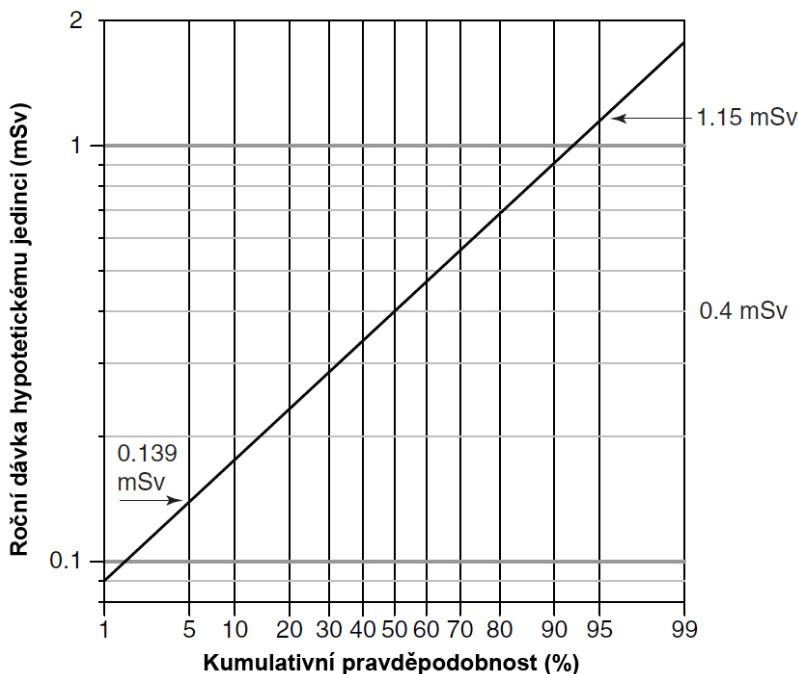
$$H_{total} = H_{inhal} + H_{extern} = [\chi/Q]_{annual} Q_{annual} K,$$

kde K je konstanta, která závisí na parametrech expozičního scénáře. Faktory pro únik Q a atmosférickou difuzi $[\chi/Q]$ podléhají neurčitosti. Předpokládá se, že atmosférická data svědčí pro lognormální rozdělení a poskytují odhad geometrické standardní odchylky (GSD) 1,8 pro $[\chi/Q]$ a že analýzy operátora svědčí o variabilitě dat týkajících se dřívějších úniků, která umožňují závěr, že Q je lognormálně rozděleno s GSD = 1,3. Součin těchto nezávisle rozdělených náhodných proměnných je lognormálně rozdělen s:

$$GSD = \exp \sqrt{\ln^2 1,8 + \ln^2 1,3} = 1,9$$

(B42) Lognormalita znamená, že geometrický průměr (GM) H_{total} je součinem geometrického průměru pro $[\chi/Q]$, Q , a konstanty K . Předpokládá se, že data a parametry jsou takové, že tento součin se rovná GM = 0,4 mSv. Obr. B2 je kumulativní logaritmicko-pravděpodobnostní grafické znázornění tohoto ročního rozdělení dávky. Ukazuje, že 95. percentil roční dávky činí 1,15 mSv; pro tento expoziční scénář tedy platí, že roční dávka by mohla překročit 1,15 mSv s pravděpodobností 5%. Ukáže-li šetření, že jen málo členů exponované populace, pokud vůbec nějaký, se pravděpodobně setká s takovou úrovní expozice (předpoklad, kterým se definuje jedinec), je nepravděpodobné, že členové této populace obdrží v důsledku budoucích úniků ze zařízení roční dávku okolo 1 mSv nebo ji překročí.

(B43) Vzhledem k dočasné povaze údajů o zdrojovém členu a o koncentracích ve vzduchu na úrovni plotu zařízení je třeba upozornit na důsledky toho, že by někdo rozšířil interpretaci 5% pravděpodobnosti překročení roční dávky 1,15 mSv na pravděpodobnost jejího překročení v 1 roce v průběhu 20 let. Je třeba být opatrný při takových interpretacích dat omezených na příliš malý počet let.



Obr. B2. Lognormální rozdělení pravděpodobnosti typu 1 pro jedince v příkladu 1. Existují-li pevné parametry, které definují jedince, pak toto rozdělení přiřazuje pravděpodobnosti intervalům dávek, založeným na kvantifikovaných neurčitostech v únicích radionuklidů do ovzduší a na variabilitě zjišťovaných koncentrací na úrovni plotu zařízení v blízkosti pobytu jedince. O koncentracích ve vzduchu na úrovni plotu se předpokládá, že překračují ty koncentrace, se kterými by se drtivá většina exponované populace mohla setkat. 95. percentil (1,15 mSv) znamená pravděpodobnost 5%, že jedinec překročí tuto roční dávku.

B.7.2. Příklad 2. Rozdělení typu 2 a typu 3

(B44) Druhé smyšlené jaderné zařízení vypouští radionuklidy do ovzduší (opět se pro jednoduchost předpokládá jeden radionuklid). Exponovaná populace zaujímá jednu výšeč větrné růžice o úhlu 22,5 stupně se středem v místě výpusť komínem, a to v radiální vzdálenosti 1 km až 15 km od komína. V území je prostorové rozdělení populace rovnoměrné. Pro normalizovaná zde získaná rozdělení není nutné znát celkový počet členů populace. Tato výšeč je rozdělena na 15 sektorů v odstupech po 1 km, takže zkoumaná populace je rozdělena do 14 sektorů začínajících 1 km od zdroje. Koncentrace uvolněného radionuklidů v ovzduší se stanoví pomocí Gaussova modelu kouřové vlečky zprůměrovaného vzhledem ke každému sektoru:

$$\chi/Q = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{fn}{2\pi\sigma_z ur} \exp\left(-h^2/(2\sigma_z^2)\right),$$

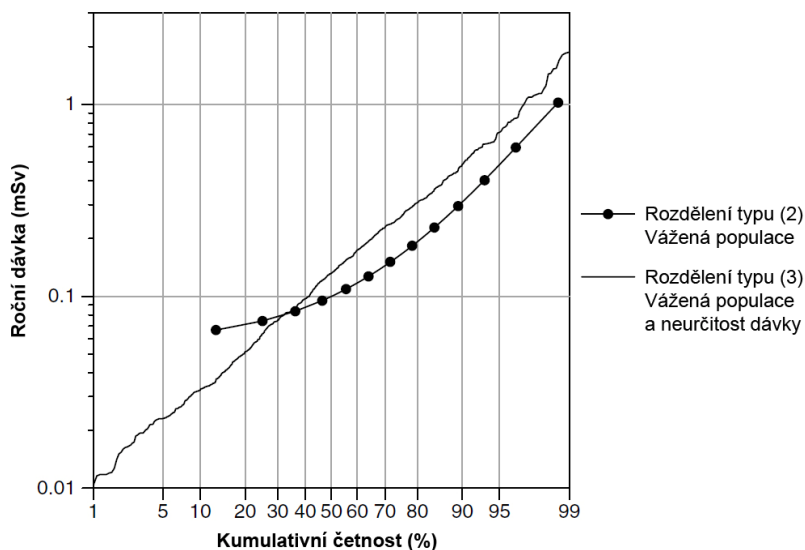
kde f je zlomek doby, po kterou se populace nachází ve směru větru od zdroje, $n=16$ je celkový počet výšečí větrné růžice (z nichž pouze jeden je užit pro příklad), u je průměrná rychlost větru a r je radiální vzdálenost od zdroje k bodu, kde je vyhodnocováno $[\chi/Q]$. Symbol σ_z (m) vyznačuje koeficient vertikální disperse pro venkovské podmínky třídy D (vzaté jako průměr) a je dán vztahem:

$$\sigma_z = \frac{0,06r}{\sqrt{1+0,0015r}}$$

(Hanna et al., 1982). Neurčitosti v prognózách ročních průměrných koncentrací stanovených tímto modelem pro obvyklé územní a meteorologické podmínky byly vyhodnoceny Millerem a Hivelym (1987) a jsou docela slušně interpretovány jako lognormálně rozdělené s GSD = 1,53 pro vzdálenosti do 10 km a GSD = 2,32 pro vzdálenosti od 10 do 150 km. Killough a Schmidt (2000) navrhli lognormální rozdělení s GSD = 1,53 pro neurčitost vnesenou použitím kombinovaných meteorologických dat za několik posledních let. Tato dvě rozdělení neurčitosti se používají k výpočtu distribuce typu 3, ale neovlivňují rozdělení typu 2.

(B45) Pro rozdělení typu 2 se roční dávka počítá deterministicky jako průměr pro každý jednokilometrový sektor. Rozdělení je graficky znázorněno na obr. B3 plnými terčíky propojenými křivkou. Tento typ rozdělení přiřazuje každému intervalu roční dávky zlomek populace, který obdrží tuto roční dávku. 50. percentil činí 0,1 mSv, 95. percentil okolo 0,5 mSv. V této populaci by 5% obyvatel překročilo roční dávku 0,5 mSv. Není zde možné kvantifikovaným způsobem vyvodit neurčitost a interpretace není pravděpodobnostní.

(B46) Výpočet rozdělení typu 3 vyžaduje rozdělení neurčitosti pro model kouřové vlečky a meteorologické údaje zmíněné výše (žádoucí by bylo také rozdělení neurčitosti ročního úniku, ale to bylo v příkladu zanedbáno). Rozdělení typu 3 stanovuje intervaly pravděpodobnosti roční dávky založené na neurčitosti stanovení dávky. Když je populace hypotetická, může neurčitost souviset pouze se zdrojovým členem a atmosférickým transportem. V retrospektivních případech se mohou posuzovat také neurčitosti spojené s populací. Obr. B3 ukazuje příklad rozdělení typu 3 jako přibližnou přímkou (založenou na 1000 opakováních); přibližná linearita má původ v lognormální distribuci aplikované na neurčitost dávky každého jedince.



Obr. B3. Rozdělení typu 2 a typu 3 v příkladu 2. V rozdělení typu 2 se intervaly deterministicky určené roční dávky váží velikostí populace (vyjádřené zlomkem), která obdrží tyto dávky (jak je patrné tomuto rozdělení chybí lineární trend lognormality). Rozdělení typu 3 v sobě obsahuje navíc k velikosti populací i neurčitost stanovení dávky, takže interpretací pro příslušný dávkový interval je pravděpodobnost, že jedinec vybraný náhodně z exponované populace obdrží roční dávku v tomto intervalu.

(B47) 95. percentil rozdělení typu 3 činí 0,72 mSv a vede k interpretaci, že náhodně vybraný jedinec z exponované populace by měl 5% pravděpodobnost, že překročí tuto hodnotu roční dávky. Přitom z grafu by se mohla odhadnout 3% pravděpodobnost, že náhodně vybraný jedinec překročí roční dávku 1 mSv. Roční dávka překračující 10×1 mSv (tj. 10 mSv) je mimo graf (zřetelně za 99. percentilem) a zdá se, že vyhovuje rozumné definici „krajně nepravděpodobného“. Je si třeba také pamatovat, že 3% pravděpodobnost překročení 1 mSv v rozdělení typu 3 není rovnocenná tvrzení, že pouze 3% populace by překročila tuto roční dávku. Z náhledu křivky typu 2 (a z výstupního souboru výpočtu) lze odhadnout, že méně než 2% populace by překročila tuto dávku, když je použit deterministický odhad. V oblasti nižších dávek je rozdíl mezi těmito rozděleními větší. Např. 90. percentil křivky typu 3 (0,5 mSv) je přibližně týž jako (interpolovaný) 95. percentil křivky typu 2.

B.8. Závěry

(B48) Komise nepředepisuje žádnou konkrétní metodu, která se má používat pro pravděpodobnostní hodnocení. Je to z toho důvodu, že žádný jedinečný matematický přístup nebo procentní kritérium nelze aplikovat na rozmanitost rozdělení, se kterými se lze setkat při pravděpodobnostním rozdělení dávky. Přitom určitá vodítka jsou nutná, aby pomohla provozovatelům a regulačním orgánům v určení shody při používání pravděpodobnostního hodnocení.

(B49) Pro některá prospektivní pravděpodobnostní hodnocení dávky je možné, že v zásadě všechny dávky předpovězené v rozdělení budou nižší, než dávková optimalizační mez stanovená ICRP (např. příklad 11). V takovém případě je snadné shodu doložit.

(B50) V prospektivním pravděpodobnostním hodnocení dávky jedincům, ať už z plánovaného provozu, nebo existující situace, Komise doporučuje definovat reprezentativní osobu tak, aby pravděpodobnost byla menší než asi 5%, že osoba vybraná náhodně z populace by obdržela dávku vyšší. Ve velkých populacích bude mít mnoho jedinců dávky vyšší než reprezentativní osoba, a to pro povahu rozdělení v pravděpodobnostním hodnocení. To nemusí být problémem, když tyto dávky jsou nižší než odpovídající dávková optimalizační mez. Když však takové hodnocení ukáže, že několik desítek nebo více lidí by mohlo obdržet dávky nad příslušnou optimalizační mez, je třeba charakteristiky těchto lidí prozkoumat. Když se na základě další analýzy ukáže, že dávky u několika desítek lidí skutečně mohou překročit příslušnou optimalizační mez, měly by se uvážit opatření k usměrnění expozice.

(B51) Zvláštní pozornost by měla být věnována územím a s nimi spojeným populacím, kde je prováděno hodnocení s cílem definovat reprezentativní osobu. Měla by se věnovat péče tomu, aby byli zahrnuti všichni jedinci, jejichž dávky by mohly reprezentovat lidi ozářené vyššími dávkami včetně extrémů. Je ovšem zřejmé, že začlenění příliš rozsáhlých území (a populací) může zředit vliv malého počtu vyšších dávek, a tak deformovat distribuci. Je tedy většinou nutný iterativní přístup používající postupně menší území a menší populace.

ODKAZY

- Aitchison, J., Brown, J.A.C., 1969. The Lognormal Distribution with Special Reference to its Uses in Economics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Byrom, J., Robinson, C., Simmonds, J.R., Walters, B., Taylor, R.R., 1995. Food consumption rates for use in generalised radiological dose assessments. *J. Radiol. Prot.* 15, 335–341.
- EU, 1996. Council Directive (96/24/EURATOM) of 13 May 1996 Laying Down the Basic Safety Standards for the Protection of the Health of Workers and the General Public Against the Dangers Arising from Ionising Radiation. *Off. J. Eur. Commun.* L159, 1–29.
- Golikov, V., Balonov, M., Erkin, V., Jacob, P., 1999. Model validation for external doses due to environmental contaminations by the Chernobyl accident. *Health Phys.* 77, 654–661.
- Golikov, V., Balonov, M., Jacob, P., 2000. Model of external exposure of population living in the areas contaminated after the Chernobyl accident and its validation. In: *Harmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem, Proc. of 10th International Congress of the IRPA, International Conference Centre, Hiroshima, Japan, 746-T-19(1)-2.*
- Hanna, S.R., Briggs, G.A., Hosker Jr., R.P., 1982. *Atmospheric Diffusion Handbook.* Report DOE/TIC-11223. US Department of Energy, Washington, DC, USA.
- Hinds, W.C., 1982. *Aerosol Technology.* John Wiley and Sons, New York.
- Hunt, G.J., 2004. On homogeneity within the critical group. *J. Radiol. Prot.* 24, 265–272.
- Hunt, G.J., Hewett, C.J., Shepard, J.G., 1982. The identification of critical groups and its application to fish and shellfish consumers in the coastal area of the Northeast Irish Sea. *Health Phys.* 43, 875–889.
- IAEA, 1991. *The International Chernobyl Project: Technical Report. Part E, Annex 3: 239.* International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1996. *International Basic Safety Standards for Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Radioactive Sources.* Jointly sponsored by FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO.
- IAEA Safety Series No. 115. *International Atomic Energy Agency, Vienna.*
- IAEA, 1998. To be provided.
- IAEA, 2001. *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment.* IAEA Safety Report Series No. 19. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 1965. *Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials.* ICRP Publication 7, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1966. *Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials.* ICRP Publication 7. Pergamon Press, London, UK.
- ICRP, 1985. *Principles of monitoring for the radiation protection of the population.* ICRP Publication 43, *Ann. ICRP* 15 (1).
- ICRP, 1989. *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides Part 1.* ICRP Publication 56, *Ann. ICRP* 20 (2).
- ICRP, 1991. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 60, *Ann. ICRP* 21 (1–3).
- ICRP, 1993. *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 2. Ingestion dose coefficients.* ICRP Publication 67, *Ann. ICRP* 23 (3/4).
- ICRP, 1995. *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 3. Ingestion dose coefficients.* ICRP Publication 69, *Ann. ICRP* 25 (1).
- ICRP, 1996a. *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 4. Inhalation dose coefficients.* ICRP Publication 71, *Ann. ICRP* 25 (3).
- ICRP, 1996b. *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients.* ICRP Publication 72, *Ann. ICRP* 26 (1).
- ICRP, 2000a. *Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste.* ICRP Publication 81, *Ann. ICRP* 28 (4).
- ICRP, 2000b. *Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure.* ICRP Publication 82, *Ann. ICRP* 29 (1/2).

- ICRP, 2001a. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88, Ann. ICRP 31 (1–3).
- ICRP, 2001b. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. Also includes: Diagnostic Reference Levels in medical imaging – review and additional advice. ICRP Supporting Guidance 2, Ann. ICRP 31 (4).
- ICRP, 2005. Doses to infants from ingestion of radionuclides in mothers' milk. ICRP Publication 95, Ann. ICRP 34 (3/4).
- ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication XX, Ann. ICRP 37 (in press).
- Killough, G.G., Schmidt, D.W., 2000. Uncertainty analysis of exposure to radon released from the formel feed materials production center. *J. Environ. Radioactivity* 49, 127–156.
- Miller, C.W., Hively, L.M., 1987. A review of validation studies for the Gaussian plume atmospheric dispersion model. *Nuclear Safety* 28, 522–531.
- NCRP, 1996. Screening Models for Releases of Radionuclides to Atmosphere, Surface Water, and Ground. NCRP Report No. 123 (1–2). National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Maryland.
- Phipps, A.W., Smith, T.J., Fell, T.P., Harrison, J.D., 2001. Doses to the Embryo/Fetus and Neonate from Intakes of Radionuclides by the Mother. Part 1. Doses Received in Utero and from Activity Present at Birth. HSE Contract Research Report, 397/2001. Health and Safety Executive, London, UK.
- Smith, K., Jones, A.L., 2003. Generalised Habit Data for Radiological Assessments. NRPB-W41. National Radiological Protection Board, Chilton, UK.
- Tschurlovits, M., Taghizadegan, R., Engelbrecht, R. 2004. Handling Uncertainty and Variability in Risk Communication. Proc. IRPA 11, Madrid. International Radiation Protection Association, www.irpa.net.
- Wilks, S.S., 1962. *Mathematical Statistics*. John Wiland Sons, Inc, New York.

Optimalizace radiologické ochrany:
rozšiřování tohoto postupu

ICRP PUBLIKACE 101, ČÁST 2

Optimalizace radiologické ochrany: rozšiřování tohoto postupu

ICRP Publikace 101

Schváleno Komisí v září 2005

Abstrakt – Princip optimalizace radiační ochrany je definován Komisí jako proces vztažený ke zdroji, který směřuje k udržování velikosti individuálních dávek, počtu exponovaných lidí a pravděpodobnosti potenciální expozice na úrovni tak nízké, jak lze pod úrovní příslušných dávkových optimalizačních mezí rozumně dosáhnout s přihlédnutím k hospodářským a společenským faktorům. Podle novelizovaných doporučení ICRP se má tento proces optimalizace pod optimalizačními mezemi (constraints) používat v každé expoziční situaci, tj. plánované, nehodové a existující.

Předchozí doporučení k praktickému uplatňování optimalizačního procesu jsou stále platná. Musí se zavádět stále pokračujícím cyklickým postupem, který zahrnuje vyhodnocení expoziční situace a posouzení nezbytnosti opatření, identifikaci možných alternativ ochrany k udržení expozice na nejnižší rozumně dosažitelné úrovni, výběr nejlepší alternativy pro panující podmínky, provedení vybrané alternativy prostřednictvím účinného programu optimalizace a pravidelné prošetřování expoziční situace, aby se zvažilo, zda stávající okolnosti vyžadují zavedení opravných ochranných opatření. Přitom na způsob, jímž má být optimalizační postup uplatňován, se nyní nahlíží mnohem šířeji, aby se zohlednila stoupající úloha rovnosti jedinců, kultury bezpečnosti a zapojení dotčených subjektů (stakeholders) v moderních společnostech.

Tato zpráva představuje upevnění a další rozvíjení doporučení Komise týkajících se principu optimalizace. Po některých vstupních informacích o vzniku a rozvoji tohoto principu popisuje tato zpráva hlavní charakteristiky procesu, vypořádává se s problematikou rozložení expozice v tomto procesu a uvádí základní požadavky pro aplikaci optimalizace v provozu a v řízení ochrany. Popis podpůrných rozhodovacích technik běžně užívaných v praktickém provádění optimalizace je uveden v Příloze A.

© 2006 ICRP, Vydal Elsevier Ltd.

Klíčová slova: ALARA; BATNEEC; kolektivní dávka; kultura ochrany; zapojení dotčených subjektů (stakeholders)

OBSAH

EDITORIAL	5
ABSTRAKT	67
OBSAH	69
PŘEDMLUVA	71
PRACOVNÍ SOUHRN	73
1. ÚVOD	77
2. HISTORIE PRINCIPU OPTIMALIZACE	79
2.1. Opodstatnění vzniku principu	79
2.2. Rozvoj konceptu	79
2.3. Poslední novinky	81
3. PROCES OPTIMALIZACE	83
3.1. Strukturování procesu	83
3.2. Charakteristiky procesu	84
3.3. Zapojení dotčených subjektů	87
3.4. Výběr nejlepší alternativy ochrany	88
4. ROZDĚLENÍ EXPOZICE	89
4.1. Použití kolektivní dávky	89
4.2. Rozdělení expozice v čase a prostoru	90
4.3. Matice kolektivní dávky a rozhodovací proces	91
5. APLIKACE OPTIMALIZACE V PROVOZU A ŘÍZENÍ OCHRANY	93
PŘÍLOHA A: OPTIMALIZACE A TECHNIKY POUŽÍVANÉ K PODPOŘE ROZHODOVÁNÍ	95
ODKAZY	103

PŘEDMLUVA

Dne 20. října 2001 schválila Hlavní komise Mezinárodní komise radiologické ochrany (International Commission on Radiological Protection – ICRP) vytvoření nové pracovní skupiny, podléhající výboru 4, za účelem zpracování směrnice o principech a aplikaci optimalizace v ochraně před zářením. Jak bylo konstatováno v zadání, úkolem této pracovní skupiny bylo zrevidovat princip optimalizace a požadavky na jeho uplatňování ve vztahu k novelizovaným doporučením Komise. V rámci tohoto zaměření měla být zvláštní pozornost věnována úloze optimalizačních mezí, rozdělení expozic jedinců, zapojení dotčených subjektů (stakeholders) a aplikaci doporučení v řízení ochrany a v provozu.

Záměrem bylo, aby tento dokument vytvořený jako výsledek činnosti pracovní skupiny představoval jeden z podpůrných dokumentů (foundation documents) pro nová doporučení. Tato zpráva je závěrem takového snažení pracovní skupiny a je určena výše uvedeným adresátům. Pokyny a rady v této zprávě dotvářejí koncept optimalizace ochrany doporučovaný ICRP dříve.

Členové pracovní skupiny:

W. Weiss (předseda)
M.E. Clark

J.-F. Lecomte
J. Lochard

Y. Xia

Člen-korespondent pracovní skupiny:

T. Lazo

Pracovní skupina by ráda poděkovala těm organizacím, které poskytly svá zařízení a technickou podporu pro její setkání. K nim patří Státní úřad radiální ochrany v Německu, francouzský Ústav radiální ochrany a jaderné bezpečnosti a Agentura pro jadernou energii při Organizaci pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD).

Tato zpráva byla schválena Komisí na jejím zasedání v Bernu dne 17. září 2005.

PRACOVNÍ SOUHRN

(a) Optimalizace ochrany je jedním ze základních principů systému radiologické ochrany od sedmdesátých let dvacátého století (ICRP, 1973, 1977). Zatímco definice principu zůstala v průběhu doby relativně nezměněna, jeho uplatňování se vyvíjelo vlivem zpětné vazby z jeho praktického provádění. Optimalizační proces, původně zaměřený na kvantitativní techniky, zejména na srovnávání nákladů a přínosů možných ochranných opatření, se postupně rozšiřoval i o provozní postupy, návody dobré praxe a kvalitativní přístupy, aby vyústil v uvážlivý a kritický rozhodovací proces.

(b) Princip optimalizace radiologické ochrany je definován Komisí jako postup vztahený ke zdroji, který směřuje k udržování velikosti individuálních dávek, počtu exponovaných lidí a pravděpodobnosti potenciální expozice na úrovni tak nízké, jak lze pod úrovní příslušných dávkových optimalizačních mezí rozumně dosáhnout s přihlédnutím k hospodářským a společenským faktorům. Podle novelizovaných doporučení ICRP se má tento proces optimalizace pod optimalizačními mezemi (constraints) používat v každé expoziční situaci, tj. plánované, nehodové a existující.

(c) Doporučení Komise zabývající se specificky principem optimalizace (ICRP, 1983, 1988) stejně jako ustanovení o tomto principu v *Publikaci 60* (ICRP, 1991) jsou nadále platná. Optimalizace se musí zavádět stále pokračujícím cyklickým postupem, který zahrnuje vyhodnocení expoziční situace a posouzení nezbytnosti opatření, identifikaci možných alternativ ochrany k udržení expozice na nejnižší rozumně dosažitelné úrovni, výběr nejlepší alternativy pro panující podmínky, provedení vybrané alternativy prostřednictvím účinného programu optimalizace a pravidelné prošetřování expoziční situace, aby se zvažilo, zda stávající okolnosti vyžadují provedení úprav ochranných opatření. Přitom na způsob, jímž má být optimalizační postup uplatňován, se nyní nahlíží mnohem šířeji, aby se zohlednila stoupající úloha rovnosti jedinců, kultury bezpečnosti a zapojení dotčených subjektů (stakeholders) v moderních společnostech (ICRP, 1998, 1999).

(d) Optimalizační proces, jak je předkládán v této zprávě, je upevněním a rozvojem doporučení Komise týkajících se tohoto principu, nepředstavuje však zásadní změnu. Tato zpráva pokrývá všechny expoziční situace, které mohou být usměrňovány, s výjimkou expozic pacientů, o kterých je pojednáno odděleně.

Charakteristiky procesu

(e) Optimalizace ochrany je dopředu zaměřený iterativní proces usilující o zabránění expozic dříve, než k nim dojde. Je to proces nepřetržitý, zohledňující jak technický, tak socioekonomický rozvoj a vyžadující jak kvalitativní, tak i kvantitativní uvažování. Tento proces by měl být systematický a měl by být pečlivě strukturován, aby se zajistilo, že se bude přihlížet ke všem významným hlediskům. Optimalizace je určitý způsob myšlení neustále se tážající, zda se vykonalo za daných okolností to nejlepší. Vyžaduje také angažovaný přístup na všech úrovních všech příslušných organizací a zároveň i odpovídající způsoby práce a příslušné zdroje.

(f) Postup k výběru alternativ ochrany a k posouzení, že další snížení dávky není rozumné, má zahrnovat porovnání určitého množství možných alternativ ke snížení plánovaných a potenciálních dávek jedincům i skupinám. K zohlednění jak úrovně expozice, tak i průvodní složitosti procesu je nutný diferencovaný přístup. Optimalizační proces musí být přísně transparentní, protože se týká rozhodování. Tato průhlednost předpokládá, že se dotčeným stranám poskytnou všechny významné informace a že je v zájmu informovaného rozhodování i řádně dokumentováno, jak vyhledat zpětně podklady užité v rozhodovacím procesu.

(g) Pro usměrňování radioaktivních výпустí do prostředí se může použít principu nejlepší dostupné technologie nevyvolávající přehnané náklady (best-available technology, not entailing excessive costs – BATNEEC). Principy optimalizace a BATNEEC se vzájemně doplňují. Z hlediska důsledků na lidské zdraví je řízení zbytkových expozičních dávek založeno na optimalizaci odhadnutých dávek záření.

(h) Pro vyjasnění odpovědností při zavádění optimalizačního procesu jsou nutná pravidla. Na provozní úrovni by se měla ustanovit organizační struktura, aby se zajistil dialog mezi odbornými disciplinami podílejícími se na provozu, včetně koordinátorů, pracovních skupin nebo výborů, bez ohledu na to, zda výsledná struktura je nebo není výhradně určena otázkám optimalizace.

(i) K závazkům, které jsou předpokladem efektivního zavedení optimalizace a týkají se všech dotčených účastníků, od úředních orgánů až po exponované jedince, patří:

- začlenit optimalizaci do předpisů, vůle ji prosazovat a stanovit pravidla pro zachování rovnováhy mezi dialogem a kontrolní činností (týká se odpovědných orgánů);
- definovat celkový přístup a taktiku radiologické ochrany, vytknout hlavní cíle, zpracovat provozní předpisy a dbát na jejich dodržování, delegovat některé odpovědnosti, rozdělovat prostředky a zdroje a udržovat nezávislost složek radiologické ochrany na provozu (týká se řízení provozu); a
- předávat informace, udržovat postoj ostražitosti, podrobovat se výcviku a doškolování, zvyšovat povědomí o radiologické ochraně (týká se jedinců).

(j) Zapojení dotčených subjektů (stakeholders – tj. složek, které mají zájem a obavy o řešení situace) se pokládá za důležitý vklad do procesu optimalizace. Je to ověřený způsob, jak dosáhnout začlenění hodnotových hledisek do rozhodovacího procesu, podstatně zlepšit kvalitu rozhodování, vyřešit spory mezi soupeřícími zájmy, vytvořit společně sdílené porozumění mezi pracovníky a veřejností a vybudovat důvěru v instituce. Navíc zapojení všech zúčastněných složek posiluje kulturu ochrany a zavádí žádoucí pružnost do usměrňování radiologického rizika, která je nutná k dosažení účinnějších a trvale působících rozhodnutí.

(k) Nositel rozhodování (většinou vedení provozu nebo příslušný orgán) má v procesu optimalizace jasně definované úlohy a odpovědnosti. Jiní jedinci a skupiny mohou také být přizváni jako dotčené osoby. Mezi příklady lze uvést technickou podporu rozhodovacího procesu, a to jak institucionální, tak i neinstitucionální (autorizované dozimetrické služby, kvalifikované odborníky, oficiální technické služby, veřejné poradenské organizace, privátní laboratoře), exponované osoby (ať už pracovníky, nebo jednotlivé obyvatele) nebo jejich představitel (odborové organizace, místní sdružení), zástupce společnosti buď volené, nebo na podkladě prostého účastnictví (sdružení ochrany životního prostředí). Zapojení dotčených subjektů neznamená, že řízení provozu a/nebo úřední orgány se vzdávají své odpovědnosti učinit konečné rozhodnutí, nebo svého ručení za takové rozhodnutí.

(l) Nejlepší volba je vždy specifická pro expoziční situaci a představuje nejlepší úroveň ochrany, která může být dosažena za daných okolností. Není tedy namístě a priori stanovit úroveň dávky, pod kterou by se měl optimalizační proces zastavit. Podle expoziční situace by nejlepší volba měla být blízko příslušné optimalizační meze nebo i hodně pod ní. To znamená, že optimalizační proces může vyústit v dávky nižší, než jakákoliv úroveň, která by mohla být navržena do systému radiologické ochrany jako „vstupní úroveň“.

(m) Je třeba zdůraznit, že optimalizace neznamená minimalizaci. Je výsledkem hodnocení, které pečlivě vyvažuje újmu z expozice (hospodářskou, humánní, sociální, politickou aj.) a zdroje, které jsou k dispozici pro ochranu jedinců. Proto nejlepší volba není tedy nutně volba s nejnižší dávkou.

Optimalizace a rozdělení expozice

(n) Porovnávání alternativ ochrany je klíčovým rysem optimalizačního procesu, který znamená pečlivé zvažování charakteristik rozdělení expozic jedinců uvnitř skupiny exponovaných osob. Každá skupina populace zasažená zdrojem může být popsána různými znaky jako je věk, pohlaví a životní návyky a také různými parametry expozice jako jsou střední, nejmenší a nejvyšší individuální dávka, počet exponovaných osob, kolektivní dávka a pravděpodobnost potenciální expozice. Jediný parametr expozice je však většinou pro plné porovnání různých variant ochrany nedostatečný.

(o) Další hlediska, která je třeba posoudit při porovnávání alternativ ochrany, jsou společenské hodnoty, zejména míra rovnosti v rozdělení expozic mezi dotčenými skupinami jedinců. Např. různá ochranná opatření pro skupinu dělníků mohou mít podklad ve zcela rozdílných profilech distribuce dávky při podobných průměrných dávkách osobních a dávkách kolektivních. V takových porovnáních mohou úvahy založené na rovnosti (*pozn. překl.: např. na průměrných hodnotách*) ve většině případů vést k tomu, že nejvýše exponované osoby zůstanou zvoleným způsobem ochrany nepokryty.

(p) Když dochází k expozicím ve velkých populacích, velkých zeměpisných oblastech a v průběhu dlouhého časového období, pak celková kolektivní efektivní dávka (tj. součet všech individuálních expozic v určitém čase a prostoru) není užitečným nástrojem k podpoře rozhodování, protože může sdružovat informace nepřiměřeným způsobem a může být při výběru ochranných opatření zavádějící. K překonání omezení spojených s efektivní dávkou musí být každá významná expozice pečlivě analyzována, aby se identifikovaly individuální charakteristiky a expoziční parametry, které nejlépe popíší pro jednotlivé podmínky rozdělení expozice v dotčené populaci. Taková analýza vyústí v rozlišení různých populačních skupin s homogenními charakteristikami, pro které může být v rámci optimalizačního procesu kolektivní dávka počítána.

(q) Pro identifikaci příslušných populačních skupin může být použit stejný přístup jako pro strukturování optimalizačního procesu. K tomu patří i zjišťování kde, kdy a koho expozice postihla. Výsledek takového průzkumu může být znázorněn vícerozměrnou maticí kolektivní dávky. Při zpracování této matice může být relativní význam každého jejího pole, vyjádřeného jako kolektivní dávka, vážen, aby odrážel hospodářské a společenské zřetele a hodnoty, jakož i preference subjektů působících v procesu optimalizace.

Aplikace optimalizace v provozu a řízení ochrany

(r) V systému radiologické ochrany přísluší odpovědnost za uplatňování principu optimalizace jak provozovatelům, tak příslušným úředním orgánům. Zavedení procesu optimalizace ochrany je odpovědností vedení provozu při respektování požadavků příslušných orgánů. Provozní management přijímá rozhodnutí o návrhu, organizaci a následném zavádění optimalizačního procesu. Příslušné orgány podporují optimalizaci a mohou ji vyžadovat jako způsob k dosažení úrovně, při které může být uděleno, pokud vůbec, povolení k provozu. Mohou také ověřovat, že se optimalizace radiologické ochrany během provozu účinně realizuje. Břemeno důkazu této realizace spočívá na vedení provozu. Rozhodnutí o schválení činnosti vedoucích k expozici nebo zavedení opatření ke snížení expozice a z něho vyplývajících reziduálních dávek spočívá na úředních orgánech. Aktivní kultura ochrany jak na straně provozního managementu, tak i příslušných orgánů, podporuje úspěšné uplatňování optimalizace.

(s) Všechna hlediska optimalizace nemohou být postížena předpisy; optimalizace je spíše závazkem používat její metody, než dosáhnout určitého výsledku. S výjimkou případu porušení předpisů není úlohou kontrolních orgánů klást důraz na konkrétní řešení jednotlivé

situace, ale spíše na metody, postupy a úsudek. Mezi vedením provozu a příslušnými orgány se musí udržovat jasný dialog. Pravidla s návodem k vytvoření takového dialogu se musí stanovit předpisem. Úspěch procesu optimalizace bude silně záviset na kvalitě tohoto dialogu.

1. ÚVOD

(1) Základním požadavkem systému radiologické ochrany doporučeného Komise je optimalizovat úroveň ochrany, které se dosáhlo za kterékoliv expoziční situace, tj. normální, nehodové a existující, při respektování optimalizačních mezí vztahených ke zdroji (optimalizace pod optimalizačními mezemi – optimisation below constraints).

(2) Historicky je optimalizace ochrany jedním ze základních principů systému radiologické ochrany od sedmdesátých let minulého století (ICRP, 1973, 1977). Zatímco definice principu zůstala v průběhu doby relativně nezměněna, jeho uplatňování se vyvíjelo vlivem zpětné vazby z jeho praktického provádění. Optimalizační proces, původně zaměřený na kvantitativní techniky, zejména na srovnání nákladů a přínosů možných ochranných opatření, se postupně rozšiřoval i o provozní postupy, návody dobré praxe a kvalitativní přístupy, aby vyústil v uvážlivý a kritický rozhodovací proces.

(3) Komise publikovala dvě zprávy, které obsahují doporučení zabývající se specificky principem optimalizace (ICRP, 1983, 1988). Tyto zprávy popisují, jak se optimalizace uplatňuje za různých okolností v ochraně pracovníků a obyvatelstva. Informace obsažené v těchto zprávách zůstávají většinou stále významné, zejména pokud popisují kvantitativní metody k provádění rozborů.

(4) Způsob, jakým je optimalizační proces předkládán v této zprávě, je upevněním a rozvojem doporučení Komise týkajících se tohoto principu, ale nikoliv jejich zásadní změnou. Základní definice uvedená v *Publikaci 60* (ICRP, 1991) zůstává v platnosti, avšak na způsob, jímž má být optimalizační postup uplatňován, se nyní nahlíží mnohem šířeji, aby se zohlednila stoupající úloha rovnosti jedinců, kultury bezpečnosti a zapojení dotčených subjektů (stakeholders) v moderních společnostech (ICRP, 1991, 1998, 1999).

(5) Tato zpráva se zabývá všemi expozičními situacemi, tj. normálními, nehodovými a existujícími, kde radiační expozice mohou být usměrňovány, s výjimkou expozice pacientů. Zvláštní pozornost je věnována rozboru a posouzení rozdělení individuální dávky, vlastním odpovědnostem vedení provozu a příslušných orgánů a možnostem zapojení dotčených subjektů (stakeholders) do uplatňování principu optimalizace. Dále tato zpráva vyjasňuje význam strukturování rozhodovacího procesu, podpůrných nástrojů rozhodování a vlastního rozhodovacího procesu v uplatňování metody optimalizace.

(6) Oddíl 2 podává základní informace o vzniku a rozvoji principu optimalizace. Charakteristiky principu optimalizace jsou popsány v oddíle 3. Oddíl 4 se zabývá úlohou rozdělení expozice v optimalizačním procesu. Konečně oddíl 5 poskytuje informace o aplikaci optimalizace v provozu a v řízení ochrany. Dokument je doplněn přílohou o technikách používaných k podpoře rozhodování při uplatňování procesu optimalizace.

2. HISTORIE PRINCIPU OPTIMALIZACE

2.1. Opodstatnění vzniku principu

(7) Zavedení konceptu optimalizace v doporučeních ICRP bylo přímým důsledkem zjištění ze čtyřicátých let minulého století o tzv. „stochastických účincích“ charakterizovaných nemožností prokázat existenci nebo neexistenci prahu pro tento typ nevratných účinků. V době, kdy jediným uznávaným škodlivým účinkem záření byly účinky deterministické, pokládalo se skutečně omezování expozice na úroveň nepřekračující známé hodnoty prahů těchto účinků za dostatečné k zabránění jakýchkoliv nežádoucích účinků ozáření. Při nejistotě týkající se vztahu dávka-účinek pro stochastické účinky nebylo však používání takového omezení expozice nadále zárukou absence rizika. To vedlo komisi k přijetí obezřetného postoje a k doporučení, že „je třeba vyvíjet každé úsilí ke snížení expozic všem druhům ionizujícího záření na nejnižší možnou úroveň“ (ICRP, 1955, para VI). Tento postoj usnadnil Komisi zavést za dalších dvacet let princip optimalizace.

(8) Přijetí tohoto opatrného postoje k zacházení se stochastickými účinky vyvolalo problém zdůvodnění expozice. Vzhledem k existující nejistotě je zatížení skupiny jedinců nějakým rizikem oprávněno jen tehdy, když existuje jako protíváha jasný společenský přínos. Navíc když nějaké úsilí vede k takovému přínosu, vyvstává druhé zvažování, a to jak dalece snižovat riziko, a přitom zachovat životaschopnost činnosti způsobující riziko. Tyto úvahy vedly Komisi k přeformulování jejího prvního vyjádření a k doporučení „udržovat všechny dávky tak nízké, jak je to proveditelné a vyloučit jakoukoliv zbytečnou expozici“ (ICRP, 1955, para 45).

2.2. Rozvoj konceptu

(9) Další vývoj principu optimalizace spočíval ve vypracování kritérií pro stanovení úrovně expozice, která může být pokládána za „tak nízkou, jak je to proveditelné“. Tato kritéria byla uvedena v *Publikaci 9* a později popsána v nové formulaci dřívějšího doporučení taktó: „Protože jakákoliv expozice může způsobovat určitý stupeň rizika, Komise doporučuje, aby se vyloučila každá nikoliv nezbytná expozice a aby všechny dávky byly udržovány tak nízké, jak je to snadno dosažitelné při uvážení hospodářských a společenských hledisek“ (ICRP, 1966b, para 52). V *Publikaci 9* bylo také konstatováno, že riziko má dva rozměry, individuální a společenský, a že musí být vyváжено přínosy zamýšlených činností. Dále se vyžadovalo, aby cíl udržovat dávky „tak nízké, jak je snadno dosažitelné“, byl vyvažován proti úsilí, kterého je k dosažení tohoto cíle zapotřebí.

(10) Další klíčový krok k rozvoji tohoto principu představovala *Publikace 22* (ICRP, 1973), která byla celá věnována objasňování výše uvedeného stanoviska z *Publikace 9*. Komise zejména uvedla model náklady-přínos (cost-benefit) s cílem pomoci uplatnění principu v praxi. Klíčovým bodem *Publikace 22* bylo konstatování, že „je možné definovat bod, o kterém se může říci, že znamená dávku, která je tak nízká, jak je snadno dosažitelné při uvážení hospodářských a sociálních hledisek, a to zvolením dávky, při které hospodářské a sociální přínosy dalšího snižování dávky jsou stejné jako hospodářské a sociální náklady na dosažení takového snížení“ (ICRP, 1973, para 11).

(11) Dále příslovce „snadno“ bylo nahrazeno výrazem „rozumně“ (ICRP, 1973, para 20), aby se přesněji popsal záměr Komise týkající se úsilí, které je třeba věnovat snižování rizika. Takový přístup byl umožněn dostupností prvních odhadů pravděpodobnosti somatických a genetických rizik spojených s expozicí nízkým dávkám a nízkým dávkovým příkonům, které byly publikovány Komisí v r. 1964 (ICRP, 1996a). Odvozené hodnoty rizika na jednotkovou expozici dovolily vypracování konceptu újmy definované jako matematické vyjádření

„očekávání poškození způsobeného dávkou záření“ (ICRP, 1973, para 21). Tento koncept je jedním ze základních prvků modelu „cost-benefit“ pro rozhodování o tom, zda nějaké snížení dávky je, či není rozumné.

(12) Malá změna ve formulaci byla provedena v *Publikaci 26* (ICRP, 1977), kde termín „consideration“ (uvážení) byl nahrazen výrazem „factors“ (faktory). Tab. 2.1 shrnuje vývoj formulace „As Low As Reasonably Achievable – ALARA“ v posledních desetiletích.

(13) Po více než jedno desetiletí byl model „cost-benefit“ uveřejněn v *Publikaci 22* základním konceptem všech metodologických a praktických kroků při zavádění optimalizace do řízení expozic obyvatelstva a pracovníků. Dalším významným krokem byla *Publikace 37* (ICRP, 1983), která byla věnována matematické stránce modelu „cost-benefit“ a jeho praktickému využití v projektování a provozu zařízení.

(14) Subjektům zabývajícím se praktickým zaváděním optimalizace bylo brzy zřejmé, že přijímání rozhodnutí je ovlivňováno větším počtem faktorů než těch, které jsou zařazeny do stroze chápaného přístupu „cost-benefit“. Prvním pokusem začlenit další faktory byl průzkum méně rigidních technik použitelných k podpoře rozhodování, zejména těch, které jsou založeny na bodovém hodnocení (určením skóre) řady faktorů, nebo na stanovení jejich pořadí důležitosti. Druhý přístup spočíval v rozvoji postupů, které usnadňují provozovatelům porozumět principu ALARA a přiklonit se k němu.

(15) Obě tyto snahy se promítly do *Publikace 55*, přijaté Komisí v r. 1988. I když tato publikace pokračuje ve využívání teoretických novinek a matematických formulací, je zároveň počátkem vývoje směřujícího k širšímu pohledu na rozhodovací proces v radiologické ochraně a k praktičtějšímu přístupu. Např. konstatuje, že „Koncept optimalizace ochrany je svou povahou pragmatický. Optimalizace vytváří základní rámec pro způsob myšlení, že je správné provádět určitý druh vážení finančních zdrojů plynoucích do ochrany a dosažené úrovně ochrany s uvážením jiných faktorů a omezení tak, aby se vytěžilo to nejlepší, čeho lze za daných okolností dosáhnout“ (ICRP, 1988, para 8).

(16) Další vývoj konceptu je předložen v Doporučeních 1990, schválených po pouhých dalších dvou letech. V této publikaci Komise zdůrazňuje, že při uplatňování procesu optimalizace je nutné brát v úvahu „velikost individuálních dávek, počet exponovaných lidí a pravděpodobnost, že expozice nastane, v případech, kde není jisté, zda k ní dojde“. Vedle toho byl položen důraz na problematiku rovnosti podnícenou nerovným rozdělením přínosů a způsobené újmy ve společnosti. Z tohoto pohledu se připouští, že „optimalizace ochrany může způsobovat podstatnou nerovnost mezi jednou a druhou osobou“ (ICRP, 1991, para 21). Komise se vypořádala s těmito úvahami zavedením konceptu dávkových optimalizačních mezí (constraints) jako „ke zdroji vztažených hodnot individuálních dávek používaných k omezení rozpětí možných řešení, které jsou zvažovány v procesu optimalizace“, ale doporučila jejich použití pouze pro činnosti (practices) a nikoliv pro zásahy (interventions) (ICRP, 1991, para 144). Stojí za zmínku, že v této publikaci Komise vedle strohého modelu cost-benefit prosazuje význam neformálních postupů a praktických způsobů práce pro udržování expozic na rozumně dosažitelné úrovni.

Tab. 2.1. Vývoj principu optimalizace

Snížit expozice	na nejnížší	možnou úroveň		(ICRP,1955)
Udržovat expozice	tak nízké, jak je to	proveditelné		(<i>Publication 1</i> ; ICRP, 1959)
Udržovat expozice	tak nízké, jak je to	snadno dosažitelné	s uvážením hospodářských a společenských hledisek	(<i>Publication 9</i> ; ICRP, 1966b)
Udržovat expozice	tak nízké, jak je to	rozumně dosažitelné	s uvážením hospodářských a společenských hledisek	(<i>Publication 22</i> ; ICRP, 1973)
Udržovat expozice	tak nízké, jak je to	rozumně dosažitelné	s uvážením hospodářských a společenských faktorů	(<i>Publication 26</i> ; ICRP, 1977)

2.3. Poslední novinky

(17) Několik publikací Komise uvedlo v době po vydání *Publikace 60* některé nové momenty týkající se optimalizace a jejího používání v různých souvislostech. Např. *Publikace 63* o principech zásahů pro ochranu obyvatelstva při radiačních nehodách (ICRP, 1993) zdůrazňovala klíčovou úlohu optimalizace v plánování ochranných opatření ke zmírnění následků nehod. Princip optimalizace je také významným středem pozornosti v *Publikaci 75*, věnované ochraně pracovníků (ICRP, 1998). Vývody této publikace zdůrazňují důležitost opatření provozního managementu v praktickém zavádění optimalizace ochrany při práci, a zejména jeho zřetelnou angažovanost pro postoj vycházející z priority bezpečnosti. V *Publikaci 77* (ICRP, 1997), která se zabývá zásadami radiologické ochrany při ukládání radioaktivního odpadu, Komise opět připomíná, že pro princip optimalizace je charakteristické rozvažování, a zdůrazňuje možnost zneužití konceptu kolektivní dávky k porovnávání alternativ ochrany při působení malých individuálních dávek rozložených na velmi dlouhé období. V *Publikaci 81* (ICRP, 1998) pojednávající o ukládání dlouhodobého pevného radioaktivního odpadu Komise doporučuje postupovat nad rámec kvantitativních přístupů optimalizace vyvinutých v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století a přimlouvá se v těchto případech za volbu a použití širších východisek.

(18) Jiný důležitý posun v tomto směru učinila Komise v *Publikaci 82* (ICRP, 1999) o ochraně obyvatel v situacích pokračující radiační expozice (prolonged exposure). Komise v této publikaci opakuje, že v ní poskytuje doporučení pro radiologickou ochranu na základě objektivního stanovení zdravotních rizik spojených s určitými úrovněmi expozice a s uvážením významných znaků různých expozičních situací. Připouští však také realitu sociálně politických a kulturních ohledů, které obvykle ovlivňují konečné rozhodnutí o úrovni ochrany. V důsledku toho Komise předjímá, že rozhodovací proces „může zohledňovat jiné charakteristiky (attributes), než jsou ty, které jsou přímo spojeny s radiologickou ochranou“, a „bude raději počítat s účastí dotčených subjektů (stakeholders), než pouze odborníků radiologické ochrany“ (ICRP, 1999, para 4).

(19) Rozbory praktických zkušeností na národní a mezinárodní úrovni, jak vyplývá z těchto publikací, umožnily lépe porozumět úkolům, důsledkům a přínosům spojeným s větším zapojením dotčených subjektů do rozhodovacích procesů v radiační ochraně (NEA, 1998, 2001, 2004). Vzhledem k tomuto výsledku Komise nyní pokládá zapojení dotčených subjektů za významný vklad do procesu optimalizace, protože přináší nezbytnou pružnost v usměrňování radiologického rizika, která je nutná k dosažení efektivních a trvale působících rozhodnutí.

3. PROCES OPTIMALIZACE

(20) Princip optimalizace radiologické ochrany je definován Komisí jako proces vztažený ke zdroji, který směřuje k udržování velikosti individuálních dávek, počtu exponovaných lidí a pravděpodobnosti potenciální expozice na úrovni tak nízké, jak lze pod úrovní příslušných dávkových optimalizačních mezí rozumně dosáhnout s přihlédnutím k hospodářským a společenským faktorům.

(21) Není možné podat jednoduchou formální definici jednotlivého zdroje nebo celé skupiny významných zdrojů. Při aplikaci principu optimalizace pod optimalizačními mezemi je třeba užívat termínu „jediný zdroj“ v širokém smyslu, jako vybavení rentgenem v nemocnici nebo únik radioaktivních látek ze zařízení. Většina situací povede k působení nějakého převládajícího zdroje expozice pro každého jedince nebo reprezentativní osobu. Při posuzování činností se tak umožní posoudit zdroje odděleně. Za předpokladu, že jak vedení provozu, tak i regulační orgány uplatňují zásady Komise s nadhledem, je definice jednotlivého zdroje jednoznačná. Obtíže vzniknou, když postoje jsou pokřivené, např. umělým podrozdělením zdroje s cílem vyhnout se ochranným opatřením nebo nadbytečným sdružováním zdrojů, aby se tak přehnaně zdůvodňovala opatření.

(22) Má-li proces optimalizace pod optimalizačními mezemi (constraints) poskytovat nejlepší ochranu za stávajících okolností (tj. v plánovaných, nehodových a existujících situacích), musí se zavádět stále pokračujícím cyklickým postupem (nazývaným optimalizační proces), který zahrnuje: vyhodnocení expoziční situace a posouzení nezbytnosti opatření (strukturování procesu); identifikaci možných alternativ ochrany k udržení expozice na nejnižší rozumně dosažitelné úrovni; výběr nejlepší alternativy pro panující podmínky; provedení vybrané alternativy prostřednictvím účinného programu optimalizace a pravidelné prošetřování expoziční situace, aby se zvažilo, zda stávající okolnosti vyžadují provedení úpravy ochranných postupů.

(23) Uplatňování optimalizačního principu v ochraně je srdcem úspěšného programu radiologické ochrany. Program musí být pečlivě strukturován, aby bral v úvahu významné charakteristiky expoziční situace. Musí dále obsahovat, v rozsahu přiměřeném expoziční situaci, zapojení dotčených subjektů (stakeholders). Tyto dva typické prvky, uvedené v *Publikaci 82* (ICRP, 1999), pokládá Komise za významné složky optimalizačního procesu.

3.1. Strukturování procesu

(24) Cílem vytvoření rámce procesu je rozpoznání příslušných typických znaků (attributes) potřebných pro vybrání nejlepší alternativy ochrany pro dané okolnosti. Z tohoto hlediska jsou charakteristiky rozdělení expozic (tj. individuální dávky, průměrná dávka, počet exponovaných osob) pouze částí znaků, které je třeba vzít v úvahu.

(25) Nejpřímější cestou k identifikaci významných znaků je dotazování na to, „kdy, kde, jak došlo k expozicím a koho expozice postihly“. Výsledkem odpovědí na tyto otázky je soubor znaků vyjadřujících charakteristiky exponované populace a jejich expozice, jakož i technické, ekonomické, sociální, k prostředí se vztahující a etické zřetele významné pro tuto situaci. Komise doporučuje, aby byla věnována pozornost zábraně nehod a jiných potenciálních expozic, přenosu expozice mezi populacemi a rozdělení expozic v dlouhém časové období a ve vzdálených populacích. Pro řadu situací je účast dotčených subjektů ve struktuře procesu užitečnou pomocí při identifikaci významných znaků/atributů.

(26) Reprezentativní seznam užitečných znaků, které je třeba posoudit při výběru nejlepší alternativy ochrany, je uveden v tab. 3.1. Tento seznam není vyčerpávající a v závislosti na konkrétních podmínkách expoziční situace se mohou uvážit i hlediska jiná. Na druhé straně seznam, i když není vyčerpávající, může obsahovat příliš mnoho znaků vzhledem k dané

Tab. 3.1. Reprezentativní znaky k výběru nejlepší alternativy ochrany (seznam není vyčerpávající)

-
- Charakteristiky exponované populace
 - Pohlaví
 - Věk
 - Zdravotní stav
 - Vnímaté skupiny (např. těhotné ženy)
 - Životní návyky
 - Charakteristiky expozice
 - Rozdělení expozice v čase a prostoru
 - Počet jedinců
 - Nejnižší individuální dávka
 - Nejvyšší individuální dávka
 - Střední individuální dávka
 - Statistické odchylky
 - Kolektivní dávka s rozmezím individuálních dávek
 - Pravděpodobnost potenciální expozice
 - Vstupní radiologické podmínky (např. vysoké přírodní pozadí, zvýšená úroveň expozice vlivem dřívějších aktivit či nehod)
 - Sociální hlediska a hodnoty
 - Rovnost
 - Možnost kontroly (měření, zdravotní dozor aj.)
 - Setrvačnost podmínek
 - Mezigenerační zřetel
 - Přínos jedincům
 - Přínos společnosti
 - Úroveň informovanosti/znalostí u exponovaných
 - Důvěra ve společnost
 - Hlediska životního prostředí
 - Důsledky pro faunu a floru
 - Důsledky pro klima
 - Neradiační rizika
 - Technické a ekonomické úvahy týkající se ochranných opatření
 - Schůdnost
 - Náklady
 - Nejistoty
 - Politická hlediska
 - Omezení daná předpisy
-

situaci. V mnoha situacích bude stačit omezený počet znaků. Proto platí požadavek vybrat příslušné znaky specifické pro posuzovaný případ, aby se správně vycházelo z klíčových možností řešení. Posouzení širšího spektra znaků odpovídajících expoziční situaci je důležité pro celkové vyhodnocení situace.

3.2. Charakteristiky procesu

(27) Optimalizace ochrany je dopředu zaměřený iterativní proces usilující o zabránění expozic dříve, než k nim dojde. Je to proces nepřetržitý, zohledňující jak technický, tak socioekonomický rozvoj a vyžadující jak kvalitativní, tak i kvantitativní uvažování. Tento

proces by měl být systematický a měl by být pečlivě strukturován, aby se zajistilo, že se bude přihlížet ke všem významným hlediskům. Optimalizace je určitý způsob myšlení neustále se tážající, zda se vykonalo za daných okolností to nejlepší. Vyžaduje také angažovaný přístup na všech úrovních všech účastněných organizací a zároveň i odpovídající způsoby práce a zdroje.

(28) Postup k výběru alternativ ochrany a k posouzení, že další snížení dávky není rozumné, má zahrnovat porovnání určitého množství možných alternativ ke snížení plánovaných a potenciálních dávek jedincům i skupinám. Opatření přijímaná k ochraně jedinců nebo skupin proti vlivu zdroje záření mohou být uplatněna u zdroje, v prostředí mezi zdrojem a jedincem nebo u jedince. Kde je to možné, dává se přednost omezení vlivu na úrovni zdroje. Taková opatření jsou méně rušivá a vztahují se ke všem cestám expozice všech lidí z nějakého zdroje. Na rozdíl od toho omezení na úrovni prostředí nebo jedinců nemusí zahrnout všechny možnosti působení zdroje. Vedle toho při opatřeních na úrovni zdroje je menší pravděpodobnost neočekávaných socioekonomických problémů, alespoň ve vztahu k expozici obyvatel.

(29) Optimalizace ochrany je systematický proces, který musí hledět dlouhodobě vpřed ve smyslu obrazného rčení „od kolébky až do hrobu“, tj. optimalizace v projektové fázi nějakého zařízení musí přihlížet také ke všem následným fázím provozu závodu včetně jeho ukončení. Pro normální a existující situace je většina prvků ochrany začleněna do projektu řízených zdrojů ve fázi jejich plánování, kdy jsou vyhodnocovány alternativy řešení často v souvislosti s výběrem inženýrských nástrojů kontroly. Proces optimalizace ochrany musí pokračovat i ve fázích provozu a jeho ukončení. V nehodových situacích se optimalizace užívá ve fázi plánování k identifikaci možných variant ochrany a k výběru příslušných optimalizačních mezí. Při nehodě se musí proces optimalizace uplatňovat pružně, aby se postupovalo podle aktuálních okolností. V existujících kontrolovatelných situacích se optimalizace většinou uplatňuje metodou krok za krokem, která může pokračovat po dlouhé časové období (např. situace po nehodě, programy na snižování radonu). Optimalizační proces obsahuje širokou škálu kvalitativních a kvantitativních metod a nástrojů. Některé z nich, jako jsou měření, modely, kontrolní seznamy, on-line softwary, rozborů pracovních činností, systémy provozní dozimetrie, plány radiologických činností, dokumentace, databáze, nástroje k podpoře rozhodovacího procesu nebo referenční peněžní hodnota mansievertu, jsou běžně užívány a byly uveřejněny v *Publikacích 37 a 55* (ICRP, 1983, 1988). Kvantitativní metody mohou být cenným přínosem do rozhodovacího procesu. Nemohou však nikdy být jediným podkladem k rozhodování vzhledem k působení řady faktorů kvalitativních (viz přílohu A). Vlivem nejistot, přibližných odhadů, pragmatických hledisek, technických a ekonomických omezení nebo protikladných společenských hodnocení je nutný také kvalitativní hodnotový přístup. V mnoha situacích může takový přístup užitečně doplňovat postupy založené na technikách k podpoře rozhodnutí, které jsou založeny na kvantitativních údajích. Ukazuje se, zapojení dotčených subjektů (viz oddíl 3.3.) je v rozhodovacím procesu efektivním vkladem.

(30) Optimalizační proces by měl být zpracován tak podrobně, jak je to nutné k vyřešení dané situace. Je nutný stupňovitý přístup, aby se zohlednila jak úroveň expozice, tak i její složitost. V mnoha expozičních situacích se rozhodnutí může učinit snadno s použitím spolehlivých metod, nástrojů a profesionální dovednosti. Dřívější zkušenost však ukázala, že tam, kde převládají úvahy ekonomické, společenské a politické, je někdy nutné použít složitých a dlouhotrvajících postupů, než se dospěje k rozhodnutím o ochraně před účinky nízkých expozic.

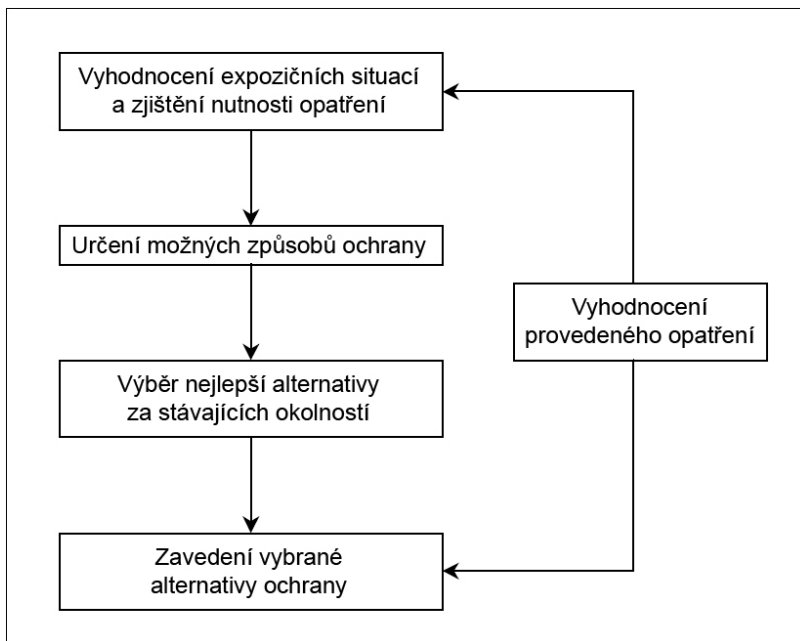
(31) Během provozu pokračuje proces optimalizace ochrany nadále a vystupují otázky, zda se v jeho duchu učinilo dost před expozicí, během ní a po ní. Proces optimalizace je cyklický, jak ukazuje obr. 3.1. Je podstatné, aby prověřování systému byla plánována a realizována v pravidelných časových intervalech. Do tohoto procesu přezkoumávání by měly vstupovat

údaje o výkonech v minulém období, rozборы trendu dávek (nebo jiná data), výsledky vnitřních auditů, posouzení nezávislými odborníky, zprávy o nestandardních příhodách a získaná poučení. Když se zavede zvolená varianta ochrany, mohou kontroly ukázat, že výsledky neodpovídají očekávání. Za takových okolností může být nezbytný nový cyklus hodnocení. Metody používané k posouzení, zda varianty ochrany vyhovují kritériu rozumnosti, se mohou v průběhu času měnit.

(32) V každém procesu optimalizace je třeba provádět řadu rozhodnutí týkajících se radiologické ochrany a brát v úvahu mnoho charakteristik, jako je technická schůdnost, náklady, společenské faktory, možné nepříznivé dopady, dlouhodobé účinky, obavy obyvatel nebo pracovníků a také jejich relativní důležitost. Taková rozhodnutí zahrnují i odpověď na otázku, zda nějaká akce je skutečně nutná, která volba ochrany je účinná a výkonná a jaké zdroje jsou rozumné k dokončení záměru.

(33) Optimalizace je určitý způsob myšlení. Účinné zavádění procesu znamená, že všechny účastněné dotčené osoby znají základní teze radiologické ochrany a souhlasí s nimi. Přijetí poznatku, že kterákoliv úroveň expozice může vyvolat riziko, by mělo vést k vědomí garance, že všichni, kteří jsou zapojeni do procesu optimalizace, by mohli být voláni k odpovědnosti za její účinné uplatňování. Vedle toho všichni účastníci by měli pěstovat aktivní kulturu bezpečnosti, jejímiž klíčovými znaky jsou „osobní angažovanost, myšlení v duchu bezpečnosti a postoj neustálého tázání (...). Zásady dobré praxe, i když jsou podstatnou součástí kultury bezpečnosti, samy nestačí, jsou-li chápány mechanicky. Platí požadavek jít za hranice strohé uplatňování zásad dobré praxe, tak aby všechny povinnosti důležité pro ochranu byly prováděny řádně a s pozorností, díky způsobu myšlení, úplným znalostem, zdravému úsudku a správnému pocitu odpovědnosti“ (IAEA, 1991).

(34) Optimalizační proces musí být přísně transparentní, protože se týká rozhodování. Všechny údaje, parametry, předpoklady a hodnoty vstupující do procesu musí být velmi jasně prezentovány a definovány. Tato průhlednost předpokládá, že se dotčeným stranám



Obr. 3.1. Schematické znázornění procesu optimalizace.

poskytnou všechny významné informace a že je v zájmu informovaného rozhodování řádně dokumentováno, jak vyhledat zpětně podklady užité v rozhodovacím procesu.

(35) Pro usměrňování radioaktivních výpustí do životního prostředí se může používat principu BATNEEC (*pozn. překladatele: viz Souhrn, písm. g*). Princip optimalizace a BATNEEC se vzájemně doplňují. Z hlediska důsledků na lidské zdraví je usměrňování reziduálních expozic založeno na optimalizaci odhadnutých dávek záření. K řízení kapalných odpadů nebo v situacích, kde lidé nejsou přímo zasaženi a nejsou primárně terčem ochrany, používá optimalizace většinou BATNEEC. Od konference v Riu (UN, 1992) se trvale udržitelný rozvoj jako ústřední organizační princip mezinárodní strategie ochrany prostředí posunul až za rámec standardů ochrany určených ochranou zdraví směrem k technikám BATNEEC uplatňovaným v neradiačním sektoru a zaměřeným na snížení nebo, kde je to možné, na vyloučení výpustí u zdroje. Tento princip je uplatňován v závodech a provozech v rostoucí míře a zaměřuje cíl ochrany spíše na snížení emisí, než na snížení pravděpodobnosti účinku na zdraví. Koncept BATNEEC s náležitým zřetelem na společenské a ekonomické faktory je blízký doporučením Komise, aby dávky byly udržovány tak nízké, jak je to rozumně dosažitelné (ICRP, 1997, 1998).

(36) K vyjasnění odpovědnosti za zavádění procesu optimalizace je nutné stanovit příslušné postupy. Na úrovni provozu by měla být vytvořena organizační struktura, v jejímž rámci by se organizoval dialog mezi skupinami odborníků zúčastněných na provozu, včetně koordinátorů, pracovních skupin nebo výborů, ať už by vzniklá struktura byla nebo nebyla určena pouze pro optimalizaci.

(37) Účinné uplatňování optimalizace vyžaduje konečně také určitou míru osobního zaujetí od všech příslušných složek sahajících od úředních orgánů až k exponovaným jedincům. Mezi prvky zajišťující tuto angažovanost patří:

- začlenění optimalizace do předpisů a vůle ji prosazovat, vytvoření pravidel jak nalézat správnou rovnováhu mezi dialogem a kontrolou (působením dozorných orgánů);
- definování politiky radiologické ochrany, stanovení hlavních cílů, stanovení způsobů práce a jejich dodržování, delegování odpovědností, přidělování prostředků a zdrojů, udržování nezávislosti činitelů radiologické ochrany na provozu (provozním managementu); a
- předávání informací, udržování postoje ostražitosti, výcvik, procvičování a růst povědomí o významu radiologické ochrany (týká se jedinců).

Příslušné odpovědnosti v uplatňování těchto ustanovení jsou obsaženy podrobněji v oddíle 6 zprávy (IAEA, 2002).

3.3. Zapojení dotčených subjektů

(38) Zapojení dotčených osob (stakeholders) je pokládáno za důležitý vklad do procesu optimalizace. Termín stakeholders byl zaveden Komisí v *Publikaci 82* (ICRP, 1999) a znamená ty strany (subjekty), které mají zájem o nějakou situaci nebo z ní mají obavy. Činitel přijímající rozhodnutí (obvykle vedení provozu nebo kompetentní orgán) má v tomto procesu jasně definované odpovědnosti. Ostatní jedinci nebo skupiny mohou být pokládány za dotčené subjekty. Mezi příklady lze uvést exponované jedince (buď dělníky, nebo jednotlivé obyvatele) nebo jejich představitele (odborníky, místní zájmová sdružení), institucionalizovanou nebo neinstitutizovanou technickou podporu rozhodovacího procesu (autorizované dozimetrické služby, kvalifikované odborníky, oficiální technické služby, veřejné poradenské organizace, soukromé laboratoře) a představitele společnosti buď volené (zvolení zástupci), nebo na podkladě prostého účasti (sdružení ochrany životního prostředí).

(39) Zapojení dotčených subjektů je vyzkoušený způsob, jak dosáhnout začlenění dalších hodnotových prvků do rozhodovacího procesu, podstatného zlepšení kvality rozhodování, vyřešení konfliktů mezi soupeřícími zájmy, vytvoření vzájemně sdíleného porozumění mezi pracovníky a obyvateli a vybudování důvěry v instituce. Navíc zapojení všech zúčastněných složek posiluje kulturu ochrany a zavádí žádoucí pružnost do usměrňování radiologického rizika, která je nutná k dosažení účinnějších a trvale působících rozhodnutí. Dotčené subjekty mohou zejména pomoci při určování znaků/atributů expozičních situací a jejich poměrné významnosti, a také pro identifikaci variant ochrany v rámci rozhodovacího procesu.

(40) Rozsah zapojení dotčených subjektů se mění od jedné situace k druhé. V závislosti na okolnostech není nutné zapojovat v každé otázce nebo fázi procesu optimalizace všechny dotčené osoby nebo všechny jejich typy. Mnoho rozhodnutí v radiologické ochraně nemusí být složitých nebo společensky citlivých a nepotřebuje tedy širokou účast dotčených subjektů. I když dosud není rozpracován jednotný přístup k účasti dotčených subjektů, zkušeností přibývá. V různých oblastech byly vyvinuty rozličné metody ke strukturování způsobu vazby mezi dotčenými osobami a rozhodovacím procesem. Jejich spektrum pokrývá jak na jedné straně klasické konzultace, tak na druhé straně i strukturované techniky vytváření konsensu s asistencí třetí strany nebo bez ní (Beierly, 2002; NEA, 2004).

(41) Zapojení dotčených subjektů neznamená, že řízení provozu a/nebo příslušné orgány se vzdávají své odpovědnosti učinit konečné rozhodnutí nebo svého ručení za toto rozhodnutí. Otázka konečné odpovědnosti se v průběhu společných kroků při strukturování rozhodnutí a při uplatňování procesu optimalizace nesmí zamlžít. Odpovědnost za „konečné rozhodnutí“ ve smyslu přiměřenosti řešení ochrany spočívá v konečné instanci na provozním managementu a/nebo kompetentním orgánu.

3.4. Výběr nejlepší alternativy ochrany

(42) Nejlepší alternativa ochrany je vždy specifická pro stávající expoziční situaci a představuje nejlepší úroveň ochrany, kterou lze dosáhnout za existujících okolností. Proto není namístě stanovit a priori úroveň dávky, pod kterou by se optimalizace měla zastavit. Podle expoziční situace by nejlepší volba měla být blízko příslušné optimalizační meze nebo i hodně pod ní. To znamená, že optimalizační proces může vyústit v dávky nižší, než jakákoliv úroveň, která by mohla být navržena do systému radiologické ochrany jako „vstupní úroveň“.

(43) V některých případech mohou technické, ekonomické, legislativní a společenské souvislosti změnit již dříve odsouhlasená řešení vyplývající z optimalizace. Např. zavedení nových technologií, stoupající obavy obyvatelstva nebo dostupnost nových zdrojů pro ochranu mohou být podnětem k novému posouzení situace, zavedení nových možností ochrany a možná i ke stanovení nového cílového bodu. Takové změny je nejlépe řešit od případu k případu, jak se to děje v oblasti stavebních řádů nebo předpisů požární ochrany pro budovy.

(44) Závěrem je třeba zdůraznit, že optimalizace neznamená minimalizaci. Je výsledkem hodnocení, které pečlivě vyvažuje újmu z expozice (hospodářskou, humánní, sociální, politickou aj.) a zdroje, které jsou k dispozici pro ochranu jedinců. Proto nejlepší volba není tedy nutně volba s nejnižší dávkou.

4. ROZDĚLENÍ EXPOZICE

(45) Porovnávání alternativ ochrany je klíčovým rysem optimalizačního procesu, který znamená pečlivé zvažování charakteristik rozdělení expozic jedinců uvnitř skupiny exponovaných osob. Každá skupina populace zasažená zdrojem může být popsána různými znaky, jako je věk, pohlaví a životní návyky, a také různými parametry expozice, jako jsou střední, nejmenší a nejvyšší individuální dávka, počet exponovaných osob, kolektivní dávka a pravděpodobnost potenciální expozice. Jediný parametr expozice je však většinou pro plné porovnání různých variant ochrany nedostatečný.

(46) Další hlediska, která je třeba posoudit při porovnávání alternativ ochrany, jsou společenské hodnoty, zejména míra rovnosti v rozdělení expozic mezi dotčenými skupinami jedinců. Např. různá ochranná opatření pro skupinu dělníků mohou mít podklad ve zcela rozdílných profilech distribuce dávky při podobných průměrných dávkách osobních a dávkách kolektivních. V takových porovnáních mohou úvahy založené na rovnosti (*pozn. překl.: např. průměrných hodnotách*) ve většině případů vést k tomu, že nejvýše exponované osoby zůstanou zvoleným způsobem ochrany nepokryty.

(47) Pro případy expozičních situací při práci jsou většinou informace o dávkách jednotlivým pracovníkům přístupné a v mnoha případech je posouzení rozdělení individuálních dávek relativně snadné. Pro expoziční situace obyvatel informace o jejich individuálních dávkách přímo dostupné zpravidla nejsou a mohou být oceněny pouze použitím zástupných dat. Např. průměrné individuální dávky mohou být odhadnuty s použitím modelu pro různé podskupiny exponované danému zdroji. Při takovém přístupu je nutné pro každou skupinu exponovaných obyvatel definovat místo pobývání (vzdálenost od zdroje), rozdělení věku a pohlaví osob a životní návyky (stravování, typy rekreace). Je-li to nutné, je také možné odhadnout vývoj expozice v čase pro každou skupinu v současné a v budoucích generacích.

4.1. Použití kolektivní dávky

(48) Jedním ze způsobů, jak charakterizovat rozdělení dávek jedincům uvnitř skupin pro účely porovnávání alternativ ochrany v procesu optimalizace, je používání kolektivní dávky spojené s touto distribucí. Tento koncept byl vytvořen jako odpověď na potřebu brát zřetel na globální dopad daného zdroje na obyvatelstvo. Historicky se objevil jako důsledek obav spojených s atmosférickým spadem ze zkoušek jaderných zbraní a radioaktivních výпустů do prostředí souvisejících s rozvojem průmyslových jaderných elektráren. Pojem byl zaveden v sedmdesátých letech minulého století, aby sloužil jako základ pro omezování nekontrolovatelného vzestupu expozice dlouhodobým radionuklidům v prostředí a pro snadnější prosazení analýzy „cost-benefit“ navržené v té době v rámci principu optimalizace (IPSN, 2002).

(49) Kolektivní dávka je měřítkem radiační expozice ze zdroje v dané skupině obyvatelstva. Je to integrál rozdělení dávek jedincům uvnitř této skupiny. V *Publikaci 60* Komise doporučuje, aby se přihlíželo k počtu exponovaných osob a aby se expozice hodnotila násobením průměrné dávky v exponované skupině počtem jedinců v té skupině (ICRP, 1991, para 34). Je-li ozářeno několik skupin obyvatelstva, pak celková kolektivní dávka spojená s tímto zdrojem nebo expoziční situací je definována jako součet kolektivních dávek ve všech skupinách z tohoto zdroje nebo z této expoziční situace.

(50) V případě profesní expozice se kolektivní dávka obvykle užívá jako „indikátor vykonávání práce“ k charakterizaci celkové expozice spojené s provozem zařízení za určitou dobu nebo při konkrétním typu práce. Pro účely porovnání variant ochrany v procesu optimalizace není kolektivní dávka vždy postačující k charakterizaci rozložení dávek

jedincům, zejména když existují významné rozdíly ve velikosti expozic jedinců uvnitř exponované skupiny. Za takových okolností musí posuzování rovnosti vzít na zřetel jak individuální, tak i kolektivní dávky spolu s rozdělením expozice (viz přílohu 1).

(51) V případě expozice obyvatel může být kolektivní dávka užitečným přínosem k procesu optimalizace, když rozdělení dávky jedincům jsou relativně homogenní a dobře definovaná. Radiologické důsledky však mohou být v závislosti na zdroji nesterilně rozprostřeny geograficky (od lokálních dopadů k regionálním a někdy ještě k větším územím) nebo v čase (od krátkodobých ke střednědobým a někdy dlouhodobým) a pokrývat široké rozmezí dávek jedincům. Přestože kolektivní dávky mohou být v takových situacích odhadnuty na základě předpokladů o cestách šíření, význam takových odhadů kolektivní dávky pro rozhodování o ochraně je poněkud omezený (ICRP, 1997, 1998).

4.2. Rozdělení expozice v čase a prostoru

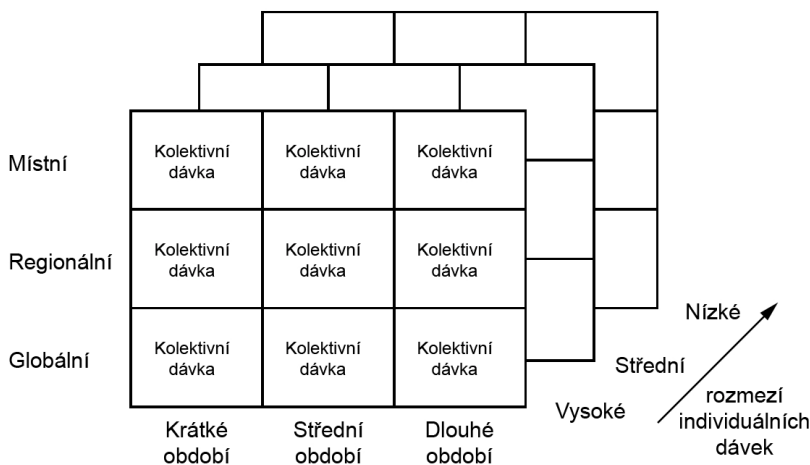
(52) Když se expozice týká velkých populací, velkých zeměpisných oblastí a dlouhých časových období, pak celková kolektivní dávka, jak je definována výše (tj. součet všech individuálních expozic v čase a prostoru), není užitečným nástrojem k podpoře rozhodování, protože může mít povahu přehnaného seskupování informací a může být zavádějící pro výběr ochranných opatření. Zjednodušená aplikace konceptu kolektivní dávky může maskovat expoziční charakteristiky rozdělení dávky podobně jako i neodstranitelné nejistoty spjaté se stanovením dávky. Vedle toho kolektivní dávka neumožňuje žádoucí posouzení důležitých sociopolitických hledisek, např. požadavku rovnosti rozložení újmy a přínosů mezi jednotlivci, což může být zvlášť důležité pro hodnocení a porovnávání variant ochrany.

(53) K překonání omezení spojených s kolektivní dávkou musí být každá významná expoziční situace pečlivě analyzována, aby se určily individuální charakteristiky a parametry expozice, které nejlépe popisují rozdělení expozice uvnitř příslušné populace exponované za konkrétních podmínek. Taková analýza vede k identifikaci různých populačních skupin s homogenními charakteristikami, které je třeba v procesu optimalizace posoudit. Zejména je třeba rozčlenit kolektivní dávku vzniklou ze širokého rozmezí individuálních dávek na řadu kolektivních dávek odpovídajících homogenním skupinám rozdělení dávky (ICRP, 1997, 1998). Vhodné charakteristiky pro definování populačních skupin odpovídajících těmto kolektivním dávkám se musí stanovit případ od případu s ohledem na danou expoziční situaci.

(54) Stejný přístup, který se používá pro strukturování procesu optimalizace (viz oddíl 3.1), se může použít k identifikaci příslušných populačních skupin. Tento proces obsahuje dotazy na to, kdy, kde a koho expozice postihly. Obr. 4.1 ukazuje výsledek takového dotazování v případě rozdělení dávky v čase, prostoru a pro různá rozpětí individuálních dávek. Výsledek je zpracován jako trojrozměrná matice:

- prostorové rozdělení exponované populace je reprezentováno různými vzdálenostmi od zdroje: místní, regionální, globální;
- časové rozdělení expozice populace je reprezentováno třemi obdobími: krátké, střední a dlouhé období; pro expozice, které mohou podle očekávání trvat velmi dlouhá období, lze časový rámec vyjádřit jako řadu generací; a
- rozdělení hodnot individuálních dávek exponované populace je reprezentováno různými rozpětími vyjádřenými v milisievertech: vysoké (nad 10), střední (mezi 10 a 1) a nízké (pod 1).

Každé pole matice odpovídá kolektivní dávce příslušející dané skupině. Jiné charakteristiky, jako je věk, pohlaví, sociálněprofesní kategorie nebo zvláštní životní návyky, se mohou v tomto typu matice použít, pokud se pokládají za významné pro porovnání variant ochrany.



Obr. 4.1. Vyobrazení matice kolektivní dávky

4.3. Matice kolektivní dávky a rozhodovací proces

(55) Jakmile byla zpracována matice kolektivní dávky, může být jednak vážen její relativní význam v každém poli matice, odrážející její ekonomické a společenské zřetele a hodnoty, jednak zohledněny preference dotčených subjektů zapojených do optimalizačního procesu. Povaha hlediska a hodnot se může značně lišit od případu k případu a podobně i význam přiřádaný dotčenými subjekty jednotlivým polím matice. Musí se brát v úvahu také míra neurčitosti týkající se úrovně expozice a všech jiných faktorů. Např. pro potřebu srovnatelnosti se mohou každé kolektivní dávce přiřazovat relativní váhové faktory odvozené od hodnoty střední individuální dávky, která charakterizuje danou skupinu populace. To může být způsob, jak přiřadit větší důležitost skupinám jedinců, kteří obdrželi dávky vyšší, v porovnání se skupinami exponovanými dávkám nižším (viz přílohu A).

(56) Vážení lze také použít vzhledem k době, ve které se předvídá realizace expozice. Protože existují nejistoty v odhadu dávky a v přírůstku újmy spojené s expozicemi, k nimž má dojít v daleké budoucnosti, stává se použití předpověděných expozic pro účely rozhodovacích procesů stále problematictější (ICRP, 1997). Následkem toho by mohl být přiznáván postupně klesající význam expozicím jedinců očekávaným v daleké budoucnosti vlivem vzrůstajících nejistot týkajících se jak odhadu dávek, tak i vyvolané újmy. Současně známé vztahy mezi dávkou a újmou nemusí být pro budoucí populace nadále platné. Naopak ve zvláštních expozičních situacích by se mohl přisoudit expozicím působícím v budoucnosti význam větší na podkladě úvah o mezigenerační rovnosti nebo vzhledem k možnosti vědeckých argumentů dosud nepředpokládaných. Může se uplatnit také jiný názor, totiž že expozice mají být vzhledem k době váženy stejně. Komise soudí, že náš současný stav vědomostí a naše schopnost předpovídat stav populace a možné cesty expozice jsou schopny přiměřeně přispívat k rozhodovacím procesům o expozicích předpokládaných v časovém období několika málo generací. Komise doporučuje, aby nad tento časový rámec prognózané dávky nehrály významnou úlohu v rozhodovacích procesech.

5. APLIKACE OPTIMALIZACE V PROVOZU A ŘÍZENÍ OCHRANY

(57) V systému radiologické ochrany mají odpovědnosti za uplatňování principu optimalizace jak provozovatelé, tak i příslušné státní orgány. Zavedení optimalizace ochrany je odpovědností vedení provozu v souladu s požadavky příslušných orgánů.

(58) Toto se týká všech regulovatelných zdrojů a expozičních situací, tj. plánovaných, nehodových a existujících. Je třeba však poznamenat, že zmínky o „vedení provozu“ a „kompetentních státních orgánech“ je třeba v těchto třech situacích chápat široce, spíše ve smyslu „implementující organizace“ a „subjekt rozhodování“.

(59) Úspěšné používání optimalizace je podporováno aktivní kulturou bezpečnosti. Zásadní úkoly v zajišťování rozvoje účinné kultury bezpečnosti i v jejím udržování mají jak vedení provozu, tak i příslušné orgány. Zejména kompetentní orgány mají přesvědčovat provozní management, aby budoval uvnitř své organizace „kulturu bezpečnosti“. Taková kultura ochrany by měla existovat také v příslušných státních orgánech.

(60) Vedení provozu přijímá rozhodnutí týkající se plánování, organizace a pokračujícího uplatňování procesu optimalizace. Příslušné orgány prosazují a mají vyžadovat optimalizaci jako cestu k dosažení úrovně ochrany, na základě které povolení k provozu může být, pokud vůbec, uděleno. Mohou také ověřovat, zda se radiologická ochrana během provozu účinně uplatňuje. Břemeno důkazu této implementace spočívá na vedení provozu. Rozhodnutí o povolení činnosti způsobující expozici nebo o zavedení opatření snižujících expozici, včetně výsledných reziduálních dávek, spočívá na příslušných orgánech. V některých případech práce je plánována, zadávána, vykonávána a kontrolována jinými subjekty, které nejsou pod přímým řízením provozního managementu. V takových případech každý jejich podíl na odpovědnosti za optimalizaci by měl být jasně dokumentován a vzat na vědomí všemi stranami (NEA, 1997).

(61) Vedení provozu by mělo zpracovat a vyhlásit vnitřní strategii ochrany, priority, pravidla, metody a programy zajišťování jakosti, aby se tak zajistilo uplatňování důvěryhodné kultury ochrany na všech úrovních řízení a u pracovníků. V této souvislosti je cílem vedení provozu předcházet nehodám, vyrovnávat se s pravděpodobností potenciálních expozic a udržovat expozice pracovníků a obyvatel na úrovni tak nízké, jak je to rozumně dosažitelné s uvážením společenských a ekonomických faktorů.

(62) Všechna hlediska optimalizace nemohou být postižena předpisy; optimalizace je spíše závazkem používat její metody, než dosáhnout určitého výsledku. S výjimkou případu porušení předpisů není úlohou kontrolních orgánů zaměřovat se na konkrétní vyústění jednotlivé situace, ale spíše na metody, postupy a úsudek. Mezi vedením provozu a příslušnými orgány se musí udržovat jasný dialog. Pravidla s návodem k vytvoření takového dialogu se musí stanovit předpisem. Úspěch procesu optimalizace bude silně záviset na kvalitě tohoto dialogu.

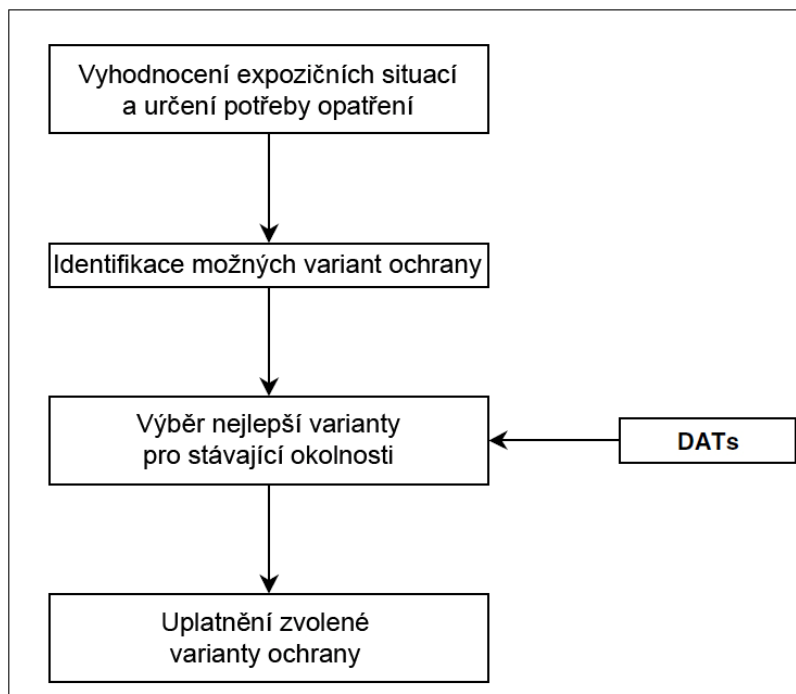
PŘÍLOHA A: OPTIMALIZACE A TECHNIKY POUŽÍVANÉ K PODPOŘE ROZHODOVÁNÍ

A.1. Úvod

(A1) Používání technik k podpoře rozhodování určených ke kvantifikaci a porovnávání variantních řešení ochrany je v procesu optimalizace dobře zavedeným přístupem. Umožňuje těm, kteří mají rozhodovat o úrovni ochrany, vybrat nejlepší kompromis mezi různými atributy charakterickými pro tento proces, s přihlédnutím k neodstranitelným neurčitostem a k zvažování hodnot. Podle míry složitosti situace, jíž se volba může týkat, se mohou používat různé techniky.

(A2) Historicky byla první technikou propagovanou Komisí na začátku sedmdesátých let minulého století analýza náklady-přínos (cost-benefit) určená k vyvažování nákladů spojených s újmou z ozáření a nákladů na ochranná opatření (ICRP, 1973). Je to jednoduchá metoda, kterou lze použít v řadě oblastí ochrany obyvatel a pracovníků v normálních, nehodových a existujících situacích. Později, když princip optimalizace získával podporu a jeho praktické uplatňování stoupalo, byly Komisí doporučovány také jiné techniky k podpoře rozhodování, jako je analýza náklady-účinnost (cost-effectiveness) nebo analýza vícefaktorová (multi-attribute) (ICRP, 1989).

(A3) Obr. A1 je schematickým znárodněním následných kroků procesu optimalizace (oddíl 3.2) a specifikuje, jak do tohoto procesu zapadají techniky k podpoře rozhodování. Je důležité poznamenat, že použití technik k podpoře rozhodování je jenom jedním ze vstupů do procesu rozhodování. Jeho důležitou složkou je úvodní vytváření kostry postupu, umožňující



Obr. A1. Proces optimalizace a techniky používané k podpoře rozhodování (decision-aiding techniques – DATs)

identifikaci příslušných atributů, které je třeba vzít v úvahu, a identifikaci všech možných ochranných opatření, která je třeba vyhodnotit. Důležitým znakem technik užívaných k podpoře rozhodování o nejlepší variantě ochrany za daných podmínek je požadavek vyjádřit různé charakteristiky/atributy kvantitativně. Proces kvantifikace je v mnoha případech nejobtížnější a časově nejnáročnější krok, ve kterém je třeba shromáždit všechna potřebná data nebo je vytvořit pro špatně postižitelné atributy pomocí modelů, popřípadě jejich hodnoty stanovit odhadem.

(A4) Pokud jde o uplatňování technik k podpoře rozhodování, volba konkrétní techniky záleží zejména na šíři záběru k charakterizaci expoziční situace, tj. na diverzitě různých znaků a stanovisek, které je třeba zahrnout, ale také na úrovni jejich kvantifikace a významu neurčitosti dat charakterizujících každou variantu ochranných opatření.

(A5) Vedle toho bez ohledu na techniku, která byla nakonec vybrána, se musí zavést kritéria pro porovnávání variant a výběr jedné z nich. Nejznámějším kritériem je peněžní hodnota mansievertu, která umožňuje přímé vážení ekonomických nákladů na zlepšení ochrany proti přínosu ve smyslu snížení dávky (ICRP, 1973). Následující odstavce krátce popisují tři základní techniky k podpoře rozhodování běžně užívané v praktickém uplatňování procesu optimalizace a dále koncept peněžního ekvivalentu mansievertu.

A.2. Analýza náklady-přínos

(A6) Existují různé způsoby, jak provést analýzu náklady-přínos (cost-benefit) (ICRP, 1983). Nejjednodušší cesta je vyjadřovat peněžním ekvivalentem různé faktory ovlivňující rovnováhu mezi náklady na jedné straně a přínosy na straně druhé a seskupovat je s cílem vybrat variantu s nejnižší peněžní hodnotou tohoto seskupení. Klíčovým momentem tohoto postupu při jeho aplikaci na výběr variant radiologické ochrany je používání peněžní hodnoty mansievertu, která umožňuje vyjádřit přínos ochrany (tj. snížení dávky způsobené zavedením určité alternativy ochrany) ve stejné jednotce, jako jsou vyjádřeny náklady ochrany (viz oddíl A.3).

(A7) Jednoduché vyjádření analýzy „cost-benefit“ spočívá v tomto popisu ekonomických nákladů kolektivní dávky (Y):

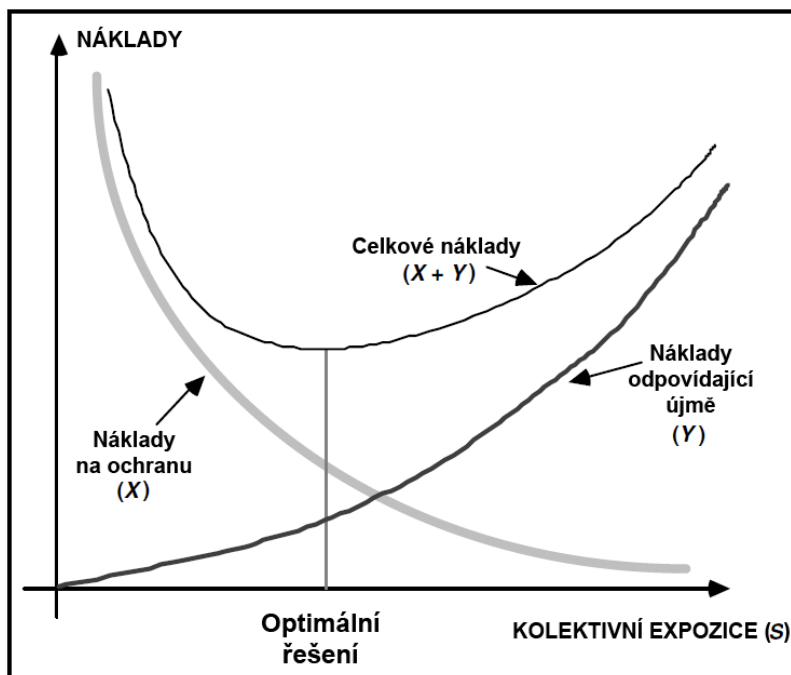
$$Y = \sum \alpha_j S_j,$$

kde α_j je peněžní ekvivalent mansievertu vztážený ke skupině obyvatel nebo pracovníků j , S_j je kolektivní dávka exponované populace obyvatel nebo pracovníků; přitom j se může vztahovat ke kategorii exponované populace, rozložení expozice v čase a k úrovni dávky jedincům (viz oddíl 4).

(A8) Celkové náklady každé zvolené alternativy se vypočítávají jako součet s ní spojených nákladů ochrany (X) a příslušných nákladů kolektivní expozice (Y). Optimální varianta ochrany je určována minimální hodnotou celkových nákladů, jak je to ilustrováno na obr. A2. Je důležité poznamenat, že při optimální úrovni ochrany je mezní náklad na ochranu rovný mezní ceně jednotky kolektivní dávky, které se ochranným opatřením zabránilo.

A.3. Peněžní ekvivalent mansievertu

(A9) Definice a používání ceny mansievertu byly předmětem debaty od doby formálního zavedení tohoto konceptu ICRP v *Publikaci 22* (ICRP, 1973) a zůstávají jím dosud. Předně vždy byly vznášeny námitky ohledně používání tohoto konceptu z hlediska etického pro jeho vazbu na ekonomickou „cenu života“. Za druhé metodologické principy, o něž se opírá jeho kvantitativní vyjádření, nenalezly nikdy široký souhlas.



Obr. A2. Analýza náklady-přínos.

(A10) Nehledě na tyto výhrady se koncept dále vyvíjel, neboť princip optimalizace se uplatňoval v praxi a mnohé organizace ve světě (provozovatelé a příslušné orgány) stanovily a zavedly hodnoty peněžního ekvivalentu, které by se měly užívat, ať už více či méně formálně, v procesu optimalizace v rámci technik k podpoře rozhodování.

(A11) Velkým krokem k vypracování konceptu bylo zavedení pojmu odvrácení rizika v *Publikaci 37* (ICRP, 1983). S pojmem odvrácení rizika se začal brát ohled na úvahy týkající se rizika jedinců, tj. na individuální dávky v exponované populaci. Tak kolektivní dávka jednoho mansievertu vyplývající z deseti individuálních dávek 100 mSv a tatáž kolektivní dávka vyplývající z 1000 dávek po 1 mSv nebude hodnocena peněžním ekvivalentem stejně, i když z hlediska kolektivní dávky bude potenciální riziko stejné, pokud se vyjde z hypotézy o bezprahovém lineárním vztahu mezi dávkou a účinkem. Když riziko pro jedince stoupá, působí všeobecná tendence zajišťovat větší ochranu a důsledkem je ochota přidělit více zdrojů a snížit riziko.

(A12) Od *Publikace 60* (ICRP, 1991) Komise klade stoupající důraz na hledisko rovnosti při posuzování rozdělení dávky a vyžaduje, aby jak individuální dávky, tak i počet exponovaných osob, byly udržovány na úrovni tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout pod příslušnými dávkovými optimalizačními mezemi s uvážením ekonomických a společenských faktorů.

(A13) Ve snaze zavést do peněžního ekvivalentu sievertu úvahy o odvrácení rizika a rovnosti v rozdělení individuálních dávek byl v devadesátých letech zpracován k tomuto účelu formální model (Lochard et al., 1996). Předložený návrh byl navržen tak, aby snížil kolektivní expozici spojenou s rozdělením dávek určité skupiny obyvatel nebo pracovníků, a přitom snížil šíři rozdělení a nejvyšší jednotlivé dávky tohoto rozdělení.

(A14) Z analytického hlediska byl tento model formalizován takto:

$$\alpha_{\text{ref}}(d) = \alpha_{\text{base}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^a,$$

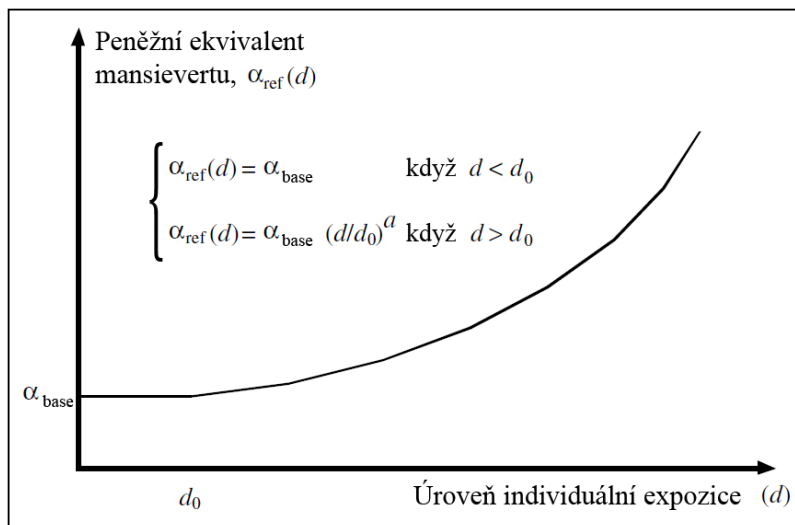
kde $\alpha_{\text{ref}}(d)$ je peněžní ekvivalent mansievertu při úrovni individuální expozice d , α_{base} je základní peněžní ekvivalent mansievertu, d_0 je nižší hodnota rozpětí individuálních dávek, od které může být uvažován fenomén odvrácení rizika, d je úroveň roční individuální expozice a a je koeficientem reprezentujícím stupeň odvrácení rizika ($a = 0$, když $d < d_0$; $a \geq 0$, když $d \geq d_0$).

(A15) Je to tedy systém, pomocí něhož peněžní ekvivalent mansievertu vzrůstá se stoupající úrovní expozice jedinců. Základní peněžní ekvivalent mansievertu α_{base} odráží hodnotu očekávaného zdravotního účinku. Bez ohledu na úroveň individuální expozice je peněžní ekvivalent zdravotního účinku spojeného s jedním mansievertem pokládán za konstantní. Koeficient „ a “ představuje míru odvrácení rizika a umožňuje zavést peněžní ekvivalent pro mansievert, který vzrůstá jako funkce úrovně expozice jedinců. Přitom nižší limit d_0 znamená, že o odvrácení rizika se může uvažovat pouze nad úrovní určité minimální expozice a v případě nízkých dávek se pokládá za zbytečné provádět opravu na vybočení z expozice jedince.

(A16) Obr. A3 znázorňuje tento model. Osa y ukazuje, jaký náklad je rozumný k zabránění jednomu mansievertu vyjádřenému peněžním ekvivalentem, osa x ukazuje úroveň individuálních dávek v milisievertech.

(A17) Pro zavedení modelu v praxi je nutné definovat hodnotu tří parametrů, „ α_{base} “, „ d_0 “ a „ a “:

- hodnota „ α_{base} “ představuje peněžní ekvivalent zdravotní újmy na jednotku kolektivní expozice, tj. zkrácení očekávané délky života na jeden mansievert. Pro vyčíslení této hodnoty lze užít různých ekonomických metod včetně přístupu lidského kapitálu (založeného na hrubém národním produktu) (Stokell et al., 1991).



Obr. A3. Model peněžního ekvivalentu mansievertu ilustrující úvahu o odvrácení rizika a rovnosti při stanovení jeho hodnoty.

- hodnota „ d_0 “ odpovídá horní mezi dávky jedince, pod kterou se odvrácení přídatné expozice neuvažuje. Tato hodnota závisí na míře neochoty přijmout riziko ohrožující exponovanou populaci. V případě profesní expozice se zdá rozumné řídit se hodnotou odpovídající příslušné primární optimalizační mezi pro obyvatele v normálních situacích (1 mSv za rok).
- koeficient „ a “ odráží míru neochoty přijmout přídatné riziko ohrožující exponovanou populaci. Lze ukázat, že „ a “ musí být větší než 1, aby vyhověl třem uvedeným cílům. V případě profesních expozic se zdá rozumné rozpětí hodnot koeficientu mezi 1,2 a 1,8 (Schneider et al., 1997).

A.4. Analýza náklady-účinnost

(A18) Přísně vzato analýza náklady-účinnost (cost-effectiveness) není technika optimalizace, ale metoda umožňující vyloučit z řady variant ty alternativy, které nespĺňují požadavek efektivity vynaložených nákladů. Pro zbývající alternativy, které vyhovují podmínce „cost-effectiveness“ se potom stanoví pořadí a alternativy se navzájem porovnají (ICRP, 1989). Základním principem metody je nejprve charakterizovat každou alternativu ochrany jejími náklady a odpovídající zbytkovou (residual) dávkou. Následujícím krokem je výběr alternativ splňujících požadavek efektivity vynaložených nákladů, tj. těch alternativ, pro něž neexistuje variantní řešení vedoucí ke stejné zbytkové kolektivní dávce při nižších nákladech na ochranu nebo ke stejné úrovni nákladů na ochranu vedoucí k nižší zbytkové kolektivní dávce.

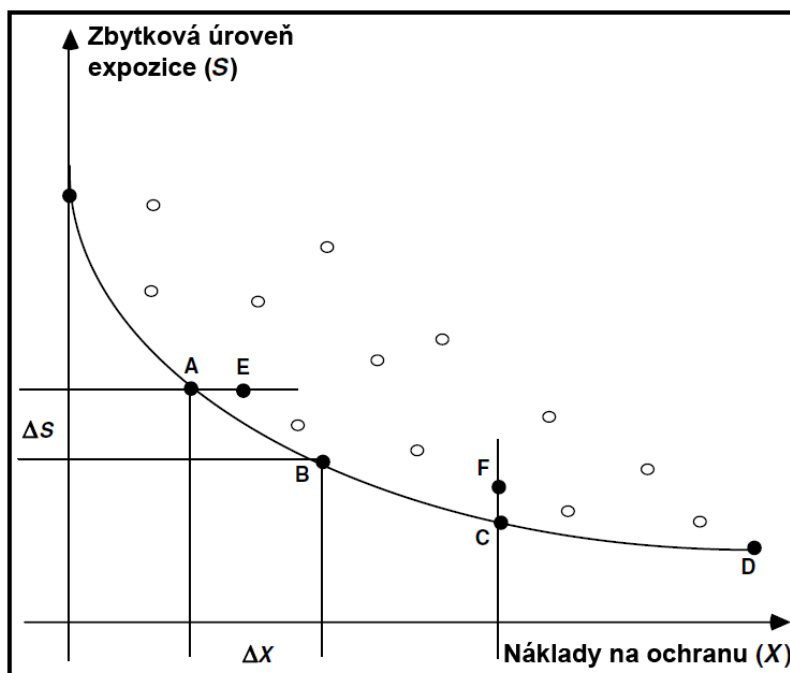
(A19) Tento proces může být ilustrován jednoduchým grafem (obr. A4). Každá alternativa je znázorněna kroužkem a všechny varianty, které jsou efektivní, leží na křivce charakterizující vztah cost-effectiveness. Např. varianta A dovoluje dosáhnout zbytkovou úroveň expozice při nižších nákladech než varianta E a varianta C vede k nižší zbytkové kolektivní dávce při stejných nákladech jako varianta E. Všechny ostatní varianty ochrany, které neleží na křivce, nespĺňují požadavek efektivity nákladů a musí se vyloučit z dalších úvah.

(A20) Formálně je analýza náklady-účinnost založena na analýze „mezních nákladů“ každé varianty ochrany, která se musí porovnávat s nejbližší levnější nebo dražší variantou. Jestliže nějaký malý přídatný náklad vede k mnohem vyšší efektivitě ve smyslu snížení dávky, splňuje tato nová varianta požadavek efektivity nákladů lépe. Nakonec každá varianta splňující podmínku efektivity nákladů může být charakterizována vzestupem nákladů při přechodu od jedné varianty k nejbližší vyšší $[\Delta X]$ a odpovídajícím poklesem kolektivní dávky $[\Delta S]$. Kvocient $[\Delta X/\Delta S]$ se nazývá podíl náklady-účinnost (cost-effectiveness ratio) a představuje základ pro určování pořadí různých variant ochrany. Nejlepší variantou je ta, jejíž podíl je rovný peněžnímu ekvivalentu mansievertu, vybranému jako referenční kritérium pro konkrétní expoziční situaci nebo je právě pod ním.

(A21) Přitom však určení křivky náklady-účinnost, ani stanovení odpovídajícího podílu náklady-účinnost nevytváří žádný základ pro výběr optimální varianty ochrany. Tento výběr je umožněn zavedením referenční hodnoty pro podíl náklady-účinnost, tj. peněžního ekvivalentu mansievertu, jak je to definováno výše v souvislosti s analýzou „cost-benefit“.

A.5. Vícefaktorová analýza přínosnosti (multi-attribute utility analysis)

(A22) Když příslušné znaky (attributes) k charakterizaci expoziční situace, mimo újmy z ozáření a nákladů na ochranu, jsou početné nebo v peněžních ukazatelích obtížně kvantifikovatelné, a přitom jsou kvantifikovatelné podle jiných kritérií nebo připouštějí stanovit kvantitativním způsobem své pořadí, může být vhodnější použít vícefaktorovu analýzu přínosnosti (multi-attribute utility analysis – MAUA) (ICRP, 1989).



Obr. A4. Analýza náklady-účinnost (cost-effectiveness analysis).

(A23) Základním principem této techniky je vytvoření skórovacího schématu (nebo-li funkce vícefaktorové přínosnosti – multiple utility function) pro každou alternativu ochrany na základě všech významných kritérií charakterizujících situaci (tj. nákladů zvoleného ochranného opatření, kolektivní dávky, dávky jedincům, rozložení expozice v čase a prostoru, vnímání úrovně rizika aj.). Identifikace různých alternativ ochrany, což bývá prvním krokem v metodě MAUA, je spojena s definováním příslušných kritérií pro konkrétní rozhodovací proces. Potom podle těchto jednotlivých kritérií opatření musí být vyhodnoceno (buď kvantitativně, nebo kvalitativně) každé ochranné opatření. Vzhledem k různorodosti kritérií je variantám ochrany přiřazeno v rámci každého kritéria rozdílné pořadí. Další krok spočívá v přiřazení váhových faktorů každému kritériu, aby se vyjádřila relativní důležitost náležející každému z těchto kritérií. Je třeba poznamenat, že toto je nejdůležitější a často obtížný krok v MAUA. Přitom však existuje několik metod k odvození souboru hodnot váhových faktorů a ať už je použito kterékoliv z nich, volba těchto faktorů musí být vždy zdůvodněna.

(A24) Formálně je posledním krokem každé alternativy vyhodnocení její celkové přínosnosti (U_i), která se vypočítá takto:

$$U_i = \sum k_j u_{j,i} ,$$

kde i je ukazatel varianty ochrany, j je ukazatel kritéria, k_j je váhový faktor vyjadřující relativní důležitost každého kritéria (normalizovaného $\sum k_j = 1$) a $u_{j,i}$ je dílčí přínosnost vyplývající z jednotlivého kritéria j .

(A25) Je důležité poznamenat, že dílčí přínos vyplývající z každého kritéria může být definován buď jako lineární funkce hodnoty příslušející kritériu, nebo jako funkce nelineární umožňující zahrnout do analýzy preference vnesené nositelem rozhodování. Je například možné definovat funkce přínosnosti se zahrnutím odvrácení rizika podle úrovně individuálních expozic.

(A26) Nakonec se vybere alternativa ochrany, která vede k nejvyšší celkové přínosnosti. Vzhledem k tomu, že váhové faktory se většinou opírají o hodnotový žebříček nositele rozhodování, doporučuje se naléhavě provést analýzu citlivosti pro rozdílné soubory váhových faktorů, aby se testovala „odolnost“ výsledků.

A.6. Závěry

(A27) Pro mnoho expozičních situací je použití technik k podpoře rozhodování účinným nástrojem k formalizaci a kvantifikaci výběru nejlepší alternativy v procesu optimalizace. Výběr konkrétní techniky je určován zejména typem dostupných vstupních dat a ochotou zohlednit v konečných výsledcích různé příznačné znaky/atributy charakterizující situaci. Z toho hlediska je zřejmé, že vícefaktorová analýza přínosnosti (MAUA) se spíše hodí pro situace s protikladnými atributy a hledisky nositelů rozhodování. Je ovšem důležité mít na paměti, že s mnoha atributy je možné se vypořádat také v rámci metody „cost-benefit“ za předpokladu, že proces vážení vztažený k zařazeným atributům je jasně vymezen a že se k potvrzení výsledků provede široká analýza citlivosti.

(A28) Nakonec je třeba zdůraznit, že obtíže s uplatňováním technik k podpoře rozhodování nespočívají v jejich vlastní složitosti, ale ve spletnosti situací, o kterých se má rozhodovat, s jejich mnohočetnými atributy, alternativami ochrany a hodnotícími úvahami. Ve skutečnosti ať už jde o jakoukoliv techniku k podpoře rozhodování, tedy metodu náklady-účinnost, náklady-přínos nebo vícefaktorovou analýzu přínosnosti, jsou hlavními podmínkami jejich úspěšného použití správné vytyčení významných charakteristik situace, shromáždění vhodných dat, zahrnutí neurčitostí a kvantitativně hodnotící úsudek.

ODKAZY

- Beierle, 2002. *Democracy in Practice – Public Participation in Environmental Decisions. Resources for the Future.* Washington DC.
- IAEA, 1991. *Safety Culture. INSAG 4.* International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2002. *Optimisation of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure.* Safety Report Series no. 21. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- ICRP, 1955. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Revised December 1, 1954).* Br. J. Radiol. (Suppl. 6).
- ICRP, 1959. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 1, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1966a. *The Evaluation of Risks from Radiations.* ICRP Publication 8, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1966b. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 9, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1973. *Implications of Commission Recommendations that Doses be Kept as Low as Readily Achievable.* ICRP Publication 22, Pergamon Press, Oxford.
- ICRP, 1977. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
- ICRP, 1983. *Cost–benefit analysis in the optimisation of radiological protection.* ICRP Publication 37, Ann. ICRP 10 (2/3).
- ICRP, 1988. *Optimisation and decision-making in radiological protection.* ICRP Publication 55, Ann. ICRP 20 (1).
- ICRP, 1989. *Optimization and decision-making in radiological protection,* ICRP Publication 55, Ann. ICRP 20 (1).
- ICRP, 1991. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.* ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1–3).
- ICRP, 1993. *Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency.* ICRP Publication 63, Ann. ICRP 22 (4).
- ICRP, 1997. *Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste.* ICRP Publication 77, Ann. ICRP 27 (Suppl.).
- ICRP, 1998. *General principles for the radiation protection of workers.* ICRP Publication 75, Ann. ICRP 27 (1).
- ICRP, 1999. *Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure.* ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29 (1–2).
- IPSN, 2002. *Collective Dose: Indications and Contraindications.* Report from a Working Group. EDP Sciences, Paris, France.
- Lochard, J., Lefaure, J., Schieber, C., Schneider, T., 1996. *A model for the determination of monetary values of the man-Sievert.* J. Radiol. Prot. 16, 201–204.
- NEA, 1997. *Work Management in the Nuclear Power Industry.* Prepared for the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health by the ISOE Expert Group on the Impact of Work Management on Occupational Exposure. OECD/Nuclear Energy Agency.
- NEA, 1998. *The Societal Aspects of Decision Making in Complex Radiological Situations.* Proceedings of an International Workshop, Villigen, Switzerland, 13–15 January 1998. Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- NEA, 2001. *Better Integration of Radiation Protection in Modern Society.* Proceedings of an International Workshop, Villigen, Switzerland, 23–25 January 2001. Organisation for Economic Cooperation and Development/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- NEA, 2004. *Stakeholder Participation in Decision Making Involving Radiation-exploring Processes and Implications.* Proceedings of an International Workshop, Villigen, Switzerland, 21–23 October 2003. Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- Schneider, T., Schieber, C., Eeckhoudt, L., Gollier, C., 1997. *Economics of radiation protection: equity considerations.* Theo. Decis. 43, 241–251.

- Stokell, P., Croft, J., Lochard, J., Lombard, J., 1991. ALARA: from Theory towards Practice. Report EUR 13796 EN. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- UN, 1992. Report of the United Nations Conference in the Human Environment, Stockholm, 5–16 June 1992, United Nations Publication Sales No. E.73.II.A14 and corrigendum (Chap. 1).