



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz  
dopadů radiační mimořádné události na okolí  
jaderného zařízení v ČR.**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

**Autor:** Bc. Klaudia Frištiková

**Vedoucí práce:** Ing. Eva Zemanová, Ph.D.

České Budějovice 2020

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „**Vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů radiační mimořádné události na okolí jaderného zařízení v ČR**“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské/diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské/diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. 8. 2020

.....

Bc. Klaudia Frištiková

### **Poděkování**

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucí diplomové práce Ing. Evě Zemanové, Ph.D., za odborné rady a cenné připomínky během vedení této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat konzultantce Mgr. Barboře Marešové za cenné rady při práci s SW nástrojem ESTE EU a také za zpřístupnění mnoha užitečných dokumentů a informací.

# **Vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů radiační mimořádné události na okolí jaderného zařízení v ČR.**

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je vytvořit knihu výsledků z modelování a prognóz dopadů radiační mimořádné události na okolí jaderného zařízení v ČR a posouzení vybraných veličin na výsledky výpočtů. Diplomová práce je rozdělená na teoretickou část, praktickou část a diskuzi.

V teoretické části jsou použita informace z odborné literatury, pomocí které je popsáno ionizující záření, jeho vlastnosti a vliv na obyvatelstvo a životní prostředí. Dále jsou pomocí platných právních předpisů definována jaderná zařízení, jejich provoz a možné radiační mimořádné události. Závěr teoretické části popisuje postup při zásahu v případě, že k radiační mimořádné události dojde.

V praktické části jsou popsány modelové situace mimořádných radiačních událostí v okolí jaderného zařízení v ČR. Diplomová práce má jako jaderné zařízení stanovenou JE Dukovany, pro kterou jsou tvořeny tyto události. Pomocí SW nástroje se budou vyhodnocovat výsledky a dopady modelových situací a následně se stanoví ochranná opatření a postupy pro řešení nebo eliminaci následků daných mimořádných událostí. Na základě praktické části je vytvořen analogový katalog, který bude sloužit jako záloha při výpadku SW nástroje.

## **Klíčová slova:**

radiační mimořádná událost, ionizující záření, jaderné zařízení, jaderná bezpečnost, ochranná opatření

# **Creation the results book by the modeling and predictions of the effects of a radiological emergency situation on a nuclear power plant in the Czech Republic.**

## **Abstract**

The aim of the thesis is creation the results book by the modeling and predictions of the effects of a radiological emergency situation on a nuclear power plant in the Czech Republic and assessment of selected input values on the results of calculations. The thesis is dividend into the theoretical part, practical part and discussion, which evaluates the results of the thesis.

The theoretical part uses information from the literature, which describes the ionizing radiation, its properties and effect on the population and the environment. Then, nuclear power plants, their service and possible radiation emergencies are described per valid legal regulations. End of theoretical part describes the activity for intervention in the event of a radiation emergency.

The practical part describes model situations of radiological emergency situation in the vicinity of a nuclear power plant in the Czech Republic. For this thesis is selected a nuclear power plant Dukovany, for which these events are created. The results and impacts of model situations will be evaluated with the help of SW tool and then will be determined protective measures and procedures for eliminating aftermath of these incidents. Per the practical part is created an analog catalog, which will act as a backup in case of SW tool malfunction.

## **Key words:**

radiological emergency situation, ionizing radiation, nuclear power plant, nuclear safety, protective measures

## Obsah

Úvod.....	8
Teoretická část .....	10
1.1    Ionizující záření a radiační ochrana .....	10
1.1.1    Ionizující záření .....	10
1.1.2    Ionizující záření a jeho vlastnosti .....	11
1.1.3    Zdroje záření .....	12
1.1.4    Dozimetrické veličiny .....	13
1.1.5    Detekce ionizujícího záření .....	14
1.1.6    Biologické účinky ionizujícího záření .....	14
1.1.7    Principy radiační ochrany .....	16
1.1.8    Monitorování radiační situace v ČR .....	17
1.2    Jaderní zařízení a jaderní bezpečnost .....	18
1.2.1    Jaderní zařízení .....	18
1.2.2    Jaderná energetika a jaderné zařízení v ČR .....	18
1.2.3    Jaderná elektrárna Dukovany.....	19
1.2.4    Jaderná bezpečnost a havarijní připravenost .....	19
1.3    Radiační mimořádná událost a její stupně .....	22
1.3.1    Radiační mimořádná událost .....	22
1.3.2    Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti RMU .....	23
1.3.3    Ochrana obyvatelstva, ochranná opatření .....	25
1.4    Působení zasahujících složek při radiační mimořádné události .....	28

1.4.1	Prvotní reakce .....	28
1.4.2	Stanovení ochranných a bezpečnostních zón.....	29
1.5	Vnější havarijní plán JE Dukovany.....	30
	Cíle práce a výzkumné otázky .....	33
	Metodika .....	34
	Výsledky výzkumného šetření.....	39
	Diskuze .....	67
	Závěr .....	71
	Seznam použité literatury .....	73
	Seznam příloh .....	79
	Seznam tabulek .....	79
	Seznam obrázků.....	79
	Seznam grafů .....	80
	Seznam použitých zkratk .....	82

## Úvod

Jaderná energetika je v dnešní době velmi kontroverzní téma, které má díky jaderným zbraním a nehodám v jaderných elektrárnách, v minulosti, velký dopad na veřejné mínění. Mezi obyvatelstvem stále převládá strach z jaderných havárií, a to i navzdory přísným opatřením a přísným dozorem nad provozem jaderných zařízení. Dnes jsou nehody jaderných elektráren velice nepravděpodobné a díky veškerým bezpečnostním systémům je téměř nemožné aby nastala událost tak velkého rozsahu aby způsobila ohrožení obyvatelstva. Navzdory tomu, však může v objektu jaderného zařízení docházet k drobnějším závadám, ale i k rozsáhlejším mimořádným událostem, které mají negativní dopad na okolí.

Nejzávažnějším rizikem v jaderné energetice je uvolnění radioaktivních látek do okolí a následné působení ionizujícího záření na obyvatelstvo a životní prostředí. S technickým vývojem zařízení se pořád vyvíjí i ochranné a bezpečnostní systémy, které by měly těmto rizikům a následkům zabránit. Díky práci mnoha odborníků byly založené mezinárodní organizace, které se zasloužily o vytváření kritérií a požadavků radiační ochrany a jaderné bezpečnosti k zabezpečení obyvatelstva a životního prostředí.

Teoretická část diplomové práce se věnuje definici pojmů z oblasti jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, havarijní připravenosti, ochranným opatřením a legislativě z dané oblasti. Čerpáno je ze zákonů a na ně navazujících právních předpisů, odborné literatury a mezinárodních ustanovení a doporučení pro danou problematiku.

Smyslem diplomové práce je snaha o vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů radiační mimořádné události na okolí jaderného zařízení v ČR. Kniha by měla formu analogového katalogu, jehož cílem je poukázat jaký vliv mají meteorologické podmínky na dopady těchto mimořádných událostí v okolí jaderného zařízení. Dopady a prognózy byly vypočtené pomocí SW nástroje ESTE EU, kterému bylo zadáno 11 typů vstupních meteorologických podmínek. Pomocí těchto výpočtů jsou zobrazená jednotlivá následky události na okolí jaderného zařízení, které vyžadují okamžitá ochranná opatření. Výsledky jsou prezentovány pomocí tabulek a grafů, jednoznačně stanovujících jak postupovat v případě daných podmínek. Ochranná opatření vycházejí z platné legislativy ČR a doporučení mezinárodních společností, zejména Mezinárodní agentury pro atomovou energii a Mezinárodní komise radiační



ochrany. Výsledkem práce je tedy vytvoření knihy, která nám definuje jak postupovat a stanovovat ochranná opatření v okolí jaderného zařízení, aby byla zabezpečená ochrana obyvatelstva a životního prostředí. Kniha by měla být přínosná zejména v situacích, kdy nebude možné použít SW nástroje pro výpočet prognózy, a měla by nabídnout jasný, ucelený a přehledný návod při provádění nutných ochranných opatření.

## **Teoretická část**

Teoretická část stručně popisuje fyzikální vlastnosti ionizujícího záření, jeho účinky na lidský organizmus a ochranná opatření proti tomu typu záření. Dále je zde definován pojem jaderného zařízení, jaderné bezpečnosti a havarijního plánování v ČR. Pomocí platných právních předpisů je dále popsána radiační mimořádná událost, její dělení, její stupně a základní ochranné opatření z nich vyplývající. Veškeré informace jsou v souladu s právními předpisy vycházející z aktuální legislativy, zejména zákona č.263/2016 Sb. atomového zákona a na něj navazujícími vyhláškami. Závěr teoretické části je věnován činnostem zasahujících složek u těchto typů události. Pozornost je zde zaměřena na havarijní připravenost jaderné elektrárny (JE) Dukovany.

### **1.1 Ionizující záření a radiační ochrana**

#### ***1.1.1 Ionizující záření***

Ionizující záření je souhrnné označení pro záření, které je schopné při přechodu prostředím způsobit jeho ionizaci, tedy vytvořit z elektricky neutrálních atomů kladné a záporné ionty za vzniku iontových párů. (KUBINYI, 2018)

Ionizující záření dělíme na přímo a nepřímo ionizující záření, kdy za přímo ionizující záření považujeme nabitě částice alfa a beta záření, a mezi nepřímo ionizující záření patří nenabitě částice, zejména fotony a neutrony. K ionizujícímu záření řadíme záření alfa  $\alpha$ , záření beta  $\beta$ , záření gama  $\gamma$  a neutronové záření. (KUBINYI, 2018)

Zdroje ionizujícího záření jsou přirozené nebo umělé. Přirozené radioizotopy jsou atomy, kterých jádro není v čase stabilní, ale rozpadá se a vyzařuje určitý druh ionizujícího záření. Tato proměna probíhá spontánně a není ovlivněná fyzikálními ani chemickými procesy. Rozpadající se atomy, které se nacházejí volně v přírodě, jsou přirozeně radioaktivní. Uměle radioaktivní se připravují ze stabilních izotopů jádrovou reakcí v atomovém reaktoru nebo v urychlovači částic. Samovolný rozpad nestabilních atomových jader je radioaktivita, tedy děj, při kterém je zpravidla emitováno vysokoenergetické ionizující záření. Jádra vykazující tuto vlastnost se nazývají radionuklidy. Charakteristickou veličinou ionizujícího záření je jeho energie, která je udávána v elektronvoltech (eV). (ŠAJTER, 2006)

### ***1.1.2 Ionizující záření a jeho vlastnosti***

Přechod částic ionizujícího záření látkou je spojen se vznikem interakce mezi zářením a absorpčním prostředím. Obě složky se navzájem ovlivňují a interakce závisí na druhu záření. (ŠAJTER, 2006)

#### ***1.1.2.1 Záření alfa***

Záření alfa je korpuskulární záření, které je tvořeno jádry helia (heliony). Částice  $\alpha$  je složená ze dvou protonů a dvou neutronů, spojována velkou vazebnou energií. Záření alfa má velkou ionizační schopnost, ale malý dolet. Dolet ve vzduchu je maximálně 11 cm a ve tkáních pouze několik desítek nanometrů. Nepronikne listem papíru ani tenkou vrstvou naší pokožky, ale může ohrozit organismus při otevřených poraněních nebo při vdechnutí a polknutí, kdy může přímo ozářit vnitřní tkáň a způsobit jejich poškození. (PROUZA, 2008)

#### ***1.1.2.2 Záření beta***

Záření beta se rozděluje na dva základní podtypy, podle elektrického náboje částic emitovaných při radioaktivní přeměně jader. Jedná se o elektrony  $\beta^-$ , nebo o pozitrony  $\beta^+$ . Mezi beta záření lze zařadit i tzv. elektronový záchyt, který je charakterizován posunem elektronů v atomovém obalu, při němž se emituje elektron nebo záření X. Rychlost emitovaných částic se blíží rychlosti světla, mají však poměrně krátký dolet. Kůží do těla pronikají do hloubky až dvou centimetrů. (PROUZA, 2008)

#### ***1.1.2.3 Záření gama***

Jedná se o elektromagnetické záření, podobně jako záření x, kde jde o emitaci fotonů z jádra, avšak o kratší vlnové délce. Záření gama nemají elektrický náboj, nejsou tedy přímo ionizující. Záření gama je vždy doprovázeno přímo ionizujícím zářením alfa nebo beta. Gama záření má vysokou pronikavost a pronikne prostředím méně hutným než ocelová deska. (PROUZA, 2008)

#### ***1.1.2.4 Neutronové záření***

Neutronové záření vzniká při jaderném štěpení nebo při jaderné fúzi, kdy je z jader emitován proud neutronů. Vzhledem k tomu, že neutrony nemají elektrický náboj, má záření vysokou pronikavost látkou nebo živou tkání. Pronikající neutrony prostředím jsou vysoce reaktivní čímž látku nepřímo ionizují. Ochranou před tímto druhem záření je v první řadě stínění, nejúčinnějšími materiály je voda, uhlovodíky a parafin. V praxi

se nejčastěji používá beton, díky značnému množství molekul vody. (PROUZA, 2008)

### ***1.1.3 Zdroje záření***

Zdroje ionizujícího záření rozdělujeme na přírodní a umělé. Populace je vystavená nepřetržitému působení ionizujícího záření. Toto záření pochází jak z umělých tak i přírodních zdrojů, kdy expozice ze zdrojů přírodního původu tvoří přes 80% našeho ozáření a jen 20 % připadá na umělé zdroje a to zejména z oblasti lékařské expozice. Je také důležité zmínit cesty ozáření, kdy rozlišujeme ozáření zevní (externí) a vnitřní (interní). Zevním ozářením se rozumí ozáření zdrojem mimo ozářenou osobu a vnitřní ozáření nastává při požívání radioaktivních látek v potravě a nápojích, při vstřebávání kůží nebo otevřeným poraněním. (UNEP, 2016)

#### ***1.1.3.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření***

Naše prostředí je od nepaměti vystavováno záření z kosmického prostoru a z radioaktivního materiálu obsaženého v zemské kůře a v zemském jádru. Dávky z přírodních zdrojů mají různé hodnoty, což je zapříčiněno výstavbou obytných a pracovních prostor, zeměpisní polohou a geologickými podmínky. Významným přírodním zdrojem zevního ozáření je tedy kosmické záření, které se vychyluje magnetickým polem severního a jižního pólu, a proto jsou mu polární oblasti vystaveny více než rovníkové pásmo. Dále je kosmické záření ovlivněné nadmořskou výškou, kdy s nadmořskou výškou expozice stoupá, protože se zeslabuje vrstva vzduch, působící jako stínění. Nejzávažnějším přírodním zdrojem ionizujícího záření, který způsobuje téměř polovinu radiační zátěže obyvatelstva je radon. Radon je přítomen všude v atmosféře, jako radioaktivní plyn běžně uniká z půdy a může pronikat přes různé prostředí budov, a to následkem teplotního a tlakového rozdílu uvnitř budov a mimo nich. Po vdechnutí se dostává do plic, kde způsobuje vážně poškození, je tedy základní příčinou vzniku rakoviny plic. Také potraviny a nápoje obsahují některé radionuklidy převážně z přírodních zdrojů, které mohou přecházet do rostlin a odtud do živočišných organismů z hornin a minerálů přítomných v půdě a vodě. (UNEP, 2016)

#### ***1.1.3.2 Umělé zdroje ionizujícího záření***

Využití umělého záření má v posledních desetiletích vzrůstající tendenci, ale díky principům radiační ochrany je expozice tímto zářením pod dobrou kontrolou. Z umělých zdrojů představují největší zátěž lékařské expozice, z nichž nejvyšší podíl má rentgenová diagnostika. Radiační zátěž v medicíně je závislá na technické úrovni

zařízení, organizačních podmínkách na pracovišti, a především na dodržování zásad a opatření radiační ochrany jak pracovníků, tak pacientů. K dalším umělým zdrojům patří jaderné zbraně, jaderná energetika a průmysl, které však představují přibližně 1 % z celkového ozáření obyvatelstva. Testování jaderných zbraní je kontrolováno a regulováno mezinárodními úmluvami a dohodami. Jaderná energetika je v dnešní době kontroverzní téma a obyvatelstvem považována za velké nebezpečí. Pravdou však je, že za normálního provozu je expozice v globálním měřítku minimální a pořád má klesající tendenci. Nové technologie a přísnější opatření v rámci radiační ochrany mají za následek snižování expoziční úrovně elektráren. (ŠAJTER, 2006)

#### ***1.1.4 Dozimetrické veličiny***

Dozimetrické veličiny je nutno znát pro charakteristiku biologických účinků ionizujícího záření a definici míry tohoto účinku.

##### *1.1.4.1 Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření*

Veličina charakterizující zdroj ionizujícího záření je emise, tedy celkový tok částic. Její jednotkou je reciproká sekunda [ $s^{-1}$ ]. Radionuklidové zdroje ionizujícího záření charakterizuje veličina aktivita A, která je určena počtem nepřeměněných jader v daném okamžiku. Její jednotkou je becquerel (Bq), odpovídá přeměně za 1 sekundu. (NAVRÁTIL, 2019)

##### *1.1.4.2 Veličiny charakterizující působení ionizujícího záření na látku*

Veličina popisující energii záření absorbovanou v hmotnostní jednotce ozářené látky je dávka D. Její jednotkou je gray (Gy), ten odpovídá  $J \cdot kg^{-1}$ . Přírůstek dávky, tedy její příkon za jednotku času definuje dávkový příkon, kterého jednotkou je  $Gy \cdot s^{-1}$ . (NAVRÁTIL, 2019)

##### *1.1.4.3 Veličiny charakterizující působení ionizujícího záření na člověka*

Veličiny popisující působení záření na člověka jsou veličiny radiační ochrany, které vycházejí z veličiny dávka. Energie, kterou předá ionizující záření různým buňkám lidského těla, vede k rozdílným biologickým účinkům. Z tohoto důvodu jsou definovány veličiny radiační ochrany jako součin dávky a koeficientů, charakterizujících rozdílnou radiosenzitivitu různých tkání či orgánů k danému typu ionizujícího záření. Proto byly pro radiační ochranu stanovené veličiny ekvivalentní a expoziční dávka, jejichž jednotkou je sievert (Sv). Ekvivalentní dávka je veličina

charakterizující citlivost dané tkáně nebo orgánu k různým druhům ionizujícího záření. Efektivní dávka je veličina, která uvažuje rozdílnou radiosenzitivitu jednotlivých tkání a orgánů a slouží k hodnocení účinků celotělového ozáření. (PROUZA, 2008)

#### ***1.1.5 Detekce ionizujícího záření***

K detekci ionizujícího záření slouží detekční metody a přístroje založeny na změnách vlastnosti látky tvořící detektor v důsledku interakce této látky s ionizujícím zářením. Z naměřených změn pak lze kvalitativně i kvantitativně posuzovat vlastnosti zdroje záření, pole záření a míru působení ionizujícího záření na prostředí a objekty, na které ionizující záření dopadá. (ULLMANN, 2009)

Detektory ionizujícího záření, jinak též radiometry lze rozdělit podle časového průběhu detekce na kontinuální a integrální detektory. Kontinuální detektory informují o okamžitém ozáření, zato integrální detektory zvyšují odezvu úměrně s mírou ozáření. (ULLMANN, 2009)

Dalším kritériem, podle kterého lze rozdělit detektory je způsob detekce ionizujícího záření. Detektory mohou pracovat na základě fotochemického účinku záření, různých změnách vlastností užitých materiálů v detektoru, či je záření převáděno na elektrické impulsy. (ULLMANN, 2009)

Detektory lze rozdělit také podle komplexnosti měřené informace, na detektory záření, jež poskytují pouze informaci o intenzitě záření, avšak nejsou schopny informovat uživatele o druhu záření či jeho energii, touto schopností disponují tzv. spektrometry. Podle tohoto kritéria lze detektory ještě rozdělit na zobrazovací, které určují intenzitu záření v prostoru, a na dráhové detektory částic, které vyhodnocují pohyb jednotlivých částic. (ULLMANN, 2009)

#### ***1.1.6 Biologické účinky ionizujícího záření***

Škodlivý účinek ionizujícího záření popsal již v roce 1897 Henri Becquerel, který upozoroval poškození kůže v místě, kde měl v kapse uložen radioaktivní materiál. Biologický význam účinku ionizujícího záření je závislý na dávce záření, jeho typu a doby, po kterou záření působí. Biologické účinky záření probíhají na buněčné úrovni, kdy může působit zánik buněk nebo buňky modifikovat (somatické účinky) nebo způsobit mutace buňky, které se mohou projevat až po generace (genetické účinky).

Důsledkem ozáření organismu tedy dochází k chemickým a biologickým změnám, které vedou k poruše funkcí různých buněk, jejich inaktivaci či smrti. Biologické účinky ionizujícího záření dělíme z hlediska ochrany před zářením na stochastické, tedy pravděpodobnostní a nestochastické, tedy deterministické účinky. V případě stochastických účinků se předpokládá bezprahový vztah mezi dávkou a účinkem. Vznik poškození či onemocnění je náhodný proces s určitou pravděpodobností a může být vyvolán i malými dávkami záření. Za stochastické účinky záření jsou považována nádorová onemocnění, leukémie a různé dědičné změny. Deterministické účinky se zjevují až po dosažení určité hodnoty dávky záření, tzv. prahové dávky. K deterministickým účinkům patří akutní nemoc z ozáření, akutní lokalizované poškození, poruchy plodnosti, poškození vývoje plodu a nenádorová pozdní poškození. (PROUZA, 2008)

Výsledkem poškození organismu může být akutní nebo chronická nemoc z ozáření.

### **Akutní nemoc z ozáření**

Akutní nemoc z ozáření neboli akutní postradiační syndrom vzniká po jednorázové dávce ozáření celého organismu dávkou, která je větší než 1Gy (Gy). Onemocnění probíhá ve čtyřech stádiích: prodromální, latentní, manifestní a rekonvalescenční stádium. V prodromálním stádiu se vyskytují všeobecně neurčité příznaky, jako je bolest hlavy, nevolnost, nechutenství zvracení a poruchy spánku, které jsou důsledkem poruch regulačních mechanismů organismu. V latentním stádiu většina klinických příznaků vymizí. Během manifestního stádia se zvyšují teploty, vzniká nekrotická angína při agranulocytóze. Dále dochází k hnisavým infekcím, hlenovým a krvavým průjmům, krvácivým stavům, poruchám srdečního rytmu, kožním erytémům a přecitlivělosti na světlo a hluk. Při vysokých supraletálních dávkách dochází během několika hodin k úmrtí, z důvodů selhání regulačních funkcí CNS. Při letálních dávkách dominují v klinickém obraze poruchy gastrointestinálního traktu (GIT) s letálními komplikacemi, jako perforace a ileus. Při subletálních dávkách se vyskytují poruchy krvetvorby. Ve stádiu rekonvalescence postupně dochází k úpravě krevního obrazu, poruch GIT a krvetvorby. Mohou přetrvávat poruchy krevního obrazu, hlavně pokles bílých krvinek nebo pokles krevních deštiček. (ŠAJTER, 2006)

Léčba akutní nemoci z ozáření se léčí substituční, kauzální a symptomatickou terapií. Hradí se ztráty tekutin a krevních elementů. Kauzálně se podávají antibiotika a

kortikoidy. Realizují se pokusy s transplantací kostní dřeně. Symptomatická terapie zahrnuje hospitalizaci v stabilizovaném prostředí, podávání antiemetik, analgetik a důležitou je také dieta bohatá na bílkoviny a vitamíny. (ŠAJTER, 2006)

### **Chronická nemoc z ozáření**

Chronická nemoc z ozáření vzniká při dlouhodobém ozáření malými dávkami. U tohoto onemocnění se také rozlišují tři stádia. Stádium prvotních změn se projevuje malátností, únavou, bolestmi hlavy, nechutenstvím a poruchou soustředění. V pokročilém stádiu se přidružují změny v krevním obrazu, jako jsou pokles červených a bílých krvinek nebo pokles krevních deštiček. Dále se zde vyskytují lokální změny poškození kůže s trofickými změnami a nehojícíma se vředy. V chronickém stádiu onemocnění jsou změny trvalé. Patří, jsem agranulocytóza, leukémie nebo karcinom kůže. V prevenci je prvořadou podmínkou zachování radiační ochrany a hygieny s dodržováním limitů absorbovaných dávek. (ŠAJTER, 2006)

#### **1.1.7 Principy radiační ochrany**

Radiační ochrana je soubor technických a organizačních opatření, jejichž cílem je omezit nebo zabránit ozáření osob a životního prostředí a také zabránit vzniku nehod nebo omezit následky nehod. V dnešní době vycházejí principy radiační ochrany z mezinárodních doporučení International Commission on Radiological Protection (ICRP), publikace ICRP 103, což je doporučení mezinárodní komise radiologické ochrany. Jedná se o novelizovaná doporučení, která nahrazují doporučení z roku 1991, a aktualizují doplňující pokyny na usměrňování expozice zdrojů ionizujícího záření vydané od Publikace 60. Primárním cílem tohoto doporučení je přispět k náležité úrovni ochrany obyvatelstva a životního prostředí proti škodlivým účinkům expozice záření bez nadměrného omezování potřebných lidských činností, které mohou vést k takovým expozicím. V rámci ochrany obyvatelstva jde primárně o řízení a usměrňování expozice ionizujícího záření do takové míry, aby se předešlo deterministickým účinkům a riziko stochastických účinků snížit na přijatelnou míru. Systém radiační ochrany pracuje s třemi základními principy ochrany, a to zdůvodnění, optimalizace ochrany a využívání dávkových limitů. (ICRP, 2007)

##### **1.1.7.1 Princip zdůvodnění**

Při zavádění nového zdroje ionizujícího záření, při snižování již existující expozice



záření nebo při snižování rizika potenciální expozice by mělo být cílem dosáhnout dostatečného společenského i individuálního prospěchu, aby se vyrovnala způsobená ujma. Tedy všechny změny radiační expoziční situace by měli přinést víc užítku než škody. (ICRP, 2007)

#### *1.1.7.2 Princip optimalizace ochrany*

Z tohoto principu vyplývá, že úroveň ochrany má být nejlepší v daných okolnostech, tedy by měla maximalizovat užitek a minimalizovat škodu jak je nejvíc dosažitelné s uvážením ekonomických a společenských hledisek. Aby nedošlo k nerovnostem, měli by se dávky nebo rizika omezit na jednotlivce z konkrétního zdroje. (ICRP, 2007)

#### *1.1.7.3 Princip aplikace dávkových limitů*

Tento princip pojednává o tom, že celková dávka jakémukoliv jednotlivci z kontrolovaného zdroje během plánované expoziční situace by neměla překročit příslušné limity doporučené mezinárodní komisí. (ICRP, 2007)

V ČR je radiační ochrana zakotvená i v zákoně č. 263/2016 Sb. atomový zákon a na něj navazujících vyhláškách, ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, a ve vyhlášce č. 409/2016 Sb. Vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta.

#### **1.1.8 Monitorování radiační situace v ČR**

Systém monitorování radiační situace v ČR slouží k sledování radiační situace na území ČR za všech expozičních situací a k shromažďování a zhodnocení dat a souvisejících informací o radiační situaci. Povinnost monitorování radiační situace na území ČR je v gesci Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Na radiačním monitorování se také podílí Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. (SÚRO) a provozovatele jaderných elektráren. Systém monitorování v ČR pokrývá celé území a poskytuje komplexní informace o aktuální radiační situaci, ale v případě potřeby také údaje potřebné pro rozhodování a zavádění opatření pro ochranu před ozářením. Systém monitorování funguje ve dvou režimech, v režimu normálního monitorování a v režimu havarijního monitorování. Monitorováno je vnější ozáření z přírodních i umělých zdrojů – síť včasného zjištění, síť termoluminiscenčních dozimetřů, mobilní skupiny a vnitřní ozáření – radioaktivní látky v potravinovém řetězci a radioaktivní látky v lidském těle.

V dnešní době jsou testované nové systémy, které vyvinuli odborníci ze SÚRO ve spolupráci s Ministerstvem vnitra (MV) ČR, se SÚJB a s dalšími firmami. K novým systémům patří např. RAMESIS, což je občanská radiační měřicí síť určená pro občany, školy a další instituce k zajištění včasné informovanosti a bezpečnosti občanů, nízkonákladový pasivní dozimetr pro hodnocení externího ozáření osob, založeného na luminiscenci a systém JodDet pro hromadné měření radiojodu ve štítné žláze. (Tisková zpráva SÚRO)

## **1.2 Jaderní zařízení a jaderní bezpečnost**

Tato podkapitola vychází z platných právních předpisů, na jejichž základě jsou definována pojmy jaderného zařízení, jaderné bezpečnosti a havarijního plánování. Definice stanovuje zákon č. 263/2016 Sb. atomový zákon a na něj navazující právní předpisy.

### **1.2.1 Jaderní zařízení**

Definice pojmu jaderného zařízení vychází ze zákona č. 263/2016 Sb. atomového zákona z §3 odst. 2 písmena e), pro které se jaderným zařízením rozumí

- 1. „stavba nebo provozní celek, jehož součástí je jaderný reaktor využívající štěpnou řetězovou reakci nebo jinou řetězovou jadernou reakci,*
- 2. sklad vyhořelého jaderného paliva,*
- 3. sklad čerstvého jaderného paliva, pokud není součástí jiného jaderného zařízení,*
- 4. obohacovací závod, závod na výrobu jaderného paliva nebo závod na přepracování vyhořelého jaderného paliva,*
- 5. sklad radioaktivního odpadu, s výjimkou zařízení pro skladování radioaktivních odpadů, které je součástí jiného jaderného zařízení nebo jiného pracoviště, kde se vykonává radiační činnost,*
- 6. úložiště radioaktivního odpadu, s výjimkou úložiště obsahujícího výlučně přírodní radionuklidy.“*

### **1.2.2 Jaderná energetika a jaderné zařízení v ČR**

Mírové využívání jaderné energetiky má v poslední době významné místo pro

energetickou nezávislost ve většině vyspělých zemí. Jaderná energetika byla na území Československa budovaná od 50. let 20. století. Provoz jaderných zařízení se opírá o zákony, předpisy a doporučení přijímané v jednotlivých státech, ale vycházejících z mezinárodních dokumentů. V ČR se jedná o atomový zákon a na něj navazující právní předpisy. Dozorem pro jadernou bezpečnost je v ČR jmenován Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Jediným provozovatelem jaderně-energetických reaktorů v ČR je společnost ČEZ, a.s., které patří dvě jaderné elektrárny (dále jen JE) - JE Dukovany a JE Temelín. Obě elektrárny provozují reaktory typu VVER (vodo-vodní energetický reaktor), jedná se o tlakovodní reaktory, které využívají vodu jako chladivo i jako moderátor. V areálu obou elektráren jsou provozována další samostatná jaderná zařízení. V JE Dukovany je to Mezi sklad vyhořelého paliva (MVP) a Sklad vyhořelého paliva (SVP) a v JE Temelín Sklad vyhořelého jaderného paliva (SVJD), které slouží ke speciálnímu skladování použitého paliva. V ČR se dále nacházejí dva výzkumné reaktory LVR-15 a LR-0 v Centru výzkumu Řež (CV Řež s.r.o.) v Řeži a školní reaktor VR-1 na ČVUT na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské, které slouží k výzkumným a studijním účelům. Jaderným zařízením jsou také úložiště radioaktivního odpadu (ÚRAO), jejichž provozovatelem je Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO). (SÚJB, 2020)

### **1.2.3 Jaderná elektrárna Dukovany**

JE Dukovany je první JE vybudovaná na území ČR. Výstavba začala v roce 1974 a definitivně se čtyřmi bloky byla do provozu uvedena v roce 1987. Jaderná elektrárna se nachází na jižní Moravě v kraji Vysočina, přibližně 30 km od města Třebíč. Dodnes patří mezi nejvýznamnější energetické zdroje skupiny ČEZ (České energetické závody). Elektrárna Dukovany dlouhodobě pokrývá kolem 20% celkové spotřeby energie ČR. Elektrárnu tvoří dva hlavní výrobní bloky, z nichž v každém jsou dva reaktory. V JE Dukovany jsou instalovány čtyři tlakovodní reaktory typu VVER 440 druhé generace – model V 213, které byly uvedeny do provozu v letech 1985-1987. Reaktory jsou hermeticky oddělené od ostatních částí elektráren železobetonovým kontajnementem, který chrání zaměstnance před ozářením a reaktor před vnějšími vlivy. (SPILKA, 2010)

### **1.2.4 Jaderná bezpečnost a havarijní připravenost**

Jaderná bezpečnost je v ČR definována zákonem č. 263/2016 Sb. jako *stav a schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit*

*nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod. (263/2016 Sb. §4, odstavec 2. a)*

Úroveň jaderné bezpečnosti je vždy určitým zohledněním doporučení mezinárodních organizací, mezinárodních auditů, uznávaných doporučení a norem národních institucí a provozovatelem, která se vyvíjí s časem v rozsahu činností a opatření. Požadavky na jadernou bezpečnost se rozšiřují do takové míry, aby se dosahovalo mezinárodně akceptovatelné úrovně jaderné bezpečnosti. S jadernou bezpečností bezprostředně souvisí radiační ochrana, která využívá k likvidaci nebo omezení RMU soubor plánovaných opatření, který se nazývá havarijní plán (HP). (MATAL, 2011)

Havarijní připravenost můžeme definovat jako formu prevence, která slouží k definici hrozby, informovanosti ohledně této hrozby a samozřejmě k informovanosti ohledně aktivace hrozby a zásahu při vzniku události z hrozby vyplývající. Hrozba může vést k vzniku mimořádné události (MU) nebo krizové situaci (KS). Pro tyto situace je nutno znát možné dopady a následky hrozby a mít připravené opatření k ochraně obyvatelstva stejně jako složky, prováděcí záchranné a likvidační práce, které vznikly dopadem této hrozby. (Fiala, Vilásek 2010)

Dle atomového zákona č.263/ 2016 Sb. §151 jsou dále definované pojmy odezva na radiační mimořádnou událost a připravenost k odezvě na radiační mimořádnou událost. Kdy odezva na radiační MU (dále jen RMU) je definována jako soubor opatření nutných ke zvládnutí situace souvisejících se vznikem RMU s cílem znovunabytí kontroly nad vzniklou situací a zabránění nebo eliminací následků vzniklé RMU, včetně neradiačních následků. Připravenost k odezvě na RMU je definována jako soubor organizačních, technických materiálních a personálních opatření, které jsou připravená k odvrácení nebo eliminaci dopadů RMU podle pravděpodobného průběhu RMU. Tyto opatření jsou zpracovávána ve formě zásahových instrukcí, vnitřního havarijního plánu, havarijního řádu, plánu k provádění záchranných a likvidačních prací v okolí zdroje nebezpečí (vnější havarijní plán) a národního radiačního havarijního plánu.

Havarijní plán je v rámci krizového řízení definován jako dokument sloužící k popsání činností a opatření nutně prováděných při vzniku závažné havárie, které vedou ke zmírnění dopadů havárie. Pro oblast jaderné bezpečnosti je specificky definován pojem HP jako „*Soubor plánovaných opatření k likvidaci radiační nehody*

*nebo radiační havárie a k omezení jejich následků, který se zpracovává pro 1. prostory jaderného zařízení nebo pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti (vnitřní havarijní plán); 2. přepravu jaderných materiálů nebo zdrojů ionizujícího záření (havarijní řád); 3. oblast v okolí jaderného zařízení nebo pracoviště, kde se nachází zdroj ionizujícího záření, v níž se na základě výsledků rozborů možných následků radiační havárie uplatňují požadavky z hlediska havarijního plánování, která se nazývá zóna havarijního plánování (vnější havarijní plán).“ (MV 2016b: 59)*

#### *1.2.4.1 Vnitřní havarijní plán*

Havarijní plán pro prostory JE, je zpracováván pro případ RMU provozovatelem JE a to na základě příslušných ustanovení zákona v souladu s vyhláškami SÚJB a dalšími navazujícími předpisy a směrnicemi. Vnitřní havarijní plán představuje charakteristiku zabezpečení základních povinností provozovatele JE z pohledu zabezpečení vnitřní havarijní připravenosti, zajištění ochrany pracovníků a dalších osob v areálu JE v případě RMU. (MATAL, 2011)

#### *1.2.4.2 Havarijní řád*

Havarijní řád je havarijní plán stanoven pro přepravu jaderných materiálů, který definuje základní požadavky k zajištění havarijní připravenosti při přepravě jaderných materiálů. Zpracovaný je provozovatelem JE, který odpovídá za přepravu jaderných materiálů mimo areál jaderného zařízení a schvaluje ho SÚJB. (MATAL, 2011)

#### *1.2.4.3 Vnější havarijní plán (VHP)*

Vnější havarijní plán (VHP)- havarijní plán pro oblast okolí JE, je základní dokument, který definuje ochranná opatření pro obyvatelstvo. Definuje zabezpečení havarijní připravenosti pro okolí JE z pohledu organizačních, kompetenčních, personálních a materiálně technických opatření. Vnější havarijní plán dále definuje postupy pro efektivní zabezpečení a řízení činnosti k zajištění ochrany obyvatelstva, životního prostředí a majetku v případě RMU. (MATAL, 2011)

#### *1.2.4.4 Zóna havarijního plánování*

Pojmem důležitým pro havarijní připravenost u RMU je také pojem zóna havarijního plánování, který je definován legislativně, vyhláškou č.266/ 2015 Sb., Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury. Tato vyhláška vymezuje zónu havarijního plánování jako území ohraničené vnější hranicí zóny

havarijního plánování s výjimkou území, pro které je zpracováván vnitřní havarijní plán. Jedná se tedy o plochu v okolí objektu nebo zařízení, ve které krajský úřad, v jehož působnosti se objekt nachází, stanovuje požadavky havarijního plánování formou vnějšího havarijního plánu.

### 1.3 **Radiační mimořádná událost a její stupně**

Podkapitola definuje pojem RMU, její dělení a stupně, které jsou definovány pomocí tabulky, která ukazuje mezinárodní stupnici hodnocení závažnosti RMU.

#### ***1.3.1 Radiační mimořádná událost***

Jako pojem mimořádná událost je definována událost nebo situace, která nastala v důsledku živelní pohromy, havárie, nelegální činnosti, ohrožením kritické infrastruktury, nákazami, narušením vnitřní bezpečnosti nebo ekonomiky, která je řešená orgány a složky bezpečnostního systému podle zvláštních právních předpisů. (MV, 2016)

Pojem radiační mimořádné události (RMU) je stanoven ze zákona č. 263/2016 Sb. §4 ods.1, který RMU definuje jako událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření, a která vyžaduje opatření nutná k zabránění jejich překročení, eventuálně zabránění zhoršování stávající situace z pohledu zajištění radiační ochrany. Tento zákon dále definuje tři typy RMU a kategorizuje je na radiační mimořádnou událost prvního stupně, radiační nehodu a radiační havárii.

Za radiační mimořádnou událost prvního stupně je považována RMU zvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo personálu vykonávajícího práci v aktuální provozní směně, ve které RMU nastala.

Radiační nehodou rozumíme RMU nezvládnutelnou silami a prostředky obsluhy nebo personálu vykonávajícího práci v aktuální provozní směně, ve které RMU vznikla, nebo vzniklou z důvodu nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která ale nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Radiační havárie je zákonem definována jako RMU nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo personálu vykonávajícího práci v aktuální provozní směně, ve které RMU vznikla, nebo vznikla z důvodu nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje, která již vyžaduje zavedení neodkladných ochranných

opatření pro obyvatelstvo.

### ***1.3.2 Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti RMU***

Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES – The International Nuclear Event Scale) byla původně v roce 1990 vytvořená Mezinárodní agenturou pro jadernou energii (IAEA – International Atomic Energy Agency) a Agenturou pro jadernou energii (NEA – The Nuclear Energy Agency), poté v roce 2008 provedla IAEA revizi tohoto dokumentu (INES MANUAL), jehož překlad publikoval SÚJB. Původně stupnice sloužila jen pro klasifikaci událostí na jaderných elektrárnách, poté však byla rozšířena k použití u všech zařízení souvisejících s civilním jaderným průmyslem. Dnes je rozšířena o význam všech událostí souvisejících s dopravou, skladováním a použitím radioaktivních látek a zdrojů záření. Je určena pro rychlé a srozumitelné hodnocení událostí z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany. Celkově má 7 stupňů, které jsou charakterizovány v tabulce 2. Pro dopady na okolí jaderného zařízení slouží stanovení hodnot ozáření obyvatelstva, stanovení rozsahu použití nutných ochranných opatření a stanovení úniku štěpných produktů, které jsou popsány v tabulce 1. (MATALA, 2011)

Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí ulehčuje komunikaci při RMU na mezinárodní úrovni.

7 Velká havárie	<p>- Únik velké části inventáře do okolí obsahující směs radioaktivních štěpných produktů s krátkým i dlouhým poločasem rozpadu (aktivita <math>10^4</math> TBq<sup>131</sup>I a nebo více).</p> <p>- Možnost akutních zdravotních účinků. Později zdravotní následky u obyvatelstva na rozsáhlém území, zasahující i několik států.</p> <p>Dlouhodobé následky na životní prostředí</p>	<p>Černobyl 1986</p> <p>Fukušima 2011</p>
6 Závažná havárie	<p>- Únik štěpných látek do okolí (aktivita <math>10^3</math>-<math>10^4</math> TBq<sup>131</sup>I).</p> <p>Úplná realizace havarijních plánů pravděpodobně potřebných k omezení zdravotních následků</p>	
5 Havárie s účinky na okolí	<p>- Únik štěpných látek do okolí (aktivita <math>10^3</math>-<math>10^4</math> TBq<sup>131</sup>I).</p> <p>Částečná realizace havarijních plánů (tj. ukrytí nebo evakuace potřebná v některých případech ke snížení pravděpodobnosti zdravotních následků).</p> <p>Těžké poškození velké části aktivní zóny v důsledku mechanických vlivů, nebo tavení.</p>	<p>Windscale 1957</p> <p>Three Mile Island 1979</p>
4 Havárie s účinky v JE	<p>- Účinky s maximální dávkou zátěže ozářených jedinců v okolí JEZ řádově v jednotkách mSv. Potřeba havarijních opatření nepravděpodobná s výjimkou potravin.</p> <p>- Určité poškození aktivní zóny v důsledku mechanických vlivů nebo tavení.</p> <p>- Dávková zátěž může zaměstnancům způsobit akutní zdravotní těžkosti (řádově 1Sv).</p>	<p>Saint-Laurent 1980</p> <p>Jaslovské Bohunice</p> <p>A-1 1977</p>
3 Závažná porucha	<p>- Únik do okolí nad povolené limity s dávkovou zátěží nejvíce exponovaných jedinců v okolí JEZ řádově v desetinách mSv.</p> <p>Havarijní opatření nejsou potřebná.</p> <p>- Výskyt polí záření nebo kontaminace v elektrárně v důsledku selhání zařízení nebo provozních poruch.</p> <p>- Překročení povolených limitů expozice pracovníků (individuální dávky větší než 50 mSv).</p> <p>- Poruchy, při kterých by v důsledku pozdější poruchy bezpečnostních systémů mohly vzniknout havarijní podmínky nebo situace, kde by bezpečnostní systémy nebyly schopné zabránit havárii, pokud by nastaly konkrétní iniciační události.</p>	<p>Vandellos 1989</p>
2 Porucha	<p>- Technická porucha nebo odchylka, která neovlivňuje jadernou bezpečnost přímo nebo bezprostředně, ale může vést k následnému přehodnocení bezpečnostních opatření</p>	
1 Odchylka od normálního provozu	<p>- Funkční nebo provozní odchylka, která nepředstavuje riziko, ale signalizuje nedostatky v bezpečnostních opatřeních.</p> <p>Může být způsobena poruchou zařízení, lidskou chybou nebo nevhodným provozním postupem.</p>	
0 Pod stupnicí	<p>- Situace, při kterých nejsou překročeny provozní limity a podmínky a které jsou bezpečně zvládnuté vhodnými postupy.</p>	

(Tabulka 1 – Stupnice INES, MATAI, 2011, str. 126)



Stupeň Popis	KRITÉRIA		
	Účinky na okolí	Účinky v JE	Narušení hloubkové ochrany
7 Velká havárie	Velký únik: rozsáhlé účinky na zdraví obyvatel a životní prostředí		
6 Závažná havárie	Významný únik: Úplné použití místních havarijních plánů		
5 Havárie s účinky na okolí	Omezený únik: Částečné použití místních havarijních plánů	Vážné poškození aktivní zóny	
4 Havárie s účinky v JE	Malý únik: Ozáření obyvatelstva na úrovni mezních dávek	Částečné poškození aktivní zóny, náhlé ohrožení zdraví pracovníků	
3 Závažná porucha	Velmi malý únik: Ozáření obyvatelstva ve zlomcích mezních dávek	Velká kontaminace, překročení mezní dávky pracovníků	Porucha blížká k havárii, ztráta zajištění ochrany do hloubky
2 Porucha			Poruchy s případnými bezpečnostními následky
1 Odchylka od normálního provozu			Odchylka od schválené funkční způsobilosti
0 Pod stupnicí			Bez bezpečnostního významu

(Tabulka 2 - Stupnice INES, kritéria, MATAL, 2011, str. 125)

### 1.3.3 Ochrana obyvatelstva, ochranná opatření

Ochrana obyvatelstva je stanovena dokumentem ministerstva vnitra s názvem Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030. Souhrnně se jedná o multiresortní disciplínu definovanou jako soubor činností a úkolů orgánů veřejné správy, samosprávy, právnických, podnikajícího fyzických a fyzických osob vedoucí k zabezpečení ochrany života, zdraví, majetku a životního prostředí v souladu s platnými právními předpisy. (Koncepce ochrany obyvatelstva, 2013)

Ochrana obyvatelstva navazující na RMU má samozřejmě svá specifika, ale stejný stanovený cíl a to zabezpečit ochranu života, zdraví, majetku a životního prostředí. Ochranu v tomto případě zajišťují složky integrovaného záchranného systému (dále jen IZS), složky kraje nebo obce, zejména hejtman či starosta, SÚJB a ČEZ, a.s. jako právnická osoba a provozovatel JE Dukovany. Důležitou roli při provádění ochranných opatření má i obyvatelstvo samotné, kterého spolupráce je klíčová. (MV – GŘ HZS ČR 2013a)

Pokud tedy nastane RMU jakéhokoliv stupně, je nutno uvážit ochranná opatření sloužící k ochraně obyvatelstva a životního prostředí stanovená zákonem č. 263/2016 Sb. atomovým zákonem. Ochranná opatření by měla vést k eliminaci ozáření obyvatelstva, eventuálně ke snížení expozice ionizujícího záření na nejmenší možnou a přijatelnou míru. Převládá snaha o eliminaci deterministických účinků a redukci účinků stochastických. Ochranná opatření při RMU se provádí vždy, jsou-li odůvodněná větším přínosem, než jsou náklady na opatření a škody jimi působené. Veškerá opatření vycházejí z mezinárodních doporučení a jsou uvedena v havarijních plánech obcí a pracovišť. V ČR jsou také definována ve vyhlášce 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, a ve vyhlášce č. 359/2016 Sb. o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události.

#### *1.3.3.1 Neodkladná ochranná opatření*

Neodkladná ochranná opatření jsou zaváděna v časně fázi RMU. Patří k nim vyzoomění a varování obyvatelstva, ukrytí obyvatelstva, jódová profylaxe a evakuace obyvatelstva.

Ochranná opatření vycházejí z legislativy ČR, které stanovují Vyhláška č. 359, Příloha č. 9 a Vyhláška č. 422, § 107 odst. 3. Když vycházíme z těchto legislativních podmínek tak je dle Vyhlášky č. 359, přílohy 9 stanovená pro operační zásahovou úroveň hodnota příkonu dávkového ekvivalentu měřená ve vzdálenosti 1 m nad kontaminovaným terénem a rovnající se:

- pro evakuaci 1 mSv/h,
- b) pro ukrytí 0,1 mSv/h,
- c) pro použití jódové profylaxe při únicích obsahujících radioaktivní jód 0,1 mSv/h.

Dále dle Vyhlášky 422, § 107, odstavce 3 pro ochranná opatření stanoveno

- *ukrytí, pokud odvrácená efektivní dávka je větší než 10 mSv za období ukrytí trvající nejdéle 2 dny,*
- *jódová profylaxe, pokud 1. hrozí vnitřní kontaminace radioaktivním jódem a 2. odvrácený úvazek ekvivalentní dávky ve štítné žláze způsobený radioizotopy jódu je větší než 100 mSv,*
- *evakuace, pokud součet efektivní dávky dosud obdržené v nehodové expoziční situaci se započtením účinku již realizovaných ochranných opatření a efektivní dávky, která by mohla být odvrácená evakuací, je větší než 100 mSv za prvních 7 dní.“*

Varování i vyrozumění obyvatelstva slouží k cílenému předání informací o hrozcí nebo vzniklé MU. Varování obyvatelstva patří k nejdůležitějším opatřením, kdy jsou lidé v zóně havarijního plánování upozorněni na vzniklou RMU pomocí zařízení jednotného systému varování a vyrozumění. Po zaznění sirén se obyvatelstvo ukryje v budovách a pustí si rozhlas nebo televizi, které poskytují další informace o RMU a ochranných opatřeních. (BENEŠ, 2002)

Ukrytí obyvatelstva v budovách se volí v situacích, kdy hrozí nebo již nastal únik radioaktivních látek a jejich přenos od zdroje ionizujícího záření k obydlím obyvatelstva. Ukrytí v budovách podstatně snižuje vnější ozáření a možnost vdechování radioaktivních látek. S ukrytím je spojená i individuální ochrana, pro kterou je stanovené používání prostředků improvizované ochrany, tedy pomocí věcí dostupných v každé domácnosti. Cílem individuální ochrany je ochrana povrchu těla s důrazem na sliznice, zejména oči a dýchací cesty. (BENEŠ, 2002)

Jódová profylaxe výrazně přispívá ke snížení vnitřního ozáření požitím tablet jodidu draselného. K radioaktivním částicím, které mohou uniknout při RMU patří i radioaktivní izotopy jódu, které se mohou vdechováním usadit ve štítné žláze. Užitím tablet jodidu draselného se štítná žláza nasatí neradioaktivními jodidovými anionty a tím se zabrání usazování radioaktivního jódu. (BENEŠ, 2002)

Evakuací se rozumí soubor opatření, které slouží k bezpečnému přemístění osob, zvířat, předmětů kulturní hodnoty a podobně z míst ohrožených MU do místa, kde je

zajištěné náhradní ubytování a stravování pro evakuované obyvatelstvo, ustájení pro zvířata a uskladnění pro věci. Vztahuje se na všechny osoby v místech ohrožených MU s výjimkou osob, podílejících se na záchranných a likvidačních pracích. (MV – GŘ HZS ČR, 2015). Evakuace obyvatelstva patří k neúčinnějším ochranným opatřením a může se provádět preventivně, tedy před únikem radioaktivních látek ze zdroje ionizujícího záření nebo až po úniku, kdy se evakuuje již ukryté obyvatelstvo. (BENEŠ, 2002). Problém s evakuací u RMU je v důsledku dlouhodobé evakuace, která může být v rámci RMU i trvalá, kdy je náročné zajistit trvalé náhradní ubytování pro větší počet obyvatel hlavně z ekonomického hlediska. Klíčové je taky, aby byla evakuace pod kontrolou pověřených orgánů a neprobíhala z vlastní vůle obyvatelstva. Samovolná evakuace má obvykle za následek paniku, která může dopady RMU zhoršit.

#### *1.3.3.2 Následná ochranná opatření*

Následná ochranná opatření vycházejí z regulací vnějšího ozáření obyvatelstva. Patří sem přesídlování obyvatelstva, regulace pohybu osob, regulace používání potravin, krmiv, vody a regulace zemědělské produkce. (BENEŠ, 2002)

### **1.4 Působení zasahujících složek při radiační mimořádné události**

#### ***1.4.1 Prvotní reakce***

U řešení zásahu při RMU se v prvotní fázi podílejí prakticky stejné složky jako u událostí chemické. Zasahující složky jsou složky IZS, podnik samotný a místní orgány veřejné správy a samosprávy. V dnešní době se havarijní připravenosti věnuje velká pozornost a to zejména problematice reakce havarijního systému havarijní připravenosti na RMU. V legislativě ČR je téhle problematice věnovaná taky větší pozornost a zasahující složky vycházejí především z vyhlášky MV č.328/2001 Sb., v které jsou zpracovány základní zásady činnosti složek IZS při společném zásahu. Dále je téhle problematice věnována pozornost v Souboru typových činností složek IZS a v Bojovém řádu jednotek požární ochrany, kde jsou definována zásady postupů složek IZS přímo u zásahu, kdy nelze vyloučit přítomnost radioaktivních látek. (PROUZA, 2008)

Obecný postup v prvotní fázi zásahu je vždy zabezpečení ochrany zasahujících osob a osob, kterých se daná událost dotýká. Zasahující osoba prvotně provede průzkum místa události a podává situační zprávu. V rámci toho vyhodnocuje místo MU a jeho okolí, možné další nebezpečí, zdroje ionizujícího záření a pokud je možné známe

příznaky MU, které vedly k jejímu vzniku. V momentě kdy nastane podezření na přítomnost radioaktivních látek, musí být zahájeno měření dávkového příkonu ionizujícího záření, eventuálně měření plošné aktivity v místě MU. Při těchto případech musí mít osoby zasahující v místě událostí veškeré ochranné pomůcky a dozimetry. Je zde nutno omezit kontaminaci osob. V případě, že byla potvrzená přítomnost radioaktivní látky nebo je potvrzen zvýšený dávkový příkon v místě události je potřeba ihned stanovit bezpečné a nebezpečné zóny a uzavřít místo zásahu. Velitel zásahu by měl okamžitě kontaktovat odborníky radiační ochrany a dále by měl zásah podléhat jejich pokynům. Je nutné bezprostředně informovat SÚJB a Policii ČR. SÚJB je také nutno podat zprávu o pobytu zasahujících složek. Dále je v prvotní fázi nutno poskytnout první pomoc osobám postiženým RMU, provést možná opatření k ochraně obyvatelstva a minimalizovat radiační i neradiační zdravotní následky. Dosáhneme toho dodržováním základních technických a organizačních principů radiační ochrany, ke kterým patří:

- dostatečná nebo co největší možná vzdálenost od zářiče nebo místa rozptylu radioaktivní látky;
- nejkratší možná doba pobytu v místě radiační mimořádné události;
- dostatečné stínění nebo dostupné možné stínění osob od zářiče nebo místa rozptylu radioaktivní látky;
- ochrana zasahujících osob během činnosti zásahu a v průběhu likvidace následků radiační mimořádné události;
- zaznamenávání a zajišťování informací, které mohou být vhodné pro řešení zdravotních následků, pro účely vyšetřování a prevenci podobných událostí;
- ochrana obyvatelstva v průběhu radiační mimořádné události;
- zajištění likvidace následků radiační mimořádné události. (PROUZA, 2008)

#### ***1.4.2 Stanovení ochranných a bezpečnostních zón***

Taktika složek zasahujících při RMU vychází zejména z katalogového souboru typových činností složek IZS a z bojového řádu jednotek požární ochrany. Pro zásah u RMU v jaderných elektrárnách je zpracováván také havarijný plán.

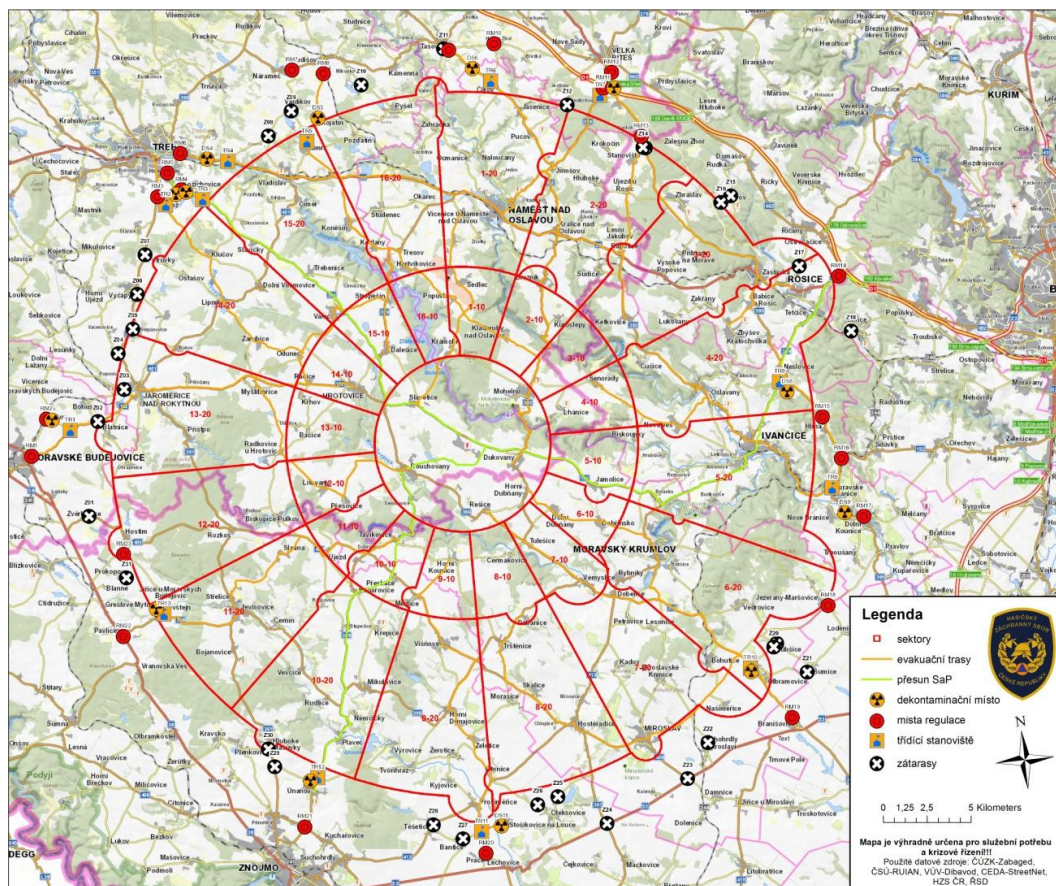
Složkám zasahujícím u RMU jde primárně o zabezpečení ochrany životů a zdraví zasahujících osob i osob dotčených událostí. Jde o ochranu před účinky ionizujícího záření a před kontaminací radioaktivní látkou. (PROUZA, 2008)

V prvotní fázi je na místě události nutno vytyčit předběžnou ochrannou zónu, která je minimálně 50 metrů od předpokládaného zdroje ionizujícího záření. Poté se zahájí průzkum a měření dávkového příkonu ionizujícího záření a plošné aktivity zářiče. Personál HZS provádějící průzkum musí dodržovat bezpečnostní zásady radiační ochrany. Dále je potřebné vytyčit hranici tzv. bezpečnostní zóny, ve které je úroveň dávkového příkonu  $10\mu\text{Gy/h}$  ( $10\ \mu\text{Sv/h}$ ). V bezpečnostní zóně je potřeba zavést režimová opatření a dodržovat zásady radiační ochrany a na jejím obvodu je potřebné omezit pohyb zasahujících osob na dobu nižší než 30-100 hodin za rok. Po stanovení bezpečnostní zóny se pokračuje v radiačním průzkumu a vytyčí se hranice nebezpečné zóny, které odpovídá úroveň dávkového příkonu  $1\text{mGy/h}$  ( $1\text{mSv/h}$ ). Již v prostoru vnější hranice nebezpečné zóny je nutno, pokud to zásah dovoluje, omezit pohyb na max. 50 hodin za rok. Nebezpečná zóna definuje potenciální ohrožení zasahujících osob a směji zde pracovat zasahující jednotky jen v případě nezbytnosti, jako je záchrana života a rozvoj RMU s rozsáhlými společenskými a hospodářskými důsledky a to jen při dodržování režimových opatření. Po vytyčení bezpečnostní a nebezpečné zóny se automaticky ruší předběžná ochranná zóna, ale postupy pro ni stanovené platí i pro ostatní zóny. V bezpečnostní a nebezpečné zóně neprobíhá tedy žádná činnost s výjimkou bezprostředně nutných záchranných a likvidačních prací. Stanoví se režimová opatření, které mají za úkol bezpečnost a ochranu. V rámci bezpečnosti se zamezí vstupu nepovolených osob na místa RMU, shromažďuje se důkazní materiál, sloužící k zjištění příčiny RMU apod. V rámci ochranných opatření se omezuje pobyt zasahujících osob, sleduje a měří se obdržené dávky pro každou jednotlivou zasahující osobu, vede se jejich evidence, provádí se dozimetrické kontroly na hranici bezpečnostní zóny, provádí se dekontaminace osob a věcných prostředků apod. (PROUZA, 2008)

### 1.5 Vnější havarijný plán JE Dukovany

Vnější havarijný plán JE Dukovany (VHP JE Dukovany) je zastřešující dokument, sloužící k zajištění havarijní připravenosti. Je rozdělen na informační a operativní část. VHP JE Dukovany definuje základní postupy složek IZS a dalších dotčených subjektů

pro případ RMU. Dále stanovuje opatření k eliminaci nebo likvidaci dopadů RMU v zóně havarijního plánování, ve které jsou prováděná ochranná opatření. Tato zóna je z organizačního hlediska rozdělena do tří pásem, kde pásma představují kružnice o poloměrech 5 km, 10 km a 20 km od JE Dukovany. Tyhle pásma jsou dále rozdělena do kruhových výsečí po 22,5 stupně tak, aby osy těchto výsečí odpovídali směřům větru počínaje stupněm 0 (obrázek 1). Primárním cílem jaderné bezpečnosti je odstavení reaktoru a tedy okamžité přerušení štěpné reakce. Tento požadavek zajišťuje bezpečnostní systém, který zastaví štěpnou reakci do 12 sekund. (VHP JE Dukovany.)



(Obrázek 1 – Zóna havarijního plánování JE Dukovany, VHP JE Dukovany)

Nebezpečí pro obyvatelstvo představuje přímé ozáření z nestíněných zdrojů ionizujícího záření nebo únik radioaktivní látky a její rozptýlení do životního prostředí. Pokud tedy nastane RMU je nezbytně nutné rychle předpovědět radiální situaci a vyhodnotit její možné následky. I když je to málo pravděpodobné, pokud dojde k prodlevě, může dojít k ozáření obyvatelstva, které by za nepříznivých podmínek a v blízkosti zdroje ionizujícího záření mohlo způsobit deterministické účinky. Výsledky analýz možných RMU byly předloženy SÚJB jako příloha k žádosti o stanovení ZHP JE Dukovany. Ozáření fyzických osob v expozičních situacích během RMU musí být

omezeno prováděním individuální ochrany, omezením pohybu a pobytu fyzických osob na zasaženém území a zavedením ochranných opatření. (VHP JE Dukovany)



## **Cíle práce a výzkumné otázky**

Cílem diplomové práce je vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů RMU na okolí jaderného zařízení v ČR. Pro tuto diplomovou práci bylo vybráno okolí JE Dukovany. Tato kniha bude mít formu analogového katalogu, který bude sloužit k posouzení vlivu vstupních veličin na výsledky výpočtů. Výsledky výpočtů jsou prováděny pomocí SW nástroje ESTE EU, který používá krizový štáb SÚJB a SÚRO pro případ vzniku RMU. Jako vstupní data bylo zvoleno 11 typů meteorologických podmínek, která různě ovlivňují dopady vzniklé RMU. Tyhle meteorologické podmínky jsou dále aplikované na okolí jaderného zařízení a ukazují dopady v obcích kolem jaderného zařízení. Vstupní data byla vybrána jako nejpravděpodobnější možnosti z důvodu velkého množství proměnných. Výsledný katalog by sloužil k zhodnocení dané situace a k stanovení nutných ochranných opatření pro okolí JE Dukovany.

Pro tuto práci byla stanovena hlavní výzkumná otázka, která zní:

***„Lze na základě citlivostní analýzy modelování a prognóz radiační mimořádné události vytvořit analogový katalog výsledků pro dopady na okolí jaderného zařízení?“***

## **Metodika**

V rámci teoretické části diplomové práce byla využita analýza odborných informačních zdrojů a mezinárodních doporučení. Vybrané jsou zejména platné právní předpisy, vycházející z mezinárodních a evropských doporučení pro danou problematiku, internetové zdroje a odborná literatura zabývající se danou problematikou. Na dané teoretické poznatky navazuje výzkumná část práce.

Praktická část diplomové práce je založena na vytvoření vstupních podmínek, které jsou postupně vkládaná do SW nástroje ESTE EU. V úvodu byla vytvořena matice vstupních podmínek, které jsou postupně vkládaná do SW nástroje. Jako vstupní podmínky bylo definováno 11 typů meteorologických podmínek, kdy se počítá se silou větru, kategorií stability počasí a počtem srážek za jednotku času. Směr větru byl ponechán kontinuální, abychom mohli poukázat na intenzitu a vliv meteorologických podmínek u daných obcí, které jsme si zvolili v jednom směru. Následně jsou zpracovávány výstupní modely ze SW nástroje do formy tabulek a grafů.

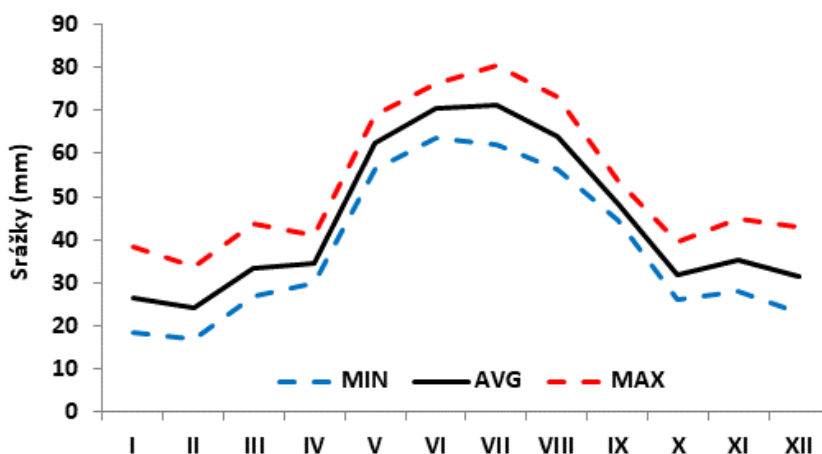
### **Program ESTE EU**

Program ESTE EU patří do skupiny programů ESTE, jejichž autorem je firma ABmerit, Trnava, Slovensko. Jedná se o programy, které slouží ke stanovení zdrojového člena, výpočtů dopadů a k návrhu ochranných opatření při RMU kdykoliv v Evropě. Pro JE Temelín a JE Dukovany je v ČR používán program ESTE ETE a ESTE EDU, pro účely Krizového štábu SÚJB a SÚRO, Praha. ESTE EU je softwarový nástroj používán k oceňování možných dopadů RMU, s využitím odhadů zdrojového člena na základě symptomů a dostupných reálných měření. Program ESTE EU nám umožňuje pomocí dostupných informací odhadnout možnou nebo reálně vzniklou RMU pro kterékoliv místo v Evropě. Slouží také k modelování radiologických dopadů možného nebo už reálně vzniklého úniku radioaktivních látek do atmosféry a zobrazuje je v geografickém informačním systému (GIS). ESTE EU nám tedy nabízí výpočet dopadů reálného úniku nebo prognózu dopadů z prognózy úniku. Pro tuto práci byly vytvářené prognózy, které k výpočtu používaly manuálně zadávané vstupní meteorologické podmínky. V programu ESTE EU je implementován Lagrangeovský model trajektorií, popisující pohyb těžiště diskretních obláček (puff-ů), PTM (puff trajectory model), které jsou složeny ze vzácných plynů, jodů a aerosolů. Tento model slouží pro výpočet šíření radioaktivních látek emitovaných do atmosféry během normálního provozu jaderného

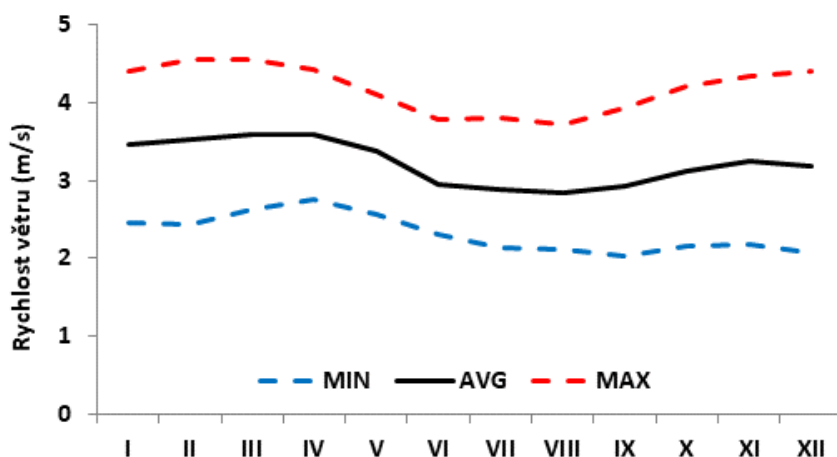
zařízení tak i během havarijní situace. Dále model zohledňuje mechanismy radioaktivně proměny, vymývání srážkami a suchého spádu.

### Vstupní podmínky

Jako matici vstupních podmínek bylo zvoleno 11 typů meteorologických podmínek, pojmenovaných jako Meteo 1-11, kdy každé Meteo definuje popis meteorologických podmínek při vzniku RMU. Meteorologické podmínky jsou definovány podle počtu srážek, rychlosti větru a kategorie stability, kdy u všech je ponechán kontinuální směr větru. Tyto podmínky jsou zadávána jako vstupní podmínky do SW systému ESTE EU a na jejich základě jsou vypočteny prognózy dopadů RMU. Vstupní meteorologické podmínky se opírají o průměrné roční klimatické podmínky v okolí JE Dukovany, kdy průměrný roční úhrn srážek za období 20 let (1981-2010) je 534,7 mm/hod. Z toho nejdeštivějším měsícem je červenec a nejméně srážek je v únoru. Srážky jsou nejnižší v jihovýchodní části sledovaného objektu a naopak nejvyšší v severozápadní části. Průměrná roční rychlost větru se v oblasti pohybuje od 2,4 m/s do 4,2 m/s. U směru větru převládá v celoročním průměru severozápadní proudění (320°-340°). V podzimních měsících má velmi výrazný podíl i jihovýchodní a východní proudění. Jako konstantní směr větru byl pro tuto práci zvolen jihovýchodní vítr (135°), který byl vybrán kvůli hustotě osídlení v daném směru.



(Obrázek 2 - roční chod srážek, VHP JE Dukovany)



(Obrázek 3 - roční rychlosti větru, VHP JE Dukovany)

Pro definici síly větru byla použita Beaufortova stupnice, která definuje 12 stupňů intenzity větru, klasifikace dešťových srážek podle jejich intenzity a kategorie stability podle Pasquilla.

Stupeň	Vítr	[km/h]	[m/s]	Znaky
0	bezvětří	< 1	< 0,5	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	1 - 5	~ 1,25	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	6 - 11	~ 3	listy stromů šelestí
3	slabý vítr	12 - 19	~ 5	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	20 - 28	~ 7	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	29 - 39	~ 9,5	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	40 - 49	~ 12	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný víchř	50 - 61	~ 14,5	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý víchř	62 - 74	~ 17,5	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný víchř	75 - 88	~ 21	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
10	plný víchř	89 - 102	~ 24,5	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	103 - 114	~ 29	působí rozsáhlá pustošení
12-17	orkán	> 117	> 30	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

(Obrázek 4 – Beaufortova stupnice, <https://www.garni-meteo.cz/meteorologie>)

Název srážek	Trvání srážek		
	1 hod.	2 hod.	3 hod.
	množství srážek (mm)		
Slabý déšť	≤1,0	≤1,5	≤2,0
Mírný déšť	1,1—5,0	1,6—7,5	2,1—9,0
Silný déšť	5,1—10,0	7,6—10,0	9,1—11,5
Velmi silný déšť	10,1—15,0	14,1—21,0	11,6—23,5
Liják	15,1—23,0	21,1—30,5	23,6—33,0
Přival	23,1—58,0	30,6—64,0	33,1—72,0
Průtrž mračen	≥58,1	≥64,1	≥72,1

(Obrázek 5 - Klasifikace srážek podle intenzity, Havlíček a kolektiv 1986)

<i>třída počasí</i>	<i>míra stability</i>	<i>typická povětrnostní situace</i>	<i>charakteristická rychlost <math>u_{10}</math> (<sup>1</sup>)</i>
A	vysoce nestabilní	velmi sluneční letní den	1
B	středně nestabilní	sluneční teplý den	2
C	slabě nestabilní	částečně zataženo – ve dne	5
D	neutrální	zataženo – den či noc	5
E	slabě stabilní	noční hodiny při částečné oblačnosti	3
F	stabilní	jasná studená noc	2

(Obrázek 6 – Pasquillův – Giffordův model stability počasí, Chambers, 2015)

## **Definice vstupních meteorologických podmínek**

Meteo 1 - slunečný teplý den (kategorie stability B), slabý vítr (2,5m/s), bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 2 - částečně zataženo (kategorie stability C), dosti čerstvý vítr (6m/s), bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 3 - zataženo den i noc (kategorie stability D), mírný vítr (5m/s), silný déšť (10mm/hod.).

Meteo 4 - částečně zataženo (kategorie stability C), vánek až slabý vítr (1,5m/s), od 10:00 mírný déšť (3mm/hod.), od 14:00 bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 5 - zataženo den i noc (kategorie stability D), slabý vítr (2m/s), silný až intenzivní déšť (15mm/hod.).

Meteo 6 - slunečný teplý den (kategorie stability B), silný vítr (11m/s), bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 7 - slunečný teplý den (kategorie stability B), mírný až dosti čerstvý vítr (5,5m/s), bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 8 - zataženo den i noc (kategorie stability D), mírný vítr (4m/s), liják (25mm/hod.).

Meteo 9 - částečně zataženo (kategorie stability C), od 8:00 slabý vítr (2m/s) bez srážek (0mm/hod.), od 12:00 mírný vítr (5m/s) silný déšť (10mm/hod.), od 16:00 mírný vítr (4m/s) bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 10 - zataženo den i noc (kategorie stability D), od 10:00 mírný vítr (4m/s) liják (20mm/hod.), od 12:00 slabý vítr (3m/s) mírný déšť (5mm/hod.), od 14:00 slabý vítr (2m/s) bez srážek (0mm/hod.).

Meteo 11 - částečně zataženo (kategorie stability C), od 11:00 slabý vítr (2m/s), bez srážek (0mm/hod.), od 16:00 pořád slabý vítr (3m/s), liják (25mm/hod.).

## Výsledky výzkumného šetření

Výsledky výzkumného šetření jsou výstupní data ze SW nástroje ESTE EU, využívaného k výpočtu prognóz RMU. Tyto data jsou v diplomové práci vkládána do tabulek a grafů, díky kterým vznikne přehledný analogový katalog pro ukázkou dopadu RMU. Na základě těchto tabulek a grafů se pak mohou jednoznačně stanovovat ochranná opatření v různých oblastech a obcích okolí jaderného zařízení.

Jako výstupní data byly zvolené hodnoty celkové dávky, dávkového příkonu a celkového inhalačního úvazku, také byl hodnocen depozit jódu a cezia a jejich mokrá depozit, které jsou hodnocena 8, 16 a 24 hodin od začátku úniku. Výstupní data jsou vztažena na obce nacházející se v oblasti 3,5km, 6,8km, 10,5km, 18,18km, 24,2 a 54,16 km od jaderného zařízení. Jedná se o obec Slavětice, které se svou vzdáleností 3,57 km od JE nacházejí v prvním pásmu zóny havarijního plánování JE Dukovany. Obec Dalešice, která je od JE vzdálená 6,85 km se nachází v druhém pásmu zóny havarijního plánování. Další je obec Váleč, která je od JE vzdálená 10,54 km a nachází v třetím pásmu zóny havarijního plánování spolu s obcí Vladislav, která je od JE vzdálená 18,18km. Jako další byly zvolené města mimo zónu havarijního plánování, ale ve směru stanoveného větru. Město Třebíč, které je od JE Dukovany vzdáleno 24,19 km a město Jihlava, vzdálené 54,16 km. Tyto města jsou vzdálená a často nejsou ohrožena RMU, ale vybraná byly z důvodu osídlenosti.

K zhodnocení veškerých podmínek a výsledků dopadů byly vytvořené tabulky, které vychází z informací o dopadech na daném území za předem definovaných podmínek. Na základě těchto tabulek byly vytvořené grafy a analýza dopadů RMU. Tabulka tedy obsahuje obce a města v různých vzdálenostech od jaderného zařízení a jako druhou proměnnou 11 meteorologických podmínek ovlivňující dopady RMU. Tabulky jsou vytvořené jako výstupní výsledky ze SW nástroje a vytvořené pro přehlednost míry dopadů, dále je s nimi pracováno k vyhodnocování výsledků dopadů a k stanovení vhodných doporučení v rámci bezpečnosti a ochranných opatření na daném území.

Následující tabulky definují podle obrázků stupeň ochranných opatření, které musí být stanovená na základě výsledných hodnot, kde červený obrázek stanovuje evakuaci obyvatelstva, žlutý ukrytí a jodovou profylaxi a zelený nevyžaduje ochranná opatření. Ochranná opatření vychází z hodnot dávky a dávkového příkonu.

Tabulka 3 - Příkon dávky všemi cesty za 8 hodin (mSv/h)

	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											

Tabulka 4 - Příkon dávky všemi cesty za 16 hodin (mSv/h)

	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											

Tabulka 5 - Příkon dávky všemi cesty za 24 hodin (mSv/h)

	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											



Tabulka 6 - Dávka za 8 hodin (mSv)

	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											

Tabulka 7 - Dávka za 16 hodin (mSv)

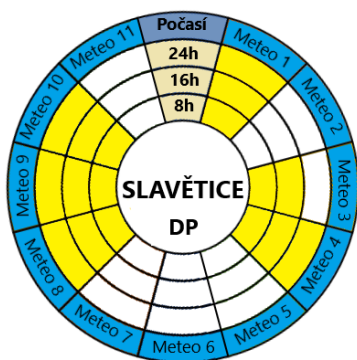
	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											

Tabulka 7 - Dávka za 16 hodin (mSv)

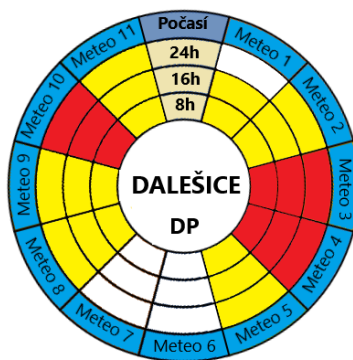
	mete o1	mete o2	mete o3	mete o4	mete o5	mete o6	mete o7	mete o8	mete o9	meteo 10	meteo 11
Slavětice											
Dalešice											
Valeč											
Vladislav											
Třebíč											
Jihlava											

## Výšečové grafy k určení dopadů RMU pro vytvoření knihy

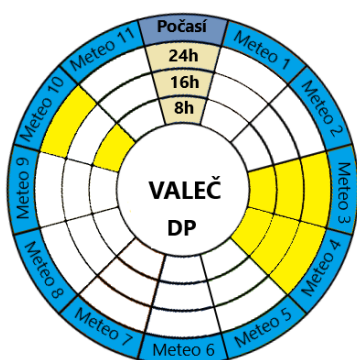
Pro vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů RMU byly vytvořené přehledné výšečové grafy, které pomocí vybarvených polí určují, jaké jsou ochranná opatření za různých typů RMU pro námi definované obce. Každý graf definuje jednu obec, kdy kužely tohoto grafu definují typy meteorologických podmínek, a okruhy stanovují dobu uplynulou od začátku úniku. Pro vytvoření knihy by byla potřeba vytvořit mnohem obsáhlejší grafy. Prázdná pole nevyžadují žádná ochranná opatření, žlutá pole stanovují ukrytí obyvatelstva a jodovou profylaxi a červená pole ukazují na nutnost evakuace obyvatelstva. Pro dávkový příkon, od nejbližších obcí od JE Dukovany v námi zadaném směru:



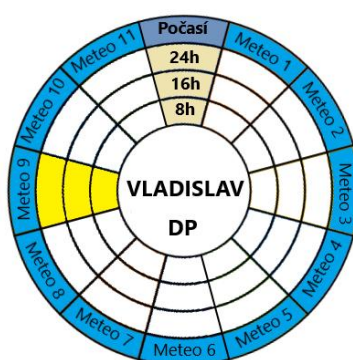
Obrázek 7 - Dávkový příkon Slavětice



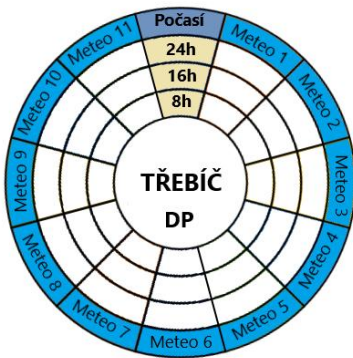
Obrázek 8 - Dávkový příkon Dalešice



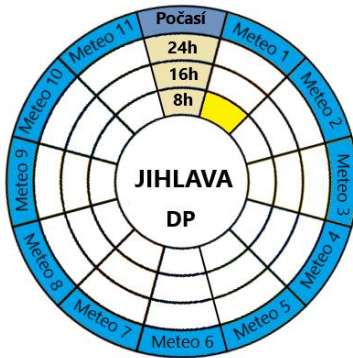
Obrázek 9 - Dávkový příkon Valeč



Obrázek 10 - Dávkový příkon Vladislav

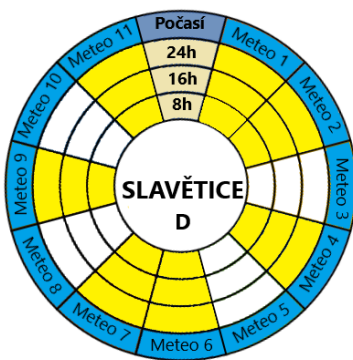


Obrázek 11 - Dávkový příkon Třebíč

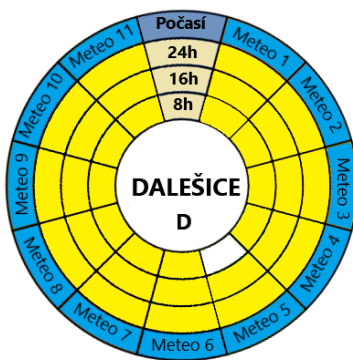


Obrázek 12 - Dávkový příkon Jihlava

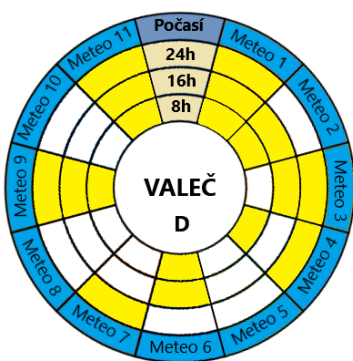
Výšečové grafy pro dávku od nejbližších obcí od JE Dukovany v námi zadaném směru:



Obrázek 13 - Dávka Slavětice



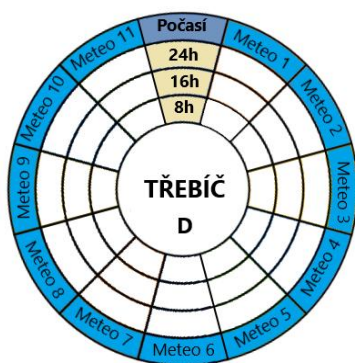
Obrázek 14 - Dávka Dalešice



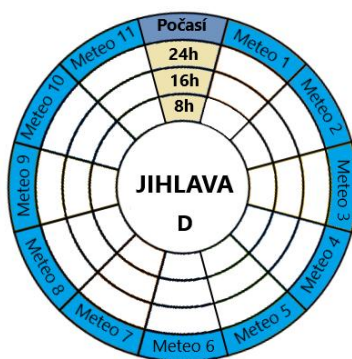
Obrázek 15 - Dávka Valeč



Obrázek 16 - Dávka Vladislav



Obrázek 17 - Dávka Třebíč



Obrázek 18 - Dávka Jihlava

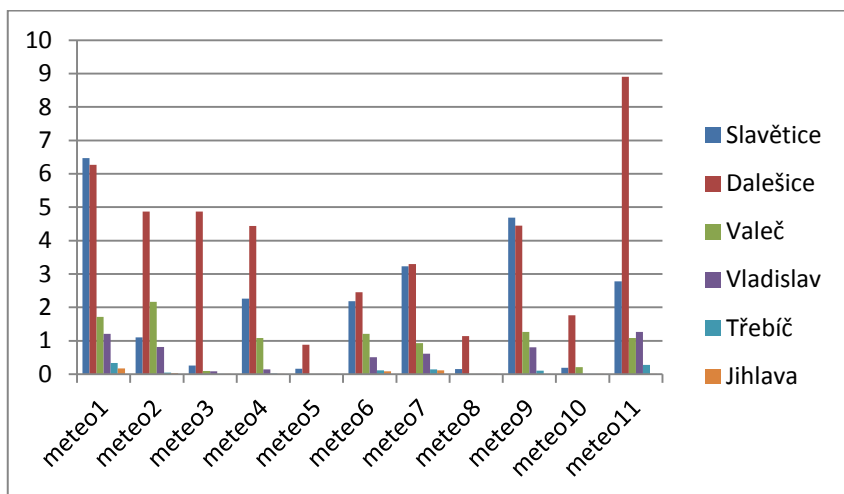
## Vyhodnocování výsledků dopadů RMU na okolí JE Dukovany

Všeobecně zde zhodnotíme vliv všech meteorologických podmínek na jednotlivé výsledné hodnoty stanovení SW nástrojem ESTE EU. Pro dopady RMU na okolí jaderného zařízení byla vybrána dávka, úvazek inhalací, dávkový příkon, depozit cezia a jodu a také mokrá depozit cezia a jodu.

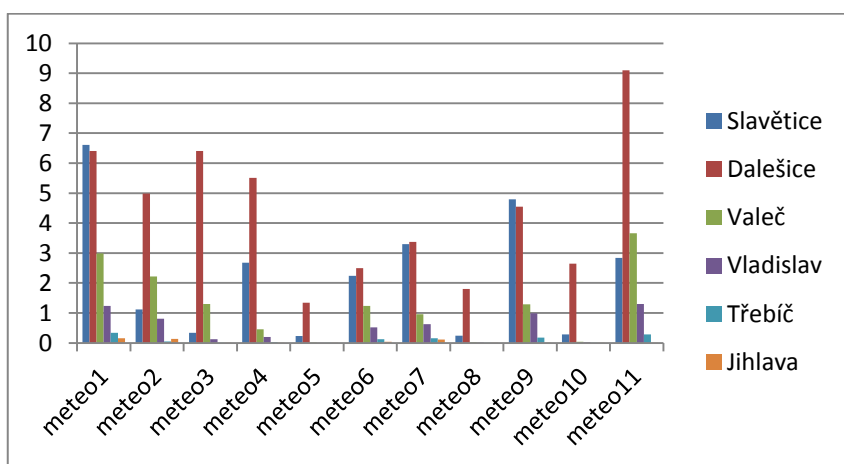
### Efektivní dávka

Tato hodnota nám definuje biologické účinky jakéhokoliv typu ionizujícího záření, používá se pro účely radiační ochrany, jednotkou je Sievert [Sv]. Z analýzy dopadů RMU při různých meteorologických podmínkách nám vychází 3 grafy hodnotící stav efektivní dávky během prvních 8, 16 a 24 hodin. Tyto grafy nám ukazují závislost efektivní dávky na meteorologických podmínkách Meteo 1-11 a jejich vliv na jednotlivé obce. Na grafu č. 1 vidíme, že nejvyšší ekvivalentní dávka postihuje obec Dalešice, kdy vrchol této dávky je za podmínek Meteo 11, definované slabým větrem bez srážek a nejnižší ekvivalentní dávka je za podmínek Meteo 5, kdy od začátku úniku vydatně prší. Naopak nejméně zasaženým je město Jihlava a Třebíč, které jsou nejbližší a z toho důvodu jsme ani nepředpokládali vysokou ekvivalentní dávku. Graf č. 2 a č. 3 ukazuje, že obec Dalešice je zasažena nejvíce i po 16 a 24 hodinách. Změna však nastává v hodnotách efektivní dávky, kdy dávka pomalu stoupá s nárůstem času.

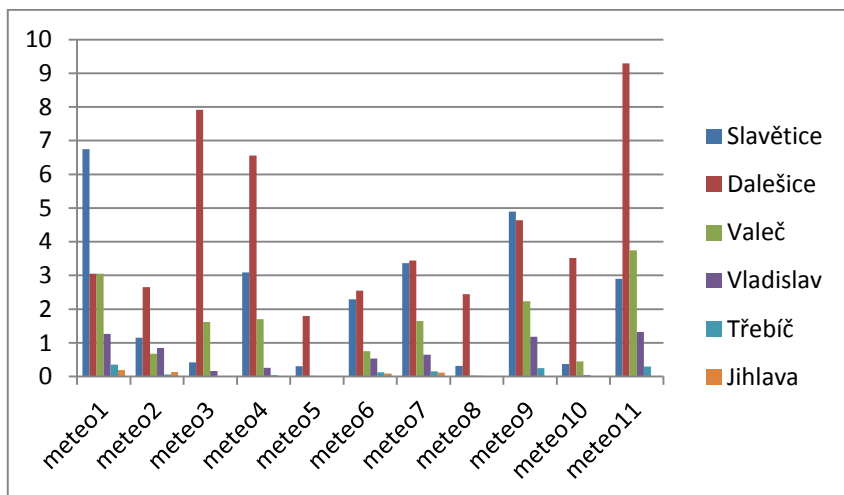
Graf 1 - Celková efektivní dávka po 8 hod. (E-2) [Sv]



Graf 2 - Celková efektivní dávka po 16 hod. (E-2) [Sv]



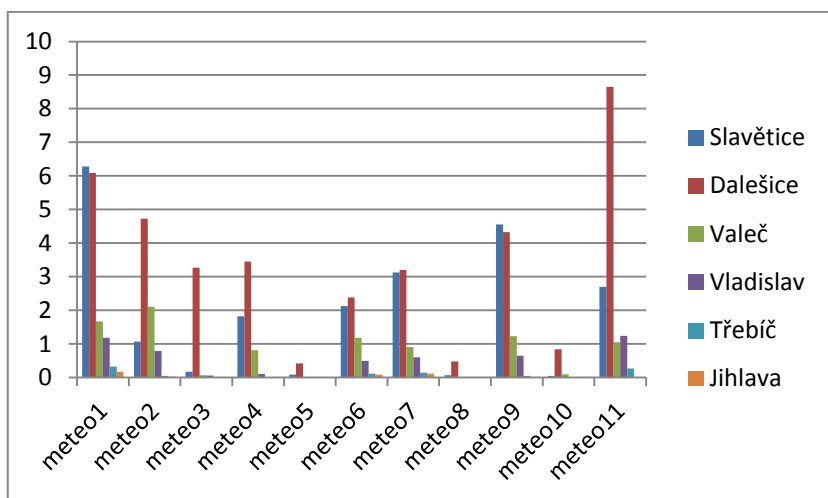
Graf 3 - Celková efektivní dávka po 24 hod. (E-2) [Sv]



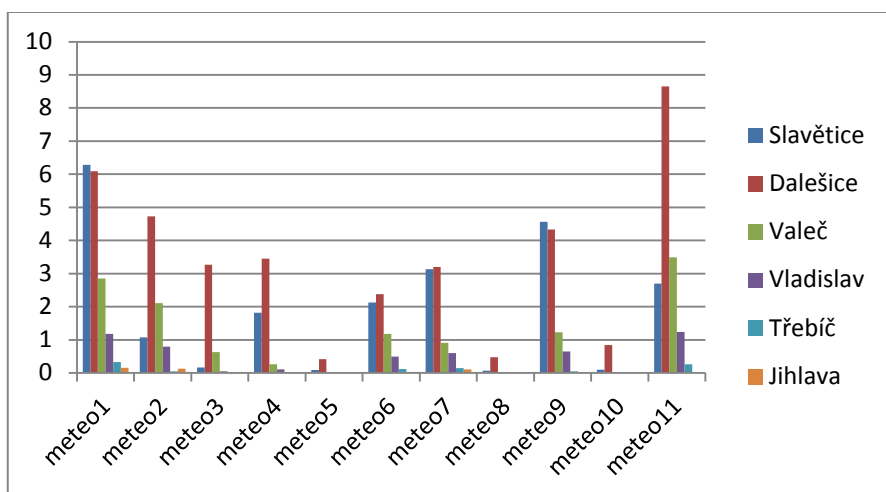
## Úvazek inhalací

Úvazek inhalací nám definuje dávku přijímanou plicní absorpcí, tedy inhalační cestou (vdechnutím), jednotkou je Sievert [Sv]. Z analýzy dopadů RMU při různých meteorologických podmínkách nám vychází 3 grafy hodnotící stav této dávky přejímané inhalačně během prvních 8, 16 a 24 hodin. Závislé jsou opět na meteorologických podmínkách Meteo 1-11 a hodnocen je vliv na jednotlivé obce. Úvazek inhalací dosahuje nejvyšších hodnot u obcí Slavětice a Dalešice a to zejména ve vstupních podmínkách Meteo 1 a 11, kdy od začátku úniku pozorujeme slabý vítr, bez srážek v těchto oblastech. Naopak nejnižších hodnot nabývá u podmínek Meteo 5 a 8, kdy sice převládá slabý až mírný vítr, ale už od začátku úniku pozorujeme silný až intenzivní déšť. Na grafech 5. a 6. Vidíme opět pomalý nárůst hodnot s přibývajícím časem.

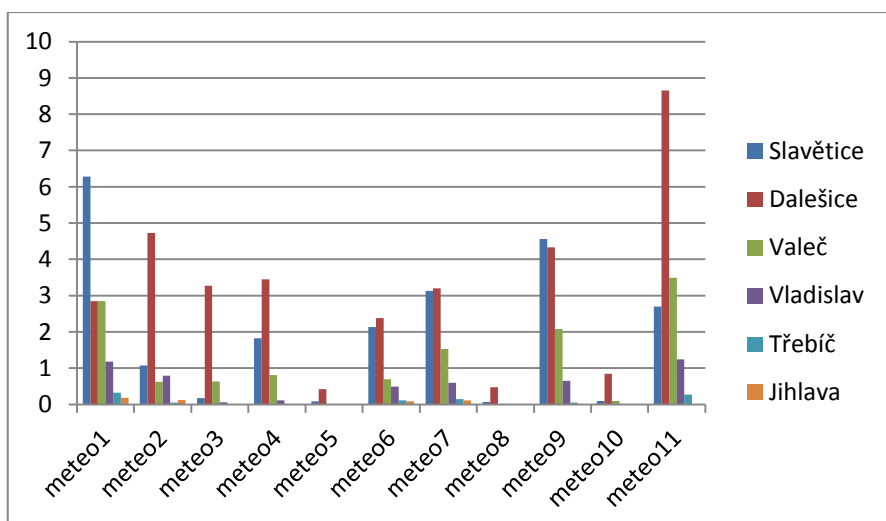
Graf 4 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 8 hod. (E-2) [Sv]



Graf 5 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 16 hod. (E-2) [Sv]



Graf 6 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 24 hod. (E-2) [Sv]



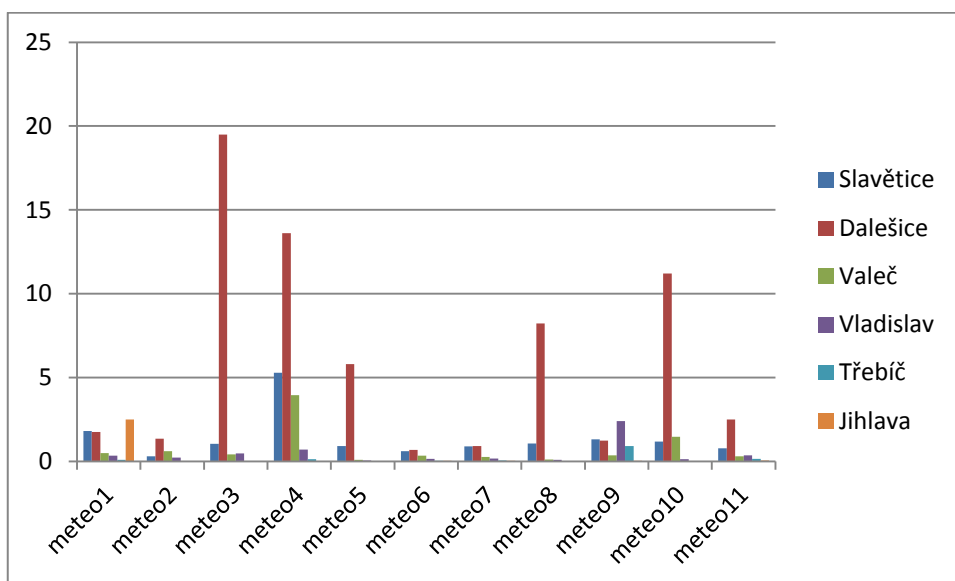
## Dávkový příkon

Dávkový příkon neboli příkon dávkového ekvivalentu nám definuje přírůstek dávky za jednotku času. Tedy pomocí této veličiny vyjadřujeme radiační situaci prostředí. Jednotkou je sievert za hodinu [Sv/hod].

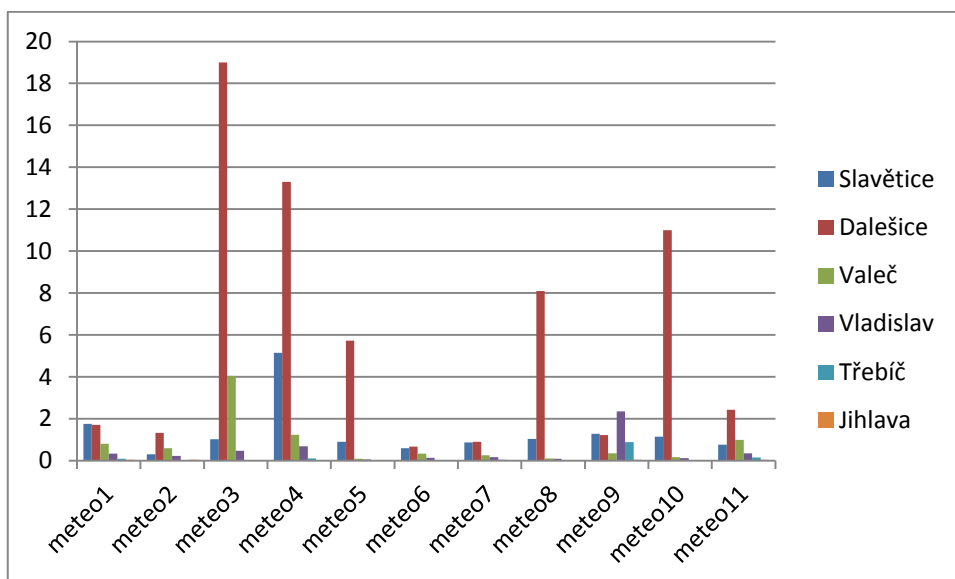
Pro stanovení dávkového příkonu v okolí JE Dukovany byly opět použité různé typy meteorologických podmínek. Pomocí grafů je hodnocen dávkový příkon na předem určené obce a města v okolí jaderného zařízení. Grafy nám znázorní dávkový příkon

na tomto území po dobu 8,16 a 24 hodin od vzniku RMU. Díky grafům 7-9 můžeme pozorovat závislost dávkového příkonu na srážkách. Dávkový příkon nabývá nejvyšších hodnot u podmínek Meteo 3,4,8 a 10, u kterých pozorujeme srážky od vzniku události. Naopak nejnižších hodnot nabývá u podmínek Meteo 1,2,6 a 7, kdy se jedná o jasné slunečné dni bez srážek. Dávkový příkon se s narůstajícím časem výrazně nemění.

Graf 7 - Příkon dávky všemi cesty za 8hod. (E-4), [Sv/hod]

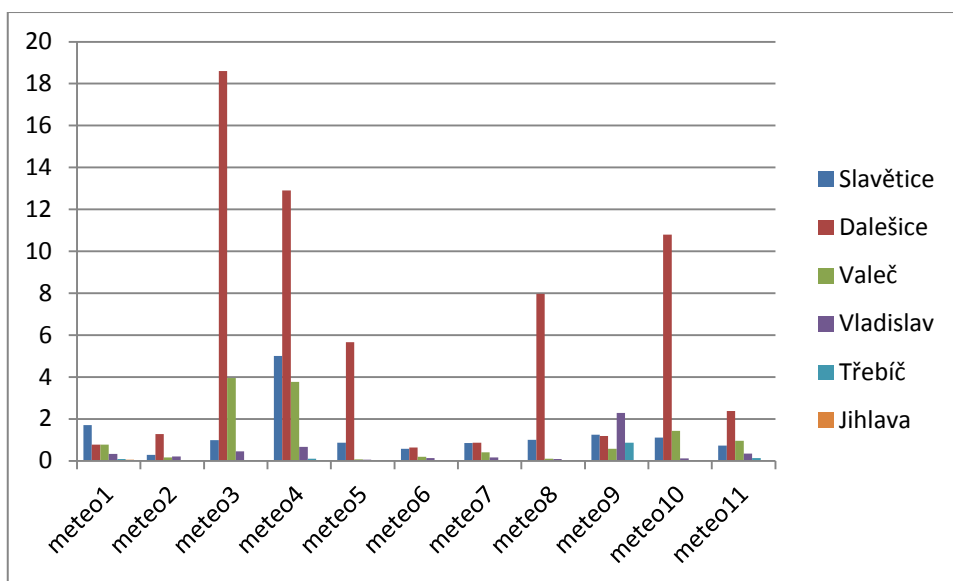


Graf 8 - Příkon dávky všemi cesty za 16 hod. (E-4), [Sv/hod]





Graf 9 - Příkon dávky všemi cesty za 8hod. (E-4), [Sv/hod]



### Depozit jódu a cezia, mokrý depozit

Při úniku radioaktivních látek do okolí jaderného zařízení se podle meteorologických podmínek rozptýlí velké nebo malé množství těchto látek v atmosféře. Mrak, který radioaktivní látky obsahuje, se pohybuje ve směru větru, a radioaktivní látky z něho vypadávající a kontaminují terén. Podle rozptýlu pak vznikne plocha s menší nebo větší kontaminací. K určení kontaminace terénu nám SW nástroj dokáže vypočítat depozit v dané oblasti. Pro diplomovou práci byl zvolen depozit jódu ( $I^{131}$ ) a cezia, ( $Cs^{137}$ ), který se udává v jednotkách becquerel na meter čtverečný [ $Bq/m^2$ ]. V programu ESTE EU můžeme rozlišovat tzv. suchý spád z oblaku (depozit) a vymývání atmosférickými srážkami (mokrý depozit).

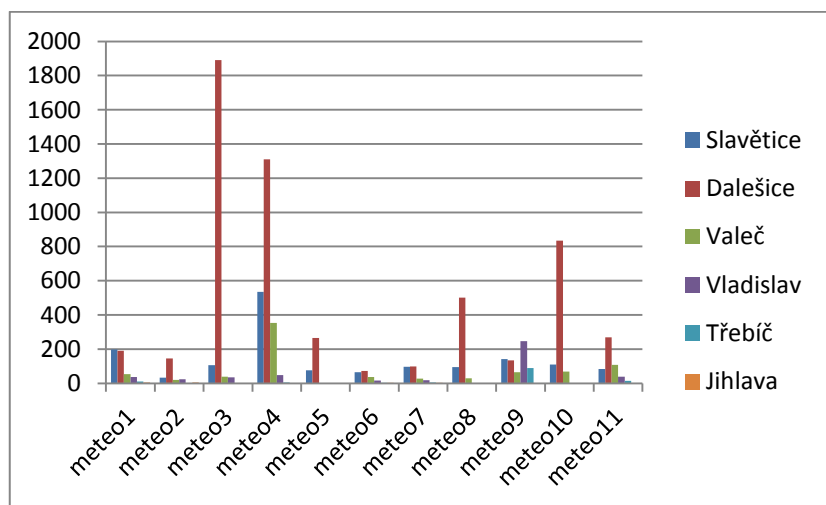
Pomocí grafů znovu zhodnotíme vliv meteorologických podmínek na obce a města v okolí jaderného zařízení. Pomocí tabulek a grafů zhodnotíme jak suchý depozit, tak mokrý depozit. Grafy nám tyto depozity zhodnotí na území předem daných obcí a měst po dobu 8, 16 a 24 hodin od vzniku RMU.

Suchý depozit jódu můžeme pomocí grafů č. 10, 11, a 12 zhodnotit tak, že nejvyšších hodnot dosahuje u podmínek Meteo 3 a 4, které jsou definována mírným až silným deštěm. Nejnižších hodnot nabývá depozit jódu u podmínek bez srážek, kdy dojde k dobrému rozptýlu radioaktivních látek do atmosféry a území je nejmíň

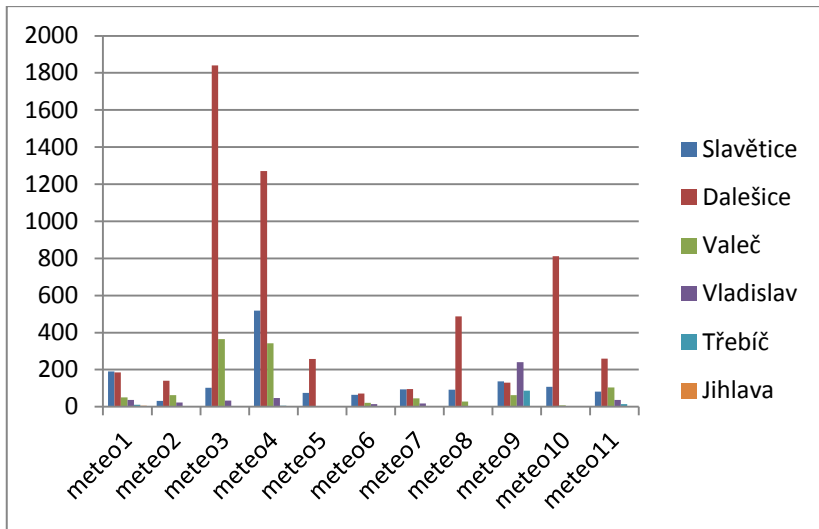
kontaminováno jodem. Podobně na tom je i mokrý depozit jódu, který nabývá velice podobných hodnot jako suchý depozit jódu, ale v meteorologických podmínkách bez srážek je nulový, což můžeme vyvodit z grafů č. 13, 14 a 15. Hodnoty suchého i mokrého depozitu s časem pomalu klesají.

Suchý depozit cesia je podobně jako depozit jódu ovlivněn srážkami, jak můžeme pozorovat v grafech č. 16, 17 a 18. Nejvyšších hodnot však nenabývá u mírných až silných dešťů, ale při větší srážkové činnosti u podmínek Meteo 5, 8 a 10, které definují lijáky a intenzivní deště již od začátku úniku. Poté jsou hodnoty vysoké u silných a mírných dešťů a minimálních až zanedbatelných hodnot nabývá u meteorologických podmínek bez srážek, tedy podmínek Meteo 1, 2, 6, 7 a 11. Podobné hodnoty nabývá i mokrý depozit cesia, avšak pro mokrý depozit jsou podmínky bez srážek opět nulové. Nejvíce zasáhnutou oblastí je obec Dalešice, která se nachází ve vzdálenosti 6-8km od jaderného zařízení.

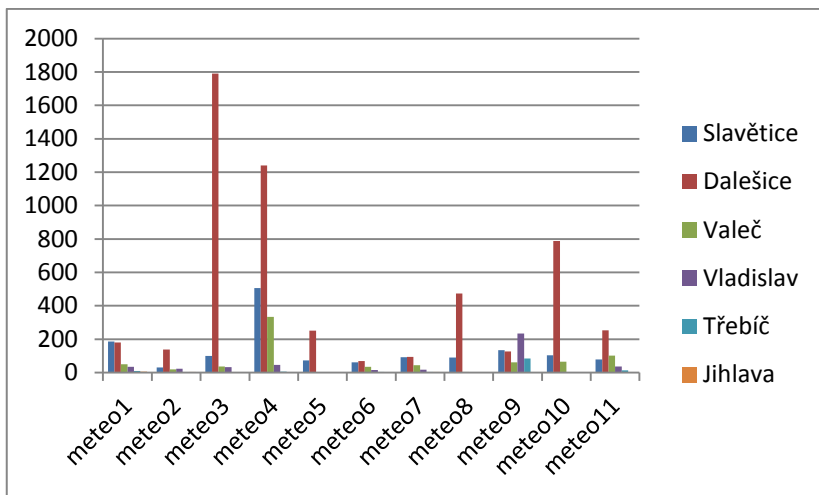
Graf 10 - Depozit jódu během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



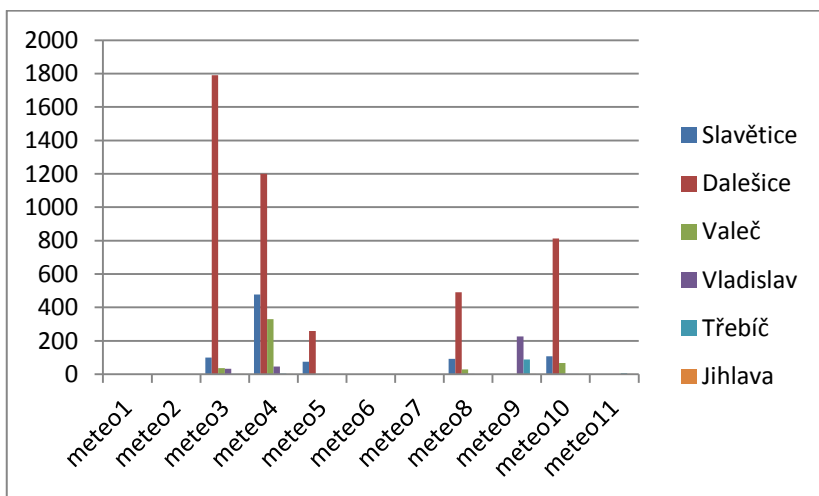
Graf 11 - Depozit jódu během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



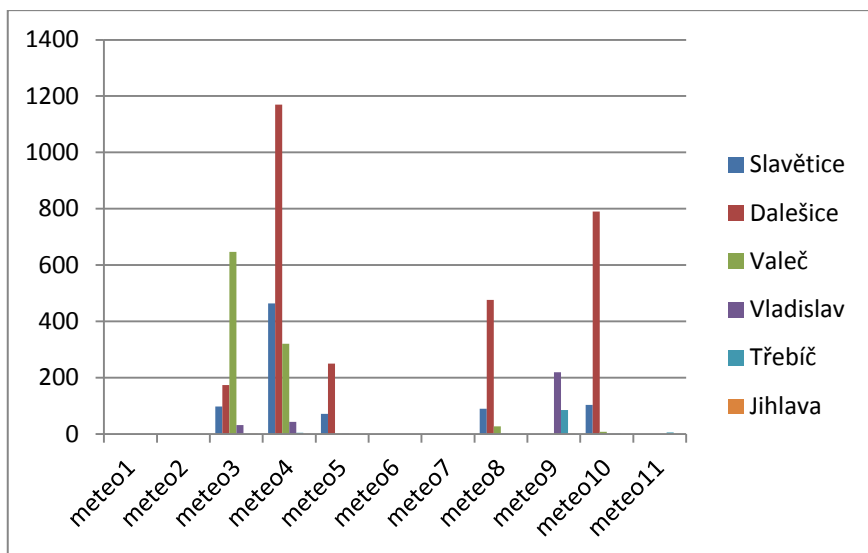
Graf 12 - Depozit jodu během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



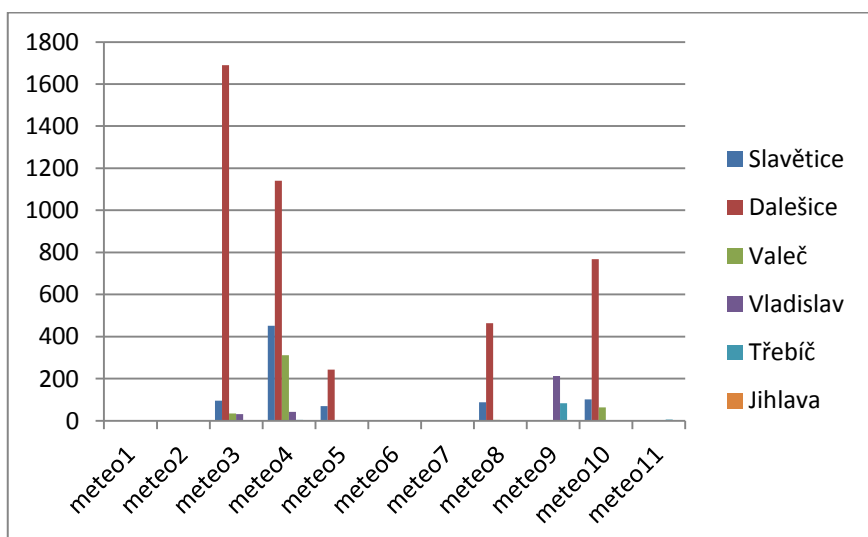
Graf 13 - Mokrý depozit jodu během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



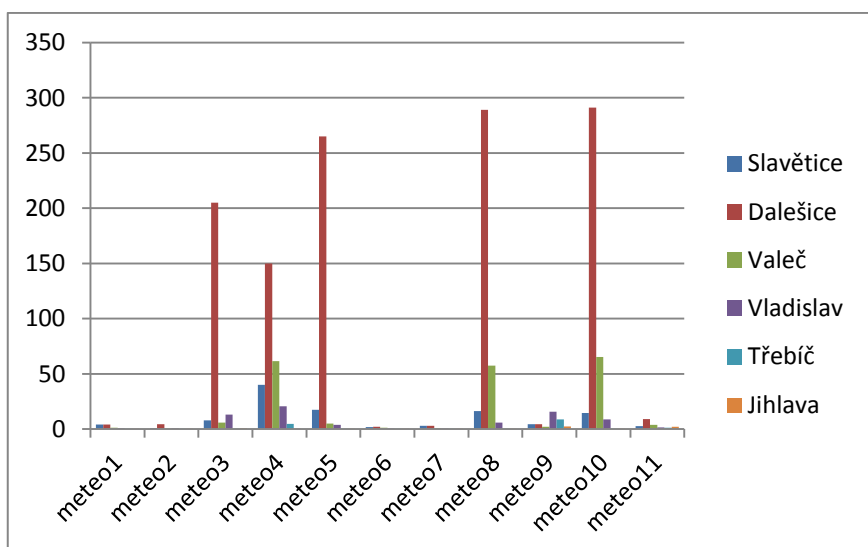
Graf 14 - Mokrý depozit jodu během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



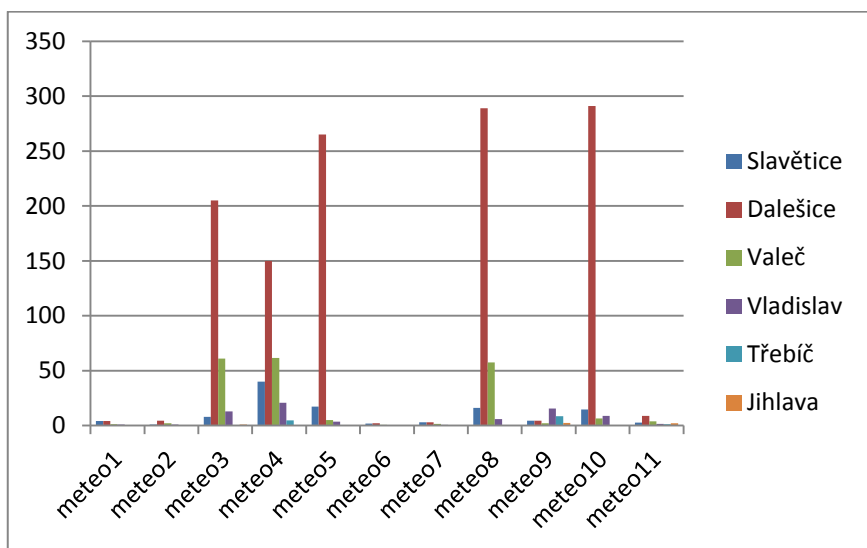
Graf 15 - Mokrý depozit jodu během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



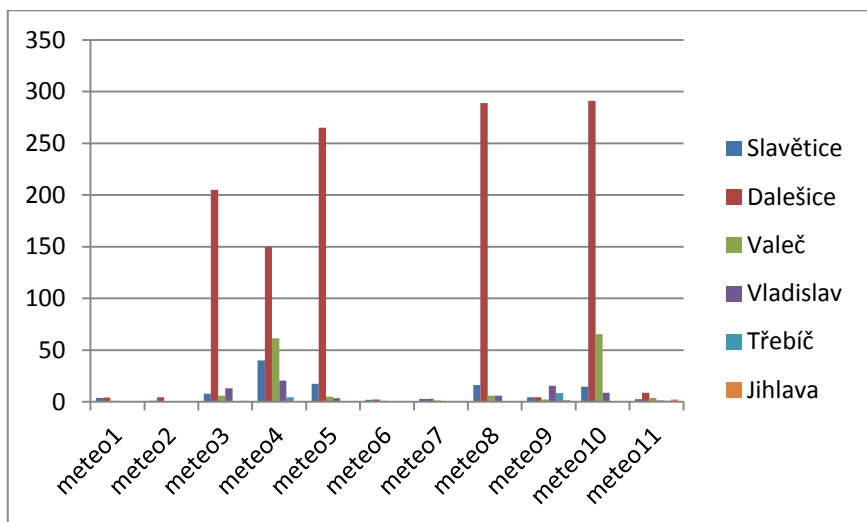
Graf 16 - Depozit cesia během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



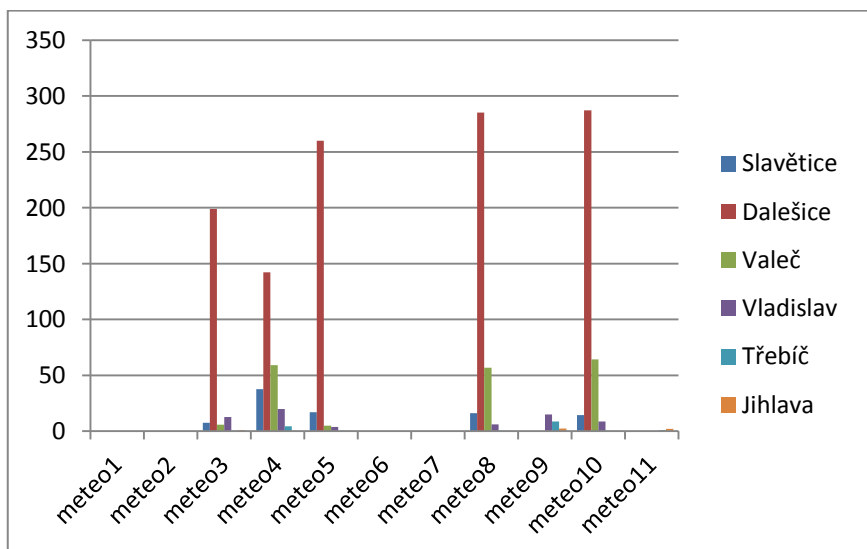
Graf 17 - Depozit cesia během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



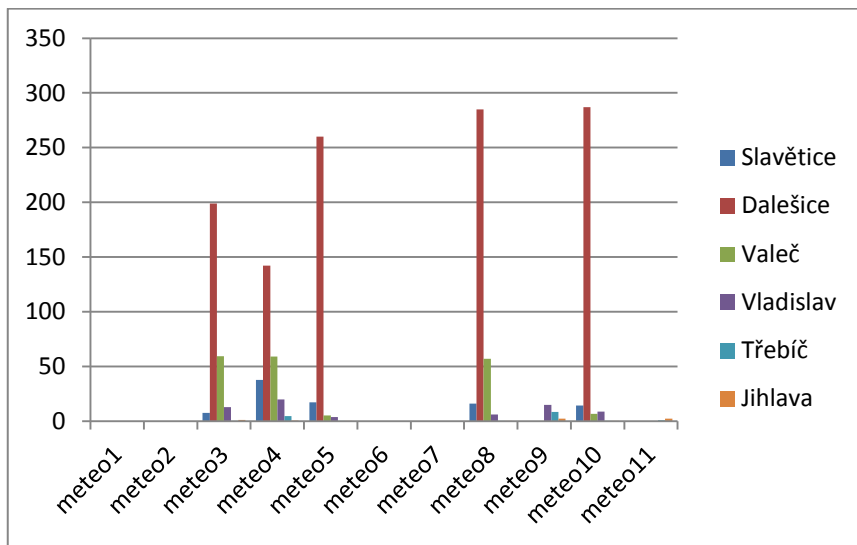
Graf 18 - Depozit cesia během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



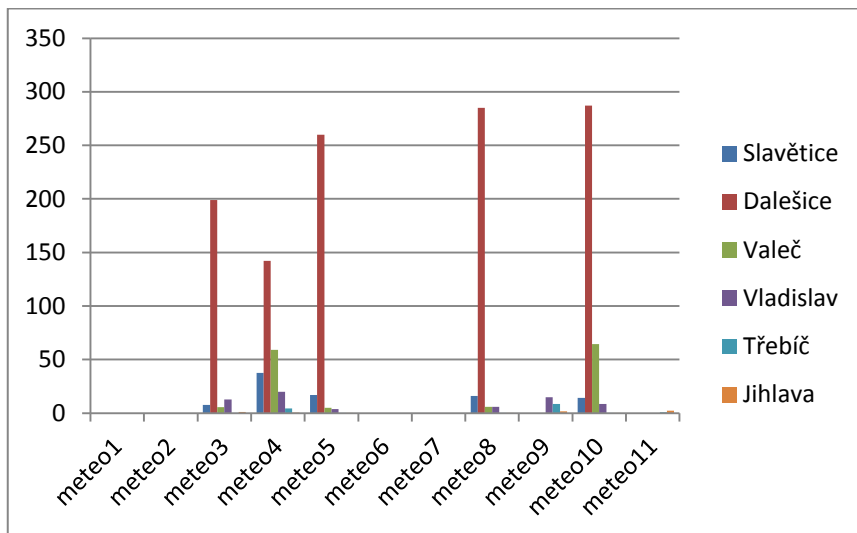
Graf 19 - Mokrý depozit cesia během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



Graf 20 - Mokrý depozit cesia během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



Graf 21 - Mokrý depozit cesia během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>]



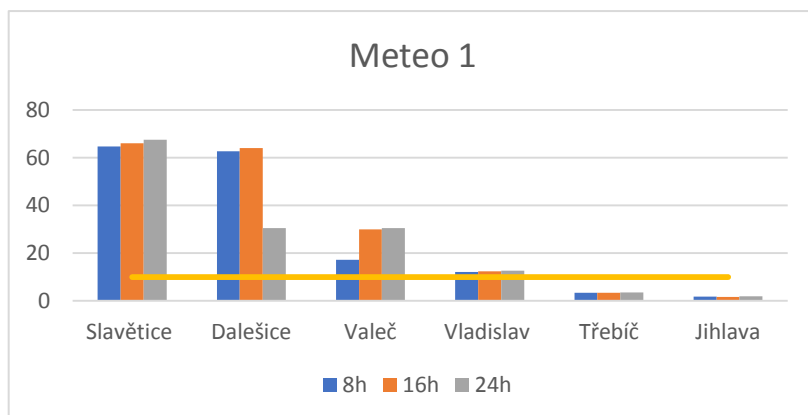
## Zhodnocení vstupních dat na dopady RMU a ochranná opatření

Zhodnotíme zde meteorologické podmínky samostatně a jejich vliv na dopady RMU a dále si zde stanovíme doporučené ochranné opatření stanovené platnými právními předpisy. Ke stanovení ochranných opatření jsou využívána hodnoty dávky a dávkového příkonu a výsledky jsou stanovená pouze do 24 hodin od vzniku události. Za pomoci grafů jsou zde znázorněná doporučená ochranná opatření v jednotlivých obcích. Na grafech je znázorněná žlutá spojnice, která definuje ochranné opatření ve smyslu ukrytí a jodové profylaxe a červená spojnice, která definuje evakuaci obyvatelstva.

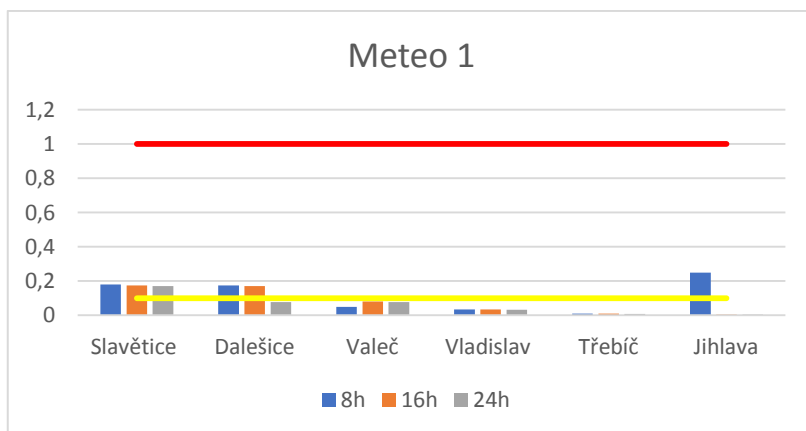
### Meteo 1

Jako Meteo 1 byl stanoven sluneční teplý den se slabým větrem a bez srážek. K stanovení ochranných opatření byly vybrány hodnoty dávky a dávkového příkonů. Pomocí prvního grafu pozorujeme, že za daných meteorologických podmínek nám dávka dosahuje nejvyšších hodnot v obcích Slavětice a Dalešice, které jsou součástí zóny havarijního plánování. Tento graf nám hezky ukazuje, jak se vzdáleností od jaderného zařízení klesá i dávka a s časem nijak zásadně neroste. Na dalším grafu zase vidíme doporučená ochranná opatření dle platné legislativy, kde tedy vidíme, že doporučené ochranné opatření jodové profylaxe a ukrytí obyvatelstva by mělo být stanovené pro obce Slavětice a Dalešice, Valeč a Vladislav. Jelikož jsou tyto obce v zóně havarijního plánování automaticky zde při RMU nastávají neodkladná ochranná opatření, ve smyslu vyzoomění, ukrytí obyvatelstva a také jodové profylaxe. V rámci hodnocení dávkového příkonu (graf 24) by ukrytí obyvatelstva a jodová profylaxe nastala jen v obcích Slavětice a Dalešice, ale vidíme, že během prvních osmi hodin by byla potřeba ukrýt obyvatelstvo i ve městě Jihlava, evakuace by nebyla potřebná nikde.

Graf 22 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 1 (v mSv)



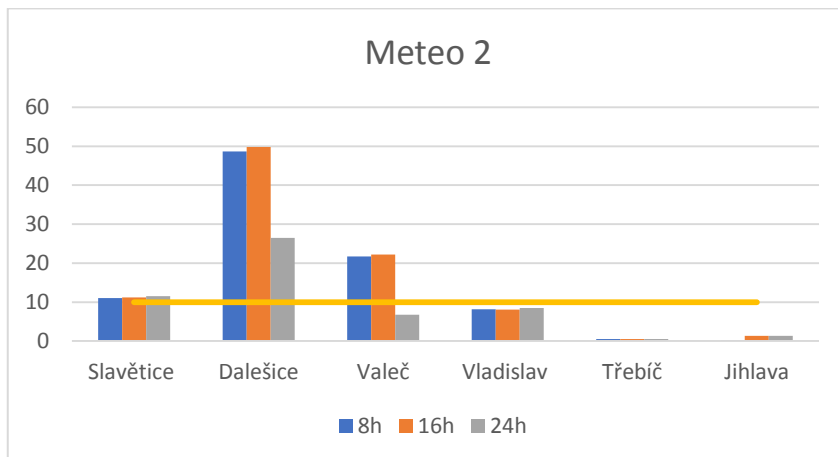
Graf 23 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 1 (mSv/h.)



## Meteo 2

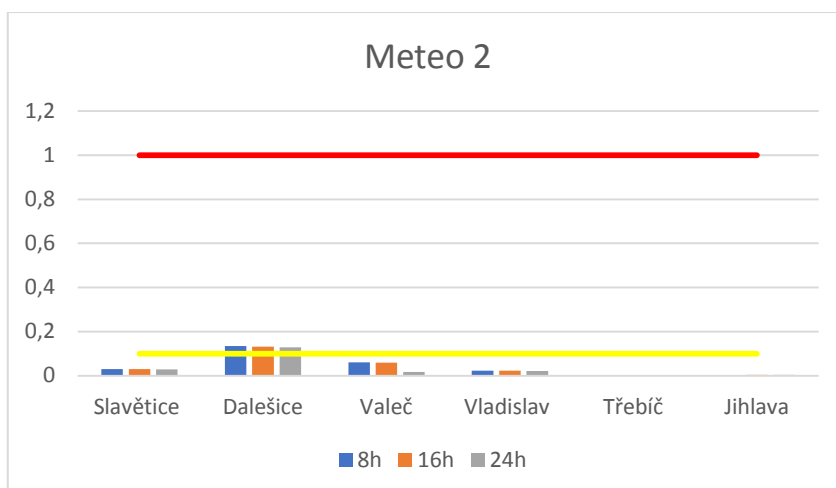
Jako Meteo 2 byly stanovené podmínky, kdy je částečně zataženo, bez srážek, ale proudí dosti čerstvý vítr rychlostí 6m/s. Podmínky Meteo 2 nám pomocí grafů ukazují vliv silného větru na hodnoty dávky. Jak je vidět z grafů, mrak od jaderného zřízení se rychle pohybuje, a proto nám nejvyšší hodnoty dosahuje až obec Dalešice, která se nachází v druhém pásmu zóny havarijního plánování. Při zhodnocení dalších grafů vidíme, že ochranná opatření znovu nedosahují k hranicím evakuace obyvatelstva. Jednalo by se tedy pouze o ukrytí obyvatelstva a jodovou profylaxi, v obcích Dalešice, Slavětice a Valeč. V tomto případě by také došlo k včasnému vyrozumění obyvatelstva a následnému ukrytí a jodové profylaxi, jelikož jsou obce v zóně havarijního plánování a při vypuknutí RMU by zde došlo k těmto opatřením automaticky.

Graf 24 - Vliv dávky na ochranná opatření u Meteo 2 (v mSv)





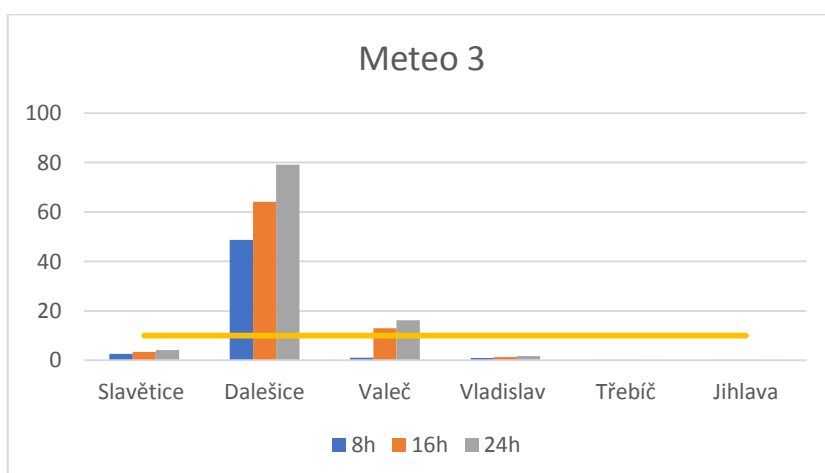
Graf 25 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 2 (mSv/h.)



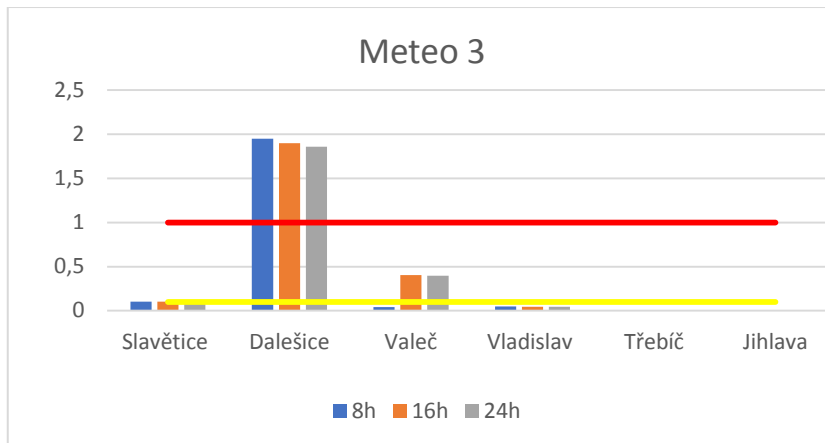
### Meteo 3

Pro Meteo 3 byl vybrán oblačný den se silným deštěm a mírným větrem. Zde pozorujeme opět nejvyšších hodnot v obci Dalešice vzdálené 6,8 km od jaderného zařízení. Můžeme zde vidět, že i mírný vítr stačí na to, aby dávka měla svou špičku až v druhém pásmu zóny havarijního plánování. Opět jsou zde automaticky zaváděna neodkladná ochranná opatření, ve smyslu ukrytí a jodové profylaxe, ale jak můžeme pozorovat na vlivu dávkového příkonu, bylo by potřeba zde evakuovat obyvatelstvo. Tedy je zde nutné zpřísnit ochranná opatření v zóně havarijního plánování. Naopak ale vidíme, že silný déšť a mírný vítr zabrání přesunu rizika do vzdálenějších oblastí. Vladislav, Třebíč a Jihlava tedy nemusí podstupovat žádná ochranná opatření.

Graf 26 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 3 (v mSv)



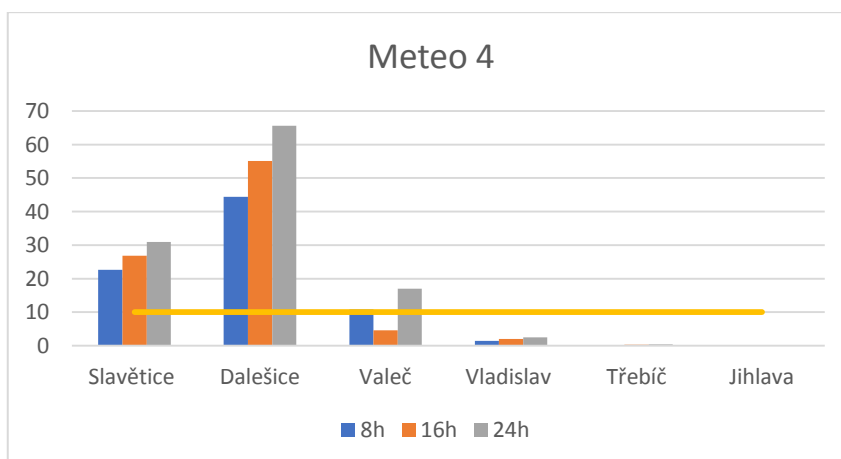
Graf 27 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 3 (mSv/h.)



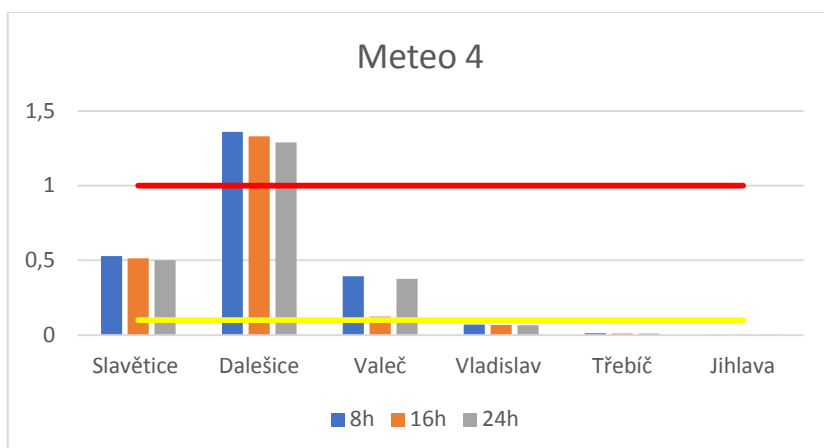
#### Meteo 4

Meteo 4 je definováno jako částečně zatažený den se slabým větrem a mírným deštěm. Pomocí grafu opět vidíme, že slabý pomalý déšť nám zvyšuje dávku v obci Slavětice a nejvyšší dávka je v obci Dalešice. Pomalý pohyb větru tedy udržuje nejvyšší dávky v obcích nejbližší jadernému zařízení. Opět zde můžeme pozorovat, jak vlivem pouze mírného deště klesá dávka se vzdáleností. Ochranná opatření stanovená pro tuhle oblast jsou tedy automatická, avšak opět zde vidíme, že v obci Dalešice by došlo k hodnotám dávkového příkonu nutného pro evakuaci, a byla by tedy doporučena.

Graf č. 28 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 4 (v mSv)



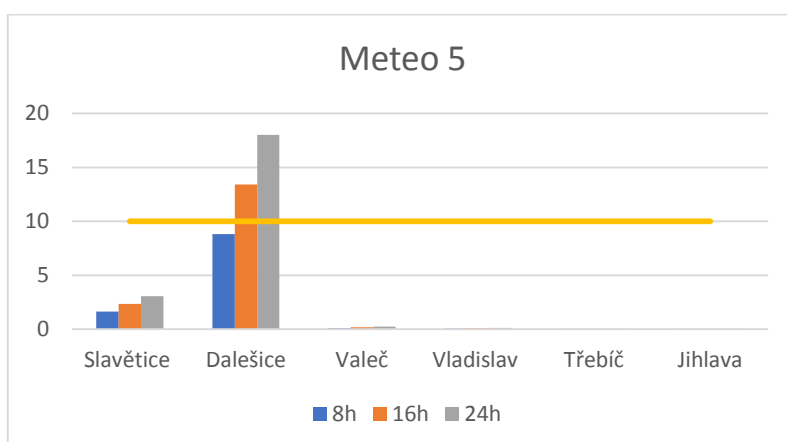
Graf 29 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 4 (mSv/h.)



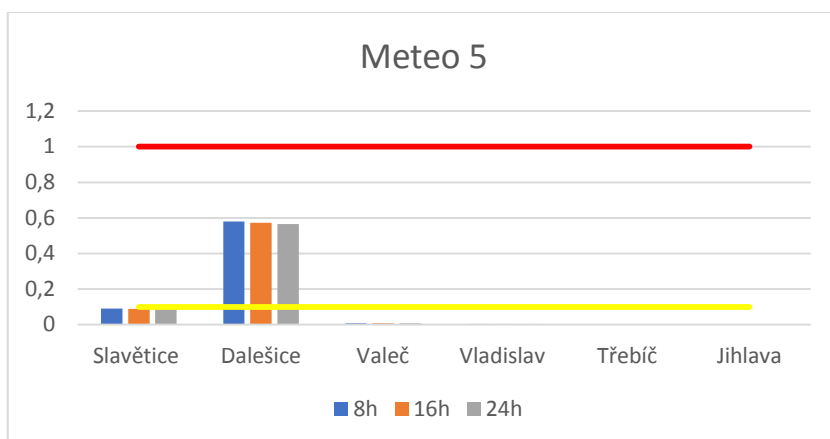
### Meteo 5

Jako Meteo 5 byl definován oblačný den se slabým větrem, ale intenzivním deštěm. V tomhle případě vidíme opět nejvyšších hodnot v obci Dalešice, ale také zde pozorujeme, že pomocí intenzivního deště dojde k vypršení na daném území a vzdálenější obce a města nejsou vystavená ani minimální dávce nebo dávkovému příkonu. Za těchto podmínek by byla ochranná opatření postačující, protože pouze v jedné obci by bylo potřeba jodové profylaxe a ukrytá obyvatelstva, jinak jsou podmínky bezpečná a nevyžadují neodkladná ochranná opatření ve smyslu zákona.

Graf č. 30 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 5 (v mSv)



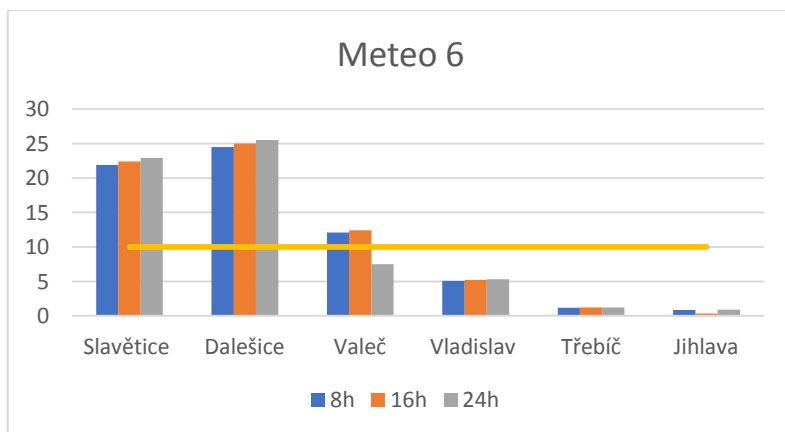
Graf 31 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 5 (mSv/h.)



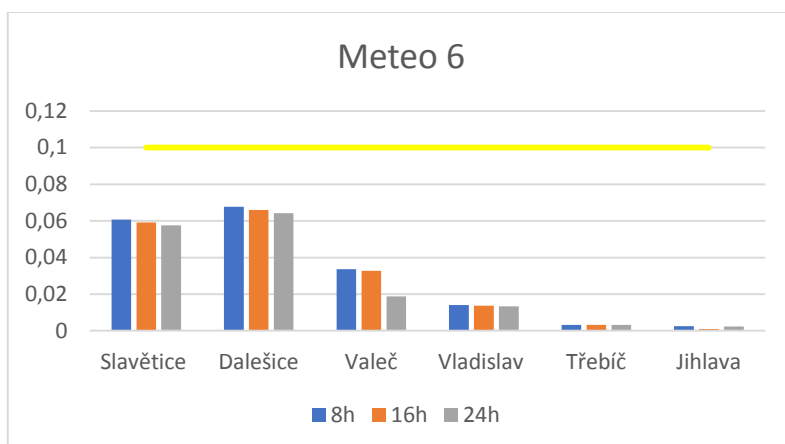
## Meteo 6

Meteo 6 je definováno jasným slunečným dnem bez srážek, ale s velice silným větrem (11m/s). Pomocí grafů můžeme pozorovat nejvyšších hodnot v prvních 8 km od místa události, tedy v obcích Slavětice a Dalešice, tedy v prvních dvou pásmech zón havarijního plánování. Nedojde zde, ale k tzv. vypršení a vyšších hodnot pozorujeme i v obci Valeč a mírnějších v obci Vladislav, které jsou také v zóně havarijního plánování. Vidíme tedy dopad silného větru, který drží hodnoty vyšší i ve vzdálenějších oblastech, ale i navzdory tomu je únik bezpečný, protože jsou zde dodržována ochranná opatření. Z pohledu vlivu dávky a dávkového příkonu pozorujeme, že jsou pro dávku doporučené ochranná opatření ve smyslu ukrytí a jodové profylaxe od místa jaderného zařízení až po obec Valeč, z dávkového příkonu jsou hodnoty nedosahující nutnost ochranných opatření v žádné z našich obcí.

Graf 32 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 6 (v mSv)



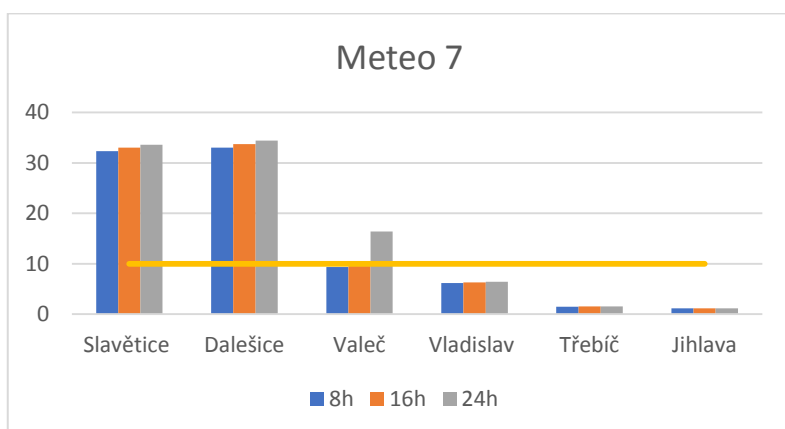
Graf 33 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 6 (mSv/h.)



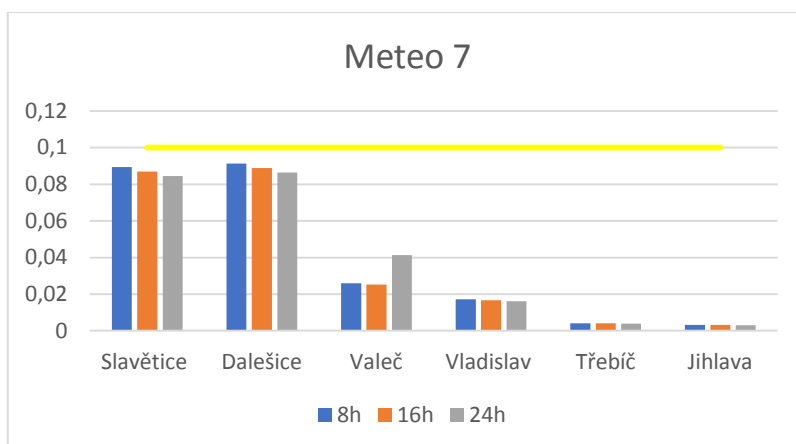
### Meteo 7

Pro Meteo 7 je stanoven jasný sluneční den, bez srážek s mírným až dosti čerstvým větrem. Nejvyšší dávky jsou změřena v prvním a druhém pásmu zóny havarijního plánování, a výrazně nižší ve třetím pásmu této zóny. Ochranná opatření jsou tedy dostačující. Protože ochranná opatření, která jsou automaticky stanovená pro vnější zónu havarijního plánování, se týkají ukrytí a jodové profylaxe je evidentní, že jsou dostačující. Na grafu s ukázkou dávkového příkonu vidíme tak nízkých hodnot, že nejsou ani doporučená ochranná opatření pro tyto podmínky.

Graf 34 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 7 (v mSv)



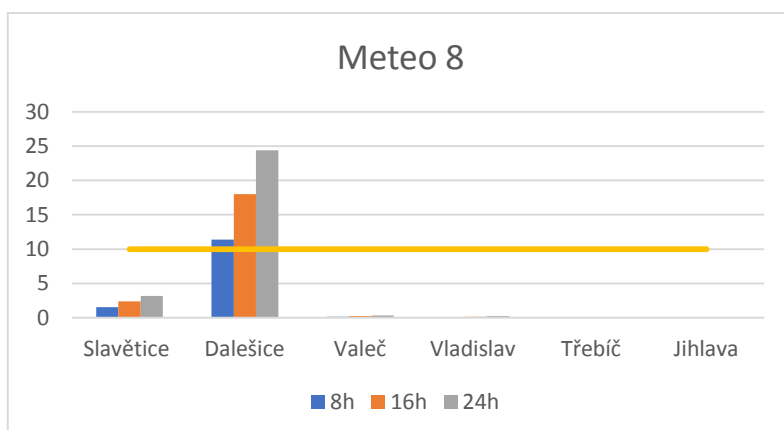
Graf 35 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 7 (mSv/h.)



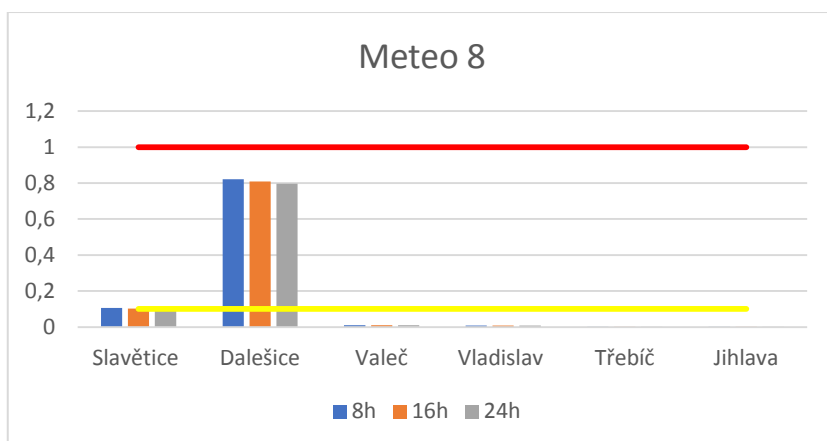
### Meteo 8

Meteo 8 je definováno oblačným dnem s mírným větrem, ale silným lijákem. I tady vidíme, jak nám silný déšť způsobí tzv. vypršení v dané oblasti, tedy v obci Dalešice, kde pozorujeme výrazně vyšších hodnot než v jiných obcích. Další vzdálenější oblasti jsou deštěm chráněná a hodnoty jsou zanedbatelné. Ochranná opatření se opět vztahují pouze na zónu havarijního plánování a jsou tedy postačující, pozorujeme zde, ale mnohem vyšší hodnoty než v předchozích meteorologických podmínkách.

Graf 36 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 8 (v mSv)



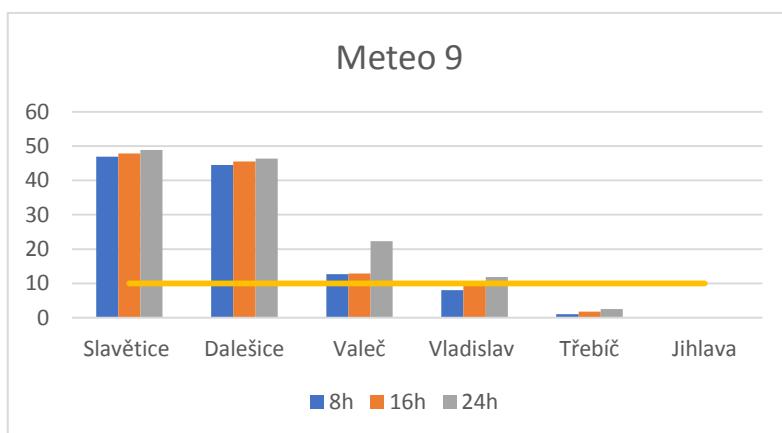
Graf 37 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 8 (mSv/h.)



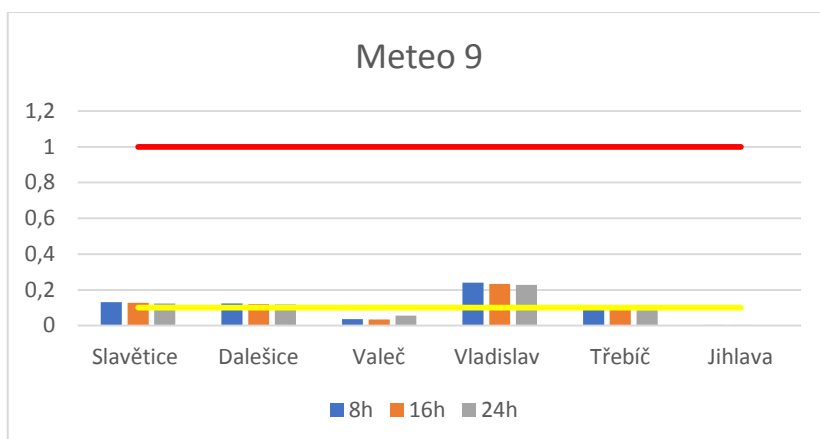
## Meteo 9

Meteo 9 je definováno jako podoblačno, kdy ráno při vzniku události nejsou žádné srážky se slabým větrem, kolem oběda přichází silný déšť s mírným větrem a odpoledne pak zase srážky ustávají. Slabý vítr přispívá k tomu, že nejvyšší hodnoty dávky jsou ve Slavěticích, poté je posouvají k Dalešicím, ale díky srážkám a mírnému větru dosahují viditelných hodnot i v obcích Valeč a Vladislav, kde však pozorujeme nejvyšší hodnoty po 24 hodinách. Ochranná opatření probíhají pořád v zóně havarijního plánování a jsou zde stanovená na ukrytí obyvatelstva a jodovou profylaxi, které jsou v těchto obcích stanovená automaticky. Bylo by vhodné zvážit i ukrytí obyvatelstva ve městě Třebíč, z důvodu hraničních hodnot.

Graf 38 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 9 (v mSv)



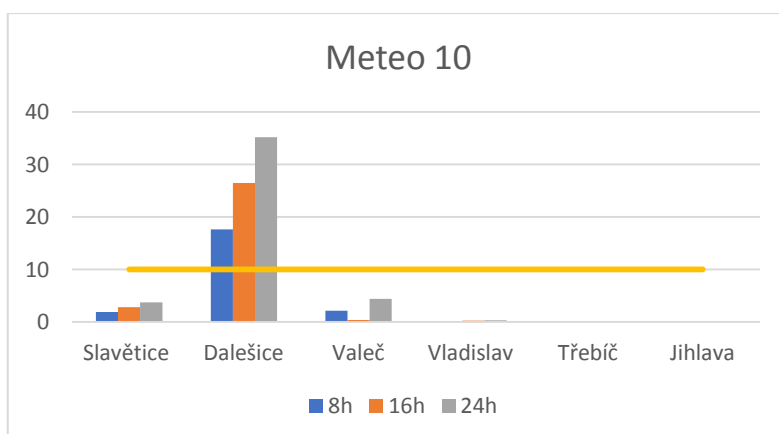
Graf 39 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 9 (mSv/h.)



### Meteo 10

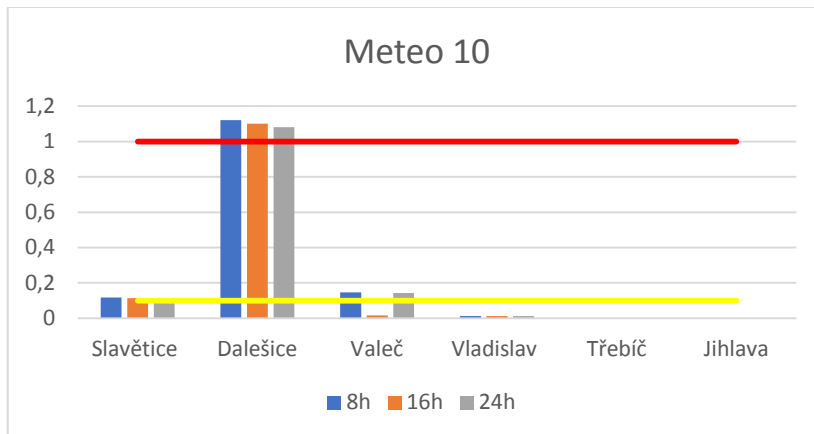
Jako Meteo 10 je definován oblačný den, kdy ráno při vzniku událostí pozorujeme intenzivní déšť s mírným větrem, odpoledne pak mírný déšť se slabým větrem a kolem 14:00 hod srážky ustávají. Opět zde pozorujeme, že vzdálenější oblasti se díky vlivu deště vyhnuli dávkám expozice. Ochranná opatření jsou postačující, kromě obce Dalešice, pro kterou by měli být ochranná opatření navýšená na evakuaci obyvatelstva. Pro obce Vladislav, Třebíč a Jihlava nejsou potřebná žádná ochranná opatření.

Graf č. 40 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 10 (v mSv)





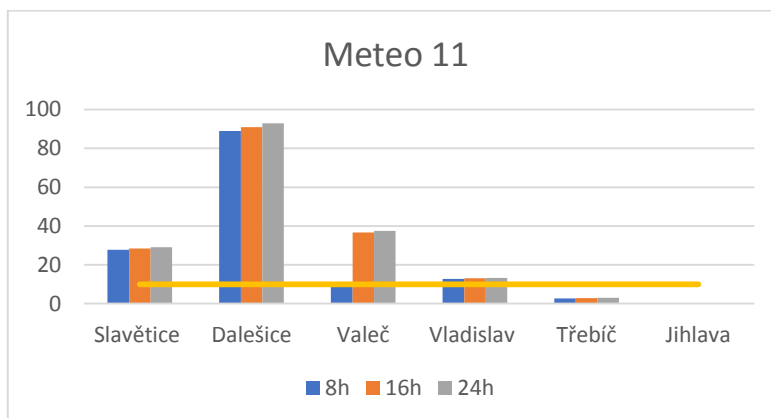
Graf 41 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 10 (mSv/h.)



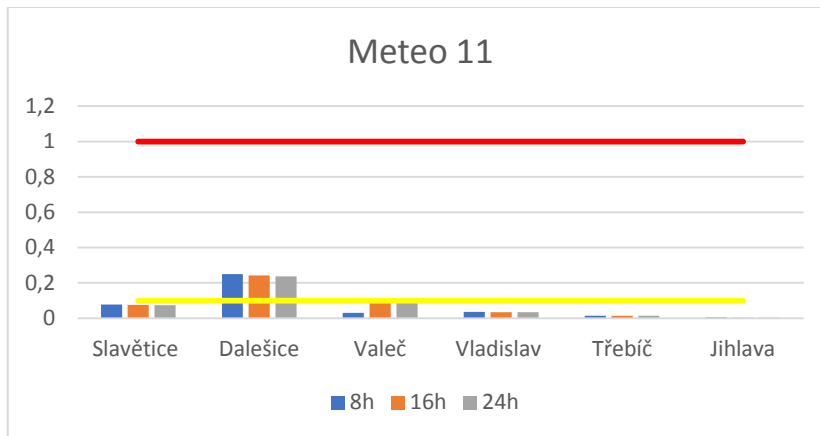
### Meteo 11

Pro Meteo 11 byl stanoven oblačný den bez srážek se slabým deštěm, kdy po 16:00 hodině přichází liják. Na grafech tedy vidíme vypršení, ale z důvodu, že déšť přichází později od začátku úniku, jsou viditelné hodnoty i ve vzdálenějších obcích. Tyhle obce jsou, ale pořád v zóně havarijního plánování, tedy jsou zde zaváděna ochranná opatření automaticky při vzniku RMU. Tyto ochranná opatření jsou opět postačující pro danou oblast.

Graf 42 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 11 (v mSv)



Graf 43 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 11 (mSv/h.)



Analýza prokázala, že zabezpečení okolí jaderného zařízení a ochranná opatření, pro tuto oblast stanovená, jsou dostačující.

Na základě analýzy výsledku diplomové práce je možné zhodnotit, že zabezpečení JE Dukovany je dostatečné a ochranná opatření stanovená havarijním plánem jsou postačující. Návrh na zlepšení by tedy byl definován jenom jako udržování a zachovávání současného trendu zabezpečení a dodržování stanovených norem.

## Diskuze

Radiační ozáření je jednou z největších hrozeb dnešní doby, z důvodu neviditelného záření a tím pro obyvatelstvo nerozpoznatelné hrozby, která působí na veškeré živé organizmy zhoubně. Ke strachu samozřejmě přispívají nedávné historické zneužití jaderného štěpení při používání jaderných zbraní a nedávné havárie jaderných elektráren, které měly za následek úmrtí tisícovky lidí. Tyto události zanechaly v paměti lidstva strach a zároveň odpor vůči jaderným zbraním, ale také vůči jaderné energetice.

Dnes jsme, ale plně závislí na energii vyráběnou jadernými elektrárnami a málokdo z nás by dokázal omezit využívání energetiky pod svou komfortní zónu. Jaderná energetika i díky tomu dělá pořád velké pokroky, aby co nejvíce zmírnila dopad na životní prostředí a obyvatelstvo. Je také důležité si uvědomit, že jaderná energetika má své významné místo i v nezávislosti a samostatnosti pokrokových zemí na energetice. Důležitým však pořád zůstává bezpečnost obyvatelstva, majetku a životního prostředí.

Během posledních let byla přijata různá opatření a postupy, které dbají jak na správný a bezpečný chod jaderného zařízení, tak i na ochranu obsluhujícího personálu, obyvatelstva a životního prostředí. Kromě ochranných opatření udělala velký pokrok i technika jaderných zařízení. S pokrokem ve vývoji, fungují JE s vyšší výkonností, ale také je pořád snižována produkce radioaktivního odpadu a tím se stávají JE ekologičtější a bezpečnější. V dnešní době je téměř nemožné, aby došlo k jadernému výbuchu, ale pořád je zde malé riziko, že dojde k havárii, u které nastane nekontrolovaný únik radioaktivních látek do ovzduší a okolí jaderného zařízení.

Radiační havárie, které jsou sice nepravděpodobné, však můžou kromě technické závady způsobit i pracovníci zařízení, eventuálně teroristé, a proto je nutno počítat i s tímto nebezpečím. Riziko úniku radioaktivních látek je dnes velice přísně kontrolováno a za pomoci preventivních a ochranných opatření je také maximálně eliminováno. Radiační mrak obsahující tyto radioaktivní látky, který je považován za velké riziko nezná hranic a i z tohoto důvodu jsou odborníci a politici začali plně uvědomovat, že bezpečný provoz JE a snížení pravděpodobnosti RMU vyžaduje mezinárodní spolupráci, zejména v havarijní připravenosti. Důležitým pro tuto spolupráci bylo přijetí Úmluvy o včasném oznamování jaderné havárie a Úmluvy o vzájemné pomoci v případě RMU, dále byla přijata Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES). Stupnice INES má velký význam pro

zjednodušení komunikace mezi odborníky v oblasti jaderné bezpečnosti, ale také mezi sdělovacími prostředky a veřejností.

Ve světě je nyní v provozu 448 jaderných reaktorů a dalších 59 ve výstavbě. Dnes je velmi málo pravděpodobné, že nastane na jaderných reaktorech havárie neboli RMU, která by měla za následek únik radioaktivních látek, to však nelze úplně vyloučit. Proto také je jaderné bezpečnosti věnováno hodně pozornosti. Radiační události, které ovlivnily vývoj havarijního plánování v oblasti jaderné bezpečnosti, vedly k řadě doporučení na zdokonalení řídicích systémů, kontrolních a technologických systémů. Jako další byl kladen důraz na výcvik a školení personálu zodpovědného za provoz a obsluhu JE. Koordinací těchto doporučení se na mezinárodní úrovni zabývá Mezinárodní agentura pro jadernou energii (IAEA), Evropská unie (EU) a Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD). (DIENSTBIER, 2010)

Rokem 2000 byla v ČR přijatá legislativa o krizovém řízení, havarijním plánování a havarijní připravenosti a na ně navazující právní předpisy. Díky této legislativě byly stanoveny principy vyhlášení krizových stavů, úkoly orgánů státní správy a samosprávy, provozovatelů a odpovědných resortů. Dále byla vytvořena základní struktura havarijní připravenosti v rámci prevence před mimořádnými událostmi a krizovými situacemi. Důležitou součástí v rámci celostátního systému řízení v případě RMU je SÚJB, který je přímo podřízen vládě ČR. SÚJB jako orgán vlády na základě platné legislativy vyhodnocuje údaje a technická informace o stavu jaderného zařízení, vývoji situace a monitoruje radiační situaci na celém území ČR. K plnění těchto úkolů je vybaven vyhodnocující technikou, jako je SW nástroj HAVAR, ESTE, RODOS, které jsou schopné na základě vstupních dat připravit prognózu o vývoji RMU a jejich dopadech.

I když práce neslouží k propagaci jaderné energie, je potřeba uznat, že v nejbližší době není v ČR jiná možnost jak zabezpečit energetickou nezávislost a rozvoj společnosti, nežli se smířit s výrobou energie pomocí jaderných elektráren. Je potřeba si uvědomovat, že jaderná energetika je součástí dané doby a napomáhá k technickým pokrokům. Potřebné je však uvědomovat si rizika s jadernou energetikou spojená a přijmout je. Podstatou ale je umět riziko rozeznat, zhodnotit a připravit se na jeho následky. Právě k tomu nám slouží veškeré výše uvedená opatření a doporučení. Je jasné, že k nejdůležitějším krokům v případě RMU patří funkční systém vyrozumění,

varování a monitorování, který obyvatelstvo a orgány odpovědné v této činnosti varuje včasně a pomáhá k adekvátní a rychlé reakci.

Z pohledu autorky je jaderná bezpečnost zvládána díky bezpečnostním a ochranným opatřením velmi precizně jak v ČR, tak celosvětově. Jaderná energetika je pro naši populaci velmi důležitá a je nutné, abychom si toho byly vědomí. Na druhé straně je však potřeba zdůraznit, že se jedná o dosti specifickou hrozbu, jejíž řešení je náročné z organizačního, personálního, ekonomického i technického hlediska.

Výsledky diplomové práce přinesli přehled dopadů RMU na okolí JE Dukovany. Tyto výsledky byly analyzovány pomocí tabulek a grafů. Dle názoru autorky, práce přinesla očekávaná výsledky, s kterými by se dalo dále pracovat v rámci havarijního plánování. Analýza vycházela ze zadaných vstupních hodnot, které však tvořili jen malé procento možných podmínek. Vstupní data byly zpracovaná pouze v jednom směru větru a v tomhle směru se vyskytovaly různé meteorologické podmínky. Práce by mohla být rozšířená o různou kombinací daných meteorologických podmínek a samozřejmě by byla vypočtená pro všechny možné směry větru. Podmínek možných pro tyto výpočty je však příliš mnoho a bylo by nutné se soustředit na nejpravděpodobnější meteorologické situace. Pracovalo by se s velkým objemem informací, které by museli být analyzována do přehledných tabulek, díky kterým by se dalo orientovat ve výpočtech, díky kterým jsou stanovována ochranná opatření.

### **Přínos diplomové práce**

Smyslem diplomové práce bylo vytvoření knihy výsledků z modelování a prognóz dopadů RMU na okolí jaderného zařízení v ČR. Pro diplomovou práci bylo vybráno jaderné zařízení JE Dukovany. Kniha by měla formou katalogu přinést ucelený a přehledný pohled na dopady RMU. Za pomoci SW nástroje byly vytvořené modelové prognózy, které pomocí nejpravděpodobnějších vstupních dat ovlivňují dopady RMU. Kniha by teda na základě nejpravděpodobnějších meteorologických situací mohla mít veliký přínos pro havarijní připravenost. Kniha by měla efektivně využít v případě, že nebude možné použít SW nástroje, tedy při výpadků energie nebo poruše systému.

Pro ČR by byly vyhotovené 2 knihy, pro JE Dukovany a JE Temelín. Tyto knihy by měli v úschově SÚJB, SÚRO, provozovatele JE a samosprávné orgány. V situaci kdyby nastala RMU a nebylo by možné použít SW nástroje, mohli by tyto orgány stanovovat

ochranná opatření v okolí jaderného zařízení. Ochranná opatření budou stanovována a definována touto knihou ve smyslu zákona o neodkladných ochranných opatřeních. Dle názoru autorky této diplomové práce by se mohlo jednat o užitečný dokument pro havarijní připravenost v oblasti ochrany obyvatelstva během RMU. Je však velice náročné tyto knihy vytvořit, z důvodu velkého počtu a velké variability vstupních dat. Proto by se pro tuto knihu zpracovávali jenom nejpravděpodobnější možnosti na základě průměrného počasí v daných oblastech během posledních let. I přesto by kniha musela zpracovávat velký objem dat, a pro zachování přehlednosti by byla používána výsečové grafy, které jsou použita i v této práci a napomáhají přehlednosti výsledků.

## Závěr

Jaderná bezpečnost si během posledních let prošla velkým vývojem a i díky zneužívání jaderných bomb a haváriím na jaderných zařízeních byla snaha o zlepšení tohoto zabezpečení v celosvětovém měřítku. Během posledních let vznikají nové obory, které mají za úkol zabezpečit ochranu obyvatelstva. Velkou roli v tom sehrála i jaderná energetika a dnes má své významné zastoupení v krizovém řízení a prevenci před událostmi ohrožujícími obyvatelstvo.

Diplomová práce si kladla za cíl zodpovědět předem stanovenou otázku, která zněla: *Lze na základě citlivostní analýzy modelování a prognóz RMU vytvořit analogový katalog výsledků pro dopady na okolí jaderného zařízení? S otázkou byly úzce spojené podotázky týkající se havarijního plánování, jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a ochrany obyvatelstva jako také. Vytvoření takové knihy je samozřejmě možné, avšak pro její vytvoření je nutno zpracovat veliký objem dat, který by trval moc dlouho. Vstupní data jsou velice rozmanitá, a proto by bylo vhodné pro vytvoření takové knihy vybrat pouze nejpravděpodobnější možné data. V rámci meteorologických podmínek je velký počet proměnných, které by mohli takovou knihu znehlednit.*

Úvod teoretické části diplomové práce byl věnován ionizujícímu záření, jeho vlastnostem a biologickým účinkům, které byly stručně popsány pomocí odborné literatury. Teoretická část se věnovala i havarijní připravenosti. Dále byl definován pojem jaderného zařízení a jaderné bezpečnosti podle aktuálně platných právních předpisů a také pojem radiační mimořádné události. Popsané byly typy RMU, jejich stupně a následky, které vyžadují ochranná opatření z nich vyplývající. Ochranná opatření byla také přesně definována na základě legislativy ČR. Závěr teoretické části je věnován postupům při zásahu u RMU.

V praktické části byla provedená analýza dopadů RMU, které byly ovlivněné různými vstupními meteorologickými podmínkami. Tyto vstupní data byla zadávána do SW nástroje ESTE EU, díky kterému byly vypočtené hodnoty dopadů. Pomocí tabulek a grafů byl zhodnocen vliv daných meteorologických podmínek na následky dopadů v okolí JE Dukovany. Podle dopadů se pak stanovili příhodná ochranná opatření k zabezpečení ochrany personálu, obyvatelstva a životního prostředí. V praktické části bylo pracováno s velkým objemem dat, co se proměnlivosti týče. Autorka jako vstupní data zadala 11 typů meteorologických podmínek, které ale mají širokou variabilitu a

proto se pracovalo s podmínkami jen do doby 24 hodin od začátku události.

Diskuze diplomové práce ještě shrnuje problematiku jaderné bezpečnosti a havarijního plánování v této oblasti, ale je též doplněná o komentáře autorky na danou problematiku a je v ni zhodnocen pozitivní přínos práce pro praxi.



## Seznam použité literatury

1. BARAN, Václav, 2002. Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace. Vyd. 1. Praha: Academia. ISBN 80-200-1048-3
2. BENEŠ, Pavel, 2002. *Ochrana člověka za mimořádných událostí: havárie s únikem nebezpečných látek: radiační havárie: pro chemii a fyziku na ZŠ*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-818-5.
3. DIENSTBIER, Zdeněk, 2010. *Hirošima a zrod atomového věku: cesta od atomových zbraní k nukleární medicíně a jaderným elektrárnám*. Praha: Mladá fronta. Kolumbus. ISBN 978-80-204-2224-8.
4. ENERGY: Nuclear safety, 2014. European commission [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/nuclear-energy/nuclear-safety>
5. Evropská Unie. Nařízení Komise (Euratom) č. 302/2005: o uplatňování dozoru nad bezpečností v rámci Euratomu. In: 2005.
6. HAVLÍČEK, Vladimír, 1986. *Agrometeorologie: celostátní vysokoškolská učebnice pro vysoké školy zemědělské*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství).
7. HALAŠKA, Jiří a Rebeka RALBOVSKÁ, ed, 2019. Ochrana obyvatelstva v případě krizových situací a mimořádných událostí nevojenského charakteru VII. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-06651-5.
8. HOLÁ, Oľga a Karol HOLÝ, 2010. *Radiačná ochrana: ionizujúce žiarenie, jeho účinky a ochrana pred ionizujúcim žiarením*. Bratislava: Nakladateľstvo STU. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3240-6.
9. Chambers, Scott & Williams, Alastair & Crawford, Jagoda & Griffiths, Alan. (2015). *On the use of radon for quantifying the effects of atmospheric stability on urban emissions*. Atmospheric Chemistry and Physics. 15. /acp-15-1175-2015.
10. ICRP, 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37

11. International Atomic Energy Agency. 2017. *The Database on Nuclear Power Reactors*. [online] [cit-2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/pris>
12. *International Commission on Radiological Protection*. Governance. Web International Commission on Radiological Protection. [Online] [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.icrp.org/page.asp?id=3>.
13. KLENER, Vladislav. 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. ISBN 80-238-3703-6.
14. KROUPA, Miroslav a Milan ŘÍHA, 2010. *Průmyslové havárie*. 2. vyd. Praha: Armex. Skripta pro střední a vyšší odborné školy. ISBN 978-80-8679-587-4.
15. KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0168-9.
16. MATAL, Oldřich a Hugo ŠEN, 2011. *Jaderná zařízení a jejich bezpečnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-214-4349-5.
17. MIKA, Otakar J a Lubomír POLÍVKA. 2010. *Radiační a chemické havárie*. Vyd. 1. Praha: Policejní akademie České republiky v Praze. ISBN 978-80-7251-321-5.
18. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky. 2013b. *Vyhodnocení cvičení „ZÓNA 2013“*. Praha. [online]. [cit-2017-04-08]. Dostupné z: [www.hzscr.cz/soubor/vcnp-iii-mat-vyhodnoceni-zona2013-doc.aspx](http://www.hzscr.cz/soubor/vcnp-iii-mat-vyhodnoceni-zona2013-doc.aspx)
19. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2015. *Evakuace obyvatelstva* [online]. [cit. 2020-07.10]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/evakuace-obyvatelstva.aspx>
20. Ministerstvo vnitra – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2013. *Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2020 s výhledem do roku 2030*. Praha. [online]. [cit. 2020-07.10]. Dostupné z: [https://www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/Koncepce-ochrany-obyvatelstva-2020-2030\\_1\\_.pdf](https://www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/Koncepce-ochrany-obyvatelstva-2020-2030_1_.pdf)

21. Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2017. Bojový řád jednotek požární ochrany. [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/bojovy-rad-jednotek-pozarni-ochrany-v-dokumentech-491249.aspx>
22. Ministerstvo vnitra – Odbor bezpečnostní politiky a prevence kriminality. 2016b. Terminologický slovník pojmů z oblasti krizového řízení, ochrany obyvatelstva, environmentální bezpečnosti a plánování obrany státu. [online]. [cit-2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/terminologicky-slovník-krizove-rizeni-a-planovani-obranystatu.aspx>
23. MIŠÍK, Matúš, 2013. Energetická politika v rozšírenej Európskej únii: roly a preferencie Českej republiky, Poľska a Slovenska. Praha: Ústav mezinárodních vzťahů. ISBN 978-80-87558-13-3.
24. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, 2019. Medicínská biofyzika. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0209-9
25. OTRÍŠAL, Pavel a Radim ZAHRADNÍČEK, 2018. Vyhodnocování radiační, chemické a biologické situace: studijní text. Brno: Univerzita obrany v Brně. ISBN 978-80-7582-039-6.
26. PITTERMANN, Pavel, 2001. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Patnáct let od havárie Černobylu: důsledky a poučení [online]. [cit. 2020-08-04]. Praha. 2001 Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/15let\\_od\\_havarie\\_Cernobyl\\_u.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/15let_od_havarie_Cernobyl_u.pdf)
27. PODZIMEK, František, 2013. *Radiologická fyzika*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05319-5.
28. PROUZA, Zdeněk a Jiří ŠVEC, 2008. *Zásahy při radiační mimořádné události*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-046-3.
29. SVOBODA, Emanuel, 2005. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus. ISBN 978-80-7196-307-3.

30. SPILKA, Petr a Jan SUCHARDA, 2010. *Jaderná elektrárna Dukovany včera, dnes a zítra*. Praha: Česká unigrafie, a.s. [online] [cit-2020-06-08] Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/brozura\\_edu.pdf](https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/brozura_edu.pdf)
31. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2008. *INES, Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí, Uživatelská příručka*, Praha [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/ines/stupnice-ines/>
32. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2020. *Jaderná zařízení v ČR* [online]. [cit. 2020-08-01] Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/jaderna-zarizeni-v-cr/>
33. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. *Ochranná opatření při radiační mimořádné události*. [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/ochranna-opatreni-pri-radiacni-mimoradne-udalosti/>
34. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018. *Typový plán Radiační havárie* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/typovy-plan-radiacni-havarie/>
35. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018. *Národní program monitorování* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace/>
36. Státní ústav radiační ochrany, 2017. *Tisková zpráva Státního ústavu radiační ochrany* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z : [http://www.suro.cz/pub/Tiskova\\_zprava\\_2017.docx](http://www.suro.cz/pub/Tiskova_zprava_2017.docx)
37. ŠAJTER Vít a kolektiv, 2006. *Biofyzika, biochemia a rádiologie*. Martin: Osveta. ISBN 80-8063-210-3
38. ŠTĚTINA, Jiří, 2014. *Zdravotnictví a integrovaný záchranný systém při hromadných neštěstích a katastrofách*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4578-7.
39. ULLMANN, Vojtěch, 2009. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská

univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií. ISBN 978-80-7368-669-7.

40. UNEP, 2016. *Ionizující záření: účinky a zdroje*. [online]. [cit. 2020-04-10]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z:  
[http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacniochrana/dokumenty/Radiation\\_Czech\\_27\\_Dec\\_2016\\_Web.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacniochrana/dokumenty/Radiation_Czech_27_Dec_2016_Web.pdf)
41. URBANČÍK, Libor 2015. *Jaderná a radiační bezpečnost provozu českých jaderných elektráren*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-214-5238-1.
42. Vnější havarijní plán Jaderné elektrárny Dukovany, 2012.
43. Vyhláška č. 422/2016 Sb.: o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, In: *Sbírka zákonů České republiky*, ročník 2016
44. Vyhláška č. 359/2016 Sb.: o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události, In: *Sbírka zákonů České republiky*, ročník 2016
45. Vyhláška č. 328/2001 Sb.: o podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému. In: *Sbírka zákonů České republiky*, ročník 2001
46. Vyhláška č. 226/ 2015 Sb.: Vyhláška o zásadách pro vymezení zóny havarijního plánování a postupu při jejím vymezení a o náležitostech obsahu vnějšího havarijního plánu a jeho struktury, In: *Sbírka zákonů České republiky*, ročník 2015
47. World Nuclear Association. *Nuclear Power in Czech Republic*. [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-A/Czech-Republic/>
48. Zákon č. 263/2016 Sb., Zákon atomový zákon. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 102/2016 Sb. ISSN 3938-4060
49. Zákon č. 239/2000 Sb.: Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 73. ISSN 1211-1244.
50. Zákon č. 320/2015 Sb.: Zákon o Hasičském záchranném sboru České republiky

a o změně některých zákonů (zákon o hasičském záchranném sboru), 2015. In:  
*Sbírka zákonů České republiky*, částka 135. ISSN 1211-1244.

## **Seznam příloh**

Příloha 1 - Návrh knihy výsledků

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Stupnice INES, (MATALA, 2011, str. 126)

Tabulka 2 - Stupnice INES, kritéria, (MATALA, 2011, str. 125)

Tabulka 3 - Příkon dávky všemi cesty za 8 hodin (mSv/h), (vlastní výzkum)

Tabulka 4 - Příkon dávky všemi cesty za 16 hodin (mSv/h), (vlastní výzkum)

Tabulka 5 - Příkon dávky všemi cesty za 24 hodin (mSv/h), (vlastní výzkum)

Tabulka 6 - Dávka za 8 hodin (mSv), (vlastní výzkum)

Tabulka 7 - Dávka za 16 hodin (mSv), (vlastní výzkum)

Tabulka 8 - Dávka za 24 hodin (mSv), (vlastní výzkum)

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 – Zóna havarijního plánování JE Dukovany, (VHP JE Dukovany)

Obrázek 2 - roční chod srážek, (VHP JE Dukovany)

Obrázek 3 - roční rychlosti větru, (VHP JE Dukovany)

Obrázek 4 – Beaufortova stupnice, (<https://www.garni-meteo.cz/meteorologie>)

Obrázek 5 - Klasifikace srážek podle intenzity, (Havlíček a kolektiv 1986)

Obrázek 6 - Pasquillův-Giffordův model stability počasí, (Chambers, 2015)

Obrázek 7 - Dávkový příkon Slavětice, (vlastní výzkum)

Obrázek 8 - Dávkový příkon Dalešice, (vlastní výzkum)

Obrázek 9 - Dávkový příkon Valeč, (vlastní výzkum)

Obrázek 10 - Dávkový příkon Vladislav, (vlastní výzkum)

Obrázek 11 - Dávkový příkon Třebíč, (vlastní výzkum)

Obrázek 12 - Dávkový příkon Jihlava, (vlastní výzkum)

Obrázek 13 - Dávka Slavětice, (vlastní výzkum)

Obrázek 14 - Dávka Dalešice, (vlastní výzkum)

Obrázek 15 - Dávka Valeč, (vlastní výzkum)

Obrázek 16 - Dávka Vladislav, (vlastní výzkum)

Obrázek 17 - Dávka Třebíč, (vlastní výzkum)

Obrázek 18 - Dávka Jihlava, (vlastní výzkum)

## **Seznam grafů**

Graf 1 - Celková efektivní dávka po 8 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 2 - Celková efektivní dávka po 16 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 3 - Celková efektivní dávka po 24 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 4 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 8 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 5 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 16 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 6 - Úvazek inhalací od začátku úniku za 24 hod. (E-2) [Sv], (vlastní výzkum)

Graf 7 - Příkon dávky všemi cesty za 8hod. (E-4), [Sv/hod], (vlastní výzkum)

Graf 8 - Příkon dávky všemi cesty za 16 hod. (E-4), [Sv/hod], (vlastní výzkum)

Graf 9 - Příkon dávky všemi cesty za 8hod. (E-4), [Sv/hod], (vlastní výzkum)

Graf 10 - Depozit jodu během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 11 - Depozit jodu během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 12 - Depozit jodu během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 13 - Mokrý depozit jodu během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 14 - Mokrý depozit jodu během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 15 - Mokrý depozit jodu během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 16 - Depozit cesia během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 17 - Depozit cesia během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 18 - Depozit cesia během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 19 - Mokrý depozit cesia během 8 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 20 - Mokrý depozit cesia během 16 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 21 - Mokrý depozit cesia během 24 hod. (E06), [Bq/m<sup>2</sup>], (vlastní výzkum)

Graf 22 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 1 (v mSv), (vlastní výzkum)

Graf 23 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 1 (mSv/h.), (vlastní výzkum)

Graf 24 - Vliv dávky na ochranná opatření u Meteo 2 (v mSv), (vlastní výzkum)

Graf 25 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 2 (mSv/h.), (vlastní výzkum)



- Graf 26 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 3 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 27 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 3 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 28 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 4 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 29 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 4 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 30 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 5 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 31 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 5 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 32 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 6 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 33 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 6 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 34 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 7 (v mSv)
- Graf 35 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 7 (mSv/h.)
- Graf 36 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 8 (v mSv)
- Graf 37 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 8 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 38 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 9 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 39 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 9 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 40 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 10 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 41 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 11 (mSv/h.), (vlastní výzkum)
- Graf 42 - Vliv dávky na ochranná opatření pro Meteo 11 (v mSv), (vlastní výzkum)
- Graf 43 - Vliv dávkového příkonu na ochranná opatření pro Meteo 11 (mSv/h.), (vlastní výzkum)

## **Seznam použitých zkratk**

SW- software

ČR- Česká republika

KS- krizová situace

MU- mimořádná událost

JE – jaderná elektrárna

VVER – vodo-vodní energetický reaktor

ICRP- International Commission on Radiological Protection

RMU- radiační mimořádná událost

SÚJB- Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO- Státní ústav radiační ochrany

MVP- Mezisklad vyhořelého paliva

SVP- Sklad vyhořelého paliva

SVJD- Sklad vyhořelého jaderného paliva

CV Řež- Centru výzkumu Řež

ÚRAO- Úložiště radioaktivního odpadu

SÚRAO- Správa úložišť radioaktivních odpadů

ČVUT- České vysoké učení technické

CNS- centrální nervový systém

GIT- gastrointestinální trakt

HP- havarijní plán

VHP – vnější havarijní plán

**Příloha 1 - Návrh knihy výsledků (práce autorky)**

