

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie



Bakalářská práce

Monika Zaťková

**Environmentální dopady závažných antropogenně podmíněných
havárií**

Olomouc 2022

vedoucí práce: RNDr. Vašutová Dagmar, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Dagmar Vašutové, Ph.D. a s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu zdrojů.

V Olomouci dne

.....
Monika Zaťková

Děkuji paní RNDr. Dagmar Vašutové, Ph.D. za odborné vedení, nápomocné rady a pravidelné konzultace.

Anotace

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Jméno a příjmení: | Monika Zařková |
| Katedra: | Katedra biologie |
| Vedoucí práce: | RNDr. Dagmar Vašutová, Ph.D. |
| Rok obhajoby: | 2022 |

| | |
|------------------------------|--|
| Název práce: | Environmentální dopady závažných antropogenně podmíněných havárií |
| Název v angličtině: | Environmental Impacts of Major Anthropogenic Accidents |
| Anotace práce: | <p>Bakalářská práce se zaměřuje environmentálními dopady vybraných havárií s únikem nebezpečných látek. Zahrnuje definice základních pojmů spojených s problematikou havárií a charakteristiku nebezpečných látek a jejich účinky. Práce je dále rozdělena na kapitoly havárie ve světě a havárie v České republice. Vybranými haváriemi jsou únik nebezpečných chemických látek z bhópálského závodu, výbuch v Černobylské jaderné elektrárně, výbuch na plošině Deepwater Horizon a únik kyanidů do řeky Bečvy. U zahraničních havárií je uveden jejich průběh, příčiny a dopady na lidské zdraví a na životní prostředí. U havárie, která se udála na území České republiky, je popisován průběh vyšetřování, příčiny doposud neznámého pachatele, možné ohrožení lidského zdraví a dopady na životní prostředí.</p> |
| Klíčová slova: | Havárie, nebezpečné látky, Bhópál, Černobyl, Deepwater Horizon, Bečva, kyanidy |
| Anotace v angličtině: | <p>The bachelor thesis focuses on the environmental impacts of several selected accidents where hazardous substances have been leaked. It includes definitions of basic terms related to the accidents, characteristics of hazardous substances and their effects. The work is divided in between accidents that happened in the World and Accidents in the Czech Republic. The examined accidents are the leakage of hazardous chemicals from the Bhopal factory, the explosion at the Chernobyl nuclear power plant, the explosion on the Deepwater Horizon oil rig and the leakage of cyanides into the Bečva river. In the case of foreign accidents, their course of action, causes, impacts on human health and the environment are described. In the Czech Republic accidents chapter, the course of the investigation, the causes and reasons behind the still unknown perpetrator, the possible threat to human health and the impact on the environment are described.</p> |

| | |
|------------------------------------|--|
| Klíčová slova v angličtině: | Accidents, dangerous substances, Bhopal, Chernobyl, Deepwater Horizon, Bečva river, cyanides |
| Rozsah práce: | 66 stran |
| Jazyk práce: | Český jazyk |

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 7 |
| 1 Cíle | 8 |
| 2 Nebezpečné látky | 9 |
| 2.1 Chemické látky..... | 9 |
| 2.2 Radioaktivní látky | 9 |
| 2.3 Ropa | 10 |
| 2.4 Účinky nebezpečných látek..... | 10 |
| 3 Havárie s únikem nebezpečných látek | 12 |
| 4 Havárie ve světě | 13 |
| 4.1 Únik nebezpečných látek z bhópálského závodu | 13 |
| 4.1.1 Průběh havárie..... | 13 |
| 4.1.2 Příčiny havárie..... | 14 |
| 4.1.3 Ohrožení lidského zdraví | 15 |
| 4.1.4 Environmentální důsledky..... | 16 |
| 4.2 Výbuch v Černobylské jaderné elektrárně | 20 |
| 4.2.1 Reaktor RBMK-1000 | 20 |
| 4.2.2 Průběh havárie..... | 21 |
| 4.2.3 Příčiny havárie..... | 22 |
| 4.2.4 Ohrožení lidského zdraví | 22 |
| 4.2.5 Environmentální důsledky..... | 25 |
| 4.3 Výbuch na plošině Deepwater Horizon..... | 27 |
| 4.3.1 Průběh havárie..... | 27 |
| 4.3.2 Příčiny havárie..... | 28 |
| 4.3.3 Ohrožení lidského zdraví | 29 |
| 4.3.4 Environmentální důsledky..... | 31 |
| 5 Havárie v České republice..... | 38 |
| 5.1 Únik kyanidů do řeky Bečvy..... | 38 |
| 5.1.1 Průběh vyšetřování..... | 40 |
| 5.1.2 Příčiny havárie..... | 41 |
| 5.1.3 Ohrožení lidského zdraví | 41 |
| 5.1.4 Environmentální důsledky..... | 42 |
| Závěr | 46 |
| Seznam jednotek | 48 |
| Seznam chemických značek a chemických vzorců..... | 49 |
| Seznam zkratek | 51 |
| Seznam použitých zdrojů | 52 |

Úvod

Chemický, jaderný a ropný průmysl stejně tak jako ostatní průmysly má svá rizika (Comby 2007). Při výrobě, zpracování, používání, přepravě a skladování nebezpečných chemických látek a směsí může dojít k havárii (Sikorová a Blažková 2018). Havárie může rovněž nastat v jaderných elektrárnách nebo v dalších provozech a pracovištích s radioaktivními zdroji (Kroupa a Říha 2010). K ropným haváriím dochází při těžbě, dopravě anebo při jejím zpracování (Roubíček a Rábl 2000). Uniklé nebezpečné chemické látky, radioaktivní látky a ropa mohou vážně poškodit nebo ohrozit život a zdraví lidí a životní prostředí (Kroupa a Říha 2010).

Nepříznivým působením nebezpečných látek jsou ohroženy všechny složky životního prostředí, neboť mohou sloužit jako cesta přenosu těchto látek. V případě zasažení povrchových vod anebo půdního prostředí může dojít k šíření nebezpečných látek až k podzemním vodám. Tímto způsobem dochází k znečištění zdrojů pitné vody, které jsou pro lidstvo životně důležité (Sikorová a Blažková 2018).

Za selháním při technologických procesech většinou stojí lidský faktor (Veverka 1996). Mezi hlavní příčiny antropogenních havárií (tj. vzniklých činností člověka) patří projekční a provozní chyby (Čapoun a kol. 2009).

Abychom mohli předcházet haváriím, je potřeba dbát na preventivní opatření snižující možná rizika. V případě vzniku havárie musí být provedena opatření k ochraně obyvatelstva (Sikorová a Blažková 2018). Hlavní ochranná opatření zahrnují vyrozumění a varování, ukrytí, evakuaci a při radiačních haváriích i podání tablet jodidu draselného (KI) (Linhart 2003).

Z celosvětových statistik vyplývá, že havárie s únikem nebezpečných látek tvoří podstatnou část ze všech typů havárií (CRED 2022). V České republice se počet těchto událostí dokonce zvyšuje (MV-generální ředitelství HZS ČR 2021). Problematika havárií patří mezi aktuální témata, a právě z tohoto důvodu jsem si vybrala toto téma pro zpracování bakalářské práce.

V minulosti došlo k spoustě havárií způsobených lidskou činností, ovšem abych nezůstala pouze u stručného výčtu všech havárií, rozhodla jsem se v rámci své bakalářské práce detailněji zaměřit jen na několik vybraných, které se svým dopadem řadí mezi ty nejzávažnější. Za předmět mého zkoumání jsem tedy zvolila tři zahraniční havárie, kterými jsou: únik nebezpečných chemických látek z bhópálského závodu, výbuch v Černobylské jaderné elektrárně, výbuch na plošině Deepwater Horizon; pro Českou republiku jsem zvolila v posledních letech velmi diskutovaný únik kyanidů do řeky Bečvy.

1 Cíle

Cílem bakalářské práce je analyzovat příčiny a důsledky vybraných antropogenně podmíněných havárií 20. – 21. století. Práce se zaměří na významné havárie ve světě (průmyslové havárie s únikem chemických látek, jaderné havárie, havárie související s ropou) i v ČR s důrazem na environmentální dopady a ohrožení lidského zdraví.

2 Nebezpečné látky

Nebezpečné látky jsou vybrané látky nebo směsi, které svým nebezpečným účinkem nepříznivě působí na živé organismy nebo jednotlivé složky životního prostředí (Čapoun a kol. 2009). Životním prostředím (*environment*) se dle zákona č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, rozumí „*vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje*“. Zákon dále vymezuje jednotlivé složky životního prostředí, kterými jsou ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie (Zákon č. 17/1992 Sb.).

2.1 Chemické látky

Chemické látky jsou souborem stavebních částic (atomů, molekul, iontů), které jsou složeny z protonů, neutronů a elektronů. Nacházejí se ve skupenství pevném, kapalném nebo plynném a mají určité chemické a fyzikální vlastnosti. Podle původu se rozdělují na přírodní a umělé. Pod pojmem chemické látky jsou označovány jakékoliv chemické prvky a jejich sloučeniny. Chemický prvek je látka složená z atomů obsahující jádra o stejném počtu protonů a chemická sloučenina je látka skládající se z atomů dvou nebo více prvků vázaných chemickou vazbou (Blažek a Fabini 2005).

2.2 Radioaktivní látky

Radioaktivní látkou se dle zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, rozumí „*jakákoliv látka, která obsahuje radionuklid nebo je jím kontaminovaná v míře, která z hlediska možného ozáření vyžaduje regulaci podle tohoto zákona*“. Radionuklidy jsou nuklidy¹ podléhající radioaktivní přeměně, při které se mění složení jádra atomu, a tím dochází ke změně jednoho nuklidu na druhý nuklid. Radioaktivní přeměna je provázena zářením, které působí na hmotné prostředí. Tento jev je označován jako ionizace a spočívá v tom, že částice záření předává část své energie původně elektricky neutrálnímu atomu a vytrhává z jeho elektronového obalu elektron. Výsledkem procesu je vznik iontů (Švec 2014). Zdroje ionizujícího záření jsou buď přírodního nebo umělého původu. Přírodní zdroje pocházejí ze zemské kůry anebo z kosmu, umělé zdroje z lidské činnosti. Mezi umělé zdroje jsou řazeny především připravované radionuklidy, generátory záření, jaderné reaktory a jaderné zbraně (Podzimek 2021). Zdroje ionizujícího záření vyvolávají účinky nepříznivě působící na organismy (Ondřej 2013).

¹ Nuklidem se rozumí „*soubor atomů téhož prvku se stejným počtem neutronů*“ (Ondřej 2013).

2.3 Ropa

Ropa je hořlavá směs kapalného skupenství složeného z kapalných, tuhých a plynných uhlovodíků. V menším množství je tvořena i kyslíkatými, sirnými a dusíkatými sloučeninami. Součásti složení mohou být i příměsi, jako jsou voda, písek, jíl, sůl apod. Hustota ropy se pohybuje od 0,7 až po 1,1 g/cm³ (Bienik 1982). Naleziště ropy se vyskytují v hloubkách od několika metrů až několika kilometrů. O původu ropy existují dvě teorie, a to anorganická a organická. V současné době je uznávaná organická teorie, která předpokládá, že ropa vznikala z organického materiálu nahromaděného na mořském dně, který působením tlaku a vysokých teplot prošel přeměnami (Roubíček a Rábl 2000).

Ropa vznikla před miliony let a řadí se mezi fosilní paliva. Jedná se tedy o neobnovitelný zdroj energie. Slouží jako surovina, ze které se vyrábějí pohonné hmoty, mazací prostředky a chemické sloučeniny (Roubíček a Rábl 2000).

Ropné uhlovodíky jsou ve vodě velmi málo rozpustné a z důvodu rozdílné hustoty při haváriích vytváří na vodní hladině ropnou skvrnu, která omezuje přístup kyslíku (O) potřebného pro vodní organismy (Kroupa a Říha 2010). Při haváriích na pevnině dochází k zasažení vegetace, živočichů, půdy a v případě propustného terénu jsou ohroženy i podzemní vody sloužící jako zásoby pitné vody (Srnský 1992).

2.4 Účinky nebezpečných látek

Mezi nejvýznamnější účinky, které se projevují u havárií s únikem nebezpečných látek, patří výbušnost, hořlavost a toxicita (Čapoun a kol. 2009).

Proces, při kterém je organismus vystaven toxickým účinkům látek, se nazývá expozice. Expozice se dělí na akutní a chronickou. Při haváriích se nejčastěji jedná o akutní expozici, kdy organismus jednorázově nebo během krátkého intervalu obdrží větší dávku látky. Účinek toxické látky závisí na druhu látky, dávce, expozici, organismu a na účinku dalších látek, které působí zároveň. Expozice se dále rozlišuje podle cesty přenosu látky do organismu na inhalační, tj. vdechnutím, perorální, tj. vniknutím zažívacího systému ústy, a na perkutánní, tj. vstřebáním kůží. Nejběžnější způsob proniknutí toxické látky do organismu je vdechnutím (Čapoun a kol. 2009; Sikorová a Blažková 2018).

Toxické účinky se mohou projevit lokálně anebo systémově. Toxické látky s lokálním účinkem působí pouze na první kontaminované místo organismu. Jestliže dojde po vstřebání toxické látky k její distribuci, působí v organismu buď na vybrané orgány anebo na určitý systém. V tomto případě se jedná o systémové účinky látek. Dochází k poškození nervového, gastrointestinálního, močového, dýchacího nebo kardiovaskulárního systému. Toxické látky

mohou také negativně působit na játra, krev anebo na krvetvorbu. Podle mechanismu působení je možné toxické látky rozlišit na látky s účinkem dráždivým, alergenním, mutagenním, teratogenním a karcinogenním (Bašta a kol. 2005).

Hoření je reakce, při které se uvolňuje teplo a světlo. K tomu, aby látka hořela, je zapotřebí dosažení určité teploty a přítomnost oxidačního činidla. Hořlavé látky mohou být jak pevného skupenství, tak kapalného nebo plynného. Samovznícení je jev, kdy v látce začnou probíhat exotermické procesy. Zdrojem tepla pro samovznícení je samotná hořlavá látka. Uvolňování tepla z rostlinných produktů je podmíněno dosažením dostatečné vlhkosti materiálu. Při růstu teploty dochází k biochemickému samovznícení, které bývá příčinou požárů. Tepelné působení má negativní vliv na organismy. Vlivem požáru může dojít k popálení osob a v nejhorším případě i ke smrti (Veverka 1996; Čapoun a kol. 2009).

Posledním hlavním nebezpečným účinkem látek je výbušnost. K výbuchu dochází za přítomnosti iniciačního zdroje a výbušné směsi. Je charakteristický krátkou dobou trvání. Jeho následkem je destrukce okolí šířením tlakové vlny. Osoby nacházející se v blízkosti výbuchu, jsou ohroženy jeho účinkem (Veverka 1996).

Nebezpečí pro živé organismy rovněž představují účinky ionizujícího záření (Kroupa a Říha 2010). Rozdělují se na deterministické a stochastické. K deterministickým účinkům dochází v případě překročení určité hodnoty dávky. Se zvyšující se dávkou roste míra poškození. Po ozáření organismu dochází k zániku buněk. Mezi nejčastější deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, radiační poškození kůže, radiační poškození čočky, ztráta plodnosti, poškození plodu v těle matky. Stochastické účinky jsou vyvolány trvalými změnami v genetické informaci buňky. Následkem těchto změn mohou vzniknout nádorové onemocnění. Se zvyšující dávkou roste pravděpodobnost výskytu. Stochastické účinky se mohou projevit i u potomstva ozářených jedinců (Ondřej 2013).

3 Havárie s únikem nebezpečných látek

Tento typ havárií se rozděluje podle druhu unikající látky na havárie s únikem nebezpečných chemických látek, havárie s únikem radioaktivních látek a na havárie s únikem ropy. Radioaktivní látky se odlišují od ostatních nebezpečných látek svými specifickými vlastnostmi a účinky, a proto radiační havárie nejsou součástí těch chemických. Ropné havárie jsou vyčleňovány z chemických havárií z důvodu toho, že pokud nedojde při havárii k výbuchu nebo požáru, ropa přímo neohrožuje lidské životy, zato ale svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi po dlouhou dobu působí negativně na životní prostředí. Dalším důvodem je jejich vysoká míra výskytu (Čapoun a kol. 2009).

Závažnou havárií se dle zákona č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, rozumí *„mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, zejména závažný únik nebezpečné látky, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu, vedoucí k vážnému ohrožení nebo k vážným následkům na životech a zdraví lidí a zvířat, životním prostředí nebo majetku a zahrnující jednu nebo více nebezpečných látek“*

4 Havárie ve světě

V minulosti se stala řada významných havárií způsobených selháním zařízení nebo lidského faktoru, jako například chemická havárie u Sevesa, havárie ropného tankeru Exxon Valdez, havárie ropného tankeru Prestige nebo havárie jaderné elektrárny Fukušima. V rámci této práce jsem se ovšem zaměřila pouze na tři světové havárie, při kterých došlo následkem působení člověka k úniku nebezpečných látek. Vybrala jsem ty havárie, které se řadí svým dopadem mezi nejzávažnější, ať už z hlediska počtu obětí anebo z hlediska rozsahu znečištění životního prostředí.

4.1 Únik nebezpečných látek z bhópálského závodu

V noci z 2. na 3. prosince roku 1984 v chemickém závodu, který sídlí ve městě Bhópál v Indii, došlo k úniku 40 t nebezpečných látek do ovzduší. Jednalo se o methylisokyanát (C_2H_3NO), karbonylchlorid (CCl_2O) a pravděpodobně i kyanovodík (HCN), který z isokyanátů za vysokých teplot vzniká (Čapoun a kol. 2009).

Závod vlastnila společnost Union Carbide India Limited (UCIL) spadající pod Union Carbide Corporation (UCC) sídlící v USA. Významný podíl v dceřiné společnosti UCIL měli místní investoři ale také indická vláda. Původní plán dovážet methylisokyanát z USA byl pozměněn zavedením výroby meziproductů přímo v závodě, což představovalo o mnohem větší riziko nebezpečí (Broughton 2005).

Následně po havárii odmítla UCC nést odpovědnost za škody zapříčiněné havárií. Po čtyřech letech soudních sporů mezi společností a indickou vládou došlo k mimosoudnímu vyrovnání ve výši 470 miliónů dolarů. Do roku 2003 obdržely oběti velmi nízké odškodné, které vycházelo přibližně 500 dolarů na osobu (Matilal a Adhikari 2020).

4.1.1 Průběh havárie

Chemický závod sloužil na výrobu pesticidu Sevin, na jehož přípravu byl využíván methylisokyanát, který byl společně s karbonylchloridem skladován v obrovských nádržích. V noci 2. prosince 1984 proniklo přibližně 900 l vody do jedné z těchto skladovacích nádrží. Následovala reakce látek s vodou, při které vzrostla teplota a tlak. K úniku došlo v ranních hodinách 3. prosince 1984 (Čapoun a kol. 2009).

Obyvatelům Bhópálu, kteří se stihli dopravit do lékařských zařízení, bylo na základě doporučení UCC podáván thiosíran sodný ($Na_2S_2O_3$) používaný při otravě kyanovodíkem. Později společnost únik kyanovodíku popřela a své prohlášení týkající se léčby stáhla (Broughton 2005).

4.1.2 Příčiny havárie

Poptávka po pesticidech nebyla velká a už od začátku provozu výnosy nepokryly náklady, což mělo dopad na veškeré fungování závodu. Snahou ušetřit co nejvíce peněz následovalo propouštění. Počet zaměstnanců s potřebným vzděláním se zmenšoval a volná pracovní místa byla nahrazována personálem, který buď neměl vhodné vzdělání důležité pro danou pozici anebo nebyl plnohodnotně proškolen. Školení zaměstnanců se totiž postupem času zkracovalo z měsíců na týdny (Eckerman 2005).

Dřívější varování v podobě předchozích úniků nebylo bráno v potaz. V roce 1981 v důsledku úniku toxických látek zemřel jeden pracovník a rok na to došlo k nehodě, kvůli které muselo být 24 zaměstnanců odvezeno do nemocnice. V reakci na to média prostřednictvím článků informovala veřejnost o nebezpečnosti závodu (Bowonder 1987).

V roce 1982 byl proveden audit s cílem přezkoumat bezpečnost závodu. Bylo zjištěno mnoho závažných závad a potenciálních rizik, které by mohli způsobit havárii. Auditóři vyjádřili k nedostatkům vydáním doporučení. Ve výsledné zprávě ale uvedli, že žádné nebezpečí nehrozí (Eckerman 2005).

Konstrukce výrobního závodu methylisokyanátu v Západní Virginii v USA se výrazně lišila od závodu v Bhópálu. Bezpečnostní opatření bhópálského závodu bylo z ekonomických důvodů na velmi nízké úrovni. Údržba, při které mělo docházet k pravidelnému čištění ventilů a potrubí, byla také zanedbávána. Dokonce nebyl vypracován ani žádný havarijní plán pro obyvatelstvo Bhópálu. Signalizační zařízení, které by mohlo veřejnost upozornit na únik plynu, bylo vypnuto. Zazněla pouze siréna určená pro varování pracovníků továrny (Chouhan 2005).

V den nehody bylo mnoho bezpečnostních zařízení mimo provoz. Z důvodu úspor financí byl vypnutý chladicí systém nádrží. Nefunkční byl i ventil sloužící k neutralizaci látek uvolněných ze závodu a filtrační věž využívaná pro odvádění plynů (Chouhan 2005).

Vyšetřování sponzorované indickou vládou prováděli odborníci z Rady pro vědecký a průmyslový výzkum (CSIR). Na základě průzkumu došli k závěru, že příčinou vniknutí vody do nádrže byla lidská nedbalost při čištění potrubí. Výsledkem druhého šetření sponzorované společnosti UCC bylo, že k havárii došlo kvůli úmyslnému připojení hadice s proudící vodou k nádrži provedeného nespokojeným zaměstnancem během výměny směny (Kalelkar 1988).

Špatně promyšlená lokalita k vybudování závodu přispěla k závažným dopadům havárie. Závod byl založen v blízkosti městského centra, které se postupem času zvětšovalo. Zvyšujícím se počtem lidí byla kolem závodu nelegálně vybudována hustě osídlená chudinská čtvrť, která byla zasažena unikajícími toxickými látkami (Bowonder 1987).

4.1.3 Ohrožení lidského zdraví

Všechny látky, které unikly při této havárii, jsou zdraví velmi škodlivé. Vdechování methylisokyanátu, karbonylchloridu a kyanovodíku může dokonce způsobit smrt. Methylisokyanát může dále způsobit podráždění dýchacích cest, vážné poškození a podráždění očí a poškození plodu v těle matky. Spolu s karbonylchloridem je pro kůži dráždivý a žíravý (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008).

Únik nebezpečných látek s katastrofickým dopadem se projevil velmi rychle. Zasaženi byli nejdříve ti, kteří bydleli v blízkosti závodu. Mnoho z nich zemřelo ve spánku. Ti, kteří se probudili, se buď snažili před plynem schovat doma anebo se dali na útěk. Podle odhadů bylo plynem zasaženo okolo 520 tisíc lidí. Celkový počet obětí je nejasný. Uvádí se, že bezprostředně po nehodě zemřelo 1408 lidí. Někteří odborníci odhadují, že došlo až k 20 tisícům úmrtí (Eckerman 2005).

Ihned po nehodě dráždivé účinky uniklých látek vyvolaly u lidí respirační problémy. Exponované trápila zejména dušnost a kašel. Vdechnutí toxických látek mělo nejčastěji za následek vznik plicního edému nebo bronchiolitidy. Projevem podráždění očí bylo pálení, otok víčka nebo zánět rohovky. V nejhorších případech docházelo i k oslepnutí. Dalšími častými prvotními příznaky otravy byly bolesti žaludku, zvracení nebo ztráta paměti (Eckerman 2005).

Velikost dávky závisela na tom, jak daleko se člověk nacházel od závodu, na aktivitě během expozice a na době celkové expozice. Akutními i dlouhodobými účinky toxických látek se projevíly ve větší míře u těch, kteří byli v době úniku v těsné blízkosti závodu (Dhara a kol. 2002). De a kol. (2020) se ve své studii zabýval výskytem chronických respiračních onemocnění ve všech věkových třídách rozdělených podle míry expozice na čtyři skupiny. Respondenti byli sledováni od roku 1986 po dobu 30 let. V každé věkové skupině byla prevalence respiračních onemocnění vždy nejvyšší u silně exponovaných subjektů. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u dospělých nad 40 let v roce 2011. U dětí, které měly v době expozice pod 10 let, byla nejvyšší nemocnost v roce 1986 a od roku 1996 počet výskytu onemocnění klesal. Podobně tomu bylo tak i u dospívajících. Naopak u mladších a starších dospělých v roce 1986 byla prevalence respiračních onemocnění poměrně nízká, ale postupem času se zvyšovala, a to až do roku 2011 (De a kol. 2020).

Po deseti letech od havárie byl proveden průzkum, při kterém náhodní exponovaní a osoby z kontrolní skupiny postoupily spirometrii. Na základě analýzy bylo zjištěno, že plicní funkce exponovaných jsou nižší než u osob z kontrolní skupiny (Cullinan a kol. 1997).

V roce 1994 se zúčastnil vybraný náhodný vzorek exponovaných osob a osoby z kontrolní skupiny neurologického vyšetření. Neurologické onemocnění a snížená kvalita

paměti postihovala mnohem více exponované (Cullinan a kol. 1996). Neurologické poruchy se projevovaly zhoršenou rovnováhou, svalovou slabostí, třesem, únavou, bolestí hlavy a přechodně i ztrátou vědomí (Murthy 2014). U některých obětí havárie byly odhaleny i chromozomální abnormality (Varma a Mulay 2015).

Studie prováděná v letech 1985 až 1994 prokázala, že v tomto období duševními chorobami trpěly 4x více exponované osoby než osoby zdravé z kontrolních skupin. Výskyt duševních onemocnění se porovnával také mezi pohlavími. Ukázalo se, že ženy byly duševně nemocné ve větší míře než muži. Postupem času se mnoho pacientům podařilo uzdravit, a to hlavně těm, kteří pocházeli z méně zasažených oblastí (Murthy 2014). Na základě průzkumu prováděného v roce 1993 bylo zjištěno, že mezi nejčastějšími hlášenými příznaky patřily noční můry, úzkost a poruchy pozornosti (Dhara a kol. 2002). Stejně výsledky byly uvedeny rok na to i v další studii, která se zabývala tímto tématem (Cullinan a kol. 1996).

Následující měsíce po havárii počet spontánních potratů stoupal, stejně tak i kojenecká úmrtnost. Z 865 žen těhotných v době úniku plynu až 43,8 % v roce 1985 uvedlo, že dítě nedonosily. Mortalita kojenců byla také vysoká. Až 14,2 % dětí narozených respondentkám, zemřelo do 30 dnů (Varma 1987). Vystavení těhotných žen toxickým plynům mělo vliv na snížení hmotnosti plodu a placenty. Na základě průzkumu, který započal v roce 1985, kdy data byla sbírána po dobu 22 let, bylo zjištěno, že exponovaní chlapci v děloze anebo ti, kteří se narodili exponované matce, dosahovali malého růstu. Od roku 2001 následovalo období, kdy chlapci začali zrychleně růst. V roce 2007 výška a váha exponovaných chlapců byla vysoká ve srovnání s chlapci z kontrolní skupiny. Na druhou stranu exponované dívky v ten stejný rok dosahovaly menší výšky i méně vážily než dívky z kontrolní skupiny (Sarangi a kol. 2010).

4.1.4 Environmentální důsledky

Union Carbide Corporation ukončila provoz v bhópálském závodě mezi lety 1985 a 1986. Následná dekontaminace pronajatého pozemku byla provedena pouze částečně (Eckerman 2005). Oblast okolo závodu i určitá místa uvnitř budovy, která sloužily jako skládka toxických odpadů, představovala významný zdroj kontaminace půdního prostředí a podzemních vod. S cílem posoudit celkové znečištění prostředí okolo závodu bylo provedeno několik studií (CSE 2013).

Výsledky z průzkumu konaného v roce 1999 byly šokující. Ze vzorků odebraných v areálu bylo identifikováno velké množství organických sloučenin a těžkých kovů. Několikrát překračující přípustné hodnoty rtuti (Hg) v půdě byly zjištěny ve směsi zeminy a kalu odebrané z odtoku. Obsah rtuti ve vzorku byl až 128 000 mg/kg. Ve zvýšených koncentracích byl

z těžkých kovů identifikován chrom (Cr), měď (Cu), olovo (Pb), nikl (Ni), zinek (Zn) a kadmium (Cd). V půdních vzorcích byl nalezen toxický hexachlorethan (C_2Cl_6), hexachlorbutadien (C_4Cl_6), chlorbenzen (C_6H_5Cl). Hexachlorbutadien a hexachlorbenzen jsou perzistentní látky se schopností přetrvávat v životním prostředí a hromadit se v živých organismech. Hexachlorethan a hexachlorbenzen jsou Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC) zařazeny do skupiny 2B (tj. podezřelý karcinogen pro člověka) (Labunska a kol. 1999).

Za deset let provedla vědecká instituce National Environmental Engineering Research Institute (NEERI) další monitoring areálu UCIL a jeho okolí. Průzkum byl uskutečněn v dubnu roku 2009 a v lednu a květnu roku 2010. Vzorky byly odebírány z povrchové vrstvy půdy, ale i z větších hloubek. Uvnitř areálu bylo celkem vyvrtáno 5 vrtů o hloubce od 25 do 32 m. Nalezené kontaminanty uvnitř areálu byly aldikarb ($C_7H_{14}N_2O_2S$), karbaryl ($C_{12}H_{11}NO_2$), α -naftol ($C_{10}H_7OH$), α -hexachlorcyklohexan ($C_6H_6Cl_6$), β -hexachlorcyklohexan ($C_6H_6Cl_6$), γ -hexachlorcyklohexan ($C_6H_6Cl_6$), δ -hexachlorcyklohexan ($C_6H_6Cl_6$), 1,2-dichlorbenzen ($C_6H_4Cl_2$) a rtuť. V porovnání s množstvím, které bylo naměřené nevládní organizací v roce 1999, byl obsah rtuti hodnocen jako poměrně nízký. Pohyboval se v rozmezí od 0,10 do 4,17 mg/kg. Nejvyšší koncentrace látek byly naměřené většinou v povrchové vrstvě půdy. Přítomnost látek byla prokázána pouze do hloubky 2 m. Vzorky odebrané z okolí směrem na sever a východ od závodu obsahovaly stejné kontaminanty jako ty, které se vyskytovaly uvnitř areálu. Zato kontaminanty ve vzorcích získaných z okolí směrem na jihozápad od závodu byly pozorovány pouze výjimečně. Těžké kovy se ale nacházely ve většině vzorků odebraných z okolí závodu. Uvádí se, že celkem 0,16 km² plochy uvnitř areálu UCIL bylo v roce 2010 znečištěno kontaminanty (NEERI 2010).

Významný problém představovalo také znečištění podzemních vod. S cílem posouzení míry znečištění byl v letech 2001 a 2002 proveden průzkum vedený organizací People's Science Institute (PSI). Z ručních pump a studen využívaných obyvateli místních chudinských čtvrtí (viz obr. 1) byla odebírána voda potřebná k analýze. Výsledky vzorků získaných v roce 2001 ukázaly, že koncentrace rtuti v podzemní vodě byla vyšší v místech směrem na sever a na východ od závodu než v podzemních vodách lokalizovaných směrem na jihozápad. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve vzorku odebraného z oblasti New Arif Nagar a dosahovaly až 0,7 mg/l, přičemž maximální povolená koncentrace rtuti v pitné vodě je pouze 0,001 mg/l. Následující rok se obsah rtuti ve vodních vzorcích výrazně zmenšil. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 0,001 do 0,024 mg/l (Kabir a kol. 2004).



Obr. 1: Závod UCIL s obklopujícími čtvrtěmi

(zdroj: http://cdn.cseindia.org/webexclusives/bhopal_25years.htm)

Další testování vody bylo provedeno v roce 2009 nevládní organizací Centre for Science and Environment (CSE). Z okolí areálu bylo odebráno celkem 11 vzorků vody sebrané z ručních pump a studen. Uvnitř areálu byl odebrán pouze jeden vzorek, a to z dešťové vody pocházející ze skládky. Nejvyšší koncentrace kontaminantů byly naměřeny ve vzorku získaného právě odtud. Ve zvýšených koncentracích se nacházely hexachlorbenzen (C_6Cl_6) a γ -hexachlorcyklohexan, které IARC hodnotí jako podezřelé karcinogeny pro člověka. Naměřená hodnota karbarylů až 2600krát překračovala povolený limit výskytu pesticidů v půdě. Dohromady se pesticidy vyskytovaly v 5 vzorcích z 12. Oblasti lokalizované severovýchodním směrem od závodu byly nejvíce zasaženy kontaminanty. Vzorek vody získaný z pumpy v oblasti New Arif Nagar celkem obsahoval až 0,0297 mg/l kontaminovaných látek. Vysoce kontaminovaný byl také vzorek z oblasti Shiv Nagar s hodnotami 0,0193 mg/l. Těžké kovy se ve vzorcích téměř nevyskytovaly. Pouze ve třech vzorcích odebraných z pump pocházejících z New Arif Nagar a Shiv Nagar byly detekovány rtuť, olovo a kadmium (CSE 2009).

Znečištěná podzemní voda představovala významný problém zejména pro obyvatele chudinských čtvrtí nacházejících se v blízkosti areálu UCIL. Voda ze studen sloužila jako jediný zdroj pitné vody, a proto ji stále využívali i přesto, že byla označena za nepitnou. V roce

2004 indický nejvyšší soud přikázal vládě státu Madhjadpradéš, aby zajistila pitnou vodu pro obyvatele čtrnácti slumů. Dodávané množství vody ale nebylo dostatečné pro pokrytí potřeb obyvatel. V roce 2005 na základě průzkumů bylo zjištěno, že vody bylo dodáno pouze 10 % (Sharma 2006).

4.2 Výbuch v Černobylské jaderné elektrárně

Sovětská Černobylská jaderná elektrárna se nachází na území dnešní Ukrajiny v blízkosti běloruských a ruských hranic (Comby 2007). K havárii došlo 26. dubna 1986 během naplánované zkoušky systému. Podle Mezinárodní stupnice jaderných událostí (INES) je hodnocena jako velmi těžká havárie nejvyššího stupně 7 a je považována za nejzávažnější jadernou havárii vůbec (UNSCEAR 2011; Kroupa a Říha 2010). Ke konečnému uzavření elektrárny došlo 15. prosince 2000 (Comby 2007).

Součástí opatření přijatých po havárii byla evakuace. Na jaře a v létě 1986 bylo celkem evakuováno 116 000 lidí z oblasti kolem elektrárny, která byla kontaminována ceziem-137 (^{137}Cs) na úrovni větší než 555 kBq/m^2 . Jedná se o oblast se zpřísněnou kontrolou a je označována jako „uzavřená zóna“. Uvádí se, že z nejméně kontaminovaných oblastí na území dnešní Běloruské republiky, Ruské federace a Ukrajiny bylo evakuováno více než 300 000 lidí (SÚJB 2021).

Aby nedocházelo k uvolňování radioaktivity ze zničeného čtvrtého reaktoru do životního prostředí, došlo v říjnu 1986 k jeho uzavření do betonového pláště velkého rozměru (SÚJB 2021). V roce 2017 byl dostaven nový kryt uzavírající původní sarkofág (IRSN 2021).

4.2.1 Reaktor RBMK-1000

Elektrárna se v roce 1986 skládala ze čtyř reaktorů typu RBMK (kanálový reaktor velkého výkonu) (Comby 2007). Elektrický výkon reaktoru byl 1000 MW a tepelný výkon 3200 MW (Plohky 2019).

Jako palivo slouží přírodní uran-238 (^{238}U) obohacený uranem-235 (^{235}U). Při štěpné reakci se jádro nukleotidu rozpadne na dvě středně těžká jádra, tzv. štěpné produkty. Uvolněné neutrony je potřeba zpomalit. K tomu se využívá grafitový moderátor. Díky této látce se udržuje štěpná jaderná reakce (Kroupa a Říha 2010; Comby 2007).

Vznikající energie ve formě tepla ohřívá palivo nacházející se v palivových tyčích. Pomocí chladících smyček proudí voda, ohřátá vzniklým teplem, do parních bubnů. V parních separátorech se oddělená pára od vody dostává do turbíny. Párou poháněná turbína vytváří elektrickou energii (Kroupa a Říha 2010; Plohky 2019).

K regulaci štěpení se využívají regulační tyče, které jsou po zasunutí do aktivní zóny reaktoru schopné štěpnou reakci zpomalit. Po jejich vysunutí se štěpení urychlí. Regulačních tyčí bylo celkem 211 a byly vyrobeny z karbidu bóru (B_4C) (Kroupa a Říha 2010; Plohky 2019).

4.2.2 Průběh havárie

Na konec dubna roku 1986 byla naplánovaná údržba bloku č. 4, ke které bylo zapotřebí reaktor vypnout. Snížený výkon reaktoru chystajícího se na odstavení byl využit ke kontrolám systému v podobě zkoušky, která měla vylepšit mechanismy automatického odstavení reaktoru. Podstatou experimentu bylo ověření, jestli po uzavření přívodu páry do turbíny bude elektrický generátor při setrvačném doběhu schopen dodat potřebnou elektřinu k načerpání chladicí vody do reaktoru (Linhart 2003; Plohky 2019).

Dne 25. dubna byl výkon snížen z 3200 MW na 1600 MW pomocí regulačních tyčí. Poté došlo k vypnutí systému nouzového přívodu vody do reaktoru. Pokračování v přípravách na zkoušku bylo pozastaveno, kvůli příkazu ponechat nynější výkon až do večerních hodin. Kvůli dlouhému odkladu nestihla daná směna zkoušku provést (Plohky 2019).

Provedení experimentu bylo tedy ponecháno až další směně, která nebyla s programem zkoušky seznámena. Nepozorností nedostatečně proškoleného pracovníka došlo k velmi náhlému poklesu výkonu až na 30 MW. Následkem zastaveného štěpení jader byl reaktor uveden do velice nestabilního stavu (SÚJB 2001).

Vytažením regulačních tyčí z aktivní zóny se podařilo stabilizovat výkon reaktoru na 200 MW. Provoz za tak nízkého výkonu byl v rozporu s předpisy, ale i tak se pokračovalo v přípravě experimentu. Zvýšením průtoku vody aktivní zónou se snížil obsah páry v bubnech parního separátoru. Nato se ozval alarm nízkého tlaku páry, který byl operátory vypnut s cílem zabránit odstavení reaktoru, aby se mohlo pokračovat v experimentu. Ventily turbíny byly uzavřeny, a tím byl snížen průtok napájecí vody. Stále zvyšující se teplotou vody došlo k její přeměně v páru. Obsah parních dutin v chladicí vodě spolu s výkonem reaktoru se velmi rychle zvyšoval. Aktivací mechanismu bezpečnostních regulačních tyčí mělo dojít k nouzovému odstavení. Reaktor byl ale již neovladatelný. Kvůli obrovskému nárůstu teploty došlo k roztavení palivových tyčí a tablety obsahující bór (B) se uvolnily do chladiva (Plohky 2019).

Dne 26. dubna přibližně v 01:24 došlo k výbuchu páry. Následkem vysokého tlaku horní část budovy reaktoru byla nadzvednuta a odsunuta. O dvě až tři sekundy později následoval druhý výbuch, který způsobil roztržení horní části budovy reaktoru. Vzniklý požár zapříčinili palivo a hořící grafit nacházející se uvnitř reaktoru. K uhašení požárů v reaktorové hale a na střeše turbínové haly došlo v 5 hodin ráno. Za 3 dny bylo ale zjištěno, že téměř čtvrtina grafitových bloků stále hoří (SÚJB 2001).

Od 27. dubna do 10. května bylo z vrtulníků postupně shozeno 5000 t sloučenin písku, bóru, hlíny a olova, čímž se docílilo zakrytí reaktoru, ze kterého po celou dobu unikaly radioaktivní látky. Konečné uhašení požárů se povedlo 9. května (IRSN 2011).

Na vážnost situace mělo vliv opožděné uplatňování opatření k ochraně obyvatelstva. K evakuaci města Pripjať, nacházejícího se poblíž Černobylu, došlo až následující den v odpoledních hodinách. Danou událost se původně snažily sovětské úřady utajit, a tak obyvatelstvo Svazu sovětských socialistických republik (SSSR) nebylo včas informováno o havárii. Událost byla veřejně oznámena až poté, co byl ve Švédsku vyhlášen poplach, kvůli vysoké radioaktivitě naměřené v atmosféře. Další chybou bylo nedodání tablet obsahující stabilní jód (I). Jejich podáním by se zamezila sorpce radioaktivního jódu štítnou žlázou u obyvatel (Comby 2007).

4.2.3 Příčiny havárie

Na vzniku havárie sehrál roli lidský faktor a špatná konstrukce reaktoru. Významnou chybou bylo dlouhé odkládání vypnutí, kvůli kterému neproběhl experiment včas. Provedení zkoušky bylo ponecháno další směně, která ale nebyla s postupem zkoušky seznámena. Chybami pracovníků se stal reaktor velmi nestabilním. Během experimentu došlo k vážnému porušení bezpečnostních pravidel a předpisů (SÚJB 2001).

Reaktor svou konstrukcí nebyl bezpečným. Reaktor RBMK měl kladný teplotní koeficient reaktivity. To znamená, že snížené množství chladicí vody v reaktoru, vede ke zvýšení výkonu. Jaderné štěpení se samovolně nezastaví, jak je tomu u reaktorů se záporným koeficientem reaktivity (Comby 2007).

Černobylské jaderné elektrárně chyběl třetí ochranný obal, který by zabránil úniku radioaktivity. Pro zajištění bezpečnosti jaderné elektrárny je nutné složení ze všech tří postupných bariér. První bariérou je kovový povlak, který kryje palivové tyče. Další bariérou je ocelová nádoba uložená v posledním železobetonovém ochranném obalu (Comby 2007).

4.2.4 Ohrožení lidského zdraví

Z hlediska ozáření člověka byly významnými radionuklidy jód-131 (^{131}I) a cesium-137 (SÚJB 2001). Tyto radionuklidy vznikly při radioaktivní přeměně uranu-235 a uranu-238 (Podzimek 2021).

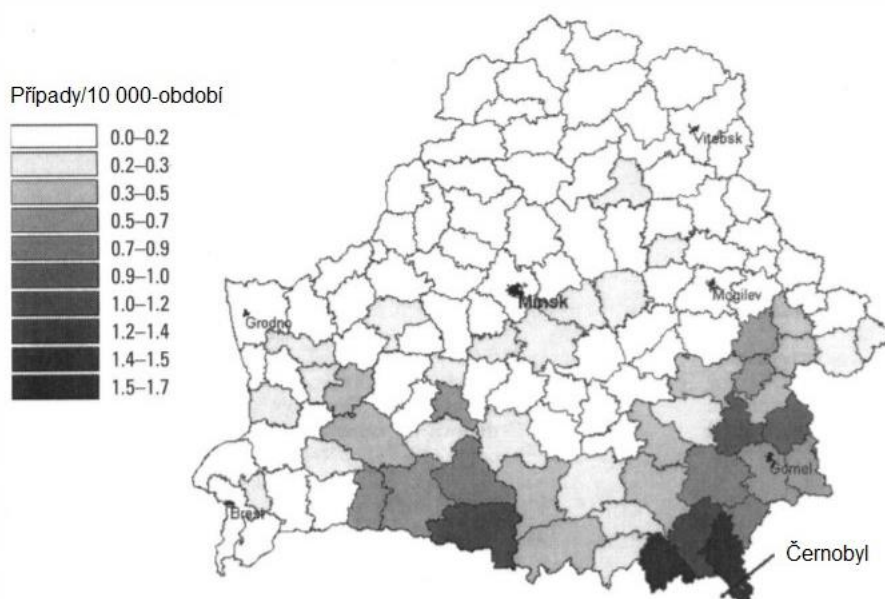
Nejvyššími dávkami ionizujícího záření byl vystaven personál elektrárny, zaměstnanci záchranné služby a hasiči. Dávky celotělového ozáření se pohybovaly od 0,8 do 16 Gy. Po překročení prahové dávky se u těchto osob projevil deterministické účinky záření (UNSCEAR 2000).

Vyšetřených pacientů s příznaky na nemoc z ozáření bylo celkem 237. Nemoc byla ale nakonec prokázána pouze u 134 osob, z nichž během prvních čtyř měsíců po havárii zemřelo

28 na radiační poškození kůže nebo střevní tkáně, radiační pneumonitidu, zasažení kardiovaskulárního systému anebo na sekundární infekce, které se vyskytly po transplantaci kostní dřeně. V letech 1987 až 1998 došlo k 11 úmrtí osob ozářených dávkami v rozmezí od 1,3 do 5,2 Gy (UNSCEAR 2000).

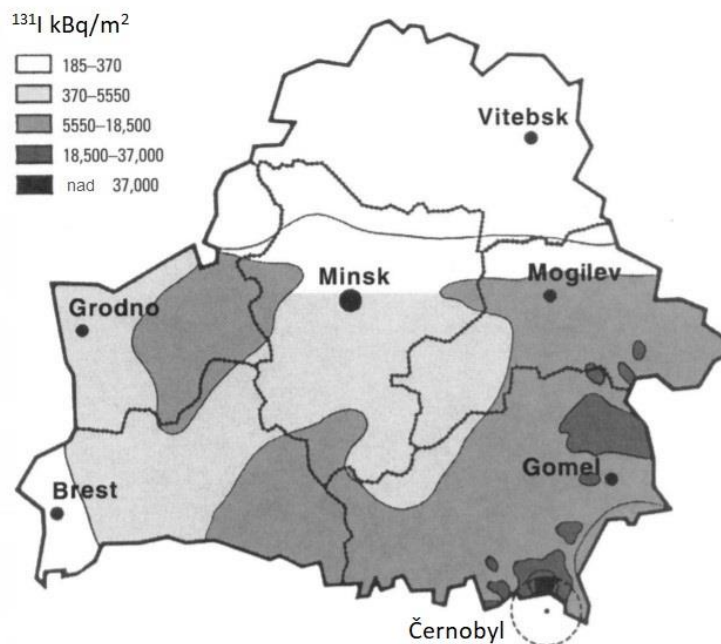
Zdraví obyvatel bývalého SSSR ovlivnil zejména únik radioaktivního jódu. Vdechování radionuklidů nebo konzumace kontaminovaných potravin mělo za následek ozáření štítné žlázy. Radioaktivní jód se usadil na trávě, kterou spásaly krávy. Z kontaminovaného mléka se po jeho vypití dostaly radioaktivní látky do těla člověka (SÚJB 2001).

Měnicími se meteorologickými podmínkami byl radioaktivní materiál nejdříve unášen severozápadním směrem a poté se šířil na jihovýchod a na severovýchod. V Gomelské oblasti bylo v letech od 1986 do 1995 diagnostikováno nejvíce případů rakovin štítné žlázy u dětí, které byly v době havárie mladší 15 let, z území dnešní Běloruské republiky. Největší hustotou případů zaujímají právě tři okresy přilehlé k Černobyli (viz obr. 2). Lokality výskytu dětských rakovin štítné žlázy jsou velmi podobné s předpokládanými oblastmi zasaženými radioaktivním spadem jódu (viz obr. 2; obr. 3) (Bleuer a kol. 1997).



Obr. 2: Hustota výskytu případů rakoviny štítné žlázy na okres za období 1986–1995. Tři okresy na území dnešní Běloruské republiky sousedící s Černobylem zleva doprava jsou Narovlya, Hoiniki a Bragin.

(zdroj: https://www.jstor.org/stable/3433656?seq=1#metadata_info_tab_contents, upraveno autor)



Obr. 3: Odhadovaná kontaminace jódem-131 na území dnešní Běloruské republiky.

(zdroj: https://www.jstor.org/stable/3433656?seq=1#metadata_info_tab_contents, upraveno autor)

Od roku 1991 se výskyt rakoviny štítné žlázy u dětí a dospívajících pocházejících z území Běloruské republiky, Ruské federace a Ukrajiny začal zvyšovat. Od roku 1991 do roku 2005 bylo evidováno 6848 osob zasažených tímto onemocněním. Tyto osoby byly v době expozice mladších 18 let. Do roku 2005 bylo zaznamenáno 15 úmrtí na rakovinu štítné žlázy (UNSCEAR 2011).

V následujících letech počet případů rakovin štítné žlázy nadále rostl. Od roku 2006 do roku 2015 bylo diagnostikováno celkem 12 385 osob, které v době havárie nepřesáhly 18 let a pocházely buď z Běloruské republiky, Ruské federace nebo Ukrajiny. Počet postihnutých osob rakovinou štítné žlázy byl čtyřikrát vyšší u žen než u mužů (UNSCEAR 2018).

Jelikož vystavení se ionizujícímu záření bývá spojené se zvýšeným rizikem vzniku leukemie, byla v kohortě 110 645 pracovníků zapojených od roku 1986 do 1990 do úklidových prací provedena studie případů. Celkově bylo v letech 1986–2006 diagnostikováno 162 pacientů s leukemií z toho 16 % případů je připisováno radiační expozici (Zablotska a kol. 2013).

Havárie způsobila vážné psychické problémy. Lidé v důsledku havárie trpěli duševními poruchami, stresem a úzkostmi. Jednalo se především o obyvatelstvo vysoce kontaminovaných území, které se muselo z těchto oblastí odstěhovat (UNSCEAR 2000).

Neinformovanost obyvatelstva měla v Evropě za následek obrovského množství zbytečných potrátů. Obyvatelé Evropy byli vystaveni velmi nízkým dávkám, proto riziko pro plod bylo nulové (Comby 2007).

4.2.5 Environmentální důsledky

Následně po výbuchu se radioaktivní látky uvolnily do ovzduší. K největším únikům docházelo během prvních 10 dní (IAEA 2006a). Prouděním vzduchu byly radioaktivní látky odnášeny na severozápad od místa havárie. Radioaktivní spad kontaminoval nejdříve velká území dnešní Ukrajiny, Běloruska a Ruska. V průběhu dalších dnů se radionuklidy rozšířily do dalších států Evropy (UNSCEAR 2021). Celkový únik radioaktivity je odhadován na 14 EBq. Únik zahrnoval především radionuklidy s krátkou dobou života, a proto je dnes již většina rozpadlých (IAEA 2006a).

Ke kontaminaci radioaktivním spadem došlo jak u obytných oblastí, tak u zemědělských plochy, lesů anebo vodních ploch. Radionuklidy usazené na povrchu těchto ploch představovaly významný zdroj ozáření člověka. Radionuklidy se dostávaly do potravního řetězce požitím zemědělských nebo lesních plodin, mléčných nebo masných produktů. Koncentrace radioaktivních látek v prostředí rok od roku klesalo, ale i přes to v některých oblastech v Běloruské republice, Ruské federaci nebo na Ukrajině podléhaly masné výrobky nebo plodiny kontrole (IAEA 2006a). Vysoké hodnoty cezia-137 po dlouhou dobu přetrvávaly především v houbách (Anspaugh 2007). To bylo způsobeno jejich schopností akumulovat radionuklidy ve velké míře (Ondřej 2013).

Výrazně zasaženou oblastí radioaktivním spadem je Uzavřená zóna Černobylské jaderné elektrárny, ve které se nachází tzv. Rudý les. Koruny borovic lesních (*Pinus sylvestris*) absorbovaly velké dávky ionizujícího záření odhadované až na 80–100 Gy, což mělo za následek jejich úhyn. Zbarvení jehlic na červenohnědou barvu dalo vzniku pojmenování tohoto lesa (Holiaka a kol. 2020). K postupnému zhnědnutí původně zeleně zbarvených jehlic došlo z důvodu poškození pletiv (UNSCEAR 2011).

Účinky ionizujícího záření se u rostlin projeví změnou tvaru nebo vzhledu, poruchami růstu, sníženým výnosem, ztrátou reprodukční schopnosti, uschnutím listů nebo smrtí jedince. Citlivost jednotlivých druhů na působící ionizující záření se liší. Mezi nejvíce citlivé rostliny patří jehličnaté stromy, obzvláště borovice (UNSCEAR 2011).

Půdní bezobratlí živočichové, nacházející se v lesní nadložní humusové vrstvě v černobylské uzavřené zóně, byli vystaveni dávkám okolo 30 Gy. Následkem vysokého ozáření jich velké množství uhynulo. Vysoké dávky ionizujícího záření měly vliv také na

reprodukcí. V okruhu 3 až 7 km od místa havárie se po uplynutí dvou měsíců nenacházely v nadložní vrstvě půdy larvy ani nymfy. Po roce se počet bezobratlých začal zvyšovat. Druhá rozmanitost ale zůstávala stále nižší. Zcela obnovena byla až po 10 letech (IAEA 2006b).

Akutní účinky ionizujícího záření se projevily pouze u organismů žijících v černobylské uzavřené zóně. Spásáním vegetace, která byla kontaminovaná radioaktivním spadem, byly druhy patřící pod podřád přežvýkaví (Ruminantia) vystaveny vysokým dávkám. Účinky ozáření se projevily zejména snížením funkce štítné žlázy, imunity, tělesné teploty a celkové váhy, výskytem kardiovaskulárních poruch, neschopností produkovat potomstvo nebo dokonce uhynutím (IAEA 2006b).

Radioaktivní kontaminace vodních toků a nádrží v blízkosti jaderné elektrárny měla za následek ozáření vodních organismů. Jelikož radioaktivním spadem bylo kontaminované dno a vodní vegetace, vyšší dávky zevního ozáření obdržely ryby žijící v bentosu. Ryby plovoucí u hladiny byly mnohem méně ozářeny. K vnitřnímu ozáření docházelo u dravých ryb, jelikož jejich potravou byly živočichové kontaminováni radioaktivními látkami (Kryshev a Sazykina 1995).

V únoru roku 2009 byl proveden průzkum, který se zabýval vlivem radioaktivního záření na početnost savců vyskytujících se v černobylské uzavřené zóně na území Ukrajiny. Na základě počítání stop ve sněhové pokrývce bylo zjištěno, že mimo uzavřenou zónu se nacházelo o mnohem více savců než v ní. Studie se dále zaměřuje na jednotlivé druhy savců a jejich odlišné reakce na radiaci. Ze sledovaných druhů se ukázala nejméně tolerantní vůči radioaktivnímu záření liška obecná (*Vulpes vulpes*) (Møller a Mousseau 2013).

K zcela odlišným závěrům přišli Deryabina a kol. (2015), kteří ve své studii srovnávali Poleskou státní radiačně-ekologickou rezervaci, uzavřenou zónu nacházející se v Běloruské republice, se čtyřmi nekontaminovanými přírodními rezervacemi v regionu. Došli k závěrům, že hustota populace losa evropského (*Alces Alces*), jelena evropského (*Cervus elaphus*), srnce obecného (*Capreolus capreolus*) a divokého prasete (*Sus scrofa*) byla ve všech sledovaných území podobná. Hustota populace vlka obecného (*Canis lupus*) v Poleské státní radiačně-ekologické rezervaci byla dokonce sedmkrát vyšší. Deryabina a kol. (2015) tuto skutečnost objasňují tím, že se predátoři shlukují v oblasti s hojným výskytem kořisti, zvláště když je kořist vystavena vysokým úrovním radiace. Monitoring probíhal mezi lety 2005 a 2010 a také byl založen na počítání zvířecích stop ve sněhu (Deryabina a kol 2015).

4.3 Výbuch na plošině Deepwater Horizon

Deepwater Horizon byla plovoucí vrtná plošina, jejíž výstavba započala v roce 1998 společností Hyundai Heavy Industries. Od roku 2003 sloužila k průzkumnému vrtání až do hloubky 9100 m. V době havárie měla plošinu v pronájmu od společnosti Transocean společnost British Petroleum (BP), která se na začátku dubna roku 2010 rozhodla vrtání pozastavit a následně vrt nacházející se v nalezišti Macondo dočasně opustit. Dne 20. dubna téhož roku došlo na plošině k výbuchu. Následně začalo hořet a po dvou dnech se plošina potopila (Smith a kol. 2010). Ropa proudila do Mexického zálivu až do 15. července, kdy se podařilo vrt uzavřít. Objem uniklé ropy je odhadován na 507 milionů l a objem uniklého zemního plynu na 218 milionů m³ (NOAA 2016).

K ochraně lidského zdraví byla okamžitě provedena opatření v rámci, kterých úřady uzavřely několik pláží v Alabamě, Louisianě, Mississippi a na Floridě. Nejdéle byl veřejnosti znemožněn přístup na některé pláže v Louisianě a na Floridě, kde uzávěrka trvala až do 15. června 2011. Uzavírání postihlo i pobřežní vody využívané pro rybolov. Zákaz rybolovu platil od 2. května 2010 na ploše o velikosti 17 656 km². Poslední uzavřená oblast byla zpřístupněna 19. dubna 2011 (NOAA 2016).

Na vyčištění a obnovu znečištěného prostředí a na kompenzaci škod, která vznikla poškozeným, společnost BP zaplatila 20 miliard dolarů, které byly stanoveny v roce 2015 Ministerstvem spravedlnosti Spojených států amerických. V roce 2016 BP prohlásila, že je havárie přišla až na 62 miliard dolarů (Kanso a kol. 2017).

BP byla založena v roce 1908 a patří mezi největší britské společnosti zaměřující se na výrobu energie. Havárie na plošině Deepwater Horizont ale nebyla ani zdaleka jediná, která by společnost postihla. V roce 1965 se také udála nehoda na ropné plošině Sea Gem, při které zemřelo 13 pracovníků posádky. V roce 2005 následoval výbuch v rafinérii Texas City, zapříčinil 15 úmrtí a dalších 180 zraněných lidí. Během dalších 3 let došlo ve stejné rafinérii vlivem snížené bezpečnosti k 3 úmrtím. BP byla také vícekrát pokutována za nelegální činnosti. Zejména za nepovolené nakládání s nebezpečnými odpady na Aljašce, manipulací s cenou propanu a ropy, a také za dřívější úniky ropy do mořských vod (Andrews 2010)

4.3.1 Průběh havárie

Plánem společnosti BP bylo po dokončení vrtných prací připravit vrt na pozdější těžbu ropy. Ve hloubce 5566 m došlo ke ztrátám výplachu bahna, což znamenalo, že vrták narazil na ropný rezervoár. K opuštění naleziště Macondo bylo zapotřebí pomocí cementu ukotvit pažnicové kolony, aby stěny vrtu zůstaly zabezpečené. Po cementaci byla provedena tlaková

zkouška, při které se záměrně snižoval hydrostatický tlak uvnitř pažnic, s cílem zjistit, jestli jsou pažnice správně utěsněny. Výsledky zkoušky byly nejasné, a proto se konala ještě jednou. Nakonec byla chybně vyhodnocena jako úspěšná (NAE a NRC 2012).

Poté následoval výplach vrtu, při kterém bylo nahrazeno bahno mořskou vodou. Po načerpání bahna do skladovacích nádrží byl bezpečnostní preventr (dále už jen BOP) proti výbuchu uzavřen. Vytlačení veškerého bahna se působením tlaku ropa začala dostávat do horních částí vrtu (Boebert a Blossom 2016).

Zvýšením tlaku ve vrtné koloně došlo ve 21:49 k prvnímu výbuchu. Unikající ropa byla přeměrována do zařízení na odlučování zemního plynu od bahna. Spolu s ropou se uvolnil i zemní plyn, který byl pravděpodobně zdrojem vznícení (NAE a NRC 2010).

Poté následoval další výbuch, který zapříčinil výpadek elektrického proudu. Pracovníci se snažili aktivovat systém nouzového odpojení platformy od vrtu, ale pokus byl marný. Kromě 11 lidí, kteří během havárie zemřeli, se zbytku posádky podařilo před požárem uniknout pomocí záchranných člunů. S evakuací pomohla také nedaleko vzdálená loď Damon B. Bankston (Boebert a Blossom 2016).

4.3.2 Příčiny havárie

Krátce po události byla zřízena vyšetřovací komise, která měla za úkol posoudit příčiny havárie. Výbor složený z 15 členů dospěl k závěru, že se jednalo o selhání systému. Provozní společnosti odpovědné za funkčnost zařízení a konstrukci vrtu nedodržely principy bezpečného řízení. Během výstavby a příprav na opouštění vrtu pochybily i regulační orgány. Hlavním orgánem regulujícím ropný průmysl v Mexickém zálivu byl federální úřad Minerals Management Service (MMS), který schválil společnosti BP vrtat v oblasti Mexického zálivu, i přes to, že společnost BP nedodala na kontrolu plán zaměřený na možná rizika výbuchu (Boebert a Blossom 2016; NAE a NRC 2012).

Po analýze celé události výbor identifikoval mnoho zásadních chyb a nedostatků. Cementační práce sloužící k utěsnění prostoru mezi stěnou vrtu a kolonou pažnic nebyla provedena dobře. Z důvodu různých tlaků pórů ve stratosférických vrstvách bylo nutné zvolit odlišný způsob cementace než ten, který byl upřednostněn. Podcenění cementačního procesu ve smyslu nevhodně vybraného typu cementu a zkrácené doby tuhnutí cementační směsi zapříčinilo následný průnik kapalin a plynů do horních částí vrtu. Následně provedené tlakové zkoušky, které měly těsnění otestovat, byly špatně vyhodnoceny bez konzultace s vyškoleným odborníkem (NAE a NRC 2010).

Dalším problémem bylo nedostatečné školení zaměstnanců pro tak rizikovou práci jako je hlubinné vrtání. Absence proškolení na krizové situace mělo vliv na zpožděné rozpoznání úniku ropy a plynu. Průtok nebylo možné lehce identifikovat, protože plošina nebyla vybavena zařízením, které by bylo schopné únik rozpoznat. Kdyby takové zařízení bylo k dispozici, mohlo by v dané chvíli varovat členy posádky o možné ztrátě kontroly nad vrtem (NAE a NRC 2012).

Podhodnocování důležitosti pravidelné údržby a sledování stavu zařízení a součástí zapříčinilo nebezpečný provoz plošiny. Některé vybavení soupravy bylo ve velmi špatném stavu. A to zejména zařízení BOP, které sloužilo k zabránění úniku kapalin nebo plynu. Horní uzávěr BOP netěsnil správně, a proto se bahno dostalo až na podlahu plošiny. Nefungovala i další součást zařízení BOP a to čelisti, které nedokázaly přestříhnout vrtnou tyč a tím vrt utěsnit (NAE a NRC 2012).

4.3.3 Ohrožení lidského zdraví

Z důvodu uzavření velké oblasti pro rybolov ztratili lidé pracující v tomto odvětví tak práci. Propouštění probíhalo i v oblasti ropného průmyslu, protože od konce května 2010 byl v rámci moratoria pozastaven provoz na 33 hlubokomořských ropných plošinách. (Mong a kol. 2012). Ztráta pracovních míst, panující obavy o bezpečnost mořských produktů a omezení svobody znemožněním trávení volného času v oblasti zálivu měly významný dopad na lidskou psychiku (Grattan a kol. 2011).

V období od 19. do 25. července roku 2010 bylo dotazováno 1200 obyvatel Louisiany a Mississippi žijících v okruhu 16 km od pobřeží Mexického zálivu na příznaky, které se jim a jejich jednomu náhodně vybranému dítěti projevíly v předchozích dvou týdnech a které podle nich souvisí s havárií. Celkem 34,7 % dětí dotazovaných rodičů pocítilo účinky úniku ropy na jejich fyzické a duševní zdraví. Dotazovaní hlásili podráždění dýchacích cest nebo kůže, smutek, deprese, nervozitu, strach a problémy se spánkem (Abramson a kol. 2010).

V období od 18. srpna do 17. prosince roku 2010 vedli odborníci z Department of Psychiatry of the Louisiana State University Health Sciences Center průzkum zaměřený na obyvatele silně zasažených oblastí včetně rybářů, pracovníků ropného průmyslu a pracovníků pohostinských služeb. Pomocí Likertovy škály se hodnotila míra výskytu pocitů nervozity, beznaděje, neklidu, deprese, námahy a bezcennosti. Celkem 12 % účastníků studie byla diagnostikována posttraumatická stresová porucha a 15 % mělo vážné duševní poruchy (Osofsky a kol. 2011).

Rozvinutí posttraumatické stresové poruchy v důsledku havárie potvrzuje i průzkum vedený odborníky z Department of Psychology of the University of Southern Mississippi. Kdy účastníci průzkumu byli rozděleni do dvou skupin podle jejich povolání. Do rizikové skupiny byli zahrnuti obyvatelé pobřežních států pracující odvětví ovlivněné únikem. Skupina bez rizika se skládala z lidí, jejichž výkon práce ovlivněn nebyl. Celkem 165 respondentům z 588 byla diagnostikována posttraumatická stresová porucha. Ze 75 % se jednalo o respondenty z rizikové skupiny. Tito lidé také častěji odpovídali negativně na pokládané otázky, které se týkaly termínu uzavření vrtu nebo jestli bude mít únik ropy trvalé dopady na člověka nebo na zvířata (Mong a kol. 2012).

V další studii byli respondenti rozděleni do skupin přímo nebo nepřímo zasažených podle toho, jestli se ropa dostala ke břehům okresu, ve kterém bydleli. Na základě psychologického vyšetření nebyly zjištěny žádné významné rozdíly mezi skupinami. Rozdíly byly ale mezi příjmovými skupinami. Ti, kteří v důsledku havárie ztratili příjem, trpěli ve větší míře depresivními anebo úzkostnými poruchami (Grattan a kol. 2011).

Dopady havárie na lidské zdraví byly pozorované zejména u lidí zapojených do likvidací škod, které vznikly v důsledku úniku ropy. Mezi vykonávanými činnostmi prováděnými pracovníky patřilo uzavření vrtu, čištění vody a souše, ale také úkony spojené s podpůrnou a administrativní prací. Při výkonu práce mohli být pracovníci potencionálně vystaveni ropě, dispergačním přípravkům² a látkám uvolněným do ovzduší spalováním ropy (Kwok a kol. 2017). Vystavení některým z chemických látek, které byly vneseny do prostředí, může způsobit vznik ischemické srdeční choroby. S cílem posoudit vliv havárie na funkci srdce pracovníků byla provedena studie. Respondenti byli dotazováni, jestli je během prvních pěti let po havárii postihla nějaká choroba zasahující srdce. Celkem 395 jedincům z 21 256 dotazovaných se projevila ischemická choroba srdeční. Výsledkem studie bylo zjištěno, že riziko výskytu onemocnění se zdálo být nejvyšší u osob žijících v blízkosti ropné skvrny a u osob, které pracovaly na likvidaci následků havárie více než 180 dní (Strelitz a kol. 2019).

V době čistících prací i v následujících letech hlásili pracovníci příznaky podráždění dýchacích cest, očí anebo kůže. Mezi projevené příznaky patřilo svědění nebo pálení očí, kašel, sípání, dušnost, bolest na hrudi a pálení v nose, krku nebo na plicích. Prevalence příznaků podráždění dýchacích cest a očí byla vždy vyšší u osob vystavených dispergátorem než u těch, kteří s dispergátorem do kontaktu nepřišli (McGowan a kol. 2017). Někteří z pracovníků se také účastnili během prvních třech let po havárii spirometrie, při které se testovala schopnost jejich

² Dispergační přípravek je výrobek, který se používá k rozptýlení ropného filmu nacházejícího se na vodní hladině (Šedivý 1989).

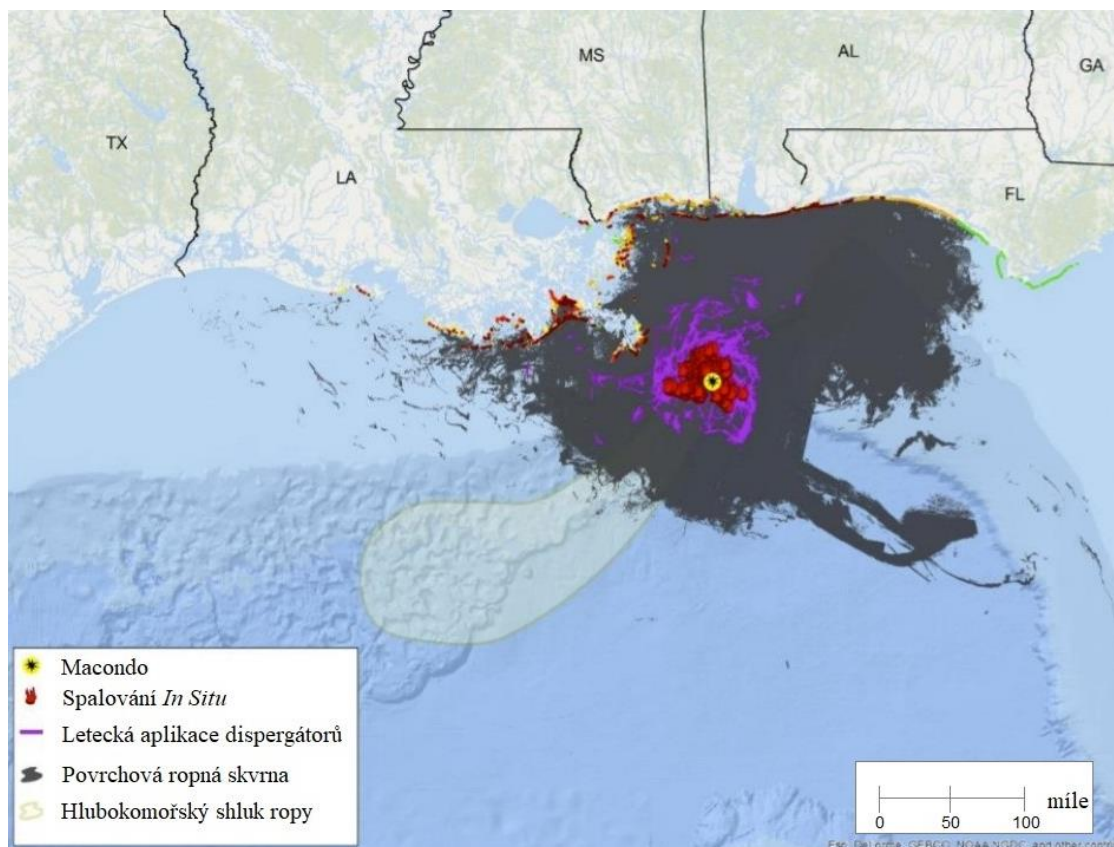
plic se nadechnout a vydechnout. U pracovníků, kteří se podíleli na dekontaminaci, při které používali dispergátory, byla vyzorovaná snižená funkce plic. Podobné výsledky byly zaznamenány i u těch, kteří byli potencionálně vystaveni hořící ropě (Gam a kol. 2018).

Od roku 2010 do roku 2012 celkem 247 osob podstoupilo laboratorní vyšetření, při kterém jim byla odebírána krev. Respondenti studie se skládali z pracovníků potencionálně vystavených ropě a dispergátorům a z jedinců, kteří bydleli v nejméně 160 km daleko od pobřeží Mexického zálivu. Na základě lékařského posouzení bylo zjištěno, že pracovníci měli horší výsledky jaterních testů. Naměřené zvýšené koncentrace alkalické fosfatázy, aspartátaminotransferázy a alaninaminotrasferázy signalizují poškození jater, které mohlo být následkem vdechnutí zdraví škodlivému benzenu (C_6H_6) a fenolu (C_6H_6O) (D'Andrea a Reddy 2013).

4.3.4 Environmentální důsledky

Jakmile se surová ropa dostala z otevřeného vrtu do mořského prostředí, docházelo v důsledku fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických dějů ke změně jejího složení. Většina sloučenin obsažených v uniklé ropě se rozpustily ve vodě, vypařily do atmosféry nebo byly degradovány mikroorganismy. Ostatní méně rozpustné sloučeniny, včetně polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), mohou přetrvávat v prostředí po dlouhou dobu. Unikající surová ropa se rozptylovala do mořské vody ve formě kapiček. Malé kapičky, s větší hustotou než okolní voda, se spolu s výplachovým bahnem ukládaly na mořském dně ve formě ropného povlaku. Velké kapičky, menší hustoty než okolní voda, stoupaly vzhůru a tím došlo k vytvoření ropné skvrny, která pokrývala více než 112 115 km² povrchu vodní hladiny. Použitím dispergačních přípravků na mořském dně se vytvořily malé kapičky stejné hustoty jako okolní voda. Nepotopily se, ani nestoupaly vzhůru, ale zůstaly se vznášet ve vodním sloupci, a tím došlo k vytvoření hlubokomořského shluku, který byl unášen mořskými proudy až 400 km západním a jihozápadním směrem od vrtu (viz obr. 4). Některé z těchto kapiček se se navázaly na hlen produkovaný bakteriemi nebo na bakteriální biomasu a usadily se na mořském dně ve formě hnědého povlaku (NOAA 2016).

Na rozklad povrchové ropné skvrny i ropných látek pokrývajících mořské dno bylo využito 6,9 miliónů l dispergačních látek. Ropné látky na povrchu hladiny byly rovněž spalovány zakládáním kontrolovaných ohňů anebo byly sbírány speciálními plovoucími zařízeními. S cílem zamezit šíření povrchové ropné skvrny k pobřeží byly na vodní hladině nasazeny sorpční norné stěny a podél pobřeží byly vytvořeny písečné hráze (NOAA 2016).



Obr. 4: Mapa Mexického zálivu s vyznačenou ropnou kontaminací.

(zdroj: <https://www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-planning/gulf-plan>, upraveno autor)

Vysvětlivky:

TX: Texas, LA: Louisiana, MS: Mississippi, AL: Alabama, FL: Florida, GA: Georgie

4.3.4.1 Ekosystém mořského dna

Mořské dno Mexického zálivu považované za prostředí s velmi vysokou rozmanitostí a početností bylo havárií významně ovlivněno (NOOA 2016). Nejzávažnější účinky úniku ropy byly pozorovány v oblasti v okruhu 17 km od ústí vrtu. Na odběrných stanovištích byla zjištěna velmi nízká rozmanitost meiobentosu³ a makrobentosu⁴, velmi nízká početnost makrobentosu, zato vysoká početnost meiobentosu s dominancí hlístic (Nematoda) (Montagna a kol. 2013). Montagna a kol. (2013) se domnívají, že tyto změny ve složení společenstva mají původ vysokých koncentrací PAU, celkových ropných uhlovodíků (TPH), barya (Ba), hliníku (Al) a bahna.

³ Meiobentos jsou organismy o velikosti pohybující se od 63 µm do 1 mm, kteří žijí na povrchu dna i pod jeho povrchem (Stratmann a kol. 2020).

⁴ Makrobentos jsou organismy o velikosti pohybující se od 1 mm po 1 cm, kteří žijí na povrchu dna i pod jeho povrchem (Stratmann a kol. 2020).

V srpnu a v září 2010 a v červnu 2017 byly provedeny průzkumy zaměřené na hlubinný megabentos⁵. Na sledování byly vybrány únikem zasažené dvě stanoviště, první vzdálené 500 m severně od vrtu (500 S), druhé vzdálené 2000 m jižně od vrtu (2000 J) a čtyři kontrolní stanoviště v podobných hloubkách. Alfa diverzita byla nejnižší v roce 2010 na stanovišti 500 S a 2000 J. V roce 2017 byla na stanovišti 2000 J a 500 S nejnižší beta diverzita, zato početnost nejvyšší. Sledované taxonomicky homogenní prostředí v roce 2017 bylo způsobené vysokou početností členovců (Arthropoda) s dominancí *Nematocarcinus*, *Glyphocrangon* a *Chaceon quinquedens*. Chyběly zde hlavní tři taxonomické skupiny: hvězdice (Asteroidea), sumýšovci (Sipuncula) a ploštěnci (Platyhelminthes), které byly pozorované na kontrolních stanovištích. McClain a kol. (2019) se domnívají, že členovce přilákaly zvýšené koncentrace ropných uhlovodíků.

Ve vzdálenosti 11 km jihozápadním směrem od vrtu byla v listopadu a prosinci 2010 nalezena korálová společenstva pokrytá ropným povlakem. Koráli patřící do podtřídy osmičetní (Octocorallia) vykazovali různé známky stresu, jako ztráty tkání nebo zvětšení skeletu (White a kol. 2012). Girard a kol. (2018) odhadují, že doba zotavení hlubinných korálových společenství může trvat až 28 let, avšak až 100 let, dokud opět nedorostou zpět do své původní biomasy.

Reakce korálů žijících v hloubkách od 30 do 100 m v šelfovém moři Mexického zálivu na uniklou ropu byla podobná jako u těch, kteří obývají hlubokomořské prostředí. Rozdíly mezi koráli obývajícími odlišné hloubky je ten, že koráli mělkých vod se vyznačují pestrým zbarvením pocházejícím od symbiotických zooxantel a jinými nároky na světlo. Účinky uniklé ropy se u korálů projeví narušením skeletu, změnou barvy nebo ztrátou větví (Beyer a kol. 2016).

Od 2009 až 2017 byl prováděn průzkum rybích společenstev obývajících korálové útesy v šelfovém moři Mexického zálivu. Největší míra úmrtnosti byla zaznamenána v roce 2010 u malých bentofágních druhů. Hustota malých býložravých ryb klesla o 87 % a hustota malých ryb živících se bezobratlými živočichy klesla o 82 %. Pokles hustoty větších ryb nebyl tak závažný. Lewis a kol. (2020) uvádí, že příčinou zvýšené úmrtnosti menších druhů by mohla být úzká vazba na domovský okrsek, jehož plocha bývá pod 10 m². Větší druhy migrovaly, a tím se vyhnuly opětovnému vystavení se PAU v sedimentech. K postupnému navyšování druhů i celkové početnosti docházelo od roku 2011 (Lewis a kol. 2020).

⁵ Megabentos jsou organismy, kteří jsou větší než 1 cm, a žijí na povrchu dna i pod jeho povrchem (Stratmann a kol. 2020).

4.3.4.2 Ekosystém vodního sloupce

Organismy volné vody Mexického zálivu byly vystaveny vysokým koncentracím PAU, které jsou pro ně toxické. Nejvyšší naměřené koncentrace PAU v hlubokomořském shluku vykazovaly hodnotu 0,07 mg/l, ve shluku kapiček stoupajících ke hladině 0,02 mg/l a v povrchové ropné skvrně mezi 1010 a 13 700 mg/l (NOAA 2016).

Cherrier a kol. (2013) zjistili, že uhlík (C) pocházející z ropných uhlovodíků vstoupil do planktonního potravního řetězce. Oxidací methanu (CH₄) methanotrofními bakteriemi vznikl oxid uhličitý (CO₂), který následně fotosynteticky fixovali primární producenti (Cherrier a kol. 2013). V době po uzavření vrtu byla pomocí satelitů měřena fluorescence chlorofylu pro hodnocení celkové biomasy fytoplanktonu (tj. soubor rostlinných organismů vznášejících se ve vodě). Zvýšená koncentrace chlorofylu-a (>1 mg/m³) byla pozorována celý srpen roku 2010 v oblasti přesahující 11 000 km² v severovýchodní části Mexického zálivu. V této oblasti se jedná o nejvyšší hodnoty naměřené v jakémkoliv srpnu od roku 2002. Rovněž bylo zjištěno, že se tato oblast překrývala s oblastí, kde se dříve vyskytovala povrchová ropná skvrna. Ta byla na satelitních snímcích naposledy pozorována 31. července. Chuanmin a kol. (2011) se domnívají, že důvodem zvýšené hodnoty biomasy fytoplanktonu mohlo být zvýšené množství živin v podobě uniklých uhlovodíkových sloučenin.

Průzkumem prováděným od května do srpna 2010 byly zjištěny významné změny ve složení zooplanktonu na dvou odběrných stanovištích vzdálených přibližně 20 km a 30 km od pobřeží města Dauphin Island v Alabamě. Ve srovnání s předchozími pozorováními uskutečněnými v letech 2005 až 2009 došlo převážně v červnu u mnoho taxonů ke zvýšení hustoty populací. Taxony, které nejvíce přispěly ke zvýšení početnosti, byly lasturnatky (Ostracoda), perlůčky (Cladocera) a larvy ostnokožců (Echinodermata). Carassou a kol. (2014) pozorované změny vysvětlují tím, že uzavíráním oblastí pro rybolov v Mexickém zálivu došlo ke zvýšení početnosti velkých rybožravých ryb a tím ke zvýšení predáčního tlaku na menší karnivorní ryby živící se zooplanktonem. S ubývajícím množstvím predátora mohlo dojít ke zvýšení početnosti zooplanktonu. Další možnost vysvětlení spočívá ve zvýšené početnosti bakterií degradujících uniklé uhlovodíky, které sloužily jako kořist pro zooplankton (Carassou a kol. 2014).

Rozsáhlé oblasti volné vody Mexického zálivu obývají různé druhy řas. Negativní dopady uniklé ropy byly zkoumány u hnědé řasy rodu hroznovice (*Sargassum*). Po překrytí stélky ropnou skvrnou následovalo potopení řasy, která představuje útočiště pro mořské juvenilní želvy, ryby a bezobratlé. K zotavení a zvýšení hojnosti došlo až v roce 2011 (Powers a kol. 2013).

K úniku ropy naneštěstí docházelo právě v měsících, kdy se v severním Mexickém zálivu třelo mnoho druhů pelagických ryb. Nepříznivé účinky unikající ropy byly vyzorovány zejména u rybích zárodků. Toxicita se u zárodků projevila srdečním selháním, které vedlo ke vzniku plicního edému. Na základě výzkumů bylo odhaleno, že tyto nežádoucí účinky vyvolávaly především PAU obsažené v uniklé ropě (Incardona a kol. 2013). Vystavení rybích zárodků a larev PAU ovlivnilo i jejich plavecký výkon, který byl výrazně zhoršen (Mager a kol. 2014).

4.3.4.3 Pobřežní ekosystémy

I přes snahy zamezit dalšímu šíření ropy pomocí plovoucích bariér se ropná skvrna působením větru a mořských proudů postupně dostávala směrem k pobřežnímu pásmu (Beyer a kol. 2016). Vysoce degradovaná ropa se usazovala v pobřežních sedimentech anebo se sdružovala ve formě pěny na povrchu vody (Kimes a kol. 2014). Celkově bylo kontaminováno přes 2100 km pobřeží, které spadá pod Louisianu, Mississippi, Alabamu a Floridu. Z 96 % se jednalo o pláže anebo močály. Zvětralé dehtové koule přítomné ve slaniscích způsobily oslabení spodní vrstvy půdy. Takto oslabený ekosystém se stal mnohem náchylnější k erozi. S cílem vrátit slaniska a močály do původního stavu bylo uspořádáno nespočet záchranných operací. Docházelo k proplachování bažinaté vegetace, k posekání a následně zlikvidování vegetace pokryté ropou, k sanaci zeminy a použití sorbentů k odstranění ropy (Beyer a kol. 2016).

Nejvyšší koncentrace PAU byly naměřeny v mokřadech delty Mississippi na území Louisiany, a to 24 mg/l v půdě a 13,5 mg/l v sedimentech na dně mokřadů. Na nejvíce zasažených místech vysoké koncentrace PAU přetrvávaly až do podzimu 2013 (Rouhani a kol. 2017).

Nepříznivé účinky ropy byly vyzorovány u dírkonožců (Foraminifera), jejichž stanovištěm byly zasažené močály. Jednalo se o strukturální změny buněčných membrán, narušení reprodukční schopnosti a omezení améboidního pohybu. Po vystavení dírkonožců vysokým koncentracím PAU (5–18 mg/l) docházelo k deformaci schránek nebo až ke smrti jedince (Brunner a kol. 2013).

V rámci činností, které měly zamezit šíření ropných látek k pobřeží, byly rovněž otevřeny hráze na řece Mississippi. Prouděním sladké vody do slaných pobřežních biotopů došlo k usmrcení ústřic. Odhaduje se, že ztráty čítají 4 až 8,3 miliardy ústřic. Nejvýraznější změny v početnosti byly pozorovány v zálivech Bataria Bay a Black Bay (NOAA 2016).

Přítomnost dehtových koulí v písku vyvolala změny ve struktuře společenstva složeného z eukaryotických mikroorganismů. Plážové sedimenty původně obývala především živočišná říše s dominancí hlístic, kroužkoců (Annelida) a členoců. Hlístice se vyznačovaly svou vysokou rozmanitostí a rovnoměrností druhů. Jakmile se ropa dostala až na pobřeží, začala v sedimentech převládat druhově málo bohatá houbová společenství s dominancí hub degradujících uhlovodíky. Společenstvo hlístic bylo složeno zejména z jedinců žijících dravým způsobem života a jedinců živící se mrtvými organismy (Bik a kol. 2012).

4.3.4.4 Ptáci

Ptáci jsou důležitou složkou ekosystému Mexického zálivu. Vodní ptactvo Mexického zálivu využívá různé typy stanovišť, včetně otevřené vody, zátok, močálů a pláží, v různých životních a migračních stádiích. Pro mnoho druhů slouží v létě jako hnízdiště, na podzim jako zimoviště a na jaře jsou migrujícími ptáky využívány jako odpočinkové zastávky. Ptáci byli vystaveni ropě různými způsoby. Účinky požití ropy se projevily narušením reprodukční funkce, anémií, sníženou imunitou, onemocněním jater a zažívacího ústrojí, a srdeční abnormalitou. Pokrytím ropy těla ptáků došlo k poškození peří, a tím k narušením schopnosti letu a termoregulace (NOAA 2016).

Celkově bylo vládou agenturou U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) zaznamenáno od května do října 2010 7229 ptačích úmrtí. Velmi často se jednalo o racky atlantské (*Leucophaeus atricilla*) a pelikány hnědé (*Pelecanus occidentalis*). Největší koncentrace mrtvých ptačích těl byly zaznamenány podél pobřeží Louisiany, Alabamy a Floridy (Tran a kol. 2013). Odhaduje se, že celkový počet ptačích úmrtí je 51 600 až 84 500 (NOAA 2016).

4.3.4.5 Želvy

Mořské želvy obývají jak mořské, tak suchozemské prostředí. Během svého života využívají stanoviště ke kladení vajec, hledání potravy, krmení, rozmnožování nebo jako útočiště. Fyzické znečištění ropným povlakem jim znemožňovalo pohyb, potápět se a obstarávat si potravu. Účinky vystavení se ropě se projevily dehydratací, hypertermií, onemocněním jater a zažívacího ústrojí, a sníženou funkcí plic (NOAA 2016).

Umírání želv představuje vážné riziko, protože v Mexickém zálivu žije pouze 5 druhů a všechny jsou uvedené v červeném seznamu vydávaným Mezinárodním svazem ochrany přírody (IUCN). Kareta menší (*Lepidochelys kempii*) a kareta pravá (*Eretmochelys imbricata*) jsou označovány jako kriticky ohrožené, kareta obrovská (*Chelonia mydas*) jako ohrožená, kareta obecná a kožatka velká (*Dermochelys coriacea*) jako zranitelné (Beyer a kol. 2016;

IUCN 2021). Protože se kareta menší rozmnožuje pouze v Mexickém zálivu, únik ropy v takovém měřítku ohrozil přežití tohoto chráněného druhu. Drtivá většina nalezených mrtvých želv vyplavených na břeh anebo plovoucích na hladině byla právě tento druh (Campagna a kol. 2011).

Celkově je odhadováno, že v důsledku úniku ropy a následných ochranných opatření, včetně čištění pláží, bagrování, zvýšené lodní dopravy a nadměrného nočního osvětlení, zemřelo 4 900 až 7 600 velkých juvenilních a dospělých želv a 55 000 až 160 000 malých juvenilních žel (NOAA 2016).

4.3.4.6 Mořští savci

V Mexickém zálivu se vyskytuje 22 druhů mořských savců, včetně delfínů, velryb a kapustňáků. Jejich stanovištěm jsou zátoky, ústí řek, kontinentální šelfové vody a hlubokomořské vody. Všichni mořští savci Mexického zálivu jsou chráněni zákonem o ochraně mořských savců (MMPA) platným od roku 1972 (NOAA 2016).

Od ledna do dubna roku 2011 bylo na pobřeží státu Louisiana, Mississippi, Alabama a Florida nalezeno 186 mrtvých delfínů skákavých (*Tursiops truncatus*). Smrt delfínů pravděpodobně způsobilo v roce 2010 dlouho trvající chladné počasí a únik ropy. S cílem určit příčiny uhynutí delfínů byla v létě 2011 provedena vědeckou vládni agenturou National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pitva delfínů skákavých nalezených v zálivu Barataria Bay v Louisianě. Výsledky úkonu ukázaly, že mnoho jedinců trpělo podváhou a chudokrevností (Carmichael a kol. 2012).

Ze silně kontaminovaného zálivu nazývaného Barataria Bay bylo v srpnu 2011 odebráno 32 delfínů skákavých. Aby mohlo dojít k posouzení účinků vystavení se ropě, bylo v květnu roku 2010 a květu 2011 dočasně zajato i 27 delfínů skákavých ze Sarasota Bay. Tento záliv nacházející se u Floridy ale nebyl únikem ropy nijak ovlivněn. Výsledky zdravotního vyšetření delfínů z Barataria Bay nebyly dobré. U některých z jedinců byly zjištěny různé záněty, podváha, hypoglykémie a chudokrevnost. Plicní onemocnění postihující plicní intersticiu a plicní sklípky se vyskytovalo u této skupiny jedinců až 5x častěji než u delfínů ze Sarasota Bay. Toto zjištění potvrzují mnohé studie, které upozorňují, že vystavení ropě požitím nebo vdechováním, může zapříčinit snížení funkce plic, chronickou bronchitidu anebo zánětlivé onemocnění (Schwacke a kol. 2013).

5 Havárie v České republice

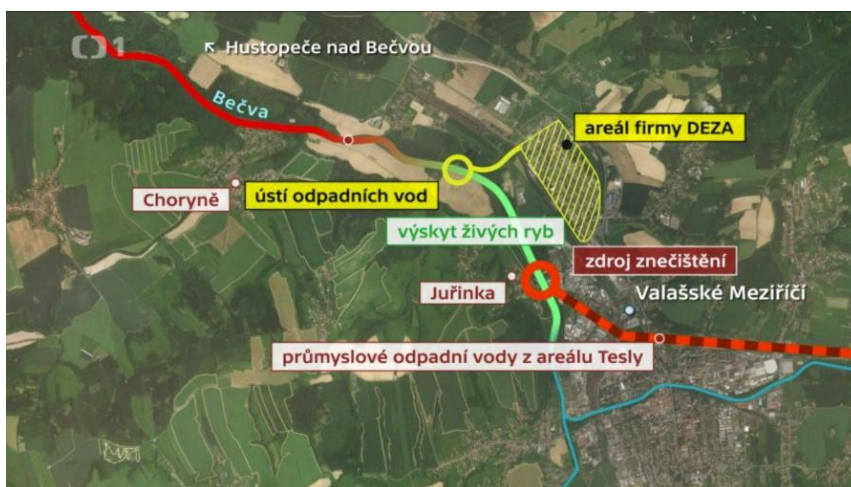
Od 20. století se na území České republiky událo mnoho závažných havárií, které ohrožily zdraví a životy lidí a rovněž měly dopad na životní prostředí. Jedná se například o následující události: únik kyanidů do řeky Jihlavy z národního podniku Tona Jihlava, únik kyanidů do řeky Labe z Lučebního závodu Draslovka a. s. Kolín a únik ropy z ropovodu Družba u obce Bartoušov. Avšak v rámci své práce jsem se rozhodla pouze pro jednu konkrétní, a tou je jedna z velmi diskutovaných a svým rozsahem největších ekologických katastrof posledních let na našem území, kdy došlo k úniku toxických látek do řeky Bečvy, jež mělo za následek obrovský úhyn ryb.

5.1 Únik kyanidů do řeky Bečvy

V neděli 20. září 2020 došlo k závažné ekologické havárii na řece Bečvě. Kontaminační mrak postupoval od Choryně až do Přerova, kde se v nadjezí zastavil (Nastoupilová 2020a). Celkově byl zasažen úsek dlouhý přes 30 km (MŽP 2020a).

První otrávené ryby našli rybáři v 10:30 1 km od mostu v Choryni. Událost byla nahlášena jednatelem místní organizace Českého rybářského svazu (ČRS) Choryně v 11:30 na Policii ČR (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021). Ten den se mrtvé ryby objevovaly v úseku Hustopeče nad Bečvou až po Teplice nad Bečvou. Na úklidu se podíleli rybáři, členové hasičského záchranného sboru (HZS) ale i dobrovolníci (ČRS 2020b). Jelikož byl průtok vody v Bečvě velmi nízký, bylo po konzultaci vodoprávního úřadu Hranice s vodohospodářským dispečinkem Povodí Moravy rozhodnuto k nadlepšení průtoku upouštěním z vodní nádrže Bystřička s cílem snížit koncentraci uniklé látky (Povodí Moravy 2021). Následující den se mrtvé ryby nacházely už u města Hranice. Uhynulé ryby odváželi členové ČRS do veterinárního asanačního podniku v Mankovicích. Ve středu 23. září probíhal sběr i v Přerově. Likvidace ryb nadále přetrvávala až do 25. září, kdy byla ukončena prudkým deštěm (ČRS 2020b).

V úterý 29. září 2020 policie zpřístupnila veřejnosti informaci o tom, že identifikovala výpusť, ze které vytekla nebezpečná látka (kyanid) do řeky Bečvy (Jaroš 2020). O dva dny později ministr životního prostředí Richard Brabec a ředitel České inspekce životního prostředí (ČIŽP) Radek Pallós na tiskové zprávě uvedli, že se jedná o 13 km dlouhý kanál, na který je napojeno mnoho společností sídlících v areálu bývalé Tesly Rožnov (viz obr. 5) (MŽP 2020a). Vyústění tzv. „rožnovského kanálu“ se nachází u obce Juřinka, která spadá pod Valašské Meziříčí (Patočka a Vlasatá 2020).



Obr. 5: Mapa řeky Bečvy s vyznačenými výustěmi průmyslových závodů

(zdroj: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3263768-reporteri-ct-vinik-otravy-becvy-uz-je-znamy-deza-neni-uvvedl-znalec>)

Monitoring toku Bečva byl prováděn ČIŽP a Povodí Moravy. Odebrané vzorky vody byly v průběhu času analyzovány na přítomnost kyanidů, jejichž koncentrace se vrátila do běžné hodnoty 1. října (Nastoupilová 2020a; MŽP 2020a). V tento den proto Městský úřad Hranice zrušil varování týkající se vstupu obyvatel i jejich psů do řeky (Město Hranice 2020).

Únik škodlivých látek do řeky Bečvy, který proběhl 20. září, nebyl ale ojedinělý. K dalším incidentům došlo 27. října, 24. listopadu a 2. prosince toho stejného roku (Nastoupilová 2020e; Nastoupilová 2020f; ČIŽP 2020). V říjnu se únik látek projevil výskytem pěny v místě vyústění odpadních vod z areálu Tesla Rožnov ve Valašském Meziříčí – Juřince (Nastoupilová 2020e). Rozbory vody provedené akreditovanými laboratořemi prokázaly zvýšené množství niklu (Nastoupilová 2020c). Výskyt pěny se opakovale na tom stejném místě i v listopadu. Tentokrát byl ve vzorcích zjištěn dusitan (Nastoupilová 2020b). V prosinci se u toho stejného kanálu v řece objevil gel a pár uhynulých ryb. Po rozboru vzorků bylo ale zjištěno, že naměřené hodnoty látek nepřekračovaly limity, které jsou povolené k vypouštění do odpadních vod (Nastoupilová 2020d).

V důsledku havárie vznikly územnímu svazu ČRS škody až několik desítek miliónů. Veškeré náklady spojené s úklidem a odvozem uhynulých ryb do asanačního podniku musel uhradit právě rybářský svaz (ČRS 2020b). Proto Ministerstvo zemědělství ČR pro něj vytvořilo dotační program, ze kterého bude moct každoročně čerpat 750 tisíc korun po dobu deseti let

(Bílý 2020). Český rybářský svaz, jakožto uživatel mnoha rybářských revírů na řece Bečvě, má také zarybnovací povinnost (ČRS 2020b). Pomoc ČRS poskytl státní podnik Povodí Moravy formou propůjčení pěti vodních nádrží, které budou sloužit k odchovu ryb. Ty se později vysadí do zasažených revírů (Bílý 2020). Za účelem vybrat finanční prostředky na revitalizaci zasažené Bečvy zřídil 2. října 2020 ČRS transparentní účet (ČRS 2020b). O měsíc později bylo na účtu vybráno více než 450 tisíc korun (ČRS 2020a).

5.1.1 Průběh vyšetřování

Potom, co byla havárie v osudný den nahlášena na policii, se příslušníci HZS Valašské Meziříčí dostavili k mostu v Choryni. Vzorek vody a 7 kusů uhynulých ryb byly odebrány v 17:20 a následně předány pracovníku vodoprávního úřadu, tj. odboru životního prostředí Městského úřadu Valašského Meziříčí. Další odběr vzorků z toku byl proveden výjezdní skupinou chemické laboratoře z Frenštátu pod Radhoštěm po 17. hodině nad soutokem Juhyně a Bečvy, pod lávkou ve Lhotce nad Bečvou a v úseku od Ústí až do Hranic. V Hranicích a Lipníku nad Bečvou odebírali vzorky taktéž příslušníci HZS, kteří je posléze předali členům chemické laboratoře (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021).

Mezitím inspektor Oblastního inspektorátu ČIŽP Olomouc vedl šetření v Hustopečích nad Bečvou, při kterém byl proveden odběr vzorků vody. Posléze se přesunul k mostu přes řeku Bečvu v Ústí, kde za pomoci pracovnice vodoprávního úřadu, tj. odboru stavebního úřadu, životního prostředí a dopravy Městského úřadu Hranice, byl odebrán další vzorek. Po provedení monitoringu bezobratlých živočichů inspektor ukončil šetření v 17. hodin v Hustopečích nad Bečvou (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021).

K identifikaci uniklé látky došlo ve čtvrtek 24. září (ČRS 2020b). Na základě laboratorních analýz provedených laboratoří HZS Moravskoslezského kraje, Frenštát pod Radhoštěm, bylo zjištěno, že se jedná o kyanidy (Nastoupilová 2020a).

V rámci šetření případu přizvala policie znalce k vypracování znaleckého posudku. Lhůta na jeho zpracování byla stanovena na tři měsíce, tzn. do 20. prosince 2020 (Jaroš 2020). Z důvodu prodloužení lhůty došlo k vyhotovení znaleckého posudku 3. května 2021 (Česká televize 2021b). O měsíc později zahájila policie trestní stíhání vůči členu představenstva společnosti Energoaqua a samotné společnosti z důvodu poškození a ohrožení životního prostředí a neoprávněného nakládání s chráněnými volně žijícími živočichy a planě rostoucími rostlinami. Jedná se o společnost spravující areál bývalé Tesly Rožnov (Česká televize 2021a).

5.1.2 Příčiny havárie

Případ je stále projednáván v trestním řízení i v listopadu 2022. Příčiny havárie tedy dosud nejsou známi, a proto jsou v tomto oddíle rozebírány pochybení orgánů zapojených do vyšetřování.

Z důvodu zdlouhavého policejního vyšetřování bez zjištěného původce havárie, byla dne 21. dubna 2021 poslaneckou sněmovnou zřízena vyšetřovací komise, jejichž cílem bylo přezkoumat postup orgánů, které byly zapojené do šetření (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021).

Zvolené postupy ČIŽP a vodoprávních úřadů byly komisí zkritizovány. Podle komise pochybil inspektor Oblastního inspektorátu ČIŽP Brno z důvodu nezapojení se do místního šetření v den havárie. Ve své závěrečné zprávě vyjádřila rovněž pochybení, které spatřila v nedostatku odebraných vzorků. Ty, v den havárie, nebyly odebrány z rizikových vyústění průmyslových závodů, jako je DEZA nebo areál bývalé Tesly Rožnov (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021).

Vyšetřovací komise zkritizovala také postup orgánů při odebírání vzorků, které podle ní nebyly odebrány včas. K odběrům došlo až potom, co započalo odpouštění vody z vodní nádrže Bystřička (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021). Rozhodnutí o nadlepšení toku později zpochybnil i docent Martin Rulík, který působí jako hydrobiolog. Podle jeho názoru toto rozhodnutí snížilo možnost určit skutečnou koncentraci kyanidů a také mohlo zabránit k odběru organismů žijících na dně toku (Rulík 2020).

V závěru zprávy komise upozornila na potřebu digitalizovat evidenci kanalizačních soustav a vytvořit tak jednotný registr potencionálních zdrojů znečištění. Zmínila rovněž nutnost vypracovat metodické pokyny pro jednotlivé instituce pro případ, že dojde ke znečištění toku látkou, kterou nelze senzoricky pozorovat (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021).

V reakci na havárii tak Ministerstvo životního prostředí ČR připravilo novelu vodního zákona, ve které jsou jednoznačně stanoveny kompetence jednotlivých institucí (MŽP 2021b).

5.1.3 Ohrožení lidského zdraví

Z důvodu stále probíhajícího vyšetřování informace o uniklém množství kyanidů, naměřených koncentracích ani jaké sloučeniny kyanidů byly v řece zjištěny, nejsou dosud veřejnosti známi.

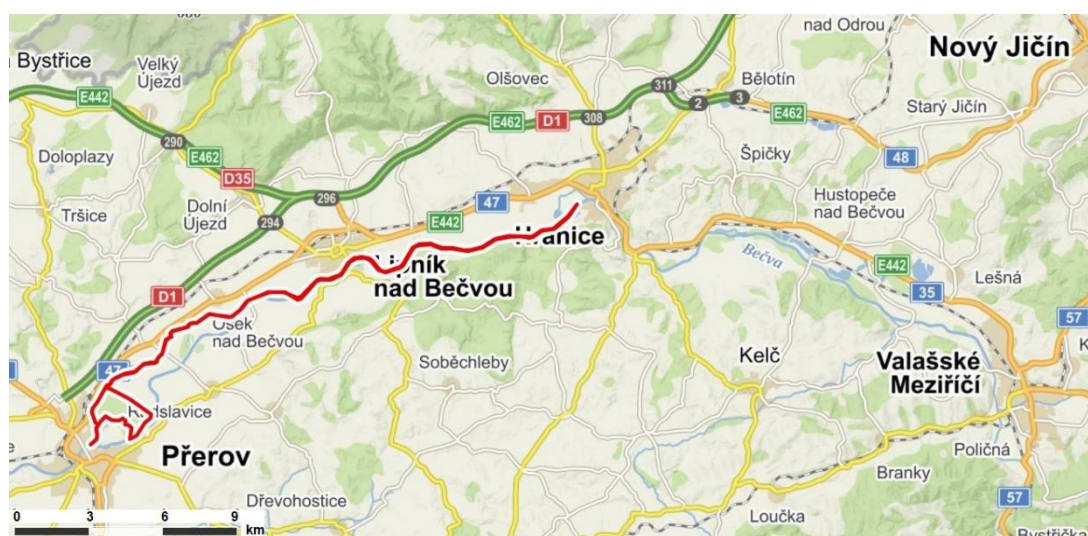
Kyanidy se mohou ve vodách vyskytovat negativním působením lidské činnosti. Bývají ve formě jednoduchých (volných) nebo komplexních kyanidů. Jednoduché kyanidy jsou vysoce

toxické. Nejnebezpečnější sloučeninou je kyanovodík, který se z vodního prostředí velmi snadno vypařuje (Pitter 2015). Bezprostředně po vniknutí malého množství této látky do organismu se projeví akutní účinek, kterým může být i smrt (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008).

Lidé podílející se v prvních dnech po havárii na úklidu ryb nebo obyvatelstvo zasažených oblastí trávicí čas v blízkosti Bečvy, tak mohli být pravděpodobně vystaveni těmto zdraví škodlivým látkám.

5.1.4 Environmentální důsledky

Řeka Bečva je mimopstruhový tok⁶, který vzniká soutokem Vsetínské a Rožnovské Bečvy u Valašského Meziříčí a ústí do řeky Moravy (Kestřánek a kol. 1984). Přestože celé koryto bylo v minulosti regulováno a zahlubováno, na některých úsecích tok přirozeně meandruje (Kolektiv autorů 2013). Příkladem zachovalého toku je úsek od Hranic po Přerov, kde leží evropsky významná lokalita Bečva – Žebračka (viz obr. 6), jejichž předmětem ochrany jsou chráněné druhy živočichů jako hrouzek Kesslerův (*Gobio kesslerii* / *Romanogobio banaticus*) nebo velevrub tupý (*Unio crassus*) (AOPK nedatováno).



Obr. 6: Mapa s červeně vyznačenou evropsky významnou lokalitou Bečvou – Žebračkou (zdroj: www.mapy.cz, upraveno autor)

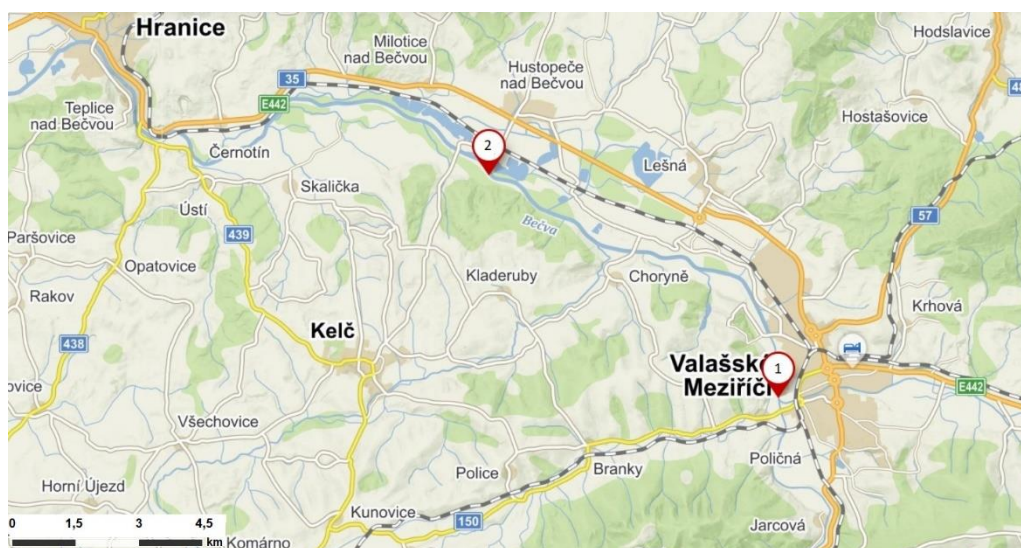
Součástí evropsky významné lokality Bečvy – Žebračky je náhon Strhanec, který je jednou z nejrozsáhlejších lokalit, kde se vyskytuje velevrub tupý (AOPK 2020). Odborníci z Agentury ochrany přírody a krajiny (AOPK) na tomto území provedli monitoring vodních

⁶ Mimopstruhové toky jsou dolní a střední úseky tekoucích vod zahrnující cejnová, parmová a lipanová rybí pásma (MRS © 2010).

měkkýšů 14., 17. a 29. listopadu 2020. Jelikož byl náhon Strhanec ve vhodné době odstaven od řeky Bečvy, zabránilo se tak kontaminaci a populace velevruba tupého tak na této lokalitě nebyla ovlivněna (Pavlíčko 2020).

Významným dopadem havárie byl masivní úhyn ryb. Celkově bylo do veterinárního asanačního podniku dovezeno 39,24 t ryb. Úmrtí postihlo zejména jedince parmy obecné (*Barbus barbus*) a ostrorečky stěhovavé (*Chondrostoma nasus*) (ČRS 2020b). Akutní účinek otravy se projevil změnou chování ryb a jejich následným vyskakováním nad hladinu vody (Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Bečvě 2021). Poškození organismu v důsledku otravy spočívalo v blokaci buněčného dýchání, která zapříčinila následnou smrt (Eisler 1991).

S cílem posoudit stav společenstva ryb a makrozoobentosu (tj. soubor živočišných organismů žijících na dně) byl 25. září 2020 proveden průzkum. Terénní šetření probíhala v úseku nad zdrojem úniku a v úseku ovlivněném otravou (viz obr. 7). V zasaženém úseku byla zjištěna menší druhová pestrost ryb (pouze 3 druhy), ale i snížená početnost (10 kusů ryb) v porovnání s nezasaženým tokem (7 druhů ryb o celkové početnosti 110 kusů). Havárie postihla i populace makrozoobentosu. Početnost byla v zasaženém úseku až desetinásobně nižší a hodnoty biomasy až šestnáctinásobně. V zasaženém úseku bylo zjištěno 7 taxonů makrozoobentosu, zatímco v nezasaženém úseku až 19 taxonů. Jurajda a Adámek (2020) tvrdí, že otravu přežili ti jedinci, kteří jsou schopni se vyskytovat ve znečištěných vodách anebo se stihli schovat u břehu nebo na dně toku.



Obr. 7: Mapa s lokalitami průzkumu. Lokalita č. 1 je referenční a lokalita č. 2 se nachází v otravou zasaženém úseku (zdroj: www.mapy.cz, upraveno autor)

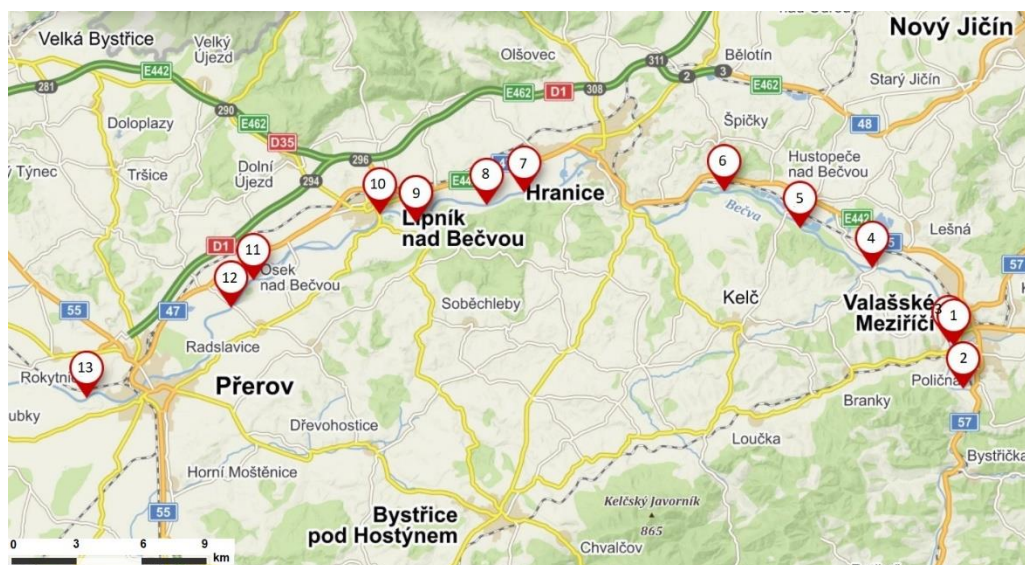
Další ichtyologické a hydrobiologické průzkumy probíhaly kvůli vysokým průtokům až 13., 14. a 15. listopadu. Kvantitativní posouzení společenstva fytozobentosu (tj. soubor rostlinných organismů žijících na dně), makrozoobentosu a ryb probíhalo na 13 vybraných lokalitách, z toho první 3 byly referenční (viz obr. 8; obr. 9). Výsledkem monitoringu byla od lokality 5 v Hustopečích nad Bečvou zjištěna snížená početnost fytozobentosu. Z důvodu pozdní doby jeho provedení podle Jurajdy a kol. (2020) nelze jednoznačně určit, jestli se jedná o přímý dopad havárie nebo následek zvýšených průtoků.

Snížená početnost byla vyzorována rovněž u makrozoobentosu. Lokality s nejnižšími hodnotami početnosti byly Lipník nad Bečvou a Hustopeče nad Bečvou. Dohromady bylo zachyceno 48 taxonů vodních bezobratlých, z nichž byly dominantní larvy chrostíka *Hydropsyche cf. Angustipennis*, larvy muchniček (Simuliidae) a larvy jepic *Potamanthus luteus*. Pokles taxonomické bohatosti makrozoobentosu byl pozorován na lokalitě 5 v Hustopečích nad Bečvou. Na tomto nejvíce otravou zasaženém úseku postupem času docházelo k navyšování taxonů. Dne 9. října bylo zachyceno 15 taxonů v porovnání se 7 taxony zjištěných 25. září (Jurajda a kol. 2020).

Během ichtyologických průzkumů bylo determinováno 19 druhů ryb. Na lokalitě 5 v Hustopečích nad Bečvou byl zaznamenán pouze 1 druh. Jednalo se o plůdky ostroretky stěhovavé (*Chondrostoma nasus*), kteří měli pravděpodobně původ z říjnového vysazení. Početnost i biomasa dospělých ryb v zasažených úsecích byla v porovnání s nezasaženými snížena, v Hustopečích nad Bečvou dokonce nulová. Z důvodu schování se plůdků do míst podél břehu se havárie projevila negativně zejména u starších ryb. Jurajda a kol. (2020) uvádí, že pozdní termíny průzkumů by mohly mít vliv na zaznamenané nižší hodnoty početnosti a biomasy. Průzkumy byly provedeny v době, kdy se již část rybího společenstva v rámci sezónní migrace přesunula do nižších poloh.

Průzkum byl rovněž zaměřen na ochranně významné druhy. Jedním ze sledovaných druhů byla ze zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, silně ohrožená ouklejka pruhovaná. Od lokality 4 v Choryni byl vyzorován výrazný pokles hustoty jak dospělých jedinců, tak plůdků. Dalším sledovaným druhem byl hrouzek Kesslerův (*Gobio kesslerii* / *Romanogobio banaticus*), který je zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, označován jako kriticky ohrožený. Během průzkumu nebyl na žádné lokalitě nalezen (Jurajda a kol. 2020). Jeho poslední výskyt v řece Bečvě byl potvrzen v roce 2019 (AOPK © 2006–2022). Proto je obtížné určit, jaký vliv měla havárie na tento druh. Posledními sledovanými ze zákona chráněnými druhy byli mník jednovousý (*Lota lota*), střevle potoční

(*Phoxinus phoxinus*) a hořavka duhová (*Rhodeus amarus*). Vliv havárie na tyto druhy nebyl prokázán (Jurajda a kol. 2020).



Obr. 8: Mapa sledovaných lokalit v listopadovém průzkumu

(zdroj: www.mapy.cz, upraveno autor)

| č. | tok | místo | lokalita | GPS |
|----|-------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | Rožn. Bečva | Valašské Meziříčí | nad ústím | 49.4696814N, 17.9575556E |
| 2 | Vset. Bečva | Jarcová | pod balvanitým skuzem | 49.4520981N, 17.9636872E |
| 3 | Bečva | Val. Meziříčí | pod soutokem | 49.4709817N, 17.9543583E |
| 4 | Bečva | Choryně | pod balvanitým skuzem | 49.5018158N, 17.9056281E |
| 5 | Bečva | Hustopeče n/B. | pod peřejí | 49.5179658N, 17.8601297E |
| 6 | Bečva | Kamenec | pod balvanitým skuzem | 49.5330589N, 17.8118903E |
| 7 | Bečva | Rybáře | pod peřejí | 49.5326228N, 17.6849936E |
| 8 | Bečva | Zadní Familie | pod balvanitým skuzem | 49.5276353N, 17.6615753E |
| 9 | Bečva | Týn n/B | pod a nad balv. skuzem | 49.5202861N, 17.6163828E |
| 10 | Bečva | Lipník n/B | u silničního mostu | 49.5237386N, 17.5935544E |
| 11 | Bečva | Osek | meandry | 49.4966378N, 17.5137400E |
| 12 | Bečva | Grymov | pod balvanitým skuzem | 49.4853547N, 17.4994867E |
| 13 | Bečva | Dluhonice | pod jezem | 49.4480158N, 17.4078450E |

Obr. 9: Přesná místa odlovů a sběru vzorků v listopadovém průzkumu

(zdroj: <https://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/aopk-cr-informuje/aktuality/prubezna-zprava-ze-sledovani-biodiverzity-reky-becvy/>)

Závěr

Bakalářská práce je zpracována formou literární rešerše. Shrnuje nynější poznatky o příčinách a dopadech vybraných havárií 20. a 21. století. Popisovanými haváriemi jsou únik nebezpečných chemických látek z bhópálského závodu, výbuch v Černobylské jaderné elektrárně, výbuch na plošině Deepwater Horizon a únik kyanidů do řeky Bečvy.

Výsledkem analýzy bhópálské havárie byly dvě odlišné verze objasňující vznik havárie. Podle první verze byla lidská nedbalost při čištění potrubí příčinou vniknutí vody do nádrže. Podle druhé verze, která je výsledkem vyšetřování sponzorovaného společností UCC, k havárii došlo kvůli úmyslnému připojení hadice s proudící vodou k nádrži, které provedl nespokojený zaměstnanec. Příčinou havárií v Černobyli a na plošině Deepwater Horizon bylo úplné selhání lidského faktoru. Bezpečnostní pravidla a předpisy nebyly dodržovány a rovněž došlo k mnoho dalším chybám ze strany zaměstnanců. Události ovlivnil i vadný technický stav zařízení. Příčiny úniku kyanidů do řeky Bečvy ještě doposud nejsou veřejnosti známi z důvodu stále probíhajícího trestního řízení.

V důsledku havárií došlo k vážnému ohrožení zdraví a životů osob. Nebezpečné látky, které unikly při bhópálské havárii, byly vysoce toxické. Podle odhadů bylo plynem zasaženo okolo 520 tisíc lidí a celkový počet obětí je odhadován na 1408 až 20 000 (Eckerman 2005). U zasažených se projevovaly respirační onemocnění, neurologické onemocnění a psychické problémy. Uniklé látky rovněž způsobovaly podráždění očí a poškození plodu v těle matky. Únik radionuklidů při černobylské havárii představoval velké nebezpečí zejména pro zaměstnance elektrárny a obyvatele nejvíce kontaminovaných oblastí, které se nacházely na území bývalého SSSR. Na nemoc z ozáření zemřelo při havárii 31 zaměstnanců elektrárny a pracovníků zapojených do záchranných prací (Kroupa a Říha 2010). Vystavení se ionizujícímu záření se projevilo u některých jedinců zejména radiačním poškozením kůže, výskytem kardiovaskulárních onemocnění, výskytem rakoviny štítné žlázy a psychickými problémy. Výbuch na plošině Deepwater Horizon si vyžádal 11 obětí (Boebert a Blossom 2016). Havárie měla vliv na psychické zdraví obyvatel zasažených oblastí, lidí pracujících v rybářském a ropném průmyslu a pracovníků pohostinských služeb. Pracovníci zapojení do čistících operací hlásili podráždění dýchacích cest, očí a kůže. Únik kyanidů do řeky Bečvy nezpůsobil žádné poškození lidského zdraví.

Všechny havárie měly dalekosáhlý vliv na životní prostředí. Při bhópálské havárii došlo k dlouhodobé kontaminaci půdy v areálu závodu a v jeho nejbližším okolí, a podzemních vod.

Při černobylské havárii byli nejvíce zasaženi organismy vyskytující se v blízkosti elektrárny. Následkem ozáření jich velké množství uhynulo. Z důvodu vyšší radiace je dodnes vstup do Uzávěřené zóny Černobylské jaderné elektrárny a do Poleské státní radiačně-ekologické rezervace regulován. Havárie na plošině Deepwater Horizon zasáhla ekosystém mořského dna, ekosystém vodního sloupce i pobřežní ekosystémy. Vystavení se organismů ropě a dispergátorům se projevilo vysokou úmrtností a snížením biodiverzity. Únik kyanidů do řeky Bečvy způsobil úhyn ryb, fytozobentosu a makrozoobentosu.

Seznam jednotek

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| cm | centimetr (délka) |
| cm ³ | centimetr krychlový (objem) |
| EBq | exabecquerel (aktivita) |
| Gy | gray (absorbovaná dávka) |
| g | gram (hmotnost) |
| kBq | kilobecquerel (aktivita) |
| kg | kilogram (hmotnost) |
| km | kilometr (délka) |
| km ² | kilometr čtvereční (obsah) |
| l | litr (objem) |
| m | metr (délka) |
| m ² | metr čtvereční (obsah) |
| m ³ | metr krychlový (objem) |
| mg | miligram (hmotnost) |
| mm | milimetr (délka) |
| MW | megawatt (výkon) |
| t | tuna (hmotnost) |
| μm | mikrometr (délka) |

Seznam chemických značek a chemických vzorců

| | |
|--|-----------------------------------|
| Al | hliník |
| B | bór |
| Ba | baryum |
| B ₄ C | karbid bóru |
| C | uhlík |
| CCl ₂ O | karbonylchlorid |
| C ₂ Cl ₆ | hexachlorethan |
| C ₄ Cl ₆ | hexachlorbutadien |
| C ₆ Cl ₆ | hexachlorbenzen |
| Cd | kadmium |
| CH ₄ | methan |
| C ₂ H ₃ NO | methylisokyanát |
| C ₆ H ₄ Cl ₂ | 1,2-dichlorbenzen |
| C ₆ H ₅ Cl | chlorbenzen |
| C ₆ H ₆ | benzen |
| C ₆ H ₆ Cl ₆ | α-, β-, γ-, δ-hexachlorcyklohexan |
| C ₆ H ₆ O | fenol |
| C ₇ H ₁₄ N ₂ O ₂ S | aldikarb |
| C ₁₀ H ₇ OH | α-naftol |
| C ₁₂ H ₁₁ NO ₂ | karbaryl |
| CO ₂ | oxid uhličitý |
| Cr | chróm |
| ¹³⁷ Cs | ceziom-137 |
| Cu | měď |
| HCN | kyanovodík |
| Hg | rtuť |
| I | jód |
| ¹³¹ I | jód-131 |
| KI | jodid draselný |
| Na ₂ S ₂ O ₃ | thiosíran sodný |

| | |
|------------------|----------|
| Ni | nikl |
| O | kyslík |
| Pb | olovo |
| ²³⁵ U | uran-235 |
| ²³⁸ U | uran-238 |
| Zn | zinek |

Seznam zkratek

| | |
|--------|---|
| 500 S | 500 m severně od vrtu |
| 2000 J | 2000 m jižně od vrtu |
| AOPK | Agentura ochrany přírody a krajiny |
| BOP | bezpečnostní preventr |
| BP | British Petroleum |
| CSE | Centre for Science and Environment |
| CSIR | Council for Scientific and Industrial Research |
| ČIŽP | Česká inspekce životního prostředí |
| ČRS | Český rybářský svaz |
| HZS | Hasičský záchranný sbor |
| IARC | International Agency for Research on Cancer |
| INES | The International Nuclear Event Scale |
| IUCN | International Union for Conservation of Nature |
| MMPA | The Marine Mammal Protection Act |
| MMS | Minerals Management Service |
| NEERI | National Environmental Engineering Research Institute |
| PAU | polycyklické aromatické uhlovodíky |
| PSI | People's Science institute |
| RBMK | Reaktor Bolšoj Moščnosti Kanalnyj |
| SSSR | Svaz sovětských socialistických republik |
| TPH | total petroleum hydrocarbons |
| UCC | Union Carbide Corporation |
| UCIL | Union Carbide India Limited |
| USFWS | U.S. Fish and Wildlife Service |

Seznam použitých zdrojů

- ABRAMSON, D. M. a kol., 2010. *Impact on Children and Families of the Deepwater Horizon Oil Spill: Preliminary Findings of the Coastal Population Impact Study* [online]. National Center for Disaster Preparedness, 10. 8 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.7916/D8988GQT.
- ANSPAUGH, L. R., 2007. Doses to members of the general public and observed effects on biota: Chernobyl Forum update. *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. **96**(1–3), 13–19 [cit. 15. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2006.12.001.
- ANDREWS, P., 2010. *BP: Where Did It All Go Wrong?* [online]. Luton: Andrews UK Ltd. [cit. 14. 2. 2021]. AUK New Authors, 12. ISBN 9781849891509, 1849891508. Dostupné z: <https://www.worldcat.org/title/bp-where-did-it-all-go-wrong/oclc/664232253>
- AOPK, 2020. Průzkum potvrdil přežití vzácných mlžů v náhonu Bečvy. In: *Ochranaprirody.cz* [online]. 23. 11 [21. 1. 2022]. Dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/aopk-cr-informuje/aktuality/pruzkum-potvrdil-preziti-vzacnych-mlzu-v-nahonu-becvy/>
- AOPK, nedatováno. Bečva-Žebračka. In: *Drusop.nature.cz* [online]. [cit. 21. 1. 2022]. Dostupné z: https://drusop.nature.cz/ost/chrobjekty/evl/index.php?SHOW_ONE=1&ID=12200
- AOPK, © 2006–2022. Nálezová databáze ochrany přírody In: *Portal.nature.cz* [online]. [cit. 21.1.2022]. Dostupné z: https://portal.nature.cz/nd/find.php?akce=seznam&opener=&vztazne_id=0
- BAŠTA, J. a kol., 2005. *Člověk a prostředí*. Praha: ČVUT, 123–128. ISBN 80-01-03329-5.
- BEYER, J. a kol., 2016. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review. *Marine Pollution Bulletin* [online]. Elsevier, **110**(1), 28–51 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.027.
- BIENIK, J., 1982. *Ropa, zemný plyn a životné prostredie*. Bratislava: Alfa. 239 s.

BIK, H. M. a kol., 2012. Dramatic Shifts in Benthic Microbial Eukaryote Communities following the Deepwater Horizon Oil Spill. *PLoS ONE* [online] **7**(6), 1–6 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1371/journal.pone.0038550.

BÍLÝ, V., 2020. *Ministerstvo pomůže rybářům k obnově populací ryb v řece Bečvě zasažené ekologickou havárií* [online]. 2. 11. [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2020_ministerstvo-pomuze-rybarum-k-obnove.html

BLAŽEK, J. a FABINI, J., 2005. *Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření*. 5. vyd. Praha: SPN – pedagogické nakladatelství. 13–29. ISBN 80-7235-104-4.

BLEUER, J. P. a kol., 1997. Chernobyl-Related Thyroid Cancer: What Evidence for Role of Short-Lived Iodines? *Environmental Health Perspectives* [online]. The National Institute of Environmental Health Sciences, **105**(6), 1483–1486 [cit. 15. 2. 2021]. DOI: 10.2307/3433656.

BOEBERT, E. a BLOSSOM, J. M., 2016. *Deepwater Horizon: A Systems Analysis of the Macondo Disaster*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 304 s. ISBN 978-0674545236.

BOWONDER, B., 1987. The Bhopal accident. *Technological Forecasting and Social Change* [online]. Elsevier, **32**(2), 169–182 [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1016/0040-1625(87)90038-2.

BROUGHTON, E., 2005. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. *Environmental Health: A Global Access Science Source* [online]. **4**(6) [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1186/1476-069X-4-6.

BRUNNER, CH. A. a kol., 2013. Effects of Oil from the 2010 Macondo Well Blowout on Marsh Foraminifera of Mississippi and Louisiana, USA. *Environmental Science & Technology* [online]. American Chemical Society, **47**(16), 9115–9123 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1021/es401943y.

CAMPAGNA, C. a kol., 2011. Gulf of Mexico Oil Blowout Increases Risks to Globally Threatened Species. *BioScience* [online]. **61**(5), 393–397 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1525/bio.2011.61.5.8.

CARASSOU, L. a kol., 2014. Change and recovery of coastal mesozooplankton community structure during the Deepwater Horizon oil spill. *Environmental Research Letters* [online]. IOP Publishing, **9**(12), 1–12 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1088/1748-9326/9/12/124003.

CARMICHAEL, R. H. a kol., 2012. Were Multiple Stressors a ‘Perfect Storm’ for Northern Gulf of Mexico Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in 2011? *PLoS ONE* [online]. **7**(7), 1–9 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1371/journal.pone.0041155.

COMBY, B., 2007. *Environmentalisté pro jadernou energii*. Praha: Pragma, 321 s. ISBN 80-7349-042-0.

CRED [Centre for Research on the Epidemiology of Disasters], 2022. EM-DAT, the International Disaster Database. In: *Public.emdat.be* [online]. [cit. 24. 2. 2022]. Dostupné z: <https://public.emdat.be/data>

CSE [Centre for Science and Environment], 2009. *Contamination of soil and water inside and outside the Union Carbide India Limited, Bhopal* [online]. New Delhi: Centre for Science and Environment, 2009 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242244792_Contamination_of_Soil_and_Water_Inside_and_Outside_the_Union_Carbide_India_Limited_Bhopal

CSE [Centre for Science and Environment], 2013. *Action Plan on Environmental Remediation in and around UCIL, Bhopal* [online]. New Delhi: Centre for Science and Environment, 2013 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.cseindia.org/action-plan-on-environmental-remediation-in-and-around-ucil-bhopal-5043>

CULLINAN, P. a kol., 1996. Long term morbidity in survivors of the 1984 Bhopal gas leak. *The National Medical Journal of India* [online]. **9**(1), 5–10 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: <http://archive.nmji.in/approval/archive/Volume-9/Volume-9-Issue-1.html>

CULLINAN, P. a kol., 1997. Respiratory morbidity 10 years after the Union Carbide gas leak at Bhopal: a cross sectional survey. *BMJ: British Medical Journal* [online]. **314**(7077), 338–342 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/25173628>

ČAPOUN, T. a kol., 2009. *Chemické havárie*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 149 s. ISBN 978-80-86640-64-8.

ČESKÁ TELEVIZE, 2021a. *Policie zahájila trestní stíhání kvůli ložské otravě řeky Bečvy. Obviněna byla fyzická a právnická osoba z Rožnova* [online]. 27. 6. Datum aktualizace 28. 6 [cit. 4. 12. 2021]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3333066-policie-zahajila-trestni-stihani-kvuli-lonske-otrave-reky-bečvy-obvinena-byla-fyzicka>

ČESKÁ TELEVIZE, 2021b. *Znalec dokončil posudek, který se týká otravy Bečvy, a zaslal ho policii* [online]. 2. 5. [cit. 4. 12. 2021]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/regiony/3306439-znalec-dokoncil-posudek-ktery-se-tyka-otravy-bečvy-a-zaslal-ho-policii>

ČIŽP [Česká inspekce životního prostředí], 2020. *ČIŽP bylo nahlášeno další pění Bečvy a několik uhynulých ryb* [online]. 2. 12 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/CIZP-bylo-nahlaseno-dalsi-peni-Bečvy-a-nekolik-uhynulych-ryb.html>

ČRS [Český rybářský svaz], 2020a. *Stát bude subvencovat zarybnění Bečvy* [online]. 3. 11 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.rybsvaz.cz/beta/index.php/707-stat-bude-subvencovat-zarybneni-bečvy>

ČRS [Český rybářský svaz], 2020b. *Zpravodaj – říjen 2020*. [online]. [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.rybsvaz-ms.cz/clanky/zpravodaj/>

D'ANDREA, M. A. a REDDY, G. K., 2013. Health Consequences among Subjects Involved in Gulf Oil Spill Clean-up Activities. *The American Journal of Medicine* [online]. Elsevier, **126**(11), 966–974 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1016/j.amjmed.2013.05.014.

DE, S. a kol., 2020. Chronic respiratory morbidity in the Bhopal gas disaster cohorts: a time-trend analysis of cross-sectional data (1986–2016). *Public Health* [online]. Elsevier, **186**, 20–27 [cit. 4. 3. 2021]. DOI: 10.1016/j.puhe.2020.06.043.

DERYABINA, T. G. a kol., 2015. Long-term census data reveal abundant wildlife populations at Chernobyl. *Current Biology* [online]. **25**(19), R824–R826 [cit. 15. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.cub.2015.08.017.

DHARA, V. R. a kol., 2002. Personal Exposure and Long-Term Health Effects in Survivors of the Union Carbide Disaster at Bhopal. *Environmental Health Perspectives* [online]. **110**(5), 487–500 [cit. 4. 3. 2021]. DOI: 10.1289/ehp.02110487.

ECKERMAN, I., 2005. *The Bhopal Saga: Causes and Consequences of the World's Largest Industrial Disaster* [online]. India: Universities Press [cit. 14. 2. 2021]. ISBN 8173715157. DOI: 10.13140/2.1.3457.5364.

EISLER, R., 1991. *Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review* [online]. Laurel, MD: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service [cit. 15. 2. 2021]. Dostupné z: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/5200123>

GAM, K. B. a kol., 2018. Lung Function in Oil Spill Response Workers 1–3 Years After the Deepwater Horizon Disaster. *Epidemiology* [online]. **29**(3), 315–322 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000808

GIRARD, F. a kol., 2018. Projecting the recovery of a long-lived deep-sea coral species after the Deepwater Horizon oil spill using state-structured models. *Journal of Applied Ecology* [online]. **55**(4), 1812–1822 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1111/1365-2664.13141.

GRATTAN, L. M. a kol., 2011. The Early Psychological Impacts of the Deepwater Horizon Oil Spill on Florida and Alabama Communities. *Environmental Health Perspectives* [online]. **119**(6), 838–843 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1289/ehp.1002915.

HOLIAKA, D. a kol., 2020. Effects of radiation on radial growth of Scots pine in areas highly affected by the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. Elsevier, **222**(106320), 1–3 [cit. 15. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2020.106320.

CHERRIER, J. a kol., 2013. Fossil Carbon in Particulate Organic Matter in the Gulf of Mexico following the Deepwater Horizon Event. *Environmental Science & Technology Letters* [online]. American Chemical Society, **1** (1), 108–112 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1021/ez400149c.

CHOUHAN, T. R., 2005. The unfolding of Bhopal disaster. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online]. Elsevier, **18**(4–6), 205–208 [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.07.025.

CHUANMIN, H. a kol., 2011. Did the northeastern Gulf of Mexico become greener after the Deepwater Horizon oil spill? *Geophysical Research Letters* [online]. American Geophysical Union, **38**(9), 2–5 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1029/2011GL047184.

IAEA [International Atomic Energy Agency], 2006a. *Dědictví Černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny*. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností. 51 s. ISBN 80-02-01806-0.

IAEA [International Atomic Energy Agency], 2006b. *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience* [online]. Vienna: International Atomic Energy Agency [cit. 15. 2. 2021]. ISBN 92–0–114705–8. Dostupné z: <https://www.iaea.org/publications/7382/environmental-consequences-of-the-chernobyl-accident-and-their-remediation-twenty-years-of-experience>

INCARDONA, J. P. a kol., 2013. Exxon Valdez to Deepwater Horizon: Comparable toxicity of both crude oils to fish early life stages. *Aquatic Toxicology* [online]. Elsevier, **142–143**(15), 303–316 [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.aquatox.2013.08.011.

IRSN [Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire], 2011. Chernobyl 25 years on. In: *irsn.fr* [online]. [cit. 2. 2. 2022]. Dostupné z: <https://www.irsna.fr/EN/publications/thematic-safety/chernobyl/Pages/overview.aspx>

IRSN [Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire], 2021. The Chernobyl safety of site facilities. In: *irsn.fr* [online]. 21. 4 [cit. 2. 2. 2022]. Dostupné z: <https://www.irsna.fr/EN/publications/thematic-safety/chernobyl/Pages/overview.aspx>

IUCN [International Union for Conservation of Nature], 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. [online]. Datum aktualizace 2. 7. 2021 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.iucnredlist.org>

JAROŠ, P., 2020. *Masivní úhyn ryb* [online]. 29. 9. Datum aktualizace 30. 10 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/zpravodajstvi-zlinskeho-kraje-masivni-uhyn-ryb.aspx>

- JURAJDA, P. a ADÁMEK, Z. 2020. ZPRAVODAJ výboru Územního svazu ČRS pro Severní Moravu a Slezsko. In: *rybsvaz-ms.cz* [online]. [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.rybsvaz-ms.cz/clanky/zpravodaj/>
- JURAJDA, P. a kol., 2020. Aktuální stav ichtyofauny a bentosu po otravě v řece Bečvě v září 2020. In: *ochranaprirody.cz* [online]. 22. 12. [cit. 21. 1. 2022]. Dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/aopk-cr-informuje/aktuality/prubezna-zprava-ze-sledovani-biodiverzity-reky-becvy/>
- KABIR, Y. a kol., 2004. *A Report on Mercury Contamination Of The Groundwater In Bhopal* [online]. People's Science Institute [cit. 3. 4. 2021]. Dostupné z: https://peoplescienceinstitute.org/resource/pubs/pubs_intro.html
- KALELKAR, A. S., 1988. *Investigation of large-magnitude incidents: Bhopal as a case study* [online]. Arthur D. Little [cit. 16. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.bhopal.com/reports-studies-ucc-opinions-court-decisions.html>
- KANSO, A. M. a kol., 2017. The Deepwater Horizon Oil Spill Crisis: Did Public Relations Help Rebuild the Company's Reputation? *Quarterly Review of Business Disciplines* [online]. 4(3), 229–241 [cit. 20. 1. 2022]. ISSN 2329-5163. Dostupné z: <https://faculty.utrgv.edu/louis.falk/qrbd/QRBDnov17.pdf#page=49>
- KESTŘÁNEK, J. a kol., 1984. *Zeměpisný lexikon ČSR: Vodní toky a nádrže*. Praha: Academia, 315 s.
- KIMES, N. E. a kol. 2014. Microbial transformation of the Deepwater Horizon oil spill—past, present, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology* [online]. 5(603), 1–11 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.3389/fmicb.2014.00603.
- KOLEKTIV AUTORŮ, 2013. *Příroda Pobečví*. Lipník nad Bečvou: Český svaz ochránců přírody ZO 74/03, 178 s. ISBN 978-80-260-4547-2.
- KROUPA, M. a ŘÍHA, M., 2010. *Průmyslové havárie*. 2. vyd. Praha: Armex Publishing, 7–108. ISBN 978-80-86795-87-4.

KRYSHEV, I. I. a SAZYKINA, T. G., 1995. Assessment of Radiation Doses to Aquatic Organism's in the Chernobyl Contaminated Area. *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. Elsevier, **28**(1), 91–103 [cit. 15. 2. 2021]. DOI: 10.1016/0265-931X(94)00043-V.

KWOK, R. K. a kol., 2017. The GuLF STUDY: A Prospective Study of Persons Involved in the Deepwater Horizon Oil Spill Response and Clean-Up. *Environmental Health Perspectives* [online]. **125**(4), 570–578 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1289/EHP715.

LABUNSKA, I. a kol., 1999. *The Bhopal Legacy*. Toxic contaminants at the former Union Carbide factory site, Bhopal, India: 15 years after the Bhopal accident [online]. Greenpeace International, 1999 [cit. 4. 3. 2021]. ISBN 90 73361 59 1. Dostupné z: <https://www.greenpeace.to/greenpeace/?p=501>

LEWIS, J. P. a kol. 2020. Changes in Reef Fish Community Structure Following the Deepwater Horizon Oil Spill. *Scientific Reports* [online]. **10**(5621) [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1038/s41598-020-62574-y.

LINHART, P., 2003. *Ochrana člověka za mimořádných událostí pro střední školy*. Praha: Fortuna, 7–43. ISBN 80-7168-869-X.

MAGER, E. M. a kol., 2014. Acute Embryonic or Juvenile Exposure to Deepwater Horizon Crude Oil Impairs the Swimming Performance of Mahi-Mahi (*Coryphaena hippurus*). *Environmental Science & Technology* [online]. American Chemical Society, **48**(12), 7053–7061 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1021/es501628k.

MATILAL, S. a ADHIKARI, P., 2020. Accounting in Bhopal: Making catastrophe. *Critical Perspectives on Accounting* [online]. Elsevier, **72**, 1–22 [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.cpa.2019.102123.

MCCLAIN, C. R. a kol., 2019. Persistent and substantial impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea megafauna. *Royal Society Open Science* [online]. **6**(8), 2–9 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1098/rsos.191164.

- MCGOWAN, C. J. a kol., 2017. Respiratory, Dermal, and Eye Irritation Symptoms Associated with Corexit™ EC9527A/EC9500A following the Deepwater Horizon Oil Spill: Findings from the GuLF STUDY. *Environmental Health Perspectives* [online]. **125**(9), 1–7 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1289/EHP1677.
- MĚSTO HRANICE, 2020. 2020 - *Ekologická havárie na Bečvě* [online]. 1. 10 [cit. 24. 2. 2022]. Dostupné z: <https://www.mesto-hranice.cz/clanky/ekologicka-havarie-na-becve>
- MONG, M. D. a kol., 2012. Immediate Psychological Impact of the Deepwater Horizon Oil Spill: Symptoms of PTSD and Coping Skills. *Journal of Aggression, Maltreatment & Trauma* [online]. **21**(6), 691–704 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1080/10926771.2012.694402.
- MONTAGNA, P. A. a kol., 2013. Deep-Sea Benthic Footprint of the Deepwater Horizon Blowout. *PLoS ONE* [online]. **8**(8), e70540 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1371/journal.pone.0070540.
- MRS [Moravský rybářský svaz], © 2010. Rybářské revíry. In: *Mrsbrno.cz* [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <http://www.mrsbrno.cz/index.php/rybarske-reviry>
- MURTHY, R. S., 2014. Mental health of survivors of 1984 Bhopal disaster: A continuing challenge. *Industrial Psychiatry Journal* [online]. **23**(2), 86–93 [cit. 4. 3. 2021]. DOI: 10.4103/0972-6748.151668.
- MV-GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HZS ČR, 2021. *Statistická ročenka 2001–2020* [online]. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra [cit. 24. 2. 2022]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasicskeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>
- MŽP [Ministerstvo životního prostředí], 2020a. *Ministr Brabec: Vedle usvědčení pachatele je klíčová obnova Bečvy po katastrofě* [online]. 1. 10 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20201001_Brabec%20-Obnova-Becvy-je-pro-nas-klicova
- MŽP [Ministerstvo životního prostředí], 2021b. *Novela vodního zákona reagující na havárii na Bečvě je v připomínkovém řízení* [online]. 8. 4 [cit. 4. 12. 2021]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20210408-novela-vodniho-zakona-reagujici-na-havarii-na-Becve-je-v-pripominkovem-rizeni

MØLLER, A. P. a MOUSSEAU, T. A., 2013. Assessing effects of radiation on abundance of mammals and predator–prey interactions in Chernobyl using tracks in the snow. *Ecological Indicators* [online]. Elsevier, **26**, 112–116 [cit. 14. 2. 2021]. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.10.025.

NAE [National Academy of Engineering] a NRC [National Research Council], 2010. *Interim Report on Causes of the Deepwater Horizon Oil Rig Blowout and Ways to Prevent Such Events* [online]. Washington, DC: The National Academies Press [cit. 9. 3. 2021]. DOI: 10.17226/13047.

NAE [National Academy of Engineering] a NRC [National Research Council], 2012. *Macondo Well Deepwater Horizon Blowout: Lessons for Improving Offshore Drilling Safety* [online]. Washington, DC: The National Academies Press [cit. 9. 3. 2021]. DOI: 10.17226/13273.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008, o klasifikaci, označování a balení látek a směsí, o změně a zrušení směrnic 67/548/EHS a 1999/45/ES a o změně nařízení (ES) č. 1907/2006

NASTOUPILOVÁ, R., 2020a. *Masivní úhyn ryb v řece Bečvě způsobil kyanid, inspektori ČIŽP a policie šetří možného původce* [online]. 1. 10 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://cizp.cz/Masivni-uhyn-ryb-v-rece-Becve-zpusobil-kyanid-inspektori-CIZP-a-policie-setri-mozneho-puvodce.html>

NASTOUPILOVÁ, R., 2020b. *Rozbory vody z Bečvy potvrdily nadlimitní výskyt dusitanového dusíku* [online]. 30. 11 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/Rozbory-vody-z-Becvy-potvrdily-nadlimitni-vyskyt-dusitanoveho-dusiku.html>

NASTOUPILOVÁ, R., 2020c. *Rozbory vody z Bečvy potvrdily nadlimitní výskyt niklu* [online]. 30. 10 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/Rozbory-vody-z-Becvy-potvrdily-nadlimitni-vyskyt-niklu.html>

NASTOUPILOVÁ, R., 2020d. *Rozbory vzorků splňovaly limity povolení k vypouštění odpadních vod* [online]. 9. 12 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/Rozbory-vzorku-splnovaly-limity-povoleni-k-vypousteni-odpadnich-vod.html>

NASTOUPILOVÁ, R., 2020e. *V řece Bečvě byl zjištěn zvýšený výskyt pěny, čeká se na výsledky rozborů* [online]. 29. 10 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/V-rece-Becve-byl-zjisten-zvyseny-vyskyt-peny-ceka-se-na-vysledky-rozboru.html>

NASTOUPILOVÁ, R., 2020f. *V řece Bečvě byl zjištěn zvýšený výskyt pěny, čeká se na výsledky rozborů* [online]. 25. 11 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/V-rece-Becve-byl-zjisten-zvyseny-vyskyt-peny-ceka-se-na-vysledky-rozboru-1.html>

NEERI [National Environmental Engineering Research Institute], 2010. *Final Report: Assessment and Remediation of Hazardous Waste Contaminated Areas in and around M/s Union Carbide India Ltd., Bhopal* [online]. National Environmental Engineering Research Institute, 2010 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: <https://www.cseindia.org/neeri-ngri-finalreport-assessment-and-remediation-of-hazardous-waste-contaminated-areas-in-and-around-m-s-union-carbide-india-ltd-bhopal-june-2010-7834>

NOAA [National Oceanic and Atmospheric Administration], 2016. *Deepwater Horizon Oil Spill: Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan and Final Programmatic Environmental Impact Statement* [online]. 2016 [cit. 19. 1. 2022]. Dostupné z: <https://www.gulfspillrestoration.noaa.gov/restoration-planning/gulf-plan>

ONDŘEJ, V., 2013. *Základy radiobiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 57 s. ISBN 978-80-244-3426-1.

OSOFSKY, H. J. a kol., 2011. Deepwater horizon oil spill: Mental health effects on residents in heavily affected areas. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness* [online]. **5**(4), 280–286 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1001/dmp.2011.85.

PATOČKA, J. a VLASATÁ, Z., 2020. *Otrávilu Bečvu DEZA? Jiné výklady nedávají smysl. Úřady zatloukají a klamou* [online]. 30. 10. [cit. 4. 12. 2021]. Dostupné z: <https://denikreferendum.cz/clanek/31851-otravila-becvu-deza-jine-vyklady-nedavaji-smysl-urady-zatloukaji-a-klamou>

PAVLÍČKO, A., 2020. Monitoring vodních měkkýšů po kyanidové havárii na řece Bečvě ze dne 20. 9. 2020 (trvalé monitorovací plochy – TMP). In: *ochranaprirody.cz* [online]. 22. 12. [cit. 21. 1. 2022]. Dostupné z: <https://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/aopk-cr-informuje/aktuality/prubezna-zprava-ze-sledovani-biodiverzity-reky-becvy/>

PITTER, P., 2015. *Hydrochemie*. 5. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 306–311. ISBN 978-80-7080-928-0.

PODZIMEK, F., 2021. *Radiologická fyzika*. V Praze: České vysoké učení technické, 300 s. ISBN 978-80-01-06829-8.

POVODÍ MORAVY, 2021. *Zpravodaj o vodě 3/2021* [online]. Frýdek-Místek: KLEINWÄCHTER holding s.r.o., 4. 10 [cit. 3. 12. 2021]. ISSN 1803-666X. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/zpravodaj-o-vode/zpravodaj-o-vode-3-2021/>

POWERS, S. P. a kol. 2013. Novel Pathways for Injury from Offshore Oil Spills: Direct, Sublethal and Indirect Effects of the Deepwater Horizon Oil Spill on Pelagic Sargassum Communities. *PLoS ONE* [online]. **8**(9), 1–7 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1371/journal.pone.0074802.

PLOHKY, S., 2019. *Černobyl: historie jaderné katastrofy*. Brno: Jota, 12–171. ISBN 978-80-756-5462-5.

ROUBÍČEK, V. a RÁBL, V., 2000. *Technologie ropy: alternativní paliva*. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univerzita, 267 s. ISBN 80-7078-690-6.

ROUHANI, S. a kol., 2017. Nearshore exposure to Deepwater Horizon oil. *Marine Ecology Progress Series* [online]. **576**, 111–124 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.3354/meps11811.

RULÍK, M., 2020. *Docent Rulík odpovídá Povodí Moravy* [online]. 7. 11 [cit. 4. 12. 2021]. Dostupné z: <https://denikreferendum.cz/clanek/31900-docent-rulik-odpovida-povodi-moravy>

SARANGI, S. a kol., 2010. Effects of Exposure of Parents to Toxic Gases in Bhopal on the Offspring. *American Journal of Industrial Medicine* [online]. **53**(8), 836–841 [cit. 4. 3. 2021]. DOI: 10.1002/ajim.20825.

SCHWACKE, L. H. a kol., 2013. Health of Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, Following the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environmental Science & Technology Letters* [online]. American Chemical Society, **48** (1), 93–103 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1021/es403610f.

SIKOROVÁ, K. a BLAŽKOVÁ, K., 2018. *Analýza dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na životní prostředí*. Frýdek-Místek: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 96 s. ISBN 978-80-7385-211-5.

SHARMA, B., 2006. Bhopal Gas Tragedy: 'New' Victims. *Economic and Political Weekly* [online]. *Economic and Political Weekly*, **41**(17), 1613–1616 [cit. 4. 3. 2021]. Dostupné z: https://www.jstor.org/stable/4418132?seq=1#metadata_info_tab_contents

SMITH, L. C. a kol., 2010. Analysis of Environmental and Economic Damages from British Petroleum's Deepwater Horizon Oil Spill. *Albany Law Review* [online]. **74**(1), 563–585 [cit. 19. 1. 2022]. DOI: 10.2139/ssrn.1653078.

SRNSKÝ, S., 1992. *Ochrana před úniky ropných látek*. Praha: Naše vojsko, 148 s. ISBN 80-206-0199-6.

STRATMANN, T. a kol., 2020. The BenBioDen database, a global database for meio-, macro- and megabenthic biomass and densities. *Scientific Data* [online]. **7** (206), 1–12 [cit. 3. 3. 2022]. DOI: 10.1038/s41597-020-0551-2.

STRELITZ, J. a kol., 2019. Self-reported myocardial infarction and fatal coronary heart disease among oil spill workers and community members 5 years after Deepwater Horizon. *Environmental Research* [online]. Elsevier, **168**, 70–79 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1016/j.envres.2018.09.026.

SÚJB [Státní úřad pro jadernou bezpečnost], 2001. *Patnáct let od havárie Černobylu – důsledky a poučení* [online]. Praha: Ing. Břetislav Janík, 2001 [cit. 15. 2. 2021]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/cernobyl>

SÚJB [Státní úřad pro jadernou bezpečnost], 2021. Havárie černobylské elektrárny 35 let poté. In: *sujb.cz* [online]. [cit. 2. 2. 2022]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/dnes-si-pripominame-35-let-od-havarie-na-cernobylske-jaderne-elektrarne>

ŠEDIVÝ, J., 1989. *Ropné látky a chlorované uhlovodíky v povrchové vodě*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský, 136 s.

ŠVEC, J., 2014. *Radiační fyzika: skriptum*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 136 s. ISBN 978-80-7464-572-3.

TRAN, T. a kol., 2013. Effect of Oil Spill on Birds: A Graphical Assay of the Deepwater Horizon Oil Spill's Impact on Birds. *Computational Statistics* [online]. **29**, 133–140 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1007/s00180-013-0472-z.

UNSCEAR [The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation], 2000. *Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes* [online]. New York: United Nations, **2** [cit. 15. 2. 2021]. ISBN 92-1-142239-6. Dostupné z: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_2.html

UNSCEAR [The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation], 2011. *Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report* [online]. New York: United Nations, **2** [cit. 15. 2. 2021]. ISBN-13: 978-92-1-142280-1. Dostupné z: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_2.html

UNSCEAR [The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation], 2018. *Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the chernobyl accident: A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work* [online]. New York: United Nation [cit. 3. 4. 2021]. Dostupné z: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/Chernobyl_WP2017.html

UNSCEAR [The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation], 2021. *The Chernobyl accident: UNSCEAR's assessments of the radiation effects* [online]. Datum aktualizace 6. 4. [cit. 2. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>

VARMA, D. R., 1987. Epidemiological and experimental studies on the effects of methyl isocyanate on the course of pregnancy. *Environmental Health Perspect* [online]. **72**, 153–157 [cit. 5. 3. 2022]. DOI: 10.1289/ehp.8772153.

VARMA, D. R. a MULAY, S., 2015. Methyl Isocyanate: The Bhopal Gas. In: GUPTA, R. C. (ed.). *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents* [online]. 2. vyd. Academic Press, 287–299 [cit. 3. 4. 2021]. ISBN 978-0-12-800159-2. DOI: 10.1016/B978-0-12-800159-2.00022-1.

VEVERKA, I., 1996. *Kvalitativní analýza mimořádných událostí (živelních pohrom a průmyslových havárií) na území České republiky*. Lom u Mostu: Aa/PRINT.

Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Běčvě, 2021. *Sněmovní dokument 9016: Závěrečná zpráva Vyšetřovací komise k ekologické katastrofě na řece Běčvě* [online]. 20. 9 [cit. 3. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sd.sqw?cd=9016&o=8>

WHITE, H. K. a kol., 2012. Impact of the Deepwater Horizon oil spill on a deep-water coral community in the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. **109**(50), 20303–20308 [cit. 20. 1. 2022]. DOI: 10.1073/pnas.1118029109.

ZABLITSKA, L. B. a kol., 2013. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among chornobyl cleanup workers. *Environ Health Perspect.* [online]. **121**(1), 59–65. [cit. 5. 3. 2022]. DOI: 10.1289/ehp.1204996.

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí

Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon