



Júl 2009

# SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE, A.S. NUCLEAR POWER PLANT MOCHOVCE VVER 4×440 MW III CONSTRUCTION

## Tematických Blokov

**Submitted to:**  
Slovenské Elektrárne, a.s.

PRÍLOHA 5.0



**Report Number:** Rel. 08508370478/R784

**Distribution:**  
Slovenské Elektrárne, a.s.



A world of  
capabilities  
delivered locally





### OBSAH

5.1	STANOVISKO KU KLASIFIKÁCII BLOKOV 3 A 4 ELEKTRÁRNE MOCHOVCE.....	1
5.2	PREVÁDZKA VIACERÝCH BLOKOV .....	4
5.3	RADIAČNÁ OCHRANA PRED IONIZUJÚCIM ŽIARENÍM .....	6
5.4	HLAVNÉ ZDROJE RÁDIOAKTÍVNYCH EMISIÍ.....	9
5.5	PRINCÍPY MIKROMETEOROLÓGIE A MODEL ROZPTYLU .....	13
5.6	RÁDIOEKOLÓGIA .....	17
5.7	PROGRAM RDEMO© .....	19
5.8	POSUDZOVANIE BEZPEČNOSTI VZHLÁDOM NA HAVARIJNÉ PODMIENKY .....	22
5.9	PROGRAM RTARC© .....	25
5.10	MAKROSEIZMICKÁ STUPNICA A STUPNICA MAGNITÚD .....	28



### 5.1 STANOVISKO KU KLASIFIKÁCII BLOKOV 3 A 4 ELEKTRÁRNE MOCHOVCE

JE Mochovce 3-4 je "evolučným projektom" (ako ho definuje IAEA-TECDOC 936), podobne ako všetky takzvané reaktory generácie III, pretože vychádza z osvedčených a pevne konsolidovaných technológií v súčasnosti prevádzkovaných jadrových elektrární a pretože podľa vhodnosti zavádza významné bezpečnostné a výkonnostné modernizácie, uplatňuje poučenia z prevádzkových skúseností, aby sa zabezpečil súlad najnovšími medzinárodnými bezpečnostnými požiadavkami a praktikami, pričom sa kladie silný dôraz na zachovanie osvedčeného projektu, aby sa minimalizovali technologické riziká.

Všeobecne možno povedať, že elektrárne I. generácie sú tie, ktoré boli postavené na úsvite jadrovej éry, koncom päťdesiatych a začiatkom šesťdesiatych rokov. Mali obmedzený energetický výkon (100-300 MWe), zjednodušené systémy, žiadny systém vysokotlakového vstrekovania, neexistovali normy, atď.

Elektrárne II. generácie boli vyvinuté v období od konca šesťdesiatych rokov do konca sedemdesiatych. Vyznačovali sa oveľa vyšším výkonom (800-1100 MWe) a určitou úrovňou štandardizácie. Zaviedli sa požiadavky USA na ECCS (havarijný systém ochladzovania jadra) (10CFR50 App. K). Bezpečnosť bola stále založená v plnej miere na deterministickej analýze, pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti (PSA) sa nepovažovalo za nástroj projektovania, nebolo zahrnuté žiadne hodnotenie a explicitné zváženie závažných havárií. Prevažná časť fungujúcich elektrární sa zhoduje s týmto všeobecným obrazom.

Po nehode v Three Mile Island (TMI) v marci 1979 začali bezpečnostné úrady vyžadovať mnohé úpravy v existujúcich elektrárňach II. generácie a do plánov na výstavbu nových elektrární bola zavedená rozsiahla revízia bezpečnostných požiadaviek. Zdôrazňovala sa dôležitosť hermetického systému, aby nielenže spĺňal požiadavky projektu, ale ich aj presahoval, ako vyplynulo zo scenára TMI. Analýza scenárov závažných havárií a používanie PSA pri výstavbe nových elektrární sa čoraz častejšie stávalo bežnou praxou. Pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti sa vyžadovalo u všetkých elektrární ako overenie miery bezpečnosti vzhľadom na závažné havárie. Havária v Černobyle v r. 1986, hoci priamo neovplyvnila podstatu bezpečnosti reaktorov s ľahkou vodou (LWR's), ďalej stupňovala pozornosť voči nehodám s ťažkými následkami, i keď nové experimenty a nové počítačové modely umožňovali stále podrobnejšie a spoľahlivejšie posúdenie scenárov prevencie vážnych havárií a zvyšovania bezpečnosti.

Všetky tieto aspekty viedli koncom osemdesiatych a počas deväťdesiatych rokov k vývoju prvej zo súboru požiadaviek na pomocné funkcie pre novú generáciu reaktorov (URD v USA s účasťou niektorých ďalších pomocných funkcií a neskôr EUR v Európe) a paralelne aj k vývoju súboru nových projektov, a to pokiaľ ide o rozvíjajúce sa systémy, ako aj pasívnej povahy (AP600, SBWR, EP1000, AP1000, VVER1000/92, EPR). Táto séria reaktorov sa všeobecne nazýva elektrárne III. generácie a je bežne dostupná na konštrukčnom trhu.

Na získanie kompletného obrazu uvádzame ešte tzv. elektrárne generácie III+ alebo elektrárne blízkej budúcnosti, ktoré sú predmetom inžinierskych výskumov a skúšok (zatiaľ ešte nie je žiadna k dispozícii); tieto majú



optimalizovať existujúce elektrárne, a nakoniec sú tu elektrárne IV. generácie, ktoré budú dostupné na trhu od r. 2025.

VVER 440/213 je model reaktoru, ktorý funguje v mnohých štátoch a aj na Slovensku dosahuje veľmi dobrý výkon a úroveň bezpečnosti. Tieto reaktory boli upravované v súlade s technickým vývojom, viaceré skupiny expertov vykonali ich hĺbkovú analýzu vrátane rozsiahlej práce zo strany Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (IAEA) a OECD/NEA (Agentúry pre jadrovú energiu). Na potvrdenie predpokladov boli vykonané početné experimenty a výpočty. Na základe tejto práce sa došlo k záveru, že tieto elektrárne sú prijateľné nielen z hľadiska ich výkonu, ale aj z hľadiska ich bezpečnosti. Dôležité je spomenúť obrovskú prácu spojenú s dokazovaním efektívnosti hermetického systému (vakuovo-vákuovo barbotážny systém) a záverom možno povedať, že je možné po niekoľkých minimálnych úpravách zvýšiť jej mieru bezpečnosti. Európska únia nepožadovala od žiadnej prístupujúcej krajiny, aby odstavili túto sériu reaktorov.

Z tohto dôvodu sa MO34 stane typom novej generácie reaktorov VVER 440/213, lebo bude mať napr. tieto charakteristiky:

- zvýšená prevencia nehôd spôsobených roztavením jadra (aktívnej zóny) (napr. vyhradené plné odtlakovanie primárneho chladiaceho systému);
- schopnosť udržať natavenú aktívnu zónu, v prípade jej roztavenia, vo vnútri tlakovej nádoby reaktora pomocou chladenia zvonka, čím sa výrazne zníži namáhanie hermetického priestoru;
- kompletne „riadenie“ množstva vodíka pomocou autokatalytickej rekombinácie a jeho zapáľovaním, vrátane prípadu tvorby vodíka pri nehode spôsobenej tavením jadra (aktívnej zóny);
- dodatočne špeciálne určený a celkom nezávislý sprchovací systém hermetického priestoru;
- zvýšenú redundanciu a oddelenie bezpečnostného systému;
- použitie PSA (pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti) ako projektového nástroja;
- prístrojová a ovládacia technika na úrovni technického vývoja;
- zvýšená tesnosť hermetických priestorov (kontajment);
- zhoda s požiadavkami IAEA a WENRA na nové elektrárne;
- vysoká úroveň zhody s požiadavkami EUR;
- limity dávky sú v prípade nehody porovnateľné s inými novými elektrárnami.

Elektrárň MO34 sa preto v konečnom dôsledku nebude z mnohých hľadísk príliš odlišovať od moderných jadrových elektrární III. generácie, lebo zužitkuje rozsiahle skúsenosti z prevádzky v mnohých podobných elektrárnach.

Tieto názory zdieľa a schvaľuje nezávislý bezpečnostný výbor, ktorý zostavila spoločnosť ENEL a ktorého šesť členov predstavujú dobre známi a renomovaní európski odborníci v jadrovej bezpečnosti, ktorí zastávali (a v niektorých prípadoch ešte zastávajú) zodpovedné kľúčové posty v inštitúciách a v



jadrových prevádzkach, bezpečnostných úradoch a dozorných organizáciách, v akadémiách, v akadémiách vied, medzinárodných organizáciách, výskumných organizáciách a univerzitách.

Po vyše roku činnosti výbor vydal pozitívne vyhlásenie, v ktorom uvádza, že *"elektráreň plne vyhovuje všeobecným princípom najnovších medzinárodných princípov, odporúčaní a požiadaviek, ktoré vydali medzinárodné organizácie. Do projektu boli navyše zahrnuté mnohé z princípov a požiadaviek, ako sú uvedené v EUR's (European Utility Requirements.), čo sú požiadavky, schválené zo strany prevádzkovateľov jadrových elektrární v EU pre moderné jadrové elektrárne"*.



### 5.2 PREVÁDZKA VIACERÝCH BLOKOV

Jadrové elektrárne typu VVER-440 sú obvykle projektované ako elektrárne so štyrmi blokmi.

Každé dva bloky (1&2 a 3&4) sú konštruované ako "paralelné bloky". V prípade Mochoviec sú všetky štyri bloky typu 213.

Paralelné bloky majú spoločné niektoré systémy (úplne alebo čiastočne) a budovy, ako je:

- systém demineralizovanej vody;
- systém technickej vody;
- systém chladiacej vody;
- rezervná elektrická zbernica 0.4 kV (bloky slúžia ako vzájomná rezerva);
- ventilačný komín
- budova diesel generátorov;
- riadiaca miestnosť pre spoločné systémy dvojbloku (spoločná dozorňa);
- reaktorová hala.

Medzi systémy, ktoré sú pre celý závod spoločné, patrí:

- systém dodávky nízkotlakového vzduchu;
- systém úpravy prídavnej a doplňovacej vody;
- informačné stredisko elektrárne;
- hala s turbínami (je v nej umiestnených 8 turbín (pre 4 bloky).

Vyššie uvedené funkcie ovplyvňujú prevádzkové podmienky v závode. Ovplyvňujú aj organizačnú štruktúru personálu pracujúceho v zmenovej prevádzke. Sú tu určité organizačné jednotky, ktoré sú spoločné pre oba bloky alebo celý závod. Toto usporiadanie má určité výhody aj nevýhody.

#### Výhody

Výhody usporiadania viacerých blokov súvisia s hospodárnosťou a bezpečnosťou. Používanie spoločných systémov, spoločných organizačných jednotiek, spoločnej údržby a technickej podpory je z ekonomického hľadiska výhodné. Z hľadiska prevádzkovej bezpečnosti sa javí ako výhoda, že vyššia dostupnosť zariadení zabezpečená využívaním určitých zariadení z iných blokov, slúži ako záložná rezerva. Viacnásobné usporiadanie je veľmi výhodné aj z hľadiska havarijného riadenia. Napr. v prípade straty elektrického napájania z vonkajšej siete je pravdepodobnosť poškodenia aktívnej zóny oveľa nižšia pri viacblokovom usporiadaní ako pri elektrárnach s jednoblokovým usporiadaním.



### Nevýhody a ich riešenie

Hlavné nevýhody elektrární s viacerými blokmi môžu súvisieť s bezpečnosťou. Existujúce prepojenia môžu umožniť, že udalosť ktorá vznikne na jednom bloku sa preniesie na ďalší blok (napr. šírenie požiaru).

V rámci programu zvýšenia bezpečnosti blokov EMO12 a MO34 boli prijaté niektoré opatrenia na elimináciu alebo redukciu týchto nevýhod. Preskúmala sa spoľahlivosť systémov a boli vypracované bezpečnostné štúdie s cieľom nájsť vhodné riešenia na všetky potenciálne nevýhody systému s viacerými blokmi. Tieto aktivity boli zamerané týmito smermi:

- Identifikácia a eliminácia najrizikovejších prepojení, separácia blokov;
- Zvýšenie spoľahlivosti jestvujúcich spoločných systémov;
- Inštalácia nových spoločných systémov na zvýšenie spoľahlivosti;
- Celkové zvýšenie bezpečnosti závodu.

Príklady zavedených riešení sú nasledovné:

- Prepojenie blokov na úrovni 6 kV;
- Nová technológia na prepínanie z vedenia 400 kV na 110 kV a inštalácia celkom nového elektrického diagnostického systému;
- Inštalácia prídavného 7. dieselového generátora (spoločného pre bloky 3 a 4), ktorý zabezpečuje elektrické napájanie pre vybrané spotrebiče potrebné pre zmiernenie následkov ťažkých havárií
- Zvýšenie požiarnej odolnosti podpornej konštrukcie strechy v strojovni turbín





### 5.3 RADIAČNÁ OCHRANA PRED IONIZUJÚCIM ŽIARENÍM

#### Ionizujúce žiarenie

Termín **žiarenie** sa používa na popis elektromagnetických vln, ako je svetlo, rádiové vlny, rtg. lúče a častíc emitovaných rádioaktívnymi materiálmi, ktoré sa rozkladajú alebo rozpadajú, aby sa dostali do stavu, ktorý nie je rádioaktívny. Tieto častice a elektromagnetické vlny s väčšou energiou vytvárajú v materiáloch, ktoré zasiahnu, elektricky nabitú časticu nazývanú **ióny**. **Ionizácia** môže mať za následok chemickú zmenu; v živých tkanivách tieto zmeny môžu viesť k poškodeniu organizmu.

Ionizujúce žiarenie je:

- **$\alpha$  žiarenie** (jadrá atómov chemického prvku hélum):

tieto častice sa ľahko zastavujú a neprenikajú pokožkou; rádioaktívne materiály, ktoré emitujú  $\alpha$  žiarenie môžu byť nebezpečné iba pri prehltnutí alebo inhalácii alebo ak preniknú do tela cez poškodenú pokožku;

- **$\beta$  žiarenie** (elektróny):

tieto častice majú väčšiu penetráciu schopnosť ako  $\alpha$  častice ale sa dajú zastaviť relatívne tenkou vrstvou vody, skla alebo kovu; rádioaktívne materiály, ktoré emitujú  $\beta$  žiarenie môžu byť taktiež nebezpečné, ak sa dostanú do tela;

- **$\gamma$  žiarenie a rtg. lúče** (elektromagnetické žiarenie):

tieto elektromagnetické vlny dokážu prenikať cez relatívne veľkú hrúbku hmoty predtým ako sú absorbované, dajú sa odtieniť dostatočnou hrúbkou olova alebo betónu;

- **neutróny** (neutrálne častice prítomné vo všetkých atómových jadrách okrem vodíka):

tieto častice sú taktiež veľmi penetratívne, ale dajú sa odtieniť hrubou vrstvou betónu alebo vody.

#### Prírodné žiarenie prostredia a človekom vyrobené umelé zdroje žiarenia

Prírodné žiarenie prostredia pochádza z primárnych zdrojov: kozmické žiarenie, slnečné žiarenie, vonkajšie terestriálne zdroje a radón.

Človekom vyrobené umelé zdroje žiarenia sa vyskytujú najmä v zdravotníckej praxi (diagnostické rtg lúče, používanie rádioizotopov, atď.); jadrových reaktoroch pre výrobu elektriny, rádioaktívnom spáde zo skúšok jadrových zbraní, spotrebiteľských výrobkoch.

#### Rádioaktívny rozpad

Dôležitou črtou všetkých rádioaktívnych materiálov je to, že ich aktivita klesá s časom.

Rádioaktívny rozpad je proces, pri ktorom nestabilné atómové jadro stráca energiu emitovaním žiarenia vo forme častíc alebo elektromagnetických vln.





Výsledkom tohto rozpadu, alebo straty energie, je atóm jedného typu, nazývaný materský nuklid, ktorý sa mení na atóm rozdielneho typu, nazývaný dcérske nuklid.

Každý materiál je charakterizovaný polčasom rozpadu, čo je čas, za ktorý sa rozpadne polovica rádioaktívneho materiálu. Za dva polčasy sa rádioaktivita redukuje na štvrtinu svojej pôvodnej úrovne a za desať polčasov na približne jednu tisícinu.

Polčasy rozpadu rádioaktívnych materiálov kolíšu od zlomkov sekúnd po milióny rokov. Vo všeobecnosti, väčšina rádioaktívnych materiálov – tých, ktoré emitujú intenzívne prenikajúce žiarenie a vyžadujú silné odtienenie – sa rozpadajú na zanedbateľné úrovne relatívne rýchlo. Dlhoožijúce rádioaktívne materiály emitujú veľmi málo žiarenia, obvyčajne s nízkou prenikajúcou schopnosťou, nebezpečenstvo týchto materiálov v princípe súvisí s ich preniknutím do tela.

Množstvá rádioaktivity (aktivity) sú merané v **Becquereloch** (Bq). Jeden Becquerel odpovedá jednej rádioaktívnej premene za jednu sekundu (v priemere) v sledovanom materiáli.

### Dávkové množstvá

Meracou jednotkou **absorbovanej dávky** je **Gray** (Gy), ktorý odpovedá absorpcii 1 Joule energie v 1 kilograme materiálu.

Jednotkami používanými na meranie **ekvivalentnej dávky** žiarenia prenikajúceho do organizmu sú **Sievert** (Sv), **milisievert** (mSv) a **mikrosievert** (μSv).

Sievert je mierou biologického vplyvu žiarenia na ľudí exponovaných ionizujúcim žiarením; zohľadňuje spôsob, akým konkrétny typ žiarenia distribuuje energiu v tkanive tak aby v dôsledku svojej relatívnej efektivity spôsobilo biologické poškodenie. Pre gama lúče, röntgenové lúče a beta častice je radiačný váhový faktor stanovený ako 1, preto absorbovaná dávka a ekvivalentná dávka sú numericky rovnaké. Pre alfa častice je hodnota tohto faktora 20, preto ekvivalentná dávka sa zdá byť 20 násobkom absorbovanej dávky. Hodnoty radiačného váhového faktora pre neutróny s rôznymi energiami kolíšu od 5 do 20.

Namiesto toho sa používa **efektívna dávka**, čo je **ekvivalentná dávka** zvážená pre rôzne poškodenie rôznych tkanív (tkanivovým váhovým faktorom). V skutočnosti riziko pre rôzne časti ľudského tela sa mení od orgánu k orgánu. Teda, v prípade čiastočného ožiarovania rozdielnym typom žiarenia, termín **ekvivalentná efektívna dávka** (Sv) sa používa na kvantifikáciu celkového ekvivalentného vplyvu na orgány a tkanivá tela.

Jeden milisievert je jedna tisícina Sievertu a jeden mikrosievert je jedna milióntina Sievertu. Napríklad dávka niekoľkých desiatok Sievertov na malú časť tela sa používa v rádioterapii na ničenie karcinogénnych buniek, kým v radiačnej ochrane medzinárodná hodnota limitnej dávky je 20 mSv/rok pre zamestancov vystavených expozícii a 1 mSv/rok pre obyvateľstvo.

Niekedy je užitočné poznať mieru celkovej radiačnej dávky na skupiny ľudí alebo na celú populáciu. Veličina používaná na vyjadrenie tejto celkovej dávky je **kolektívna efektívna dávka**.



Táto sa získa sčítaním, od všetkých exponovaných osôb, efektívnych dávok, ktoré každá osoba v tejto skupine alebo populácie dostala od sledovaného radiačného zdroja. Napríklad efektívna dávka zo všetkých zdrojov žiarenia je v priemere 2,4 mSv za rok. Celková svetová populácia je približne 6 000 miliónov, teda ročná kolektívna efektívna dávka pre celú ľudskú populáciu je súčinom týchto dvoch čísel, t.j. približne 17 000 000 osobosievertov, značka [manSv].

je zvykom, že efektívna dávka sa skrakuje na dávku a kolektívnu efektívnu dávku.

### Biologické vplyvy

Pri ionizácii živého tkaniva výsledné chemické zmeny môžu ovplyvniť správanie buniek. Kritickým cieľom sú molekuly DNA. Tieto štruktúry, ktoré sú prítomné v každej bunke tela, obsahujú informácie potrebné na rozvoj a delenie buniek a na ich rast, správnu funkciu a reprodukciu organizmu. Poškodenie DNA sa dá často napraviť, ale v niektorých prípadoch môže viesť k odumretiu bunky alebo jej transformácii.

Odumreté bunky sú obvyčajne absorbované alebo odmietnuté organizmom. Teda ak dostatočný počet buniek odumrie, fungovanie organizmu je ovplyvnené a organizmus môže zahynúť. transformácia bunky (alebo jej mutácia) nemusí nevyhnutne viesť k nejakým škodlivým vplyvom. V skutočnosti množstvo takýchto bunkových zmien sa bežne vyskytuje počas života každého organizmu. Veľmi zriedkavo tieto zmeny vyúsťujú do rakoviny alebo, v prípade reprodukčných buniek, do dedičných poškodení v neskorších generáciách. Žiarenie teda môže ovplyvňovať jednotlivca absorbovaním dávky (somatické vplyvy) alebo nasledovné generácie (dedičné vplyvy).

### Radiačná bezpečnosť a ALARA

Pre všetky ľudské činnosti alebo praktiky, ktoré prispievajú k radiačnej expozícii, Medzinárodná komisia pre radiačnú ochranu (ICRP) odporúča systém radiačnej ochrany založený na troch ústredných požiadavkách. Každá z nich obsahuje sociálne zohľadnenia – explicitne prvé dve a implicitne tretia požiadavka – takže do úvahy prichádza potreba posudzovania. Týmto požiadavkami sú **oprávnenosť** praxe, **optimalizácia** ochrany a aplikovanie individuálneho **dávkového limitu**.

**ALARA** je skratkou pre "Také nízke ako je opodstatnene dosiahnuteľné" (As Low As Reasonably Achievable). Toto je princíp radiačnej bezpečnosti pre minimalizáciu dávok a únikov rádioaktívnych materiálov pri využití všetkých opodstatnených metód. Táto politika je založená na princípe, že ľubovoľné množstvo radiačnej expozície, bez ohľadu aké malé, môže zvýšiť pravdepodobnosť negatívnych biologických vplyvov, ako je rakovina, možno aj pri zanedbateľnom množstve. Ďalším princípom je to, že pravdepodobnosť výskytu negatívnych vplyvov expozície žiarením zvyšuje s kumulovanou "životaschopnou" dávkou. Súčasne rádiológia a iné praktiky, ktoré zahŕňajú používanie žiarenia prináša úžitok populácii, takže redukcia radiačnej expozície môže znižovať efektívnosť zdravotníckej praxe.

ALARA nie je iba slovný bezpečnostný princíp, ale je aj legislatívnou požiadavkou pre všetky programy radiačnej bezpečnosti.



### 5.4 HLAVNÉ ZDROJE RÁDIOAKTÍVNYCH EMISIÍ

Prevádzka jadrovej elektrárne predstavuje typický cyklus. Reaktor sa navrhuje na nepretržitú prevádzku na určité obdobie, a potom sa každoročne odstavi na mesiac alebo dva z dôvodu bežnej údržby, premiešania paliva a čiastočného znovunaplnenia.

#### Prevádzka reaktora

Za normálnej prevádzky v dôsledku netesnosti alebo čiastočného poškodenia plášťa paliva sa malé množstvá štiepných produktov uvoľňujú do primárneho okruhu. Trícium, vznikajúce v palive jadrovým štiepením, uniká cez opláštenie mechanizmom difúzie a cez mikroskopické otvory alebo defekty plášťa. Uniknuté množstvá závisia od konštrukcie a kvality palivových článkov.

Malé množstvá rádioaktívneho materiálu môžu vznikať aj v primárnom chladive v dôsledku neutrónovej aktivácie palivových tyčí, primárneho okruhu a povrchu konštrukčných materiálov.

procesy korózie a erózie umožňujú unik produktov aktivácie z týchto materiálov do okruhu primárneho chladenia. Trícium, vznikajúce aktiváciou kyseliny boritej v primárnom chladive je obzvlášť významný produkt aktivácie. Okrem toho, procesy aktivácie vo vzduchu obklopujúcom tlakovú nádobu reaktora produkujú malé množstvá plyných rádioaktívnych častíc, vrátane vodnej pary obsahujúcej trícium a vzácne plyny.

Množstvo rôznych rádioaktívnych emisií z reaktora sa dá zistiť najmä chemickou a objemovou kontrolou chladiaceho média primárneho okruhu. Rozpustené štiepne a aktivačné produkty sa odstraňujú z chladiča procesom iónovej výmeny, výsledkom ktorej je kontaminovaná živica. Pravidelným odstraňovaním a nahradzovaním tejto živice vznikajú tuhé a kvapalné odpady. Pravidelne sa tiež z primárneho okruhu odstraňuje časť chladiča, aby sa odstránilo trícium, aby sa jeho aktivačná koncentrácia udržala pod stanovenou maximálnou prevádzkovou hodnotou. Tieto emisie z primárneho okruhu taktiež spôsobujú vznik zdroja kvapalného odpadu.

Plyny, ktoré vznikajú v primárnom okruhu počas prevádzky sa musia odstraňovať. Toto spôsobuje vznik plyného odpadu. Úniky do ovzdušia môžu nastať aj z ventilačného systému prchavými emisiami z chladiča primárneho okruhu cez menšie netesnosti. Tieto emisie typicky obsahujú vodnú paru s obsahom trícia, vzácne plyny, aerosóly a iné pary.

Odhady množstiev rádioaktivity prítomnej v chladive primárneho okruhu a v zdrojoch rôzneho odpadu sú spracované ako súčasť základného návrhu reaktora použitím konzervatívnych predpokladov. Tieto odpady spolu so zvážením možných zdravotných vplyvov každého rádioaktívneho úniku tvoria všeobecné východisko pre stanovenie prevádzkových limitov vzhľadom na emisie a požiadavky odpadového hospodárstva. Informácie o emisiách vznikajúcich pri normálnej prevádzke, vychádzajúce zo skúseností s prevádzkovaním iných reaktorov typu VVER-440, ilustrujú, že pri prevádzke reaktora sa ľahko splnia tieto limity emisií.

V praxi, prevádzku elektrárne vzhľadom na prevádzkové limity je rutinne monitorovaná regulačnými orgánmi.

#### Doplňovanie paliva a údržba



Pri každoročnom odstavení reaktora sa chladiace systémy odtlakujú, odstráni sa veko tlakovej nádoby primárneho okruhu a vyberie sa jedna tretina zostavy paliva, ktorá sa premiestni do skladovacieho bazéna pri tlakovej nádobe. Zostávajúce dve tretiny paliva sa premiestnia tak, aby sa zachovala optimálna hustota výkonu a do jadra sa vloží nové palivo. Týmto spôsobom sa dosiahne, že po počiatočnej spúšťacej fáze každá zostava paliva ostáva v reaktore tri roky.

Okrem vyhoretého paliva, činnosti pri dopĺňaní paliva môže spôsobiť nárast aktívnych kvapalných emisií a úniky do atmosféry, ktoré sú obdobného charakteru ako úniky z chladiča primárneho okruhu vznikajúce počas normálnej prevádzky.

Opravy a údržbárske práce vykonávané počas odstávky tiež môžu prispieť k rôznym kontaminovaným pevným odpadom vznikajúcim kontaktom s produktami aktivácie alebo kontaktom s kontamináciou z primárneho okruhu reaktora. Tiež sa môžu nahradiť niektoré komponenty aktivované neutrónovým žiarením, ktoré prispievajú k nárastu tuhého odpadu.

### Klasifikácia zdrojov emisií

Aktivačné zdroje v jadrovom reaktore sa obvyčajne členia nasledovne:

- produkty štiepneho procesu;
- produkty korózie;
- produkty aktivácie and aktinidy.

### Produkty štiepenia

Produkty štiepenia vznikajú pri jadrových štiepeniach atómov v palive oxidu uráničitého  $\text{UO}_2$ . Predstavujú temer 200 rádioizotopov takmer 40 rôznych chemických prvkov (atómové čísla 30 - 66) s rôznymi chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami. niektoré z nich sú plyny (napr. vzácne plyny kryptón a xenón), niektoré sú absolútne prchavé pri teplote v reaktore (napr. cézium a jód) a niektoré sú ťažko tavitelné kovy (ako lantanoidy). Céziu-137 je jedným z najviac známym štiepných produktov.

Podstatná časť štiepných produktov má veľmi krátku životnosť na to, aby boli environmentálne významné; tieto rádionuklidy sa rozpadajú skôr ako sú schopné uvoľniť sa do životného prostredia vo významnejšom množstve.

Systém bariér zabraňuje úniku štiepných produktov do primárneho chladiča. Medzi bariéry patria samotná materiálová matrica paliva, ktorá slúži na zachytenie väčšiny neprchavých štiepných produktov počas normálnej prevádzky. Prchavé štiepne produkty majú sklon migrovať cez materiál paliva a akumulovať sa v zrnitom povrchu a jeho štrbinách palivových kaziet. Plášť palivových článkov má za úlohu zadržať prchavé štiepne produkty a zabrániť kontaktu medzi palivom a primárnym chladiacim médiom.

Iba plynné štiepne produkty a väčšina prchavých prvkov uniká v rôznych významných množstvách z materiálovej matrice paliva a akumuluje sa v štrbinách palivových článkov. Plášť paliva bežne obsahuje tieto rádionuklidy, avšak niektoré články môžu spôsobiť menšie poruchy plášťa v dôsledku mechanického alebo tepelného namáhania, korózie alebo iných príčin. Toto



môže vyústiť do úniku niektorých viac prchavých štiepných produktov do primárneho chladiaceho média. Taktiež môže nastať veľké poškodenie plášťa, ale monitorovanie aktivity primárneho chladiča zaručuje, že tieto poškodené články sú detekované a môžu byť z reaktora odstránené.

### Produkty aktivácie a korózie

Tok neutrónov v aktívnej zóne reaktora spôsobuje aktiváciu stabilných izotopov v rôznych materiáloch, vrátane materiálov plášťa paliva, konštrukčných prvkov, chladiacej vody a rozpustených iónov, rozpusteného vzduchu a vzduchu v štrbinách reaktorovej šachty. Aktívne izotopy môžu vznikať jednoduchým zachytením neutrónu alebo sekundárnym procesom ako je zachyt neutrónu s následným  $\alpha$ -rozpadom. Niektoré produkty aktivácie majú veľmi krátku dobu života a nie sú významné pre posudzovanie vplyvov na životné prostredie alebo odpadové hospodárstvo, avšak môžu mať význam pri tienení reaktorovej haly v dôsledku ich prenikajúcich  $\gamma$  lúčov.

Aktivácia materiálov používaných na konštrukčné prvky a plášť paliva a následná korózia alebo erózia týchto materiálov môže viesť k prítomnosti rádionuklidov v chladiacom médiu buď v rozpustnej alebo časticovej forme. Na druhej strane, chemické vlastnosti chladiaceho média sú kontrolované, aby sa korózia minimalizovala. Toto má za následok rutinné monitorovanie širokého rozsahu parametrov, vrátane pH, vodivosti, priehľadnosti, koncentrácie kyseliny boritej, koncentrácie draslíka a sodíka, rozpustných plynov, koncentrácie fluoridov a chloridov a obsah oleja.

Produkty aktivácie v chladiacom médiu môžu byť rozpustné alebo nerozpustné, a vodou sú transportované do všetkých častí primárneho systému. Toto spôsobuje problémy vzhľadom na prístupnosť a bezpečnú údržbu rôznych komponentov kvôli prítomnosti radiačných polí. Medzi takto aktivovanými produktami korózie, emisia  $\gamma$  žiarenia (Co-60, Co-58, Zn-65, Mn-65 and Fe-59) je najvýznamnejšia pri tvorbe problému radiačných polí. Izotopy s dlhším polčasom rozpadu (Fe-55, Ni-63 and Co-60) spôsobujú väčšie problémy pri nakladaní s rádioaktívnym odpadom a pri jeho uložení.

Aktivácia bóru rozpusteného v primárnom chladiči vedie ku vzniku trícia. Aj keď trícium má nízku rádiotoxicitu, je potenciálne významné z radiologického hľadiska kvôli chemickým vlastnostiam obdobným vodíku. To znamená, že veľmi ľahko tvorí molekuly vody, v ktorých sa nedá od vodíka chemicky rozlíšiť a preto je mimoriadne ťažké ho odseparovať z "normálnej vody". Trícium, vo forme tríciovej vody, je veľmi mobilné v životnom prostredí a v živých tkanivách. Jeho polčas rozpadu je približne 12 rokov, z toho dôvodu bude vždy prítomné v chladiči v množstvách podmienených históriou výkonu reaktoru a cyklom výmeny chladiaceho média. Toto je najvýznamnejší zdroj trícia; ostatné zdroje, ako je napr. dôsledok ternárneho štiepného produktu alebo aktivácia karbidu bóru používaného v riadiacich tyčiach, pre jeho vznik vyžadujú haváriu plášťa palivovej tyče alebo riadiacej tyče, kedy sa trícium dostane do primárneho okruhu.

Namiesto procesu jadrového štiepenia, urán v reaktorovom palive môže absorbovať neutróny, pričom vznikajú aktinidy ako napr. plutónium. Tieto môžu preniknúť do chladiaceho média pomalým vylučovaním z exponovaného paliva, ak sa v palivovom plášti vyskytne trhlinka.



Rádiologicky najvýznamnejším rádionuklidom vznikajúcim pri neutrónovej aktivácii ovzdušia v šachte tlakovej nádoby je argón Ar-41, vznikajúci aktiváciou Ar-40. Rádioizotop preniká ventilačným systémom hermetickej zóny cez jódové a aerosólové filtre. Nádrže v čističke plynov, umožňujúce rozpadový proces, sú konštruované tak, aby umožnili rozpad Ar-41 (polčas rozpadu je 1,8 hodiny) pred konečným vypustením obsahu.

Rádioizotop dusíka N-16 vzniká pri jadrovej reakcii s kyslíkom v primárnej chladiacej vode. Hoci má krátky polčas rozpadu (7 sekúnd), je transportovaný cez reaktorový chladiaci okruh k tepelným výmenníkom. Je nepravdepodobné, aby predstavoval ohrozenie zdravia, pokiaľ neunikne pri havarijných podmienkach, pretože produkuje vysoko energetické  $\gamma$  lúče, ktoré sú veľmi prenikajúce a ktoré vyžadujú adekvátne tienenie.





### 5.5 PRINCÍPY MIKROMETEOROLÓGIE A MODEL ROZPTYLU

#### Mikrometeorológia

Meteorológia je základom pre rozptyl znečisťujúcich látok, pretože rozptyl je prvotný faktor určujúci efekt ich rozptýlenia/rozmiestnenia v ovzduší. Znečisťujúce látky (kontaminanty) emitované do ovzdušia sú prepravované na veľké vzdialenosti veľkorozmerovým prúdením vzduchu a rozptylované malorozmerovým vzduchovým prúdením alebo turbulenciou, ktorá mieša kontaminanty s čistým vzduchom.

Hlavnými parametrami, ktoré charakterizujú miesta klímu (mikrometeorológia) a ovplyvňujú kvalitu ovzdušia, sú teplota, relatívna vlhkosť, rýchlosť a smer vetra, tlak, množstvo zrážok a slnečné žiarenie. Súbor meteorologických údajov je odvodený z pozorovaní hlavných parametrov v najbližšej pozemskej stanici a z údajov, ktoré boli odvodené z iných meraní ako je stabilita ovzdušia a zmiešavacia výška.

Stabilita ovzdušia je mierou tendencie pre vertikálny pohyb a teda je dôležitým indikátorom pravdepodobnej magnitúdy rozptylu znečisťujúcich látok.

Zmiešavacia výška alebo zmiešavacia hĺbka sa používa na kvantifikáciu vertikálnej výšky zmiešavania v ovzduší. Je to výška, v ktorej nastáva vertikálne zmiešanie. Predpovedanie zmiešavacej výšky sa vykonáva pomocou vertikálneho teplotného profilu. Do ovzdušia sa vypustí rádiová sonda, ktorá zaznamenáva a posiela späť teploty v rôznych výškach. Výška, v ktorej suchá adiabata pretína meranie rádiovej sondy sa definuje ako maximálna zmiešavacia hĺbka (MMD). Suchá adiabata je definovaná poklesom teploty o 1 °C na 100 m výšky. MMD je funkciou stability. V nestabilnom ovzduší je MMD vyššie a v stabilnom vzduchu je MMD nižšie.

Stabilita ovzdušia a zmiešavacia výška hraničnej vrstvy sa tiež pokladajú za mimoriadne dôležité parametre týkajúce sa kvality ovzdušia. Ak vieme, aké je stabilné (alebo nestabilné) ovzdušie v danom čase, dokážeme sa predpovedať pravdepodobnosť, s akou sa emitované znečisťujúce látky rozptýlia a pravdepodobnosť hodnôt koncentrácie základnej úrovne. Stabilita ovzdušia často ovplyvňuje správanie oblakov emisií vzhľadom na výšku, do ktorej vystúpia, a do akej miery sa zmiešajú s okolitým prostredím.

Najstaršou a po dlhé roky najviac používanou metódou kategorizácie množstva prítomných atmosférických turbulencií bola metóda, ktorú vyvinul Pasquill v roku 1961, a neskôr ju modifikoval Gifford.

Pasquill rozdelil atmosférické turbulencie do šiestich tried stability A, B, C, D, E a F; pričom trieda A predstavuje najviac nestabilnú, resp. najviac turbulentnú triedu a trieda F predstavuje najstabilnejšiu resp. najmenej turbulentnú triedu.

Nestabilné podmienky podporujú rýchlejší rozptyl atmosférických kontaminantov a majú za následok ich nižšie koncentrácie v porovnaní sa stabilnými podmienkami.

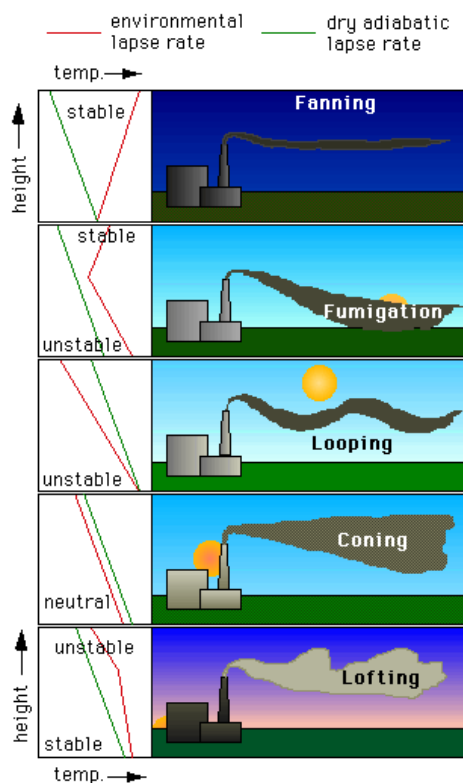




## PRÍLOHA - TEMATICKÝCH BLOKOV

<i>P-G TRIEDA STABILITY</i> <i>podľa Pasquill-Gifford</i>	<i>PODMIENKA</i>	<i>ÚSEK DŇA</i>
A	mimoriadne nestabilná	cez deň
B	stredne nestabilná	cez deň
C	slabo nestabilná	cez deň
D	neutrálna	cez deň alebo v noci
E	stabilná	v noci
F	veľmi stabilná	v noci

Oblak emisií uniknutý do nestabilného ovzdušia sa javí ako obraz slučky (looping). Slučka vzniká, keď stúpajúci prúd teplého vzduchu vynáša segment oblaku z jeho povrchu smerom nahor, kým kompenzačný klesajúci prúd tlačí vedľajšiu časť oblaku nadol. Kužeľovitý tvar vzniká, keď emisný oblak unikol v strede neutrálnej vrstvy. Ako je znázornené na obrázku, kužeľovitý tvar je typický v podvečer na sklonku dňa a v noci za prítomnosti silného vetra. Stabilné ovzdušie, ktoré sa obvyčajne vyznačuje inverziou počas jasných nocí, tvorí vejárovitý tvar. Oblak, ktorý unikol do stabilnej atmosféry, nestúpa nahor, ani sa nemieša, pokiaľ nepríde do kontaktu s turbulenciou. Vejárovitý oblak sa často šíri na veľké vzdialenosti od svojho zdroja v smere vetra.





Slučky (looping), kužeľovité (coning) a vejárovité (fanning) tvary sú charakteristické pre väčšinu dlhotrvajúcich podmienok stability a z tohto dôvodu sú pozorovateľné dlhšiu dobu ako 24 hodín. Klesajúce (fumigation) a stúpajúce oblaky (lofting) sú často charakteristické pre prechodné obdobia medzi dňom a nocou a zriedka trvajú dlhšie ako pár hodín. Klesajúce oblaky sa vyskytujú v raňajších hodinách pri postupnom rozplývání nočnej inverzie v dôsledku otepľovania zemského povrchu. Pri zahrievaní povrchu, vzduch nad ním sa tiež otepľuje. Nestabilná vrstva stúpa od povrchu nahor, ale ostáva prikrytá inverziou, ktorá sa nachádza nad ňou. Emisný oblak ostáva pod inverziou, je zachytený blízko povrchu, pokiaľ sa inverzia nerozpadne a nie je nahradená nestabilnou vrstvou. Na druhej strane, stúpajúce oblaky sa vyskytujú večer, keď končí zahrievanie povrchu a nastupuje ochladzovanie sálaním.

Správanie sa látok znečisťujúcich ovzdušie nie je ovplyvňované iba stabilitou ovzdušia. Vplýva na ne taktiež smer a intenzita vetra. Pohyby vzduchu spôsobené tepelnými a mechanickými vplyvmi budú viať znečistené ovzdušie týmto smerom. Všetky tieto faktory majú synergický efekt, takže tento pohyb môže byť spomaľovaný alebo urýchľovaný stabilitou ovzdušia.

### Model rozptylu do ovzdušia

Neexistuje ucelená teória, ktorá popisuje vzťah medzi koncentraciami znečisťujúcich látok v ovzduší a ich spôsobujúcimi meteorologickými faktormi a procesmi. Rozptyl spôsobený vetrom je veľmi komplexný proces v dôsledku prítomnosti vírov rôznej veľkosti v prúde atmosféry.

modelovanie rozptylu do ovzdušia je matematickou simuláciou, ako sa látky znečisťujúce ovzdušie rozptyľujú v okolitom prostredí. Vykonáva sa pomocou počítačových programov, ktoré riešia matematické rovnice a algoritmy, ktoré simulujú rozptyl znečisťujúcich látok. Rozptylové modely sa používajú na odhad alebo predpovedanie koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší, emitovaných zo zdrojov ako sú priemyselné podniky, v smere prúdenia vetra.

Modely rozptylu vyžadujú vstupné údaje, medzi ktoré patria:

- meteorologické podmienky ako sú rýchlosť a smer vetra, množstvo atmosférických turbulencií (sú charakterizované tzv. "triedami stability"), teplota okolitého ovzdušia, výška spodnej hrany inverznej oblasti, ak je prítomná;
- emisné parametre, ako sú lokalita a výška zdroja, priemer vetracích priechodov v zdroji, rýchlosť emitovaných častíc pri výstupe, výstupná teplota a rýchlosť hmotnostného prietoku emitovaných častíc;
- nerovnosti a profil terénu v lokalite zdroja a v lokalite prijatia;
- umiestnenie, výška šírka všetkých prekážok (ako sú budovy alebo iné stavby), ktoré sa nachádzajú v trase emitovaného plynného oblaku.

Proces modelovania znečistenia ovzdušia obsahuje 4 etapy (vstup dát, výpočty rozptylu, odvodenie koncentrácií a samotnú analýzu). presnosť a neurčitost každej etapy musí byť známa a vyhodnotená, aby sa zaručilo spoľahlivé posúdenie významnosti ľubovoľného potenciálneho nepriaznivého vplyvu.

Najpoužívanejšie modely rozptylu v súčasnosti sú gaussovské modely obnoviteľných oblakov. Sú založené na matematickej aproximácii správania

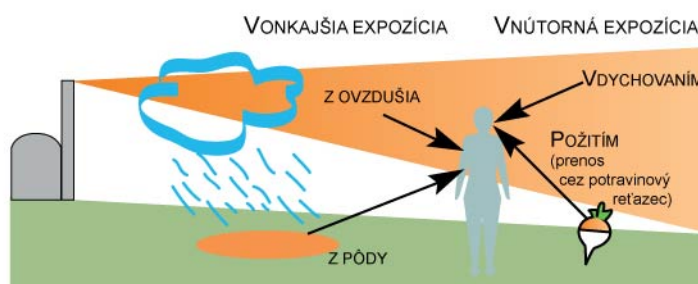


oblaku a sú to najjednoduchšie použiteľné modely. Zahrňujú zjednodušený popis procesu rozptylu a niektoré základné predpoklady, čo spôsobuje, že nemusia presne popisovať realitu. Avšak aj pri týchto obmedzeniach, tento typ modelu, ak sa použije primeraným spôsobom, poskytuje uspokojivé výsledky.



### 5.6 RÁDIOEKOLÓGIA

Rádioekológia je vedecká disciplína, ktorá sa zaoberá interakciou rádioaktívnych látok s prírodou, vplyvmi rozličných mechanizmov na migráciu týchto látok a ich absorpciou potravinovým reťazcom a ekosystémami. Výskumy v rádioekológii by mohli zahŕňať aspekty terénneho odberu vzoriek, navrhovaných terénnych a laboratórnych pokusov a vývoja prediktívnych simulačných modelov. Táto multidisciplinárna a interdisciplinárna veda kombinuje postupy niektorých základných tradičných odvetví ako je fyzika, chémia, matematika, biológia a ekológia s aplikovanými princípmi radiačnej ochrany. Rádioekologické štúdie formujú základ pre odhad dávky a pre posudzovanie následkov rádioaktívneho znečistenia na ľudské zdravie a životné prostredie.



Záujem o rádioekológiu sa zvýšil po černobyľskej havárii v roku 1986, kedy veľké časti Európy boli kontaminované rádioaktívnym spádom. Územia, ktoré obdržali najväčšie množstvá spádu, boli územia s obdobím výdatných zrážok počas prechodu rádioaktívneho mraku. Meracia technika používaná na detekciu rádioaktívnych látok je veľmi citlivá, a dnes, o 20 rokov neskôr, je stále možné detegovať spád. ďalšími zdrojmi umelého rádioaktívneho žiarenia v životnom prostredí je globálny spád zo skúšok jadrových zbraní v atmosfére v 50. a 60. rokoch, bežné emisie z jadrových zariadení a spracovateľských zariadení a možné úniky z potopených ponoriek na jadrový pohon. Je potrebné zdôrazniť, že priemerná expozícia umelým žiarením (okrem zdravotníckych aplikácií) je menej ako 1 percento celkového množstva.



### PRIEMERNÁ RADIČNÁ EXPOZÍCIA OBYVATEĽSTVA EÚ (PRÍRODNÁ A Z UMEĽÝCH ZDROJOV)



Rádionuklidové izotopové indikátory otvorili celkom novú oblasť výskumu kritických dráh pohybu polutantov v životnom prostredí a ich potenciál preniknutia do potravinového reťazca alebo ich bioakumuláciu na podstatne vyššie výživové úrovne. Boli vyvinuté zložité matematické rovnice, ktoré umožňujú výpočet času dynamického prechodného stavu na dosiahnutie celotelových koncentrácií a rovnovážnych celotelových záťaží zároveň z akútneho aj chronického požitia týchto látok.

V podstate potravinový reťazec, a nie koncentráty alebo rozpustné polutanty, je tým javom, ktorý spôsobuje chybné vnímanie dopadov nebezpečných látok v životnom prostredí verejnosťou. Použitie modelov potravinových reťazcov má význam pri vývoji obligatórnych noriem pre environmentálne expozície (prehľnutím) a pri vývoji analýzy rizika pre úniky nebezpečných látok.



### 5.7 PROGRAM RDEMO©

Na odhad rádiologických následkov úniku rádioaktívnych materiálov (do ovzdušia cez ventilačné komíny a do hydrosféry – povrchovej vody t.j. do rieky Hron) pri normálnej a abnormálnej prevádzke sa používa výpočtový programový systém RDEMO©. Tento program bežne používajú slovenské schvaľovacie orgány pri príprave výročnej správy.

Program RDEMO© je jedným z balíka štyroch aplikácií. RDETE, RDEDU, RDEBO, RDEMO. Prvé dva sa používajú v Českej republike (Dukovany, Temelin).

Potvrdenie overenia sa vykonalo na základe porovnávacej analýzy pre referenčné úlohy, ktorú vypracovala Expertná komisia č. 6 SÚJB ČR v Prahe na výpočet rozptylu rádioaktívnych materiálov. Porovnávacie analýzy sú povinné pre programy používané v ČR v tejto oblasti. Závety sú platné pre všetky výpočtové programy RDxxx, pretože všetky systémy (RDEBO, RDEMO, RDEDU and RDETE) vychádzajú z jednotnej metodiky a výpočtové moduly používajú rovnaké algoritmy a programové prostriedky.

Úrad bezpečnosti a zdravia SR vydal povolenie pre SE a.s. na používanie programu RDEMO© vo svojom povolení č. OOPZ/6274/2006 z 2. novembra 2006.

Programový balík RDEMO© obsahuje programy pre prípravu vstupných súborov údajov, výpočtové programy, programy pre grafické a tlačové výstupné zostavy spolu s jednotlivými programami, ktoré nasledujú jeden po druhom a s výstupmi jedného programu ako vstupnými údajmi pre nasledujúci program.

Program umožňuje výpočty efektívnych dávok a ekvivalentných dávok pre šesť orgánov alebo tkanív ľudského tela (gonády, kostnú dreň, pľúca, štítnu žľazu, horné hrubé črevo (ULI) a pokožku, pre 5 vekových kategórií obyvateľstva (0-1 rok, 1-2 roky, 2-7 rokov, 7-12 rokov, 12-17 roční a dospelí) z nasledujúcich vstupných zdrojov:

- externá expozícia z ovzdušia z rádioaktívneho oblaku a z úložiska,
- externá expozícia z hydrosféry z kúpania, z pobytu na sedimentoch, a zo zavlažovanej pôdy,
- interná expozícia z nadýchnutia,
- interná expozícia z požitia potravín kontaminovaných atmosferickým spádom (potravinové reťazce: mäso (hovädzie, bravčové a hydina), mlieko, obilniny, zelenina (listová zelenina, koreňové plodiny a zemiaky), ovocie a iné plodiny (vajíčka, cukor, pivo, olejnaté plodiny),
- interná expozícia z hydrosféry – požitie pitnej vody, rýb a potravín kontaminovaných zavlažovaním.

Program umožňuje výpočet ročnej individuálnej efektívnej a ekvivalentnej dávky alebo 50(70) ročnej kolektívnej efektívnej a ekvivalentnej dávky pre šesť vekových kategórií (0-1 rok, 1-2 roky, 2-7 rokov, 7-12 rokov, starší ako 17 roční) pre šesť orgánov tela (gonády, kostnú dreň, pľúca, štítnu žľazu, zažívací trakt a pokožku) a pre celé telo, pre desať radiačných dráh (z ovzdušia: externé žiarenie zapríčinené oblačnosťou a úložiskom; interné žiarenie zapríčinené inhaláciou z oblačnosti, požitím potravín kontaminovaných atmosferickým spádom; z hydrosféry: externé žiarenie pri plávaní a člnkovaní, spôsobené kontaminovanými



príborežnými sedimentami, spôsobené pobytom na zavlažovanej pôde, interné žiarenie zapríčinené požitím kontaminovanej pitnej vody, požitím kontaminovaných rýb, požitím potravín kontaminovaných zavlažovaním). Program taktiež vypočíta 50(70) ročné väzby kolektívnej efektívnej dávky pre všetky pásma – regionálne dávky.

Program stanovuje kritickú skupinu obyvateľstva (kritické pásmo), kritickú radiačnú dráhu a kritické rádionuklidy pre jednotlivé radiačné dráhy a celkové dráhy do ovzdušia a do hydrosféry, vrátane príspevku jednotlivých rádionuklidov.

Územie s 60 km polomerom od jadrovej elektrárne Mochovce je rozdelené na 192 pásem (0 – 1 km, 1 – 2 km, 2 – 3 km, 3 – 5 km, 5 – 7 km, 7 – 10 km, 10 – 15 km, 15 – 20 km, 20 – 30 km, 30 – 40 km, 40 – 50 km, 50 – 60 km; v smeroch S, SSV, SV, VSV, V, VJV, JV, JJV, J, JJZ, JZ, ZJZ, Z, ZSZ, SZ, SSZ)

Program RDEMO© je určený najmä na vyhodnotenie vplyvu jadrovej elektrárne na životné prostredie pri normálnej prevádzke, ale je taktiež vhodný na havarijné posúdenie únikov do hydrosféry a tiež na posúdenie rádiologických následkov počas strednej a finálnej fázy havárie.

NPP.NRCDose je norma jadrového priemyslu pre výpočet dávok na obyvateľov z bežného uvoľňovania rádioaktívnych látok pri práci jadrovej elektrárne.

NRCDose je softvér na základe Microsoft Windows™ PC, ktorý poskytuje rozhranie pre štandardné priemyslové programy LADTAP II, GASPARI, a XOQDOQ.

LADTAP II, GASPARI a XOQDOQ boli pôvodne napísané pre sieťové počítače s použitím programového jazyka FORTRAN. Pri využití vyskúšaných modulov FORTRAN umožňuje NRCDose užívateľovi vstupy a výstupy údajov pomocou série dialógových okien, čo robí program omnoho prístupnejší a účinnejší ako pri pôvodnej zostave. Toto grafické rozhranie dovoľuje užívateľovi tiež vytvárať skupiny údajov, ktoré môžu byť pomenované a neskôr použité pre prehľad alebo modifikáciu.

- LADTAP – Modelovanie dávok kvapalín:
  - Radiaca príručka 1.109;
  - Príjem potravy rýb a bezstavovcov;
  - Pitná voda;
  - Zavlažované obilniny;
  - Pobrežie a prevádzka lodí;
  - Dávky rekreačné a populačné;
  - Zhodnotenie nákladov a výnosov ALARA;
- GASPARI – Modelovanie dávok plynov:
  - Radiaca príručka 1.109;
  - Priame vystavenie vzácnym plynom;
  - Inhalácia;





- Príjem detského mlieka;
- Uskladňovanie a príjem potravy;
- Dávky rekreačné a populačné;
- Zhodnotenie nákladov a výnosov ALARA;
- XOQDOQ – Modelovanie atmosferickej disperzie:
  - Riadiaca príručka 1.111;
  - X/Q, Priemerná ročná disperzia;
  - D/Q, Uloženie častíc rádioaktívneho jódu;
  - Občasné uvoľnenia – kontrolný ventil, vypustenie nádrže s látkami rozpadu;
  - Výstup formátovaný pre priamy vstup do GASPAR.



### 5.8 POSUDZOVANIE BEZPEČNOSTI VZHĽADOM NA HAVARIJNÉ PODMIENKY

Hodnotenie bezpečnosti jadrovej elektrárne Mochovce bolo spracované na základe štruktúrovaného prístupu, ktorý je plne v súlade so základnými princípmi medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (IAEA) a požiadavkami a praxou západných krajín.

IAEA (Bezpečnosť jadrových elektrární: Projektovanie, Safety Standards Series č. NS-R-1, Viedeň, 2000) vyžaduje: "Bezpečnostná analýza návrhu elektrárne musí byť spracovaná metódami deterministickej aj pravdepodobnostnej analýzy, ktoré sa musia použiť. Na základe tejto analýzy sa stanoví a potvrdí základný návrh systémov dôležitých pre bezpečnosť. Tiež sa musí dokázať, že zariadenie, ako je navrhnuté, je schopné spĺňať všetky predpísané limity pre rádioaktívne úniky a akceptovateľné limity pre potenciálne radiačné dávky pre každú kategóriu stavov elektrárne a že je realizovaná ochrana do hĺbky".

Bezpečnostná filozofia, ktorá je použitá v návrhu a v hodnotení bezpečnosti zariadenia, je zameraná primárne na prevenciu havárií, ale tiež sa sústreďuje na zmiernenie následkov havárií, ktoré môže spôsobiť väčšie úniky. Cieľom je redukovať zároveň pravdepodobnosť udalostí a s nimi súvisiacich následkov mimo miesta vlastného zariadenia, aby sa vylúčila nevyhnutnosť extenzívnych protipatrení, a poskytnúť kompetentným orgánom možnosť zjednodušenia havarijného plánovania pre územie mimo miesta vlastného zariadenia.

Pre tento účel sa všeobecne používa princíp "ochrany do hĺbky", ktorý reprezentuje základný rámec pre bezpečnosť väčšiny jadrových zariadení. Princíp "ochrany do hĺbky" sa sústreďuje na viacnásobné úrovne ochrany, úspešne predvídateľné bariéry zabraňujúce úniku rádioaktívnych látok do životného prostredia, aby sa eliminovalo potenciálne zlyhanie ľudského alebo mechanického faktora. Aplikácia koncepcie ochrany do hĺbky v projekte elektrárne zabezpečí niekoľko úrovní ochrany (vnútorné/vlastné charakteristiky, zariadenia a postupy). Ďalej obsahuje opatrenia na ochranu obyvateľstva a životného prostredia pred ohrozením, v prípade, že tieto bariéry nie sú plne účinné. Ochrana do hĺbky pomáha zabezpečiť zachovanie troch základných bezpečnostných funkcií (regulácia reaktivity, odvod tepla prostredníctvom ochladzovania paliva a zadržiavanie a obmedzovanie rádioaktívneho materiálu vo vnútri barier) a zabraňovať kontaktu rádioaktívnych materiálov s ľuďmi a životným prostredím.



## PRÍLOHA - TEMATICKÝCH BLOKOV

Stratégia	Prevencia havárie		Zmiernenie následkov havárie		
Udalosti	Normálna prevádzka	Predvídateľné prevádzkové udalosti	Základný projekt a komplex prevádzkových udalostí	Ťažké nadprevádzkové havárie	
Kontrola	Činnosti pri normálnej prevádzke		Zvládanie havárií v základnom projekte	Zvládanie a manažment havárií	
Postupy	Postupy pri normálnej prevádzke		Postupy pri havarijnej prevádzke	Finálna časť postupov pri havarijnej prevádzke	
Reakcia	Systémy aktívne pri normálnej prevádzke		Inžinierske bezpečnostné opatrenia	Špeciálne navrhnuté opatrenia	Príprava na ohrozenie mimo miesta vlastného zariadenia
Podmienky bariéry	Oblasť špecifických akceptovateľných projektových limitov množstva paliva	Chyba paliva	Vážne poškodenie paliva	Roztavenie paliva	Nekontrolované roztavenie paliva
					Strata ochrany

OBR. 1. Prehľad ochrany do hĺbky

Posudzovanie úrovne jadrovej bezpečnosti dosiahnutej v jadrovej elektrárni a rozsah, v akom je koncepcia ochrany do hĺbky implementovaná v návrhu elektrárne sa vykonáva použitím ako deterministickej, tak aj pravdepodobnostnej analýzy. Tieto dva prístupy, ktoré sa v súčasnosti vzájomne kombinujú, sú stručne charakterizované ďalej.

### Deterministický prístup

Na demonštrovanie tolerancie elektrárne voči poruchám a efektivity jej bezpečnostných systémov, v súlade s medzinárodnou praxou, sa vyžaduje použitie deterministickej analýzy možností elektrárne zvládnuť reprezentatívny predpovedaný súbor poruchových podmienok. Používajú sa vhodné posudzovacie nástroje (napr. skúšky, výpočty pomocou overených počítačových programov alebo inžinierskou analýzou) a celkový prístup je konzervatívny, t.j. predvída zahrnutie vhodných bezpečnostných okrajových podmienok, ktoré majú zohľadňovať potenciálne najnepriaznivejšie kombinácie porúch, ktoré zhoršujú pôvodne uvažované scenáre. Zohľadňované scenáre abnormálnych/havarijných stavov sa klasifikujú vzhľadom na odhadovanú frekvenciu ich výskytu, a kritériá akceptovateľnosti sa nakoniec vyjadria ako limity odpovedajúcich únikov štiepných produktov. Je zrejmé, že navrhovanie elektrárne musí byť také, že čím je vyššia je frekvencia súvisiaca s nehodou, tým nižšie majú byť jej rádiologické následky.

Bezpečnostná analýza vo všeobecnosti zahŕňa aj deterministický aj pravdepodobnostný prístup. tieto prístupy dokazujú, že sa navzájom dopĺňajú a v súčasnosti sa používajú obidva v procese prijímania rozhodnutí súvisiacich s bezpečnosťou a schopnosťou zariadenia dostať povolenie na prevádzku.

### Pravdepodobnostný prístup

Pravdepodobnostný prístup (bežne uvádzaný ako "pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti" – PSA) sa líši od deterministickej bezpečnostnej analýzy v tom, že poskytuje metodologický prístup k identifikácii následkov havárie, ktorá môže byť spôsobená širokou škálou iniciačných udalostí; metóda



okrem toho obsahuje systematické a realistické stanovenie frekvencie havárie a jej dôsledkov. Veľká výhoda PSA je v tom, že umožňuje kvantifikáciu neurčitostí v bezpečnostnom posudzovaní spolu s kvantifikáciou názorov a stanovísk kvalifikovaných odborníkov. Ďalej, PSA dokázala, že poskytuje významné bezpečnostné uhly pohľadu dopĺňajúce tie, ktoré boli získané deterministickou analýzou. Všeobecne sa uznáva, že primárnym cieľom výskumu PSA je hodnotenie "sily" aktuálneho bezpečnostného stavu zariadenia a identifikácia priorít pri zvyšovaní bezpečnostných opatrení.

V medzinárodnej praxi sa vyskytujú tri úrovne PSA:

- **Úroveň 1:** Posudzovanie porúch zariadenia, ktoré vedú k stanoveniu frekvencie poškodenia aktívnej zóny.
- **Úroveň 2:** Hodnotenie rizika únikov rádioaktívnych látok do okolia a popis rozhrania medzi prvou a druhou úrovňou, charakteristiky zdrojového člena a frekvencia úniku rádioaktívnych látok do okolia,
- **Úroveň 3:** Posúdenie následkov na území mimo vlastného zariadenia, ktoré spolu s výsledkami analýzy úrovne 2, vedú k odhadnutiu rizika pre obyvateľov

PSA určuje všetky významné zložky rizika pochádzajúceho z elektrárne a hodnotí rozsah, v ktorom je dobre vyvážený návrh konfigurácie celkového systému zariadenia; predpokladá, že zvonku mimo systému neprispieva žiadne riziko a že návrh spĺňa základné pravdepodobnostné ciele. Napríklad, pri zohľadnení úrovne 1 pravdepodobnostný cieľ sa vzťahuje na frekvenciu výskytu poškodenia aktívnej zóny, ako indikátora efektívnosti bezpečnostných opatrení definovaných v projekte elektrárne pre prevenciu poškodenia aktívnej zóny. Vo všeobecnosti sa pre elektrárne požaduje, aby všetky kombinácie porúch zariadenia, ľudských zlyhaní, človekom zapríčinených udalostí a prírodných udalostí, ktoré podľa deterministickej analýzy vedú k poškodeniu aktívnej zóny, mali dostatočne nízku frekvenciu výskytu. IAEA odporúča, aby súčet frekvencií výskytu všetkých udalostí vedúcich k poškodeniu aktívnej zóny (vo všetkých stavoch elektrárne) bol menší než jedenkrát za  $10^4$  rokov pre prevádzkované elektrárne (ako EMO12) a jedenkrát za  $10^5$  rokov pre nové elektrárne (ako MO34).

Je potrebné poznamenať, že deterministický aj pravdepodobnostný prístup boli zohľadňované pri navrhovaní EMO12: na základe veľkého množstva deterministických analýz bola spracovaná PSA úroveň 1, výsledky ktorej sú v plnom súlade s vyššie uvedenými odporúčaniami IAEA. Ten istý prístup bol vykonaný pre MO34, výsledkom ktorého sú v súčasnosti spracúvané predbežné verzie Správy o bezpečnostnej analýze (PRESAR) a PSA úrovne 1.



### 5.9 PROGRAM RTARC©

Výpočtový program RTARC© (Real Time Accident Release Consequence – Následok havarijného úniku v reálnom čase) sa používa na analýzy radiačných následkov havarijných únikov do ovzdušia. Program je určený hlavne na odhad rádiologickej situácie počas prvej fázy havárie, t.j. na fázu, od momentu, keď sa identifikuje možnosť exponovania obyvateľov mimo miesta zariadenia po moment úniku významného množstva rádioaktívneho materiálu, a tiež aj na neskoršie fázy.

Program umožňuje zahrnúť do výpočtov on-line merania z teledozimetrického systému (TDS) a merania mobilných skupín určených na rekonštrukciu podmienok zdroja, ale tiež sa dá použiť pri udalosti, v ktorej nie sú dostupné TDS údaje. V tomto prípade sa TDS údaje nahrádzajú manuálne vloženými dátami o meteorologickej situácii. Skladá sa z jednotlivých programov a vstupných databáz.

Hlavné úlohy RTARC© zahŕňujú:

- predpoveď koncentrácií, rýchlosti dávok, efektívnych a ekvivalentných dávok;
- aktualizáciu a prezentáciu priebehu radiačnej situácie v grafickej alebo tabuľkovej forme;
- identifikáciu a prezentáciu nebezpečných zón, ktoré vyžadujú prijať protipatrenia;
- identifikáciu a prezentáciu nebezpečných zón, v ktorých sa prijali ochranné opatrenia ;
- výpočet a prezentáciu dráh alebo stopy rádioaktívneho oblaku pri zmene meteorologických podmienok.

Program patrí medzi štandardný nástroj na manažment a posudzovanie radiačných havárií v prevádzkovaných jadrových elektrárnach v Slovenskej republike a Českej republike. Programové výpočty zahŕňujú pohyb a rozptyl v ovzduší, posúdenie dávok, zhodnotenie a zobrazenie dotknutých pásem, zhodnotenie špecifickej aktivity, usadenie ako aj rýchlosť dávok v ovzduší na vybranom území. Program RTARC© zahŕňa prognózu koncentrácií, rýchlosť dávky, efektívne dávky a ekvivalentné dávky na štítnu žľazu a/alebo kostnú drť pre dve vekové skupiny: dospelých a detí do jedného roka.

Databázy a vstupné údaje potrebné pre výpočet sú: údaje charakteristické pre rádionuklidy (dávkové faktory, konštanty polčasu rozpadu...), zdrojové podmienky charakterizujúce únik rádioaktívnych materiálov (RM) do ovzdušia pri zvolenej havárii, meteorologické údaje a údaje o protipatreniach. Taktiež je zahrnutá nezávislá simulácia naliehavých ochranných opatrení – ukrytie a jódomá profylaxia.

Na stanovenie internej expozície sa zohľadňovali konverzné faktory absorbovanej dávky na dospelých a deti. Výpočty rozptylu rádioaktívnych materiálov v ovzduší programom sú založené na gaussovskom modeli difúzie oblaku:



$$X(x, y, z) = Q_R (2\pi \sigma_y \sigma_z u_i)^{-1} \exp(-y^2 / 2 \sigma_y^2) S(h_i, x, z)$$

$$\text{kde } S(h_i, x, z) = \exp[-(z + h_i)^2 / 2 \sigma_z^2] + \exp[-(z - h_i)^2 / 2 \sigma_z^2]$$

Fyzikálne procesy, ktoré treba zohľadniť pri predpovedaní dávok na miestne obyvateľstvo z emisií uniknutých do atmosféry, sú:

- rozptyl turbulentnou difúziou a strednou rýchlosťou vetra; vertikálne a horizontálne štandardné odchýlky odpovedajú parametrom podľa Hoskera;
- ukladanie suchej fázy na povrch v dôsledku interakcie ovzdušia a povrchu terénu;
- ukladanie vlhkej fázy v dôsledku zmáčania a zrážok pri interakcii dažďa s oblakom;
- rádioaktívny rozpad vplyvom rozpadu emisií;
- vznik vlnových efektov v dôsledku prúdenia v záveterných miestach rozsiahlych stavieb;
- na posúdenie vzostupnej dráhy oblaku sa používa Briggsov model;
- predpokladá sa iba stúpanie vplyvom tepla.

Výpočet dávky je riešený diskretnými časovými premennými  $q(t)$  pomocou normalizovanej funkcie  $f_Q(\Delta t)$ , ktorá spĺňa podmienku:

$$\sum_{i=1}^n f_Q(\Delta t_i) = 1$$

kde  $n$  je počet časových intervalov. Následne, zdroj, ktorý je charakterizovaný funkciou  $q(t)$ , je možné považovať za zdroj, ktorý sa skladá zo súboru po sebe nasledujúcich únikov s konštantnou rýchlosťou  $Q_{oi}$  a dobou trvania  $\Delta t_i$ , kde

$$Q_{oi} = \frac{f_Q(\Delta t_i) Q}{\Delta t_i}$$

a dávka v bode  $(x, y)$  v čase  $t$ , vypočítanom od momentu začiatku úniku, je súčtom

$$D(x, y, t) = \sum_{i=1}^n D(x, y, t_i)$$

kde

$$t_i = t - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta t_j$$

Výpočtové analýzy programu RTARC© sa spracúvajú pre 6 kategórií stability ovzdušia (kategorizácia podľa metódy Pasquill-Uhlig do 6 kategórií A-F) s typickými rýchlosťami vetra:



Kategória stability ovzdušia	A	B	C	D	E	F
Typická rýchlosť vetra [ $\text{m s}^{-1}$ ]	1	2	5	5	3	2
Pravdepodobnosť výskytu [%] (v 1997-2004)	2.5	12.9	26.2	40.1	8.4	9.9

Výpočty individuálnych dávok (efektívnej a ekvivalentnej na štítnu žľazu – parametre kritérií) programom RTARC© sa stanovujú do vzdialenosti 40 km pri časoch expozície 2 hodiny, 1 deň, 2 dni, 7 dní, 15 dní a 1 rok pre dospelú vzorku obyvateľstva (najpočetnejšia skupina).

IProgram RTARC© zohľadňuje tie spôsoby expozície, ktoré sú najvýznamnejšie v prvej fáze havárie, najmä:

- externá expozícia spôsobená prechodom rádioaktívneho oblaku a rádioaktívnym spádcom na povrch terénu;
- interná expozícia spôsobená inhaláciou, pričom táto zahŕňa inhaláciu rádionuklidov z prechádzajúceho oblaku a inhaláciu rádionuklidov uvoľňovaných z povrchu terénu.

Konzervatívny prístup na výpočet dávky sa realizuje pomocou predpokladu, že:

- výška prúdu emisií je 10, 25 alebo 43 m (nie od výšky komína, t.j. vo výške 125 m);
- využiteľné teplo do  $1\text{E}+7$  cal/s;
- podľa projektových havárií osoba sa nachádza alebo pohybuje 24 hodín denne v osi prechádzajúceho rádioaktívneho oblaku (neuvažuje sa so žiadnym ukrytím);
- aj počas závažných havárií sa predpokladá normálne osídlenie (prostredníctvom ochranných faktorov: pre oblak 0,14, pre spád 0,16 a pre zníženie inhalácie 0,5);
- trieda stability ovzdušia (najnepriaznivejšie rozptylové podmienky) sa nemení a počasie je stabilné počas celého roka;
- porovnanie najvyšších vypočítaných dávok (pre najnepriaznivejšiu triedu stability ovzdušia) s hodnotami kritérií;
- podrobné výsledky sa vzťahujú na vzdialenosť 2 km, toto je najmenšia vzdialenosť hranice vyhradeného pásma, v ktorom sa nenachádza stále osídlenie.





### 5.10 MAKROSEIZMICKÁ STUPNICA A STUPNICA MAGNITÚD

Stupnica MSK, tiež známa ako MSK-64, je stupnica makroseizmickej aktivity používaná na hodnotenie závažnosti otrasov zeme na základe pozorovaných vplyvov na území, v ktorom sa vyskytlo zemetrasenie.

Stupnica bola navrhnutá autormi (Sergej Medvedev (ZSSR), Wilhelm Sponheuer (NDR), a Vit Karník (Československo) v roku 1964. Bola založená na v tom čase dostupných skúsenostiach z aplikácie modifikovanej Mercalliho stupnice a Medvedevovej stupnice z roku 1953, tiež známej ako stupnica GEOFIAN.

Stupnica MSK s menšími modifikáciami zo stredy 70. a začiatkom 80. rokov XX. storočia sa rozšírila v Európe v ZSSR. Začiatkom 90. rokov Európska seizmologická komisia (ESC) použila veľa princípov formulovaných v stupnici MSK na vývoj Európskej makroseizmickej stupnice, ktorá je v súčasnosti de-facto štandardom pre hodnotenie seizmickej intenzity v európskych krajinách. V roku 1996 XXV. Valné zhromaždenie ESC v Reykjavíku schválilo uznesenie, ktoré odporúča členským krajinám Európskej seizmologickej komisie prijať novú stupnicu.

Na rozdiel od stupnice magnitúdy zemetrasení, ktorá vyjadruje seizmickú energiu uvoľnenú zemetrasením, intenzita Európskej makroseizmickej stupnice (EMS 98, prijatá Európskou seizmologickou komisiou v Luxemburgu v 1998) vyjadruje ako silno zemetrasenie ovplyvnilo dané územie.

Stupnica MSK-64 sa stále používa v Indii, Izraeli, Rusku, a v Spoločenstve nezávislých štátov.

*“Moderné makroseizmické stupnice intenzity bola vyvinutá a formálne oznámená na konci XIX. storočia ako empirický nástroj na meranie sily zemetrasenia a súvisiacich informácií o niektorých fyzikálnych charakteristikách seizmickej udalosti, ako sú parametre epicentra, koeficient oslabenia a vplyvy na oblasť. Najdôležitejšie intenzitné stupnice používané celosvetovo, ako MCS, MM a MSK, sú 12 stupňové stupnice. Intenzitné stupnice sú založené na vplyvoch zemetrasenia. Vplyvy na ľudí sú najdôležitejšími indikátormi intenzity od V. stupňa vyššie. Posúdenie intenzity v rozsahu od VI. do XII. stupňa sú založené hlavne na vplyvoch na človekom vytvorené stavby (poškodenie) a na životné prostredie (vplyvy podlažie alebo environmentálne vplyvy zemetrasenia – EEE). Toto platí pre všetky staršie stupnice intenzity“[21].*

Stupnice lokálnej magnitúdy ML (Richterova stupnica magnitúdy) priraduje jednoznačné číslo na kvantifikáciu množstva seizmickej energie uvoľnenej zemetrasením. Jej základom je dekadická logaritmická stupnica získaná vypočítaním kombinovanej horizontálnej amplitúdy v najväčšej vzdialenosti od nulovej hodnoty výstupu seizmometra. Merania nie sú ohraničené a môžu byť alebo pozitívne alebo negatívne.

Zemetrasenia s magnitúdou 2,0 alebo menej sa obyčajne nazývajú mikrozemetrasenia; vo všeobecnosti ich ľudia necítia a sú zaznamenané iba miestnymi seizmografmi. Udalosti s magnitúdou približne 4,5 a viac – takýchto otrasov býva ročne niekoľko tisíc – sú dostatočne silné nato, aby ich zaregistrovali citlivé seizmografy na celom svete. Silné zemetrasenia, ako napríklad na Aljaške na Veľký Piatok v roku 1964, majú magnitúdu 8.0 a viac. V priemere jedno zemetrasenie takej sily vznikne jedenkrát každoročne niekde na zemi. Richterova stupnica nie je zhora ohraničená. Nedávno bola navrhnutá



ďalšia stupnica, nazývaná stupnica momentu magnitúdy, na presnejší popis a štúdium silných zemetrasení.

Richterova stupnica sa nepoužíva na vyjadrenie škôd. Zemetrasenie v husto obývaných oblastiach, ktoré má za následok množstvo mŕtvych a značné škody, môže mať rovnakú magnitúdu ako otras v pustých územiach, ktorý iba vystraší divú zver. Ľudia vôbec nemusia pocítiť zemetrasenia s veľkou magnitúdou, ktoré vznikajú pod oceánmi.

At Golder Associates we strive to be the most respected global group of companies specialising in ground engineering and environmental services. Employee owned since our formation in 1960, we have created a unique culture with pride in ownership, resulting in long-term organisational stability. Golder professionals take the time to build an understanding of client needs and of the specific environments in which they operate. We continue to expand our technical capabilities and have experienced steady growth with employees now operating from offices located throughout Africa, Asia, Australasia, Europe, North America and South America.

Africa	+ 27 11 254 4800
Asia	+ 852 2562 3658
Australasia	+ 61 3 8862 3500
Europe	+ 356 21 42 30 20
North America	+ 1 800 275 3281
South America	+ 55 21 3095 9500

[solutions@golder.com](mailto:solutions@golder.com)  
[www.golder.com](http://www.golder.com)

