



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH RIZIK V PRŮMYSLOVÉM PODNIKU

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT IN INDUSTRIAL ENTERPRISE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VOJTĚCH MARADA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MAREK TABAS, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vojtěch Marada

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Kvalita, spolehlivost a bezpečnost (2341T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku

v anglickém jazyce:

Environmental risk assessment in industrial enterprise

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku je významnou částí bezpečnostní dokumentace požadované platnou legislativou v ČR i EU. Přesto je této části analýzy rizik věnováno v ČR méně pozornosti než některých jiných členských zemích EU.

Význam dané problematiky je zřejmý také z celé řady významných průmyslových havárií s dopady na životní prostředí.

Tato práce je proto zaměřena na návrh uceleného postupu hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku, tak aby respektoval požadavky kladené na bezpečnostní dokumentaci platnou legislativou v ČR.

Cíle diplomové práce:

1. Zpracovat literární rešerši v oblasti hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku.
2. Zhodnotit možné přístupy a metody pro hodnocení environmentálních rizik v ČR a dalších zemích.
3. Navrhnout možný postup pro hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku s ohledem na požadavky bezpečnostní dokumentace vyžadované platnou legislativou v ČR.

Seznam odborné literatury:

1. Zákon č. 59 ze dne 2. února 2006 (v aktuálním znění) o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií).
2. Vyhláška č. 256/2006 Sb. o podrobnostech systému prevence závažných havárií.
- 3.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Tabas, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 28.11.2013

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku je významnou částí bezpečnostní dokumentace požadované platnou legislativou v ČR i EU. Přesto je této části analýzy rizik věnováno v ČR méně pozornosti než některých jiných členských zemích EU. Význam dané problematiky je zřejmý také z celé řady významných průmyslových havárií s dopady na životní prostředí. Tato diplomová práce se zabývá metodami, používanými v bezpečnostním inženýrství pro hodnocení environmentálních rizik, podle zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií ve znění pozdějších předpisů. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje stručný legislativní rozbor zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů a požadavků na provozovatele, které z tohoto zákona vyplývají. Dále byly vyhodnoceny a vzájemně porovnány přístupy k hodnocení environmentálních rizik v členských zemích EU a v USA. Hlavním cílem práce bylo zpracování řešerše vybraných (v praxi nejčastěji používaných) metod pro hodnocení environmentálních rizik, vyhodnocení vhodnosti použití jednotlivých metod a návrh uceleného postupu hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku, tak aby respektoval požadavky kladené na bezpečnostní dokumentaci platnou legislativou v ČR. V závěrečné části práce je provedena aplikace navrhovaného postupu hodnocení environmentálních rizik na konkrétním průmyslovém podniku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hodnocení environmentálních rizik, analýza rizik, environmentální riziko, metody hodnocení rizik, prevence závažných havárií.

ABSTRACT

Environmental risk assessment in industrial enterprise is important part of safety documentation required by legislation of the Czech Republic and of the EU. Despite that, there is given less attention to this part of risk analysis in the Czech Republic, than in the other countries of EU. Importance of this part is evident for a number of significant industrial accidents with impact to the environment. This Master's thesis deals with the methods used in safety engineering for the environmental risk assessment, according to Act No. 59/2006 Coll., on the prevention of major accidents, as amended by later regulations. The thesis is divided into theoretical and practical part. Theoretical part includes the legislative summary of Act No. 59/2006 Coll. on the prevention of major accidents, as amended by later regulations and requirements for owners, which result from this law. Further, the frameworks for environmental risk assessment in the EU and USA were evaluated and compared. Main part deals with the characteristics of selected (most commonly used in practice) methods for environmental risk assessment, evaluation of its usability and creation of compact process for environmental risk assessment in industrial enterprise in accordance to legislative requirements. In the final part, there is performed application of suggested process for environmental risk assessment in the concrete industrial enterprise.

KEYWORDS

Environmental risk assessment, risk analysis, environmental risk, risk analysis methods, prevention of major accidents.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARADA, Vojtěch. *Hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 107 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Marek Tabas, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku* vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Marka Tabase, Ph.D., a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Vojtěch Marada

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval paní Ing. Andree Tabasové, Ph.D. a panu Ing. Marku Tabasovi, Ph.D. za věnovaný čas, trpělivost a předané zkušenosti při vedení diplomové práce.

Dále děkuji paní Ing. Dagmar Rychlíkové, Ph.D. a panu Ing. Vítu Ficbauerovi, Ph.D. za předané znalosti a pomoc a při zpracování této práce.

Největší poděkování patří mé rodině, přátelům a blízkým za podporu v průběhu celého studia.

Obsah

1. ÚVOD	15
2. PREVENCE ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ – POŽADAVKY/LEGISLATIVA	17
2.1 Zákon č. 59/2006 Sb. – zákon o prevenci závažných havárií	17
2.2 Základní pojmy a definice	18
3. PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH RIZIK VE VYBRANÝCH ZEMÍCH	20
3.1 Hodnocení environmentálních rizik v EU	21
3.1.1 Obecný přístup dle směrnice EU	21
3.1.2 Anglický přístup	22
3.1.3 Český přístup	24
3.1.4 Nizozemský přístup	24
3.1.5 Švédský přístup	24
3.2 Hodnocení environmentálních rizik v USA.....	25
3.3 Porovnání hodnocení environmentálního rizika v USA/EU	27
4. CHARAKTERISTIKA METOD PRO HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH RIZIK	28
4.1 Environment Accident Index (EAI)	28
4.1.1 Postup stanovení EAI	28
4.1.2 Zhodnocení metody EAI	32
4.2 Envitech03.....	33
4.2.1 Postup stanovení zranitelnosti	35
4.2.2 Zhodnocení metody Envitech03	43
4.3 EUSES	44
4.3.1 Postup stanovení rizika metodou EUSES.....	45
4.3.2 Zhodnocení metody EUSES	49
4.4 H&V Index.....	50
4.4.1 Postup stanovení rizika metodou H&V Index.....	52
4.4.2 Zhodnocení metody H&V Index	75
4.5 Proteus II	76
4.5.1 Postup použití programu Proteus II	76
4.5.2 Zhodnocení metody Proteus II.....	80
5. NÁVRH POSTUPU HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍHO RIZIKA	81

6. PRAKTICKÁ APLIKACE METOD PRO HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍHO RIZIKA.....	83
6.1 Popis okolí průmyslového podniku	83
6.2 Popis kanalizačního systému podniku a preventivních opatření.....	84
6.3 Látky nebezpečné pro životní prostředí přítomné v objektu	85
6.4 Výsledky identifikace zdrojů rizik metodou EAI	89
6.5 Možné scénáře rozvoje havárie s únikem látek klasifikovaných jako nebezpečné pro životní prostředí	89
6.6 Hodnocení průsaků	91
6.7 Modelování úniku metodou Proteus	94
7. ZÁVĚR.....	97
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	99
SEZNAM PŘÍLOH	100
SEZNAM OBRÁZKŮ	101
SEZNAM TABULEK.....	102
PŘÍLOHY	104
Příloha č. 1: Seznam R vět	104

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. Úvod

Životním prostředím rozumíme vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů, včetně člověka, a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Složkami životního prostředí jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie. [1]

S rozšiřující se industrializací je životní prostředí stále více znečišťováno chemickými látkami. Některé jsou přímo vyráběny, jiné vznikají v průběhu výrobních procesů jako vedlejší produkt nebo odpad. Rychle roste také sortiment používaných nebezpečných látek. Znalosti o nežádoucích vlastnostech a dopadech jednotlivých látek se však získávají mnohem pomaleji.

Zdroje znečištění životního prostředí lze rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Do skupiny dlouhodobých patří produkce odpadů z domácností a průmyslových podniků, vypouštění stopových množství nebezpečných látek do povrchových a podzemních vod, půdy uvolňování spalín a skleníkových plynů do ovzduší a mnoho dalších. Krátkodobým zdrojem znečištění jsou většinou havárie, při kterých dojde k uvolnění většího množství nebezpečné chemické látky v krátkém čase. Následkem je často rychlý a nevratný dopad na životy a zdraví lidí a zvířat, životní prostředí a majetek.

Mezi havárie s nejzávažnějším dopadem na zdraví a životy lidí a životní prostředí patří únik methylisokyanátu v indickém městě Bhopál z roku 1984, která je označována za nejhorší průmyslovou havárii v historii. Podle odhadů na následky této havárie zemřelo až 8000 lidí a zasaženo bylo přes 500 000 osob. Další havárií, která se sice obešla bez přímých lidských obětí, ale s o to větším dopadem na životní prostředí, je protržení hráze v rumunském Baia Mare v roce 2000. Uniklo více než 100 000 m³ vody, kontaminované kyanidem pro těžbu zlata, která se dostala až do řek Somes, Tisa a Dunaj, kde došlo k vyhubení velké části rybí populace. Mezi nejznámější patří havárie z italského Sevesa (1976), při níž došlo k úniku nebezpečného tetrachlordibenzoparadioxinu. Tato havárie dala impuls ke vzniku tzv. SEVESO direktivy č. 82/501/EEC, ta byla Evropským společenstvím přijata v roce 1976. Na základě zkušeností z havárií, ke kterým došlo po zavedení této direktivy, byla v roce 1996 vydána aktualizovaná direktiva č. 96/82/EC (tzv. SEVESO II) a v současnosti je připravována 3. aktualizace, která vstoupí v platnost v roce 2015. V České republice je direktiva SEVESO II implementována ve formě zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů.

Tento zákon stanovuje povinnosti právnických a podnikajících fyzických osob, vlastnicích nebo užívajících objekty, kde jsou umístěny nebo zpracovávány nebezpečné chemické látky a směsi. Na základě požadavků, stanovených zákonem o prevenci závažných havárií, je pak provozovatel objektu povinen vypracovat bezpečnostní dokumentaci v příslušném rozsahu. Jednou z částí bezpečnostní dokumentace je analýza a hodnocení rizik závažné havárie, jejíž součástí je určení možných havarijních scénářů a odhad možných dopadů havarijních scénářů na zdraví a životy osob, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek.

Správně a důkladně provedená analýza a hodnocení rizik slouží jako podklad pro zavedení organizačních a technických bezpečnostních opatření pro prevenci vzniku závažné havárie a minimalizaci případných následků.

Při analýze dopadů na zdraví a životy osob, případně majetek, je uvažován přenos fyzikálních nebo chemických účinků havárie především prostřednictvím vzduchu (výbuch, požár, únik toxické látky). V případě znečištění životního prostředí je třeba uvažovat několik cest přenosu nebezpečné látky – vzduchem (znečištění ovzduší, dopad na biotickou složku), vodou (kontaminace povrchových a podpovrchových vod) a půdou. Chemická látka může mezi jednotlivými složkami prostředí přecházet nebo s nimi reagovat a měnit tak své vlastnosti, což odhad následků ještě více znesnadňuje. Sekundárním dopadem znečištění životního prostředí pak může být také účinek nebezpečných látek na člověka a zvířata.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Šíření nebezpečné látky je kromě jejího množství, skupenství a toxicity ovlivněno mnoha dalšími faktory, jako jsou klimatické podmínky (rychlost a směr větru, teplota, tlak, srážky), vlastnosti daného prostředí (sklon terénu, vzdálenost od zdroje znečištění, propustnost půdy, hloubka hladiny podzemní vody, atd.) a především interakcí mezi nebezpečnou látkou a prostředím (mobilita a reaktivita látky v prostředí, bioakumulace, perzistence).

Pro zjednodušení analýzy dopadu závažných havárií na životní prostředí jsou používány různé metody – od jednoduchých indexových metod pro hrubý odhad závažnosti scénáře úniku, až po složité modelovací nástroje, sloužící ke stanovení co nejpřesnějšího modelu znečištění.

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení přístupů a metod pro analýzu environmentálních rizik v ČR a v EU, rešerše jednotlivých metod a návrh postupu pro hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku dle platné legislativy ČR. Součástí práce je i praktická aplikace metod pro výpočet dlouhodobých průsaků do půdy a podpovrchových vod a pro modelování havarijních úniků na konkrétním průmyslovém podniku.

2. Prevence závažných havárií – požadavky/legislativa

2.1 Zákon č. 59/2006 Sb. – zákon o prevenci závažných havárií

Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů, zavádí do české legislativy příslušné evropské směrnice o kontrole nebezpečí vzniku závažných havárií. Stanovuje systém prevence závažných havárií pro objekty, ve kterých jsou umístěny nebo zpracovávány nebezpečné chemické látky a směsi.

Analýzu a hodnocení rizik závažné havárie je povinen vypracovat provozovatel objektu nebo zařízení, zařazeného do skupiny A/B, podle zákona o prevenci závažných haváriích.

Analýza a hodnocení rizik závažné havárie musí obsahovat: [2]

- identifikaci zdrojů rizik,
- určení možných havarijních scénářů, včetně jejich příčin (s nejzávažnějšími dopady na zdraví a životy osob, hospodářská zvířata, **životní prostředí** a majetek),
- odhad možných následků havarijních scénářů (na zdraví a životy osob, hospodářská zvířata, **životní prostředí** a majetek),
- odhad pravděpodobností havarijních scénářů,
- stanovení míry rizika,
- hodnocení přijatelnosti rizika.

Kritéria vymezující závažnou havárii podle jejích následků pro zpracování informace o vzniku a následcích závažných havárií: [2]

Závažná havárie způsobená nebezpečnou látkou, uvedenou v příloze č. 1 k zákonu o prevenci závažných havárií, má za následek ekologickou újmu na:

- území chráněném podle zvláštních předpisů,
- ostatní území o rozloze stejné nebo větší než 10 ha,
- vodní tok o délce stejné nebo větší než 10 km,
- povrchové vodní ploše o rozloze více než 1 ha.

Závažná havárie způsobená nebezpečnou látkou, uvedenou v příloze č. 1 k zákonu o prevenci závažných havárií má za následek ekologickou újmu kolektoru, tj. horninového prostředí v pásmu nasycení i mimo ně v místě jímání nebo akumulace podzemních vod nebo znečištění podzemních vod o rozloze více než 1 ha.

Pro účely zákona o prevenci závažných havárií je definováno několik základních pojmů, uvedených v následující kapitole.

2.2 Základní pojmy a definice

Závažná havárie: Mimořádná, částečně nebo zcela neovladatelná, časově a prostorově ohraničená událost, například závažný únik, požár nebo výbuch, která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována, a vedoucí k vážnému ohrožení nebo **k vážnému dopadu na** životy a zdraví lidí, hospodářských zvířat a **životní prostředí** nebo k újmě na majetku. [2]

Environmentální riziko: Je definováno jako určení druhu a stupně nebezpečnosti představovaného určitým faktorem, dále určení v jakém rozsahu byly, jsou nebo v budoucnosti mohou být působení tohoto faktoru vystaveny jednotlivé skupiny populace a konečně charakterizace existujících nebo potenciálních rizik z vedených zjištění vyplývajících. [3]

Nesaturovaná zóna: Prostor v horninovém prostředí mezi povrchem terénu a svrchní úrovní kapilární třásně, kde vlhkost je menší než celková pórovitost a tlaková výška je menší než 0. [4]

Saturovaná zóna: Prostor v horninovém prostředí, ve kterém jsou póry nebo pukliny zcela zaplněny podzemní vodou; tlaková výška je větší než 0 a vlhkost je rovna celkové pórovitosti. [4]

Provozovatel: Právnícká osoba nebo podnikající fyzická osoba, která užívá nebo bude užívat objekt nebo zařízení, ve kterém je nebo bude vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována nebezpečná látka. [2]

Objekt: Prostor nebo soubor prostorů, ve kterých je umístěna jedna či více nebezpečných látek v jednom či více zařízeních, včetně společných nebo souvisejících infrastruktur. [2]

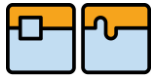
Zařízení: Technická nebo technologická jednotka, ve kterém je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována. Zahrnuje také všechny části nezbytné pro provoz – potrubí, stroje, nákladové prostory, průmyslové dráhy. [2]

Nebezpečná látka: Vybraná nebezpečná chemická látka, uvedená v příloze č. 1 k zákonu č. 59/2006 Sb. ve sloupci 1 tabulky I nebo splňující kritéria stanovená ve sloupci 1 tabulky II a přítomné v objektu nebo zařízení jako surovina, výrobek, vedlejší produkt, zbytek nebo meziprodukt, včetně těch látek, u kterých se dá předpokládat, že mohou vzniknout v případě havárie. [2]

Seznam nebezpečných látek: Seznam, ve kterém je uveden druh, množství, klasifikace a fyzikální forma všech nebezpečných látek, umístěných v objektu nebo zařízení. [2]

Zdroj rizika (nebezpečí): Vlastnost nebezpečné látky nebo fyzická či fyzikální situace vyvolávající možnost vzniku závažné havárie. [2]

Riziko: Pravděpodobnost vzniku nežádoucího specifického účinku, ke kterému dojde během určité doby nebo za určitých okolností. [2]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

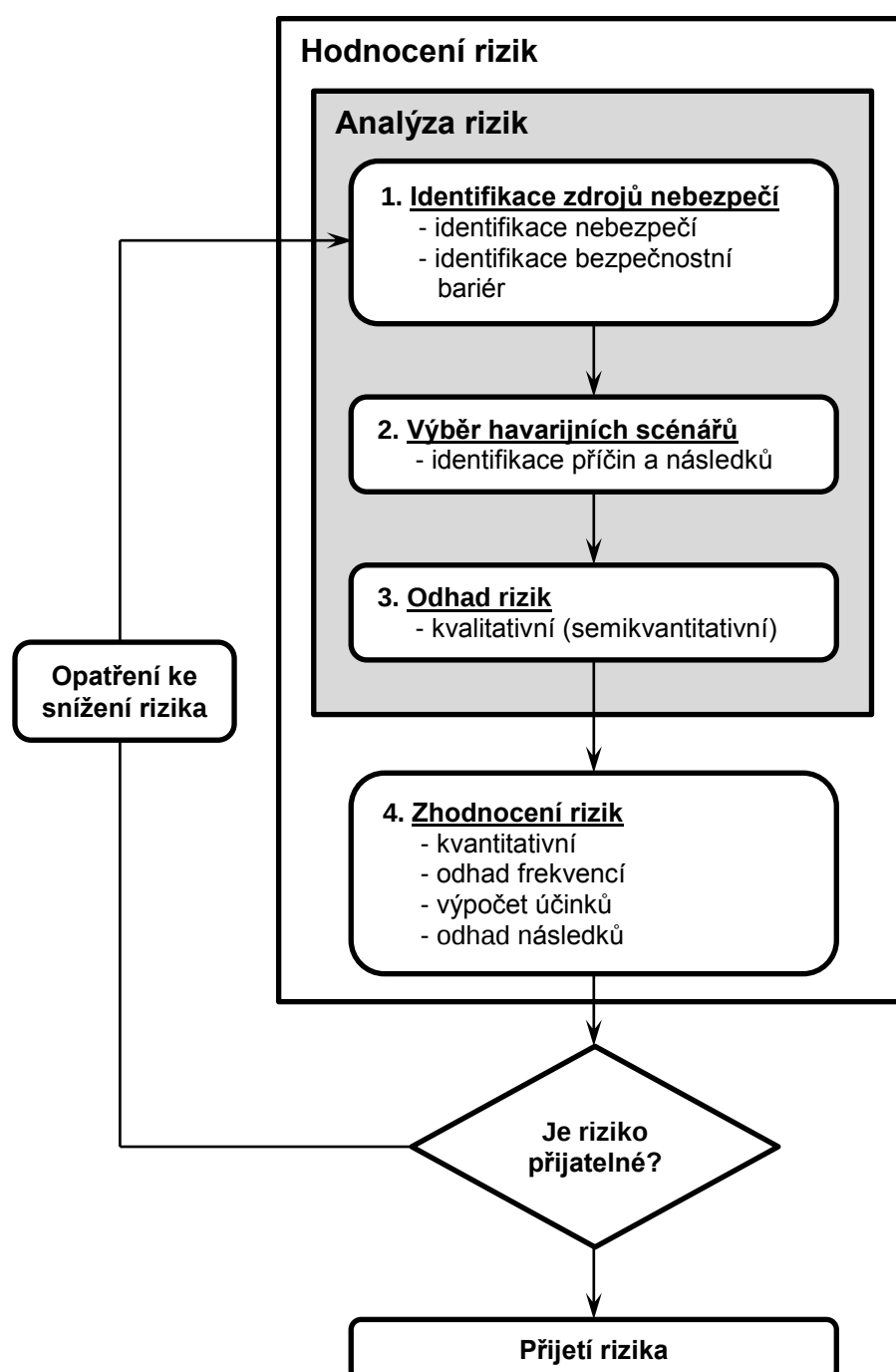
Skladování: Umístění určitého množství nebezpečných látek pro účely uskladnění, uložení do bezpečného opatrování nebo udržování v zásobě. **[2]**

Další pojmy jsou uvedeny v zákoně č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů.

3. Přístupy k hodnocení environmentálních rizik ve vybraných zemích

Nejčastější přístup k hodnocení rizika je postup pro hodnocení společenského rizika. Principem je stanovení přijatelnosti rizika na základě poměru frekvence výskytu události a fatálních následků této události pro člověka. Změna postupu pro hodnocení environmentálních rizik spočívá především v hodnoceném subjektu, kdy se nejedná o člověka, ale o rostliny, živočichy, části životního prostředí.

Obecný postup hodnocení rizika, bez ohledu na hodnocenou oblast, je znázorněn na **Obr. 1**.



Obr. 1: Obecný postup hodnocení rizik [5]

3.1 Hodnocení environmentálních rizik v EU

V současnosti není v zemích EU stanoven jednotný přístup k hodnocení environmentálního rizika. Direktivy SEVESO a COMAH (Velká Británie) stanovují pouze obecné požadavky na bezpečnostní dokumentaci, nikoliv však požadavky nebo doporučení pro použití jednotlivých metod hodnocení rizik.

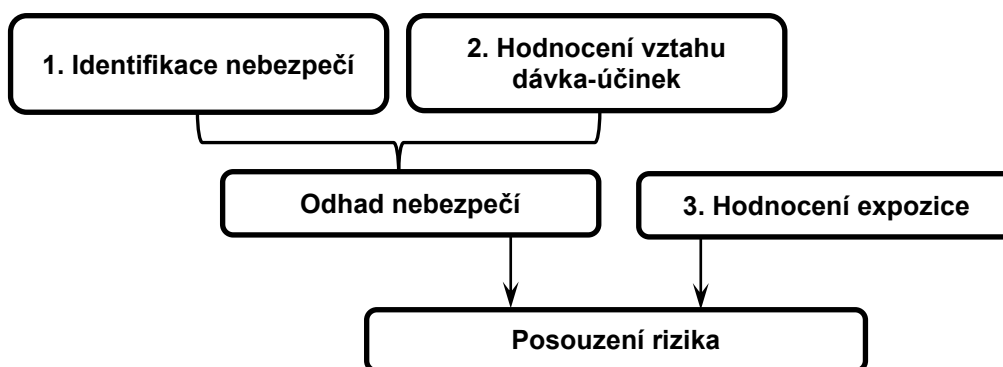
Existuje několik různých přístupů a metod pro jednotlivé fáze hodnocení rizik, které jsou popsány dále v této kapitole. Přístupy k hodnocení environmentálních rizik se liší především dle metod, vyvíjených v jednotlivých zemích a také dle přístupu, stanoveného direktivou EU.

3.1.1 Obecný přístup dle směrnice EU

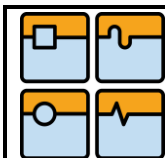
Metodika popsaná v dokumentu *Technical Guidance Document in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and Commission Regulation (EC) No. 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances (TGD)* je primárně určena pro analýzu dlouhodobých úniků. Na základě úvahy, že únik stejného množství látky, jako v případě dlouhodobého úniku, bude mít při krátkodobém/okamžitým úniku minimálně stejně vážné dopady na ŽP, ji lze použít i pro hodnocení havarijních úniků.

Postup této metodiky lze rozdělit do následujících kroků, znázorněných na **Obr. 2: [6]**

- 1. Identifikace nebezpečí** – nežádoucí účinky, které může látka způsobit.
- 2. Hodnocení vztahu dávka – účinek** – vztah mezi množstvím/koncentrací látky a závažností očekávaných následků.
- 3. Hodnocení expozice** – odhad množství/koncentrace látky, které může být životní prostředí vystaveno; zohledněny jsou také zdroje, emisní cesty a rozptýlení látky.
- 4. Posouzení rizika** – odhad závažnosti očekávaných následků vzhledem k očekávané expozici.



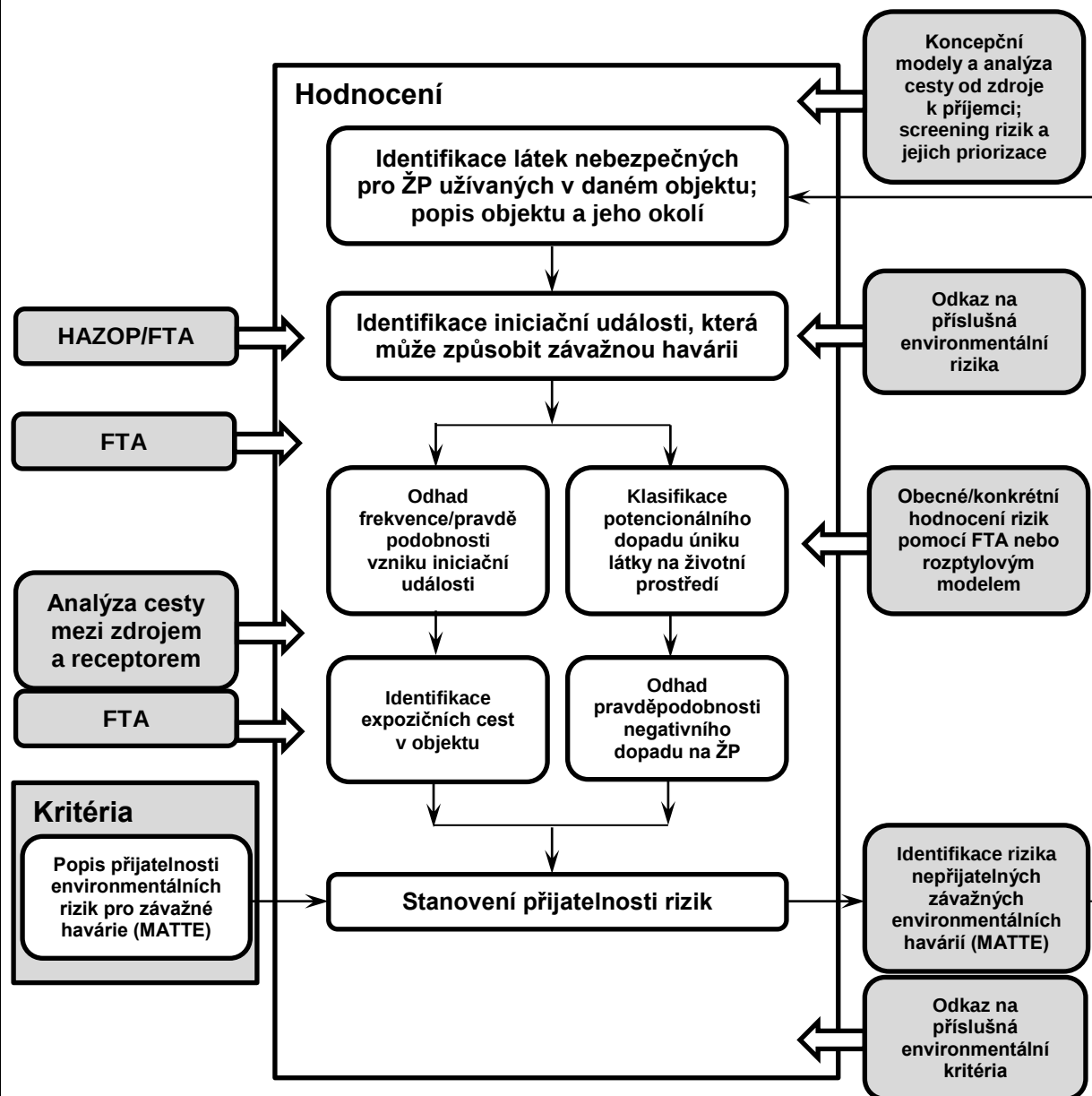
Obr. 2: Postup hodnocení rizik dle metodiky EU [6]



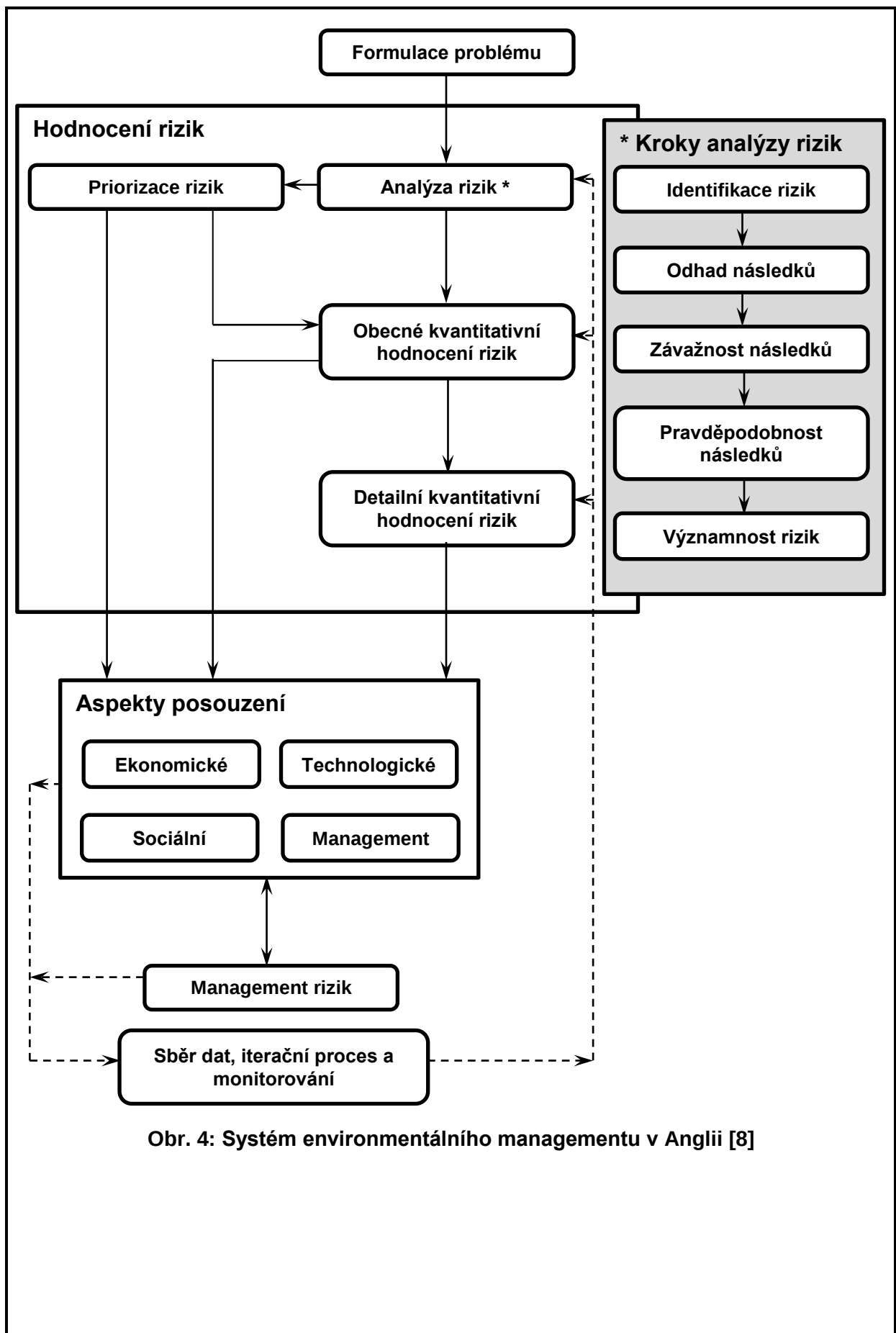
3.1.2 Anglický přístup

Metodika hodnocení environmentálních rizik, používaná v Anglii, je velmi komplexní. Je založena na systematickém přístupu k identifikaci zdrojů rizik, stanovení pravděpodobnosti a závažnosti scénářů úniku a následném vyhodnocení přijatelnosti rizika. Stanovení havarijních scénářů vychází z inženýrských přístupů k hodnocení rizik pomocí metod HAZOP, FTA, atd. [7]

Postup hodnocení rizik dle anglické metodiky je znázorněn na **Obr. 3**. Celkový přístup managementu rizik dle anglické metodiky je zobrazen na **Obr. 4**.



Obr. 3: Princip hodnocení dopadů havárií na ŽP v Anglii [7]



Obr. 4: Systém environmentálního managementu v Anglii [8]

3.1.3 Český přístup

V metodickém pokynu Ministerstva ŽP ČR č. 3/2003 byly pro hodnocení environmentálních rizik doporučeny indexové metody H&V Index a ENVITech03.

Metoda H&V Index slouží pro analýzu dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na ŽP, podrobněji je rozebrána v kapitole 3.4.

Metoda ENVITech03 se používá pro stanovení zranitelnosti složek ŽP a podrobněji je rozebrána v kapitole 3.2.

V postupu těchto indexových metod jsou zavedeny různé zobecňující a zjednodušující předpoklady, aby bylo možné posuzované vlastnosti prostředí, nebezpečné látky, úniku a další charakteristiky zařadit do několika definovaných skupin.

Právě tento zjednodušující přístup je největší slabinou uvedených metod. Nepřesnosti jsou způsobeny nejasnou alternací ekotoxikologických údajů, nezohledněním scénářů úniku a podmínek provozu, zanedbáním některých charakteristik látek a recipientu a také nejasnou návazností na jiné studie a metody. [7]

Výhoda těchto indexových metod spočívá především v jejich jednoduchosti a snadné dostupnosti údajů pro analýzu.

3.1.4 Nizozemský přístup

V Nizozemsku je pro analýzu rizik používán modelovací software Proteus, který byl vyvinut za podpory nizozemské vlády. Tento program slouží pro modelování dopadů velkých havarijních úniků nebezpečných chemických látek na povrchové vody. [7]

Metodika je založena na dvou modelech. Model VERIS slouží pro vyhodnocení rizika na základě dotazníků, model RISAM vyhodnocuje data z průmyslových zařízení.

Do hodnocení je možné zahrnutí vlivu technické úrovně průmyslového zařízení, kvalitu bezpečnostního managementu a příslušných havarijních scénářů.

Na metodu Proteus navazuje metodika Environmental Harm Index, která slouží pro stanovení přijatelnosti havarijních účinků.

Výsledkem hodnocení je ucelená zpráva, stanovující rozsah havarijních účinků, vliv uniklých látek na ŽP, počet toxických jednotek a vliv účinnosti bezpečnostních prvků. [7]

Nevýhodou metody je její úzké zaměření pouze na povrchové vody a také nutnost použití jiných metod pro stanovení havarijních scénářů.

Podrobněji je metodika Proteus popsána v kapitole 3.5.

3.1.5 Švédský přístup

Švédský přístup pro hodnocení rizik je založen na metodě Environment Accident Index.

Přestože se jedná o indexovou metodu, zohledňuje také fyzikální a ekotoxické vlastnosti látek a vlastnosti okolního prostředí. Umožňuje tak získat hodnoty vypovídající o nebezpečnosti jednotky vůči posuzovanému prostředí. [7]

Metoda EAI je používána pro:

- preventivní plánování,
- zkoumání environmentálních rizik,
- identifikaci a klasifikaci oblastí rizik.

Podrobnější popis metodiky EAI je uveden v kapitole 3.1.

3.2 Hodnocení environmentálních rizik v USA

V USA ochranu životního prostředí zastřešuje Agentura pro ochranu životního prostředí (United States Environmental Protection Agency, zkráceně US EPA nebo EPA).

EPA definuje hodnocení environmentálních rizik jako: Vyhodnocení pravděpodobnosti, s jakou dojde ke vzniku nepříznivých ekologických účinků při vystavení jednomu nebo více zátěžových faktorů. [6]

Hodnocení environmentálních rizik zahrnuje chemické, fyzikální a biologické faktory.

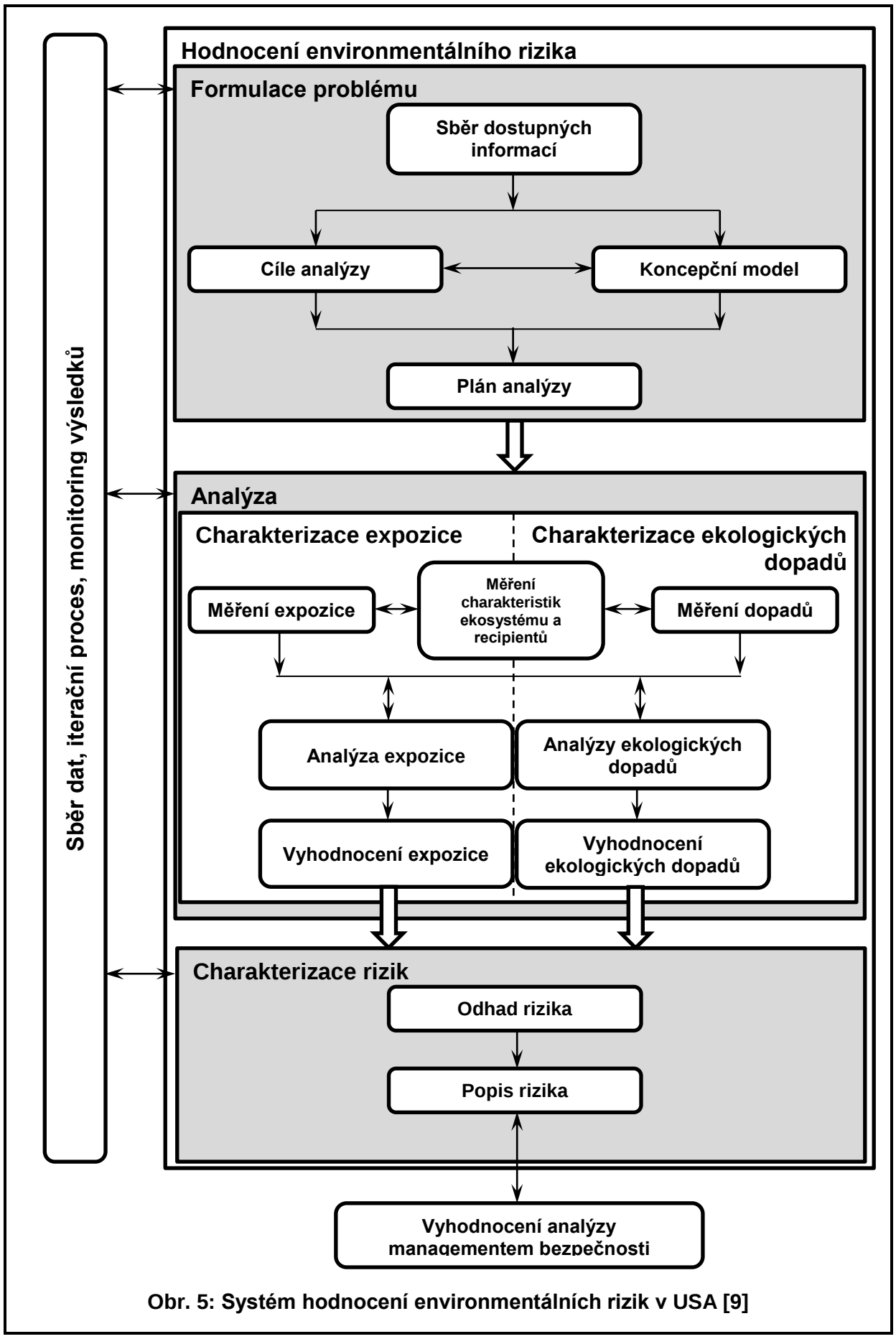
Metodika hodnocení rizik dle EPA je rozdělena na 3 hlavní části:

- I. Formulace problému** - stanovení analyzovaného problému a účelu analýzy,
 - shromáždění informací o zdrojích rizik a charakteristikách ekosystémů a recipientů,
 - stanovení cílů analýzy a koncepčního modelu,
 - vytvoření plánu analýzy.
- II. Analýza** - vychází z plánu analýzy z předchozího kroku,
 - vyhodnocení dat,
 - vyhodnocení nejpravděpodobnějšího scénáře ohrožení,
 - stanovení pravděpodobnosti a typu ohrožení ŽP.
- III. Charakterizace rizika** - vyhodnocení závažnosti dopadů na ŽP,
 - vyhodnocení nejistot a omezení provedené analýzy,
 - vytvoření zprávy analýzy a presentace managementu.

Schéma hodnocení rizik je znázorněno na **Obr. 5**.

V návaznosti na provedené hodnocení rizik jsou na základě rozhodnutí managementu prováděny další kroky, případně přijímány bezpečnostní opatření.

Často používané jsou programy pro modelování scénářů havarijních úniků, např.: EcoFate, EMSOFT, Visual MODFLOW, Exposure Assessment Models a další. [6]



Obr. 5: Systém hodnocení environmentálních rizik v USA [9]

3.3 Porovnání hodnocení environmentálního rizika v USA/EU

Z rozboru přístupů jednotlivých zemí EU a USA je patrné, že některé přístupy se výrazně liší, jiné se prolínají. V **Tab. 1** je uvedeno porovnání přístupů k hodnocení environmentálního rizika v EU a USA.

Tab. 1: Porovnání přístupů k hodnocení environmentálního rizika v EU/USA [6]

Kategorie	USA	EU
Rozsah	Široké zaměření, hodnocení chemických i jiných zátěžových faktorů	Pouze hodnocení chemických faktorů
	Prediktivní i retrospektivní hodnocení	Pouze prediktivní hodnocení
	Metodika není povinná pro svou obecnost	Povinné použití, specifické zaměření (konkrétní rovnice pro výpočet)
	Před analýzou rizik musí být stanoveny cíle, kterých má být dosaženo	Hodnocení je prováděno pro všechny složky ŽP
Synergické efekty	Synergické efekty jsou při analýze uvažovány	Synergické efekty jsou z analýzy vyloučeny; metodika EU posuzuje nebezpečnost jednotlivých látek
Životní cyklus	Hodnocení všech částí životního cyklu látky není vyžadováno, pro nechemické faktory nemusí být relevantní	Koncentrace nebezpečné látky je hodnocena ve všech částech životního cyklu; předpokladem je, že k emisím může dojít v kterékoliv části životního cyklu
Nejistoty/Variabilita	Je kladen důraz na vyhodnocení nejistot a variability	Nejistota závisí na použitých datech z laboratoří
Požadavky na data	Nejsou vyžadována žádná minimální nutná data	Výrobci a dovozci mají povinnost nebezpečných látek dodávat základní data pro hodnocení rizik
Používaná data	Je doporučeno použití dat pro konkrétní posuzovanou látku/lokalitu	Je upřednostňováno použití standardizovaných dat, která reprezentují nejhorší možný scénář; Konkrétní data mohou nahrazovat standardizované hodnoty
Iterační proces	Iterace je doporučena pouze tehdy, nelze-li v předchozím kroku definovat rizika	Iterační proces je založen na výsledcích poměru PEC/PNEC; je-li $PEC/PNEC > 1$, je iterace doporučena; příručka definuje postupy iterace
Charakterizace rizik	Riziko může být popsáno procesním modelem, odhadem dopadů, křivkou popisující vztah stresor-recipient, bodovým odhadem rizika	Riziko je popsáno poměrem $PEC/PNEC$; to může být limitující, pokud je vhodnější použití jiných metod

4. Charakteristika metod pro hodnocení environmentálních rizik

4.1 Environment Accident Index (EAI)

Metoda Environment Accident Index (dále EAI) byla vyvinuta ve Švédsku v roce 1995. Jedná se o jednoduchou indexovou metodu pro identifikaci rizika spojeného s únikem nebezpečných chemických látek do životního prostředí a hrubý odhad závažnosti tohoto úniku. Použitelnost metody je omezena pouze na únik nebezpečných chemických látek do půdy, povrchových a podpovrchových vod. Pro hodnocení úniku nebezpečné látky do ovzduší nelze tuto metodu použít.

Výstupem této metody je číselná hodnota EAI, podle které lze vyhodnocovaný scénář zařadit do kategorií dle závažnosti dopadu na životní prostředí (**Tab. 2**). Toto zařazení lze chápat pouze orientačně. Ve specifických případech (únik malého množství vysoce toxické látky, únik velkého množství málo nebezpečné látky, atd.) je doporučeno provést podrobnější analýzu rizik, přestože hodnota EAI vychází nízká.

Tab. 2: Kategorie závažnosti dopadu na ŽP dle metodiky EAI [10]

EAI _{old}	EAI _{new}	Očekávané dopady na ŽP
0-100	0-33%	Málo až středně závažné dopady na ŽP
100-500	34-74%	Středně závažné až závažné dopady na ŽP
>500	75-100%	Závažné až velmi závažné dopady na ŽP

4.1.1 Postup stanovení EAI

Výpočet EAI se provádí dosazováním definovaných tabulkových hodnot do rovnice (1).

$$EAI_{old} = Tox \cdot Am \cdot (Con + Sol + Sur) \quad (1)$$

Tox – akutní toxicita pro vodní organismy – **Tab. 8**

Am – skladované/přepravované množství – **Tab. 9**

Con – viskozita látky – **Tab. 10**

Sol – rozpustnost – **Tab. 11**

Sur – vlastnosti prostředí (vzdálenost k nejbližšímu vodnímu toku, hloubka podzemní vody, spád podzemních vod, tloušťka zeminy nad podzemní vodou) – **Tab. 7**

Sur₁ – vzdálenost k nejbližší studni, jezeru nebo vodnímu toku – **Tab. 3**

Sur₂ – hloubka k hladině podzemní vody – **Tab. 4**

Sur₃ – sklon hladiny podzemní vody a směr toku – **Tab. 5**

Sur₄ – tloušťka a složení půdní vrstvy – **Tab. 6**

V roce 2004 Åsa Scott Andersson ve své disertační práci, na základě aplikace metody EAI na množství průmyslových havárií a statistického vyhodnocení, navrhla novou formulaci vzorce pro výpočet EAI.

Pro výpočet EAI_{new} jsou používána konkrétní data a nevyžaduje použití tabulek pro převod charakteristik nebezpečné látky a posuzovaného prostředí na indexy. Vzorec pro výpočet EAI_{new} je odvozen z údajů získaných z aplikace metodiky na množství skutečných průmyslových havárií a dosahuje méně zkreslených výsledků při použití metody pro různé látky, prostředí a havarijní scénáře.

$$EAI_{new} = 18,9 + [7,1(P_v)^{-0,25} + 8,7 \cdot 10^{-6}(D)^{-2} - 3,2 \log S_w] + 0,07\left(\frac{m}{Tox}\right)^{0,25} - [6,8(DNW)^{0,25} - 7,4(DGS)^{0,25} + 27,9SGS] \quad (2)$$

P_v – tlak par [kPa]

D – hustota [kg/m³]

S_w – rozpustnost ve vodě [hmot. %]

m – množství [t]

Tox – akutní toxicita pro vodní organismy [mg/l]

DNW – vzdálenost k nejbližší studni, jezeru nebo vodnímu toku [m]

DGS – hloubka k hladině podzemní vody [m]

SGS – sklon hladiny podzemní vody [-]

Tab. 3: Vzdálenost k nejbližší studni, jezeru nebo vodnímu toku [10]

Sur ₁	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Vzdálenost [m]	0-10	10-20	20-35	35-50	50-75	75-150	150-300	300-1000	1000-2000	>2000

Tab. 4: Hloubka k hladině podzemní vody [10]

Sur ₂	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Hloubka [m]	0-0,2	0,2-1	1-3	3-5	5-7	7-12	12-20	20-30	30-60	60

Tab. 5: Sklon hladiny podzemní vody a směr toku [10]

Sur ₃	5	1	0
Parametry	Hladina podzemní vody směřuje ke studni, jezeru nebo vodnímu toku	Hladina podzemní vody je vodorovná	Žádná studna, jezero nebo vodní tok se nenachází ve vzdálenosti 1 km v směru toku podzemní vody

Tab. 6: Tloušťka a složení půdní vrstvy [10]

Tloušťka vrstvy [m]	Sur ₄					
	Štěrk	Písek	Moréna	Bahno	Jíl	Zmrzlá země
>30	9	8	6	4	0	0
25-30	9	7-8	5-6	3-5	0-1	0
20-25	9	7-8	5-6	3-5	0-2	0
15-20	9	7-8	5-7	3-6	0-3	0
10-15	9	7-9	5-8	3-7	0-4	0
3-10	9	7-9	6-8	4-8	1-6	0
<3	9	7-9	6-9	4-8	2-8	0

Tab. 7: Hodnoty proměnné Sur [10]

Suma indexů Sur ₁₋₄	Sur
>25	10
20-25	7
15-20	5
10-15	3
<10	1

Tab. 8: Hodnoty proměnné Tox [10]

Akutní toxicita ^{a)} (LC ₅₀ nebo EC ₅₀) [mg/l]	Tox
<1 ^{b)}	10
1-6	8
6-30	6
30-200	4
200-1000	2
>1000	1

a) Nejnižší známá hodnota LC₅₀ nebo EC₅₀ pro ryby, dafnie nebo řasy

b) V případě extrémně toxických látek je doporučeno provést podrobnější analýzu, přestože výsledná hodnota EAI bude nízká

Tab. 9: Hodnoty proměnné Am [10]

Skladované nebo přepravované množství chemikálie [t] ^{a)}	Am
>500b)	10
50-500	7
5-49	5
0,5-4,9	3
<0,5	1

a) Maximální množství chemikálie; v případě směsi převedení na množství čisté látky

b) Extrémně velké skladované množství by mělo být posouzeno i v případě, že výsledná hodnota EAI bude nízká

Tab. 10: Hodnoty proměnné Con [10]

Konzistence Viskozita ^{a)} [cSt] ^{b)}	Con
<0,5	5
0,5-4,4,	4
4,4-47	3
47-300	2
>300	1
Pevná látka	0
Neznámá viskozita	4

a) Nejsou-li k dispozici data o viskozitě, volíme hodnotu Con=4, do této skupiny spadá většina kapalných látek

b) $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; Je-li viskozita dostupná pouze v jednotce cP (dynamická viskozita), musí být tato hodnota nejprve vydělena hustotou látky v $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Tab. 11: Hodnoty proměnné Sol [10]

Rozpustnost ve vodě [hm. %]	Sol
>90	5
25-90	4
5-25	3
1-5	2
<1	1
Rozpustné ve vodě	5
Rozpustné v organických rozpouštědlech	a)

a) Hodnota rozpustnosti pro rozpouštědlo

4.1.2 Zhodnocení metody EAI

Jedná se o jednoduchou metodiku pro rychlé a přehledné zhodnocení rizik vyplývajících z úniku látek a směsí nebezpečných pro životní prostředí. Metoda nevyžaduje velké množství vstupních dat, vstupní data jsou snadno dosažitelná z běžně používaných zdrojů (mapové podklady, bezpečnostní listy, atd.).

Metoda EAI umožňuje odhad některých vstupních veličin (např. v případě viskozity) a je primárně určena pro oblast územního plánování, resp. výběr lokality pro umístění většího množství nebezpečných látek a směsí. Použitelnost metody je omezena použitím pro hodnocení úniku nebezpečné látky do půdy, povrchových a podpovrchových vod. Pro hodnocení úniku nebezpečné látky do ovzduší nelze tuto metodu použít. V případě menších zdrojů rizik je třeba individuálně posuzovat zdroje s vyšší hodnotou indexu, která se blíží limitní hodnotě.

Pro výpočet EAI_{new} jsou používána konkrétní data a nevyžaduje použití tabulek pro převod charakteristik nebezpečné látky a posuzovaného prostředí na indexy. Vzorec pro výpočet EAI_{new} je odvozen z údajů získaných z aplikace metodiky na množství skutečných průmyslových havárií a dosahuje méně zkreslených výsledků při použití metody pro různé látky, prostředí a havarijní scénáře.

Výstupem této metody je číselná hodnota EAI, podle které lze vyhodnocovaný scénář zařadit do kategorií dle závažnosti dopadu na životní prostředí. Ve specifických případech (únik malého množství vysoce toxické látky, únik velkého množství málo nebezpečné látky, atd.) je doporučeno provést podrobnější analýzu rizik, přestože hodnota EAI vychází nízká.

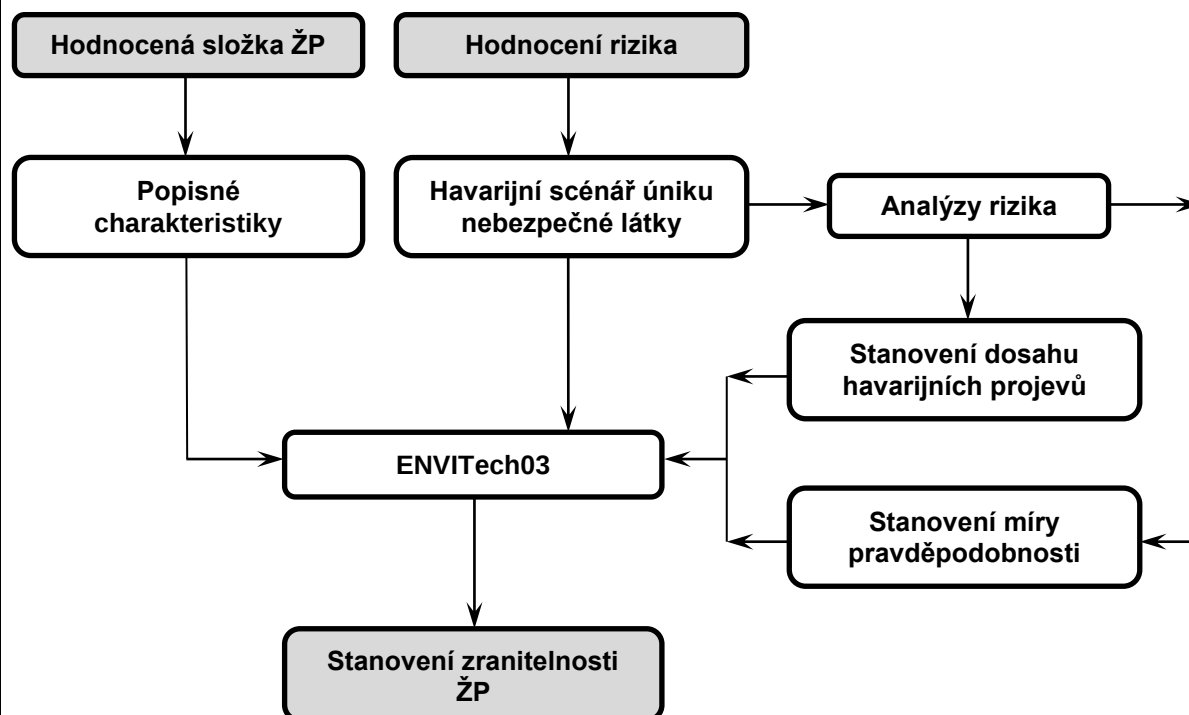
4.2 Envitech03

Metoda Envitech03 byla vyvinuta v roce 2002 firmou ISATech, s.r.o. pro Výzkumný ústav bezpečnosti práce Praha. Tato metoda je také jednou z metod doporučených Ministerstvem životního prostředí pro analýzu dopadů závažné havárie na životní prostředí.

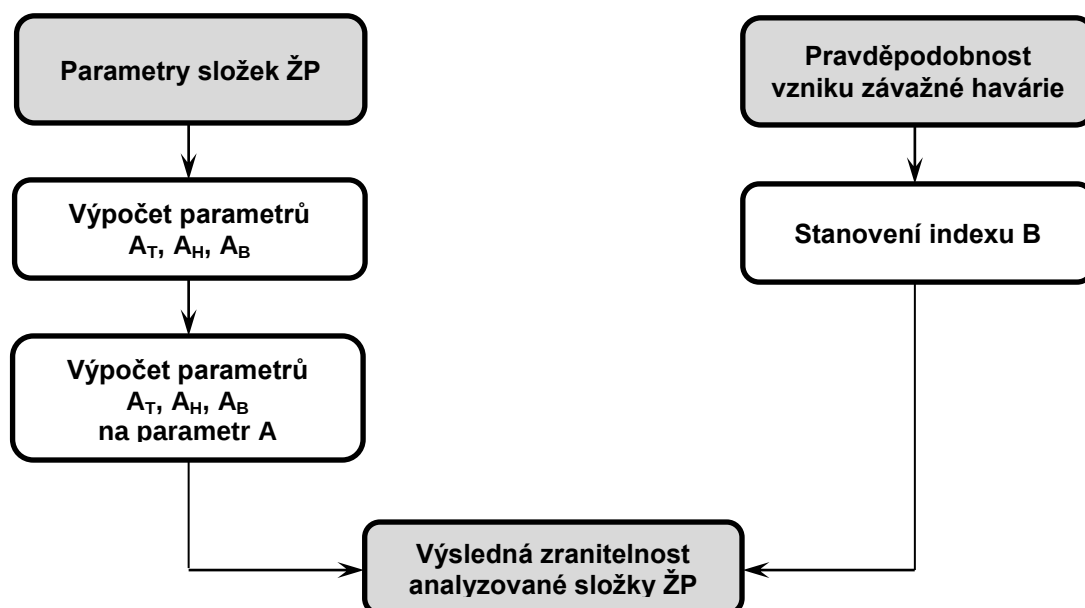
Jedná se o relativní metodu hodnocení zranitelnosti různých složek životního prostředí – biotop, povrchové a podpovrchové vody. Zranitelnost prostředí vyjadřuje vztah mezi pravděpodobností vzniku závažné havárie a schopností prostředí redukovat havarijní účinky. Výsledná zranitelnost dané složky je dána součinem parametrů A a B a je klasifikována 5 stupni dle **Tab. 21**. Parametr A charakterizuje vlastnosti zvolené složky životního prostředí (biotické, geomorfologické, hydrogeologické a hydrografické poměry). Parametr B zohledňuje pravděpodobnost vzniku posuzované havárie, která je výstupem předchozí analýzy pravděpodobnosti vzniku havárie. Postup stanovení zranitelnosti je uveden na **Obr. 6** a **Obr. 7**. Informace, nutné pro aplikaci a metody EnviTech03 a jejich zdroje, jsou v **Tab. 12**.

Tab. 12: Vstupní informace pro hodnocení metodou EnviTech03 [11]

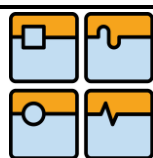
Vstupní parametr	Požadovaná informace	Parametr	Metodika	Zdroj
Pravděpodobnost vzniku havárie	Stanovení četnosti úniku NL	Míra pravděpodobnosti	- Analýza četnosti poruch - IAEA-TECDOC-727 - a jiné	Metodika VÚBP
Dosah havarijních projevů	Výpočet rozptylu NL	Dosah LD ₅₀ [m]	- Analýza zdrojů a rozptylů - ALOHA - FORCE - a jiné	Metodika VÚBP
Geomorfologické poměry	Svažitost terénu po spádnicí	[%]	Mapové podklady 1:5000	Kartografie
Hydrogeologické poměry	Propustnost zasaženého prostředí (půda, hornina)	Koeficient rozpustnosti, koeficient filtrace	Archiv hydrogeologicko průzkumných prací	Geofond
Hydrografické poměry	Vzdálenost vodní plochy od zdroje po spádnicí	[m]	Mapové podklady 1:5000	Kartografie
Biotické poměry	Vzdálenost sledovaného živočišného, resp. rostlinného společenství od zdroje ve směru vyhodnocovaného proudění větrů	[m]	- Katalog biotopů ČR - Přehled VKP - Územní plány	SMARAGD; NATURA 2000; Agentura ochrany přírody a krajiny ČR; Útvar hlavního architekta
Stabilitní charakteristika atmosféry	Meteorologické poměry	[m.s ⁻¹] [%]	---	Český hydrometeorologický ústav ČR



Obr. 6: Postup stanovení zranitelnosti ŽP [11]



Obr. 7: Postup stanovení zranitelnosti ŽP metodou EnviTech03 [12]



4.2.1 Postup stanovení zranitelnosti

Stanovení parametru A

Biotop

Postup stanovení parametru A_B je vyjádřen rovnicí 3 a je znázorněn na **Obr. 8**.

$$A_B = \frac{v \cdot \eta \cdot X_{LD50}}{s}$$

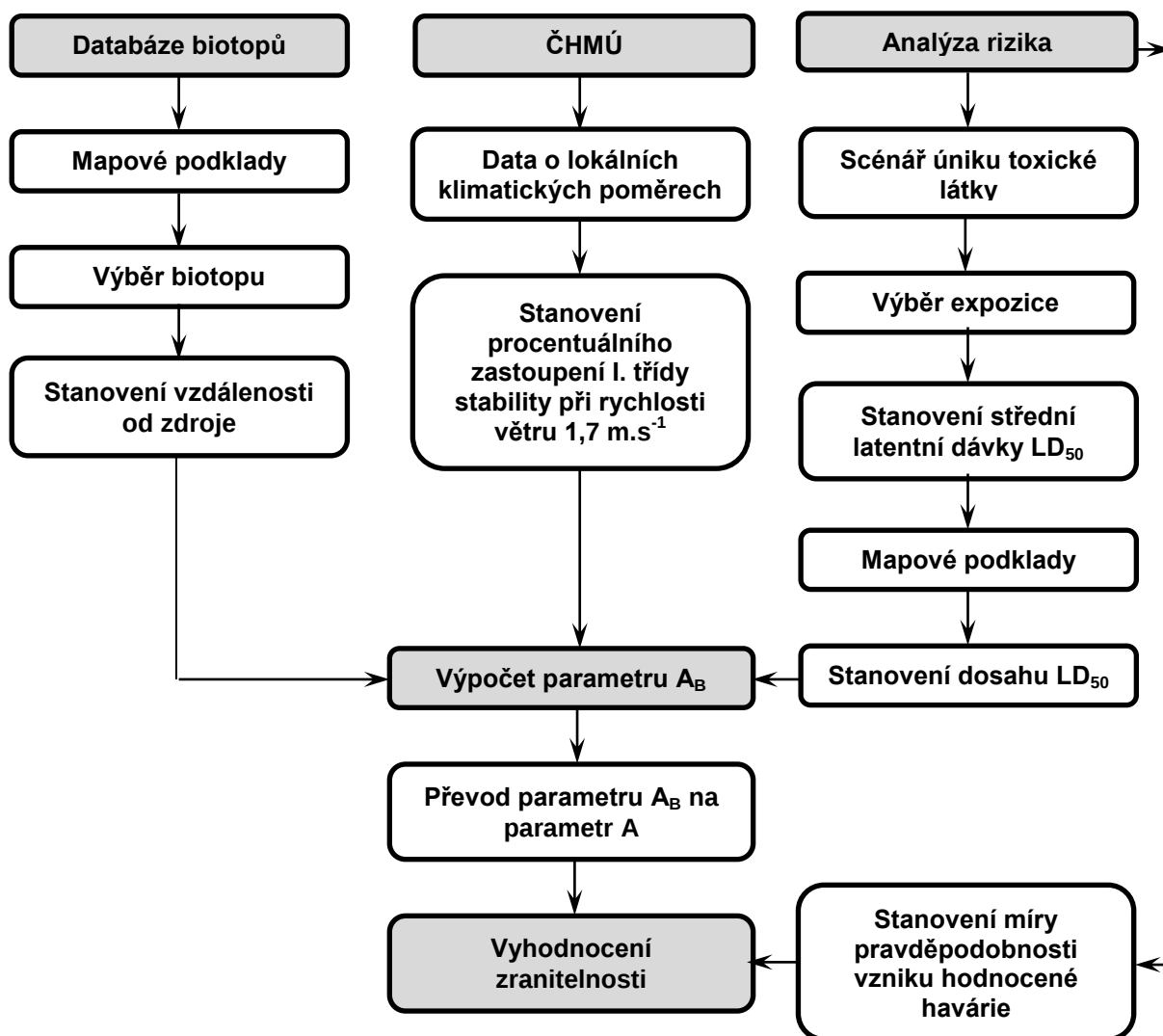
(3)

v – rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

η – procentuální zastoupení stability třídy [%]

s – vzdálenost hodnoceného biotopu od zdroje [m]

X_{LD50} – dosah hodnocené látky o zraňující koncentraci [m]



Obr. 8: Postup stanovení parametru A_B [11]

Tab. 13: Stanovení parametru A_B pro rychlost větru $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ a dosah LD_{50} do 50 m [11]

Vzdálenost hodnoceného biotopu [m]	Četnost I. Třídy stability				
	0,05	0,10	0,15	0,2	0,25
100	0,0425	0,0850	0,1275	0,1700	0,2125
200	0,0213	0,0425	0,0638	0,0850	0,1063
300	0,0142	0,0283	0,0425	0,0567	0,0708
400	0,0106	0,0213	0,0319	0,0425	0,0531
500	0,0085	0,0170	0,0255	0,0340	0,0425
600	0,0071	0,0142	0,0213	0,0283	0,0354
700	0,0061	0,0121	0,0182	0,0243	0,0304
800	0,0053	0,0106	0,0159	0,0213	0,0266
900	0,0047	0,0094	0,0142	0,0189	0,0236
1000	0,0043	0,0085	0,0128	0,0170	0,0213

Parametr A je získán převedením parametru A_B dle **Tab. 14**.

Tab. 14: Převod parametru A_B na parametr A [11]

Parametr A_B	Slovní charakteristika	Parametr A
$\leq 0,020$	Velmi příznivé poměry	1
$> 0,020 - 0,030$	Příznivé poměry	2
$> 0,030 - 0,040$	Přijatelné poměry	3
$> 0,040 - 0,050$	Nepříznivé poměry	4
$> 0,050$	Velmi nepříznivé poměry	5

Povrchové vody

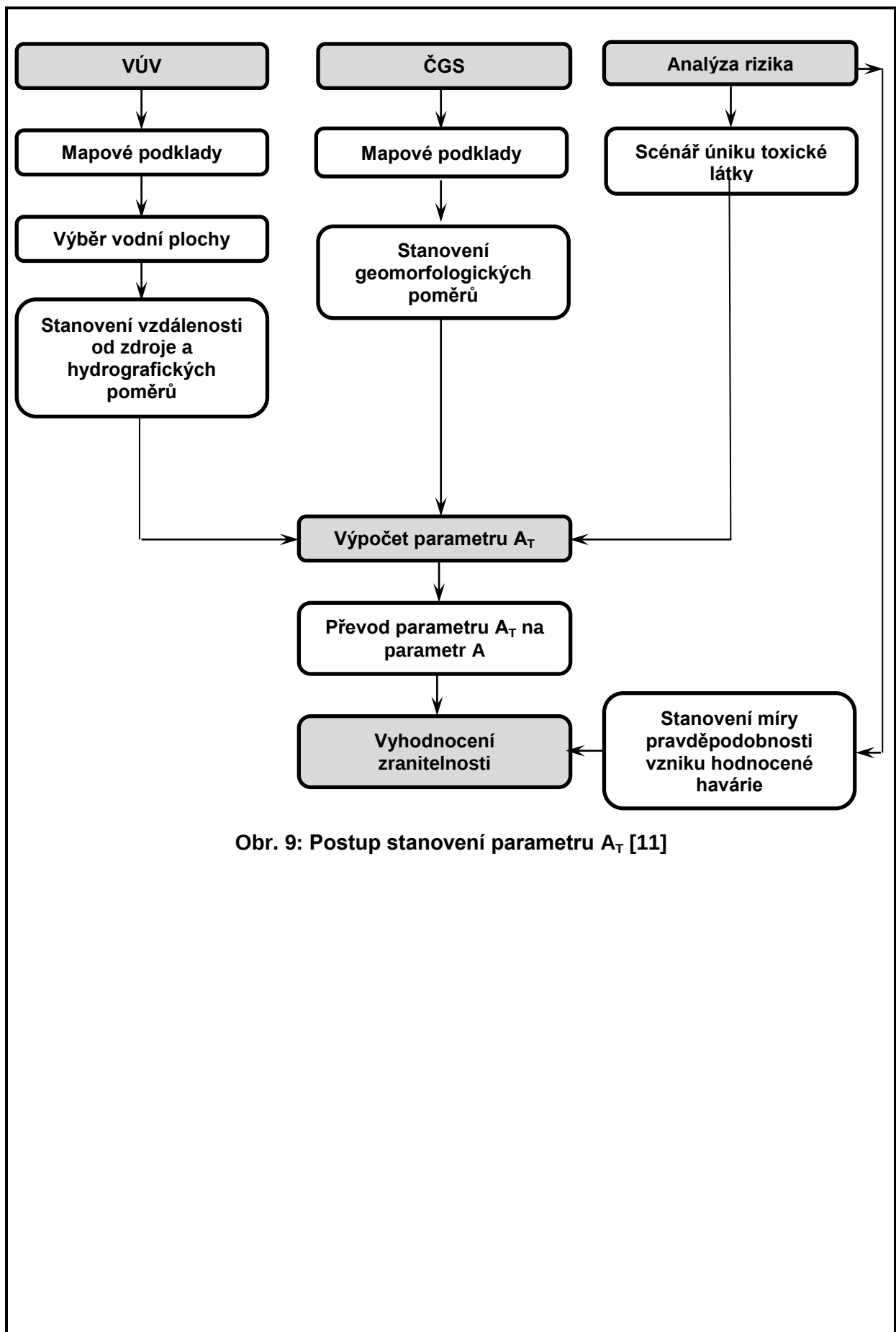
Postup stanovení parametru A_T je vyjádřen rovnicí 4 a je znázorněn na **Obr. 9**.

$$A_T = \left(\left(\frac{h_1}{s_1} + \frac{h_2}{s_2} + \dots + \frac{h_n}{s_n} \right) \cdot n^{-1} \right) \cdot s_z^{-1} \quad (4)$$

s_n – vzdálenost odečítaných bodů po spádnicí [m]

h_n – převýšení ve směru odečítaných bodů [m]

s_z – vzdálenost zdroje od hladiny povrchové vody [m]



Obr. 9: Postup stanovení parametru A_T [11]

Tab. 15: Stanovení parametru A_T pro vzdálenost vyhodnocovaného recipientu od zdroje [11]

Vzdálenost recipientu od zdroje [m]	Spád terénu				
	1	2	3	4	5
30	0,00033	0,00067	0,00100	0,00133	0,00167
40	0,00025	0,00050	0,00075	0,00100	0,00125
50	0,00020	0,00040	0,00060	0,00080	0,00100
60	0,00017	0,00033	0,00050	0,00067	0,00083
70	0,00014	0,00029	0,00043	0,00057	0,00071
80	0,00013	0,00025	0,00038	0,00050	0,00063
90	0,00011	0,00022	0,00033	0,00044	0,00056
100	0,00010	0,00020	0,00030	0,00040	0,00050
150	0,00007	0,00013	0,00020	0,00027	0,00033
250	0,00004	0,00008	0,00012	0,00016	0,00020
500	0,00002	0,00004	0,00006	0,00008	0,00010
1000	0,00001	0,00002	0,00003	0,00004	0,00005

Parametr A je získán převedením parametru A_T dle **Tab. 16**.

Tab. 16: Převod parametru A_T na parametr A [11]

Parametr A_T	Slovní charakteristika	Parametr A
$\leq 0,00005$	Velmi příznivé poměry	1
$> 0,00005 - 0,0001$	Příznivé poměry	2
$> 0,0001 - 0,0002$	Přijatelné poměry	3
$> 0,0002 - 0,0003$	Nepříznivé poměry	4
$> 0,0003$	Velmi nepříznivé poměry	5

Podpovrchové vody

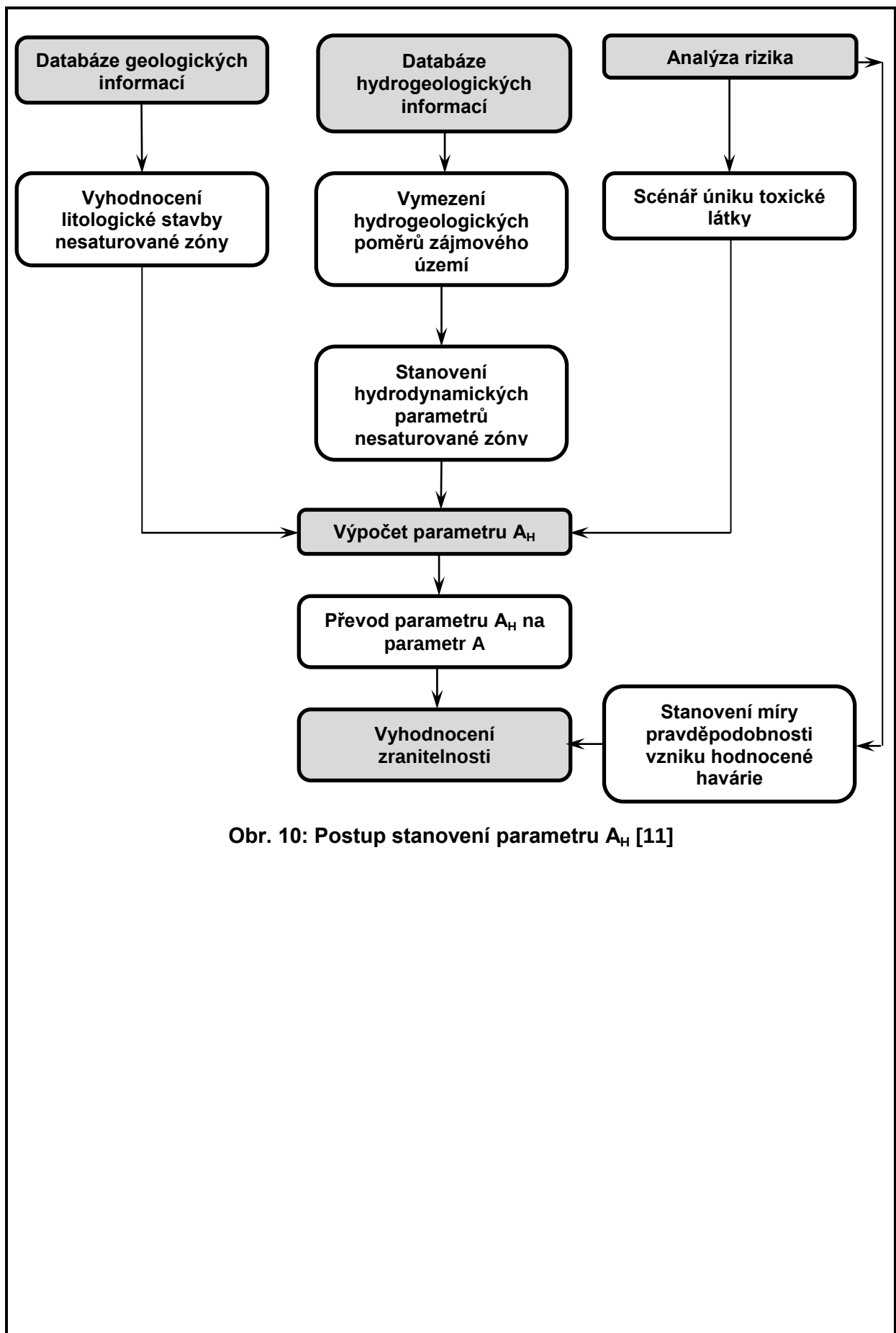
Postup stanovení parametru A_H je vyjádřen rovnicí 5 a je znázorněn na **Obr. 10**.

Převod hydrogeologické charakteristiky prostředí pro účely stanovení zranitelnosti je uveden v **Tab. 17**.

$$A_H = \frac{h}{k} \quad (5)$$

h – mocnost nesaturované zóny [m]

k – koeficient filtrace [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]



Obr. 10: Postup stanovení parametru A_H [11]

Tab. 17: Převod hydrogeologické charakteristiky pro účely stanovení zranitelnosti [11]

Koeficient propustnosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	Označení prostředí	Koeficient filtrace [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Charakteristika pro účely stanovení zranitelnosti
$\geq 1 \cdot 10^{-9}$	Velmi silně propustné	$\geq 1 \cdot 10^{-2}$	Velmi vysoce propustné
$< 1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-10}$	Silně propustné	$< 1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3}$	Vysoce propustné
$< 1 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-11}$	Dosti silně propustné	$< 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	
$< 1 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-12}$	Mírně propustné	$< 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$	Propustné
$< 1 \cdot 10^{-12} - 1 \cdot 10^{-13}$	Dosti slabě propustné	$< 1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$	
$< 1 \cdot 10^{-13} - 1 \cdot 10^{-14}$	Slabě propustné	$< 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$	Málo propustné
$< 1 \cdot 10^{-14} - 1 \cdot 10^{-15}$	Velmi slabě propustné	$< 1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-8}$	
$< 1 \cdot 10^{-15}$	Nepatrně propustné	$< 1 \cdot 10^{-8}$	Velmi málo propustné

Tab. 18: Stanovení parametru A_H pro vyhodnocovaný kolektor, resp. nesaturovanou zónu [11]

Koeficient filtrace [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Hloubka hladiny podzemní vody [m]								
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
1,00E-02	1,00E+02	2,00E+02	3,00E+02	4,00E+02	5,00E+02	6,00E+02	7,00E+02	8,00E+02	9,00E+02
1,00E-03	1,00E+03	2,00E+03	3,00E+03	4,00E+03	5,00E+03	6,00E+03	7,00E+03	8,00E+03	9,00E+03
1,00E-04	1,00E+04	2,00E+04	3,00E+04	4,00E+04	5,00E+04	6,00E+04	7,00E+04	8,00E+04	9,00E+04
1,00E-05	1,00E+05	2,00E+05	3,00E+05	4,00E+05	5,00E+05	6,00E+05	7,00E+05	8,00E+05	9,00E+05
1,00E-06	1,00E+06	2,00E+06	3,00E+06	4,00E+06	5,00E+06	6,00E+06	7,00E+06	8,00E+06	9,00E+06
1,00E-07	1,00E+07	2,00E+07	3,00E+07	4,00E+07	5,00E+07	6,00E+07	7,00E+07	8,00E+07	9,00E+07
1,00E-08	1,00E+08	2,00E+08	3,00E+08	4,00E+08	5,00E+08	6,00E+08	7,00E+08	8,00E+08	9,00E+08
1,00E-09	1,00E+09	2,00E+09	3,00E+09	4,00E+09	5,00E+09	6,00E+09	7,00E+09	8,00E+09	9,00E+09

Parametr A je získán převedením parametru A_H dle **Tab. 19**.

Tab. 19: Převod parametru A_H na parametr A [11]

Parametr A_H	Slovní charakteristika	Parametr A
$\leq 3,0E+06$	Velmi příznivé poměry	1
$3,0E+06 - 2,0E+06$	Příznivé poměry	2
$2,0E+06 - 1,0E+06$	Přijatelné poměry	3
$1,0E+06 - 0,5E+05$	Nepříznivé poměry	4
$> 0,5E+05$	Velmi nepříznivé poměry	5

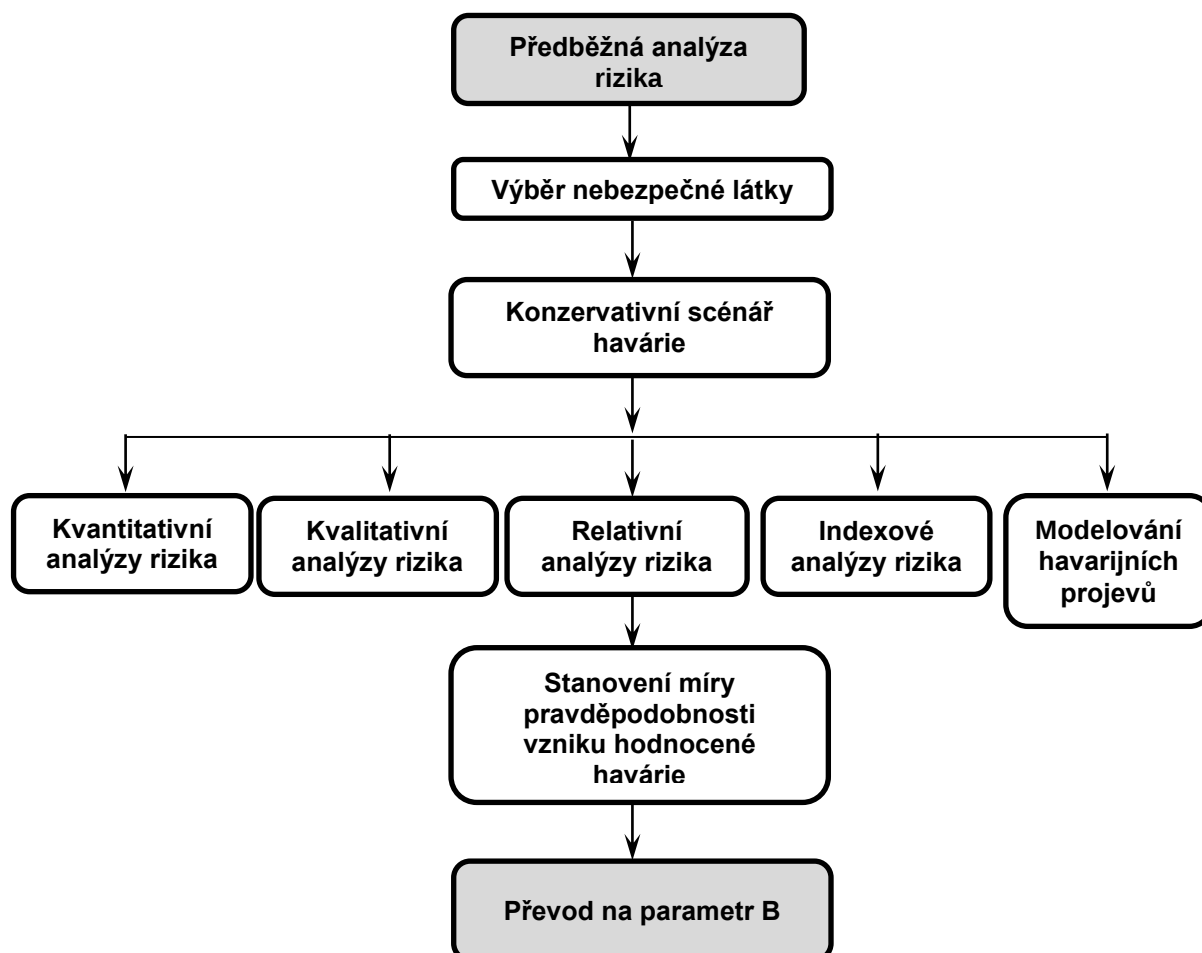
Stanovení parametru B

Postup stanovení parametru B je znázorněn na **Obr. 11**.

Parametr B je dle pravděpodobnosti vzniku havárie získán z **Tab. 20**.

Tab. 20: Míra pravděpodobnosti havárie za rok pro vyhodnocovaný typ činnosti [11]

Událost za rok [rok^{-1}]	Míra pravděpodobnosti	Parametr B
$\geq 1 \cdot 10^{-3}$	Velmi vysoce pravděpodobné	5
$< 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	Vysoce pravděpodobné	4
$< 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$	Pravděpodobné	3
$< 1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$	Málo pravděpodobné	2
$< 1 \cdot 10^{-6}$	Velmi málo pravděpodobné	1



Obr. 11: Postup stanovení parametru B [11]

Stanovení výsledné zranitelnosti

Výsledná zranitelnost složky životního prostředí je dána součinem parametrů A a B dle **Tab. 21**.

Tab. 21: Vyhodnocení zranitelnosti prostředí [11]

Parametry A x B	Klasifikace zranitelnosti prostředí
≥ 20	Velmi vysoká zranitelnost
$< 15 - 20$	Vysoká zranitelnost
$< 10 - 15$	Zranitelnost
$< 5 - 10$	Nízká zranitelnost
< 5	Velmi nízká zranitelnost

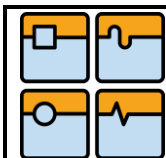
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.2.2 Zhodnocení metody Envitech03

Metodika EnviTech03 je jednoduchá indexová metodika pro stanovení zranitelnosti posuzované složky životního prostředí. Postup je založen na převodu základních charakteristik posuzovaného prostředí na index A a pravděpodobnosti vzniku závažné havárie na index B. Součin těchto indexů udává výslednou zranitelnost složky ŽP. Výhodou je její jednoduchost a poměrně snadná dostupnost údajů pro stanovení indexu A.

Nevýhodou metody Envitech03 je závislost na výsledcích předchozí analýzy pravděpodobnosti vzniku havárie pro stanovení indexu B.

Významným nedostatkem je zanedbání viskozity nebezpečné látky ve výpočtu, která má na rozptyl látky významný vliv. Nejsou také uváženy možné přenosy látky mezi jednotlivými složkami životního prostředí.



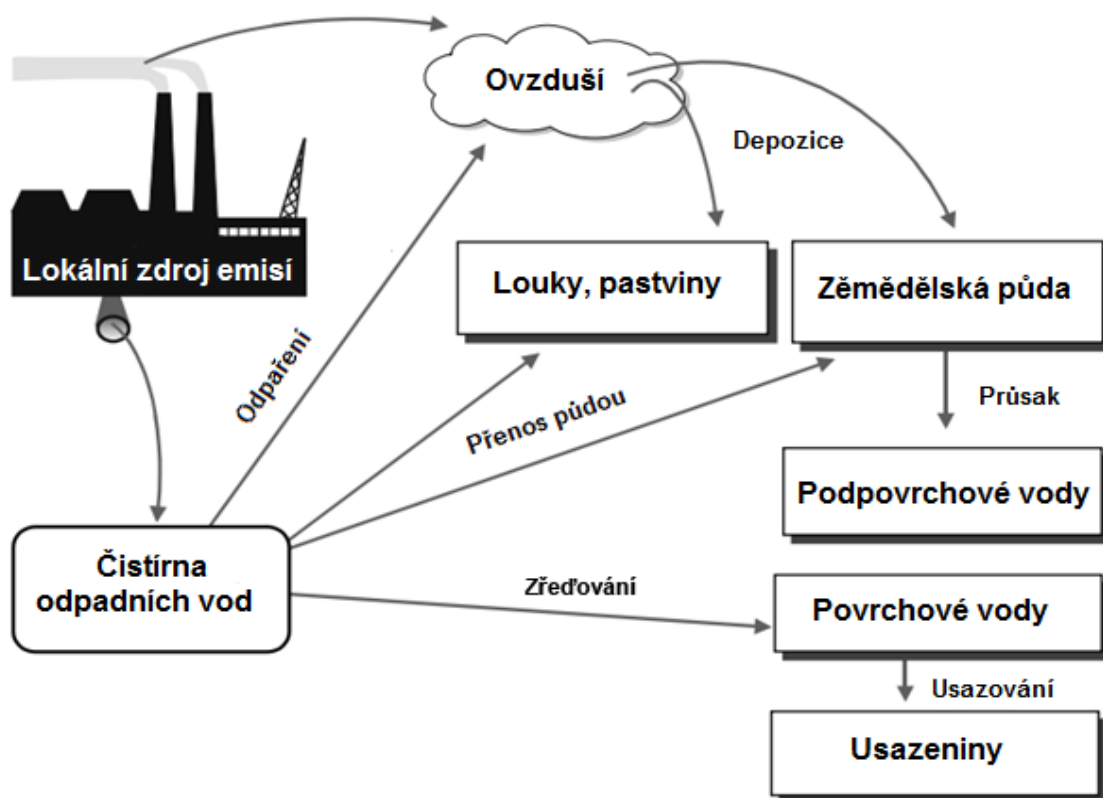
4.3 EUSES

Metoda EUSES (The European Union System for the Evaluation of Substances) byla vytvořena pro kvantitativní hodnocení rizika účinků chemických látek a směsí na člověka (pracovník, přímý spotřebitel, sekundárně skrze prostředí) a životní prostředí (suchozemské a vodní ekosystémy, sedimenty, zvířata). Cesty šíření emisí ze zdroje jsou znázorněny na **Obr. 12**, cesty šíření mezi jednotlivými složkami ŽP pak na **Obr. 13**.

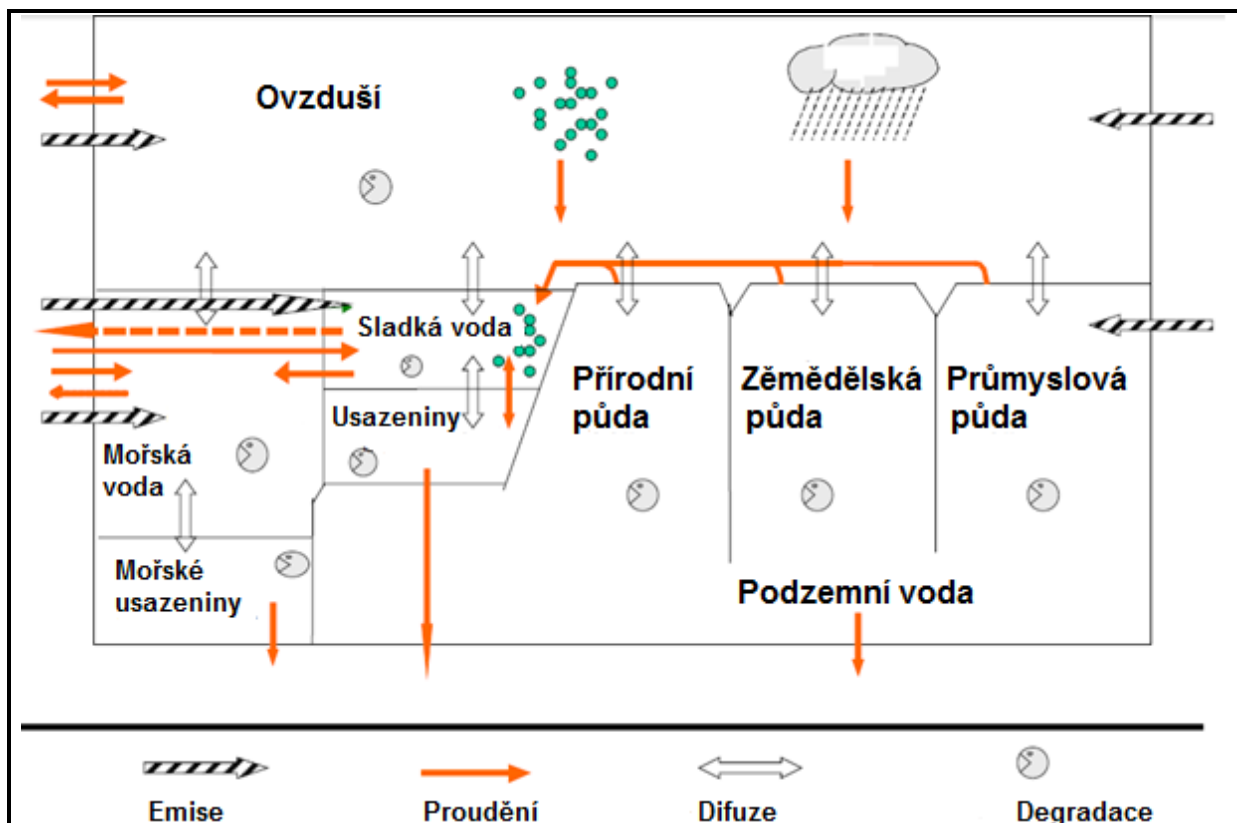
Princip metody je popsán v příručce Technical Guidance Document in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Regulation (EC) No. 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substance (TGD) and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market, part II [13]. Součástí TGD je také definice emisních faktorů pro různé druhy průmyslové činnosti.

Hodnocení metodou EUSES je prováděno na základě matematických vztahů, definovaných v TGD. Vstupy pro výpočet jsou fyzikálně – chemické vlastnosti nebezpečné chemické látky, vlastnosti jednotlivých částí životního prostředí a jejich vzájemná interakce. Pro zjednodušení výpočtu jsou pro tyto faktory v TGD definovány konstanty, pro co nejpřesnější odhad rizika je nutné použití přesných dat pro konkrétní danou látku a prostředí.

Vzhledem ke složitosti výpočtu byl výpočtový model realizován v interaktivním počítačovém programu EUSES. První verze byla vydána v roce 1997, aktuální verze EUSES 2.1 je k dispozici volně ke stažení na internetu.



Obr. 12: Cesty šíření emisí ze zdroje do ŽP [14]



Obr. 13: Cesty šíření emisí mezi složkami ŽP [13]

4.3.1 Postup stanovení rizika metodou EUSES

Postup stanovení rizika je založen na výpočtu předpokládané koncentrace nebezpečné látky v jednotlivých částech životního prostředí (PEC – Predicted Environmental Concentration) a hodnoty předpokládané koncentrace, která nemá žádný negativní efekt na životní prostředí PNEC (Predicted No Effect Concentration). Výstupem metody EUSES je stanovení poměru Risk Characteristic Ratio (RCR), který je dán poměrem hodnoty PEC a PNEC.

Hodnoty PEC jsou stanovovány pro lokální oblast i celý region a mohou být získány buď z naměřených skutečných hodnot koncentrace nebo výpočtem z modelů či laboratorních testů. Předpokládaná koncentrace bez negativních účinků (PNEC) je odvozena pomocí faktorů, dle postupu v TGD nebo pomocí extrapolčních statistických metod.

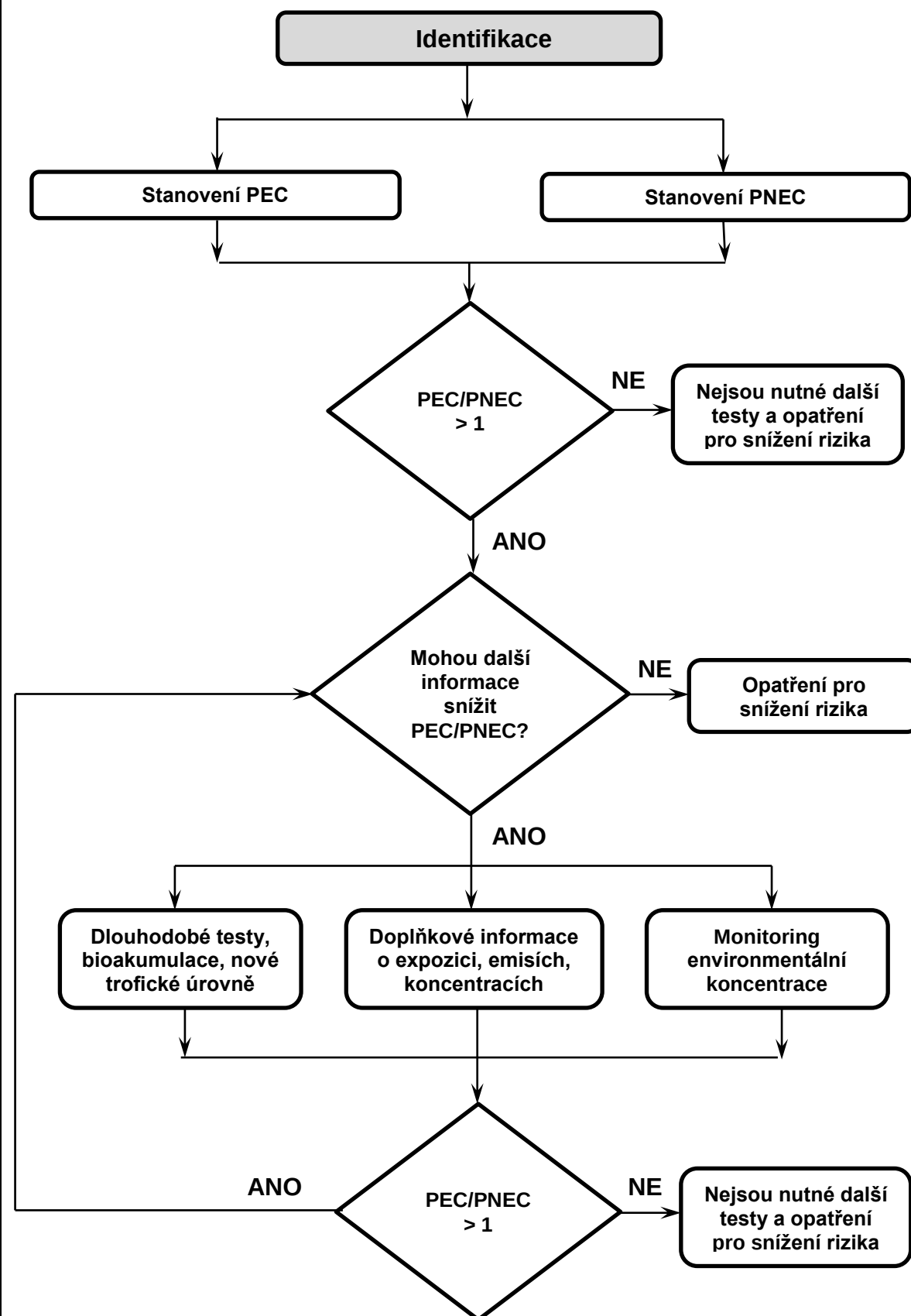
Dle hodnoty výsledného poměru RCR jsou doporučována opatření dle **Tab. 22**.

Tab. 22: Doporučená opatření dle hodnoty RCR [14]

Poměr PEC/PNEC	Doporučená opatření
< 1	opatření pro snížení environmentálního rizika není potřeba
> 1	je potřeba provést podrobnější analýzu environmentálního rizika
>> 1	je potřeba provést rozsáhlá opatření pro snížení rizika, nové testy toxicity

Pro praktickou aplikaci metody EUSES v této práci jsou zavedeny zjednodušující předpoklady, podrobné matematické vztahy lze nalézt v TGD. Standardně je výpočet prováděn pomocí počítačového programu EUSES.

Na **Obr. 14** je znázorněna posloupnost kroků analýzy rizika a jeho vyhodnocení metodou EUSES.



Obr. 14: Postup hodnocení rizika metodou EUSES [14]

Stanovení koncentrace ve svrchní vrstvě zeminy

$$C_{\text{localsoil}} = \frac{D_{\text{air}}}{k} \cdot \frac{1}{k \cdot T} \cdot \left[C_{\text{soil}}(0) \cdot -\frac{D_{\text{air}}}{k} \right] \cdot (1 - e^{-k \cdot T}) \quad (6) [13]$$

C_{localsoil}	- průměrná koncentrace v půdě po T dnech	[mg.kg ⁻¹]
D_{air}	- depozice půdy ze vzduchu	[mg.kg ⁻¹ .d ⁻¹]
k	- koeficient odbourání z horní vrstvy zeminy	[d ⁻¹]
T	- průměrná doba působení	[d]
C_{soil}(0)	- počáteční koncentrace	[mg.kg ⁻¹]

$$PEC_{\text{localsoil}} = C_{\text{localsoil}} + PEC_{\text{regionalsoil}} \quad (7) [13]$$

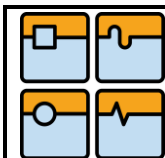
PEC_{localsoil}	- předpokládaná lokální koncentrace v půdě	[mg.kg ⁻¹]
C_{localsoil}	- lokální koncentrace v půdě	[mg.kg ⁻¹]
PEC_{regionalsoil}	- předpokládaná regionální koncentrace v půdě (pro lokální zdroj se nestanovuje)	[mg.kg ⁻¹]

Faktory ovlivňující šíření látek v ŽP

Koeficient odbourávání látky z vrstvy zeminy

$$k = k_{\text{volat}} + k_{\text{leach}} + k_{\text{bio}_{\text{soil}}} \quad (8) [13]$$

k	- koeficient odbourávání látky z vrstvy zeminy	[d ⁻¹]
k_{volat}	- koeficient odpaření (těkání) ze zeminy	[d ⁻¹]
Koeficient je funkcí: - rozdělovacího koeficientu půda-voda $k_{\text{soil-water}}$ - rovnovážné distribuční konstanty vzduch-voda $k_{\text{air-water}}$ - koeficientů dílčích přenosů hmoty mezi vzduchem, půdou a vodou $k_{\text{air-soil}}$, $k_{\text{soil-air}}$, $k_{\text{soil-water}}$ - hloubky pod povrchem $DEPTH_{\text{soil}}$		
k_{leach}	- koeficient vyluhování z horní vrstvy zeminy	[d ⁻¹]
Koeficient je funkcí: - rozdělovacího koeficientu půda-voda $k_{\text{soil-water}}$ - frakce srážkové vody prosakující do zeminy $Finf_{\text{soil}}$ - množství srážek $RAINrate$ - hloubky pod povrchem $DEPTH_{\text{soil}}$		
k_{bio}_{soil}	- koeficient biodegradace	[d ⁻¹]
Koeficient je funkcí schopnosti biodegradace a rozdělovacích koeficientů		

Depozice půdy z ovzduší

$$D_{\text{air}} = \frac{DEP_{\text{total ann}}}{DEPTH_{\text{soil}} \cdot RHO_{\text{soil}}} \quad (9) [13]$$

D_{air}	- vzdušná depozice půdy	$[\text{mk} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}]$	
$DEP_{\text{total ann}}$	- roční průměrná depozice	$[\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}]$	(TGD, 44)
$DEPTH_{\text{soil}}$	- hloubka mísení půdy	$[\text{m}]$	(TGD, Tab. 11)
RHO_{soil}	- hustota půdy	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	(TGD, 18)

Rozdělovací koeficient půda-voda

$$k_{\text{soil-water}} = Fair_{\text{comp}} \cdot k_{\text{air-water}} + F_{\text{water comp}} + F_{\text{solid comp}} \cdot \frac{Kp_{\text{comp}}}{1000} \cdot RHO_{\text{solid}} \quad (10) [13]$$

$k_{\text{soil-water}}$	- rozdělovací koeficient půda-voda	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
$k_{\text{air-water}}$	- rozdělovací koeficient vzduch-voda	$[-]$
$k_{\text{susp-water}}$	- rozdělovací koeficient suspenze-voda	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
$k_{\text{sed-water}}$	- rozdělovací koeficient sediment-voda	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
kp_{comp}	- porovnávací rozdělovací koeficient pevná složka-voda	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
$Fair_{\text{comp}}$	- podíl vzduchu v zemině	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
$F_{\text{water comp}}$	- podíl vody v zemině $[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$	
$F_{\text{solid comp}}$	- podíl pevné složky v zemině	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$
RHO_{solid}	- hustota pevné složky	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

Stanovení koncentrace v porézní vodě

$$PEC_{\text{local soil, porew}} = \frac{PEC_{\text{local soil}} + RHO_{\text{soil}}}{K_{\text{soil-water}} \cdot 1000} \quad (11) [13]$$

$PEC_{\text{local soil, porew}}$	- předpokládaná lokální koncentrace v porézní vodě	$[\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}]$
$PEC_{\text{local soil}}$	- předpokládaná lokální koncentrace v půdě	$[\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}]$
RHO_{soil}	- hustota vlhké půdy	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
$K_{\text{soil-water}}$	- rozdělovací koeficient půda-voda	$[\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.3.2 Zhodnocení metody EUSES

Metoda EUSES slouží pro kvantitativní hodnocení rizika účinků chemických látek na člověka (pracovník, přímý spotřebitel, sekundárně skrze prostředí) a životní prostředí (suchozemské a vodní ekosystémy, sedimenty, zvířata). Podstatou metody je stanovení hodnoty předpokládané koncentrace látky (PEC) v jednotlivých složkách ŽP a následné stanovení kritického poměru RCR.

Metodu EUSES lze použít pro hodnocení rizik v lokálním i regionálním měřítku. Jeho výhodou je interaktivní zpracování počítačového programu, který také obsahuje databázi parametrů. Při použití těchto dat je pro výpočet nutné poměrně malé množství vstupních informací, v tomto případě lze výsledek považovat pouze za orientační.

Pro přesné stanovení výsledků je vhodné použití konkrétních parametrů posuzovaného prostředí.

4.4 H&V Index

Metodika Hazard and Vulnerability Index (H&V Index) byla vytvořena v rámci disertační práce Kateřiny Stuchlé na pracovišti VŠB – TU Ostrava. V roce 2003 byla metoda Ministerstvem životního prostředí doporučena jako oficiální metodika pro hodnocení rizik s dopadem na životní prostředí a byla zveřejněna ve věštníku MŽP č. 3/2003.

Jedná se o indexovou metodu, která slouží pro hodnocení environmentálního rizika podle zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií a také pro prioritizaci rizik na územních celcích, zhruba do velikosti okresu. [7]

Hodnocení dopadů na ŽP metodou H&V Index vychází z analýzy rizik závažné havárie, kde je stanovena pravděpodobnost úniku nebezpečné látky do ŽP a množství uniklé látky. Není-li provedeno kvantitativní hodnocení závažné havárie a není tedy známo množství uniklé nebezpečné látky, je nutno uvažovat únik veškerého množství nebezpečné látky. Pokud nejsou složky ŽP ohroženy závažnou havárií, není jejich hodnocení nutné. [15]

Princip metody H&V Index spočívá ve stanovení indexu zranitelnosti jednotlivých složek životního prostředí vůči účinkům nebezpečných chemických látek a indexu nebezpečnosti látky.

Index zranitelnosti je stanovován pro následující složky ŽP: [15]

- povrchové vody,
- podzemní vody,
- půdní prostředí,
- biotická složka prostředí.

Tento index reflektuje vliv vlastností jednotlivých složek ŽP, např.: propustnost půdy, propustnost hydrogeologického podloží, využití půdy, využívání podzemní a povrchové vody, zvláště chráněná území přírody, ochranná pásma atd. [15]

Index nebezpečnosti látky se dělí dle typu ohrožení do 2 skupin: [15]

Index toxické nebezpečnosti látky:

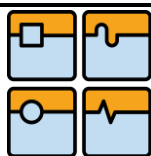
- s dopadem na vodní prostředí,
- s dopadem na půdní prostředí,
- s dopadem na biotickou složku prostředí.

Index nebezpečí hořlavosti látky:

- s dopadem na biotickou složku prostředí.

Indexy nebezpečnosti látky jsou stanovovány na základě fyzikálně-chemických a toxikologických vlastností dané látky. [15]

Interakce mezi nebezpečnou látkou a složkami životního prostředí je znázorněna v **Tab. 23**. Z ní je zřejmé, že v případě látek, které jsou pouze hořlavé, není uvažován dopad na půdní a vodní prostředí.



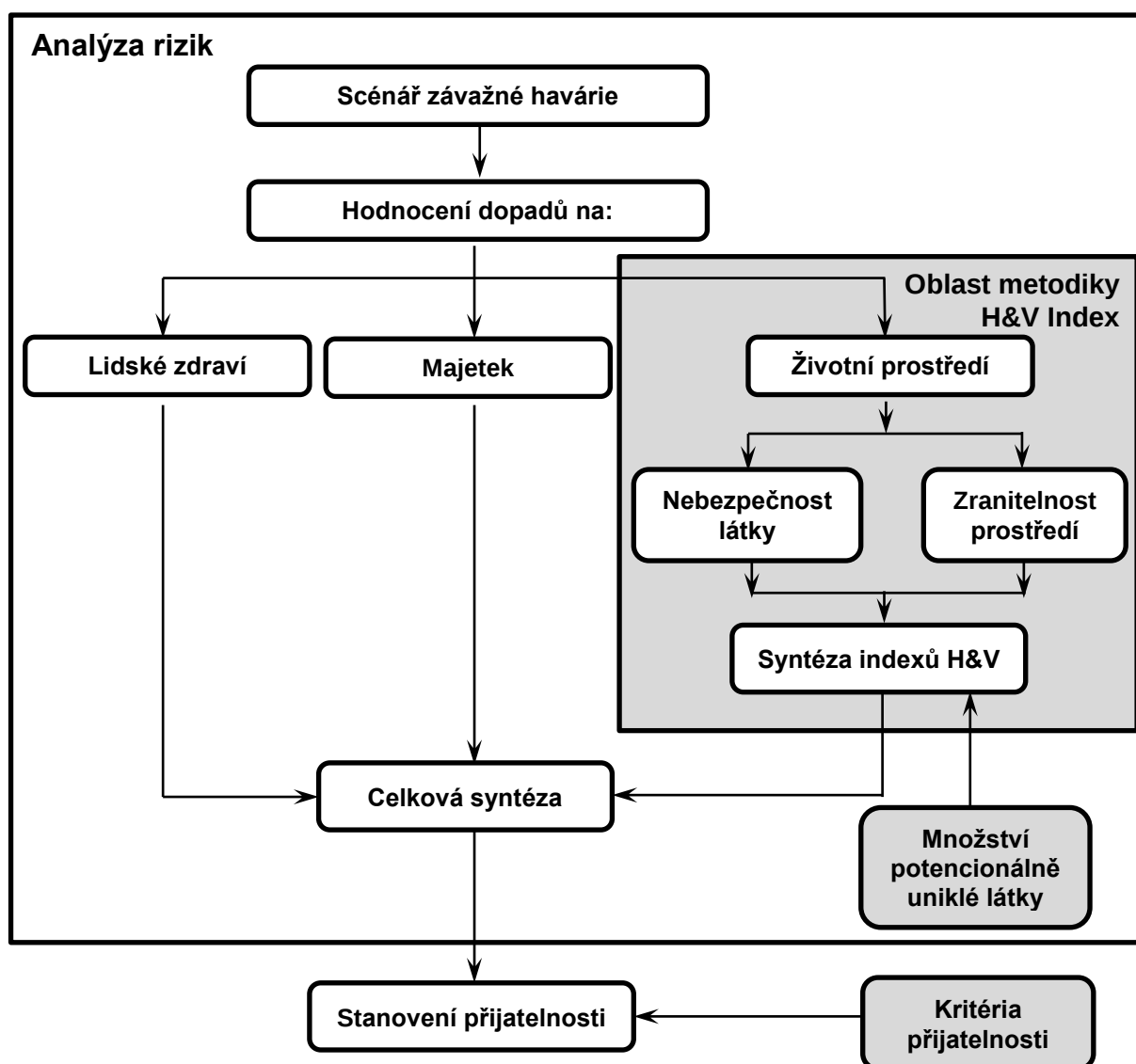
Tab. 23: Interakce mezi složkami ŽP a nebezpečností látky [15]

Složka ŽP	Toxicita	Požár
Povrchová voda	X	
Půdní prostředí	X	
Podzemní voda	X	
Biotická složka prostředí	X	X

Na základě syntézy indexů nebezpečnosti a zranitelnosti je stanoven dílčí index, vyjadřující závažnost dopadů na životní prostředí pro konkrétní posuzovanou lokalitu a nebezpečnou látku.

Kombinace výsledných indexů s množstvím uniklé látky určuje kategorii závažnosti posuzované havárie pro jednotlivé složky ŽP a může být vyhodnocena přijatelnost rizika posuzovaného scénáře.

Postup posouzení rizika metodou H&V Index je zobrazen na Obr. 15.



Obr. 15: Obecný postup hodnocení rizika s aplikací metody H&V Index [15]

4.4.1 Postup stanovení rizika metodou H&V Index

Základním vstupem pro metodu H&V Index jsou údaje o pravděpodobnosti úniku nebezpečné látky do ŽP a množství této nebezpečné látky.

Postup hodnocení závažnosti havárií metodou H&V Index lze rozdělit do následujících kroků: [12]

I. Stanovení vlastností uniklé látky

II. Posouzení nebezpečnosti látky pro ŽP:

- a. posouzení nebezpečí toxicity,
- b. posouzení nebezpečí hořlavosti.

III. Stanovení indexů nebezpečnosti látky:

- a. index toxické nebezpečnosti pro biotickou složku prostředí,
- b. index toxické nebezpečnosti pro půdní prostředí,
- c. index toxické nebezpečnosti pro vodní prostředí,
- d. index nebezpečí hořlavosti látky s dopadem na biotickou složku prostředí.

IV. Stanovení indexů zranitelnosti složek ŽP:

- a. index zranitelnosti povrchových vod,
- b. index zranitelnosti podpovrchových vod,
- c. zranitelnost půdního prostředí,
- d. zranitelnost biotické složky prostředí,
- e. index zranitelnosti území.

V. Syntéza indexů nebezpečnosti a zranitelnosti

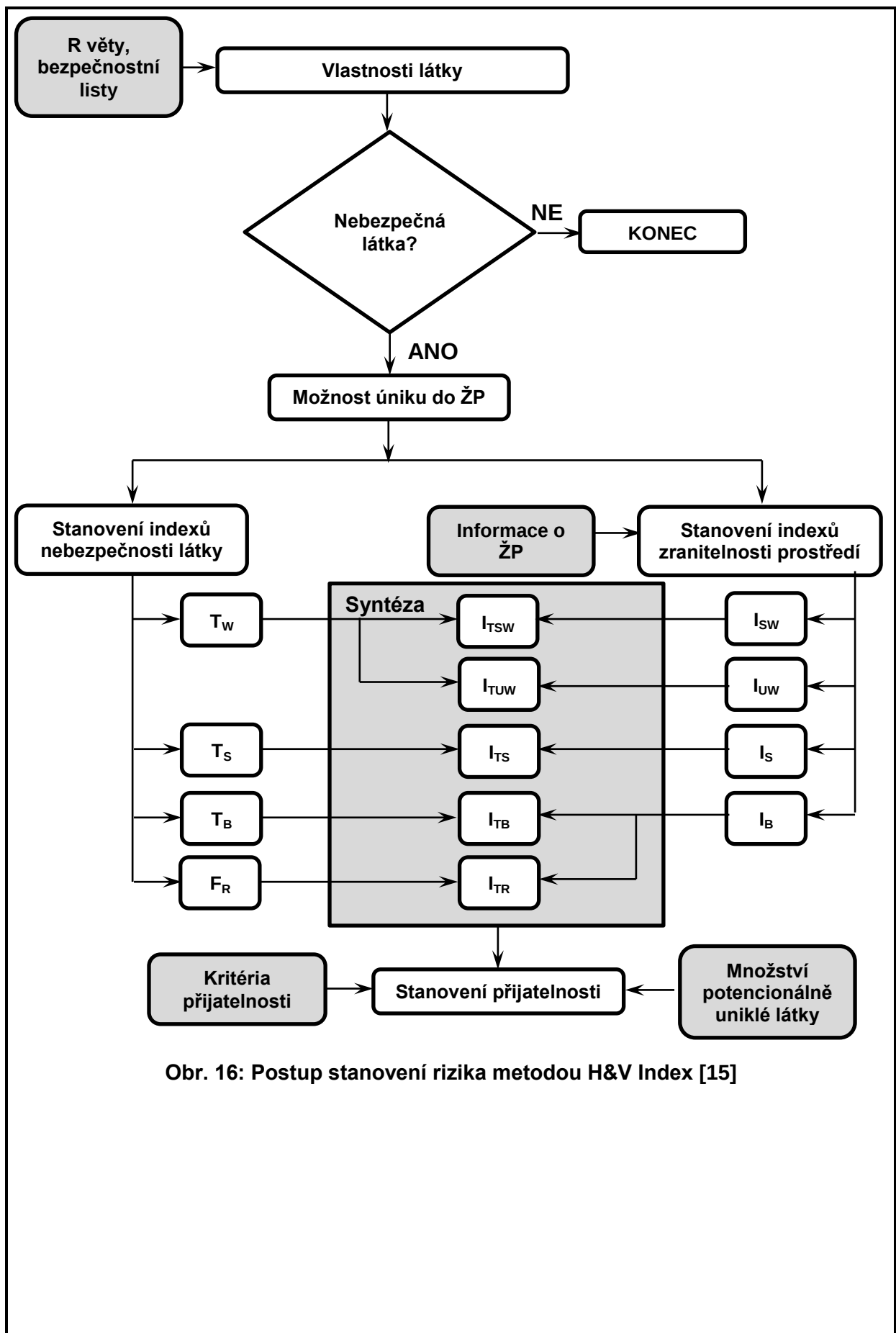
- a. index toxicity pro povrchové vody,
- b. index toxicity pro podzemní vody,
- c. index toxicity pro biotickou složku prostředí,
- d. index toxicity pro půdní prostředí,
- e. index dopadů hořlavé látky na biotickou složku prostředí.

VI. Stanovení závažnosti havárie:

- a. závažnost havárie pro povrchové vody,
- b. závažnost havárie pro podpovrchové vody,
- c. závažnost havárie pro půdní prostředí,
- d. závažnost havárie pro biotickou složku prostředí.

VII. Stanovení přijatelnosti rizika

Schematicky je postup zobrazen na Obr. 16.



Obr. 16: Postup stanovení rizika metodou H&V Index [15]

I. Stanovení vlastností uniklé látky

Pro všechny posuzované látky je nejprve nutné stanovit jejich základní fyzikální vlastnosti, případně údaje o toxicitě anebezpečnosti. Snahou tvůrců metody bylo použití snadno dosažitelných dat. [16]

Zdroje dat pro stanovení vlastností uniklé látky jsou uvedeny v **Tab. 24**.

Tab. 24. Zdroje dat pro stanovení vlastností uniklé látky [15]

Charakteristika	Zdroj
R-věty	Bezpečnostní listy
Údaje o (eko)toxicitě	Bezpečnostní listy, databáze, data z havárií
<i>LD₅₀ pro kysu orální, LC₅₀ pro vodní organismy</i>	
Základní fyzikální vlastnosti látky	Bezpečnostní listy, databáze
<i>Skupenství, rozpustnost, tenze par při 20°C, způsob zkapalnění</i>	

II. Posouzení nebezpečnosti látky pro ŽP

a. Posouzení nebezpečí toxicity

Při prvotním posouzení nebezpečí toxicity jsou látky rozděleny do 2 skupin:

Skupina 1: [15]

V této skupině jsou posuzovány látky vysoce toxické a látky s dlouhodobými nepříznivými účinky v ŽP, látky toxické, látky s nebezpečím kumulativních účinků, látky toxické či škodlivé pro životní prostředí, látky poškozující reprodukční schopnost, plod v těle matky apod.

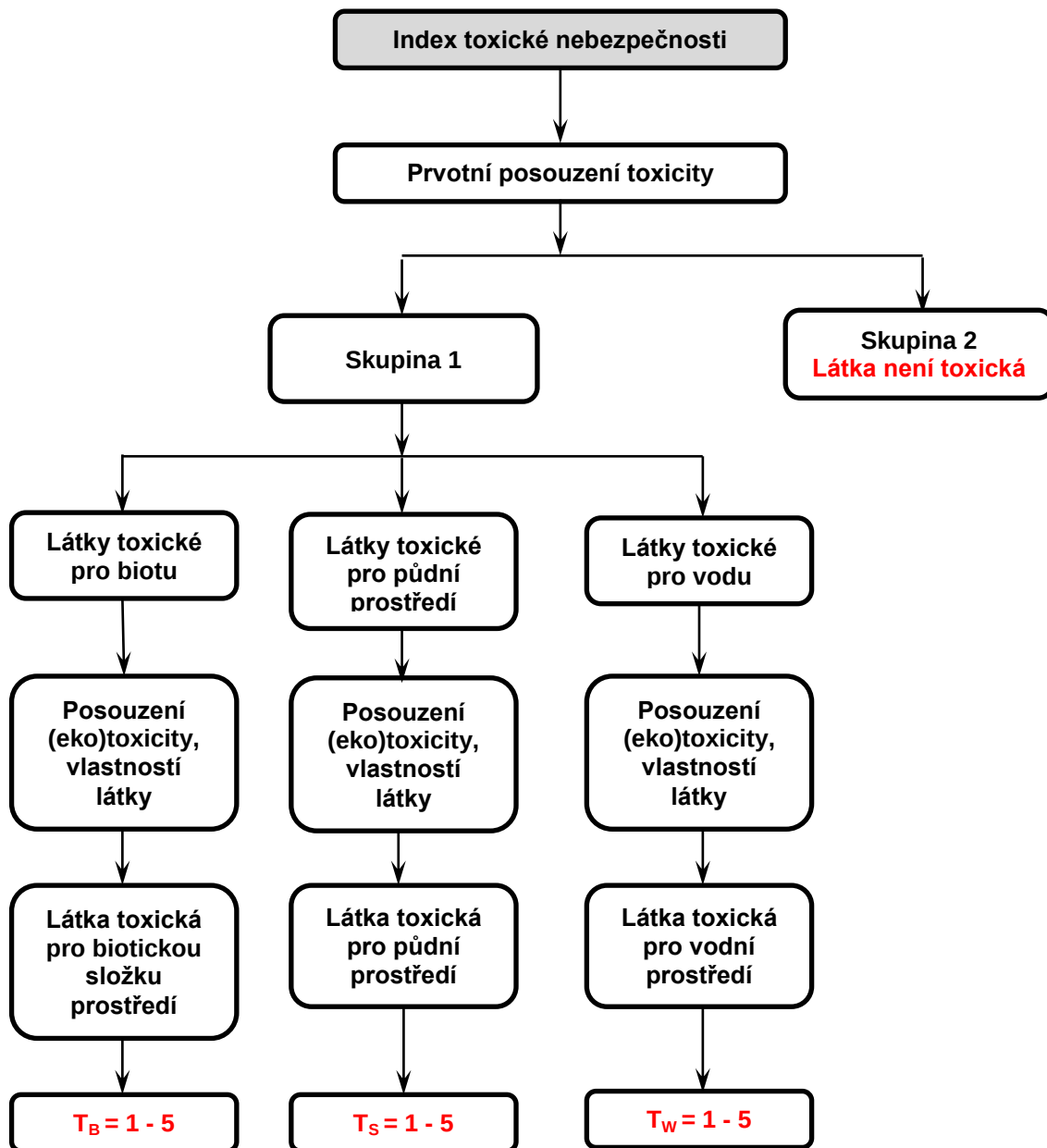
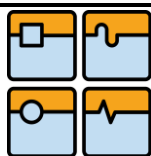
Tyto vlastnosti jsou charakterizovány R větami: R 23, R 24, R 25, R 26, R 27, R 28, R 33, R 39, R 48, R 50, R 51, R 52, R 53, R 54, R 55, R 56, R 57, R 58, R 60, R 61, R 62, R 63, R 64, R 65.

Látky s karcinogenními vlastnostmi nejsou touto metodikou posuzovány (nespadají přímo pod SEVESO II), v budoucnosti však lze očekávat změnu, jak naznačuje návrh SEVESO III.

Skupina 2: [15]

Látky netoxické. Látky skupiny 2 se v této části dále neposuzují.

Schematicky je postup rozdělení znázorněn na **Obr. 17**.



Obr. 17: Postup posouzení nebezpečí toxicity [15]

b. Posouzení nebezpečí hořlavosti

Posuzované látky jsou podle hořlavosti rozděleny do 2 skupin, kritériem rozdělení jsou R-věty, kterými jsou posuzované látky charakterizovány.

Skupina 1: [15]

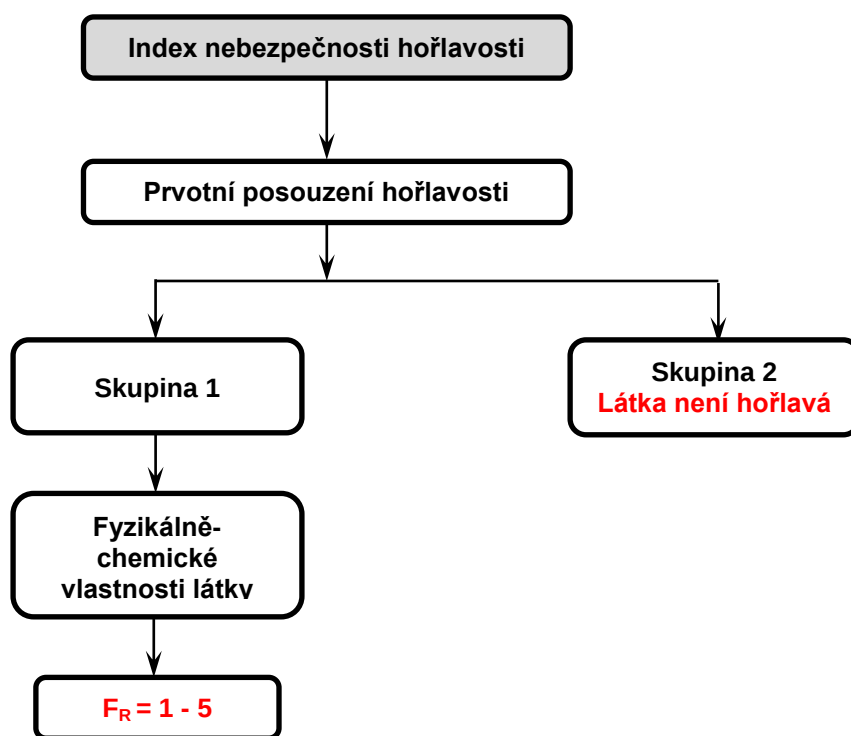
Látky vysoce a extrémně hořlavé, látky samovznětlivé na vzduchu, látky hořlavé, látky, které při používání mohou vytvářet hořlavé nebo výbušné směsi par se vzduchem, látky, které se používáním mohou stát vysoce hořlavými a látky, které při styku s vodou uvolňují extrémně hořlavé plyny.

Látky této skupiny jsou charakterizovány R větami R 10, R 11, R 12, R 15, R 17, R 18, R 19, R 30.

Skupina 2: [15]

Ostatní látky. Je-li látka zařazena do skupina 2., dále se již nehodnotí, neboť u ní nehrozí nebezpečí požáru.

Schematicky je postup rozdělení znázorněn na **Obr. 18**.



Obr. 18: Postup posouzení nebezpečí hořlavosti [15]

III. Stanovení indexů nebezpečnosti látky

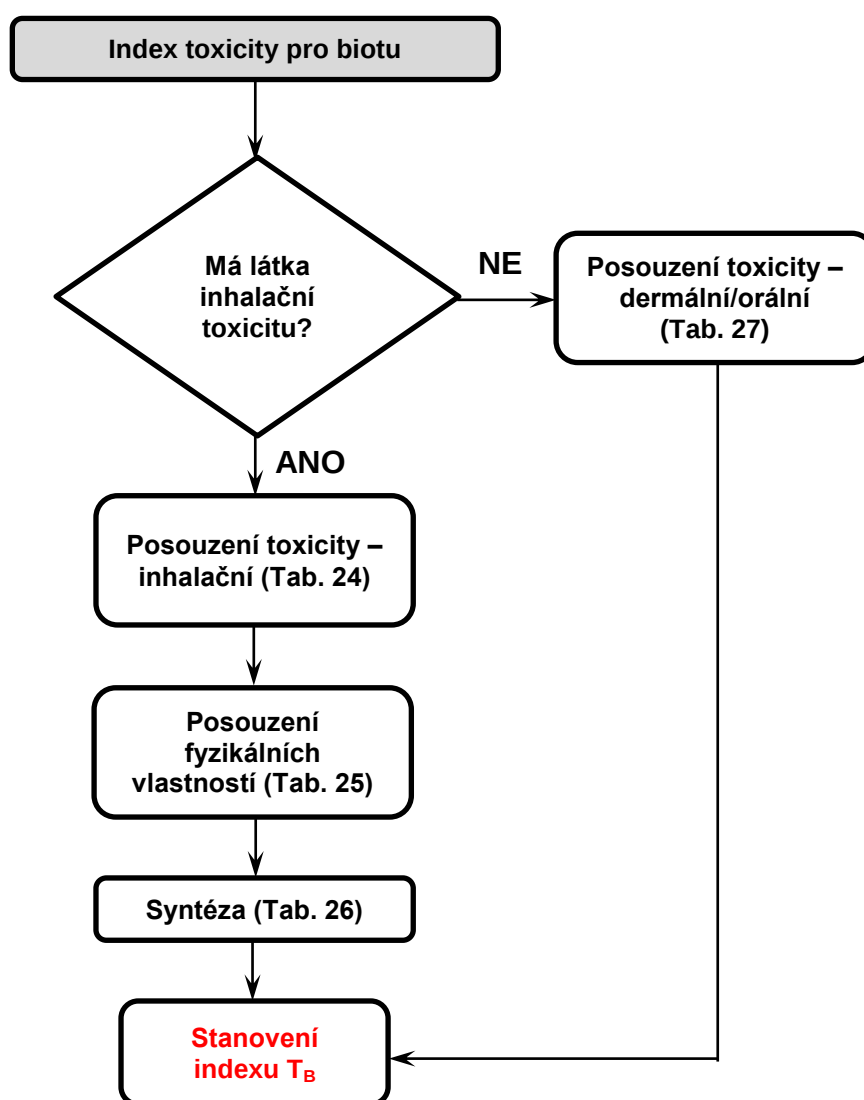
Nebezpečné látky, zařazené v předchozím kroku do skupiny 1 je nutno dále analyzovat. Indexy nebezpečnosti látky jsou stanovovány odděleně pro jednotlivé složky ŽP: biotické prostředí, půda, voda.

Schéma postupu stanovení indexů nebezpečnosti látky je zobrazeno na **Obr. 16**.

a. Index toxické nebezpečnosti pro biotickou složku prostředí (T_B)

Index T_B je stanoven na základě ekotoxických a fyzikálních vlastností posuzované látky.

Postup stanovení indexu toxické nebezpečnosti pro biotickou složku prostředí je znázorněn na **Obr. 19**.



Obr. 19: Postup hodnocení toxicity pro biotickou složku ŽP [15]

Primárním kritériem pro hodnocení ekotoxicity je hodnota LC_{50} pro krysu za 4 hod. inhalačně, dle **Tab. 25**. Alternativně lze použít hodnoty LC_{50} pro potkana dermálně, orálně (**Tab. 29**) nebo hodnoty LC_{50} pro králíka. Vždy je však nutné postupovat konzervativně a volit nejhorší variantu, tedy nejnížší letální koncentraci.

Tab. 25: Hodnocení toxicity LC_{50} inhalačně pro krysy za 4 h [15]

LC_{50} pro krysu za 4 hod. inhalačně [ppm]	Kód toxicity
0,01 - 0,1	8
0,1 - 1	7
1 - 10	6
10 - 100	5
100 - 1000	4
1000 - 10000	3
10000 - 100000	2

Další krokem stanovení indexu T_B je posouzení fyzikálních vlastností látky dle **Tab. 26**.

Tab. 26: Posouzení fyzikálních vlastností látky [15]

Fyzikální vlastnosti	Kód fyz. vlastností
Plyn zkapalněný chladem s bodem varu < 245 K	4
Plyn zkapalněný tlakem s bodem varu < 265 K	4
Plyn zkapalněný chladem s bodem varu > 245 K	3
Plyn zkapalněný tlakem s bodem varu < 265 K	3
Kapalina, tlak par při 20°C 0,3 - 1 bar	3
Kapalina, tlak par při 20°C 0,05 - 0,3 bar	2
Kapalina, tlak par při 20°C < 0,05 bar	1

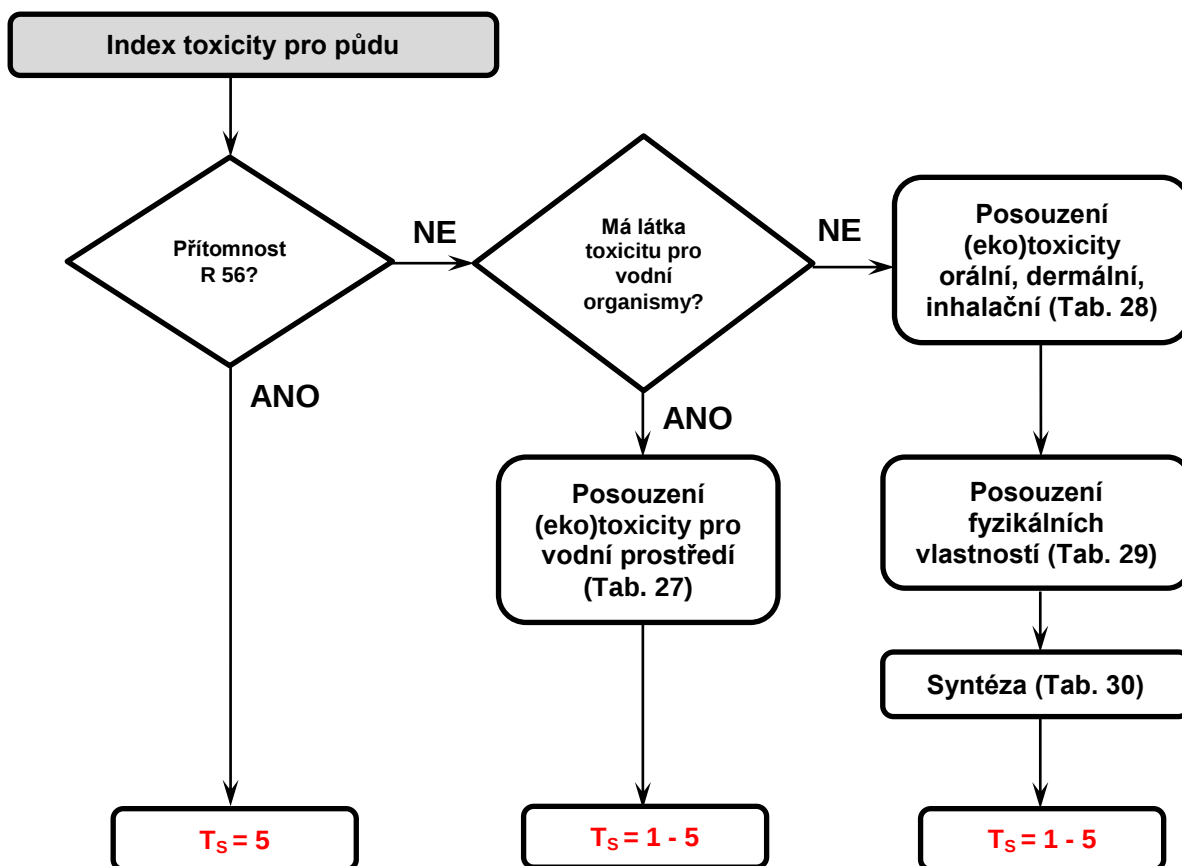
Na základě součtu kódů toxicity a fyzikálních vlastností je dle **Tab. 27** stanoven výsledný index toxické nebezpečnosti látky pro biotickou složku prostředí T_B .

Tab. 27: Stanovení indexu toxické nebezpečnosti látky pro biotickou složku prostředí [15]

Součet kódů	Třída toxicity	T_B
10	Extrémně vysoká	5
9	Velmi vysoká	4
8	Vysoká	3
7	Střední	2
6	Nízká	1

b. Index toxické nebezpečnosti pro půdní prostředí (T_s)

Index toxické nebezpečnosti pro půdní prostředí lze jednoznačně stanovit pouze v případě, je-li látka klasifikována větou R 56, pak je hodnota indexu $T_s = 5$. Nemá-li látka klasifikaci R 56, je nutné použít složitější postupy pro stanovení indexu T_s (Obr. 20).



Obr. 20: Postup hodnocení toxicity pro půdní prostředí [15]

Alternativní možností je použití toxikologických charakteristik pro vodní organismy (Tab. 28) v následujícím pořadí: EC_{50} (48 hod., dafnie), LC_{50} (96 hod., ryba), IC_{50} (72 hod., řasy).

Nejsou-li k dispozici ani tato data, lze použít kombinaci toxikologických charakteristik látky pro krysou (Tab. 29) a fyzikálních vlastností látky (Tab. 30).

Tab. 28: Posouzení toxicity látky pro půdu [15]

Toxicita pro vodní organismy		Kód toxicity
Extrémně toxické	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) < 0,1 mg/l	5
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) < 0,1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) < 0,1 mg/l	
Silně toxické	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 0,1 - 1 mg/l	4
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 0,1 - 1 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 0,1 - 1 mg/l	
Toxické	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 1 - 10 mg/l	3
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 1 - 10 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 1 - 10 mg/l	
Středně toxické	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) = 10 - 100 mg/l	2
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) = 10 - 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) = 10 - 100 mg/l	
Málo toxické	EC ₅₀ (48 hodin, dafnie) > 100 mg/l	1
	LC ₅₀ (96 hodin, ryby) > 100 mg/l	
	IC ₅₀ (72 hodin, řasy) > 100 mg/l	

Tab. 29: Alternativní posouzení toxicity nebezpečné látky pro půdu a biotu [15]

Toxicita látky		Míra toxicity	Kód toxicity
LD ₅₀ orální, potkan	< 25 mg/kg	Vysoce toxická látka	4
LD ₅₀ dermální, potkan	< 50 mg/kg		
LD ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	< 0,5 mg/l		
LD ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	< 1 mg/l		
LD ₅₀ orální, potkan	25 - 200 mg/kg	Toxická látka	3
LD ₅₀ dermální, potkan	50 - 400 mg/kg		
LD ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	0,5 - 1 mg/l		
LD ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	1 - 2 mg/l		
LD ₅₀ orální, potkan	200 - 2000 mg/kg	Středně toxická látka	2
LD ₅₀ dermální, potkan	400 - 2000 mg/kg		
LD ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	1 - 5 mg/l		
LD ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	2 - 20 mg/l		
LD ₅₀ orální, potkan	> 2000 mg/kg	Nízká toxicita	1
LD ₅₀ dermální, potkan	> 2000 mg/kg		
LD ₅₀ inhalační, potkan (aerosol)	> 5 mg/l		
LD ₅₀ inhalační, potkan (plyn, pára)	> 20 mg/l		

Tab. 30: Posouzení fyzikálních vlastností látky pro zjištění přírážky k indexu T_s [15]

Fyzikální vlastnosti	Kód fyz. vlastností
Rozpustnost ($> 100 \text{ mg/l}$)	4
Kapalina	4
Tenze par $> 0,3 \text{ bar}$ (20°C)	2
Plyn zkapalněný chladem	1
Plyn zkapalněný chladem	1
Ostatní	3

Součet indexů A a B pak udává hodnotu indexu toxické nebezpečnosti pro půdní prostředí dle **Tab. 31**.

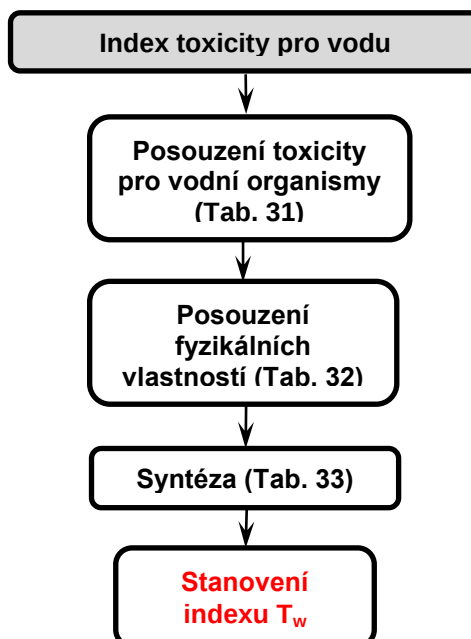
Tab. 31: Stanovení indexů toxické nebezpečnosti látky pro půdní prostředí [15]

Součet kódů A + B	Třída toxicity	TS
9	Extrémně vysoká	5
7	Velmi vysoká	4
6	Vysoká	3
5	Střední	2
< 5	Nízká	1

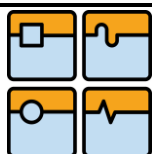
c. Index toxické nebezpečnosti pro vodní prostředí (T_w)

Index toxické nebezpečnosti pro vodní prostředí je stanoven na základě kombinace indexu pro letální koncentraci LC_{50} (96 hod., ryby), uvedeného v **Tab. 32** a indexu fyzikálních vlastností látky (**Tab. 33**).

Postup stanovení indexu T_w je znázorněn na **Obr. 21**.



Obr. 21: Postup hodnocení toxicity pro vodní prostředí [15]



Tab. 32: Posouzení toxicity látky pro vodní prostředí [15]

Součet kódů A + B		Kód toxicity A
Extrémně toxické	< 0,1 mg/l	5
Silně toxické	0,1 - 1 mg/l	4
Toxické	1 - 10 mg/l	3
Středně toxické	10 - 100 mg/l	2
Málo toxické	> 100 mg/l	1

Tab. 33: Posouzení fyzikálních vlastností látky [15]

Fyzikální vlastnosti	Kód B
Rozpustnost (> 100 mg/l)	4
Kapalina	4
Tenze par > 0,3 bar (20°C)	2
Ostatní	1

Součet indexů A a B udává výsledný index toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí dle Tab. 34.

Tab. 34: Stanovení indexu toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí [15]

Součet kódů A+B	Třída toxicity	TW
> 7	Extrémně vysoká	5
7	Velmi vysoká	4
6	Vysoká	3
5	Střední	2
< 5	Nízká	1

d. Stanovení indexu nebezpečí hořlavosti látky (F_R)

Na základě rozdělení látek v kroku 2.2 jsou látky zařazené do skupiny 1 posouzeny podle jejich fyzikálních vlastností a dle Tab. 35 je stanoven index nebezpečí hořlavosti látky s dopadem na biotickou složku prostředí F_R .

Jedná se o zjednodušený postup, jelikož hodnocení některých fyzikálně-chemických vlastností je obsaženo již v R větách, podle kterých jsou látky hodnoceny v bodě 2.2.

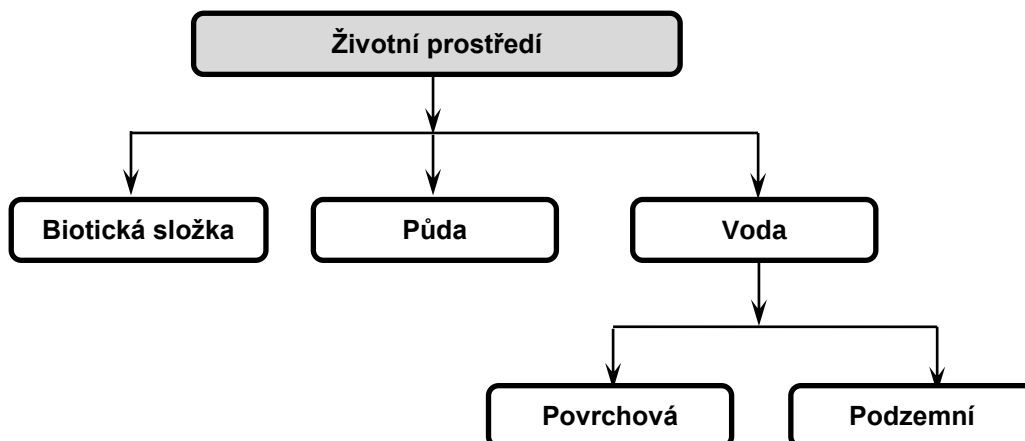
Tab. 35: Posouzení fyzikálně-chemických vlastností látky [15]

Fyzikální vlastnosti látky	FR
Hořlavý plyn zkapalněný tlakem	5
Hořlavá kapaliny, tlak par $\geq 0,3$ bar (20°C)	4
Hořlavý plyn pod tlakem	3
Hořlavý plyn zkapalněný chladem	2
Hořlavá kapaliny, tlak par < 0,3 bar (20°C)	1

IV. Stanovení indexů zranitelnosti složek ŽP

Index zranitelnosti složek ŽP slouží pro posouzení ohrožení jednotlivých složek životního prostředí únikem nebezpečné látky.

Analýza je prováděna pro všechny složky ŽP dle Obr. 22.



Obr. 22 Schéma analyzovaných složek ŽP [15]

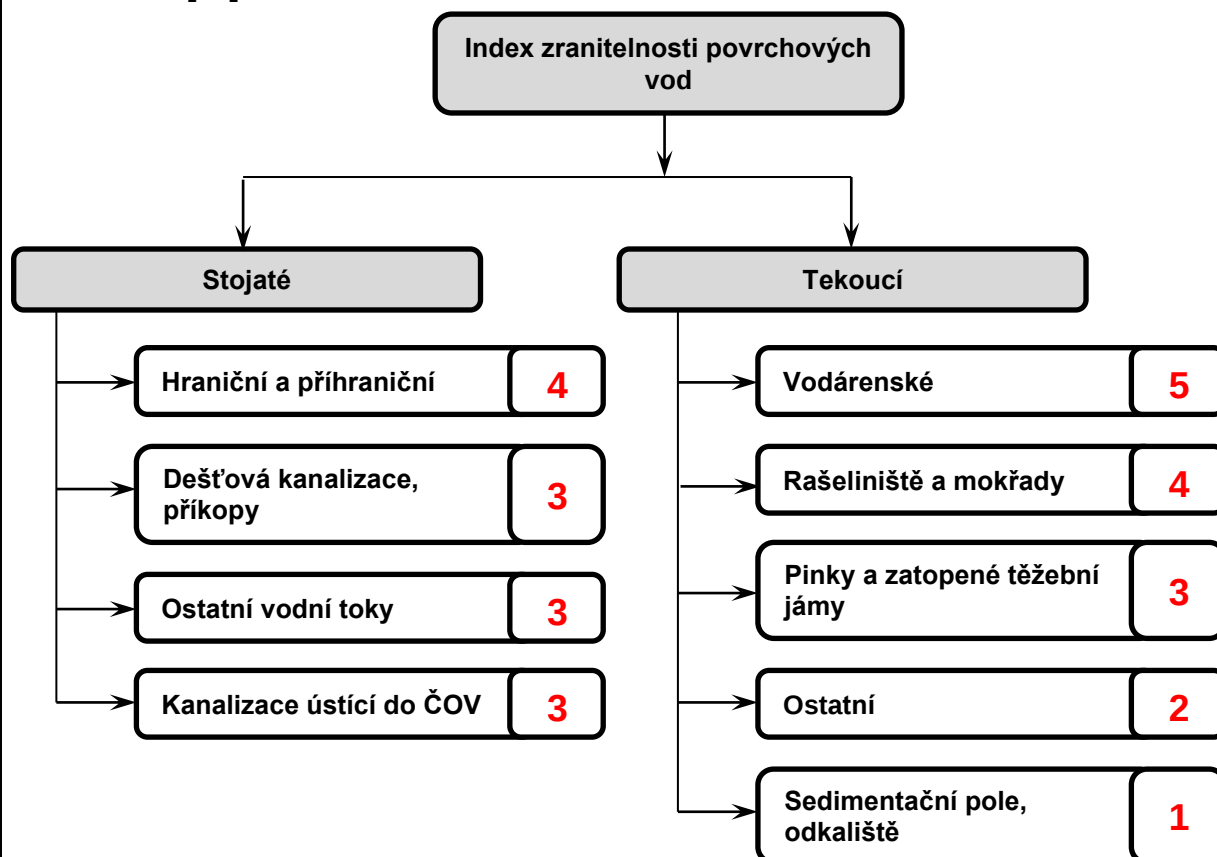
Pro hodnocení zranitelnosti jednotlivých složek ŽP je použita následující škála:

Tab. 36: Stupně zranitelnosti území [15]

Zranitelnost	Popis
Zanedbatelná zranitelnost území	Území nemá významnou funkci, ani užitnou hodnotu a/nebo v něm dochází k minimálnímu šíření kontaminantu.
Malá zranitelnost území	Území má nízkou užitnou hodnotu a funkci a/nebo v něm může docházet k přenosu nebezpečné látky do okolí.
Průměrná zranitelnost území	Únikem nebezpečné látky dojde k ohrožení funkce či užitné hodnoty území, tyto lze relativně rychle navrátit (řádově dny) a/nebo v něm dochází k šíření kontaminantu do širšího okolí.
Vysoká zranitelnost území	Malé množství nebezpečné látky vyvolá snížení užitné hodnoty a funkce území na delší dobu a/nebo se může kontaminant územím rychle šířit.
Velmi vysoká zranitelnost území	Už malá množství nebezpečné látky mohou způsobit ztrátu funkce či užitných hodnot území a zdrojů v něm a/nebo se v něm mohou škodliviny velmi rychle šířit. Výsledkem hodnocení může být matice znázorňující, která složka životního prostředí má jaký index zranitelnosti (1 – 5). Matice může být zpracována graficky v podobě mapy nebo tabulkou.

a. Index zranitelnosti povrchových vod (I_{sw})

Podkladem pro stanovení indexu zranitelnosti vod jsou vodohospodářské a hydrogeologické mapy a mapy zranitelnosti vod. Hodnota indexu I_{sw} závisí na tom, zda se v dosahu účinků havárie nachází vodní zdroj dané hydrologické kategorie dle Obr. 23. [15]

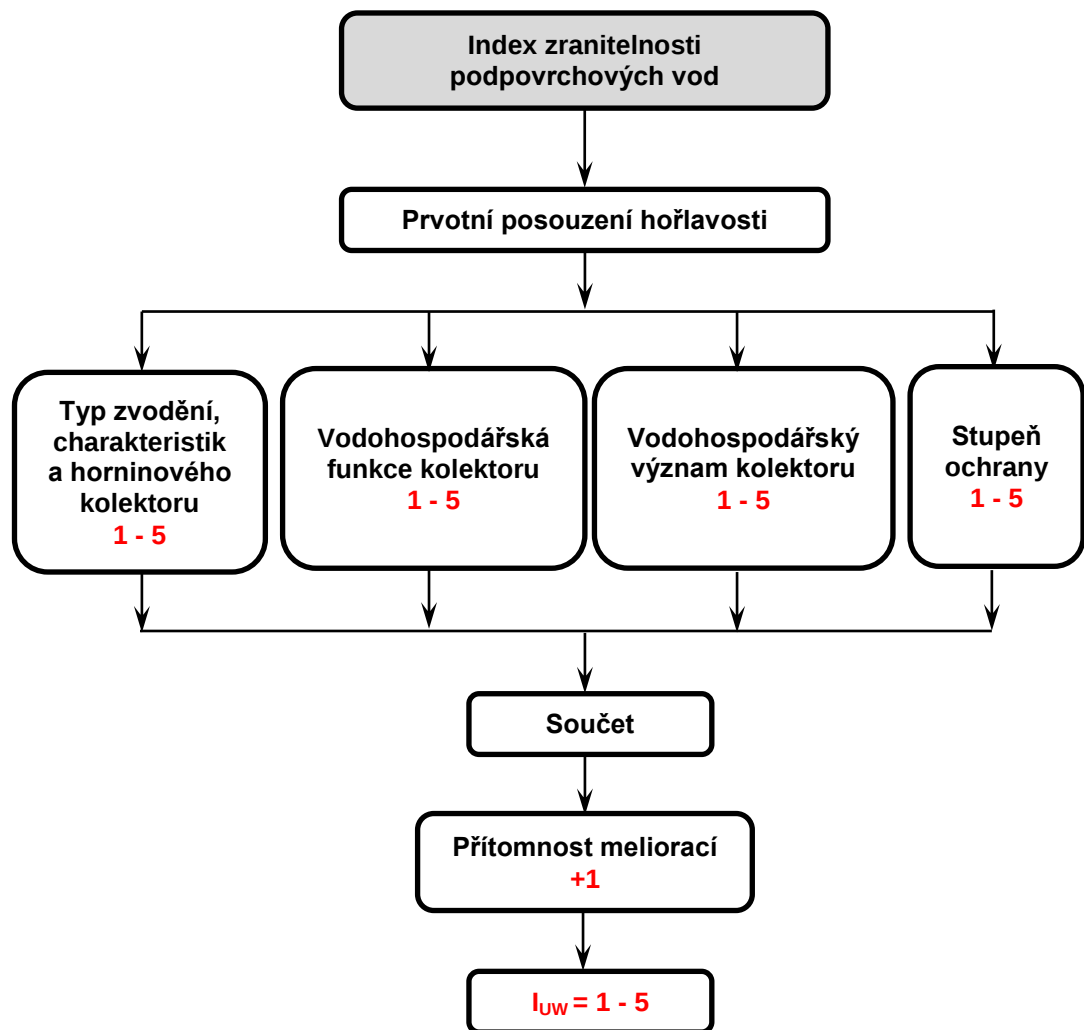


Obr. 23: Schéma hodnocení zranitelnosti povrchových vod [15]

b. Index zranitelnosti podpovrchových vod (I_{uw})

Hodnota indexu zranitelnosti podpovrchových vod závisí na několika faktorech, zohledňující význam a funkci kolektoru, stupeň ochrany, charakteristiku pokryvu podzemního kolektoru, atd.

Postup stanovení indexu I_{uw} je zobrazen na Obr. 24.



Obr. 24: Schéma hodnocení zranitelnosti podpovrchových vod [15]

Výpočet indexu I_{UW} je dán součtem bodových ohodnocení pro:

- horninové prostředí kolektrou a riziko znečištění (Tab. 37),
- charakteristiku pokryvu (Tab. 38),
- stupeň ochrany (Tab. 39),
- vodohospodářský význam kolektoru (Tab. 40).

Tab. 37: Hodnocení horninového prostředí kolektoru a rizika znečištění [15]

Typ zvodnění a charakteristika horninového prostředí kolektoru	Riziko znečištění	Bodové ohodnocení
Průlinové v nezpevněných převážně štěrkopísčitých a písčitých sedimentech, s hydraulickou spojitostí s povrchovým tokem	Velmi vysoké	5
Průlinové v nezpevněných převážně štěrkopísčitých a písčitých sedimentech, bez hydraulické spojitosti s povrchovým tokem	Vysoké	4
Krasově puklinové až krasové	Vysoké	4
Výrazně puklinové, popř. průlinové puklinové s průlinovým oběhem v zóně zvětrávání a v písčitém až hlinitopísčitém kvartérním pokryvu	Střední	3
Nepravidelné střídání průlinových převážně jemně písčitých až jílovito písčitých kolektorů a izolátorů	Nízké až střední proměnlivé	2
Nepravidelné střídání nevýrazně puklinových, příp. průlinově-puklinových kolektorů ve zpevněných sedimentech, s průlinovým oběhem proměnlivého charakteru v zóně zvětrání a kvartérním pokryvu	Nízké	1

Tab. 38: Charakteristika pokryvu [15]

Charakteristika pokryvu	Bodové ohodnocení
Území bez pokryvu nebo s propustnou pokryvnou vrstvou	5
Prostředí s nevyhraněnou hydrogeologickou funkcí	4
Rozsah málo propustných pokryvných vrstev s ochranným účinkem proti postupu znečištění z povrchu	3
Rozsah málo propustných až nepropustných antropogenních navážek, složených většinou z jílu	2
Rozsah plošně souvislého stropního izolátoru s výrazným ochranným účinkem proti postupu znečištění z povrchu	1

Tab. 39: Stupeň ochrany [15]

Stupeň ochrany	Bodové ohodnocení
PHO 1. stupeň	5
PHO 2. stupeň - vnitřní	4
PHO 2. stupeň - vnější	3
PHO 2. stupeň - bez rozlišení	3
CHOPAV	2
PHO nevyhlášeno	1

Tab. 40: Vodohospodářský význam kolektoru (dle hydrogeologických map) [15]

Stupeň ochrany	Bodové ohodnocení
Velké soustředěné odběry regionálního významu (velké skupinové vodovody)	5
Soustředěné odběry menšího regionálního významu (menší skupinové vodovody)	4
Větší odběry pro místní zásobování (menší obce)	3
Menší odběry pro místní zásobování (jednotlivé domy)	2
Jednotlivé malé odběry pro místní (individuální) zásobování při omezené spotřebě	1

Součet uvedených 4 indexů udává celkovou hodnotu indexu zranitelnosti podzemních vod dle **Tab. 41**.

Tab. 41: Zranitelnost podzemních vod vůči následkům havárie [15]

Stupeň zranitelnosti	Součet bodů
1 Zanedbatelná zranitelnost	< 6
2 Malá zranitelnost	6 - 10
3 Průměrná zranitelnost	11 - 14
4 Vysoká zranitelnost	15 - 18
5 Velmi vysoká zranitelnost	> 18

V případě existence meliorací je výsledný index navýšen o 1 bod (+1)

c. Index zranitelnosti půdního prostředí (I_s)

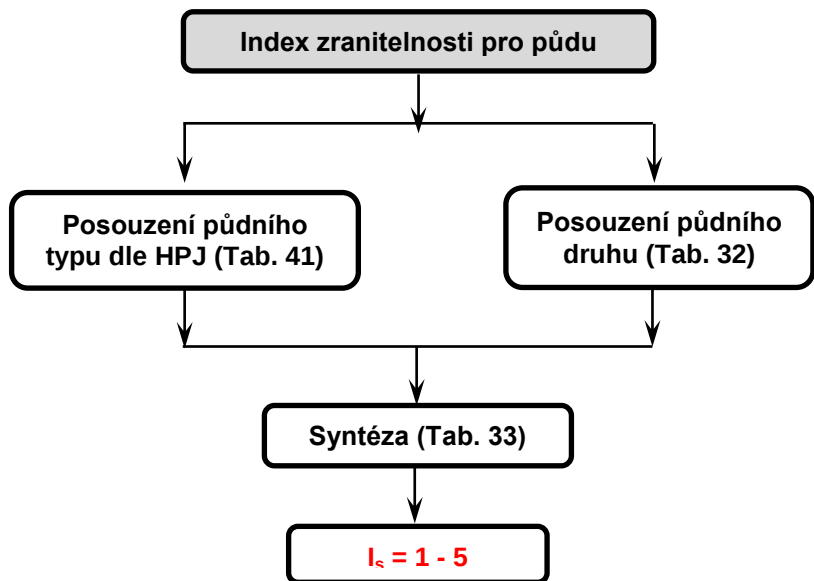
Podkladem pro stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí jsou kódy BPEJ (bonitačně půdně ekologická jednotka), dostupné z map na katastrálních a okresních úřadech. [15]

BPEJ je pětímístný číselný kód ve tvaru x-yy-zz (x – klimatická jednotka, yy – kód HPJ – hlavní půdní jednotky, zz – kombinace skeletovitosti, svažitosti, expozice a hloubky půdy). [15]

Metoda H&V Index rozděluje půdy do 5 skupin podle kódu HPJ, ten zohledňuje půdní typ, zrnitost a propustnost půdy. Index I_s je určen dle **Tab. 42**.

Nejedná-li se o zemědělskou půdu, nemá tato přidělen kód BPEJ a je nutné posoudit půdní druh, půdní typ a stanovit index I_s dle **Tab. 43**. Jako podklad pro tento způsob hodnocení slouží půdní mapy ČR vydané Ministerstvem ŽP nebo Českým geologickým ústavem.

Obecný postup stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí je znázorněn na **Obr. 25**.



Obr. 25: Schéma hodnocení zranitelnosti půdního prostředí [15]

Tab. 42: Stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí [15]

Kategorie půd	Půdní druh	Půdní typ (HPJ)	IS
Neodolné	Lehké	21, 22, 23, 27, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 39	5
Silně náchylné	Lehké	04, 05, 17, 24, 25, 26, 28	4
	Střední	29, 33, 35, 38, 40, 41, 48, 50, 51, 52, 55, 58, 62, 64, 65, 67, 68, 75, 76	
Náchylné	Střední	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49	3
	Těžké	53, 56, 59, 60, 63, 66, 69, 70, 71, 72, 73, 74	
Slabě náchylné	Střední	01, 02, 03, 08, 09, 18, 19	2
	Těžké	54, 57, 61	
Odolné	Těžké	06, 07, 20	1

Tab. 43: Hodnocení zranitelnosti půdního prostředí u nezemědělských půd [15]

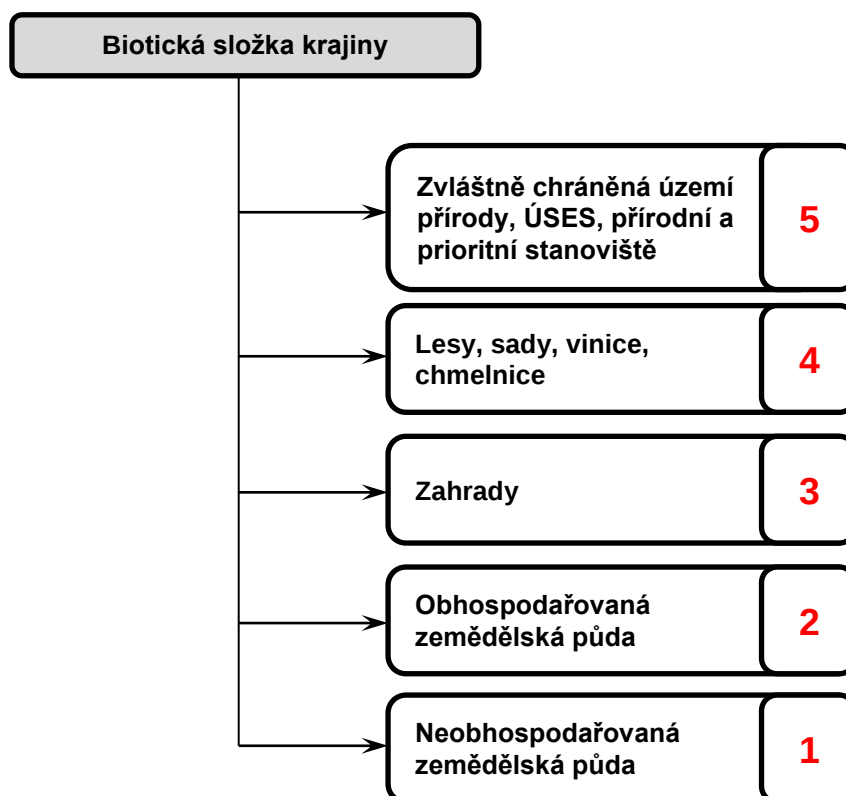
Kategorie půd	Půdní druh	Půdní typ	IS
Neodolné	Lehké	Půdy na píscích a štěrkopíscích (HP, HPa, DA, RA, RAh, NP, NPK, Da _(g) , HP _(g) , DA _(g))	5
		Hnědé půdy (HP, HPa, RA, RAh)	
		Silně kyselé půdy (HPa, HPp)	
		Mělké půdy (HP, HPa, HPp, RA, RAh)	
Silně náchylné	Lehké	Půdy středozevního charakteru (CM, CMk, CMd)	4
		Illimerizované půdy (IP, IP _(g))	
		Hnědé půdy (HP, HPa)	
	Střední	Hnědé půdy (HP, HPa, HPp, RA, RAh)	
		Silně kyselé půdy (HPa, HPp)	
		Mělké půdy (HP, HPa, HPp, RA, RAh)	
		Půdy velmi sklonitých poloh	
		Oglejené půdy (HPg, RAg, RAhg, OG, IPg)	
		Nivní půdy (NP, NPK, NPak, LP, DAI, RAI, NPG)	
		Lužní půdy (LPG, LPGk)	
		Hydromorfní půdy (LGr, RŠ, GLrŠ, GL, LPG, GLr, HPG, HPg)	
Náchylné	Střední	Hnědozemní půdy (HMč, HM, HMČ _(g) , HM _(g) , HP, HP _(g) , HPI, HMi, IP, HMi _(g) , NP)	3
		Illimerizované půdy (IP, HMi, HMi _(g) , HP, HP _(g) , HPI, HPI _(g) , IP _(g))	
		Oglejené půdy (HMg, HMi, IPg, OG, HMig, IPg, HPg, RAg, RAhg)	
	Těžké	Oglejové půdy (OG, HPg)	
		Nivní půdy (NP, NPK, NPak, NPG)	
		Hydromorfní půdy (OGb, GLr, GLrŠ, GL, NPG)	
Slabě náchylné	Střední	Černozemní půdy (ČM, ČMk, ČMd, Čmi, ČMik, HM)	2
		Hnědozemní půdy (ČMi)	
		Rendziny (RA, RAh)	
	Těžké	Oglejené půdy (OG, RAhg, HPg)	
		Nivní půdy (NP, NPK, NPak)	
		Lužní půdy (LP, LPk)	
Odolné	Těžké	Černozemní půdy (ČM, ČMk, ČMi, RA _t)	1
		Rendziny (RA, RAh, HP)	

ČM - černozem, HM - hnědozem, IP - illimerizovaná půda, OG - oglejená půda, RA - rendzina, HP - hnědá půda, HPa - hnědá půda kyselá, PZ - podzolová půda, AN - antropogenní půda, DA - drnová půda, NV - nevyvinutá půda, NP - nivní půda, LP - luční půda, GL - glejová půda, č - černozemní, i - illimerizovaná, h - hnědá, p - podzolová, g - oglejená, G - glejová, l - luční, k - vycelárněkarbonátová, t - tmaváhlubokohumózní, d - degradovaná, a - kyselá, (g) - slaběoglejená, (G) - slabě glejová, r - zrašelinělá

d. Index zranitelnosti biotické složky prostředí (I_B)

Index zranitelnosti biotické složky prostředí je stanovován na základě parametrů posuzované lokality dle **Tab. 44/Obr. 26**.

Je-li v posuzované lokalitě přítomno více biotických složek, je nutno volit konzervativní přístup k hodnocení zranitelnosti, tedy uvažovat nejvíce ohroženou složku s nejvyšším indexem zranitelnosti.



Obr. 26: Schéma hodnocení zranitelnosti biotické složky [15]

Tab. 44: Hodnotící tabulka biotických složek prostředí [15]

Parametr biotických složek krajiny	I_B
ZCHÚ, ÚSES, přírodní a prioritní stanoviště	5
Chov hospodářských zvířat	4
Lesy, sady, vinice, chmelnice	4
Zahrady	3
Obhospodařovaný zemědělská půda	2
Neobhospodařovaná zemědělská půda	1

e. Index zranitelnosti území

Výsledné hodnoty indexů zranitelnosti pro jednotlivé složky ŽP mohou být graficky zpracovány do mapy nebo tabulky. Vždy je vynášena hodnota nejvyšší indexu zranitelnosti.

	I_{SW}	I_{UW}	I_S	I_B
5				
4				
3				
2				
1				
	Povrchová voda	Podzemní voda	Půdní prostředí	Biota

Obr. 27: Matice indexů zranitelnosti území [15]

V. Syntéza indexů nebezpečnosti a zranitelnosti prostředí

Syntézou indexů nebezpečnosti látek a zranitelnosti prostředí jsou určeny indexy toxicity/dopadů hořlavé látky pro konkrétní posuzovanou nebezpečnou látku a konkrétní lokalitu.

Indexy jsou stanovovány podle následujících vzorců: [15]

a. Výpočet indexu toxicity pro povrchové vody I_{TSW}

Tento index je vypočten syntézou indexů zranitelnosti povrchových vod, indexu toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí a indexu zranitelnosti půdního prostředí dle rovnice 12.

$$I_{TSW} = \max(\sqrt{I_{SW} \cdot T_W}; \sqrt[3]{T_W \cdot I_{SW} \cdot I_S}) \quad (12) [15]$$

I_{SW} - Index zranitelnosti povrchových vod

T_W - Index toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí

I_S - Index zranitelnosti půdního prostředí

b. Výpočet indexu toxicity pro podzemní vody I_{TUW}

Tento index je vypočten syntézou indexů zranitelnosti podzemních vod, indexu zranitelnosti půdního prostředí a indexu toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí dle rovnice 13.

$$I_{TUW} = \sqrt[3]{T_W \cdot I_{UW} \cdot I_S} \quad (13) [15]$$

T_W - Index toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí

I_{UW} - Index zranitelnosti podzemních vod

I_S - Index zranitelnosti půdního prostředí

c. Výpočet indexu toxicity pro podzemní vody I_{TB}

Tento index je vypočten syntézou indexů zranitelnosti biotické složky prostředí a indexu toxické nebezpečnosti látky pro biotickou složku prostředí dle rovnice 14.

$$I_{TB} = \sqrt{T_B \cdot I_B} \quad (14) [15]$$

T_B - Index toxické nebezpečnosti látky pro biotickou složku prostředí

I_B - Index zranitelnosti biotické složky prostředí

d. Výpočet indexu toxicity pro podzemní vody I_{TS}

Tento index je vypočten syntézou indexu toxické nebezpečnosti látky pro půdu a indexu zranitelnosti půdního prostředí dle rovnice 15.

$$I_{TS} = \sqrt{T_S \cdot I_S} \quad (15) [15]$$

T_S - Index toxické nebezpečnosti látky pro půdní prostředí

I_S - Index zranitelnosti půdního prostředí

e. Výpočet indexu toxicity pro podzemní vody I_{TS}

Tento index je vypočten syntézou indexu zranitelnosti biotické složky prostředí a indexu nebezpečnosti hořlavosti látky pro biotickou složku prostředí dle rovnice 16.

$$I_{FR} = \sqrt{F_R \cdot I_B} \quad (16) [15]$$

F_R - Index nebezpečnosti hořlavosti látky pro biotickou složku prostředí

I_B - Index zranitelnosti biotické složky prostředí

VI. Stanovení závažnosti havárie

„Závažnost havárie z hlediska dopadů na ŽP se určuje na základě syntézy indexů nebezpečnosti a zranitelnosti a množství uniklé látky. Hodnocení se provádí tabulkově zvlášť pro každou posuzovanou složku ŽP. Závažnost havárie nabývá hodnot A-E, přičemž A je zanedbatelná závažnost a E vysoká závažnost dopadu havarijního scénáře na životní prostředí.“ [12]

„Výsledná závažnost je spolu s předem určenou pravděpodobností (frekvencí) havarijního scénáře vynesena do matice přijatelnosti. Z této matice je pak zřetelná míra rizika daných havarijních scénářů.“ [12]

a. Závažnost havárie pro povrchové vody

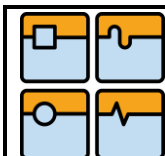
Tab. 45: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do povrchových vod [15]

		Množství uniklé toxické látky do povrchových vod [t]				
		< 1	1 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
I _{TSW}	1.	A	A	B	B	C
	2.	A	B	C	C	D
	3.	B	C	C	D	E
	4.	B	C	D	E	E
	5.	C	D	E	E	E

b. Závažnost havárie pro podpovrchové vody

Tab. 46: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do podpovrchových vod [15]

		Množství uniklé toxické látky do podpovrchových vod [t]				
		< 1	1 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
I _{TUW}	1.	A	A	B	B	C
	2.	A	B	C	C	D
	3.	B	C	C	D	E
	4.	B	C	D	E	E
	5.	C	D	E	E	E



c. Závažnost havárie pro půdní prostředí

Tab. 47: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do půdního prostředí [15]

		Množství uniklé toxické látky do půdy [t]				
		< 1	1 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
I_{TS}	1.	A	A	B	B	C
	2.	A	B	C	C	D
	3.	B	C	C	D	E
	4.	B	C	D	E	E
	5.	C	D	E	E	E

d. Závažnost havárie pro biotickou složku prostředí

Tab. 48: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do biotické složky prostředí [15]

		Množství uniklé toxické látky [t]					
		< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
I_{TB}	1.	A	A	A	B	C	C
	2.	A	B	B	B	C	D
	3.	B	B	C	C	D	D
	4.	B	C	D	D	E	E
	5.	C	D	E	E	E	E

Tab. 49: Stanovení závažnosti účinkem hořlavé látky na biotickou složku prostředí [15]

		Množství uniklé látky [t]					
		< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
I_{FR}	1.	A	A	A	B	B	C
	2.	A	A	A	B	C	C
	3.	A	A	B	C	C	C
	4.	A	A	A	B	C	D
	5.	A	B	B	C	D	E

VII. Stanovení přijatelnosti rizika havárie

Přijatelnost rizika je vyhodnocena podle Obr. 28.

Pravděpodobnost	$> 10^{-2}$					
	10^{-2}					
	10^{-3}					
	10^{-4}					
	$< 10^{-4}$					
		A	B	C	D	E

Kategorie závažnosti pro ŽP

Obr. 28: Matice přijatelnosti rizik [12]

4.4.2 Zhodnocení metody H&V Index

Hazard and Vulnerability Index je indexová metoda pro hodnocení environmentálního rizika a pro prioritizaci zdrojů rizik. Postup hodnocení dopadů na ŽP je založen na stanovení indexu zranitelnosti pro jednotlivé složky ŽP a indexu nebezpečnosti chemické látky.

Index zranitelnosti prostředí reflektuje vliv vlastností jednotlivých složek ŽP, indexy nebezpečnosti látky jsou stanovovány na základě fyzikálně-chemických a toxikologických vlastností dané látky.

Výhodou metody H&V Index je multikriteriální hodnocení, kdy použití indexového hodnocení umožňuje kombinaci různých vlastností látek a různých složek ŽP. Data pro použití metody H&V Index jsou poměrně snadno dostupná, jedná se především o údaje z bezpečnostních listů a vodohospodářských map. Výhodou je také jednoduchost výstupu.

Snaha o co největší obecnost metodiky pro použití na všechny složky ŽP zavádí do postupu několik nepřesností. Při hodnocení nejsou zohledněny zdroje a scénáře úniků, provozní podmínky, ani některé vlastnosti recipientu. Další nepřesností je záměna ekotoxikologických údajů, kdy je dle postupu možné použít toxicitu pro vodní prostředí i pro půdu, nebo možnost alternace letální koncentrace pro potkana/krysu/králíka.

Rozlišovací schopnost metody je omezena a její použití pro úniky menší než 1 t nebezpečné látky je velmi nepřesné. Z toho vyplývá, že metodou H&V Index nelze hodnotit únik malého množství vysoce toxických látek.

4.5 Proteus II

Proteus je softwarový nástroj, vyvinutý v Nizozemsku, pro analýzu rizik havarijních úniků chemických látek do povrchových vod.

Postup hodnocení je založen na dvou výpočtových modelech – VERIS a RISAM.

VERIS – vyhodnocení rizika na základě dotazníků, posuzujících systém řízení bezpečnosti, dodržování pracovních postupů, znalosti a proškolení obsluhy, havarijní opatření, atd.

RISAM - vyhodnocení dat z průmyslových zařízení (jednotky, alarmy, odstavné zařízení, atd.) a definovaných scénářů úniků

Výsledkem hodnocení je ucelená zpráva, stanovující rozsah havarijních účinků, vliv uniklých látek na ŽP, počet toxických jednotek a vliv účinnosti bezpečnostních prvků. [7]

Odhad rizika je založena na následujících charakteristikách úniku:

Q - rychlost úniku [m^3/s],

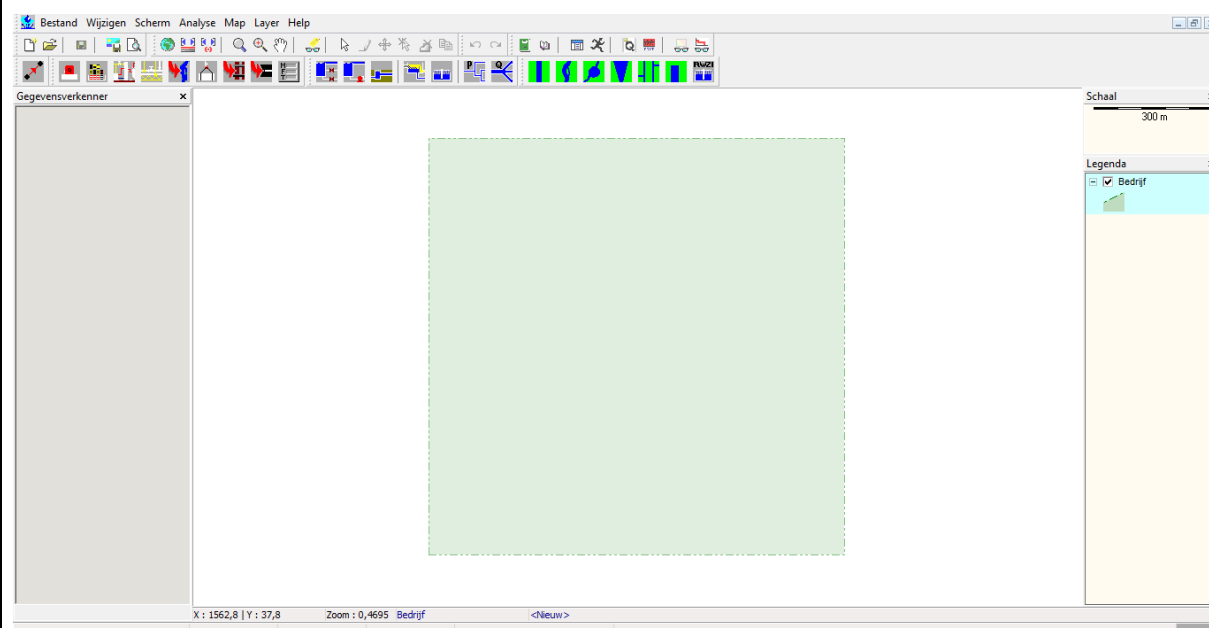
M - množství uniklé látky [kg],

F - frekvence [1/rok],

T - doba úniku [s].

4.5.1 Postup použití programu Proteus II

Program Proteus je vybaven jednoduchým uživatelským prostředím pro vytvoření schématu analyzované jednotky, scénáře úniku a jeho následné vyhodnocení. Další součástí programu jsou interaktivní dotazníky, posuzující management bezpečnosti. Ukázka uživatelského prostředí programu je na **Obr. 29**, ukázka dotazníků na **Obr. 30**.



Obr. 29: Uživatelské prostředí programu Proteus II

Veiligheidszorgsysteem Vak- en Handelingsbekwaamheid Werkprocedures Repressie Installatie						
		A	B	C	D	Toelichting
1	In hoeverre is er sprake van een adequate zonering tussen de verschillende installaties/activiteiten binnen de inrichting.	☐	☐	☐	☐	B : afdoende beveiliging van mogelijke kwetsbare locaties. C : zeer beperkt, zeer dicht bijeen. D : slecht, volstrekt niet.
2	In hoeverre is in een goede routing/verkeersregeling op de inrichting voorzien ter voorkoming van botsingen bij het vervoer van hier beschouwde stoffen op het terrein.	☐	☐	☐	☐	
3	Kent de inrichting, of de onderscheiden eenheden (fabrieken e.d.), een direct verantwoordelijke functionaris voor de uitvoering van het milieu- en veiligheidsbeleid en is deze functie binnen de organisatie beschreven.	☐	☐	☐	☐	
4	Wordt door de organisatie jaarlijks gerapporteerd inzake de handhaving en de uitvoering (zoals in de vorm van audits) van het milieu- en veiligheidsbeleid	☐	☐	☐	☐	
5	Kent de inrichting een incidentregistratie- en evaluatiesysteem en wordt hierover jaarlijks gerapporteerd.	☐	☐	☐	☐	
6	Worden vaste procedures voor de beoordeling van milieu- en veiligheidsaspecten bij het ontwerp van installaties toegepast	☐	☐	☐	☐	
7	Kent de inrichting een algemeen onderhouds- en inspectie schema.	☐	☐	☐	☐	
8	Is er een regelmatige inspectie van de locatie en de installaties	☐	☐	☐	☐	
9	In hoeverre vindt het onderhoud van de installatie plaats	☐	☐	☐	☐	
10	Wordt de installatie na onderhoud getest volgens vaste procedures voor ingebruikname	☐	☐	☐	☐	
Subtotaal						
Totaal						

Obr. 30: Dotazníky pro posouzení managementu bezpečnosti

V následujících tabulkách **Tab. 50, 51, 52** jsou uvedeny jednotky, které jsou v programu předdefinovány pro vytvoření modelu procesní jednotky a cesty úniku. Jednotlivé jednotky jsou vzájemně spojovány.

Tab. 50: Předdefinované jednotky

Jednotka	Označení
	Velkokapacitní zásobník
	Skladovací komplex
	Výrobní jednotka
	Interní transport
	Velkokapacitní plnění lodí
	Plnění lodí
	Plnění železniční cisterny
	Plnění autocisterny
	Jednotka definovaná uživatelem

Tab. 51: Předdefinované kanalizační systémy

Jednotka	Označení
	Záchytná jímka
	
	Kanalizace
	Mechanická čistírna odpadních vod
	Biologická čistírna odpadních vod
	Křižovatka
	

Tab. 52: Předdefinované recipienty

Jednotka	Označení
	Říční kanál
	Řeka
	Moře
	Ústí řeky
	Kanál
	Stojatá vody
	Čistírna odpadních vod

Proteus obsahuje databázi chemických látek, jejich fyzikálně-chemických vlastností a údajů o toxicitě. Lze rovněž používat směsi těchto látek.

Program umožňuje vyhodnocení několika scénářů, při kterých může dojít k znečištění povrchových vod.

Skladování [7]

V souvislosti se skladováním nebezpečných látek jsou hodnoceny následující scénáře:

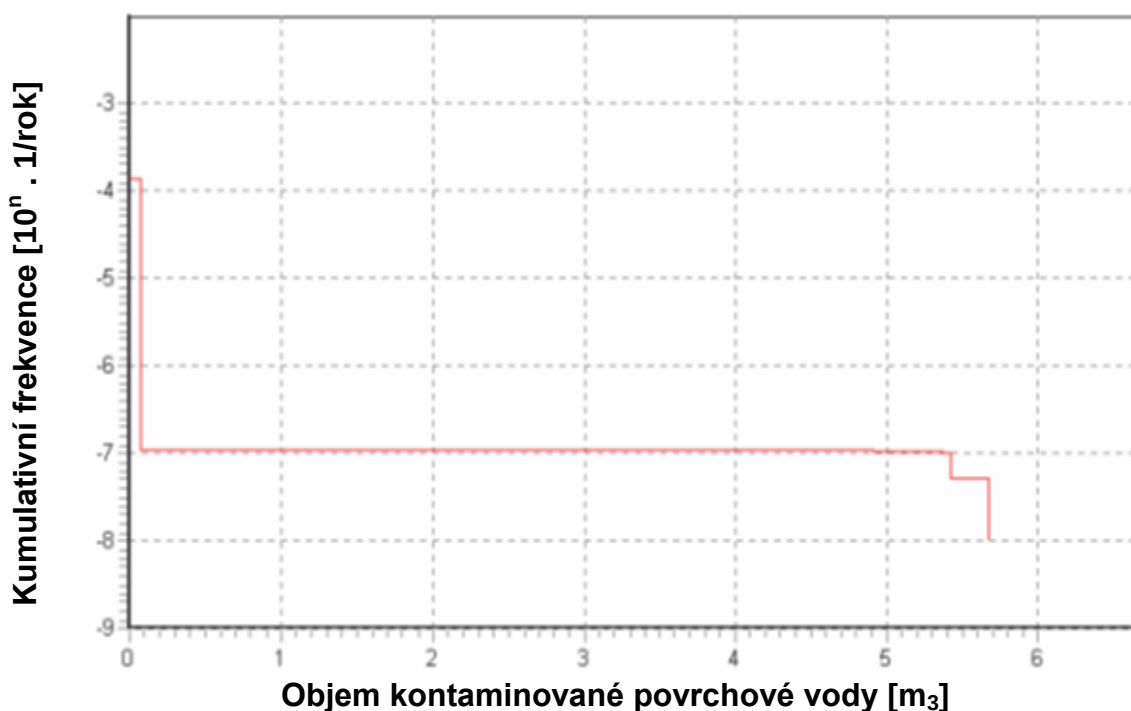
- poškození zásobníku, umístěného v záchytné jímce, prudký nárůst hladiny kapaliny v zásobníku, únik do záchytné jímky a následný únik kapaliny přes okraj záchytné jímky,
- kontinuální únik (porucha části zařízení vedoucí, únik relativně malého množství látky po delší časové období),
- požár,
- okamžitý únik (selhání části zařízení způsobí ve velmi krátkém čase masivní únik látky),
- přeplnění.

Stáčení [7]

V souvislosti se stáčením nebezpečných látek jsou hodnoceny následující scénáře:

- vnitřní vada cisterny (úplné roztržení),
- porucha stáčecího/plnicího připojení,
- netěsnost stáčecího/plnicího připojení,
- přeplnění,
- požár.

Výsledkem analýzy je zpráva, která obsahuje kvantitativní údaje o množství uniklé látky, objem kontaminované vody, délka kontaminovaného břehu a grafické znázornění těchto údajů (Obr. 31).



Obr. 31: Grafické znázornění výstupů z metody Proteus

Stanovení přijatelnosti rizika metodou Environmental Harm Index

Na metodu Proteus navazuje metoda Environmental Harm Index (EHI), která slouží pro stanovení přijatelnosti havarijních úniků.

Metoda EHI stanovuje zranitelnost vodního prostředí na základě objemu kontaminované vody, vypočítaného metodou Proteus, a referenčního objemu, který je odvozen na základě zkušeností z havárií z minulosti. Výpočet EHI je vyjádřen z rovnice 17.

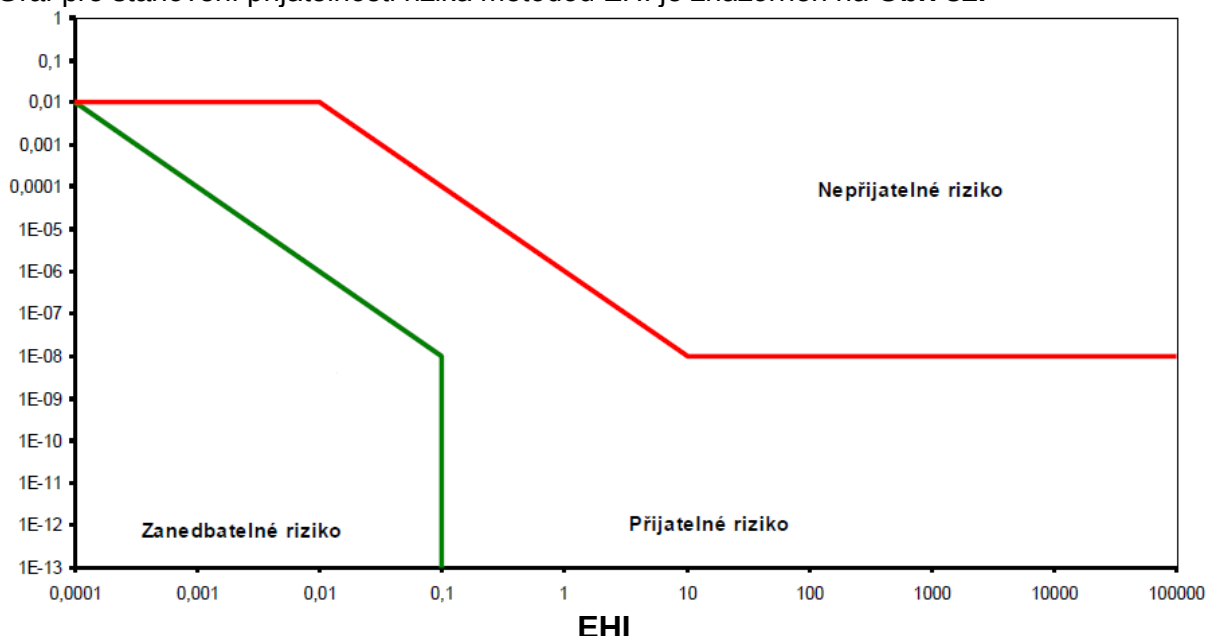
$$EHI = \frac{V_{ow}}{V_{ref}} \cdot F_{ws} \quad (17) [7]$$

V_{ow} - Objem kontaminované vody [m^3]

V_{ref} - Referenční objem kontaminované vody [m^3]

F_{ws} - korekční faktor

Graf pro stanovení přijatelnosti rizika metodou EHI je znázorněn na **Obr. 32**.



Obr. 32: Stanovení přijatelnosti rizika metodou EHI

4.5.2 Zhodnocení metody Proteus II

Softwarový modelovací nástroj Proteus je určen pro analýzu rizik havarijních úniků chemických látek do povrchových vod.

Výstupem metody Proteus je stanovení možných následků úniků nebezpečných látek do povrchových vod. Konkrétně lze vypočítat uniklé množství nebezpečné látky, objem kontaminované vody, délku kontaminovaného pobřeží a frekvenci úniků. Při použití metody EHI lze také vyhodnotit přijatelnost rizik posuzovaných úniků.

Výhodou programu Proteus je jeho jednoduché interaktivní uživatelské prostředí, předdefinované jednotky, havarijní systémy a recipienty, databáze chemických látek a jejich vlastností. Program je také možné použít pro simulaci účinnosti bezpečnostních opatření.

Nevýhodou metody je její úzké zaměření pouze na povrchové vody a také nutnost použití jiných metod pro stanovení havarijních scénářů.

5. Návrh postupu hodnocení environmentálního rizika

Na základě rešerše vybraných metod pro hodnocení environmentálního rizika v kapitole 4 byla vyhodnocena jejich použitelnost pro jednotlivé části analýzy rizik. Vhodnost jejich použití v jednotlivých oblastech je znázorněna v **Tab. 53**.

Tab. 53: Využitelnost metod při analýze a hodnocení environmentálních rizik

	EAI	Envitech03	EUSES	H&V Index	Proteus
Identifikace zdrojů rizik					
Určení havarijních scénářů					
Odhad pravděpodobnosti scénáře					
Odhad možných následků					
Stanovení míry rizika					
Hodnocení přijatelnosti rizika					

Legenda:

Použitelné

Použitelné s omezením

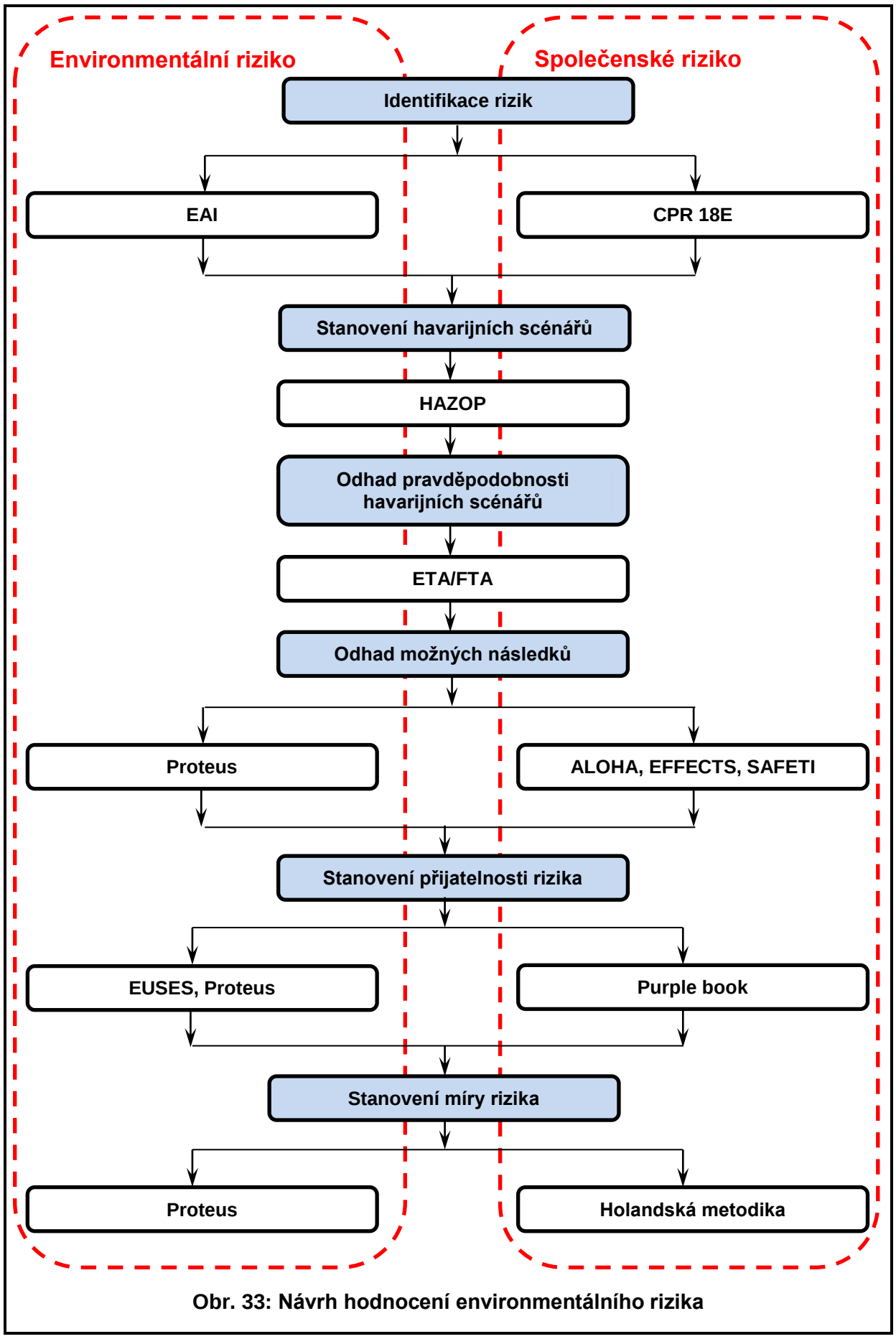
Žádná z popisovaných metod není natolik komplexní, aby mohla být použita ve všech etapách hodnocení environmentálních rizik. Vždy je nutné použít kombinaci několika metod.

U některých metod je možné jejich použití pro jiné části analýzy rizik, než pro kterou jsou primárně určeny, je však nutné počítat s nepřesnostmi a omezeními, které z toho vyplývají. Tímto omezením může být například možnost použití pouze pro některé složky ŽP (Proteus) nebo naopak jejich přílišná obecnost (H&V Index, Envitech03).

Je nutné vždy pečlivě zvážit požadovaný rozsah a hloubku prováděné analýzy a podle toho volit co nejvhodnější kombinaci metod a postupů pro analýzu a hodnocení environmentálních rizik.

Na základě znalostí, získaných při zpracování této diplomové práce, byl navržen postup pro hodnocení environmentálního rizika. Návaznost kroků hodnocení je stejná jako u hodnocení společenského rizika. Ne pro všechny části však existují metody, které jsou určeny přímo pro hodnocení environmentálních rizik, a je tedy nutné použití jiných obecných metod, které jsou pro daný účel vhodné.

Schéma navrženého postupu hodnocení environmentálních rizik a jeho porovnání s hodnocením společenského rizika je znázorněno na **Obr. 33**.



Obr. 33: Návrh hodnocení environmentálního rizika

6. Praktická aplikace metod pro hodnocení environmentálního rizika

Praktická aplikace metod pro hodnocení environmentálního rizika byla provedena na konkrétním průmyslovém podniku. Vzhledem k požadavku jednatele společnosti nebude v této práci zmiňován název podniku.

Provedené výpočty průsaků a modelování úniků nebezpečných látek navazují na již zpracovanou bezpečnostní dokumentaci podniku.

V bezpečnostní dokumentaci podle zákona č. 59/2006 Sb. byla aplikovaná metoda EAI pro identifikaci zdrojů rizika a následně byly stanoveny scénáře úniku látky pomocí metodiky HAZOP. V návaznosti na požadavky jednatele podniku, bylo rozšířeno environmentální hodnocení rizika o detailní modelování úniku nebezpečných látek a směsí do povrchových vod a byl stanoven výpočet průsaku nebezpečné látky do půdy a podpovrchových vod. Pro modelování úniků a výpočet průsaků byly vybrány pouze klasifikované látky a směsi a nejzávažnější zdroje rizika, identifikované metodou EAI.

6.1 Popis okolí průmyslového podniku

Stručná charakteristika životního prostředí v oblasti [17]

Průmyslový podnik se nachází ve Zlínském kraji, v CHKO Bílé Karpaty, a leží v těsné blízkosti významného vodního toku. Areál leží v mírně zvlněném, zalesněném a členitém terénu, na pravém břehu vodního toku.

Pro aplikaci metodiky jsou významné následující charakteristiky:

- vzdálenost k nejbližšímu vodnímu toku,
- tloušťka a typ zeminy nad podzemní vodou,
- hloubka podzemní vody,
- spád podzemních vod.

Nejbližší vodní toky [17]

Nejbližší vodní tok (dále VT) protéká cca 115 m od výrobního objektu č. 27. Do VT je přes biologickou čistírnu odpadních vod zaústěný kanalizační systém podniku.

Geologická a hydrogeologická charakteristika [17]

Mělká kvarterní zvodeň je vázaná na štěrkové souvrství údolní výplně, hladina podzemní vody je ukloněna směrem k řece, která území drénuje za běžných stavů. Kvarterní souvrství fluvialních sedimentů je tvořeno říčními náplavami o průměrné mocnosti 4 – 5 m spočívající spojitě na homogenním jílovitém paleogenním nepropustném podloží.

Zjištěný kolektor je tvořený hlinito-písčitými štěrky a zvodnělým horizontem hlinito-písčitých štěrků je možno klasifikovat jako průlinově propustný s koeficientem filtrace $n \cdot 10^{-5}$ m/s (mírně propustné až dosti slabě propustné horniny). Zvodnělá vrstva hlinito-písčitých štěrků dosahuje mocnosti cca 2 m.

6.2 Popis kanalizačního systému podniku a preventivních opatření

Vnitropodniková kanalizace a ochrana proti úniku nebezpečných látek do kanalizace [17]

Popis kanalizačního systému

V areálu společnosti jsou produkovány následující druhy vod:

- průmyslové odpadní vody,
- splaškové odpadní vody,
- dešťové vody.

Dešťové vody, splaškové vody a průmyslové odpadní vody jsou vedeny odděleně a před vstupem do biologické ČOV, která je umístěna vně areálu, jsou svedeny do jednotné kanalizace. Průmyslové odpadní vody pochází z výrobního objektu č. 27. Na průmyslovou kanalizaci je napojena jímka pod odmašťovacími linkami a linkou KOMAX. Před vstupem do ČOV jsou tyto odpadní vody odváděny průmyslovou kanalizací na neutralizační stanici NS II, která je umístěna v areálu.

Neutralizační stanice: slouží k úpravě alkalicko-kyselých průmyslových odpadních vod z odmašťovacích linek a linky KOMAX.

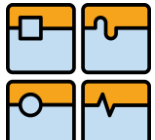
Čistírna odpadních vod: funguje na principu zjednodušené biologické metody aktivního kalu. ČOV je dimenzovaná na 1000 připojených obyvatel EU a na maximální průtok 440 m³/den. Přípustná koncentrace vod na odtoku do vodního toku je dána rozhodnutím vodoprávního orgánu a je kontrolována 12x/rok. Kromě toho je na ČOV zavedený pravidelný monitoring pH, teploty vody a objemová procenta kalu (záznam 3 x za směnu).

Přečištěné odpadní vody jsou zaústěny do vodního toku VT.

V **Tab. 54** jsou uvedeny hodnoty rozboru vzorku odpadní vody (odběr 19. 4. 2013) a hodnoty přípustné podle Rozhodnutí vodoprávního orgánu.

Tab. 54: Naměřené hodnoty znečištění odpadních vod v r. 2013 a hodnoty přípustné [17]

Závadná látka/ukazatel	Naměřená hodnota (zkušební protokol č. 885, 886/2013)	Hodnota přípustná podle Rozhodnutí vodoprávního orgánu
CHSK _{Cr}	21 mg/l	40 mg/l
BSK ₅	7,2 mg/l	30 mg/l
NL	8 mg/l	30 mg/l
N-NH ₄	1,4 mg/l	20 mg/l
C ₁₀ – C ₄₀	0,34 mg/l	0,8 mg/l
Al	0,20 mg/l	3 mg/l

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 85
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Zařízení a prostředky pro zabránění úniku nebezpečných látek do kanalizace

a) technické [17]

- V prostorách, kde je nakládáno s látkami závadnými pro vody (nástrojárna, lisovna, třískové hospodářství) jsou umístěny nádoby se sorbenty pro likvidaci drobných úniků. Jako sorbent je používán WAPEX, který je ve větším množství (100 kg) uložený v objektu č. 44 (administrativní objekt – laboratoř). Menší množství WAPEXU (25 kg) je umístěno i v objektu č. 23 (garáže a vrátnice). Dále se používají sorpční tkaniny, dostupné na jednotlivých střediscích.
- Kanalizace společnosti je zabezpečena proti úniku nebezpečných látek ze sousedních objektů.
- V případě velkých srážek je vtok na ČOV omezený odlehčovacím kanálem zaústěným přímo do vodního toku.
- V případě havárie v provozu a riziku úniku nebezpečné látky do průmyslové kanalizace je možné uzavřít odtok z neutralizační nádrže.

b) organizační [17]

Nakládání s odpadními vodami je řízeno prováděcími předpisy: **Vodní hospodářství, Kanalizační řád a Provozní řád čistírny odpadních vod**. Případný havarijný únik je řešený **Plánem havarijních opatření**, který popisuje možné zdroje úniku nebezpečných látek do kanalizace (následně vodního toku) a možnosti předcházení případné havárie a likvidaci jejích následků. Plán uvádí doporučené ochranné pomůcky při kontaktu s nebezpečnou látkou/směsí a zásady první pomoci.

Bezpečné nakládání s chemickými látkami, resp. základní povinnosti a odpovědnosti jsou uvedeny v dokumentu **Nakládání s chemickými látkami**. Bezpečné nakládání s chemickými látkami a směsmi na jednotlivých pracovištích je uvedeno v jednotlivých provozních řádech pro pracoviště, kde se s těmito látkami a směsmi nakládá.

Ve společnosti je zaveden systém školení. Zaměstnanci jsou pravidelně informováni o nakládání s látkami škodlivými/nebezpečnými pro životní prostředí, způsobu předcházení haváriím a odstranění jejich následků.

6.3 Látky nebezpečné pro životní prostředí přítomné v objektu

Seznam látek nebezpečných pro životní prostředí přítomných v objektu [17]

Seznam látek a směsí klasifikovaných jako nebezpečné pro životní prostředí nacházejících se v areálu podniku je uveden v **Tab. 55**. Jedná se o látky s R větami určujícími jejich nebezpečnost.

Význam R vět je uveden v **Příloze č. 1**.

Látky a směsi nebezpečné pro životní prostředí jsou umístěny v objektech, které nejsou odkanalizovány. Pokud jsou nebezpečné látky a směsi umístěny na venkovní ploše, jsou vždy uloženy na zpevněné ploše a nad záchytnou plechovou vanou.

Tab. 55: Seznam látek nebezpečných pro životní prostředí, se kterými je nakládání v areálu objektu [17]

Zdroj č.	Název látky	Klasifikace	Fyzikální forma látky	R – věta (odp. symbolu N)	Umístění		Celkem [kg]
					sklady	proces	
1	Odpadní práškové barvy MARAPUR	N	pevná l.	R52/53	shromaždiště odpadů u obj. 27	----	912
2	Odpadní lázeň (Pragofos 1926)	N, Xi	kapalina	R50/R53	přístřešek u obj. 27	----	1000
3	Pragolod 90	N, T, Xi	pevná l.	R51/53	galvanovna obj. 27	----	100
4	Prášková barva WOERWAG	R52/53	pevná l.	R52/53	mezisklad CHL (umístěno před skladem), objekt 27	----	300
5	Pragofos 1384	N, T, O	pevná l.	R50	mezisklad CHL, objekt 27	----	20
6	Pragofos 1382	O, T, Xn, N	pevná l.	R50/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	200
7	Pragofos 1926	N, Xi	pevná l.	R50/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	160
8	Pragokor INH 51	C, Xn, N	kapalina	R51/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	100
9	Pragofos 1381	N, C	kapalina	R50/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	100
10	Pragolod 86S	N, Xi, C	pevná l.	R51/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	100
11	Pragofos 1501	Xi, Xn, N	kapalina	R51/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	100
12	Pragolod DTNF	Xn, N	kapalina	R51/53	mezisklad CHL, objekt 27	----	100
13	Odmaštění oceli – roztok Pragolodu 90	N	kapalina	R51/53	----	linka odmaštění – objekt č. 27	1000
14	Prášková barva MARAPUR	N	pevná l.	R52/53	sklad – objekt č. 22a	----	600
15	Benzín technický	F, Xn, N	kapalina	R51/53	sklad – objekt č. 58	----	350
16	Nafta motorová	Xn, N	kapalina	R51/53	sklad – objekt č. 58	----	350
17	Nafta motorová	Xn, N	kapalina	R51/53	sklad PHM za objektem 60	----	833
18	Odpadní oleje (PARAMO OL P03)	Xi, Xn, N	kapalina	R51/53	shromaždiště odpadů u obj. 27	----	40000

Vlastnosti látek nebezpečných pro životní prostředí přítomných v objektu (zdroj: bezpečnostní listy) [17]

Odpadní olej (PARAMO OL P03)

Klasifikace: Xi, Xn, N

F-CH vlastnosti: žlutohnědá kapalina nerozpustná ve vodě, nízký tlak par

Ekotoxikologické informace: akutní toxicita pro vodní prostředí: ryby LL_{50} (96 h) = 21 mg/l, perzistence v organismech se nepředpokládá, biologická rozložitelnost je nízká, bioakumulační potenciál se předpokládá nízký

Ředidlo U 6000

Klasifikace: Xn, R10-20/21-36/38

F-CH vlastnosti: bezbarvý roztok organických rozpouštědel, s vodou nemísitelný

Ekotoxikologické informace: toxicita pro vodní organismy LD_{50} 96 h. 100 – 10 mg/l

Práškové barvy MARAPUR

Klasifikace: Xn, R10-20-36-52/53

F-CH vlastnosti: pevné skupenství, částečná rozpustnost ve vodě

Ekotoxikologické informace: neuvedeny, nesmí přijít do vody

Pragofos 1384

Klasifikace: O, T, N, R8-25-50

F-CH vlastnosti: pevná práškovitá látka; log POW: -3,7; rozpustnost ve vodě: 82 g/l (20°C)

Ekotoxikologické informace: dusitan sodný: LC_{50} = 0,09-0,13 mg/l (Oncorhynchus mykiss, 96 h)

Pragofos 1382

Klasifikace: O, T, Xn, N, R49-61-20/22-38-42/43-48/23-50/53-62

F-CH vlastnosti: pevná krystalická látka, rozpustnost ve vodě: 2380 g/l

Ekotoxikologické informace: LC_{50} , 48 hod. = 8,85 mg/l (Crustaceae)

Pragofos 1926

Klasifikace: Xi, N, R36/38-50/53

F-CH vlastnosti: pevná jemně krystalická látka, dobře rozpustná ve vodě

Ekotoxikologické informace: baktericidní účinek, toxické pro vodní organismy (Daphnia magna od 0,3 mg/l)

Pragokor INH 51

Klasifikace: C, Xn, N, R34-21/22-51/53

F-CH vlastnosti: kapalina, mísitelná s vodou v každém poměru

Ekotoxikologické informace: mastný amin ethoxylát: IC_{50} (96 hod.), ryby) < 1 mg/l

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 88
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pragofos 1381

Klasifikace: C, Xn, N, R34-22-50/53

F-CH vlastnosti: kapalina mísitelná s vodou v každém poměru

Ekotoxikologické informace: baktericidní účinek, toxické pro vodní organismy (Daphnia magna od 0,3 mgZn/l)

Pragolod 86S

Klasifikace: C, Xi, N, R34-37-51/53

F-CH vlastnosti: pevná látka s dobrou rozpustností ve vodě.

Ekotoxikologické informace: mastný amin ethoxylát: LC/EC/IC₅₀: 0,1-1 mg/l

Pragofos 1501

Klasifikace: Xi, Xn, N, R36/38-40-43-51/53

F-CH vlastnosti: kapalina mísitelná s vodou v každém poměru

Ekotoxikologické informace: baktericidní účinek, toxické pro vodní organismy (Daphnia magna od 0,3 mg/l)

Pragolod 90

Klasifikace: T, Xi, N, R25-36/37/38-51/53, 60, 61

F-CH vlastnosti: pevná látka s dobrou rozpustností ve vodě

Ekotoxikologické informace: neuvedeno

Prášková barva WOERWAG

Klasifikace: R52/53

F-CH vlastnosti: pevná látka nerozpustná ve vodě

Ekotoxikologické informace: LC50/96 h (ryby): 1000 mg/l

Pragolod DTNF

Klasifikace: Xn, N, R22-36-41-51/53

F-CH vlastnosti: viskózní kapalina, mísitelná s vodou

Ekotoxikologické informace: EC₅₀ > 1 mg/l

Nafta motorová

Klasifikace: Xn, N, R20-38-40-51/53-65-66

F-CH vlastnosti: kapalina nerozpustná ve vodě, viskozita: 2 - 4,5 mm²/s

Ekotoxikologické informace: LL₅₀ (96 h): 21 mg/l; persistence se nepředpokládá, biologická odbouratelnost je 60 %

Benzín technický

Klasifikace: F, Xn, N, R11-65-51/53-66-67

F-CH vlastnosti: kapalina málo rozpustná ve vodě (<1g/l); Pow: 3-6; viskozita: 0,6 mm²/s

Ekotoxikologické informace: LC₅₀ (96 h): 1 – 100 mg/l; má předpoklad k nízké bioakumulaci, snadno se odpařuje z půdy i vody

6.4 Výsledky identifikace zdrojů rizik metodou EAI

Zdroje rizika uvedené v **Tab. 56** byly pomocí EAI stanoveny jako nejvýznamnější. Výsledky jsou přejaty z již zpracované bezpečnostní dokumentace a slouží jako vstupní údaje pro detailnější hodnocení rizika. [17] Při výpočtu EAI bylo zohledněno skladované/přepravované množství látky, fyzikálně-chemické vlastnosti a toxicita látky, umístění zdroje, a to buď na venkovní ploše, nebo v objektech.

Pro účely této práce jsou uvažovány pouze zdroje rizik, pro které vychází EAI > 200.

Tab. 56: Identifikace zdrojů rizik metodou EAI [17]

Zdroj č.	Zařízení - látka	Max. skladovací množství	Viskozita	Rozpustnost ve vodě	Toxicita	Hodnota prostředí				EAI
		[t]	[points]	[%]	[mg/l]	DNW	DGS	LGS	LPI	
18	Odpadní olej – PARAMO OL P03	40	4	0	4,1	4	3	5	8	480
2	Odpadní lázeň - roztok Pragofosu 1926	1	4	100	1-6	9	9	5	9	456
1	Odpadní práškové barvy MARAPUR	0,9	0	50	2,34	4	3	5	8	264
9	Fosfátování v lázni Pragofos 1381	2	4	100	1-6	1	1	5	1	240
11	Odmašťovací linka – roztok Pragofosu 1501	1	4	100	1-6	1	1	5	1	240
13	Odmaštění oceli – roztok Pragolodu 90	1	4	100	1-6	1	1	5	1	240
12	Odmašťovací linka - roztok tenzidu Pragolod DTNF	1	4	100	1-6	1	1	5	1	240

6.5 Možné scénáře rozvoje havárie s únikem látek klasifikovaných jako nebezpečné pro životní prostředí

V této kapitole jsou uvedeny obecné scénáře možného úniku látky nebezpečné pro životní prostředí, včetně navržených preventivních opatření. Scénáře jsou převzaty z bezpečnostní dokumentace podniku. [17]

Scénář 1 – ÚNIK LÁTKY BĚHEM JEJÍHO TRANSPORTU DO OBJEKTU Č. 27

Scénář předpokládá poškození obalu a únik během transportu uvnitř areálu (např. havárie nákladního vozidla nebo vysokozdvizného vozíku). V tomto případě by došlo k úniku na zpevněnou plochu v blízkosti výrobního objektu č. 27 nebo mimo zpevněnou plochu (vjezd pro vozidla s chemickými přípravky je v těsné blízkosti nezpevněné plochy).

Pokud by nedošlo k zamezení šíření rozlivu na obslužné komunikace mohlo by dojít k následnému průniku přípravku do dešťové kanalizace kanalizační vpustí a následně na ČOV. Vstup na ČOV je vizuálně kontrolovaný (barva, pěnivost), dále je sledováno pH, teplota a průtočné množství. Změnou pH by se mohl projevit únik některých přípravků Pragofos s nízkým pH (např. 1501, 1381, 1384). Pokud je únik vizuálně identifikovaný, je možné odstavit ČOV v místě tzv. k jímce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 90
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Navržená preventivní opatření

Vybavení objektu č. 27 kanalizačními ucpávkami a prostředky pro likvidaci úniku.

Informovanost zaměstnanců, především řidičů vysokozdvížných vozíků o opatření v případě havarijního úniku.

Opatrnost a snížená rychlost v místě vjezdu do objektu.

Scénář 2 – ÚNIK Z PROSTORU OBJEKTU Č. 27 BĚHEM SKLADOVÁNÍ A POUŽITÍ PŘÍPRAVKŮ

Prostor je vybavený prostředky pro likvidaci následků havárie (sorbent v papírových pytlích na 2 místech v hale lisovny). V podlaze skladů chemikálií a celého objektu není přímá podlahová vpust'. Únik zůstane lokalizován v objektu č. 27. Je třeba uniklou látku odčerpat, odsát vhodným absorpčním prostředkem a mechanicky ji odstranit do nádoby na nebezpečný odpad.

Přístřešek a shromaždiště odpadů se nachází vně objektu č. 27. Látky jsou skladovány na zpevněné ploše, okolí objektu je ovšem nezpevněné a tyto prostory nejsou stavebně odděleny. V případě poškození skladovacích obalů hrozí únik těchto látek na nezpevněnou plochu, kontaminace půdy a průsak látek do podpovrchových vod.

Navržená preventivní opatření

Skladování pouze provozních množství přípravků.

Zavedení opatření pro zabránění úniku na nezpevněnou plochu – stavební oddělení, skladování obalů v odkapových jímkách.

Pravidelné doplňování sorpčních prostředků a označení míst, kde jsou uloženy.

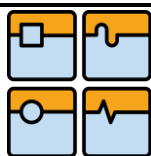
Informovanost zaměstnanců o opatření v případě havarijního úniku.

Scénář 3 – Únik nebezpečných chemických látek při povodni

Areál společnosti se částečně nachází v záplavovém území vodního díla. V případě protržení hráze je doba nástupu čela povodně v profilu „nad továrnou“ (nad průmyslovou zónou) 30 minut. Kulminace povodňové vlny dorazí do areálu podniku za 1 hodinu a 15 minut od začátku prolomení hráze, a 5 minut od úplného prolomení hráze. Povodeň opadne za 1 hodinu a 50 minut od počátku poruchy hráze, což je za 50 minut od úplného prolomení hráze. Zvláštní povodeň dosáhne v profilu max. rychlosti 5m/s. V tomto časovém intervalu se předpokládá dostatečný prostor pro osazení kanalizačních vpustí ucpávkami a tím zmírnění následků při úniku látek závadných vodám resp. látek nebezpečných pro životní prostředí.

Scénář 4 – SPLACH ZPLODIN HOŘENÍ NEBEZPEČNÝCH CHEM. LÁTEK DO KANALIZACE

Kvalita hasební vody a její množství je závislá na rozsahu požáru, rychlosti zásahu, atd. V případě požáru je třeba zabezpečit, aby kontaminovaná hasební voda nemohla uniknout z prostoru požářiště. Je navrženo použití kanalizačních ucpávek na utěsnění nejbližších kanalizačních vpustí.



6.6 Hodnocení průsaků

V návaznosti na identifikaci zdrojů rizik metodou EAI a vyhodnocení možných scénářů úniku nebezpečných látek, byl pro hodnocení kontaminace metodou EUSES zvolen scénář č. 2 – únik odpadních olejů ze shromaždiště odpadů u objektu č. 27 na nepevněnou plochu a následná kontaminace půdy a vody.

Odpadní olej Paramol OL P03 byl metodou EAI vyhodnocen jako nejvýznamnější zdroj rizika, především kvůli skladovanému množství (40 t) a nebezpečnosti látky pro životní prostředí.

Vybrané charakteristiky posuzovaných látek

Hodnoty uvedených charakteristik byly získány z bezpečnostních listů látek, z hydrogeologických průzkumů v oblasti areálu podniku, z bezpečnostní dokumentace průmyslového podniku a pomocí programu EUSES.

Tab. 57: Vybrané charakteristiky PARAMO OL P03

Tenze par (20°C)	10 Pa
Letální koncentrace LC ₅₀	4,1 mg/l
Rozpustnost ve vodě S (20°C)	200 mg/l
Hustota ρ	855 kg/m ³
Rozdělovací koeficient oktanol-voda KOW	0,591
Rozdělovací koeficient půda-voda K _{soil-water}	54,8 m ³ /m ³
Rozdělovací koeficient suspenze-voda K _{susp-water}	46,3 m ³ /m ³
Rozdělovací koeficient sediment-voda K _{sed-water}	46,2 m ³ /m ³
Rozdělovací koeficient vzduch-voda K _{air-water}	0,422
Henryho konstanta	1000 Pa.m ³ /mol

Tab. 58: Vybrané charakteristiky prostředí

Koeficient filtrace k (zvodnělý kolektor)	5,00E-06 m.s ⁻¹
Transmisivita T (zvodnělý kolektor)	n.10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴ m ⁻² .s ⁻¹
Pórovitost zvodnělé vrstvy n	31%
Hloubka podzemní vody h	2 m
Směr proudění podzemní vody	JZ
Mocnost zvodně H	3 m
Sklon hladiny podzemní vody	0,01 m/m
Hustota zeminy (EUSES)	1700 kg.m ⁻³

Faktory ovlivňující šíření látek v ŽP

Hodnoty byly vypočítány pomocí programu EUSES.

Koeficient odbourávání látky z vrstvy zeminy

$$k = 0,041 \text{ d}^{-1}$$

Depozice půdy z ovzduší

$$D_{\text{air}} = 0,00817 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$$

Počáteční koncentrace

$$C_{\text{soil}}(0) = 14,456 \cdot 10^3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Stanovení koncentrace v půdě

$$C_{\text{localsoil}} = \frac{D_{\text{air}}}{k} \cdot \frac{1}{k \cdot T} \cdot \left[C_{\text{soil}}(0) - \frac{D_{\text{air}}}{k} \right] \cdot (1 - e^{-k \cdot T}) \quad (6)$$

$$C_{\text{localsoil}}(10) = \frac{0,00817}{0,041} \cdot \frac{1}{0,041 \cdot 3650} \cdot \left[14,456 \cdot 10^3 - \frac{0,00817}{0,041} \right] \cdot (1 - e^{-0,041 \cdot 3650})$$

$$C_{\text{localsoil}}(10) = 19,249 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$PEC_{\text{localsoil}} = C_{\text{localsoil}} + PEC_{\text{regionalsoil}} \quad (7)$$

$$PEC_{\text{localsoil}} = 19,249 + 0$$

$$PEC_{\text{localsoil}} = 19,249 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Stanovení koncentrace v porézní vodě

$$PEC_{local_{soil,porew}} = \frac{PEC_{local_{soil}} \cdot \rho_{soil}}{K_{soil-water} \cdot 1000} \quad (11)$$

$$PEC_{local_{soil,porew}} = \frac{19,249 \cdot 1700}{54,8 \cdot 1000}$$

$$PEC_{local_{soil,porew}} = 0,597 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$$

Stanovení přijatelnosti rizika

$$RCR = \frac{PEC_{local_{soil,porew}}}{PNEC_{local_{soil,porew}}} \quad (18) [13]$$

$$RCR = \frac{0,597}{1,000}$$

$$RCR = 0,597$$

Při výpočtu koncentrace kontaminantu v půdě a porézní vodě byl zvolen konzervativní přístup, při kterém nebyl uvažován vliv biodegradace a sorpce, jedná se tedy o nejhorší možný případ. Skutečná koncentrace látky bude nižší.

Vypočítané hodnoty jsou nižší, než hodnoty uvedené v příloze Metodického pokynu MŽP – Indikátory znečištění, z roku 2013 [18]. Hodnota kritického poměru $RCR = 0,597$ je menší než 1, a proto lze tyto hodnoty považovat za přijatelné.

6.7 Modelování úniku metodou Proteus

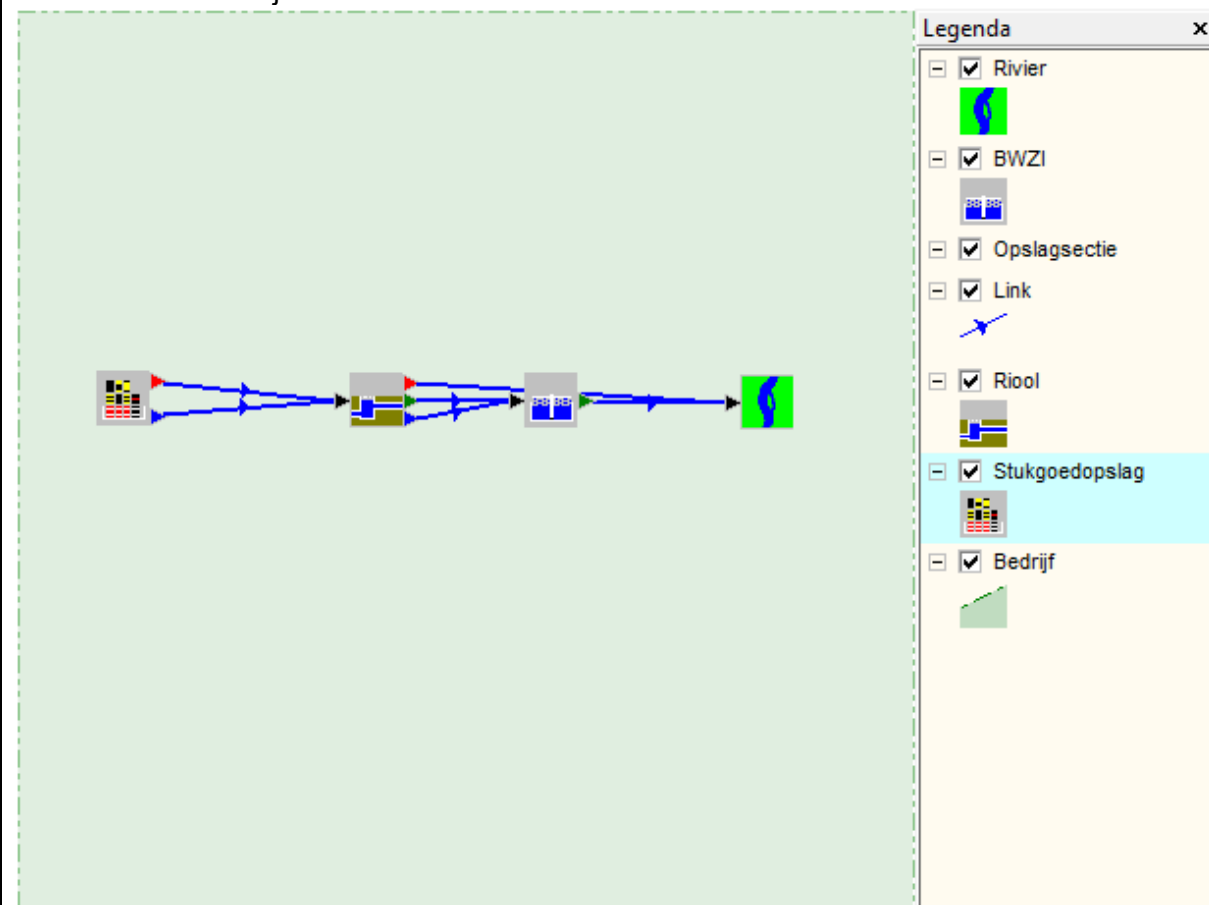
Pro modelování úniku v programu Proteus byl vybrán scénář úniku odpadního oleje ze shromaždiště u objektu č. 27 při povodni. Je uvažováno, že většina kontaminované vody poputuje do řeky přes kanalizaci a na ni napojenou čistírnu odpadních vod. V případě nedostatečné kapacity kanalizace však může dojít k přímé kontaminaci řeky.

Navržené schéma hodnocení v programu Proteus se skládá ze 4 částí:

- sklad,
- stoka,
- čistírna odpadních vod,
- řeka.

Charakteristiky látek, skladování a vlastnosti jednotek byly nastaveny dle informací v bezpečnostní dokumentaci.

Schéma hodnocení je znázorněno na **Obr. 34**.

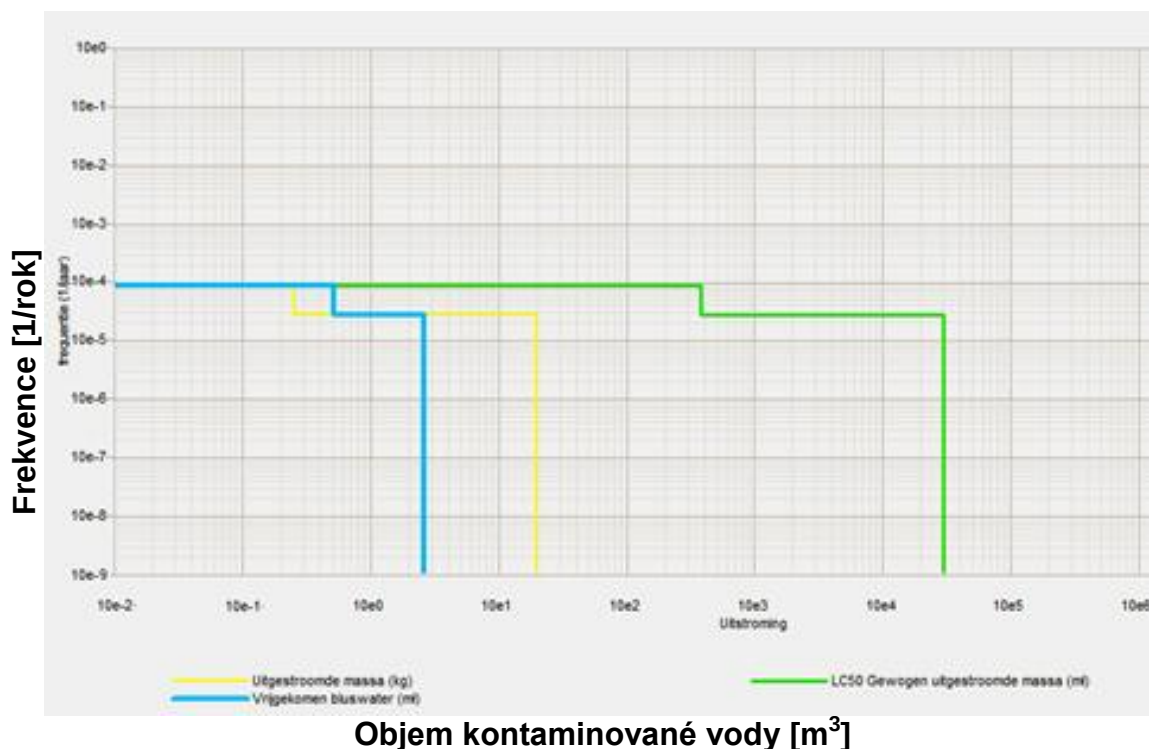
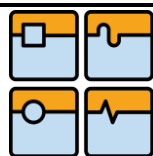


Obr. 34: Schéma analýzy programem Proteus

Dále byly na základě informací z bezpečnostní dokumentace průmyslového podniku vyplněny dotazníky, zohledňující úroveň managementu bezpečnosti.

Kontaminace řeky při úniku celkového množství 40 t skladovaného odpadního oleje, byla vypočítána na množství $2,94 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ kontaminované vody, s pravděpodobností úniku $2,85 \cdot 10^{-5}$ za rok.

Vyhodnocení rizika můžeme vidět na **Obr. 35**.



Objem kontaminované vody [m³]

Obr. 35: Stanovení rizika metodou Proteus

Výpočet přijatelnosti rizika metodou Environmental Harm Index

Objem kontaminované vody byl stanoven výpočtem metodou Proteus. Referenční objem kontaminované vody byl odvezen od naměřeného množství kontaminované povrchové vody při havárii ve Švýcarském Sandozu, který slouží jako etalon pro stanovení přijatelnosti metodou EHI. [7]

Byl zvolen konzervativní přístup k hodnocení přijatelnosti rizika, hodnota korekčního faktoru byla stanovena $F_{ws} = 1$.

$$V_{ow} = 2,94 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$

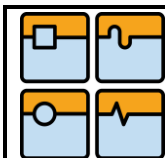
$$V_{ref} = 1,15 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

$$F_{ws} = 1$$

$$EHI = \frac{V_{ow}}{V_{ref}} \cdot F_{ws} \quad (17)$$

$$EHI = \frac{2,94 \cdot 10^4}{1,15 \cdot 10^5} \cdot 1$$

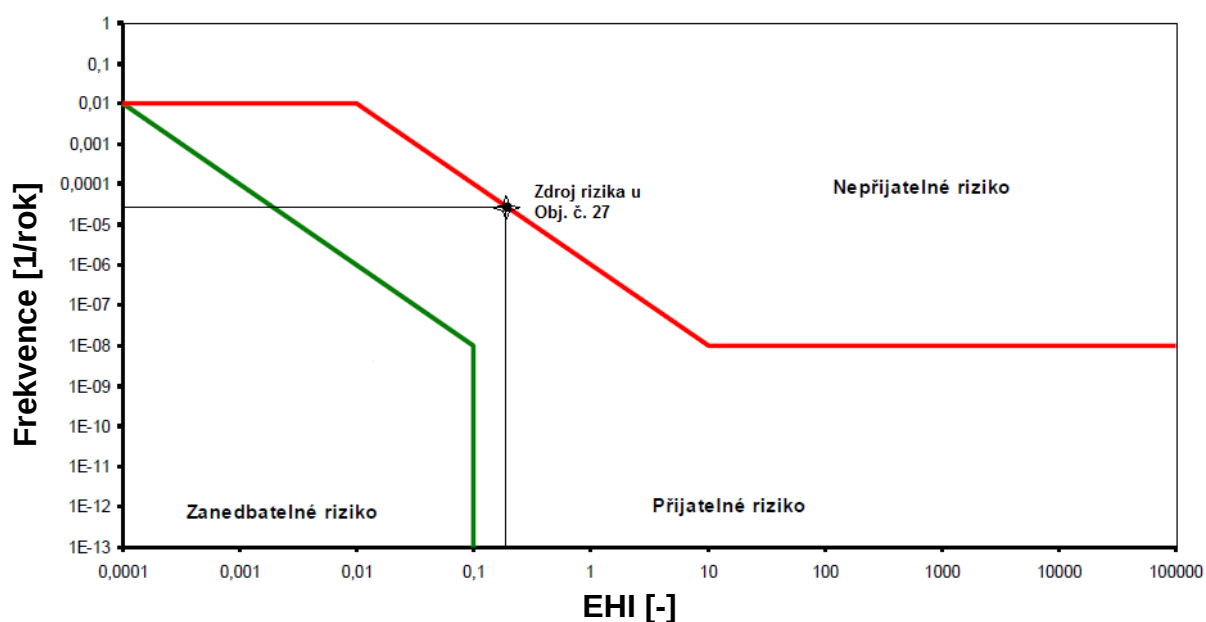
$$EHI = 0,256$$



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypočítané hodnoty pravděpodobnosti úniku a hodnota EHI byly vyneseny do grafu přijatelnosti rizik (**Obr. 36**).

Posuzovaný zdroj rizika vychází na hranici přijatelnosti rizika, vzhledem ke zvolenému velmi konzervativnímu přístupu hodnocení však lze považovat riziko za přijatelné a současná bezpečnostní opatření za dostatečná.



Obr. 36: Stanovení přijatelnosti rizika posuzovaného zdroje rizika

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zpracování rešerše metod pro hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku, zhodnocení možných přístupů a metodik pro hodnocení environmentálních rizik v ČR a dalších zemích. Na základě zhodnocení vybraných metod navržení možného postupu pro komplexní hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku s ohledem na bezpečnostní požadavky bezpečnostní dokumentace vyžadované platnou legislativou v ČR.

Vzhledem k rozsahu diplomové práce byly pro zpracování vybrány pouze metody v praxi nejčastěji používané a metody, které jsou doporučeny pro použití k hodnocení environmentálních rizik Ministerstvem životního prostředí ČR nebo Evropskou unií.

V úvodní části byly stručně uvedeny požadavky zákona č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů, na zpracování bezpečnostní dokumentace. Dále byla provedena rešerše přístupů k hodnocení environmentálního rizika ve vybraných zemích EU a v USA a porovnání těchto přístupů. Rozdíly v přístupech k hodnocení rizik byly přehledně zpracovány do tabulky.

Metody ENVITech03 a H&V Index, doporučované Ministerstvem životního prostředí ČR, byly po prostudování vyhodnoceny jako nevhodné pro použití. Důvodem je jejich přílišná obecnost a snaha o pokrytí všech složek životního prostředí. Dochází pak k zanedbání významných charakteristik, ovlivňující šíření nebezpečné látky, jako je viskozita, přenos látky mezi prostředím, vlastnosti recipientu, nejsou zohledněny zdroje a scénáře úniků a kvůli zjednodušení také dochází k záměně ekotoxikologických údajů.

Jako nejlepší metoda pro identifikaci zdrojů environmentálních rizik se jeví švédská metoda Environment Accident Index, především pak její novější přeformulovaná verze. Ta umožňuje použití konkrétních charakteristik posuzovaného prostředí a chemické látky. Je odvozena na základě aplikace na množství skutečných průmyslových havárií a lze tedy očekávat poměrně přesné výsledky. Při použití metody EAI je však nutno dbát zvýšené pozornosti při hodnocení malých množství vysoce toxických látek, kdy může být výsledek zavádějící a hodnota EAI příliš nízká.

Pro hodnocení dopadů na životní prostředí byly vybrány metody EUSES a PROTEUS. Metoda EUSES, vyvinutá Evropskou unií, je primárně určena pro hodnocení dlouhodobých úniků, je však možné ji použít i pro hodnocení havarijních scénářů. Při použití charakteristik konkrétního posuzovaného prostředí a látky dosahuje metoda velmi dobrých výsledků. Výhodou je její zpracování formou interaktivního počítačového programu, který je schopen už z malého počtu vstupních dat provést vyhodnocení havarijních úniků. Metodou EUSES lze hodnotit dopady úniků na půdní prostředí, povrchové i podpovrchové vody a na základě koncentrací nebezpečných látek také vyhodnocovat přijatelnost těchto úniků.

Přestože je použití metody PROTEUS omezeno pouze na povrchové vody, je její použití výhodné kvůli jednoduchosti jejího použití díky interaktivnímu zpracování počítačového programu. Výstupem z programu PROTEUS je stanovení množství kontaminované vody, délka kontaminovaného toku a v případě použití navazující metodiky Environmental Harm Index lze také stanovit přijatelnost rizika posuzovaného úniku.

Na základě zhodnocení jednotlivých metod byl navržen postup pro komplexní hodnocení environmentálních rizik v průmyslovém podniku. Z navrženého postupu je zřejmé, že při analýze rizik závažných havárií dochází k vzájemnému prolínání oblastí hodnocení environmentálních a společenských rizik. Navíc ne všechny oblasti analýzy environmentálních rizik lze hodnotit pomocí metod určených pro tuto oblast. Ze zpracovávaných metod byly pro navržený postup vybrány metody EAI, EUSES a Proteus. Pro komplexní hodnocení rizik je však nutné použití dalších metod. Pro stanovení havarijních scénářů a odhad pravděpodobnosti jejich nastání je doporučeno použití metod HAZOP a ETA/FTA, založených na inženýrském přístupu k hodnocení posuzovaných procesů.

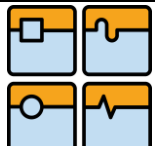
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 98
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

V závěrečné části této práce byla navržená metodika aplikována na konkrétním průmyslovém podniku. Při aplikaci se vycházelo z již zpracované bezpečnostní dokumentace podle zákona o prevenci závažných havárií. V dokumentaci byly identifikovány zdroje rizik metodou EAI a stanoveny scénáře havarijní úniků, nebyla ovšem vyhodnocena jejich pravděpodobnost. Pro zpracování v této diplomové práci byl vybrán nejzávažnější zdroj rizika, kterým je shromaždiště odpadů u objektu č. 27, kde je skladován použitý olej, klasifikovaný jako vysoce toxický pro vodní prostředí. Na základě údajů z bezpečnostní dokumentace byl proveden zjednodušený výpočet v programu EUSES pro stanovení průsaků nebezpečné látky do půdy a porézní vody. Vypočítané hodnoty koncentrace nebezpečné látky byly vyhodnoceny jako přijatelné, není tedy nutné zavádět nápravná opatření.

Pro modelování úniků programem PROTEUS byl vybrán nejzávažnější scénář, kdy při povodni dojde k úniku veškerého množství skladovaného oleje. Přestože bylo při modelování úniku vyhodnoceno, že dojde ke kontaminaci zhruba 30 000 m³ vody při pravděpodobnosti úniku 2,85.10⁻⁵ za rok. Metodou Environmental Harm Index byla posouzena přijatelnost rizika havarijního úniku. V tomto případě vychází výsledek na hranici přijatelnosti, vzhledem ke zvolenému konzervativnímu přístupu však lze považovat riziko za přijatelné. Není tedy nutné zavádět dodatečná nápravná opatření pro snížení rizika. Bylo však doporučeno stavební oddělení shromaždiště odpadů u obj. 27., které by významně přispělo snížení rizika u všech uvažovaných scénářů havarijního úniku.

Seznam použité literatury

- [1] Česká republika. Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění následujících předpisů.
- [2] Česká republika. Zákon č. 59/2006 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky a o změně zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 320/2002 Sb., o změně a zrušení některých zákonů v souvislosti s ukončením činnosti okresních úřadů, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). In: *Sbírka zákonů*, 2. 2. 2006, s. 842–869. ISSN 1211-1244.
- [3] *Metodický pokyn odboru ekologických rizik a monitoringu k hodnocení rizik*. Č. j. 1138/OER/94. Věstník MŽP ČR, částka 2, 12 (1996).
- [4] *Základní principy hydrogeologie* [online]. Metodická příručka MŽP, 2010 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)
- [5] BERNATÍK, Aleš. *Prevence závažných havárií II*. [online]. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006, 104 s. [cit. 2014-05-27]. ISBN 80-866-3490-6. Dostupné z: <http://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/skripta-PZH-II.pdf>
- [6] MANUILOVA, Anastassia. AKZO NOBEL SURFACE CHEMISTRY AB. *Methods and Tools for Assessment of Environmental Risk* [online]. 2003 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.dantes.info/Publications/Publication-doc/An%20overview%20of%20ERA%20-methods%20and%20tools.pdf>
- [7] FICBAUER, Vít. *Hodnocení environmentálních rizik*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2008.
- [8] GORMLEY, Áine. POLLARD, Simon. ROCKS, Sophie. *Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management – Green Leaves III* [online]. Defra and the Collaborative Centre of Excellence in Understanding and Managing Natural and Environmental Risks, Cranfield University, November 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69450/pb13670-green-leaves-iii-1111071.pdf
- [9] U. S. EPA. *Guidelines for Ecological Risk Assessment* [online]. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/R095/002F, 1998 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/ECOTXTBX.PDF>
- [10] ANDERSSON, Åsa Scott. *Development of an environment-accident index: a planning tool to protect the environment in case of a chemical accident* [online]. Umeå: Univ, 2004 [cit. 2014-05-27]. ISBN 91-730-5577-8. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf>
- [11] VANĚČEK, Michal. *Metodika analýzy zranitelnosti životního prostředí ENVITech03* [online]. ISATech, s.r.o., Pardubice, 2002 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/\\$FILE/oer-EnvITech03-2002.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/$FILE/oer-EnvITech03-2002.pdf)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 100
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [12] BERNATÍK, Aleš. NEVRLÁ, Petra. *Vliv havárií na životní prostředí* [online]. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005 [cit. 2014-05-27]. ISBN 80-866-3446-9. Dostupné z: http://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/skripta_VHZIP-2005.pdf
- [13] EUROPEAN CHEMICALS BUREAU, Institute for Health and Consumer Protection. *Technical Guidance Document on Risk Assessment: in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances, Commission Regulation (EC) No. 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substance (TGD) and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market, Part II* [online]. 2003 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/5619/2/EUR%2020418%20EN-2.pdf>.
- [14] NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT. *European Union System for the Evaluation of Substances 2.0 (EUSES 2.0)* [online]. RIVM Report no. 601900005. Bilthoven, The Netherlands. 2004 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/9011/1/601900005.pdf>
- [15] VOJKOVSKÁ, Kateřina. DANIHELKA, Pavel. *Metodika pro analýzu dopadů havárií s účastí nebezpečné látky na životní prostředí (H&V index)* [online]. VŠB-TUO, Ostrava, 2002 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/\\$FILE/oer-HaV_index-2002.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodicke_pokyny_odboru_enviro_rizik/$FILE/oer-HaV_index-2002.pdf)
- [16] STUHLÁ, Kateřina. *Hodnocení dopadů havárií na životní prostředí* [online]. Fórum mladých odborníků protipožární ochrany. 6. mezinárodní odborný seminář, 17. – 28. 10. 2005 [cit. 2014-05-27]. s. 7. ISBN: 80-228-1514-4. Dostupné z: http://www.hzsmsk.cz/sklad/kraoo/publikace/016hodnoceni_dopady_ZP.pdf
- [17] Bezpečnostní dokumentace průmyslového podniku zpracovaná podle zákona č. 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, ve znění pozdějších předpisů.
- [18] *Indikátory znečištění* [online]. Metodický pokyn MŽP. Věstník MŽP ČR, částka 1, 1, 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/975999522D9B19C3C1257C710050418A/\\$file/V%C4%9Bstn%C3%ADk_01_2014_final.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/975999522D9B19C3C1257C710050418A/$file/V%C4%9Bstn%C3%ADk_01_2014_final.pdf)
- [19] EnviGroup: R věty. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.envigroup.cz/www/podnikova-ekologie/chlp/r-vety.html>

Seznam příloh

Příloha č. 1: Seznam R vět	104
----------------------------------	-----

Seznam obrázků

Obr. 1: Obecný postup hodnocení rizik	20
Obr. 2: Postup hodnocení rizik dle metodiky EU	21
Obr. 3: Princip hodnocení dopadů havárií na ŽP v Anglii	22
Obr. 4: Systém environmentálního managementu v Anglii	23
Obr. 5: Systém hodnocení environmentálních rizik v USA	26
Obr. 6: Postup stanovení zranitelnosti ŽP	34
Obr. 7: Postup stanovení zranitelnosti ŽP metodou EnviTech03	34
Obr. 8: Postup stanovení parametru A_B	35
Obr. 9: Postup stanovení parametru A_T	37
Obr. 10: Postup stanovení parametru A_H	39
Obr. 11: Postup stanovení parametru B	42
Obr. 13: Cesty šíření emisí mezi složkami ŽP	45
Obr. 14: Postup hodnocení rizika metodou EUSES	46
Obr. 15: Obecný postup hodnocení rizika s aplikací metody H&V Index	51
Obr. 16: Postup stanovení rizika metodou H&V Index	53
Obr. 17: Postup posouzení nebezpečí toxicity	55
Obr. 18: Postup posouzení nebezpečí hořlavosti	56
Obr. 19: Postup hodnocení toxicity pro biotickou složku ŽP	57
Obr. 20: Postup hodnocení toxicity pro půdní prostředí	59
Obr. 21: Postup hodnocení toxicity pro vodní prostředí	61
Obr. 22 Schéma analyzovaných složek ŽP	63
Obr. 23: Schéma hodnocení zranitelnosti povrchových vod	64
Obr. 24: Schéma hodnocení zranitelnosti podpovrchových vod	65
Obr. 25: Schéma hodnocení zranitelnosti půdního prostředí	68
Obr. 26: Schéma hodnocení zranitelnosti biotické složky	70
Obr. 27: Matice indexů zranitelnosti území	71
Obr. 28: Matice přijatelnosti rizik	75
Obr. 29: Uživatelské prostředí programu Proteus II.....	76
Obr. 30: Dotazníky pro posouzení managementu bezpečnosti	77
Obr. 31: Grafické znázornění výstupů z metody Proteus	79
Obr. 32: Stanovení přijatelnosti rizika metodou EHI	80
Obr. 33: Návrh hodnocení environmentálního rizika.....	82
Obr. 34: Schéma analýzy programem Proteus	94
Obr. 35: Stanovení rizika metodou Proteus	95
Obr. 36: Stanovení přijatelnosti rizika posuzovaného zdroje rizika.....	96

Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání přístupů k hodnocení environmentálního rizika v EU/USA	27
Tab. 2: Kategorie závažnosti dopadu na ŽP dle metodiky EAI	28
Tab. 3: Vzdálenost k nejbližší studni, jezeru nebo vodnímu toku	29
Tab. 4: Hloubka k hladině podzemní vody	29
Tab. 5: Sklon hladiny podzemní vody a směr toku	29
Tab. 6: Tloušťka a složení půdní vrstvy	30
Tab. 7: Hodnoty proměnné Sur	30
Tab. 8: Hodnoty proměnné Tox	30
Tab. 9: Hodnoty proměnné Am	31
Tab. 10: Hodnoty proměnné Con	31
Tab. 11: Hodnoty proměnné Sol	31
Tab. 12: Vstupní informace pro hodnocení metodou EnviTech03	33
Tab. 13: Stanovení parametru A_B pro rychlost větru $1,7 \text{ m.s}^{-1}$ a dosah LD_{50} do 50 m ..	36
Tab. 14: Převod parametru A_B na parametr A	36
Tab. 15: Stanovení parametru A_T pro vzdálenost recipientu od zdroje.....	38
Tab. 16: Převod parametru A_T na parametr A	38
Tab. 17: Převod hydrogeologické charakteristiky pro účely stanovení zranitelnosti ..	40
Tab. 18: Stanovení parametru A_H pro vyhodnocovaný kolektor/nesaturovanou zónu	40
Tab. 19: Převod parametru A_H na parametr A	41
Tab. 20: Míra pravděpodobnosti havárie za rok pro vyhodnocovaný typ činnosti	41
Tab. 21: Vyhodnocení zranitelnosti prostředí	42
Tab. 22: Doporučená opatření dle hodnoty RCR	45
Tab. 23: Interakce mezi složkami ŽP a nebezpečností látky	51
Tab. 24: Zdroje dat pro stanovení vlastností uniklé látky	54
Tab. 25: Hodnocení toxicity LC_{50} inhalačně pro krysy za 4 h	58
Tab. 26: Posouzení fyzikálních vlastností látky	58
Tab. 27: Stanovení indexu tox. nebezpečnosti látky pro biotickou složku prostředí...	58
Tab. 28: Posouzení toxicity látky pro půdu	60
Tab. 29: Alternativní posouzení toxicity nebezpečné látky pro půdu a biotu	60
Tab. 30: Posouzení fyzikálních vlastností látky pro zjištění přírážky k indexu T_S	61
Tab. 31: Stanovení indexů toxické nebezpečnosti látky pro půdní prostředí	61
Tab. 32: Posouzení toxicity látky pro vodní prostředí	62
Tab. 33: Posouzení fyzikálních vlastností látky	62
Tab. 34: Stanovení indexu toxické nebezpečnosti látky pro vodní prostředí	62
Tab. 35: Posouzení fyzikálně-chemických vlastností látky	62
Tab. 36: Stupně zranitelnosti území	63
Tab. 37: Hodnocení horninového prostředí kolektoru a rizika znečištění	66
Tab. 38: Charakteristika pokryvu	66
Tab. 39: Stupeň ochrany	66
Tab. 40: Vodohospodářský význam kolektoru (dle hydrogeologických map)	67
Tab. 41: Zranitelnost podzemních vod vůči následkům havárie	67
Tab. 42: Stanovení indexu zranitelnosti půdního prostředí	68

Tab. 43: Hodnocení zranitelnosti půdního prostředí u nezemědělských půd	69
Tab. 44: Hodnoticí tabulka biotických složek prostředí	70
Tab. 45: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do povrchových vod	73
Tab. 46: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do podpovrchových vod	73
Tab. 47: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do půdního prostředí	74
Tab. 48: Stanovení závažnosti únikem toxické látky do biotické složky prostředí	74
Tab. 49: Stanovení závažnosti účinkem hořlavé látky na biotickou složku prostředí ..	74
Tab. 50: Předdefinované jednotky	77
Tab. 51: Předdefinované kanalizační systémy	78
Tab. 52: Předdefinované recipienty	78
Tab. 53: Využitelnost metod při analýze a hodnocení environmentálních rizik	81
Tab. 54: Naměřené hodnoty znečištění odpadních vod a hodnoty přípustné	84
Tab. 55: Seznam látek nebezpečných pro životní prostředí v areálu objektu	86
Tab. 56: Identifikace zdrojů rizik metodou EAI	89
Tab. 57: Vybrané charakteristiky PARAMO OL P03	91
Tab. 58: Vybrané charakteristiky prostředí	91

Přílohy

Příloha č. 1: Seznam R vět [19]

Seznam R vět	
R 1	Výbušný v suchém stavu
R 2	Nebezpečí výbuchu při úderu, tření, ohni nebo působením jiných zdrojů zapálení
R 3	Velké nebezpečí výbuchu při úderu, tření, ohni nebo působením jiných zdrojů zapálení
R 4	Vytváří vysoce výbušné kovové sloučeniny
R 5	Zahřívání může způsobit výbuch
R 6	Výbušný za i bez přístupu vzduchu
R 7	Může způsobit požár
R 8	Dotek s hořlavým materiálem může způsobit požár
R 9	Výbušný při smíchání s hořlavým materiálem
R 10	Hořlavý
R 11	Vysoce hořlavý
R 12	Extrémně hořlavý
R 14	Prudce reaguje s vodou
R 15	Při styku s vodou uvolňuje extrémně hořlavé plyny
R 16	Výbušný při smíchání s oxidačními látkami
R 17	Samovznětlivý na vzduchu
R 18	Při používání může vytvářet hořlavé nebo výbušné směsi se vzduchem
R 19	Může vytvářet výbušné peroxidy
R 20	Zdraví škodlivý při vdechování
R 21	Zdraví škodlivý při styku s kůží
R 22	Zdraví škodlivý při požití
R 23	Toxický při vdechování
R 24	Toxický při styku s kůží
R 25	Toxický při požití
R 26	Vysoce toxický při vdechování
R 27	Vysoce toxický při styku s kůží
R 28	Vysoce toxický při požití
R 29	Uvolňuje toxický plyn při styku s vodou
R 30	Při používání se může stát vysoce hořlavým
R 31	Uvolňuje toxický plyn při styku s kyselinami
R 32	Uvolňuje vysoce toxický plyn při styku s kyselinami
R 33	Nebezpečí kumulativních účinků
R 34	Způsobuje poleptání
R 35	Způsobuje těžké poleptání
R 36	Dráždí oči

R 37	Dráždí dýchací orgány
R 38	Dráždí kůži
R 39	Nebezpečí velmi vážných nevratných účinků
R 40	Podezření na karcinogenní účinky
R 41	Nebezpečí vážného poškození očí
R 42	Může vyvolat senzibilizaci při vdechování
R 43	Může vyvolat senzibilizaci při styku s kůží
R 44	Nebezpečí výbuchu při zahřátí v uzavřeném obalu
R 45	Může vyvolat rakovinu
R 46	Může vyvolat poškození dědičných vlastností
R 48	Při dlouhodobé expozici nebezpečí vážného poškození zdraví
R 49	Může vyvolat rakovinu při vdechování
R 50	Vysoce toxický pro vodní organizmy
R 51	Toxický pro vodní organizmy
R 52	Škodlivý pro vodní organizmy
R 53	Může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R 54	Toxický pro rostliny
R 55	Toxický pro zvířata
R 56	Toxický pro půdní organizmy
R 57	Toxický pro včely
R 58	Může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky v životním prostředí
R 59	Nebezpečný pro ozónovou vrstvu
R 60	Může poškodit reprodukční schopnost
R 61	Může poškodit plod v těle matky
R 62	Možné nebezpečí poškození reprodukčních schopností
R 63	Možné nebezpečí poškození plodu v těle matky
R 64	Může poškodit kojence prostřednictvím mateřského mléka
R 65	Zdraví škodlivý: při požití může vyvolat poškození plic
R 66	Opakovaná expozice může způsobit vysušení nebo popraskání kůže
R 67	Vdechování par může způsobit ospalost a závratě
R 68	Možné nebezpečí nevratných účinků

Kombinované R věty	
R 14/15	Prudce reaguje s vodou za uvolňování extrémně hořlavých plynů
R 15/29	Při styku s vodou uvolňuje toxický, extrémně hořlavý plyn
R 20/21	Zdraví škodlivý při vdechování a při styku s kůží
R 20/22	Zdraví škodlivý při vdechování a při požití
R 20/21/22	Zdraví škodlivý při vdechování, styku s kůží a při požití
R 21/22	Zdraví škodlivý při styku s kůží a při požití
R 23/24	Toxický při vdechování a při styku s kůží
R 23/25	Toxický při vdechování a při požití
R 23/24/25	Toxický při vdechování, styku s kůží a při požití
R 24/25	Toxický při styku s kůží a při požití
R 26/27	Vysoce toxický při vdechování a při styku s kůží
R 26/28	Vysoce toxický při vdechování a při požití
R 26/27/28	Vysoce toxický při vdechování, styku s kůží a při požití
R 27/28	Vysoce toxický při styku s kůží a při požití
R 36/37	Dráždí oči a dýchací orgány
R 36/38	Dráždí oči a kůži
R 36/37/38	Dráždí oči a dýchací orgány a kůži
R 37/38	Dráždí dýchací orgány a kůži
R 39/23	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování
R 39/24	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při styku s kůží
R 39/25	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při požití
R 39/23/25	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování a při požití
R 39/24/25	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při styku s kůží a při požití
R 39/23/24/25	Toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování, styku s kůží a při požití
R 39/26	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování
R 39/27	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při styku s kůží
R 39/28	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při požití
R 39/26/27	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování a při styku s kůží
R 39/26/28	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování a při požití
R 39/27/28	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při styku s kůží a při požití
R 39/26/27/28	Vysoce toxický: nebezpečí velmi vážných nevratných účinků při vdechování, styku s kůží a při požití
R 40/20	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování
R 40/21	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při styku s kůží
R 40/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při požití
R 40/20/21	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování a při styku s kůží
R 40/20/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování a při požití
R 40/21/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při styku s kůží a při požití

R 40/20/21/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování, styku s kůží a při požití
R 42/43	Může vyvolat senzibilizaci při vdechování a při styku s kůží
R 48/20	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním
R 48/21	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici stykem s kůží
R 48/22	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici požíváním
R 48/20/21	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním a stykem s kůží
R 48/20/22	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním a požíváním
R 48/21/22	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici stykem s kůží a požíváním
R 48/20/21/22	Zdraví škodlivý: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním, stykem s kůží a požíváním
R 48/23	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním
R 48/24	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici stykem s kůží
R 48/25	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici požíváním
R 48/23/24	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním a stykem s kůží
R 48/23/25	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním a požíváním
R 48/24/25	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici stykem s kůží a požíváním
R 48/23/24/25	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním, stykem s kůží a požíváním
R 50/53	Vysoce toxický pro vodní organizmy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R 51/53	Toxický pro vodní organizmy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R 52/53	Škodlivý pro vodní organizmy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R 68/20	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování
R 68/21	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při styku s kůží
R 68/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při požití
R 68/20/21	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování a při styku s kůží
R 68/20/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování a při požití
R 68/21/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při styku s kůží a při požití
R 68/20/21/22	Zdraví škodlivý: možné nebezpečí nevratných účinků při vdechování, styku s kůží a při požití