
 ÚJV Řež a.s. – Sparte ENERGOPROJEKT PRAHA Husinec-Řež, Hausnr. 130, PLZ 250 68	<i>Leitendes Referat</i> 509	<i>Erstellendes Referat</i> 501	<i>Aktenvernichtungszeichen</i>
	<i>Bau – Vorhaben</i> NJZ EIA		<i>Objekt – Betriebseinheit</i>
<i>Name der Dokumentation</i> Ergänzende Unterlagen für Kap. D.III der EIA-Dokumentation für die neue Kernkraftanlage im Kraftwerk Temelín			<i>Sicherheitsstufe</i>
<i>Name der Dokumentation</i> Ergänzende Informationen zu den Analysen von schweren Unfällen für die Dokumentation EIA NJZ ETE			<i>Nummer des Ausdrucks:</i>
<i>Datei</i> 11B_TezkeHavarie(1).doc	<i>Datum</i> 12/2010	<i>Blatt insgesamt</i> 34	
<i>Erstellt</i> Kollektiv	<i>Gepprüft</i> J. Klumpar	<i>Freigegeben</i> Ing. V. Pešička	
Erstellendes Kollektiv: <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Ing. J. Mišák, CSc. Bc. O. Pokorný</p> </div> </div>			
<i>Auftragsnummer</i> 29-4949-30-045	<i>Archivnummer</i> EGP – 5010-F-101049	<i>Index</i>	<i>Seite</i> 1/34

Inhalt:

ABKÜRZUNGSLISTE	4
1.1 Schwere Unfälle und ihre Meisterung in neuen Reaktortypen	5
1.2 Auswertung der Strahlenfolgen bei in der Studie der Umweltverträglichkeitsprüfung (EIA) genannten schweren Unfällen	6
1.3 Ziele dieses Dokuments	9
2 KONSERVATIVE BESTIMMUNG DES QUELLENGLIEDS	11
2.1 Grundsätze des Verfahrens zur Bestimmung des Quellenglieds	11
2.2 Verfahren zur Bestimmung des Quellenglieds	12
2.3 Quantitative Bestimmung des Quellenglieds für die einzelnen Projekte	16
2.4 Bestimmung des verallgemeinerten Quellenglieds	17
3 AUSWERTUNG DER STRAHLENFOLGEN EINES SCHWEREN UNFALLS	18
3.1 Verfahren zur Auswertung der Strahlenbelastung	18
3.2 Quellenglied	18
3.3 Wege der Strahlenexposition	19
3.4 Warenkorb	21
3.5 Alter des repräsentativen Individuums	22
3.6 Zeitpunkt der Unfallentstehung	24
3.7 Residenzzeit	24
3.8 Ergreifung von Schutzmaßnahmen	25
3.9 Verteilung der in die Umgebung freigesetzten Jodformen	26
3.10 Gelände unter der Abluffahne	27
3.11 Meteorologische Bedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls	28
3.12 Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Folgedosen durch innere Strahlenexposition	30
3.13 Transport radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre	31
3.14 Einfluss umliegender Gebäude	31
3.15 Entfernung der auf der Oberfläche abgelagerten Radionuklide	31
4 SCHLUSS	32
5 LITERATUR	33

Verzeichnis der Graphen:

No table of figures entries found.

Graph 1 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung NO (Týn nad Vltavou), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie D mit Regen, Ingestion gemäß dem globalen Warenkorb	7
Graph 2 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung OSO (Österreich), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie F, Ingestion gemäß dem landwirtschaftlichen Warenkorb (rein lokale Produktion).....	8
Graph 3 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie F, Ingestion gemäß dem landwirtschaftlichen Warenkorb (rein lokale Produktion).....	8
Graph 4 - Anteil der Expositionswege an der Gesamtstrahlenbelastung in Richtung NO (Týn nad Vltavou)	20
Graph 5 - Anteil der Expositionswege an der Gesamtstrahlenbelastung in Richtung OSO (Österreich)	20
Graph 6 - Einfluss der Warenkörbe auf die Werte der lebenslangen (70 Jahre) Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; Wetterkategorie F.....	22
Graph 7 - Einfluss des unterschiedlichen Alters auf die Werte der lebenslangen (70 Jahre Integration der Folgedosen) Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F.....	23
Graph 8 - Einfluss der jährlichen Zeit (Fallout) und der Residenzzeit auf die Werte der lebenslangen Dosis [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F.....	25
Graph 9 - Einfluss von I-131 auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F – für den Fall ohne Anwendung und mit Anwendung der Jodprophylaxe	26
Graph 10 - Einfluss der Formen des I-131 auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), Lebensdosis (70 Jahre), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F – Unterschiedliche Zusammensetzung der Jodformen im Austritt	27
Graph 11 - Einfluss des Geländes auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] für unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen, repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F.....	28
Graph 12 - Einfluss lokaler Niederschläge ab der deutschen Grenze auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW, repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F.....	30

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 - Isotopengruppen gemäß NUREG-1465	11
Tabelle 2 - Koeffizienten der Radionuklide für erdnahen Austritt und Höhenaustritt.....	12
Tabelle 3 - EPR.....	16
Tabelle 4 - WWER.....	16
Tabelle 5 - AP 1000.....	16
Tabelle 6 - Konservatives Quellenglied	17
Tabelle 7 - Zeitliche Entwicklung der kurzfristigen Äquivalentdosis (ohne Ingestion) in Richtung NO (Erwachsener).....	20
Tabelle 8 - Die einzelnen Varianten der meteorologischen Bedingungen	28

ABKÜRZUNGSLISTE

ČEZ Abkürzung)	ein Teil des Firmennamens der Gesellschaft ČEZ, a. s. (ist keine Abkürzung)
ČR	Tschechische Republik
EIA	Umweltfolgenabschätzung (<i>engl.</i> Environmental Impact Assessment)
ETE	Kraftwerk Temelín
EUR	Anforderungen europäischer Energieerzeuger an KKWs mit Leichtwasserreaktoren (<i>engl.</i> European Utility Requirements)
JE	Kernkraftwerk
SW	Südwest
MAAE	Internationale Atomenergie-Organisation
NJZ	neue Kernkraftanlage
PSA	Wahrscheinlichkeitsbewertung der Sicherheit (<i>engl.</i> Probabilistic Safety Assessment)
SÚJB	Staatliche Behörde für Atomsicherheit
NO	Nordost
OSO	Ostsüdost
ZHP	Planungszone (für Unfälle)

EINLEITUNG

Aufgrund der Anlage 1 zum Teilvertrag Nummer DS ČEZ, a. s.: 4100034031 über Gewährung von Unterlagen für die EIA-Dokumentation zum Kapitel D.III. Charakteristik der Umweltgefährdungen bei möglichen Unfällen und außerordentlichen Vorfällen wurde durch das Kernforschungsinstitut ÚJV-EGP im Jahr 2009 eine Analyse der Strahlenfolgen bei ausgewählten Ereignissen erstellt. Anschließend wurden weitere ergänzende Analysen erstellt, die auf die nachträglichen, sich auch aus den Konsultationen der Mitarbeiter von ČEZ, a.s. und der Kernsicherheitsbehörde SÚJB ergänzenden Anforderungen reagieren. Diese Unterlagenstudien wurden anschließend durch den Verfasser der Dokumentation der Umweltverträglichkeitsprüfung (SCES- Group, spol. s r. o.) zur Erstellung der jeweiligen Kapitel verwendet [1].

Im Verlauf der Vorbereitung auf die erwarteten Konsultationen und öffentliche Gespräche hat die ČEZ, a. s. die im vorgelegten Dokument zusammengefassten ergänzenden Informationen zur Problematik der Auswertung der Folgen von schweren Unfällen spezifiziert. Das Dokument befasst sich einerseits mit der Bestimmung des Quellenglieds, andererseits mit der Auswertung der Strahlenfolgen eines schweren Unfalls in der Umgebung des KKW's. Andere Unfalltypen sind nicht Gegenstand dieses Dokuments.

Die Autoren danken für wertvolle Anregungen und Informationen Ing. Petr Pecha, CSc. und Ing. Zdenek Prouza, CSc.

1.1 Schwere Unfälle und ihre Meisterung in neuen Reaktortypen

Als schwere Unfälle eines KKW's bezeichnen wir im Einklang mit den Standards der MAAE [2] sowie mit dem Entwurf der neugefassten Verordnung der SÚJB 195/99 [3] auslegungsüberschreitende Unfälle, die mit einer umfangreichen Verletzung der Aktivzone des Reaktors verbunden sind. Im Fall eines Druckwasserreaktors werden so Unfälle bezeichnet, bei denen eine Schmelze des Kernbrennstoffs ohne Rücksicht auf die Ursache und die Art der Beschädigung der aktiven Zone eintritt. Diese Unfälle sind auf der internationalen Skala INES mit der Stufe 5 bis 7 klassifiziert.

Die in den Projekten neuer Kernkraftwerke (KKW) geltend gemachten Anforderungen unterscheiden sich deutlich von den Projekten der im Betrieb befindlichen KKW's durch die erweiterte Nutzung des Mehrbarrierenkonzepts sowohl durch Vorbeugung von schweren Unfällen als auch durch Meisterung ihrer Folgen. Die Entstehung eines schweren Unfalls kann nur bei mehrfacher Versagung der KKW-Systeme oder des Personals auf unterschiedlichen unabhängigen Ebenen der mehrschichtigen Sicherheit eintreten, z. B. beim Verlust des Primärkühlmittels und anschließenden langfristigen Verlust der äußeren und dann auch inneren Quellen der Stromversorgung. Auch für solche extrem unwahrscheinlichen Unfälle, sind die KKW's der neuen Generation mit speziellen Systemen zur Meisterung einer solchen Situation ausgerüstet. Diese KKW's sind so entworfen, dass die Frequenz des Vorkommens eines schweren Unfalls niedriger als 10^{-5} /Reaktor.Jahr ist [4]. Diese Forderung ist für alle für den Bau in Temelín in Frage kommenden Reaktortypen mit großer Reserve (bei unterschiedlichen Blöcken 3 bis 30-Mal) erfüllt.

Auch bei der sehr unwahrscheinlichen Entstehung eines schweren Unfalls, bei der der eigentliche Reaktor zerstört würde, kann eine deutliche Menge an radioaktiven Stoffen in die Umwelt nur dann freigesetzt werden, wenn es zu einem Austritt dieser Stoffe auch über die weitere Barriere – den Sicherheitsbehälter – käme. Der Sicherheitsbehälter ist deshalb bei den neuen Kraftwerkstypen so geplant und mit speziellen Systemen ausgerüstet, dass er seine Integrität auch nicht infolge der mit schweren Unfällen verbundenen Erscheinungen, wie Interaktionen des geschmolzenen Brennstoffs mit Beton, Brand oder Explosion von

Wasserstoff, Wirkungen fliegender Gegenstände, Druckaufbau u. Ä. einbüßt. Die Kühlung der Schmelzzone und die Ableitung von Wärme aus dem Sicherheitsbehälter erfolgt so, dass dieser nicht nur während des Unfalls, sondern auch eine lange Zeit nach dem Unfall unverletzt bleibt. Ein international anerkanntes Wahrscheinlichkeitskriterium, das einen deutlichen Austritt von radioaktiven Stoffen in die Umwelt verhindert, ist eine Frequenz der Entstehung eines schweren, mit Integritätsverlust des Sicherheitsbehälters verbundenen Unfalls von unter 10^{-6} /Reaktor.Jahr [4]. Diese Forderung ist für alle potenziellen, für den Bau in Temelín in Frage kommenden Reaktortypen typischerweise mit einer Reserve von 15 bis 50-Mal erfüllt. Es kann also gesagt werden, dass im Unterschied zu den in Betrieb befindlichen Kraftwerken bei allen geplanten neuen Typen die Entstehung eines schweren, mit Integritätsverlust des Sicherheitsbehälters verbundenen Unfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann (Frequenz unter 10^{-7} /(Reaktor.Jahr)).

In die Umwelt wird auch bei einem schweren Unfall mit erhaltener Integrität des Sicherheitsbehälters nur ein Bruchteil der Aktivität der Spaltprodukte aus dem Brennstoff freigesetzt. Die Strahlenfolgen eines schweren Unfalls sind in den Sicherheitsanforderungen an neue Kernkraftanlagen so beschränkt, dass der Austritt radioaktiver Stoffe weder eine deutliche Strahlenexposition, noch eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe des KKW's verursachen, noch die Einführung von langfristigen, großflächigen Beschränkungen in der Regelung von Nahrungsmittelketten, in der Boden- oder Wasserflächennutzung verursachen darf. Die Beschränkung der Strahlenfolgen soll die Situation mit sich bringen, dass auch bei einem schweren Unfall weder eine Evakuierung innerhalb der Schutzzone des KKW's, noch weitere dringliche Schutzmaßnahmen (Deckung, Jodprophylaxe) innerhalb der Planungszonen des KKW's erforderlich sind.

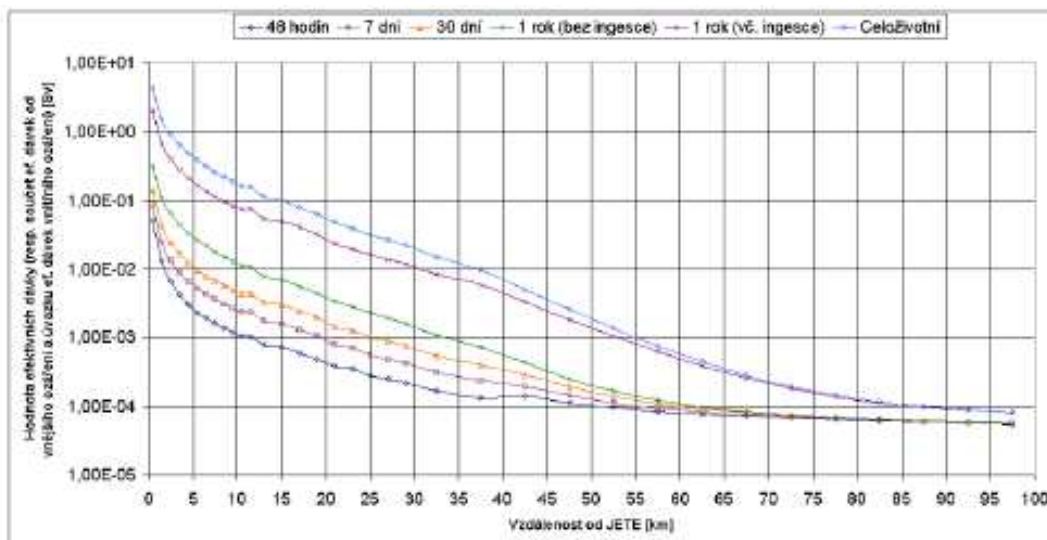
1.2 Auswertung der Strahlenfolgen bei in der Studie der Umweltverträglichkeitsprüfung (EIA) genannten schweren Unfällen

Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten für die Studie der Umweltverträglichkeitsprüfung [1] wurden umfangreiche Berechnungsanalysen zur Auswertung der Strahlenfolgen von schweren Unfällen durchgeführt. Für das konservativ gewählte Quellenglied wurden unterschiedliche Varianten der Berechnungen mit Orientierung auf unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen der radioaktiven Stoffe, auf Auswertung unterschiedlicher Expositionswege und -dauern, Wettereinflüsse, Alter des repräsentativen Individuums (Kind oder Erwachsener), Zusammensetzung des Warenkorb, Abstand vom KKW (bis 100 km) durchgeführt. Hinsichtlich des Abstands wurden detailliert die Bedingungen an der Grenze der Schutzzone (1 – 2 km vom Reaktor), an der Grenze der Planungszone (12 – 14 km) und an den Grenzen zu Österreich (45 – 50 km) und Deutschland (50 – 55 km) ausgewertet. Alle Berechnungen wurden ohne die Einbeziehung beliebiger Schutzmaßnahmen in der Umgebung des KKW's durchgeführt.

In die eigentliche EIA-Studie [1] wurden nur ausgewählte Rechnungsergebnisse aufgenommen, konkret:

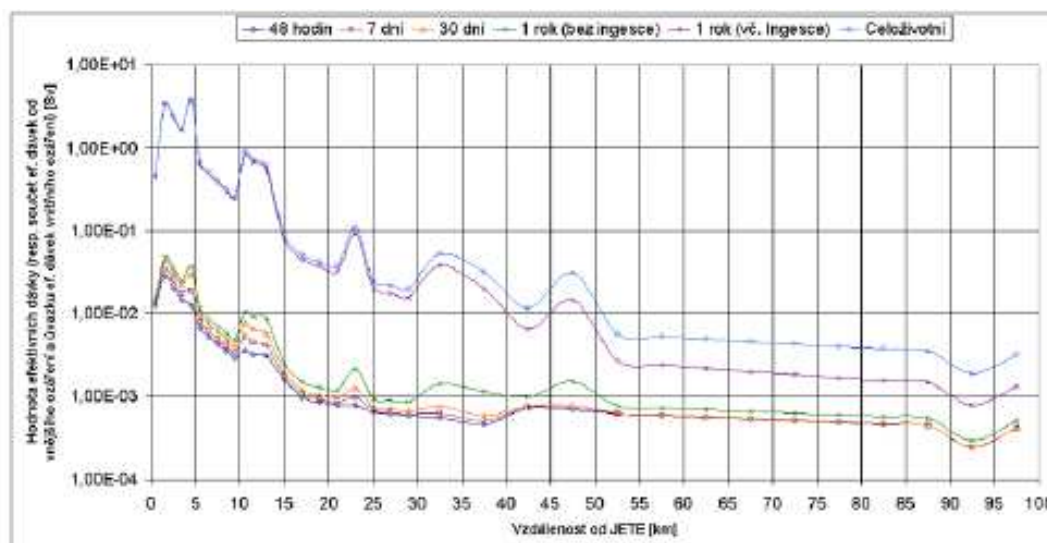
- Für die Auswertung der Maßnahmen auf dem Gebiet Tschechiens eine Variante der Dosisberechnung für ein Kind im Alter von 1 – 2 Jahren, für die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in Richtung Týn nad Vltavou bei der Wetterkategorie mit den größten Folgen in der Umgebung des KKW's,
- Für die Auswertung der Folgen im Grenzgebiet je eine Variante der Dosisberechnung für ein Kind im Alter von 1 – 2 Jahren, für die Ausbreitung von radioaktiven Stoffen in Richtung nächster Entfernung zur österreichischen bzw. deutschen Grenze, bei der den Transport der Aktivität in große Entfernungen stark überhöhenden Wetterkategorie.

Die wichtigsten in der EIA-Studie [1] aufgeführten Ergebnisse werden in den folgenden Graphen 1, 2, 3 präsentiert.



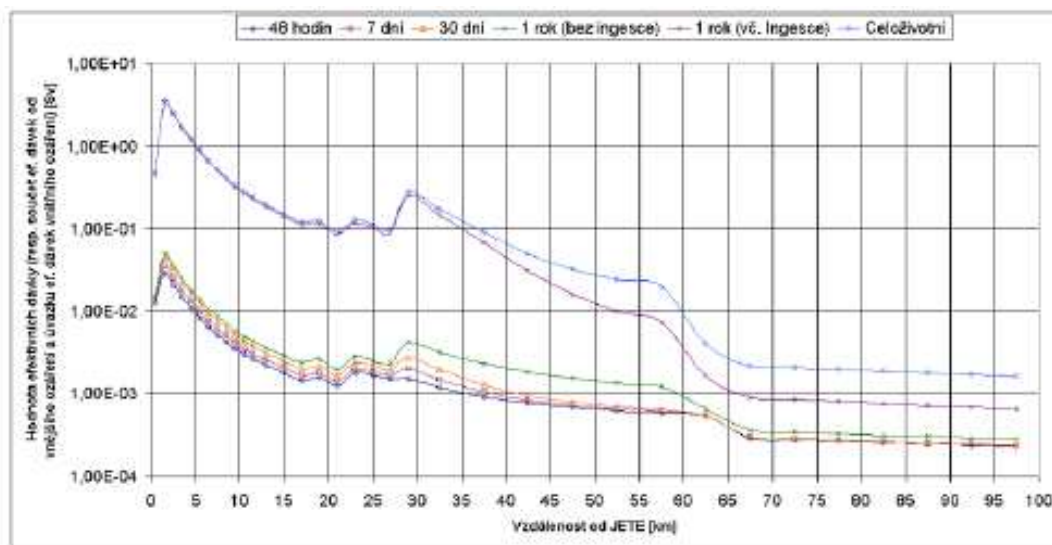
Hodnota efektivní dávky (resp. součet ef. dávek od vnějšího ozáření a úvazku ef. dávek vnitřního ozáření) /Sv/	Wert der effektiven Dosis (res. Summe der effektiven Dosen von äußerer Bestrahlung und der eff.Dosen der inneren Bestrahlung) /Sv/
48 hodin	48 Stunden
7 dní	7 Tage
30 dní	30 Tage
1 rok (bez ingesce)	1 Jahr (ohne Ingestion)
1 rok (včetně ingesce)	1 Jahr (mit Ingestion)
Celoživotní	Lebenslang
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 1 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung NO (Týn nad Vltavou), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie D mit Regen, Ingestion gemäß dem globalen Warenkorb



Hodnota efektivní dávky (resp. součet ef. dávek od vnějšího ozáření a úvazku ef. dávek vnitřního ozáření /Sv/	Wert der effektiven Dosis (res. Summe der effektiven Dosen von äußerer Bestrahlung und der eff.Dosen der inneren Bestrahlung /Sv/
48 hodin	48 Stunden
7 dní	7 Tage
30 dní	30 Tage
1 rok (bez ingesce)	1 Jahr (ohne Ingestion)
1 rok (včetně ingesce)	1 Jahr (mit Ingestion)
Celoživotní	Lebenslang
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 2 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung OSO (Österreich), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie F, Ingestion gemäß dem landwirtschaftlichen Warenkorb (rein lokale Produktion)



Hodnota efektivních dávek (resp. součet ef. dávek od vnějšího ozáření a úvazku ef. dávek vnitřního ozáření /Sv/	Wert der effektiven Dosis (res. Summe der effektiven Dosen von äußerer Bestrahlung und der eff.Dosen der inneren Bestrahlung /Sv/
48 hodin	48 Stunden
7 dní	7 Tage
30 dní	30 Tage
1 rok (bez ingesce)	1 Jahr (ohne Ingestion)
1 rok (včetně ingesce)	1 Jahr (mit Ingestion)
Celoživotní	Lebenslang
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 3 - Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und effektive Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind von 1-2 Jahren; Wetterkategorie F, Ingestion gemäß dem landwirtschaftlichen Warenkorb (rein lokale Produktion)

DIE IN DEN UNTERLAGEN FÜR DIE EIA-Dokumentation enthaltenen Berechnungen erfolgten gemäß der Vorgabe, die zum Ziel hatte, die Strahlenfolgen eines schweren Unfalls den Richtwerten für die Ergreifung von dringlichen Maßnahmen bzw. Folgemaßnahmen

gegenüberzustellen (sog. Äquivalentdosis von 5 mSv für 2 Tage als der niedrigste Richtwert für Deckung und 50 mSv für 7 Tage für Evakuierung, 30 mSv/Monat bzw. 1 Sv Lebensdosis für dauerhafte Umsiedlung). Aufgrund der durchgeführten Berechnungen wurden in der EIA-Dokumentation [1] folgende Schlüsse präsentiert:

- Beim Modellieren der Strahlenfolgen eines schweren Unfalls kommt es zu keiner Überschreitung von Richtwerten für die Einführung aller dringlichen Schutzmaßnahmen hinter den Grenzen der bestehenden Planungszonen des KKW's Temelín.
- Was die Folgemaßnahmen auf dem Gebiet Tschechiens betrifft, führen die Analysen zu dem Schluss, dass auch in der nächstgelegenen Wohnzone um das KKW Temelín Folgen mit Notwendigkeit einer dauerhaften Umsiedlung praktisch ausgeschlossen werden können.
- Aus der Auswertung der Strahlenexposition infolge des Verbrauchs von ausschließlich lokalen landwirtschaftlichen Produkten folgt, dass eine vorübergehende Regelung des Verbrauchs und der Verbreitung dieser Produkte bis in eine Entfernung von 40 km in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung der Radionuklide von der Quelle nicht ausgeschlossen werden kann.
- Aus der Auswertung der Einflüsse auf das Grenzgebiet ergibt sich, dass bei der Annahme eines sehr konservativ gewählten landwirtschaftlichen Warenkorbs die Überschreitung der unteren Grenze des Richtwerts für die Regelung der Nahrungsmittelketten in einer Entfernung bis zu 60 km von der Quelle nicht ausgeschlossen werden kann.
- Mit mehr als der Hälfte beteiligt sich am Gesamtwert der Strahlenexposition der ingestive Expositionsweg. Daraus kann hergeleitet werden, dass die Einführung einer kurzfristigen Beschränkung des Verbrauchs von lokal produzierten Nahrungsmitteln einen deutlichen Einfluss auf die Senkung der empfangenen Dosis hätte.
- Aus den Berechnungen der radiologischen Auswirkungen von Austritten radioaktiver Stoffe am Modellfall eines schweren Unfalls ergibt sich, dass aus dem Titel des Ausbaus des KKW's Temelín um weitere 2 Blöcke kein Grund für die Erweiterung der bestehenden Planungszone besteht.

Obwohl für die Analyse des Verlaufs und der Folgen schwerer Unfälle im Unterschied zu den anzunehmenden Unfällen gemäß der in Vorbereitung begriffenen neugefassten Verordnung 195/99 GBl. [3], gemäß den Sicherheitsstandards der MAAE [5] sowie dem Dokument European Utility Requirements [6] (EUR) realistische (best-estimate) Verfahren eingesetzt werden können, wurden alle präsentierten Ergebnisse unter Einsatz konservativer Voraussetzungen sowohl hinsichtlich der Wahl des Quellenglieds als auch hinsichtlich des Transports radioaktiver Stoffe in der Umgebung und ihren Gesundheitsfolgen für die Bevölkerung gewonnen. Im nächsten Teil dieses Dokuments sind die Folgen dieser konservativen Vorgehensweisen aufgeführt, die die vorgenannten Schlüsse erklären.

1.3 Ziele dieses Dokuments

Anknüpfend an die in der EIA-Dokumentation aufgeführten Angaben hat dieses Dokument die folgenden Ziele:

- Gewährung ergänzender Informationen zum Vorgehen bei der Erstellung und zu den Ergebnissen der Berechnungsauswertung der Strahlenfolgen bei in der EIA genannten schweren Unfällen.
- Güte- und Mengenauswertung der Bedeutung und der Gewichtung der jeweiligen konservativen, in den Berechnungen angewandten Voraussetzungen.

- Bestätigung, dass die genannten Ergebnisse unter Einsatz der „Hüllen“-Methode der Auswertung (beschränkte Unterlagen zur künftigen Kernkraftanlage) so konservativ sind, dass auch die künftige Auswertung eines schweren Unfalls für die ausgewählte Quelle (Ergebnisse der PSA 1, 2) zu keinen anderen, hinsichtlich der Strahlenfolgen weniger günstigen Folgen eines schweren Unfalls für die Bevölkerung und die Umwelt führt.

2 KONSERVATIVE BESTIMMUNG DES QUELLENGLIEDS

2.1 Grundsätze des Verfahrens zur Bestimmung des Quellenglieds

Das sich aus Menge, Zusammensetzung und zeitlicher Verteilung der bei gegebenem Strahlungsunfall außerhalb des Sicherheitsbehälters freigesetzten radioaktiven Stoffe ergebende Quellenglied bestimmt maßgeblich die möglichen radiologischen Folgen eines solchen KKW-Unfalls. Im EIA-Dokument [1] wurde das Quellenglied konservativ mit der „Hüllen“-Methode geschätzt – d. h. mit der oberen Schätzung des möglichen Austritts für die einzelnen ausschlaggebenden Radionuklide. Für diese obere Schätzung wurden die unüberschreitbaren Grenzwerte für die Freisetzung bestimmter radioaktiver Isotope angewandt, die in den Ausschreibungsunterlagen einheitlich für alle potenziellen Auftragnehmer festgelegt wurden. Die Wahl der spezifischen technischen Mittel zur Einhaltung dieser Grenzwerte (z. B. Art der Sicherstellung der Sicherheitsbehälterintegrität, Stabilisierung geschmolzener Aktivzone, ausreichende Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters, Ausschließen eines Sicherheitsbehälter-Bypasses, Verwendung von Dushsystem, Verwendung eines doppelten Sicherheitsbehälters mit gefiltertem Zwischenraum u. Ä.) obliegt dem Auftragnehmer. In dieser Phase der Auswahl eines Auftragnehmers wurde dieses Verfahren für besser geeignet und konservativer erachtet als die Übernahme der spezifischen Quellenglieder aus der inoffiziellen Sicherheitsdokumentation der einzelnen Reaktortypen, die zu einer unbegründeten Begünstigung eines bestimmten Auftragnehmers führen könnte, weil die spezifischen Projektlösungen für die neue Kernkraftanlage in Temelín nicht bekannt sind und dem Auftragnehmer stehen technische Mittel zur Verfügung, um diese Lösungen gemäß den Forderungen des Auftraggebers zu modifizieren. Es wäre unvernünftig, die ganze Ausschreibung durch die Verwendung von unbestätigten Angaben in Zweifel zu ziehen, die außerdem aufgrund von konkreten Vereinbarungen präzisiert werden können. Aus den gleichen Gründen wurde bei der Bestimmung des Quellenglieds den öffentlich zugänglichen und international verwendeten Unterlagen Vorzug vor den spezifischen Unterlagen der einzelnen Auftragnehmer gegeben.

In Abhängigkeit von den chemischen und physikalischen Formen der jeweiligen, bei einem schweren Unfall freigesetzten Radioisotope und von den radiologischen/gesundheitlichen Folgen können die Radioisotope in mehrere Gruppen gegliedert werden. Das Verhalten jeder dieser Gruppen kann durch ein charakteristisches/repräsentatives Radioisotop beschrieben werden. Eine ausreichende Erhöhung der maximalen zulässigen Aktivität für die Freisetzung dieses repräsentativen Radionuklids stellt dann sicher, dass die geschätzten Strahlenfolgen auch bei der Betrachtung aller weiteren Radioisotope in der gegebenen Gruppe konservativ sein werden. Die in der Regel verwendeten Isotopengruppen (z. B. gemäß dem Dokument NUREG-1465 [7]) und charakteristische Radionuklide in jeder Gruppe sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Tabelle 1 - Isotopengruppen gemäß NUREG-1465

Nummer der Gruppe	Bezeichnung der Gruppe	Elemente in der Gruppe	Charakteristisches Isotop
1	Edelgase	Xe, Kr	Xe 133
2	Halogene	I, Br	I 131
3	Alkalimetalle	Cs, Rb	Cs 137
4	Tellurgruppe	Te, Sb, Se	Te 131m

5	Strontium	Sr	Sr 90
6	Edelmetalle	Ru, Rh, Pd, Mo, Tc, Co	Ru 103
7	Lanthanoide	La, Zr, Nd, Eu, Nb, Pm, Pr, Sm, Y, Cm, Am	La 140
8	Cergruppe	Ce, Pu, Np	Ce 141
9	Barium	Ba	Ba 140

2.2 Verfahren zur Bestimmung des Quellenglieds

Eine Bedingung für die Teilnahme eines jeden Auftragnehmers an der Ausschreibung ist die Erfüllung der auf dem Dokument EUR [6] basierenden Ausschreibungsunterlagen. Die Ausschreibungsunterlagen enthielten auch Beschränkungen für die maximal zulässige Freisetzung von Aktivität in die Umgebung für ausgewählte Isotope unter den Bedingungen schwerer Unfälle. Durch die Verwendung der gleichen Ausschreibungsunterlagen auch für die Zwecke der EIA wird sichergestellt, dass in keinem konkreten Entwurf des KKW-Projekts die in der EIA präsentierten Strahlenfolgen überschritten werden.

Das Dokument EUR [6] enthält mehrere Kriterien, die die Austritte radioaktiver Stoffe in die Umgebung begrenzen. Von diesen Kriterien begrenzend sind folgende zwei:

- Ausschließen, dass die Bevölkerung innerhalb von 7 Tagen ab Entstehung des Unfalls in einer Entfernung von über 800 m ab dem Reaktor evakuiert wird,
- Einschränkung solcher wirtschaftlicher Folgen des Unfalls, die die Bedrohung des freien Handels mit Lebensmitteln und des Verzehrs von Lebensmitteln auf einem großen Gebiet für eine lange Dauer bedeuten würden. Das bedeutet selbstverständlich nicht, dass gefordert würde, dass sämtliche Maßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion in der Planungszone ausgeschlossen sind.

Unter Einsatz der genannten zwei Kriterien wurde in den Ausschreibungsunterlagen die Einhaltung der nachfolgenden Anforderungen vorgeschrieben, wobei die konkret verwendeten technischen Lösungen dem Beschluss eines jeden Auftragnehmers unterliegen:

- Der Gesamtaustritt des Isotops Cs-137 darf 30 TBq nicht überschreiten (begrenzt die langfristigen Folgen des Unfalls).
- Für die lineare Kombination der in die Umgebung innerhalb von 24 Stunden nach dem Unfall freigesetzte Aktivität muss für die charakteristischen Isotope die Ungleichheit (charakterisiert die für die Planung dringlicher Maßnahmen wichtigen, kurzfristigen Strahlungswirkungen des Unfalls)

$$\sum_{i=1}^9 R_{ig} C_{ig} + \sum_{i=1}^9 R_{ie} C_{ie} < 5 \times 10^{-2}$$

erfüllt sein, wo R_{ig} und R_{ie} (ausgedrückt in TBq) die kumulierten erdnahen Austritte bzw. Höhengaustritte der einzelnen Isotope im Verlauf von 24 Stunden ab Entstehung des Unfalls sind, und die Koeffizienten C_{ig} und C_{ie} sind in der nachstehenden Tabelle ersichtlich:

Tabelle 2 - Koeffizienten der Radionuklide für erdnahen Austritt und Höhengaustritt

Isotop	Koeffizienten für erdnahen Austritt C_{ig}	Koeffizienten für Höhengaustritt C_{ie}
--------	--	---

Xe-133	6.5×10^{-8}	1.1×10^{-8}
I-131	5.0×10^{-5}	3.1×10^{-6}
Cs-137	1.2×10^{-4}	5.4×10^{-6}
Te-131m	1.6×10^{-4}	7.6×10^{-6}
Sr-90	2.7×10^{-4}	1.2×10^{-5}
Ru-103	1.8×10^{-4}	8.1×10^{-6}
La-140	8.1×10^{-4}	3.7×10^{-5}
Ce-141	1.2×10^{-3}	5.6×10^{-5}
Ba-140	6.2×10^{-6}	3.1×10^{-7}

Es muss betont werden, dass die Ausschreibungsunterlagen einschließlich der genannten Koeffizienten der linearen Kombination für die Zwecke der EIA nur zur konservativen Bestimmung des Quellenglieds verwendet wurden, wohingegen die Strahlungswirkungen für die Umgebung des KKW für die konkreten Charakteristika des Standorts Temelín festgelegt wurden. Aus der Sicht der bewerteten Strahlenfolgen ist es deshalb unwesentlich, dass die Werte der Koeffizienten im Dokument EUR [6] unter dem Einsatz von Charakteristika abgeleitet wurden, die sich vom Standort Temelín unterscheiden.

Für die Zwecke der Bestimmung des Quellenglieds wurde die erste der beiden Forderungen quantitativ ohne Änderung verwendet, wohingegen der Austritt gemäß der zweiten Forderung konservativ ungefähr auf das 2,4-fache in der nachstehend beschriebenen Weise erhöht wurde.

Für die Bestimmung des Austritts von Edelgasen ging man von der Voraussetzung aus, dass der gesamte Beitrag zum oben aufgeführten Kriterium nur aus dem Radionuklid Xe-133 besteht. Unter der Voraussetzung eines nur erdnahen Austritts, der konservativ bei der Berechnung der Strahlungsexposition angenommen wird, gilt dann für Xe-133, dass $C_{ig} (6,5 \text{ E-}8) < 5\text{E-}2$, d. h. Aktivität.Xe-133 $< 7,69 \text{ E}5 \text{ TBq}$ (gerundeter Grenzwert beträgt 770 000 TBq).

Ähnlich ging man zur Bestimmung der Jodaustritte davon aus, dass der gesamte Beitrag zum oben aufgeführten Kriterium nur aus Radionuklid I-131 besteht. Unter der Voraussetzung eines nur erdnahen Austritts gilt dann für I-131, dass $C_{ig} (5,0 \text{ E-}5) < 5\text{E-}2$, d. h. Aktivität I-131 $< 1,0 \text{ E}3 \text{ TBq}$, (Grenzwert beträgt 1 000 TBq).

Für die übrigen Isotope (Te-131m, Sr-90, Ru-103, La-140, Ce-141, Ba-140) ging man folgendermaßen vor:

- Es wurde die Gesamtaktivität jedes Radioisotopen in der Aktivzone für jedes der vorausgesetzten Projekte der neuen Kernkraftanlage (NJZ) geschätzt.
- Für Cs-137 und jedes weitere Isotop wurde die gemäß dem Dokument NUREG-1465 für Druckwasserreaktoren in den Sicherheitsbehälter freigesetzte Gesamtaktivität geschätzt; die Verhältnswerte der freigesetzten Aktivität in Beziehung zur Gesamtaktivität des Isotops in der aktiven Zone waren wie folgt: Xe-133 = 1; I-131 = 0,75; Cs-137 = 0,75; Sr-90 = 0,12; Te-131m = 0,305; Ru-103 = 0,005, La-140 = 0,0052; Ce-141 = 0,0055, Ba-140 = 0,12. Diese Werte stellen die freigesetzten Gesamtaktivitäten für alle Phasen des Unfalls ab seiner Entstehung bis zu den langfristigen Prozessen außerhalb des Reaktorbehälters

dar, was für einen Druckwasserreaktor gemäß dem Dokument NUREG-1465 ungefähr 14 Stunden sind.

- Des Weiteren ging man davon aus, dass in die Umgebung des KKW der Grenzwert von 30 TBq Cs-137 austritt, die übrigen Isotope setzen sich direkt proportional zu diesem Wert im gleichen Verhältnis frei, wie diese Isotope in die Atmosphäre des Sicherheitsbehälters freigesetzt werden. Aufgrund der erhältlichen Unterlagen für die potenziellen Reaktorprojekte wurde überprüft, dass diese Voraussetzung mit ausreichender Genauigkeit erfüllt wurde.

Das genannte Vorgehen wurde für jeden der geplanten Reaktoren wiederholt, und zur Bestimmung der maximalen Austritte wurde die schlimmste Variante gewählt. Es muss gesagt werden, dass der Bezug der Austritte aller Isotope auf den gleichen Bezugswert des Austritts von Cs-137 (30 TBq) die Unterschiede zwischen den Reaktoren deutlich reduziert (hinsichtlich der freigesetzten Aktivität). Mit anderen Worten bedeutet dies, dass für einen kleineren Reaktor die Freisetzung eines höheren Anteils des Inventars an Isotopen in der aktiven Zone erlaubt ist (bzw. dass bei einem größeren Reaktor strengere Bedingungen an die Fähigkeiten des Sicherheitsbehälters und seiner Systeme gestellt werden).

Das Quellglied geht von der Ausbeute an Spalt- und Aktivierungsprodukten der Kernreaktionen im Brennstoff mit UO₂, das mit U-235 angereichert ist und als Energiequelle in allen geplanten Druckwasserreaktoren genutzt wird, aus. Die Vertretung und die gegenseitigen Verhältnisse der einzelnen maßgeblichen Radionuklide ergeben sich demnach durch objektive physikalische Gesetze und hängen nicht von der konkreten Konstruktion des Reaktors oder dessen Lieferanten ab. Deshalb war es möglich, auch vor Beendigung der Ausschreibung die Gruppe der Radionuklide zu bestimmen, deren Vertretung im Quellglied für die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen ausschlaggebend sein wird und von ihnen solche Repräsentanten auszuwählen, dass das aus ihnen zusammengestellte vereinfachte Quellglied mit ausreichender Genauigkeit die Auswertung der Strahlenfolgen des bei einem Unfall in die Umwelt freigesetzten Gesamtinventars an Radionukliden ermöglicht.

Das genannte Vorgehen stellt die Konservativität bei der Bestimmung des Quellglieds aus folgenden Gründen sicher:

- Bei Xe-133 und I-131 wird ein solcher Wert einzeln für jedes der Isotope vorausgesetzt, der zu den gleichen Folgen führen würde, die gemäß den an den Auftragnehmer gestellten Forderungen die ganze Gruppe der 9 Isotope aufweist.
- Der Austritt von Cs-137 ist mit dem Einsatz des Werts 30 TBq für die einzelnen Projekte um das 5- bis 20-fache stark überhöht (dies folgt aus dem Vergleich mit der verfügbaren Sicherheitsdokumentation), sodass mit dem genannten Verfahren auch alle übrigen Isotope überbewertet sein werden, die sich in die Atmosphäre des Sicherheitsbehälters in Form von Aerosolen freisetzen. Ähnlich wurde durch den Vergleich mit der verfügbaren Sicherheitsdokumentation bestätigt, dass der Austritt von Xe-133 1,7- bis 400-fach und der Austritt von I-131 2- bis 40-fach überhöht wurde.
- Obwohl die Freisetzung der Isotope aus dem Brennstoff in die Atmosphäre des Sicherheitsbehälters in Wirklichkeit während einiger Stunden stattfindet, wird für die Berechnung die Freisetzung der Gesamtmenge auf Einmal unmittelbar nach Entstehung des Unfalls vorausgesetzt.
- Pessimistisch wird vorausgesetzt, dass sich die Gesamtmenge an Radioisotopen in die Umwelt mit konstanter Geschwindigkeit im Verlauf von 6 Stunden nach Entstehung des Unfalls freisetzt, obwohl in Wirklichkeit der Austritt im Verlauf von mehreren Tagen erfolgen würde.

Das so bestimmte Quellglied geht von der Voraussetzung aus, dass die Integrität des Sicherheitsbehälters erhalten bleibt, respektiert aber auch Austritte durch Bypässe des Sicherheitsbehälters. Durch Vergleich mit der verfügbaren Sicherheitsdokumentation der neuen Kernkraftanlagen wurde bestätigt, dass die Frequenz der Nichterfüllung mit ausreichender Reserve niedriger als der Sollwert von $1 \cdot 10^{-7}$ /Jahr ist.

Die Bestimmung des Quellglieds mit dem vorstehend angegebenen Verfahren ist für die einzelnen Projekte in den folgenden Tabellen 3, 4, 5 aufgeführt.

2.3 Quantitative Bestimmung des Quellenglieds für die einzelnen Projekte

Tabelle 3 - EPR

Radionuklid	Anfangsaktivität in AZ nach SAR (TBq)	In den SB freigesetzte Aktivität nach NUREG-1465 (TBq)	In die Umgebung nach dem beschriebenen Verfahren freigesetzte Aktivität (TBq)
Xe-133	9,7E+6	(1,0000) 9,7E+6	7,70E+5
I-131	4,8E+6	(0,7500) 3,6E+6	1,00E+3
Cs-137	6,4E+5	(0,7500) 4,8E+5	3,00E+1
Te-131m	9,2E+5	(0,3050) 2,81E+5	1,76E+1
Sr-90	4,7E+5	(0,1200) 5,64E+4	3,53E+0
Ru-103	7,4E+6	(0,0050) 3,70E+4	2,31E+0
La-140	9,4E+6	(0,0052) 4,89E+4	3,06E+0
Ce-141	8,1E+6	(0,0055) 4,46E+4	2,79E+0
Ba-140	8,9E+6	(0,1200) 1,07E+6	6,69E+1

Tabelle 4 - WWER

Radionuklid	Anfangsaktivität in AZ nach SAR (TBq)	In den SB freigesetzte Aktivität nach NUREG-1465 (TBq)	In die Umgebung nach dem beschriebenen Verfahren freigesetzte Aktivität (TBq)
Xe-133	7,03E+6	(1,0000) 7,03E+6	7,70E+5
I-131	2,81E+6	(0,7500) 2,11E+6	1,00E+3
Cs-137	2,89E+5	(0,7500) 2,17E+5	3,00E+1
Te-131m	4,81E+5	(0,3050) 1,47E+5	2,03E+1
Sr-90	2,66E+5	(0,1200) 3,19E+4	4,41E+0
Ru-103	2,74E+6	(0,0050) 1,37E+4	1,89E+0
La-140	5,92E+6	(0,0052) 3,08E+4	4,25E+0
Ce-141	5,18E+6	(0,0055) 2,85E+4	3,94E+0
Ba-140	5,92E+6	(0,1200) 7,10E+5	9,81E+1

Tabelle 5 - AP 1000

Radionuklid	Anfangsaktivität in AZ nach SAR (TBq)	In den SB freigesetzte Aktivität nach NUREG-1465 (TBq)	In die Umgebung nach dem beschriebenen Verfahren freigesetzte Aktivität (TBq)
Xe-133	7,03E+6	(1,0000) 7,03E+6	7,70E+5
I-131	3,56E+6	(0,7500) 2,67E+6	1,00E+3
Cs-137	4,18E+5	(0,7500) 3,14E+5	3,00E+1
Te-131m	5,18E+5	(0,3050) 1,58E+5	1,51E+1
Sr-90	3,07E+5	(0,1200) 3,68E+4	3,52E+0
Ru-103	5,37E+6	(0,0050) 2,69E+4	2,57E+0
La-140	6,73E+6	(0,0052) 3,50E+4	3,34E+0
Ce-141	6,03E+6	(0,0055) 3,32E+4	3,17E+0
Ba-140	6,33E+6	(0,1200) 7,60E+5	7,26E+1

Im Einklang mit dem oben beschriebenen Verfahren wurden für die Radioisotope Xe-133, I-131 und Cs-137 bei allen vorausgesetzten Projekten der NJZ Aktivitäten von 770 000 TBq für Xe-133, 1000 TBq für I-131, 30 TBq für Cs-137 angenommen. Für die übrigen ausgetretenen Radioisotope sind deren Aktivitäten der Aktivität von Cs-137 im gleichen Verhältnis direkt proportional, in welchem die Aktivitäten dieser Radioisotope zu Cs-137 in der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters vertreten sind.

2.4 Bestimmung des verallgemeinerten Quellenglieds

Durch Vergleich der in die Umgebung freigesetzten Aktivitäten in vorstehenden Tabellen nach dem entworfenen Verfahren und mit Aufrundung, mit sinngemäßen Maß an Konservativität, wurde das nachfolgende Quellenglied ausgewählt (Tabelle 6), unter der Voraussetzung, dass sich jedes Isotop in die Umgebung innerhalb von 6 Stunden freisetzt:

Tabelle 6 - Konservatives Quellenglied

Radionuklid	In die Umgebung freigesetzte Aktivität (TBq)
Xe-133	770.000
I-131	1000
Cs-137	30
Te-131m	20
Sr-90	5
Ru-103	3
La-140	5
Ce-141	4
Ba-140	100

3 AUSWERTUNG DER STRAHLENFOLGEN EINES SCHWEREN UNFALLS

3.1 Verfahren zur Auswertung der Strahlenbelastung

Im Rahmen der Unterlagen für die EIA-Dokumentation für die neue Kernkraftanlage wurde der Einfluss eines hypothetischen schweren Unfalls auf die Umwelt, insbesondere dann auf die Bevölkerung in der Umgebung, begutachtet. Dieser Einfluss ist durch die Werte der Äquivalentdosen (bzw. durch die Summe der Werte der Äquivalentdosen aus der äußeren Strahlenexposition und der effektiven Folgedosen aus der inneren Strahlenexposition) bei einem repräsentativen Individuum ausgedrückt. Wie bereits begründet, wurde bei der Auswertung der Strahlenbelastung der Bevölkerung das konservative Verfahren durch den Einsatz einer ganzen Reihe von Voraussetzungen, die diese Belastung stark überhöhen, verwendet. Zu den wichtigsten Faktoren zählen:

- Wahl des Quellglieds,
- Wege der Strahlenexposition,
- Warenkorb,
- Alter des repräsentativen Individuums,
- Zeitpunkt der Unfallentstehung,
- Residenzzeit,
- Ergreifung von Schutzmaßnahmen,
- Verteilung der in die Umgebung freigesetzten Jodformen,
- meteorologische Bedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls,
- Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Folgedosen durch innere Strahlenexposition,
- Transport radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre,
- Einfluss umliegender Gebäude,
- Entfernung der auf der Oberfläche abgelagerten Radionuklide.

Das Vorgehen beim Einsatz dieser Faktoren sowie die qualitative und quantitative Auswertung der Folgen konservativer Voraussetzungen werden nachstehend besprochen.

3.2 Quellglied

Im Kapitel 2 wurde schon gesagt, dass mit dem beschriebenen Verfahren im Quellglied der Austritt von Cs-137 durch die Verwendung des Werts 30 TBq für die einzelnen Reaktoren um das 5- bis 20-fache überhöht und mit diesem Verfahren ist auch der Austritt der übrigen Isotope mindestens um Dutzende Prozent bis um zwei Größenordnungen überhöht. Für eine ungefähre Auswertung der Strahlungseffekte dieser Überhöhung kann die schon aufgeführte kriteriale Beziehung (lineare Kombination der Austritte der einzelnen Isotope) verwendet werden. Die Endsumme der linearen Kombination sollte nämlich ungefähr der Äquivalentdosis direkt proportional sein, wobei die einzelnen Glieder dieser Kombination die Beiträge der einzelnen Radioisotope darstellen. Für das gewählte Quellglied ist die Endsumme der linearen Kombination gleich 0,119, was im Vergleich mit dem Kriterium (0,05) ein 2,37-facher Wert ist. Die größten Beiträge zur Äquivalentdosis stellen die Isotope Xe-133 und I-131 dar. Für die verfügbaren Reaktoren und die in den Sicherheitsberichten angegebenen Austrittswerte waren hingegen die Summen der linearen Kombination deutlich niedriger als das Kriterium – sie stellten 10 bis 65 % des Kriteriumswerts dar. Beim Vergleich mit tatsächlichen NJZ sind somit die Strahlenfolgen eines schweren Unfalls bei dem

gewählten Quellenglied um das 4- bis 20-fache überhöht. Diese Reserven sollten ausreichend sein, um die Wirkungen weiterer (anderer als charakteristischer), in der Dosisberechnung nicht eingesetzter Radioisotope ausreichend abzudecken.

Als weitere konservative Voraussetzungen wurden die folgenden Bedingungen der Berechnung angenommen:

- Höhe des Austritts – erdnahe Austritt,
- Wärmeleistung der Quelle gleich Null,
- kurze Austrittsdauer (6 Stunden).

3.3 Wege der Strahlenexposition

Die sich ergebende Bestrahlung eines repräsentativen Individuums setzt sich aus den Beiträgen folgender Expositionswege zusammen:

- äußere Strahlenexposition aus Wolke,
- innere Strahlenexposition aus Inhalation (einschließlich Resuspension),
- äußere Strahlenexposition aus Ablagerung,
- innere Strahlenexposition aus Ingestion.

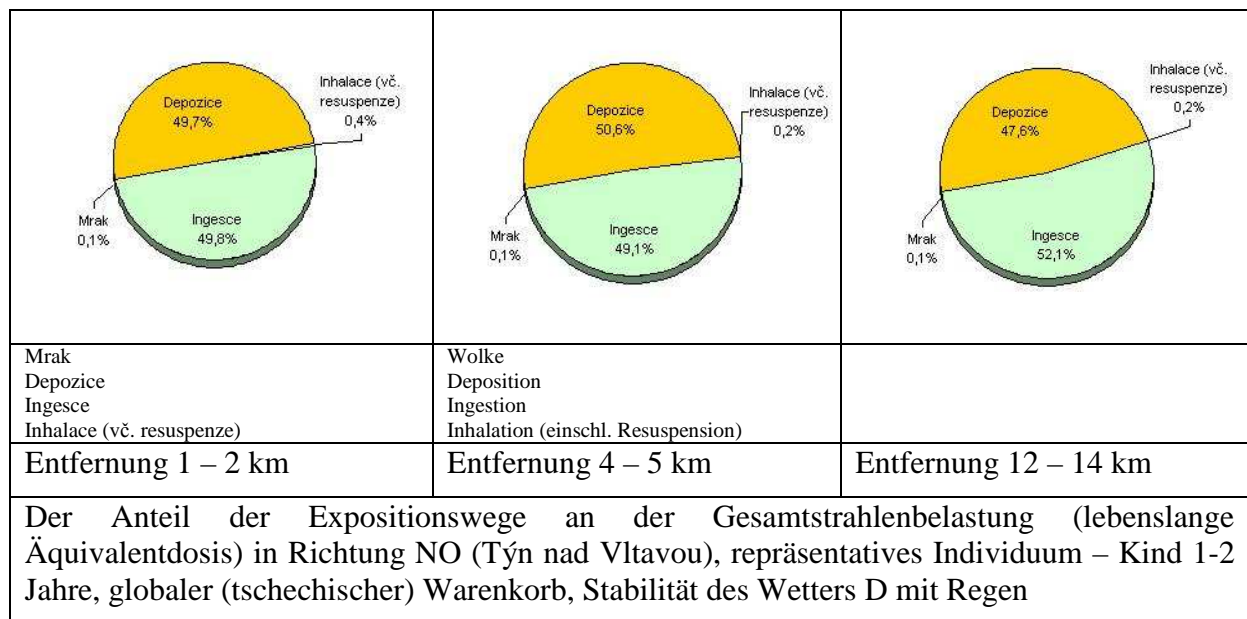
Die ersten drei Wege sind maßgeblich für die kurzfristige Strahlenexposition (48 Stunden, 7 Tage, 30 Tage), Ingestion und Ablagerung sind für langfristige Strahlenexposition (Monate bis Jahrzehnte) maßgeblich. Um die Notwendigkeit der Ergreifung dringlicher Maßnahmen zu beurteilen, sind somit die Dosis aus der Wolke, Ablagerung und Inhalation wichtig, für die Beurteilung der Folgemaßnahmen muss man die Ablagerung und Ingestion kennen.

Beim Anteil der einzelnen Wege an der gesamten, langfristigen Strahlenexposition von Personen hängt das gegebene Quellenglied vor allem von der Entfernung von der Quelle, den meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt des Durchzugs der kontaminierten Luftmassen durch die gegebene Lokalität (Beeinflussung des Ablagerungsmaßes und der anschließenden Ingestion z. B. durch Regen – siehe nachstehend) sowie vom Alter und Zusammensetzung des Warenkorbs (Beeinflussung der Ingestion) ab.

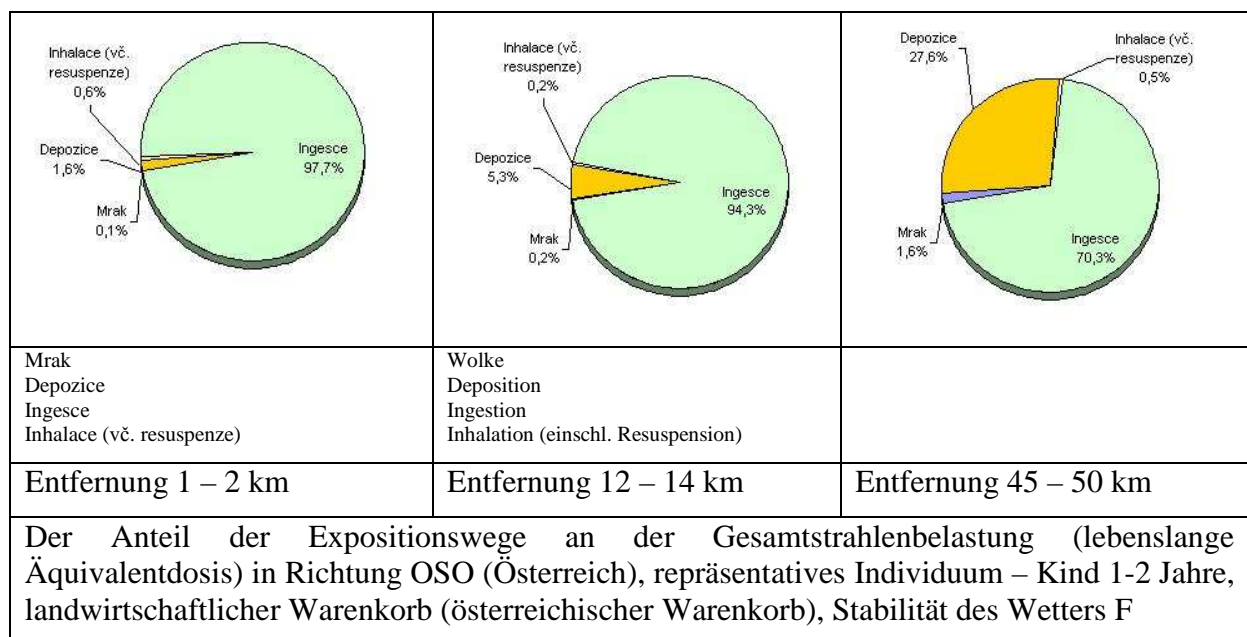
Wie nachstehend demonstriert wird, hat das gewählte Quellenglied hinsichtlich der Auswertung von Strahlenfolgen bestimmte Spezifika:

- hohe Vertretung an Jod (mit kurzer Halbwertszeit des Aktivitätsabfalls) führt dazu, dass man keinen bedeutenden Unterschied zwischen den Äquivalentdosen von der äußeren Strahlenexposition bereits nach einer Dauer von 30 Tagen erwarten kann, ähnlich wird es keinen bedeutenden Unterschied zwischen der jährlichen und der lebenslangen Dosis bei unter Einbeziehung der Ingestion geben,
- unter vorausgesetztem Verzehr von nur kontaminierten Produkten (landwirtschaftlicher Warenkorb – siehe nachstehend) wird der Anteil der Dosis aus Ingestion insbesondere für Kinder (aufgrund des hohen Jodanteils und des Trinkens kontaminierter Milch) auf Kosten der Dosis von der äußeren Strahlenbelastung (Ablagerung) steigen.

In den nachstehenden Graphen 4 und 5 ist zur Verdeutlichung der Anteil der einzelnen Expositionswege an der lebenslangen Äquivalentdosis für zwei Richtungen der Ausbreitung radioaktiver Stoffe und für zwei Typen von Wetter aufgeführt, wo der Einfluss des Regens und des unterschiedlichen Warenkorbs demonstriert wird. Weiter Argumente sind in den Abschnitten 3.4 (Einfluss des Warenkorbs), 3.5 (Einfluss des Alters des repräsentativen Individuums) und 3.9 (Einfluss der Formen des in die Umgebung freigesetzten Jods) aufgeführt.



Graph 4 - Anteil der Expositionswege an der Gesamtstrahlenbelastung in Richtung NO (Týn nad Vltavou)



Graph 5 - Anteil der Expositionswege an der Gesamtstrahlenbelastung in Richtung OSO (Österreich)

Die nachstehende Tabelle gibt die zeitliche Entwicklung der Äquivalentdosis (ohne Ingestion) in unterschiedlichen Entfernungen vom KKW in der Planungszone für verschiedene Wetterkategorien wieder. Aus der Tabelle folgt, dass ein bedeutender Teil dieser Gesamtdosis innerhalb der ersten zwei Tage nach dem Unfall (außer der Kategorie D – mit Regen, d. h. mit einem deutlichen Einfluss der Ablagerung) aufgenommen wird, aber außerhalb der nächsten Nähe des KKW sind auch unter den Bedingungen eines schweren Unfalls diese Dosen gering.

Tabelle 7 - Zeitliche Entwicklung der kurzfristigen Äquivalentdosis (ohne Ingestion) in Richtung NO (Erwachsener)

Kategorie	Entfernung von	Äquivalentdosis in Abhängigkeit von der Zeit (mSv)
-----------	----------------	--

Wetter	der Quelle	48 Stunden	7 Tage	30 Tage	1 Jahr
D ohne Regen	1,5 km	33,00	40,00	52,00	54,00
	13,0 km	1,90	2,30	3,00	3,10
	47,5 km	1,30	1,50	1,90	2,00
D mit Regen	1,5 km	48,00	90,00	160,00	170,00
	13,0 km	2,60	6,00	11,00	12,00
	47,5 km	0,16	0,28	0,46	0,50
F	1,5 km	100,00	130,00	160,00	170,00
	13,0 km	6,10	7,10	8,80	9,00
	47,5 km	1,60	1,70	1,80	1,90

3.4 Warenkorb

Der Anteil der Ingestion an der lebenslangen Äquivalentdosis hängt insbesondere von der Entfernung von der Quelle, den meteorologischen Bedingungen (Typ, Geschwindigkeit des Fallouts – trocken, nass) zum Zeitpunkt des Durchzugs der kontaminierten Luftmassen durch die gegebene Lokalität (Beeinflussung des Ablagerungsmaßes und der anschließenden Ingestion), vom Alter der kontaminierten Person, Zusammensetzung des Warenkorbs sowie von der oben bereits genannten Zusammensetzung des Quellenglieds ab. Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluss des Jahreszeitraums zum Zeitpunkt des Unfalls (Vegetationszeit, Transfer Boden – Flora – Fauna), Einfluss des Geländes am gegebenen Niederschlagsort u. Ä.

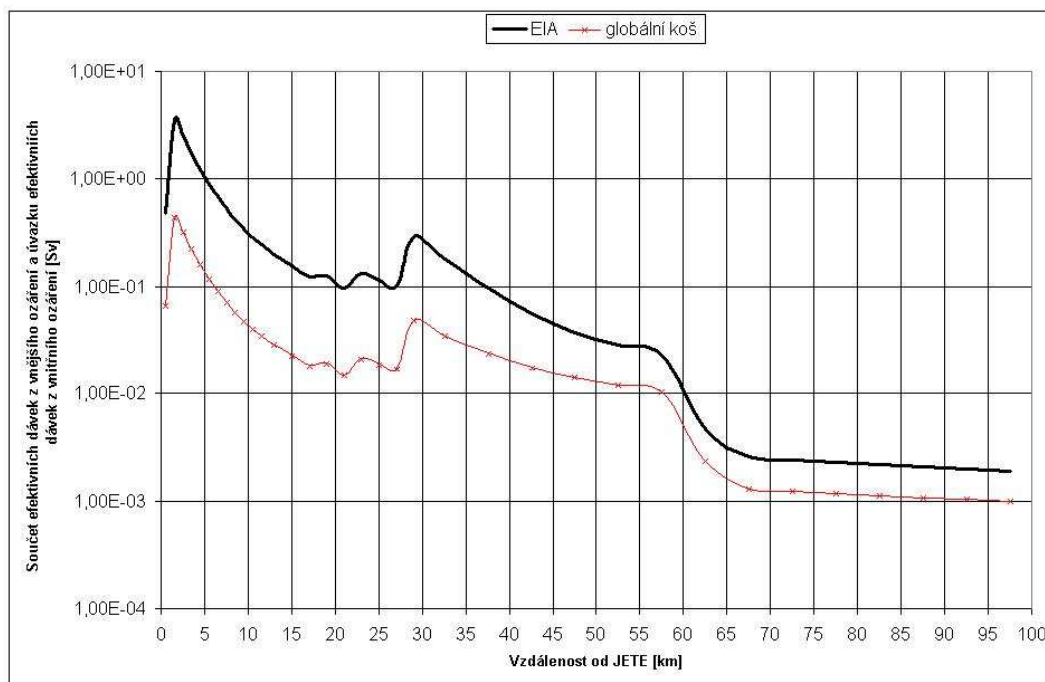
Der Anteil der Ingestionsdosis an der gesamten Jahres-/Lebensdosis bewegt sich in Abhängigkeit von den genannten Faktoren von ca. 50 bis über 90 %.

Der Einfluss des Warenkorbs wird im nachfolgenden Text diskutiert, weitere Faktoren werden getrennt bewertet.

Beim Warenkorb gibt den Ausschlag die Menge der aus lokalen (und somit kontaminierten) Quellen konsumierten Lebensmittel. Es ist also offensichtlich, dass die Auswahl des Warenkorbs für die Ergebnisse der Berechnung eine außerordentliche Bedeutung besitzt. Gleichzeitig ist klar, dass die Einführung eines kurzfristigen kontrollierten und geregelten Verbrauchs an lokal produzierten Lebensmitteln ein wirksames Mittel zur Minimierung der Dosis ist.

In der EIA-Studie wurde für die Berechnung der Jahres-/Lebensdosen mit Rücksicht auf grenzüberschreitende Einflüsse (Richtung nach Deutschland und Österreich) konservativ der sog. landwirtschaftliche Warenkorb (nach der Vereinbarung von Melk für das Gebiet Österreichs) verwendet, der von der Voraussetzung lokalen Verzehrs aller aus dem betroffenen Gebiet stammenden Lebensmittel ausgeht. Dieser lokale Verzehr wurde für die gesamte Dauer der Exposition vorausgesetzt (obwohl, wie bereits gesagt, bei diesem Quellenglied ist der Unterschied zwischen der Jahres- und Lebensdosis nicht bedeutend), und darüber hinaus konservativ – für Kinder mit 1 bis 2 Jahren.

Bei den Strahlenfolgen für die Bewohner Tschechiens wurde ein realitätsnäherer, sog. globaler Warenkorb verwendet (der von den Daten des Tschechischen Statistischen Amtes ausgeht). Bereits dieser Fakt führte zu einer deutlichen Senkung der Lebensdosis, wie es in Graph 6 ersichtlich ist, wo die Lebensdosen für die in der EIA-Dokumentation verwendeten Warenkörbe verglichen werden (Kurve mit Beschreibung EIA ist durch den Warenkorb für das Gebiet Deutschland charakterisiert, zweite Kurve gehört zum sog. globalen Korb, der für die Berechnungen auf dem Gebiet Tschechiens verwendet wurde).



Součet efektivních dávek z vnějšího ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření /Sv/	Summe der effektiven Dosen aus äußerer Bestrahlung und effektiver Dosen innerer Bestrahlung /Sv/
EIA	EIA
globální koš	globaler Korb
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 6 - Einfluss der Warenkörbe auf die Werte der lebenslangen (70 Jahre) Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; Wetterkategorie F

Bis zu einer Entfernung von über 55 km vom KKW sank der Wert der Lebensdosis um das 2,5- bis 10-fache, eine Überschreitung des für eine dauerhafte Umsiedlung ausschlaggebenden Werts von 1000 mSv würde an keinem Ort eintreten; ein Wert der Strahlenexposition von unter 100 mSv würde schon einige wenige km (~ 6 km) vom KKW erreicht.

Für Konservativität mit Rücksicht auf den Anteil der Ingestion erachten kann man auch die Auswahl der Phänologie für Ebenen und die verwendete Voraussetzung – Fortsetzung der Fütterung von Nutztieren im kontaminierten Gebiet nach den ursprünglichen Verfahren (einschließlich des Zyklus von drei Mahden von Futterpflanzen pro Jahr und Verfütterung von kontaminiertem Heu in den Wintermonaten).

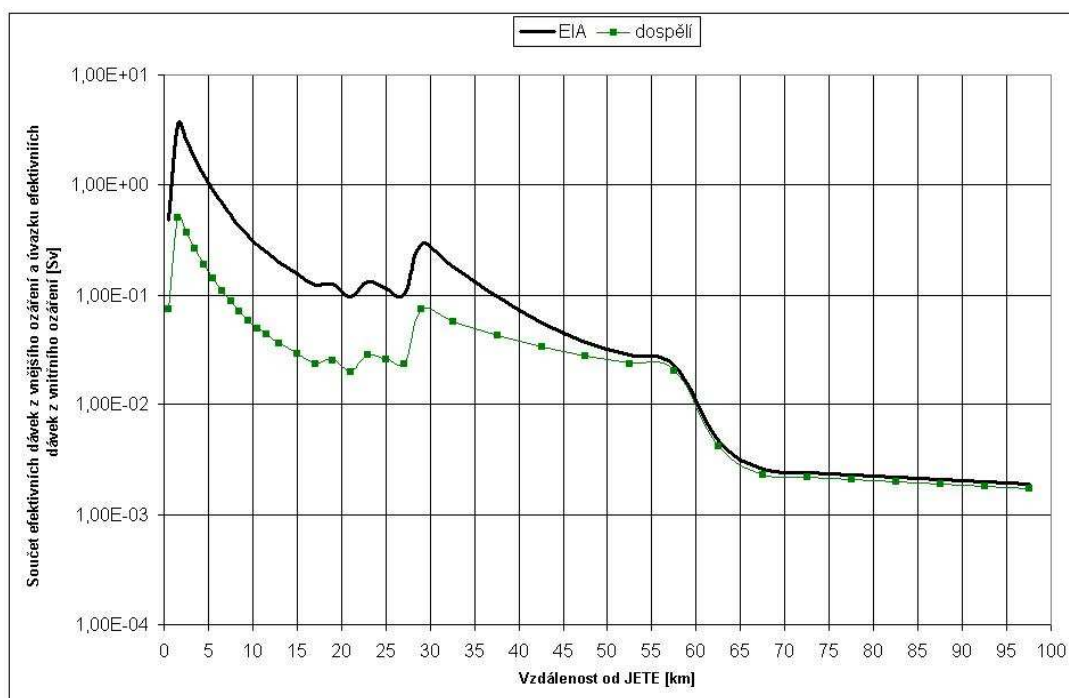
3.5 Alter des repräsentativen Individuums

In der EIA-Studie wurde konservativ das Alter des repräsentativen Individuums mit 1-2 Jahren gewählt, die angegebenen Ergebnisse beziehen sich also nur auf diesen Teil der Population. Hypothetisch und konservativ wurde vorausgesetzt, dass das Kind am gewählten Aufenthaltsort verbleibt, wo es allmählich altert und kontaminierte Lebensmittel während der gesamten 70 Jahre verzehrt. Das Alter wird hinsichtlich der Strahlenexposition der betreffenden Person allgemein in Folge mehrerer Faktoren eingesetzt:

- Umrechnungsfaktoren zwischen der effektiven Folgedosis von der inneren Exposition und dem Empfang von Radionukliden (Sv/Bq) sind bei Kindern deutlich ungünstiger / ihr Wert ist höher,

- Die Residenzzeit (Ausgesetzt sein der Person dem Empfang von Radionukliden während der gesamten Integrationsdauer der Folgedosis) beträgt bei Kindern 70 Jahre anstelle der bei Erwachsenen verwendeten 50 (dieser Unterschied ist aber im gegebenen Fall nicht bedeutend),
- Die Zusammensetzung der Nahrung hat einen deutlichen Einfluss, insbesondere im Fall des gewählten Quellglieds (deutliche Vertretung an Jod) und des landwirtschaftlichen Warenkorbs – bei Kindern im Alter von 1 bis 2 Jahren hat nämlich Milch einen deutlichen Anteil am Warenkorb.

Für den landwirtschaftlichen Warenkorb ist bei der SW-Richtung der Ausbreitung der Abluffahne im nachfolgenden Graph 7 der Unterschied zwischen den Werten bei Erwachsenen und Kindern der gewählten Alterskategorie (1-2 Jahre) dargestellt. Bis zu einer Entfernung von 30-35 km vom KKW ist die Dosis beim Erwachsenen im Vergleich mit einem Kind mehrfach (4- bis 8-fach) niedriger. Wenn man außerdem den globale Warenkorb in Betracht ziehen würde, würde sich die Dosis noch in dem, im Graph 6 im Abs. 3.4 aufgeführten Verhältnis senken.



Součet efektivních dávek z vnějšího ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření /Sv/	Summe der effektiven Dosen aus äußerer Bestrahlung und effektiver Dosen innerer Bestrahlung /Sv/
EIA	EIA
dospělí	Erwachsener
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 7 - Einfluss des unterschiedlichen Alters auf die Werte der lebenslangen (70 Jahre Integration der Folgedosen) Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F

Ähnlich würde hinsichtlich der langfristigen Schutzmaßnahmen – Einschränkung des Milchverbrauchs (insbesondere bei Kindern) auf bedeutende Weise die Dosis durch Ingestion sinken.

3.6 Zeitpunkt der Unfallentstehung

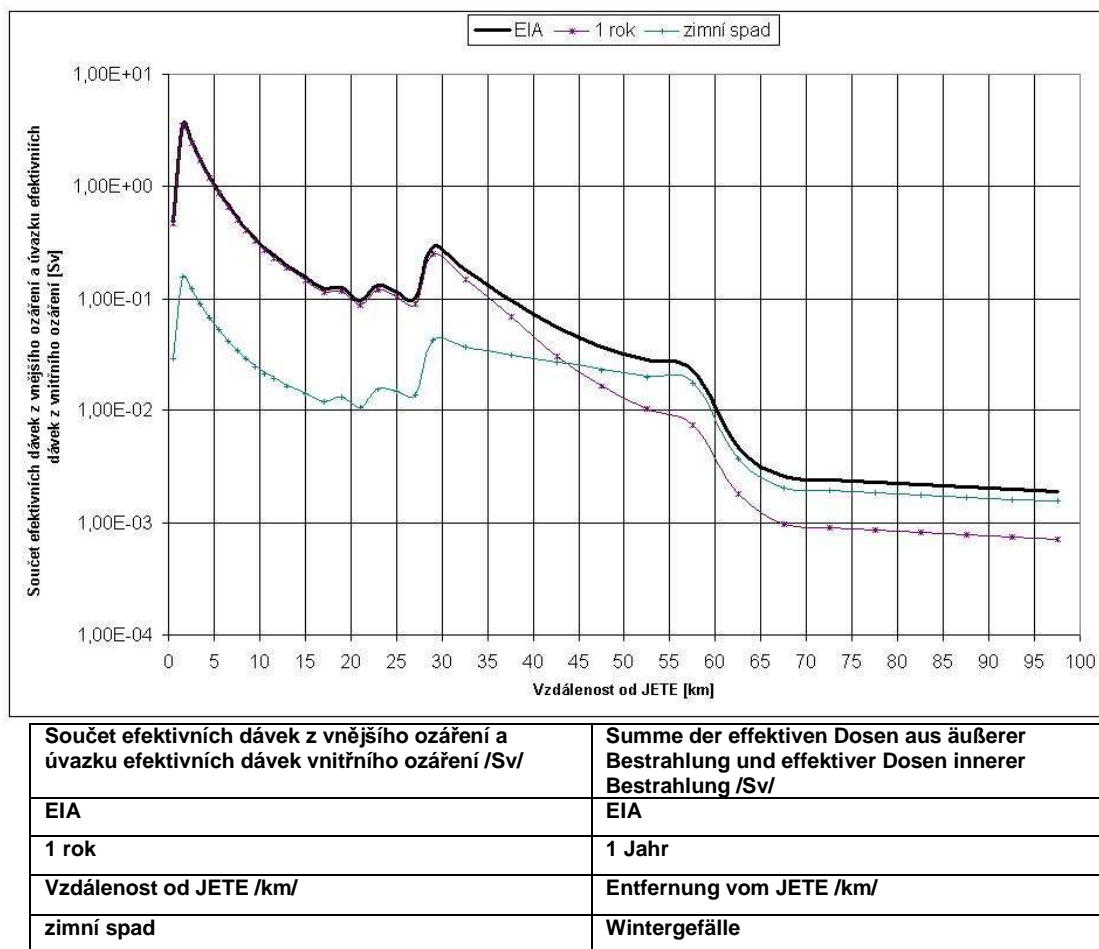
In der EIA-Studie wurde konservativ die Entstehung des Unfalls im Sommer vorausgesetzt, also mitten in der Vegetationszeit. Angesichts der Bedeutung der Ingestion und insbesondere für den landwirtschaftlichen Warenkorb spielt diese Voraussetzung zur Bestimmung der effektiven Folgedosis eine bedeutende Rolle. Bei Fallout im Sommer ist die aktuelle Ernte betroffen (Exposition der Früchte über die Blätter) und bei Annahme von Ingestion der kontaminierten Früchte kommt es zu höheren Werten bei den effektiven Folgedosen pro Jahr und lebenslang. Im Graph 8 im Abs. 3.7. sind zum Vergleich die Werte der lebenslangen Dosen für einen Fallout im Sommer (in der EIA-Dokumentation angegeben) und für einen Unfall in der Winterzeit (Fallout im Winter) aufgeführt. Es ist verständlich, dass die Dosiswerte für einen Fallout im Sommer im Vergleich zum Fallout im Winter, und zwar vor allem in der Umgebung des KKW's (bis über 30 km) um mehr als eine Größenordnung höher sind (unter ansonsten gleichen Bedingungen). Bei Verwendung eines der Realität näheren Warenkorbs wäre dieser Unterschied wesentlich geringer.

3.7 Residenzzeit

Bei Berechnung der Lebensdosis in der EIA-Dokumentation wurde, wie bereits gesagt, bei einem repräsentativen Individuum (Kind mit 1 bis 2 Jahren) die Aussetzung dem Verzehr von kontaminierter Nahrung während der gesamten Integrationszeit vorausgesetzt (70 Jahre). Für die Berechnung der Lebensdosis wurde des Weiteren konservativ der Aufenthalt des Individuums am gleichen Ort vorausgesetzt, und zwar sogar nur im offenen Raum, ohne Migration an andere Orte und ohne Wirkung einer ganzen Reihe natürlicher, sich automatisch an einer Senkung der Dosen beteiligenden Barrieren (ohne jeden Einfluss von abschirmenden und filtrierenden Strukturen, Nullfaktor des Aufenthalts innerhalb von Objekten).

Zur Verdeutlichung ist im nachfolgenden Graph 8 der Vergleich zwischen der in der EIA-Dokumentation präsentierten und derjenigen Lebensdosis, die das repräsentative Individuum empfangen würde, wenn es sich am gegebenen Ort, unter ansonsten den gleichen Bedingungen, nur für die Dauer von einem Jahr aufhält (und kontaminierte Nahrung verzehrt). Bis zu einer Entfernung von 30-35 km vom KKW ist der Einfluss der Residenzzeit gering, in größeren Entfernungen sind dann die Lebensdosen bei lebenslangem Empfang im Vergleich mit den Dosen nach einjährigem Empfang 2- bis 3-fach.

Der genannte Schluss gilt im vollen Umfang für die Wetterkategorie F, bei der die Ablagerung in der Nähe des KKW's gering ist. Für die Wetterkategorie D mit Regen und damit mit hoher Ablagerung, wäre der Einfluss der Residenzzeit viel höher.

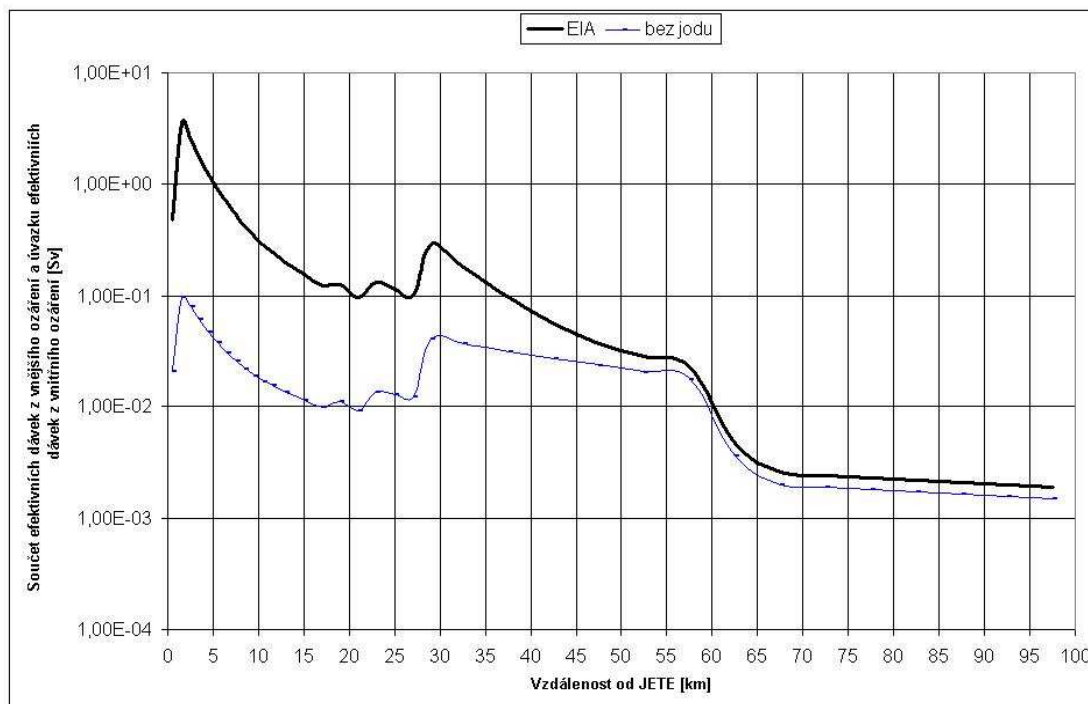


Graph 8 - Einfluss der jährlichen Zeit (Fallout) und der Residenzzeit auf die Werte der lebenslangen Dosis [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F

3.8 Ergreifung von Schutzmaßnahmen

Eine weitere Konservativität in der EIA-Dokumentation bestand darin, dass bei den Berechnungen der Äquivalentdosen / effizienten Folgedosen keine Schutzmaßnahmen angenommen wurden. In der Situation eines eingetretenen oder drohenden außerordentlichen Vorfalls der Stufe III (Verordnungen der SÚJB Nr. 307/2002 GBl. und Nr. 319/2002 GBl. in gültiger Fassung), der einen schweren Unfall bedeutet, geht das System der tschechischen Notfallplanung von der Voraussetzung aus, dass in der Umgebung des KKW's a priori (ohne auf das Ergebnis der Überwachung zu warten) dringliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden, wie Unterbringung der Bewohner in der Planungszone und Jodprophylaxe. Aus dem vorstehenden Text ist ersichtlich, dass im vorliegenden Fall, wenn im Austritt die Radionuklide des Jods bedeutend vertreten sind, gerade die Jodprophylaxe eine den Wert der effektiven Folgedosis insbesondere aus der Inhalation in der Flucht- und frühen Betriebsphase deutlich senkende Maßnahme wäre.

Zur Verdeutlichung der Wirkung der Jodprophylaxe sind im nachstehend aufgeführten Graph 9 die dem oben (in der EIA-Dokumentation) beschriebenen Quellglied entsprechenden Werte der Lebensdosen bei Anwendung einer Jodprophylaxe und ohne Prophylaxe, ansonsten unter den gleichen Bedingungen, gegenübergestellt. Die Dosis insbesondere bis zu einer Entfernung von 30 km vom KKW sank um mehr als eine Größenordnung.



Součet efektivních dávek z vnějšího ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření /Sv/	Summe der effektiven Dosen aus äußerer Bestrahlung und effektiver Dosen innerer Bestrahlung /Sv/
EIA	EIA
bez jodu	ohne Jod
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

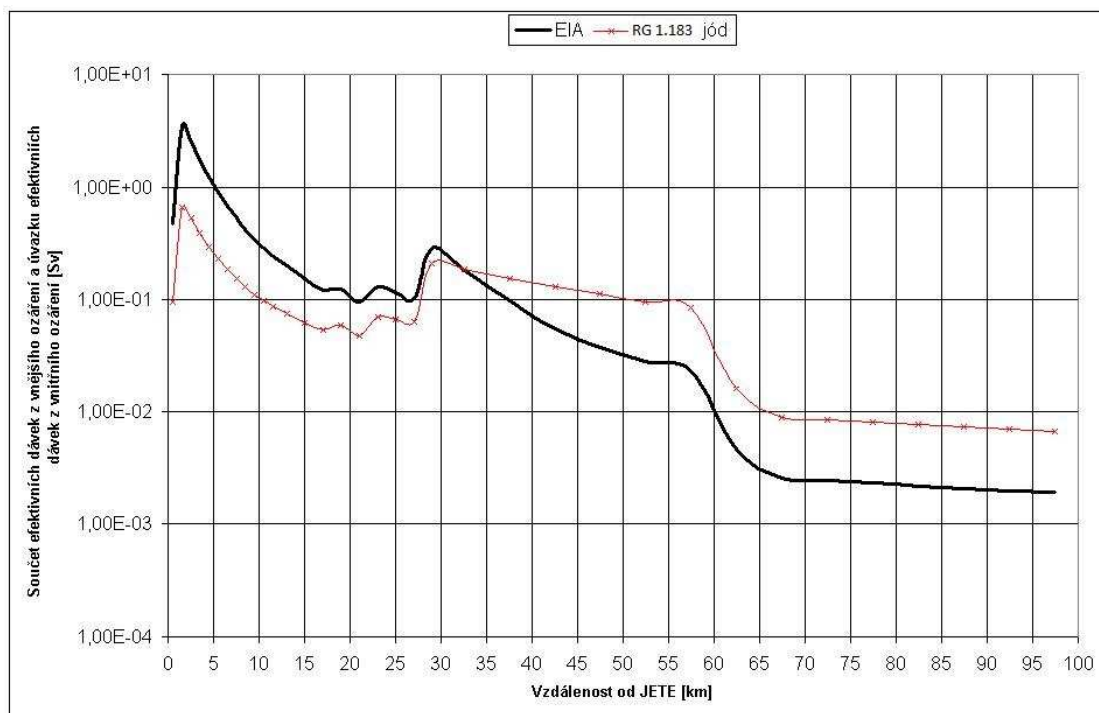
Graph 9 - Einfluss von I-131 auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F – für den Fall ohne Anwendung und mit Anwendung der Jodprophylaxe

3.9 Verteilung der in die Umgebung freigesetzten Jodformen

Die verschiedenen Jodformen (Aerosol, organisch, elementar) verhalten sich unterschiedlich bei ihrem Transport in der Umgebung und haben auch unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesundheit. In gesundheitlicher Hinsicht ungünstig sind vor allem die Formen organisch und elementar. In der EIA- Dokumentation wurden die Anteile der einzelnen physikalisch-chemischen Jodformen gemäß den für die Vergleichsanalyse beim tschechisch-österreichischen Workshop aus dem Prozess in Melk verwendeten Verhältnisse gewählt, mit 5 % Vertretung der Aerosolform, 5 % organischer und 90 % elementarer Form. Üblicher ist die empfohlene Vertretung (z. B. in RG 1.183 [8], EUR [6]), d. h. 95 % in Form von Aerosolen, 4,85 % in elementarer Form und 0,15 % in organischer Form.

Der Vergleich der Ergebnisse der Berechnung von lebenslangen Dosen für diese unterschiedlichen Vertretungen der Jodformen wird im folgenden Graph 10 aufgeführt. Die in RG 1.183 empfohlene Verteilung der Jodformen führt bis 30 km vom KKW (unter ansonsten den gleichen Bedingungen) zu deutlich niedrigeren Dosen, als die in der EIA-Dokumentation verwendete Verteilung; d. h., dass in der nächsten Umgebung des KKW die Schätzungen im Allgemeinen konservativ sind, wenn der Austritt an Radionukliden mit der höchsten Vertretung der elementaren Jodform angenommen wird. In größeren Entfernungen vom KKW

ist dies umgekehrt. Diese Tatsache hängt mit der verschiedenen Ablagerung der einzelnen Jodformen bei trockenem Fallout (wie im angenommenen Fall) zusammen, wobei sich die Vertretung der einzelnen Jodformen mit der Entfernung vom KKW ändert – es erhöht sich der Anteil der Aerosolform auf Kosten der Elementarform.



Součet efektivních dávek z vnějšího ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření /Sv/	Summe der effektiven Dosen aus äußerer Bestrahlung und effektiver Dosen innerer Bestrahlung /Sv/
EIA	EIA
RG 1.183 jód	RG 1.183 Jod
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

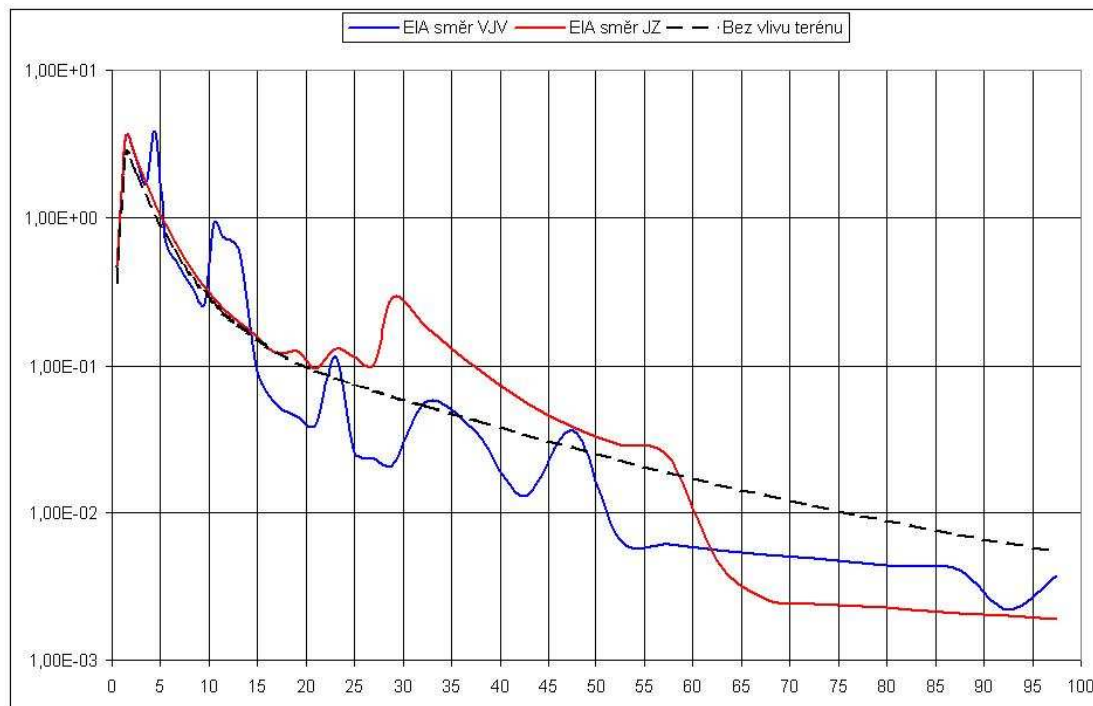
Graph 10 - Einfluss der Formen des I-131 auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW (Deutschland), Lebensdosis (70 Jahre), repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F – Unterschiedliche Zusammensetzung der Jodformen im Austritt

3.10 Gelände unter der Abluffahne

In der EIA-Dokumentation wurden konkrete Charakteristika des tatsächlichen Geländes in der KKW-Umgebung verwendet, die selbstverständlich in unterschiedlichen Richtungen anders sind. Die Geländeeigenschaften sind ein unveränderbarer Faktor, nichtsdestotrotz haben sie einen Einfluss auf die Berechnung.

Der Geländeeinfluss ist im nachfolgenden Graph 11 ersichtlich, wo die Abhängigkeiten der Lebensdosen von der Entfernung vom KKW für die unterschiedlichen Ausbreitungsrichtungen der Radionuklide gegenübergestellt werden. Zwei entsprechen den in der EIA-Dokumentation gewählten Ausbreitungsrichtungen der Radionuklide – in Richtung Österreich (blau) und Deutschland (rot), die dritte (unterbrochen) entspricht den Dosiswerten bei Ausbreitung über ebenem Gelände (Grasfläche über die gesamte Länge) mit einer konstanten Seehöhe (500 m ü. M.). Die Variabilität des Geländes entlang der Strecke der Abluffahne verursacht lokale Schwankungen bei den Werten der Äquivalentdosen. Es macht

sich vor allem der Einfluss des Auffangens von radioaktiven Stoffen im Waldbereich bemerkbar, mit einer Erhöhung der Dosen in diesem Bereich, mit anschließender Senkung der Dosen hinter diesem Bereich.



EIA směř VJV	EIA Richtung OSO
EIA směř JZ	EIA Richtung SW
Bez vlivu terénu	Ohne Terraineinfluss

Graph 11 - Einfluss des Geländes auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] für unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen, repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F

3.11 Meteorologische Bedingungen zum Zeitpunkt des Unfalls

Es wurde bereits gesagt, dass die meteorologischen Bedingungen die Strahlenfolgen der Unfälle deutlich beeinflussen. Es handelt sich um die gewählte Windrichtung und -geschwindigkeit und die Wetterkategorie (bzw. Niederschlagsmenge). Die Wetterkategorie wird in der sog. Pasquill-Skala der Wetterstabilität angegeben. Für die Modellierung der Folgen eines schweren Unfalls auf dem Gebiet Tschechiens und für die Modellierung der grenzüberschreitenden Einflüsse (Richtung Österreich und Deutschland) wurden in der EIA die folgenden drei Varianten meteorologischer Bedingungen gewählt:

Tabelle 8 - Die einzelnen Varianten der meteorologischen Bedingungen

Variante des Szenarios	1	2	3
Richtung der Ausbreitung	NO	OSO	SW
Windgeschwindigkeit [m/s]	5	2	2
Wetterkategorie	D	F	F

Niederschlagsmenge [mm/h]	10	0	0
------------------------------	----	---	---

Stabilitätsklasse der Wärmeschichten der Luft nach der Pasquill-Skala:

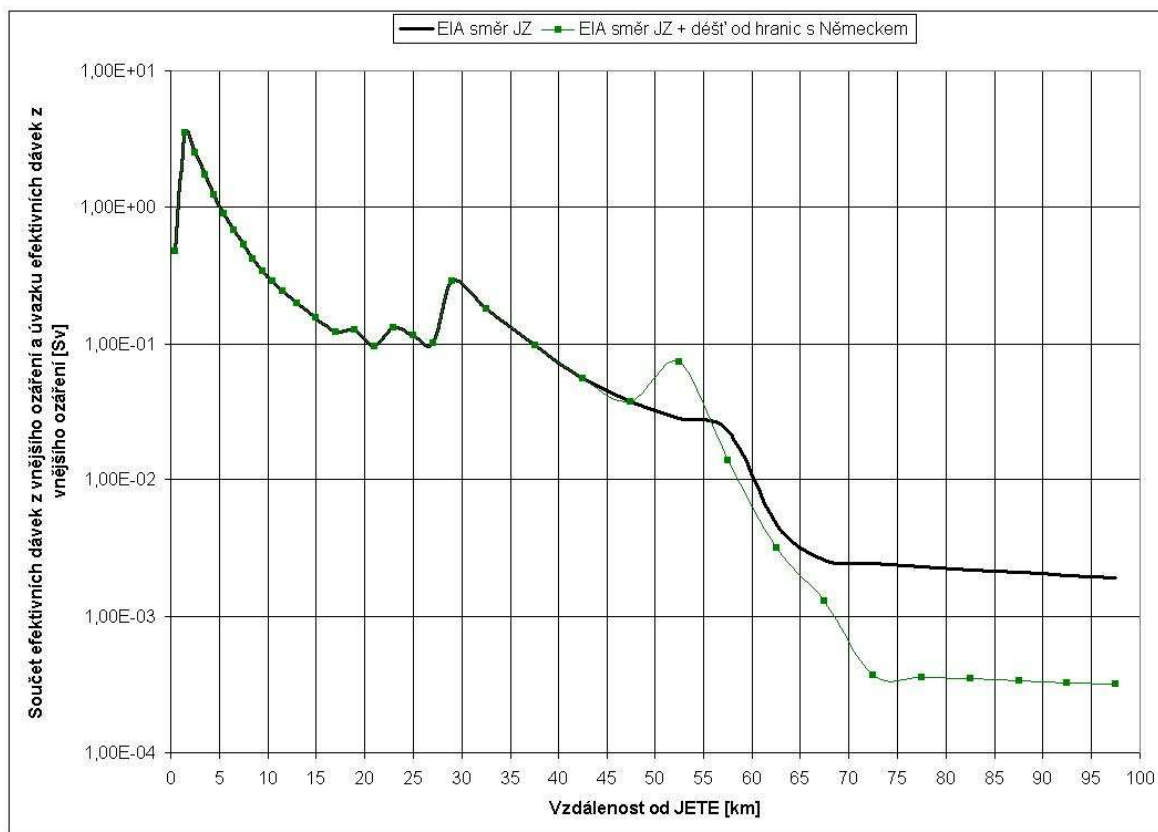
D – normale atmosphärische Stabilität; mittlere Windgeschwindigkeit – häufigste Bedingungen im Jahresverlauf;

F – sehr stabile Bedingungen; niedrige Windgeschwindigkeit – geringe Streuung, hohe Stabilität.

Zur Auswertung von langfristigen Maßnahmen auf dem Gebiet Tschechiens wurde die 1. Variante (NO) gewählt, d. h. Ausbreitungsrichtung über die nächste größere Stadt Týn nad Vltavou, Wetter vom Typ D mit vorhandenen Niederschlägen, die die Folgen in kürzeren Entfernungen in längeren Zeiten (30 und mehr Tage) erhöhen (siehe Graphen 4 und 5 im Abs. 3.3.). Für sehr kurze Entfernungen (siehe Tab im Abs. 3.3.) und Dauer der Exposition von 2 und 7 ist zwar F etwas schlechter als D, aber angesichts dessen, dass nach den Verordnungen der SÚJB die Unterbringung der Bevölkerung und die Jodprophylaxe in der Planungszone a priori ohne das Warten auf die Ergebnisse der Überwachung erfolgen, ist der Unterschied mit Rücksicht auf die Wirkung dringlicher Maßnahmen und andere Konservativitäten bereits für 7 Tage unbedeutend. Zum Modellieren der Folgen eines schweren Unfalls für die Nachbarländer wurde die 2. (OSO) und 3. (NW) Variante der meteorologischen Bedingungen gewählt – Ausbreitungsrichtung OSO – Österreich – und NW – Deutschland, d. h. die Richtungen der kürzesten Entfernungen zu den Grenzen dieser Nachbarländer. Die Wetterkategorie F führt konservativ unter ansonsten den gleichen Bedingungen zu höheren Strahlenfolgen in größeren Entfernungen als die für Tschechien gewählte Kategorie D. In der Berechnung wurden konstante meteorologische Bedingungen für die Gesamtdauer der Ausbreitung der Abluftfahne vorausgesetzt, obwohl die Annahme zeitlich wechselhaften Wetters zu der Realität näheren Ergebnissen führen könnte. Die Wahl einer konstanten Windrichtung und -geschwindigkeit führt zu stark überhöhten Dosen unter der Fahnenachse. Das durch die erhöhten Dosen betroffene Gebiet ist aber relativ schmal.

Die Voraussetzung von Niederschlägen und ihre Menge erhöhen lokal die Geschwindigkeit des Auswaschens der Spaltprodukte aus der Abluftfahne. In der Folge empfängt dann am Ort der Niederschläge das kritische Individuum eine höhere Dosis, als wenn die Niederschläge gleich Null wären. Zur Verdeutlichung des Einflusses der Niederschläge, die nur in einem bestimmten Gebiet auftreten, wurde eine Variante des Unfalls modelliert, die aus den gleichen Voraussetzungen wie die in der EIA-Dokumentation für die SW-Richtung der Fahnenausbreitung (kürzeste Entfernung zur Grenze mit Deutschland) ausgeht, mit Ausnahme der Niederschlagsmenge. Diese sind in den Entfernungen 0 bis 50 km und 75 bis 100 km vom KKW gleich Null. Im Gebiet 50 bis 75 km (d. h. ab der deutschen Grenze) dann in einer Menge von 10 mm/h.

Im nachfolgenden Graph 12 sind die Rechnungswerte der Dosen für diese Variante und für die zugehörige, in EIA aufgeführte Variante (Wetter Typ F ohne Niederschläge) eingetragen.



Součet efektivních dávek z vnějšího ozáření a úvazku efektivních dávek vnitřního ozáření /Sv/	Summe der effektiven Dosen aus äußerer Bestrahlung und effektiver Dosen innerer Bestrahlung /Sv/
EIA směr JZ	EIA Richtung SW
EIA směr JZ + déšť od hranic s Německem	EIA Richtung SW + Regen von der deutschen Grenze
Vzdálenost od JETE /km/	Entfernung vom JETE /km/

Graph 12 - Einfluss lokaler Niederschläge ab der deutschen Grenze auf die Werte der lebenslangen Dosen [Sv] in Richtung SW, repräsentatives Individuum – Kind 1-2 Jahre; landwirtschaftlicher Warenkorb, Wetterkategorie F

Im Graph 12 ist der Einfluss des Regens auf die lokale Erhöhung der Dosis infolge des Auswaschens radioaktiver Stoffe aus der Abluftfahne, mit anschließender Senkung in den Gebieten hinter dem Regen, ersichtlich. Die Erhöhung erfolgt jedoch in beträchtlicher Entfernung vom KKW, wo die Äquivalentdosis schon relativ niedrig ist.

3.12 Umrechnungsfaktoren für die Berechnung der Folgedosen durch innere Strahlenexposition

Im Abs. 3.5 wurde schon gesagt, dass die Umrechnungsfaktoren zwischen der effektiven Folgedosis von der inneren Exposition und dem Empfang von Radionukliden (Sv/Bq) bei Kindern deutlich ungünstiger sind / ihr Wert höher ist als bei Erwachsenen.

Bei der Ingestion wurden die ungünstigsten Werte dieser Umrechnungsfaktoren (nach dem Typ der Absorption des betreffenden Radionuklids im Verdauungstrakt) ausgewählt; ähnlich wurden bei der Inhalation die konservativsten Werte (in Abhängigkeit vom Typ der Absorption in der Lunge) ausgewählt.

3.13 Transport radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre

Im Auswertungsverfahren für den Transport der radioaktiven Stoffe wurden einige weitere konservative Voraussetzungen gewählt.

Aus der Literatur übernommene, halbempirische Formeln für die Berechnung der Dispersionskoeffizienten sind mit Geländeexperimenten bis in eine Entfernung von circa 10 km von der Quelle belegt. Ihre exponentiellen Abhängigkeiten in größeren Abständen sind mit der Semi-Box-Annäherung korrigiert, wo ab einer bestimmten Entfernung von der Quelle eine vertikale Homogenisierung in der Grenzschicht eintritt und außerdem der Dispersionskoeffizient in Richtung der Ausbreitung proportional der zweiten Wurzel der Entfernung genommen wird. Die Schadstoffkonzentrationen verdünnen sich also konservativ im Rahmen des abgesteckten Gebiets.

Ähnlich wurde keine Korrektur zur Erhöhung der horizontalen Dispersion (und damit zur Senkung der axialen Konzentrationen) infolge der horizontalen Fluktuationen für eine längere Dauer des Austritts durchgeführt – mehrere Stunden „plume meandering“ (in unserem Fall wurde eine Austrittsdauer von 6 Stunden angenommen und eine solche Korrektur wäre realistisch und würde zur Vergrößerung der horizontalen Dispersion um circa 50 % und damit zu einer Senkung der axialen Konzentrationen führen).

Es wurde keine vertikale Durchdringung der Schadstoffe über die Obergrenze der Mischungsschicht angenommen und die gesamte Kontamination ist konservativ unter dem „Deckel“ (plume penetration) gehalten, der sich durch H_{mix} (200 Meter für die Stabilitätskategorie F, 560 m für Kat. D) ergibt. Ebenso wurde keine vertikale Windscherung angenommen.

Konservativ ist ein Szenario mit vertikalem Moment gleich Null und der Wärmegehalt der austretenden Gasstoffe angesichts der Umgebungstemperatur gleich Null eingeführt (diese Voraussetzung muss jedoch nicht in großen Entfernungen von der Quelle konservativ sein). Als Größe der Aerosolteile wurde $1 \mu\text{m}$ AMAD gewählt.

3.14 Einfluss umliegender Gebäude

Konservativ wurde nicht der Einfluss des Umbaus des Reaktors, einschließlich der Kühltürme (nahe stehender Objekte) auf die sprunghafte Anfangserhöhung der peripheren Dispersion betrachtet. Die Abluftfahne ist also schmal mit höheren Konzentrationen unter der Wolkenachse.

3.15 Entfernung der auf der Oberfläche abgelagerten Radionuklide

Bei den Berechnungen wurde ebenfalls nicht der Effekt der Entfernung der auf der Oberfläche abgelagerten Radionuklide infolge natürlicher Witterungseinflüsse und der Migration in untere Bodenschichten betrachtet. Konservativ wurde nur der radioaktive Zerfall der langlebigen Nuklide betrachtet (Anwendung der Migration führt immer zu einer wesentlichen Senkung der langfristigen Strahlenexposition aus Ablagerung von Sr, Cs). Bei den Berechnungen der Exposition aus Ablagerung wurde die Abschirmung durch den Boden bzw. Geländeunebenheiten nicht betrachtet und es wird die Verteilung der Aktivität auf einer ideal ebenen Oberfläche vorausgesetzt. Ebenso wurde die Abreicherung der Aktivität im Boden durch Abtransport der kontaminierten Ernte nicht angenommen.

4 SCHLUSS

1. Dieses Dokument bietet ergänzende Informationen zur Auswertung der Strahlenfolgen schwerer Unfälle in der Umgebung (bis 100 km) der neuen Kernkraftanlage für den Standort Temelín, die in der Dokumentation der Umweltverträglichkeitsprüfung (EIA) aufgeführt wurde. Diese ergänzenden Informationen betreffen vor allem die Ergebnisse der Berechnung der lebenslangen Ganzkörperdosis, die ein repräsentatives Individuum aus der Bevölkerung empfängt.
2. Es ist zu betonen, dass bereits die Entstehung des in der Auswertung der Strahlenfolgen vorausgesetzten schweren Unfalls äußerst unwahrscheinlich ist. Die Auswertung der Strahlenfolgen deckt schwere Unfälle mit einer Entstehungsfrequenz bis 10^{-7} pro Jahr ab.
3. Obwohl die Auswertung der Folgen schwerer Unfälle unter weniger konservativen Voraussetzungen erfolgen könnte, wegen der beschränkten Unterlagen und um mögliche Zweifel über ausreichende Sicherheitsreserven auszuschließen, erfolgten die Berechnungen mithilfe des konservativen Verfahrens sowohl hinsichtlich der Festlegung des Quellenglieds als auch hinsichtlich der Auswertung des Transports radioaktiver Stoffe in der KKW-Umgebung und ihrer Auswirkungen auf die Strahlenexposition der Bevölkerung.
4. Das gewählte Quellenglied deckt mit ausreichender Reserve die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung für bekannte Projekte neuer Kernkraftanlagen ab, die für eine Umsetzung in ČR in Frage kommen, und seine Anwendung führt somit zu einer starken Überhöhung der Strahlungsdosen, die die Bewohner der Umgebung potenziell empfangen würden.
5. Ausschlaggebend ist der Anteil der Ingestion an der lebenslangen Äquivalentdosis und es ist also offensichtlich, dass die Wahl der Lebensmittelanteils aus lokalen Quellen im Warenkorb für die Ergebnisse der Berechnung bestimmend ist.
6. In der EIA-Dokumentation wurde für die Berechnung der Einflüsse des Unfalls im Grenzgebiet der hoch konservative, sog. landwirtschaftliche Warenkorb verwendet, der von der Voraussetzung lokalen Verzehrs aller aus dem betroffenen Gebiet stammenden Lebensmittel ausgeht. Der Einsatz des realitätsnäheren Warenkorbs mit wahrscheinlicherem Anteil an Lebensmitteln aus dem Handelsnetz würde auch ohne jede Regelung des Lebensmittelverbrauchs die Äquivalentdosen um das 2,5- bis 10-fache senken. Der Vollständigkeit halber muss gesagt werden, dass auch die Einführung einer kurzfristigen Kontrolle und Regelung der lokal produzierten, kontaminierten Lebensmittel ein sehr wirksames Mittel zur Minimierung der Dosis wäre.
7. In der Berechnung wurden nicht wechselnde meteorologische Bedingungen (z. B. Windrichtung) während der Gesamtdauer des Austritts von Radionukliden und der Ausbreitung der Abluffahne vorausgesetzt, was in Bezug auf Strahlenexposition von Personen ebenfalls eine konservative Voraussetzung darstellt. Die Annahme von „realem“ Wetter aus Langzeitmessungen würde mit Sicherheit zu weniger konservativen Schätzungen der Dosen führen.
8. In der EIA-Dokumentation wurden die Dosen unter einer weiteren konservativen Voraussetzung festgelegt, und zwar Absehen von allen Schutzmaßnahmen. Im Fall eines eingetretenen oder drohenden, erwarteten außerordentlichen Vorfalls der Stufe III (Verordnungen der SÚJB Nr. 307/2002 GBl. und Nr. 319/2002 GBl. in gültiger Fassung), der einen schweren Unfall bedeutet, geht das System der tschechischen Notfallplanung von der Voraussetzung aus, dass in der Umgebung des KKW's a priori (ohne auf das

Ergebnis der Überwachung zu warten) dringliche Schutzmaßnahmen ergriffen werden, wie Unterbringung der Bewohner in der Planungszone und Jodprophylaxe. Aus dem vorstehenden Text ist ersichtlich, dass im vorliegenden Fall, wenn im Austritt die Radionuklide des Jods bedeutend vertreten sind, gerade die Jodprophylaxe eine den Wert der effektiven Folgedosis insbesondere aus der Inhalation in der Flucht- und frühen Betriebsphase deutlich senkende Maßnahme wäre (Jodprophylaxe könnte in der Umgebung des KKW's bis 30 km die Strahlenexposition von Personen bis um eine Größenordnung senken). Ähnlich hinsichtlich der nachfolgenden Schutzmaßnahmen – Einschränkung des Milchverbrauchs (insbesondere bei Kindern) würde auf bedeutende Weise die Dosis durch Ingestion senken. Tatsächlicher Umfang, Ort der Durchführung und Dauer der nachfolgenden Schutzmaßnahmen würden von Ablauf und Entwicklung des Unfalls und den realen meteorologischen Bedingungen und insbesondere von den Ergebnissen der umfassenden Strahlungsüberwachung im betroffenen Gebiet ausgehen.

9. In der Berechnung wurden weitere konservative Voraussetzungen angewandt, die die Strahlenexposition von Personen beeinflussen, diese aber können nicht bzw. es ist nicht zweckmäßig sie a priori auszuschließen – es handelt sich z. B. um die Voraussetzung, dass der Unfall mitten in der Vegetationsperiode entsteht, Wahl eines Kindes als repräsentativen Individuums. Außerdem wurden im Modell des Transports von radioaktiven Stoffen in die Umwelt konservativ angewandt: Umrechnungskoeffizienten für Folgedosen durch die innere Exposition, der Einfluss umliegender Gebäude wurde vernachlässigt, die Durchdringung von auf der Oberfläche abgelagerten Radionuklide in untere Bodenschichten (sei es auf natürlichem Wege oder durch landwirtschaftliche Nutzung des Bodens) wurde ausgelassen, Ernte kontaminierter Früchte.
10. Die bereits in der EIA-Dokumentation durchgeführten Analysen haben nachgewiesen, dass die Strahlenfolgen der analysierten Unfälle annehmbar sind. Aufgrund der in diesem Dokument aufgeführten, ergänzenden Auswertungen kann aber gesagt werden, dass es durch Anwendung realistischerer und ausreichend glaubwürdiger Unterlagen zu weiterer, sehr bedeutender Senkung der berechneten Äquivalentdosen und der effektiven Folgedosen sowohl in nächster Umgebung des KKW's als auch in den Grenzgebieten käme.

5 LITERATUR

- [1] Nový jaderný zdroj v lokalitě Temelín včetně vyvedení výkonu do rozvodny Kočín, Dokumentace vlivu záměru na životní prostředí dle přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., v platném znění, Mai 2010.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, IAEA, Vienna (2007)
- [3] Entwurf der SÚJB vom 8. Juni 2010 der modifizierten Verordnung Nr. 195/1999 GBl. der Staatlichen Behörde für Atomsicherheit „Über Anforderungen an Kernkraftanlagen zur Sicherstellung der nuklearen Sicherheit, des Strahlenschutzes und der Vorbereitung auf Unfälle“.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev.1, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Facilities and Activities, General Safety Requirements No. GSR Part 4, Vienna (2009).
- [6] European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants. Revision C, April 2001.

- [7] L. Soffer et al, Accident Source Terms for Light-Water Nuclear Power Plants, Final Report, NUREG-1465, US NRC, February 1995.
- [8] Alternative Radiological Source Terms for Evaluating Design Basis Accidents at Nuclear Power Reactors, Regulatory Guide 1.183, US NRC, July 2000.