



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

APLIKACE PRINCIPŮ RISK INDEX MATICE PRO PRVKY ELEKTRICKÉ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

APPLICATION OF THE RISK INDEX MATRIX PRINCIPLES TO ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM
ELEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Bruzl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2023

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. David Bruzl

ID: 211103

Ročník: 2

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Aplikace principů risk index matice pro prvky elektrické distribuční soustavy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popsat obecný princip Risk Index Matice (RIM), provedení rešerše oblastí využití RIM, zhodnotit možnosti využití RIM na úrovni distribuční sítě (DS)
2. Popsat a porovnat vstupní data/informace vstupujících do RIM pro jednotlivé prvky DS napěťové hladiny NN a VN, zdůvodnit současné rozdílné přístupy tvorby RIM u jednotlivých prvků DS, zhodnocení přístupů hodnocení prvků DS napěťové hladiny VVN
3. Provést blokový návrh algoritmu pro přiřazování jednotlivých prvků DS do RIM, provést případné návrhy úprav a modifikací, zhodnotit teoretické možnosti a technické dopady agregace RIM jednotlivých prvků do větších logických celků s cílem zefektivnit plánování přípravy DS
4. Analýza a popis vstupních databázových souborů nezbytných pro tvorbu RIM jednotlivých prvků DS
5. Pro zvolený síťový prvek realizovat princip současné tvorby a případné modifikované RIM, zhodnocení výsledků a provedení jejich adekvátní grafické prezentace, poskytnutí doporučení pro PDS

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce + interní dokumentace a databázové soubory poskytnuté společností EG.D a.s. (poskytne konzultant)

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 22.5.2023

Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá zhodnocením využití principu risk index matice (RIM) pro prvky distribuční soustavy. Zhodnocuje aktuální využití RIM ve společnosti EG.D, a.s., zkoumá jednotlivé vstupy RIM a také odhaluje problematická místa. Je navržen aktualizovaný způsob přiřazení prvků do RIM, který řeší popsání problémy a je obecně použitelný pro další prvky distribuční soustavy na hladinách vysokého a nízkého napětí. Zároveň je provedena citlivostní analýza, která zkoumá vliv jednotlivých faktorů na RIM a ověřuje stabilitu kategorizace výsledné RIM. Práce slouží také jako metodika přiřazování prvků do RIM a obsahuje doporučení pro provozovatele distribuční soustavy (PDS).

Klíčová slova

Risk index matice, distribuční soustava, porucha, řízení rizika, spolehlivost dodávky elektrické energie, podpěrný bod

Abstract

The master thesis deals with the evaluation of the use of the risk index matrix (RIM) principle for distribution system elements. It evaluates the current use of RIM in EG.D, a.s., examines the individual RIM inputs and also reveals the bottlenecks. An updated method of assigning elements to the RIM is proposed that addresses the problems described and is also generally applicable to other distribution system elements at medium and low voltage levels. At the same time, a sensitivity analysis is performed to investigate the influence of different factors on the RIM and to verify the stability of the categorization of the resulting RIM. The thesis also serves as a methodology for assigning elements to the RIM and includes recommendations for the distribution system operator (DSO).

Keywords

Risk index matrix, distribution system, fault, risk management, reliability of electricity supply, supporting structure

Bibliografická citace

BRUZL, David. *Aplikace principů risk index matice pro prvky elektrické distribuční soustavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2023. 70 s., 18 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

| | |
|-----------------------------------|--|
| Jméno a příjmení studenta: | <i>David Bruzl</i> |
| VUT ID studenta: | <i>211103</i> |
| Typ práce: | <i>Diplomová práce</i> |
| Akademický rok: | <i>2022/23</i> |
| Téma závěrečné práce: | <i>Aplikace principů risk index matice pro prvky elektrické distribuční soustavy</i> |

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 22. května 2023

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji společnosti EG.D, a.s. za poskytnutá data a speciálně Ing. Vladimíru Malínskému za odbornou pomoc.

V Brně dne: 22. května 2023

podpis autora

Obsah

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 9 |
| SEZNAM TABULEK..... | 10 |
| ÚVOD | 11 |
| 1. ŘÍZENÍ RIZIKA METODOU RIM..... | 12 |
| 1.1 RISK INDEX MATICE | 12 |
| 1.2 OBVYKLÁ METODA NÁVRHU RIM..... | 13 |
| 1.2.1 Definice rizika..... | 14 |
| 1.2.2 Definice události | 14 |
| 1.2.3 Posouzení pravděpodobnosti výskytu a následků události | 14 |
| 1.2.4 Sestavení matice a interpretace výsledku..... | 15 |
| 1.3 AXIOMY KONZISTENCE RIM | 15 |
| 1.3.1 Axiom slabé konzistence..... | 15 |
| 1.3.2 Axiom mezilehlosti | 16 |
| 1.3.3 Axiom konzistentních barev | 16 |
| 1.4 NESTABILITA KATEGORIZACE | 17 |
| 1.5 KOMPRESSE ROZSAHŮ, LŽI FAKTOR | 18 |
| 1.6 CENTROVACÍ BIAS | 20 |
| 2. PŘÍKLADY VYUŽITÍ RIM ZAHRANIČNÍMI PDS..... | 21 |
| 2.1 APLIKACE RIM NA OSTROVĚ GOTLAND..... | 21 |
| 2.2 METODIKA VYUŽITÍ RIM NORSKÝMI PDS | 22 |
| 3. AKTUÁLNÍ STAV APLIKACE RIM V EG.D | 24 |
| 3.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY TVORBY RIM V EG.D | 24 |
| 3.2 RIM PRO PRVKY HLADINY NN | 25 |
| 3.2.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny NN | 26 |
| 3.2.2 Rizikový faktor pro prvky hladiny NN..... | 26 |
| 3.2.3 Agregace prvků | 27 |
| 3.3 RIM PRO PRVKY HLADINY VN | 27 |
| 3.3.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny VN | 27 |
| 3.3.2 Rizikový faktor pro prvky hladiny VN | 28 |
| 3.3.3 Agregace prvků | 29 |
| 3.4 RIM PRO PRVKY HLADINY VVN | 29 |
| 3.4.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny VVN..... | 29 |
| 3.4.2 Rizikové faktory pro prvky hladiny VVN..... | 29 |
| 3.4.3 Agregace prvků | 31 |
| 3.5 NOVÝ ZPŮSOB KATEGORIZACE..... | 31 |
| 4. ZHODNOCENÍ POUŽITÍ RIM V EG.D..... | 33 |
| 4.1 ZHODNOCENÍ VSTUPŮ RIM | 33 |
| 4.2 ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉ RIM..... | 35 |
| 5. ALGORITMUS PRO PŘÍŘAZENÍ PRVKŮ DO RIM | 37 |
| 5.1 NORMALIZACE HODNOT | 37 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2 | VÝPOČET VÝSLEDNÝCH FAKTORŮ..... | 39 |
| 5.3 | ZAŘAZENÍ PRVKŮ DO RIM | 41 |
| 6. | AKTUALIZOVANÁ RIM PRO PODPĚRNÉ BODY VN | 43 |
| 6.1 | VSTUPNÍ DATA, POUŽITÉ NÁSTROJE A METODY | 43 |
| 6.2 | NORMALIZACE VSTUPNÍCH FAKTORŮ | 44 |
| 6.2.1 | <i>Výběrové faktory</i> | 45 |
| 6.2.2 | <i>Vázané faktory</i> | 46 |
| 6.2.3 | <i>Linearizované faktory</i> | 47 |
| 6.3 | URČENÍ VÝSLEDNÝCH FAKTORŮ | 48 |
| 6.3.1 | <i>Celková normalizovaná hodnota faktorů</i> | 48 |
| 6.3.2 | <i>Standardizace hodnot</i> | 49 |
| 6.3.3 | <i>Shlukování k-means</i> | 49 |
| 6.4 | AKTUALIZOVANÁ RIM | 50 |
| 7. | CITLIVOSTNÍ ANALÝZA RIM | 51 |
| 7.1 | METODIKA A OČEKÁVANÉ VÝSTUPY | 51 |
| 7.2 | VYNECHÁNÍ VŠECH MALÝCH FAKTORŮ | 52 |
| 7.3 | DŮSLEDEK PORUCHY..... | 52 |
| 7.3.1 | <i>Časová náročnost opravy</i> | 53 |
| 7.3.2 | <i>Typ vedení</i> | 54 |
| 7.4 | RIZIKOVÝ FAKTOR | 55 |
| 7.4.1 | <i>Druh PB</i> | 55 |
| 7.4.2 | <i>Počet poruch</i> | 56 |
| 7.4.3 | <i>Náklady na závady</i> | 57 |
| 7.4.4 | <i>Lesní průsek</i> | 58 |
| 7.4.5 | <i>Intravilán</i> | 59 |
| 7.4.6 | <i>Námrazová oblast</i> | 60 |
| 7.5 | SHRNUTÍ CITLIVOSTNÍ ANALÝZY | 61 |
| 8. | ZÁVĚR..... | 63 |
| | LITERATURA..... | 65 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 68 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 70 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Obecná RIM, převzato z [2] | 13 |
| 1.2 | Obecný návrh RIM..... | 13 |
| 1.3 | RIM nesplňující axiom slabé konzistence | 15 |
| 1.4 | RIM splňující axiom slabé konzistence | 16 |
| 1.5 | Změna pořadí rizika v závislosti na proměnné x | 18 |
| 1.6 | Hraniční hodnota pravděpodobnosti a následků pro $R = 0,2$ | 19 |
| 2.1 | RIM pro 70/30 kV vedení, Gotland (přeloženo z [10]) | 22 |
| 2.2 | Určení následku pro 70/30 kV vedení, Gotland (přeloženo z [10])..... | 22 |
| 3.1 | RIM pro podzemní kabelové úseky VN (převzato z [9]) | 24 |
| 3.2 | Kategorizace pro úsekové spínače a důsledek poruchy [9] | 25 |
| 3.3 | Výsledné rizikový faktor stáří PB VVN, převzato z [12]..... | 30 |
| 3.4 | Výsledný rizikový faktor stáří vodiče VVN, převzato z [12]..... | 30 |
| 4.1 | RIM striktně splňující všechny tři axiomy konzistence | 36 |
| 5.1 | Vývojový diagram pro normalizaci hodnot..... | 37 |
| 5.2 | Vývojový diagram pro funkci zastropování | 38 |
| 5.3 | Vývojový diagram pro výpočet výsledných faktorů | 39 |
| 5.4 | Vývojový diagram pro modifikované kmeans | 41 |
| 5.5 | Vývojový diagram pro výpočet výsledných faktorů | 42 |
| 6.1 | Příklad aktualizacího dotazu pro TYP_VEDENÍ | 45 |
| 6.2 | Příklad aktualizacího dotazu pro STARI..... | 46 |
| 6.3 | Příklad aktualizacího dotazu ZAVADY_CENA | 48 |
| 6.4 | Aktualizovaná RIM pro PB VN | 50 |
| 7.1 | Vynechání všech malých faktorů, jednotlivá pole RIM | 52 |
| 7.2 | Změna koeficientu faktoru Časová náročnost opravy | 53 |
| 7.3 | Vynechání Časové náročnosti opravy, posuny v RIM | 53 |
| 7.4 | Změna koeficientu faktoru Typ vedení | 54 |
| 7.5 | Vynechání faktoru Typ vedení, posuny v RIM | 54 |
| 7.6 | Změna koeficientu faktoru Druh PB | 55 |
| 7.7 | Vynechání faktoru Druh PB, posuny v RIM | 56 |
| 7.8 | Změna koeficientu faktoru Počet poruch..... | 56 |
| 7.9 | Vynechání faktoru Počet poruch, posuny v RIM | 57 |
| 7.10 | Změna koeficientu faktoru Náklady na závady | 57 |
| 7.11 | Vynechání faktoru Náklady na závady, posuny v RIM..... | 58 |
| 7.12 | Změna koeficientu faktoru Lesní průsek | 58 |
| 7.13 | Vynechání faktoru Lesní průsek, posuny v RIM..... | 59 |
| 7.14 | Změna koeficientu faktoru Intravilán | 59 |
| 7.15 | Vynechání faktoru Intravilán, posuny v RIM..... | 60 |
| 7.16 | Změna koeficientu faktoru Námrazová oblast..... | 60 |
| 7.17 | Vynechání faktoru Námrazová oblast, jednotlivá pole RIM | 61 |

SEZNAM TABULEK

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Obecná rizika pro znázornění nestability kategorizace | 17 |
| 1.2 | Jednotlivé kategorie pro znázornění nestability kategorizace | 17 |
| 1.3 | Rizikové skóre vypočtené pro jednotlivá x | 18 |
| 1.4 | Jednotlivé kategorie pro znázornění problematiky komprese rozsahů | 19 |
| 3.1 | Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina NN | 27 |
| 3.2 | Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina VN | 29 |
| 3.3 | Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina VVN | 31 |
| 7.1 | Vynechání všech malých faktorů, změna v segmentech rizika | 52 |
| 7.2 | Vynechání dílčích malých faktorů, změna v segmentech rizika (v %)..... | 61 |

ÚVOD

Stále vyšší nároky na spolehlivost dodávky elektrické energie a také zvyšující se ceny materiálů, tedy i prvků distribuční soustavy, vedou provozovatele distribuční soustavy k daleko lepšímu plánování obnovy distribuční soustavy. Zároveň s postupující digitalizací se zvětšuje množství použitelných dat, které umožňují provozovatelům distribuční soustavy (PDS) odhadovat rizika jednotlivých zařízení a tím i optimalizovat plán rekonstrukcí a rozvoje distribuční sítě. Jednou z metod řízení rizika je i risk index matice (RIM). Metoda RIM umožní na základě jasně daných parametrů hodnocení a vzájemné porovnání prvků distribuční soustavy, a to na celém distribučním území. Každý prvek bude zařazen v kontingenční tabulce s hodnotou pravděpodobnosti výskytu a následkem a bude také zařazen v segmentu rizika. Na základě tohoto zařazení bude možné lépe a systematictěji plánovat obnovu distribuční soustavy.

Cílem diplomové práce je teoretické zhodnocení využití RIM pro prvky distribuční soustavy, popsání a kritické zhodnocení aktuálního způsobu využití RIM v EG.D, a.s. (dále jen EG.D), provedení návrhu aktualizovaného algoritmu pro přiřazování prvků do RIM, který bude použitelný pro všechny prvky na hladinách nízkého napětí (NN) a vysokého napětí (VN) a bude co nejvíce automatizován. Zároveň je cílem poskytnutí doporučení pro PDS se zaměřením na další směřování aplikace principů RIM.

Vzhledem k velkému množství dat, se kterými je potřeba pracovat a také s ohledem na jednoduchou využitelnost navržených algoritmů pro PDS bylo zvoleno využití programu MS Access, který umožňuje automatizaci pomocí SQL dotazů a VBA algoritmů. Navržený aktualizovaný algoritmus zohledňuje problematika místa RIM, která byla popsána v teoretické části práce. Algoritmus respektuje dosavadní vývoj RIM v EG.D, který ale nesplňuje 2 ze 3 axiomů konzistence, proto bylo nutné navíc provést citlivostní analýzu, která zhodnotila problematiku nestability kategorizace a vliv jednotlivých faktorů.

Práce obsahuje řadu doporučení pro PDS. Například vhodnost využití jednotlivých faktorů, možnost využití algoritmu na hladině velmi vysokého napětí (VVN), případně teoretické možnosti agregace prvků do větších logických celků.

1. ŘÍZENÍ RIZIKA METODOU RIM

Řízení rizika je proces, který se zabývá analýzou rizika a hledáním vhodných prostředků pro snížení rizika. Je to neustále se opakující činnost, která vede k možnosti řídit rizika, tedy omezit pravděpodobnost jejich vzniku, případně snížit jejich dopad. K řízení rizika se využívá jednotlivých metod, které využívají buď kvantitativních nebo kvalitativních analýz, případně semi-kvantitativní analýzy.

S řízením rizika souvisí pojmy, které definuje například norma *Management rizik – směrnice* ČSN ISO 31000 [1]:

- **Riziko** – účinek nejistoty na cíle.
- **Zdroj rizika** – prvek, který sám nebo v kombinaci s jinými prvky má potenciální schopnost způsobit riziko.
- **Událost** – výskyt nebo změna množiny okolností, událost může být zdrojem rizika.
- **Následek** – výsledek události, následek může být vyjádřen kvalitativně nebo kvantitativně, každý následek se může stupňovat v důsledku kaskádovitých nebo kumulativních efektů.
- **Pravděpodobnost výskytu** – možnost, že něco nastane, ať je již tato možnost definována, měřena nebo stanovena a popsána s použitím obecných termínů nebo je vyjádřena matematicky (pravděpodobnost nebo četnost za určené období).

První kapitola práce se obecně věnuje jedné z metod řízení rizika, RIM, která pracuje primárně s posledními dvěma pojmy, tedy s pravděpodobností výskytu a následkem. V první části je obecný popis RIM, následuje obvyklý návrh RIM a v dalších částech první kapitoly jsou diskutovány některé problémy, které s sebou metoda RIM přináší a jsou naznačena případná řešení, jak problémy minimalizovat.

1.1 Risk index matice

Jak již bylo uvedeno, jednou z možností analýzy rizik je analýza pomocí RIM. Vstupem této matice je míra pravděpodobnosti výskytu nežádoucího stavu a velikost dopadů (následek) tohoto nežádoucího stavu. RIM může co do velikosti nabývat prakticky libovolných rozměrů, vždy záleží na konkrétním příkladu použití.

RIM může využívat buď slovní hodnocení pravděpodobnosti a následků (jedná se o kvalitativní analýzu). Taková matice je znázorněna na obrázku 1.1. Případně může využívat kvantitativní (semi-kvantitativní) analýzu, kdy každá kategorie odpovídá číselnému intervalu. Pravděpodobnost se často vyjadřuje relativně, tedy v intervalu $\langle 0,1 \rangle$ kdy hodnota „1“ odpovídá naprosté jistotě, že se daná událost stane. U následku se občas také využívá relativního vyjádření, zde „1“ u následku značí nejhorší možný

následek, relativní vyjádření následků ovšem rozhodně není pravidlem. Intervaly pro jednotlivé kategorie se volí různé pro každé konkrétní použití [2].

Samotná matice se dá popsat jednoduchým matematickým vzorcem:

$$R = P \cdot N, \quad (1.1)$$

kde P odpovídá celkovému číselnému shrnutí pravděpodobnosti výskytu nežádoucího stavu a N odpovídá celkovému číselnému shrnutí následků nežádoucího stavu [2].

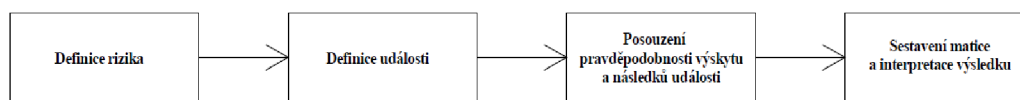
| Důsledek | Pravděpodobnost | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------|---------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Vzácné | Nepravděpodobné | Možné | Pravděpodobné | Téměř jisté |
| 5 Katastrofální | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 4 Hlavní | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| 3 Mírný | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| 2 menší | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1 Zanedbatelný | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Obrázek 1.1 Obecná RIM, převzato z [2]

Jak již bylo uvedeno výše, obrázek 1.1 znázorňuje obecnou 5x5 RIM, kde se prvky přiřazují kvalitativně. Horizontální osa reprezentuje pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu a vertikální osa reprezentuje následek nežádoucího stavu. RIM je barevně rozdělena do 4 skupin, kdy zelená barva představuje nejmenší riziko a červená barva naopak nejvyšší riziko. Pro jednotlivá rizika jsou následně vypracovány plány, jak riziko zmenšit, případně udržet v dané skupině. U prvků distribuční soustavy například nahrazením daného prvku za nový, ve finančním sektoru například diverzifikací portfolia atd. [2].

1.2 Obvyklá metoda návrhu RIM

Pro tvorbu RIM existuje velké množství mezinárodních standardů a také mnoho společností si návrh RIM upravil podle vlastní zkušenosti a vlastních potřeb, příklady různých přístupů jsou například v [3], [10], [11]. Obecně návrh RIM shrnuje obrázek 1.2.



Obrázek 1.2 Obecný návrh RIM

1.2.1 Definice rizika

V prvním kroku je třeba určit, jakých rozměrů chceme matici navrhnout a kolik jednotlivých barevných skupin bude matice mít. Nejčastěji je užívána matice 5x5 se třemi barevnými skupinami. Každý sloupec matice znamená určitou pravděpodobnost výskytu, každý řádek znamená určitý následek. Rozměr matice nám tedy určuje možnosti škálování pravděpodobnosti výskytů a následků (citlivost). Při návrhu je nutné dojít ke kompromisu mezi velikostí matice a složitosti škálování vstupů. Vždy záleží na konkrétním použití [4].

1.2.2 Definice události

Dalším krokem je definice události, tedy určitá změna nominálního stavu, která může být zdrojem rizika. Pro prvky distribuční soustavy například výpadek transformátoru, v lékařství například uvedení pacienta do narkózy při operaci, ve finančnictví například zveřejnění finanční zprávy společnosti v investičním portfoliu [4].

1.2.3 Posouzení pravděpodobnosti výskytu a následků události

Když je definována událost, je nutné určit pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu pro každý prvek, který chceme pomocí RIM analyzovat po vzniku události a jaké jsou následky této události. Například u již zmiňovaného transformátoru si na základě informací, co o něm známe (např. stáří, umístění, typ) určíme pravděpodobnost jeho výpadku a na základě počtu zapojených odběrných míst určíme, jak velký bude následek (nedodávka nasmlouvané elektrické energie dodavatelům). Na základě pravděpodobnosti výskytu a následku se tedy danému prvku přiřadí dvě číselné hodnoty, v ukázkové matici na uvedené obrázku 1.1 je těchto možných číselných hodnot uvedeno 5 (odpovídá rozměru matice) [4].

Pokud bychom k analýze přistupovali kvalitativně, tak pro výpadek transformátoru si můžeme představit, že hodnota 1 u následků odpovídá například výpadku malé chatové oblasti na okraji lesa a hodnota 5 například výpadku města. U pravděpodobnosti bude hodnota 1 odpovídat novému transformátoru, který byl řádně otestován a instalován podle všech předpisů, hodnota 5 bude odpovídat transformátoru na hraně životnosti.

U příkladu investičního akciového portfolia bude číselná hodnota 1 u následku odpovídat akcii, která má v celkovém portfoliu velmi malé zastoupení, číselná hodnota 5 bude odpovídat akcii, která má v portfoliu dominantní zastoupení. U pravděpodobnosti výskytu bude číselná hodnota 1 odpovídat akcii, která se roky ukazuje jako velmi stabilní a jeví se velice nepravděpodobný nějaký abnormální pád. Číselná hodnota 5 bude u akcie například „startup“, u kterého je minimální finanční historie a jeho budoucí ziskovost je značně nejistá [4].

Pokud bychom k analýze přistupovali kvantitativně, jednotlivá čísla by označovaly intervaly, do kterých by se na základě vážených známých vstupů matematicky dosazovaly jednotlivé prvky. Například pro prvky distribuční soustavy používá společnost EG.D.

lineární funkci. Jednotlivé vstupující faktory jsou škálovány na stupnici 0-100 %, tyto faktory jsou poté ještě násobeny koeficienty v rozmezí 0–1, které se liší pro jednotlivé prvky. Výsledným vstupem do RIM je tedy pro konkrétní prvek součet násobků faktorů a jejich koeficientů. Detailně se tvorbě RIM v EG.D věnuje třetí kapitola [7].

1.2.4 Sestavení matice a interpretace výsledku

Na základě přiřazených číselných hodnot umístění analyzovaných prvků do matice. Podle jejich umístění v jedné z barevných skupin poté navrhujeme konkrétní opatření pro snížení rizika, případně udržení prvku v dané skupině [4].

1.3 Axiomy konzistence RIM

Metoda RIM si získala velkou oblibu z důvodu jednoduchosti použití, konkrétně poměrně nízkými nároky na vstupní data, jednoduchým zpracováním vstupních dat, názorností výsledků RIM a jejich jednoduché prezentaci (v porovnání s ostatními metodami). Ovšem aby nám metoda generovala uspokojivé výsledky, je nutné dodržovat určitá pravidla, která zaručí, že výsledky nebudou zavádějící, případně úplně chybné. Proto v roce 2008 Dr. Louis Anthony Cox, Jr. zformuloval 3 axiomy konzistence RIM, které by měla každá RIM splňovat [5].

1.3.1 Axiom slabé konzistence

Definice slabé konzistence je popsána jako [5]: „RIM s více než jednou "barvou" (kategorií rizika) splňuje pro její buňky podmínky slabé konzistence, pokud body v její nejvyšší kategorii rizika představují vyšší kvantitativní riziko než body ve spodní kategorii.“ Počítá se zde tedy s kvantitativním vyjádřením pravděpodobnosti výskytů a následků. Nejsou tedy vyjádřeny pouze „slovně“ (vzácné, nepravděpodobné...), ale každá kategorie reprezentuje určitý interval. Obrázek 1.3 ukazuje RIM, která nesplňuje axiom slabé konzistence. Do políčka (3,3) patří i riziko s pravděpodobností 55 a následkem 55, výsledné riziko je tedy dle vzorce (1.1) 3025. Do políčka (3,4) patří i riziko s pravděpodobností 40 a následkem 60, výsledné riziko je tedy 2400. Daná RIM nám tedy indikuje naprosto chybný výsledek, kdy menší riziko je v červené kategorii, a naopak vyšší riziko je v zelené kategorii.

| RIM | Pravděpodobnost | | | | |
|----------|-----------------|---------|---------|---------|----------|
| Následek | <0,20) | <20,40) | <40,60) | <60,80) | <80,100> |
| <80,100> | | | | | |
| <60,80) | | | 2400 | | |
| <40,60) | | | 3025 | | |
| <20,40) | | | | | |
| <0,20) | | | | | |

Obrázek 1.3 RIM nesplňující axiom slabé konzistence

Z výše uvedeného vyplývají dvě nutné podmínky, které musí každá RIM splňovat, aby byl splněn axiom slabé konzistence a RIM vykazovala správné závěry.

- žádná červená buňka nesmí sdílet žádnou z hran se zelenou buňkou,
- ve spodním řádku a v levém sloupci se nesmí nacházet červená buňka.

Aby došlo ke splnění těchto dvou podmínek, musí mít matice rozměr nejméně 3x3 a musí rozeznávat minimálně 3 kategorie rizika [6].

RIM splňující axiom slabé konzistence je uvedena na obrázku 1.4

| RIM | Pravděpodobnost | | | | |
|----------|-----------------|---------|----------|---------|----------|
| Následek | <0,20) | <20,40) | <40,60) | <60,80) | <80,100> |
| <80,100> | | | | | |
| <60,80) | | | | | |
| <40,60) | | | | | 3200 |
| <20,40) | | | 2399,999 | | |
| <0,20) | | | | | |

Obrázek 1.4 RIM splňující axiom slabé konzistence

1.3.2 Axiom mezilehlosti

Definice axiomu mezilehlosti je popsána jako [5]: „RIM splňuje axiom mezilehlosti, jestliže každá úsečka, která začíná v zelené buňce v jejím dolním levém rohu a končí v červené buňce v jejím horním (pravém) rohu prochází alespoň jednou mezilehlou buňkou (což znamená buňkou, která není ani zelená ani červená).“ Axiom tedy říká, že červené a zelené buňky se nesmí vzájemně dotýkat ani rohy. Axiom byl zformulován z toho důvodu, aby drobná změna v hodnotách jednotlivých složek rizika nepřinesla velký skok v kategorii rizika. V praxi je tento axiom často porušován, především tedy u 3x3 RIM, kde je aplikace tohoto axiomu značně omezena množstvím políček RIM [6].

1.3.3 Axiom konzistentních barev

Axiom konzistentních barev je definován jako [5]: „Buňka je červená, pokud její kvalitativní hodnota rizika je alespoň tak vysoká jako v ostatních červených buňkách a neobsahuje kvantitativní hodnoty rizika tak malé, jako jsou v zelených buňkách. Buňka je zelená, pokud její kvalitativní hodnota rizika je alespoň tak malá, jako je v ostatních zelených buňkách a neobsahuje kvantitativní hodnoty rizika tak velké, jako je v červených buňkách. Buňka má přechodnou barvu (není ani červená, ani zelená), pokud leží mezi červenou a zelenou buňkou, nebo obsahuje kvantitativní hodnoty rizika vyšší než v některých červených buňkách a také kvantitativní hodnoty rizika nižší než v některých zelených buňkách.“

V případě aplikace axiomů na matice s více než 3 kategorií rizika (barvami) je nutné postupovat vždy po trojici sousedních kategorií rizika [6].

1.4 Nestabilita kategorizace

Jak již bylo uvedeno, RIM obecně pracuje s kategoriemi. I kvantitativně vypočtený následek nebo pravděpodobnost se musí zařadit do určité kategorie, jejichž počet odpovídá velikosti RIM. Ovšem zde nastává problematičtější místo metody. Jak určit intervaly pro jednotlivé kategorie?

Autor RIM musí často spoléhat na svůj úsudek a zkušenosti. Poté, co autor RIM nějaké intervaly určí a aplikuje je na konkrétní událost, je nutné analyzovat, jak malé změny v určených intervalech dopadají na výsledné pořadí skóre rizik. Pokud by malá změna v intervalech pro jednotlivé kategorie znamenala velkou změnu v pořadí rizik, je možné o RIM prohlásit, že je nestabilní a je nutné ji stabilizovat. Tato problematika je podrobně rozebrána v [4], ve zkrácené formě je uvedena v [6]. Zde se bude vycházet především ze zkrácené formy.

Mějme RIM 5x5, pravděpodobnost je na horizontální ose a následek na vertikální. Definujme si rizika A,B,C (tabulka 1.1), pro které máme určenou pravděpodobnost a následek. Dále si v tabulce 1.2 definujme jednotlivé kategorie, kategorie si definujeme jako matematické funkce s proměnnou x , kterou budeme zvyšovat v intervalu od 2 do 3, s krokem 0,1.

Tabulka 1.1 Obecná rizika pro znázornění nestability kategorizace

| Riziko | Pravděpodobnost (%) | Následek (Kč) |
|--------|---------------------|---------------|
| A | 3 | 1 500 000 |
| B | 5 | 900 000 |
| C | 15 | 250 000 |

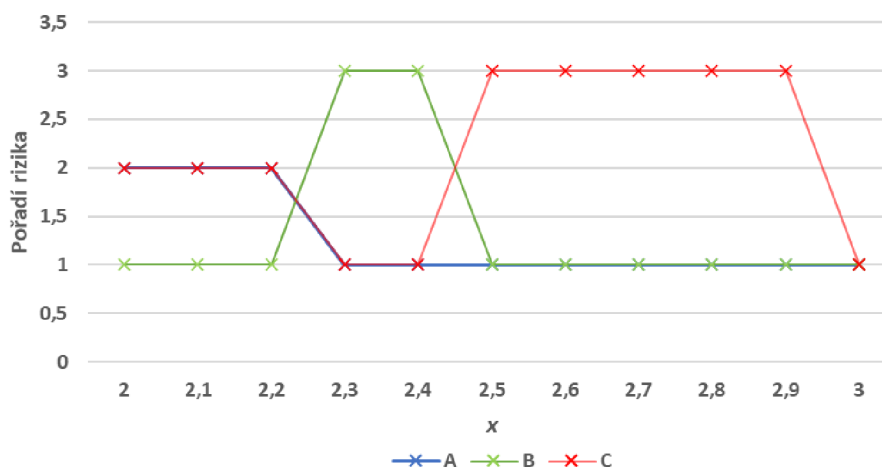
Tabulka 1.2 Jednotlivé kategorie pro znázornění nestability kategorizace

| Kategorie | Pravděpodobnost (-) | Následek (Kč) |
|-----------|--|--|
| 5 | $0,01 \cdot x^3 < P$ | $0,1 \cdot x^3 < N$ |
| 4 | $0,01 \cdot x^2 < P \leq 0,01 \cdot x^3$ | $0,1 \cdot x^2 < N \leq 0,1 \cdot x^3$ |
| 3 | $0,01 \cdot x < P \leq 0,01 \cdot x^2$ | $0,1 \cdot x < N \leq 0,1 \cdot x^2$ |
| 2 | $0,01 < P \leq 0,01 \cdot x$ | $0,1 < N \leq 0,1 \cdot x$ |
| 1 | $P \leq 0,01$ | $N \leq 0,1$ |

Rizikové skóre vypočtené pomocí vzorce (1.1) pro jednotlivá x jsou znázorněna v tabulce 1.3. Pořadí těchto rizik je následně vyneseno do grafu na obrázku 1.5.

Tabulka 1.3 Rizikové skóre vypočtené pro jednotlivá x

| Riziko \ x | 2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3 |
|--------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| A | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 |
| B | 15 | 12 | 12 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 |
| C | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |



Obrázek 1.5 Změna pořadí rizika v závislosti na proměnné x

Naše demonstrační RIM popisuje problém nestability kategorizace, kdy vidíme, že drobná změna v intervalech různých kategorií může vést k výrazné změně pořadí jednotlivých rizik. Obecně je možné říct, že úplnou stabilitu RIM nelze dosáhnout, u každé RIM je ovšem možné provést obdobnou analýzu a zhodnotit její citlivost na změnu v intervalech kategorií. V případě, že by byla zjištěna značná nestabilita, je nutné provést opatření pro snížení nestability [6].

Správně by se mělo ověření nestability kategorizace provádět při každém použití RIM, protože u jednotlivých rizik určitě dochází s časem ke změnám. Je ovšem otázka, zda provádění podobné analýzy po každém použití nemaže jednu z největších výhod RIM, a to jednoduchost použití [6].

1.5 Kompresí rozsahů, lži faktor

V předchozí části se psalo o problematice navržení intervalů pro jednotlivé kategorie. Ovšem i po vyřešení tohoto problému zůstává základní vlastnost RIM, tedy že konkrétní interval hodnot nahrazujeme jednou hodnotou. Tato vlastnost RIM může vést k tomu, že se stejná rizikové skóre přiřadí událostem, které mají výrazně odlišná rizika. Problém se dá znázornit na jednoduchém příkladu. Opět předpokládejme RIM 5x5, kde

pravděpodobnost je na horizontální ose a následek na vertikální s intervaly dle tabulky 1.4.

Tabulka 1.4 Jednotlivé kategorie pro znázornění problematiky komprese rozsahů

| Kategorie | Pravděpodobnost (%) | Následek (Kč) |
|-----------|---------------------|------------------------------------|
| 5 | $50 < P \leq 100$ | $2\,000\,000 < N$ |
| 4 | $10 < P \leq 50$ | $1\,000\,000 < N \leq 2\,000\,000$ |
| 3 | $1 < P \leq 10$ | $500\,000 < N \leq 1\,000\,000$ |
| 2 | $0,11 < P \leq 1$ | $100\,000 < N \leq 500\,000$ |
| 1 | $P \leq 0,1$ | $N \leq 100\,000$ |

Mějme rizika:

- A – následek = 3 000 000 Kč a pravděpodobnost = 20 %,
- B – následek = 10 000 000 Kč a pravděpodobnost = 10 %.

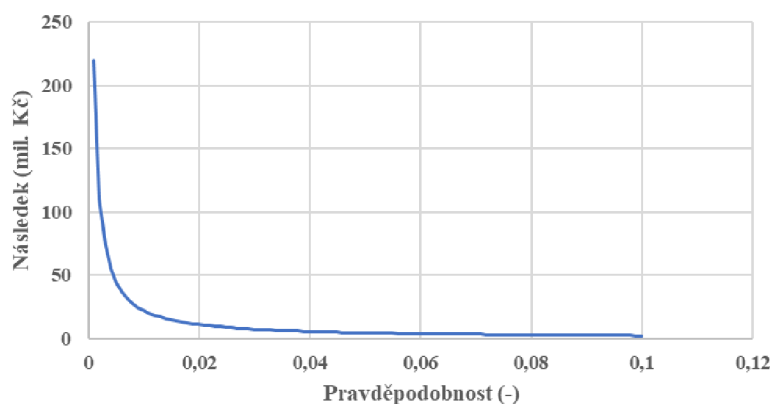
Při kvantitativním výpočtu (prostý násobek absolutní hodnoty pravděpodobnosti a rizika) by riziko A mělo hodnotu $3 \cdot 0,2 = 0,6$ mil Kč a riziko B by mělo hodnotu $10 \cdot 0,1 = 1$ mil. Kč. Ovšem při přiřazení do RIM by podle vzorce (1.1) riziko A mělo hodnotu 20 a riziko B by mělo hodnotu 15. RIM tedy evidentně ukazuje chybnou informaci. Tento problém je důsledkem nezastropování hranice následků v poslední kategorii [6].

Pro jednotlivé kombinace kategorií pravděpodobností a 5. kategorie následků jde matematicky určit hranice následku, kdy dojde k chybnému zařazení kategorie rizika.

Opět vyjdeme ze základní rovnice (1.1), 5. kategorie následku má hranici 2 (10^6 Kč), 3. kategorie pravděpodobnosti 0,1. Riziko je poté prostým součinem $2 \cdot 0,1 = 0,2$. Pro hranici následků pro kategorii rizika 0,2 poté tedy platí:

$$N_{hr} = 0,2/P, \quad (1.2)$$

kde N_{hr} odpovídá hraniční hodnotě následků, kdy dojde k nesprávnému zařazení v kategorii rizika a P je pravděpodobnost [6]. Grafické znázornění výsledků ukazuje obrázek 1.6.



Obrázek 1.6 Hraniční hodnota pravděpodobnosti a následků pro $R = 0,2$

Pro výpočet byla schválně zvolena kategorie 3 pravděpodobnosti, protože v této kategorii dochází u typické RIM 5x5 k přechodu ze „žluté“ kategorie rizika do „červené“ kategorie. Stejný výpočet by byl možný provést i pro další členy v pátém řádku RIM, ale pro praktickou aplikaci spíše není potřebný, protože i když nebude dodrženo správné pořadí rizik při překročení hranice, riziko bude alespoň zařazeno ve správné barevné kategorii [6].

Pravděpodobnost bývá často omezena tím, že je uváděna v procentech a 100 % tedy značí maximální možnou pravděpodobnost (jistotu). Zde proto není nutné řešit maximální kategorii, ale problém s pořadím by mohl nastat u minimální hodnoty pravděpodobnosti, kde pravděpodobnost je extrémně malá, ale následky by byly velké. Bylo by tedy možné aplikovat popsanou metodu. Ovšem v těchto případech se jedná o chybu „do bezpečna“, riziko bývá nadhodnocené a pokud to není absolutně nutné (například v případě velmi omezených zdrojů na eliminaci rizik), není nutné tuto analýzu provádět [6].

S kompresí stupnic souvisí také pojem **lži faktor**, který je detailněji popsán v [4]. Ve své podstatě popisuje, že pokud máme dvě rizika. Riziko A = 10 a riziko B = 20, tak nelze automaticky prohlásit, že riziko B je dvakrát větší než riziko A. Pouze platí, že riziko B je větší než riziko A. V podstatě se jedná o trochu jiný pohled na problematiku komprese stupnic, která je popsána výše [5].

1.6 Centrovací bias

Dalším z problémů RIM je tzv. centrovací bias, který označuje lidské chování, kdy většina lidí má podvědomou tendenci se vyhýbat extrémním stavům. Například, pokud má člověk vybrat čísla z intervalu 1-5, většina lidí vybere čísla od 2 do 4. Článek [4] popisuje, že v případě analyzovaných projektů, bylo 75 % vybraných čísel buď 3, nebo 4. Tento bias prakticky zmenšuje efektivní velikost RIM. Možným řešením je co nejvíce eliminovat vliv člověka na určování kategorií, které vstupují do RIM. Tedy co nejvíce vycházet ze statistických metod, například důsledné analýzy dat z minulosti.

U kategorií, kde není dostatečné množství historických dat, pak nezbyvá než důsledné proškolení autorů jednotlivých vstupujících kategorií. Další možností je zvětšení rozsahu RIM, kdy sice nevyřešíme samotný bias, ale zvětšíme si efektivní velikost RIM a dostaneme tedy přesnější výstupy [6].

2. PŘÍKLADY VYUŽITÍ RIM ZAHRANIČNÍMI PDS

Následující kapitola se věnuje rešerši použití RIM evropskými provozovateli distribučních soustav. Mnoho PDS má pravděpodobně svoji vlastní interní metodiku, která není veřejně přístupná. Kapitola vychází z metodik popsaných pro ostrov Gotland a Norsko, které byly zpracovány jako vědecké práce ve spolupráci s univerzitami a PDS, a i když jsou staršího data (2013 pro Gotland, 2010 pro Norsko), poměrně dobře popisují variabilitu přístupu k analýze pomocí RIM, kdy každá z těchto metodik pracuje s RIM výrazně odlišně. Metodika pro Gotland, popsaná v 2.1 je více založena na kvantitativní analýze a více se podobá metodice, kterou aktuálně využívá i společnost EG.D (popsána v kapitole 3), i když je k ní přístupováno s akceptací specifik DS ostrova Gotland, která slouží také k přenosu výkonů z větrných parků na švédskou pevninu [10].

Metodika pro norské PDS popsaná v části 2.2 je zase více založená na kvalitativní analýze a hraje zde velkou váhu názor expertů, hlavně při identifikaci rizikových událostí. Výstupem také není pouze jedna RIM, ale hned čtyři, kdy každá se věnuje dopadům na jinou oblast. Metodika pro norské PDS byla vypracována ve spolupráci s devíti norskými PDS, dále s francouzskou společností EDF a švédskou ELFORSK [11].

2.1 Aplikace RIM na ostrově Gotland

Ostrov Gotland je největším švédským ostrovem a také největším ostrovem v Baltském moři. Ostrov je se švédskou pevninou elektricky propojen HVDC spojkami, na ostrově je instalováno velké množství větrných elektráren. Provozovatelem místní distribuční soustavy je Gotlands Energi AB. Švédská legislativa nařizuje provozovatelům distribuční soustavy každoročně hlásit výsledky analýzy rizik a zranitelnosti v souvislosti se spolehlivostí provozu. Jedním z výstupů těchto analýz je i RIM. Návrh aplikace RIM na příkladu 70/30 kV vedeních na ostrově Gotland popisuje článek [10].

Celá metodika analýzy rizika je podřízena specifičnosti místní DS, kde se nachází množství neizolovaných nadzemních vedení, XLPE kabely ze 70. let s vysokým rizikem vzniku zemních poruch, staré netěsnící olejové kabely, kde jejich oprava při případné poruše je časově velmi náročná aj.

Při procesu identifikace rizika (přirazování priority) se zvažují různé scénáře, které mohou způsobit zásadní výpadky. Například, zda jsou zkoumané úseky důležité z hlediska splnění N-1 kritéria a určením, zda je možné dodávku provádět alternativním úsekem. Dále se zkoumají úseky vedení, kde je velká pravděpodobnost, že výpadek nastane. Z hlediska odběrů se obecně menší prioritou přirazuje úsekům s malým výkonem (do 2 MW), výjimku tvoří odběry, kde existuje riziko dlouhého výpadku, tedy dlouhého času opravy, což vychází z legislativy o spolehlivosti dodávky elektrické energie a případných kompenzací. Na úseky, které jsou při této identifikaci zvolena jako prioritní,

je následně aplikována metoda RIM. RIM pracuje standardně s pravděpodobností výskytu a následkem a její rozměr je 5x4 (obrázek 2.1).

| Následek | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------|-----------|----------|--------------|---|
| Nepříjatelný | 4 | | | | | |
| Závažný | 3 | | | | | |
| Průměrně závažný | 2 | | | | | |
| Nevýznamný | 1 | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pravděpodobnost | Něpravděpodobné | Nizká | Střední | Vysoká | Velmi vysoká | |
| | >50 let | 25-50 let | 10-25 let | 1-10 let | <1 rok | |

Obrázek 2.1 RIM pro 70/30 kV vedení, Gotland (přeloženo z [10])

Pravděpodobnost se rozděluje do pěti kategorií a určuje se jako odhadovaný čas mezi poruchami.

Následek se rozděluje do čtyř kategorií a určuje se z hodnoty výkonu, pro daný úsek a odhadovaného času opravy poruchy, nebo přepojení úseku. Přiřazení konkrétní hodnoty následku je zobrazeno na obrázku 2.2.

| | | Výkon | | | | Následek |
|-----|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|
| | | < 2 MW | 2-5 MW | 5-20 MW | >20 MW | |
| Čas | 24 hodin | 12 hodin | 8 hodin | 2 hodiny | Nepříjatelný | |
| | 12 hodin | 6 hodin | 2 hodiny | 1 hodina | Závažný | |
| | 4 hodiny | 2 hodiny | 30 minut | 15 minut | Průměrně závažný | |
| | 2 hodiny | 1 hodina | 15 minut | 10 minut | Nevýznamný | |

Obrázek 2.2 Určení následku pro 70/30 kV vedení, Gotland (přeloženo z [10])

Matice nepracuje s počtem odběrných míst, ale s výkonem, což je způsobeno právě specifickým typem DS, která slouží také pro přenos elektrické energie vyrobené z větrných elektráren na švédskou pevninu [10].

2.2 Metodika využití RIM norskými PDS

V Norsku vznikla ve spolupráci s místními PDS příručka *A guide to Risk Based Maintenance and Reinvestment Management* [11], která popisuje metody řízení rizika a jednou z nich je i využití RIM. Informace uvedené v části 2.2 vychází právě z tohoto dokumentu. Přístup k využití RIM je zde ovšem výrazně odlišný, než od způsobu využití popsaného v části 2.1, případně jak je využívám společností EG.D.

K RIM se zde přistupuje více kvalitativně, v první fázi se otázkou „Co by se mohlo stát špatného?“ určí seznam potenciálních nebezpečných událostí. Tento seznam se sestavuje diskusí s experty a bývá podložen historickými daty.

Pro dřevěný podpěrný bod například:

- zlomení podpěrného bodu,
- poškození podpěrného bodu požárem,
- přeskok na izolátoru,
- pád vodiče na konzolu,
- zničení konzoly,
- nevyhovující uzemnění,
- pád osoby z podpěrného bodu,
- dotyk živých částí osobou,
- stékání impregnace do vody, případně půdy atd.

Dále se určí, jaká je pravděpodobnost, že se daná událost stane. Pravděpodobnost je rozdělena do pěti kategorií:

- extrémně pravděpodobné – více než jedenkrát za rok,
- velmi pravděpodobné – jednou za 1–10 let,
- pravděpodobné – jednou za 10–100 let,
- méně pravděpodobné – jednou za 100–1000 let,
- nepravděpodobné – jednou za více než 1000 let.

Pravděpodobnost se určuje opět z názoru expertů a historických dat o výpadcích a poruchách. Se stále větším množstvím sbíraných dat se počítá se stále vyšší vahou těchto dat k ověření názorů expertů.

Následek ovšem není v případě použití RIM v Norsku určován jen jako počet odpojených odběrných míst, případně z hlediska výkonu, ale je na něj hleděno z větší perspektivy. Celkově jsou výsledkem analýzy 4 RIM pro každý zkoumaný prvek, kdy jedna RIM se zabývá dopadem na bezpečnost, druhá dopadem na životní prostředí, třetí dopadem na pověst a poslední finančním dopadem.

Pro každou RIM se uvažují jiné následky, například pro RIM zabývající se dopadem na bezpečnost:

- katastrofální následek – jedno a více úmrtí, případně mnoho vážných zranění,
- vážný následek – více než jedna osoba s vážným zraněním,
- střední následek – od středně těžkých po vážná zranění,
- malý následek – menší zranění
- zanedbatelný následek – žádná zranění

Ze seznamu vypsanych potenciálních událostí vyplývá, že například pro právě zmíněnou RIM, která se věnuje dopadům na bezpečnost, nejsou všechny potenciální události relevantní. Do této RIM bude vstupovat zlomení podpěrného bodu, zničení konzoly, nevyhovující uzemnění, pád osoby z podpěrného bodu a dotyk živých částí. Naopak RIM zabývající se dopadem na životní prostředí bude reflektovat událost stékání impregnace do vody, případně půdy. Sestrojené RIM slouží pro vizuální prezentaci výsledků a jsou podkladem pro preventivní údržbu, případně investic do rozvoje a obnovy sítě [11].

3. AKTUÁLNÍ STAV APLIKACE RIM V EG.D

Následující kapitola se věnuje popisu současného stavu využití RIM pro prvky distribuční soustavy v EG.D. Jsou popsány základní principy, které jsou platné pro všechny napěťové hladiny distribuční soustavy a následně jsou jednotlivé napěťové hladiny detailně rozebrány. Kapitola se také věnuje navržené změně kategorizace rizikových faktorů, popisuje zvolenou metodu a na konkrétním příkladu dokazuje vhodnost použití metody. Informace obsažené v této kapitole vychází z interních dokumentů EG.D, konkrétně se jedná o dokumenty obsahující váhy jednotlivých faktorů [7], metodiku pro NN [8], metodiku pro VN [9], metodiku pro VVN [12] a analýzu využití k-means [14].

3.1 Základní principy tvorby RIM v EG.D

RIM, kterou aktuálně využívá EG.D má rozměr 10x10 a je dělena do 5 segmentů (A-E), kdy v segmentu A (červená barva) se nachází prvky, pro které platí maximální doporučení pro obnovu. Naopak segment E (zelená barva) odpovídá minimálnímu doporučení pro obnovu prvků, které se v daném segmentu nachází.

Každé pole RIM představuje průsečík hodnoty kategorizace důsledku (odpovídá pojmu „následek“ dle [1]) poruchy a hodnoty kategorizace rizikového faktoru (odpovídá pojmu „pravděpodobnost výskytu“ dle [1]). Obrázek 3.1 zobrazuje příklad výsledné matice RIM pro podzemní kabelové úseky VN.

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Důsledek poruchy | 10 | E 10 | D 10 | C 16 | B 8 | B 19 | B 14 | A 99 | A 43 | A 28 | A 6 |
| | | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 19 | 23 | 9 | 2 |
| | 9 | E 14 | D 5 | C 16 | B 15 | B 33 | B 43 | A 190 | A 133 | A 68 | A 22 |
| | | 4 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 8 | 30 | 16 | 4 |
| | 8 | E 38 | D 6 | C 24 | B 9 | B 28 | B 38 | A 191 | A 110 | A 55 | A 20 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 5 | 31 | 11 | 9 |
| | 7 | E 114 | D 82 | C 154 | B 71 | B 184 | B 324 | A 1274 | A 848 | A 601 | A 117 |
| | | 4 | 3 | 1 | 10 | 18 | 26 | 67 | 195 | 142 | 34 |
| | 6 | E 188 | D 106 | C 243 | B 132 | B 257 | B 443 | A 1636 | A 981 | A 617 | A 81 |
| | | 7 | 1 | 3 | 14 | 11 | 20 | 59 | 212 | 131 | 23 |
| 5 | E 154 | D 214 | C 371 | B 237 | B 409 | B 568 | A 2365 | A 1273 | A 681 | A 90 | |
| | 12 | 6 | 6 | 9 | 17 | 37 | 43 | 239 | 138 | 32 | |
| 4 | E 49 | D 54 | C 118 | B 47 | B 74 | B 126 | A 533 | A 315 | A 203 | A 38 | |
| | 2 | 0 | 3 | 9 | 4 | 11 | 33 | 69 | 55 | 10 | |
| 3 | E 126 | D 63 | C 90 | B 67 | B 100 | B 101 | A 478 | A 324 | A 208 | A 44 | |
| | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 20 | 94 | 48 | 8 | |
| 2 | E 39 | D 23 | C 71 | B 37 | B 55 | B 101 | A 497 | A 253 | A 106 | A 15 | |
| | 2 | 3 | 6 | 5 | 5 | 11 | 34 | 90 | 33 | 1 | |
| 1 | E 225 | D 171 | C 239 | B 145 | B 181 | B 206 | A 744 | A 345 | A 278 | A 65 | |
| | 3 | 1 | 7 | 6 | 1 | 2 | 35 | 112 | 66 | 18 | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | | Rizikové faktory | | | | | | | | | |

Obrázek 3.1 RIM pro podzemní kabelové úseky VN (převzato z [9])

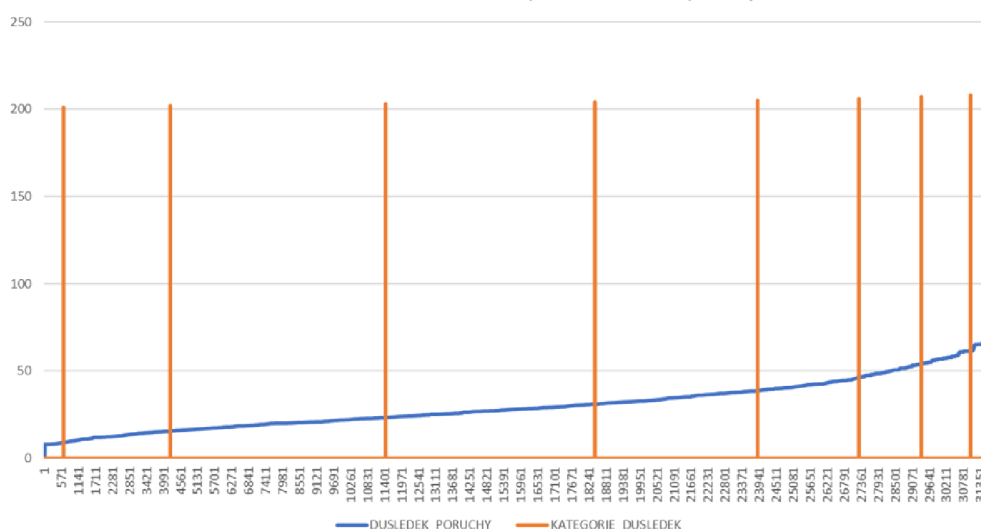
Vstupy pro výsledný faktor se pomocí lineární funkce převádí na normalizované hodnoty v intervalu 0-100, například minimální hodnota počtu odběrných míst = 0 a maximální hodnota počtu odběrných míst = 100 [9].

Výsledný faktor (Důsledek poruchy, Rizikový faktor) se pohybuje v intervalu 0-100 a je dán součtem jednotlivých násobků faktorů a koeficientů vah jednotlivých faktorů. Lze jej popsat matematickým vzorcem:

$$VF = \sum_{i=1}^n (k_i \cdot f_i), \quad (3.1)$$

kde VF značí výsledný faktor a k_i odpovídá koeficientu vah pro faktor f_i .

Výsledné faktory je následně nutné kategorizovat, tedy rozdělit je do kategorií od 1 do 10. Kritériem je přibližně stejná mocnost jednotlivých kategorií a také požadavek, aby malá změna hodnoty veličiny nevedla k velké změně kategorie [9]. Obrázek 3.2 ukazuje příklad kategorizace pro úsekové spínače VN a pro důsledek poruchy.



Obrázek 3.2 Kategorizace pro úsekové spínače a důsledek poruchy [9]

Při sestavování RIM se v EG.D využívají interní datové zdroje [9]:

- GIS – technická data o zařízení,
- SAP PM – informace o závadách a poruchách a jejich aktuálním stavu,
- OMS – informace o poruchách,
- Křivky zastarávání – vliv stáří na stav zařízení,
- Diagnostika kabelů – informace o měření tangens Delta a částečných výbojů,
- ITS – výpočet indexu technického stavu.

3.2 RIM pro prvky hladiny NN

Informace uvedené v části 3.2 vychází z metodiky RIM pro NN [8]. Mezi prvky řešené

na hladině NN (0,4 kV) patří:

- NN podpěrné body,
- NN vodiče,
- NN kabelové skříně,
- NN kabely.

3.2.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny NN

Důsledek poruchy pro prvky hladiny NN závisí na čtyřech faktorech.

Počet odběrných míst, který závisí na topologii sítě a jejím zapojení. Normalizovaná hodnota faktoru je lineární funkce podle počtu odběrných míst.

Nahraditelnost, která opět závisí na topologii sítě a vyjadřuje, zda místo zasažené poruchou je možno přepojit na jiný distribuční transformátor nebo na jiný vývod z distribučního transformátoru.

Časová náročnost opravy, která se odvíjí od druhu zařízení pro podpěrné body a kabelové skříně a od typu vedení pro podpěrné body, vodiče a kabely.

Velikost odběrného místa/důležitost, který se uplatňuje pouze u kabelových skříní. Je určen z příkonu odběrného místa a výkonu připojeného zdroje. Normalizovaná hodnota faktoru je lineární funkce od součtu hodnoty příkonů, či výkonů zdroje.

3.2.2 Rizikový faktor pro prvky hladiny NN

Rizikový faktor, tedy pravděpodobnost poruchy pro prvky hladiny NN, závisí na sedmi faktorech.

ITS, tedy index technického stavu, který se číselně vyhodnocuje na základě informací od pracovníků v terénu při plnění Řádu preventivní údržby.

Stáří, kdy se nejprve určí rozdíl mezi aktuálním rokem a rokem výroby zařízení, případně rokem poslední rekonstrukce. Tato hodnota je následně napojena na křivky stárnutí. Z těchto křivek je poté určena výsledná hodnota koeficientu stáří.

Druh je pro každý typ prvku rozdílný. Pro podpěrné body reflektuje materiál podpěrného bodu, tedy zda se jedná o podpěrný bod dřevěný, betonový, ocelový atd. U vodiče reflektuje, zda se jedná o vedení holé, izolované nebo o závěsný kabel. Pro kabelové skříně zase zda jde o skřín připojkovou, smyčkovací, rozpojovací, případně jiný typ kabelové skříně. U kabelů se rozlišují dva druhy. Tedy zda jde o plastový nebo olejový kabel.

Počet poruch je získáván z databázi poruch typů jednotlivých zařízení.

Náklady na závady jsou náklady na odstranění závad pro jednotlivé prvky a jsou získávány z datového zdroje EG.D

Extravilán/intravilán označuje, zda se daný prvek nachází v zastavěné nebo nezastavěné části obce.

Součinnost s obcemi reflektuje možnost, že v obci bude probíhat rekonstrukce, se kterou by se dala provést rekonstrukce prvků distribuční soustavy. Například nahrazení venkovního vedení kabelovým při opravě kanalizace, vodovodu, plynového potrubí.

3.2.3 Agregace prvků

Při agregaci prvků se vychází z podobného principu jako při vytváření RIM pro jednotlivé prvky. Hodnoty koeficientů vah jednotlivých prvků vstupujících do agregace jsou určeny podle toho, jaké prvky agregovaný úsek obsahuje. Pro prvky hladiny NN se aktuálně uvažuje s hodnotami koeficienty vah uvedenými v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina NN

| | Vodič | PB | Skříň | Kabel |
|---------------------------------|-------|-----|-------|-------|
| Je RIM vodič, PB, skříň | 0,15 | 0,6 | 0,25 | |
| Je RIM vodič, PB, není skříň | 0,2 | 0,8 | 0,0 | |
| Je RIM vodič, skříň, není PB | 0,75 | 0,0 | 0,25 | |
| Je RIM vodič, není PB ani skříň | 1,0 | 0,0 | 0,0 | |
| Je RIM kabel, skříň | | | 0,25 | 0,75 |
| Je RIM kabel, není Skříň | | | 0 | 1 |

3.3 RIM pro prvky hladiny VN

Informace uvedené v části 3.3 vychází z metodiky RIM pro VN [9]. Mezi prvky řešené na hladině VN (22 kV) patří:

- VN kabelové úseky,
- VN podpěrné body,
- VN úsekové spínače,
- VN venkovní vedení,
- Distribuční trafostanice VN.

3.3.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny VN

Důsledek poruchy pro prvky hladiny VN závisí na čtyřech faktorech.

Počet odběrných míst, který závisí na topologii sítě a jejím zapojení. Pro kabelové úseky se počet odběrných míst určuje jako suma odběrných míst distribučních trafostanic připojených na jednotlivé kabelové trasy. Pro podpěrné body, úsekové spínače a venkovní vedení se využívá tabulka s výsledky analýzy stromové topologie úseků. Pro distribuční trafostanice se vychází z podkladové tabulky. Normalizovaná hodnota faktoru je lineární funkce podle počtu odběrných míst.

Nahraditelnost, která se uplatňuje pouze u kabelových úseků a distribučních trafostanic. Tento faktor je určen na základě zkrhování vedení, tedy nahraditelnosti kabelového úseku během poruchy. U trafostanice se faktor nahraditelnost určuje podle počtu kabelových úseků, kterými je trafostanice připojena.

Časová náročnost opravy, která se určuje pouze pro podpěrné body a závisí na materiálu daného podpěrného bodu.

Typ vedení, který se uplatňuje pro prvky venkovního vedení a značí, zda se jedná o kmen, odbočku nebo přípojku.

3.3.2 Rizikový faktor pro prvky hladiny VN

Rizikový faktor, tedy pravděpodobnost poruchy pro prvky hladiny VN, závisí na dvanácti faktorech.

ITS, tedy index technického stavu, který se číselně vyhodnocuje na základě informací od pracovníků v terénu při plnění Řádu preventivní údržby.

Stáří, kdy se nejprve určí rozdíl mezi aktuálním rokem a rokem výroby zařízení, případně rokem poslední rekonstrukce. Tato hodnota je následně napojena na křivky stárnutí. Z těchto křivek je poté určena výsledná hodnota koeficientu stáří. Pro distribuční trafostanice se vychází ze tří vstupů, konkrétně ze stavební části, VN části a NN části. Váhy těchto vstupů závisí na tom, zda je trafostanice venkovní nebo kiosková.

Diagnostika kabelů, který se určuje na základě výsledků měření z aplikace Diagnostika kabelů. Toto měření se provádí pro celou kabelovou trasu a je interpretováno podle algoritmu na nejstarší olejové úseky, pokud takové v dané trase nejsou, tak na nejstarší plastové úseky. Výsledkem měření, konkrétně měření tangens delta (ztrátový činitel) a informace o částečných výbojích, není kvantitativní, ale kvalitativní a může dosahovat stavů: Schopný provozu, Mírné riziko, Vysoké riziko a Nebylo měřeno. Kombinace výsledků měření je jednoduchým algoritmem zpracována a dostáváme opět normalizovaný výsledek v rozsahu 0-100.

Typ (druh) je faktor, který se výrazně liší pro každý prvek.

Pro kabelové úseky závisí na materiálu kabely, tedy zda se jedná o olejový nedolévatelný, nebo dolévatelný kabel, případně zda jde o plastový kabel, kde se rozlišuje, „nový“ a „starý“ typ.

U podpěrných bodů se uvažuje materiál podpěrného bodu, tedy zda je podpěrný bod betonový, dřevěný, příhradový.

U venkovního vedení, zda jde o izolovaný vodič stíněný, nestíněný nebo o holý vodič.

Pro úsekový spínač reflektuje typ úsekového spínače, rozlišuje se komorový, růžkový, pružinový, recloser, flexi.

U distribučních trafostanic se rozlišuje vnitřní, venkovní sloupová nebo venkovní příhradová trafostanice.

Počet spojek se udává pro kabelové úseky. Normalizovaná hodnota je lineární funkcí od počtu spojek na trase v intervalu 0-100.

Počet poruch je získáván z databázi poruch typů jednotlivých zařízení.

Typ izolátoru úsekového spínače rozlišuje, zda izolátor daného úsekového spínače je plastový nebo keramický.

Manipulace úsekových spínačů je lineární funkce od počtu manipulací úsekovými spínači v intervalu 0-100.

Náklady na závady jsou náklady na odstranění závad pro jednotlivé prvky a jsou získávány z datového zdroje EG.D.

Lesní průsek se určuje pro prvky venkovního vedení a jedná se o lineární funkci od velikosti plochy lesního průseku.

Intravilán označuje, zda se daný prvek nachází v zastavěné části obce.

Námrazové oblasti se uvažují pro prvky venkovního vedení. Námrazové oblasti jsou rozděleny do třech skupin, kdy pro každou odpovídá jedna hodnota rizikového faktoru.

3.3.3 Agregace prvků

Při agregaci prvků se vychází z podobného principu jako při vytváření RIM pro jednotlivé prvky. Hodnoty koeficientů vah jednotlivých prvků vstupujících do agregace jsou určeny podle toho, jaké prvky agregovaný úsek obsahuje. Pro prvky hladiny VN se aktuálně uvažuje s hodnotami koeficienty vah uvedenými v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2 Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina VN

| | Vodič | PB | ÚS |
|--------------------|-------|------|------|
| Je RIM PB i ÚS | 0,2 | 0,75 | 0,05 |
| Je RIM PB, není ÚS | 0,2 | 0,8 | 0,0 |
| Je RIM ÚS, není PB | 0,95 | 0,0 | 0,5 |
| Není RIM PB ani ÚS | 1,0 | 0,0 | 0,0 |

3.4 RIM pro prvky hladiny VVN

Informace uvedené v části 3.4 vychází z metodiky RIM pro VVN [12]. Mezi prvky řešené na hladině VVN (110 kV) patří:

- VVN podpěrné body,
- VVN vodič,

3.4.1 Důsledek poruchy pro prvky hladiny VVN

Jediný faktor, který se aktuálně pro důsledek poruchy pro prvky hladiny VVN je počet odběrných míst, které jsou daným úsekem napájeny.

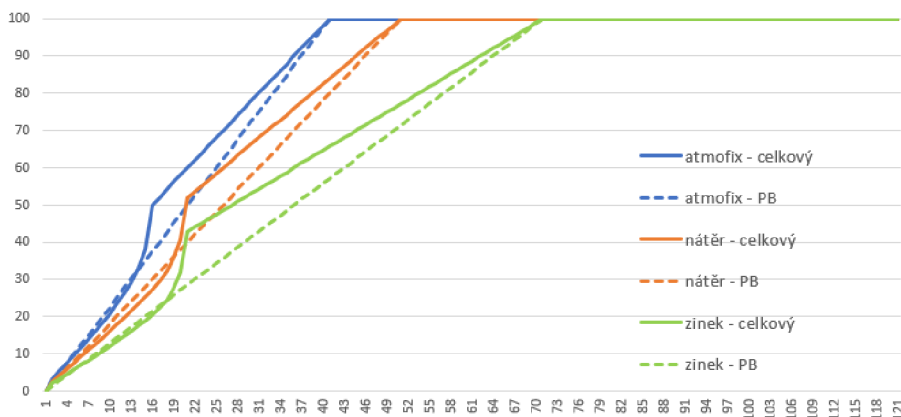
3.4.2 Rizikové faktory pro prvky hladiny VVN

Rizikový faktor, tedy pravděpodobnost poruchy pro prvky hladiny VVN, závisí na devíti faktorech.

ITS, tedy index technického stavu, který se číselně vyhodnocuje na základě informací od pracovníků v terénu při plnění Řádu preventivní údržby.

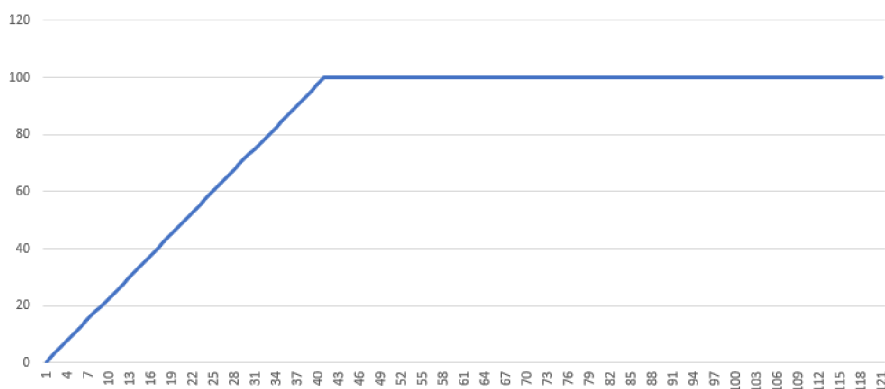
Staří, jehož určení se pro PB a vodič liší. Pro PB vychází z kombinace křivek stárnutí dle kategorie povrchové úpravy a křivek stárnutí náteru dle kategorie povrchové úpravy

(obrázek 3.3). Výsledkem je lineární funkce, kdy osa x představuje roky od instalace a osa y rizikový faktor stáří pro PB.



Obrázek 3.3 Výsledné rizikový faktor stáří PB VVN, převzato z [12]

Pro vodič VVN je křivka stárnutí určena jako lineární funkce, kdy osa x představuje roky od instalace a osa y rizikový faktor stáří pro vodič VVN (obrázek 3.4). Výsledná přímka má strmost 2,5, tedy za každý rok od instalace se rizikový faktor stáří zvětší pro vodič VVN o 2,5.



Obrázek 3.4 Výsledný rizikový faktor stáří vodiče VVN, převzato z [12]

Druh/typ/materiál se opět liší v závislosti na tom, zda je jedná o PB nebo vodič. Na hladině VVN má aktuálně EG.D 12 typů izolátorů, nejčastěji jde o mřížové PB, dále ocelové a v provozu je stále jeden betonový PB na hladině VVN. U PB se největší riziko přepokládá pro mřížový dvojdřík sedlák příhradový, případně ocelový dvojdřík sedlák s laminátovým břevnem. Riziko u ostatních typů (donau, horizon, stromek, soudek...) je výrazně nižší. U vodičů se zohledňuje materiál a průřez vodiče.

Provozní důležitost 400/110 kV je faktor, který uplatňuje se pouze pro vodiče.

Stáří izolátoru/vybavení se uplatňuje pouze u PB, hodnota stáří izolátoru/vybavení se číselně normalizuje.

Druh/typ izolátoru se opět uplatňuje pouze U PB. Na hladině VVN má aktuálně EG.D 16 druhů izolátorů, ať už se jedná o plastové, keramické nebo kompozitní izolátory, nyní jsou jako standard určeny 3 typy keramických izolátorů, kde je riziko vyhodnoceno jako velmi nízké.

Zatížení linek vlivem vyhřívání je rizikový faktor, který zohledňuje namáhání vodičů vlivem vyhřívání, určuje se podle počtu aktivování vyhřívání, kdy se předpokládá, že vyhřívání přispívá ke snižování životnosti vodiče.

Námrazové oblasti jsou rozděleny do třech skupin, kdy pro každou odpovídá jedna hodnota rizikového faktoru. Stejně jako na hladině VN se uvažují pro prvky venkovního vedení, tedy pro PB i vodiče.

Počet poruch vychází z ukazatelů spolehlivosti SAIFI, SAIDI a uplatňuje se pro vodiče i PB.

3.4.3 Agregace prvků

Při agregaci prvků se vychází z podobného principu jako při vytváření RIM pro jednotlivé prvky. Prvek KZL/ZL předpokládá rizikové faktory pro zemní lana, tento prvek ještě není z důvodu nedostatku/nepřesnosti dat řešen, ale do budoucna se s ním počítá. Pro prvky hladiny VVN se aktuálně uvažuje s hodnotami koeficienty vah uvedenými v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Váhy jednotlivých rizikových faktorů pro agregaci, hladina VVN

| Prvek | Vodič | PB | KZL/ZL |
|-------|-------|------|--------|
| Váha | 0,2 | 0,75 | 0,05 |

3.5 Nový způsob kategorizace

Aktuálně používaná metoda kategorizace rizik je určována spíše subjektivně. Správně se přihlíží k přibližně stejné mocnosti jednotlivých kategorií a také k požadavku, aby malá změna hodnoty veličiny nevedla k velké změně kategorie, ale způsob kategorizace aktuálně není popsán žádnou statistickou metodou. Z dlouhodobého hlediska by daný způsob nebyl udržitelný, omezoval by možnost algoritmizace výpočtu a zanášel by do RIM chybu. Proto se v rámci EG.D zkoumala možnost využití některé ze statistických analýz a jako vhodná se ukazuje shluková analýza, což je soubor mnoha metod, které využívají různý přístup k rozdělování objektů, které mají podobné vlastnosti, do shluků. Pro využití RIM byla zvolena metoda k-průměrů (k-means).

Metoda k-means třídí jednotlivé objekty do shluků na základě podobnosti. Na začátku algoritmu je nutné určit celkový počet shluků a určit počáteční středy shluků, algoritmus dále přiřadí každý objekt do shluku podle vzdálenosti středu shluku (ke kterému středu je daný objekt nejbližší). Po přiřazení všech objektů do prvotních shluků se přepočítají středy jednotlivých shluků jako aritmetické průměry všech bodů daného shluku. Tento postup se opakuje, dokud se středy shluku neustálí na jedné hodnotě. Výhodou metody je rychlost a jednoduchost, metoda také dokáže efektivně pracovat s velkým

množstvím dat, a to v konečném počtu iterací. Nevýhodou metody je obecně nutnost určit předem počet shluků (v našem případě určeno dimenzí RIM), problematické je prvotní umístění středů shluků, kdy při různých zvolených středech můžeme dostat rozdílné výsledky. Pokud jsou vstupní data silně variabilní, je vhodné provést před užitím standardizaci dat [13].

Pokud bychom neměli předem určený počet počátečních středů, je vhodné použít metodu siluety (silhouette score) Tato metoda měří, jak dobře je bod umístěn ve shluku. Ze všech vypočtených hodnot se určí průměrná hodnota. Výsledek této metody je hodnota v intervalu $\langle -1, 1 \rangle$, kdy hodnota blízko 1 značí správné zařazení bodů ve shluku. V našem případě máme počet prvotních středů jasně určen rozměrem matice, přesto je vhodné tuto metodu využít alespoň pro kontrolu zařazení jednotlivých bodů [14].

4. ZHODNOCENÍ POUŽITÍ RIM V EG.D

Následující kapitola se věnuje kritickému zhodnocení aktuálního stavu použití RIM pro prvky distribuční soustavy ve společnosti EG.D V první části je zhodnocen přístup ke vstupům RIM. Jsou popsány rozdíly mezi jednotlivými napěťovými hladinami, problematika agregace prvků do větších celků a také kategorizace. Vychází tedy hlavně z informací ve třetí kapitole a z přílohy B.

Druhá část se zaměřuje na výslednou RIM, jak je zobrazena na obrázku 3.1. Zhodnocuje, zda RIM splňuje tři axiomy konzistence uvedené ve druhé kapitole, navrhuje případnou úpravu RIM aby došlo ke splnění všech tří axiomů konzistence, ale zároveň částečně obhajuje aktuální stav, který souvisí se specifičností používání RIM pro prvky DS. Dále se věnuje problematice nestabilitě kategorizace, lži faktoru a centrovacím biasu u výsledné RIM.

4.1 Zhodnocení vstupů RIM

Jednotlivé vstupy RIM se v průběhu vývoje v EG.D měnily, vycházelo se hlavně z odborného odhadu v kombinaci se sesbíranými historickými daty. Při sestavování rizikových faktorů došlo nejprve k logickému rozdělení podle napěťových hladin, protože v provozu sítě na jednotlivých napěťových hladinách jsou významné rozdíly.

Hladiny NN a VN jsou prakticky kompletně zpracovány. Pro důsledek poruchy je u obou hladin dominantním faktorem počet odběrných míst, který tvoří výsledný faktor důsledek poruchy z 60-80 % v závislosti na analyzovaném typu zařízení. Dalším důležitým faktorem je nahraditelnost, tedy možnost přepojit postižený vývod. U venkovních prvků VN se nahraditelnost nahrazuje faktorem typ vedení, který značí, zda se jedná o kmen, odbočku nebo přípojku. Tyto faktory vstupují do výsledného faktoru důsledek poruchy z 20 %. Dále do výsledného faktoru vstupují časová náročnost opravy a velikost odběrného místa, jejich vliv je 10 % a méně v závislosti na analyzovaném zařízení.

Všechny tyto faktory v podstatě reflektují ukazatele SAIFI, respektive SAIDI. Ukazatel SAIFI, tedy průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie se dle [15] vypočte:

$$SAIFI = \sum_i \frac{n_i}{Z_s}, \quad (4.1)$$

kde n_i je počet přerušení u i -tého zákazníka v daném období (obvykle roce), Z_s je celkový počet zákazníků v síti.

Ukazatel SAIDI, tedy průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektrické energie se dle [15] vypočte:

$$SAIDI = \sum_i \frac{t_{s,i}}{Z_s}, \quad (4.2)$$

kde $t_{s,z}$ je souhrnná roční doba trvání přerušení u i -tého zákazníka a Z_s je celkový počet zákazníků v síti.

Pro rizikový faktor (tedy pravděpodobnost poruchy) jsou nejdominantnějšími faktory stáří a index technického stavu, které se na výsledném rizikovém faktoru uplatňují ze 70-90 % v závislosti na typu analyzovaného zařízení. Index technického stavu vychází z kontrol pracovníků v rámci řádu preventivní údržby a je to číselné vyjádření aktuálního stavu zařízení. Z tohoto popisu vyplývá, že v případě kabelových vedení je tento faktor dost limitován, proto je na hladině NN u kabelů dána větší priorita faktoru stáří, na hladině VN dochází k měření ztrátového činitele (tangens delta) a částečných výbojů. Ostatní faktory se na výsledném rizikovém faktoru podílí z 5 a méně procent.

Navržené faktory poměrně komplexně zohledňují problematické a rizikové body prvků distribuční soustavy, metodika zdůvodňuje váhy jednotlivých faktorů, kdy se vycházelo z odborné diskuze, a také z historických dat. S přibývajícím standardizací prvků DS se dá očekávat, že některé faktory, například typ (druh) pro hladinu VN, ztratí na významu. Ovšem v současné době je jejich užití nutné.

Pro hladinu NN se také uvažuje s faktorem součinnost s obcemi. Tento faktor nemá s pravděpodobností poruchy nic společného, ovšem reflektuje možnost provést rekonstrukci některého prvku DS (např. nahrazení venkovního vedení ve městě kabelovým) v součinnosti s obcemi například při opravě kanalizace, chodníku, plynového rozvodu. Rekonstrukce by sice proběhla dříve, než by bylo z hlediska vypočteného rizika nutné, ovšem za cenu ušetření nákladů. Z tohoto důvodu je zařazení tohoto faktoru ospravedlnitelné a logické.

Metodika pro hladinu VVN je aktuálně rozpracovaná. Analyzovanými prvky jsou aktuálně pouze podpěrné body a vodiče. Důsledek poruchy je ze 100 % tvořen počtem odběrných míst, rizikový faktor (pravděpodobnost poruchy) tvoří ze 70 % pro podpěrné body a 80 % pro vodiče kombinace indexu technického stavu a stáří. Další faktory se na výsledném rizikovém faktoru uplatňují s váhou 10 a méně procent.

Sítě VVN jsou provozovány jako účinně uzemněné a jsou typické používáním zemních lan, které by také měly být analyzovány pomocí RIM. Dále by měly být analyzovány i prvky rozvodu VVN.

Z hlediska přístupu k RIM v EG.D je zaměření se nejprve na prvky hladin NN a VN naprosto logické, hladina VVN se podobně jako přenosová soustava vyznačuje velikou spolehlivostí, velice nízkou četností poruch a také většina poruch nezpůsobí přerušení dodávky elektřiny [16].

Dalším řešeným problémem je agregace prvků do větších logických celků s cílem zefektivnit plán údržby DS. Je obecně očekávatelné, že při plánování rekonstrukce prvků DS nebude docházet pouze k rekonstrukci jednoho konkrétního prvku, ale bude se rekonstruovat větší celek. Proto se jeví jako řešení agregovat jednotlivé prvky do větších úseků. Aktuální přístup popsán v metodice je velmi obdobný jako přístup pro sestavení RIM. Tedy jednotlivým prvkem jsou přiřazeny koeficienty a agregovaná RIM

je následně počítána totožně. Tento přístup s sebou nese určitá rizika, při poruše jednoho prvku se dá očekávat výpadek celého úseku. Pokud například budeme mít úsek, kde budou agregovány podpěrné body, vodič VN a úsekový spínač, tak aktuální váhy jsou 0,75 pro podpěrný bod, 0,2 pro vodič a 0,05 pro úsekový spínač. Může se tedy stát, že i přes to, že například úsekový spínač bude sám o sobě v nejhorším segmentu rizika A, tak výsledný agregovaný úsek bude v nejmenším segmentu rizika E, případně druhé nejmenší D, což bude z hlediska reálného rizika velmi zavádějící, v případě poruchy úsekového spínače velmi pravděpodobně dojde k výpadku celého úseku. Jako možné řešení se jeví určité zastropování podmínkami, například pokud jeden prvek je v nejhorším segmentu rizika, není možné, aby agregovaný úsek byl v nejlepším segmentu, případně práce pro agregaci přímo se segmenty.

Posledním problematickým místem je kategorizace. Současný stav počítá se subjektivní kategorizací a bere ohled na to, aby drobná změna nevedla k velké změně v kategorii, ale způsob kategorizace aktuálně není popsán žádnou statistickou metodou. Z dlouhodobého hlediska by daný způsob nebyl udržitelný, omezoval by možnost algoritmicke výpočtu a zanášel by do RIM chybu

V rámci EG.D bylo zvažováno použití metody k-means, jak je popsáno v části 3.5. Tato metoda umožňuje algoritmicke řešení, zároveň je doplněna zpětnou vazbou, která kontroluje správnost zařazení do správné kategorie, což řeší problémy s nestabilitou kategorizace a lži faktorem, jak je popsáno níže. Aktualizovaná RIM sestrojena dále v práci tuto metodu využívá

4.2 Zhodnocení výsledné RIM

Analyzovaná RIM je uvedena na obrázku 3.1, jedná se o RIM pro podzemní kabelové úseky na hladině VN.

Z hlediska plnění tří axiomů konzistence dochází ke splnění axiomu mezilehlosti, matice rozlišuje celkem 5 kategorií, proto je nutné analyzovat vždy tři po sobě jdoucí kategorie. Nejprve segmenty rizika E, D, C, následně segmenty D, C, B a také C, B, A. Axiom mezilehlosti v podstatě říká, že nejhorší a nejlepší kategorie v rámci zkoumané trojice se nesmí dotýkat ani rohy, což matice ve všech případech splňuje. Splnění tohoto axiomu výrazně pomáhá k tomu, aby drobná změna v hodnotách jednotlivých složek RIM nepřinesla velký skok v kategorii rizika.

RIM ovšem neplní axiom slabé konzistence, první podmínkou pro splnění je, že žádná buňka z nejhorší a nejlepší kategorie nesmí vzájemně sdílet žádnou hranu, tuto podmínku ještě plní, ovšem další podmínkou je, že ve spodním řádku a v levém sloupci se nesmí nacházet žádná červená buňka (nejhorší kategorie). Tuto podmínku buňkou (10,1) neplní. Analyzovaná RIM také neplní axiom konzistentních barev.

Pokud bychom se na navrženou RIM dívali jako na klasickou RIM, kde důsledek a pravděpodobnost má stejnou váhu (tedy například RIM pro finanční služby), tak je výsledná RIM nesmyslná. Je naprosto nekonzistentní, že prvek v poli (10,1)

je v segmentu A, tedy nejvyšší segment rizika a prvek v poli (1,10) v segmentu E, tedy nejmenší segment rizika. Zároveň je nevhodné, aby zařízení v buňce (10,1), tedy vysoká pravděpodobnost, ale minimální důsledek, byly ve stejném segmentu rizika jako zařízení v buňce (10,10), tedy vysoká pravděpodobnost, ale také velmi závažný důsledek poruchy

Pokud bychom se chtěli striktně držet splnění všech třech axiomů konzistence, tak by RIM měla vypadat například tak, jak je zobrazeno na obrázku 4.1.

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Důsledek poruchy | 10 | D | C | C | B | B | A | A | A | A | |
| | 9 | D | C | C | C | B | B | A | A | A | |
| | 8 | D | C | C | C | B | B | B | A | A | |
| | 7 | D | D | C | C | C | B | B | B | A | |
| | 6 | D | D | C | C | C | C | B | B | B | |
| | 5 | E | D | D | C | C | C | C | B | B | |
| | 4 | E | D | D | D | C | C | C | C | C | |
| | 3 | E | D | D | D | D | C | C | C | C | |
| | 2 | E | E | D | D | D | D | D | C | C | |
| | 1 | E | E | E | E | E | D | D | D | D | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | | Rizikové faktory | | | | | | | | | |

Obrázek 4.1 RIM striktně splňující všechny tři axiomy konzistence

Tento striktní přístup ovšem naráží na specifikum přístupu k RIM v EG.D. Důsledek poruchy je dominantně tvořen počtem odběrných míst, což není proměnná, která by se dramaticky lišila v rámci jednotlivých let. U zařízení, jejichž rizikový faktor by byl 10 a důsledek poruchy 1 by tedy mohlo hrozit, že zařízení zůstanou v segmentu D (tedy nebude doporučeno zařízení rekonstruovat) až do doby, kdy dojde k poruše, určité vychýlení segmentů v pravé části matice je tedy obhajitelné a z výše popsaného důvodu i doporučované, ovšem takto zásadní vychýlení, jak je zobrazeno na obrázku 3.1 může být problematické hlavně z hlediska nestability kategorizace, je tedy nutné provést citlivostní analýzu RIM, aby bylo možné určit, zda je dané rozvržení segmentů v matici funkční a obhajitelné.

Kompresa rozsahů a lži faktor jsou částečně vyřešeny už samotným způsobem vytvoření RIM, kdy velká část faktorů je normalizována do intervalu v rozsahu 0-100, což znamená dostatečné zastropování, aby nemohlo dojít k problému popsaném v části 1.5.

Posledním analyzovaným problémem byl centrovací bias. Jednotlivé hodnoty koeficientů uvedených například v [9] nevykazují problém s centrovacím biasem, často je využíván kompletní rozsah škály 0-100, a to včetně krajních limitů. Dále tento problém částečně eliminuje velký rozměr RIM.

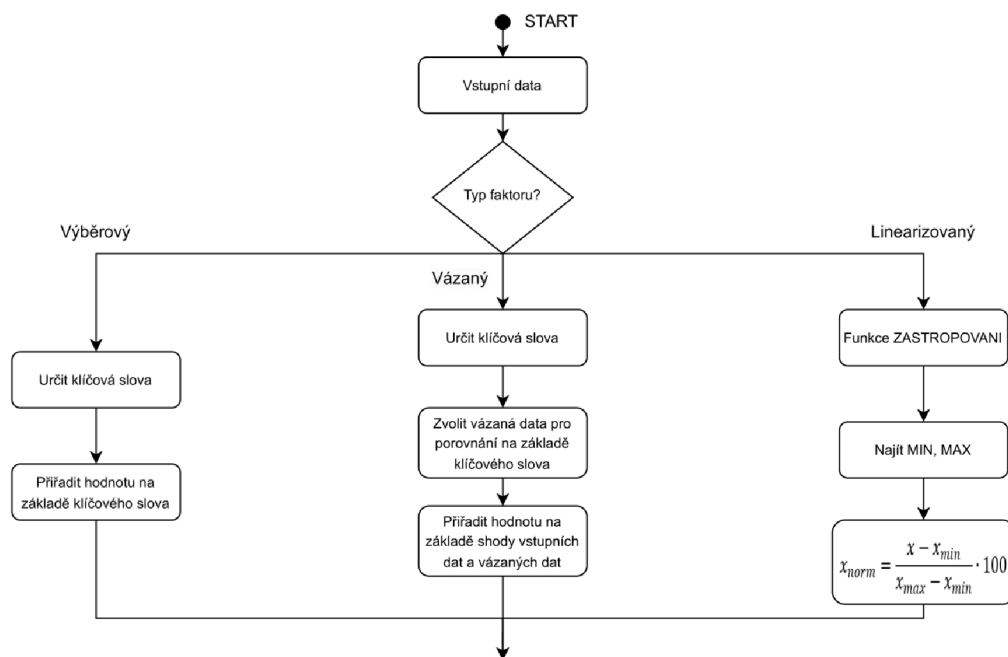
5. ALGORITMUS PRO PŘÍRAZENÍ PRVKŮ DO RIM

Pátá kapitola se věnuje návrhu obecného algoritmu pro přiřazení prvků do RIM. Celý proces přiřazení prvků do RIM se skládá ze tří kroků. V první části kapitoly je popsána normalizace hodnot dílčích faktorů do intervalu 0-100. Ve druhé části je uveden postup pro určení výsledných faktorů důsledků poruchy a rizikový faktor. V poslední části kapitoly je znázorněn princip zařazení prvků do RIM na základě hodnot výsledných faktorů. Kompletní blokový algoritmus je uveden v příloze A.

5.1 Normalizace hodnot

První část přiřazení prvků do RIM se skládá z normalizace hodnot jednotlivých faktorů. Jednotlivé faktory se dají rozřadit do 3 typů.

Prvním typem je výběrový faktor, který se normalizuje na základě klíčového slova, druhým typem je vázaný faktor, který se normalizuje na základě dalších vázaných dat. Jedná se o kombinaci klíčového slova a jednoho dalšího parametru, jejichž kombinace poté přiřazuje normalizovanou hodnotu z například tabulky. Typickým příkladem je faktor Stáří u PB, který se normalizuje na základě kombinace druhu PB, počtu let od výstavby a na tyto dva parametry vázané křivky stárnutí. Posledním typem jsou linearizované faktory, kde se hodnoty normalizují do intervalu 0-100 linearizací. Normalizace hodnot je znázorněna na vývojovém diagramu na obrázku 5.1.

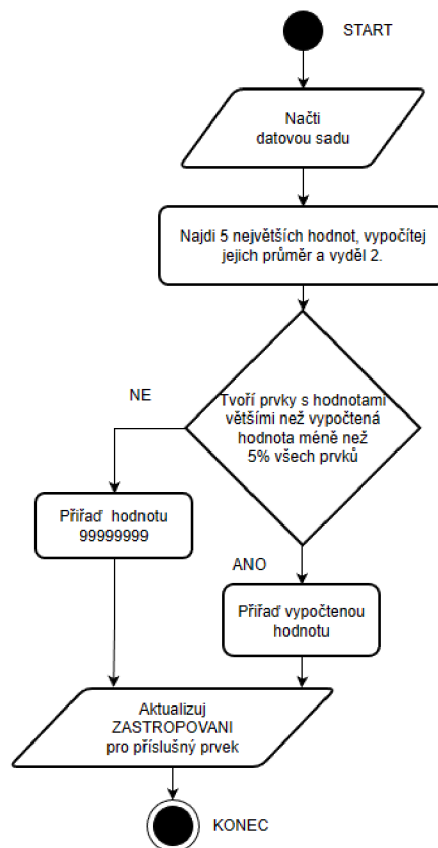


Obrázek 5.1 Vývojový diagram pro normalizaci hodnot

S linearizací souvisí funkce ZASTROPOVANI, která je znázorněna na obrázku 5.2. Tato funkce projde datovou sadu a postupně:

- najde 5 největších hodnot z datové sady,
- určí průměr těchto 5 hodnot a vydělí ho 2,
- vypočítá celkový počet prvků a počet prvků s hodnotou větší, než je hodnota vypočtená výše,
- pokud počet prvků s hodnotou větší, než je hodnota vypočtená výše tvoří méně než 5 % celkového počtu prvků, vypočtená hodnota je strop pro linearizaci, všem prvkům nad touto hodnotou je přiřazena hodnota 100,
- pokud tato podmínka neplatí, je vrácena hodnota 99999999, která reprezentuje tak velkou hodnotu, že žádný prvek v datové sadě takové hodnoty nemůže dosáhnout, tudíž strop pro linearizace není, tento postup je pro automatizaci normalizace hodnot a pro jednoduchou reprodukci algoritmu pro další prvky.

Funkce ZASTROPOVANI je proveden před normalizací každého linearizovaného faktoru.



Obrázek 5.2 Vývojový diagram pro funkci zastropování

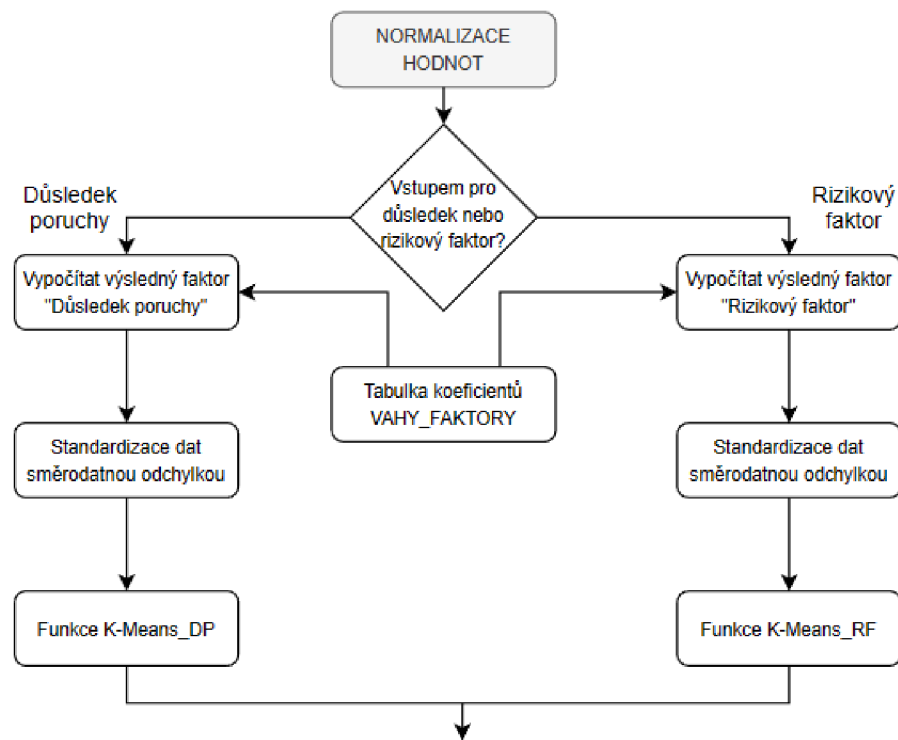
5.2 Výpočet výsledných faktorů

Po normalizaci hodnot je dalším krokem výpočet výsledných faktorů. Důsledek poruchy a Rizikový faktor a kategorizace do výsledných kategorií 1-10.

Když máme tedy vypočteny hodnoty všech dílčích faktorů, je možné vypočítat podle vzorce (3.1) výsledné faktory. Hodnoty koeficientů pro jednotlivé faktory jsou načítány z tabulky. Tyto hodnoty je následně nutné standardizovat pomocí vzorce:

$$x_s = \frac{x_p - \bar{x}}{s}, \quad (5.1)$$

kde x_s je výsledná standardizovaná hodnota, x_p je původní hodnota ke standardizaci, \bar{x} je průměr původních hodnot a s je směrodatná odchylka. Výsledná standardizovaná proměnná má tedy nulový průměr a rozptyl rovný jedné. Detailněji je metoda standardizace hodnot rozebrána například v [22]. Následně je pomocí K-means shlukování provedena kategorizace do kategorií 1-10. Postup výpočtu výsledných faktorů je uveden na obrázku 5.3.



Obrázek 5.3 Vývojový diagram pro výpočet výsledných faktorů

Jak bylo uvedeno kategorizace se provádí modifikovanou metodou k-means, jejíž princip je popsán v kapitole 3.5.

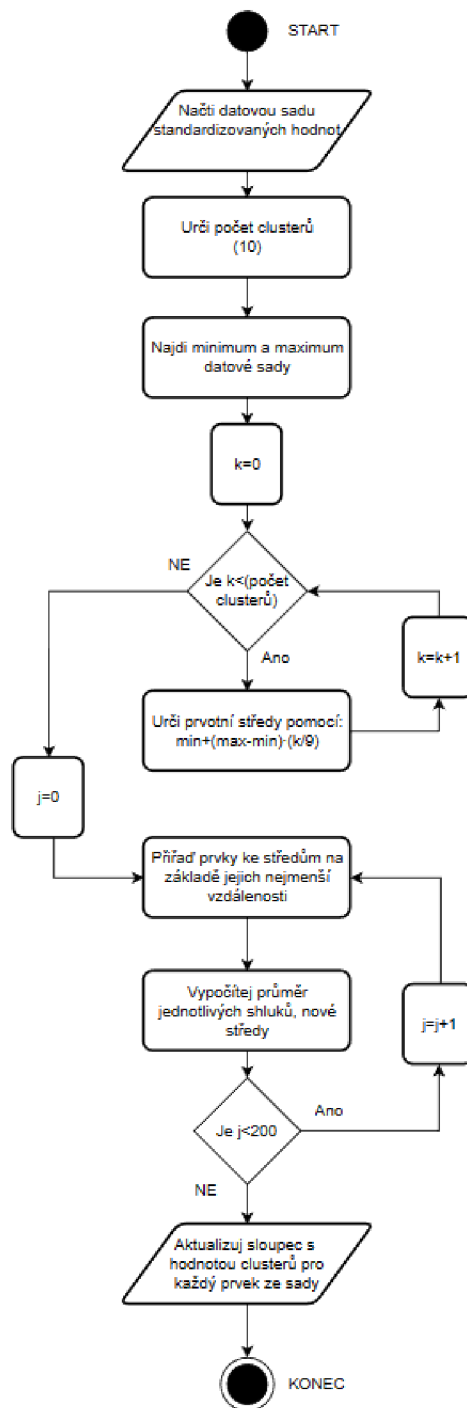
Základní k-means má počáteční umístění středů zvoleno naprosto náhodně. K-means se poté provede několikrát a na základě výpočtu siluety se zvolí nejlepší rozřazení. Tento postup ovšem není pro aplikaci tvorby RIM vhodný, a to hned ze dvou důvodů. Tím prvním je, že na aktuálně vytvořené RIM bude probíhat citlivostní analýza a kdyby byly středy vybírány náhodně, už tento výběr středů by generoval pokaždé trochu jinou výslednou RIM a citlivostní analýza by ani nemohla být provedena. Dalším a hlavním důvodem je, aby bylo možné jednotlivé RIM objektivně porovnávat v ročních intervalech. Z těchto důvodů bylo počáteční určení středů určeno pevně, konkrétně rovnoměrným rozdělením v celém intervalu hodnot. Toto rozhodnutí má vliv na kvalitu rozřazení a je zkoumáno v další části práce.

Navržený algoritmus funguje následovně:

- určí se počet clusterů (shluků), v našem případě je to rozměr RIM, tedy 10,
- najde se minimum a maximum datové sady,
- s pomocí minima a maxima dojde k rovnoměrnému rozložení středů shluků v rámci celého intervalu hodnot,
- jednotlivé prvky se na základě nejbližší vzdálenosti přidají k jednomu z deseti středů clusterů a vytvoří cluster,
- vypočte se průměr těchto clusterů,
- vypočtené průměry clusterů jsou nové středy,
- jednotlivé prvky se znovu na základě nejbližší vzdálenosti přidají k jednomu z deseti středů clusterů a vytvoří cluster,
- tato smyčka se opakuje celkově dvěstěkrát,
- po ukončení smyčky se uloží jednotlivé umístění v clusterech pro jednotlivé prvky.

Hodnota opakování cyklu je volena s ohledem na předcházení problémů v algoritmu, obecně by se K-means shlukování mělo ukončit v okamžiku, kdy se už žádný prvek nehýbe do dalšího shluku, k tomu dojde většinou mnohem dříve než při dvoustém opakování. Hodnota 200 je zvolena s dostatečnou rezervou, aby bylo shlukování úspěšně provedeno, ale aby zabránilo nekonečnému opakování v případě, kdy by nastal případ, že se například jeden prvek přesouvá se shluku do shluku, algoritmus by se řádně nedokončil a mohl způsobit zhroucení databáze v MS Access. V rámci optimalizace je možné případně hodnotu snížit.

Postup modifikované k-means je znázorněn na obrázku 5.4.



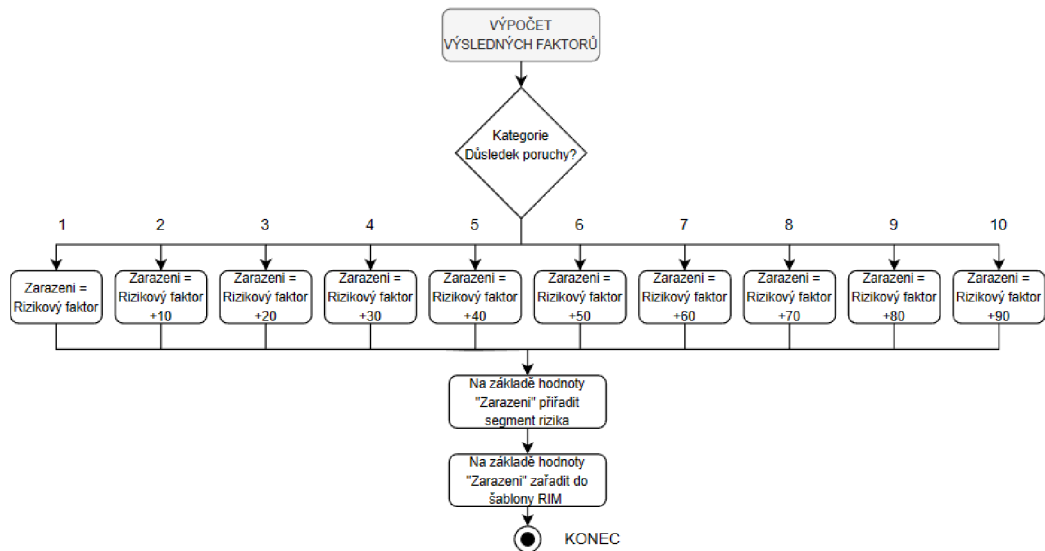
Obrázek 5.4 Vývojový diagram pro modifikované kmeans

5.3 Zařazení prvků do RIM

V případě, že máme kategorizované hodnoty Důsledek poruchy a Rizikový faktor, je možné určit zařazení každého prvku. Zařazení probíhá tak, že hodnota Důsledek poruchy určuje řádek matice, hodnota Rizikový faktor sloupec matice. V případě tedy, že

je například Důsledek poruchy 2 a Rizikový faktor je 7, je výsledné zařazení rovno hodnotě 17, protože Důsledek poruchy 2 znamená posun do druhého řádku RIM, tedy je přičtena k hodnotě Rizikového faktoru hodnota 10.

Na základě zařazení v konkrétním místě RIM je podle šablony RIM uvedené například na obrázku 3.1 pro každý prvek určen segment rizika. Postup zařazení prvků do RIM je znázorněn na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5 Vývojový diagram pro výpočet výsledných faktorů

6. AKTUALIZOVANÁ RIM PRO PODPĚRNÉ BODY VN

Tato kapitola popisuje proces tvorby aktualizované RIM pro podpěrné body VN na základě poskytnutých dat od EG.D.

V první části jsou popsána vstupní data, použité nástroje pro analýzu a zpracování těchto dat a také použité metody.

Druhá část se věnuje normalizaci vstupních faktorů. Dojde k rozdělení faktorů do tří druhů. Výběrové faktory se normalizují na základě klíčového slova, vázané faktory jsou vázané na další data, např. pro PB na hladině VN na křivky stárnutí PB. Linearizované faktory se normalizují pomocí linearizace v intervalu 0-100. Je u nich také řešena možnost zastropování. Normalizace vstupních faktorů je řešena SQL (standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk) aktualizacími dotazy, které jsou uvedeny v příloze D. Ke každému typu faktoru je uveden vývojový diagram.

Třetí část se věnuje určení výsledných faktorů. Pomocí aktualizacího SQL dotazu je vypočtena celková normalizovaná hodnota faktorů. Následně je provedena standardizace a rozřazení metodou k-means. Tyto funkce jsou již napsány v jazyce VBA (Visual Basic for Applications), konkrétní funkce jsou uvedeny v příloze E.

Poslední část kapitoly zobrazuje výslednou aktualizovanou RIM pro PB na hladině VN.

6.1 Vstupní data, použité nástroje a metody

Pro tvorbu RIM pro podpěrné body VN jsou využita data od EG.D, konkrétně se jedná o 238171 podpěrných bodů na hladině VN, které aktuálně zajišťují dodávku elektrické energie.

Každý PB obsahuje informaci o:

- FID PB (unikátní identifikátor PB),
- FID ÚSEK (identifikátor úseku vedení s daným PB),
- počtu OM,
- typu vedení,
- ITS (Index technického stavu),
- roku výstavby PB (případně jeho rekonstrukce),
- druhu PB,
- typu PB,
- námrazové oblasti,
- počtu poruch a nákladech na ně,
- počtu závad a nákladech na ně,
- lesním průseku,
- intravilánu.

Podrobný popis, co dané faktory reprezentují, je uveden v kapitole 3.3. Pro zpracování byly využity programy z kancelářského balíku MS Office, konkrétně tabulkový procesor MS Excel [19] a nástroj na správu databází MS Access [20], pro ověření funkčnosti navržených algoritmů byl využit program Matlab [21].

V MS Access bylo vytvořeno celkem 6 tabulek, které jsou nutné pro sestrojení RIM a správnému zařazení prvků.

Tabulka VEN_PB_VN_DATA obsahuje importovaná data poskytnutá od EG.D, jak jsou uvedeny výše.

Tabulka VEN_PB_VN_DATA_FAKTORY obsahuje výstup jednotlivých SQL aktualizací dotazů a VBA funkcí. Jsou do ní aktualizovány normalizované hodnoty faktorů, výsledné faktory pro Důsledek poruchy a Rizikový faktor, dále výstup ze standardizace a kmeans, zařazení prvků v RIM a segment rizika pro každý prvek.

Tabulka VAHY_FAKTORY obsahuje koeficienty jednotlivých faktorů pro výpočet výsledných faktorů.

Tabulka KRIVKY_STARNUTI_PB_VN obsahuje křivky stárnutí pro jednotlivé druhy PB. Slouží pro aktualizací dotaz STARI, který vypočítává normalizovanou hodnotu faktoru Stáří.

Tabulka ZASTROPOVANI je výstupem pro jednotlivé funkce ZASTROPOVANI, které se provádí u linearizovaných faktorů. Zároveň je vstupem pro jednotlivé SQL aktualizací dotazy linearizovaných faktorů.

Tabulka VYSTUP_RIM je tabulkou, kam jsou aktualizovány hodnoty ze sloupců ZARAZENI a RIZIKO. Tato tabulka je výstupem celého procesu zařazení do RIM a určení příslušného segmentu rizika. Export této tabulky je vstupem do Excel šablony pro sestrojení RIM.

Aktualizovaná RIM využívá navržené koeficienty vah jednotlivých faktorů, které jsou uvedeny v příloze B. Názvy aktualizací dotazů respektují název poskytnutých dat. Například pro faktor Náklady na závady je uváděn aktualizací dotaz ZAVADY_CENA.

6.2 Normalizace vstupních faktorů

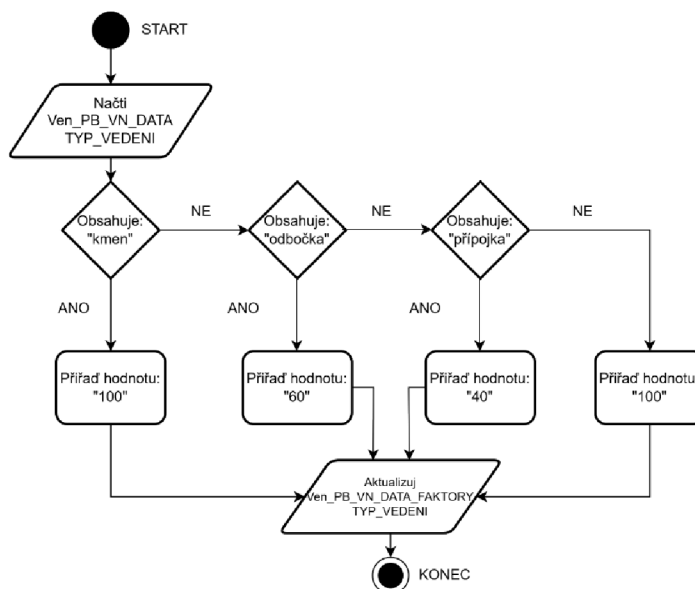
Pro normalizaci vstupních faktorů se využívá aktualizací dotazů v MS Access, které využívají standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk (SQL). Před spuštěním dotazů je nutné mít tabulky vstupních hodnot (VEN_PB_VN_DATA) a tabulku, do které se faktory normalizují (VEN_PB_VN_DATA_FAKTORY), se sloupci, které jsou korektně pojmenovány. Alternativou by byl vytvářecí dotaz, který by dané sloupce v tabulce vytvářel, ovšem tento příkaz je vzhledem k velikému počtu dat v prostředí MS Access nepoužitelný, protože způsobuje překročení zámků na soubor, a to i po přenastavení maximální povolené hodnoty. Více o této chybě například v [17]. Tabulky jsou spolu propojeny skrze primární klíče FID_PB funkcí INNER JOIN.

6.2.1 Výběrové faktory

Výběrové faktory se normalizují na základě výběru klíčového slova. Jednotlivé výběrové faktory pro PB VN se normalizují pomocí následujícího klíče.

- U faktoru Typ vedení (dotaz TYP_VEDENI) se pro PB s klíčovým slovem „kmen“ přiřazuje hodnota 100, pro slovo „odbočka“ hodnota 60 a pro slovo „přípojka“ se přiřazuje hodnota 40.
- U faktoru Druh PB (dotaz DRUH_PB) se pro slova „PB Betonový“, „PB Mřížový“ a „PB Ocelový“ přiřazuje hodnota 100 a pro slovo „PB Dřevěný“ se přiřazuje hodnota 50.
- U faktoru Námrazová oblast (dotaz NAMRAZA) se pro námrazové oblasti do hodnoty menší než I-13 přiřazuje hodnota 40, pro hodnoty větší nebo rovné hodnotě I-13 se přiřazuje hodnota 100. Pokud prvek není v námrazové oblasti, přiřazuje se hodnota 100.
- U faktoru Časová náročnost opravy (dotaz NAROCNOST_OPRAVY) se pro slovo „PB Betonový“ přiřazuje hodnota 80, pro slova „PB Mřížový“ a „PB Ocelový“ přiřazuje hodnota 100 a pro slovo „PB Dřevěný“ se přiřazuje hodnota 40.

Aktualizační dotazy pro normalizaci těchto faktorů tedy využívají vnořených funkcí IIF, které v případě shody s daným klíčovým slově v tabulce Ven_PB_VN_DATA, aktualizuje do tabulky Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY příslušnou normalizovanou hodnotu. Obrázek 6.1 znázorňuje aktualizační dotaz pro výběrový faktor TYP_VEDENI.



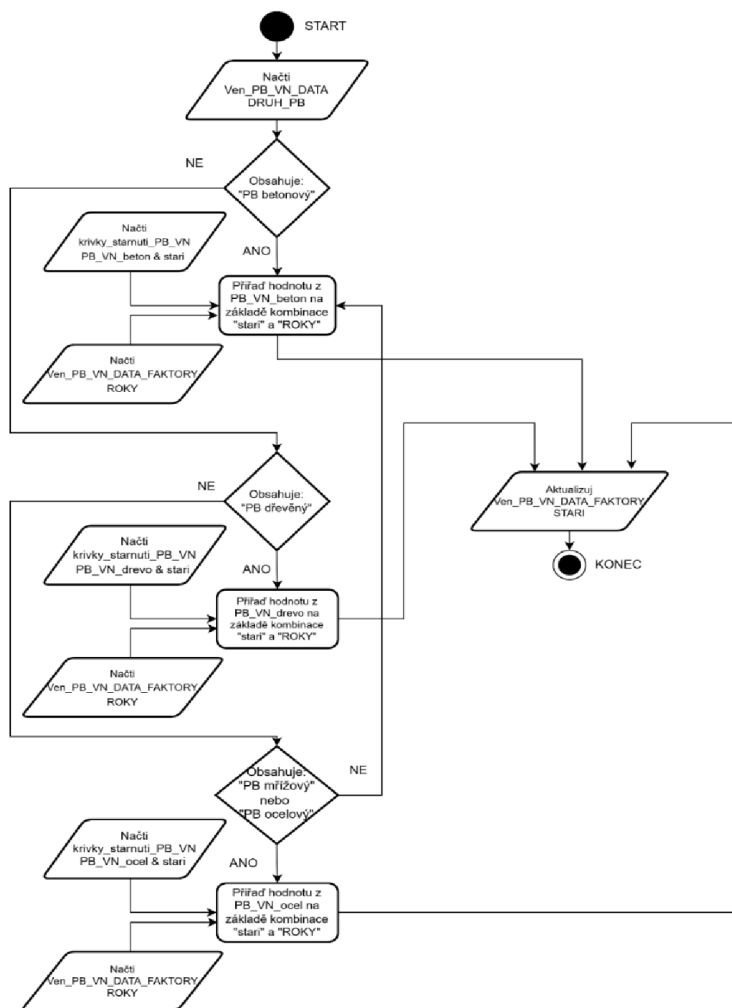
Obrázek 6.1 Příklad aktualizačního dotazu pro TYP_VEDENI

6.2.2 Vázané faktory

Vázaným faktorem je v případě PB na hladině VN faktor STARI. Stáří podpěrného bodu je vázáno na křivky stárnutí [18], příloha C.

Databáze obsahuje rok výstavby, případně rekonstrukce. V první fázi je tedy nutné vypočítat, kolik let uplynulo od stavby, případně rekonstrukce. K tomu je určen pomocný aktualizační dotaz ROKY_POMOC, který pomocí kombinace funkcí DATE a YEAR vrátí hodnotu aktuálního roku a od této hodnoty odečte rok výstavby nebo rekonstrukce. Výsledek aktualizuje do tabulky Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY do sloupce ROKY.

Po provedení dotazu ROKY_POMOC je možné spustit aktualizační dotaz STARI. Tento dotaz využívá nejprve vnořených funkcí I I F, které na základě slova v DRUH_PB určí, zda se má použít křivka stárnutí pro ocelový, betonový nebo dřevěný PB. Funkce DLOOKUP následně slouží pro získání hodnoty z tabulky KRIVKY_STARNUTI_PB_VN, kde hodnota sloupce STARI odpovídá hodnotě sloupce ROKY z tabulky Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.



Obrázek 6.2 Příklad aktualizačního dotazu pro STARI

6.2.3 Linearizované faktory

Faktory Počet OM, Počet poruch, Náklady na závady, Lesní průsek se normalizují do intervalu 0-100 pomocí vzorce:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \cdot 100, \quad (6.1)$$

kde x_{norm} je výsledná normalizovaná hodnota, x je hodnota k normalizaci, x_{min} je minimální hodnota v celé datové sadě určené k normalizaci a x_{max} je maximální hodnota v celé datové sadě určené k normalizaci.

Před samotnou linearizací je provedena funkce ZASTROPOVANI, která určuje, zda je nutné datovou sadu očistit o extrémní hodnoty.

Je využita knihovna DAO (Data Access Objects), která umožňuje přístup k datům z databázi. Z této knihovny je použit objekt `DAO.database`, který je v kódu využit pro otevření databáze, respektive pro nastavení proměnné `db`, která reprezentuje aktuální databázi. Dále je využit objekt `DAO.recordset`, který získává přístup k tabulce `VEN_PB_VN_DATA_FAKTORY`.

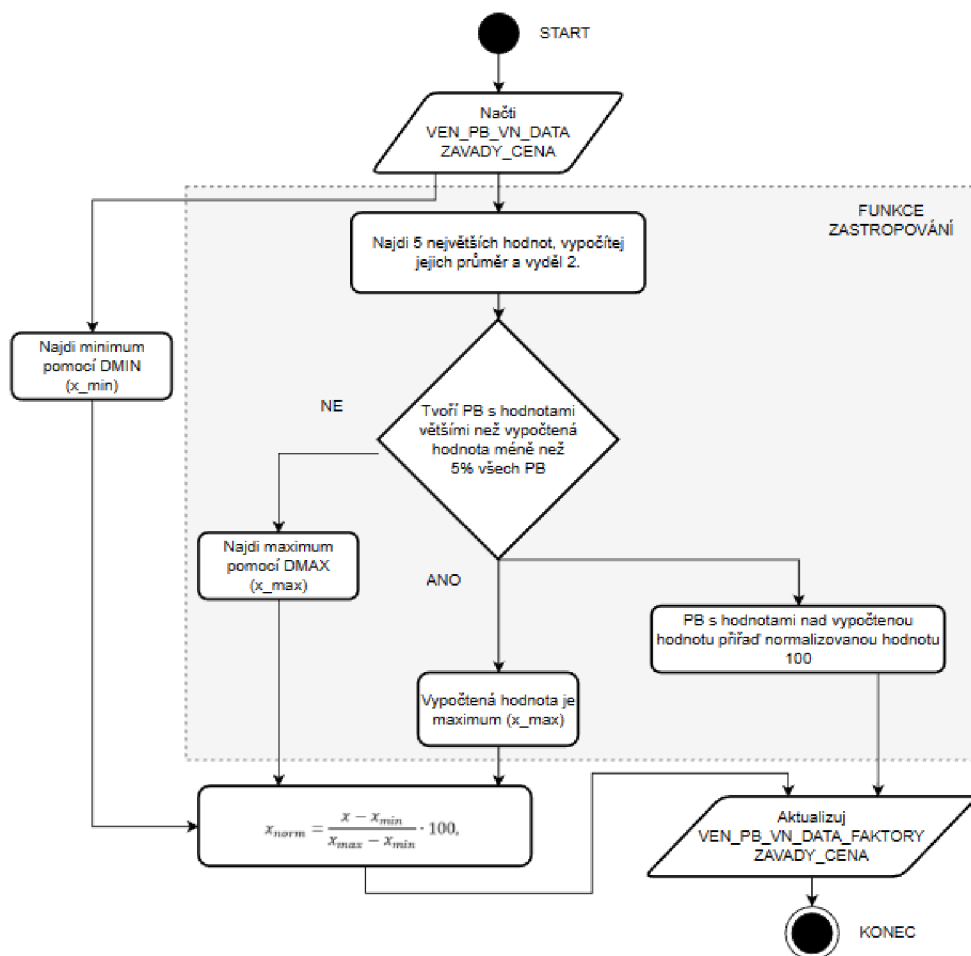
Nejprve pomocí funkce `DCount` určí počet nenulových řádků v datové sadě. Poté se v `Do Until` cyklu projdou všechny řádky z tabulky `VEN_PB_VN_DATA` a hledají se nejvyšší hodnoty, které se uloží do pole a seřadí se pomocí Bubble-sort metody [24]. Následně se vypočítá průměr z pěti nejvyšších hodnot a podělí se 2.

V dalším `Do Until` cyklu se projdou všechny řádky a vypočítá se počet řádků s hodnotou větší, než je dříve vypočtená hodnota. Pokud je počet těchto řádků menší než 5 % z celkového počtu řádků, daná hodnota se určí jako maximum a uloží se do tabulky `ZASTROPOVANI`. Pokud tato podmínka neplatí, do tabulky se uloží hodnota 99999999, která reprezentuje takovou hodnotu, která se v datech nemůže objevit, tudíž v následující linearizaci není provedeno zastropování hodnot. Oba cykly jsou omezeny pomocí `.EOF` (End of File), což značí ukončení záznamové sady, tedy že byly projity všechny záznamy v této sadě dat.

Samotná normalizace hodnot je opět provedena aktualizacím dotazem. Jsou využity funkce `DMIN` a `DMAX`, pro získání minima a maxima z celé načtené datové sady. Je využita také podmínka `IFF`, která v případě, že některá hodnota je větší než hodnota určená funkcí zastropování, kterou zjistí funkcí `DLookup` z tabulky `ZASTROPOVANI`, přiřadí danému prvku hodnotu 100 a daný prvek do linearizace nevstupuje.

Následně jsou hodnoty vypočteny dle vzorce (6.1). Vypočtené normalizované hodnoty jsou aktualizovány do příslušného sloupce v tabulce `Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY`.

Příklad aktualizacího dotazu `ZAVADY_CENA` je uveden na obrázku 6.3.



Obrázek 6.3 Příklad aktualizacího dotazu ZAVADY_CENA

6.3 Určení výsledných faktorů

Pokud jsou normalizovány všechny potřebné faktory, je možné určit výsledné faktory. Pro každý PB je nutné určit výsledný faktor důsledek poruchy a rizikový faktor.

Určení výsledného faktoru se skládá ze 3 kroků. Na základě koeficientů je nutné určit celkovou normalizovanou hodnotu faktoru. Všechny celkové normalizované hodnoty standardizovat, a nakonec provést rozdělení do 10 skupin upravenou metodou k-means.

6.3.1 Celková normalizovaná hodnota faktorů

Tato hodnota je vypočtena opět využitím aktualizacího dotazu. Jedná se o jednoduché matematické operace sčítání a násobení. Koeficienty, kterými se dílčí normalizované hodnoty faktorů násobí, jsou uvedeny v příloze B. Výpočet je proveden podle rovnice (3.1). Výsledkem bude hodnota v intervalu 0-100.

6.3.2 Standardizace hodnot

Před použitím shlukování k-means je vhodné provést standardizaci hodnot. Standardizací se rozumí převedení na stejné měřítko, nejčastěji se využívá standardizace směrodatnou odchylkou, tento způsob je využit i v našem případě. Standardizovaná hodnota se vypočte podle vzorce (5.1).

Pro standardizaci bylo proto využito programovacího jazyku VBA. Navržený kód je uveden v příloze E.

Je využita knihovna DAO (Data Access Objects), která umožňuje přístup k datům z databází. Z této knihovny je použit objekt `DAO.database`, který je v kódu využit pro otevření databáze, respektive pro nastavení proměnné `db`, která reprezentuje aktuální databázi. Dále je využit objekt `DAO.recordset`, který získává přístup k datům v tabulce `VEN_PB_VN_DATA_FAKTORY` pro výpočet průměru a směrodatné odchylky, umožňuje také provést aktualizaci sloupce `ST_DUSLEDEK_PORUCHY` standardizovanými hodnotami.

Pomocí smyčky `Do Until`, která projde všechny záznamy v tabulce a postupně vypočítává součet hodnot v tabulce `DUSLEDEK_PORUCHY` a jejich počet. Z těchto hodnot je vypočten průměr a směrodatná odchylka. Smyčka je omezena pomocí `.EOF` (End of File), což značí ukončení záznamové sady, tedy že byly projity všechny záznamy v této sadě dat.

Pomocí další smyčky `Do Until`, která opět projde všechny záznamy v tabulce, provede samotnou standardizaci (odečtení průměru a vydělení směrodatnou odchylkou) a standardizované hodnoty aktualizuje do sloupce `ST_DUSLEDEK_PORUCHY`.

Správnost navrženého algoritmu byla ověřena porovnáním s hodnotami získanými využitím funkce `normalize` v programu Matlab [21] (kód v příloze F). Vypočtená data se shodují, což značí správnost navrženého algoritmu.

6.3.3 Shlukování k-means

Důvod úpravy základní metody k-means byl popsán v kapitole 5.2. Na námi navržené RIM byl nejprve zkoumán vliv této změny na přesnost algoritmu.

Vliv byl posouzen využitím funkcí `kmeans` a `silhouette` v programu Matlab [21]. Funkce `kmeans` v Matlabu využívá algoritmus k-means++, která určuje náhodně pouze první střed, další středy jsou již vypočítány s ohledem na maximální kvadratickou vzdálenost. Cílem je posunutí středů co nejdále od sebe a zpřesnit rozřazování. Podrobněji je funkce popsána v [23]. S využitím této funkce (tedy nejpřesnější možné) se průměrná hodnota siluety pro důsledek poruchy pohybuje v rozmezí 0,67 – 0,69. Průměrná hodnota siluety pro navržený algoritmus, který počítá s pevným umístěním středů, je 0,65. Pro rizikový faktor jsou výsledky obdobné. Vliv na přesnost je tedy poměrně malý a navržené řešení je pro rozřazení do shluků použitelné.

Samotný algoritmus byl napsán ve VBA. Navržený kód je uveden v příloze E. Stejně jako u standardizace je využita knihovna DAO pro práci s databází. V části definice proměnných je využita podmínka If a funkce CDb1 pro kontrolu, zda jsou hodnoty v ST_DUSLEDEK_PORUCHY, které jsou uloženy v tabulce ve formátu krátký text, čísla a pro jejich převod na proměnnou typu double.

V první For cyklu jsou určeny počáteční středy. Pomocí funkcí DMin a DMax jsou určeny minimální a maximální hodnoty v načtené databázi a na základě těchto hodnot jsou do intervalu rovnoměrně rozloženy středy.

Samotné k-means je tvořeno několika For cykly. Je určen počet iterací. Následně je provedeno přiřazení hodnot do jednotlivých clusterů na základě jejich vypočtené vzdálenosti od středů. Poté se vypočítají nové středy a to jako poměr hodnot přiřazených ke každému clusteru (clustersum) a počtu bodů v každém clusteru (clusterpočet). Algoritmus určuje cluster v intervalu 0-9, toho je využito při rovnoměrném rozložení prvotních středů, po konci iterací je tedy ke každé hodnotě clusteru připočtena jednička.

Hodnoty clusterů jsou následně pomocí smyčky Do While Not aktualizovány do sloupce DUSLEDEK_PORUCHY_KAT.

6.4 Aktualizovaná RIM

Po určení výsledných faktorů DUSLEDEK_PORUCHY a RIZIKOVY_FAKTOR je pomocí aktualizací SQL dotazu ZARAZENI, který s využitím funkce Switch přiřadí jednotlivým PB hodnotu v intervalu 0-100, která odpovídá pozici ve výsledné RIM. Data jsou poté exportována do šablony v MS Excel (elektronická příloha), kde se aktualizuje výsledná RIM. Aktualizovaná RIM pro PB na hladině VN je uvedena na obrázku 6.4.

| Důsledek poruchy | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | E | D | C | B | B | B | A | A | A | A |
| 10 | 1187 | 1029 | 665 | 267 | 256 | 798 | 1016 | 1429 | 380 | 431 |
| 9 | 2259 | 2079 | 1339 | 1063 | 692 | 1003 | 976 | 3556 | 764 | 1051 |
| 8 | 2373 | 2298 | 1410 | 1613 | 997 | 2000 | 1694 | 3914 | 886 | 1010 |
| 7 | 4228 | 3576 | 2311 | 1997 | 1865 | 2287 | 1997 | 5907 | 1023 | 1238 |
| 6 | 3772 | 3668 | 3026 | 1780 | 1740 | 2460 | 2536 | 7808 | 1193 | 1571 |
| 5 | 3661 | 3193 | 2580 | 2265 | 2195 | 2831 | 2584 | 7339 | 1211 | 1702 |
| 4 | 4465 | 3668 | 3650 | 2458 | 2330 | 2758 | 2723 | 9327 | 1253 | 1636 |
| 3 | 4917 | 3373 | 3507 | 2420 | 2150 | 2857 | 3044 | 8658 | 1247 | 1494 |
| 2 | 3896 | 3041 | 3144 | 2126 | 1807 | 2160 | 2771 | 7105 | 842 | 1341 |
| 1 | 2194 | 1691 | 1894 | 1223 | 1265 | 1286 | 1336 | 3944 | 551 | 640 |
| PB VN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Rizikový faktor | | | | | | | | | | |

| Počet PB 238171 | | |
|-----------------|-------|-----------|
| A | 45124 | 18,94605% |
| B | 64154 | 26,93611% |
| C | 34810 | 14,61555% |
| D | 51132 | 21,46861% |
| E | 42951 | 18,03368% |

Obrázek 6.4 Aktualizovaná RIM pro PB VN

7. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA RIM

Kapitola se věnuje provedení citlivostní analýzy pro RIM, jejíž tvorba byla popsána v předchozí kapitole.

První část obsahuje metodiku analýzy a očekávané výstupy, následuje už samotná analýza nejprve při vynechání všech malých faktorů, následně malých faktorů pro důsledek poruchy a malých faktorů pro rizikový faktor. V poslední části kapitoly jsou diskutovány výsledky analýzy a je uvedeno doporučení pro PDS.

7.1 Metodika a očekávané výstupy

Citlivostní analýza navržené RIM slouží k ověření jednoho z častých problémů matic rizik, nestabilitě kategorizace. Problematika nestability kategorizace je podrobně popsána v teoretické části práce v části 1.4. Citlivostní analýzou je dále sledována důležitost jednotlivých malých faktorů pro sestavení RIM a obecně jejich vliv na zařazení prvků v matici, včetně počtu prvků v jednotlivých segmentech rizika. Výsledkem by tedy mělo být doporučení pro PDS, u kterých faktorů je možné se zamyslet buď nad změnou jejich výpočtu, případně nad jejich úplným vynecháním a dále poskytnout PDS informaci o celkové stabilitě kategorizace RIM.

Jako malé faktory jsou pro potřeby analýzy definovány faktory s koeficientem menším, nebo rovným hodnotě 0,2. Velikost koeficientů jednotlivých malých faktorů je postupně snižována a jejich hodnota je rozdělována mezi ostatní faktory a to tak, aby byl stále zachován jejich reálný poměr a součet koeficientů faktorů je stále 1. Například při analýze faktoru Typ vedení, který má standardně hodnotu 0,2, je u dvou ostatních faktorů Počet OM (0,75) a Časová náročnost opravy (0,05) poměr 15. Při snížení faktoru Typ vedení na 0,18 je faktor Počet OM zvýšen o 0,01875 na hodnotu 0,76875 a faktor Časová náročnost opravy o 0,00125 na hodnotu 0,05125, výsledný poměr je tedy stále 15. Takto je zajištěno, že se zkoumá opravdu pouze vliv vybraného faktoru a do analýzy není zanášena chyba od ostatních faktorů. Změna zařazení v RIM a posuny jednotlivých prvků není možné jednoduše vyjádřit matematickým vzorcem z důvodu samotného sestavení RIM, kdy se využívá standardizace prvků a následného k-means shlukování. Provedení analýzy popsáním způsobem je tedy nezbytné.

Výstupem analýzy pro každý zkoumaný faktor je grafické znázornění změny počtů prvků v jednotlivých segmentech rizika při zmenšování jejich koeficientů. Informace o maximálním skoku prvků v segmentech rizika (obecně by se prvky neměly pohybovat o více než 1 segment) a také znázorněna změna počtu prvků pro každé jednotlivé pole matice při vynechání faktoru, ze kterého je možné určit trend přesunů prvků. Veškeré změny jsou znázorněny s referenční RIM, která je znázorněna na obrázku 6.4. Tato matice byla sestavena na základě hodnot koeficientů podle přílohy B.

7.2 Vynechání všech malých faktorů

První zkoumanou variantou bylo vynechání všech malých faktorů, konkrétně se jedná o faktory Časová náročnost opravy, Typ vedení, Druh PB, Počet poruch, Náklady na závady, Lesní průsek, Intravilán a Námrazová oblast. Změna v segmentech rizika je uvedena v tabulce 7.1. Můžeme sledovat přesun do krajních segmentů rizika. Malé faktory tedy plní zásadní roli v dodatečném třídění do jednotlivých segmentů rizika a jejich vynechání by prakticky znemožnilo využití RIM. Vynechání všech malých faktorů je také jediný případ, kdy dochází k posunu prvků o dva segmenty rizika v porovnání se základní RIM.

Tabulka 7.1 Vynechání všech malých faktorů, změna v segmentech rizika

| Segment rizika | Základní RIM | Vynechání všech malých faktorů | Procentuální změna |
|----------------|--------------|--------------------------------|--------------------|
| A | 45699 | 71216 | 57,82 % |
| B | 64023 | 50954 | -20,58 % |
| C | 34704 | 19158 | -44,96 % |
| D | 50843 | 38979 | -23,77 % |
| E | 42902 | 57864 | 34,72 % |

Změny v počtu prvků v jednotlivých polích matice jsou znázorněny na obrázku 7.1. Obrázek ukazuje jasný trend, dochází k vytlačení prvků do krajních částí RIM, a to především ve směru rizikového faktoru, kde je využito více malých faktorů. Vynechání všech malých faktorů není rozhodně doporučováno, bylo provedeno pouze pro ověření funkce malých faktorů k dotřídění prvků v RIM.

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Důsledek poruchy | 593 | -125 | -252 | -139 | -142 | -652 | -361 | -190 | 1273 | 70 |
| | 1118 | -168 | -380 | -520 | -463 | -533 | -213 | -2199 | 3162 | 59 |
| | 1644 | -440 | 70 | -779 | -392 | -1397 | 131 | -1567 | 3507 | 264 |
| | 2589 | -413 | -12 | -1200 | -990 | -1355 | 168 | -3573 | 6244 | 259 |
| | 1458 | -110 | -994 | -837 | -983 | -1565 | -509 | -4755 | 6718 | 224 |
| | 2268 | -564 | -239 | -1076 | -1195 | -1668 | -106 | -4170 | 7460 | 84 |
| | 1819 | 646 | -810 | -1038 | -1340 | -1638 | -510 | -5721 | 9088 | 226 |
| | 2915 | 449 | -602 | -867 | -958 | -1542 | -581 | -4553 | 9477 | 503 |
| | 613 | -445 | -846 | -1136 | -1138 | -1384 | -1547 | -4768 | 5687 | -289 |
| | 764 | -297 | -575 | -590 | -685 | -708 | -455 | -2563 | 3295 | -33 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

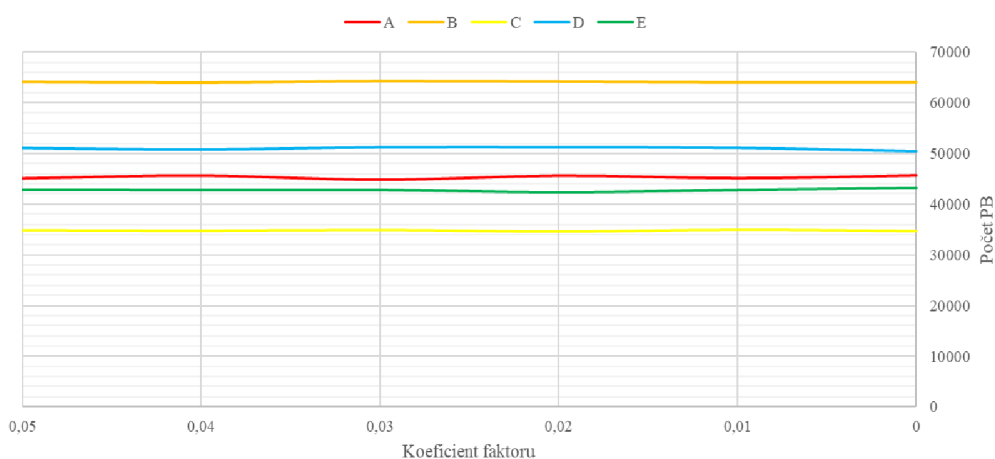
Obrázek 7.1 Vynechání všech malých faktorů, jednotlivá pole RIM

7.3 Důsledek poruchy

Výsledný faktor Důsledek poruchy se pro PB na hladině VN skládá z faktorů Počet OM, Časová náročnost opravy a Typ vedení. Jako malé faktory se podle definice uvedené výše uvažují Časová náročnost opravy a Typ vedení.

7.3.1 Časová náročnost opravy

Prvním zkoumaným samostatným faktorem je Časová náročnost opravy. Je to výběrový faktor, který na základě typu podpěrného bodu (dřevěný, betonový, příhradový) přiřazuje hodnoty 40, 80 nebo 100. S postupně snižujícím koeficientem faktoru se výsledné zařazení prvků v segmentech rizika prakticky nemění, jak je znázorněno na obrázku 7.2. Změny v segmentech rizika jsou pouze o 1 segment. Z hlediska nestability kategorizace tedy tento faktor nepřispívá k nestabilitě.



Obrázek 7.2 Změna koeficientu faktoru Časová náročnost opravy

Při odebrání faktoru jsou posuny v jednotlivých polích RIM minimální (obrázek 7.3). K posunu dochází u 6158 prvků, což představuje 2,58 % z celkového počtu prvků. Trend posunu je ze středních pozic RIM do krajních, ovšem vzhledem k malému počtu posunů je statisticky nevýznamný a na výslednou RIM i odebrání faktoru nemá velký vliv.

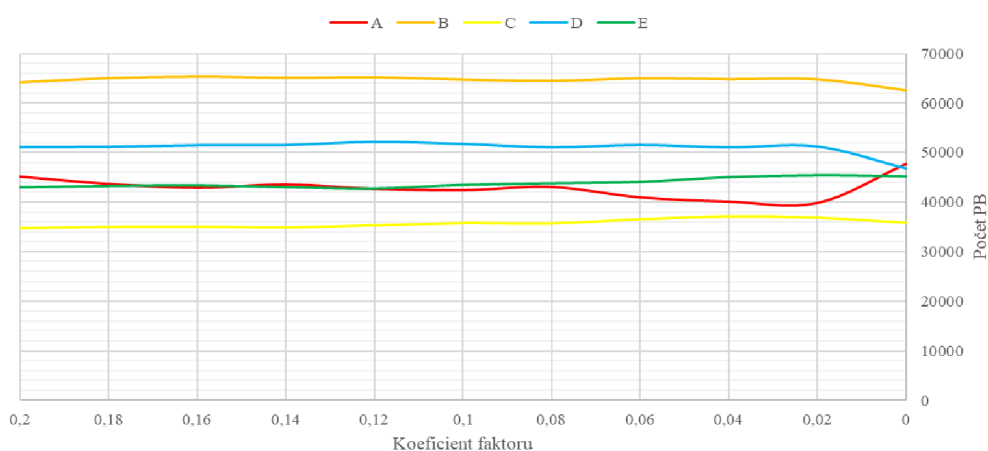
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Důsledek poruchy | 28 | 10 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 3 | 0 | 23 |
| | 36 | 8 | 14 | 2 | 0 | 5 | 4 | -14 | 3 | 5 |
| | 221 | 132 | 30 | 132 | 173 | 261 | 77 | 303 | 1 | 101 |
| | 340 | 421 | 15 | 21 | -42 | -145 | 136 | 589 | 50 | 59 |
| | -211 | -378 | 59 | 168 | 39 | 104 | 19 | -288 | -34 | 149 |
| | -46 | -194 | -115 | -343 | -179 | -192 | -200 | -420 | -151 | -234 |
| | -159 | -20 | -68 | -25 | -9 | -81 | -6 | -230 | 64 | -29 |
| | 3 | -253 | -128 | -151 | -77 | -71 | -45 | -770 | -103 | -156 |
| | -375 | 43 | -88 | -20 | -76 | -31 | -65 | 375 | 93 | 42 |
| | 163 | 231 | 281 | 216 | 171 | 145 | 74 | 452 | 77 | 40 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.3 Vynechání Časové náročnosti opravy, posuny v RIM

7.3.2 Typ vedení

Druhým zkoumaným faktorem ovlivňující Důsledek poruchy je Typ vedení. Jedná se také o výběrový faktor, který na základě typu vedení (kmen, odbočka, přípojka) přiřazuje hodnoty 100, 60 nebo 40. Změna koeficientu faktoru je znázorněna na obrázku 7.4.

Při zmenšování do hodnoty 0,08 se počet prvků zařazených v segmentech rizika prakticky nemění. Následně dochází k posunu prvků ze segmentu A a přesun do dalších segmentů, tento trend se otočí až při vynechání faktoru, kdy dochází k velkému skoku a nárůstu počtu prvků v segmentu A, naopak úbytek v segmentech B, D. Veškeré přesuny jsou pouze o 1 segment rizika. Větší skoky v segmentech rizika přichází až při výrazném zmenšení faktoru, faktor tedy nezpůsobuje nestabilitu kategorizace RIM.



Obrázek 7.4 Změna koeficientu faktoru Typ vedení

Při kompletním vynechání faktoru (obrázek 7.5) dochází k posunu u 40058 prvků, což představuje 16,8 % z celkového počtu prvků. Trend posunu je směrem ke krajním polím ve směru Důsledku poruchy. Faktor plní svoji roli, jeho vynechání způsobuje výraznou změnu výsledné RIM a není doporučováno.

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Důsledek poruchy | 1191 | 1351 | 795 | 813 | 458 | 633 | 558 | 2101 | 467 | 596 |
| | 655 | 299 | 36 | -316 | 169 | 142 | 279 | -160 | 9 | -72 |
| | 1656 | 973 | 592 | 500 | 511 | 888 | 547 | 2035 | 216 | 408 |
| | -1150 | -434 | 345 | 400 | -65 | -543 | -81 | 189 | -27 | 91 |
| | -706 | -560 | -859 | -93 | -142 | -657 | -972 | -2247 | -406 | -444 |
| | -1162 | -972 | -681 | -638 | -721 | -971 | -859 | -2155 | -478 | -706 |
| | -2625 | -1956 | -1834 | -1355 | -1317 | -1079 | -1159 | -4317 | -585 | -655 |
| | -1206 | -166 | -763 | -462 | -8 | -187 | -110 | -662 | -122 | -213 |
| | 493 | 548 | 1409 | 552 | 452 | 584 | 518 | 2148 | 395 | 364 |
| | 2854 | 917 | 960 | 599 | 663 | 1190 | 1279 | 3068 | 531 | 631 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

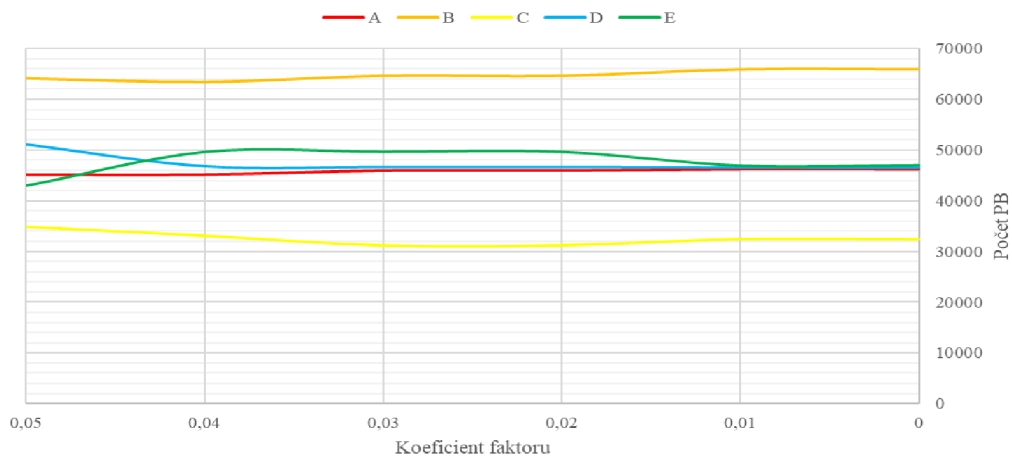
Obrázek 7.5 Vynechání faktoru Typ vedení, posuny v RIM

7.4 Rizikový faktor

Výsledný faktor Rizikový faktor se pro PB na hladině VN skládá z faktorů Stáří, ITS, Druh PB, Počet poruch, Náklady na závady, Lesní průsek, Intravilán, Námrazová oblast. Jako malé faktory se podle definice uvedené výše uvažují všechny uvedené faktory s výjimkou faktorů Stáří a ITS.

7.4.1 Druh PB

Prvním zkoumaným faktorem ovlivňující Rizikový faktor je Druh PB. Jedná se o výběrový faktor, kterému se na základě druhu PB (dřevěný, betonový, příhradový) přiřazují hodnoty 50 nebo 100. Změna koeficientu faktoru je znázorněna na obrázku 7.6. Při snižování koeficientu faktoru dochází k poměrně významné změně v segmentech E a D, které ale pro využití RIM v EG.D nejsou příliš podstatné. Změna v těchto segmentech při zmenšování koeficientu vychází z podstaty přiřazení normalizované hodnoty popsané výše, kdy se hodnota 50 přiřazuje dřevěným PB, které ale tvoří pouze 3,7 % z celkového počtu PB. Ostatním více než 96 % PB je přiřazena hodnota 100. Veškeré posuny jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor nezpůsobuje celkovou nestabilitu kategorizace výsledné RIM, je ale vhodné se zamyslet nad větším rozlišením příhradových a betonových PB.



Obrázek 7.6 Změna koeficientu faktoru Druh PB

Při kompletním vynechání faktoru (obrázek 7.7) dochází k posunu u 10173 prvků, což představuje 4,27 % z celkového počtu prvků. Trend posunu je směrem ke krajním hodnotám ve směru Rizikového faktoru. Celkově je trend obdobný jako u Časové náročnosti opravy, který se určuje pro Důsledek poruchy a který se vypočítává obdobně, dochází zde ale k posunu více prvků. Vynechání prvku není doporučováno, ale je vhodné se zamyslet nad změnou při určování normalizovaných hodnot, jak je popsáno výše.

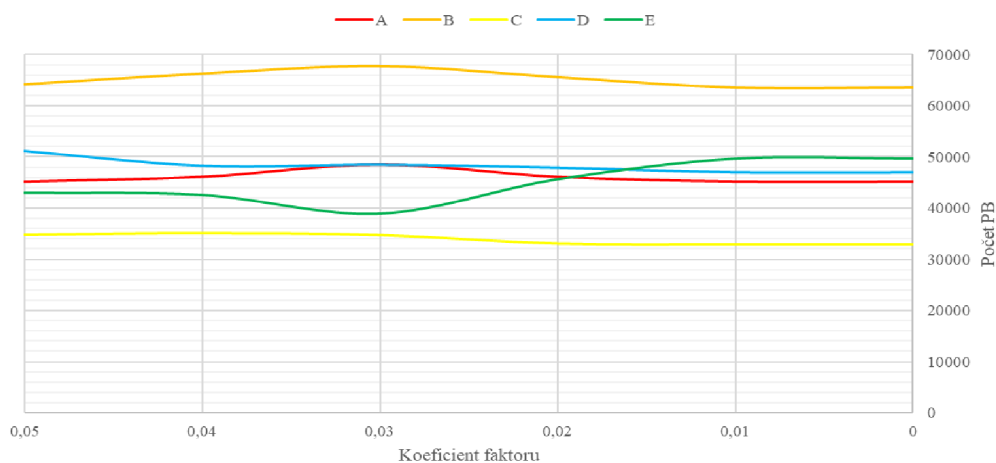
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|----|-----|
| Důsledek poruchy | 55 | 25 | -55 | -48 | 0 | -153 | 158 | 18 | 0 | 0 |
| | 352 | -10 | -306 | -116 | -107 | -65 | 124 | 131 | 8 | -11 |
| | 500 | -242 | -222 | -116 | -154 | -31 | 78 | 185 | 20 | -18 |
| | 429 | -107 | -279 | -176 | -368 | 130 | 134 | 238 | 1 | -2 |
| | 617 | -235 | -330 | -110 | -464 | -52 | 377 | 194 | 17 | -14 |
| | 753 | -348 | -323 | -187 | -653 | 129 | 237 | 391 | 4 | -3 |
| | 461 | 107 | -525 | -170 | -483 | -150 | 450 | 302 | 17 | -9 |
| | 684 | -197 | -440 | -223 | -532 | -240 | 632 | 307 | 15 | -6 |
| | 683 | -307 | -333 | -140 | -292 | -110 | 18 | 478 | 8 | -5 |
| | 401 | -186 | -188 | -66 | -193 | -72 | 92 | 209 | 4 | -1 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.7 Vynechání faktoru Druh PB, posuny v RIM

7.4.2 Počet poruch

Dalším zkoumaným faktorem je faktor Počet poruch. Jedná se o linearizovaný faktor, kde se počet poruch linearizuje do intervalu 0-100. Počet prvků s evidovanou poruchou v poskytnuté datové sadě je velmi malý (85 PB),

Změna koeficientu faktoru Počet poruch je znázorněna na obrázku 7.8. Ke změně dochází převážně u segmentu rizika E, který není pro použití RIM v EG.D podstatný. Veškeré posuny prvků jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor nepřispívá k celkové nestabilitě kategorizace RIM.



Obrázek 7.8 Změna koeficientu faktoru Počet poruch

Při vynechání faktoru Počet poruch (obrázek 7.9) dochází k posunu u 7692 prvků, což představuje 3,23 % z celkového počtu prvků. Dominantní posun je do prvního sloupce RIM. Vynechání faktoru není doporučováno, počet poruch je objektivně evidován, dá se předpokládat nárůst poruch u prvků a rozhodně má při výpočtu RIM svoji funkci. Zároveň je na tomto faktoru dobře demonstrována komplexnost RIM,

kdy, ačkoliv prvků s evidovanou poruchou je pouze 85, tak k posunu v RIM dochází u 7692 prvků.

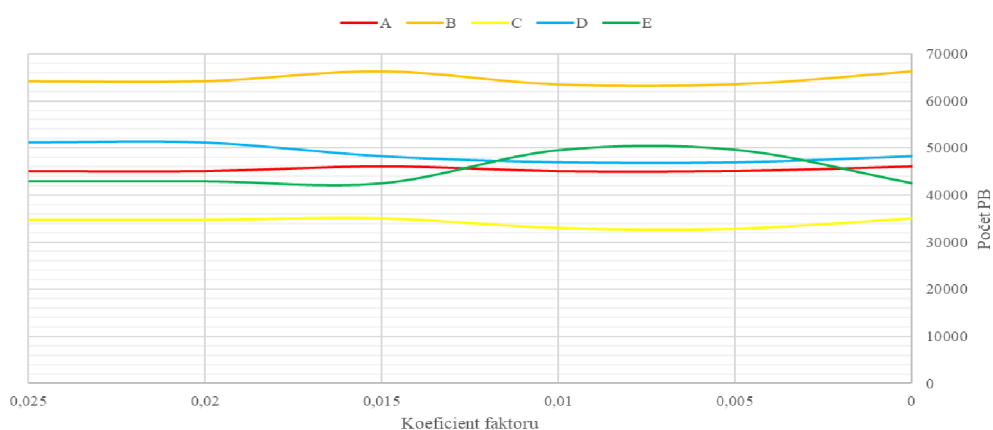
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Důsledek poruchy | 235 | -104 | -58 | -69 | -4 | 0 | 41 | -41 | 0 | 0 |
| | 472 | 43 | -345 | -155 | -11 | -5 | 9 | -3 | -5 | 0 |
| | 656 | -229 | -51 | -346 | -29 | 3 | 3 | -4 | -2 | -1 |
| | 666 | 116 | -274 | -466 | -58 | 1 | 11 | 5 | -3 | 2 |
| | 822 | 42 | -356 | -493 | 35 | -47 | -13 | 14 | -3 | -1 |
| | 873 | -139 | -256 | -431 | -72 | 33 | -15 | 11 | -3 | -1 |
| | 686 | 298 | -369 | -525 | -90 | -6 | -33 | 40 | 2 | -3 |
| | 839 | 155 | -484 | -471 | -43 | 4 | -26 | 27 | -1 | 0 |
| | 869 | 128 | -580 | -390 | -28 | 3 | -42 | 41 | -2 | 1 |
| | 468 | 16 | -187 | -288 | -9 | -2 | -20 | 21 | 1 | 0 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.9 Vynechání faktoru Počet poruch, posuny v RIM

7.4.3 Náklady na závady

Dalším zkoumaným faktorem je faktor Náklady na závady, což je linearizovaný faktor, kde se náklady na závady linearizují do intervalu 0-100, zároveň zde byl vypočten strop pro linearizaci, který odfiltroval extrémní hodnoty. Nenulová hodnota se přiřazuje u 4869 prvků.

Změna koeficientu faktoru Náklady na závady je znázorněna na obrázku 7.10. K malým změnám dochází ve všech segmentech rizika, nejvíce nestabilní je opět segment rizika E, který není pro využití RIM v EG.D nejpodstatnější. Veškeré posuny prvků jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor z těchto důvodů nepřispívá k celkové nestabilitě kategorizace RIM.



Obrázek 7.10 Změna koeficientu faktoru Náklady na závady

V případě kompletního vynechání faktoru (obrázek 7.11) dochází k posunu u 5420 prvků, což představuje 2,28 % z celkového počtu prvků. Posun je dominantně do sloupců

6,7,8 RIM, a to ze sloupců představující menší kategorii Rizikového faktoru. Faktor vhodně doplňuje faktor Počet poruch. Není doporučováno jeho vynechání.

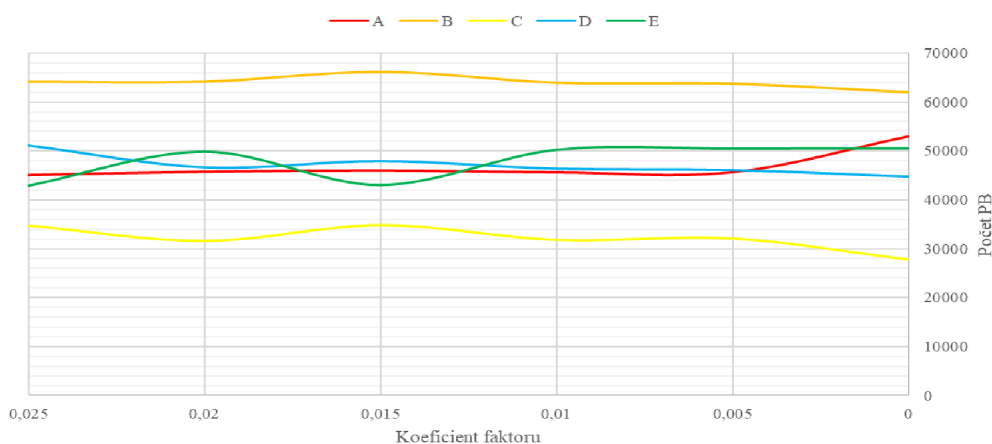
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|----|----|
| Důsledek poruchy | 2 | -21 | -45 | 21 | -4 | -128 | 157 | 18 | 0 | 0 |
| | 8 | -42 | -109 | -46 | -30 | -20 | 165 | 75 | -1 | 0 |
| | 0 | -39 | -92 | -196 | 41 | 28 | 142 | 115 | 2 | -1 |
| | -14 | -193 | -101 | 9 | -274 | 220 | 206 | 145 | 2 | 0 |
| | -52 | -18 | -271 | 74 | -341 | 60 | 437 | 112 | -1 | 0 |
| | 4 | -29 | -382 | -60 | -332 | 194 | 424 | 178 | 4 | -1 |
| | -2 | -23 | -255 | -260 | -193 | 6 | 544 | 184 | -1 | 0 |
| | 2 | -81 | -433 | -22 | -243 | -162 | 777 | 161 | 1 | 0 |
| | 0 | -12 | -377 | -8 | -156 | 61 | 318 | 175 | -1 | 0 |
| | 6 | -10 | -244 | 22 | -94 | 27 | 192 | 101 | 0 | 0 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.11 Vynechání faktoru Náklady na závady, posuny v RIM

7.4.4 Lesní průsek

Faktor Lesní průsek je opět linearizovaným faktorem, kdy se délka lesního průseku linearizuje do intervalu 0-100. Zde už se v porovnání s předchozími faktory dochází k přiřazení nenulové hodnoty u řádově více prvků, konkrétně u 106776 prvků.

Vliv změny koeficientu je znázorněn na obrázku 7.12. Opět se opakuje trend, kdy nejméně stabilní je segment rizika E, tedy nejmenší riziko. U ostatních segmentů dochází při postupném zmenšování koeficientu jen k drobným změnám. Skok nastává až při vynechání faktoru. Veškeré posuny prvků jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor z těchto důvodů nepřispívá k celkové nestabilitě kategorizace RIM.



Obrázek 7.12 Změna koeficientu faktoru Lesní průsek

V případě kompletního vynechání faktoru (obrázek 7.13) dochází k posunu u 23181 prvků, což představuje 9,73 % z celkového počtu prvků. Posun je směrem ke krajním

hodnotám Rizikového faktoru. Faktor plní svoji funkci dotřídění faktorů z krajních pozic a není doporučováno jeho vynechání.

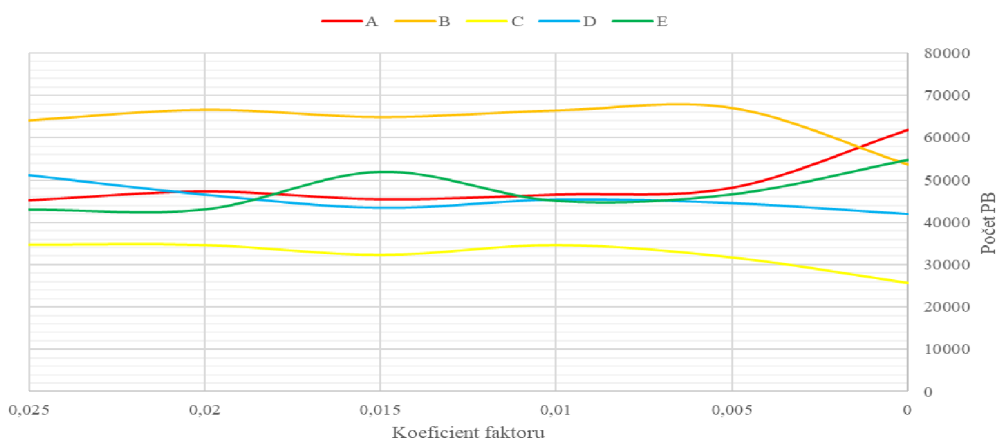
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|
| Důsledek poruchy | 268 | 18 | -198 | -85 | -49 | -506 | 283 | -81 | 312 | 38 |
| | 570 | 5 | -247 | -293 | -248 | -315 | 69 | -446 | 858 | 47 |
| | 758 | -264 | 185 | -631 | -303 | -585 | 239 | -276 | 780 | 97 |
| | 924 | -12 | -253 | -634 | -536 | -405 | -106 | -175 | 1106 | 91 |
| | 911 | 216 | -584 | -494 | -594 | -531 | -53 | -615 | 1630 | 114 |
| | 1020 | -111 | -343 | -565 | -786 | -558 | 233 | -570 | 1557 | 123 |
| | 749 | 298 | -409 | -586 | -780 | -818 | 319 | -585 | 1659 | 153 |
| | 825 | 199 | -491 | -555 | -758 | -1056 | 566 | -601 | 1766 | 105 |
| | 838 | 183 | -590 | -480 | -468 | -507 | -459 | -70 | 1475 | 78 |
| | 455 | 40 | -198 | -309 | -312 | -263 | -32 | -402 | 963 | 58 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.13 Vynechání faktoru Lesní průsek, posuny v RIM

7.4.5 Intravilán

Další zkoumaný faktor Intravilán je výběrovým faktorem, kdy se přiřazuje hodnota 100, nebo 0, v závislosti právě na intravilánu jednotlivých prvků. Hodnota 100 se přiřazuje 64103 prvkům.

Vliv změny koeficientu je znázorněn na obrázku 7.14. I zde se objevuje trend, kdy nejméně stabilní je segment rizika E, tedy nejmenší riziko, zvýšený posun je i u segmentu D. U ostatních segmentů dochází při postupném zmenšování koeficientu jen k drobným změnám. Významný skok opět nastává až při vynechání faktoru. Veškeré posuny prvků jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor z těchto důvodů nepřispívá k celkové nestabilitě kategorizace RIM.



Obrázek 7.14 Změna koeficientu faktoru Intravilán

Při kompletního vynechání faktoru (obrázek 7.15) dochází k posunu u 53528 prvků, což představuje 22,47 % z celkového počtu prvků. Posun je směrem ke krajním hodnotám

Rizikového faktoru. Celkový trend je obdobný jako u faktoru Lesní průsek. Faktor plní svoji funkci dotřídění faktorů z krajních pozic a rozhodně není doporučováno jeho vynechání.

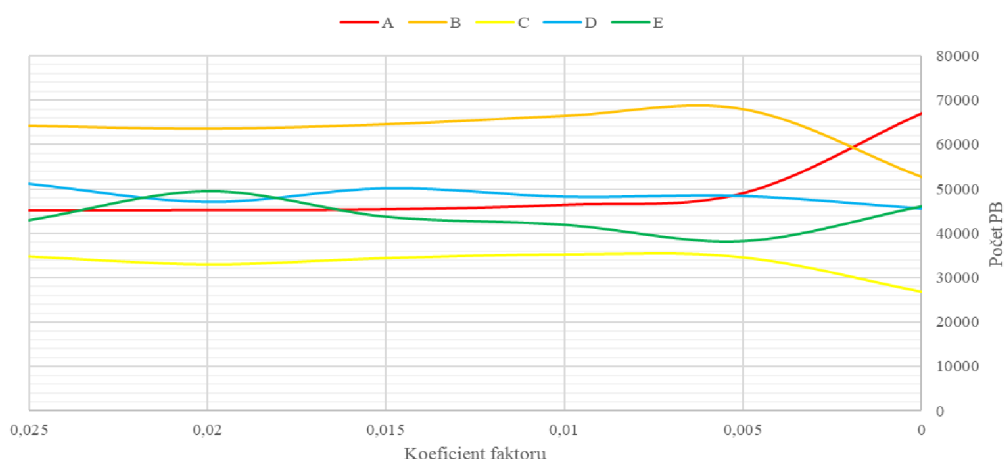
| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|
| Důsledek poruchy | 413 | -155 | -139 | -87 | -19 | -504 | 133 | -599 | 909 | 48 |
| | 941 | -180 | -483 | -264 | -147 | -255 | -181 | -2081 | 2553 | 97 |
| | 1193 | -543 | -134 | -440 | -249 | -535 | -75 | -1533 | 2176 | 140 |
| | 1397 | -288 | -324 | -780 | -395 | -301 | -591 | -2767 | 3900 | 149 |
| | 1582 | -278 | -593 | -586 | -522 | -530 | -710 | -3836 | 5272 | 201 |
| | 1621 | -523 | -328 | -640 | -658 | -543 | -405 | -3704 | 5012 | 168 |
| | 1369 | 3 | -497 | -736 | -634 | -775 | -284 | -5127 | 6471 | 210 |
| | 1529 | -51 | -693 | -675 | -640 | -966 | -364 | -4030 | 5720 | 170 |
| | 1589 | -210 | -647 | -620 | -411 | -477 | -1129 | -3031 | 4828 | 108 |
| | 967 | -218 | -219 | -368 | -293 | -224 | -362 | -1942 | 2583 | 76 |
| | Rizikový faktor | | | | | | | | | |

Obrázek 7.15 Vynechání faktoru Intravilán, posuny v RIM

7.4.6 Námrazová oblast

Posledním zkoumaným faktorem je faktor Námrazová oblast. Jedná se o výběrový faktor, kde je prvku podle jeho umístění v námrazové oblasti přiřazena hodnota 0, 40, nebo 100. Nenulová hodnota je přiřazena 188131 prvkům.

Vliv změny koeficientu je znázorněn na obrázku 7.16. Stejně jako u předchozích faktorů, i zde se objevuje trend, kdy nejméně stabilní je segment rizika E, tedy nejmenší riziko. U ostatních segmentů dochází při postupném zmenšování koeficientu jen k poměrně menším změnám. Významný skok opět nastává až při vynechání faktoru. Veškeré posuny prvků jsou pouze o 1 segment rizika. Faktor z těchto důvodů nepřispívá k celkové nestabilitě kategorizace RIM.



Obrázek 7.16 Změna koeficientu faktoru Námrazová oblast

Při kompletního vynechání faktoru (obrázek 7.17) dochází k posunu u 58259 prvků, což představuje 24,46 % z celkového počtu prvků. Posun je směrem ke krajním hodnotám Rizikového faktoru. Celkový trend je obdobný jako u faktorů Lesní průsek a Intravilán. Faktor plní svoji funkci dotřídění faktorů z krajních pozic a rozhodně není doporučováno jeho vynechání.

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-----|
| Důsledek poruchy | 43 | 30 | -81 | -38 | -80 | -435 | -106 | -622 | 1230 | 59 |
| | 382 | -80 | -328 | -126 | -159 | -289 | -200 | -2439 | 3114 | 125 |
| | 344 | -126 | -267 | -333 | -50 | -747 | 23 | -2239 | 3209 | 186 |
| | 283 | -110 | -257 | -215 | -644 | -275 | -393 | -3828 | 5220 | 219 |
| | 488 | -233 | -317 | -217 | -621 | -558 | -668 | -5228 | 7098 | 256 |
| | 620 | -285 | -386 | -475 | -432 | -650 | -341 | -4809 | 6533 | 225 |
| | 397 | 100 | -600 | -512 | -415 | -721 | -297 | -6655 | 8450 | 253 |
| | 595 | -312 | -435 | -462 | -376 | -1040 | -481 | -5257 | 7533 | 235 |
| | 613 | -288 | -384 | -421 | -191 | -524 | -1119 | -4188 | 6366 | 136 |
| | 329 | -148 | -226 | -234 | -113 | -330 | -295 | -2548 | 3465 | 100 |

Rizikový faktor

Obrázek 7.17 Vynechání faktoru Námrazová oblast, jednotlivá pole RIM

7.5 Shrnutí citlivostní analýzy

V tabulce 7.2 jsou uvedeny procentuální změny v segmentech rizika při vynechání jednotlivých malých faktorů. Naprostá většina malých faktorů má při tvorbě RIM svůj význam. Potvrzuje se vliv malých faktorů, kdy při vynechání dochází k posunu do krajních segmentů.

Tabulka 7.2 Vynechání dílčích malých faktorů, změna v segmentech rizika (v %)

| Segment rizika | Časová náročnost opravy | Typ vedení | Druh PB | Počet poruch | Náklady na závady | Lesní průsek | Intravilán | Námrazová oblast |
|----------------|-------------------------|------------|---------|--------------|-------------------|--------------|------------|------------------|
| A | 1,36 | 5,25 | 2,49 | 0,02 | 2,07 | 17,29 | 37,06 | 48,77 |
| B | -0,13 | -2,64 | 2,86 | -0,99 | 3,25 | -3,30 | -16,24 | -17,97 |
| C | -0,48 | 3,11 | -7,04 | -5,37 | 0,81 | -19,90 | -26,14 | -22,96 |
| D | -1,30 | -9,00 | -8,93 | -8,22 | -5,68 | -12,32 | -17,81 | -10,97 |
| E | 0,70 | 5,00 | 9,45 | 15,59 | -0,91 | 17,56 | 27,71 | 7,26 |

Provedená citlivostní analýza RIM pro PB na hladině VN má několik podstatných výstupů.

- 1) Vliv malých faktorů na výslednou RIM je pozitivní, slouží k dotřídění jednotlivých prvků a jejich posun směrem z krajních segmentů rizika (A,E).

- 2) Postupná změna koeficientů malých faktorů nezpůsobuje skok o více než 1 segment rizika, RIM netrpí na nestabilitu kategorizace, jak je popsána v 1.4.
- 3) Nejméně stabilní je segment rizika E, tedy nejmenší riziko, který pro použití RIM v EG.D není moc důležitý. Nejdůležitější segmenty A, B jsou naopak při snižování koeficientu stabilní a k podstatné změně dochází až při vynechání faktoru.
- 4) Faktor Časová náročnost opravy je faktorem, u kterého je doporučeno jeho vynechání, případně jeho přepracování. Na výslednou RIM má minimální vliv a samotný výpočet není postaven na úplně objektivních datech.
- 5) Faktor Druh PB je faktorem, u kterého je doporučeno rozlišení PB příhradových a betonových, takto je 96 % PB přiřazena hodnota 100, pouze u dřevěných PB je přiřazena hodnota 50 a neplní tedy příliš rozlišovací schopnost, ačkoliv samotný faktor má na výslednou RIM vliv a jeho smysl je zřejmý.
- 6) Ačkoliv faktory Intravilán a Námrazová oblast mají pouze malý koeficient (0,025), jejich vynechání má na výslednou RIM obrovský dopad. Je to způsobeno výpočtem těchto faktorů, je rozhodně doporučeno jejich zanechání. S ohledem na problematiku komprese rozsahů (kapitola 1.5) není ale doporučeno zvýšení jejich koeficientů, dominantní koeficienty by měly mít linearizované faktory, přesně jak bylo navrženo v rámci EG.D.
- 7) Analýza prokázala, že šablona RIM navržená EG.D (byla diskutována jednotlivými útvary), která nesplňuje dva axiomy konzistence, protože je úmyslně vychýlena směrem k vyššímu riziku, **je pro aplikaci v EG.D vhodná**, netrpí nestabilitou kategorizace, jednotlivé malé faktory fungují tak, jak bylo při návrhu očekáváno.
- 8) Analýza prokázala, že navržený algoritmus v rámci diplomové práce je funkční a pro požadovaný účel je vhodný. V kombinaci s vhodně navrženými faktory od EG.D plní regulační funkci, drží RIM stabilní, kdy na změny reaguje, ale neumožňuje velký skok.

8. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení možnosti využití RIM pro prvky distribuční soustavy, rešerše použití RIM evropskými PDS a následné zhodnocení využití RIM ve společnosti EG.D s následným poskytnutí doporučení a návrhu na její úpravy.

Po analýze aktuálního návrhu RIM byla zjištěna jeho slabá a silná místa. RIM využívá vstupní faktory, které správně a logicky reflektují ukazatele spolehlivosti SAIFI a SAIDI, využívají normalizaci většiny faktorů do intervalu 0-100 a většina faktorů je v metodice řádně odůvodněna, a to buď na základě analýzy historických dat, případně na základě odborné diskuze útvarů v rámci EG.D. Současná RIM ovšem nespĺňuje 2 ze 3 axiomů konzistence, kategorizace probíhá nesystematicky, není automatizována a nejsou dána jasná pravidla pro některé činnosti při normalizaci hodnota (např. zastropování). Z důvodů výše uvedených muselo dojít k několika úpravám a analýzám.

Bylo navrženo zastropování u linearizovaných faktorů, které je použito na všechny linearizované faktory a je automatizováno (VBA algoritmus). Toto zastropování slouží k očištění datové sady od extrémních hodnot. Ke kategorizaci je nyní využita upravená metoda k-means, která zajišťuje rozřazení do 10 kategorií pro Důsledek poruchy a Rizikový faktor. Úprava k-means spočívá v pevném umístění prvotních středů, tato úprava má vliv na kvalitu zařazování, ale pomocí porovnáním s výstupy z programu Matlab, která využívá nepřesnější možný algoritmus k-means++, je tento vliv poměrně malý a nevede k velkým změnám. Úprava zajistí konzistentní kategorizaci faktorů RIM, když bude docházet k přepočítávání RIM postupně po roce. Změny budou způsobeny čistě změny faktorů (např. zvýšení stáří zařízení, změna technického stavu a jiné), nikoliv změnou kategorizace. Kategorizace je automatizována (VBA algoritmus).

Celková tvorba RIM byla provedena v MS Access pomocí aktualizací SQL dotazů a VBA algoritmů, které byly vytvořeny tak, aby byly jednoduše přenositelné na ostatní prvky distribuční soustavy. Po konzultacích s EG.D bylo rozhodnuto, že aktuální šablona RIM pro určení segmentů rizika bude zanechána, je takto prokonzultována i v rámci EG.D. Jak již bylo uvedeno, tato šablona neplní 2 ze 3 axiomů konzistence, proto byla provedena citlivostní analýza na navržené RIM, která ovšem využívala původní šablonu RIM pro určení segmentů rizika. V rámci citlivostní analýzy byla zkoumána hlavně nestabilita kategorizace RIM, ale také vliv a důležitost jednotlivých faktorů. Citlivostní analýza prokázala stabilitu navržené RIM, kdy použití jednotlivých faktorů, ale také navržený způsob kategorizace vhodně regulují změny v RIM. Dále se zmiňuje o faktoru Časová náročnost opravy, který se zdá pro RIM v aktuální podobě nadbytečný. Při tvorbě aktualizované RIM bylo zamýšleno vycházet z využití RIM v zahraničí, bohužel veřejně dostupné informace jsou velmi vágní a pro využití v našem případě nejsou použitelné, i když dobře ukazují, že metoda RIM je evropskými PDS využívána.

Na základě citlivostní analýzy a teoretického zhodnocení případných problematických míst RIM je EG.D doporučeno využít upravený návrh přiřazování prvků do RIM

(kapitola 5) s původní šablonou RIM a aplikovat jej i pro ostatní prvky na napěťové hladině NN a VN. Algoritmus byl navržen co nejvíce obecně (což byl i požadavek zadavatele této práce EG.D), aby byl snadno přenositelný na ostatní prvky distribuční soustavy, v práci je detailně popsán včetně vývojových diagramů.

Vzhledem k provozování sítí VVN a spolehlivosti jejich provozu ovšem není úplně vhodné navržený algoritmus bez úprav aplikovat i pro prvky VVN. Z hlediska Důsledku poruchy nebude moc velký rozdíl mezi jednotlivými prvky, síť je provozována s maximálně možným zkruhováním jednotlivých síťových celků, rozpojovací místa jsou volena tak, že se způsob provozu sítě 110 kV blíží paralelnímu chodu [25]. Výpadek prvků na VVN většinou nemá vliv na spolehlivost dodávky. V rámci diskuze s EG.D bylo uvažováno spíše o matici 1×10 , respektive o „vektoru rizika“. Tato cesta by mohla být řešením pro síť VVN a pro výpočet Rizikového faktoru by mohlo být využito navrženého algoritmu, kdy by pouze došlo k vynechání části o Důsledku poruchy. Po dokončení práce na datových vstupech pro VVN je toto doporučovaná cesta k analýze.

Další částí k budoucímu řešení v rámci EG.D je možnost agregace prvků do větších logických celků. V práci jsou zmíněny problematická místa agregace, kdy při určitých kombinacích prvků může dojít k podcenění rizika a nesprávné indikaci u konkrétního shluku prvků. Aktuálně uvažovaný systém, který je podobný systému přiřazování prvků do RIM, kdy jednotlivé koeficienty odpovídají prvkům k agregaci, je možný využít, ale je třeba nastavení podmínek, které zabrání výše zmíněnému problému.

LITERATURA

- [1] ČSN ISO 31000. Management rizik – směrnice. Druhé vydání. Praha: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] POKORNÁ, Andrea, a kol. Management rizik – hodnocení závažnosti nežádoucích událostí [online]. Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2019 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: https://shnu.uzis.cz/res/file/metodicke_dokumenty/Management_rizik_hodnoceni_zavaznosti.pdf
- [3] SZACIŁŁO, Lucyna, Mirosław KRZEŚNIAK, Dobromir JASIŃSKI a David VALIS. The use of the risk matrix method for assessing the risk of implementing rail freight services. Archives of Transport [online]. 2022, 64(4), 89-106 [cit. 2023-05-19]. ISSN 0866-9546. Dostupné z: doi:10.5604/01.3001.0016.1185
- [4] THOMAS, Philip, Reidar B. BRATVOLD a Bickel J. ERIC. The Risk of Using Risk Matrices. 09, 2013 [online]. SPE [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/266666768_The_Risk_of_Using_Risk_Matrices
- [5] ANTHONY TONYCOX, Louis. What's Wrong with Risk Matrices?. Risk Analysis [online]. 2008, 28(2), 497-512 [cit. 2022-11-13]. ISSN 02724332. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- [6] SENOVSKY, Pavel. Matice rizik - zajímavosti, problémy a jak je minimalizovat. Spektrum [online]. 2/2021, 7 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/356854702_Matice_rizik_-_zajímavosti_problemy_a_jak_je_minimalizovat
- [7] MALÍNSKÝ, Vladimír. *Faktory_váhy*, 2022. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [8] MALÍNSKÝ, Vladimír. *Metodika vypočtu RIM NN_v01*, 2022. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Word.
- [9] MALÍNSKÝ, Vladimír. *Metodika Vypočtu RIM_VN_verze05*, 2022. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Word.
- [10] HILBER, P., J.G. TRAVI a C.J. WALLNERSTRM. Implementation and evaluation of commonly used risk analysis methods applied to a regional power distribution system. In: 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013) [online]. Institution of Engineering and Technology, 2013, [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261506109_Implementation_and_evaluation_of_commonly_used_risk_analysis_methods_applied_to_a_regional_power_distribution_system
- [11] NYBØ, Agnes a Dag Eirik NORDGÅRD. A guide to Risk Based Maintenance and Reinvestment Management [online]. Trondheim: SINTEF, 2010 [cit. 2022-

- 12-31]. Dostupné z: <https://www.sintef.no/globalassets/project/riskdsam/risk-dsam-tr-a6983.pdf>
- [12] KAŠPAR, Daniel. *Parametrizacni_tabulky_venkovni_vedeni_VVN_03*, 2022. 11, Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [13] IVAN, Igor. Shluková analýza: IGD – cv. 08. Výukové materiály – Igor Ivan [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2020 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: http://spatial.vsb.cz/?page_id=2193
- [14] NÁPRSTKOVÁ, Daniela. *Analyza_naprstkova[49]*, Statistická analýza dat, 2022. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Power Point.
- [15] SKÁLA, Petr. Distribuční a průmyslové sítě: Spolehlivost distribučních sítí [online]. 2015. FEKT VUT v Brně - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 72 s. [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: elearningu kurzu Distribuční a průmyslové sítě
- [16] TOPOLÁNEK, David. Distribuční a průmyslové sítě: Charakteristika jednotlivých typů distribučních sítí, jejich vlastnosti a použití [online]. 2022. FEKT VUT v Brně - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 50 s. [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: elearningu kurzu Distribuční a průmyslové sítě
- [17] "File sharing lock count exceeded..." error during large transaction processing. Microsoft Learn [online]. 2022 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/troubleshoot/access/file-sharing-lock-count-exceeded>
- [18] MALÍNSKÝ, Vladimír. *Krivky_starnuti_PB_VN*, 2023. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [19] MICROSOFT. *Excel* [software]. Verze 2304 [cit. 2023-03-28]. Požadavky na systém: Windows 11, Windows 10
- [20] MICROSOFT. *Access* [software]. Verze 2304 [cit. 2023-03-28]. Požadavky na systém: Windows 11, Windows 10
- [21] MATHWORKS. *MATLAB* [software]. R2020b [cit. 2023-03-28]. Požadavky na systém: Windows 10 (verze 1803 a vyšší), Windows 7, Windows Server 2019, Windows Server 2016
- [22] Standardizace dat. Matematická biologie [online]. Brno: Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovy univerzity [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-hodnoceni-biologicky-ch-dat--vicerozmerne-metody-pro-analyzu-dat--vicerozmer-na-rozdeleni-pravdepodobnosti--transformace-dat--standardizace-dat>
- [23] Kmeans: k-means clustering. Mathworks: Help Center [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/stats/kmeans.html#bueftl4-1>
- [24] VBA bubble sort macro to sort array. Wellsr [online]. 2018, 20.4.2018 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://wellsr.com/vba/2018/excel/vba-bubble-sort-macro-to-sort-array/>

[25] POPIS DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY E.ON DISTRIBUCE, a.s. EGD.cz [online].
2018(09), 2 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z:
<https://www.egd.cz/sites/default/files/2018-09/popis-distribucni-soustavy.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

| | |
|-------|--|
| ČSN | Česká technická norma |
| DAO | Data Access Object (objekty pro přístup k datům) |
| DS | distribuční soustava |
| EG.D | jeden z PDS v České republice, člen skupiny E.ON |
| FEKT | Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií |
| GIS | Geografický informační systém |
| HVDC | stejnoseměrná vedení vysokého napětí |
| ITS | Index technického stavu |
| MS | Microsoft |
| NN | nízké napětí |
| OM | odběrná místa |
| PB | podpěrný bod |
| PDS | provozovatel distribuční soustavy |
| RIM | risk index matice (Matice rizik) |
| SAIDI | Průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektrické energie |
| SAIFI | Průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie |
| SQL | Structured English Query Language (standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk) |
| ÚS | úsekový spínač |
| VBA | Visual Basic for Applications |
| VN | vysoké napětí |
| VUT | Vysoké učení technické v Brně |
| VVN | velmi vysoké napětí |
| ZL | zemní lano |

Symboly:

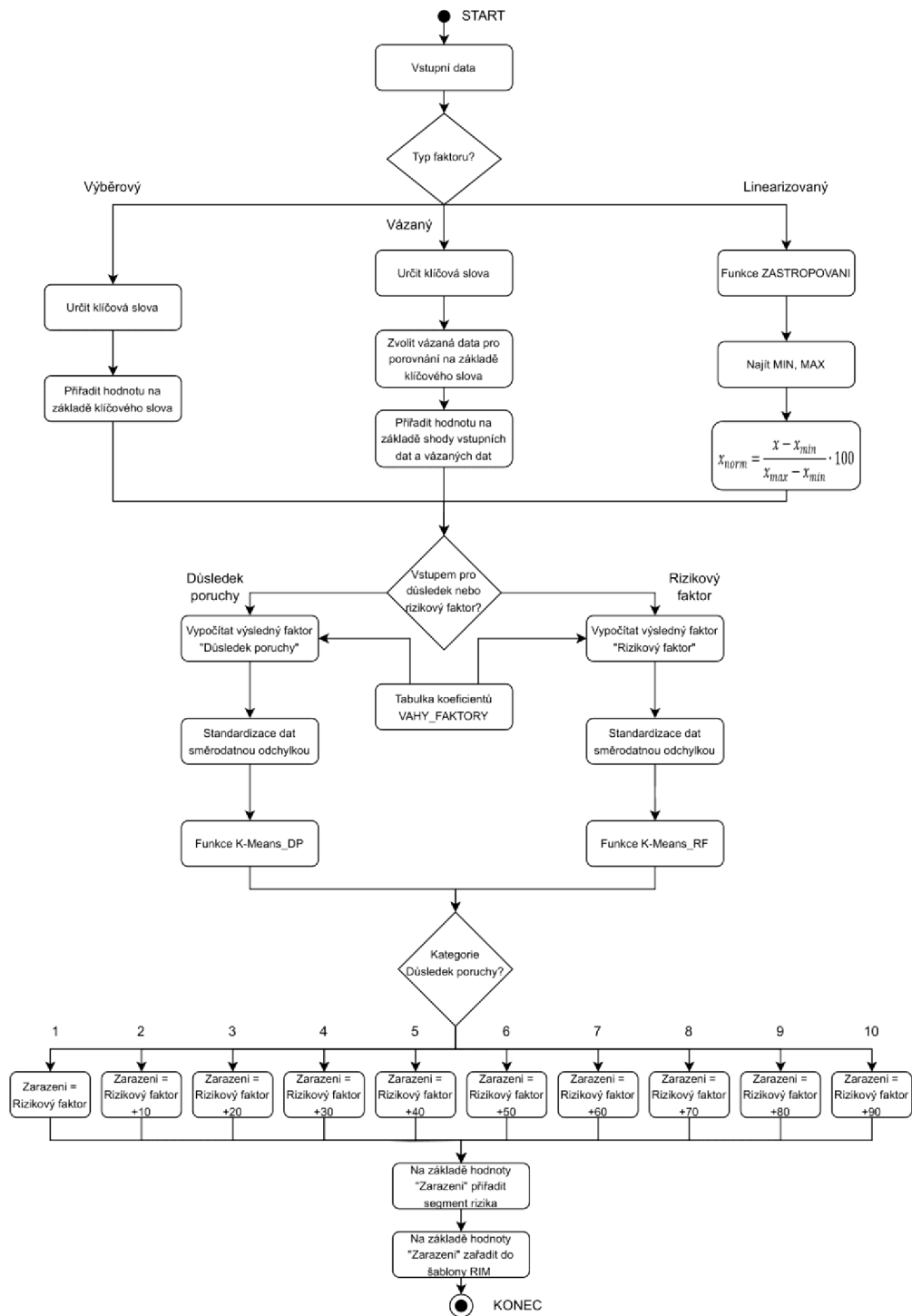
| | | |
|----------|--|-----|
| f | rizikový faktor | (-) |
| k | koeficient vah | (-) |
| N | následek | (-) |
| n_i | počet přerušení u i -tého zákazníka v období | (-) |
| N_{hr} | hraniční hodnota následků | (-) |
| P | pravděpodobnost výskytu | (-) |
| R | riziko | (-) |

| | | |
|------------|---|-----------------------|
| s | směrodatná odchylka | (-) |
| $SAIDI$ | Průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektrické energie | (min^{-1}) |
| $SAIFI$ | průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie | (-) |
| $t_{s,i}$ | souhrnná doba trvání přerušení u i-tého zákazníka | (min) |
| VF | výsledný faktor | (-) |
| \bar{x} | průměr původních hodnot | (-) |
| x_{max} | maximální hodnota v datové sadě | (-) |
| x_{min} | minimální hodnota v datové sadě | (-) |
| x_{norm} | výsledná normalizovaná hodnota | (-) |
| x_s | výsledná standardizovaná hodnota | (-) |
| Z_s | celkový počet zákazníků v síti. | (-) |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|--|-----------|
| PŘÍLOHA A - ALGORITMUS PRO PŘÍRAZENÍ PRVKŮ DO RIM | 71 |
| PŘÍLOHA B - FAKTORY A VÁHY | 72 |
| PŘÍLOHA C - STÁRNUTÍ PRVKŮ – RIZIKO | 73 |
| PŘÍLOHA D - VYUŽITÉ SQL KÓDY..... | 74 |
| PŘÍLOHA E - VYUŽITÉ VBA KÓDY | 77 |
| PŘÍLOHA F - VYUŽITÉ KÓDY V MATLABU..... | 87 |
| PŘÍLOHA G - ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY | 88 |

Příloha A - Algoritmus pro přiřazení prvků do RIM



Příloha B - Faktory a váhy

Napěťová hladina NN

| Výsledný faktor | Název faktoru | NN podpěrné body | NN vodiče | NN kabelové skříně | NN kabely |
|------------------|---------------------------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------|
| Důsledek poruchy | Počet OM | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 |
| | Nahraditelnost | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| | Časová náročnost opravy | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Velikost odběrného místa / důležitost | | | 0,1 | |
| Rizikový faktor | ITS | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| | Stáří | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,7 |
| | Druh | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 |
| | Počet poruch | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,05 |
| | Náklady na závady | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,05 |
| | Extravilán/intravilán | 0,025 | 0,025 | | |
| | Součinnost s obcemi | 0,025 | 0,025 | 0,05 | 0,05 |

Napěťová hladina VN

| Výsledný faktor | Název faktoru | Podzemní kabelové vedení VN | Podpěrný bod venkovního vedení VN | Úsekový spínač venkovního vedení VN | Úsek venkovního vedení VN (vodič) | Distribuční trafostanice VN / NN |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Důsledek poruchy | Počet OM | 0,8 | 0,75 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Nahraditelnost | 0,2 | | | | 0,2 |
| | Časová náročnost opravy | | 0,05 | | | |
| | Typ vedení | | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| Rizikový faktor | ITS | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | Stáří | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | Diagnostika kabelu | 0,2 | | | | |
| | Typ (druh) | 0,025 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,1 |
| | Počet spojek | 0,025 | | | | |
| | Počet poruch | 0,025 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| | Typ izolátoru US | | | 0,025 | | |
| | Manipulace US | | | 0,05 | | |
| | Náklady na závady | 0,025 | 0,025 | 0,02 | 0,025 | 0,05 |
| | Lesní průsek | | 0,025 | 0,02 | 0,025 | 0,025 |
| | Intravilán | | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| Námrazová oblast | | 0,025 | 0,02 | 0,025 | 0,025 | |

Napěťová hladina VVN

| Výsledný faktor | Název faktoru | Podpěrný bod VVN | Vodič VVN |
|------------------|--------------------------------|------------------|-----------|
| Důsledek poruchy | Počet OM | 1,0 | 1,0 |
| Rizikový faktor | Index technického stavu | 0,4 | 0,1 |
| | Stáří | 0,4 | 0,6 |
| | Druh / typ / materiál | 0,05 | 0,05 |
| | Provozní důležitost 400/110 kV | | 0,1 |
| | Stáří izolátoru / vybavení | 0,025 | |
| | Druh / Typ izolátoru | 0,025 | |
| | Zatížení linek vlivem vyřívání | | 0,05 |
| | Námrazová oblast | 0,05 | 0,05 |
| | Počet poruch | 0,05 | 0,05 |

Příloha C - Stárnutí prvků – riziko

| Stáří (roky) | PB_VN beton | PB_VN dřevo | PB_VN ocel | Stáří (roky) | PB_VN beton | PB_VN dřevo | PB_VN ocel |
|-----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 24 | 35 | 20 | 23 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 25 | 38 | 24 | 26 |
| 3 | 4 | 3 | 2 | 26 | 41 | 27 | 29 |
| 4 | 5 | 5 | 3 | 27 | 43 | 32 | 32 |
| 5 | 6 | 7 | 3 | 28 | 46 | 37 | 36 |
| 6 | 8 | 8 | 4 | 29 | 50 | 42 | 40 |
| 7 | 9 | 9 | 4 | 30 | 53 | 49 | 44 |
| 8 | 10 | 9 | 4 | 31 | 56 | 56 | 48 |
| 9 | 11 | 9 | 4 | 32 | 60 | 64 | 52 |
| 10 | 12 | 10 | 4 | 33 | 63 | 73 | 57 |
| 11 | 13 | 10 | 5 | 34 | 67 | 83 | 61 |
| 12 | 14 | 10 | 5 | 35 | 70 | 94 | 65 |
| 13 | 15 | 10 | 5 | 36 | 74 | 100 | 70 |
| 14 | 16 | 10 | 6 | 37 | 77 | 100 | 74 |
| 15 | 18 | 10 | 7 | 38 | 80 | 100 | 78 |
| 16 | 19 | 10 | 7 | 39 | 84 | 100 | 82 |
| 17 | 21 | 10 | 9 | 40 | 87 | 100 | 86 |
| 18 | 22 | 11 | 10 | 41 | 90 | 100 | 90 |
| 19 | 24 | 11 | 11 | 42 | 93 | 100 | 93 |
| 20 | 26 | 12 | 13 | 43 | 95 | 100 | 96 |
| 21 | 28 | 14 | 15 | 44 | 97 | 100 | 98 |
| 22 | 30 | 16 | 17 | 45 | 99 | 100 | 100 |
| 23 | 33 | 18 | 20 | 46 | 100 | 100 | 100 |

Příloha D - Využité SQL kódy

DRUH PB

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.DRUH_PB = IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "*PB
Betonový*" Or Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "*PB mřížový*" Or
Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "*PB
Ocelový*",100,IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "*PB dřevěný*",50,100));
```

DUSLEDEK PORUCHY

```
UPDATE Ven_PB_VN_data_faktory SET
Ven_PB_VN_data_faktory.DUSLEDEK_PORUCHY =
DLookUp("KOEFCIENT", "VAHY_FAKTORY", "FAKTOR =
'POCET_OM'")*Ven_PB_VN_data_faktory.[POCET_OM]+DLookUp("KOEFCIENT", "V
AHY_FAKTORY", "FAKTOR =
'TYP_VEDENI'")*Ven_PB_VN_data_faktory.TYP_VEDENI+DLookUp("KOEFCIENT",
"VAHY_FAKTORY", "FAKTOR =
'NAROCNOST_OPRAVY'")*Ven_PB_VN_data_faktory.NAROCNOST_OPRAVY;
```

INTRAVILIAN

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.INTRAVILIAN = IIf(Ven_PB_VN_DATA.INTRAVILIAN_NOVY
Like "*ano*",100,IIf(Ven_PB_VN_DATA.INTRAVILIAN_NOVY Like "*ne*",0));
```

ITS - NOVÝ

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ITS_NOVY =
IIf(IsNumeric(Ven_PB_VN_DATA.ITS),100-Ven_PB_VN_DATA.ITS,100);
```

LESNÍ PRŮSEK

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.LESNI_PRUSEK =
IIf(Ven_PB_VN_DATA.LESNI_PRUSEK>DLookUp("LESNI_PRUSEK", "ZASTROPOVANI")
,100, (([Ven_PB_VN_DATA].[LESNI_PRUSEK]-
DMin("[LESNI_PRUSEK]", "Ven_PB_VN_DATA", "LESNI_PRUSEK <= " &
DLookUp("LESNI_PRUSEK", "ZASTROPOVANI")))/(DMax("[LESNI_PRUSEK]", "Ven_P
B_VN_DATA", "LESNI_PRUSEK <= " &
DLookUp("LESNI_PRUSEK", "ZASTROPOVANI"))-
DMin("[LESNI_PRUSEK]", "Ven_PB_VN_DATA", "LESNI_PRUSEK <= " &
DLookUp("LESNI_PRUSEK", "ZASTROPOVANI")))*100);
```

NÁMRAZA

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.NAMRAZA = IIf(Len([Ven_PB_VN_DATA].[NAMRAZA])=0
Or
IsNull([Ven_PB_VN_DATA].[NAMRAZA]),0,IIf(Val(Mid([Ven_PB_VN_DATA].[NAM
RAZA],InStr([Ven_PB_VN_DATA].[NAMRAZA], '-')+1))<13,40,100));
```

NÁROČNOST OPRAVY

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.NAROCNOST_OPRAVY = IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB
Like "PB mřížový" Or Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
Ocelový",100,IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
dřevěný",40,IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB betonový",80,100)));
```

POČET OM

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.POCET_OM =
IIf(Ven_PB_VN_DATA.POCET_OM>DLookUp("POCET_OM","ZASTROPOVANI"),100,((
Ven_PB_VN_DATA].[POCET_OM]-
DMin("[POCET_OM]","Ven_PB_VN_DATA","POCET_OM <= " &
DLookUp("POCET_OM","ZASTROPOVANI")))/(DMax("[POCET_OM]","Ven_PB_VN_DAT
A","POCET_OM <= " & DLookUp("POCET_OM","ZASTROPOVANI"))-
DMin("[POCET_OM]","Ven_PB_VN_DATA","POCET_OM <= " &
DLookUp("POCET_OM","ZASTROPOVANI"))))*100);
```

POČET PORUCH

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.PORUCHY_PO CET =
IIf(Ven_PB_VN_DATA.PORUCHY_PO CET>DLookUp("PORUCHY_PO CET","ZASTROPOVANI
"),100,([Ven_PB_VN_DATA].[PORUCHY_PO CET]-
DMin("[PORUCHY_PO CET]","Ven_PB_VN_DATA","PORUCHY_PO CET <=
109600"))/(DMax("[PORUCHY_PO CET]","Ven_PB_VN_DATA","PORUCHY_PO CET <= "
& DLookUp("PORUCHY_PO CET","ZASTROPOVANI"))-
DMin("[PORUCHY_PO CET]","Ven_PB_VN_DATA","PORUCHY_PO CET <= " &
DLookUp("PORUCHY_PO CET","ZASTROPOVANI"))))*100);
```

ZARAZENÍ DO SEGMENTU RIZIKA

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY SET Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.RIZIKO =
IIf(ZARAZENI In
(100,99,98,97,90,89,88,87,80,79,78,77,70,69,68,60,59,58,50,49,40,39,30
,20,10), 'A', IIf(ZARAZENI In
(96,95,94,86,85,84,76,75,74,67,66,65,57,56,48,47,38,37,29,28,19,18,9,8
), 'B', IIf(ZARAZENI In
(93,83,73,64,63,55,54,46,45,36,35,27,26,17,16,7,6), 'C', IIf(ZARAZENI In
(92,82,72,62,53,52,44,43,42,34,33,32,25,24,23,15,14,13,5,4), 'D', IIf(ZA
RAZENI In (91,81,71,61,51,41,31,22,21,12,11,1,2,3), 'E', RIZIKO)))));
```

RIZIKOVÝ FAKTOR

```
UPDATE Ven_PB_VN_data_faktory SET
Ven_PB_VN_data_faktory.RIZIKOVY_FAKTOR =
DLookUp("KOEFCIENT","VAHY_FAKTORY","FAKTOR =
'ITS_NOVY')*[Ven_PB_VN_data_faktory].[ITS_NOVY]+DLookUp("KOEFCIENT",
"VAHY_FAKTORY","FAKTOR =
'STARI')*[Ven_PB_VN_data_faktory].[STARI]+DLookUp("KOEFCIENT","VAHY_
FAKTORY","FAKTOR =
'PORUCHY_PO CET')*[Ven_PB_VN_data_faktory].[PORUCHY_PO CET]+DLookUp("KO
EFCIENT","VAHY_FAKTORY","FAKTOR =
'DRUH_PB')*[Ven_PB_VN_data_faktory].[DRUH_PB]+DLookUp("KOEFCIENT","V
AHY_FAKTORY","FAKTOR =
'ZAVADY_CENA')*[Ven_PB_VN_data_faktory].[ZAVADY_CENA]+DLookUp("KOEFCI
ENT","VAHY_FAKTORY","FAKTOR =
```

```
'LESNI_PRUSEK')*[Ven_PB_VN_data_factory].[LESNI_PRUSEK]+DLookUp("KOEFI
ICIENT","VAHY_FAKTORY","FAKTOR =
'NAMRAZA')*[Ven_PB_VN_data_factory].[NAMRAZA]+DLookUp("KOEFIICIENT","V
AHY_FAKTORY","FAKTOR =
'INTRAVILAN')*[Ven_PB_VN_data_factory].[INTRAVILAN];
```

ROKY – POMOCNÉ

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ROKY = Year(Date())-
[Ven_PB_VN_DATA].[ROK_VYSTAVBY_REKONSTRUKCE];
```

STÁŘÍ

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.STARI = IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
betonový",DLookUp("PB_VN_Beton","krivky_starnuti_PB_VN","STARI=" &
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ROKY),IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
dřevěný",DLookUp("PB_VN_drevo","krivky_starnuti_PB_VN","STARI=" &
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ROKY),IIf(Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
mřížový" Or Ven_PB_VN_DATA.DRUH_PB Like "PB
ocelový",DLookUp("PB_VN_ocel","krivky_starnuti_PB_VN","STARI=" &
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ROKY),DLookUp("PB_VN_Beton","krivky_starnuti_PB
_VN","STARI=" & Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ROKY))));
```

TYP VEDENÍ

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.TYP_VEDENI = IIf(Ven_PB_VN_DATA.TYP_VEDENI Like
"*kmen*",100,IIf(Ven_PB_VN_DATA.TYP_VEDENI Like
"*odbočka*",60,IIf(Ven_PB_VN_DATA.TYP_VEDENI Like
"*přípojka*",40,100)))
WHERE ((Ven_PB_VN_DATA.TYP_VEDENI) Is Not Null));
```

ZAŘAZENÍ

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY SET ZARAZENI =
SWITCH(DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=1,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT
=2,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+10,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=3,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+2
0,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=4,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+30,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=5
,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+40,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=6,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+50,
DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=7,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+60,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=8,R
IZIKOVY_FAKTOR_KAT+70,DUSLEDEK_PORUCHY_KAT=9,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+80,DU
SLEDEK_PORUCHY_KAT=10,RIZIKOVY_FAKTOR_KAT+90);
```

ZÁVADY – CENA

```
UPDATE Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY INNER JOIN Ven_PB_VN_DATA ON
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.FID_PB = Ven_PB_VN_DATA.FID_PB SET
Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY.ZAVADY_CENA =
IIf(Ven_PB_VN_DATA.ZAVADY_CENA>DLookUp("ZAVADY_CENA","ZASTROPOVANI"),1
00,(([Ven_PB_VN_DATA].[ZAVADY_CENA]-
DMin("[ZAVADY_CENA"],"Ven_PB_VN_DATA","ZAVADY_CENA <= " &
DLookUp("ZAVADY_CENA","ZASTROPOVANI")))/(DMax("[ZAVADY_CENA"],"Ven_PB_
VN_DATA","ZAVADY_CENA <= " & DLookUp("ZAVADY_CENA","ZASTROPOVANI"))-
DMin("[ZAVADY_CENA"],"Ven_PB_VN_DATA","ZAVADY_CENA <= " &
DLookUp("ZAVADY_CENA","ZASTROPOVANI")))*100);
```


Příloha E - Využité VBA kódy

ZASTROPOVANI – LESNI PRUSEK

```
Option Compare Database

Public Sub Zastropovani_lesni_prusek()
    Dim zaznam As Recordset
    Dim hodnota As Variant
    Dim nej_hodnoty(4) As Double
    Dim prumer As Long
    Dim radky_celkem As Long
    Dim radky_nad As Long
    Dim db As DAO.Database
    Set db = CurrentDb
    Dim soucet As Double
    ' Načtení dat a počet nenulových řádků
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT LESNI_PRUSEK FROM
VEN_PB_VN_DATA")
    radky_celkem = DCount("*", "VEN_PB_VN_DATA", "LESNI_PRUSEK <> 0")
    ' Pro získání nejvyšších hodnot, porovnává se vždy s nejmenší z
největších, pak bubble-sort a znova
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!LESNI_PRUSEK
        If Not IsNull(hodnota) Then
            If hodnota > nej_hodnoty(4) Then
                nej_hodnoty(4) = hodnota
                Call bubbleSort(nej_hodnoty)
            End If
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop
    ' Výpočet průměru top 5 hodnot a podělení 2
    For i = 0 To 4
        soucet = soucet + nej_hodnoty(i)
    Next i
    prumer = soucet / 5 / 2

    ' počet řádků nad tou hodnotou
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!LESNI_PRUSEK
        If hodnota > prumer Then
            radky_nad = radky_nad + 1
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop
    ' Tvoří méně než 5 % nenulových řádků? Vypis do tabulky (pokud ne,
zvolena vysoká hodnota - univerzálnost kódu
    If radky_nad / radky_celkem < 0.05 Then
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET LESNI_PRUSEK = " & prumer
    Else
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET LESNI_PRUSEK = " & 99999999
    End If
    zaznam.Close
    Set zaznam = Nothing
End Sub
```

ZASTROPOVANI – POČET OM

```
Public Sub Zastropovani_pocet_om()
    Dim zaznam As Recordset
    Dim hodnota As Variant
    Dim nej_hodnoty(4) As Double
    Dim prumer As Long
    Dim radky_celkem As Long
    Dim radky_nad As Long
    Dim db As DAO.Database
    Set db = CurrentDb
    Dim soucet As Double

    ' Načtení dat a počet nenulových řádků
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT POCET_OM FROM VEN_PB_VN_DATA")
    radky_celkem = DCount("*", "VEN_PB_VN_DATA", "POCET_OM <> 0")

    ' Pro získání nejvyšších hodnot, porovnává se vždy s nejmenší z největších, pak bubble-sort a znova
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!POCET_OM
        If Not IsNull(hodnota) Then
            If hodnota > nej_hodnoty(4) Then
                nej_hodnoty(4) = hodnota
                Call bubbleSort(nej_hodnoty)
            End If
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop
    ' Výpočet průměru top 5 hodnot a podělení 2

    For i = 0 To 4
        soucet = soucet + nej_hodnoty(i)
    Next i
    prumer = soucet / 5 / 2

    ' počet řádků nad tou hodnotou
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!POCET_OM
        If hodnota > prumer Then
            radky_nad = radky_nad + 1
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop
    ' Tvoří méně než 5 % nenulových řádků? Výpis do tabulky (pokud ne, zvolena vysoká hodnota - univerzálnost kódu
    If radky_nad / radky_celkem < 0.05 Then
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET POCET_OM = " & prumer
    Else
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET POCET_OM = " & 99999999
    End If

    zaznam.Close
    Set zaznam = Nothing
End Sub
```

ZASTROPOVANI – POČET PORUCH

```
Option Compare Database
Public Sub Zastropovani_poruchy_pocet()
    Dim zaznam As Recordset
    Dim hodnota As Variant
    Dim nej_hodnoty(4) As Double
    Dim prumer As Long
    Dim radky_celkem As Long
    Dim radky_nad As Long
    Dim db As DAO.Database
    Set db = CurrentDb
    Dim soucet As Double

    ' Načtení dat a počet nenulových řádků
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT PORUCHY_PO CET FROM
VEN_PB_VN_DATA")
    radky_celkem = DCount("*", "VEN_PB_VN_DATA", "PORUCHY_PO CET <> 0")

    ' Pro získání nejvyšších hodnot, porovnává se vždy s nejmenší z
největších, pak bubble-sort a znova
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!PORUCHY_PO CET
        If Not IsNull(hodnota) Then
            If hodnota > nej_hodnoty(4) Then
                nej_hodnoty(4) = hodnota
                Call bubbleSort(nej_hodnoty)
            End If
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop

    ' Výpočet průměru top 5 hodnot a podělení 2
    For i = 0 To 4
        soucet = soucet + nej_hodnoty(i)
    Next i
    prumer = soucet / 5 / 2
    ' počet řádků nad tou hodnotou
    zaznam.MoveFirst
    Do Until zaznam.EOF
        hodnota = zaznam!PORUCHY_PO CET
        If hodnota > prumer Then
            radky_nad = radky_nad + 1
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop
    ' Tvoří méně než 5 % nenulových řádků? Výpis do tabulky (pokud ne,
zvolena vysoká hodnota - univerzálnost kódu
    If radky_nad / radky_celkem < 0.05 Then
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET PORUCHY_PO CET = " & prumer
    Else
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET PORUCHY_PO CET = " & 99999999
    End If

    zaznam.Close
    Set zaznam = Nothing
End Sub
```

ZASTROPOVANI – ZAVADY CENA

```
Public Sub Zastropovani_zavady_cena()  
    Dim zaznam As Recordset  
    Dim hodnota As Variant  
    Dim nej_hodnoty(4) As Double  
    Dim prumer As Long  
    Dim radky_celkem As Long  
    Dim radky_nad As Long  
    Dim db As DAO.Database  
    Set db = CurrentDb  
    Dim soucet As Double  
  
    ' Načtení dat a počet nenulových řádků  
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT ZAVADY_CENA FROM  
VEN_PB_VN_DATA")  
    radky_celkem = DCount("*", "VEN_PB_VN_DATA", "ZAVADY_CENA <> 0")  
  
    ' Pro získání nejvyšších hodnot, porovnává se vždy s nejmenší z  
největších, pak bubble-sort a znova  
    zaznam.MoveFirst  
    Do Until zaznam.EOF  
        hodnota = zaznam!ZAVADY_CENA  
        If Not IsNull(hodnota) Then  
            If hodnota > nej_hodnoty(4) Then  
                nej_hodnoty(4) = hodnota  
                Call bubbleSort(nej_hodnoty)  
            End If  
        End If  
        zaznam.MoveNext  
    Loop  
    ' Výpočet průměru top 5 hodnot a podělení 2  
  
    For i = 0 To 4  
        soucet = soucet + nej_hodnoty(i)  
    Next i  
    prumer = soucet / 5 / 2  
  
    ' počet řádků nad tou hodnotou  
    zaznam.MoveFirst  
    Do Until zaznam.EOF  
        hodnota = zaznam!ZAVADY_CENA  
        If hodnota > prumer Then  
            radky_nad = radky_nad + 1  
        End If  
        zaznam.MoveNext  
    Loop  
  
    ' Tvoří méně než 5 % nenulových řádků? Výpis do tabulky (pokud ne,  
zvolena vysoká hodnota - univerzálnost kódu  
    If radky_nad / radky_celkem < 0.05 Then  
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET ZAVADY_CENA = " & prumer  
    Else  
        db.Execute "UPDATE ZASTROPOVANI SET ZAVADY_CENA = " & 99999999  
    End If  
    zaznam.Close  
    Set zaznam = Nothing  
End Sub
```

BUBBLE-SORT

```
' Seřadit pomocí Bubble-sort metody
Sub bubbleSort(a() As Double)
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim docas As Double
    For i = LBound(a) To UBound(a) - 1
        For j = i + 1 To UBound(a)
            If a(j) > a(i) Then
                docas = a(i)
                a(i) = a(j)
                a(j) = docas
            End If
        Next j
    Next i
End Sub
```

STANDARDIZACE HODNOT – DUSLEDEK PORUCHY

```
Option Compare Database

Public Sub StandardizujDUSLEDEK_PORUCHY()

    ' proměnné
    Dim db As DAO.Database
    Dim zaznam As DAO.Recordset
    Dim sum As Double
    Dim pocet As Long
    Dim prumer As Double
    Dim sm_odch As Double
    Set db = CurrentDb
    Set zaznam = db.OpenRecordset("Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY",
dbOpenDynaset)

    ' Vypočítání průměru a směrodatné odchylky
    Do Until zaznam.EOF
        sum = sum + zaznam!DUSLEDEK_PORUCHY
        pocet = pocet + 1
        zaznam.MoveNext
    Loop

    prumer = sum / pocet

    zaznam.MoveFirst

    Do Until zaznam.EOF
        sm_odch = sm_odch + (zaznam!DUSLEDEK_PORUCHY - prumer) ^ 2
        zaznam.MoveNext
    Loop

    sm_odch = Sqr(sm_odch / pocet)

    zaznam.MoveFirst

    ' Aktualizace sloupce ST_DUSLEDEK_PORUCHY pomocí standardizace
    Do Until zaznam.EOF
        zaznam.Edit
        zaznam!ST_DUSLEDEK_PORUCHY = (zaznam!DUSLEDEK_PORUCHY - prumer)
```

```

/ sm_odch
    zaznam.Update
    zaznam.MoveNext
Loop

' Uvolnění paměti
zaznam.Close
Set zaznam = Nothing
Set db = Nothing

End Sub

```

STANDARDIZACE HODNOT – RIZIKOVY FAKTOR

```

Option Compare Database

Public Sub StandardizujRIZIKOVY_FAKTOR()

    ' proměnné a základní nastavení
    Dim db As DAO.Database
    Dim zaznam As DAO.Recordset
    Dim sum As Double
    Dim pocet As Long
    Dim prumer As Double
    Dim sm_odch As Double
    Set db = CurrentDb
    Set zaznam = db.OpenRecordset("Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY",
dbOpenDynaset)

    ' Vypočítání průměru a směrodatné odchyly
    Do Until zaznam.EOF
        sum = sum + zaznam!RIZIKOVY_FAKTOR
        pocet = pocet + 1
        zaznam.MoveNext
    Loop

    prumer = sum / pocet

    zaznam.MoveFirst

    Do Until zaznam.EOF
        sm_odch = sm_odch + (zaznam!RIZIKOVY_FAKTOR - prumer) ^ 2
        zaznam.MoveNext
    Loop

    sm_odch = Sqr(sm_odch / pocet)

    zaznam.MoveFirst

    ' Aktualizace sloupce ST_RIZIKOVY_FAKTOR
    Do Until zaznam.EOF
        zaznam.Edit
        zaznam!ST_RIZIKOVY_FAKTOR = (zaznam!RIZIKOVY_FAKTOR - prumer) /
sm_odch
        zaznam.Update
        zaznam.MoveNext
    Loop

    ' Uvolnění paměti

```

```

zaznam.Close
Set zaznam = Nothing
Set db = Nothing

```

```
End Sub
```

K-MEANS – DŮSLEDEK PORUCHY

```
Option Compare Database
```

```
Public Sub KMeansClusteringDP()
```

```

    ' proměnné a načtení dat
    Dim data() As Double
    Dim zaznam As DAO.Recordset
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT ST_DUSLEDEK_PORUCHY
FROM Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")
    Dim i As Long
    Dim pocet As Long
    pocet = 0
    Do While Not zaznam.EOF
        If IsNumeric(zaznam!ST_DUSLEDEK_PORUCHY) Then
            ReDim Preserve data(0 To pocet)
            data(pocet) = Cdbl(zaznam!ST_DUSLEDEK_PORUCHY)
            pocet = pocet + 1
        End If
        zaznam.MoveNext
    Loop

    ' Nastavení počtu clusterů
    Dim pocet_clusters As Integer
    pocet_clusters = 10

    ' První středy, zvoleno pevně
    Dim k As Integer
    Dim stredy() As Double
    ReDim stredy(0 To 9)
    Dim minimum As Double
    Dim maximum As Double
    minimum = DMin("ST_DUSLEDEK_PORUCHY", "Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")
    maximum = DMax("ST_DUSLEDEK_PORUCHY", "Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")

    'problematické místo, může způsobit špatné řazení, vzestupně/sestupně.
    Nutná kontrola přiřazení, případně nahradit za(1-k/9)
    For k = 0 To 9
        stredy(k) = minimum + (maximum - minimum) * (k / 9)
    Next k

    'Modifikovaný K-means clustering
    Dim j As Integer
    Dim cluster() As Integer
    ReDim cluster(0 To UBound(data))
    For j = 1 To 100 ' stanovený počet iterací

        ' Přiřazení hodnot do klusterů
        For i = 0 To UBound(data)
            Dim minvzdal As Double
            minvzdal = Abs(data(i) - stredy(0))
            cluster(i) = 0

```

```

        For k = 1 To UBound(stredy)
            If Abs(data(i) - stredy(k)) < minvzdal Then
                minvzdal = Abs(data(i) - stredy(k))
                cluster(i) = k
            End If
        Next k
    Next i

    ' Spočítání nových středů
    Dim clusterSum() As Double
    Dim clusterpocet() As Long
    ReDim clusterSum(0 To UBound(stredy))
    ReDim clusterpocet(0 To UBound(stredy))
    For i = 0 To UBound(data)
        clusterSum(cluster(i)) = clusterSum(cluster(i)) + data(i)
        clusterpocet(cluster(i)) = clusterpocet(cluster(i)) + 1
    Next i
    For k = 0 To UBound(stredy)
        If clusterpocet(k) > 0 Then
            stredy(k) = clusterSum(k) / clusterpocet(k)
        End If
    Next k
Next j

    ' Přidání jedničky ke každé hodnotě v poli cluster
For i = 0 To UBound(cluster)
    cluster(i) = cluster(i) + 1
Next i

    ' Aktualizace sloupce DUSLEDEK_PORUCHY_KAT
Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT ST_DUSLEDEK_PORUCHY,
DUSLEDEK_PORUCHY_KAT FROM Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")
i = 0
Do While Not zaznam.EOF
    zaznam.Edit
    zaznam!DUSLEDEK_PORUCHY_KAT = cluster(i)
    zaznam.Update
    i = i + 1
    zaznam.MoveNext
Loop

zaznam.Close
Set zaznam = Nothing

End Sub

```

K-MEANS – RIZIKOVÝ FAKTOR

```

Option Compare Database

Public Sub KMeansClusteringDP()

    ' proměnné a načtení dat
    Dim data() As Double
    Dim zaznam As DAO.Recordset
    Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT ST_DUSLEDEK_PORUCHY
FROM Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")

```



```

Dim i As Long
Dim pocet As Long
pocet = 0
Do While Not zaznam.EOF
    If IsNumeric(zaznam!ST_DUSLEDEK_PORUCHY) Then
        ReDim Preserve data(0 To pocet)
        data(pocet) = Cdbl(zaznam!ST_DUSLEDEK_PORUCHY)
        pocet = pocet + 1
    End If
    zaznam.MoveNext
Loop

' Nastavení počtu clusterů
Dim pocet_clusters As Integer
pocet_clusters = 10

    ' První středy, zvoleno pevně
    Dim k As Integer
    Dim stredy() As Double
    ReDim stredy(0 To 9)
Dim minimum As Double
Dim maximum As Double
minimum = DMin("ST_DUSLEDEK_PORUCHY", "Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")
maximum = DMax("ST_DUSLEDEK_PORUCHY", "Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")

'problematické místo, může způsobit špatné řazení, vzestupně/sestupně.
Nutná kontrola přiřazení, případně nahradit za (k/9) bez 1-
For k = 0 To 9
    stredy(k) = minimum + (maximum - minimum) * (1 - k / 9)
Next k

'Modifikovaný K-means clustering
Dim j As Integer
Dim cluster() As Integer
ReDim cluster(0 To UBound(data))
For j = 1 To 100 ' stanovený počet iterací

    ' Přiřazení hodnot do klusterů
    For i = 0 To UBound(data)
        Dim minvzdal As Double
        minvzdal = Abs(data(i) - stredy(0))
        cluster(i) = 0
        For k = 1 To UBound(stredy)
            If Abs(data(i) - stredy(k)) < minvzdal Then
                minvzdal = Abs(data(i) - stredy(k))
                cluster(i) = k
            End If
        Next k
    Next i

    ' Spočítání nových středů
    Dim clusterSum() As Double
    Dim clusterpocet() As Long
    ReDim clusterSum(0 To UBound(stredy))
    ReDim clusterpocet(0 To UBound(stredy))
    For i = 0 To UBound(data)
        clusterSum(cluster(i)) = clusterSum(cluster(i)) + data(i)
        clusterpocet(cluster(i)) = clusterpocet(cluster(i)) + 1
    Next i

```

```

    For k = 0 To UBound(stredy)
        If clusterpocet(k) > 0 Then
            stredy(k) = clusterSum(k) / clusterpocet(k)
        End If
    Next k
Next j

' Přidání jedničky ke každé hodnotě v poli cluster
For i = 0 To UBound(cluster)
    cluster(i) = cluster(i) + 1
Next i

' Aktualizace sloupce DUSLEDEK_PORUCHY_KAT
Set zaznam = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT ST_DUSLEDEK_PORUCHY,
DUSLEDEK_PORUCHY_KAT FROM Ven_PB_VN_DATA_FAKTORY")
i = 0
Do While Not zaznam.EOF
    zaznam.Edit
    zaznam!DUSLEDEK_PORUCHY_KAT = cluster(i)
    zaznam.Update
    i = i + 1
    zaznam.MoveNext
Loop

zaznam.Close
Set zaznam = Nothing

End Sub

```

Příloha F - Využité kódy v Matlabu

KONTROLA STANDARDIZACE

```
clc
clear all

matice = readmatrix('Ven_PB_VN_data_PROSTANDARD.csv');
x = matice(:,1);

% Standardizace dat pomocí funkce normalize
norm_data = normalize(x);
```

K-MEANS

```
clc
clear all

% Načtení dat z CSV souboru do matice
matice = readmatrix('sešit1.csv');
x = matice(:,1);
y = matice(:,2);
% Shlukování dat
K = 10; % Počet shluků
[idx, C] = kmeans(x, K);
% Výpočet koeficientů siluet pro každý objekt v datech

sil = silhouette(x, idx);
% Výpočet průměrného koeficientu siluet
mean_silh = mean(silh);
%pro export a kontrolu
B=[idx,y,silh];
```

VÝPOČET SILUETY

```
clc
clear all

% Načtení dat z CSV souboru do matice
matice = readmatrix('Ven_PB_VN_data_factory.csv');
x = matice(:,1);
y = matice(:,2);
% Výpočet koeficientů siluet pro každý objekt v datech
silh = silhouette(x,y);
% Výpočet průměrného koeficientu siluet
prum_silh = mean(silh);
% pro export a kontrolu
B=[y,silh];
```

Příloha G - Elektronické přílohy

K práci je přiložena elektronická příloha: SABLONA_RIM.xlsx