

**Univerzita Pardubice**

**Fakulta ekonomicko-správní  
Ústav regionálních a bezpečnostních věd**

**Analýza vybraných rizik regionu pomocí metod výpočetní inteligence a  
vícekriteriálního hodnocení**

**Bc. Petra Sojková**

**Diplomová práce  
2014**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petra Sojková**  
Osobní číslo: **E110119**  
Studijní program: **N6202 Hospodářská politika a správa**  
Studijní obor: **Regionální rozvoj: Bezpečnost regionu**  
Název tématu: **Analýza vybraných rizik regionu pomocí metod výpočetní inteligence a vícekritériálního rozhodování**  
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce bude zaměřena na problematiku "riziko regionu" a možnost využití metod výpočetní inteligence a vícekritériálního rozhodování.

- Úvod do problematiky riziko regionu pro vybranou oblast
- Současný stav řešení problému v dané oblasti
- Návrh a realizace modelu na bázi výpočetní inteligence a vícekritériálního rozhodování
- Analýza výsledků

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] AVEN, T. **Foundations of Risk Analysis**. Chichester : John Wiley & Sons, 2003.
- [2] GIUDICI, P. **Applied Data Mining: Statistical Methods for Business and Industry**. West Sussex : Wiley, 2003.
- [3] OLEJ, V. **Modelovanie ekonomických procesov na báze výpočtovej inteligencie**. Hradec Králové : Miloš Vognar - M&V, 2003.
- [4] ROSS, T.J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. 2nd edition, Chichester : John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [5] TRIANTAPHYLLOU, E. **Multi-criteria Decision Making methods : A Comparative Study**. Dordrecht : Kluwer Academic, 2000.
- [6] YOE, Ch.E. **Principles of Risk Analysis: Decision Making under Uncertainty**. Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis, 2012.


Vedoucí diplomové práce:

  
doc. Ing. Jiří Křupka, Ph.D.

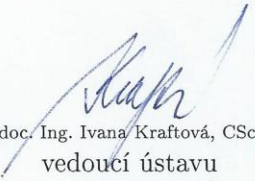
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **25. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**

  
doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.  
děkanka

L.S.

  
doc. Ing. Ivana Kraftová, CSc.  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 25. října 2013

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 6. 2014

Bc. Petra Sojková

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce, panu Jiřímu Křupkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady, trpělivost a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Taktéž bych touto cestou ráda vzpomněla na dvě velké osobnosti našeho oboru, doc. RNDr. Petra Linharta, CSc. a doc. Ing. Josefa Janošce, CSc., kteří nám již od počátku vštípovali lásku k tomuto oboru a směr, jakým se mu máme nadále věnovat.

Taktéž bych ráda poděkovala týmu HZS z oddělení ochrany obyvatelstva a krizového řízení, zejména pak Ing. Josefu Janurovi a Onřeji Slezákovi, DiS., kteří vždy ochotně zodpověděli všechny mé dotazy.

## **ANOTACE**

Práce se zabývá problematikou analýzy rizik regionu, která je podrobněji zaměřena na proces analýzy rizik. Cílem této práce je nejprve objasnit současné řešení analýzy rizik v Královéhradeckém kraji a následně provést návrhy na vylepšení (nahrazení) těchto postupů pomocí vícekriteriálního rozhodování a výpočetní inteligence.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Riziko, analýza rizik, vícekriteriální rozhodování, výpočetní inteligence

## **TITLE**

Analysis of selected risk-region using methods of computational intelligence and multicriterial decision.

## **ANNOTATION**

The work deals with the analysis of risk-region, which is closely focused on the process of risk analysis. The aim of this work is to theoretically explain contemporary solutions for risk analysis in the Hradec Králové Region, and make suggestions for improvements (replacement) of these procedures using a multicriterial decision and computational intelligence.

## **KEYWORDS**

Risk, analysis of risk-region, multicriterial decision, computational intelligence

# OBSAH

ÚVOD .....	11
<b>1 PROBLEMATIKA RIZIKA REGIONU .....</b>	<b>14</b>
1.1 DEFINICE POJMŮ HROZBA, RIZIKO A NEBEZPEČÍ .....	14
1.2 HISTORIE OCHRANY OBYVATELSTVA V ČESKÝCH ZEMÍCH .....	20
1.3 ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK .....	22
1.3.1 <i>Analýza rizik</i> .....	23
1.3.2 <i>Hodnocení rizik</i> .....	29
<b>2 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ ANALÝZY RIZIK V KRAJI .....</b>	<b>33</b>
2.1 DEFINOVÁNÍ HROZEB KRÁLOVÉHRADECKÉHO KRAJE .....	33
2.2 METODA EXPERTNÍHO ODHADU (METODA NA BÁZI VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ) .....	42
2.3 MAPOVÁNÍ RIZIK .....	48
<b>3 MODELOVÝ PŘÍKLAD .....</b>	<b>52</b>
3.1 VÝPOČET EXPERTNÍM ODHADEM .....	53
3.2 VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ .....	54
3.2.1 <i>Výpočet aditivní metodou</i> .....	55
3.2.1.1 NÁVRH 1 .....	57
3.2.1.2 NÁVRH 2 .....	60
3.2.1.3 NÁVRH 3 .....	62
3.2.1.4 NÁVRH 4 .....	66
3.2.1.5 NÁVRH 5 .....	67
3.2.1.6 NÁVRH 6 .....	68
3.2.2 <i>Výpočet lexikografickou metodou</i> .....	69
3.3 VÝPOČETNÍ INTELIGENCE .....	73
3.3.1 <i>Výpočet fuzzy modelováním</i> .....	75
3.3.1.1 MODEL Fuzzy1 .....	76
3.3.1.2 MODEL Fuzzy2 .....	85
3.3.1.3 MODEL Fuzzy3 .....	88
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>93</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>96</b>

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Porovnání definic pojmů hrozba, riziko a nebezpečí .....	14
Tabulka 1.2 Mimořádné události a specifikace odpovědností za rozpracování krizových situací.....	17
Tabulka 1.3 Odhad doby pro provedení analýzy bezpečnostní prohlídkou .....	25
Tabulka 1.4 Odhad doby pro provedení analýzy kontrolním seznamem .....	25
Tabulka 1.5 Odhad doby pro provedení analýzy metodou předběžné analýzy zdrojů.....	26
Tabulka 1.6 Odhad doby pro provedení analýzy metodou „toho, co se stane, když“ .....	27
Tabulka 1.7 Odhad doby pro provedení analýzy nebezpečí a provozuschopnosti.....	27
Tabulka 1.8 Odhad doby pro provedení analýzy stromu poruch .....	28
Tabulka 1.9 Odhad doby pro provedení analýzy stromu událostí.....	28
Tabulka 1.10 Odhad doby pro provedení analýzy příčin a následků .....	29
Tabulka 1.11 Odhad doby pro provedení analýzy lidské spolehlivosti.....	29
Tabulka 2.1 Výčet hrozeb Královéhradeckého kraje .....	34
Tabulka 2.2 Riziko chemické havárie v okrese Hradec Králové .....	37
Tabulka 2.3 Riziko chemické havárie v okrese Jičín .....	38
Tabulka 2.4 Riziko chemické havárie v okrese Náchod .....	38
Tabulka 2.5 Riziko chemické havárie v okrese Trutnov.....	39
Tabulka 3.1 Jednotné značení kritérií.....	55
Tabulka 3.2 Matice kritérií s vahami HZS .....	58
Tabulka 3.3 Matice kritérií s vahami dle subjektivního úsudku .....	61
Tabulka 3.4 Saatyho metoda, 5 poměrových bodů .....	63
Tabulka 3.5 Saatyho metoda, 9 poměrových bodů .....	67
Tabulka 3.6 Porovnání všech výsledků aditivní metody.....	71
Tabulka 3.7 Porovnání nejlepších výsledků aditivní metody, vyjádřeno v % .....	72

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1 Grafický návrh používaného postupu .....	11
Obrázek 2 Grafický návrh postupu řešení diplomové práce .....	12
Obrázek 1.1 Mapa rizik s devíti sektory.....	16
Obrázek 1.2 Mapa rizik se čtyřmi sektory.....	16
Obrázek 1.3 Matice kritérií v tabulkové formě .....	32
Obrázek 2.1 Zóna ohrožení, zimní stadion Hradec Králové .....	39
Obrázek 2.2 Grafické vyjádření postupu expertního odhadu .....	46
Obrázek 2.3 Výsledná mapa nebezpečí .....	47
Obrázek 2.4 Výsledná mapa zranitelnosti .....	48
Obrázek 2.5 Mapa kumulovaného rizika.....	49
Obrázek 2.6 Výsledná mapa připravenosti.....	50
Obrázek 2.7 Mapa korigovaného rizika .....	50
Obrázek 3.1 Schéma vah pro matici kritérií stanovenou HZS Královéhradeckého kraje.....	57
Obrázek 3.2 Schéma vah pro matici kritérií stanovenou dle vlastního úsudku.....	60
Obrázek 3.3 Znázornění klasické množiny a fuzzy množiny.....	75
Obrázek 3.4 Model fuzzy inferenčního systému .....	75
Obrázek 3.5 Příkazové okno v MATLAB-u .....	78
Obrázek 3.6 Výchozí nastavení FIS editoru.....	79
Obrázek 3.7 Vložení vstupů a výstupu .....	79
Obrázek 3.8 Práce se vstupy a výstupem .....	80



Obrázek 3.9 Ukládání práce .....	80
Obrázek 3.10 Definování funkcí příslušnosti, vstup Obyv .....	81
Obrázek 3.11 Definování funkcí příslušnosti, vstup Plocha .....	81
Obrázek 3.12 Definování funkcí příslušnosti, vstup Sily.....	82
Obrázek 3.13 Definování funkcí příslušnosti, vstup Koord .....	82
Obrázek 3.14 Definování funkce příslušnosti, výstup MR .....	83
Obrázek 3.15 Editor pravidel.....	83
Obrázek 3.16 Grafické znázornění kombinace vstupů Plocha a Sily.....	84
Obrázek 3.17 Grafické znázornění kombinace vstupů Sily a Obyv.....	84
Obrázek 3.18 Práce se vstupy a výstupem .....	87
Obrázek 3.19 Grafické znázornění kombinace vstupů VyskytJevu a Predikce .....	87
Obrázek 3.20 Grafické znázornění kombinace vstupů Predikce a DobaTrvani.....	88
Obrázek 3.21 Grafické znázornění kombinace vstupů VyskytJevu a Predikce .....	89
Obrázek 3.22 Grafické znázornění kombinace vstupů Predikce a DobaTrvani.....	90
Obrázek 4.1 Zóna ohrožení, hlavní nádraží Hradec Králové .....	99
Obrázek 4.2 Zóna ohrožení, Agricol s.r.o. Hradec Králové.....	99
Obrázek 4.3 Zóna ohrožení, Mlékárna BOHEMILK, a.s. Opočno .....	99
Obrázek 4.4 Zóna ohrožení, pivovar Krakonoš spol. s.r.o. Trutnov .....	99
Obrázek 4.5 Zóna ohrožení, pivovar Náchod a.s. ....	103
Obrázek 4.6 Inferenční pravidla 1-48.....	110
Obrázek 4.7 Inferenční pravidla 49-81 .....	111
Obrázek 4.8 Definování funkcí příslušnosti, vstup VyskytJevu .....	112
Obrázek 4.9 Definování funkcí příslušnosti, vstup Predikce .....	112
Obrázek 4.10 Definování funkcí příslušnosti, vstup DobaTrvani.....	113
Obrázek 4.11 Definování funkcí příslušnosti, vstup Ostatni.....	113
Obrázek 4.12 Definování funkcí příslušnosti, výstup MR.....	114
Obrázek 4.13 Inferenční pravidla 1-48.....	115
Obrázek 4.14 Inferenční pravidla 49-81 .....	116

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 3.1 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 1 a expertní odhad).....	60
Graf 3.2 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 2 a expertní odhad).....	62
Graf 3.3 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 3 a expertní odhad).....	65
Graf 3.4 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 4 a expertní odhad).....	66
Graf 3.5 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 5 a expertní odhad).....	68
Graf 3.6 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 6 a expertní odhad).....	69
Graf 3.7 Míry rizik variant scénářů vypočtené aditivní metodou.....	70
Graf 3.8 Grafické porovnání všech výsledků aditivní metody.....	71
Graf 3.9 Grafické porovnání nejlepší výsledků aditivní metody.....	72

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

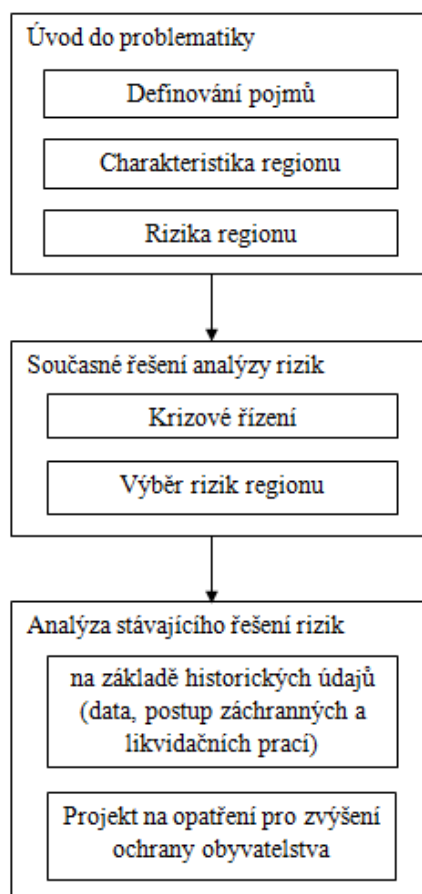
BIS	Bezpečnostní informační služba
ČR	Česká republika
ČSR	Československá republika
EU	Evropská unie
FES	Fakulta ekonomicko-správní
CTU	Český telekomunikační úřad
ERÚ	Energetický regulační úřad
HZS	Hasičský záchranný sbor
IZS	Integrovaný záchranný systém
KHS	Krajská hygienická stanice
KPCP	Komise pro cenné papíry
KrÚ	Krajský úřad
KVS	Krajská veterinární správa
MD	Ministerstvo dopravy
MMR	Ministerstvo pro místní rozvoj
MO	Ministerstvo obrany
MS	Ministerstvo spravedlnosti
MU	Mimořádná událost
MV	Ministerstvo vnitra
MZd	Ministerstvo zdravotnictví
MZe	Ministerstvo zemědělství
MZP	Ministerstvo životního prostředí
MZV	Ministerstvo zahraničních věcí
NBÚ	Národní bezpečnostní úřad
OAMP	Odbor azylové a migrační politiky
PČR	Policie České republiky
Sb.	Sbírka zákonů
SSHR	Státní správa hmotných rezerv
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

# ÚVOD

Tématem mé diplomové práce je analýza rizik regionu Královéhradeckého kraje pomocí metod výpočetní inteligence a vícekriteriálního rozhodování.

Základním krokem procesu snižování rizik je jejich analýza, která spočívá v definování veškerých hrozeb ohrožující aktivum dané oblasti (v této práci je aktivum bráno jako souhrn všeho, co má vyčíslitelnou hodnotu - budovy, lidské životy, aj.), jejich pravděpodobnostní výskyt, míra ztráty na aktivech, apod.

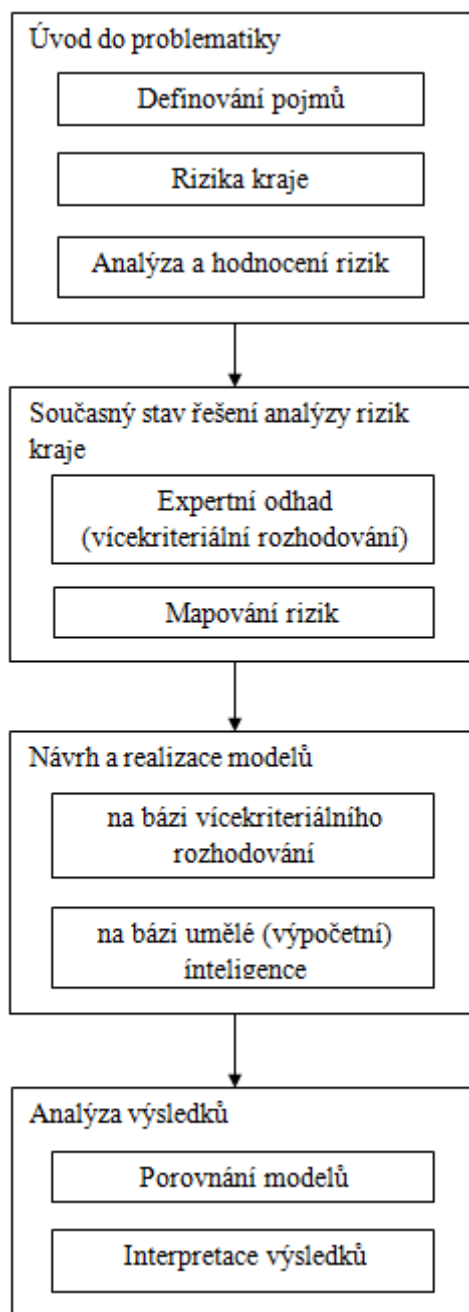
Pod pojmem „analýza rizik kraje“ je chápán proces výše zmíněné analýzy a následné řízení rizik za účelem snížení, či úplného zamezení jejich působení a navržení řešení/opatření pro eliminaci účinků těchto nežádoucích vlivů. Grafické znázornění běžně využívaného postupu je uveden na Obrázku 1.



**Obrázek 1 Grafický návrh používaného postupu**

Pro tuto práci jsem se rozhodla prozkoumat i další možnosti chápání tématu a jejího zpracování pomocí umělé (výpočetní) inteligence. Schéma navrženého postupu práce je shrnuto do Obrázku 2. Celá práce je pojata z pohledu samotného procesu analýzy rizik kraje

pro určení míry rizika jednotlivých hrozeb (jak je prováděna v praxi), namísto analýzy již nastalé hrozby v podobě mimořádné události, zpětného hodnocení připravenosti, apod. (jak zobrazuje první schéma).



**Obrázek 2 Grafický návrh postupu řešení diplomové práce**

První kapitola je věnována uvedení čtenáře do problematiky obecně. Dále následuje definování základních pojmů, seznámení se s kategorizací rizik kraje a různými metodami jejich analýzy a hodnocení.

V druhé kapitole jsou popsány konkrétní rizika Královéhradeckého kraje a podrobné metody analýz používaných odborníky.

Obsahem třetí kapitoly je návrh na vylepšení (nahrazení) postupů používaných v současnosti pomocí vícekriteriálního rozhodování a výpočetní inteligencí.

V závěru diplomové práce je provedeno porovnání výsledků dosažených jednotlivými postupy a zhodnocení, zda lze nahradit lidskou inteligenci výpočetní inteligencí.

# 1 PROBLEMATIKA RIZIKA REGIONU

## 1.1 Definice pojmů hrozba, riziko a nebezpečí

Pro snadnější pochopení problematiky riziko regionu, je vhodné si nejprve ujasnit základní pojmy a práci s nimi. Pro každého jsou svým smyslem zřejmé, nicméně často bývají v médiích, či psané formě informačních prostředků zaměňována, resp. některá užívána jako synonyma, proto je potřeba sjednotit jejich skutečný význam, používaný v odborných publikacích a jak tedy bude nahlíženo na uvedená slova v této práci.

Tabulka 1.1 uvádí přehled jednotlivých významů definovaných ve slovníku spisovné češtiny, slovníku spisovného jazyka a podle Ministerstva vnitra, jež institucionálně zastřešuje ochranu obyvatelstva.

**Tabulka 1.1 Porovnání definic pojmů hrozba, riziko a nebezpečí**

	Slovník spisovné češtiny [1]	Slovník spisovného jazyka	Ministerstvo vnitra ČR (MV)
hrozba	hrozivá blízkost něčeho zlého	příliš velká, hrozivá (časová) blízkost něčeho nepříjemného, zlého, strašného, co budí hrůzu [2]	Jakýkoli fenomén, který má potenciální schopnost poškodit zájmy a hodnoty chráněné státem. Míra hrozby je dána velikostí možné škody a časovou vzdáleností (vyjádřenou obvykle pravděpodobností čili rizikem) možného uplatnění této hrozby. [3]
riziko	nebezpečí, možnost škody, ztráty, nezdaru	nebezpečí škody, poškození nebo nezdaru při podnikání něčeho [4]	Možnost, že s určitou pravděpodobností vznikne událost, kterou považujeme z bezpečnostního hlediska za nežádoucí. Riziko je vždy odvoditelné a odvozené z konkrétní hrozby. Míru rizika, tedy pravděpodobnost škodlivých následků vyplývajících z hrozby a ze zranitelnosti zájmu, je možno posoudit na základě tzv. analýzy rizik, která vychází i z posouzení naší připravenosti hrozbám čelit. [5]
nebezpečí	možnost škody, úhony, neštěstí, ohrožení	pravděpodobnost, možnost nějakého neštěstí, škody [6]	X <sup>1</sup>

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Jak je na první pohled patrné, oba slovníky si s pojmy hrozba a riziko poradily podobně. Hrozbu obecně stanovují jako blízkost něčeho nepříjemného, zlého, dokonce něčeho, co budí hrůzu. Riziko pak jako možnost nebezpečí vzniku škody, ztráty nebo nezdaru. Při porovnání definic rizika a nebezpečí se však dostáváme do konfliktu významů, neboť jak riziko, tak

<sup>1</sup> **nebezpečí** není v terminologickém slovníku ministerstva vnitra definována

nebezpečí popisují Slovník spisovné češtiny a Slovník spisovného jazyka slovy „možnost škody, neštěstí“. Dalo by se říci, že riziko a nebezpečí jsou zde pojímána jako synonyma. Definice Ministerstva vnitra popisuje tyto pojmy odlišněji, resp. přesněji - hrozbu jako jakýkoliv „fenomén, který má potenciální schopnost poškodit zájmy a hodnoty chráněné státem“ a na něj navazující význam rizika - „pravděpodobnost škodlivých následků vyplývajících z hrozby“.

Význam slova **nebezpečí** je také vysvětlen M. Tichým v publikaci Definice rizika [7]:

- **nebezpečí** je subjektivní vyjádření či popis potenciální možnosti, že fyzický, biologický nebo chemický činitel způsobí újmu a můžeme mu přiřadit relativní konstantu, potřebujeme-li porovnat více nebezpečí mezi sebou (které že má horší dopad). Nebezpečí je soubor účinků, ke kterým by za daných podmínek **MĚLO DOJÍT**.
- **Riziko** je pak absolutní veličina a můžeme mu přiřadit konkrétní numero v dohodnutých veličinách (počet životů, měna, ...). Riziko lze tedy definovat očekávanými škodami, dále událostmi, resp. následky, ztrátou a nejistotou<sup>2</sup> a zejména pak pravděpodobností, že k nežádoucí (mimořádné) situaci **SKUTEČNĚ DOJDE**.

Klasický matematický zápis rizika dle doc. Ing. Radima Roudného, CSc.:

$$\mathbf{R} = \mathbf{f}(\mathbf{p}, \mathbf{Z}, \mathbf{t}, \mathbf{X}) \quad (1-1)$$

kde **R** riziko je **f** funkcí: **p** pravděpodobnosti výskytu mimořádné události (MU), **Z** ztráty, **t** času a **X** množiny dalších ukazatelů či faktorů.

Nutno si ujasnit, že riziko se vždy vztahuje k objektu ohrožení, resp. k tomu aktivu, kterého se daná újma či ztráta týká a které je potřeba chránit. **Hovoříme-li o riziku, myslíme tím pravděpodobnost výskytu HROZBY a jeho následky = ztráty na aktivu (aktivech)**. A hrozba je určitá síla, událost, aktivita, nebo čistě jen osoba, která nese nežádoucí vliv na bezpečí chráněného aktiva (osobu, majetek, zdraví, ...apod.).

Základem pro hodnocení rizika jsou současné (základní) a budoucí podmínky. Proto je na prvním místě důležitosti vyjadřovat se při popisu rizika co nejpřesněji, používat jednoznačné pojmy.

Mapa rizik je jedním z doporučených nástrojů, díky kterému se lze ihned zorientovat o stupni významnosti rizika. **Mapa rizik** popisuje na jedné ose míru pravděpodobnosti rizika a na ose

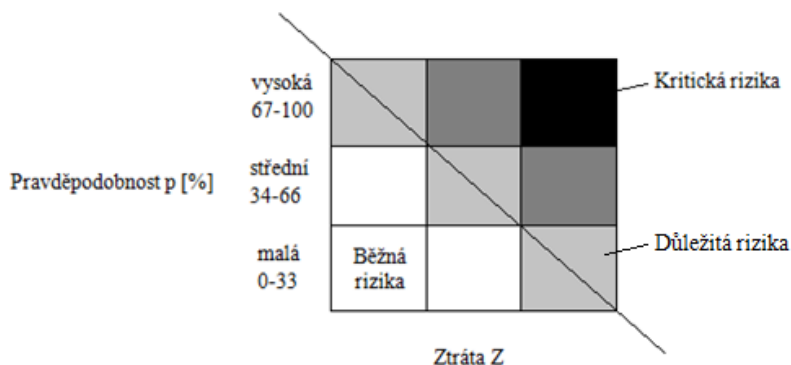
---

<sup>2</sup> Nejistotou jako mírou pravděpodobnosti.

druhé míru závažnosti (dopadu). Každá osa je rozdělena na 3 stupně - pravděpodobnost malá, střední, vysoká a ztráta malá, značná, zničující. [8, str. 15]

Mapa se dá uchopit více způsoby, zde uvedme dva základní:

**Ponechání 9 sektorů** - v tomto případě věnujeme pozornost buňkám na úhlopříčce (důležitá rizika). Pravý horní roh představují rizika tzv. kritická. Vzniku takovýchto rizik nesmíme dopustit. V praxi se pak vyhýbáme všem buňkám nad úhlopříčkou.

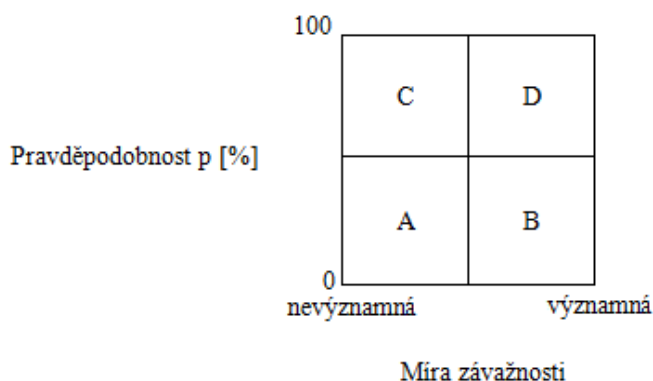


**Obrázek 1.1** Mapa rizik s devíti sektory

*Zdroj: Vlastní zpracování dle [8, str. 15]*

**Rozdělení na 4 sektory:**

- A. Riziko nízké pravděpodobnosti i míry ztráty, tzv. běžná rizika
- B. Riziko značné s ojedinělým výskytem (doporučuje se systémově zajistit)
- C. Riziko častého výskytu, ale nevýznamné
- D. Riziko zásadního (kritického) charakteru



**Obrázek 1.2** Mapa rizik se čtyřmi sektory

*Zdroj: Vlastní zpracování dle [9]*



Jak vyplývá z textu - riziko je popisováno pravděpodobností výskytu hrozby a velikostí ztráty.

Tabulka 1.2 obsahuje 23 základních hrozeb a rozděluje je na hrozby spojené s riziky přírodního původu 1.-6. a riziky vyvolanými člověkem (antropogenního původu) 7.-23. Následně jsou rozpracovány na skupiny, podle charakteru hrozeb (druhu ohrožení) a v případě, že se překlenou v krizovou situaci, kdo je zodpovědný za jejich koordinaci a řešení. Jednotlivá rizika jsou určena pořadovým číslem a zkratkou odpovědnostního orgánu.

**Tabulka 1.2 Mimořádné události a specifikace odpovědností za rozpracování krizových situací**

Pořadové číslo	Druh ohrožení	Pověření k výkonu	Součinnost
1	Dlouhodobá inverzní situace	MŽP+MV	KHS, MPO, Mzd
2	Povodně velkého rozsahu	MŽP+MV	KrÚ, MD, MZe, SSHR, MZd, MMR
3	Jiné živelní pohromy velkého rozsahu, mimo typu krizové situace č. 1 - 2, jako např. rozsáhlé lesní požáry, sněhové kalamity, vichřice, sesuvy půdy, zemětřesení apod.	MV (HZS)	MO, MD, MZe, MŽP, SSHR
4	Epidemie – hromadné nákazy osob (včetně hygienických a dalších režimů)	MZd	KHS, MV (PČR), MMR
5	Epifytie – hromadné nákazy polních kultur (včetně hygienických a dalších režimů)	MZe+MZd	KVS, OVS, MV (PČR)
6	Epizootie – hromadné nákazy zvířat (včetně hygienických a dalších režimů)	MZe+MZd	KVS, MV (PČR), MO, SSHR
7	Radiační havárie	MV + SÚJB	KrÚ, MO, MD, MPO, MZd, MMR
8	Havárie velkého rozsahu způsobená vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky	MV (HZS, PČR)	MŽP, KrÚ, MO, MPO, MZd, MZe, MMR, MD, SÚJB
9	Jiné technické a technologické havárie velkého rozsahu – požáry, exploze, destrukce nadzemních a podzemních částí staveb	MV (HZS)	MD, MPO, MO, MZd, ČBÚ
10	Narušení hrází významných vodohospodářských děl se vznikem zvláštní povodně	MZe+MV +MŽP	KrÚ, MO, MPO, MD, SSHR

11	Znečištění vody, ovzduší a přírodního prostředí haváriemi velkého rozsahu	MV (HZS)	MŽP, KrÚ, MD, MPO, MZe, MMR, SSHR
12	Narušení finančního a devizového hospodářství státu velkého rozsahu	MF	“resortní organizace MF, KrÚ” ČNB, MZV, KPCP
13	Narušení dodávek ropy a ropných produktů velkého rozsahu	SSHR	KrÚ, MPO, MZd
14	Narušení dodávek elektrické energie, plynu nebo tepelné energie velkého rozsahu	MPO	KrÚ, ERÚ, SSHR
15	Narušení dodávek potravin velkého rozsahu	MZe+MPO	KrÚ, MO, MV (PČR), MD, SSHR
16	Narušení dodávek pitné vody velkého rozsahu	MZe	KrÚ, MO, SSHR, MV (PČR), MD, MŽP
17	Narušení dodávek léčiv a zdravotnického materiálu velkého rozsahu	MZd	KrÚ, MD MO, MV
18	Narušení funkčnosti dopravní soustavy velkého rozsahu	MD	KrÚ, MV (PČR), MO, SSHR
19	Narušení funkčnosti veřejných telekomunikačních vazeb velkého rozsahu	MPO	KrÚ, MV, (PČR), NBÚ, ČTÚ
20	Narušení funkčnosti veřejných informačních vazeb velkého rozsahu	MV	KrÚ, MV (PČR), NBÚ,
21	Migrační vlny velkého rozsahu	MV	OAMP, MZV, MMR, MO
22	Hromadné postižení osob mimo epidemií – řešení následků včetně hygienických a dalších režimů	MZd	KrÚ, MV, MMR, SSHR
23	Narušení zákonnosti velkého rozsahu	MV	MO, MS, BIS, zprav.služby

*Zdroj: Vlastní zpracování dle HZS Královéhradeckého kraje [8, str. 42]*

Bezpečnostní informační služba (BIS); Český telekomunikační úřad (ČTÚ); Energetický regulační úřad (ERÚ); Hasičský záchranný sbor (HZS); Integrovaný záchranný systém (IZS); Krajská hygienická stanice (KHS); Komise pro cenné papíry (KPCP);

Krajský úřad (KrÚ); Krajská veterinární správa (KVS); Národní bezpečnostní úřad (NBÚ); Ministerstvo dopravy (MD); Ministerstvo pro místní rozvoj (MMR); Ministerstvo obrany (MO); Ministerstvo vnitra (MV); Ministerstvo zemědělství (MZe); Ministerstvo zdravotnictví (MZd); Ministerstvo zahraničních věcí (MZV); Ministerstvo spravedlnosti (MS); Ministerstvo životního prostředí (MŽP); Odbor azylové a migrační politiky (OAMP); Policie České republiky (PČR); Státní správa hmotných rezerv (SSHR); Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB)

( **Poznámka:** „MV koordinuje přípravu na krizové stavy a jejich řešení (§ 10 zákona č. 240/2000 Sb.)“ [10] )

Tato tabulka členění významných hrozeb je obecně platná pro všechny orgány IZS ČR: „Jsou to ty, které způsobují krize, pro které jsou zpracovány tzv. krizové plány a kmenové listy. Uvedené hrozby a jim odpovídající krizové situace jsou v souladu s dokumentem Obecné zásady krizového plánování ČR, které bylo schváleno Bezpečnostní radou, usnesení č. 87 z 30.5.2000.“ [8, str. 41]

Jakou kdo má odpovědnost při řešení hrozeb, popř. krizových situací je dáno zákonem (uvedeno v Tabulce 1.2), ale jak postupovat tehdy, kdy nastanou konkrétní situace, není docela jednoznačné, protože zde existuje nekonečné množství kombinací těchto hrozeb a připravit se na všechny, je tedy nemožné. (Laicky řečeno: Protržení vodní hráze na severu Čech je v detailech jiné než protržení hráze ve východních Čechách. Připomeňme si i další vlivy, které jsou důležité při popisu rizika jako vydatnost srážek, odtoky či přítoky apod.) V praxi se zpracovávají jednotlivé scénáře, které vybírají pouze určitou kombinaci vlivů hrozby ovlivňující následně riziko, s možností překlenutí se až na krizovou situaci. Těmto scénářům se říká typové plány. Každý zodpovědný orgán je pak profesionálem pro danou oblast rizik a jejich řešení i mimo předvídané, resp. zpracované typy krizových situací v těchto plánech.

**Takovéto řešení situací v reálném světě znamená přesnost veškerých přijatých informací (popis rizika, nastalé hrozby apod.), kvalifikovaný operativní přístup na všech stupních a profesionální vzájemné kooperaci složek integrovaného záchranného systému.**

## 1.2 Historie ochrany obyvatelstva v Českých zemích

Za počáteční etapu vývoje ochrany obyvatelstva je považováno období konce 20. let minulého století až konec druhé světové války, jako forma protiletecké civilní ochrany a ochrany proti chemickým bojovým látkám. **Zákon č. 82 o obraně proti leteckým útokům ze dne 11. dubna 1935** dal základ organizování ochrany obyvatelstva na našem území (ČSR). Úkoly, jež stanovoval tento zákon, plnily v té době jak orgány státní správy, tak i některé soukromé organizace. Ústřední zastřešení spadalo pod Ministerstvo vnitra, které vydávalo další směrnice a nařízení vázající se k tomuto legislativnímu rámci (zákona č. 82 o obraně proti leteckým útokům). Tyto směrnice a nařízení upravovaly podrobnosti a taxativně stanovovaly úkoly, povinnosti a práva všech účastníků. K realizaci a kontrole byly v obcích zřízeny **poradní sbory civilní protiletecké ochrany (CPO)**. Příkladem vládního nařízení je zákon č. 75 Sb. ze dne 8. dubna 1938, které doplnilo rámcový zákon o obraně a konkrétní opatření v důsledku nepřátelského vzdušného napadení, přičemž v té době tvořilo potenciální hrozbu sousední Německo.

Potenciální nebezpečí se týkalo zejména velkých průmyslových měst, proto se ochrana zaměřovala na zabezpečení obyvatel plynovými maskami a dostatečným počtem veřejných úkrytů.

Nástupem Protektorátu Čech a Moravy (rok 1935) přešlo řízení **Civilní protiletecké ochrany pod protektorátní policií**, zastřešenou říšskými složkami Luftschutzu. Až do roku 1961 byla věnována pozornost likvidaci zařízení a materiálu protiletecké ochrany - bourání staveb a zařízení, ochrana obyvatelstva zůstává opomenuta. Do popředí se dostalo až po únoru 1948 jakožto „budování civilní ochrany jednak na bázi národních výborů (státní správy), jednak na bázi tehdejšího národního hospodářství (výrobní sféry) a v úzké součinnosti se společenskými organizacemi.“ [11] Vznikl útvar civilní obrany, opět spadající pod Ministerstvo vnitra dělila se na vojenskou a nevojenskou část. Na základě uspořádání poválečné Evropy vyvstávala myšlenka nebezpečí globálního střetnutí a vznikaly nové hrozby ve formě biologických, chemických a jaderných zbraní.

Roku 1949 byly v Ženevě podepsány **Ženevské úmluvy**. Celkem to jsou „4 úmluvy a 3 dodatkové protokoly, které upravují podmínky a pravidla mezinárodního práva na ochranu obětí války. Ženevské úmluvy na ochranu obětí války byly nově sjednány na diplomatické konferenci konané v Ženevě“ [12] a roku 1977 byly doplněny o Dodatkové protokoly (o ochraně obětí mezinárodních ozbrojených konfliktů, o ochraně obětí ozbrojených konfliktů nemajících mezinárodní charakter a o přijetí dalšího rozeznávacího znaku).

Na počátku šedesátých let byl v návaznosti se změnou územně administrativního uspořádání přijat nový **zákon č. 40** ze dne 18. dubna 1961 **o obraně Československé socialistické republiky**, který zároveň zrušil zákony č. 82 z roku 1935 a zákon č. 75 z roku 1938. Až do 90. let se ochrana obyvatelstva specializovala na budování úkrytů pro obyvatelstvo a výrobou ochranných prostředků individuální protichemické ochrany.

„Dnem 1. ledna 1976 byla civilní obrana v důsledku doktrinní teorie Varšavského bloku vyjmuta z působnosti ministerstva vnitra a převedena do působnosti ministerstva obrany za účelem vytvoření podmínek pro plné zabezpečení úkolů v období branné pohotovosti státu.“ [11]

Až od 90. let minulého století je výrazná pozornost věnována **nevojenským mimořádným událostem** v době míru, prevenci a v neposlední řadě i na likvidaci následků přírodních a antropogenních katastrof. Významným prvkem je snaha o vybudování moderního pojetí ochrany obyvatelstva, jak jej známe dnes. Dosud využívaný pojem civilní obrana se tímto změnila na civilní ochranu a veškeré kompetence a povinnosti vyplývající z vojensky řízené územní organizace přešla pod státní správu. V rámci tohoto nového uchopení ochrany obyvatelstva vznikly tzv. krizové zákony:

- č. 238/2000 Sb. o Hasičském záchranném sboru,
- č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému,
- č. 240/2000 o krizovém řízení a
- č. 241/2000 Sb. o hospodářských opatřeních pro krizové stavy.

Na základě výše uvedených zákonů byla převedena ochrana obyvatelstva zpět pod ministerstvo vnitra.

V následujících letech pokračuje vývoj ochrany obyvatelstva a jejím legislativním zastřešením se stala tzv. **Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2006 s výhledem do roku 2015** z roku 2002. Tato koncepce řeší zásadní povinnosti, postupy a odpovědnost ministerstev, jednotlivých orgánů státní správy, samosprávy, právnických osob i samotného občana ve věcech ochrany života, zdraví, majetku a životního prostředí. Od roku 2007 je také zpracována **Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2013 s výhledem do roku 2020** spolu s vyhodnocením naplnění úkolů stanovené v předchozí koncepci.

„**Koncepce 2006/2015** navrhuje řešit především tyto problémy:

- vazby a úkoly jednotlivých úrovní veřejné správy, podnikové sféry i občanů;

- vybavení složek IZS materiálem a technikou k odstraňování následků mimořádných událostí (MU) vyplývajících z nových hrozeb;
- vytvoření centrálních sil IZS v rezortu Ministerstva vnitra;
- dobudování systému operačních a informačních IZS a jejich zodolněné komunikační spojení a informační a komunikační systém krizového řízení;
- zvýšení úrovně připravenosti pracovníků veřejné správy, zejména obcí, právnických osob a podnikajících fyzických osob, občanů a školní mládeže;
- stanovení základních organizačních a technických opatření ochrany obyvatelstva, zejména varování, evakuace, ukrytí a nouzové přežití;
- stanovení postupu nakládání s materiálem civilní ochrany.“ [11]

**Koncepce ochrany obyvatelstva do roku 2013 s výhledem do roku 2020** řeší bezpečnost společnosti, připravenost pracovníků veřejné správy, právnických a fyzických osob včetně školní mládeže, základní organizační a technická opatření ochrany obyvatelstva (oblast varování, vyrozumění, evakuace, nouzového ukrytí, oblast humanitární pomoci a spolupráce s neziskovými organizacemi, monitorování radiační, chemické a biologické situace, informování obyvatelstva, aj.), dále plánování a řešení opatření k ochraně obyvatelstva pro mimořádné události, nevojenské a vojenské krizové situace, připravenost sil a prostředků, (oblast jednotek požární a civilní ochrany), síly a prostředky za válečného stavu a nakonec materiální a finanční zabezpečení. [8]

### **1.3 Analýza a hodnocení rizik**

Analýza a hodnocení rizik je nezbytná pro stanovení přijímaného i nepřijatelného rizika a proto **mají nezastupitelné místo při tvoření havarijních a krizových plánů, zajišťující připravenost na řešení závažných mimořádných událostí, popř. těch MU, při kterých je vyhlášen třetí nebo zvláštní stupeň poplachu (tedy krizové situace).** Jsou to „postupy, které přispívají k rozvoji poznání a jsou velmi důležité v praxi. Slouží pro potřeby řízení a tvoří podklady pro rozhodovací proces. Z toho vyplývá, že pracovní postupy musí respektovat určité požadavky, které zaručují správné a kvalifikované rozhodování a pro-aktivní řízení, které na základě současných znalostí je nejlepším nástrojem pro zajištění ochrany, bezpečnosti a rozvoje státu či organizace.“ [17] **Cílem analýzy je zjištění hrozeb, jimž je společnost vystavena, a jaká je pravděpodobnost, že určitá hrozba využije zranitelné**

**místo/slabinu a způsobí škodu na aktivech**<sup>3</sup>. Základní rozlišení mimořádných událostí již bylo popsáno v kapitole 1. V zásadě je dobré mít na paměti, že hrozby členíme na přírodní - způsobené přírodními živly a antropogenní - způsobené člověkem. Z praxe analýz průběhů mimořádných událostí vyplývá, že mnohdy dochází k **současnému působení více přírodních a antropogenních činitelů**. Ve výsledku to pak znamená, že takové náhlé, náhodné působení několika vlivů způsobí **dominový sled projevů**. Například povodeň způsobí sesuv půdy, to zapříčiní ekologickou katastrofu, prasknutí plynovodu, výbuch plynu, ...atd. V případě výbuchu se dokonce hovoří i o vzniku synergického efektu. Tlaková vlna výbuchu s sebou nese střepinový účinek, vysokou teplotu, seizmický otřes, popř. zasažení území škodlivou látkou. [18]

„Pro analýzu a hodnocení rizik je v současné době k dispozici řada metodik i softwarových nástrojů. Jsou založeny na fyzikálních modelech, které jsou jednodušší či složitější, což pochopitelně předurčuje lepší či horší správnost a spolehlivost výsledků.“ [17] V souvislosti s různorodým charakterem mimořádných událostí nastává problém při získávání validních dat (v některých případech nejsou zjistitelná vůbec). Proto by měl každý uživatel takového procesu dopředu dobře posoudit, zda jeho datové soubory mají vypovídací hodnotu z hlediska jednotlivých typů mimořádné události, jejíž rizika chce sledovat, a zda naplňují požadavky metodiky. Teprve poté je možné pustit se do výpočtů/hodnocení rizika. Další důležitou skutečností je, že nelze používat jen jednu univerzální metodu pro stanovení rizik.

### 1.3.1 Analýza rizik

Stávající přístup k **analýze rizik** spočívá v několika základních metodách. Rozhodnutí, jaké z metod se použije, závisí zejména na množství a charakteru dostupných informací. Úplně prvotní je však náhled na samotné riziko, od nichž se pak odvíjí následný přístup k analýze rizika. Existují dva postoje. Prvním z nich je přístup zaměřený na následky, tzv. **deterministický přístup**. Předpokládá se, že následky mají své příčiny a pravděpodobnost, že nastane určitý jev, je buď možná ( $p = 1$ ), nebo nemožná ( $p = 0$ ). Řešení přípravy na mimořádnou událost spočívá v provedení opatření v souvislosti s nejhorším možným scénářem. Pokud tato opatření obstojí v nejhorších situacích, budou dostatečná i pro méně závažné případy. Druhý přístup, tzv. **probabilistický**, uvažuje všechny jevy za možné

---

<sup>3</sup> Za aktivum je pokládáno vše, co má pro společnost nějakou hodnotu a je důvodem pro to, aby bylo chráněno.

s určitou pravděpodobností ( $p = (0; 1)$ ). Hlavní myšlenkou je nezávislost výskytu všech událostí. V praxi se tak vytvářejí různé scénáře havárií na jednu mimořádnou událost, v níž každá se liší různou kombinací původních hrozeb a pravděpodobností. Takovými scénářům se říká havarijní plány. [19; 20]

Analýza rizik je nejčastěji dělena na techniky identifikace zdrojů rizika a techniky analýz systémů. Identifikace zdrojů rizika se dále dělí na bezpečnostní prohlídku, kontrolní seznam, předběžnou analýzu zdrojů rizika, analýzu „toho, co se stane, když“ a studii nebezpečí a provozuschopnosti. V rámci technik analýz systémů je popsána analýza stromu poruch, analýza stromu událostí, analýza příčin a následků, analýza lidské spolehlivosti a SWOT analýza.

### **TECHNIKY IDENTIFIKACE ZDROJŮ RIZIKA**

Při výběru konkrétní metody je potřeba posoudit požadovaný cíl analýzy, předpoklady, jaká vstupní data máme k dispozici a jejich charakter. Charakter rozlišujeme dvojí:

- jestliže známe (nebo lze stanovit) rozložení MU jak v prostoru, tak v čase, výsledkem je stanovení četnosti pro dané území v závislosti na časovém intervalu; tato skupina metod se používá hlavně při mapování rizik;
- jestliže známe (nebo lze stanovit) rozložení **dopadu** MU v prostoru a čase; výsledkem těchto metod hodnocení jsou scénáře dopadu provedených ve více variantách v souladu s pravděpodobností jejich výskytu (známé jako havarijní plány). [21, str. 5]

Existuje mnoho kritérií pro dělení metod hodnocení a analýzy rizik. Například podle jejich vlastností [21, str. 5]:

- deterministické,
- probabilistické,
- kvantitativní a
- kvalitativní.

Uvedme nyní základní a nejběžněji používané metody pro stanovení rizik využívaných v praxi:

#### **Bezpečnostní prohlídka**

„Bezpečnostní prohlídky jsou určeny pro identifikaci podmínek, problémů nebo provozních činností v podniku, které by mohly vést k nehodě a následně ke zranění, významné ztrátě na



majetku nebo na životním prostředí.“ [22, str. 29] Prohlídka spočívá v rozhovorech s pracovníky příslušného podniku (techniky, inženýry, údržbáři, manažery, apod.). Výsledkem jsou pak „kvalitativní popisy možných bezpečnostních problémů a podnětů k jejich nápravě. Odpovědnost za uplatnění nápravných opatření zůstává na podnikovém managementu.“ [22, str. 29] Na bezpečnostní prohlídku je třeba pohlížet jako na společné úsilí ke zlepšení bezpečnosti. Všichni členové týmu musí být plně informováni o bezpečnostních standardech a postupech společnosti. Následující tabulka uvádí odhad doby, která je potřeba pro každého člena týmu, aby provedl bezpečnostní prohlídku.

**Tabulka 1.3 Odhad doby pro provedení analýzy bezpečnostní prohlídkou**

Rozsah	Příprava *	Vyhodnocení	Dokumentace *
Jednoduchý / malý systém	2 až 4 hodiny	6 až 12 hodin	4 až 8 hodin
Složité / velký proces	1 až 3 dny	3 až 5 dnů	3 až 6 dnů

\* v první řadě vedoucí týmu

*Zdroj: [22, str. 30]*

### **Kontrolní seznam**

Jedná se o kontrolní seznam úkolů/kroků/opatření, souvisejících s potenciálními dopady, či selháním systému s následkem vzniku škod, které podléhají systematické kontrole. Výčet je vytvořen odborníky z praxe. Kontrolována je správnost/úplnost jednotlivých činností. Používá se spíše jako metoda zpětného zjišťování příčiny problému (resp. následku), nevylučuje se však ani využití jako stanovení prevence. Tato analýza je velmi jednoduchá a nejpoužívanější metoda analýzy a kontroly. [21, str. 6]

**Tabulka 1.4 Odhad doby pro provedení analýzy kontrolním seznamem**

Rozsah	Příprava	Vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	2 až 4 hodiny	4 až 8 hodin	4 až 8 hodin
Složité / velký proces	1 až 3 dny	3 až 5 dnů	2 až 4 dny

*Zdroj: [22, str. 31]*

### **Předběžná analýza zdrojů rizika**

Předběžná analýza zdrojů rizika je deterministický soubor metod, které vyhledávají zdroje rizik - nebezpečných stavů a nouzových situací, jejich příčin a dopadů. „Obecným způsobem se soustřeďuje na nebezpečné látky a hlavní procesy v podniku. Je nejčastěji vedena časně při vývoji procesu, kdy je ještě málo informací o navrhovaných detailech nebo provozních činnostech, a je často předchůdce další analýzy zdrojů rizika.“ [22, str. 33]

Pro velkou rozmanitost příčin rizika není možné použít jen jednu metodu pro celkové vyhledávání zdrojů rizik. Nejčastěji využívané jsou například techniky vyplývající z analýzy „toho, co se stane, když“ a její kombinace kontrolním seznamem, dále studie nebezpečí a provozuschopnosti (hodnocení pravděpodobnosti ohrožení a z nich plynoucích rizik, cílem je identifikace scénářů potenciálního rizika), analýza poruchových stromů (tato technika se používá pro vyhodnocení pravděpodobnosti selhání, respektive spolehlivosti složitých systémů), aj. [22, str. 33]

„Použití předběžné analýzy zdrojů rizika vyžaduje, aby analytici měli přístup k projektovým kritériím procesu, údajům o zařízeních, údajům o látkách a materiálech a dalším druhům informací. Metoda může být provedena jedním nebo dvěma analytiky, kteří znají základy bezpečnosti procesu.“ [22, str. 34]

„Použití předběžné analýzy zdrojů rizika vyžaduje, aby analytici měli přístup k projektovým kritériím procesu, údajům o zařízeních, údajům o látkách a materiálech a dalším druhům informací. Metoda může být provedena jedním nebo dvěma analytiky, kteří znají základy bezpečnosti procesu.“ [22, str. 34]

**Tabulka 1.5 Odhad doby pro provedení analýzy metodou předběžné analýzy zdrojů**

Rozsah	Příprava	Vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	4 až 8 hodin	1 až 3 dny	1 až 2 dny
Složitý / velký proces	1 až 3 dny	4 až 7 dnů	4 až 7 dny

*Zdroj: [22, str. 34]*

### **Analýza „toho, co se stane, když“**

Jedná se o typ odborného brainstormingu. Skupina odborníků, zcela obeznámených s procesem a oblastí zájmu problému, klade otázky „Co se stane, když...?“, vyslovuje úvahy, hledá nápady na možné dopady vybraných provozních situací. Výstupem je popis potenciálních hrozeb (včetně jejich rizika), doporučení, jak jim předcházet a opatření k jejich nápravě. [21, str. 6]

Provedení analýzy je nejčastěji přiděleno dvěma nebo třem lidem. Při této metodě však platí, že čím větší tým, tím lepší. Orientační doba zpracování je přímoúměrná velikosti projektu (procesu).

**Tabulka 1.6 Odhad doby pro provedení analýzy metodou „toho, co se stane, když“**

Rozsah	Příprava	Vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	4 až 8 hodin	4 až 8 hodin	1 až 2 dny
Složitý / velký proces	1 až 3 dny	3 až 5 dnů	1 až 3 týdny

*Zdroj: [22, str. 36]*

### **Studie nebezpečí a provozuschopnosti**

Tato metoda byla původně vyvinuta pro předvídaní nebezpečí a provozních problémů. Nyní se používá pro identifikaci a vyhodnocení rizika. „Analýza vyžaduje přesné, aktualizované nákresy a další podrobné informace o procesu, jako jsou provozní předpisy.“ [22, str. 37]. Multidisciplinární tým se pro velké a složité procesy skládá z 5 až 7 lidí (minimální počet je 3 až 4 lidé), přičemž každý z nich je odborníkem v jiné oblasti (projektant, technolog, zapisovatel úvah týmu, člen, co vede analýzu, aj.). [22, str. 37]

**Tabulka 1.7 Odhad doby pro provedení analýzy nebezpečí a provozuschopnosti**

Rozsah	Příprava	Vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	8 až 12 hodin	1 až 3 dny	2 až 6 dnů
Složitý / velký proces	2 až 4 dny	1 až 3 týdny	2 až 6 týdnů

*Zdroj: [22, str. 38]*

## **TECHNIKY ANALÝZ SYSTÉMŮ**

### **Analýza stromu poruch (poruchových stavů)**

Analýza stromu poruch je deduktivní metoda, jejímž účelem je najít a popsat takové kombinace selhání lidského faktoru a poruch zařízení, aby zapříčinily velkou systémovou poruchu. „Analýza se využívá v situacích, kdy jiná technika analýzy zdrojů rizika (např. studie nebezpečí a provozuschopnosti) vypíchla důležitou nehodu, která vyžaduje detailnější analýzu.“ [22, str. 40] Výsledkem analýzy je logický model poruch systému. Nejdůležitější je, aby tvůrce této analýzy detailně rozuměl všem nákresům a postupům, jak podnik funguje, znal způsoby selhání komponentů a jejich účinků selhání. Pro kvalitní výsledek analýzy je potřeba vysoce trénovaných a zkušených analytiků.

**Tabulka 1.8 Odhad doby pro provedení analýzy stromu poruch**

Rozsah	Příprava	Konstrukce modelu	Kvalitativní vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	1 až 3 dny	3 až 6 dnů	2 až 4 dny	3 až 5 dnů
Složité / velký proces	4 až 6 dnů	2 až 3 týdny	1 až 4 týdny	3 až 5 týdnů

*Zdroj: [22, str. 41]*

### **Analýza stromů událostí**

Tato metoda je typem kauzální analytické metody, která se používá pro vyhodnocení průběhu procesu a jeho událostí vedoucích k možné nehodě. Na rozdíl od analýzy stromu poruch sleduje události vedoucí k poruše a ne k selhání. [22, str. 41] Obě metody analyzují systém odzdoła nahoru, tedy od příčin k důsledkům.

„Strom událostí graficky ukazuje možné koncové stavy nějaké nehody, která následovala po iniciační události. Týmu by mělo stačit několik dnů pro vyhodnocení několika iniciačních událostí jednoduchého procesu. Složité procesy by mohly vyžadovat až mnoho týdnů.“ [22, str. 42]

**Tabulka 1.9 Odhad doby pro provedení analýzy stromu událostí**

Rozsah	Příprava	Konstrukce modelu	Kvalitativní vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	1 až 2 dny	1 až 3 dny	1 až 2 dny	3 až 5 dnů
Složité / velký proces	4 až 6 dnů	1 až 2 týdny	1 až 2 týdny	3 až 5 týdnů

*Zdroj: [22, str. 42]*

### **Analýza příčin a následků**

Jak už název sám napovídá, jedná se o kombinaci metod analýzy stromu poruch (příčin) a analýzy stromu událostí (následků). Výsledkem je hodně detailní grafický diagram s nehodovými sekvencemi a kvalitativními popisy možných koncových stavů nehod. Je vhodný k použití pro analýzu poměrně jednoduchých nehod. „Analýza CCA se nejlépe provádí v malém týmu (dva až čtyři lidé) s rozličnými zkušenostmi. Jeden člen týmu by měl mít zkušenosti s CCA (nebo s analýzami FTA nebo ETA), zatímco ostatní členové by měli mít zkušenosti s projektem a provozem systémů začleněných do analýzy.“ [22, str. 43]

**Tabulka 1.10 Odhad doby pro provedení analýzy příčin a následků**

Rozsah	Příprava	Konstrukce modelu	Kvalitativní vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	1 až 2 dny	1 až 3 dny	1 až 3 dny	3 až 5 dnů
Složité / velký proces	4 až 6 dnů	1 až 2 týdny	1 až 2 týdny	3 až 5 týdnů

*Zdroj: [22, str. 43]*

### **Analýza lidské spolehlivosti**

Cílem této analýzy je identifikace potenciálních lidských chyb, jejich příčin a účinků následků. Systematicky vyjmenovává chyby, které mohou ohrozit provoz. „Výsledky jsou povahy kvalitativní, ale mohou být i kvantifikovány. Taková analýza v sobě zahrnuje identifikování vzájemných vztahů systému ovlivněných jednotlivými chybami a seřazení těchto chyb ve vztahu k ostatním na základě pravděpodobnosti výskytu nebo závažnosti následků.“ [22, str. 43]

**Tabulka 1.11 Odhad doby pro provedení analýzy lidské spolehlivosti**

Rozsah	Příprava	Konstrukce modelu	Kvalitativní vyhodnocení	Dokumentace
Jednoduchý / malý systém	4 až 8 hodin	1 až 3 dny	1 až 2 dny	3 až 5 dnů
Složité / velký proces	1 až 3 dny	1 až 2 týdny	1 až 2 týdny	1 až 3 týdnů

*Zdroj: [22, str. 44]*

### **SWOT analýza**

SWOT analýza je komplexní technikou kvalitativního hodnocení rizika. Metoda spočívá v sestavení čtyř základních skupin faktorů, které jsou postupně hodnoceny. Jedná se o Strengths - silné stránky, přednosti, Weaknesses - slabé stránky, nedostatky, Opportunities - příležitosti a Threats - hrozby. [21, str. 7]

### **1.3.2 Hodnocení rizik**

**Hodnocení rizik** je dvojitý - kvalitativní a kvantitativní pohled. **Kvalitativní** znamená proces identifikace zdrojů rizika, analýza příčin a následků a jejich kauzálních souvislostí. **Kvantitativní** hodnocení spočívá v určení pravděpodobnosti (četnost a frekvence) a hodnocení následků (závažnost následků). Podklady tvoří statistická data pozorovatelná

v místě a čase. Nejvíce metod hodnocení se opírá právě o tento kvantitativní pohled. [21, str. 4]

### **Kvalitativní přístup**

Je považován za dobrý první krok, protože jde o slovní popis možných následků a jejich pravděpodobností, které nelze vyjádřit elementárně. Při dalším použití s sebou nese nedostatky. Např. v praxi je potřeba vytvořit soulad mezi všemi hodnocenými riziky, aby mohly být dobře porovnatelné a zpracovatelné. Bez kvantifikace (alespoň částečné) se zde neobejdeme. Sestavení matice rizik bez určení číselných hodnot rizik také není možné, apod. [22, str. 100]

### **Kvantitativní přístup**

Kvantifikací rizika odpadají potíže spjaté s kvalitativním přístupem hodnocení. Vyčíslením rizika se potenciálně vyhýbáme chybnému hodnocení a tím je vyšší pravděpodobnost dosáhnout prokazatelně úplné analýzy. Analytik si je vědom, že jakmile používá čísla, jeho výpočty mohou být zpochybněna třetí stranou. Každá dobrá analýza by proto měla obsahovat i nezávislou kontrolu. „Cílem kvantitativního hodnocení rizika je vyčíslit jak frekvenční / pravděpodobnostní, tak i následkový rozměr rizika. Výpočty frekvence musí být prováděny takovým způsobem, aby byly vzaty v úvahu všechny možné události. To znamená, že byly identifikovány všechny zdroje rizika, a že se při výpočtech frekvencí správně uvážil rozsah možných zdrojů rizika a rozsah možných odezev (jako jsou hašení požáru, nouzové odstavení, evakuace, atd.).“ [22, str. 98]

Hodnocení rizik lze provádět zejména pomocí matematických metod, mezi něž patří expertní odhady pro stanovování variant scénářů MU, metody rozhodování na bázi vícekriteriálního rozhodování a výpočetní inteligence.

## **MATEMATICKÉ METODY HODNOCENÍ RIZIK**

Jádrem modelů využívajících matematických metod hodnocení rizik je stanovení kritérií, která popisují podstatu a chování jednotlivých faktorů (veličin) vstupujících do definice rizika. Při zpracovávání se pracuje s velkými soubory dat, které by se neobešly bez statistického vyhodnocení. Výsledek je pak pro lepší interpretaci spojen s mapovým vyjádřením. V odborných publikacích je nejčastěji nalezneme spojené s termínem „mapování rizik“ (neboli znázornění rizik na mapě). Tento proces se sestává z kompletní klasifikace a kvantifikace rizika ve vztahu k území. Na riziko je pak pohlíženo jako na sumu rizik pro

jednotlivé typy mimořádných událostí. Výsledkem tohoto procesu je identifikace těch území s různou úrovní předpokládaného rizika. Zpracovávání je pak nemyslitelné bez podpory geografických informačních systémů. Znázornění na mapě klade důraz na hodnotové vyjádření rizika pomocí barevného rozlišení. [21, str. 13]

### **Expertní odhady při stanovení variant**

V případě, že není možno stanovit účinky a důsledky variant scénářů mimořádných událostí pomocí modelových a matematických metod<sup>4</sup>, využívají se znalosti odborníků - expertů. Tuto techniku může provádět jak jeden, tak více odborníků. Je-li rozhodovatelů více, snižuje se pravděpodobnost zatížení (resp. zkreslení) výsledku subjektivní chybou. Další možností, jak eliminovat subjektivní chybu, je vyřadit z hodnocení krajní hodnoty vyčnívající ze souboru všech hodnot a ze zbylých se následně stanoví výsledná hodnota aritmetickým průměrem. Varianty sestavené expertním odhadem plně závisí na míře vzdělání, zkušeností a schopnostech rozhodovatele. [21, str. 14] Metoda expertního odhadu je v základě sestavená na bázi vícekriteriálního rozhodování.

### **Rozhodování na bázi vícekriteriálního hodnocení**

Vícekriteriální metody je obecně možno definovat jako modelování rozhodovacích situací na množině variant a souboru kritérií. V realitě má produkt či služba vždy více kritérií (cena, velikost, barva, apod.) a jsou měřítky, podle kterých se posuzují jednotlivé varianty. Nejznámější použití je pro stanovení užitku. Jednoduchým a poměrně rychlým způsobem lze ohodnotit užitek (bezrozměrnou veličinu) jednotlivých možností a dojít tak kýženého cíle optimálního rozhodnutí. [21, str. 13]

Pro potřeby námi uvažované praxe jde o výběr optimální varianty z několika variant scénářů mimořádných událostí, pomocí stanovení kritérií pro různé veličiny vstupujících do procesu. Každý scénář se vyhodnocuje zvlášť. Volba optimální varianty je ale dosti individuální záležitostí, protože se odvíjí od preferencí rozhodovatele, jeho dostatečné informovanosti a postoji k dané situaci. Správná volba kritérií, bodování a stanovení vah v procesu vícekriteriálního rozhodování je proto tvořeno více odborníky najednou. Zajistí se tak dostatečná objektivita při sestavování výpočtů i následném vyhodnocení a výběru optimální varianty. [21, str. 14]

V rámci této analýzy variant je známo několik poddruhů výpočtů. Základním modelem, který je všem metodám vícekriteriálního rozhodování společný, je tzv. matice kritérií.

---

<sup>4</sup> Zvláště nejsou-li k dispozici reálná data a informace.

Kritéria		K1	...	Kj	...	Kn	Celkové hodnocení varianty	Pořadí výkonnosti
Váhy kritérií		v <sub>1</sub>	...	v <sub>j</sub>	...	v <sub>n</sub>		
Varianty	A <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>		x <sub>1j</sub>		x <sub>1n</sub>		
	...							
	A <sub>i</sub>	x <sub>i1</sub>		x <sub>ij</sub>		x <sub>in</sub>		
	...							
	A <sub>m</sub>	x <sub>m1</sub>		x <sub>mj</sub>		x <sub>mn</sub>		

Obrázek 1.3 Matice kritérií v tabulkové formě

Zdroj: [23, str. 89]

kde  $K_1 \dots$  kritérium z množiny  $K$ ,  $i = (1, 2, \dots, n)$ ,  $v_1 \dots$  váha kritéria  $v_j$ ,  $A_j \dots$  varianta z množiny  $A$  (v kapitole 3 jsou nahrazeny písmeny  $A, B, C, D$ ),  $j = (1, 2, \dots, m)$ ,  $x_{ij} \dots$  kritériální (tzv. zdrojové) hodnoty variant

Metody jsou brány jako tzv. „interaktivní“, kdy upřesňování během procesu je její součástí. Je však rozdíl mezi hodnocením jednotlivých variant mezi sebou a rozhodnutím, zda byla vybrána metoda správná.

### Fuzzy logika

Fuzzy logika patří do technik výpočetní inteligence. Slovo fuzzy v překladu znamená neostřý, neurčitý. Zabývá se realitou v rámci její neurčitosti.

Metoda pracuje na bázi množin. V tomto smyslu by pomocí předchozích metod riziko na daném území - buď působilo, nebo ne. Matematický zápis by pak vypadal následovně:  $\{0; 1\}^5$ . Obecně platí, že daný prvek (riziko) buď do množiny (kraj, okres, město, apod.) patří, nebo nepatří. Tento přístup však vede k idealizování skutečnosti. [21, str. 16]

Fuzzy logika operuje s myšlenkou, že riziko může potenciálně vzniknout s určitou pravděpodobností (odborně nazváno “stupněm příslušnosti”). Každému riziku lze přiřadit číslo (stupeň příslušnosti) z intervalu  $(0; 1)^6$ , podle intenzity rizika. Příklad matematického zápisu:  $\{0,75; 1\}$ . [21, str. 16]

<sup>5</sup> Hodnota nula znamená nemožný výskyt rizika a hodnota 1, že riziko na území existuje.

<sup>6</sup> Nula znamená, že riziko na daném území nepůsobí, hodnota 1 pak analogicky určuje maximální intenzitu.



## 2 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ ANALÝZY RIZIK V KRAJI

### 2.1 Definování hrozeb Královéhradeckého kraje

Veškerá analýza rizik kraje (jako aktiva) spočívá v základním výčtu hrozeb a určení pravděpodobnosti jejich vzniku. V případě, kdy nastane hrozba, se pak hovoří o MU. Pro potřeby MV je **mimořádná událost** definována jako **veškeré síly a jevy, které způsobují škodu (přírodní a antropogenní vlivy), ohrožují zdraví, majetek, život nebo životní prostředí a vyžadují si zásah Integrovaného záchranného systému pro záchranné a likvidační práce**. Velitel zásahu na místě MU rozhodne o stupni poplachu (stanoveného v poplachovém plánu IZS).

Stupně poplachu:

- 1. stupeň poplachu IZS
- 2. stupeň poplachu IZS
- 3. stupeň poplachu IZS
- zvláštní stupeň poplachu IZS

**V případě vyhlášení třetího a zvláštního stupně poplachu se jedná o krizovou situaci.**

V tomto případě řeší pak záchranné a likvidační práce hejtman kraje.

Vycházejme ze základního výčtu hrozeb (uvedeného již v první kapitole - Tabulka 1.2), jsou to závazné typové situace přijaté Bezpečnostní radou státu č. 295/2001. Ke každé z nich je zpracován **typový plán**, nebo-li „přílohová část krizového plánu nezbytná ke zvládnutí krizové situace, kterou ústřední správní úřad podle své působnosti stanoví pro jednotlivé druhy krizových situací doporučené typové postupy, zásady a opatření pro jejich řešení.“ [13]. Tabulka 2.1 je navíc obohacena o informace, zda příslušná hrozba může přerůst v krizovou situaci (zbarveno modře) a tedy, jestli je následně rozpracována do krizového plánu kraje, řešena formou regulačních opatření nebo jinou formou, a kdo je garantem zpracování daného dokumentu. **Krizový plán kraje** je „soubor dokumentů obsahující popis a analýzu hrozeb a souhrn krizových opatření a postupů, které ministerstva, jiné správní úřady a orgány územní samosprávy zpracovávají k zajištění připravenosti na řešení krizových situací v dané působnosti dle zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů.“ [14]

**Tabulka 2.1 Výčet hrozeb Královéhradeckého kraje**

Pořadové číslo	Typ hrozby (mimořádné události)	Krizová situace	Typ rozpracování	Garant za zpracování
1	Dlouhodobá inverzní situace	Ne		
2	Povodně velkého rozsahu	Ano	KPK	Krajský úřad
3a	Jiné živelní pohromy velkého rozsahu – lesní požáry	Ne		
3b	Jiné živelní pohromy velkého rozsahu – sněhová kalamita	Ano	KPK	HZS
3c	Jiné živelní pohromy velkého rozsahu - zemětřesení	Ne		
4	Epidemie – hromadné nákazy osob (včetně hygienických a dalších režimů)	Ano	Jiná forma opatření	Krajská hygienická stanice
5	Epifytie – hromadné nákazy polních kultur (včetně hygienických a dalších režimů)	Ne		
6	Epizootie – hromadné nákazy zvířat (včetně hygienických a dalších režimů)	Ne		
7	Radiační havárie	Ne		
8	Havárie velkého rozsahu způsobená vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky	Ne		
9	Jiné technické a technologické havárie velkého rozsahu – požáry, exploze, destrukce nadzemních a podzemních částí staveb	Ne		
10	Narušení hrází významných vodohospodářských děl se vznikem zvláštní povodně	Ano	KPK	Krajský úřad/HZS
11	Znečištění vody, ovzduší a přírodního prostředí haváriemi velkého rozsahu	Ne		
12	Narušení finančního a devizového hospodářství státu velkého rozsahu	Ne		
13	Narušení dodávek ropy a ropných produktů velkého rozsahu	Ano	Regulační opatření	Krajský úřad
14a	Narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu	Ano	KPK	HZS
14b	Narušení dodávky plynu velkého rozsahu	Ano	KPK	HZS
14c	Narušení dodávek tepelné energie velkého rozsahu	Ano	KPK	HZS
15	Narušení dodávek potravin velkého rozsahu	Ano	Regulační opatření	Krajský úřad
16	Narušení dodávek pitné vody velkého rozsahu	Ano	Regulační opatření	Krajský úřad

17	Narušení dodávek léčiv a zdravotnického materiálu velkého rozsahu	Ne		
18	Narušení funkčnosti dopravní soustavy velkého rozsahu	Ano	Regulační opatření	Krajský úřad
19	Narušení funkčnosti veřejných telekomunikačních vazeb velkého rozsahu	Ne		
20	Narušení funkčnosti veřejných informačních vazeb velkého rozsahu	Ne		
21	Migrační vlny velkého rozsahu	Ano	KPK	PČR
22	Hromadné postižení osob mimo epidemií – řešení následků včetně hygienických a dalších režimů	Ano	Jiná forma opatření	Krajský úřad
23	Narušení zákonnosti velkého rozsahu	Ano	KPK	PČR
24	Narušení funkčnosti poštovních služeb velkého rozsahu	Ne		

*Zdroj: Vlastní zpracování dle HZS Královéhradeckého kraje*

**Dlouhodobá inverzní situace** - v rámci analýzy rizik v Královéhradeckém kraji bylo rozhodnuto, že **dlouhodobá inverzní situace** nehrozí.

**Povodně velkého rozsahu** - povodně v kraji způsobují téměř každoročně řeky **Labe, Orlice, Úpa, Metuje a Cidlina**. Záplavová území jsou zanalyzována v okolí středních a dolních toků, na základě „zkušeností lokálních záplav v důsledku přívalových dešťů (zpravidla v letním období) se však nebezpečí zaplavení území rozšiřují i do horních částí maloprůtočných toků, zejména v **horských oblastech kraje na Trutnovsku a Rychnovsku**.“ [15] Povodně velkého rozsahu jsou závislé na meteorologických vlivech. Řešením je známý postup. Varování obyvatelstva, stavba umělých hrází, přizpůsobení průtoku příslušných vodních děl, v případě povodní velkého rozsahu evakuace obyvatel.

#### **Jiné živelní pohromy velkého rozsahu - lesní požáry, sněhová kalamita a zemětřesení**

Požáry jsou nejčastějším důvodem pro výjezd a zásah Hasičského záchranného sboru. Zdrojem jsou v první řadě Třebechovická a Orlická tabule, Podkrkonošská pahorkatina, Krkonošské podhůří, Krkonoše, Broumovská vrchovina a Orlické hory. „Vzhledem k typu zalesnění převážně jehličnatými kulturami, dochází zpravidla k rychlému šíření požárů a obtížnosti jejich likvidace v důsledku nepřístupnosti terénu pro techniku.“ [15] Nepříznivé klimatické a zejména pak geografické podmínky pro zásah jednotek požární ochrany tvoří i oblast **Krkonoš a Orlických hor** a jejich podhůří, **Broumovských a Teplicko-Adršpašských skal a části Českého ráje**. Dlouhotrvající sucho a silný vítr zvyšuje nebezpečí vzniku velkých lesních požárů, a to se bohužel nijak ovlivnit, ani této situaci předejít, nedá.

Riziko vzniku požáru se dá předpokládat v areálu podniku **ČEPRO a.s. v Cerekvici nad Bystřicí**, zabývající se distribucí a velkoobjemovým skladováním pohonných hmot. V tomto případě se jedná o plošný typ požáru. Řešení je v rukou HZS. Nicméně se potýkají i s problémy jako nedostatečné vodní zdroje pro zásah, dlouhé dojezdové trasy, komplikace při provádění opatření, lokalizaci a likvidaci požáru.<sup>7</sup>

Riziko **sněhové (a ledové) kalamity** je v horských oblastech Rychnovska a Trutnovska. Kalamity jsou pravidelné, způsobují neprůjezdnost komunikací a následné dopravní kolapsy, vážné a hromadné dopravní nehody a znemožňují tak dostupnost požární technice. Řešením je postupné odklizení sněhu pluhy, solení, popř. šterkování pomocí apačských automobilů. Bohužel je potřeba se nejprve zaměřit na silnice prvních tříd, následně druhých a až na konec na silnice třetích tříd. V případě dlouhodobého znemožnění odklizení sněhu ze silnic třetích tříd těžkou technikou „**bývá ohroženo i zásobování malých obcí a osad. Ledové kalamity způsobují problémy i v dodávkách elektrické energie.**“ [15] Obyvatelé v těchto horských oblastech jsou každoročně připraveni na případnou kalamitu. Zásobují se nezbytnými potravinami, vodou a alternativními zdroji tepla a elektrické energie.

Zvýšené nebezpečí **zemětřesení** se nachází v oblasti **Broumovského výběžku** (tzv. Východosudetský zlom) a **Náchodska**. Tato místa vykazují geoaktivní činnost a teoreticky hrozí nebezpečí seizmické činnosti do 6° Richterovy stupnice. Řešení mimořádné události je na složkách IZS. Nepředpokládá se však, že by přerostla až v krizovou situaci. [15]

**Epidemie** - hromadná nákaza osob, nejvíce riziková v oblastech velkých měst, kde na relativně malém množství žije velký počet obyvatel. Jak postupovat v případě, že bude vyhlášen třetí a zvláštní stupeň poplachu (tedy vyhlášení krizové situace) je v kompetenci Krajské hygienické stanice. [15]

**Epifytie a epizootie** - těmto hrozbám se nepřikládá zásadní pozornosti, že by se objevila ve velkém rozsahu (potřebném pro vyhlášení krizové situace). Pravděpodobnost vzniku je zvýšena v místech velkochovu. V případě malochovu je řešení jednodušší a rychlejší, náklady na likvidační a asanační práce nižší. [15]

---

<sup>7</sup> Tyto oblasti nalezneme v převážné části Krkonošského národního parku a ostatních chráněných krajinných oblastech.

**Radiační havárie** - nepředpokládá se z důvodu relativně velké vzdálenosti od Dukovan a Temelínu. Riziko existuje pouze v závislosti na rozšíření klimatickými podmínkami ze sousedních krajů. [15]

**Havárie velkého rozsahu způsobená vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky** - z analýzy kraje jsou vybrány některé případy, které jsou pod dohledem HZS, ať už z důvodu skladování, nebo manipulace nebezpečných látek. Všechny tyto objekty mají zajištěné opatření před vznikem mimořádné události, resp. krizové situace. Příslušné orgány jim však stále věnují velkou pozornost.

Prvním vybraným příkladem je sklad ropných produktů **ČEPRO, a.s. v Cerekvici nad Bystřicí**. Dále se zabývá přepravou a prodejem pohonných hmot. V souladu s Vyhláškou č. 383/2000 Sb. zabezpečil Krajský úřad zpracování Vnějšího havarijního plánu<sup>8</sup> pro případ havárie způsobené manipulací a skladováním chemických látek a přípravků.

Dalším typem je například riziko vyplývající již ze samotného základu činnosti podniků a organizací. Potenciální hrozbou je únik nebo **výron nebezpečné látky** spojený zejména s nebezpečím požáru, vzniku toxických zplodin chemických látek, či s rozsáhlou ropnou havárií. V kraji je několik podniků, které jsou potenciálními zdroji chemického rizika. V následujících tabulkách jsou uvedeny podniky dle okresů v kraji, typ a množství látky uchovávané v tunách a popis účelu jejich skladování. [15]

**Tabulka 2.2 Riziko chemické havárie v okrese Hradec Králové**

Zdroj chemického rizika	Látka	Množství v tunách	Popis činnosti
IDEA Černožice nad Labem	Amoniak	9	Chladicí zařízení
PML Promil Nový Bydžov	Amoniak	8	Chladicí zařízení
Zimní stadion Hradec Králové	Amoniak	14	Chladicí zařízení
VAK Hradec Králové	Chlor	6	Úprava vody
DHfin Březhrad	Amoniak	6,7	Chladicí zařízení
Delta FOODS v likvidaci Hr. Králové	Amoniak	8	Chladicí zařízení
Chemopetrol Litvínov – přeprava	Ethylen (25 cister./den)	20,5/cist.	Silniční doprava
Nádraží ČD Hradec Králové - přeprava	Nafta, benzín, trhaviny A, B, C, D, prach černý, TNT, zemní plyn, propan-butan, čpavek, chlór		Železniční doprava

<sup>8</sup> Vnější havarijní plán je „preventivní dokument, který slouží k zajištění havarijní připravenosti v zóně havarijního plánování, stanovuje postupy složek IZS pro případ potenciální závažné havárie“; zdroj: [16]

ČD železniční stanice Chlumeck n. C.	Benzín, nafta, vojenské náklady		Železniční doprava
Český plyn, Kralupol, Primaplyn, Bohemia Gas, BP Gas – přeprava	Propan-butan, propan	10,5	Silniční doprava
FLAGA – PLYN Nový Bydžov	Propan-butan	40	Stáčení plynu
PROPER Hradec Králové	Propan-butan	40	Stáčení plynu
LPG Domus Hradec Králové	Propan-butan	6,3	Prodej plynu
LINDE Technoplyn Hradec Králové	Propan-butan, acetylen, vodík, etylen		Prodej plynu

Zdroj: [15]

**Tabulka 2.3 Riziko chemické havárie v okrese Jičín**

Zdroj chemického rizika	Látka	Množ. v tunách	Popis činnosti
ČEPRO a.s. Cerekvice n. B.	Ropné produkty	113 910	Prodej a skladování
AVELOR a.s. Budčeves	Propan-butan	15	Zpracování plynu
Městský pivovar Nová Paka	Amoniak	4	Chladicí zařízení
Chemopetrol Litvínov – přeprava	Ethylen (25 cister./den)	20,5/cist.	Silniční přeprava

Zdroj: [15]

**Tabulka 2.4 Riziko chemické havárie v okrese Náchod**

Zdroj chemického rizika	Látka	Množství v tunách	Popis činnosti
Masokombinát Skaličian Česká Skalice	Amoniak	10	Chladicí zařízení
Zimní stadion Náchod	Amoniak	7	Chladicí zařízení
Zimní stadion Nové Město n. M.	Amoniak	10	Chladicí zařízení
Pivovar Náchod	Amoniak	7	Chladicí zařízení
Chemopetrol Litvínov – přeprava	Ethylen (25 cister./den)	20m5/cist.	Silniční přeprava
Nádraží ČD Meziměstí	Čpavek, etylenoxid, kyseliny, peroxidy		Železniční přeprava
Nádraží ČD Náchod - stáčení	Toluen, benzín, LTO, TTO		Železniční přeprava

Zdroj: [15]

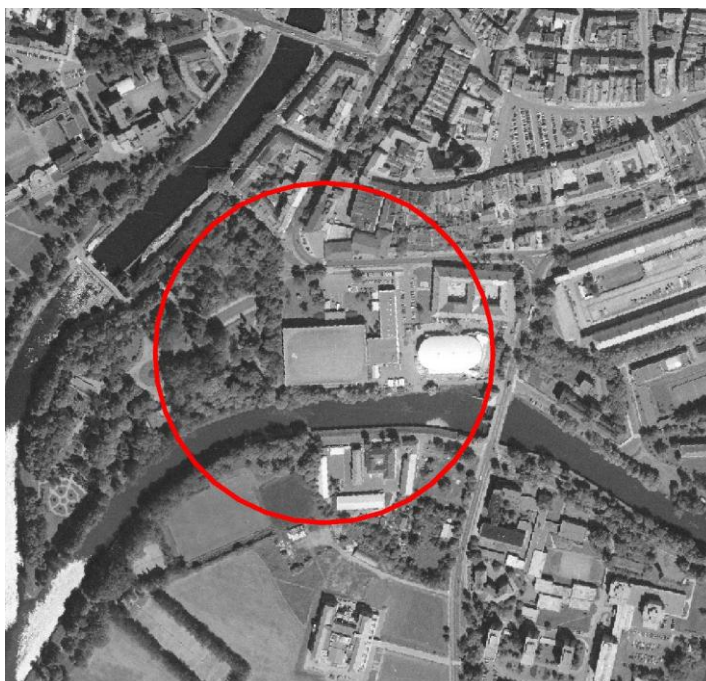
LTO - lehký topný olej, TTO - těžký topný olej

**Tabulka 2.5 Riziko chemické havárie v okrese Trutnov**

Zdroj chemického rizika	Látka	Množství v tunách	Popis činnosti
Zimní stadion Vrchlabí	Amoniak	6	Chladicí zařízení
Zimní stadion Dvůr Králové nad Labem	Amoniak	3. IV	Chladicí zařízení

*Zdroj: [15]*

Jako příklad zdroje rizika je v rámci **výronu toxického plynu** prostor **zimního stadionu** v Hradci Králové, Komenského ulici. Ohrožující látkou je amoniak (čpavek), který se využívá pro chlazení ledových ploch krytých stadionů. Je to účinnější a levnější způsob chladicího zařízení, než v případě zabetonování chladicího potrubí. Nutno ale podotknout, že veškerá opatření jsou na takové úrovni, že pravděpodobnost vzniku havárie je velmi malá (pokud nedojde k poškození zásobníků čpavku záměrnou lidskou činností). Havárie způsobené únikem čpavku mají však značné následky na zdraví osob a životní prostředí. Množství skladované látky je 7 tun, a tím se zařadila mezi hlídané nemovitosti v kraji. Ve stadionu jsou chlazeny 2 ledové plochy. Počet osob ohrožených v nejbližších budovách je 384. V případě, že se amoniak skutečně uvolní z chladicího zařízení, je zóna zasažení uvažována v havarijním plánu v okruhu 200m.



**Obrázek 2.1 Zóna ohrožení, zimní stadion Hradec Králové**

*Zdroj: [15]*

Zóna při větší intenzitě větru přesahuje okruh 200m. Následné šíření je dáno směrem větru. Celkový počet ohrožených osob je odhadován na 8184. Dalšími následky je například ohrožení zvířat v domácím chovu a narušení dopravy. Nepředpokládá se, že tato mimořádná událost překročí hranice kraje. Odpovědnost za řízení situace, provedení záchranných a likvidačních prací je v rukou HZS kraje. Operační důstojník HZS provede prvotní průzkum a rozhodne o dalším povolání sil a prostředků pro záchranné práce. Hasiči dále zamezí dalšímu šíření škodlivé látky (kropením, vodní clonou, technickým zásahem) a provádějí vyprošťování zasažených osob, varování obyvatelstva<sup>9</sup> a vyzoomění ostatních složek IZS. Policie má za úkol uzavřít prostor (ulic ČSA, U Přívozu, Ignáta Hermana, Komenského, Rokycanova, Soukenická a dalších přilehlých ulic), odklonit dopravu, zabezpečit veřejný pořádek, ochranu majetku, identifikaci osob, aj. Zdravotnická záchranná služba (ZZS) poskytne neodkladnou pomoc zasaženým osobám mimo prostor mimořádné události. Za další asanační opatření, dekontaminaci zasažených ploch a likvidaci uhynulých zvířat už odpovídá vlastníci zařízení. Kromě bytových zástaveb, které jsou v okruhu 200m od místa výronu toxické látky, je těsně sousedící Okresní soud, hotel Stadion, kabiny stadionu, budova HZS, dále pivovar, restaurace Danup a vodní elektrárna. [15]

**Další zdroje rizika výronu toxické látky** jsou popsány souhrnně. Postup řešení je zpracován v havarijních plánech a ve vnějších krizových plánech. Dokumenty vlastní pouze příslušné organizace a jejich obsah veřejnosti nepřístupný. Uvedme několik příkladů potenciálně rizikových objektů [15]:

- **České dráhy** (Příloha 1)
- **Agricol s.r.o.** (Příloha 2)
- **BOHEMILK a.s.**<sup>10</sup> (Příloha 3)
- **Pivovar Krakonoš spol. s.r.o.** (Příloha 4)
- **Pivovar Náchod a.s.** (Příloha 5)

**Jiné technické a technologické havárie velkého rozsahu – požáry, exploze, destrukce nadzemních a podzemních částí staveb** - veškerá analýza, opatření, postup řešení je také zpracován v havarijních plánech a ve vnějších krizových plánech. Dokumenty vlastní pouze příslušné organizace a jejich obsah veřejnosti nepřístupný.

---

<sup>9</sup> Pro varování obyvatelstva jsou v této oblasti k dispozici rotační a elektronické sirény, komunikační zařízení vozidel Policie a HZS a hromadné sdělovací prostředky - Český rozhlas Hradec Králové.

<sup>10</sup> Člen skupiny Interlacto s.r.o. (zdroj: <http://www.bohemilk.cz/cz/spolecnost/struktura-spolecnosti>)



Příkladem v kraji je **Benzina a.s.**, ČS Kostelec nad Orlicí, Tyršova - ohrožující látkou je nafta a benzin v celkové kapacitě 16,64 tuny. Pravděpodobnost vzniku je malá, stejně tak jako možnost přesažení havárie přes území kraje. Zóna ohrožení je stanovena na 100m okolo benzinové pumpy, předpokládanými následky je dočasné narušení života a dopravy v prostoru zóny ohrožení. Tato situace se týká odhadem minimálně 22 osob (ve špičce). Mezi ohroženými objekty je firma **PANAS, spol. s r.o.**, zabývající se výrobou dřevoobráběcích strojů a nástrojů v sousední ulici Rudé armády, **HUNGAS, s.r.o.** - prodej a skladování propan-butanových lahví také na ulici Rudé armády, dále čerpací stanice **Paramo** a **Motosport** (ulice K Tabulkám) skladující kromě prodeje náhradních dílů, také pneumatiky. V blízkosti se nachází prodejny Coop (KONZUM, obchodní družstvo) a Penny Market, s.r.o. [15]

**Narušení hrází významných vodohospodářských děl se vznikem zvláštní povodně** - mohou je způsobit vodní díla Rozkoš (max. zatopená plochou 1001 ha), Labská (max. zatopená plochou 26,78 ha), Les království (max. zatopená plochou 85 ha) a Pastviny (max. zatopená plochou 92 ha). Tato vodní díla jsou významná pro svůj protipovodňový účel. Dále se využívají na závlahy, popř. rekreaci. Pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou nejsou určeny. K zabezpečení jejich provozu jsou **zpracovány „manipulační řády**, které počítají s postupným **snížováním vodních hladin v případě jejich ohrožení**. Provádí se na nich technicko-bezpečnostní dozor.“ [15] Další odpovědnost za řízení v případě krizové situace je v kompetenci Krajského úřadu a HZS.

**Znečištění vody, ovzduší a přírodního prostředí haváriemi velkého rozsahu a narušení finančního a devizového hospodářství státu velkého rozsahu** - mimořádné situace jsou také v řešení složek IZS a jejich pravidel součinnosti. Nepředpokládá se rozsah pro vyhlášení krizové situace.

**Narušení dodávek ropy a ropných produkt, potravin a pitné vody velkého rozsahu** - v uvedených případech je možný vznik krizové situace a je tedy potřeba i řešení nad „základní“ úroveň. V mezích krátkodobého výpadku se situace dá řešit přijetím určitých technicko-organizačních opatření, tzv. přidělových lístků. Negativní dopad se ve výsledku zmírní. Při dlouhodobém výpadku těchto životně důležitých produktů je minimalizace následků pro svou ekonomickou nákladnost, v kompetenci územně správních orgánů a ostatních zainteresovaných složek. [15]

**Narušení dodávek elektrické energie, plynu a tepelné energie velkého rozsahu** - postup při vyhlášení krizové situace je zanesen do Krizového plánu kraje, jejímž vlastníkem je HZS.

**Narušení dodávek léčiv a zdravotnického materiálu, funkčnosti veřejných telekomunikačních vazeb, veřejných informačních vazeb a poštovních služeb velkého rozsahu** - nepředpokládá se vznik krizové situace. Řešení je tedy operativního charakteru v kompetenci složek IZS. Rizika lze popsat obecně jako poškození požárem, povodněmi a jinými živelnými pohromami, lidským faktorem, aj. Při vyřazení těchto služeb mohou vzniknout problémy při varování a informování obyvatelstva a vyrozumění složek IZS, při řešení mimořádných událostí, apod.

**Narušení funkčnosti dopravní soustavy velkého rozsahu** - v rámci rozsahu dosahující krizové situace je opatření ve formě opatření. Konkrétním dokumentem s postupem disponuje Krajský úřad.

Z analýzy rizik vyplývá, že „Královéhradecký kraj má nedostatečné připojení na evropskou komunikační síť, chybí dálniční připojení na sousední regiony, síť existujících silnic vykazuje řadu přetížených úseků s velkou nehodovostí a jako celek vyžaduje nutnou modernizaci“ [15] V době dopravních špiček velkých měst se také prodlužuje dojezdový čas techniky k mimořádným událostem. Zdrojem rizika může být také přeprava nebezpečných látek, zejména **přeprava ethylenu po trase Jičín - Hradec Králové a Náchod až do Polské republiky**.

**Hromadné postižení osob mimo epidemií - řešení následků včetně hygienických a dalších režimů** - krizová situace řeší jinou formou opatření. Dokument vlastní Krajský úřad.

**Migrační vlny velkého rozsahu** - patří do kategorie ohrožení, jež je spjata s geografickým členěním, ekonomicko-průmyslovým zázemím, výskytem nebezpečných látek, dopravní situací. Do této kategorie, kromě migrace, patří i teroristické, diverzní akce a sabotáže, násilné sociální pohyby, záměrné šíření poplašných nebo nepravdivých zpráv, zhářství, rizika vyplývající ze sociálního postavení obyvatelstva, aj. [15]

## **2.2 Metoda expertního odhadu (metoda na bázi vícekritériální rozhodování)**

Rozšířením základního výčtu hrozeb je již konkrétní výpočet míry rizika pomocí metody expertního odhadu. Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole: „v případě, že není možno

stanovit účinky a důsledky variant scénářů mimořádných událostí pomocí modelových a matematických metod (zvláště nejsou-li k dispozici reálná data a informace), využívají se znalosti odborníků - expertů. **V praxi se této možnosti analýzy využívá nejvíce. Jednoduchým a poměrně spolehlivým způsobem se sestaví souhrnná analýza vzniku mimořádných událostí.**

*Rizika se týkají budoucnosti, proto mají vždy pravděpodobnostní charakter.*

Metoda spočívá ve dvou zásadních krocích - definování MU a následné hodnocení dle kategorií:

Ohodnocení MU [10; 21, str. 24 - 28]:

- **Pravděpodobnost vzniku MU - P** (procento vzniku je vyjádřeno ročně; 1x za rok = 100%)

200	dvakrát ročně
100	jedenkrát ročně
10	každých 10 let
4	každých 25 let
2	každých 50 let
1	každých 100 let

- **Předpověď (predikce) - Pr** (odhad budoucího možného vzniku; stanovuje se již od prvního zjištěného projevu)

1	méně než 1 hodina
2	1 hodina až 1 den
3	1 den až 1 měsíc
4	1 měsíc až 1 rok
5	více než jeden rok

- **Doba trvání - T** (celková doba od prvotního projevu až do času, kdy došlo k znovuoobnovení základních služeb)

1	méně než 1 hodina
2	1 hodina až 1 den
3	1 den až 1 měsíc
4	1 měsíc až 1 rok
5	více než 1 rok

- **Ohrožení**

- Obyvatelstva - **O**

0	bez ohrožení
1	jednotlivé osoby
2	nejvýše 100 osob
3	100 až 1000 osob
4	více jak 1000 osob

- Plochy - **S**

0	řádově v m <sup>2</sup>
1	do 500 m <sup>2</sup>
2	do 10.000 m <sup>2</sup> (1 ha)
3	do 1 km <sup>2</sup>
4	více než 1 km <sup>2</sup>

- Budovy, obce - **B**

0	bez ohrožení objektů
1	jednotlivý objekt nebo část
2	více jak jeden objekt
3	část obce nebo areálu podniku
4	celé obce

- Dopravní prostředky - **D** (ohrožení dopravních prostředků)

0	bez účasti dopravních prostředků
1	jednotlivé prostředky osobní nebo nákladní dopravy
2	jednotlivé prostředky hromadné dopravy osob
3	železniční soupr., letecká a lodní přeprava, hromadné havárie v siln. dopravě

- Chov zvířat - **C** (ohrožení chovu zvířat)

0	bez ohrožení chovu zvířat
1	jen jednotlivá zvířata
2	cenný chov zvířat
3	několik chovů hospodářských zvířat

- **Potřeba sil a prostředků, koordinace zásahu**

- Potřeba sil a prostředků IZS - **Z** (provádění záchranných a likvidačních prací)

1	základní složky IZS
2	základní a ostatní složky IZS z okresu
3	základní a ostatní složky IZS i z jiných okresů
4	pomoc i dle §22 z. 239/2000 Sb., nebo zahraniční pomoc

- Nutnost koordinace složek - **K**

1	bez nutnosti koordinace
2	koordinace velitelem zásahu
3	zřízení štábu velitele zásahu, rozdělení místa zásahu na sektory a úseky
4	koordinace na strategické úrovni (aktivace krizového štábu)

- **Zařazení MU do kategorie událostí** (zařazení kategorií dle vyhlášení stupně poplachu)

I.	malá událost	první stupeň poplachu
II.	střední událost	druhý stupeň poplach
III.	velká událost	třetí stupeň poplachu
IV.	katastrofa	zvláštní stupeň poplachu

Podle vyhlášky MV ze dne 5. září 2001 č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení IZS [24, §20]: „stupeň poplachu předurčuje potřebu sil a prostředků pro záchranné a likvidační práce v závislosti na rozsahu a druhu mimořádné události a také na úrovni koordinace složek při společném zásahu“. IZS může vyhlásit až 4 stupně poplachu:

**První stupeň** je vyhlášen, jestliže MU ohrožuje jednotlivce, jeden objekt, dopravní prostředek, nebo plochu do 500m<sup>2</sup>. Provedení záchranných a likvidačních prací je v kompetenci základních složek IZS bez nutnosti koordinace.

**Druhý stupeň** v případě, že je ohroženo nejvýše 100 osob, více než jeden objekt, dopravní prostředek, cenný chov zvířat, nebo plocha do 1 ha. Likvidační a záchranné práce provádí základní složky IZS a ostatní složky z okresu, koordinace je nutná (velitelem zásahu) po celou dobu zásahu.

**Třetí stupeň** nastává, když MU ohrožuje 100 - 1000 osob, část objektu, několik prostorů chovu zvířat, plochy do 1 km<sup>2</sup>, povodí řek, v případě vzniku hromadných dopravních nehod apod. K provedení záchranných a likvidačních prací se připojují i síly a prostředky z jiných krajů, popř. okresů. Koordinace je nutná jak velitelem zásahu, tak částečně i pomocí krizového štábu kraje.

**Čtvrtý (zvláštní) stupeň** poplachu platí v případě, že je ohroženo více než 1000 osob, celé obce, nebo území nad 1 km<sup>2</sup>. Záchranné a likvidační práce už nemusí spočívat jen v silách a prostředcích státu, na které vznikl MU, ale v případě nutnosti je možno požádat pomoc ze zahraničí. Zásah složek je koordinován na strategické úrovni. [24, §21 - 24]

- Výpočet míry rizika - **MR** (veškeré hodnoty určené v předchozích bodech jsou zde použity do výpočtu; všechny veličiny, kromě pravděpodobnosti, se násobí deseti, aby se dostaly na stejný řád stupnice).

$$\mathbf{MR} = \frac{\mathbf{P * (T * 10) * ((O + S + B + D + C + Z + K) * 10)}}{\mathbf{Pr * 10}} \quad (2-1)$$

- Výpočet korigované míry rizika - **MR<sub>kor</sub>** (korigované riziko je riziko snížené o míru připravenosti, tzn. bez zahrnutí pravděpodobnosti).

$$\mathbf{MR_{kor}} = \frac{\mathbf{(P * 10) * ((O + S + B + D + C + Z + K) * 10)}}{\mathbf{Pr * 10}} \quad (2-2)$$

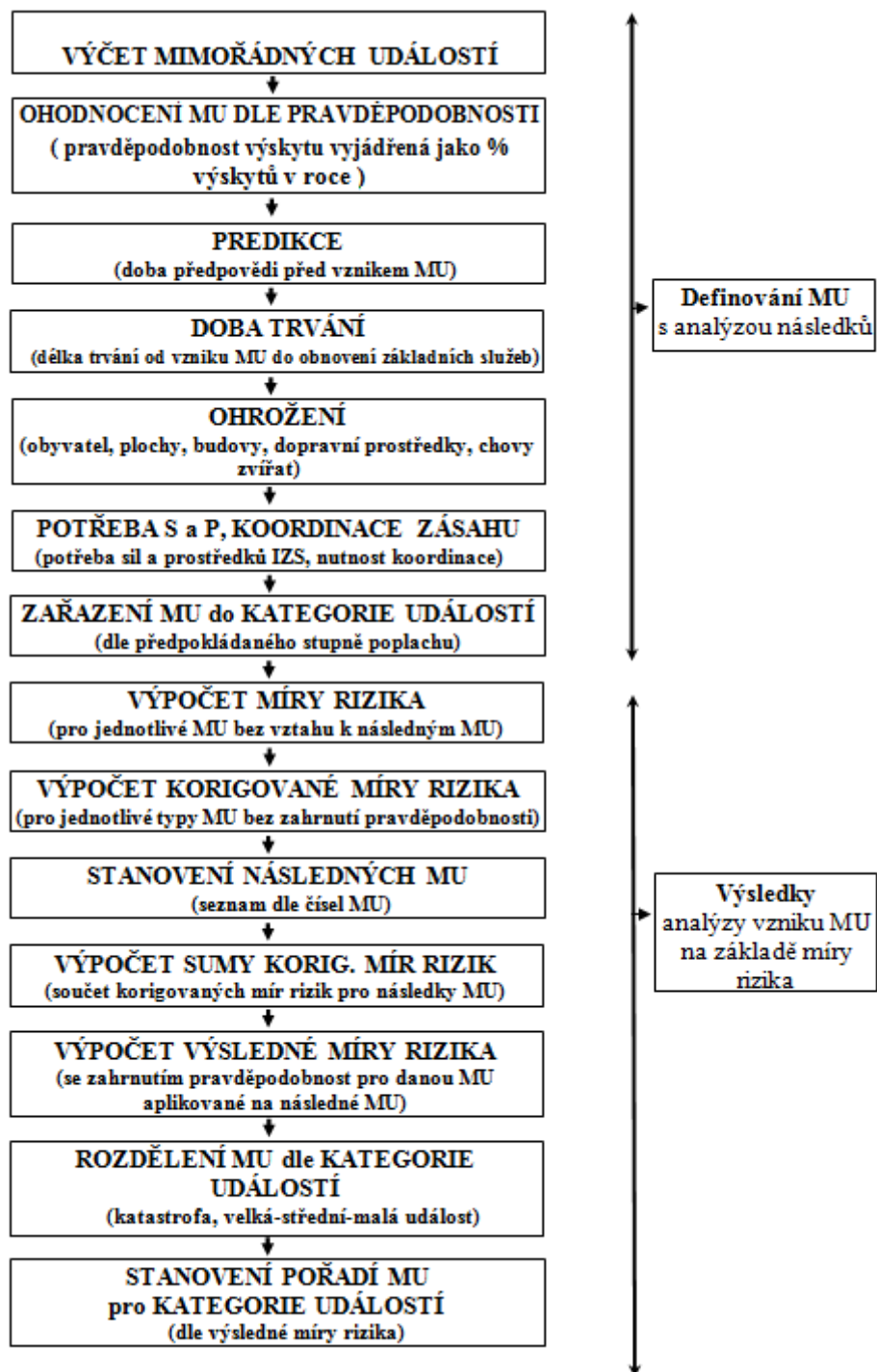
- Výpočet sumy korigovaných mír rizik **MR<sub>kum</sub>** - počítá se v případě, že na jednom uvažovaném území působí více rizik najednou, nebo jedna MU může dominovým efektem způsobit vznik dalších.

$$\Sigma \mathbf{MR_{kum}} = \mathbf{MR_{kor(1)} + MR_{kor(2)} + MR_{kor(3)} + \dots} \quad (2-3)$$

- Výpočet výsledné míry rizika

$$\Sigma \mathbf{MR_v} = \mathbf{MR + (P * \Sigma MR_{kor})} \quad (2-4)$$

- Rozdělení MU dle kategorií událostí (vyhodnocení MU jako katastrofa, velká událost, střední událost nebo malá událost)
- Stanovení pořadí MU pro jednotlivé kategorie (porovnáním výsledných mír rizika při zpracování dvou a více MU v rámci analýzy v kraji, okrese, státu, apod.)



Obrázek 2.2 Grafické vyjádření postupu expertního odhadu

Zdroj: [10]

„Metoda expertních odhadů má nesporně mnoho nedostatků. Její velkou výhodou je však v tomto okamžiku její aplikovatelnost. V současnosti je pro nové úkoly v oblasti ochrany obyvatelstva jedinou vhodnou a použitelnou metodou.“ [25]

## 2.3 Mapování rizik

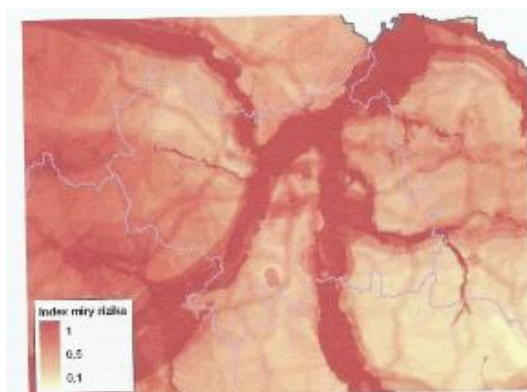
Mapování rizik je pilotní metoda, se kterou přišlo HZS Moravskoslezského kraje. Jedná se o znázornění rizik na mapě. „Mapa rizik umožňuje identifikovat složení a úroveň rizika pro každou část území analyzovaného územního celku. Základním předpokladem je, že do mapování rizik lze zahrnout jen takové typy mimořádných událostí, jejichž projev na území lze nějakým způsobem vyjádřit v kartografickém zobrazení, tedy na mapě.“ [21] Mapování by se neobešlo bez podpůrných softwarů geografických informačních systémů.

Fáze mapování rizik:

- Stanovení míry rizika - postupem expertního odhadu. Výsledkem je **mapa nebezpečí** (výpočtem dle 2-1 získáme MR).

Intenzita zranitelnosti je vyjádřena Indexem míry rizika:  $I_{MR} = \frac{MR}{MR_{max}}$  (2-5)

kde  $MR_{max}$  je maximální hodnota míry rizika z daného souboru hodnot [21]



Obrázek 2.3 Výsledná mapa nebezpečí

Zdroj: [21, str. 47]

- Stanovení zranitelnosti - pomocí dílčích kroků: vyjádření prvků zranitelnosti<sup>11</sup>, přičemž jejich sloučením se stanoví kumulovaná (celková) zranitelnost, intenzita zranitelnosti<sup>12</sup>. Výsledkem je **mapa zranitelnosti**.

Kumulovaná zranitelnost:  $Z = \sum_{j=1}^m Z_{y_j} \leq 1$  (2-6)

kde  $y_j$  jsou konkrétní prvky zranitelnosti,  $m$  je počet prvků zranitelnosti,  $Z_{y_j}$  je vyjádření zranitelnosti jednotlivých prvků

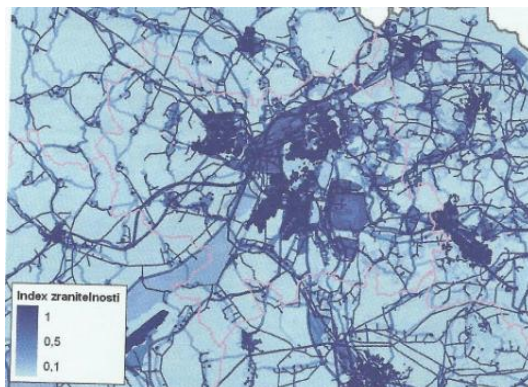
<sup>11</sup> Kategorie: obyvatelstvo (počet obyvatel, charakter zástavby), kritická infrastruktura (z hlediska rozmístění), veřejná infrastruktura (silnice, železnice, elektrické vedení, významné objekty, kulturní památky, letiště, vodní cesty, veřejné vodovody, plynovody) a životní prostředí (životní biotické prostředí)

<sup>12</sup> Ve škále  $K \leq 1$ , kde  $K=1$  je nejvyšší intenzita. Např. území s hustotou 40 obyvatel na 1 ha je hodnoceno koeficientem  $K=0,4$ ; dálnice  $K=1$ , silnice 3. třídy  $K=0,25$ , apod.



Intenzita zranitelnosti je pak vyjádřena Indexem zranitelnosti:  $I_Z = \frac{Z}{Z_{max}}$  (2-7)

kde  $Z_{max}$  je maximální hodnota zranitelnosti z daného souboru hodnot [21]



Obrázek 2.4 Výsledná mapa zranitelnosti

Zdroj: [21, str. 65]

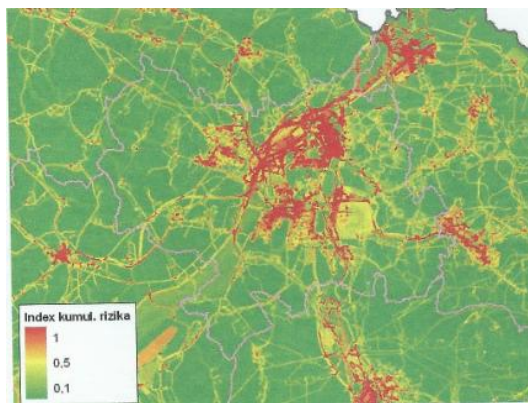
- Stanovení kumulovaného rizika - sloučením mapy nebezpečí a mapy zranitelnosti vznikne **mapa kumulovaného rizika** v souladu s touto základní definicí:

$$\text{Kumulované riziko: } R_{kum} = MR_{kum} * Z \quad (2-8)$$

$$\text{kde } MR_{kum} \text{ je míra kumulovaného rizika, } MR_{kum} = \sum_{i=1}^m MR_i \quad (2-9)$$

a  $Z$  je kumulovaná zranitelnost

$$\text{Indexové vyjádření kumulovaného rizika: } I_R = I_{MR} * I_Z \quad [21] \quad (2-10)$$



Obrázek 2.5 Mapa kumulovaného rizika

Zdroj: [21, str. 67]

- Stanovení připravenosti - celková připravenost je složena z jednotlivých prvků připravenosti (síly a prostředky IZS, varování obyvatelstva a ostatní síly a prostředky jako jsou např. nemocnice) a síťové analýzy pohybu vozidel po pozemních komunikacích. **Výsledkem je mapa připravenosti.**

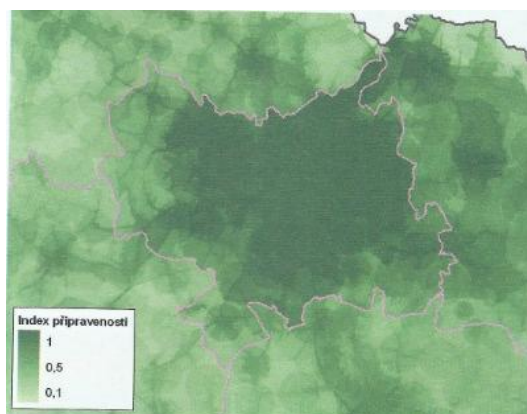
Kumulovaná (celková) připravenost území je pak dána vztahem:

$$P = \sum_{i=1}^k P_{z_i} \leq 1 \quad (2-11)$$

kde  $z_1, z_2$  jsou konkrétní prvky připravenosti,  $k$  je počet prvků připravenosti,  $P_{z_1}, P_{z_2}$  vyjádření podílu připravenosti konkrétních prvků [21]

Index připravenosti je dán matematickým vztahem:  $I_P = \frac{P}{P_{max}}$  (2-12)

kde  $P_{max}$  je maximální hodnota připravenosti z daného souboru hodnot [21]



Obrázek 2.6 Výsledná mapa připravenosti

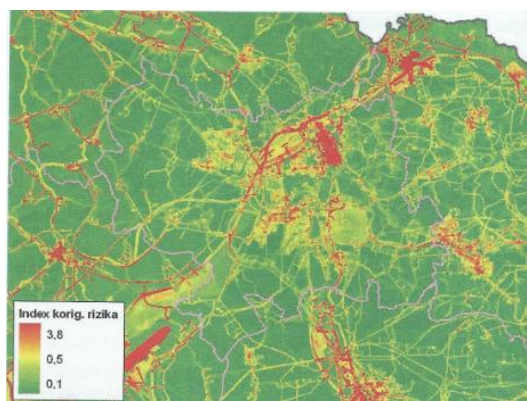
Zdroj: [21, str. 88]

- Stanovení korigovaného rizika - je posledním krokem v procesu mapování rizik.

Výpočet korigovaného rizika je dán vztahem:  $R_{kor} = \frac{R_{kum}}{P}$  (2-13)

Index korigovaného rizika:  $I_{R_{kor}} = \frac{I_R}{I_P}$  (2-14)

Výsledkem je mapa korigovaného rizika.



Obrázek 2.7 Mapa korigovaného rizika

Zdroj: [21, str. 90]

Mapování rizik je významné zvláště z pohledu samotného procesu tvorby, během kterého se zpracovatel seznámí s veškerými riziky na zájmovém území, vyjasní si vzájemnost působení rizik ve vazbě na zranitelnost území a jeho samotnou strukturu. Konečný výstup mapování - mapa rizik znamená komplexní přehled o skladbě a typu rizik území a je pak snadnější hodnotit a rozmisťovat protikrizová opatření i záchranné prostředky složek IZS a tím optimálněji plnit cíle ochrany obyvatelstva.

### 3 MODELOVÝ PŘÍKLAD

Na základě odborné erudovanosti expertního týmu HZS Královéhradeckého kraje byla vypracována modelová situace rizika obyvatel města Nový Bydžov vyplývající z úniku chemické látky chlor z tamější úpravny vody. Výpočet byl proveden metodou expertního odhadu pouze pro účely této diplomové práce.

V této kapitole bude daný příklad podroben různým způsobům výpočtů s cílem nahradit (zjednodušit) práci expertního týmu.

Záměr testování:

- jestliže se budou jednotlivé závěry shodovat s výsledky uvedeného modelového (fiktivního) scénáře, je možné tvrdit, že práce lidského myšlení (používaná při sestavování expertního odhadu) je nahraditelná známými výpočetními modely;
- jestliže bude předchozí bod platný, do jaké míry bude platit v rámci analýzy pro celý kraj.

Veškeré použité modely se zaměřují na výpočet **míry rizika** a jeho porovnání.

Použité metody:

- Metoda expertního odhadu [10; 21; 25]
- Vícekriteriální rozhodování [23; 26; 34]
  - Aditivní
  - Lexikografická
- Metoda umělé (výpočetní) inteligence [28; 30; 31]

#### **Popis mimořádné události:**

<b>MU:</b>	výron nebezpečné látky
<b>Objekt:</b>	Úpravna vody - skladování a odběr chloru pro úpravu pitné vody
<b>Typ:</b>	výron toxického plynu
<b>Adresa:</b>	Nový Bydžov
<b>Ohrožující látka:</b>	CHLOR
<b>Celkové množství:</b>	2,725 t
<b>Umístění:</b>	ocel. sudy - 4 ks po 0,6 t lahve - 5 ks po 0,065 t

#### **Scénář:**

Při manipulaci s ocelovými sudy došlo k proražení dvou sudů a následnému masivnímu úniku nebezpečné látky CHLOR v množství 1,2 t.

### 3.1 Výpočet expertním odhadem

Vyhodnocení je prováděno dle obecně platného postupu (viz kapitola 2.2), kde pracovali s těmito hodnotami:

- Pravděpodobnost vzniku **P** - 1 (každých 100 let);
- Predikce **Pr** - 1 (méně než jedna hodina)<sup>13</sup>;
- Doba trvání **T** - 2 (1 hodina až den)<sup>14</sup>
- Obyvatelstvo **O** - 4 (více jak 1000 osob)<sup>15</sup>;
- Plochy **P** - 3 (do 1 km<sup>2</sup>)<sup>16</sup>;
- Budovy, obce **B** - 0 (bez ohrožení objektů)<sup>17</sup>;
- Dopravní prostředky **D** - 2 (jednotlivé prostředky hromadné dopravy osob)<sup>18</sup>;
- Chov zvířat **C** - 1 (jednotlivá zvířata)<sup>19</sup>;
- Potřeba sil a prostředků IZS **Z** - 2 (základní a ostatní složky IZS z okresu).
- Nutnost koordinace složek **K** - 3 (zřízení štábu velitele zásahu, rozdělení místa zásahu na sektory a úseky)<sup>20</sup>;
- Zařazení MU do kategorie událostí - III. (velká událost = třetí stupeň poplachu)

#### Výpočet míry rizika (MR):

*Dosazení do vzorce 2-1:*

$$MR = \frac{1 * (2 * 10) * ((4 + 3 + 0 + 2 + 1 + 2 + 3) * 10)}{1 * 10}$$

$$MR = 300$$

<sup>13</sup> „Signalizační zařízení úniku chloru vyhodnocuje aktuální koncentraci chloru ve sledovaném prostoru, v případě zvýšené koncentrace informuje obsluhu, např. alarmem, SMS apod.“ [25]

<sup>14</sup> „Uniklý plynný chlor se likviduje rozptýlením do ovzduší. Unikání může být zmenšeno snížením tlaku v nádobě rychlým odběrem chloru nebo pohlcením ve vápenném mléce.“ [25]

<sup>15</sup> „Na základě množství uniklé nebezpečné látky a dalších parametrů bylo vyhodnoceno v geografických informačních systémech ohrožení až 4000 osob.“ [25]

<sup>16</sup> „Velikost zasaženého území byla vyhodnocena v geografických informačních systémech, s výsledkem S=0,502 km<sup>2</sup>.“ [25]

<sup>17</sup> „Únik nebezpečné látky chlor nebude mít fyzický dopad na objekty.“ [25]

<sup>18</sup> „V blízkosti ohrožujícího objektu vede silnice I. třídy, po které je zajišťována hromadná přeprava osob.“ [25]

<sup>19</sup> „V blízkosti ohrožujícího objektu se nachází bytová zástavba, ohrožení se týká především domácích zvířat.“ [25]

<sup>20</sup> „Při soustředění velkého počtu sil a prostředků nebo při složitých či rozsáhlých zásazích vyžadujících nasazení i jiných záchranných a složek IZS a spolupráci orgánů, institucí nebo odborníků je velitel zásahu oprávněn zřídit ŠTÁB VELITELE ZÁSAHU. Štáb nepřebírá povinnosti velitele zásahu, ale je výkonným orgánem v těch činnostech, kterými jej velitel zásahu pověřil.“ [25]

### Výpočet korigované míry rizika ( $MR_{kor}$ ):

(korigovaná míra rizika = míra rizika bez zahrnutí pravděpodobnosti)

*Dosazení do vzorce 2-2:*

$$MR_{kor} = \frac{2 * ((4 + 3 + 0 + 2 + 1 + 2 + 3) * 10)}{1}$$

$$MR_{kor} = 300$$

### SHRNUTÍ KAPITOLY 3.1

Cílem této kapitoly bylo vyhodnocení míry rizika konkrétního modelového příkladu postupem používaným HZD Královéhradeckého kraje. Výpočtem jsme zjistili, že únik chloru v množství 1,2t je významná událost, které vyžaduje vyhlášení třetího stupně poplachu. Míra rizika i míra korigovaného rizika je spočtena na 300 (nebyla identifikována žádná následná havárie).

„Jelikož je metoda expertních odhadů založena na stanovování jednotlivých ukazatelů na základě zkušeností a statistických údajů týmem expertů, je velmi těžké provést srovnání mezi různými okresy. Každý expertní tým je ovlivněn množstvím vnějších faktorů, jejichž existence je dána historii dané oblasti. Lze však z výsledků usoudit, která oblast je týmem považována za více, či méně rizikovou. Různá budou pouze měřítka, v nichž se bude výsledná míra rizika pohybovat.“ [25]

### 3.2 Vícekriteriální rozhodování

Jedná se o proces rozhodování se mezi více variantami, jejímiž vstupy jsou stejné druhy kritérií (přičemž každá může nabývat jiných hodnot). Porovnávání se pak provádí postupně po jednotlivých kritériích. **Výsledkem je vytvoření jednoho ukazatele hodnotící varianty. Naším ukazatelem je posouzení míry rizika jednotlivých variant.** Není obecné pravidlo, kolik kritérií je dostačující. V praxi HZS se používá pro výběr optimální varianty z více uvažovaných variant.

K uvedenému příkladu MU stanovíme více scénářů (vzniku, průběhu a následků). Kritéria jsou totožná s kategoriemi hodnocení dle expertní analýzy. Jednotlivé scénáře jsou tvořeny kombinací těchto bodů.

V praxi je pak cílem výběru nalézt tu MU, která bude mít nejhorší následky a podle ní pak směřovat prevenci, opatření apod.

Hlavními metodami hodnocení jsou [26, str. 21]:

- výpočet podle námi zvoleného modelu, vzorce;
- aditivní podle parciálních užitek;
- vzdálenost mezních variant;
- aspirační;
- lexikografická.

Všechny uvedené metody v podstatě hodnotí všechny varianty ke stejnému základu. V našem případě je základ kategorie stupeň poplachu.

V průběhu práce s kritérii (zejména při výpočtu vah) budeme pracovat s jejich vzájemným porovnáváním. Pro zjednodušení orientace zavedeme označení  $K_1 - K_{10}$ .

**Tabulka 3.1 Jednotné značení kritérií**

$K_1$	pravděpodobnost vzniku
$K_2$	předpověď budoucího možného vzniku (predikce)
$K_3$	doba trvání MU
$K_4$	ohrožení obyvatel
$K_5$	ohrožení plochy
$K_6$	ohrožení budov a obcí
$K_7$	ohrožení dopravních prostředků
$K_8$	ohrožení chovu zvířat
$K_9$	potřeba sil a prostředků IZS
$K_{10}$	nutnost koordinace složek

### 3.2.1 Výpočet aditivní metodou

Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších. Její předností je jednoduchost a transparentnost. Jednotlivé hodnoty kritérií musí být homogenizovány transformací na parciální užitek. Závislost mezi užitky a hodnotami kritérií volíme lineární, platí proto vztah [34, str. 97]:

$$U = \frac{x-D}{H-D} \quad (3-1)$$

kde  $x$  je hodnota kritéria,  $D$  je dolní hranice, při němž užitek je nulový  $U = 0$  a  $H$  je horní mez, kdy užitek je maximální.

Tato rovnice platí v případě, že máme všechna kritéria maximalizační (úloha je tzv. maximalizační). Pro opačný případ, kdy je úloha tzv. minimalizační<sup>21</sup>, je výpočet analogický:

$$U = \frac{H-x}{H-D} \quad (3-2)$$

**Matice kritérií** je vyplněna hodnotami, odpovídajícími tabulkám hodnocení expertní analýzy. K původní variantě scénáře MU (variantě A) jsou sestaveny ještě další 3 (varianty B, C a D). Nové scénáře vznikly stejným způsobem jako první, tj. kombinací hodnot kritérií z tabulek hodnocení expertní analýzy, přičemž všechny spojuje: únik chloru v plynné podobě z úpravny vody v Novém Bydžově. Přidané 3 scénáře jsou smyšlené alternativy průběhu a následků k základní variantě, vypracované HZS.

#### **Scénář:**

A - Pravděpodobnost výskytu dané MU je jednou za 100 let, předpověď je stanovena na méně než 1 hodinu, délka trvání je předpokládána na 1 hodinu až 1 den. Vzhledem k bytové zástavbě je počet potenciálně ohroženého obyvatelstva dán na více než 1000 osob a plocha rozptýlení je vypočtena do 1km<sup>2</sup>. V okolí je jedna silnice 1. třídy - doprava bude omezena v rámci jednotlivých prostředků hromadné dopravy osob, chov zvířat je ohrožen jen jednotkově v návaznosti na bytovou zástavbu, síly a prostředky - na záchranné a likvidační práce postačí základní a ostatní složky IZS z okresu a koordinace je na úrovni zřízení štábu velitele zásahu, rozdělení místa zásahu na sektory, tj. 3.

#### **Alternativní scénáře:**

B - Pravděpodobnost vzniku je 100 (1x ročně), předpověď před vlastním vznikem MU v případě selhání detekčních zařízení je stanovena na hodnotu 2 (1 hodina až 1 den). Délka celkového trvání MU je 1 den až 1 měsíc, tj. hodnota 3. Ohrožení obyvatel není vyšší než 1000 - hodnota 3, zasažená plocha z důvodu relativně pozdní predikce je 3, do 1 ha, a ohrožen je více než jeden objekt v okolí, tj. 2. Dopravní omezení je na úrovni 1, ohrožení jednotlivých zvířat v bytové zástavbě 1. Záchranné a likvidační práce jsou dány hodnotou 2 - vše je v rukou základních a ostatních složek IZS z okresu a koordinace je opět na úrovni zřízení štábu velitele zásahu, rozdělení místa zásahu na sektory, tj. 3.

C - Možnost vzniku je ohodnocena bodem 2 (každých 50 let), předpověď před vlastním vznikem MU je 1 (do 1 hodiny) a délka trvání 1 (méně než jedna hodina). Ohrožení: obyvatel 2 (nejvýše 100 osob), ploch také 2 (do 1 ha), ohrožení budov 2 (více než jeden objekt), dopravní prostředky 1 (jednotlivé prostředky osobní nebo nákladní dopravy) a chov zvířat 1

---

<sup>21</sup> U nichž jsou nižší hodnoty kritérií preferovány před vyššími.

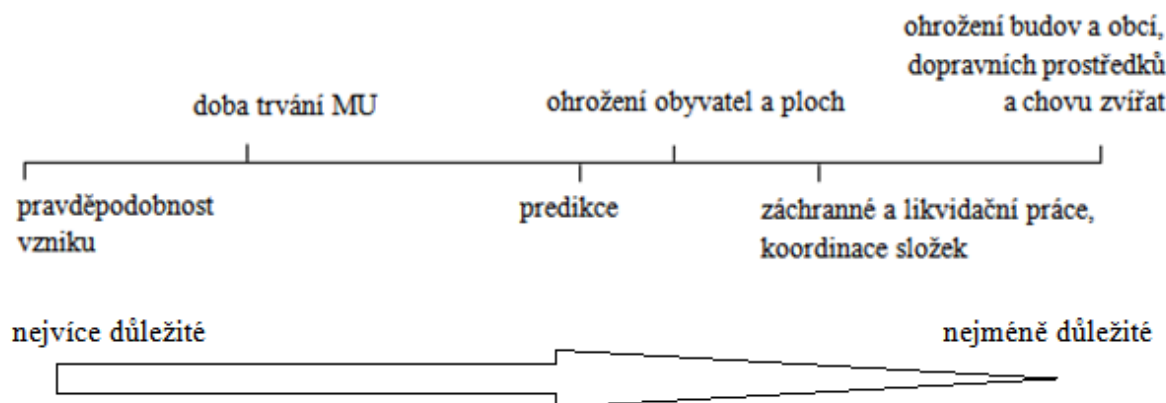


(jen jednotlivá zvířata). Potřeba sil a prostředků na záchranné a likvidační práce je 1 (základní složky IZS) a koordinace složek 1 (bez nutnosti koordinace).

D - Pravděpodobnost vzniku je dána 4 (každých 25 let), predikce 2 (1 hod až 1 den) a délka trvání MU až do doby obnovení základních služeb je 3 (1 den až měsíc). Ohrožení obyvatel je ohodnoceno 3 (nejvýše 1000 osob), plochy 2 (do 1ha), budovy 2 (více jak jeden objekt), dopravní prostředky 1 (jednotlivé prostředky osobní nebo nákladní dopravy) a chov zvířat 0 (bez ohrožení zvířat). Záchranné a likvidační práce 2 (postačí základní a ostatní složky IZS z okresu) a koordinace 2 (velitelem zásahu).

### 3.2.1.1 NÁVRH 1

První návrh vychází z myšlenky ponechání stejných vah kritérií seřazených podle důležitosti, jak je určili experti HZS Královéhradeckého kraje. Nejdůležitější je pravděpodobnost vzniku a naopak jako nejméně důležité bylo rozhodnuto ohrožení budov a obcí, dopravních prostředků a chovu zvířat. Váhy kritérií jsou ohodnoceny vždy sestupně dle důležitosti a jejich součet je roven jedné.



**Obrázek 3.1 Schéma vah pro matici kritérií stanovenou HZS Královéhradeckého kraje**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

**Tabulka 3.2 Matice kritérií s vahami HZS**

	Kritérium	Pravděpodobnost	Predikce	Doba trvání	Ohrožení					Potřeba sil a prostředků		Zařazení MU do kategorie
					Obyvatel	Plochy	Budovy a obce	Dopravní prostředky	Chov zvířat	Záchraně a likvidační práce	Koordinace složek	
	Váhy	0,25	0,1	0,2	0,09	0,09	0,04	0,04	0,04	0,075	0,075	x
Varianty	A	1	1	2	4	3	0	2	1	2	3	3
	B	100	2	3	3	3	2	1	1	2	3	2
	C	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
	D	100	2	3	3	2	2	1	0	2	2	2
	Horní hranice	100	2	3	4	3	2	2	1	2	3	x
	Dolní hranice	1	1	1	2	2	0	1	0	1	1	x

Nejprve si normalizujeme kritériální matici, protože kritéria nejsou uvedena ve stejných jednotkách. Normalizovaná kritériální matice dle vzorce (3-2):

$$U = \frac{H-x}{H-D}$$

kde x ... hodnota kritéria, D ... dolní hranice, při němž užitek je nulový  $U = 0$  a H ... horní mez, kdy parciální míra rizika je minimální.

	$U_{i1}$	$U_{i2}$	$U_{i3}$	$U_{i4}$	$U_{i5}$	$U_{i6}$	$U_{i7}$	$U_{i8}$	$U_{i9}$	$U_{i10}$
$U_{1j}$	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$U_{2j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
$U_{3j}$	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
$U_{4j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50

Výslednou mírou rizika lineárního seskupení pro i-tou variantu počítáme následně podle vzorce [26, str. 26]:

$$\text{Vážený součet} = \sum_{i=1}^m U_{ij} \cdot v_j \quad (3-3)$$

kde  $m$  ... počet kritérií,  $U_{ij}$  ... normalizovaný užitek vyplývající z předchozího výpočtu a  $v_j$  ... váhy jednotlivých kritérií.

Každý člen předchozí tabulky tedy vynásobíme příslušnými vahami a výsledky zapíšeme do nové tabulky. Vážený součet **míry rizika** je dán součtem rizik parciálních.

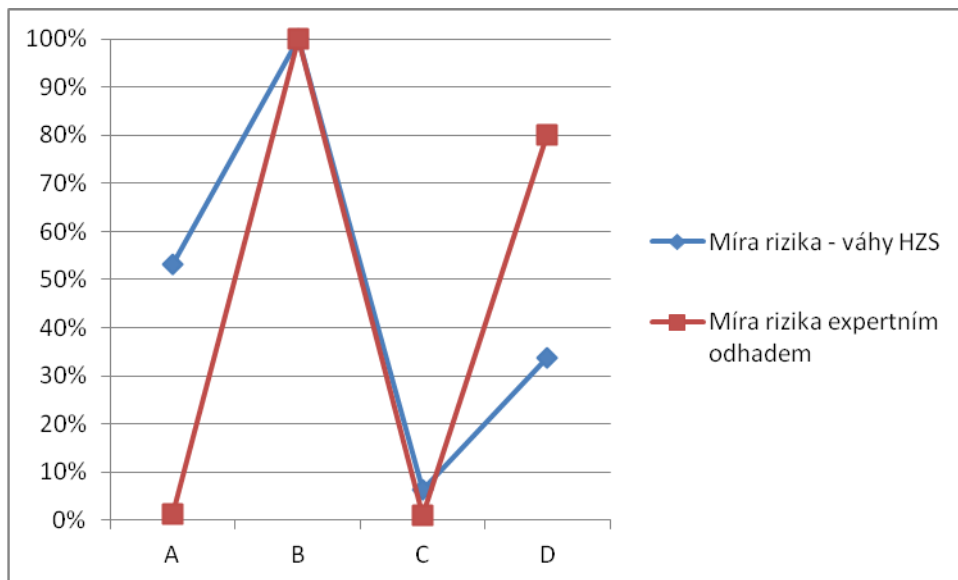
$v_1 \cdot U_{i1}$	$v_2 \cdot U_{i2}$	$v_3 \cdot U_{i3}$	$v_4 \cdot U_{i4}$	$v_5 \cdot U_{i5}$	$v_6 \cdot U_{i6}$	$v_7 \cdot U_{i7}$	$v_8 \cdot U_{i8}$	$v_9 \cdot U_{i9}$	$v_{10} \cdot U_{i10}$	Vážený součet
0,250	0,100	0,100	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,240
0,000	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,085
0,247	0,100	0,200	0,090	0,090	0,000	0,040	0,000	0,075	0,075	0,670
0,000	0,000	0,000	0,045	0,090	0,000	0,040	0,040	0,000	0,038	0,253

Nyní vydělíme vážený součet míry rizika neměnnou hodnotou „zařazení MU do kategorie“. Výsledkem je určení míry rizika jednotlivých variant. Platí, že čím nižší hodnota, tím nižší riziko, protože celý výpočet se zakládal na minimalizačním požadavku kritérií.

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem <sup>22</sup>
A	12,500	300
B	<b>23,529</b>	<b>22 500</b>
C	1,493	200
D	7,921	18 000

Výpočtem aditivní metodou jsme dostali pořadí variant scénářů dle míry rizika. **Nejvíce rizika s sebou nese varianta B, poté A, D a nejméně potenciálního rizika přináší varianta C.** Pro porovnání se současným způsobem vyhodnocení míry rizika, byl přidán sloupec, ve kterém jsou výsledky z výpočtu expertním odhadem (podle vzorce 2-1). Oproti výpočtu expertním odhadem (B, D, A, C) se liší v pořadí dvou prostředních.

<sup>22</sup> Tento sloupec je pro všechny následující příklady stejný, neboť se ve vzorci 2-1 (expertního odhadu) nepočítá s vahami kritérií, ale jen s konstantami scénářů, které jsou neměnné.

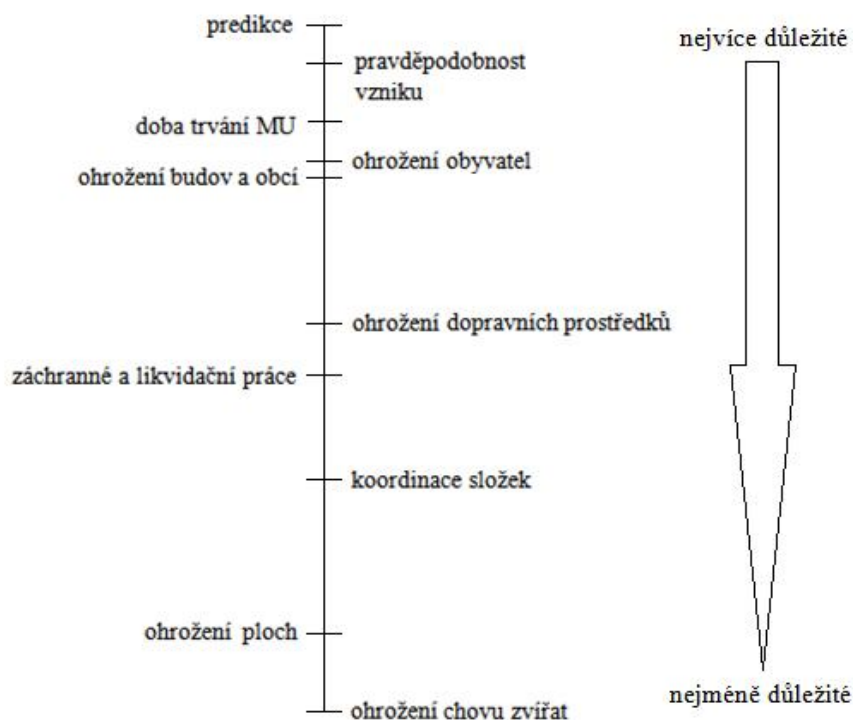


**Graf 3.1 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 1 a expertní odhad)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.2.1.2 NÁVRH 2

Další možností je změna vah podle uspořádání kritérií na základě subjektivního úsudku. Důvodem je prověření, jak se změní míra rizika a tím i pořadí scénářů, přiřadíme-li kritériím jiné váhové pořadí/důležitost. Jako první a nejdůležitější je bráno kritérium predikce a nejméně důležité je chov zvířat (viz Obrázek 3.2).



**Obrázek 3.2 Schéma vah pro matici kritérií stanovenou dle vlastního úsudku**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

**Tabulka 3.3 Matice kritérií s vahami dle subjektivního úsudku**

	Kritérium	Pravděpodobnost	Predikce	Doba trvání	Ohrožení					Potřeba sil a prostředků		Zařazení MU do kategorie
					Obyvatel	Plochy	Budovy a obce	Dopravní prostředky	Chov zvířat	Záchranné a likvidační práce	Koordinace složek	
	Váhy	0,2	0,18	0,15	0,13	0,125	0,095	0,05	0,04	0,02	0,01	x
Varianty	A	1	1	2	4	3	0	2	1	2	3	3
	B	100	2	3	3	3	2	1	1	2	3	2
	C	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
	D	100	2	3	3	2	2	1	0	2	2	2
	Horní hranice	100	2	3	4	3	2	2	1	2	3	x
	Dolní hranice	1	1	1	2	2	0	1	0	1	1	x

Normalizace matice kritérií dle vzorce (3-2):

	$U_{i1}$	$U_{i2}$	$U_{i3}$	$U_{i4}$	$U_{i5}$	$U_{i6}$	$U_{i7}$	$U_{i8}$	$U_{i9}$	$U_{i10}$
$U_{1j}$	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$U_{2j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
$U_{3j}$	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
$U_{4j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50

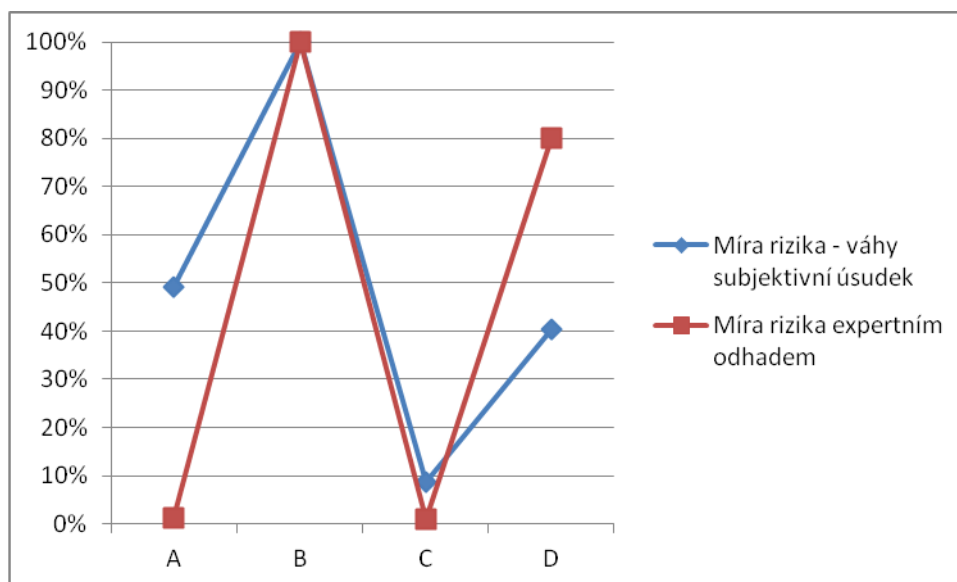
Výpočet váženého součtu dle vzorce (3-3):

$v_1 * U_{i1}$	$v_2 * U_{i2}$	$v_3 * U_{i3}$	$v_4 * U_{i4}$	$v_5 * U_{i5}$	$v_6 * U_{i6}$	$v_7 * U_{i7}$	$v_8 * U_{i8}$	$v_9 * U_{i9}$	$v_{10} * U_{i10}$	Vážený součet
0,200	0,180	0,075	0,000	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000	0,000	0,350
0,000	0,000	0,000	0,065	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000	0,115
0,198	0,180	0,150	0,130	0,125	0,000	0,050	0,000	0,020	0,010	0,665
0,000	0,000	0,000	0,065	0,125	0,000	0,050	0,040	0,000	0,005	0,285

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	8,571	300
B	<b>17,391</b>	<b>22 500</b>
C	1,504	200
D	7,018	18 000

Druhým výpočtem aditivní metodou se změněnými hodnotami vah kritérií jsme dostali pořadí variant scénářů dle míry rizika podobné. **Nejvíce riziková je varianta B, poté A, D a nejmenší míra rizika je přidělena variantě C.** Oproti výpočtu expertním odhadem (B, D, A, C) se liší jako v předchozím případě. Jejich konstanty jsou ale v porovnání v nejvyšší a nejnižší hodnotou míry rizika téměř shodné.



**Graf 3.2 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 2 a expertní odhad)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.2.1.3 NÁVRH 3

Dostupné metody umožňují výpočet vah pomocí Saatyho párového porovnání kritérií, kde první je vždy porovnatelné vůči druhému. Zároveň však bylo zachováno schéma vah dle HZS (viz Obrázek 3.1). Tzn., že kritéria 4 a 5 jsou váhově shodné, stejně tak kritéria 6 a 7, nebo 8 a 9 a 10. Vztahy mezi nimi jsou uvedeny v následující tabulce (kde jsou zároveň kvantifikovány). Základní bodová škála se pohybuje v rozmezí 1-9, přičemž k ohodnocení využíváme pouze liché stupně. Celkově tedy rozeznáváme 5 stupňů.

**Tabulka 3.4 Saatyho metoda, 5 poměrových bodů**

Poměrové body	Hodnocení poměru veličin
1	Stejně
3	Slabě významnější
5	Dosti významnější
7	Silně významnější
9	Totálně, absolutně významnější

Poměrové body uvedené v Saatyho tabulce jsou pouze přechodná a jejich prostý součet nelze považovat za plnohodnotný výsledek. Proto jsme zvolili řádkový **geometrický průměr**, který daný průměr vyrovná. [26, str. 14]

$$s^{GP} = \left( \prod_{i=1}^n s_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3-4)$$

kde  $s^{GP}$  je geometrická hodnota,  $s_i$  je hodnota poměrového bodu a  $n$  je celkový počet kritérií.

**Normované hodnoty vah** pak dostaneme, když vydělíme vypočtený geometrický průměr sloupcovým součtem tohoto průměru.

Nejprve sestavíme tabulku pro Saatyho párové porovnávání kritérií vycházející z pořadí jejich důležitosti stanovené HZS Královéhradeckého kraje (grafické znázornění pořadí viz Obrázek 3.1).

		Kritéria										Geometrický průměr		Normované hodnoty	
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10				
Kritéria	K1	1	5	3	5	5	9	9	9	7	7	5,1605	0,3169		
	K2	1/5	1	1/3	3	3	7	7	7	5	5	2,3504	0,1443		
	K3	1/3	3	1	5	5	9	9	9	7	7	3,9363	0,2417		
	K4	1/5	1/3	1/5	1	1	5	5	5	3	3	1,3110	0,0805		
	K5	1/5	1/3	1/5	1	1	5	5	5	3	3	1,3110	0,0805		
	K6	1/9	1/7	1/9	1/5	1/5	1	1	1	1/3	1/3	0,3086	0,0190		
	K7	1/9	1/7	1/9	1/5	1/5	1	1	1	1/3	1/3	0,3086	0,0190		
	K8	1/9	1/7	1/9	1/5	1/5	1	1	1	1/3	1/3	0,3086	0,0190		
	K9	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3	3	3	3	1	1	0,6439	0,0395		
	K10	1/7	1/5	1/7	1/3	1/3	3	3	3	1	1	0,6439	0,0395		
		Σ										16,2828			

Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
0,317	0,144	0,242	0,081	0,081	0,019	0,019	0,019	0,040	0,040

Matice kritérií pro následující výpočet míry rizika variant scénářů aditivní metodou:

	Kritérium	Pravděpodobnost	Predikce	Doba trvání	Ohrožení					Potřeba sil a prostředků		Zařazení MU do kategorie
					Obyvatel	Plochy	Budovy a obce	Dopravní prostředky	Chov zvířat	Záchranné a likvidační práce	Koordinace složek	
	Váhy	0,317	0,144	0,242	0,081	0,081	0,019	0,019	0,019	0,040	0,040	x
Varianty	A	1	1	2	4	3	0	2	1	2	3	3
	B	100	2	3	3	3	2	1	1	2	3	2
	C	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
	D	100	2	3	3	2	2	1	0	2	2	2
	Horní hranice	100	2	3	4	3	2	2	1	2	3	x
	Dolní hranice	1	1	1	2	2	0	1	0	1	1	x

Normalizace matice kritérií dle vzorce (3-2):

	U <sub>i1</sub>	U <sub>i2</sub>	U <sub>i3</sub>	U <sub>i4</sub>	U <sub>i5</sub>	U <sub>i6</sub>	U <sub>i7</sub>	U <sub>i8</sub>	U <sub>i9</sub>	U <sub>i10</sub>
U <sub>1j</sub>	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>2j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>3j</sub>	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
U <sub>4j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50



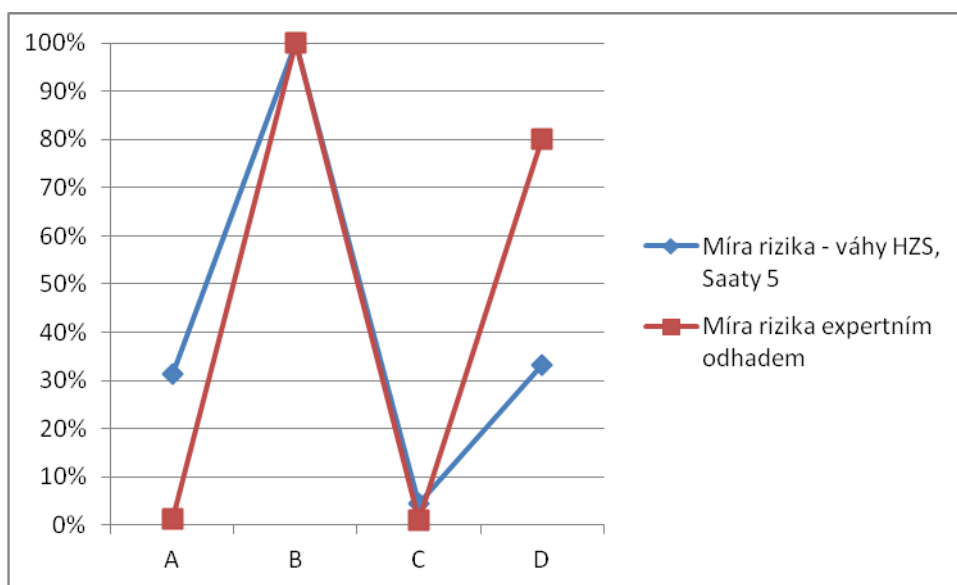
Výpočet váženého součtu dle vzorce (3-3):

$v_1*U_{i1}$	$v_2*U_{i2}$	$v_3*U_{i3}$	$v_4*U_{i4}$	$v_5*U_{i5}$	$v_6*U_{i6}$	$v_7*U_{i7}$	$v_8*U_{i8}$	$v_9*U_{i9}$	$v_{10}*U_{i10}$	Vážený součet
0,3169	0,1443	0,1209	0,0000	0,0000	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2842
0,0000	0,0000	0,0000	0,0403	0,0000	0,0000	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000	0,0592
0,3137	0,1443	0,2417	0,0805	0,0805	0,0000	0,0190	0,0000	0,0395	0,0395	0,6452
0,0000	0,0000	0,0000	0,0403	0,0805	0,0000	0,0190	0,0190	0,0000	0,0198	0,1785

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	10,557	300
B	<b>33,777</b>	<b>22 500</b>
C	1,550	200
D	11,208	18 000

Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: B, D, A, C. V porovnání s výsledky expertního odhadu došlo ke shodě pořadí (B, D, A, C).



**Graf 3.3 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 3 a expertní odhad)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.2.1.4 NÁVRH 4

Obdobně sestavíme řešení, nyní pro Saatyho porovnávání kritérií<sup>23</sup> vycházející z pořadí jejich důležitosti stanovené dle vlastního subjektivního úsudku (grafické znázornění pořadí viz Obrázek 3.3).

Sestavena tabulka pro výpočet vah a další mezivýpočty jsou uvedeny v příloze č. 6.

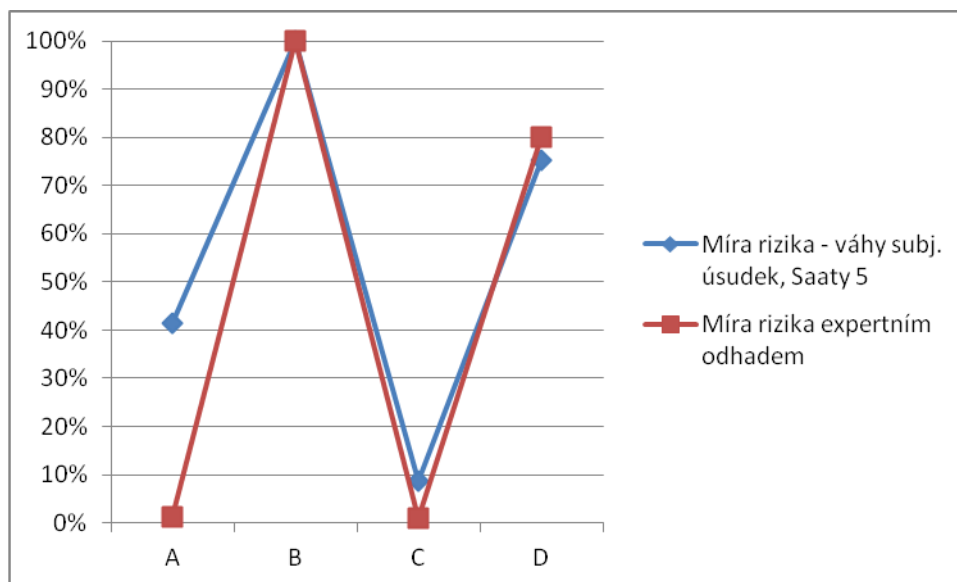
Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
0,206	0,256	0,165	0,132	0,015	0,093	0,053	0,011	0,043	0,026

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	6,954	300
B	<b>16,763</b>	<b>22 500</b>
C	1,448	200
D	12,609	18 000

**Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: B, D, A, C.** Pořadí scénářů podle míry rizika je v obou případech stejný (B, D, A, C).



**Graf 3.4 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 4 a expertní odhad)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

<sup>23</sup> Opět pracujeme pouze s lichými stupni (1, 3, 5, 7 a 9)

### 3.2.1.5 NÁVRH 5

Pátý návrh pracuje s pořadí kritérií sestavených HZS a z důvodu neúměrného počtu kritérií a škály pěti poměrových bodů, bylo zvoleno využití i mezihodnot. Výsledná stupnice má 9 stupňů. [32]

**Tabulka 3.5 Saatyho metoda, 9 poměrových bodů**

Poměrové body	Hodnocení poměru veličin
1	Stejně
2	
3	Slabě významnější
4	
5	Dosti významnější
6	
7	Silně významnější
8	
9	Totálně, absolutně významnější

Dalším výpočtem je tedy sestavení tabulky pro Saatyho metodu na základě důležitosti kritérií stanovené HZS Královéhradeckého kraje.

Tabulka pro výpočet vah (s 9 poměrovými body) a další mezivýpočty jsou uvedeny v příloze č. 7.

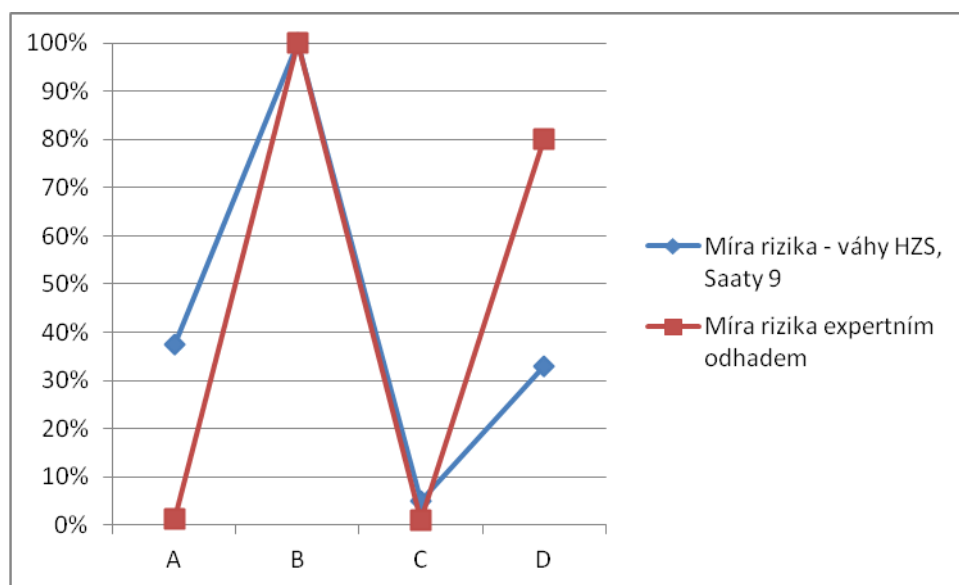
Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria:

<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>	<b>K<sub>7</sub></b>	<b>K<sub>8</sub></b>	<b>K<sub>9</sub></b>	<b>K<sub>10</sub></b>
0,3499	0,1156	0,2134	0,0773	0,0773	0,0224	0,0224	0,0224	0,0497	0,0497

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	12,259	300
B	<b>32,777</b>	<b>22 500</b>
C	1,652	200
D	10,780	18 000

Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: B, A, D, C. Expertní odhad seřadil scénáře sestupně dle míry rizika jako B, D, A, C, rozdíl ve výsledcích mezi scénáři A a D je však minimální.



Graf 3.5 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 5 a expertní odhad)

Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.2.1.6 NÁVRH 6

Poslední návrh je výpočet vah párovým porovnáním<sup>24</sup>, přičemž vstupní hodnoty jsou tvořeny kritérii dle vlastního posouzení důležitosti.

Tabulka pro výpočet vah Saatyho metodou (s 9 poměrovými body) a další mezivýpočty jsou uvedeny v příloze č. 8.

Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

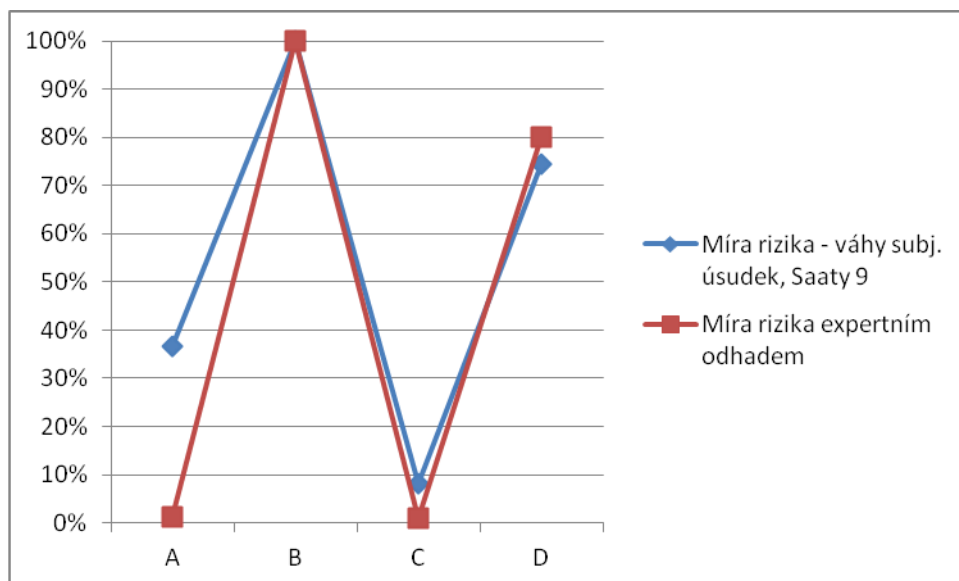
K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
0,2030	0,2728	0,1629	0,1202	0,0148	0,1005	0,0511	0,0109	0,0387	0,0252

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	6,598	300
B	<b>17,982</b>	<b>22 500</b>
C	1,458	200
D	13,380	18 000

<sup>24</sup> S využitím všech 9 poměrových bodů.

Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: B, D, A, C, stejně tak jako při výpočtu expertním odhadem.



**Graf 3.6 Grafické porovnání výsledků (NÁVRH 6 a expertní odhad)**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### 3.2.2 Výpočet lexikografickou metodou

Lexikografická metoda je snadná na sestavení, ale její výsledky nejsou tak přesné jako při využití aditivní metody. Spočívá v uspořádání kritérií podle subjektivního obodování od nejlepších po nejhorší. Pro tento příklad jsou pořadí kritérií uspořádány od nejdůležitějších po nejméně důležité [26, str. 37]. Další krok spočívá v přiřazování hodnot od 1 - do 4, kde 1 je nejlepší a 4 je nejhorší možnost kritéria.

V našem případě došlo v rámci usnadnění pouze k vyhodnocení z již zadaných hodnot. Pravděpodobnost v nejhorším případě je zde jednou ročně = 100. Této hodnoty nabývají scénáře B a D. Zbylé dva se budou dělit o dvě poslední příčky ve smyslu nízkého rizika (nižší hodnota je v kritériu doba trvání u C, a tím je vyhodnocena jako nejméně riziková). Dalším kritériem pro varianty B a D je doba trvání, ta je u obou stejná. Pokračujeme tedy dalším - predikcí (předpovědí). Také shoda. Rozhodující je až množství potenciálně ohrožených obyvatel, která je u varianty D vyšší, proto je tento scénář MU vyhodnocen jako nejhorší.

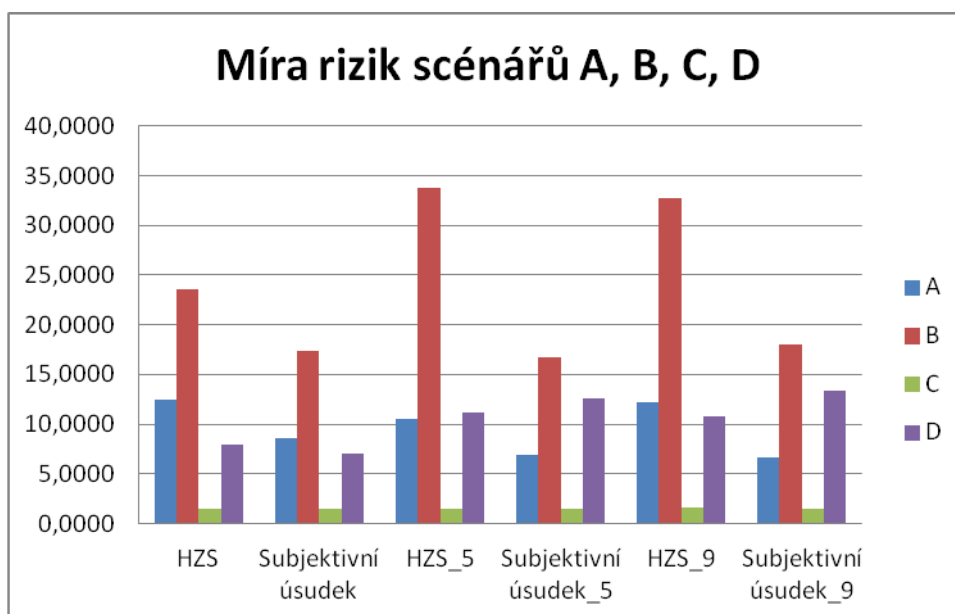
	Kritérium	Pravděpodobnost	Doba trvání	Predikce	Ohrožení		Potřeba sil a prostředků		Ohrožení			Pořadí*
					Obyvatel	Plochy	Záchranné a likvid. práce	Koordinace složek	Budovy a obce	Dopravní prostředky	Chov zvířat	
Varianty	A	1	2	2	4							3
	B	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	1							2
	C	1	1	1	2							4
	D	<b>100</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>							1

\* nejméně závažné - 4, nejvíce závažné - 1

Výpočtem pomocí lexikografické metody jsme dostali pořadí variant, přičemž sestavené podle míry rizika od nejhoršího po nejméně rizikové jsou D, B, A a C.

### SHRNUTÍ KAPITOLY 3.2

Cílem této kapitoly byl výpočet míry rizika potenciálních MU v rámci 4 zvolených scénářů a možnost nahrazení práce expertního týmu v průběhu druhé části procesu expertního odhadu. Dále byl proveden pokus nahrazení velikosti vah pomocí různých výpočtů z vybraných metod vícekritériálního rozhodování tak, aby se pořadí scénářů MU shodovalo s pořadím určeného současnou metodou analýzy, kterou využívají experti HZS Královéhradeckého kraje.



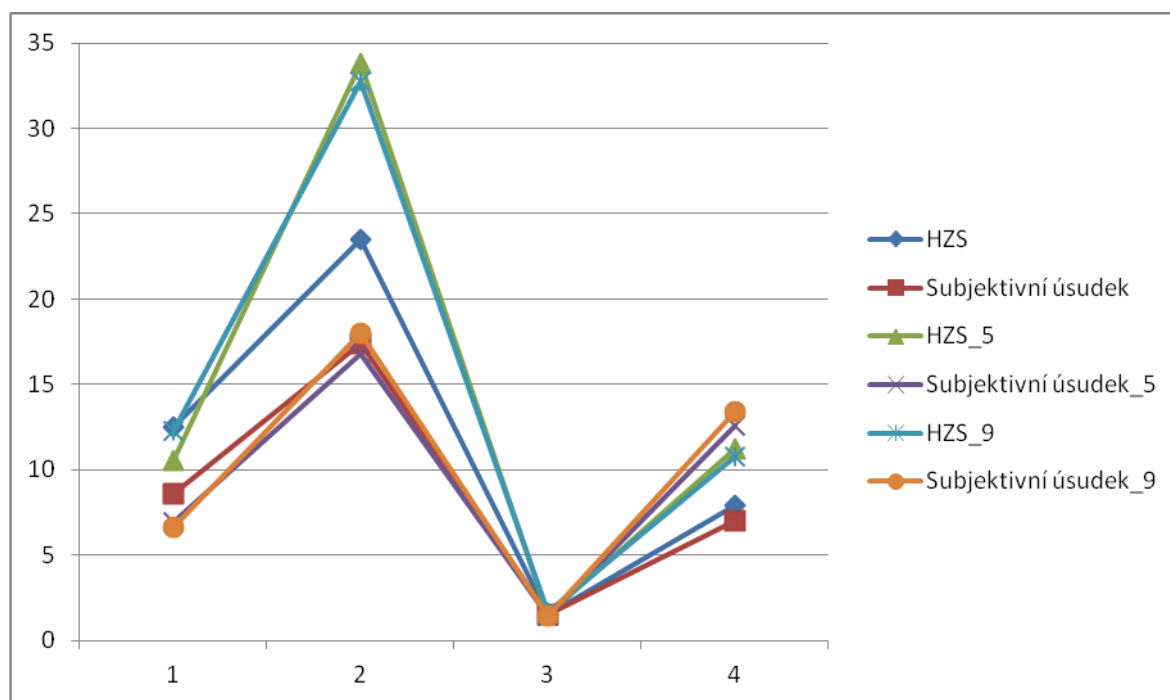
Graf 3.7 Míry rizik variant scénářů vypočtené aditivní metodou

Zdroj: Vlastní zpracování

V rámci aditivní metody vícekritériálního rozhodování **nebylo ve třech případech ze šesti dosaženo kýženého cíle, a to při práci s vahami stanovenými jak HZS, tak vlastním úsudkem a vahami sestavenými dle názoru expertů HZS podrobenými ještě navíc metodě Saatyho párového porovnání s 9 poměrovými body**. Jeho úkolem je zjistit pro každé kritérium počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. Odchytky ve výsledcích však byly minimální.

**Tabulka 3.6 Porovnání všech výsledků aditivní metody**

	Varianty scénářů			
	A	B	C	D
HZS	12,5000	23,5290	1,4930	7,9208
Subjektivní úsudek	8,5714	17,3910	1,5038	7,0175
HZS_5	10,5570	33,7770	1,5500	11,2080
Subjektivní úsudek_5	6,9538	16,7631	1,4479	12,6090
HZS_9	12,2594	32,7770	1,6519	10,7802
Subjektivní úsudek_9	6,5977	17,9820	1,4584	13,3800



**Graf 3.8 Grafické porovnání všech výsledků aditivní metody**

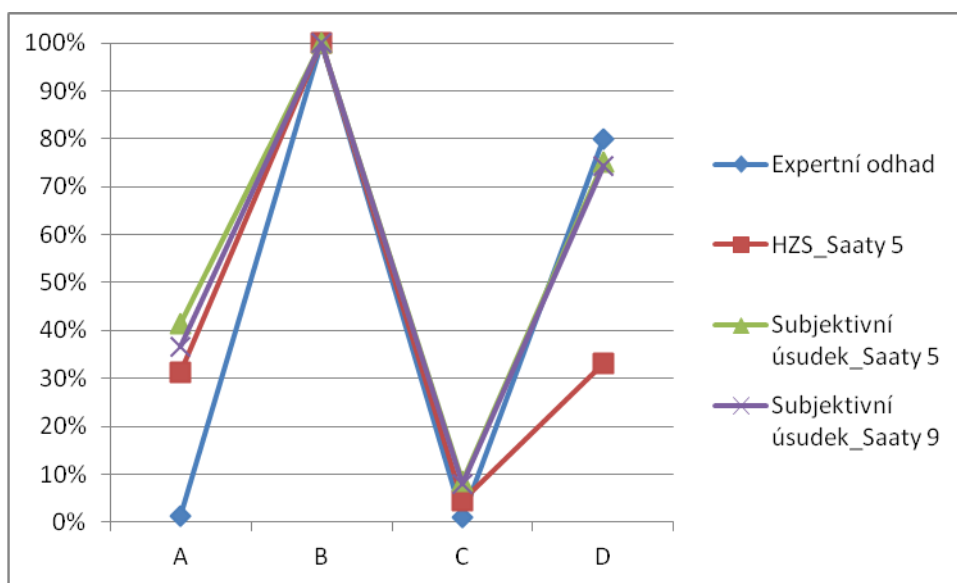
*Zdroj: Vlastní zpracování*

Dá se tedy říci, že ani změna pořadí důležitosti kritérií neměla výrazný vliv na výsledné pořadí scénářů podle míry rizika. **Všechny použité metody v rámci procesu vyhodnocení míry rizika jsou použitelné v praxi, je ale nutno podotknout, že se liší svou přesností.**

Nejlépe vyhodnotily míru rizika<sup>25</sup> výpočty - váhy seřazeny dle subjektivního úsudku, zpřesněné Saatyho porovnáním kritérií s 5 a 9 poměrovými body.

**Tabulka 3.7 Porovnání nejlepších výsledků aditivní metody, vyjádřeno v %**

	A	B	C	D
Expertní odhad	1%	100%	1%	80%
HZS_Saaty 5	31%	100%	5%	33%
<b>Subjektivní úsudek Saaty 5</b>	<b>41%</b>	<b>100%</b>	<b>9%</b>	<b>75%</b>
<b>Subjektivní úsudek Saaty 9</b>	<b>37%</b>	<b>100%</b>	<b>8%</b>	<b>74%</b>



**Graf 3.9 Grafické porovnání nejlepší výsledků aditivní metody**

*Zdroj: Vlastní zpracování*

V rámci lexikografické metody bylo dosaženo stejného pořadí scénářů MU podle míry rizika jako u expertní analýzy. Tato metoda je ale příliš hrubá, aby sloužila k vyhodnocení měr rizik pro všechna uvedená rizika kraje.

<sup>25</sup> V porovnání s původními výpočty expertního odhadu.



### 3.3 Výpočetní inteligence

Umělá inteligence se dá jednoduše definovat jako přenesení lidského chování na stroje a mechanismy. Tato vědní disciplína je velice mladá (např. oproti fyzice, chemii apod.). Nemá přesně vymezen předmět zkoumání a metody, které vytváří, pracují na základě algoritmů, sloužících k řešení mnohdy velmi složitých úloh. Kombinuje poznatky matematiky, logiky, neurologie, biologie a dalších.

Cílem takového vytváření systémů je, že stroj využívá při řešení určitého úkolu postupu, jaký je vlastní člověku, a jeho čin je tedy ve výsledku považován za projev inteligence. Otázkou však zůstává, do jaké míry je možné nasimulovat lidské jednání? Kupříkladu člověk se dokáže chovat i iracionálně, jedná podle selského rozumu, intuice, jak k takovému chování přimět stroj?

Existuje mnoho přístupů, jak „naprogramovat“ chování stroje. Uvedme některé z nich [29]:

- Neuronové sítě - jedná se o napodobení biologických struktur, kdy základem je neuron předávající signál sousedícímu neuronu. Tento typ se užívá zejména pro předvídání vývoje časových řad a rozpoznávání a kompresi zvuků a obrazů.
- Genetické programování - spočívá ve vývoji algoritmu, napodobující evoluční biologický proces vývoje.
- Expertní systémy - tento počítačový program byl vytvořen pro zpracovávání nenumernických veličin, které nelze řešit algoritmickými postupy. Umožňuje hypotetické odvozování (typu „Co se stane, když ...“) a zároveň lze integrovat zkušenosti více expertů. i když se vzájemně neshodnou.
- Fuzzy modelování - zpracovává vágní (nepřesná) data, udávána slovním popisem v kombinaci s logickými regulátory (platí pravidlo JESTLIŽE... -> POTOM ...).
- Dobývání znalostí - zpracovává velké soubory „nic neříkajících“ dat do srozumitelné podoby. Známější je pod názvem Data-mining.

#### FUZZY MNOŽINY

Příčinou definování fuzzy teorie byla potřeba vysvětlit realitu na bázi nepřesných, neurčitých dat. V klasické teorii množin daný prvek do množiny buď patří, nebo naopak. Fuzzy logika přijímá i třetí možnost, a to členství částečné (s jistým stupněm příslušnosti). Název „fuzzy“ vychází z anglického překladu a znamená neostrý, mlhavý, vágní. Uvedme několik příkladů, ve kterých se upřednostňuje použití této logiky před klasickou logikou:

- Duha - kdy přesně začíná červená?

- V jakém věku se člověk stává starým?
- Kdy je rychlost jedoucího vozidla ještě nízká?
- apod.

V takovýchto případech se ukazuje, „že přesnost je pouze iluze, neboť je principiálně nedosažitelná. Pokud by byla, pak by to znamenalo, že při libovolně zvolené hranici přesnosti dostaneme stále stejný výsledek. Jde totiž o vymezení jevu a nikoliv charakterizace toho, zda nastane či ne.“ [28, str. 8 - 9]

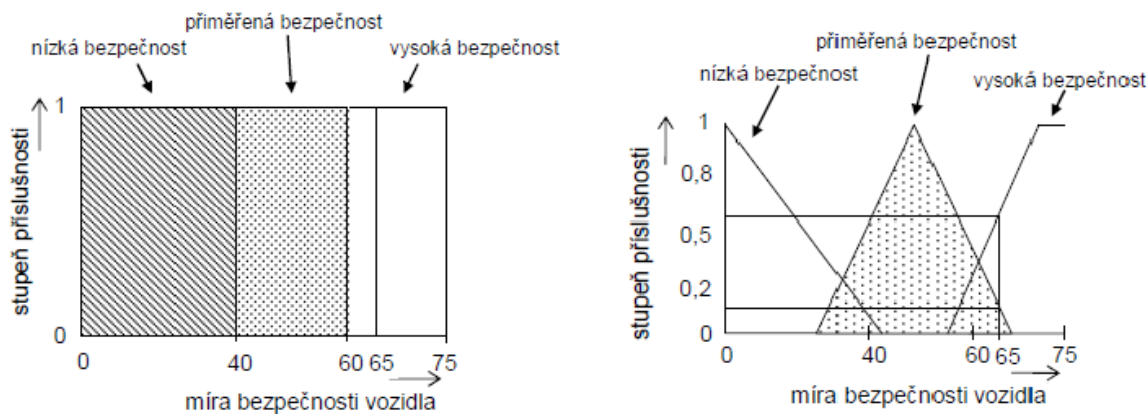
### **Poznámka:**

Klasická teorie matematiky používá logické výroky, jejichž význam může být pouze dvojitý - pravda x nepravda (v počítačích se zapisují jako 1 a 0). Fuzzy logika operuje s výroky, které mohou nabývat hodnot z intervalu  $<0; 1>$ , tedy nekonečně mnoho. Hodnota z tohoto intervalu se pak nazývá stupeň příslušnosti<sup>26</sup>. Fuzzy logika se osvědčila v řadě rozhodovacích úloh v reálném světě lépe, protože usnadňuje návrhy složitých řídicích systémů. [28, str. 8]

Na obrázku 3.3 je graficky znázorněna rychlost vozidla, které jede 50km/hod. Grafické vyjádření klasických množin ukazuje jasné vymezení intervalů, kdy je míra jízdy přizpůsobena stavu vozidla. Čím jsou lepší možnosti vozidla (volba pneumatik, seřízení brzd, použití bezpečnostních pásů apod.), tím vyšší bezpečnost nastává a tím spíše si řidič může dovolit jet rychleji. Fuzzy množiny berou v úvahu u prolínající se míru bezpečnosti, kdy záleží na úsudku řidiče o bezpečnosti jeho vozidla. První řidič stanoví přiměřenou míru bezpečnosti při rychlosti 40-65 km/hod, druhý řidič subjektivně rozhodně o stejné míře bezpečnosti v intervalu při rychlosti 35-60 km/hod. Úsudky obou „expertů“ se neshodují, ale v modelu se „pracuje“ s oběma možnostmi.

---

<sup>26</sup> Někdy je na základě podobnosti chybně zaměňována s pojmem míra pravděpodobnosti.



**Obrázek 3.3** Znázornění klasické množiny a fuzzy množiny

*Zdroj: [27, str. 18]*

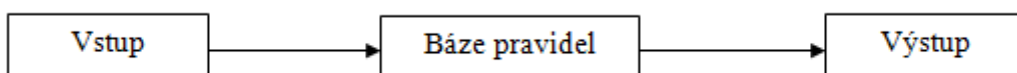
### 3.3.1 Výpočet fuzzy modelováním

Vstupní proměnné:

- pravděpodobnost vzniku
- predikce
- doba trvání MU
- ohrožení obyvatel
- ohrožení plochy
- ohrožení budov a obcí
- ohrožení dopravních prostředků
- ohrožení chovu zvířat
- potřeba záchranných a likvidačních prací
- potřeba koordinace složek

Pro zjednodušení značení kritérií budeme respektovat již výše zavedenou tabulku 3.1 (jednotné značení kritérií).

U stanovení míry rizika pomocí umělé (výpočetní) inteligence bylo potřeba určit, která kritéria budou brány jako vstupy.



**Obrázek 3.4** Model fuzzy inferenčního systému

*Zdroj: Vlastní zpracování dle [30]*

Jako u předchozí kapitoly je výstupem **míra rizika (MR)**. Tato výpočetní inteligence operuje se slovním popisem - jako logický výsledek bylo vybráno označení **MR - malá (M), střední (S) a velká (V)**. Počet pravidel v bázi je určeno vztahem  $n^k$ , kde  $n$  znamená počet výstupů a  $n$  je počet vstupů, se kterými se dále pracuje. Pro náš výpočet to znamená  $3^n$ . Kritérií je zadaných 10, možnost výstupu je M, S, V. Počet pravidel v bázi tedy bude  $3^{10} = 59\,049$ . Zadání všech těchto pravidel je velmi náročné, protože je potřeba zvolit všechny kombinace vstupních dat.

Ukázka tvoření kombinací pravidel s 10 kritérii:

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	MR
M	M	S	S	M	M	M	M	M	M	<b>M</b>
S	M	M	M	V	V	V	V	S	M	<b>S</b>

*Pro zjednodušení pracujeme pouze s riziky vzájemně nezávislými (např. zemětřesení nevyvolá sesuv půdy apod.).*

### 3.3.1.1 MODEL Fuzzy1

Po pečlivém zvážení byly pro modelování vybrány 4 kritéria z 10 (1-3 jsou málo, 5-10 příliš). Tato kritéria byla určena experty HZS nejvyšší váhovou hodnotou. *Základní myšlenkou je, zda vynětí čtyř kritérií z celkových deseti může plnohodnotně nahradit postup vyhodnocení MR expertního odhadu.*

Vstup1 = počet obyvatel (Obyv), váha kritéria 0,9

Vstup2 = zasažená plocha (Ploch), váha kritéria 0,9

Vstup3 = potřeba sil a prostředků (Sily), váha kritéria 0,75

Vstup4 = potřeba záchranných a likvidačních prací (Koord), váha kritéria 0,75

Vstupy jsou vybrány z procesu expertního odhadu a jejich rozdělení na M, S, V je následovný:

Ohrožení obyvatelstva - **Obyv**

0	bez ohrožení	M
1	jednotlivé osoby	M
2	nejvýše 100 osob	M
3	100 až 1000 osob	S
4	více jak 1000 osob	V

### Ohrožení plochy - **Plocha**

0	řádově v m <sup>2</sup>	M
1	do 500 m <sup>2</sup>	M
2	do 10.000 m <sup>2</sup> (1 ha)	S
3	do 1 km <sup>2</sup>	V
4	více než 1 km <sup>2</sup>	V

### Potřeba sil a prostředků IZS - **Sily**

1	základní složky IZS	M
2	základní a ostatní složky IZS z okresu	S
3	základní a ostatní složky IZS i z jiných okresů	S
4	pomoc i dle §22 z. 239/2000 Sb., nebo zahraniční pomoc	V

### Nutnost koordinace složek - **Koord**

1	bez nutnosti koordinace	M
2	koordinace velitelem zásahu	M
3	zřízení štábu velitele zásahu, rozdělení místa zásahu na sektory a úseky	S
4	koordinace na strategické úrovni (aktivace krizového štábu)	V

### Míra rizika - **MR**

0	malá událost	M
1	první stupeň poplachu	M
2	druhý stupeň poplachu	S
3	třetí stupeň poplachu	V
4	katastrofa	V

Počet pravidel v bázi je nyní  $3^4=81$ . Ukázka báze inferenčních pravidel (jestliže -> potom MR). Jednotlivá kritéria jsou spojena logickou spojkou „a“. Výsledkem je míra rizika.

	Obyv	Ploch	Sily	Koord	MR
1	M	M	M	M	M
2	M	M	S	M	M
3	M	S	M	M	M
4	S	M	M	M	M
5	M	S	S	M	S
6	S	S	M	M	S

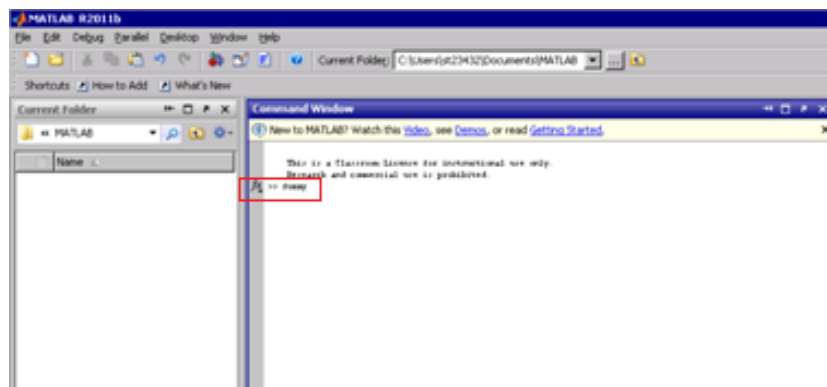
7	S	M	M	S	S
8	...				

Pro zahájení výpočtového procesu máme předpřípravu splněnou. Výsledkem tohoto procesu je tvorba fuzzy inferenčního systému, který spočívá ve třech základních krocích:

- Fuzzifikace - úprava vstupních („ostrých“) hodnot a jejich transformace (na „neostré“, vágní, osa  $x$ ), přičemž jejich funkce příslušnosti (osa  $y$ ) je v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ . Výsledkem jsou fuzzy množiny.
- Inference - tvorba báze inferenčních pravidel, které spočívají v práci s fuzzy množinami, pravidly (logická spojka JESTLIŽE  $\rightarrow$  POTOM) a vyjádření závislosti výstupní proměnné na vstupních proměnných.
- Defuzzifikace - realizace přeměny vágních dat zpět na nevágní („ostré“) hodnoty.

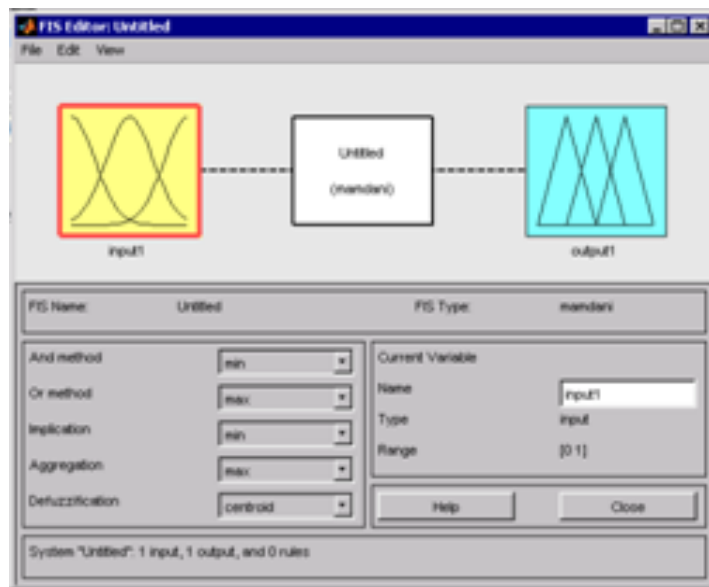
### Modelování v MATLAB-u [33, str. 131 - 135] :

Spustíme si program MATLAB a po načtení napíšeme do příkazového okna „fuzzy“, aby program věděl, že budeme pracovat právě s tímto modelem, a stiskneme klávesu Enter.



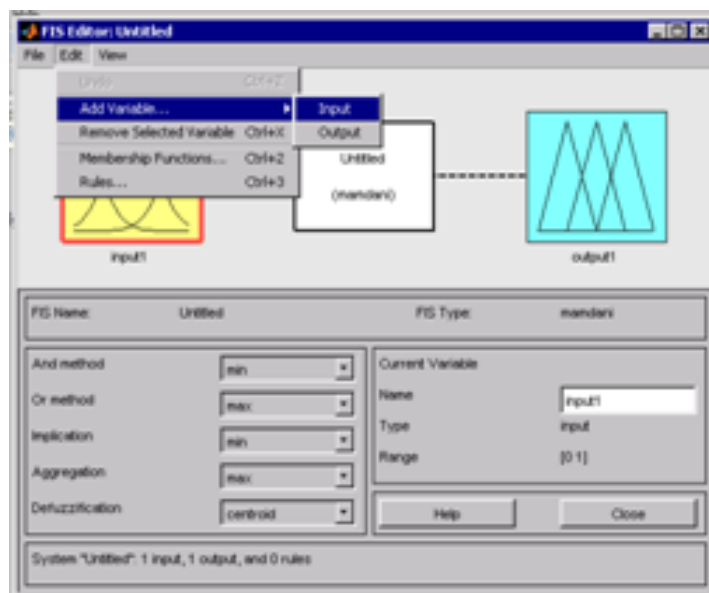
**Obrázek 3.5 Příkazové okno v MATLAB-u**

V dalším kroku se nám objeví editor pro práci fuzzy inferenčního systému (FIS).



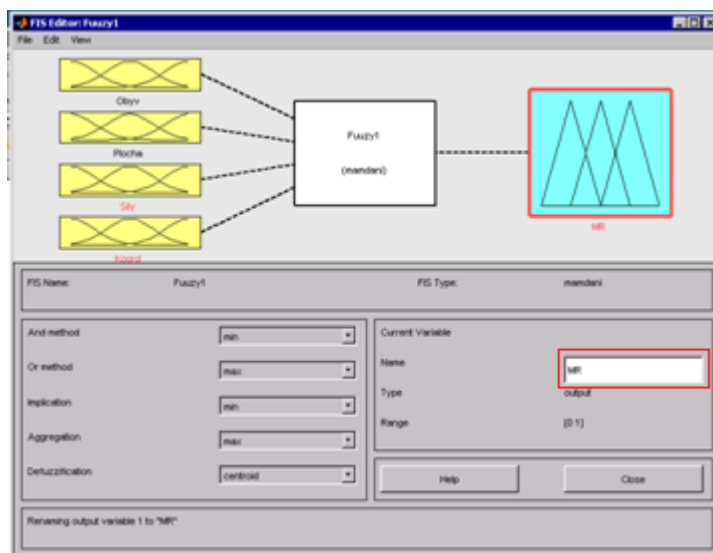
**Obrázek 3.6** Výchozí nastavení FIS editoru

Je potřeba v editoru doplnit vstupy, aby jejich celkový počet byl 4. Edit -> Add Variables...-> Input (vstup). Output (výstup) je defaultně nastaven jeden, který ponecháme, více jich potřebovat nebudeme.



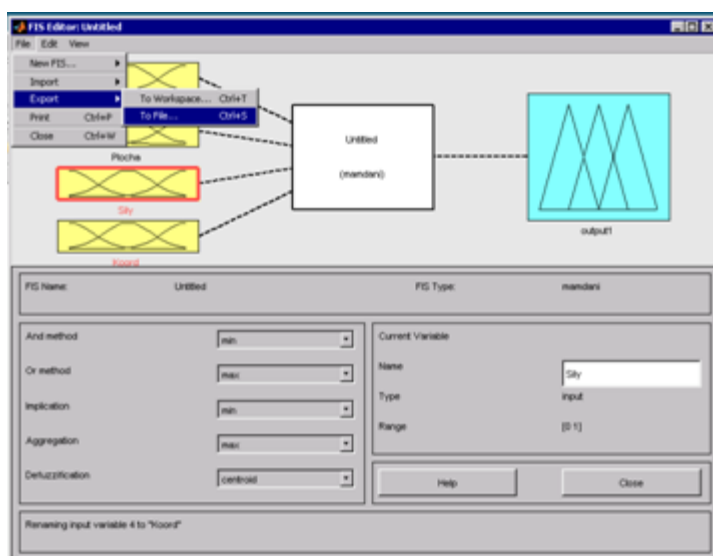
**Obrázek 3.7** Vložení vstupů a výstupu

Všechny vstupy a jeden výstup přejmenujeme.



**Obrázek 3.8** Práce se vstupy a výstupem

Práci uložíme pod názvem Fuzzy1.

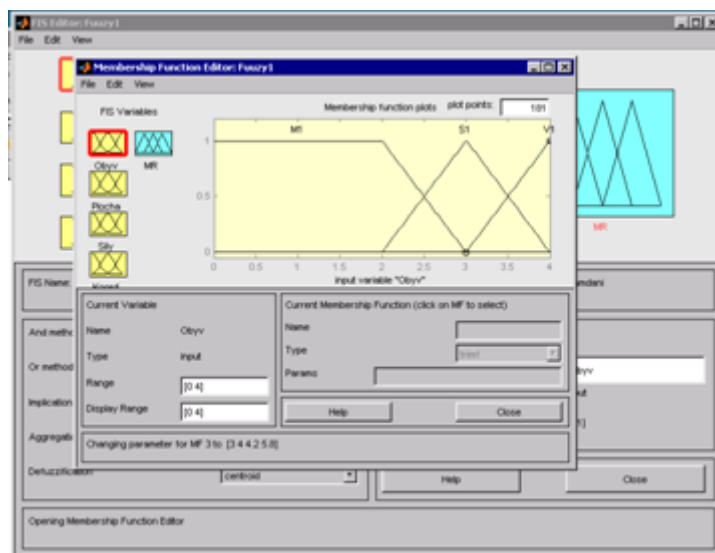


**Obrázek 3.9** Ukládání práce

Dvojklikem si aktivujeme první ze vstupů - Obyv. Defaultně nastavené funkce příslušnosti smažeme a nadefinujeme nové. Add -> MFs... -> tramf, počet 3.

Každou z fuzzy množin přejmenujeme (pro první vstup Obyv platí pořadí M1, S1 a V1; pro druhý vstup Plocha platí M2, S2 a V2; zbylé pojmenujeme analogicky.) a určíme jejich funkce příslušnosti. To samé provedeme i v případě výstupu (MRm, MRs, MRv).

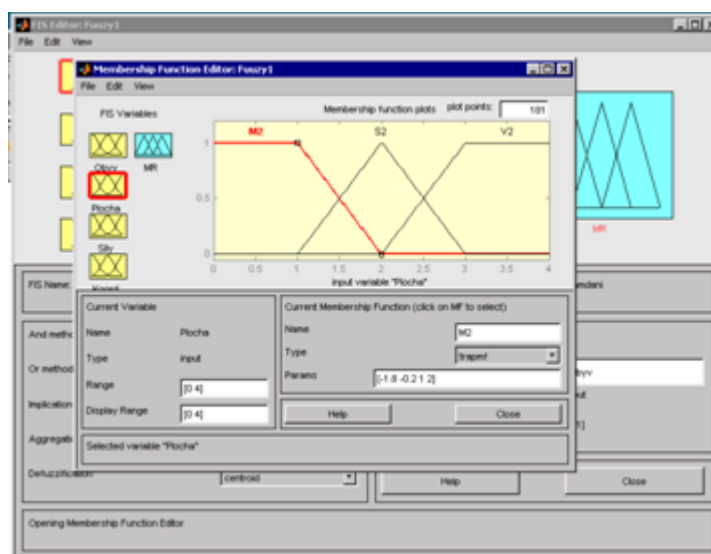




**Obrázek 3.10** Definování funkcí příslušnosti, vstup Obyv

Zadané hodnoty fuzzy množin M1, S1, V1 pro vstup Obyv:

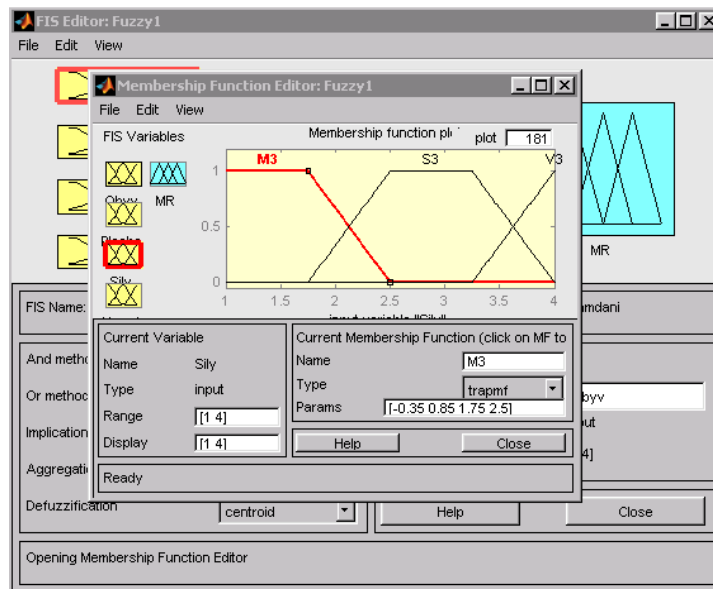
M1	-1,8	-0,2	2	3
S1	2	3	3,01	4
V1	3,01	4	4,2	5,8



**Obrázek 3.11** Definování funkcí příslušnosti, vstup Plocha

Zadané hodnoty fuzzy množin M2, S2, V2 pro vstup Plocha:

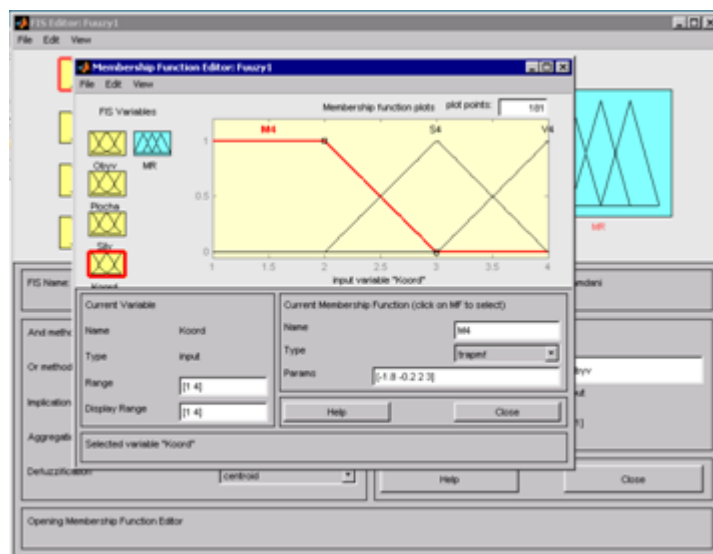
M2	-1,8	-0,2	1	2
S2	1	2	2,01	3
V2	2,01	3	4,2	5,8



**Obrázek 3.12** Definování funkcí příslušnosti, vstup Sily

Zadané hodnoty fuzzy množin M3, S3, V3 pro vstup Sily:

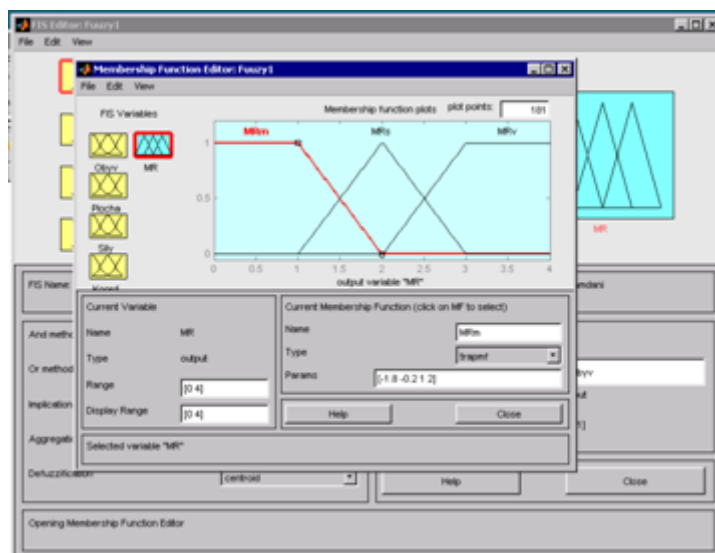
M3	-1,8	-0,2	1	2
S3	1	2	3	4
V3	3	4	4,2	5,8



**Obrázek 3.13** Definování funkcí příslušnosti, vstup Koord

Zadané hodnoty fuzzy množin M4, S4, V4 pro vstup Koord:

M4	-1,8	-0,2	2	3
S4	2	3	3,01	4
V4	3,01	4	4,2	5,8

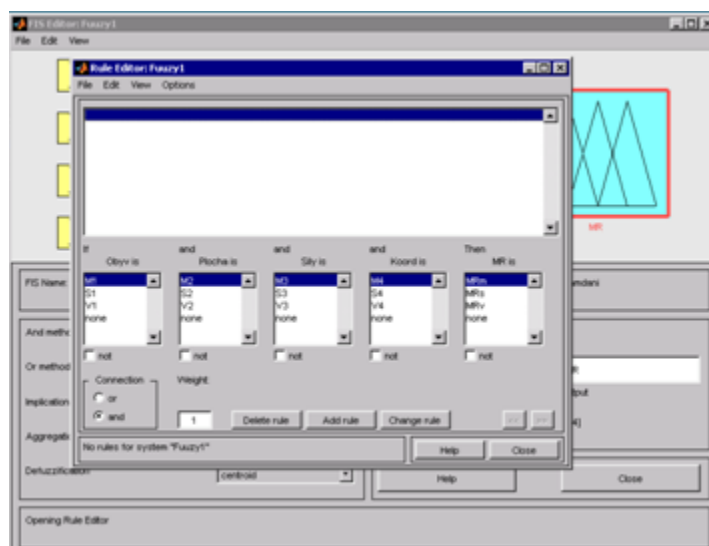


**Obrázek 3.14** Definování funkce příslušnosti, výstup MR

Zadané hodnoty fuzzy množin MRm, MRs, MRv pro výstup MR:

MRm	-1,8	-0,2	1	2
MRs	1	2	2,01	3
MRv	2,01	3	4,2	5,8

Nyní definujeme inferenční pravidla. Dvoj-klik na střední bílý rámeček s názvem Fuzzy1 nám otevře editor pro zadávání pravidel.

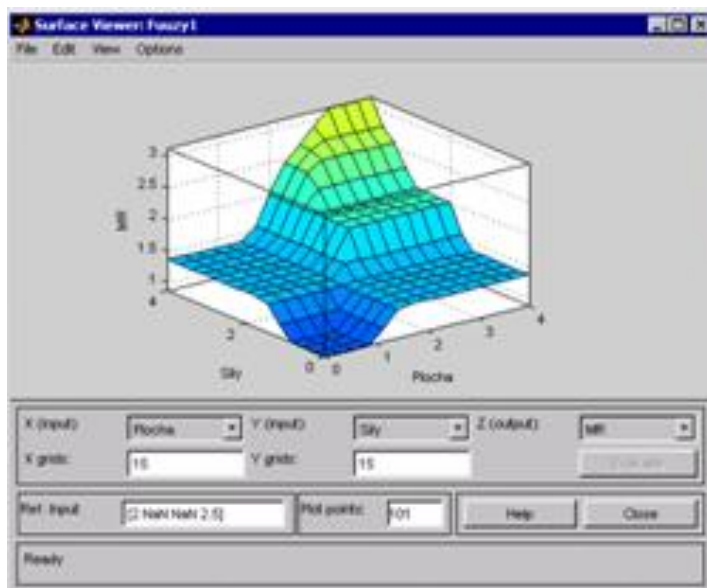


**Obrázek 3.15** Editor pravidel

Náhled všech 81 inferenčních pravidel, viz Příloha 9. *Tato pravidla byla sestavena na základě subjektivního logického úsudku.*

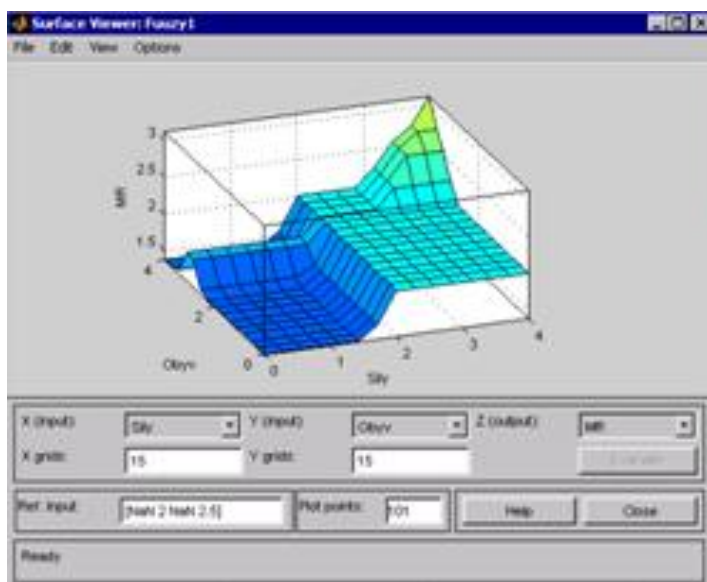
Výsledné zobrazení vstupně-výstupních závislostí nalezneme v prohlížeči View -> Surface.

Neustále rostoucí tendence v grafu znamená správné (logické) nadefinování fuzzy množin u vstupů/ výstupu a inferenčních pravidel.



**Obrázek 3.16 Grafické znázornění kombinace vstupů Plocha a Sily**

Veškeré grafické zobrazení je v pořádku až na kombinaci vstupů Sily a Obyv. Tento poslední obrázek (a jeho výkyv zpět na nulovou hranici v levém dolním rohu) ukazuje, že základní myšlenka práce (stanovení MR) pouze se čtyřmi kritérii není možné.



**Obrázek 3.17 Grafické znázornění kombinace vstupů Sily a Obyv**

## Shrnutí

Práce se 4 vstupy z 10 je nedostačující (důkazem je obr. č. 3.24). I přesto, že byla vybrána právě 4 nejdůležitější kritéria z pohledu expertního odhadu HZS. Model Fuzzy1 je tedy neúspěšný.

### 3.3.1.2 MODEL Fuzzy2

Myšlenka práce pouze 4 vstupy selhala, proto je nutné zamyslet se znovu a sestavit novou filosofii pro práci s MATLAB-em.

První a zároveň stěžejní podmínkou je zahrnout všech deset vstupů, s nimiž pracuje HZS ve rámci metody expertního odhadu pro výpočet míry rizika (MR). V postupu konečného výpočtu vycházejí ze vzorce 2-1. Připomeňme si jej:

$$MR = \frac{P * (T * 10) + ((O + S + B + D + C + Z + K) * 10)}{Pr * 10} \quad (2-1)$$

Jak je na první pohled vidět, kritéria ohrožení obyvatelstva O, plochy S, budov B, chovu zvířat C, potřeba záchranných a likvidačních prací Z a potřeba koordinace K jsou brány na „stejně matematické úrovni“, protože je můžeme sečíst, aniž bychom je podrobili úpravě. To ale neplatí pro kritéria pravděpodobnost vzniku MU P, době trvání T a predikci Pr.

Vezměme tedy součet kritérií O, S, B, D, C, Z a K jako jeden souhrnný vstup. Obdobně mějme P jako druhý vstup, Pr třetí vstup a T čtvrtý vstup. Výsledkem je opět míra rizika MR.

Pravděpodobnost vzniku MU P - (procento vzniku je vyjádřeno ročně; 1x za rok = 100%), dále jako **VyskytJevu**. Pro zjednodušení je přidán první sloupec obsahující konstanty, které zadáme do definice funkce příslušnosti. Druhé dva pak vycházejí ze základního znění expertního odhadu.

5	200	dvakrát ročně	V
4	100	jedenkrát ročně	V
3	10	každých 10 let	S
2	4	každých 25 let	S
1	2	každých 50 let	M
0	1	každých 100 let	M

Předpověď Pr - **Predikce** (odhad budoucího možného vzniku; stanovuje se již od prvního zjištěného projevu)

1	méně než 1 hodina	M
2	1 hodina až 1 den	M
3	1 den až 1 měsíc	S
4	1 měsíc až 1 rok	V
5	více než jeden rok	V

Doba trvání T - **DobaTrvani** (celková doba od prvotního projevu až do času, kdy došlo k znovuoobnovení základních služeb)

1	méně než 1 hodina	M
2	1 hodina až 1 den	M
3	1 den až 1 měsíc	S
4	1 měsíc až 1 rok	V
5	více než 1 rok	V

**Ostatni** - tvoří součet všech zbylých kritérií (O, S, B, D, K, Z, S). Druhý sloupec obsahuje součet konstant z tabulek postupu expertního odhadu. Minimální součet, který je možno získat je 2, maximální (nesoucí nejvyšší MR) je 26.

2 - 8	M
9 - 17	S
18 - 26	V

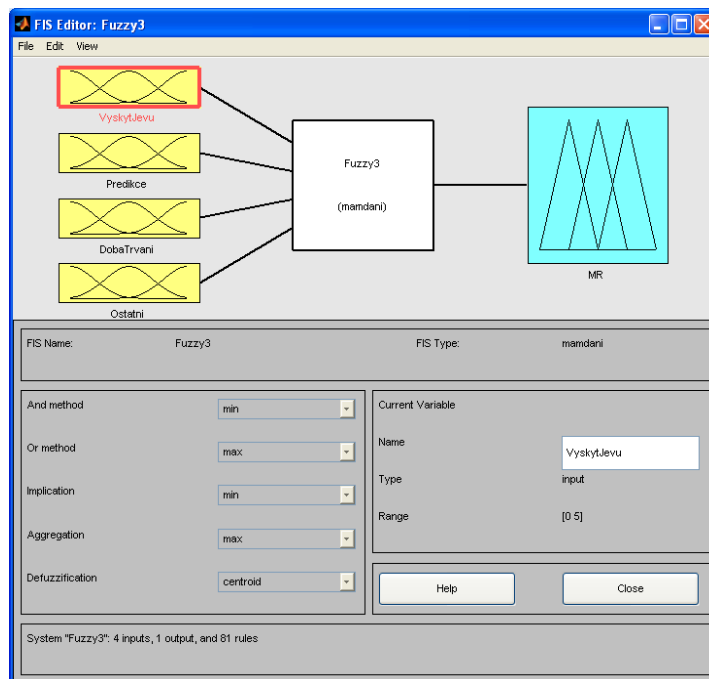
Míra rizika - **MR**

0	malá událost	M
1	první stupeň poplachu	M
2	druhý stupeň poplachu	S
3	třetí stupeň poplachu	V
4	katastrofa	V

Inferenční pravidla ponecháme z předchozího modelování v MATLAB-u.

### Modelování v MATLAB-u:

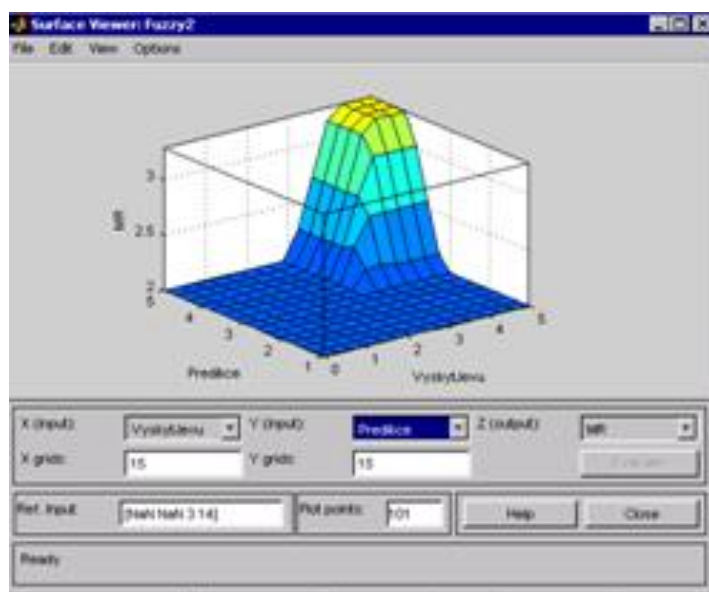
V editoru fuzzy inferenčního systému (FIS) nastavíme opět čtyři vstupy a jeden výstup, stejným způsobem vše přejmenujeme, zadáme fuzzy množiny a jejich popisky (Mx, Sx, Vx), nadefinujeme funkce příslušnosti a práci uložíme pod názvem Fuzzy2.



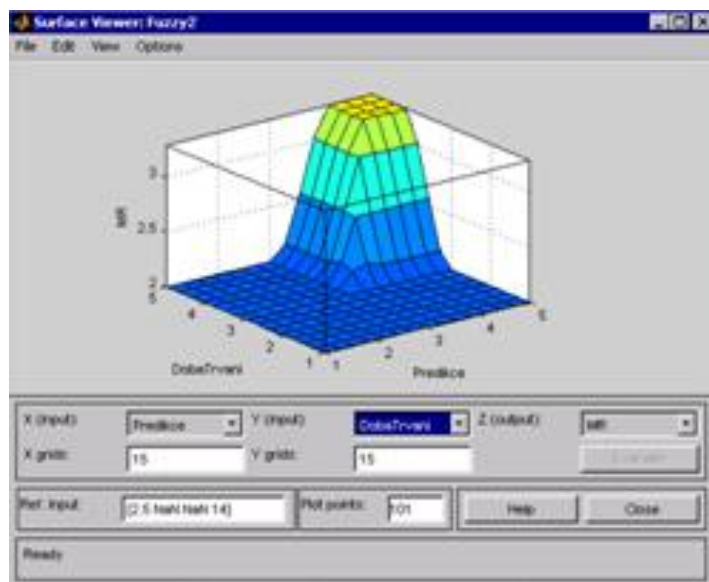
**Obrázek 3.18 Práce se vstupy a výstupem**

Následující definování jednotlivých funkcí příslušnosti viz Příloha 10.

Výsledné zobrazení vstupně-výstupních závislostí View -> Surface:



**Obrázek 3.19 Grafické znázornění kombinace vstupů VyskytJevu a Predikce**



**Obrázek 3.20 Grafické znázornění kombinace vstupů Predikce a DobaTrvani**

### Shrnutí

Podle grafického zobrazení víme, že kombinace zvolených vstupů, logických pravidel a výstupů je v pořádku a proto je model „Fuzzy2“ úspěšný. Na základě neveřejného dokumentu „Příl.A.02.02-Souhrnná analýza“, poskytnutého HZS Královéhradeckého kraje<sup>27</sup> bylo provedeno porovnání, zda vyhodnocení MR výpočetní inteligencí proběhlo shodně jako práce expertů HZS. Jelikož se nejedná o celkové zhodnocení rizika vůči obyvatelům kraje, byl celkový počet 46 analyzovaných MU (z „Příl.A.02.02-Souhrnná analýza“) porovnáván pouze zčásti, která odpovídá výsledkům metody expertního odhadu (tedy určení MR). Následné zpracování těchto výsledků nebylo bráno v potaz (pro tuto diplomovou práci již nebylo potřebné). Aby byly MR z obou metod vůbec porovnatelné, bylo nutné rozdělit výsledky expertního odhadu do třech rozmezí M, S a V. Po konzultaci byla hranice stanovena na: M  $\langle 90;250 \rangle$ ,  $\langle 251-168\ 000 \rangle$ ,  $\langle 168\ 000; \infty \rangle$ .

**Vyhodnocení MR se shodovalo v 39 případech ze 46, tzn. v 84,48%.<sup>28</sup>**

### 3.3.1.3 MODEL Fuzzy3

Třetí model je tvořen kombinací deseti kritérií shrnutých do 4 vstupů jako v modelu Fuzzy2, ale inferenční pravidla jsou zcela jiná. *Tato pravidla byla sestavena za pomoci mezi výpočtů*

<sup>27</sup> Tento dokument je k nahlédnutí pouze na vyžádání.

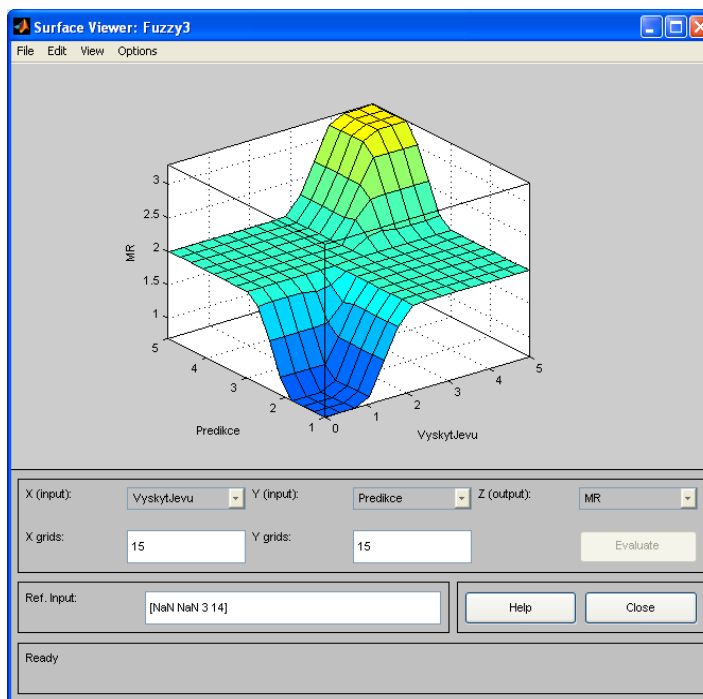
<sup>28</sup> Některá vyhodnocení mají stejnou MR, celkově se tak v porovnání neshodla 4 pravidla.



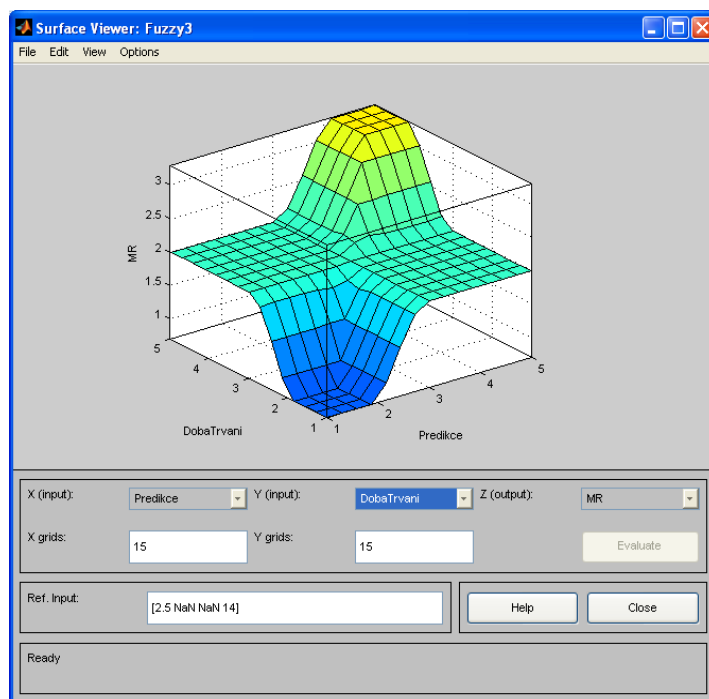
pro každou kombinaci. Např.: M a V a M a M, potom MR je (M=1,S=2, V=3)  $1+1+3+1 = 6$ . Tyto propočty byly zvoleny z důvodu podchycení maximální logičnosti vstupně-výstupních závislostí, seřazení je vzestupné. Seznam všech pravidel pro model „Fuzzy3“ viz Příloha 11.

Pravidlo	VyskytJevu	Predikce	DobaTrvani	Ostatni	MR
1	M	M	M	M	M
2	M	M	S	M	M
3	M	S	M	M	M
4	S	M	M	M	M
5	M	M	M	S	M
6	V	M	M	M	M
7	M	V	M	M	M
8	M	M	V	M	M
9	M	M	M	V	M
10	...	....	...	...	...

Výsledné zobrazení vstupně-výstupních závislostí:



**Obrázek 3.21 Grafické znázornění kombinace vstupů VyskytJevu a Predikce**



**Obrázek 3.22 Grafické znázornění kombinace vstupů Predikce a DobaTrvani**

### Shrnutí

Na základě grafického zobrazení vidíme, že i model „Fuzzy3“ je úspěšný. Následně bylo provedeno opět porovnání výsledků s dokumentem „Příl.A.02.02-Souhrnná analýza“, tedy s oficiálním vyhodnocením MR v Královéhradeckém kraji. Z celkového počtu stejných 46 analyzovaných MU se **model „Fuzzy3“ shoduje pouze ve 34 případech. Úspěšnost je tímto stanovena na 73,91%.**<sup>29</sup>

### SHRNUTÍ KAPITOLY 3.3

Praktické modelování v MATLAB-u jednoznačně prokázalo, že stavět filosofii na čtyřech vstupech z deseti je nedostačující, ačkoliv jsou ze všech považovány za nejdůležitější. Jestliže má být proveden návrh modelu výpočetní inteligence, jež stojí na základech postupu expertního odhadu, je nutné zahrnout všechna kritéria jako vstupy do daného modelování. Výsledkem může být mnoho úspěšných modelů, záleží však na přidaných pravidlech. V kapitole 3.3 byly oba modely provedeny s jiným složením logických pravidel. Rozdíl je patrný při konečném porovnání výsledků hodnocení míry rizika postupem HZS - „Fuzzy2“ je úspěšný téměř z 85% a „Fuzzy3“ z pouhých 74%. Je tedy možno tvrdit, že tato práce erudovaných pracovníků Hasičského záchranného sboru je nahraditelná umělou inteligencí. Otázkou však zůstává, do jaké míry ji lze v tak ošemetné/málo předvídatelné skutečnosti, jako je výskyt MU, zavést.

<sup>29</sup> Některá vyhodnocení mají stejnou MR, celkově se tak v porovnání neshodlo 6 pravidel.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provedení analýzy vybraných rizik regionu za pomoci metod výpočetní inteligence a vícekriteriálního hodnocení. Tento cíl byl splněn s ohledem na proces analýzy rizik používaných v praxi, konkrétně v Královéhradeckém kraji. Současné řešení analýzy bylo obohaceno o návrhy na vylepšení (nahrazení) těchto postupů za pomoci známých metod vícekriteriálního rozhodování a výpočetní inteligence.

Vše bylo provedeno na jediném modelovém příkladě, přičemž byly vysloveny dva záměry testování:

- jestliže se budou závěry jednotlivých výpočtů shodovat s výsledky expertního odhadu, je možné tvrdit, že práce lidského myšlení (používaná při sestavování expertního odhadu) je nahraditelná známými výpočetními modely;
- jestliže bude předchozí bod platný, do jaké míry bude platit v rámci analýzy pro celý kraj.

V kapitole 3 byl tento modelový příklad podroben nejprve expertnímu odhadu, který je využíván v praxi, poté návrhům na nahrazení aditivní metodou parciálních užitků, lexikografickou metodou vícekriteriálního rozhodování a modelům výpočetní (fuzzy) inteligence. Aby bylo možné mezi s sebou porovnávat veškeré výpočty, veličinou výsledků byla stanovena míra rizika (MR).

Vyhodnocením míry rizika expertním odhadem Královéhradeckého kraje jsme zjistili, že únik chloru v množství 1,2t je významná událost, která vyžaduje vyhlášení třetího stupně poplachu. Míra rizika i míra korigovaného rizika je spočtena na 300 (nebyla identifikována žádná následná havárie).

„Jelikož je metoda expertních odhadů založena na stanovování jednotlivých ukazatelů na základě zkušeností a statistických údajů týmem expertů, je velmi těžké provést srovnání mezi různými okresy. Každý expertní tým je ovlivněn množstvím vnějších faktorů, jejichž existence je dána historii dané oblasti. Lze však z výsledků usoudit, která oblast je týmem považována za více, či méně rizikovou. Různá budou pouze měřítka, v nichž se bude výsledná míra rizika pohybovat.“ [25]

Při aditivní metodě parciálních užitků jsme k základnímu znění modelového příkladu zavedli další 3 alternativní scénáře s cílem zjistit, zda tento model pracuje správně a jestli jej bude

možno nahradit v druhé části procesu expertního odhadu. Bylo provedeno 6 pokusů nahrazení, které se lišily jen kombinací důležitosti kritérií a velikostí jejich vah. Tyto váhy byly vypočteny pomocí Saatyho metody párového porovnání.

**Ve třech případech ze šesti nebylo dosaženo kýženého cíle, a to při práci s vahami stanovenými jak HZS, tak vlastním úsudkem a vahami sestavených dle názoru expertů HZS podrobenými ještě navíc metodě Saatyho párovému porovnání s 9 poměrovými body, jehož úkolem je zjistit pro každé kritérium počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. Odchylky ve výsledcích však byly minimální.**

Dá se říci, že ani změna pořadí důležitosti kritérií neměla výrazný vliv na výsledné pořadí scénářů podle míry rizika. **Všechny použité metody v rámci procesu vyhodnocení míry rizika jsou použitelné v praxi, je ale nutno podotknout, že se liší svou přesností. Nejlépe vyhodnotily míru rizika<sup>30</sup> výpočty - váhy seřazené dle subjektivního úsudku, zpřesněné Saatyho porovnáním kritérií s 5 a 9 poměrovými body.**

V rámci lexikografické metody bylo dosaženo stejného pořadí scénářů MU podle míry rizika, jako u expertní analýzy. Tato metoda je ale příliš hrubá, aby sloužila k vyhodnocení míry rizik pro všechna uvedená rizika kraje.

V poslední fázi byla míra rizika vyhodnocována výpočetní inteligencí, konkrétně fuzzy modelováním. Praktické modelování v MATLAB-u jednoznačně prokázalo, že stavět filosofii výpočtů na čtyřech vstupech z deseti je nedostačující, ačkoliv jsou ze všech považovány za nejdůležitější. Jestliže má být proveden návrh modelu výpočetní inteligence, jež stojí na základech postupu expertního odhadu, je nutné zahrnout všechna kritéria jako vstupy do daného modelování. Výsledkem může být mnoho úspěšných modelů, záleží však na přidání pravidel. V kapitole 3.3 byly oba modely provedeny s jiným složením logických pravidel. Rozdíl je patrný při konečném porovnání výsledků hodnocení míry rizika postupem HZS - „Fuzzy2“ je úspěšný téměř z 85% a „Fuzzy3“ z pouhých 74%.

Je tedy možno tvrdit, že práce erudovaných pracovníků Hasičského záchranného sboru je nahraditelná. Otázkou však zůstává, do jaké míry ji lze zavést v tak málo předvídatelné skutečnosti, jako je výskyt hrozeb a jejich překlenutí se v mimořádnou událost.

---

<sup>30</sup> V porovnání s původními výpočty expertního odhadu.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Slovník spisovné češtiny: pro školu a veřejnost*. 2. vyd. Praha: Academia, Nakladatelství A V ČR, 2000. ISBN 80-200-0493-9.
- [2] ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ. *Slovník spisovného jazyka českého* [online]. 2011 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://ssjc.ujc.cas.cz/search.php?hledej=Hledat&heslo=hrozba&sti=EMPTY&where=hesla&hsubstr=no>.
- [3] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Informační servis* [online]. 2014 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/hrozba.aspx>.
- [4] ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ. *Slovník spisovného jazyka českého* [online]. 2011 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://ssjc.ujc.cas.cz/search.php?hledej=Hledat&heslo=riziko&sti=EMPTY&where=hesla&hsubstr=no>.
- [5] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Informační servis* [online]. 2014 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/riziko.aspx>.
- [6] ÚSTAV PRO JAZYK ČESKÝ. *Slovník spisovného jazyka českého* [online]. 2011 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://ssjc.ujc.cas.cz/search.php?hledej=Hledat&heslo=nebezpe%C4%8D%C3%AD&sti=EMPTY&where=hesla&hsubstr=no>.
- [7] TICHÝ, Milík. *Definice rizika* [online]. Brno [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CEMQFjAE&url=http%3A%2F%2Ftirisk.sweb.cz%2Fdefinice\\_rizika\\_Brno\\_120517.pptx&ei=CltZUr\\_eEMzbsgbM\\_4GADA&usg=AFQjCNG50p48ANaIyfRFZly62f9XpQ1HQA&bvm=bv.53899372,d.Yms&cad=rja](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CEMQFjAE&url=http%3A%2F%2Ftirisk.sweb.cz%2Fdefinice_rizika_Brno_120517.pptx&ei=CltZUr_eEMzbsgbM_4GADA&usg=AFQjCNG50p48ANaIyfRFZly62f9XpQ1HQA&bvm=bv.53899372,d.Yms&cad=rja).
- [8] LINHART, Petr a Radim ROUDNÝ. UNIVERZITA PARDUBICE. *Ochrana obyvatelstva a terorismus*. Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-165-8.
- [9] BABINEC, F. SLEZSKÁ UNIVERZITA V OPAVĚ. *Management rizika: učební text* [online]. Opava [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://www.slu.cz/math/cz/knihovna/ucebni-texty/Analyza-rizik/Analyza-rizik-1.pdf>.
- [10] JANURA, J. Ing. HZS Královéhradeckého kraje.
- [11] ZÁKLADY MEDICÍNY KATASTROF. *Ochrana obyvatelstva v České republice* [online]. [cit. 2014-02-27]. Dostupné z: <http://zsf.sirdik.org/kapitola3/3-1-1-ochrana-obyvatelstva-v-ceske-republice>.

- [12] WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. *Ženevské úmluvy* [online]. [cit. 2014-02-27].  
Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDenevsk%C3%A9\\_%C3%BAmluvy](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDenevsk%C3%A9_%C3%BAmluvy).
- [13] VLÁDA ČR. *Předpis č. 462/2000 Sb.: Nařízení vlády k provedení § 27 odst. 8 a § 28 odst. 5 zákona č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon)*. Účinnost od 01.01.2001. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-462>.
- [14] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Informační servis* [online]. 2014 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/Bmeg7ThsH7Bm4YYL>.
- [15] UJEC, V. HZS KRÁLOVÉHRADECKÉHO KRAJE. *Analýza vzniku mimořádných událostí.ppt*.
- [16] HZS MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE. *Krizové řízení a CNP* [online]. [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/vnejsi-havarijní-plany.aspx>.
- [17] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metodiky hodnocení rizik* [online]. Časopis 112. 2004 [cit. 2014-03-7]. Dostupné z: [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.movoz.cz%2Fdownload%2Fmetud.doc&ei=TeU2U7H7CY3e7Aa2oYCQBg&usg=AFQjCNHRQPvLREJwxg0pxm3hoWp6K2z3\\_Q&bvm=bv.63808443,d.ZGU](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.movoz.cz%2Fdownload%2Fmetud.doc&ei=TeU2U7H7CY3e7Aa2oYCQBg&usg=AFQjCNHRQPvLREJwxg0pxm3hoWp6K2z3_Q&bvm=bv.63808443,d.ZGU).
- [18] VALÁŠEK, J.; KOVÁŘÍK, F. a kolektiv autorů: *Krizové řízení při nevojenských krizových situacích - modul C*, Ministerstvo vnitra - Generální ředitelství HZS ČR, Praha 2008, ISBN 987-80-86640-93-8.
- [19] NEVRLÝ, V.: *Srovnání metod pro hodnocení závažných havárií*, diplomová práce, Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava, 2004.
- [20] BERNARTÍK, A.; NEVRLÁ, P.: *Vliv havárií na životní prostředí*, Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, Ostrava 2005, ISBN: 80-86634-46-9.
- [21] KRÖMER, A.; MUSIAL P.; FOLWARCZNY, L. SDRUŽENÍ POŽÁRNÍHO A BEZPEČNOSTNÍHO INŽENÝRSTVÍ. *Mapování rizik*. SPBI SPEKTRUM, 68. ISBN 987-80-7385-086-9.
- [22] BUMBA, J.; KELNAR, L.; SLUKA, V.: *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik*. Praha, 2000. Výzkumný ústav bezpečnosti práce.
- [23] ROUDNÝ, R.; LINHART, P.: UNIVERZITA PARDUBICE. *Krizový management III.: Teorie a praxe rizika*. Pardubice, 2008.

- [24] MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY. *Vyhláška Ministerstva vnitra ze dne 5. září 2001 č. 328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému*. Dostupné z: <http://www.zachrannasluzba.cz/zakony/328.htm>.
- [25] SLEZÁK, O., Dis. HZS Královéhradeckého kraje.
- [26] ROUDNÝ, R.; RYBAŠOVÁ, M.: UNIVERZITA PARDUBICE. *Rozhodování - příklady I., hodnocení variant: pro kombinovanou formu studia*. Pardubice, 2007.
- [27] POKORNÝ, J.: *Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu*. Pardubice, 2010. Disertační práce. Univerzita Pardubice.
- [28] NOVÁK, Vilém. OSTRAVASKÁ UNIVERZITA, Ústav pro výzkum a aplikace fuzzy modelování. *Základy fuzzy modelování*. Ostrava: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-7300-009-1.
- [29] WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. *Umělá inteligence* [online]. [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Um%C4%9Bl%C3%A1\\_inteligence](http://cs.wikipedia.org/wiki/Um%C4%9Bl%C3%A1_inteligence).
- [30] JURA, P. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. Brno: VUTIUM, 2003. ISBN 80-216-2261-0.
- [31] DOSTÁL, P.; RAIS, K.; SOJKA Z.: *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 80-247-1338-1.
- [32] KŘUPKA, J.; KAŠPAROVÁ, M.; MÁCHOVÁ, R.: *Vícekritériální rozhodování: Metody stanovení vah kriterií* [online]. 2011 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.rozhodovaciprocesy.cz/vicekriterialni-rozhodovani/2-1-metody-stanoveni-vah-kriterii.html>.
- [33] KŘUPKA, J.: UNIVERZITA PARDUBICE. *Teorie systémů I.: pro kombinovanou formu studia*. Pardubice, 2007.
- [34] ROUDNÝ, R.; VÍŠEK, O.: UNIVERZITA PARDUBICE. *ZÁKLADY MANAŽERSKÉHO ROZHODOVÁNÍ: Distanční opora*. Pardubice, 2009.

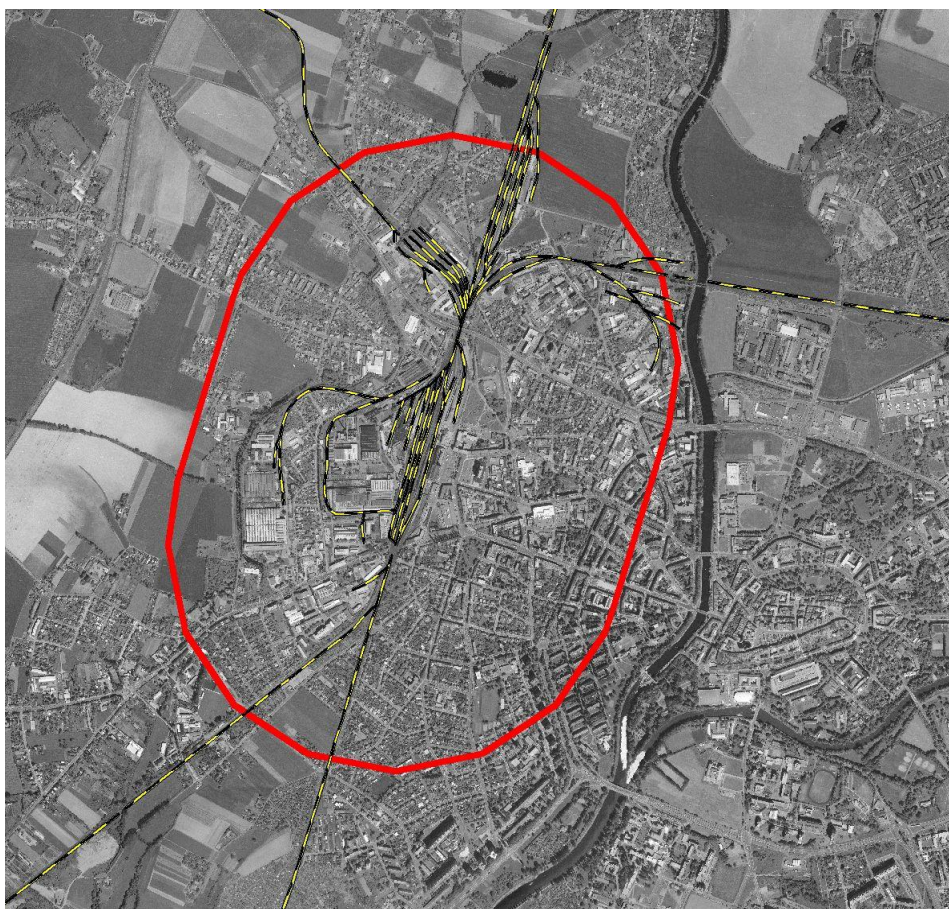
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Zóna ohrožení Českých drah - stanice Hradec Králové hl. n.
- Příloha 2 Zóna ohrožení Agricol s. r.o.
- Příloha 3 Zóna ohrožení Bohemilk a.s.
- Příloha 4 Zóna ohrožení Pivovar Krakonoš spol. s.r.o.
- Příloha 5 Zóna ohrožení Pivovaru Náchod
- Příloha 6 Mezivýpočty pro NÁVRH 4,  
„VÁHY STANOVENY SAATYHO METODOU S 5 POMĚROVÝMI  
BODY, pořadí důležitosti dle subjektivního úsudku“
- Příloha 7 Mezivýpočty pro NÁVRH 5,  
„VÁHY STANOVENY SAATYHO METODOU S 9 POMĚROVÝMI  
BODY, pořadí důležitosti zachováno dle HZS“
- Příloha 8 Mezivýpočty pro NÁVRH 6,  
„VÁHY STANOVENY SAATYHO METODOU S 9 POMĚROVÝMI  
BODY, pořadí důležitosti dle subjektivního úsudku“
- Příloha 9 Seznam inferenčních pravidel modelu „Fuzzy1“ a „Fuzzy2“
- Příloha 10 Definice funkcí příslušnosti pro model „Fuzzy2“
- Příloha 11 Seznam inferenčních pravidel modelu „Fuzzy3“



## Příloha 1

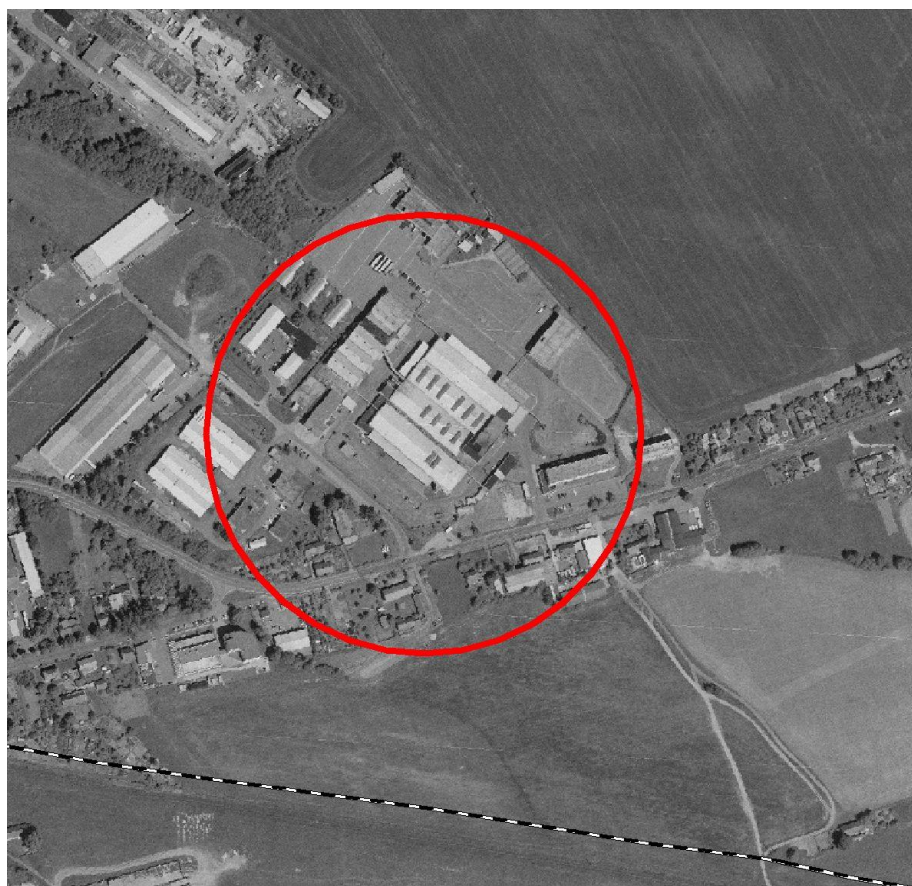
**České dráhy** - hlavní nádraží Hradec Králové, škodlivá látka je amoniak (čpavek), jedná se o přepravu nebezpečného zboží po železnici v cisternách, celkové množství této látky je zaznamenáno na 30t, počet ohrožených osob v objektech je 2374, celkový počet potenciálně zasažených je 7574 osob. Zóna ohrožení oblasti po směru přízemního větru je předpokládána na 400m. Mimo obytné prostory a kanceláří mohou být zasaženy i objekty VČE (Východočeské plynárenské), Depo ČD, ZVÚ a.s. (Strojírenská výrobní hala), prodejny v Habrmanově ulici, sklady na Pražském Předměstí, Česká pošta a Zdravotnické středisko na Gočárově třídě.



**Obrázek 4.1 Zóna ohrožení, hlavní nádraží Hradec Králové**

## Příloha 2

**Agricol s.r.o.** - na Slezském Předměstí; skladovanou látkou je taktéž amoniak v množství 3t. Společnost využívá čpavek v chladicích zařízeních pro skladování vajec, mléka a mléčných výrobků. Počet ohrožených osob v bezprostřední blízkosti - zaměstnanci je 12. Havarijní plán stanovuje okruh 200m, počet zasažených osob v případě výronu nebezpečné látky je stanoven na 90 (počet osob je odhadován ve špičce). Pravděpodobnost vzniku je v plánu uvedena jako malá. Záchranné likvidační práce jsou obdobné jako v případě výronu čpavku na zimním stadionu. Jelikož se společnost nachází na okraji městské zástavby, bude uzavření ulic a omezení dopravy v menší míře v porovnání s hlavním nádražím. Uzavřena bude dle havarijního plánu pouze ulice Kladská a další přilehlé ulice a prostory. Nepředpokládá se, že by tato mimořádná situace překročila hranice kraje.



**Obrázek 4.2 Zóna ohrožení, Agricol s.r.o. Hradec Králové**



### Příloha 3

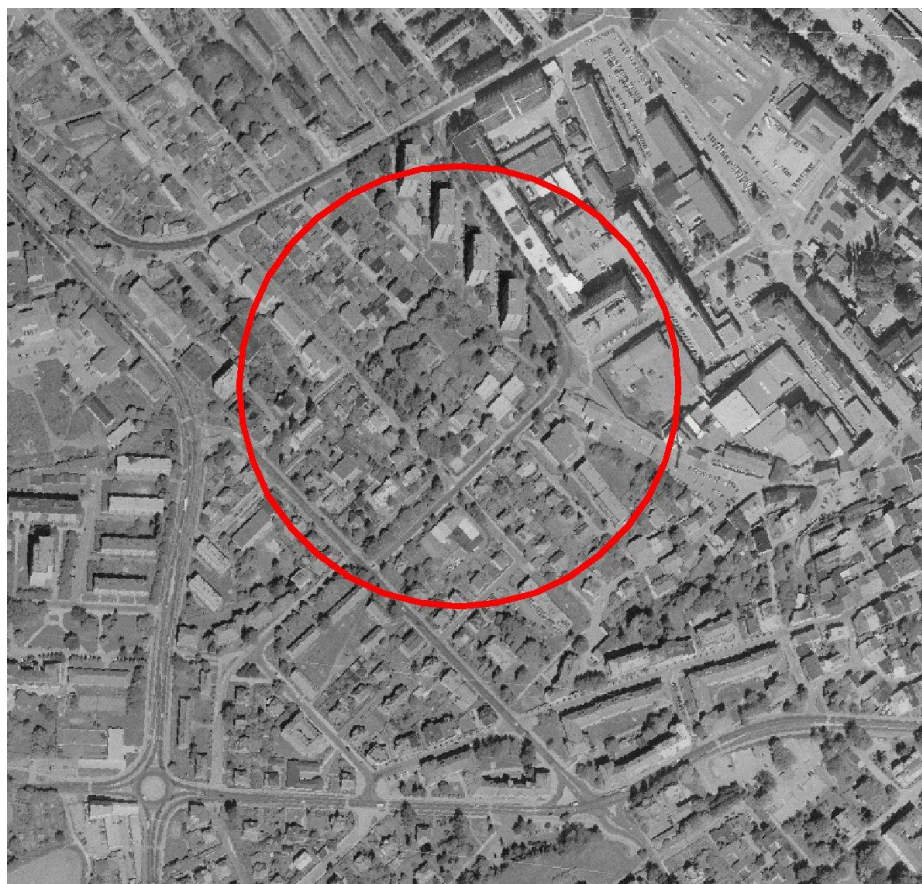
**Bohemilk a.s.** - v Opočně pod Orlickými horami, společnost v roce 2006 odkoupila areál bývalé mlékárny Friesland ČR a.s. Firma se taktéž věnuje výrobou mléka mléčných výrobků. Potenciální možnost mimořádné události je taktéž výron čpavku. BOHEMILK a.s. využívá 7 tun této látky jako součást chladících zařízení. Maximální počet ohrožených osob ve špičce je 281, z nichž přímo v objektu je potenciálně ohroženo 100 osob. Zóna havarijního plánování je stanovena na 200m. Předpokládané škody, likvidační, záchranné práce a asanační opatření se nijak neliší od výčtu v bodě o zimním stadionu. V blízkosti objektu je ohrožena pouze bytová zástavba.



**Obrázek 4.3 Zóna ohrožení, Mlékárna BOHEMILK, a.s. Opočno**

## Příloha 4

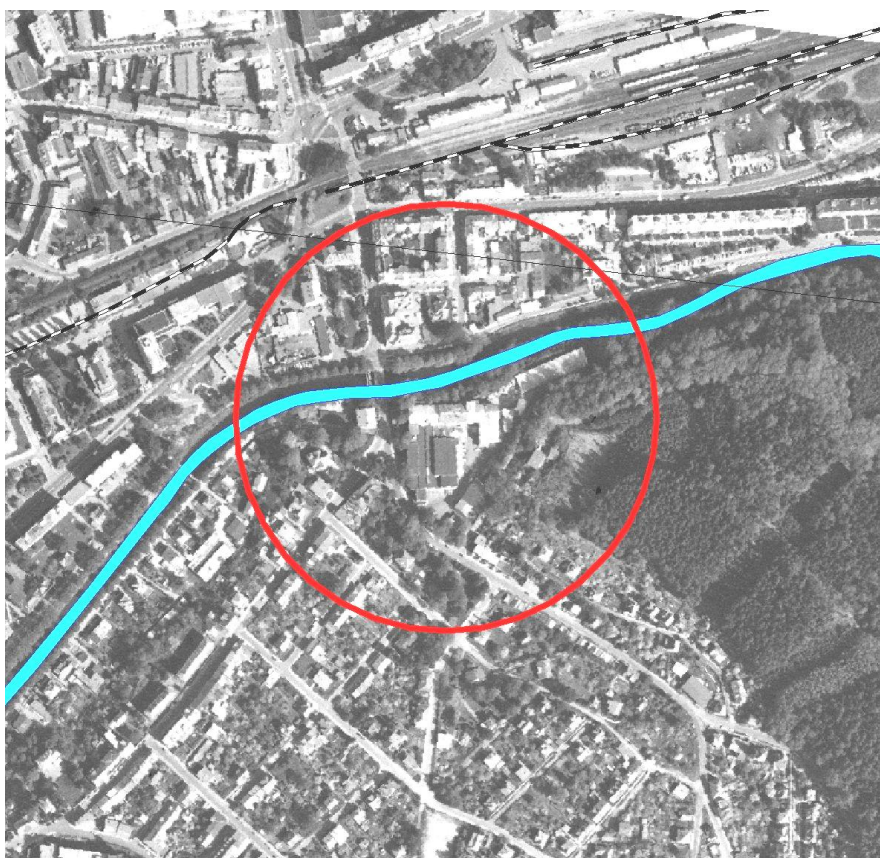
**Pivovar Krakonoš spol. s.r.o.** - nebezpečná látka je amoniak v celkovém množství 1,35 tuny, skladovaná za účelem chlazení piva v chladicích zařízeních. Počet ohrožených je stanoven na 423 osob. Tento počet je jako v předchozích příkladech uveden v rámci zóny havarijního plánování. Pro pivovar je počítána v okruhu 200m. Předpokládané škody, likvidační, záchranné práce a asanační opatření se nijak neliší od výčtu v bodě o zimním stadionu. V blízkosti objektu je ohrožena kromě bytové zástavby také Domov důchodců s cca 60 obyvateli.



**Obrázek 4.4 Zóna ohrožení, pivovar Krakonoš spol. s.r.o. Trutnov**

## Příloha 5

**Pivovar Náchod a.s.** - skladovanou látkou je rovněž čpavek, množství 10 tun. Ohrožení života a zdraví osob je v oblasti po směru přízemního větru ve městě Náchod. Zóna havarijního plánování je stanovena na 200m okolo středu - ulice Dobrošovské, celkový počet potenciálně ohrožených osob čítá odhadu 730. Zasažení se týká nejen bytové zástavby, ale i Okresního ředitelství Policie České republiky s cca 100 osobami a mateřská škola s kapacitou 50 osob.



**Obrázek 4.5 Zóna ohrožení, pivovar Náchod a.s.**

## Příloha 6

Saatyho metoda porovnání kritérií:

		Kritéria										Geometrický průměr	Normované hodnoty
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10		
Kritéria	K <sub>1</sub>	1	1/3	3	3	9	3	5	9	5	7	3,2402	0,2056
	K <sub>2</sub>	3	1	3	3	9	3	5	9	5	7	4,0365	0,2561
	K <sub>3</sub>	1/3	1/3	1	3	9	3	5	9	5	7	2,6011	0,1650
	K <sub>4</sub>	1/3	1/3	1/3	1	9	3	5	9	5	7	2,0880	0,1325
	K <sub>5</sub>	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1/9	1/5	3	1/5	1/3	0,2416	0,0153
	K <sub>6</sub>	1/3	1/3	1/3	1/3	9	1	3	9	3	5	1,4633	0,0928
	K <sub>7</sub>	1/5	1/5	1/5	1/5	5	1/3	1	7	3	3	0,8366	0,0531
	K <sub>8</sub>	1/9	1/9	1/9	1/9	1/3	1/9	1/7	1	1/7	1/5	0,1723	0,0109
	K <sub>9</sub>	1/5	1/5	1/5	1/5	5	1/3	1/3	7	1	3	0,6716	0,0426
	K <sub>10</sub>	1/7	1/7	1/7	1/7	3	1/5	1/3	5	1/3	1	0,4114	0,0261
		Σ										15,7625	1

Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
0,206	0,256	0,165	0,132	0,015	0,093	0,053	0,011	0,043	0,026

Normalizace matice kritérií dle vzorce (3-2):

	U <sub>i1</sub>	U <sub>i2</sub>	U <sub>i3</sub>	U <sub>i4</sub>	U <sub>i5</sub>	U <sub>i6</sub>	U <sub>i7</sub>	U <sub>i8</sub>	U <sub>i9</sub>	U <sub>i10</sub>
U <sub>1j</sub>	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>2j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>3j</sub>	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
U <sub>4j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50

Výpočet váženého součtu dle vzorce (3-3):

v <sub>1</sub> *U <sub>i1</sub>	v <sub>2</sub> *U <sub>i2</sub>	v <sub>3</sub> *U <sub>i3</sub>	v <sub>4</sub> *U <sub>i4</sub>	v <sub>5</sub> *U <sub>i5</sub>	v <sub>6</sub> *U <sub>i6</sub>	v <sub>7</sub> *U <sub>i7</sub>	v <sub>8</sub> *U <sub>i8</sub>	v <sub>9</sub> *U <sub>i9</sub>	v <sub>10</sub> *U <sub>i10</sub>	Vážený součet
0,2055	0,2560	0,0825	0	0	0,0928	0	0	0	0	0,431



0	0	0	0,0662	0	0	0,0530	0	0	0	0,119
0,2034	0,2560	0,1650	0,1324	0,0153	0	0,0530	0	0,0426	0,02609	0,691
0	0	0	0,0662	0,0153	0	0,0530	0,0109	0	0,01304	0,159

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem <sup>31</sup>
A	6,954	300
<b>B</b>	<b>16,763</b>	<b>22 500</b>
C	1,448	200
D	12,609	18 000

Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: **B, D, A, C**.

---

<sup>31</sup> Tento sloupec je pro všechny následující příklady stejný, neboť se ve vzorci 2-1 (expertního odhadu) nepočítá s vahami kritérií, ale jen s konstantami scénářů, které jsou neměnné.

## Příloha 7

Saatyho porovnání kritérií:

		Kritéria										Geometrický průměr	Normované hodnoty
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10		
Kritéria	K <sub>1</sub>	1	5	3	6	6	9	9	9	7	7	5,3522	0,3499
	K <sub>2</sub>	1/5	1	1/3	2	2	5	5	5	3	3	1,7689	0,1156
	K <sub>3</sub>	1/3	3	1	4	4	7	7	7	5	5	3,2639	0,2134
	K <sub>4</sub>	1/6	1/2	1/4	1	1	4	4	4	2	2	1,1822	0,0773
	K <sub>5</sub>	1/6	1/2	1/4	1	1	4	4	4	2	2	1,1822	0,0773
	K <sub>6</sub>	1/9	1/5	1/7	1/4	1/4	1	1	1	1/3	1/3	0,3422	0,0224
	K <sub>7</sub>	1/9	1/5	1/7	1/4	1/4	1	1	1	1/3	1/3	0,3422	0,0224
	K <sub>8</sub>	1/9	1/5	1/7	1/4	1/4	1	1	1	1/3	1/3	0,3422	0,0224
	K <sub>9</sub>	1/7	1/3	1/5	1/2	1/2	3	3	3	1	1	0,7600	0,0497
	K <sub>10</sub>	1/7	1/3	1/5	1/2	1/2	3	3	3	1	1	0,7600	0,0497
		$\Sigma$										15,2962	1

Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
0,3499	0,1156	0,2134	0,0773	0,0773	0,0224	0,0224	0,0224	0,0497	0,0497

Matice kritérií pro následující výpočet míry rizika variant scénářů aditivní metodou:

Varianty	Kritérium	Pravděpodobnost	Predikce	Doba trvání	Ohrožení					Potřeba sil a prostředků		Zařazení MU do kategorie
					Obyvatel	Plochy	Budovy a obce	Dopravní prostředky	Chov zvířat	Záchranné a likvidační práce	Koordinace složek	
	Váhy	0,35	0,116	0,213	0,077	0,077	0,022	0,022	0,022	0,050	0,050	x
A		1	1	2	4	3	0	2	1	2	3	3
B		100	2	3	3	3	2	1	1	2	3	2



	C	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
	D	100	2	3	3	2	2	1	0	2	2	2
	Horní hranice	100	2	3	4	3	2	2	1	2	3	x
	Dolní hranice	1	1	1	2	2	0	1	0	1	1	x

Normalizace matice kritérií dle vzorce (3-2):

	$U_{i1}$	$U_{i2}$	$U_{i3}$	$U_{i4}$	$U_{i5}$	$U_{i6}$	$U_{i7}$	$U_{i8}$	$U_{i9}$	$U_{i10}$
$U_{1j}$	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$U_{2j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
$U_{3j}$	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
$U_{4j}$	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50

Výpočet váženého součtu dle vzorce (3-3):

$v_1*U_{i1}$	$v_2*U_{i2}$	$v_3*U_{i3}$	$v_4*U_{i4}$	$v_5*U_{i5}$	$v_6*U_{i6}$	$v_7*U_{i7}$	$v_8*U_{i8}$	$v_9*U_{i9}$	$v_{10}*U_{i10}$	Vážený součet
0,3499	0,1156	0,1067	0,0000	0,0000	0,0224	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,259
0,0000	0,0000	0,0000	0,0386	0,0000	0,0000	0,0224	0,0000	0,0000	0,0000	0,060
0,3464	0,1156	0,2134	0,0773	0,0773	0,0000	0,0224	0,0000	0,0497	0,0497	0,646
0,0000	0,0000	0,0000	0,0386	0,0773	0,0000	0,0224	0,0224	0,0000	0,0248	0,187

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	12,259	300
B	<b>32,777</b>	<b>22 500</b>
C	1,652	200
D	10,780	18 000

Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: **B, A, D, C.**

## Příloha 8

Saatyho porovnání kritérií:

		Kritéria										Geometrický průměr	Normované hodnoty
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10		
Kritéria	K1	1	1/2	2	3	8	3	5	9	6	7	3,2612	0,2030
	K2	2	1	3	4	9	4	6	9	7	8	4,3824	0,2728
	K3	1/2	1/3	1	2	8	3	5	9	6	7	2,6179	0,1629
	K4	1/3	1/4	1/2	1	8	2	4	9	5	6	1,9308	0,1202
	K5	1/8	1/9	1/8	1/8	1	1/8	1/6	3	1/6	1/4	0,2373	0,0148
	K6	1/3	1/4	1/3	1/2	8	1	4	9	5	6	1,6141	0,1005
	K7	1/5	1/6	1/5	1/4	6	1/4	1	7	2	4	0,8215	0,0511
	K8	1/9	1/9	1/9	1/9	1/3	1/9	1/7	1	1/6	1/5	0,1750	0,0109
	K9	1/6	1/7	1/6	1/5	6	1/5	1/2	6	1	3	0,6213	0,0387
	K10	1/7	1/8	1/7	1/6	4	1/6	1/4	5	1/3	1	0,4048	0,0252
		$\Sigma$										16,0662	1

Hodnoty vah pro jednotlivá kritéria jsou:

K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
0,2030	0,2728	0,1629	0,1202	0,0148	0,1005	0,0511	0,0109	0,0387	0,0252

Normalizace matice kritérií dle vzorce (3-2):

	U <sub>i1</sub>	U <sub>i2</sub>	U <sub>i3</sub>	U <sub>i4</sub>	U <sub>i5</sub>	U <sub>i6</sub>	U <sub>i7</sub>	U <sub>i8</sub>	U <sub>i9</sub>	U <sub>i10</sub>
U <sub>1j</sub>	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>2j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
U <sub>3j</sub>	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
U <sub>4j</sub>	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50

Výpočet váženého součtu dle vzorce (3-3):

v <sub>1</sub> *U <sub>i1</sub>	v <sub>2</sub> *U <sub>i2</sub>	v <sub>3</sub> *U <sub>i3</sub>	v <sub>4</sub> *U <sub>i4</sub>	v <sub>5</sub> *U <sub>i5</sub>	v <sub>6</sub> *U <sub>i6</sub>	v <sub>7</sub> *U <sub>i7</sub>	v <sub>8</sub> *U <sub>i8</sub>	v <sub>9</sub> *U <sub>i9</sub>	v <sub>10</sub> *U <sub>i10</sub>	Vážený součet
0,2029	0,2727	0,0814	0	0	0,1004	0	0	0	0	0,455
0	0	0	0,0600	0	0	0,0511	0	0	0	0,111
0,2009	0,2727	0,1629	0,1201	0,0147	0	0,0511	0	0,0386	0,02519	0,686
0	0	0	0,0600	0,0147	0	0,0511	0,0108	0	0,01259	0,149

Celková míra rizika (kategorie závažnosti MU (poplachu) / vážený součet):

Varianty	Míra rizika	Míra rizika expertním odhadem
A	6,598	300
B	<b>17,982</b>	<b>22 500</b>
C	1,458	200
D	13,380	18 000

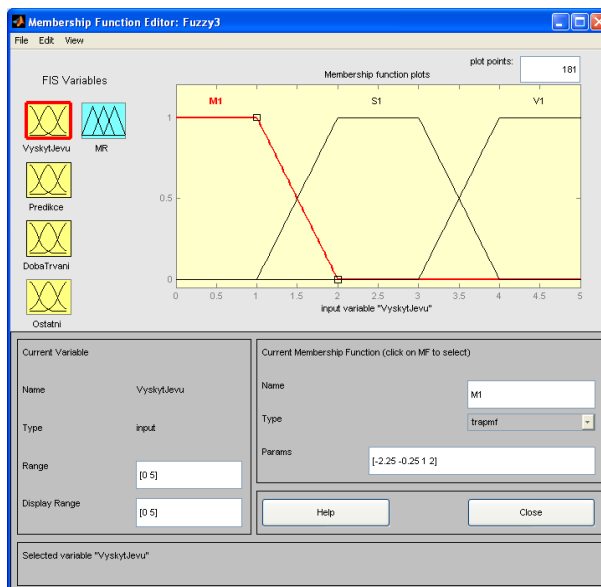
Pořadí variant scénářů sestupně dle míry rizika: **B, D, A, C.**



49. If (Obyv is V1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
50. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
51. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is V3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
52. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
53. If (Obyv is V1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is M4) then (MR is MRv) (1)
54. If (Obyv is M1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
55. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRv) (1)
56. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRv) (1)
57. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
58. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is S3) and (Koord is M4) then (MR is MRs) (1)
59. If (Obyv is M1) and (Plocha is S2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRs) (1)
60. If (Obyv is S1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is M4) then (MR is MRm) (1)
61. If (Obyv is S1) and (Plocha is M2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRm) (1)
62. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is S3) and (Koord is M4) then (MR is MRs) (1)
63. If (Obyv is M1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is S4) then (MR is MRs) (1)
64. If (Obyv is M1) and (Plocha is M2) and (Sily is S3) and (Koord is V4) then (MR is MRs) (1)
65. If (Obyv is V1) and (Plocha is S2) and (Sily is M3) and (Koord is M4) then (MR is MRm) (1)
66. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is M3) and (Koord is S4) then (MR is MRs) (1)
67. If (Obyv is S1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRs) (1)
68. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is S4) then (MR is MRs) (1)
69. If (Obyv is M1) and (Plocha is S2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRs) (1)
70. If (Obyv is V1) and (Plocha is S2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRs) (1)
71. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is S3) and (Koord is V4) then (MR is MRs) (1)
72. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is V3) and (Koord is S4) then (MR is MRv) (1)
73. If (Obyv is S1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is V4) then (MR is MRs) (1)
74. If (Obyv is V1) and (Plocha is V2) and (Sily is S3) and (Koord is M4) then (MR is MRs) (1)
75. If (Obyv is V1) and (Plocha is V2) and (Sily is M3) and (Koord is S4) then (MR is MRs) (1)
76. If (Obyv is S1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
77. If (Obyv is S1) and (Plocha is V2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRv) (1)
78. If (Obyv is M1) and (Plocha is V2) and (Sily is S3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
79. If (Obyv is M1) and (Plocha is S2) and (Sily is V3) and (Koord is V4) then (MR is MRv) (1)
80. If (Obyv is V1) and (Plocha is S2) and (Sily is V3) and (Koord is M4) then (MR is MRv) (1)
81. If (Obyv is V1) and (Plocha is M2) and (Sily is V3) and (Koord is S4) then (MR is MRv) (1)

**Obrázek 4.7 Inferenční pravidla 49-81**

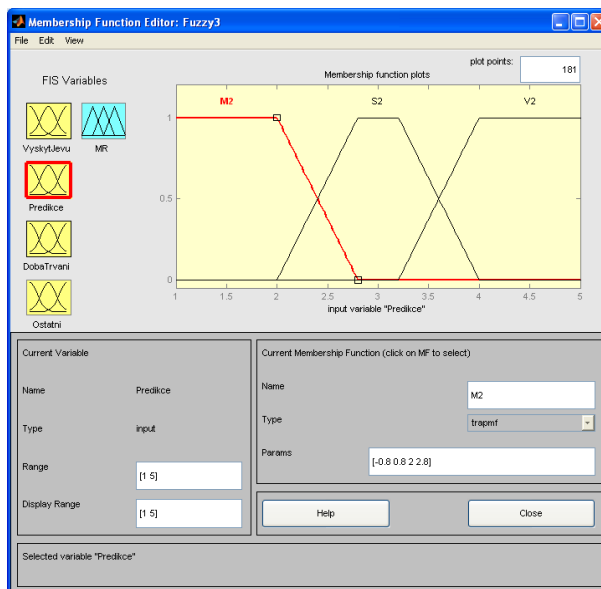
# Příloha 10



Obrázek 4.8 Definování funkcí příslušnosti, vstup VyskytJevu

Zadané hodnoty fuzzy množin M1, S1, V1 pro vstup VyskytJevu:

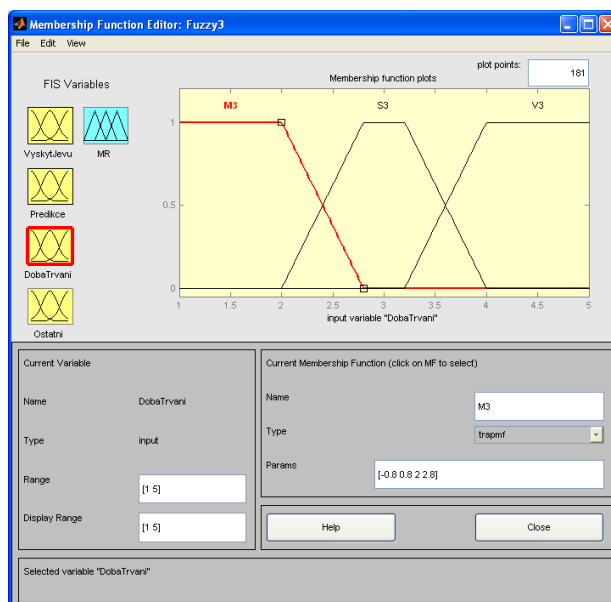
M1	-2,25	-0,25	1	2
S1	1	2	3	4
V1	3	4	5,25	7,25



Obrázek 4.9 Definování funkcí příslušnosti, vstup Predikce

Zadané hodnoty fuzzy množin M2, S2, V2 pro vstup Predikce:

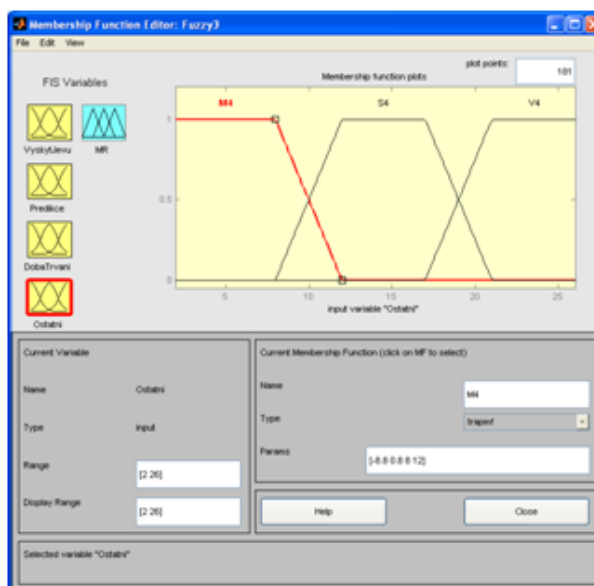
M2	-0,8	0,8	2	2,8
S2	2	2,8	3,2	4
V2	3,2	4	5,2	6,8



**Obrázek 4.10** Definování funkcí příslušnosti, vstup DobaTrvani

Zadané hodnoty fuzzy množin M3, S3, V3 pro vstup DobaTrvani:

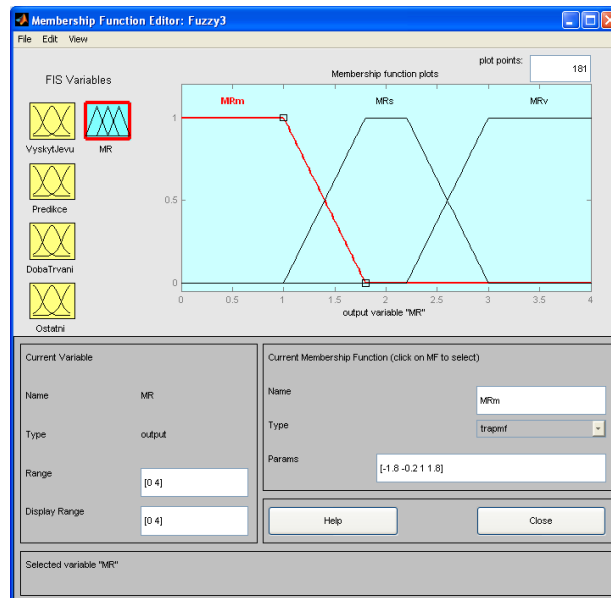
M3	-0,8	0,8	2	2,8
S3	2	2,8	3,2	4
V3	3,2	4	5,2	6,8



**Obrázek 4.11** Definování funkcí příslušnosti, vstup Ostatni

Zadané hodnoty fuzzy množin M4, S4, V4 pro vstup Ostatni:

M4	-8,8	0,8	8	12
S4	8	12	17	21
V4	17	21	27	36



**Obrázek 4.12** Definování funkcí příslušnosti, výstup MR

Zadané hodnoty fuzzy množin MR<sub>m</sub>, MR<sub>s</sub>, MR<sub>v</sub> pro výstup MR:

MR <sub>m</sub>	-1,8	-0,2	1	1,8
MR <sub>s</sub>	1	1,8	2,2	3
MR <sub>v</sub>	2,2	3	4,2	5,8





49. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is M2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is M4) then (MR is MRs) (1)
50. If (VyskytJevu is M1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is M3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
51. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
52. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
53. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
54. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
55. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is M3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
56. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is M2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
57. If (VyskytJevu is M1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
58. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is M3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
59. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is M4) then (MR is MRs) (1)
60. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is M3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
61. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is M2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
62. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is M4) then (MR is MRs) (1)
63. If (VyskytJevu is M1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
64. If (VyskytJevu is M1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRs) (1)
65. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is M4) then (MR is MRs) (1)
66. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is M2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRs) (1)
67. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRv) (1)
68. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
69. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRv) (1)
70. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
71. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRv) (1)
72. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
73. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is M4) then (MR is MRv) (1)
74. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is M3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
75. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is M2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
76. If (VyskytJevu is M1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
77. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is S4) then (MR is MRv) (1)
78. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is S3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
79. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is S2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
80. If (VyskytJevu is S1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)
81. If (VyskytJevu is V1) and (Predikce is V2) and (DobaTrvani is V3) and (Ostatni is V4) then (MR is MRv) (1)

**Obrázek 4.14 Inferenční pravidla 49-81**