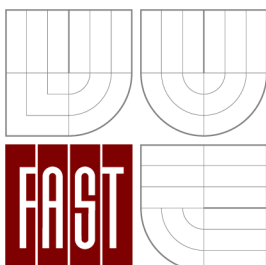


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

# MOŽNOSTI ŘÍZENÍ A MINIMALIZACE RIZIK TECHNOLOGIE VÝROBY STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ POMOCÍ FUZZY LOGIKY A DALŠÍCH NÁSTROJŮ RISK MANAGEMENTU

MANAGEMENT OPTIONS AND RISK MINIMIZING OF PRODUCTION TECHNOLOGIES  
OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS BY USING FUZZY LOGIC AND OTHER  
RISK MANAGEMENT TOOLS

DISERTAČNÍ PRÁCE  
PH.D. THESIS

AUTOR  
AUTHOR

ING. PETR MISÁK

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. TOMÁŠ VYMAZAL, PH.D.

BRNO 2013





## **Abstrakt**

Disertační práce představuje možnosti řízení a minimalizace rizik technologie výroby stavebních materiálů a výrobků pomocí fuzzy logiky a dalších nástrojů, nejen risk managementu, a uvádí důvody, proč se v odvětví výroby stavebních materiálů a výrobků některé metodiky běžně nevyužívají. Hlavním cílem disertační práce je nalézt možnosti rozšíření standardních metod pro hodnocení a minimalizaci rizik a způsobilosti procesu tak, aby relevantnost výstupů více vyhovovala potřebám výroby stavebních materiálů a výrobků. Dále jsou zde aplikovány principy Markovovy analýzy a zatím stále zřídka užívané nadstavby této metody s využitím fuzzy množin.

## **Abstract**

The thesis proposes management options and risk minimizing in the field of building materials production technologies and related products using fuzzy logic and other risk management tools. The thesis indicates why some methodologies are not commonly used. The main purpose of this work (thesis) is to propose possible upgrades of standard methods in process capability and risk minimizing related to building materials and products. Markov analysis and fuzzy Markov chains are applied.

## **Klíčová slova**

risk management, FMEA, fuzzy množiny, statistická regulace, charakteristická hodnota, stavební materiály a výrobky, Markovovy řetězce

## **Keywords**

risk management, FMEA, fuzzy sets, statistic process control, characteristic value, building materials and products, Markov chains

### **Bibliografická citace VŠKP**

MISÁK, Petr. *Možnosti řízení a minimalizace rizik technologie výroby stavebních materiálů a výrobků pomocí fuzzy logiky a dalších nástrojů risk managementu*. Brno, 2013. 103 s., 39 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D..

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 11. 2013

-----  
Ing. Petr Misák

## **Poděkování**

Nejprve bych rád poděkoval vedoucímu mé disertační práce doc. Ing. Tomáši Vymazalovi, Ph.D. za nápad na zpracování aktuálního tématu, za jeho podporu, vedení a čas, který mi věnoval v četných konzultacích. Dále bych velice rád poděkoval kolegům z Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně za nejen morální podporu, kterou mi v průběhu celého doktorského studia věnovali. Děkuji také svým rodičům a celé rodině za to, že mi umožnili studium na vysoké škole a tím i neustálý rozvoj mých znalostí a dovedností. V neposlední řadě děkuji manželce Valérii za podporu a trpělivost.

## Obsah

<b>1 ÚVOD A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b>	<b>11</b>
<b>2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE</b>	<b>12</b>
<b>3 TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>13</b>
3.1 Úvod do rizikového inženýrství ve výrobě stavebních materiálů a výrobků . . . . .	13
3.1.1 Posuzování rizik . . . . .	14
3.1.1.1 Identifikace rizik . . . . .	15
3.1.1.2 Analýza rizik . . . . .	15
3.1.2 Kvantitativní analýza rizik (nejen) ve stavebnictví . . . . .	15
3.1.3 Rizika a teorie pravděpodobnosti . . . . .	16
3.2 Klasické postupy analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) . . . . .	17
3.2.1 Účel a cíle FMEA a FMECA . . . . .	17
3.2.2 Provádění FMEA a FMECA - číslo priority rizika . . . . .	17
3.3 Management rizik ve výrobě stavebních materiálů a výrobků . . . . .	20
3.3.1 Integrovaný systém řízení (Integrated Management System) . . . . .	20
3.3.2 Řízení kvality podle ISO 9001 . . . . .	21
3.3.2.1 Plánování realizace produktu (7.1) . . . . .	21
3.3.2.2 Procesy týkající se zákazníka (7.2) . . . . .	22
3.3.2.3 Návrh a vývoj (7.3) . . . . .	23
3.3.2.4 Výroba a poskytování služeb (7.5) . . . . .	25
3.3.2.5 Monitorování a měření produktu (8.2.4) . . . . .	25
3.3.3 Environmentální řízení podle ISO 14001 . . . . .	26
3.3.3.1 Všeobecné požadavky (4.1) . . . . .	26
3.3.3.2 Environmentální politika (EP) (4.2) . . . . .	26
3.3.3.3 Plánování (4.3) . . . . .	27
3.3.3.4 Základní oblasti EMS . . . . .	27
3.3.3.5 Hodnocení závažnosti environmentálních aspektů . . . . .	29
3.3.4 Řízení BOZP podle OHSAS 18001 . . . . .	29
3.3.4.1 Všeobecné požadavky (4.1) . . . . .	29
3.3.4.2 Politika BOZP (4.2) . . . . .	29
3.3.4.3 Plánování BOZP (4.3) . . . . .	29
3.3.4.4 Identifikace nebezpečí a hodnocení rizik . . . . .	31
3.3.4.5 Havarijní připravenost a zásahy . . . . .	32
3.3.4.6 Příklady druhu nebezpečí a z nich vyplývajícího rizika . . . . .	32
3.3.4.7 Zásady postupu při identifikaci a hodnocení rizik BOZP . . . . .	33
3.4 Vybrané nástroje řízení kvality . . . . .	34
3.4.1 Vývojový diagram . . . . .	34
3.4.2 Identifikace rizik a nebezpečí pomocí diagramu příčin následků (Ischikawův diagram) . . . . .	35
3.4.3 Paretova analýza . . . . .	35
3.4.4 Regulační diagram . . . . .	35
3.5 Teorie fuzzy množin a fuzzy inference systémy . . . . .	36
3.5.1 Základní pojmy v teorii fuzzy množin . . . . .	37
3.5.2 Fuzzy inference systémy . . . . .	40
3.6 Teorie pravděpodobnosti a fuzzy množiny . . . . .	42
3.7 Rozšíření klasických postupů kvantitativní analýzy rizik pomocí fuzzy množin . . . . .	43

3.7.1	Výpočet čísla kritičnosti rizika pomocí fuzzy aritmetiky . . . . .	45
3.7.2	Výpočet čísla kritičnosti rizika pomocí FIS . . . . .	46
3.8	Markovovy řetězce . . . . .	48
3.8.1	Základní pojmy a definice . . . . .	48
3.9	Aplikace Markovových řetězců v řízení kvality a rizikovém inženýrství . . . . .	50
3.9.0.1	Použití a základní aplikace Markovových řetězců . . . . .	50
3.10	Fuzzy Markovovy řetězce . . . . .	51
3.11	Statistická regulace . . . . .	52
3.11.1	Hodnocení způsobilosti procesu . . . . .	52
3.11.2	Úprava indexů způsobilosti vzhledem k charakteristické hodnotě . . . . .	53
3.11.3	Charakteristická hodnota podle ČSN EN 1990 . . . . .	54
3.11.4	Index $C_c$ . . . . .	55
3.11.5	Hodnoty indexu $C_c$ . . . . .	55
<b>4</b>	<b>APLIKACE</b> . . . . .	<b>57</b>
4.1	Úvod . . . . .	57
4.2	Technologický postup procesu výroby . . . . .	57
4.2.1	Lidské zdroje . . . . .	57
4.2.2	Mechanismy . . . . .	58
4.2.3	Údaje o použitých materiálech . . . . .	58
4.2.4	Popis technologického postupu . . . . .	59
4.2.4.1	Přejímka surovin . . . . .	60
4.2.4.2	Skladování surovin . . . . .	60
4.2.4.3	Doprava surovin . . . . .	61
4.2.4.4	Vážení a dávkování surovin . . . . .	61
4.2.4.5	Výroba čerstvého betonu . . . . .	61
4.2.4.6	Výroba betonového zboží . . . . .	62
4.2.4.7	Vizuální kontrola betonového zboží . . . . .	62
4.2.4.8	Zrání betonového zboží . . . . .	63
4.2.4.9	Výstupní kontrola betonového zboží . . . . .	63
4.2.4.10	Povrchová úprava . . . . .	63
4.2.4.11	Paletizace . . . . .	63
4.2.4.12	Transport výrobku pro povrchovou úpravu na meziskládku . . . . .	63
4.2.4.13	Provedení povrchové úpravy . . . . .	63
4.2.4.14	Výstupní kontrola po povrchové úpravě . . . . .	63
4.2.4.15	Transport na skládku . . . . .	64
4.2.4.16	Kontrolní a zkušební plán . . . . .	64
4.3	Identifikace rizik a nebezpečí . . . . .	65
4.3.1	Klasická kvantifikace rizik metodou FMEA a FMECA . . . . .	65
4.3.1.1	Vyhodnocení analýzy a kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	65
4.3.2	Vyhodnocení analýzy a kvantifikace rizik BOZP . . . . .	66
4.3.3	Kvantifikace rizik pomocí fuzzy inference systémů . . . . .	67
4.3.3.1	Vyhodnocení analýzy a kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	73
4.3.3.2	Vyhodnocení analýzy rizik BOZP . . . . .	73
4.4	Aplikace fuzzy Markovových řetězců ve výrobě stavebních hmot a dílců . . . . .	75
4.4.1	Klasické Markovovy řetězce . . . . .	75
4.4.1.1	Výpočet absolutních pravděpodobností po 5 krocích . . . . .	77

4.4.1.2	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek . .	78
4.4.1.3	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu . . . . .	79
4.4.1.4	Pravděpodobnosti přechodu přechodů z neabsorbujících do absorbujících stavů . . . . .	79
4.4.2	Fuzzy Markovovy řetězce . . . . .	80
4.4.2.1	Výpočet absolutních pravděpodobností po 5 krocích . . . . .	80
4.4.2.2	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek . .	81
4.4.2.3	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu . . . . .	82
4.4.3	Shrnutí . . . . .	82
4.5	Aplikace upravených indexů způsobilosti v procesu výroby betonového zboží . . .	83
4.5.1	Klasické hodnocení způsobilosti výrobního procesu . . . . .	84
4.5.1.1	Základní statistická analýza výsledků zkoušek . . . . .	84
4.5.1.2	Vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu a aplikace indexu $C_c$	85
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>91</b>
	<b>LITERATURA</b>	<b>94</b>
<b>6</b>	<b>DEFINICE, POJMY A POUŽITÉ ZKRATKY</b>	<b>98</b>
6.1	Definice a pojmy . . . . .	98
6.2	Použité zkratky a symboly . . . . .	99
<b>A</b>	<b>Příloha - Kontrolní a zkušební plán</b>	<b>2</b>
<b>B</b>	<b>Příloha - Klasická kvantifikace rizik</b>	<b>5</b>
B.1	1 - Přejímka surovin . . . . .	5
B.2	2 - Skladování surovin . . . . .	6
B.3	3 - Doprava surovin . . . . .	8
B.4	4 - Vážení a dávkování surovin . . . . .	9
B.5	5 - Výroba čerstvého betonu . . . . .	10
B.6	6 - Výroba betonového zboží . . . . .	12
B.7	7 - Vizuální kontrola . . . . .	13
B.8	8 - Zrání betonového zboží . . . . .	13
B.9	9 - Výstupní kontrola . . . . .	14
B.10	10 - Paletizace . . . . .	15
B.11	11 - Paletizace . . . . .	16
B.12	12 - Transport na meziskládku . . . . .	17
B.13	13 - Povrchová úprava . . . . .	18
B.14	14 - Transport na skládku . . . . .	19
B.15	Vyhodnocení nejzávažnějších rizik . . . . .	21
<b>C</b>	<b>Příloha - Kvantifikace rizik BOZP</b>	<b>23</b>
<b>D</b>	<b>Příloha - Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik prostřednictvím FIS</b>	<b>29</b>
D.1	1 - Přejímka surovin . . . . .	29
D.2	2 - Skladování surovin . . . . .	29
D.3	3 - Doprava surovin . . . . .	30

---

D.4	4 - Vážení a dávkování surovin . . . . .	30
D.5	5 - Výroba čerstvého betonu . . . . .	31
D.6	6 - Výroba betonového zboží . . . . .	31
D.7	7 - Vizuální kontrola . . . . .	32
D.8	8 - Zrání betonového zboží . . . . .	32
D.9	9 - Výstupní kontrola . . . . .	33
D.10	10 - Paletizace . . . . .	33
D.11	11 - Paletizace . . . . .	34
D.12	12 - Transport na meziskládku . . . . .	34
D.13	13 - Povrchová úprava . . . . .	35
D.14	14 - Transport na skládku . . . . .	35



## 1 ÚVOD A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Obecně lze říci, že pokud výrobní organizace (firma) chce být úspěšná, musí mít dobře zvládnutý proces změn, proces řízení rizik a proces řízení kvality. Všechny tyto procesy spolu vzájemně souvisí, často je nelze jednoznačně oddělit, mají trvalý charakter a nikdy je nelze považovat za ukončené. Chce-li společnost obstát ve stále tvrdší konkurenci, musí neustále provádět nějaké změny (např. marketingu, financování, nabízených produktů, atd.). Samozřejmě každá změna sebou přináší riziko, že požadovaného efektu nebude dosaženo, nebo že dojde dokonce ke zhoršení stávajícího stavu. Základním cílem procesu změn je samozřejmě jejich úspěšné uskutečnění. Je tedy nutné snižovat riziko neúspěšného provedení změny na minimum, což znamená riziko minimalizovat. Nástrojů pro řízení a minimalizaci rizik v prostředí výrobních organizací existuje mnoho a této problematice byla věnována celá řada zahraničních i českých publikací (např. [1, 2, 3]).

K minimalizaci rizik výrobního procesu je nutné mít proces co možná nejlépe popsáný a zvládnutý. K popisu a regulaci se používá celá řada statistických nástrojů, které se souhrně nazývají statistické řízení procesů a úzce souvisejí s řízením kvality výrobních procesů, které je ve velké míře využíváno od druhé poloviny dvacátého století.

Vývoj a výroba stavebních materiálů a výrobků je z hlediska řízení kvality velice složitý proces. Ve výrobě stavebních materiálů a výrobků se však setkáváme s celou řadou problémů, které jsou způsobeny specifičností těchto procesů a také požadavky na výsledné produkty. Velice často dochází k tomu, že klasické prostředky řízení rizik a především statistické regulace nám poskytují zavádějící závěry. Tyto problémy jsou způsobeny tím, že zmiňované metody byly vyvíjeny a jsou optimalizovány především pro strojírenský, chemický a elektrotechnický průmysl. Tato odvětví se do značné míry od výroby stavebních materiálů a výrobků liší. Z hlediska řízení kvality můžeme sledovat několik zásadních odlišností, které mohou způsobit problémy při hodnocení kvality klasickými postupy. Jedná se především o *malý rozsah statistických souborů* a *(ne)normalitu dat*. Zkoušky prováděné na stavebních materiálech a výrobcích jsou ve většině případů destruktivní a proto velmi nákladné. Z těchto důvodů se velice často pracuje se soubory relativně malých rozsahů. Ve strojírenství nejsou výjimkou soubory o rozsahu několika set až tisíc hodnot, což je ve stavebnictví nereálné a často se výrobní proces posuzuje na základě několika málo dat.

Jedny z nejpoužívanějších stavebních materiálů a výrobků jsou na bázi cementových kompozitů, jejichž charakteristiky nejsou tak snadno statisticky popsatelné (rozdělením pravděpodobnosti), jak je tomu například u oceli. Při malém rozsahu statistických souborů je testování normality obtížné a velice málo relevantní. Lze využít různých transformovaných rozdělání pravděpodobnosti, ale i zde se setkáváme s problémem malého množství dat.

Tyto a mnoho dalších důvodů vedou k zamyšlení nad tím, zda je potřeba nějakým způsobem přiblížit metody statistické regulace, řízení rizik a další metodiky potřebám výroby stavebních materiálů a výrobků. Tato disertační práce se snaží odpovědět na právě tyto v dnešní době aktuální otázky.

## 2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

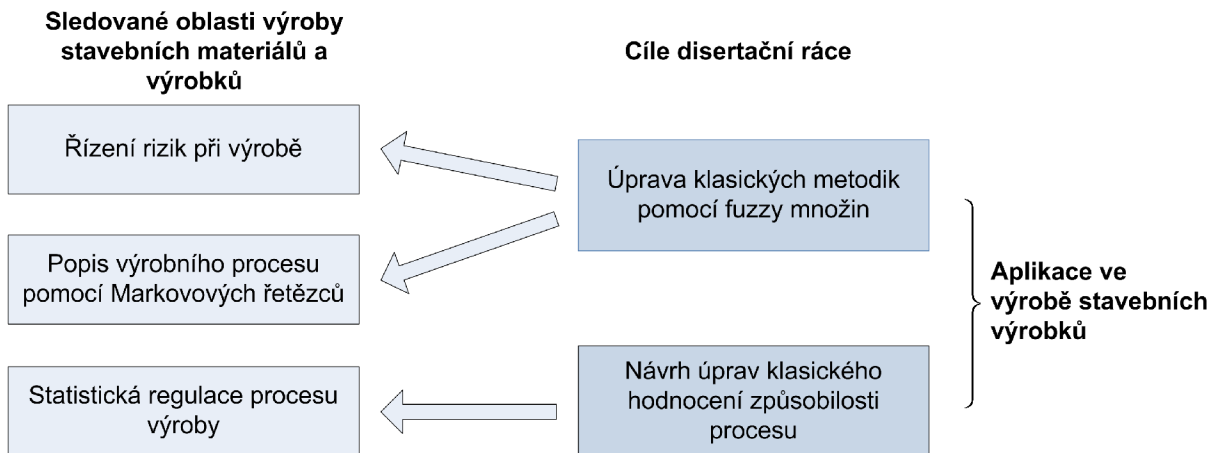
Hlavním cílem disertační práce je ukázat možnosti rozšíření standardních metodik pro hodnocení a minimalizaci rizik a způsobilosti procesu prostřednictvím fuzzy logiky a dalších nástrojů tak, aby relevantnost výstupů více vyhovovala potřebám výroby stavebních materiálů a výrobků. Disertační práce je metodicky rozdělena do tří oblastí zájmu (viz obr. 1): řízení rizik ve výrobě, aplikace Markovových řetězců a statistická regulace procesů.

V oblasti řízení rizik se disertační práce věnuje úpravám a rozšíření klasických metodik FMEA a FMECA s využitím fuzzy množin. Autor práce již v této oblasti publikoval celou řadu příspěvků a článků v časopisech. Z nejvýznamějších publikací můžeme vybrat např. [4, 5].

Markovovy řetězce jsou v současné době stále více užívané k popisu výrobních procesů pro potřeby rizikového inženýrství a risk managementu. Na rozdíl od klasických ekonomických a jiných ukazatelů nám poskytují hlubší informace o sledovaném výrobním procesu. Často se však v praxi setkáváme se situacemi, kdy údaje o výrobním procesu (vstupní údaje Markovových řetězců) nejsou dostatečně přesné a tím je ovlivněna kvalita výstupů. Cílem disertační práce v této problematice je ukázat možnosti použití fuzzy množin pro popis těchto „nepřesností“ a provést tak rozšíření klasické metodiky Markovových řetězců.

Problematika statistického řízení (regulace) výrobních procesů stavebních materiálů a výrobků je v posledních letech také velice aktuální téma. Jak již bylo naznačeno, klasické postupy mohou někdy v této oblasti výroby poskytovat zavádějící závěry. Cílem práce je provést úpravu stávajících metodik tak, aby zohledňovaly tzv. charakteristickou hodnotu vlastností výrobků a materiálů, a tím dosáhnout širšího využití statistické regulace procesů ve sledované oblasti výroby.

Očekávaným přínosem disertační práce by měla být především aplikace dosažených výsledků v reálné praxi. Autor práce spolupracuje s organizací, která je jedním z předních producentů betonových výrobků u nás. V rámci disertační práce je řešena oblast výroby plošné betonové dlažby.



Obrázek 1: Etapy disertační práce

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

Úkolem teoretické části disertační práce je shrnout dosavadní poznatky v oblasti rizikového inženýrství a risk managementu, a to především s ohledem na možnosti kvantifikace rizik. Dále jsou zde uvedeny základy teorie fuzzy množin, fuzzy logiky a Markovových řetězců, které jsou v dalších částech použity pro rozšíření dosavadních možností v oblasti kvantifikace, ale i predikce možných rizik (nejen) technologie výroby stavebních materiálů a výrobků. Nedílnou součástí jsou také poznatky z hodnocení způsobilosti procesů a úprava těchto klasických postupů s ohledem na specifika stavebně materiálového inženýrství.

### 3.1 Úvod do rizikového inženýrství ve výrobě stavebních materiálů a výrobků

Nejprve se zaměříme na výklad pojmu *riziko*. V nejšířším slova smyslu riziko znamená *vystavení nepříznivým okolnostem* [3]. Tato definice však není zcela přesná. Výklad pojmu riziko je do značné míry závislý na odvětví, oboru a problematice. Norma ČSN EN 31000 [6] definuje riziko jako *účinek nejistoty na dosažení cílů*, přičemž *účinek* je zde definován jako odchylka od očekávaného (kladná a/nebo záporná). Cíle mohou mít různá hlediska, např. finanční, bezpečnostní a environmentální. Obecně se riziko vykládá různými způsoby:

- pravděpodobnost ztráty;
- možnost ztráty;
- nejistota;
- odchýlení skutečných a očekávaných výsledků;
- pravděpodobnost jakéhokoli výsledku lišícího se od výsledku očekávaného;
- situace, v níž existuje možnost nepříznivé odchylky od žádoucího výsledku, který očekáváme.

V souvislosti s rizikem si musíme uvědomit, že vždy musí existovat alespoň dvě varianty. Známe-li nějakou informaci s jistotou, tedy víme jaký bude výsledek, nelze o riziku hovořit.

Nedílnou součástí práce s riziky je rozhodování za nejistot. Pojem nejistota bychom mohli označit jako tzv. „nepoznané známé“. Dále se setkáváme s neurčitostmi, které bychom mohli zařadit do kategorie „nepoznané neznámé“ [1]. Nejistoty a neurčitosti mají logicky za následek to, že při práci s riziky vycházíme na všech úrovních z *odhadů*. Žádná hodnota tedy není pevná a proto se musíme ptát, jaká je kvalita našeho odhadu, avšak i ten sám je zatížen určitou nejistotou.

Jedním z problémů, který se v současné době často řeší, je fakt, že nedokážeme rizika uspořádat v nějakém univerzálním systému do kategorií nebo tříd. Tato problematika je řešitelná pouze v užších okruzích, např. v rámci jedné organizace nebo jednoho oboru činnosti.

Základním cílem tzv. *rizikologie* (nauka o riziku) je nahradit nebo alespoň doplnit rozhodování intuitivním rozhodováním založeným na systematickém přístupu k jevům, dějům a událostem, které se staly nebo které se očekávají [1]. Rizikologie je tvořena dvěma úzce provázanými disciplínami: rizikovým inženýrstvím (risk engineering) a managementem rizika (risk management).

*Rizikové inženýrství* se zabývá technickými stránkami problémů rizik a jejich hodnocením. Převládají zde prvky pravděpodobnostní analýzy, matematického modelování a dalších disciplín. Oproti tomu je *management rizika* zaměřen především na ekonomickou podstatu problému spojeného s vystavením se nejistotě nebo neurčitosti. Hlavním cílem je řízení ekonomiky organizací.

Oba tyto obory mají spolu mnoho společného a můžeme konstatovat, že je nelze jednoznačně oddělit. Rizikové inženýrství v podstatě rizika zanalyzuje a vyhodnotí. Management rizika tyto výsledky přijme a provede příslušné zásahy, které z takto provedených analýz vyplývají,

především za účelem omezení a/nebo vyloučení dopadů nepříznivých událostí. Vzhledem k cílům této práce (analýza rizika v kvantitativní podobě) je hlavní oblastí zájmu rizikové inženýrství.

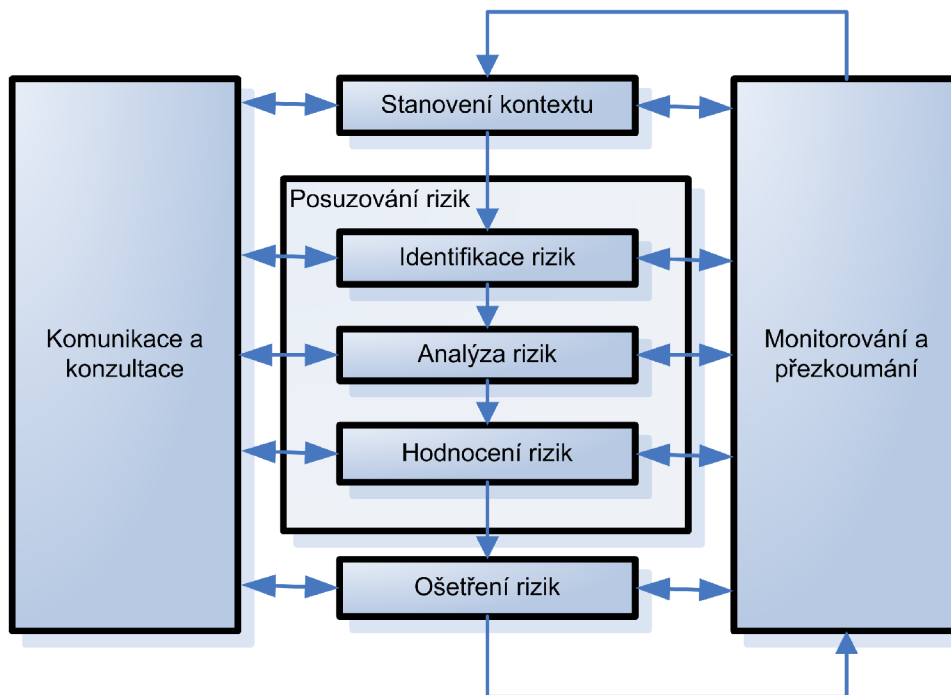
### 3.1.1 Posuzování rizik

Posuzování rizik je celkovým procesem identifikace, analýzy a hodnocení rizik. Posuzování rizik umožňuje pracovníkům činit rozhodnutí a odpovědným osobám (subjektům) lépe chápat rizika, která by mohla ovlivnit dosažení cílů a přiměřenost a efektivnost prvků řízení rizika, které jsou již použity. To poskytuje základ pro rozhodování o nejvhodnějším přístupu, který má být použit pro ošetření rizik. Výstup posuzování rizik je vstupem do procesů rozhodování dané organizace.

Norma ČSN EN 31010 [7] uvádí, že u posuzování rizik je snaha odpovědět na následující základní otázky:

- co se může stát a proč (pomocí identifikace rizik)?
- jaké jsou následky?
- jaká je pravděpodobnost jejich budoucího výskytu?
- existují nějaké faktory, které zmírní následky rizika nebo které sníží pravděpodobnost rizika?
- je úroveň rizika únosná nebo přijatelná a vyžaduje další ošetření?

Posuzování rizik zahrnuje hlavní prvky procesu managementu rizik (rizikového inženýrství), které jsou vymezeny v normě ČSN ISO 31000 [6] a obsahuje následující prvky znázorněné na obrázku 2.



Obrázek 2: Příspěvek posuzování rizik k procesu managementu rizik [7]

Podle zmiňovaných normativních předpisů [7] a [6] není posuzování rizik samostatnou činností, ale má být plně včleněno do dalších součástí v procesu managementu rizik.

### 3.1.1.1 Identifikace rizik

Podle ČSN EN 31010 [7] je identifikace rizik proces nalezení, rozpoznání a zaznamenání rizik. Účelem identifikace je zjistit, co by se mohlo stát nebo jaké by mohly nastat situace, které by mohly ovlivnit dosažení cílů organizace. Proces identifikace rizika zahrnuje zjištění příčin a zdroje rizika, událostí, situací a okolností, které by mohly mít materiální dopad na cíle. V neposlední řadě je nezbytné identifikovat také povahu tohoto dopadu.

Pro identifikaci rizik se používá celá řada technik. Je však důležité, aby při identifikaci rizika byly náležitě rozpoznány a odděleny lidské a organizační faktory.

### 3.1.1.2 Analýza rizik

Analýza rizik se obecně týká rozvíjení a chápání rizika. Výstupem jsou informace nutné k rozhodnutím, zda je třeba riziko ošetřit, případně které strategie a metody jsou pro ošetření nejvhodnější. Dále norma ČSN EN 31010 [7] uvádí, že do analýzy rizik má být zahrnuto zohlednění příčin a zdrojů rizika, jejich následků a pravděpodobnosti, že se tyto následky mohou vyskytnout. Mají se identifikovat faktory, které ovlivňují následky a pravděpodobnost a dále vzít v úvahu existující prvky řízení rizika a jejich efektivnost. Do analýzy rizik se zahrnuje odhad rozsahu potenciálních následků, které mohou vyplynout z události, situace nebo okolnosti, a jejich přidružených pravděpodobností s cílem změřit úroveň rizika.

Metody použité pro analýzu rizik mohou být *kvalitativní*, *semikvantitativní* nebo *kvantitativní*. Výběr metody závisí na konkrétní aplikaci, dostupnosti spolehlivých dat a potřebách organizace. Kvalitativní analýza stanovuje následek, pravděpodobnost a úroveň rizika pomocí úrovní důležitosti (např. „nízká“, „střední“ a „vysoká“ úroveň). Semikvantitativní metody používají numerické stupnice a jejich cíl je stanovení úrovně rizika pomocí vzorce. Kvantitativní analýzu definuje ČSN EN 31010 [7] jako postup, při kterém jsou odhadnuty praktické hodnoty pro následky a jejich pravděpodobnosti a stanoví se hodnoty úrovně rizika ve specifických jednotkách. Tento druh metod analýzy rizika je mimo jiné předmětem předložené práce.

### 3.1.2 Kvantitativní analýza rizik (nejen) ve stavebnictví

Kvantitativně se riziko vyjadřuje prostřednictvím dvou veličin [8]:

1. Očekávaná škoda (újma)  $C$ , která by odpovídala vzniku jisté nepříznivé události, havárie či poruchy, tj. jistému scénáři nebezpečí. Těmito škodami mohou být např.:
  - ekonomické ztráty/náklady (vyjádřeno v peněžních jednotkách);
  - počet dní pracovní neschopnosti, počet raněných nebo jinak postižených osob;
  - rozsah zamořené/kontaminované oblasti (plocha, resp. objem);
  - jiné důsledky, vzniklé např. přerušením provozu (doba odstávky nebo výrobní ztráty s navazujícími důsledky) apod.
2. Pravděpodobnost (četnost)  $P_f$ , se kterou by mohla nastat ona nepříznivá událost. Tato pravděpodobnost bude v případech hodnocení rizika spojeného se stavební konstrukcí nejčastěji chápána jako pravděpodobnost porušení materiálu, nosného prvku či konstrukčního celku, tj. dosažení některého z relevantních mezních stavů; často se pak používá název pravděpodobnost poruchy. Je potřeba si uvědomit, že se v této souvislosti nejedná striktně o pravděpodobnost ve smyslu matematické statistiky a pravděpodobnostního počtu, neboť ne vždy se pohybuje v intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ . Tato pravděpodobnost může nabývat i diskrétních hodnot daných např. tabulárně (viz tabulka 1).

Kvantitativně se riziko  $R$  jednoduše vyjádří jako součin těchto veličin:

$$R = P_f \times S. \quad (1)$$

Norma ČSN EN 60812 [9], která popisuje metodu FMEA (viz část 3.2), definuje veličinu  $S$  jako bezrozměrné číslo kvantifikující *závažnost rizika*. Toto číslo tedy říká, jak silně budou důsledky poruchy ovlivňovat systém nebo uživatele.

### 3.1.3 Rizika a teorie pravděpodobnosti

Mnoho technických a samozřejmě i jiných jevů je ovlivňováno velkým množstvím dílčích faktorů. Jestliže bychom dokázali všechny dílčí faktory popsat matematickými modely, mohli bychom také popsat zkoumaný jev. Pokud úplný matematický model není možný a chování vyšetřovaného jevu se jeví náhodně, je nutné k popisu využít metod matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti. Existují dvě základní definice pravděpodobnosti - *klasická* a *statistická* [1, 10].

První jmenovaná definuje pravděpodobnost na základě úplné znalosti náhodného chování jevu (např. pravděpodobnost, že při vrhu dvěma dokonale vyváženými kostkami s oky 1 až 6 padne právě sedm ok). Naproti tomu statistická definice určuje pravděpodobnost na základě realizovaných pokusů, popř. pozorování. V rizikovém inženýrství jde téměř vždy o pravděpodobnost definovanou statisticky. Z těchto definic dostáváme tzv. *pravděpodobnost a priori*, tj. pravděpodobnost zjištěnou z předem známých skutečností. Odhad pravděpodobnosti výskytu nějaké nepříznivé události je ovšem možný jen tam, kde existuje dostatečné množství dat o takových nebo podobných událostech. Pokud jde například o lidský život, víme, že určitě skončí. Délku života přesně neznáme, víme však, že je náhodná, a můžeme ji tedy matematicko-statisticky odhadnout. Jde-li však například o technické objekty (například budovy), máme náhodné jevy nejméně dva:

1. událost může a nemusí nastat,
2. doba do vzniku události (pokud k ní vůbec dojde) je *náhodná veličina* [1, 44].

Pravděpodobnost výskytu takových událostí během doby  $T$  je pak dána jednoduchým vztahem:

$$P_f = \frac{n(T)}{m(T)}, \quad (2)$$

kde  $n(T)$  je počet nepříznivých událostí, které nastaly v minulosti během referenční doby  $T$  a  $m(T)$  je počet všech možných (realizovaných nebo také nerealizovaných) událostí za tutéž dobu. Čím je referenční doba  $T$  delší, tím je odhad přesnější - ovšem za předpokladu, že se podmínky, ve kterých a za kterých mohou události nastat, nemění. Je také nutné poznamenat, že jednotlivé nepříznivé události musí být na sobě nezávislé, má-li být vztah použitelný.

V rizikovém inženýrství a risk managementu se však uplatňují rozhodovací procesy, pro něž je zapotřebí odhadovat pravděpodobnost událostí, které třeba ještě vůbec nikdy nenastaly anebo měly v minulosti tak malou četnost výskytu, že je nelze podrobit statistickému rozboru. Zpravidla totiž nemáme k dispozici soubory hodnot, které by se daly statisticky vyhodnotit, popřípadě je ani mít nemůžeme, protože neexistují. Klasická definice je pro složitost jevu nepoužitelná. V takovém případě hovoříme o pravděpodobnosti *a posteriori* [1, 10].

Hodnota pravděpodobnosti sama o sobě zdaleka neříká vše o posuzovaném riziku. Uvedení doby  $T$  jako argumentu veličin  $n(T)$  a  $m(T)$  je vždy velice důležité, protože počet možných realizací se s časem mění jen málo nebo se vůbec nemění. Pravděpodobnost vztažená k době  $T = 1$  je vždy menší než pravděpodobnost vztažená k době  $T > 1$ .

## 3.2 Klasické postupy analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)

Metoda FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) vznikla přibližně ve 40-tých letech 20-tého století, kdy americká armáda hledala jednoduchou metodu, jak předejít poruchám u používaných strojů a zařízení. Později dosáhla FMEA největšího rozšíření v automobilovém průmyslu. V současné době patří ke klasickým nástrojům pro řízení kvality.

Této metodě je věnována mimo jiné norma ČSN EN 60812 [9], která navazuje na starší předpis ČSN IEC 812 [11]: „Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) je systematický postup analýzy systému za účelem zjištění potenciálních způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na technické parametry (výkonnost) systému (bezprostřední montážní sestavy a celého systému či procesu).“

### 3.2.1 Účel a cíle FMEA a FMECA

Analýzu FMEA je vhodné použít již ve stadiu vývoje, aby bylo možné dané způsoby poruchy odstranit nebo alespoň zmírnit. Tedy snížit závažnosti jejich následků a/nebo pravděpodobnosti/četnosti jejich výskytu, případně i zlepšit jejich detekci. FMEA je tedy interaktivní proces, který probíhá s procesem návrhu a aktualizuje se, jak se návrh vyvíjí. V aplikacích je často vhodné do analýzy FMEA zahrnout i odhad pravděpodobnosti výskytu způsobů poruch.

Rozšířením FMEA je tzv. analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch - FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), která spočívá v zahrnutí prostředků pro klasifikaci závažnosti způsobů poruch, aby bylo možné stanovit protiopatření. Tato klasifikace se provádí kombinováním míry závažnosti a četnosti výskytu, což vytváří metriku zvanou *kritičnost* [9].

Důvodů, proč se analýza FMEA a FMECA provádí, je několik:

- zjištění poruch, které mají nežádoucí důsledky pro provoz systému, např. znemožňují nebo výrazně zhoršují provoz nebo ovlivňují bezpečnost uživatele;
- splnění smluvních požadavků zákazníka;
- zlepšení bezporuchovosti nebo bezpečnosti systému;
- zlepšení udržitelnosti systému (zvýrazněním oblastí rizika nebo neshody týkajících se udržitelnosti).

Cíle analýzy FMEA a FMECA do značné míry vycházejí z výše uvedených důvodů:

- identifikace a vyhodnocení všech nežádoucích důsledků;
- stanovení kritičnosti;
- klasifikace zjištěných způsobů poruch;
- zjištění funkčních poruch systému a odhad míry závažnosti a pravděpodobnosti poruchy;
- podpora efektivního plánu údržby, aby se snížily následky nebo aby se snížila pravděpodobnost vzniku poruchy.

### 3.2.2 Provádění FMEA a FMECA - číslo priority rizika

Samotná metoda FMEA se týká spíše kvalitativního způsobu analýzy způsobů a důsledků poruch. Dále se zaměříme spíše na kvantitativní popis rizik, který je možné provést výše zmiňovaným rozšířením FMECA. Hlavním rozdílem mezi těmito metodami je zavedení tzv. *kritičnosti*.

Jednou z metod kvantitativního stanovení kritičnosti je tzv. *číslo priority rizika RPN* (Risk Priority Number) [9]. *RPN* lze kvantifikovat prostřednictvím tří komponent:

- *S* - bezrozměrné číslo kvantifikující *závažnost rizika*. Říká tedy, jak silně budou důsledky poruchy ovlivňovat systém nebo uživatele.
- *O* - *pravděpodobnost výskytu způsobu nějaké poruchy* v předem stanoveném časovém období. Jedná se spíše o číslo třídy než o skutečnou pravděpodobnost ve statistickém smyslu.

- $D$  - klasifikuje *odhalení vady* (detekci). Jde o odhad naděje, že se porucha zjistí a eliminuje před tím, než bude mít vliv na systém nebo zákazníka. Platí tedy, že čím vyšší je číslo  $D$ , tím méně je pravděpodobné, že dojde k detekci.  
Číslo priority rizika se vypočítá podle jednoduchého vztahu

$$RPN = S \times O \times D. \quad (3)$$

V automobilovém průmyslu se standardně používají pro proměnné  $S$ ,  $O$  a  $D$  stupnice 1 až 10. Pro aplikaci ve stavebním inženýrství je však vhodnější použít stupnice od 1 do 5, případně i méně. Jednotlivé hodnoty mohou vypadat například tak, jak je ukázáno v tabulkách 1, 2 a 3.

Parametr	Popis parametru	Hodnocení
E - Trvalá	Riziko je z hlediska organizace významné, legislativní požadavky splněny.	5
D - Častý	Riziko je z hlediska organizace významné, legislativní požadavky splněny, potřeba řešení není naléhavá.	4
C - Malá	Riziko je významné, legislativní požadavky dosud plněny, potřeba řešení je naléhavá.	3
B - Výjimečná	Riziko je velmi významné, potřeba řešení je prioritní, v případě neplnění legislativních požadavků je potřeba řešení akutní.	2
A - Nepravděpod.	Realizace rizika je možná pouze teoreticky.	1

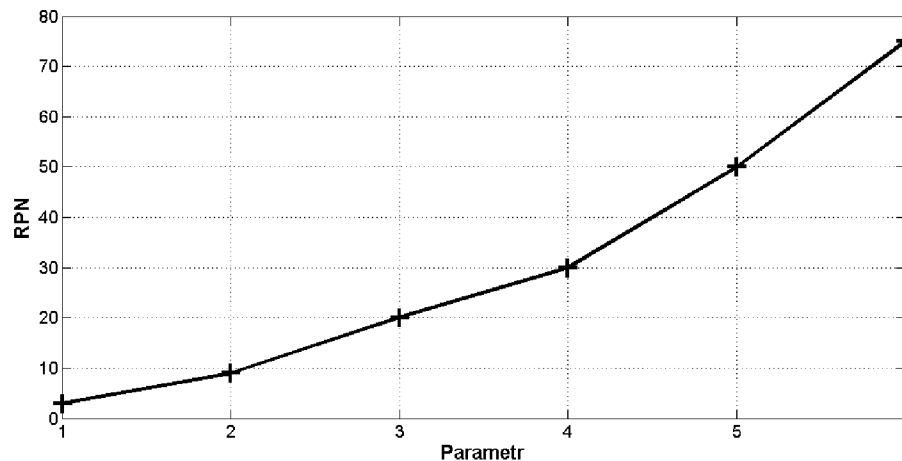
Tabulka 1: Pravděpodobnost výskytu způsobu poruchy -  $O$

Parametr	Popis parametru	Hodnocení
A - Malý	Zainteresované strany a skupiny neprojevují o dané riziko zájem.	1
B - Střední	Zainteresované strany a skupiny projevují o dané riziko zájem (například při diskusích na školení zaměstnanců).	2
C - Velký	Zainteresované strany projevují o riziko vážný zájem (komunikace se zainteresovanými stranami, petice, zájem sdělovacích prostředků).	3

Tabulka 2: Závažnost rizika -  $S$



Parametr	Popis parametru	Hodnocení
E - Nemožné	Výskyt aspektu je zcela nepředvídatelný, opatření k zamezení jsou pouze na úrovni havarijní připravenosti a reakce.	5
D - Omezené	Výskyt aspektu je těžko předvídatelný, opatření k zamezení jsou známa, ale těžko použitelná.	4
C - Možné	Výskyt aspektu je těžko předvídatelný, opatření k zamezení jsou známa a jsou používána (záchytné vany).	3
B - Náhodný	Výskyt aspektu je častý, zpravidla zaviněný technologickou nekázní nebo mu nelze zcela zabránit, opatření k omezení jsou známa a standardně používána.	2
A - Snadné	Výskyt je snadno předvídatelný, opatření k předcházení jsou známá a použitelná.	1

Tabulka 3: Odhalení vady (detekce) -  $D$ Obrázek 3: Grafické znázornění hodnocení  $RPN$ 

Pro aplikace FMEA a FMECA ve stavebním inženýrství je vhodné provádět hodnocení nejprve samostatně v logických podoblastech:

- kvalita,
- bezpečnost,
- environment.

V každé z podoblastí se určí v daném systému všechny objekty, které je potřeba sledovat, a všechny relevantní způsoby poruchy. K tomu je vhodné sestavit tým expertů a za použití např. *brainstormingu* nebo *brainwritingu* vytvořit seznamy těchto parametrů [12]. V týmu expertů by měly být zastoupeny všechny důležité profese, které se podílí na chodu sledovaného systému a dále také odborníci na risk management a případně statistici.

Poté se každému způsobu poruchy přiřadí hodnoty charakteristik  $S$ ,  $O$  a  $D$  podle příslušných klasifikačních stupnic (tabulky 1, 2 a 3). Po výpočtu čísla  $RPN$  (vztah 3) je možné provést interpretaci výstupu podle tabulky 4.

Návaznost těchto oblastí na integrovaný systém řízení je podrobně diskutována v části 3.3.

Parametr	Popis parametru	Hodnocení
A - Minimální	Riziko je tak nepravděpodobné, že není firmou bráno v úvahu.	do 3
B - Malá	Činnost, ve které riziko vzniká, splňuje legislativní, normativní a další podmínky, potřeba řešení problémů není naléhavá, výskyt rizika je snadno předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a snadno použitelná.	4 - 9
C - Střední	Rizika spojená s činností nejsou významná, potřeba řešení problémů není naléhavá, výskyt je častý, snadno předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a standardně používána.	10 - 20
D - Významná	Rizika spojená s činností mohou způsobit neplnění legislativních podmínek, potřeba řešení je naléhavá, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a standardně používána, výskyt rizika nepůsobí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životního prostředí, zjednání nápravy je v silách firmy.	21 - 30
E - Velmi významná	Potřeba řízení rizik v činnosti je prioritní, zainteresované strany a skupiny projevují o dané riziko zájem, je nutné školení a kontrola pracovníků. Rizika spojená s činností mohou způsobit neplnění legislativních podmínek, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a používána, výskyt rizika zpravidla způsobí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životního prostředí, zjednání nápravy je v silách firmy.	31 - 50
F - Kritická	Riziko je z hlediska firmy extrémně významné, potřeba řešení je prioritní, zainteresované strany a skupiny projevují o dané riziko vážný zájem, je nutné školení a kontrola pracovníků, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a používána, výskyt rizika zřejmě působí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životního prostředí, zjednání nápravy zpravidla není zcela v silách firmy.	50 - 75

Tabulka 4: Vyhodnocení čísla *RPN*

### 3.3 Management rizik ve výrobě stavebních materiálů a výrobků

Management rizika ve společnosti, která se zabývá nejen výrobou stavebních materiálů a výrobků, je možný pouze v případě, že se jedná o manažersky zvládnutou společnost se stabilizovanými činnostmi a procesy, která má zaveden a uplatňován systém řízení v souladu se standardy pro řízení jednotlivých oblastí své činnosti. V ideálním případě se jedná o organizaci se zavedeným integrovaným systémem řízení (IMS) [13].

#### 3.3.1 Integrovaný systém řízení (Integrated Management System)

Integrovaný systém řízení (IMS) sjednocuje jednotlivé systémy řízení, které tvoří neoddělitelnou součást celkového řízení organizace. Jednotlivé systémy mají mnoho společných prvků a navzájem se doplňují [13]. Za integrované systémy řízení jsou považovány ty systémy, které vznikají sjednocením společných částí jednotlivých systémů řízení (dílcích subsystémů nebo jednot-

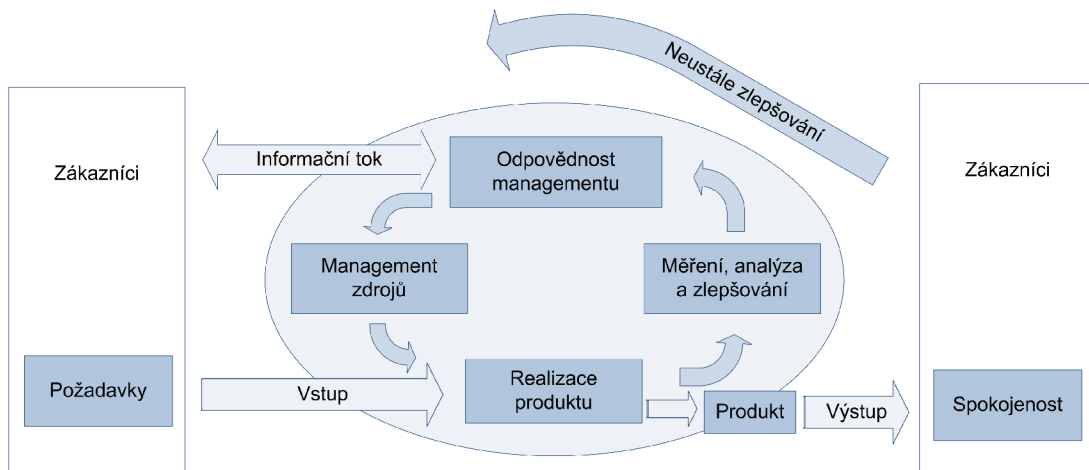
livých procesů). Základem integrovaných systémů řízení jsou společné procesy, které kritériální standardy nebo technické specifikace vyžadují. Spojením systémů řízení může organizace propojit ekonomické zájmy s požadavky na kvalitu, ochranu životního prostředí, bezpečnost a ochranu zdraví při práci (BOZP), poskytování IT služeb, apod.

### 3.3.2 Řízení kvality podle ISO 9001

Soubor ISO norem řady 9000 je v podstatě obecný návod jak řídit procesy tak, aby byl zajištěn jejich rozvoj a zlepšování. Norma ČSN EN ISO 9000 [14] a ČSN EN ISO 9001 [15] popisuje pět základních oblastí [16]:

- odpovědnost vedení,
- management zdrojů,
- realizaci produktu (výrobku) (návrh, vývoj a výroba),
- analýza údajů,
- neustálé zlepšování.

Fungování systému řízení kvality se dá popsat následujícím schématem znázorněným na obrázku 4.



Obrázek 4: Schéma fungování systému řízení kvality podle [15] - neustálé zlepšování systému managementu kvality

S ohledem na cíle a charakter práce se dále budeme zabývat vybranými částmi ISO 9001 [15] z oblasti realizace produktu a analýzy údajů. Podle členění ISO 9001 [15] to jsou kapitoly:

- 7.1 Plánování realizace produktu;
- 7.2 Procesy týkající se zákazníka;
- 7.3 Návrh a vývoj;
- 7.5 Výroba a poskytování služeb;
- 8.2.4 Monitorování a měření produktu.

#### 3.3.2.1 Plánování realizace produktu (7.1)

Organizace musí plánovat a rozvíjet procesy potřebné pro realizaci produktu. Plánování realizace produktu musí být v souladu s požadavky ostatních procesů systému managementu kvality. Při plánování realizace produktu musí organizace určit, je-li to vhodné:

- cíle kvality a požadavky na produkt,

- potřebu vytvořit procesy a dokumenty a poskytnout zdroje, které jsou specifické pro produkt,
- požadované činnosti při ověřování, validaci, monitorování, kontrole a zkoušení, které jsou specifické pro produkt a kritéria pro přijetí produktu,
- záznamy potřebné pro poskytnutí důkazu, že realizační procesy a výsledný produkt splňují požadavky.

Výstup z tohoto plánování musí být ve formě, která je vhodná pro fungování organizace. Realizace produktu za účelem uspokojení požadavků zákazníka, je hlavní náplní činnosti každé organizace. Prvořadým úkolem pro plánování realizace produktu je stanovení všech procesů potřebných pro realizaci produktu [16].

### 3.3.2.2 Procesy týkající se zákazníka (7.2)

#### Určování požadavků týkající se produktu (7.2.1)

Organizace musí určit:

- požadavky specifikované zákazníkem, včetně požadavků na činnosti při dodání a po dodání,
- požadavky, které zákazník neuvedl, ale které jsou nezbytné pro specifikované nebo zamýšlené použití, je-li známo,
- zákonné požadavky a požadavky předpisů týkající se produktu a
- jakékoli doplňující požadavky určené organizací.

Vedení má zajistit, aby organizace účinně komunikovala se svými zákazníky. Převedení potřeb a očekávání zákazníků na požadavky uvnitř organizace představuje identifikování a přezkoumávání příslušných informací. Dříve než organizace přijme opatření k zajištění shody, má zcela porozumět požadavkům zákazníka nebo jiných zainteresovaných stran na proces. Toto porozumění a jeho vliv mají být vzájemně přijatelné pro zúčastněné strany [16].

#### Přezkoumání požadavků týkajících se produktu (7.2.2)

Organizace musí přezkoumat požadavky týkající se produktu. Toto přezkoumání musí být provedeno před přijetím odpovědnosti organizace dodat produkt zákazníkovi (např. před předložením nabídek, přijetím smluv nebo objednávek, před přijetím změn ke smlouvám nebo objednávkám) a musí zajistit, aby:

- byly stanoveny požadavky na produkt,
- byly vyřešeny požadavky smlouvy nebo objednávky, které se liší od dříve vyjádřených požadavků a
- organizace byla schopna plnit stanovené požadavky.

Záznamy o výsledcích přezkoumání a o opatřeních vyplývajících z přezkoumání musí být udržovány. V případě, že zákazník neposkytne dokumentované vyjádření požadavku, musí být požadavky zákazníka potvrzeny organizací dříve, než je organizace přijme. V případě, že se změny požadavky na produkt, musí organizace zajistit, aby byly změněny i příslušné dokumenty a aby příslušní zaměstnanci byli o změnách požadavků informováni [16].

#### Komunikace se zákazníkem (7.2.3)

Organizace musí určit a uplatňovat efektivní způsoby pro komunikování se zákazníky s ohledem na:

- informace o produktu,
- vyřizování poptávek, smluv nebo objednávek, včetně jejich změn a
- zpětnou vazbu od zákazníka, včetně stížností zákazníka.

### 3.3.2.3 Návrh a vývoj (7.3)

#### Plánování návrhu a vývoje (7.3.1)

Organizace musí plánovat a řídit návrh a vývoj produktu. V průběhu plánování návrhu a vývoje musí organizace určit:

- etapy návrhu a vývoje,
- přezkoumání, ověřování a validaci, které jsou vhodné pro každou etapu návrhu a vývoje a
- odpovědnosti a pravomoci při návrhu a vývoji.

Organizace musí řídit rozhraní mezi různými skupinami zapojenými do návrhu a vývoje, aby byla zajištěna efektivní komunikace a zřejmé přidělení odpovědností. Výstup z plánování, je-li to vhodné, se musí aktualizovat podle skutečného průběhu návrhu a vývoje [16].

Výstupy z procesu plánování návrhu a vývoje jsou tyto:

- katalog cílů (seznam, zadání),
- zpracování technických podmínek projektu nebo popisu technického obsahu projektu (předběžný seznam zvláštních znaků výrobku a procesu, předběžná rozpiska materiálu, předběžný vývojový diagram procesu, znaky služby),
- harmonogram projektu (plán), včetně etap přezkoumání, ověřování a validace,
- vedoucí projektu a členové týmů,
- rozpočet a odhad nákladů na jednotlivé úkoly (etapy),
- objemový a cenový výhled,
- plán kvality,
- podpora vedení.

#### Vstupy pro návrh a vývoj (7.3.2)

Vstupy vztahující se k požadavkům na produkt musí být určeny a záznamy musí být udržovány. Tyto vstupy musí zahrnovat:

- požadavky na funkci a provedení,
- příslušné zákonné požadavky a požadavky předpisů,
- v případě, že je to možné, informace odvozené z předchozích podobných návrhů a
- další požadavky, které jsou podstatné pro návrh a vývoj.

Tyto vstupy musí být přezkoumány z hlediska přiměřenosti. Požadavky musí být úplné, jednoznačné a nesmějí být navzájem v rozporu.

Vstupy pro návrh a vývoj jsou:

- Požadavky zákazníka (průzkum trhu, informace ze záruk, interní zprávy o kvalitě, reklamacie).
- Požadavky zákazníkem nspecifikované (benchmarking procesu a výrobku nebo služby).
- Požadavky zákonné.
- Požadavky podnikové (podnikatelský plán a marketingová strategie, normy specifikace, zkušenosti).
- Požadavky zainteresovaných stran (Katalog požadavků).

### **Výstupy z návrhu a vývoje (7.3.3)**

Výstupy z návrhu a vývoje musí být poskytnuty v takové formě, která umožňuje ověřování ve vztahu ke vstupům pro návrh a vývoj, výstupy musí být před uvolněním schváleny. Výstupy z návrhu a vývoje musí:

- splňovat vstupní požadavky na návrh a vývoj,
- poskytovat vhodné informace pro nakupování, výrobu a pro poskytování služeb,
- obsahovat přejímací kritéria na produkt nebo se na ně musí odkazovat a
- specifikovat znaky produktu, které jsou podstatné pro jeho bezpečné a správné používání.

### **Přezkoumání návrhu a vývoje (7.3.4)**

Ve vhodných etapách se musí provádět v souladu s plánovanými činnostmi systematická přezkoumání návrhu a vývoje, aby se:

- vyhodnotila schopnost výsledků návrhu a vývoje plnit požadavky a
- identifikovaly jakékoli problémy a aby se navrhla nezbytná opatření.

Mezi účastníky těchto přezkoumání musí být zástupci útvarů/funkcí, kterých se týkají jednotlivé etapy přezkoumávaného návrhu a vývoje. Záznamy o výsledcích přezkoumání a o jakýchkoli nezbytných opatřeních se musí udržovat.

### **Ověřování návrhu a vývoje (7.3.5)**

Ověřování se musí provádět v souladu s plánovanými činnostmi tak, aby se zajistilo, že výstupy z návrhu a vývoje splní vstupní požadavky na návrh a vývoj. Záznamy o výsledcích ověřování a o jakýchkoli nezbytných opatřeních musí být udržovány.

### **Validace návrhu a vývoje (7.3.6)**

Aby se zajistilo, že výsledný produkt je schopný plnit požadavky na specifikovanou aplikaci nebo na zamýšlené použití, je-li známo, musí se v souladu s plánovanými činnostmi provádět validace návrhu a vývoje. V případě, že je to možné, musí být validace dokončena před dodáním nebo uplatněním produktu. Záznamy o výsledcích validace a o jakýchkoli nezbytných opatřeních musí být udržovány.

### **Řízení změn návrhu a vývoje (7.3.7)**

Změny návrhu a vývoje se musí identifikovat a záznamy se musí udržovat. Změny musí být přezkoumány, ověřeny, popřípadě validovány a před uplatněním schváleny. Přezkoumání změn návrhu a vývoje musí zahrnovat vyhodnocení vlivu změn na základní součásti a na produkt, který byl již dodán. Záznamy o výsledcích přezkoumání změn a o jakýchkoli nezbytných opatřeních musí být udržovány.

### 3.3.2.4 Výroba a poskytování služeb (7.5)

#### Řízení výroby a poskytování služeb (7.5.1)

Organizace musí plánovat a realizovat výrobu a poskytování služeb za řízených podmínek. Řízené podmínky podle vhodnosti zahrnují

- dostupnost informací, které popisují znaky produktu,
- dostupnost pracovních instrukcí, jsou-li zapotřebí,
- použití vhodného zařízení,
- dostupnost a použití monitorovacího a měřicího zařízení,
- uplatňování monitorování a měření a
- uplatňování činnosti při uvolňování, dodávání a po dodání.

#### Validace procesů výroby a poskytování služeb (7.5.2)

Organizace musí validovat všechny procesy výroby a poskytování služeb v případě, že nelze následným monitorováním nebo měřením ověřovat výsledný výstup. Zahrnuje to všechny procesy, jejichž nedostatky se projeví až poté, co se produkt používá nebo byla poskytnuta služba. Validací se musí prokázat, schopnost těchto procesů dosahovat plánované výsledky. Pro tyto procesy musí organizace stanovit mechanismy, je-li to vhodné, včetně:

- stanovených kritérií pro přezkoumání a schvalování procesů,
- schválení zařízení a kvalifikace zaměstnanců,
- použití specifických metod a postupů,
- požadavků na záznamy a
- opakované validace.

#### Identifikovatelnost a sledovatelnost (7.5.3)

Je-li to vhodné, musí organizace během realizace produktu vhodnými prostředky produkt identifikovat. Organizace musí identifikovat status produktu s ohledem na požadavky na monitorování a měření. V případě, že je požadována sledovatelnost, musí organizace řídit a zaznamenat jednoznačnou identifikaci produktu.

#### Ochrana produktu (7.5.5)

Organizace musí zachovávat shodu produktu v průběhu interního zpracování a dodání do zamýšleného místa určení. Toto zachování shody musí zahrnovat identifikaci, manipulaci, balení, skladování a ochranu. Zachování shody platí i pro základní části produktu.

### 3.3.2.5 Monitorování a měření produktu (8.2.4)

Organizace musí monitorovat a měřit znaky výrobku, aby se ověřilo, zda požadavky na produkt byly splněny. To se musí provádět v příslušných etapách procesu realizace produktu v souladu s plánovanými činnostmi. Musí se udržovat důkaz o shodě s převíracími kritérii. V záznamech musí být uvedena osoba (osoby) schvalující uvolnění produktu. Uvolnění produktu a dodání služby nesmí pokračovat, dokud nejsou uspokojivě dokončeny plánované činnosti (viz 7.1 [15]) a pokud to příslušný orgán, popřípadě zákazník neschválí jinak.

Organizace musí:

- procesy monitorování a měření výrobků plánovat v rámci aktivit stanovených v čl. 7.1 normy [15] (v těchto plánech musí být stanoveny měřicí (kontrolní) body, měřené znaky, přijímací kritéria pro tyto znaky, metody monitorování a měření, požadovaná zařízení a software, kvalifikace pracovníků pro tato měření, způsoby záznamů tak, aby bylo garantováno splnění všech stanovených požadavků na výrobek,
- všechny plánované činnosti monitorování a měření výrobků realizovat v souladu s plány a jejich výsledky zaznamenávat,
- všechny stanovené záznamy o výsledcích monitorování a měření výrobků uchovávat podle stanovených postupů uvedených v článku 4.2.4 normy [15],
- zabránit uvolnění výrobku před ukončením poslední plánované činnosti monitorování a měření,
- při zjištění neshodných výrobků uplatňovat postupy podle čl. 8.3 normy [15].

Kontrolní mechanismy společnosti vyrábějící stavební hmoty a dílce, které vedou k zajištění požadované kvality výrobku jsou konkrétně popsány v části 4.2.4.

### 3.3.3 Environmentální řízení podle ISO 14001

EMS (Environmental Management System) je manažerský program, který upravuje systém společnosti tak, aby v co možná největší míře respektoval šetrný vztah k životnímu prostředí, a to nejen z hlediska dodržování právních předpisů, ale i z hlediska okolí výrobního místa, zaměstnanců, zákazníků, ostatní veřejnosti, majitelů společnosti a dalších [17].

EMS je definován jako „součást celkového systému managementu, která zahrnuje organizační strukturu, plánovací činnosti, odpovědnosti, praktiky, postupy, procesy a zdroje k vyvíjení, zavádění, dosahování, přezkoumávání a udržování environmentální politiky“.

#### 3.3.3.1 Všeobecné požadavky (4.1)

Organizace musí vytvořit, dokumentovat, zavést, udržovat a neustále zlepšovat EMS [16]. Vrcholové vedení musí specifikovat rozsah EMS a provést úvodní environmentální přezkoumání, tj.:

- identifikace environmentálních aspektů a havarijního ohrožení,
- identifikace právních a jiných požadavků,
- zkoumání všech stávajících praktik a postupů EMS, včetně nakupování,
- vyhodnocení minulých havarijních ohrožení a havárií.

#### 3.3.3.2 Environmentální politika (EP) (4.2)

Organizace musí mít environmentální politiku schválenou vrcholovým vedením, která jasně uvádí celkové cíle a závazek k ochraně životního prostředí. Vrcholové vedení musí stanovit environmentální politiku (EP), aby:

- odpovídala povaze, rozsahu a environmentálním dopadům své činnosti,
- obsahovala závazek k neustálému zlepšování a prevenci znečištění,
- obsahovala závazek být v souladu s příslušnou legislativou, která se vztahuje k jejím environmentálním aspektům,
- poskytovala rámec pro stanovování a přezkoumání environmentálních cílů a cílových hodnot,
- byla dokumentována, realizována a udržována,
- byla sdělována všem osobám, byla dostupná veřejnosti.

Při přípravě EP je třeba vzít v úvahu:

- poslání, vize, základní hodnoty a principy, jimž organizace věří,



- koordinace s jinými politikami organizace,
- požadavky zainteresovaných stran a komunikování s nimi.

### 3.3.3.3 Plánování (4.3)

#### Enviromentální aspekty (EA) (4.3.1)

Organizace musí vytvořit, zavést a udržovat postupy:

- k identifikaci EA,
- k určení těch aspektů, které mohou mít významné dopady na ŽP.

Organizace musí tyto informace dokumentovat a průběžně je aktualizovat.

#### Oblasti EA

- emise do ovzduší,
- vypouštění látek do vody,
- vypouštění látek do půdy,
- využívání surovin a přírodních zdrojů,
- využívání energie,
- emitované energie (teplo, záření, vibrace, ...),
- odpady a vedlejší produkty atd.

### 3.3.3.4 Základní oblasti EMS

#### Ochrana ovzduší

Mezi základní termíny ochrany ovzduší patří emise a emisní limit (viz 6).

- Mobilní zdroj znečišťování ovzduší - Mobilní zdroje znečišťování ovzduší jsou „samohybná a další pohyblivá, případně přenosná zařízení vybavená spalovacími motory znečišťujícími ovzduší, pokud tyto motory slouží k vlastnímu pohonu nebo jsou zabudovány jako nedílná součást technologického vybavení“. Jde zejména o:
  - dopravní prostředky:
    - \* silniční vozidla,
    - \* drážní vozidla a stroje,
    - \* letadla a plavidla,
  - nesilniční mobilní stroje:
    - \* kompresory, přemístitelné stroje a zařízení,
    - \* buldozery,
    - \* vysokozdvíhací vozíky, pojízdné zdvihací plošiny,
    - \* jiná obdobná zařízení,
  - přenosná nářadí vybavená spalovacím motorem:
    - \* motorové sekačky a pily,
    - \* sbíječky a jiné obdobné výrobky.
- Stacionární zdroj znečišťování ovzduší:
  - zařízení spalovacího nebo jiného technologického procesu, které znečišťuje nebo může znečišťovat ovzduší,

- plocha s možností úletu znečišťujících látek,
- plocha, na které jsou prováděny práce nebo činnosti, které způsobují nebo mohou způsobovat znečišťování ovzduší,
- sklad a skládka paliv, surovin, produktů, odpadů a další obdobné zařízení nebo činnost.

Podle technického a technologického uspořádání dělíme stacionární zdroje znečišťování ovzduší na:

- zařízení spalovacích technologických procesů, ve kterých se oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla a
- ostatní stacionární zdroje.

### **Odpadové hospodářství a hospodaření s obaly**

Každý má při své činnosti nebo v rozsahu své působnosti povinnost předcházet vzniku odpadů, omezovat jejich množství a nebezpečné vlastnosti. Odpady, jejichž vzniku nelze zabránit, musí být využity, případně odstraněny způsobem, který neohrožuje lidské zdraví a životní prostředí a který je v souladu se zákonem 185/2001 Sb [18]. Znamená to tedy, že zákon se týká každého a to nejen podnikatelského subjektu, ale i nepodnikající fyzické osoby. Nakládat s odpady a zbavovat se jich se smí pouze způsobem stanoveným zákonem a ostatními právními předpisy vydanými na ochranu životního prostředí.

### **Chemické látky a přípravky (CHLP)**

Povinnosti z hlediska obecných podmínek nakládání jsou totožné pro uživatele, výrobce, dovozce i distributory. Každý je povinen chránit zdraví člověka a životní prostředí, řídit se výstražnými symboly nebezpečnosti, větami označujícími specifickou rizikovost (R-věty) a pokyny pro bezpečné nakládání (S-věty). Soubory informací (bezpečnostních, ekologických, toxikologických, právních, atd.) pro nakládání s CHLP se nazývají *bezpečnostní listy*. Více o bezpečnostních listech lze nalézt v nařízení EU č. 1272/2008 [19].

### **Ochrana vod**

Každý, kdo nakládá s povrchovými nebo podzemními vodami k výrobním účelům, je povinen dbát o jejich ochranu a zabezpečovat jejich hospodárné a účelné užívání a dbát o to, aby nedocházelo k znehodnocování jejich energetického potenciálu. Každý je dále povinen provádět ve výrobě účinné úpravy vedoucí k hospodárnému využívání vodních zdrojů se zohledněním nejlepší dostupné technologie [16]. Státní správu na úseku vodního hospodářství a ochrany vod vykonávají vodoprávní úřady a Česká inspekce životního prostředí. Základní povinnosti stanovené při nakládání s vodami a v souvislosti s jejich ochranou jsou zakotveny v zákoně č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) [20].

### **Hospodaření energií**

Zákon č. 406/2000 Sb. [21] řeší energetickou koncepci státu a územní energetické koncepce, upravuje národní program hospodárného nakládání s energií a využívání jejich obnovitelných a druhotných zdrojů, v § 5 opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie.

### Hluk a vibrace

Hluk a vibrace na pracovištích musí být omezeny tak, aby nebyly překročeny hygienické emisní limity. Limity pro jednotlivé hluky a vibrace jsou uvedeny v nařízení vlády č. 148/2006 Sb. [22].

#### 3.3.3.5 Hodnocení závažnosti environmentálních aspektů

Podklady pro hodnocení závažnosti jsou:

- legislativa,
- závazné technologické postupy,
- bezpečnostní listy,
- vstupy a výstupy vstupních kontrol,
- vstupy a výstupy mezioperačních kontrol,
- vstupy a výstupy výstupních kontrol,
- registr rizik.

Vyhodnocení závažnosti je popsáno v části 3.2.2.

#### 3.3.4 Řízení BOZP podle OHSAS 18001

##### 3.3.4.1 Všeobecné požadavky (4.1)

Organizace musí mít politiku bezpečnosti a ochrany zdraví při práci schválenou vrcholovým vedením, která jasně uvádí celkové cíle na úseku bezpečnosti a ochrany a závazek ke zvyšování výkonnosti systém ochrany zdraví a bezpečnosti [24, 25, 26].

##### 3.3.4.2 Politika BOZP (4.2)

- Odpovídá povaze a rozsahu rizik BOZP
- Obsahuje závazek k neustálému zlepšování
- Obsahuje závazek přinejmenším plnit požadavky platné legislativy BOZP
- Musí být dokumentována, přístupná a dostupná
- Musí být přezkoumávána

##### 3.3.4.3 Plánování BOZP (4.3)

#### Plánování pro identifikaci nebezpečí, hodnocení rizik a řízení rizik

Zákon č. 155/2000 Sb. [27] obsahuje ustanovení týkající se otázky prevence rizik. I když blíže pojem „riziko“ nedefinuje, z hlediska pracovního práva patří mezi rizika všechny zdroje úrazů, průmyslové škodliviny, nadměrné teplo nebo chlad, záření, elektrická energie apod. Riziko je takto definováno jako *„kombinace pravděpodobnosti a rozsahu možného zranění nebo poškození zdraví zaměstnance, vystaveného v pracovním procesu jednomu nebo více potenciálním zdrojům pracovních úrazů nebo ohrožení zdraví zaměstnance“*.

Pracovní rizika obvykle dělíme na mechanická, fyzikální, chemická a biologická. Jsou dána pracovními podmínkami, pracovním prostředím a vším, s čím zaměstnanec přichází do styku [16].

Vhodnou organizací bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, která plní preventivní charakter, se rozumí účelová dělba práce mezi vedoucí zaměstnance, pravidelná kontrola na pracovištích a stanovení odpovědnosti za odstranění zjištěných závad. Smyslem a účelem je vést zaměstnavatele, ale i zaměstnance, k nalezení přijatelné míry rizik. Dosažení tzv. nulového rizika není prakticky možné [24, 28, 16].

### **Právní a jiné požadavky**

Základními právními normami definující pojmy prevence rizik, riziko a kategorizaci rizik jsou:

- Zákon č. 155/2000 Sb. [27], Zákoník práce [29] a zákon č. 258/2000 Sb. [30]. Na ně pak navazují příslušné prováděcí právní předpisy, které jsou buď dosud platné, nebo které budou novelizovány či nově precizovány.
- Zákon č. 155/2000 Sb. [27] se otázce rizik zabývá § 132 a precizuje ji v § 132 Prevence rizik. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 89/2001 Sb. [31] pak v § 3 zařazuje práce do čtyř kategorií.
  1. Do první kategorie se zařazují práce vykonávané za podmínek, při nichž podle současné úrovně poznání není pravděpodobný nepříznivý vliv na zdraví zaměstnance.
  2. Do druhé kategorie se zařazují práce, při nichž ukazatele faktorů, jimž jsou zaměstnanci vystaveni (dále jen „expozice“) nepřekračují hygienické limity stanovené zvláštním předpisem a touto vyhláškou, ale nelze vyloučit, že se při této míře expozice neprojeví u vnímavých jedinců nepříznivé účinky na zdraví. Do této kategorie se zpravidla dále zařazují práce, pro jejichž vykonávání jsou zvláštními právními předpisy stanoveny požadavky na zdravotní způsobilost osob, které takovou práci vykonávají.
  3. Do třetí kategorie se zařazují práce, při nichž není expozice zaměstnanců faktorům spolehlivě snížena technickými opatřeními na úroveň stanovenou hygienickými limity a pro zajištění ochrany zdraví zaměstnanců je proto nezbytné využívat osobní ochranné prostředky, organizační a jiná ochranná opatření (dále jen „ochranná opatření“).
  4. Do čtvrté kategorie se zařazují práce a pracovní procesy spojené s vysokým rizikem ohrožení zdraví, které nelze zcela vyloučit ani při používání dostupných a použitelných ochranných opatření.

### **Prevence rizik**

Pod tímto pojmem se rozumí veškerá ustanovení nebo opatření, která jsou zavedena nebo se plánují na všech stupních činnosti podniku k prevenci nebo snížení rizik. Proces, jehož cílem je optimalizace rizika, se nazývá hodnocení a řízení rizik. První část tohoto procesu, která se zabývá identifikací, hodnocením a srovnáním rizik, přináší podklady pro druhou část procesu, ve které jsou přijímána opatření pro jejich snížení na minimální míru. Nelze-li rizika odstranit, je zaměstnavatel povinen je vyhodnotit a přijmout opatření k jejich působení tak, aby ohrožení bezpečnosti a zdraví zaměstnanců bylo minimalizováno [24, 16].

### **Všeobecné preventivní zásady**

Z těchto zásad musí zaměstnavatel při všech opatřeních k prevenci rizik vycházet. Zásadou takto definovanou je povinnost zaměstnavatele přednostně uplatňovat prostředky kolektivní ochrany před riziky oproti prostředkům individuální ochrany. Pod pojmem kolektivní ochrana se rozumí ochrana pro více zaměstnanců společně, pod pojmem individuální ochrana se rozumí

poskytování OOPP, pracovních oděvů a obuvi, mycích, čistících a dezinfekčních prostředků a ochranných nápojů. Individuální ochrana však nastupuje až tam, kde nelze vyloučit vlivy kolektivní ochrany [16].

#### 3.3.4.4 Identifikace nebezpečí a hodnocení rizik

##### Všeobecně

Organizace stanoví, zavede a udržuje dokumentované postupy zajišťující:

- identifikaci nebezpečí;
- hodnocení rizik;
- omezování rizik;
- hodnocení předchozích kroků.

##### Identifikace nebezpečí

Při identifikaci nebezpečí na pracovišti je nutno brát v úvahu:

- situaci nebo události, popřípadě kombinaci okolností, které by mohly být příčinou úrazu nebo onemocnění;
- charakter potenciálního úrazu nebo onemocnění, odpovídající příslušné činnosti, výrobku nebo službě;
- dřívější úrazy, nehody a onemocnění.

V rámci procesu identifikace je třeba rovněž věnovat pozornost:

- způsobu, jakým je práce organizována, řízena a vykonávána, jakož i veškerým změnám těchto podmínek;
- uspořádání pracovišť, charakteru pracovních procesů, materiálů, strojů a zařízení;
- výrobě, instalaci a uvádění do provozu, jakož i manipulaci a likvidaci (materiálů, pracovišť, strojů a zařízení);
- nákupu zboží a služeb;
- uzavírání kontraktů na dodávky a subdodávky strojů, zařízení, služeb a prací, včetně specifikace kontraktů a závazkových vztahů vůči dodavatelům;
- kontrole, údržbě, zkoušení, opravám a výměnám (strojů a zařízení).

##### Hodnocení rizika

Je nutno zhodnotit veškerá rizika, která jsou spojena s každým identifikovaným nebezpečím, a na základě stanovené míry rizika určit priority opatření k omezení rizika. Identifikaci nebezpečí, hodnocení rizika a postupy omezování rizika je třeba podrobovat dokumentovanému hodnocení jejich efektivnosti a v případě nutnosti je upravovat.

Hodnocení rizik je základním a nezbytným krokem pro zvládnutí jakýchkoliv rizik v podniku. Hodnocení rizik by nemělo být chápáno jako úzce technická záležitost, ale jako kombinace technických, přírodovědných a humanitárních disciplín. Pokud je hodnocení rizik využito v procesu rozhodování, je nutno vzít v úvahu i další aspekty, např. aspekty ekonomické, psychologické i politické. Hodnocení rizik je důležité zejména pro:

- identifikaci hrozícího nebezpečí,
- stanovení rizika, jako zdroje možného ohrožení zdraví nebo způsobení škody,
- rozhodnutí, zda je riziko přijatelné.

Hodnocení rizik je prováděno vždy odpovědnými zaměstnanci s praktickými znalostmi pracovních činností. Výhodná je dále spolupráce odpovědných zaměstnanců, např. krizových útvarů, kteří zabezpečují či vykonávají činnosti na jednotlivých úsecích bezpečnosti.

#### 3.3.4.5 Havarijní připravenost a zásahy

Je třeba identifikovat veškeré potenciální havarijní situace a dokumentovat havarijní postupy se zřetelem k zabránění vzniku onemocnění a úrazů nebo jejich zmírnění. Organizace má přezkoumávat a podle potřeby revidovat svou havarijní připravenost a postupy zásahu, zejména po vzniku nehod nebo havarijních situací. Tyto postupy má organizace pravidelně testovat.

#### 3.3.4.6 Příklady druhu nebezpečí a z nich vyplývajícího rizika

1. uklouznutí
  - a) uklouznutí na rovinném nebo šikmém povrchu
  - b) uklouznutí na schodech nebo žebřících
  - c) uklouznutí na 1a nebo 1b vlivem kluzkého povrchu
2. pád z výšek
  - a) vlivem nezajištěného nebo špatně zajištěného pracoviště
  - b) nesprávným postupem při práci ve výškách
3. pády předmětů z výšek
4. snížená průchodnost při chůzi po stanovených trasách, při překonávání průlezů nebo prolézání k místům práce
5. manipulace při ručním zvedání břemen a přenášení břemen
6. demontáž, montáž, výroba a údržba zařízení
7. transport (doprava, manipulace a přeprava)
8. oheň a exploze
9. násilí na zaměstnancích
10. zasažení škodlivými látkami
  - a) vdechnutí látky
  - b) požití látky
  - c) kontakt látky s kůží
  - d) zasažení očí
  - e) dlouhodobé negativní působení látky
11. zasažení energiemi
  - a) zasažení elektrickým proudem
  - b) zasažení magnetickým polem
  - c) zasažení tepelnou energií (opaření horkým médiem, popálení od horkého vzduchu, ohně apod.)
  - d) zasažení mechanickou energií (přimáčknutí, úder, pořezání, vtáhnutí do úzkého prostoru nebo rotující části, zachycení vlasů na rotující části apod.)
  - e) zasažení vibracemi
  - f) zasažení hlukem
  - g) zasažení radioaktivitou
  - h) dlouhodobé negativní působení faktorů 11b, 11e, 11f a 11g
12. ohrožení monotónní / opakovanou jednotvárnou činností
13. nedostatečně osvětlené pracoviště
14. vliv mikroklimatických podmínek (teplota, vzduchu, vzduchu, prašnost)

15. vliv venkovních klimatických podmínek (působení slunce, horka, chladu, deště, větru, prašnosti prostředí)
16. ergonomická rizika
17. psychologické faktory – pracovní zátěž, vliv konfliktů, vliv rozhodování v afektu, reakce v případě nouzových situací
18. faktory pracovního procesu (noční práce, odpočinek atd.)
19. činnost dodavatelů

### 3.3.4.7 Zásady postupu při identifikaci a hodnocení rizik BOZP

Identifikace a hodnocení rizik tvoří nedílnou součást zabezpečování oblasti BOZP v rámci budovaného integrovaného systému řízení. Proto je bezpodmínečně nutné provádět ji a aktualizovat v pravidelných intervalech, minimálně však jedenkrát ročně.

Vedoucí oddělení a provozu jsou povinni včas písemně upozornit bezpečnostního technika a/nebo představitele vedení pro integrovaný systém řízení na skutečnosti, související s nutností doplnění nebo přezkoumání daného stavu v oblasti rizik. Doplnění a přezkoumání rizik včetně stanovení stupně jejich nebezpečnosti je prováděno zejména [10]:

- při zásadních změnách technologie, změnách vstupů či výstupů,
- při změně právních předpisů, technických norem, technických a řídicích dokumentů,
- na základě zjištění auditů a všech druhů kontrol,
- na základě výsledku přezkoumání systému BOZP vedením,
- na základě vyhodnocení důsledků havárie, mimořádného stavu, těžkého či smrtelného pracovního úrazu, nebo provedené analýzy v oblasti rizik.

Návrh na doplnění nebo přezkoumání rizik a jejich stupně nebezpečnosti probíhá v souladu s postupem změnového řízení řídicích dokumentů společnosti.

Doplnění nebo přezkoumání rizik a jejich stupně nebezpečnosti je prováděno v tomto konkrétním případě podle následujících kroků:

- Představitel vedení schválí na základě předchozího návrhu příslušný pracovní tým a seznámí pracovní tým s tímto řídicím dokumentem.
- Pracovní tým provede posouzení všech stávajících skutečností, které se týkají identifikace a hodnocení rizik. V odůvodněných případech - viz výše uvedené, provede potřebnou aktualizaci.
- Po přezkoumání a následném doplnění rizik (provedení aktualizace příslušné části registru rizik) pracovní tým stanoví stupeň nebezpečnosti rizik na základě schválené metodiky.
- Vedoucí týmu následně informuje o výsledku doplnění a přezkoumání rizik představitele vedení, a zajistí potřebné změnové řízení.

Kategorizace rizik se provádí podle zákona č. 258/2000 Sb. [30] a je uvedena v tabulkách 5, 6, 7 a 8.

Realizace	Popis parametru - vznik rizika	Hodnocení
A	Trvalý	5
B	Velmi pravděpodobný	4
C	Pravděpodobný	3
D	Nepravděpodobný	2
E	Nahodilý	1

Tabulka 5: Pravděpodobnost vzniku a existence rizika - O

Realizace	Popis parametru	Hodnocení
A	Smrtelný úraz	5
B	Těžký úraz a úraz s trvalými následky	4
C	Vážnější úraz vyžadující hospitalizaci	3
D	Absenční úraz (s pracovní neschopností)	2
E	Poranění bez pracovní neschopnosti	1

Tabulka 6: Závažnost rizika - *S*

Realizace	Popis parametru	Hodnocení
A	Více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí	5
B	Velký a významný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	4
C	Větší, nezanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	3
D	Malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení	2
E	Zanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	1

Tabulka 7: Názor hodnotitelů

RPN	Popis parametru
0 - 3	Bezvýznamné riziko
4 - 10	Akceptovatelné riziko
11 - 50	Mírné riziko
51 - 100	Nežádoucí riziko
101 a více	Nepřijatelné riziko

Tabulka 8: *RPN* - vyjádření míry rizika

### 3.4 Vybrané nástroje řízení kvality

Chceme-li analyzovat a vyhodnocovat rizika, musíme o nich shromáždit všechny potřebné informace a vhodnou formou je zpracovat za účelem dalšího využití. V oblasti managementu kvality a rizik se pro tyto činnosti mimo jiné osvědčily i tzv. jednoduché nástroje řízení kvality. Nejsou obtížné na pochopení pro jakéhokoliv pracovníka organizace. K tomu přispívá i grafická podoba příslušející každému nástroji [10, 16]. Mezi základní nástroje řízení kvality, která jsou významné v oblasti rizikového inženýrství a risk managementu, patří:

- vývojový diagram,
- diagram příčin a následků (Ishikawův),
- Paretův diagram
- a regulační diagram.

#### 3.4.1 Vývojový diagram

Vývojový diagram pomáhá porozumět procesu tím, že jej stratifikuje do jednotlivých dílčích činností (kroků) a okamžiků rozhodování o jeho dalším průběhu rozkreslením do schématu. Je vhodný především pro složité a nepřehledné procesy, jejichž detailní rozčlenění umožní pochopit, jak proces pracuje a najít možnosti dalšího zlepšování. Konstrukce vývojového diagramu se provádí podle ČSN ISO 5807 [33].



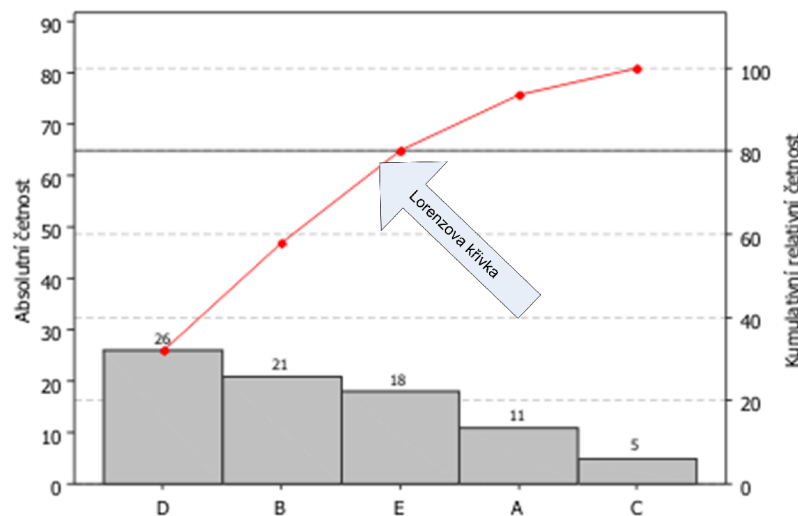
Vývojový diagram procesu výroby betonového zboží je znázorněn a popsán v části 4.2.4.

### 3.4.2 Identifikace rizik a nebezpečí pomocí diagramu příčin následků (Ishikawův diagram)

Diagram příčin a následku, známý jako Ishikawův diagram, slouží pro zobrazení a utřídění všech možných příčin a subpříčin, které ovlivňují daný následek. Tím předkládá celistvý pohled na sledovanou situaci. Analýzu jednotlivých příčin lze provádět do libovolné hloubky, aniž by se ztrácely souvislosti. Následkem nemusí být pouze identifikovaný či potenciální problém, může jím být jakákoliv entita (např. kvalita výrobku, procesu, zdroje apod.), respektive stanovený cíl [16]. Více lze nalézt např. v [16, 34].

### 3.4.3 Paretova analýza

Vilfredo Pareto (ital. ekonom) v roce 1895 publikoval princip o vztahu jednotlivých faktorů k celkovému účinku. Prokázal, že nepatrná část obyvatel má významný podíl na celkovém majetku a na straně druhé, že velký počet obyvatel se na něm podílí zcela nepatrně. Tento princip je tzv. Paretovo pravidlo 80/20, podle kterého je 80% problémů způsobeno 20% příčin. To znamená, že pokud rozlišujeme 10 různých příčin reklamací nějakého výrobku a máme 100 reklamací, pak 80 reklamací je způsobeno 2 příčinami a 20 reklamací 8 příčinami [35].



Obrázek 5: Ukázka Paretova diagramu

Výstupem je tzv. Paretův diagram, který znázorňuje četnosti výskytu jednotlivých poruch v pořadí od nejčastějších po nejméně časté. Na osu x se píší druhy vad (poškození), na levou stranu osy y se vynášejí počet výskytů poruch (absolutní četnost) a na pravou procenta (kumulativní relativní četnost). Sloupce reprezentují zastoupení jednotlivých příčin a rostoucí křivka, „Lorenzova“, představuje kumulativní hodnoty v %. Možnosti aplikace jsou široké a diagram je možno považovat za obecnou metodu zjišťování priorit.

### 3.4.4 Regulační diagram

Regulační diagramy (někdy také Shewhartovy regulační diagramy) jsou základní nástroje statistické regulace. Statistické regulaci je věnována část 3.11. Regulační diagram je jednoduchý

grafický nástroj umožňující odlišit variabilitu procesu vyvolanou vymezitelnými (zvláštními) příčinami od variability vyvolané náhodnými příčinami. To je velice důležité pro nalezení vhodných aktivit zlepšování kvality. Regulační diagram je vhodný pro zpracování obdobného souboru údajů jako histogram. Na rozdíl od histogramu však zobrazuje vývoj sledovaného jevu (veličiny) v čase [34]. Díky regulačnímu diagramu je tedy možné velice snadno posoudit různé trendy (vzrůstající či klesající) nejen výrobních procesů.

Vývoj sledovaných charakteristik procesu je zobrazen vůči tzv. regulačním mezím (limitům). Překročení mezí je signálem, že něco není v pořádku - proces není statisticky zvládnutý a že je nutný zásah (řešení). Stanovení hodnot regulační mezí záleží na charakteru procesu a také velkou měrou na požadavcích zákazníka. Dolní regulační mez se někdy stanoví jako minimální požadovaná hodnota sledované veličiny a horní regulační mez jako ekonomická hranice, tedy limit, při jehož překročení se výrobní proces stává neoptimálně vydělečným vzhledem k požadavkům zákazníka [16, 34]. Regulačním diagramům a především způsobům určování regulačních mezí je věnována norma ČSN ISO 8258 [36].

Regulační diagram výrobního procesu je znázorněn na obrázku 39.

### 3.5 Teorie fuzzy množin a fuzzy inference systémy

Při měření každé fyzikální veličiny se setkáváme s jistou neurčitostí, která je způsobena konečnou rozlišovací schopností měřících přístrojů, chybami v měření, nebo například šumem. Této neurčitosti se vyhnout téměř nelze, a proto bývá často nazývána vynucená neurčitost. Existuje však ještě jeden druh neurčitosti, tzv. volitelná neurčitost, která neplyne z nedostatku informací o popisovaném systému, ale je důsledkem záměrné nepotřeby přesnější informace.

Pro vyloučení nadbytečné informace při modelování komplikovaných systémů s mnoha proměnnými jsou dva základní důvody. Prvním je snížení složitosti a zvýšení přehlednosti popisu a druhým důvodem je redukce množství informací na úroveň, která je dostatečná pro řešení dané úlohy. Například při zkoušení pevnosti v betonu tlaku se sledují rozměry vzorku a síla na mezi porušení. Ze zřejmých důvodů je dostačující sledovat rozměry s přesností na desetiny milimetru a nikoli na mikrometry. Takové snížení přesnosti na dostačující míru redukuje mimo jiné náročnost zkoušek a tím i celkové finanční náklady.

Teorie fuzzy množin, a s ní úzce související fuzzy logika, nám poskytují nástroje pro zpracování vágních a nepřesných informací. V technické praxi se použití takových informací nevyhneme při popisu chování velmi složitých systémů, jejichž přesný analytický popis by byl technicky nemožný nebo neúnosně komplikovaný. Spolu se vzrůstající složitostí popisu rostou i realizační náklady.

Základní problém, se kterým se setkáváme při modelování složitých systémů, formuloval zakladatel teorie fuzzy množin L. A. Zadeh. Jedná se o tzv. *Princip inkompatibility*, který lze formulovat následujícím způsobem:

*Roste-li složitost nějakého systému, klesá naše schopnost tento systém popsat přesně. Po překročení určité hranice složitosti systému se přesnost a relevantnost popisu stávají vzájemně se vylučujícími charakteristikami.*

Pro odstranění neslučitelnosti relevantnosti a přesnosti popisu se v praxi uplatňují dva základní přístupy [37, 38]:

- Klasický přístup, který spočívá ve zjednodušení předpokladů popisu.
- Fuzzy přístup, který je založen na snížení úrovně přesnosti popisu připuštěním práce s vágními pojmy a informacemi.

Zavedení zjednodušujících předpokladů (klasický přístup) sebou nese celou řadu nevýhod. Zásadním nedostatkem je rozdíl mezi reálným a popisovaným systémem. Tento rozdíl je způsoben

tím, že nejsme schopni odhadnout a kvantifikovat vliv zjednodušení. To často vede k nespolehlivosti výsledků formálně přesného analytického modelu. Druhý přístup (často nazývaný fuzzy přístup) také snižuje úroveň přesnosti modelu, protože pracuje s vágními pojmy. Tato nepřesnost je však vyvážena tím, že modelovaný systém je zpracováván v celé své složitosti (nejsou zavedeny zjednodušující předpoklady). Další bezesporu nezanedbatelnou výhodou je snížení celkových nákladů, z důvodu větší dostupnosti nepřesných informací a dat.

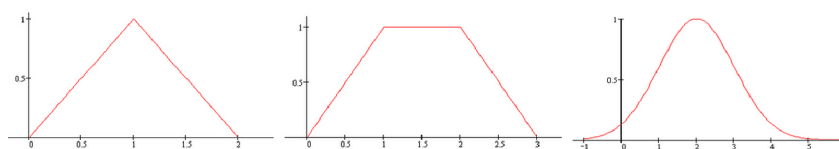
### 3.5.1 Základní pojmy v teorii fuzzy množin

V klasické teorii množin lze konstatovat, že daný prvek do množiny patří či nikoli. Příslušnost prvku do množiny je určena tzv. *charakteristickou funkcí*, která nabývá hodnot 0 nebo 1. Teorie fuzzy množin vlastně zobecňuje klasickou teorii množin, a to tak, že umožňuje, aby prvek do množiny patřil jen částečně. Je zde zavedena tzv. *funkce příslušnosti*, která na rozdíl od charakteristické funkce mapuje celý interval  $\langle 0; 1 \rangle$ :

$$\mu : U \rightarrow \langle 0; 1 \rangle, \quad (4)$$

kde  $U$  je univerzum, tedy referenční množina. Hodnota  $\mu(x)$  prvku je tzv. *stupeň příslušnosti*. Fuzzy množina  $A$  je potom jednoznačně určena uspořádanou dvojicí  $(\mu_A, U)$ .

V technických aplikacích se většinou používají tři základní tvary funkcí příslušnosti, a to tvar trojúhelníku, lichoběžníku a Gaussovy křivky (viz obr. 6).



Obrázek 6: Tvary funkcí příslušnosti

Dalo by se namítnout, že fuzzy množiny pro popis neurčitosti vlastně nepotřebujeme, protože máme k dispozici rozsáhlý statistický aparát, a že funkce příslušnosti je vlastní forma hustoty pravděpodobnosti. Tak tomu ale není, neboť statistika se především zabývá tím, jestli nějaký jev nastane s určitou pravděpodobností, čili vnějšími projevy jevů. Teorie fuzzy množin se však zabývá neurčitostí, která je v jevech okolního světa skryta, tedy samotnou podstatou jevů. Využití fuzzy přístupu umožňuje užití méně přesných měřících metod. S jednotlivými stavy proměnných je pracováno jako s fuzzy množinami.

V technické i vědecké praxi existuje velký rozpor mezi poznáním chování a schopností popisu chování systému v kvantitativní podobě. Tento rozpor je způsoben tím, že klasická matematická logika a konvenční prostředky systémové analýzy (tj. například diferenciální nebo diferenční rovnice) nejsou vhodné pro vyjádření vágnosti přirozeného jazyka, který často hraje určující roli. Alternativní přístup je založen na myšlence, že určujícím prvkem lidského myšlení nejsou čísla, ale názvy fuzzy množin, tj. třídy objektů, ve kterých se příslušnost do dané třídy mění pozvolna a nikoli skokem. Schopnost manipulace s fuzzy množinami a následné vyvození závěru je jednou z nejvýznamnějších charakteristik lidského myšlení, která odlišuje inteligenci lidskou od strojové. Fuzzy přístup k modelování umožňuje sestavení dostatečně přesného modelu na základě vágních informací ve formě slovního nebo kvantitativního vyhodnocení modelovaného systému.

Vybrané pojmy a vlastnosti fuzzy množin [37, 39, 40]:

- *Nosič (support)* fuzzy množiny  $A$  je (ostrá) množina  $\text{Supp}(A)$ ,

$$\text{Supp}(A) = \{x \in U, \mu_A(x) > 0\}. \quad (5)$$

- *Výška (height)* fuzzy množiny  $A$  je číslo

$$\text{hgt}(A) = \sup_{x \in U} \mu_A(x). \quad (6)$$

- *Jádro (kernel)* fuzzy množiny  $A$  je (ostrá) množina

$$\text{Ker}(A) = \{x \in U, \mu_A(x) = 1\}. \quad (7)$$

- Fuzzy množina  $A$  je *normální*, jestliže existuje  $x \in U$  takové, že  $\mu_A(x) = 1$ , tj.  $\text{Ker}(A) \neq \{\}$ . V opačném případě je *subnormální*.
- Fuzzy množina  $A$  se nazývá *konvexní* právě tehdy, jestliže pro každé  $x, y \in U$ , kde  $U$  je lineární prostor, a pro každé  $\lambda \in \langle 0, 1 \rangle$  platí:

$$\mu_A(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min \{\mu_A(x), \mu_A(y)\}. \quad (8)$$

V opačném případě je fuzzy množina  $A$  *nekonvexní*. Tento pojem je zobecněním konvexnosti u ostrých množin na fuzzy množiny. S každými dvěma body  $x, y$ , které patří do  $A$ , tam patří i úsečka, která tyto body spojuje.

V technických aplikacích se v naprosté většině případů používají normální konvexní fuzzy množiny (viz Obrázek 6).

S fuzzy množinami, stejně jako s klasickými množinami, lze provádět všechny základní operace, jako průnik, sjednocení, doplněk atd. Existuje mnoho způsobů jak tyto operace definovat, avšak musí být splněny určité podmínky, které jsou dány funkčností na klasických množinách (více viz [37, 38, 39, 40]). Obecným operátorem průniku jsou tzv. *t-norma*. Některé ze základních a nejběžněji používaných jsou:

- *minimová t-norma*

$$T_M(x, y) = \min \{x, y\} \quad (9)$$

- *Lukasiewiczova t-norma*

$$T_L(x, y) = \max \{0, x + y - 1\} \quad (10)$$

Oproti tomu obecným operátorem sjednocení jsou tzv. *t-konorma*:

- *maximová t-konorma*

$$S_M(x, y) = \max \{x, y\} \quad (11)$$

- *Lukasiewiczova t-konorma*

$$S_L(x, y) = \min \{1, x + y\} \quad (12)$$

Pokud chceme s fuzzy množinami pracovat a používat je v praxi, potřebujeme s nimi umět také provádět složitější operace, než klasické množinové. Jedním z nejdůležitějších principů, který umožňuje převést jakoukoli operaci v klasických ostrých množinách na operaci ve fuzzy množinách, je tzv. *princip rozšíření* zavedený L. A. Zadehem [41]. Tento princip je odvozen z případu, kdy zkoumáme funkci z univerza  $U$  do univerza  $V$  a přitom pracujeme s fuzzy množinou  $A$  v univerzu  $U$  [40], která potom indukuje fuzzy množinu  $f(A)$  v univerzu  $V$  s funkcí příslušnosti

$$\mu_{f(A)} = \begin{cases} \sup_{y=f(x)} \{\mu_A(x)\} \\ 0 \end{cases} \quad \text{jestliže neexistuje } x \text{ takové, že } f(x) = y, \quad (13)$$

kde označení  $\sup$  znamená supremum přes všechna  $x$  taková, že  $y = f(x)$ . Operace supremum (obecně je v matematice definována jako nejmenší horní závora) se z praktických důvodů nahrazuje operací *maximum*.

Tento princip lze v technické praxi používat pro práci s tzv. *fuzzy reálnými čísly*, což jsou konvexní normální fuzzy množiny definované na univerzu reálných čísel, jejichž funkce příslušnosti je obecně po částech spojitá funkce. Dále pro fuzzy čísla platí, že jádro je jednoprvková množina. Tedy existuje pouze jedna hodnota  $a$ , pro kterou platí  $\mu_A(a) = 1$ .

Fuzzy číslo lze chápat jako hodnotu, která je zatížena určitou nepřesností. V technické praxi jsou to například veškeré výsledky laboratorních zkoušek. Žádné měření není absolutně přesné a fuzzy čísla umožňují jeden ze způsobů jednoduché reprezentace této nepřesnosti či neurčitosti.

Pro práci s fuzzy reálnými čísly (např. sčítání, násobení i složitější operace) se využívá tzv. *fuzzy aritmetika*, která vychází z principu rozšíření. Základní principy fuzzy aritmetiky si ukážeme na příkladě dělení dvou fuzzy reálných čísel  $A$  a  $B$ , které nabývají hodnot  $x$  a  $y$ . Funkce příslušnosti těchto fuzzy reálných čísel tedy jsou  $\mu_A(x)$  a  $\mu_B(y)$  definované na univerzu reálných čísel. Podíl fuzzy reálných čísel  $A$  a  $B$  je fuzzy číslo  $C$  jehož funkce příslušnosti  $\mu_C(z)$  se stanoví podle vztahu [42]:

$$\mu_C(z) = \mu_{A/B}(z) = \sup \{ \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) : x = y \cdot z \}. \quad (14)$$

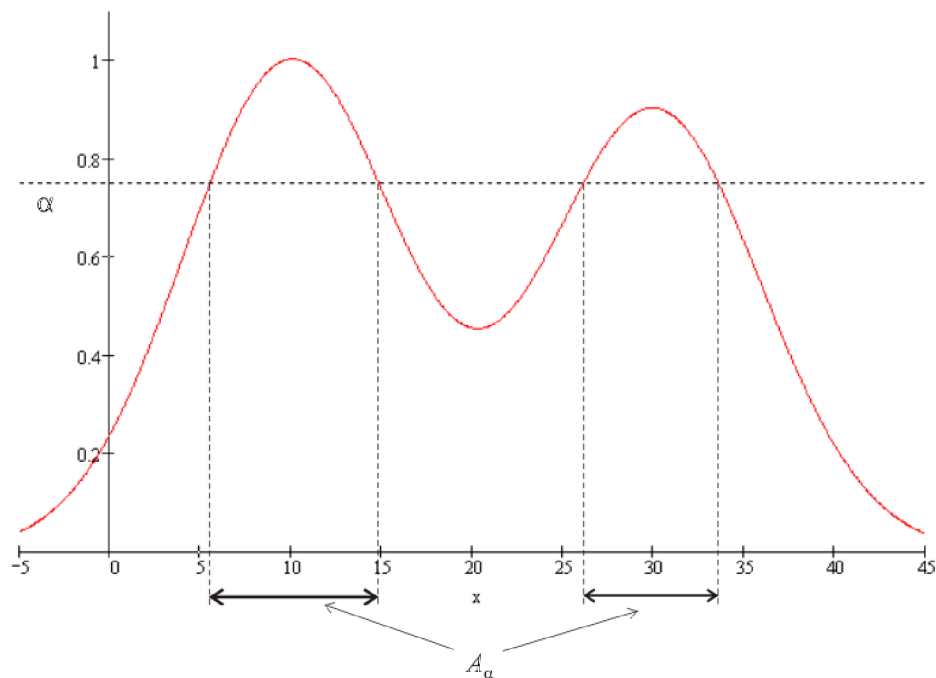
To znamená, že výsledkem operace dělení fuzzy reálných čísel  $A$  a  $B$  je fuzzy číslo  $C$ , které obsahuje prvky  $x = y \cdot z$  se stupněm příslušnosti, který je roven minimu stupňů příslušnosti  $\mu_A(x)$  a  $\mu_B(y)$ .

Pro technické aplikace je provádění výpočtů podle vztahů podobných rovnici (14) dosti nevhodné a nepraktické. Z těchto důvodů byl zaveden pojem  $\alpha$  řez, který umožňuje převést fuzzy aritmetiku na aritmetiku intervalovou, která je pro zpracování výpočetní technikou vhodnější.  $\alpha$  řezem fuzzy množiny  $A$  je nazývána ostrá množina

$$A_\alpha = \{ \mu_A(x) \geq \alpha \}, \quad (15)$$

kde  $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$ . Konstrukce  $\alpha$  řezů je velice jednoduchá a je znázorněna na obrázku 7. V podstatě se jedná o „rozřezání“ funkce příslušnosti fuzzy množiny (resp. fuzzy reálného čísla) na intervaly, se kterými je poté možné pracovat pomocí klasických matematických nástrojů.

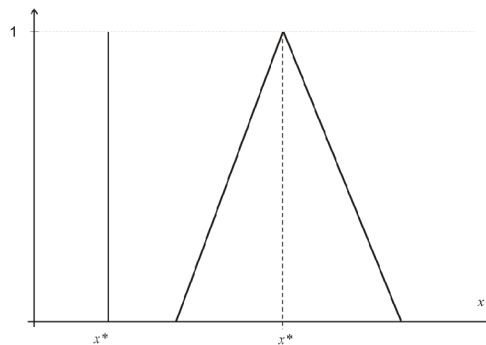
Stejně jako na klasickou teorii množin úzce navazuje klasická logika, tak i na teorii fuzzy množin navazuje fuzzy logika, která využívá pojmů fuzzy výrok, fuzzy implikace a jazyková proměnná. *Jazyková (lingvistická) proměnná* je proměnná, jejíž hodnoty tvoří slova nebo věty přirozeného jazyka s významem, který je definován prostřednictvím fuzzy množin [37, 38, 39, 40, 42]. Takovou proměnnou může být například kvalita výrobku s hodnotami: nedostatečná, špatná, dobrá, velmi dobrá.

Obrázek 7: Ukázka  $\alpha$ -řezu nekonvexní fuzzy množiny

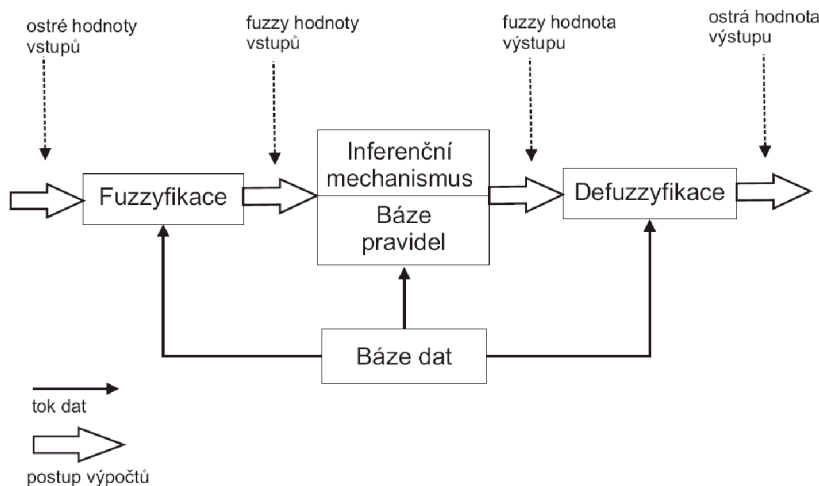
### 3.5.2 Fuzzy inference systémy

Nejčastější aplikací teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, a to nejen ve stavebním inženýrství, jsou tzv. fuzzy inference systémy (FIS). V posledních letech se ve velké míře využívají při rozhodování, řízení a modelování procesů, ve kterých vystupují veličiny, které nelze nebo lze velice obtížně a tedy nákladně popsat pomocí konvenčních matematických prostředků. Výhodou FIS je možnost využití jak kvalitativních tak i kvantitativních znalostí o modelovaném systému.

Obecná struktura FIS je podrobněji popsána např. v [37, 38, 39, 40] (viz obrázek 9). Obsahuje fázi fuzzifikace, inferenční proces, bázi dat, bázi pravidel a fázi defuzzifikace. Vstupem fáze fuzzifikace jsou ostré hodnoty vstupních proměnných, které jsou dány jejich příslušnými univerzy, tedy referenčními množinami. Výstupem fáze fuzzifikace je funkce příslušnosti fuzzy množiny. Nejčastěji se fuzzifikace provádí dvěma základními metodami (viz obr. 8), tedy fuzzifikace singletonem a trojúhelníkovou fuzzy množinou.

Obrázek 8: Základní metody fuzzifikace ( $x^*$  - ostrá vstupní hodnota)

Fuzzyfikovaná vstupní hodnota (hodnoty) dále vstupuje do inferenčního procesu. Zde se na základě báze dat a báze pravidel provede výpočet řešení. Výstupem inferenčního procesu je fuzzy množina daná svou funkcí příslušnosti. Pro praktické účely je však výstup ve formě fuzzy množiny nevhodný, proto je nutné provést převedení na ostrou hodnotu. To má za úkol fáze defuzzyfikace. Defuzzyfikačních metod existuje celá řada, nejčastěji se používá metoda těžiště, kdy výstupní ostrá hodnota se určí jako těžiště plochy pod grafem výstupní fuzzy množiny z inferenčního procesu (viz obr. 10).



Obrázek 9: Struktura fuzzy systému

Báze pravidel se skládá z podmíněných pravidel typu *if - then* [37, 38, 39, 40], které tvoří základ FIS. Všechny informace o charakteru těchto pravidel, a o vstupních a výstupních proměnných, jsou uloženy v bázi dat.

Nechť  $x_1, \dots, x_n$  jsou vstupní proměnné definované na univerzech  $U_1, \dots, U_n$  a  $y$  je výstupní proměnná definovaná na univerzu  $V$ . Tedy FIS má  $n$  vstupních proměnných a jednu výstupní proměnnou. Dále se budeme zabývat pouze tímto typem FIS, neboť jejich struktura je jednodušší a každý FIS s více výstupními proměnnými je možné dekomponovat na více FIS s jednou výstupní proměnnou.

Každé univerzum  $U_i$  je pokryto systémem fuzzy množin  $A_i^1, A_i^2, \dots, A_i^{n_i}$  a univerzum  $V$  je pokryto systémem fuzzy množin  $B^1, B^2, \dots, B^m$ . Jednotlivé fuzzy množiny představují slovní hodnoty jazykových proměnných  $x_1, \dots, x_n$  a  $y$ .

Dále necht' je dán soubor podmíněných pravidel typu *if - then*:

$$R^{(k)} : \text{if } (x_1 = A_1^{(k)}) \text{ and } (x_2 = A_2^{(k)}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = A_n^{(k)}) \text{ then } (y = B^{(k)}), \quad (16)$$

kde  $k = 1, \dots, r$  je označení pravidla. Úsek pravidla před částí *then* se nazývá antecedent a závěr pravidla se nazývá konsekvent.

Vstupní vektor  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  je tedy definován na kartézském součinu  $\mathbf{U} = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ . Každé pravidlo  $R^{(k)}$  představuje vlastní fuzzy implikaci [37, 38, 39, 40], tj. fuzzy relaci mezi fuzzy množinami  $A^{(k)}$  a  $B^{(k)}$ , kde  $A^{(k)} = A_1^{(k)} \times A_2^{(k)} \times \dots \times A_n^{(k)}$ , která je definovaná na  $\mathbf{U} \times V$  s funkcí příslušnosti  $\mu_{R^{(k)}}$ , kde  $\mathbf{x} \in \mathbf{U}$  a  $y \in V$ .

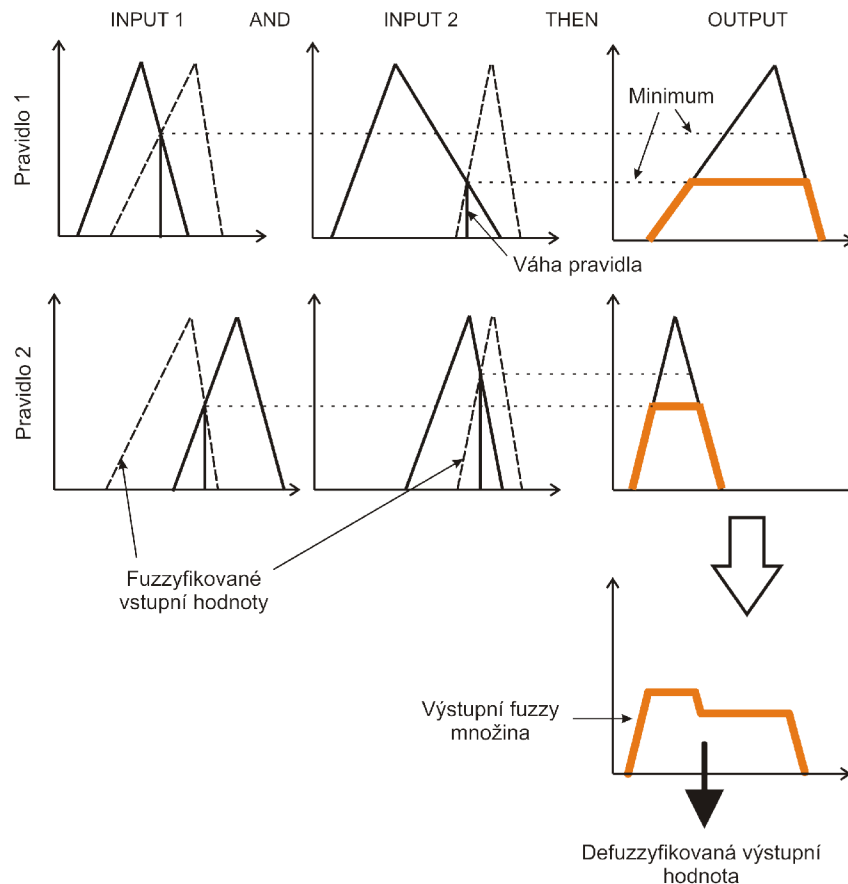
Nechť  $C_1, \dots, C_n$  jsou fuzzyfikované hodnoty vstupních proměnných do FIS, tedy proměnných  $x_1, \dots, x_n$ . Vyhodnocení vstupních hodnot pomocí souboru pravidel (16) se provede



tzv. *kompozicí*. Nejprve se určí výška průniku fuzzyfikovaných vstupních hodnot  $C_1, \dots, C_n$  s příslušnými částmi v antecedentech pravidel. Po té se provede nalezení minimální hodnoty této výšky v rámci každého pravidla. Tato hodnota se nazývá *váha pravidla*  $w$  a vyjadřuje míru podobnosti předpokladu (antecedentu) a pozorovaných hodnot  $C_1, \dots, C_n$ . Váha pravidla určuje „oříznutí“ fuzzy množiny v konsekventu pravidla. Celková výstupní fuzzy množina se určí sjednocením závěrů ze všech pravidel. Tato metoda je v praxi velmi často využívána a je nazývána *Mamdaniho metoda*. Jedná se tedy o FIS typu *Mamdani*.

Obr. 10 ukazuje příklad inferenčního procesu ve FIS se dvěma vstupními proměnnými, dvěma podmíněnými pravidly a jednou výstupní proměnnou. Ostrá výstupní hodnota je určena metodou těžiště.

FIS typu Mamdani jsou velice často využívány jako *expertní systémy* [43], tedy systémy, jejichž úkolem je na základě báze pravidel vyvozovat závěry nebo rozhodnutí pro konkrétní situaci. Důležité je velice pečlivě sestavovat bázi dat a bázi pravidel. Tento úkol má v praxi na starosti tým odborníků na řešenou problematiku a na fuzzy systémy, kteří na základě různých metodik (např. brainstorming, Paretova analýza atd.) navrhnou vstupní a výstupní proměnné spolu s jejich jazykovými hodnotami a sestaví podmíněná pravidla.



Obrázek 10: Inferenční proces

### 3.6 Teorie pravděpodobnosti a fuzzy množiny

Při statistickém vyhodnocování výsledků zkoušek nebo výstupů výrobního procesu v podstatě neděláme nic jiného, než že určitým způsobem odhadujeme parametry rozdělení



pravděpodobnosti náhodné veličiny [44], kterou beze sporu jsou veškeré fyzikální mechanické i jiné charakteristiky stavebních materiálů či výrobků. Vždy je potřeba mít na paměti, že skutečné přesné hodnoty těchto parametrů nikdy nemůžeme znát. Jsme schopni je pouze odhadovat s jistou mírou neurčitosti. Na základě takto získaných dat provádíme různá rozhodnutí nebo je používáme jako vstupní hodnoty výpočetních modelů.

Využití teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky v analýze a řízení rizik a například i při hodnocení spolehlivosti konstrukcí vychází z takto získaných znalostí sledovaných náhodných veličin a také vzájemných vztahů mezi jednotlivými náhodnými veličinami [45]. V praxi často narážíme na problémy způsobené nedostatečnou znalostí charakteristik posuzovaných náhodných veličin, které mohou být obecně způsobeny několika vlivy:

- využitím apriorních předpokladů například o normalitě sledovaných náhodných veličin;
- nedostatečným počtem pozorování (měření);
- rozlišovací schopností měřicí metody.

Ze zdrojů nepřesnosti v procesu výroby stavebních materiálů či výrobků lze dále uvést [46]: záměrné zkreslení údajů uživatelem nebo výrobcem (subdodavatelem), nízká úroveň nebo zkušenost obsluhy, nevhodná údržba, neúplné sledování výrobku v provozu, změna charakteristik vstupních materiálů atd.

Jedním ze způsobů jak modelovat takto vzniklou neurčitost, tedy neurčitost, kterou můžeme jen velmi nesnadno modelovat pomocí klasických nástrojů, je vstupní údaje reprezentovat jako *fuzzy reálná čísla* a k jejich zpracování využít *fuzzy aritmetiku* (viz část 3.5.1). Tento fuzzy přístup (viz také část 3.5) vychází z myšlenky, že je výhodnější uvažovat jistou úroveň neurčitosti již u jednotlivých vstupních hodnot a vyhnout se tím použití často až příliš striktních apriorních předpokladů. Nelze samozřejmě obecně konstatovat, že tento přístup povede ke zpřesnění výpočtů a odhadů, dovoluje však lépe posoudit hodnoty sledovaných charakteristik v celém možném rozsahu. Stupně příslušnosti jednotlivých hodnot si poté lze představit jako míry jejich věrohodnosti (viz též [46]).

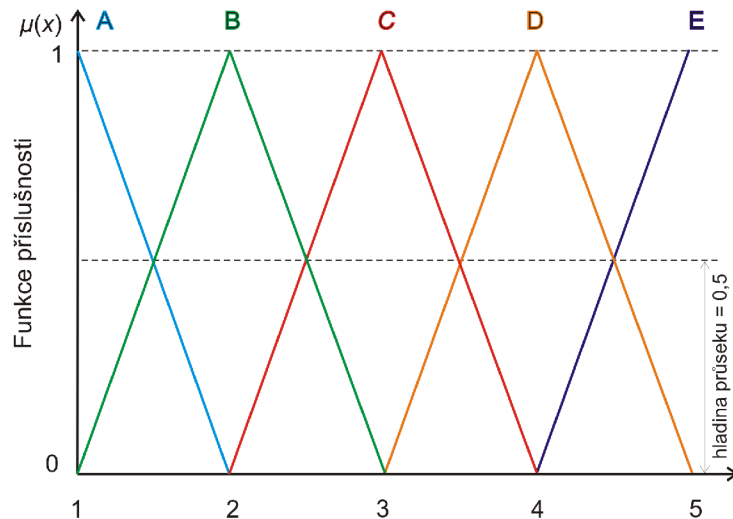
### 3.7 Rozšíření klasických postupů kvantitativní analýzy rizik pomocí fuzzy množin

V oblasti řízení rizik (rizikové inženýrství a risk management) se velice často vychází z tzv. expertních odhadů. Tyto odhady jsou založeny především na zkušenostech a expertních znalostech o zkoumané problematice a samozřejmě mohou být do značné míry ovlivněny subjektivně. Neurčitost (vágnost) expertních odhadů logicky roste s nedostatkem empirických znalostí a dat.

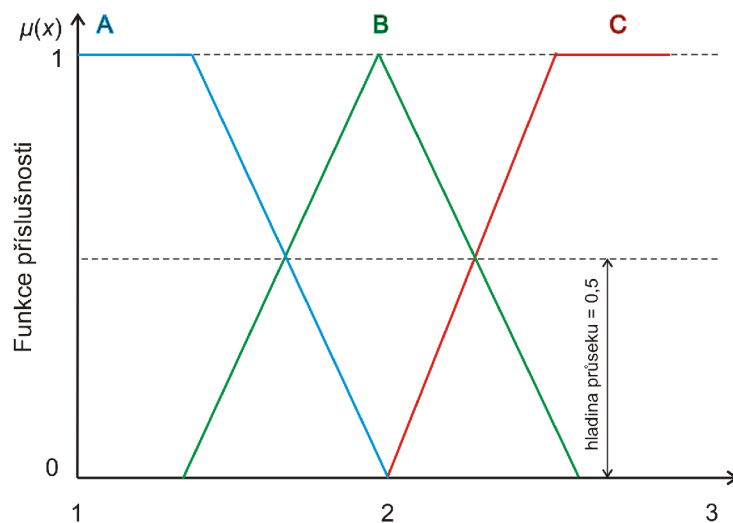
V částech 3.1.2 a 3.2.2 je uvedeno, že riziko hodnotíme prostřednictvím tzv. *kritičnosti*, resp. *číslem priority rizika RPN*, které je složeno ze tří základních složek, a to závažnosti rizika  $S$ , pravděpodobnosti výskytu daného způsobu poruchy  $O$  a odhalení vady  $D$ . Všechny tyto parametry se v praxi ve většině případů odhadují a jedná se tedy o expertní odhady. Obecně se však neřeší žádná míra „pravdivosti“ (věrohodnosti) těchto odhadů. Zvláště při zavádění nových technologií výroby, kdy je k dispozici malé množství empirických dat, může neurčitost odhadů způsobit nesprávné posouzení rizika, případně může dojít k opomenutí některého rizika. Jak již bylo naznačeno výše, modelovat míru věrohodnosti údajů prostřednictvím stupně příslušnosti může být výhodné. Navíc fuzzy množiny umožňují využít expertní znalosti nejen ve kvantitativní formě, ale i ve formě kvalitativní. To znamená i ve formě slovního ohodnocení, tedy s využitím lingvistických (jazykových) proměnných (viz část 3.5.1). Jednotlivá kritéria pro hodnocení kritičnosti rizika, resp. čísla  $RPN$  (viz část 3.2.2), si poté můžeme jednoduše představit jako jazykové proměnné, jejichž slovní hodnoty (viz tabulky 1, 2 a 3) jsou fuzzy množiny. Hodnocení v tabulkách 1, 2 a 3 splňuje kritéria metodiky FMEA, resp. FMCA, a je tedy možné je použít i pro klasické hodnocení kritičnosti rizik (výpočet  $RPN$ ).

Při konstrukci jednotlivých hodnot jazykových proměnných  $S$ ,  $O$ ,  $D$  a  $RPN$  musíme vycházet z několika důležitých pravidel.

Nejprve je nutné stanovit univerza, v nichž budou jednotlivé hodnoty definovány. Každá jazyková proměnná je určena na jednom univerzu, tzn. všechny slovní hodnoty (fuzzy množiny) jedné proměnné jsou definovány na stejném univerzu.



Obrázek 11: Slovní hodnoty proměnné  $O$



Obrázek 12: Slovní hodnoty proměnné  $S$

Po stanovení jednotlivých univerz můžeme přistoupit ke konstrukci funkcí příslušnosti samotných slovních hodnot. V praxi je vhodné využít jednodušší tvary funkcí příslušnosti. Ve většině případů se užívají tvary trojúhelníku, lichoběžníku případně Gaussovy křivky (viz obrázek 6). Obecně se doporučuje, aby slovní hodnoty jazykových proměnných kompletně pokrývaly celá univerza. Tedy musí platit, že každý bod příslušného univerza má nenulový stupeň příslušnosti v některé ze slovních hodnot (fuzzy množině) [37, 40, 38]. Dále je vhodné, aby každý bod univerza měl nenulový stupeň příslušnosti alespoň ve dvou slovních hodnotách. Pokud tomu tak je pouze v jedné hodnotě, měl by se stupeň příslušnosti blížit hodnotě 1. Dodržení těchto pravidel lze jednoduše dosáhnout nastavením tzv. hladiny průseku, která určuje maximální společný

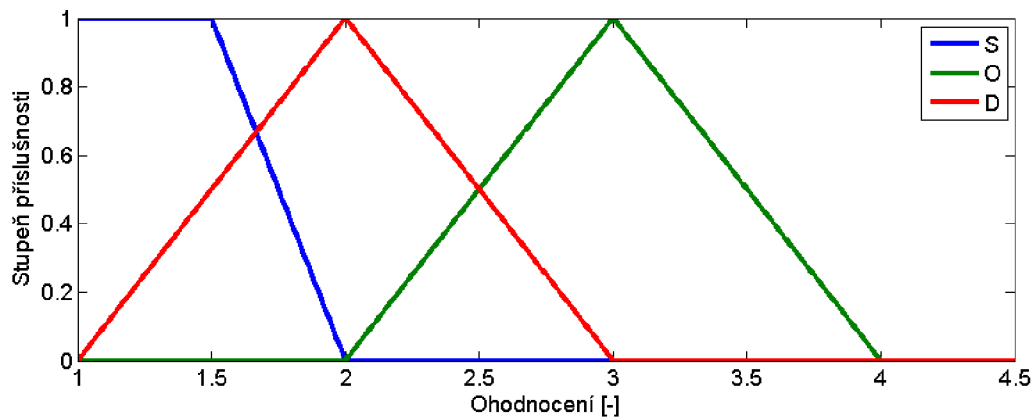
stupeň příslušnosti dvou sousedních slovních hodnot, na hodnotu 0,5 (viz například obrázky 11 a 12). Dodržení těchto pravidel zajistí při dalších výpočtech spojitost výstupní proměnné, což je v tomto případě číslo priority rizika *RPN*.

Takto navržené funkce příslušnosti slovních hodnot jsou znázorněny na obrázcích 11 a 12. Z důvodů výpočtové náročnosti a přehlednosti byly zvoleny tvary trojúhelníku a lichoběžníku.

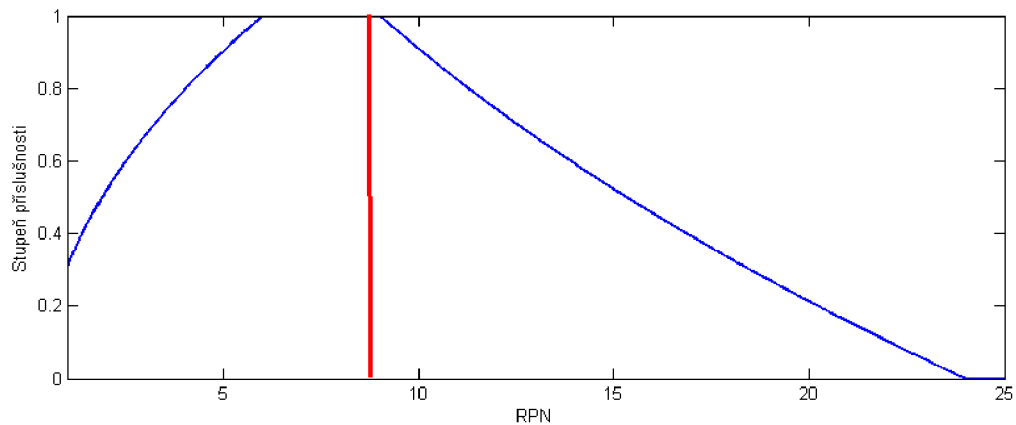
### 3.7.1 Výpočet čísla kritičnosti rizika pomocí fuzzy aritmetiky

Budeme-li chtít pracovat s proměnnými *S*, *O*, *D* a samozřejmě také s číslem *RPN* jako s jazykovými proměnnými, vyvstává otázka, jak tyto hodnoty zpracovávat. V zásadě existují dva způsoby, které již byly v této práci popsány. První způsob je využít nástrojů fuzzy aritmetiky (viz část 3.5), tzn. modelovat součin ve vztahu (3) prostřednictvím principu rozšíření, tedy pomocí vztahu podobného rovnici (14). Využití principu rozšíření je pro praktické výpočty poněkud méně vhodné. Při práci s využitím výpočetní techniky je výhodnější převést funkce příslušnosti zpracovávaných slovních hodnot na intervaly prostřednictvím  $\alpha$ -řezů (viz vztah (15)) a poté je jednoduše zpracovávat s využitím intervalové aritmetiky.

Na obrázku 13 je znázorněn příklad ohodnocení nějakého rizika proměnnými *S*, *O* a *D*. Ohodnocení těchto proměnných vychází z tabulek 1, 2 a 3 a ze slovních hodnot na obrázcích 11 a 12. Zpracování funkcí příslušnosti bylo provedeno pomocí  $\alpha$ -řezů. K tomuto zpracování je vhodné využít možností některého ze specializovaných softwarů pro práci s fuzzy množinami. V našem případě byla využita nadstavba prostředí *MATLAB - fuzzy toolbox*, která umožňuje uživatelsky jednoduché zpracování podobných problémů. Obrázek 14 poté ukazuje, jak by vypadala funkce příslušnosti výstupní proměnné *RPN*.



Obrázek 13: Příklad využití fuzzy aritmetiky - vstupní slovní hodnoty proměnných *S*, *O* a *D*

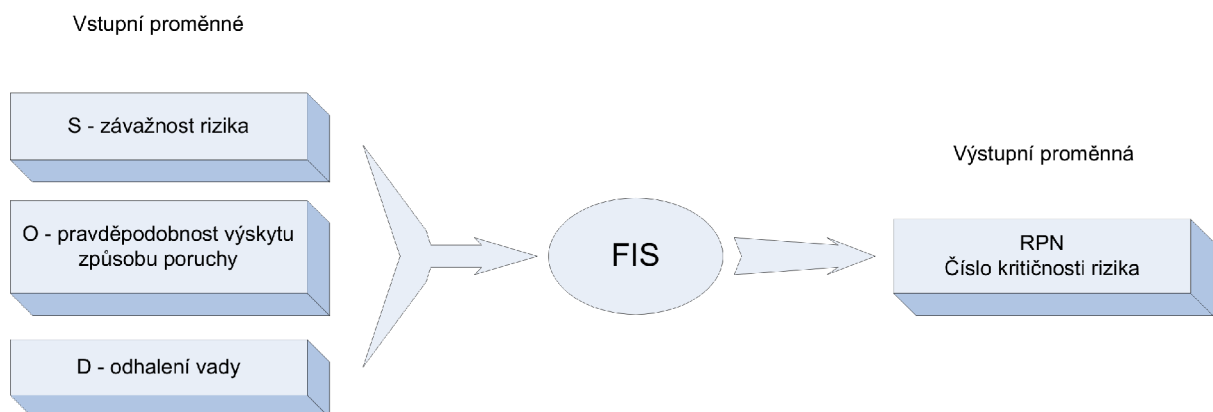


Obrázek 14: Příklad využití fuzzy aritmetiky - funkce příslušnosti vyhodnoceného čísla  $RPN$  na základě vstupních hodnot z obrázku 13

Takto definovaná hodnota  $RPN$  prostřednictvím fuzzy množiny (resp. funkce příslušnosti) však pro technickou praxi není příliš vhodná. Logicky se nabízí možnost využít nástrojů tzv. defuzzifikace, tedy převodu fuzzy množiny na klasickou „ostrou“ hodnotu. Nejznámější a nejpožívanější metodou je tzv. metoda těžiště plochy. Jak název napovídá, výsledná ostrá hodnota je určena těžištěm plochy vzniklé pod funkcí příslušnosti. Na obrázku 14 je výsledná ostrá hodnota naznačena červenou čarou.

### 3.7.2 Výpočet čísla kritičnosti rizika pomocí FIS

Druhý způsob jak zpracovávat jazykové proměnné  $S$ ,  $O$  a  $D$  za účelem stanovení čísla kritičnosti  $RPN$  je prostřednictvím fuzzy inference systémů (FIS) (viz část 3.5.2). Tento způsob nabízí mnohem více možností zpracování výstupní hodnoty čísla kritičnosti rizika  $RPN$  než výše popsané využití fuzzy aritmetiky. Volbou zpracování FIS je možné jej přizpůsobit daným potřebám tak, aby způsob výpočtů vyhovoval řešené problematice. Postup výpočtů prostřednictvím FIS je znázorněn na obrázku 15.



Obrázek 15: Vstupní a výstupní proměnné FIS

FIS je možné využít jako tzv. *expertní systémy* (ES). ES můžeme obecně popsat jako počítačový program, který má za úkol poskytovat expertní rady, rozhodnutí nebo doporučit

řešení v konkrétní situaci. ES jsou navrženy tak, aby mohly zpracovávat nenumerné a neurčité informace a řešit tak úlohy, které nejsou řešitelné tradičními algoritmickými postupy [10]. ES jsou konstruovány tak, aby bylo možné převzít znalosti experta (expertů), vhodně je reprezentovat a používat s podobným výsledkem. Ve velké míře se FIS jako ES využívají v případech, kdy rozhodnutí experta může být výrazně ovlivněno subjektivním názorem na řešený problém nebo kdy je počet rozhodovacích kritérií a jejich variant příliš vysoký. V těchto případech je možné využít FIS jako relativně objektivní rozhodovací aparát.

Ze struktury FIS (viz část 3.5.2) je patrné, že expertní znalosti a zkušenosti jsou zde uloženy v bázi dat a bázi pravidel. Je zřejmé, že konstrukce těchto částí FIS nejvíce ovlivňuje chování výpočetního systému.

Využití FIS jakožto expertních systémů pro hodnocení rizik nejen výroby stavebních materiálů a dílců nám oproti klasickému přístupu poskytuje celou řadu výhod. Problém klasické metodiky spočívá v diskrétních stavech jednotlivých posuzovaných kritérií (proměnných), které způsobují, že zodpovědný pracovník se vždy musí přiklonit k některé z předem daných variant. To může v konečném důsledku znamenat buď výrazné podhodnocení, nebo naopak nadhodnocení kritičnosti rizika. Pokud však zavedeme jednotlivá kritéria jako jazykové (lingvistické) proměnné, jejichž hodnoty jsou vzájemně se překrývající fuzzy množiny, nebezpečí spojené s chybným hodnocením rizika se tím minimalizuje. Navíc toto zobecnění dává zodpovědnému pracovníkovi možnost zhodnocení kritéria ve formě jakékoli fuzzy množiny, což umožňuje zohlednit variabilitu a vágnost vstupující do tohoto procesu.

Tento přístup k vyhodnocování rizik bývá někdy v odborné literatuře označován jako *fuzzy FMECA* a je v posledních letech stále více využíváný. Podobný způsob je popisován např. v článku [47]. Některé další výhody a možnosti využití FIS autor práce popisuje v článcích [4, 5, 43, 48, 49, 50, 51].

Nyní se zaměříme na samotnou konstrukci FIS a na různé možnosti nastavení jednotlivých parametrů, které mohou mít zásadní vliv na chování FIS, tedy na závislost výstupní proměnné *RPN* na vstupních proměnných *S*, *O* a *D*:

- **Fuzzifikace** (převod vstupních ostrých hodnot na fuzzy množiny) - V technické praxi se v drtivé většině případů používá fuzzifikace tzv. singletonem (viz část 3.5.2). Při výpočtu čísla *RPN* však může být v některých případech výhodnější provést fuzzyfikaci obecně složitějším typem fuzzy množiny (více viz [37, 40]).
- **Inferenční mechanismus** - je soubor výpočtů, kde na základě báze dat a pravidel dojde k vyhodnocení výstupu ze vstupních hodnot. Důležitou roli zde hraje volba implikační metody, která určuje postup skládání antecendentů jednotlivých podmíněných pravidel. V části 3.5.2 je popsán nejjednodušší inferenční proces, kde je využita implikace tvořená operací minimum. Obecně je možné využít ke konstrukci implikace jakoukoli *T*-normu (viz část 3.5.1) [37, 40, 42], což bývá v praxi často opomíjeno. Jiné implikační metody mohou být vhodné v případech, kdy se například mezi vstupními proměnnými předpokládá nějaký druh závislosti.
- **Báze pravidel** - Návrhem báze podmíněných pravidel lze ovlivnit chování výsledného FIS nejvíce, a proto je potřeba při její konstrukci postupovat opatrně. S bázi pravidel úzce souvisí i sestavování slovních hodnot jazykových proměnných. Při dodržování postupů popsaných výše (část 3.7) lze předem eliminovat celou řadu problémů. Dále je důležité, aby podmíněná pravidla kompletní pokrývala všechny slovní hodnoty jazykových proměnných, tedy mělo by platit, že univerza všech zúčastněných proměnných jsou zcela využita. To zabezpečí, že nebudou v univerzu výstupní proměnné „prázdná místa“, která by mohla způsobit nespojitost.
- **Defuzzifikace** (převod výstupu, který je ve formě fuzzy množiny, na ostrou hodnotu) - Volba způsobu defuzzifikace také může do značné míry ovlivnit chování FIS. Nejčastěji

užívanou metodou defuzzifikace je již zmiňovaná metoda těžiště (centroid; viz část 3.7.1). V článcích [52, 53] je zmiňována metoda RMS (Root Mean Square), která vychází z následujícího vztahu:

$$RMS = \sqrt{\frac{\int_A^B f(\mu(x))^2 dx}{B - A}}, \quad (17)$$

kde  $A$  a  $B$  je dolní a horní meze funkce  $f$ , která zde představuje kumulativní funkci příslušnosti. Tato metoda defuzzifikace má oproti metodě těžiště mnoho výhod. Především není tak citlivá na změnu vstupních hodnot. V praktických výpočtech se však ukazuje, že výsledky se od metody těžiště příliš neliší.

### 3.8 Markovovy řetězce

V matematice se pojmem Markovův řetězec označuje stochastický (náhodný) proces, který má Markovovskou vlastnost. Ta říká, že v každém stavu (fázi) procesu je pravděpodobnost navštívení dalších stavů nezávislá na dříve navštívených stavech. To znamená, že chování v Markovových řetězcích je *bezpaměťové*: V každém konkrétním stavu je možno zapomenout historii (posloupnost stavů předcházející stavu současnemu) [54]. V současné době se Markovovy řetězce v hojné míře využívají v mnoha technických oborech, např. pro popis kvality výrobních procesů. V této části práce jsou uvedeny základní poznatky z teorie Markovových řetězců a možnosti aplikace jak v řízení kvality, tak i risk managementu a rizikovém inženýrství.

#### 3.8.1 Základní pojmy a definice

*Stochastickým dynamickým diskrétním systémem (dále jen systémem)  $\mathbf{X}$*  rozumíme uspořádanou dvojici  $(\Omega; \mathbf{P}(n))$ , kde

- $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_j, \dots\}$  je *stavový prostor*,
- $\omega$  jsou stavy systému  $\mathbf{X}$ ,  $j = 1, 2, \dots$ ,
- $\mathbf{P}(n) = [p_1(n), \dots, p_j(n)]$  je *matice rozdělení pravděpodobnosti stavů systému  $\mathbf{X}$  po  $n$  krocích*,  $n = 0, 1, \dots$ .

$p_j(n)$  vyjadřuje pravděpodobnost toho, že systém  $\mathbf{X}$  je po  $n$  krocích ve stavu  $\omega_j$  [54].

Bez újmy na obecnosti a s ohledem na technické aplikace můžeme uvažovat  $\omega_j = j$ . Stavový prostor má poté tvar  $\Omega = \{1, 2, \dots\}$ , tedy stav systému  $\mathbf{X}$  po  $n$  krocích pak vyjadřuje náhodná veličina  $X_n$  s rozdělením pravděpodobnosti  $\mathbf{P}(n)$ , která nabývá hodnot  $j = 1, 2, \dots$ .

Posloupnost  $\{X_n\}$  diskrétních náhodných veličin  $X_n$ , kde  $n = 1, 2, \dots$ , se nazývá **Markovův řetězec** (Markovský řetězec), jestliže pro každý index  $k = 1, 2, \dots$  a pro všechny možné hodnoty  $i, j, h, \dots$  náhodných veličin  $X_n$  platí

$$P(X_k = j | (X_{k-1} = i, \dots, X_0 = h)) = P(X_k = j | X_{k-1} = i). \quad (18)$$

Podmíněná pravděpodobnost  $p_{ij,k} = P(X_k = j | X_{k-1} = i)$  je *pravděpodobnost přechodu systému  $\mathbf{X}$  v  $k$ -tém kroku ze stavu  $i$  do stavu  $j$* . Vztah (18) je vlastní formálním (matematickým) vyjádřením bezpaměťového chování Markovových řetězců, které bylo zmíněno v úvodu této části práce.

Přechod systému  $\mathbf{X}$  v  $k$ -tém kroku ze stavu  $i$  do stavu  $j$  popisuje *matice pravděpodobností přechodu pro  $k$ -tý krok*

$$\mathbf{P}_k = \begin{pmatrix} p_{11,k} & p_{12,k} & p_{13,k} & \dots \\ p_{21,k} & p_{22,k} & p_{23,k} & \dots \\ p_{31,k} & p_{32,k} & p_{33,k} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (19)$$

kde  $\sum_j p_{ij,k} = 1$  pro všechna  $i = 1, 2, \dots$ .

Jestliže pravděpodobnost přechodu  $p_{ij,k}$  je na hodnotě  $k$  nezávislá, platí tedy  $p_{ij,k} = p_{ij}$  pro všechny  $i, j, k$ , hovoříme o tzv. *homogenním Markovském řetězci* [54]. Matice pravděpodobností přechodu je potom konstantní. Nejen v technické praxi se často používají i tzv. *nehomogenní Markovské řetězce*, kde pravděpodobnost přechodu  $p_{ij,k}$  na hodnotě  $k$  závisí.

Matice přechodu homogenního Markovova řetězce je konstantní a značí se

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (20)$$

pravděpodobnost  $p_{ij}^{(n)} = P(X_n = j | X_0 = i)$ , že systém  $\mathbf{X}$  přejde ze stavu  $i$  do stavu  $j$  právě po  $n$  krocích je pravděpodobnost přechodu za  $n$  kroků. Matice  $\mathbf{P}^{(n)}$  je *matice pravděpodobnosti přechodu za  $n$  kroků*.

K popisu vlastností Markovových řetězců slouží následující pojmy:

- Markovův řetězec  $\{X_n\}$  se nazývá *konečný*, jestliže má konečný počet stavů. Při modelování procesů (např. výrobních) v technické praxi se jiné řetězce využívají velmi zřídka.
- Stav  $j$  se nazývá *dosažitelný* ze stavu  $i$ , jestliže existuje  $n = 1, 2, \dots$  takové, že  $p_{ij}^{(n)} > 0$ .
- Markovův řetězec  $\{X_n\}$  se nazývá *nerozložitelný (ireducibilní)*, je-li každý jeho stav dosažitelný z libovolného jiného stavu.
- Stav Markovova řetězce  $\{X_n\}$  se nazývá *absorbující*, jestliže z něho není možné přejít do jiného stavu. Markovův řetězec se nazývá *absorbující*, jestliže má alespoň jeden absorbující stav a z každého stavu lze přejít do absorbujícího stavu. Dosáhne-li řetězec absorbujícího stavu, říkáme, že je *absorbován*.

S ohledem na aplikace, které jsou popsány v následujících částech práce, se nyní zaměříme na vlastnosti *konečných homogenních Markovových řetězců* se stavovým prostorem  $\{1, \dots, a + b\}$ , kde  $a$  je počet absorbujících a  $b$  počet neabsorbujících stavů. Přerovnáme-li stavy řetězce tak, aby prvních  $a$  stavů bylo absorbujících, dostaneme matici pravděpodobností přechodu v tzv. *kanonickém tvaru*

$$\mathbf{P} = \left( \begin{array}{c|c} \mathbf{I}_a & \mathbf{0} \\ \mathbf{R} & \mathbf{Q} \end{array} \right), \quad (21)$$

kde  $\mathbf{I}_a$  je jednotková matice typu  $(a, a)$ ,  $\mathbf{0}$  je nulová matice typu  $(a, b)$ ,  $\mathbf{R}$  je matice typu  $(b, a)$  a  $\mathbf{Q}$  je čtvercová matice typu  $(b, b)$ . Dále platí, že

$$\mathbf{P}^n = \left( \begin{array}{c|c} \mathbf{I}_a & \mathbf{0} \\ \star & \mathbf{Q}^n \end{array} \right), \quad (22)$$

kde matici označenou symbolem  $\star$  není nutné dále uvažovat. Prvky matice  $\mathbf{Q}^n$  udávají pro každý neabsorbující stav pravděpodobnost toho, že daný řetězec je po  $n$  krocích v některém z možných neabsorbujících stavů.

Matice  $\mathbf{M} = (\mathbf{I}_b - \mathbf{Q})^{-1}$ , kde  $\mathbf{I}_b$  je jednotková matice typu  $b$ , se nazývá *fundamentální matice* absorbujícího homogenního Markovova řetězce. Konstrukci této matice lze nalézt např. v [54, 55]. Pro aplikace jsou důležitá tato tvrzení:

1. Prvek  $m_{ij}$  fundamentální matice je roven střední hodnotě případů, kdy je řetězec v neabsorbujícím stavu  $j$  za předpokladu, že počátečním stavem byl neabsorbující stav  $i$ .
2. Vynásobením fundamentální matice  $\mathbf{M}$  maticí  $\mathbf{c}$  typu  $(b, 1)$ , jejíž všechny prvky jsou rovny 1, vznikne matice  $\mathbf{t} = \mathbf{M}\mathbf{c}$ . Prvek  $t_{i1}$  této matice je roven střednímu počtu kroků před absorbováním, tedy přechodu řetězce ze stavu  $i$  do libovolného absorbujícího stavu.

3. Prvek  $b_{ij}$  matice  $\mathbf{B} = \mathbf{MR}$  je roven pravděpodobnosti toho, že absorbující řetězec bude absorbován ve stavu  $j$  za předpokladu, že začal v neabsorbujícím stavu  $i$ .

Tvrzení 1 umožňuje určit, kolikrát průměrně bude homogenní řetězec v každém neabsorbujícím stavu. Tvrzení 2 řeší problém, za jak dlouho bude průměrně proces absorbován. Z tvrzení 3 můžeme určit pravděpodobnost, že proces skončí v daném absorbujícím stavu.

### 3.9 Aplikace Markovových řetězců v řízení kvality a rizikovém inženýrství

Využití Markovových řetězců v technické praxi je široké. V posledních desetiletích se konečné homogenní řetězce používají především pro popis (modelování) kvality výrobních procesů. Nehomogenní řetězce lze využít při modelování kvality výroby montážních celků (strojní průmysl). V této části se zaměříme na první z typů Markovových řetězců, tedy konečný homogenní řetězec.

#### 3.9.0.1 Použití a základní aplikace Markovových řetězců

Postupům klasické Markovovy analýzy je věnována celá řada dokumentů. V oblasti managementu rizik a rizikovém inženýrství mezi nejvýznamnější patří norma z roku 2011, ČSN EN 31010 [7], kde je technika Markovových řetězců zmiňována v souvislosti s posuzováním rizik různě strukturovaných výrobních procesů. Je zde uvedeno, že použití této analýzy je možné na procesy s opakováním či bez opakování, které zahrnují:

- nezávislé součásti zapojené paralelně;
- nezávislé součásti v sérii;
- systém sdílení zátěže;
- pohotovostní systém včetně případu, kdy se může objevit porucha přepínání;
- zhoršené (degradované) systémy.

Více o obecném použití Markovových technik lze nalézt např. v [56].

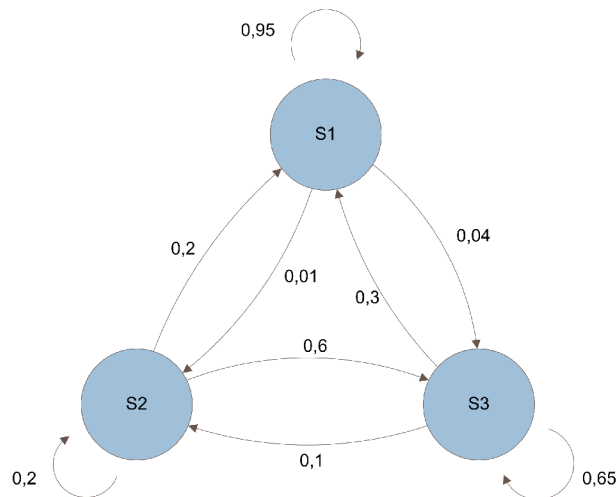
Jako příklad použití Markovovy techniky uvažujme složitý proces, který se může nacházet ve třech stavech: funkční, zhoršený a nefunkční, které si označíme  $S_1$ ,  $S_2$  a  $S_3$ . Každý den existuje systém v jednom z těchto stavů. V tabulce 9 je zobrazena pravděpodobnost, že zítra bude systém ve stavu  $S_i$ , kde  $i = 1, 2, 3$ .

		Dnešní stav		
		S1	S2	S3
Zítřejší stav	S1	0,95	0,3	0,2
	S2	0,04	0,65	0,6
	S3	0,01	0,05	0,2

Tabulka 9: Markovova matice pravděpodobností přechodu [7]

Je nutné si uvědomit, že součet každého sloupce matice je roven 1. To proto, že se jedná o součet všech možných výsledků v každém případě (pravděpodobnost  $> 1$  nelze). Markovův diagram (viz obrázek 16 graficky znázorňuje systém, přičemž kruhy znázorňují stavy a šipky přechody mezi stavy spolu s průvodní pravděpodobností.





Obrázek 16: Markovův diagram procesu [7]

Pravděpodobnost, že proces se nachází ve stavu  $S_i$  se označuje  $P_i$ . Soustava rovnic pro výpočet přecházejícího příkladu má tvar:

$$P_1 = 0,95P_1 + 0,30P_2 + 0,20P_3, \quad (23)$$

$$P_1 = 0,04P_1 + 0,65P_2 + 0,60P_3, \quad (24)$$

$$P_1 = 0,01P_1 + 0,05P_2 + 0,20P_3. \quad (25)$$

Tyto tři rovnice nejsou nezávislé a nevyřeší tři neznámé. Musíme použít následující rovnici a jednu z výše uvedených rovnic vyřadit:

$$1 = P_1 + P_2 + P_3. \quad (26)$$

Řešení je 0,85, 0,13 a 0,02 pro stavy  $S_1$ ,  $S_2$  a  $S_3$ . Proces je tedy plně funkční po 85% doby, ve zhoršeném stavu po 13% doby a nefunkční po 2% doby.

Použití dalších typů markovových řetězců (především nehomogenních) můžeme nalézt např. v [7, 56, 54].

### 3.10 Fuzzy Markovovy řetězce

V předchozích částech je ukázáno klasické praktické použití Markovových řetězců. Tato analýza je založena na skutečnosti, že všechny pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy procesu jsou známy. V praxi jsou často tyto pravděpodobnosti odhadovány na základě zmetkovitosti jednotlivých částí procesu. Pravděpodobnost úspěšně provedené operace na výrobku (pravděpodobnost přechodu procesu z jednoho stavu do druhého) se jednoduše určí jako klasická pravděpodobnost, tedy jako podíl počtu úspěšně provedených operací ku počtu všech výrobků, které do této části procesu vstoupily. Tento způsob umožňuje detailní pohled na kvalitu výrobního procesu a také lépe identifikovat rizika.

Nejen ve výrobě stavebních materiálů a výrobků však velice často narážíme na problém nedostatečné znalosti těchto pravděpodobností. Výpočet prostřednictvím zmiňované klasické pravděpodobnosti je možný pouze v případech, kdy je proveden dostatečný počet pozorování, tedy kdy je výrobní proces po dostatečně dlouhou dobu v provozu a je dostatečně sledován.

Ve výrobních procesech v oblasti např. strojního inženýrství obecně není získávání kvalitních dat příliš složité. Často se jedná o masovou sériovou výrobu s velkým počtem výstupů. Výroba

stavebních materiálů a výrobků je z matematicko statistického pohledu výrazně komplikovanější. Některá specifika byla již diskutována v části 1. Mnohdy jsou k dispozici jen velmi omezené statistické soubory, čímž je snížena vypovídací schopnost odhadů pravděpodobností přechodu. V případě nově zaváděné výroby (výrobku) je odhad pravděpodobností zatížen značnou nejistotou, jejíž rozsah lze jen stěží odhadnout.

Řešení tohoto problému můžeme nalézt ve fuzzy přístupu popsaném v části 3.5 a spočívá v práci s vágními pojmy. Je tedy založeno na využití fuzzy množin. Myšlenka spočívá v nahrazení pravděpodobností přechodu fuzzy čísly (viz část 3.5.1), resp. lingvistickými proměnnými, jejichž slovní hodnoty jsou fuzzy reálná čísla.

Fuzzy přístup v problematice Markovových řetězců se zdá být na první pohled logický, ale naráží na celou řadu teoretických překážek. Především je zde nutné formální zavedení tzv. „fuzzy pravděpodobnosti“ a dalších upravených termínů matematické statistiky. Jedna z prvních publikací zavádějící stochastický systém ve fuzzy prostředí je [57]. Autoři zde definovali fuzzy pravděpodobnostní prostor, fuzzy náhodnou veličinu a další pojmy. V českém jazyce je zásadní publikace [46]. Autoři příspěvků [58, 59, 60] se věnují již samotné implementaci poznatků uvedených v [57, 46] do prostředí Markovových řetězců. S ohledem na jednoduchost a přehlednost matematického modelu se jeví jako nejvhodnější pro aplikaci v oblasti výroby stavebních materiálů a výrobků postup uvedený v [60]. Zde autoři definují prvky Markovovy matice (pravděpodobnosti přechodu) jako fuzzy podmnožiny intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ . K vyhodnocení takto konstruovaných *fuzzy Markovových řetězců* je poté vhodné využít principu rozšíření a fuzzy aritmetiky (viz část 3.5.1).

Aplikace fuzzy Markovových řetězců v oblasti výroby stavebních materiálů a výrobků je ukázána v části 4.4.2.

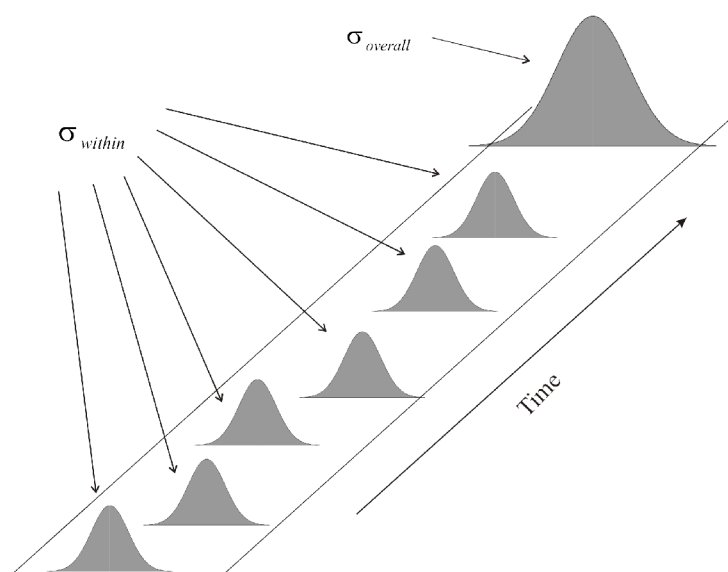
### 3.11 Statistická regulace

Statistická regulace představuje zpětnovazební systém, jehož základním cílem je dosažení a udržení stavu, ve kterém proces probíhá na přípustné a stabilní úrovni, zajišťující shodu výrobku se specifikací a splnění požadavků zákazníka. Statistická regulace je založena na strategii prevence, tedy na strategii, která předchází vzniku neshodných výrobků, protože svoji pozornost soustřeďuje tam, kde kvalita vzniká a lze ji proto ovlivnit. Touto strategií lze výrazně snížit náklady na kontrolu, materiál, čas a mzdy na výrobu neshodných výrobků.

#### 3.11.1 Hodnocení způsobilosti procesu

V technické praxi často narážíme na problém srovnat požadavky zákazníka, většinou dané tolerancemi, se šířkou procesu. Za tímto účelem je možné využít regulační diagram. Tento nástroj však přímo nehodnotí způsobilost procesu jako takovou, nýbrž statistickou stabilitu, která vyjadřuje jak moc se variabilita a centrace procesu mění v čase. Teprve po dosažení statistické stability procesu (regulační diagramy nepoukazují na žádné trendy, jak v centraci, tak i ve variabilitě procesu, a výstupní hodnoty procesu se pohybují ve stanovených regulačních mezích) je možné přistoupit k hodnocení způsobilosti [62, 63, 64].

Za tímto účelem byly definovány indexy způsobilosti  $c_p$ ,  $c_{pk}$  a indexy výkonnosti  $p_p$ ,  $p_{pk}$ . Obě skupiny indexů se počítají obdobně, liší se pouze použitím krátkodobé směrodatné odchylky  $\sigma_{within}$  nebo dlouhodobé směrodatné odchylky  $\sigma_{overall}$  (viz obrázek 17).



Obrázek 17: Způsobilost a výkonnost procesu - krátkodobá (vnitřní) a dlouhodobá (vnější) směrodatná odchylka

### Indexy způsobilosti procesu

počítáme podle vzorců:

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{within}}, c_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma_{within}}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{within}} \right\}, \quad (27)$$

kde  $USL$  ( $LSL$ ) je dolní (horní) regulační mez, je  $\sigma_{within}$  vnitřní (krátkodobá) směrodatná odchylka a  $\mu$  je odhad střední hodnoty procesu (aritmetický průměr).

### Indexy výkonnosti procesu

počítáme podle vzorců:

$$p_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{overall}}, p_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma_{overall}}; \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{overall}} \right\}, \quad (28)$$

kde  $USL$  ( $LSL$ ) je dolní (horní) regulační mez, je  $\sigma_{overall}$  vnější (dlouhodobá) směrodatná odchylka a  $\mu$  je odhad střední hodnoty procesu (aritmetický průměr).

Indexy  $c_p$  a  $p_p$  srovnávají pouze toleranční rozpětí s šířkou procesu, kdežto indexy  $c_{pk}$  a  $p_{pk}$  jsou citlivé i na centrování procesu. Ve strojírenském průmyslu se běžně proces považuje za způsobilý pokud:  $c_p, c_{pk} \geq 1,67$  a  $p_p, p_{pk} \geq 1,33$ . Tyto hodnoty jsou závislé na požadavcích zákazníka a mohou se velmi výrazně lišit [62, 63, 64].

#### 3.11.2 Úprava indexů způsobilosti vzhledem k charakteristické hodnotě

Konstrukce koeficientů způsobilosti a výkonnosti procesu je do značné míry uzpůsobena pro strojírenský a elektrotechnický průmysl. Proto je sledována centrace a porovnávána šířka procesu s tolerančními mezemi. Pro aplikaci v procesu výroby materiálů a výrobků není tento způsob zcela vyhovující. Důvody jsou následující [64]:

- Koeficienty způsobilosti a výkonnosti vycházejí z metodiky SIX SIGMA, jejímž cílem je dosáhnout tak malé zmetkovitosti a poruchovosti provozu, která je při výrobě stavebních výrobků a materiálů velice obtížně a nákladně dosažitelná.
- Zkoušení stavebních materiálů a výrobků je velice náročné a nákladné, a to jak s ohledem na potřebnou vybavenost zkušebních laboratoří, tak i na fakt, že se z pravidla jedná o destruktivní zkoušky. Z těchto důvodů je rozsah souborů pro vyhodnocování značně omezen a tím jsou výrazně ovlivněny výsledky analýz. Proto je nutné uvažovat i nejistotu vzniklou malým rozsahem výběru.
- Nejsledovanějším statistickým parametrem v oblasti zkoušení stavebních materiálů a výrobků není střední hodnota nebo variabilita, nýbrž tzv. charakteristická hodnota (viz část 3.11.3), tedy 5% kvantil, který je vlastně funkcí jak centrace, tak i variability. Proto se nabízí otázka, zda by tedy nebylo vhodnější posuzovat způsobilost výrobního procesu podle odhadu charakteristické hodnoty.

### 3.11.3 Charakteristická hodnota podle ČSN EN 1990

Charakteristická hodnota je definována jako hodnota, pro kterou lze očekávat, že 95% výsledků měření bude větších než tato hodnota.

Norma ČSN EN 1990 [65] uvádí materiálově nezávislý postup pro stanovení charakteristické hodnoty jedné nezávislé vlastnosti přispívající odolnosti výrobku nebo materiálu:

Za předpokladu normálního rozdělení je zde charakteristická hodnota definována jako

$$X_c = m_X (1 - k_n V_X), \quad (29)$$

kde  $m_X$  je výběrový průměr a  $V_X$  je variační koeficient. Koeficient kvantilu charakteristické hodnoty  $k_n$  se určuje podle tabulky 10. Jeho hodnota je závislá na znalosti variačního koeficientu a počtu měření. Pokud  $V_X$  není znám, je možné jej odhadovat pomocí vztahu

$$V_X = \frac{s_X}{m_X} \quad (30)$$

kde  $s_X$  je výběrová směrodatná odchylka daná vztahem

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2}, \quad (31)$$

kde  $x_i$  značí výsledky jednotlivých měření a  $n$  je počet měření.

$N$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,8	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_X$ neznámý	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2	1,92	1,76	1,73	1,64

Tabulka 10: Hodnoty  $k_n$

Znalost variačního koeficientu může vycházet z předchozího hodnocení zkoušek provedených za stejných podmínek. Norma umožňuje využít také horní konzervativní odhad variačního koeficientu. Je však nutné použít hodnotu 0,1 nebo větší.

Pro výpočet koeficientu  $k_n$  lze využít aproximační vztahy [66]:

- $V_X$  známý:  $k_n = 1,655 + 0,627$ ;
- $V_X$  neznámý:  $k_n = n / (-0,95 + 0,614n)$ .

Využití normálního rozdělení může v některých případech dávat zavádějící výsledky. Tento fakt je způsoben především zasahováním funkce hustoty pravděpodobnosti do záporných hodnot a také předpokladem symetričnosti, který nemusí být v praxi splněn. Z těchto důvodů bývá často výhodnější použít aproximaci logaritmicko-normálním (lognormálním) rozdělením. Výraz (29) se změnil na rovnici:

$$X_c = \exp [m_Y (1 - k_n s_Y)], \quad (32)$$

kde  $m_Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i)$ . V případě známého  $V_X$  platí  $s_Y = \sqrt{\ln(V_X^2 + 1)} \approx V_X$ . Pokud  $V_X$  není apriorní znám, je možné použít odhad  $s_Y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - m_Y]^2}$ .

### 3.11.4 Index $C_c$

Jak již bylo naznačeno, pro hodnocení způsobilosti procesu vzhledem k charakteristické hodnotě není zcela vhodné používat standardních indexů, které jsou sestaveny pro kontrolu centrace a rozpětí procesu. Charakteristická hodnota, jakožto 5% kvantil, je funkcí obou těchto parametrů, proto je logické posuzovat jak střední hodnotu, tak i variabilitu procesu současně [67, 68, 64, 69, 70, 71, 72].

Za účelem srovnání charakteristické hodnoty procesu s požadovanou mezí danou specifikací byl zkonstruován index  $C_c$ . Za předpokladu normálního rozdělení má index  $C_c$  tvar:

$$C_c = \frac{X_{0,05}}{LSL} = \frac{\mu - u_{0,95}\sigma}{LSL}, \quad (33)$$

kde  $X_{0,05}$  je 5 % kvantil rozdělení pravděpodobnosti sledovaného znaku kvality (charakteristická hodnota),  $LSL$  je požadovaná charakteristická hodnota daná specifikací,  $\mu$  a  $\sigma$  jsou parametry rozdělení a  $u_{0,95}$  je kvantil normovaného normálního rozdělení  $N(0; 1)$ .

Index  $C_c$  je možné odhadovat pomocí vztahu:

$$\hat{C}_c = \frac{X_c}{LSL} = \frac{m_X (1 - k_n V_X)}{LSL} = \frac{m_X - k_n s_X}{LSL}, \quad (34)$$

kde  $X_c$  je odhad charakteristické hodnoty podle ČSN EN 1990 (viz část 3.11.3).

Za předpokladu lognormálního rozdělení pravděpodobnosti sledované náhodné veličiny je možné provést následující modifikaci:

$$C_c = \frac{\exp[\mu - u_{0,95}\sigma]}{LSL}. \quad (35)$$

Odhad indexu se provede analogicky:

$$\hat{C}_c = \frac{\exp[m_Y (1 - k_n s_Y)]}{LSL}. \quad (36)$$

Odhady  $\hat{C}_c$  výrazně zohledňují rozsah statistického souboru prostřednictvím koeficientu  $k_n$ , a to směrem na stranu bezpečnou. Dále je zde možné využít apriorních znalostí o posuzovaném procesu.

### 3.11.5 Hodnoty indexu $C_c$

Vzhledem ke konstrukci indexu  $C_c$  je logické, že hodnoty tohoto indexu můžeme rozdělit do tří skupin:

1.  $C_c$  (resp.  $\hat{C}_c$ )  $< 1$ : Sledovaný znak kvality (veličina) vykazuje charakteristickou hodnotu menší než je požadavek (specifikace).

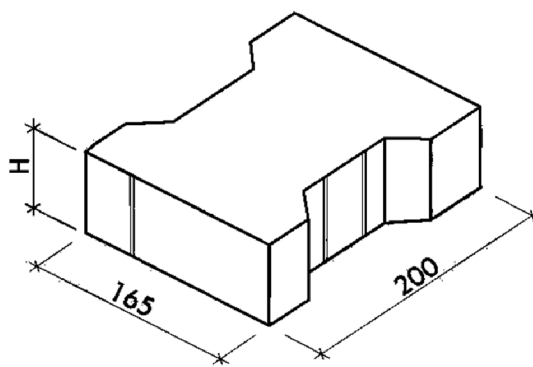
2.  $C_c$  (resp.  $\hat{C}_c$ )  $\approx 1$ : Sledovaný znak kvality (veličina) vykazuje charakteristickou hodnotu přibližně rovnou požadované úrovni (specifikaci). Je třeba zvážit, zda není potřeba provedení nápravných opatření.
3.  $C_c$  (resp.  $\hat{C}_c$ )  $> 1$ : Sledovaný znak kvality (veličina) vykazuje charakteristickou hodnotu větší, než je požadovaná úroveň (specifikace). Lze konstatovat, že požadovaná charakteristická hodnota sledovaného znaku kvality splňuje danou specifikaci.

Ve většině případů je vhodné neporovnávat index  $C_c$  s hodnotou 1, ale s hodnotou  $> 1$ . Vždy je třeba zvážit jak kvalitativní aspekty dané problematiky, tak i ekonomické. Hodnoty  $C_c$  příliš blízké jedné mohou znamenat kvalitativní riziko. Musíme na hodnotu  $X_c$  pohlížet pouze jako na bodový odhad skutečné charakteristické hodnoty stanovený na základě souboru zkušebních vzorků, který se může výrazně lišit od skutečnosti. Naopak příliš vysoký index  $C_c$  naznačuje, že sledovaný znak kvality výrazně převyšuje hodnoty dané specifikací, což zjednodušeně řečeno znamená, že vyrábíme až zbytečně příliš kvalitně výrobky nebo materiál. S ohledem na uvedená hlediska se jeví jako optimální hodnota indexu  $C_c = 1, 2$ . Tato hodnota je do značné míry závislá na požadavcích zákazníka a na charakteru řešené problematiky.

## 4 APLIKACE

### 4.1 Úvod

Cílem této části práce je aplikace uvedených teoretických poznatků na systém řízení rizik a statistickou regulaci výroby betonových dlažebních bloků. Autor práce spolupracuje s organizací, která vyrábí i další podobné výrobky, jako jsou dlažební desky, obrubníky, vegetační dlaždice, betonové tvárnice, palisády, prvky zahradní architektury, schodišťové prvky, skruže, odvodňovací prvky a jiné drobné betonové výrobky pro nekonstrukční použití. Název oboru (číslo podle Přílohy 1 MPA 50-01-09 k aplikaci ČSN EN ISO/IEC 17021:2007 Posuzování shody - Požadavky na orgány provádějící audit a certifikaci systémů managementu v akreditačním systému České republiky [81]) je „Výroba cementu, vápna a sádry, betonových, sádrových, vápenných a cementových výrobků (16)“, kód CZ NACE je 23.5 a 23.6. Příklad takového betonového výrobku je na obrázku 18.



Obrázek 18: Ukázka betonového dlažebního bloku

V oblasti řízení a kvantifikace rizik jsou ukázány možnosti rozšíření metodiky FMEA prostřednictvím teorie fuzzy množin a fuzzy logiky (viz části 3.5, 3.6 a 3.7) na konkrétním reálném výrobním procesu. V části 3.11 jsou uvedeny možnosti úprav klasických metod pro hodnocení způsobilosti procesu, které budou aplikovány na výsledcích zkoušek výrobků zmiňovaného výrobního procesu.

### 4.2 Technologický postup procesu výroby

Informace o technologických postupech uvedené v této části práce vycházejí především z dokumentace společnosti, se kterou autor práce navázal spolupráci, a která si nepřála být jmenována. Mezi další zdroje informací patří např. [10].

#### 4.2.1 Lidské zdroje

*Profese a počet pracovníků* (zkratka KZAM značí klasifikaci zaměstnání podle kartotéky typových pozic, viz [74]):

- Vedoucí výroby (KZAM: 13122 Vedoucí samostatného výrobního provozu): 1
- Vedoucí provozu (KZAM: 113122 Vedoucí samostatného výrobního provozu): 1
- Obsluha výrobního stroje (KZAM: 93131 Manipulační dělník na stavbách budov): 1
- řidič vysokozdvizného vozíku (KZAM: 93391 Pomocný, manipulační dělník v dopravě): 1
- Obsluha paletizační linky a kontrola (KZAM: 93131 Manipulační dělník na stavbách budov): 1

- Pomocný dělník (KZAM: 93131 Manipulační dělník na stavbách budov): 1

Vedoucí výroby je stejný pro všechny výrobní linky ve společnosti a zajišťuje dohled nad provozem a výrobou jednotlivých výrobních linek. Jemu je přímo podřízen vedoucí provozu, který zodpovídá za celé pracovní středisko jemu svěřené. Pomocný dělník je přiřazen k pracovním úkolům a úkonům, které se nepřímou podílí na výrobním procesu (úklid, transport materiálů apod.). Tito pracovníci (pomocní dělníci) nemají přímý vliv na kvalitu výroby.

*Kvalifikační požadavky:*

- Vedoucí výroby - vyučen, min. 5 let praxe v oboru
- Vedoucí provozu - vyučen, min. 2 roky praxe v oboru
- Obsluha výrobního stroje - vyučen, min. 1 rok praxe, zaškolení obsluhy výrobního stroje
- Obsluha paletizační linky - vyučen, zaškolení obsluhy linky
- Výstupní kontrola výrobků - vyučen, zaškolení v provádění kontroly výrobků
- řidič vysokozdvizného vozíku - základní vzdělání, řidičský průkaz sk. B, (C), platný průkaz řidiče VV, zaškolení v obsluze VV
- Pomocný dělník - základní vzdělání, zaškolení pro danou činnost

#### 4.2.2 Mechanismy

*Použité mechanismy:*

Dopravní pásy (pás 1 do váhy 1, pás 2 do váhy 1, pás 3 do váhy 2, pás z váhy 1 do míchačky M1, pás z váhy 2 do míchačky M2), šnekový dopravník cementu (šnek 1, šnek 2, šnek 3), 2 x míchačka (Kabag 1125, Kabag 375), váhy (váhy na kamenivo - V1 a V2, váhy na cement CEM1 a CEM2), dávkovací zařízení barev (čerpadlo 1 a 3), dávkovací zařízení přísad (čerpadlo 1 a 2), dávkovací zařízení vody (čerpadla 1 a 2), výrobní stroj AME (PFS 1300), dopravníky a zavázeční zařízení podložek s hotovými výrobky (Teramex), vysokozdvizný vozík (Linde H35), paletizační a balící linka včetně páskování (Teramex), tryskací zařízení.

*Použité nářadí:*

Svářecí technika, kotoučová bruska (Narex 125), vrtačka (Narex 750W), pneumatické bouřací kladivo (6,3 MPa), průmyslový vysavač, míchadlo na barvu, stolní bruska.

#### 4.2.3 Údaje o použitých materiálech

*Výrobní materiály:*

Kamenivo:

- Hrušovany (frakce 0 - 4 mm)
- Želešice (frakce 4 - 8 mm)
- Provodín PR 30/31 (frakce 0,1 - 0,6 mm)
- ostatní kameniva (Carolith, Želešice atd.)

Cement:

- CEM I 42,5 R, cementárna Mokrý
- CEM I 52,5 R, cementárna Rohožník (bílý cement)

Voda: pitná voda z vodovodního řádu

Prísady: plastifikační přísada CHRYSO Lav Mix

Pigmenty:

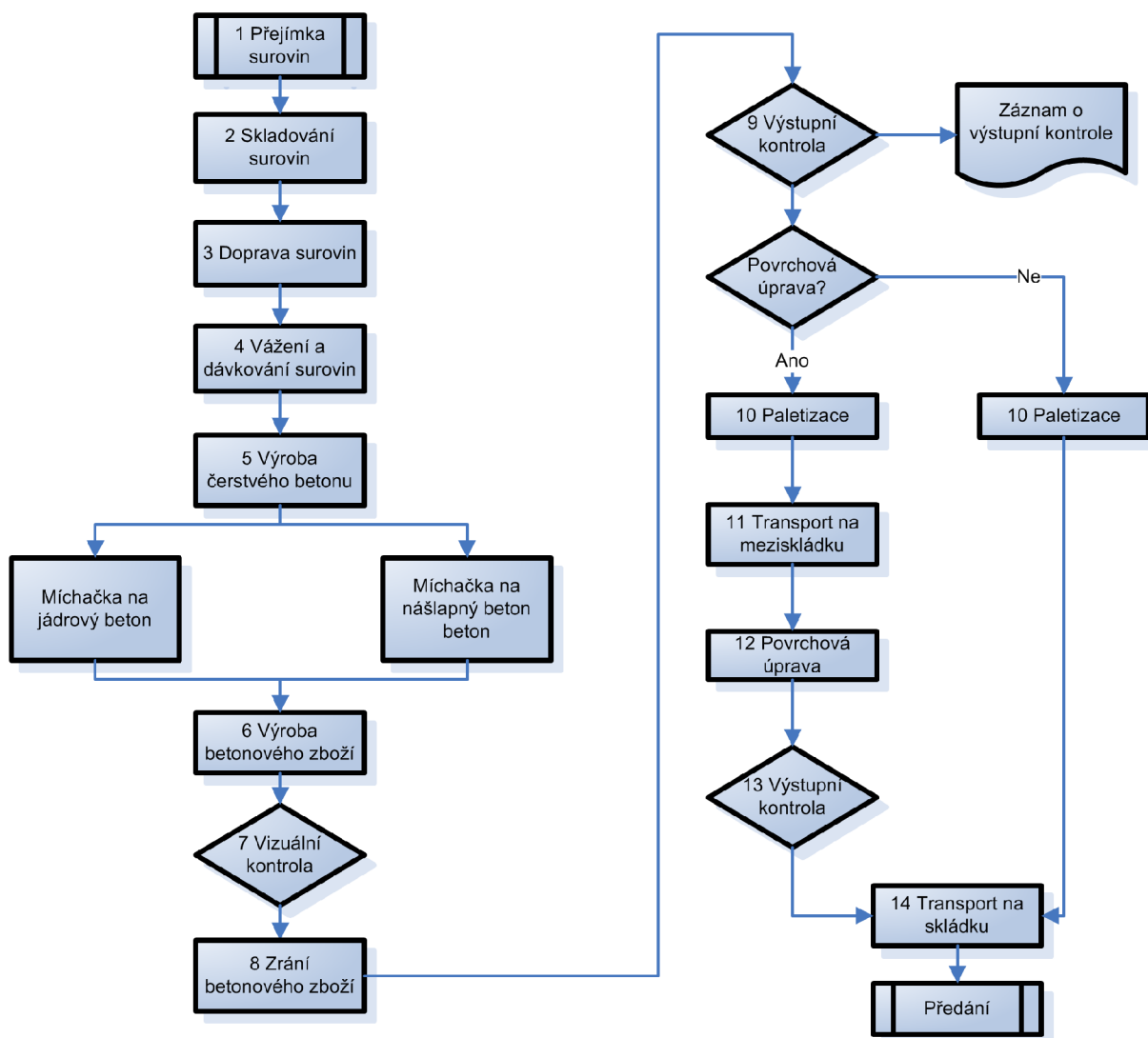


- tekuté (dodavatel PRECOLOR a.s.)
- práškové (dodavatel PRECOLOR a.s.)

*Spotřební materiály:* Nafta, mazací oleje, konzervační oleje, hydraulický olej, separační přípravek na ostřík desek, technický benzín.

#### 4.2.4 Popis technologického postupu

V části 3.4.1 je popsána konstrukce vývojového diagramu a jeho výhody při popisu technologických procesů. Vývojový diagram procesu zkoumaného v této části práce je znázorněn na obrázku 19. Dále jsou zde popsány jednotlivé kroky podle dokumentace systému řízení společnosti.



Obrázek 19: Vývojový diagram výrobního procesu

#### 4.2.4.1 Přejímka surovin

**Kamenivo** je dodáváno dopravcem na nákladních automobilech. Dopravce skládá kamenivo na místo určení, které je přesně označeno. Za kontrolu přejímky kameniva zodpovídá obsluha kolového nakladače, která dopravci schvaluje kvalitu dodávky a kontroluje správnost dodacího listu. Po vysypání kameniva z dopravního prostředku provádí obsluha kolového nakladače postupné zavážení kameniva do boxu. Dodací list je dopravcem odevzdán na vrátnici při výjezdu dopravního vozidla ze závodu. Vrátný potvrdí dodávku materiálu a dodací list odevzdá vedoucímu expediční kanceláře. Ten vede jejich evidenci.

**Cement** je dodáván dopravcem v autocisternách, ze kterých je pneumaticky dopravován do zásobních sil, která jsou označena podle druhu a třídy cementu (CEM I 42,5 R a CEM I 52,5 R). Při přebírce cementu je přítomen vedoucí provozu, který kontroluje správnost dodávky, vykládky a dodacího listu. Dodací list je dopravcem odevzdán na vrátnici při výjezdu dopravního vozidla ze závodu. Vrátný potvrdí dodávku materiálu a dodací list odevzdá vedoucímu expediční kanceláře. Ten vede jejich evidenci.

**Pigmenty** jsou dodávány dopravcem na nákladních automobilech. Pigmenty jsou umístěny v kontejnerech (tekuté) nebo v pytlích (práškové). Pigmenty přejímá a kontroluje vedoucí skladu, který také ověří správnost dodacího listu (odsouhlasení údajů). Vedoucí skladu zodpovídá po převzetí pigmentů za jejich uložení na daném místě a předání vedoucímu provozu. Dodací list je dopravcem odevzdán vedoucímu expediční kanceláře. Ten vede jejich evidenci.

**Příspěvy** jsou dodávány dopravcem na nákladních automobilech. Příspěvy jsou umístěny v kontejnerech, které přejímá a kontroluje vedoucí skladu, který také ověří správnost dodacího listu (odsouhlasení údajů). Vedoucí skladu zodpovídá po převzetí přísad za jejich uložení na daném místě a předání vedoucímu provozu. Dodací list je dopravcem odevzdán vedoucímu expediční kanceláře. Ten vede jejich evidenci.

**4.2.4.2 Skladování surovin** Jednotlivé suroviny (kameniva, cementy, přísady, pigmenty) jsou ukládány na místa, která jsou k tomu vyhrazena a jsou také náležitě označena.

**Kameniva** jsou označena a rozdělena na skladovací místa dle jejich frakcí (0-4 mm, 4-8 mm a Provodín PR 30/31). Kamenivo se skladuje na venkovních skládkách (v tzv. boxech), které jsou částečně zastřešeny. Do boxů se kameniva po vysypání z dopravních prostředků zaváží pomocí kolového nakladače.

**Cementy** jsou skladovány v uzavřených ocelových silech, která jsou označena druhem a třídou cementu. Cementy se z cisteren do sila dopravují pneumaticky.

**Pigmenty** jsou dodávány jak ve formě tekuté, tak i ve formě práškové. Práškové pigmenty jsou dodávány od výrobce v tkaninových nebo papírových pytlích, ve kterých jsou i skladovány. Tekuté pigmenty jsou dodávány v plastových zásobnících (kontejnerech), ve kterých jsou také skladovány. Každý z kontejnerů je patřičně označen druhem pigmentu (označení výrobku - druh, výrobní značka, název, apod.), který je v něm umístěn (pokud to není označeno od výrobce).

**Příspěvy** (plastifikační) jsou kapalné látky, které se dodávají od výrobce v plastových zásobnících (kontejnerech), ve kterých jsou i skladovány. Každý z kontejnerů je patřičně označen druhem přísady (označení výrobku - druh, výrobní značka, název apod.), která je v něm umístěna (pokud to není označeno od výrobce).

#### 4.2.4.3 Doprava surovin

Jednotlivé výrobní suroviny (kameniva, cementy, přísady, pigmenty a voda) mají vlastní dopravní cesty. Během dopravy surovin tedy nedochází k jejich vzájemnému mísení.

**Kamenivo** je dopravováno na pásových dopravnících do váhy, z váhy opět pásovým dopravníkem do míchačky.

**Cement** je dopravován do váhy pomocí šnekového dopravníku, z váhy je přepouštěn pomocí klapky do míchačky.

**Pigmenty** jsou pomocí čerpadla dopravovány do váhy a následně z váhy přepouštěny do míchačky.

**Příspěvy** jsou pomocí čerpadla dopravovány do váhy a následně z váhy přepouštěny do míchačky.

**Voda** je z vodovodního řádu napouštěna do zásobníku odkud je následně přečerpávána do váhy a z váhy je přepouštěna do míchačky.

#### 4.2.4.4 Vážení a dávkování surovin

**Kameniva** jsou odvažována zvlášť pro míchačku na „hrubozrný“ beton na vahách KABAG VIGGERT (V1) a zvlášť na míchačku pro „drobnozrný“ beton KABAG VIGGERT (V2).

**Cement** je odvažován na vahách CEM 1 a CEM 2.

**Pigmenty** jsou odvažovány na vahách BA 1.

**Příspěvy** jsou odvažovány na vahách PR 1.

**Voda** je odvažována na vahách V1 a V2.

#### 4.2.4.5 Výroba čerstvého betonu

Výroba betonu může probíhat nezávisle na sobě ve dvou míchačkách. Pokud se vyrábí pouze jednovrstvý výrobek, beton je připravován v jedné míchačce (míchačka pro výrobu jádrového („hrubozrného“) betonu - Kabag 1125). Vyrábí-li se dvouvrstvý výrobek, výroba betonu probíhá nezávisle na sobě ve dvou míchačkách (výroba jádrového („hrubozrného“) betonu a výroba betonu pro nášlapnou vrstvu („drobnozrný“ beton) - Kabag 375).

**Výroba jádrového („hrubozrnného“) betonu** probíhá v míchačce Kabag 1125 o objemu  $1,125 m^3$ . Objem dávky (objem vyráběného betonu) závisí na druhu vyráběného betonového zboží. Množství vyráběného betonu volí obsluha výrobního stroje dle druhu výrobku, popř. jiných skutečností. Obsluha má v řídicí jednotce míchačky nastaveny receptury, které vytváří a zadává výrobní ředitel. Zásah do složení betonu (tj. změnu/úpravu receptury pro výrobu betonu) může provádět obsluha pouze po odsouhlasení nebo návrhu výrobního ředitele. Kontrola konzistence vyráběného betonu je sledována pomocí elektromagnetické sondy umístěné na dně míchačky. Pro ověření správné konzistence vyráběného betonu provede obsluha stroje vizuální kontrolu betonu přímo v míchačce (vždy při rozjezdu míchačky a jsou-li pochybnosti). Vyrobený beton je následně vysypán do násypky výrobního stroje (zavážecí vozík).

**Výroba betonu pro nášlapnou vrstvu („drobnozrnný“ beton)** probíhá v míchačce Kabag 375 o objemu  $0,375 m^3$ . Objem dávky (objem vyráběného betonu) závisí na druhu vyráběného betonového zboží. Množství vyráběného betonu volí obsluha výrobního stroje dle druhu výrobku, popř. jiných skutečností. Obsluha má v řídicí jednotce míchačky nastaveny receptury, které vytváří a zadává výrobní ředitel. Zásah do složení betonu (tj. změnu/úpravu receptury pro výrobu betonu) může provádět obsluha pouze po odsouhlasení nebo návrhu výrobního ředitele. Kontrola konzistence vyráběného betonu je sledována pomocí elektromagnetické sondy umístěné na dně míchačky. Pro ověření správné konzistence připravovaného betonu, popř. ověření barevnosti betonu provede obsluha stroje vizuální kontrolu betonu přímo v míchačce (vždy při rozjezdu míchačky a jsou-li pochybnosti). Vyrobený beton je následně vysypán do násypky výrobního stroje (zavážecí vozík).

#### 4.2.4.6 Výroba betonového zboží

Výroba betonového zboží na výrobním stroji AME (PFS 1300) spočívá v součinnosti několika postupných kroků: plnění výrobní formy betonem, jeho správného zpracování (zhutnění) pomocí vibrace a lisování a odformování vzniklého betonového zboží. Takto vyrobené betonové zboží je po odformování na výrobní desku transportováno pomocí dopravníku k vizuální kontrole obsluhy stroje.

#### 4.2.4.7 Vizuální kontrola betonového zboží

Vizuální kontrolu betonového zboží provádí obsluha stroje (popř. i další poučená osoba), která ověřuje, zda má výrobek předepsané parametry (rozměry, vzhled, barva, konzistence betonu, kvalita povrchu atd.). Pokud obsluha shledá určitý nedostatek oproti požadavku, musí provést kroky k jeho odstranění. Pokud obsluha stroje není schopna nedostatek odstranit, informuje ihned vedoucího provozu, který se ihned podílí na jeho odstranění. Pokud ani ten nesjedná nápravu a není schopen nedostatek odstranit, informuje neprodleně vedoucího výroby, který zajistí nápravu. Vedoucí výroby neprodleně informuje výrobního ředitele. Pokud se nepodaří nedostatek odstranit během výroby, musí se výroba zastavit, aby nedošlo ke snížení kvality vyráběného betonového zboží.

Vizuální kontrola čerstvého betonového zboží slouží pouze k řízení a kontrole výrobního procesu. Obsluha stroje neprovádí při vizuální kontrole čerstvého betonového zboží třídění výrobků dle jejich jakosti.

Pro kontrolu jsou sestavena pravidla vycházející z [75].

#### 4.2.4.8 Zrání betonového zboží

Po vizuální kontrole je vyrobené betonové zboží umístěno pomocí zavážecího zařízení do košů, které jsou po zaplnění ukládány na skládku čerstvých výrobků. Zde je betonové zboží ponecháno v klidu k dosažení potřebných vlastností k jeho paletizaci (dosažení manipulačních pevností). Pokyn k provedení paletizace dává obsluze paletizační linky vedoucí provozu.

#### 4.2.4.9 Výstupní kontrola betonového zboží

Výstupní kontrola betonového zboží má za úkol odstranit před paletizací neshodné výrobky od kvalitní výroby. Neshodné výrobky jsou ručně nebo pomocí mechanických kleští (v závislosti na druhu výrobku) odebírány z výrobních podložek a jsou ukládány na palety k tomu určené. Toto zboží se následně označí jako výrobky II. jakosti a po zaplnění palety se zabezpečením proti posuvu fixační fólií.

Pokud je betonové zboží (výrobky) v takovém stavu, že jej není možno zařadit ani do nižší třídy jakosti, jsou tyto výrobky umístěny do kontejneru a následně vyvezeny na skládku a poté recyklovány.

#### 4.2.4.10 Povrchová úprava

Pokud je vyrobeno betonové zboží, které se má ještě dále upravovat (tzv. polotovary), kontrola jeho kvality a následná paletizace probíhá stejným způsobem jako u hotového betonového zboží.

#### 4.2.4.11 Paletizace

Betonové zboží, které projde vizuální kontrolou je ručně ukládáno na palety. Mezi jednotlivé řady betonového zboží jsou vkládány tkaninové vložky, které mají zabránit poškození povrchu zboží při transportu. Po zaplnění palety je betonové zboží označeno štítkem a zabezpečeno proti posuvu fixační fólií.

#### 4.2.4.12 Transport výrobku pro povrchovou úpravu na meziskládku

Výrobky uložené na paletách (tzv. polotovary) jsou pomocí vysokozdvizného vozíku převezeny na meziskládku výrobků (polotovarů), kde jsou uloženy na určené místo, za což zodpovídá hlavní skladník.

#### 4.2.4.13 Provedení povrchové úpravy

Povrchová úprava spočívá v tryskání povrchu výrobku pomocí ocelových „broků“, které jsou pomocí lopatek, umístěných na oběžných kolech, vháněny na povrch výrobku. Z povrchu výrobku dojde k otryskání části cementového tmele.

#### 4.2.4.14 Výstupní kontrola po povrchové úpravě

Betonové zboží je po provedení povrchové úpravy (po otryskání, štípání, otloukání) opět podrobena vizuální kontrole, která má za úkol roztrždit výrobky dle jejich kvality, tzn. má dojít k odstranění neshodných výrobků od kvalitní výroby. Neshodné zboží se ukládá na samostatné

palety, které se po zaplnění označí jako výrobky II. jakosti a následně se proti posuvu zabezpečí fixační fólií.

Betonové zboží, které projde vizuální kontrolou je ručně ukládáno na palety. Mezi jednotlivé řady betonového zboží jsou vkládány tkaninové vložky, které mají zabránit poškození povrchu zboží při transportu. Po zaplnění palety je betonové zboží označeno štítkem a zabezpečeno proti posuvu fixační fólií.

#### 4.2.4.15 Transport na skládku

Výrobky uložené na paletách jsou pomocí vysokozdvížného vozíku převezeny na skládku výrobků, kde jsou uloženy na odpovídající místo, za což zodpovídá hlavní skladník.

#### 4.2.4.16 Kontrolní a zkušební plán

Kontrolou kvality se v případě tohoto výrobního procesu rozumí kombinace činností a rozhodnutí v souladu se specifikacemi a kontrolami k získání jistoty, že specifikované požadavky jsou splněny. Kontrola kvality se skládá ze dvou odlišných, ale vzájemně propojených činností, jmenovitě *kontroly výroby* a *kontroly shody*.

Kontrola výroby zahrnuje všechna opatření nezbytná k dodržení a usměrnění kvality výrobků v souladu se stanovenými požadavky. Zahrnuje inspekce a zkoušky, přičemž se využívají výsledky ověřování zařízení a zkoušek základních materiálů, mezioperační a výstupní kontroly výrobků. Všechna potřebná vybavení a zařízení musí být k dispozici k provádění nutných inspekcí a zkoušek zařízení, materiálů a výrobků. Všechny důležité údaje z kontrol výroby musí být zaznamenány v deníku nebo jiném dokumentu. Kontrola výrobního procesu, vstupní kontrola surovin, kontrola zařízení a výrobků je předmětem přílohy A.

Vstupní kontrola surovin se odehrává podle schématu 25 v příloze A. Kontrolu zařízení provádí především operátor mísičího centra, který kontroluje vizuálně denně správnost chodu vázícího zařízení na cement, kamenivo, vodu, přísady a mísičího zařízení. Případné zjištěné nedostatky ihned hlásí mistrovi výroby. Vedoucí závodu objednává u externích organizací přezkoušení přesnosti vážení vah na jednotlivé složky při instalaci, nebo dle národních předpisů. Minimálně jednou za měsíc provádí mistr výroby porovnání skutečné hmotnosti složek v čerstvém betonu s požadovanou hmotností dle receptury srovnáním údajů nastavených v mísičím centru s údaji na vahách jednotlivých složek při navažování, pro posouzení přesnosti dávkování složek. Při zjištění nedodržení tolerance provádí kontrolu znovu. Nevyhoví-li ani v tomto případě, je nutné provést seřízení vah servisní organizací. Taktéž jednou za měsíc provádí mistr výroby kontrolu přesnosti dávkování kapalných přísad vizuální kontrolou na odměrných válcích automatického dávkovače přísad porovnáním s požadovanou hodnotou. Kontrola zařízení se děje podle schématu uvedeného příloze A v tabulce 26. Kontrola hotových výrobků, především betonových dlažebních bloků, se provádí podle schématu uvedeného v příloze A v tabulce 27.

### 4.3 Identifikace rizik a nebezpečí

Veškerá rizika a nebezpečí sledovaného výrobního procesu jsou v této práci kvantifikována v jednotlivých oblastech zájmu:

- *Kvalita* - Zde jsou kvantifikována rizika ovlivňující kvalitu a shodu výsledného produktu se specifikací. Obecně se integrovaný systém řízení kvality opírá o normu ČSN EN ISO 9001: Systémy managementu kvality - Požadavky [15] a je popsán v části 3.3.2.
- *Environment* - Shrnuje rizika spojená s možným poškozením životního prostředí. Více viz část 3.3.3 a ČSN EN ISO 14001: 2005. Systémy environmentálního managementu - Požadavky s návodem pro použití [17]
- *Bezpečnost* - Oblast BOZP (bezpečnost a ochrana zdraví při práci) je obecně diskutována v části 3.3.4. Stěžejní normativní předpis je ČSN OHSAS 18001: 2008. Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci - Požadavky [24].

#### 4.3.1 Klasická kvantifikace rizik metodou FMEA a FMECA

Pro identifikaci a následnou kvantifikaci rizik využijeme vybrané nástroje řízení kvality jako jsou Ishikawův diagram příčin a následků a Paretovu analýzu (viz část 3.4). V této části je kvantifikace provedena klasickými metodami popsány v 3.2. Kvalitativní a environmentální rizika jsou identifikována a následně kvantifikována pro každý z hlavních kroků sledovaného výrobního procesu samostatně (viz část 4.2.4). Vzhledem k rozdílnosti požadavků a charakteru rizik BOZP jsou tyto rizika zpracovávány pro celý výrobní proces společně.

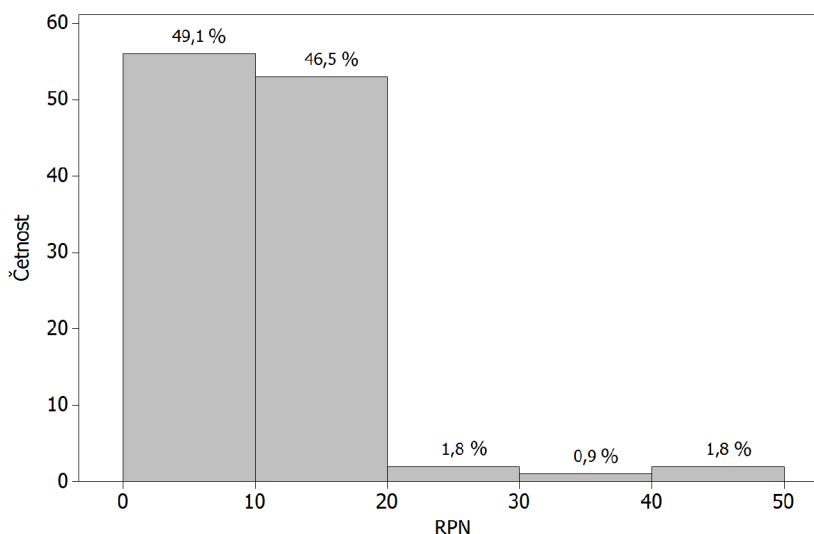
Kvantifikaci rizik musí vždy předcházet velice pečlivá identifikace rizik ve všech oblastech zájmu (viz 4.3). Identifikace rizik byla prováděna formou brainstormingu (více viz [12]) za účasti osob:

- ředitel výroby,
- vedoucí výroby,
- vedoucí provozu,
- představitel vedení pro integrovaný systém řízení,
- manažer integrovaného systému řízení,
- bezpečnostní technik,
- externí konzultant.

##### 4.3.1.1 Vyhodnocení analýzy a kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik je uvedena v příloze B. V částech B.1 až B.14 je provedeno vyhodnocení rizik každého kroku sledovaného výrobního procesu. Nejzávažnější rizika podle Paretovy analýzy jsou shrnuty v tabulkách 45 a 46 v části B.15 přílohy B.

Na obrázku 20 je znázorněn histogram číselných hodnot čísla kritičnosti *RPN*, který ukazuje, že 95,6% kvalitativních a environmentálních rizik leží v intervalu 0 – 20. To znamená, že těchto 95,6% rizik představuje podle tabulky 4 maximálně střední riziko. Zbývajících 4,4% rizik představují rizika „významná“ a „velmi významná“. Jako kritické nebylo vyhodnoceno žádné z kvalitativních a environmentálních rizik.

Obrázek 20: Histogram čísla *RPN*

Nejvýznamnější kvalitativní a environmentální rizika ( $RPN > 20$ ) jsou:

- 3K-4: Nprovedení revizí,
- 5K-11: Nprovedení revizí a kontrol,
- 6K-1: Porucha výrobní linky,
- 5E-1: Odpadové hospodářství.

#### 4.3.2 Vyhodnocení analýzy a kvantifikace rizik BOZP

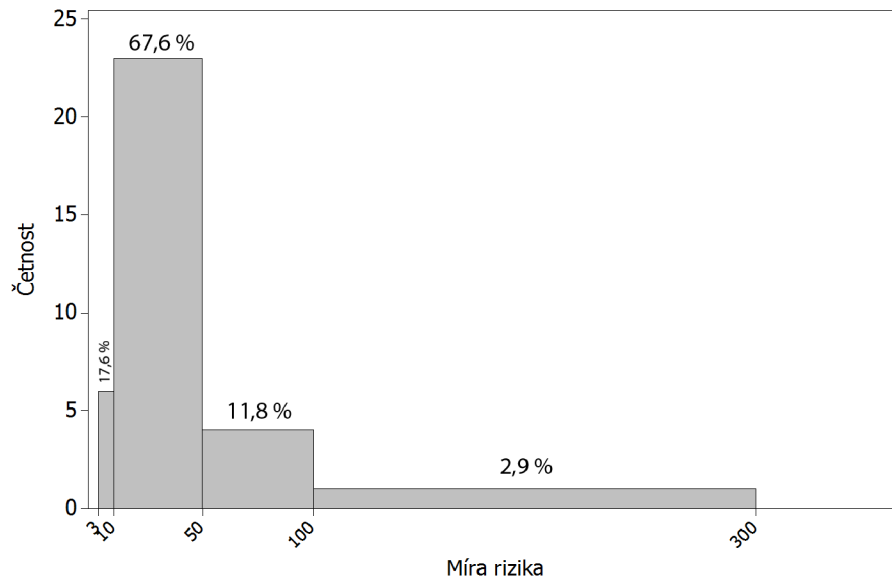
BOZP rizika byla vyhodnocována podle zásad popsaných v části 3.3.4. Stejně jako v případě kvalitativních a environmentálních rizik byly rizika BOZP sestavovány na základě brainstormingu za účasti osob zmíněných v části 4.3.1. Výstupem brainstormingu je Ishikawův diagram příčin a následků znázorněný na obrázku 60 v příloze C. V tabulkách 47 až C v příloze C je uvedeno shrnutí a vyhodnocení všech rizik BOZP. Ohodnocení jednotlivých rizik bylo provedeno za účasti výše uvedených osob.

Z Paretovy analýzy (obrázek 59 v příloze C) vyplývají jako nejzávažnější následující rizika:

- B - 1: Úraz el. proudem,
- B - 21: Ruční manipulace,
- B - 11: Manipulační zdvižné vozíky,
- B - 3: Jednoduché a dvojitě žebříky,
- B - 20: Úklid provozních prostor,
- B - 2: Podlahy, komunikace - pohyb osob,
- B - 4: Destrukce tlakového celku TNS s ohrožením osob dynamickými účinky kovových částí,
- B - 15: Práce s akumulátorovými bateriemi, jejich nabíjení,
- B - 23: Skladovací regály,
- B - 27: Ruční vozíky - vodorovná doprava,
- B - 5: Pád osoby z výšky při mytí oken, čištění stropních svítidel,
- B - 6: Manipulační prostory - pád osoby z rampy,
- B - 7: Atmosférická elektřina - zasažení bleskem,
- B - 8: Zachycení a vtažení končetiny pohybující se částí stroje,
- B - 19: Podlahy, komunikace,



- B - 24: Údržba a opravy strojů a zařízení,
- B - 22: Nakládka a vykládka dopravních prostředků.



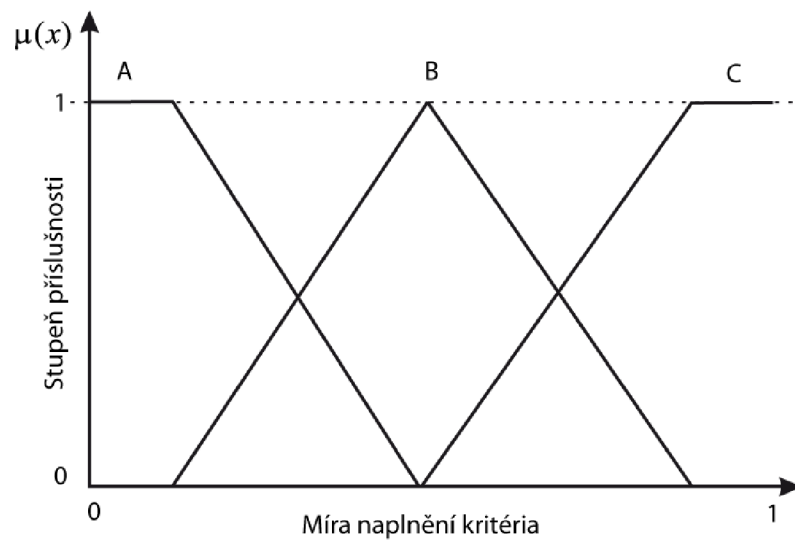
Obrázek 21: Histogram rizik BOZP

Obrázek 21 znázorňuje formou histogramu rozložení jednotlivých rizik BOZP s ohledem na jejich ohodnocení. Nejvíce rizik (67,6 %) spadá podle tabulky 8 v části 3.3.4 do kategorie mírných rizik. 11,8 % rizik jsou nežádoucí a 2,9 % (jedno riziko) tvoří rizika nepřijatelná.

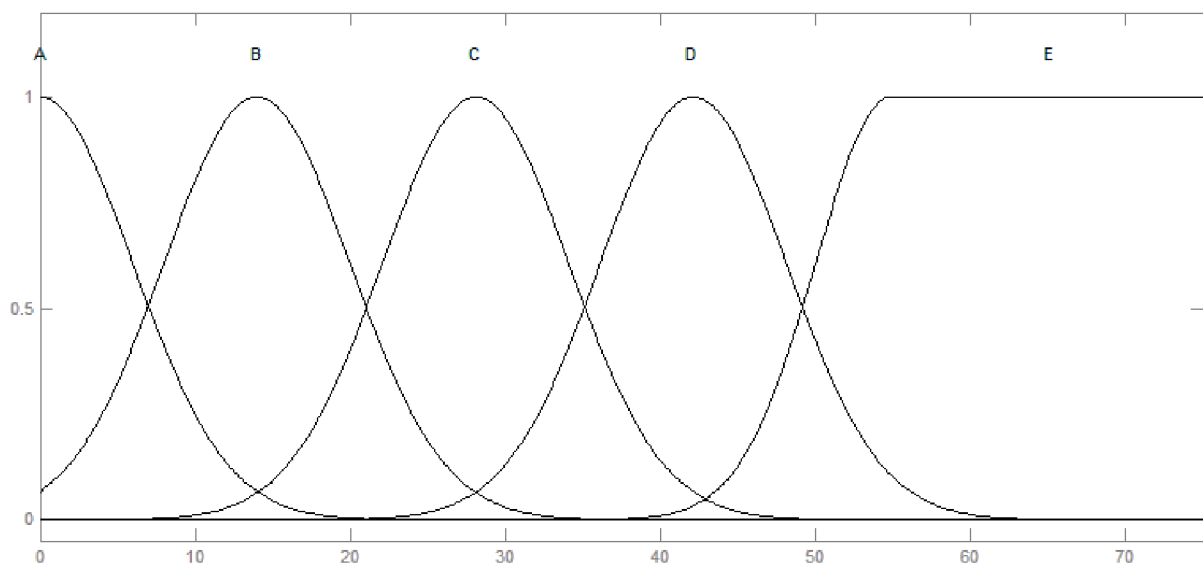
#### 4.3.3 Kvantifikace rizik pomocí fuzzy inference systémů

Podle teoretických podkladů uvedených v části 3.5 a 3.7.2 byly zkonstruovány dva FIS. První FIS byl sestaven pro hodnocení rizik kvalitativních a environmentálních, druhý pro hodnocení rizik BOZP. Vzájemně se liší charakterem báze dat a pravidel a drobnými změnami v samotném inferenčním procesu FIS. Struktura FIS pro hodnocení kvalitativních a environmentálních rizik a vstupní a výstupní proměnné je znázorněna na obrázku 15 v části 3.7.2. Výstupním parametrem je číslo kritičnosti *RPN* (v této části hovoříme o tzv. *fuzzy RPN*). Vstupní proměnné jsou *S* (závažnost rizika), *O* (pravděpodobnost výskytu poruchy) a *D* (vyjadřuje možnost detekce vady). Všechny proměnné jsou z pohledu teorie fuzzy množin a fuzzy logiky jazykovými proměnnými, jejich hodnoty jsou tedy slovní hodnoty. Konstrukce slovních hodnot vychází především z tabulek 2, 3 a 1 uvedených v části 3.2. Obrázky 22 a 23 ukazují tvary funkcí příslušnosti slovních hodnot všech proměnných. V obou případech se jedná o FIS typu Mamdani s defuzzifikací centroid (těžiště plochy), kde logické spojky and a or jsou konstruovány prostřednictvím operací *minimum* a *maximum*. Pro slovní hodnoty výstupní proměnné byl v obou FIS zvolen tvar Gaussovy křivky při počtu 5 (viz obrázek 23). Pro vstupní proměnné byly zvoleny tři slovní hodnoty pokrývající interval (univerzum)  $\langle 0; 1 \rangle$ . Funkce příslušnosti těchto slovních hodnot jsou ve tvaru trojúhelníku a lichoběžníku (viz obrázek 22) s hladinou průseku 0,5.

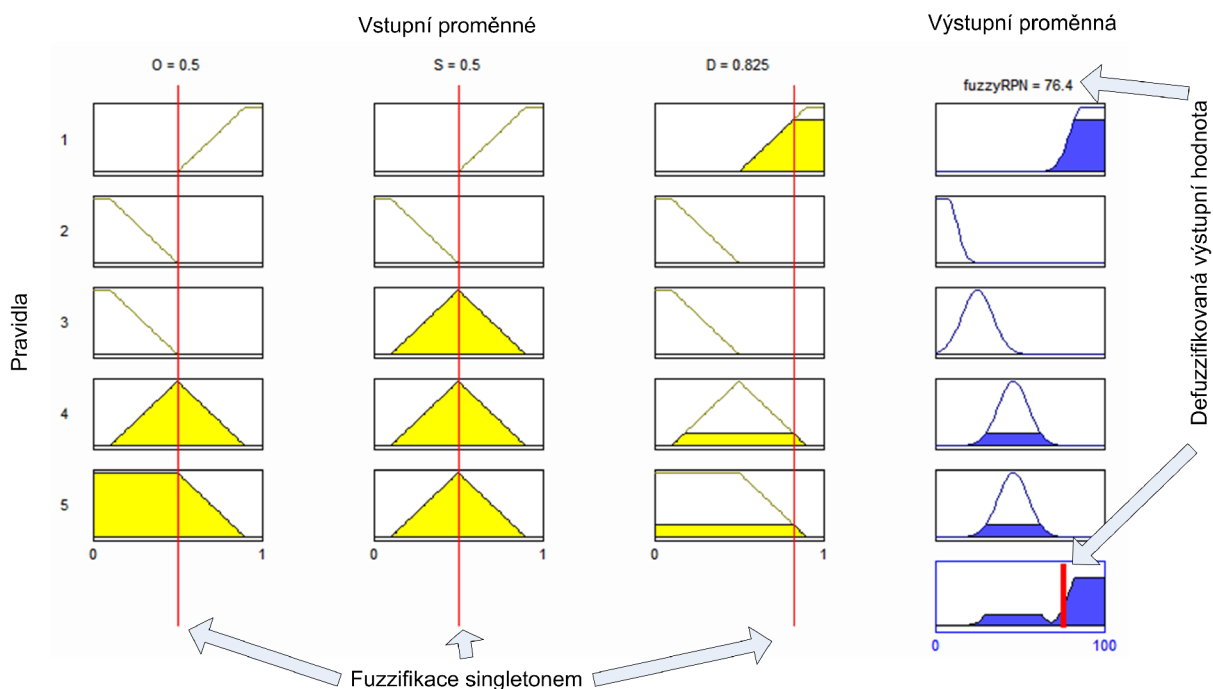
Obrázek 24 ukazuje schématicky mechanismus inferenčního procesu. Fuzzifikované vstupní hodnoty (metoda singleton, viz část 3.5.2, obrázek 8) a defuzzifikovaná výstupní hodnota *fuzzy RPN* je zde znázorněna červeně. Obrázky 25 a 26 znázorňují tzv. *řídící plochy* FIS (více viz např. [5]). Na obrázku 22 je veličina označující hodnoty vstupních proměnných popsána jako *míra naplnění kritéria*.



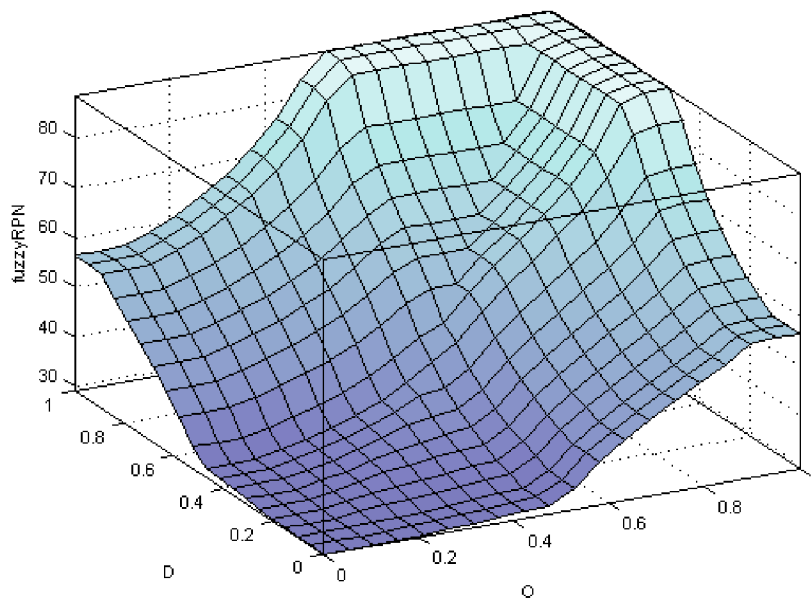
Obrázek 22: Slovní hodnoty vstupních proměnných



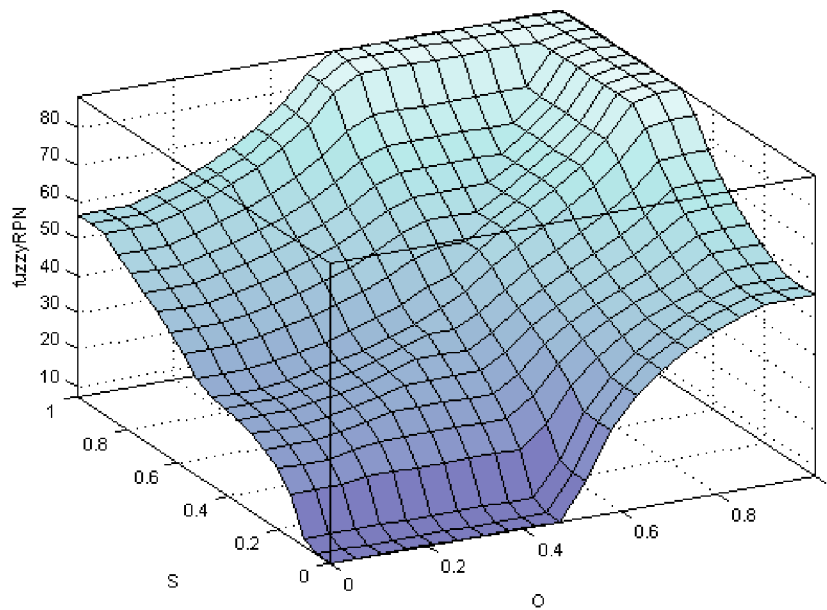
Obrázek 23: Slovní hodnoty výstupní proměnné FIS - fuzzy RPN



Obrázek 24: Ukázka vyhodnocení pravidel - inferenční proces typu Mamdani

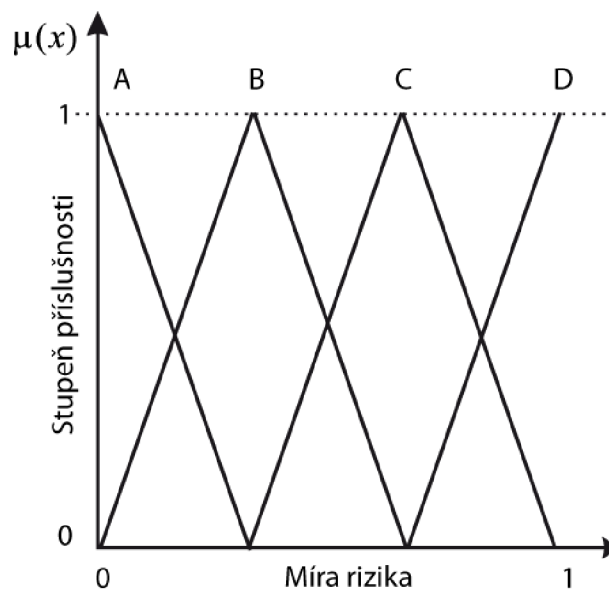


Obrázek 25: Řídící plocha FIS

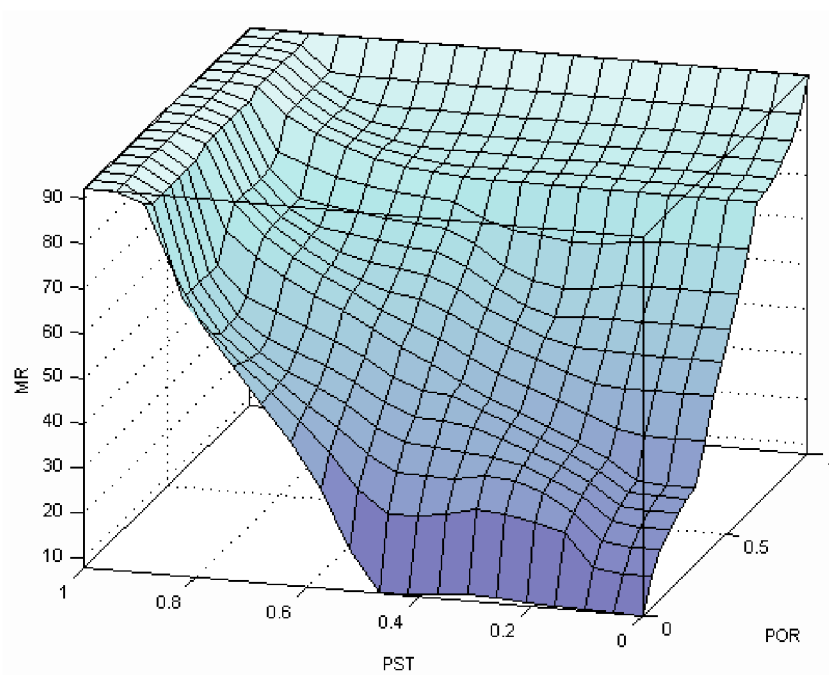


Obrázek 26: Řídící plocha FIS

Pro vyhodnocení rizik BOZP byl zkonstruován FIS s dvěmi vstupními proměnnými (pravděpodobnost výskytu rizika a poranění) a jednou výstupní proměnnou, která vyjadřuje míru rizika. Slovní hodnoty vstupních proměnných opět pokrývají interval  $\langle 0; 1 \rangle$ . Liší se pouze charakter hodnot proměnné vyjadřující poranění při realizaci rizika, která je definovány čtyřmi hodnotami s funkcemi příslušnosti ve tvaru trojúhelníku (viz obrázek 27).



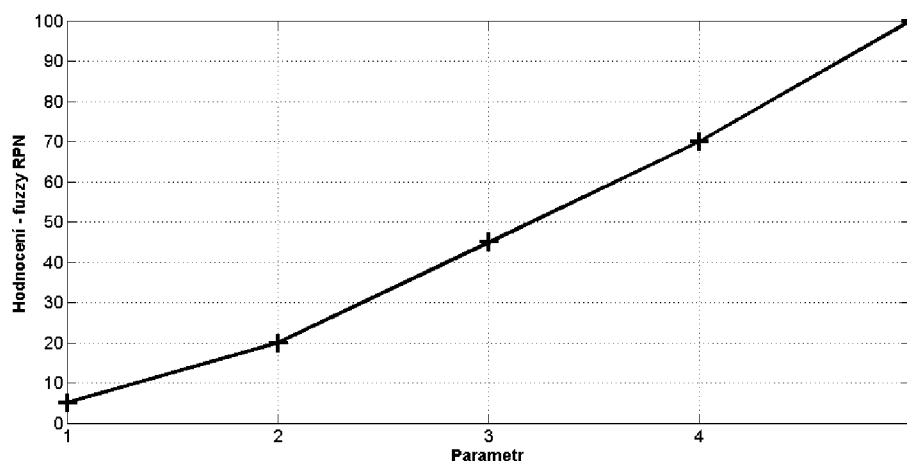
Obrázek 27: Slovní hodnoty vyjadřující poranění při realizaci rizika



Obrázek 28: Řídící plocha FIS pro vyhodnocování rizik BOZP. PST - pravděpodobnost výskytu rizika; POR - poranění, MR - míra rizika

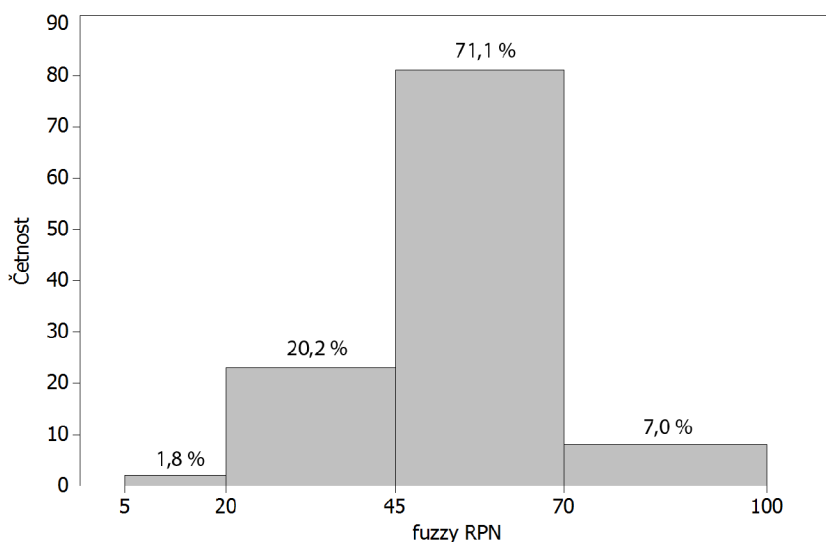
<b>Parametr</b>	<b>Popis parametru</b>	<b>Hodnocení</b>
Minimální	Činnost, ve které riziko vzniká, splňuje legislativní, normativní a další podmínky, potřeba řešení problémů není naléhavá, výskyt rizika je snadno předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a snadno použitelná	do 5
Střední	Rizika spojená s činností nejsou významná, potřeba řešení problémů není naléhavá, výskyt je častý, snadno předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a standardně používána	6 - 20
Významná	Rizika spojená s činností mohou způsobit neplnění legislativních podmínek, potřeba řešení je naléhavá, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a standardně používána, výskyt rizika nepůsobí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životním prostředím, zjednání nápravy je v silách firmy.	21 - 45
Velmi Významná	Potřeba řízení rizik v činnosti je prioritní, zainteresované strany a skupiny projevují o dané riziko zájem, je nutné školení a kontrola pracovníků. Rizika spojená s činností mohou způsobit neplnění legislativních podmínek, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a používána, výskyt rizika zpravidla způsobí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životním prostředím, zjednání nápravy je v silách firmy	46 - 70
Kritická	Riziko je z hlediska firmy extrémně významné, potřeba řešení je prioritní, zainteresované strany a skupiny projevují o dané riziko vážný zájem, je nutné školení a kontrola pracovníků, výskyt je předvídatelný, opatření k předcházení jsou známa a používána, výskyt rizika zřejmě působí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životního prostředí, zjednání nápravy zpravidla není zcela v silách firmy.	71 - 100

Tabulka 11: Hodnocení kvalitativních a environmentálních rizik

Obrázek 29: Grafické znázornění hodnocení fuzzy *RPN*

#### 4.3.3.1 Vyhodnocení analýzy a kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

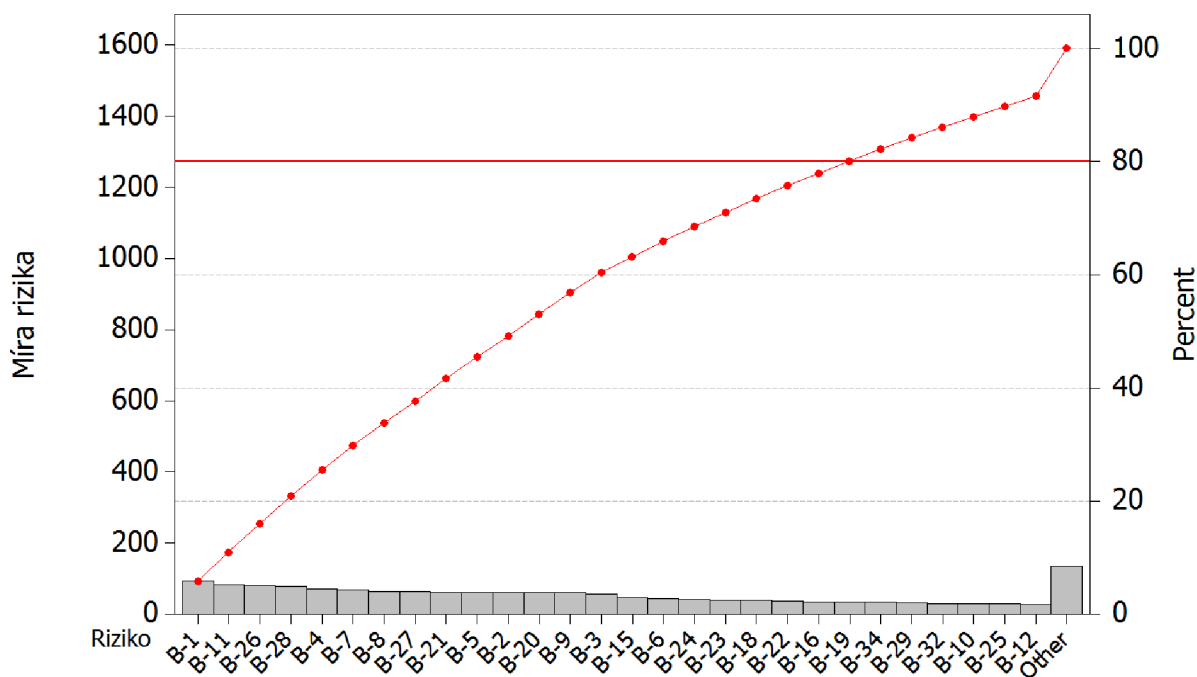
Paretovy diagramy výsledných ohodnocení jednotlivých rizik prostřednictvím sestaveného FIS jsou obsahem přílohy D. Vyhodnocená nejzávažnější rizika jsou uvedena v tabulkách 51 a 52 také v příloze D. Na obrázku 30 je znázorněn histogram defuzzifikovaných výstupních hodnot FIS (*fuzzy RPN*). Intervaly na ose  $x$  jsou uzpůsobeny podle tabulky 11, kde jsou uvedeny třídy hodnocení kvalitativních a environmentálních rizik. Jak je z grafu patrné, nejvíce rizik (71,1 %) leží v intervalu 45 - 70, což značí rizika velmi významná. 7 % všech rizik bylo dokonce vyhodnoceno jako kritických.

Obrázek 30: Histogram - *fuzzy RPN*

#### 4.3.3.2 Vyhodnocení analýzy rizik BOZP

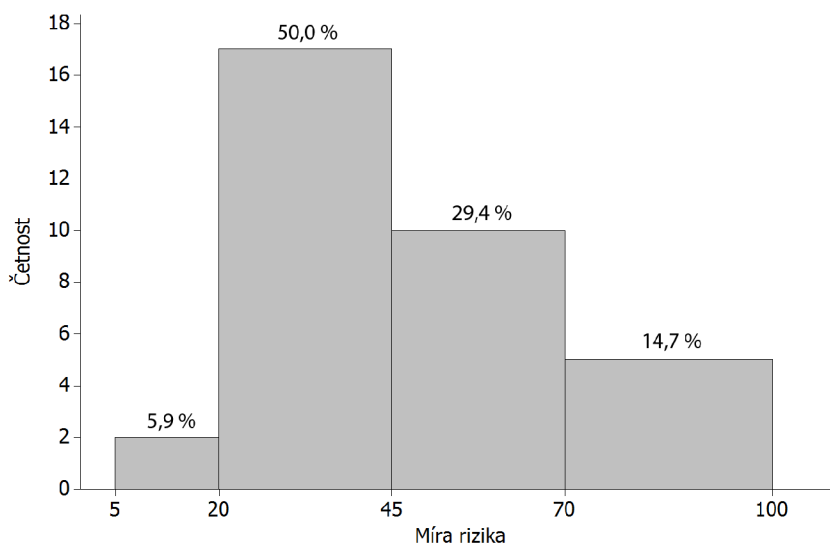
V tabulce 53 v příloze D jsou uvedeny všechna rizika BOZP včetně expertního ohodnocení vstupních proměnných a vypočtené míry rizika prostřednictvím FIS. Z Paretovy analýzy míry

rizik znázorněné na obrázku 31 vyplývají nejzávažnější rizika BOZP, kterým je potřeba věnovat zvýšenou pozornost. Jejich výčet je uveden v tabulce 54.



Obrázek 31: Paretův diagram rizik BOZP vyhodnocených prostřednictvím FIS

Na obrázku 32 je znázorněn histogram míry rizik BOZP vyhodnocených prostřednictvím FIS. Intervaly na ose  $x$  jsou uzpůsobeny podle tabulky 11, kde jsou uvedeny třídy hodnocení kvalitativních a environmentálních rizik. Jak je z grafu patrné, nevíce rizik (50,0 %) leží v intervalu 20 - 45, což značí rizika významná. 29,4 % všech rizik bylo označeno jako velmi významné a 14,7 % jako kritické.



Obrázek 32: Histogram - vyhodnocení rizik BOZP prostřednictvím FIS



#### 4.4 Aplikace fuzzy Markovových řetězců ve výrobě stavebních hmot a dílců

V části 3.8 jsou popsány základní poznatky o Markovových řetězcích a jejich využití v oblasti modelování kvality a rizik výrobních procesů stavebních hmot a dílců. Tato část práce je věnována aplikaci těchto poznatků při řešení reálného procesu a také rozšíření klasických teorií prostřednictvím fuzzy množin.

##### 4.4.1 Klasické Markovovy řetězce

Pro konstrukci Markovovy analýzy výrobního procesu využijeme technologický postup, který je popsán v části 4.2 a vývojový diagram procesu - obrázek 19. Nedílnou součástí Markovovy analýzy jsou také informace o výrobním procesu získané na základě statistického pozorování a expertních zkušeností s danou problematikou.

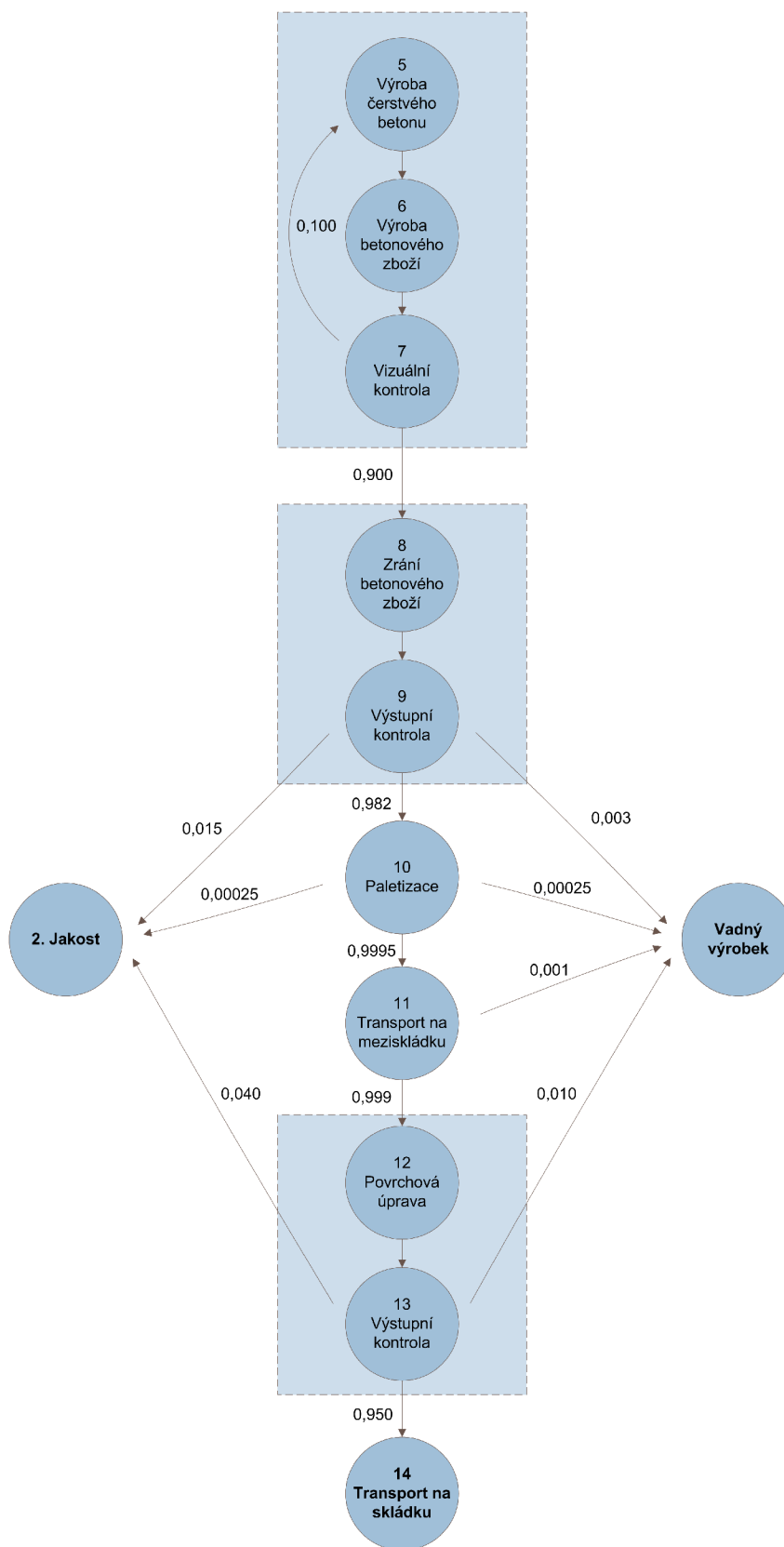
Technologický postup se skládá ze dvou celků, a to výroby čerstvého betonu a zpracování již vyzrálého betonového zboží. Z technologického hlediska se jedná o dva různé procesy, jejichž vstupy a výstupy se liší. Vzhledem k jednoduchosti a přehlednosti Markovova modelu provedeme formální zjednodušení. Budeme uvažovat, že sledovaným procesem prochází od začátku až do konce výrobek, který je výrobními operacemi postupně zpracováván až do podoby finálního shodného výrobku, výrobku druhé jakosti nebo vadného výrobku. Toto zjednodušení je podle autora názoru pouze formální a umožní lepší náhled na výrobní proces.

Všechny výše uvedené informace jsou použity pro konstrukci Markovova diagramu a především matice pravděpodobností přechodu. Pro modelování sledovaného výrobního procesu využijeme homogenní Markovův řetězec s počtem stavů  $a + b$ , kde  $a$  je počet neabsorbujících stavů a  $b$  počet stavů absorbujících (viz 3.8.1).

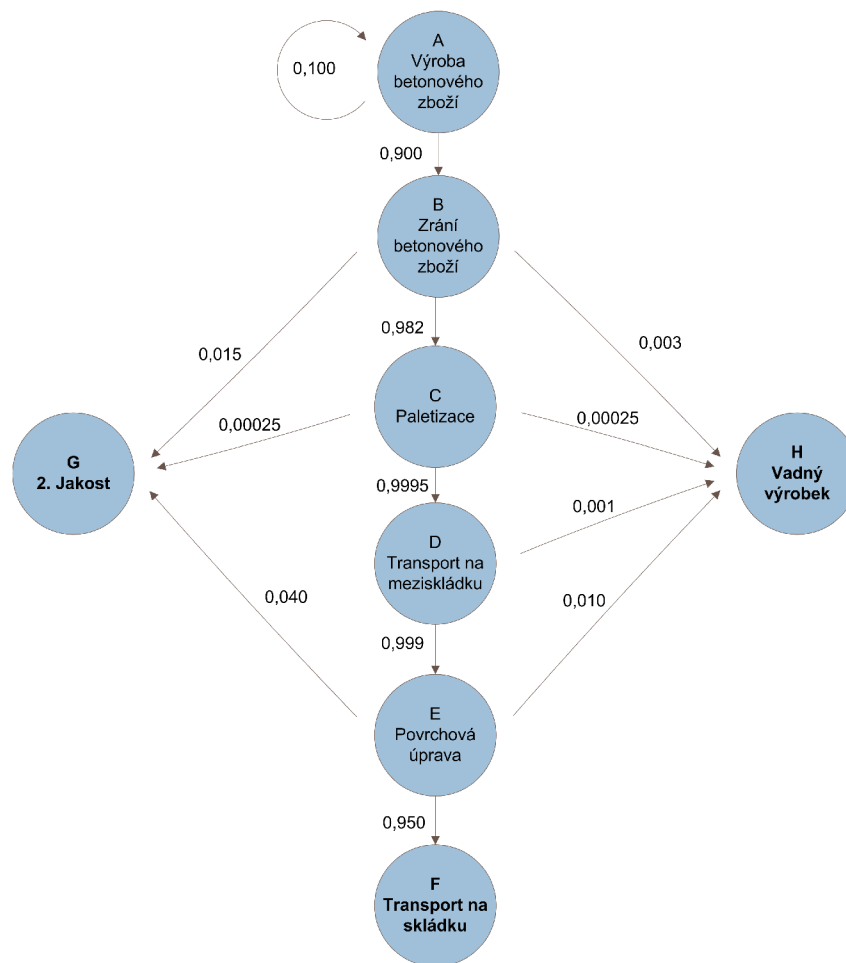
V Markovově diagramu procesu (viz obrázek 33) jsou čísla označena pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými výrobními operacemi. Dále jsou zde obdélníky vyznačeny logické výrobní celky, které jsou vždy zakončeny kontrolou správného provedení dané výrobní operace. Na obrázku 34 je znázorněn zjednodušený Markovův diagram, který zohledňuje právě tyto logické celky technologického postupu. Zde jsou jednotlivé operace označeny  $A$  až  $H$ , kde  $A$  až  $E$  jsou výrobní operace a  $F$ ,  $G$  a  $H$  značí konečné (absorbující) stavy výrobků. V tabulce 12 je matice pravděpodobností přechodu s tímto označením stavů.

	A	B	C	D	E	F	G	H	$\Sigma$
A	0,10000	0,90000	0	0	0	0	0	0	1
B	0	0	0,98200	0	0	0	0,01500	0,00300	1
C	0	0	0	0,99950	0	0	0,00025	0,00025	1
D	0	0	0	0	0,99900	0	0	0,00100	1
E	0	0	0	0	0	0,95000	0,04000	0,01000	1
F	0	0	0	0	0	1,00000	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	1,00000	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	1,00000	1

Tabulka 12: Markovova matice pravděpodobností přechodu



Obrázek 33: Markovův diagram sledovaného procesu



Obrázek 34: Zjednodušený Markovův diagram výrobního procesu

#### 4.4.1.1 Výpočet absolutních pravděpodobností po 5 krocích

V tabulce 13 je uvedena vypočtená matice pravděpodobností přechodu po 5 krocích výrobního procesu  $\mathbf{P}^5$ . Z této matice je možné stanovit rozdělení pravděpodobností stavů výrobků, které vstoupily do výrobního procesu po provedení 5 výrobních operací. To znamená, že nezapočítáváme výrobky, které se začaly vyrábět později. Interpretace výsledků po 5 krocích od vstupu do první operace procesu je uvedena v tabulce 14.

Stav	A	B	C	D	E	F	G	H	$\Sigma$
A	0,00001	0,00009	0,00088	0,00883	0,08825	0,83835	0,05054	0,01304	1
B	0	0	0	0	0	0,93150	0,05447	0,01403	1
C	0	0	0	0	0	0,94858	0,04019	0,01123	1
D	0	0	0	0	0	0,94905	0,03996	0,01099	1
E	0	0	0	0	0	0,95000	0,04000	0,01000	1
F	0	0	0	0	0	1	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	1	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabulka 13: Vypočtená matice pravděpodobností přechodu po 5 krocích

Stav	Pst.	Po 5 krocích od vstupu do 1. operace je:
A	0,00001	<b>0,001</b> % výrobků podrobováno 1. operaci
B	0,00009	<b>0,009</b> % výrobků podrobováno 2. operaci
C	0,00088	<b>0,088</b> % výrobků podrobováno 3. operaci
D	0,00883	<b>0,883</b> % výrobků podrobováno 4. operaci
E	0,08825	<b>8,825</b> % výrobků podrobováno 5. operaci
F	0,83835	<b>83,835</b> % shodných finálních výrobků transportovaných na skládku
G	0,05054	<b>5,054</b> % výrobků 2. jakosti
H	0,01304	<b>1,304</b> % vadných výrobků

Tabulka 14: Interpretace výsledků po 5 krocích od vstupu do první operace procesu

#### 4.4.1.2 Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek

Pro výpočet středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek potřebujeme matici pravděpodobností přechodu převést na kanonický tvar uvedený v 3.8 ve vztahu 21:  $\mathbf{P} =$

$$\left( \begin{array}{c|c} \mathbf{I}_a & \mathbf{0} \\ \mathbf{R} & \mathbf{Q} \end{array} \right) \text{ (viz tabulka 15).}$$

Stav	F	G	H	A	B	C	D	E
F	1,00000	0	0	0	0	0	0	0
G	0	1,00000	0	0	0	0	0	0
H	0	0	1,00000	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0,10000	0,90000	0	0	0
B	0	0,01500	0,00300	0	0	0,98200	0	0
C	0	0,00025	0,00025	0	0	0	0,99950	0
D	0	0	0,00100	0	0	0	0	0,99900
E	0,95000	0,04000	0,01000	0	0	0	0	0

Tabulka 15: Kanonický tvar matice pravděpodobností přechodu procesu

Z kanonického tvaru matice pravděpodobností přechodu vyplývá následující:  $a = 3$  je počet absorbujících stavů procesu a  $b = 5$  značí počet neabsorbujících stavů procesu (viz 3.8.1). Dále matice  $\mathbf{Q}$  a  $\mathbf{R}$  mají tvar:

$$\mathbf{Q} = \left( \begin{array}{ccccc} 0,10000 & 0,90000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,98200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,99950 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,99900 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)_a$$

$$\mathbf{R} = \left( \begin{array}{ccc} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,01500 & 0,00300 \\ 0 & 0,00025 & 0,00025 \\ 0 & 0 & 0,00100 \\ 0,95000 & 0,04000 & 0,01000 \end{array} \right).$$

Po výpočtu obdržíme tzv. fundamentální matici (viz 3.8.1) ve tvaru:

$$\mathbf{M} = (\mathbf{I}_b - \mathbf{Q})^{-1} = \begin{pmatrix} 1,1111 & 1,0000 & 0,9820 & 0,9815 & 0,9805 \\ 0 & 1,0000 & 0,9820 & 0,9815 & 0,9805 \\ 0 & 0 & 1,0000 & 0,9995 & 0,9985 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 & 0,9990 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{pmatrix}, \quad (37)$$

kde  $\mathbf{I}_b$  je jednotková matice o velikosti  $b$ .

Fundamentální matice obsahuje střední hodnoty počtu provedených operací pro jeden výrobek. Operace jsou započítány pro všechny výrobky, tedy shodné finální výrobky korektním způsobem transportované na skládku, vadné výrobky (zmetky) a výrobky druhé jakosti. Střední hodnoty počtu jednotlivých operací provedených na výrobku, který vstoupil do první operace, jsou určeny prvním řádkem této matice. Tyto hodnoty jsou vlastně indexy počtu provedení  $i$ -té operace ( $i = 1, \dots, 5$ ). Interpretace tohoto výsledku je uvedena v tabulce 16.

Stav	Střední počet provedení $i$ -té výrobní operace na jeden výrobek	
A	1,1111	Operací A projde výrobek 1,1111 krát.
B	1,0000	Operací B projde výrobek 1 krát.
C	0,9820	Operací C projde výrobek 0,9820 krát.
D	0,9815	Operací D projde výrobek 0,9815 krát.
E	0,9805	Operací E projde výrobek 0,9805 krát.

Tabulka 16: Interpretace výsledků středních hodnot počtu provedených operací

#### 4.4.1.3 Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu

Matice středních hodnot počtu provedených operací na jeden výrobek ve výrobním procesu (do vzniku finálního výrobku, výrobku druhé jakosti nebo vadného výrobku), když vstupuje do  $i$ -té operace je

$$\mathbf{t} = \mathbf{M}\mathbf{c} = (5,0551; 3,9440; 2,9980; 1,9990; 1,0000)^T, \quad (38)$$

kde  $\mathbf{c} = (1; 1; 1; 1; 1)^T$ . Interpretace výsledků je uvedena v tabulce 17.

Stav	Střední počet provedení operací na jeden výrobek při průchodu $i$ -tou operací.	
A	5,0551	Pokud výrobek vstoupí do operace A, projde 5,0551 operacemi.
B	3,9440	Pokud výrobek vstoupí do operace B, projde 3,9440 operacemi.
C	2,9980	Pokud výrobek vstoupí do operace C, projde 2,9980 operacemi.
D	1,9990	Pokud výrobek vstoupí do operace D, projde 1,9990 operacemi.
E	1,0000	Pokud výrobek vstoupí do operace E, projde 1,0000 operacemi.

Tabulka 17: Interpretace výsledků středních hodnot počtu provedených operací

#### 4.4.1.4 Pravděpodobnosti přechodu z neabsorbujících do absorbujících stavů

Připomeňme, že neabsorbující stav označuje výrobní operace, kterými výrobek prochází a absorbující stavy jsou finální stav výrobku (vadný výrobek, výrobek 2. jakosti a finální shodný výrobek). Matice pravděpodobností přechodů výrobku z neabsorbujících do absorbujících stavů

má tvar:

$$\mathbf{B} = \mathbf{MR} = \begin{pmatrix} 0,9315 & 0,0545 & 0,0140 \\ 0,9315 & 0,0545 & 0,0140 \\ 0,9486 & 0,0402 & 0,0112 \\ 0,9490 & 0,0400 & 0,0110 \\ 0,9500 & 0,0400 & 0,0100 \end{pmatrix} \quad (39)$$

Z této matice vyplývá, že pravděpodobnosti přechodů výrobků, které vstoupily do první operace (označení A) z neabsorbujících stavů do absorbujících, jsou (0,9315; 0,0545; 0,0140). Interpretace tohoto výsledku je uvedena v tabulce 18.

Stav	Pravděpodobnost
F	93,15 % že vznikne shodný finální výrobek.
G	5,45 % že vznikne finální výrobek 2. jakosti.
H	1,40 % že vznikne vadný výrobek.

Tabulka 18: Pravděpodobnost, že výrobek vstupující do operace A přejde do jednoho z absorbujících stavů.

#### 4.4.2 Fuzzy Markovovy řetězce

V části 3.10 je diskutována problematika nasazení Markovových řetězců v situacích, kdy přesně neznáme jednotlivé pravděpodobnosti přechodu mezi stavy procesu nebo jejich odhad je zatížen do značné míry nejistotou. Je zde navrženo užití fuzzy přístupu a práce s vágními pojmy, prostřednictvím kterých je možné modelovat výrobní procesy a vyhnout se výrazným zjednodušením modelu a tím nesourodosti modelu a reálného procesu.

Přístup ukázaný v části 3.10 je založený na nahrazení ostrých hodnot pravděpodobností přechodu fuzzy čísly a následném provedení zpracování s využitím fuzzy aritmetiky (viz část 3.5.1). Matice pravděpodobností přechodu má tvar:

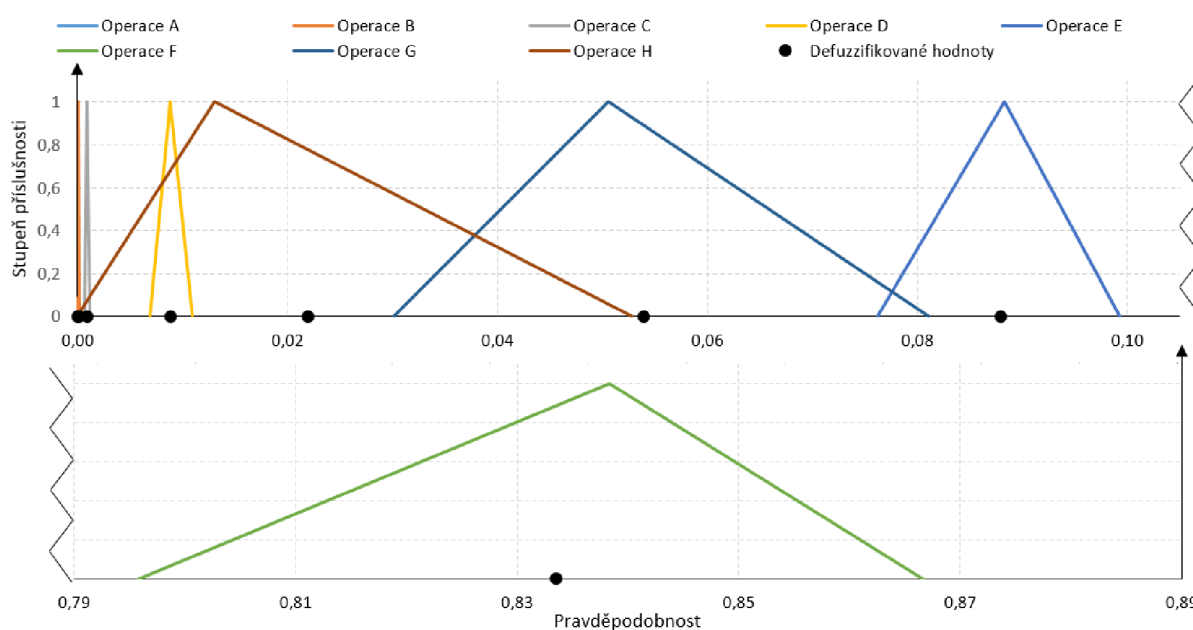
$$\tilde{\mathbf{P}} = \begin{pmatrix} \tilde{p}_{11} & \tilde{p}_{12} & \tilde{p}_{13} & \dots \\ \tilde{p}_{21} & \tilde{p}_{22} & \tilde{p}_{23} & \dots \\ \tilde{p}_{31} & \tilde{p}_{32} & \tilde{p}_{33} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad (40)$$

kde prvky matice pravděpodobností přechodu  $\tilde{p}_{ij}$  jsou reálná fuzzy čísla na intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ .

Z důvodu jednoduchosti a přehlednosti modelu použijeme pro tvorbu funkcí příslušnosti tvar trojúhelníka (viz část 3.5.1 a obrázek 6). Všechny následující výpočty jsou provedeny s využitím  $\alpha$  řezů fuzzy čísel a následného zpracování intervalovou aritmetikou. Tento postup je popsán v části 3.5.1. Jelikož všechny operace, které jsou zde na fuzzy číslech prováděny, jsou monotónní (sčítání a násobení fuzzy čísel se stejným znaménkem), je možné výpočtově zpracovávat pouze nosič  $\text{Supp}(\tilde{p}_{ij})$  (viz vztah 5) a jádro fuzzy čísla  $\text{Ker}(\tilde{p}_{ij})$  (viz vztah 7). Intervalové výpočty se tímto do značné míry zjednoduší.

##### 4.4.2.1 Výpočet absolutních pravděpodobností po 5 krocích

Obrázek 35 znázorňuje funkce příslušnosti fuzzy čísel, které udávají absolutní pravděpodobnosti po 5 výrobních operacích (krocích). Také jsou zde vyznačeny defuzzikované hodnoty, při jejichž vyhodnocení byla použita metoda těžiště (viz 3.5.2).



Obrázek 35: Funkce příslušnosti pravděpodobností po 5 krocích

Jak je z obrázku 35 patrné, defuzzifikované hodnoty se liší od vrcholů jednotlivých fuzzy čísel. To je způsobeno použitou defuzzifikační metodou a také nesymetričností funkcí příslušnosti. Srovnání klasicky vyhodnocených pravděpodobností a vypočtených prostřednictvím fuzzy množin je uvedeno v tabulce 19.

Přístup/Operace	A	B	C	D	E	F	G	H
Klasický	0,00001	0,00009	0,00088	0,00883	0,08825	0,83835	0,05054	0,01304
Fuzzy	0,00001	0,00009	0,00091	0,00890	0,08791	0,83358	0,05392	0,02193
Abs. rozdíl	0,00000	0,00000	0,00002	0,00006	0,00033	0,00477	0,00338	0,00889

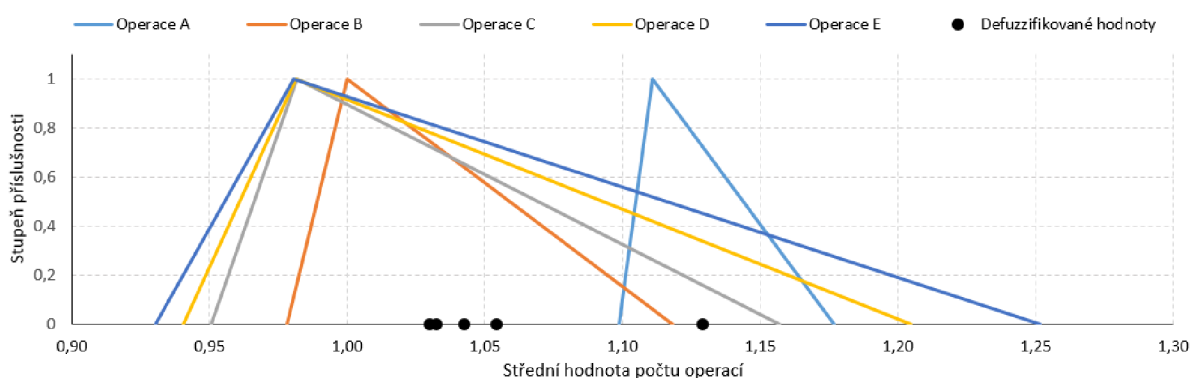
Tabulka 19: Porovnání pravděpodobností po 5 provedených operacích

#### 4.4.2.2 Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek

Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek byly prostřednictvím fuzzy přístupu vyhodnoceny způsobem, který je uveden výše. Výsledné funkce příslušnosti a porovnání defuzzifikovaných hodnot je uvedeno na obrázku 36 a v tabulce 20.

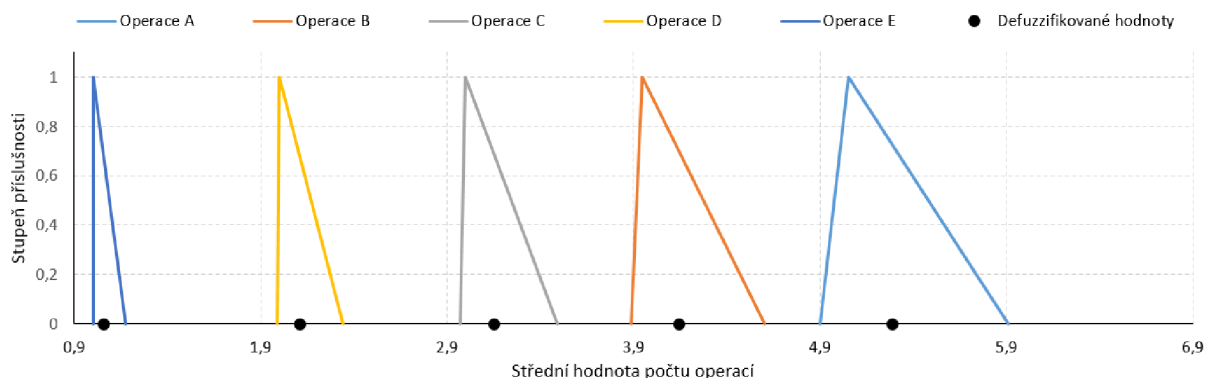
Přístup/Operace	A	B	C	D	E
Klasický	1,1111	1,0000	0,9820	0,9815	0,9805
Fuzzy	1,1289	1,0321	1,0299	1,0423	1,0542
Abs. rozdíl	0,01782	0,03206	0,04792	0,06077	0,07367

Tabulka 20: Porovnání středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek



Obrázek 36: Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek

#### 4.4.2.3 Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu



Obrázek 37: Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu

Přístup/Operace	A	B	C	D	E
Klasický	5,0551	3,9440	2,9980	1,9990	1,0000
Fuzzy	5,2873	4,1439	3,1521	2,1088	1,0584
Abs. rozdíl	0,23220	0,19986	0,15414	0,10985	0,05838

Tabulka 21: Porovnání středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu

#### 4.4.3 Shrnutí

Cílem této části práce bylo ukázat možnosti využití Markovových řetězců při hodnocení kvality a rizik výrobních procesů stavebních hmot a dílců. Přínos Markovových řetězců v oblasti hodnocení rizik spočívá především v možnosti statistického náhledu na výrobní proces, který umožňuje lépe identifikovat uzlové body procesu, které mají zásadní vliv na kvalitu finálního výrobku. Již samotné sestavení Markovova diagramu procesu a jeho následné zjednodušení velice napomáhá výrobní proces pochopit z hlediska rizikovosti jednotlivých operací.



Aplikace upravených Markovových řetězců s využitím fuzzy množin se jeví vhodná pro popis výrobních procesů, které ze statistického hlediska nejsou po dostatečně dlouhou dobu pozorovány. Především se tedy jedná o provozy, ve kterých dochází často k technologickým změnám, nebo o zcela nově zaváděné provozy. Markovovy řetězce tedy mohou sloužit jako vodítko pro úsporu zdrojů, zejména času a nákladů na zvládnutí procesů a udržení jejich výstupů v požadované kvalitě.

#### 4.5 Aplikace upravených indexů způsobilosti v procesu výroby betonového zboží

V části 3.11 jsou popsány klasické způsoby hodnocení způsobilosti výrobních procesů a také je zde ukázán způsob úprav indexů způsobilosti, který se jeví jako vhodnější pro využití v oblasti statistického řízení výroby stavebních materiálů a výrobků. Předmětem této části práce je aplikace dosažených teoretických poznatků při posuzování způsobilosti výroby betonového zboží. Jedná se o totožný výrobní proces, který byl rozebrán v částech 4.2 až 4.3.3 v souvislosti s kvantifikací rizik.

Produktem sledovaného výrobního procesu jsou různé druhy betonových dlažebních bloků (viz část 4.1). V normě ČSN EN 1338: Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody [78] jsou definovány mimo jiné požadavky na fyzikálně mechanické a další charakteristiky těchto betonových dlažebních bloků. Nejsledovanějšími parametry v praxi jsou rozměrová přesnost a pevnost v příčném tahu zkoušená podle přílohy F normy [78]. Rozměrová přesnost je především určena kvalitou a přesností forem, do kterých je čerstvý beton ukládán. Z tohoto důvodu bude v této práci předmětem hodnocení výrobního procesu betonových dlažebních bloků pevnost v příčném tahu. Hodnocení dalších charakteristik by se provádělo obdobně a proto nebude z důvodu zjednodušení součástí této práce.

Kapitola 5.3.3 normy [78], která je věnována požadavkům na pevnost v příčném tahu, uvádí: „*Charakteristická pevnost v příčném tahu  $T$  nesmí být menší než 3,6 MPa. Žádný z jednotlivých výsledků zkoušek nesmí být menší než 2,9 MPa ani mít lomové zatížení menší než 250 N/mm délky porušení.*“ Charakteristická pevnost v příčném tahu vlastně označuje tzv. charakteristickou hodnotu pevnosti v příčném tahu. Termín charakteristická hodnota je definován v části 3.11.3. Norma [78] však neuvádí konkrétní způsob stanovení charakteristické hodnoty. Proto lze předpokládat, že nejvhodnějším způsobem výpočtu bude materiálově nezávislý postup uvedený v eurokódu ČSN EN 1990 [65], který je uveden v části 3.11.3.

Kapitola 6 normy [78] definuje také kritéria hodnocení shody betonových dlažebních bloků. Je zde řečeno, že za účelem zkoušení může výrobce vytvořit skupiny, u nichž se uvažuje, že hodnota vybrané vlastnosti je společná pro všechny výrobky této skupiny. Jako jedna z možných skupin je zde charakterizována „*skupina z hlediska pevnosti: bloky vyráběné za použití téhož typu materiálu a výrobních metod bez ohledu na rozměry a barvu*“. Na sledované výrobní lince (resp. výrobním procesu) společnost vyrábí celkem 25 různých výrobků (betonových dlažebních bloků). Všechny se však vzájemně liší pouze barvou a rozměry. Podle citované normy [78] je tedy možné výrobní proces hodnotit vzhledem k pevnosti v příčném tahu bez ohledu na konkrétní typ výrobku.

Z normy [78] také vyplývá, že zkoušky pevnosti v příčném tahu se musí provádět denně a vzhledem k rozsahu výroby sledovaného výrobního procesu se musí odebrat dvě zkušební tělesa k testování. Zkoušky by samozřejmě měly být prováděny na ověřených zkušebních zařízeních vyhovujících příloze F normy [78] a tedy nejlépe zkušební laboratoří akreditovanou podle ČSN EN ISO/IEC 17025: Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří [82]. Pro posouzení způsobilosti sledovaného výrobního procesu byly autorovi disertační práce poskytnuty výsledky zkoušek pevnosti v příčném tahu betonových dlažebních bloků za dva roky provozu výrobní linky. Tato data jsou dále zpracována.

V této části práce jsou nejprve rozebrány možnosti klasického hodnocení způsobilosti výrobního procesu tak, jak je popsáno v kapitole 3.11.1. Poté je stanoven index  $C_c$  (viz část 3.11.4 a 3.11.5), jehož výpočet vychází především z odhadu charakteristické hodnoty podle části 3.11.3.

#### 4.5.1 Klasické hodnocení způsobilosti výrobního procesu

##### 4.5.1.1 Základní statistická analýza výsledků zkoušek

Ještě než přistoupíme k vyhodnocení způsobilosti procesu výroby betonových dlažebních bloků, provedeme jednoduchý rozbor získaných výsledků zkoušek pevnosti v příčném tahu. V tabulce 22 jsou uvedeny základní popisné statistiky všech získaných dat, tedy celkem 448 výsledků zkoušek pevnosti v příčném tahu.

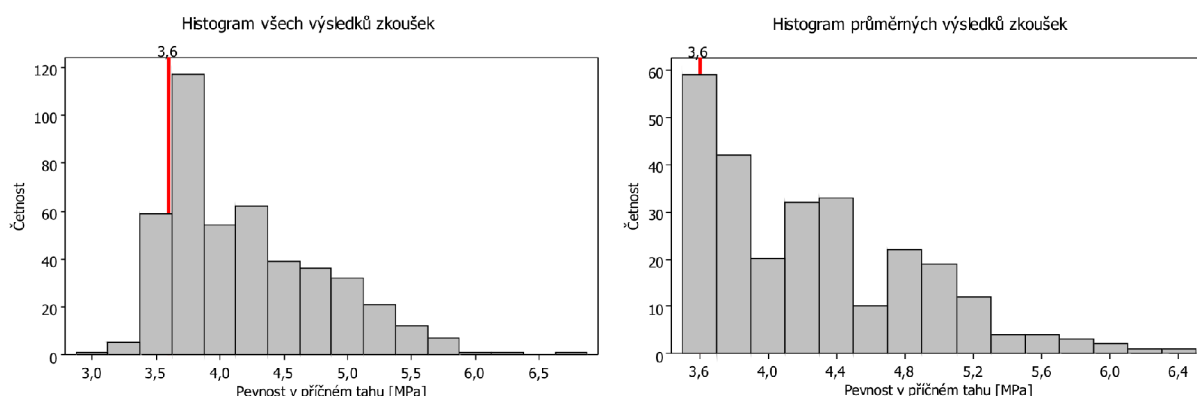
Ar. průměr [MPa]	4,2
Medián [MPa]	4,1
Modus [MPa]	4,1
Směr. odchylka [MPa]	0,61
Rozptyl výběru [MPa <sup>2</sup> ]	0,37
Špičatost [-]	0,19
Šikmost [-]	0,85
Minimum [MPa]	2,9
Maximum [MPa]	6,7
Počet [-]	448

Tabulka 22: Základní popisné statistiky pevnosti v příčném tahu betonových výrobků

Charakteristiky polohy (aritmetický průměr, medián a modus) stejně jako charakteristiky variability (směrodatná odchylka a rozptyl) nenaznačují nic podezřelého. Mírně zážející je však hodnota šikmosti, která se blíží hodnotě 1. Šikmost určuje míru asymetrie rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, kterou pevnost v příčném tahu bezesporu je. Hodnota šikmosti 0,85 ukazuje silné vychýlení dat směrem doleva. Tato charakteristika naznačuje, že využití normálního rozdělení pravděpodobnosti (více viz [44]) nemusí být zcela vhodné. Ve výpočetním prostředí MINITAB 15 byly provedeny statistické testy dobré shody za účelem fitování rozdělení pravděpodobnosti posuzovaných výsledků zkoušek. Konkrétně byl použit test Anderson-Darling (více viz [79]), kterým byla testována vhodnost použití celkem 15-ti různých rozdělení pravděpodobnosti včetně několika transformovaných. Je zvláštní, že všech 15 rozdělení pravděpodobnosti bylo při testování zamítnuto (hladina významnosti 95%). Pevnost v příčném tahu, stejně jako všechny fyzikálně mechanické charakteristiky nejen stavebních materiálů a výrobků, je ze statistického hlediska náhodnou veličinou a proto nějaké rozdělení pravděpodobnosti mít musí. Teoreticky lze u této materiálové vlastnosti předpokládat normální (Gaussovo) rozdělení, případně jeho transformaci logaritmicko-normální (lognormální) rozdělení (více viz [65, 66, 72]) avšak provedené statistické testy na dostatečně reprezentativní sadě výsledků zkoušek ( $n = 448$ ) tuto hypotézu zamítly.

Tento fakt je zajisté způsoben charakterem rozložení dat posuzovaného souboru výsledků zkoušek, který může být zapříčiněn celou řadou faktorů. Prvním z nich je možné smíchání různých statistických souborů do jednoho. Tato příčina je zcela logická, neboť pevnost v příčném tahu byla stanovována na výrobcích různých tvarů. Rozměry a tvar výrobků však byly při vyhodnocení pevnosti brány na zřetel a vzhledem k tomu, že se jedná o tentýž materiál (stejný beton), lze předpokládat možnost smíchání dat bez případného ovlivnění rozdělení pravděpodobnosti.

Možnost vytváření skupin výsledků zkoušek byla již zmiňována v souvislosti s normou [78] (viz část 4.5).



Obrázek 38: Histogram jednotlivých výsledků zkoušek a průměrných hodnot pevnosti v příčném tahu betonových výrobků

Na obrázku 38 jsou znázorněny dva histogramy. První ukazuje rozložení všech výsledků zkoušek pevnosti v příčném tahu a druhý rozložení průměrných hodnot výsledků za jednu časovou výrobní jednotku, což je v tomto případě jeden den (viz výše). Také je zde červeně vyznačena limitní charakteristická hodnota pevnosti v příčném tahu podle [78], a to 3,6 MPa. Již na první pohled je rozložení dat podezřelé vzhledem ke zmiňované hodnotě 3,6 MPa. Největší sloupec histogramu, tedy třída s největší četností, je v těsné blízkosti právě této hodnoty. Vzhledem k již zmiňovanému silně nesymetrickému rozložení dat vyvstává otázka, zda nebyly výsledky zkoušek pevnosti v příčném tahu upraveny tak, aby byly splněny požadavky normy [78]. Samozřejmě se jedná o domněnku autora práce, která je však podložena několikaletou praxí statistické analýzy výsledků zkoušek fyzikálně mechanických a jiných vlastností stavebních materiálů a výrobků.

Je ovšem důležité zmínit, že silná nesymetričnost může být způsobena náhradou některých zkušebních těles, kterou dovoluje norma [78]. V případě nevyhovujících výsledků zkoušek pevnosti v příčném tahu je možné tyto výsledky vyřadit a provést zkoušky na náhradních tělesech. Můžeme tedy konstatovat, že norma [78] tímto vnáší do celkového hodnocení výsledků zkoušek silné systematické vlivy, které způsobují velmi omezené možnosti hodnocení způsobilosti výrobního procesu podle klasických metodik.

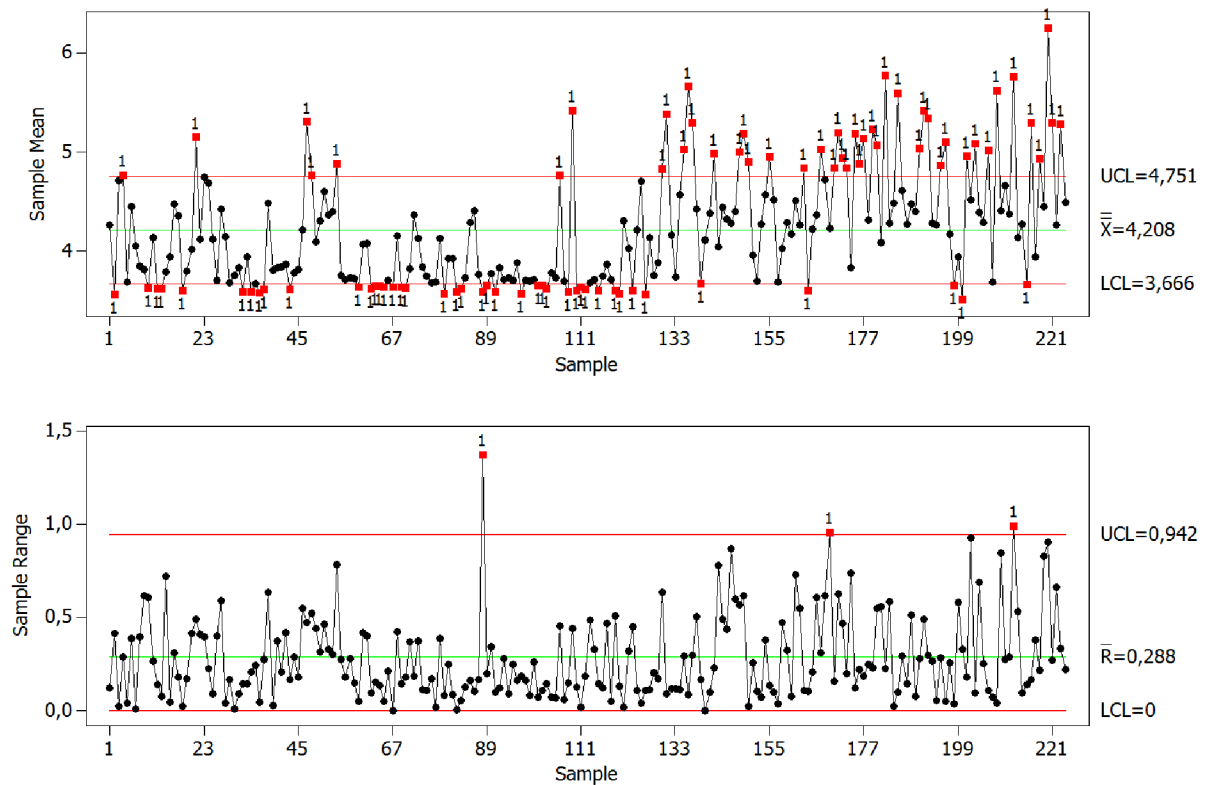
#### 4.5.1.2 Vyhodnocení způsobilosti výrobního procesu a aplikace indexu $C_c$

Z výše uvedeného obecně vyplývá, že na sledovanou veličinu, která charakterizuje výrobní proces z hlediska kvality, působí vymejitelná příčina (systematické, přiřaditelné a identifikovatelné vlivy), ať už jakéhokoli původu, která by měla být odhalena a řešena ještě před samotným hodnocením způsobilosti.

Při neznalosti rozdělení pravděpodobnosti sledované náhodné veličiny nástroje pro hodnocení „nenormálních“ dat nelze využít. V prostředí MINITAB 15 byly provedeny dva pokusy o transformaci dat, a to Box-Coxova a Johnsonova transformace (více viz [79]). S pomocí ani jednoho z těchto algoritmů však nebylo možné nalézt vhodnou transformaci s ohledem na hodnocení způsobilosti procesu.

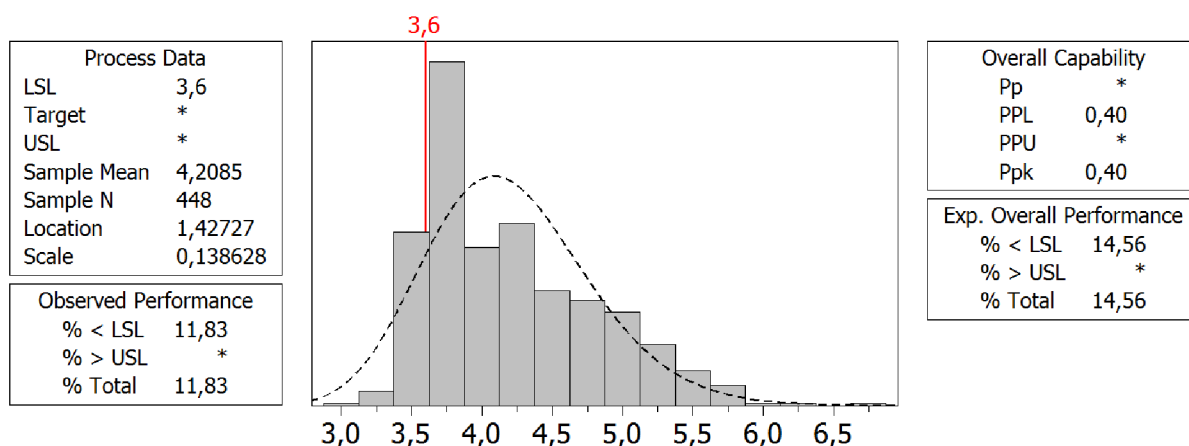
Na obrázku 39 je znázorněn regulační diagram  $\bar{X}$  –  $R$  výrobního procesu podle ČSN ISO 7870-1 [80]. Regulační diagram procesu ukazuje výše popsané problémy s aplikací klasických

nástrojů na výrobu stavebních materiálů a výrobků. Regulační meze  $UCL$  a  $LCL$  stanovené podle [80] jsou především při hodnocení denních průměrů až příliš „přísné“.



Obrázek 39: Regulační diagram - pevnost v příčném tahu [MPa]

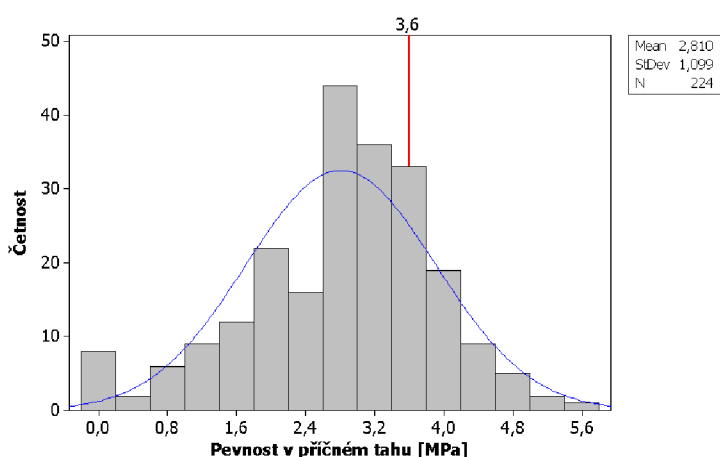
Řešením by mohla být úprava dolní regulační meze  $LCL$  na hodnotu 3,6 MPa vyhovující normě [78]. Horní regulační mez  $UCL$  by mohla tvořit jakousi „ekonomickou“ hranici. Tedy mez pevnosti, kterou nemá smysl překračovat s ohledem na ekonomickou výtěžnost výrobního procesu. Norma [78] horní hranici nijak nespecifikuje, je tedy možné ji nastavit jakkoli. Dolní hranice však není podle normy [78] dána průměrem sady výsledků zkoušek, ale charakteristickou hodnotou, tedy 5% kvantilem (viz část 3.11.4). Jak již bylo výše poznamenáno, většina stavebních materiálů a výrobků a jejich vlastnosti jsou posuzovány právě vzhledem k charakteristické hodnotě. Z toho lze usuzovat, že klasické regulační diagramy podle [80] nelze přímo na tyto výrobní procesy aplikovat.



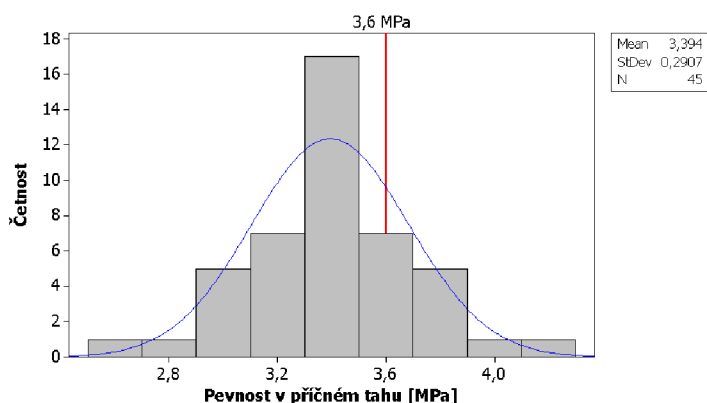
Obrázek 40: Analýza způsobilosti procesu - pevnost v příčném tahu [MPa]

Graf 40 ukazuje klasické vyhodnocení způsobilosti procesu podle metod popsanych v části 3.11 s využitím lognormálního rozdělení pravděpodobnosti. Jako dolní regulační mez je nastavena hodnota 3,6 MPa. Z této analýzy vyplývá, že při použití „vnitřní“ směrodatné odchylky procesu (viz část 3.11) leží 11,83% výsledků zkoušek pod hodnotou 3,6 MPa. Při aplikaci „vnější“ (dlouhodobé) směrodatné odchylky procesu leží pod hodnotou 3,6 MPa až 14,56% výsledků. Index  $p_{pk}$  (vztah (28)) je roven hodnotě 0,40, což je podle klasických postupů téměř „alarmující hodnota“.

Obrázek 41 znázorňuje histogram rozložení charakteristických hodnot vyhodnocených podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65]. Charakteristické hodnoty byly stanoveny vždy pro jednu dvojici výsledků zkoušek. Jak je z grafu patrné, naprostá většina vyhodnocených charakteristických hodnot leží pod hodnotou 3,6 MPa, která by měla tvořit dolní mezní hranici. Histogram na obrázku 42 ukazuje rozložení charakteristických hodnot stanovených vždy z průběžných deseti výsledků zkoušek. Jedná se tedy o výsledky za 5 dní chodu výrobního procesu. Hodnota 3,6 MPa v obou případech vymezuje přibližně stejné procentuální rozdělení dat. V histogramu 41 je celkem 78,57 % charakteristických hodnot menších než požadovaná hodnota 3,6 MPa a v histogramu 42 je tato hodnota 77,78 %. Lze předpokládat, že charakteristické hodnoty stanovené z 5-ti denních výsledků procesu jsou méně ovlivněny odlehlými daty a je možné je tedy považovat za „přesnější“. V obou případech výsledky ukazují, že pouze přibližně 22 % stanovených charakteristických hodnot splňuje požadavky normy ČSN EN 1338 [78] (viz část 4.5).

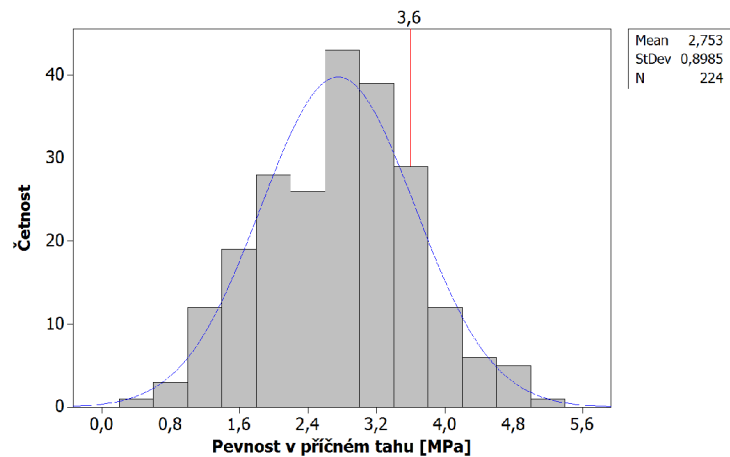


Obrázek 41: Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65]

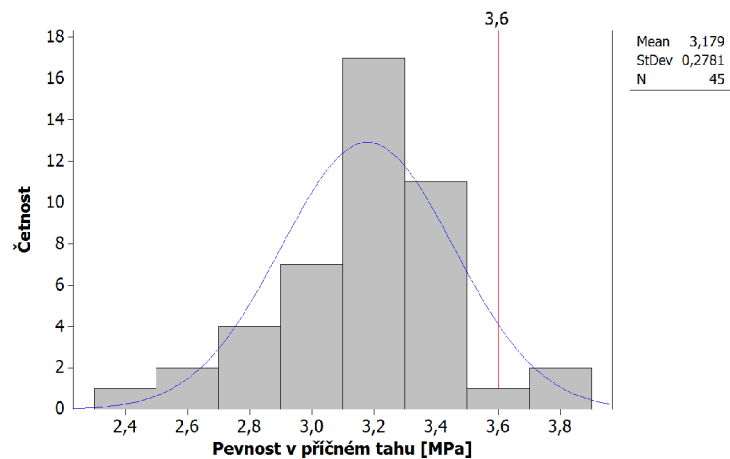


Obrázek 42: Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení po 10-ti výsledcích zkoušek po dle ČSN EN 1990 [65]

Předchozí výpočty byly prováděny za předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti sledované veličiny. Jak je uvedeno v části 3.11.3, norma [65] umožňuje využít i tzv. logaritmicko-normálního (lognormálního) rozdělení pravděpodobnosti. Výsledky jsou znázorněny na obrázcích 43 a 44. Z takto provedených výpočtů vyplývá, že v případě využití lognormálního rozdělení pravděpodobnosti a stanovení charakteristické hodnoty pro jednodenní chod výrobního procesu (dva výsledky zkoušek) je 83,48 % výrobních dávek pod úrovní stanovenou normou ČSN EN 1338 [78] a v případě stanovení charakteristické hodnoty z výsledků zkoušek pětidenního chodu procesu (10 výsledků zkoušek) je to dokonce 95,56 %.



Obrázek 43: Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65] - lognormální rozdělení pravděpodobnosti



Obrázek 44: Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65] - lognormální rozdělení pravděpodobnosti

V části 3.11.4 je popsán index  $C_c$ , jehož konstrukce je založena na charakteristické hodnotě sledovaného znaku procesu, tedy na charakteristické hodnotě posuzované vlastnosti materiálu nebo výrobku. Navíc je odhad tohoto indexu sestaven tak, že využívá způsobu stanovení charakteristické hodnoty pro stavební materiály a výrobky podle ČSN EN 1990 [65] (viz část 3.11.3). Index  $C_c$ , resp. odhad tohoto indexu  $\hat{C}_c$ , je stanoven čtyřmi různými způsoby. Nejdříve s využitím předpokladu normálního rozdělení pravděpodobnosti pro stanovení charakteristické hodnoty a to pro jednodenní a pětidenní chod výrobního procesu, tedy ze dvou a deseti průběžných výsledků pevností v příčném tahu. V tomto případě je odhad indexu  $C_c$  stanoven podle vztahu (34) uvedeného v části 3.11.4. S využitím vztahu (36) je určen odhad indexu  $C_c$  za předpokladu lognormálního rozdělení pravděpodobnosti.

	Normální rozdělení psti				Lognormální rozdělení psti			
	2 výsledky		10 výsledků		2 výsledky		10 výsledků	
Kritérium	>1	>1,2	>1	>1,2	>1	>1,2	>1	>1,2
Počet	48	14	10	0	37	9	2	0
Celkem	224	224	45	45	224	224	45	45
<b>%</b>	<b>21,43</b>	<b>6,25</b>	<b>22,22</b>	<b>0,00</b>	<b>16,52</b>	<b>4,02</b>	<b>4,44</b>	<b>0,00</b>

Tabulka 23: Vyhodnocení indexu  $C_c$ 

Jednoduchá analýza výsledků je uvedena v tabulce 23. Hodnoty odhadů indexu  $C_c$  jsou zde porovnány se základními kritérii popsány v části 3.11.5. Z této analýzy vyplývá, že výrobní proces by měl splňovat požadavky dané normou ČSN EN 1338 [78] pouze ve 21,43 % případů při využití normálního rozdělení pravděpodobnosti a ve 16,52 % případů při využití lognormálního rozdělení ( $\hat{C}_c > 1$ ). Zpřísněné kritérium, tedy hodnotu indexu  $C_c > 1,2$  splňuje výrobní proces pouze v 6,25 % (normální rozdělení) a 4,02 % (lognormální rozdělení). Faktory a příčiny takto zarážejících výsledků jsou podrobněji rozebrány v závěru této práce.



## 5 ZÁVĚR

Disertační práce je rozdělena na dva celky, a to část teoretickou a aplikaci dosažených výsledků ve výrobě stavebních materiálů a výrobků. Tématicky se disertační práce zabývá třemi oblastmi: řízením a kvantifikací rizik ve výrobě, aplikací Markovových řetězců a statistickou regulací výrobních procesů.

Řízení rizik (nejen) ve výrobě stavebních materiálů a výrobků se ukazuje jako nedílná součást managementu firmy. V současné době je k dispozici celá řada nástrojů, pomocí kterých jsme schopni klasifikovat a také kvantifikovat kvalitativní, environmentální i bezpečnostní rizika spojená s výrobními procesy. Většina těchto metod je běžně používána v mnoha odvětvích průmyslu. Dalo by se říci, že výroba stavebních materiálů a výrobků je tak trochu „oddělena“ od trendů, které v posledních desetiletích pomáhaly zvyšovat kvalitu a efektivitu výroby např. ve strojírenství a elektrotechnice. Velice často ve stavebně-materiálové výrobě narazíme na neznalost a dokonce i odmítání některých jinde běžně užívaných postupů. Velká část organizací sice nějakým způsobem rizika eviduje a případně i kvantifikuje, ale často jen „na papíře“ pro uspokojení certifikačních orgánů certifikujících systémy managementu. Výjimkou bývá z pravidla oblast BOZP a PO. Je velice důležité si uvědomit, že management rizik a rizikové inženýrství pouhou klasifikací či kvantifikací rizik nekončí. Organizace by měla využívat těchto výstupů právě pro zkvalitnění a zefektivnění svého fungování.

Jedním z důvodů, proč není nástrojů řízení rizik využíváno ve výrobě stavebních materiálů a výrobků v širší míře, může být i skutečnost, že většina klasických postupů je optimalizována na jiné zmiňované oblasti výroby. Jedním z cílů disertační práce je právě ukázat možnosti úprav a rozšíření klasických metodik (FMEA a FMECA) tak, aby více vyhovovaly potřebám tohoto druhu výroby. Analýza rizik je zde především zaměřena na kvantifikaci rizik a nebezpečí, přičemž navrhované rozšíření je provedeno prostřednictvím teorie fuzzy množin a fuzzy logiky. Úprava spočívá v náhradě „ostrých“ vstupních proměnných do výpočtů za jazykové proměnné, jejichž slovní hodnoty tvoří fuzzy množiny. Samotná kvantifikace rizika se poté provádí v tzv. fuzzy inferenčním systému (FIS).

V disertační práci jsou všechny dosažené teoretické poznatky aplikovány na výrobní proces betonových dlažebních bloků, který je podrobně popsán v části Technologický postup procesu výroby. Výroba betonových dlažebních bloků tvoří jakýsi modelový příklad výroby stavebních materiálů a výrobků, neboť v sobě zahrnuje výrobu a zpracování čerstvého betonu a také výrobu a ošetřování finálních výrobků. Rizika byla nejprve identifikována a kvantifikována prostřednictvím standardních metodik a poté s využitím upravených metod a fuzzy množin. Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik byla prováděna společně. Rizika BOZP bylo vzhledem k legislativním požadavkům nutno kvantifikovat odděleně na základě odlišných klasifikačních stupňů. Navíc kvalitativní a environmentální rizika byla z důvodu větší přehlednosti zkoumána pro každou z fází (operaci) výrobního procesu samostatně.

Z porovnání klasické kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik a kvantifikace s použitím fuzzy množin je patrné, že výsledky se v některých případech liší. Fuzzy přístup použitý pro kvantifikaci rizik vychází z myšlenky, že je výhodnější uvažovat jistou úroveň neurčitosti již u jednotlivých vstupních hodnot a tím se vyhnout často až příliš striktním apriorním předpokladům, které jsou v klasických metodikách zavedeny v nutnosti výběru hodnot proměnných z ostrých tabularizovaných charakteristik. Fuzzy přístup umožňuje jako vstupní hodnoty používat fuzzy množiny, ve kterých je možné uvažovat určitou nejistotu. V žádném případě obecně nelze konstatovat, že tento přístup vede ke zpřesnění výpočtů, dovoluje však lépe posoudit hodnoty sledovaných charakteristik v celém možném rozsahu.

Aplikace klasických Markovových řetězců pro popis kvality výrobního procesu je také ukázána na výrobě betonových dlažebních bloků jako kvantifikace rizik. Klasická Markovova

analýza umožnila popsat výstupy procesu (shodný finální výrobek, výrobek druhé jakosti atd.) v mnohem širším měřítku než jen jednoduché zjištění zmetkovitosti. Prostřednictvím Markovových řetězců jsme schopni na základě jednoduchých výpočtů získat statistický náhled na výrobní proces, který nám umožňuje snadněji identifikovat a popsat ty fáze a/nebo operace, které mají nejzásadnější vliv na kvalitu výstupů, a tím lépe identifikovat rizika.

Relevantnost a přesnost výsledků takové analýzy je však do značné míry závislá na přesnosti vstupních údajů, kterými jsou pravděpodobnostní hodnoty získávané většinou empirickým pozorováním výrobního procesu, tj. údaje o zmetkovitosti jednotlivých operací. Nejen ve výrobě stavebních materiálů a výrobků však velice často narážíme na problém nedostatečné znalosti těchto pravděpodobností, a to z důvodu nízkého počtu pozorování. Mnohdy jsou k dispozici jen velmi omezené statistické soubory, čímž je snížena jejich vypovídací schopnost. Další problémy nastávají u nově zaváděných výrobních procesů, o kterých můžeme údaje potřebné pro kvalitní Markovovu analýzu jen odhadovat se značnou nejistotou, která se velice nesnadno určuje. Vhodné řešení tohoto problému se jeví použití fuzzy přístupu, který umožňuje práci s vágními pojmy. Základní myšlenka, která spočívá v nahrazení jednotlivých pravděpodobností reálnými fuzzy čísly, je velice podobná řešení v případě kvantifikace rizik. Zpracování takto sestaveného modelu je možné provést různými způsoby. Z důvodu jednoduchosti a přehlednosti zvolil autor práce výpočtovou metodu založenou na tzv. principu rozšíření, přičemž jednotlivé pravděpodobnostní hodnoty jsou definovány jako fuzzy podmnožiny intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ . Při volbě funkcí příslušnosti ve tvaru trojúhelníku nebo jiné lineární závislosti se navíc veškeré výpočty výrazně zjednoduší a jejich složitost se příliš neliší od klasického vyhodnocení.

Výsledky klasické a fuzzy Markovovy analýzy jsou uvedeny v části Aplikace fuzzy Markovových řetězců ve výrobě stavebních materiálů a výrobků. Aplikace upravených Markovových řetězců s využitím fuzzy množin se jeví vhodná pro popis výrobních procesů, které ze statistického hlediska nejsou po dostatečně dlouhou dobu pozorovány. Především se tedy jedná o provozy, ve kterých dochází často k technologickým změnám, nebo o zcela nově zaváděné provozy. Markovovy řetězce tedy mohou sloužit jako vodítko pro úsporu zdrojů, zejména času a nákladů na zvládnutí procesů a udržení jejich výstupů v požadované kvalitě.

V oblasti statistické regulace výrobních procesů ukazuje disertační práce metody pro popis způsobilosti výrobních procesů, které se běžně používají ve většině výrobních odvětvích. Statistická regulace představuje zpětnovazební systém, jehož základním cílem je dosažení a udržení stavu, ve kterém proces probíhá na přípustné a stabilní úrovni, zajišťující shodu nejen výrobků se specifikací, ale i splnění požadavků zákazníka. V části Statistická regulace jsou definovány tzv. indexy způsobilosti a výkonnosti procesu ( $c_p, c_{pk}, p_p$  a  $p_{pk}$ ) a jsou zde uvedeny důvody proč není aplikace těchto klasických postupů v plné míře vhodná pro zavádění ve výrobě stavebních materiálů a výrobků. Mezi nejzásadnější důvody patří:

- Koeficienty způsobilosti a výkonnosti vycházejí z tzv. metodiky SIX SIGMA, jejímž cílem je dosáhnout tak malé zmetkovitosti a poruchovosti provozu, která je při výrobě stavebních výrobků a materiálů velice obtížně a nákladně dosažitelná. Tato metoda byla v počátcích vyvíjena pro elektrotechnický průmysl, který se v mnoha ohledech liší od sledovaného odvětví výroby.
- Zkoušení stavebních materiálů a výrobků je velice náročné a nákladné, a to jak s ohledem na potřebnou vybavenost zkušebních laboratoří, tak i na fakt, že se zpravidla jedná o destruktivní zkoušky. Z těchto důvodů je rozsah souborů pro vyhodnocování značně omezen a tím jsou výrazně ovlivněny výsledky analýz. Proto je nutné uvažovat i nejistotu vzniklou malým rozsahem výběru.
- Nejsledovanějším statistickým parametrem v oblasti zkoušení stavebních materiálů a výrobků není střední hodnota nebo variabilita, nýbrž tzv. charakteristická hodnota, tedy 5% kvantil, který je vlastně funkcí jak centrace, tak i variability. Proto se nabízí otázka,

zda by tedy nebylo vhodnější posuzovat způsobilost výrobního procesu podle odhadu charakteristické hodnoty.

Principy statistické regulace a hodnocení způsobilosti procesu jsou v práci aplikovány na výrobní proces betonových dlažebních bloků, který byl již zmiňován. Požadavky na fyzikálně mechanické a další charakteristiky těchto betonových dlažebních bloků jsou definovány v normě ČSN EN 1338 [78]. Jako nejdůležitější charakteristika byla zvolena pevnost v příčném tahu stanovená podle zmiňované normy [78]. Zde je uveden požadavek, že charakteristická hodnota pevnosti v příčném tahu nesmí být menší než 3,6 MPa a žádný z jednotlivých výsledků zkoušek nesmí být menší než 2,9 MPa. Norma [78] však neuvádí konkrétní způsob stanovení charakteristické hodnoty. Proto lze předpokládat, že nejvhodnějším způsobem výpočtu bude materiálově nezávislý postup uvedený v eurokódu ČSN EN 1990 [65]. V disertační práci je také navržen nový index  $C_c$ , jehož konstrukce je založena právě na porovnávání charakteristické hodnoty s požadavky.

Provedená analýza výsledků zkoušek pevnosti příčném tahu za dva roky chodu výrobního procesu ukázala celou řadu nesrovnalostí. Výsledky zkoušek vykazují silnou nesymetričnost vzhledem k požadované charakteristické hodnotě 3,6 MPa, která je zřejmá z grafu 38. Nesymetričnost dat může být způsobena náhradou některých zkušebních těles, kterou dovoluje norma [78] v případech, kdy dojde ke zjištění nevyhovujících hodnot. Tento fakt a další skutečnosti pravděpodobně vedou k velké obtížnosti provedení klasického hodnocení způsobilosti výrobního procesu tak, aby výstupy byly dostatečně věrohodné a použitelné.

Jako zřejmý důvod těchto zjištění se jeví skutečnost, že zmiňované klasické metodiky nejsou uzpůsobeny k posuzování procesů vzhledem k charakteristické hodnotě sledované veličiny, nýbrž hodnotí centraci a variabilitu procesu. Charakteristická hodnota, jakožto 5% kvantil, je kombinací obou těchto veličin, a navíc by při jejím korektním stanovení měla do výpočtu vstupovat nejistota daná počtem pozorování. Při analýze výrobního procesu právě vzhledem k charakteristické hodnotě dospěl autor práce k následujícímu závěru: Požadavkům uvedených v normě ČSN EN 1338 [78] nevyhovuje více než 88% výrobních dávek betonových dlažebních bloků. Nutno podotknout, že všechny tyto výrobní dávky byly výrobcem označeny jako shodné a zákazníkem výrobní organizace přijaty. Z výše uvedeného vyvstává logická otázka: „Jak je to možné?“ Podle autorova názoru je odpověď zřejmá. Tento příklad demonstruje ve výrobě stavebních materiálů a výrobků běžně zažitý „nešvar“, který spočívá v chybné interpretaci pojmu „charakteristická hodnota“. Velice často bývá tato charakteristika zaměňována za minimální hodnotu výsledků zkoušek, která se od charakteristické hodnoty může lišit i o desítky procent.

Případ dezinterpretace požadavků normy ČSN EN 1338 [78] není ojedinělý. Termín charakteristická hodnota je používán ve značném množství normativních předpisů, které předepisují nejen zkušební postupy v oblasti stavebního zkušebnictví. Na základě zjištěných skutečností autor práce doporučuje začít diskuzi na toto téma, a to nejen v odborných kruzích. Především by se měla provést revize stávajících normativních předpisů a jednoznačně definovat termín charakteristická hodnota a způsoby jejího stanovení.

Snahou disertační práce je ukázat možnosti řízení a minimalizace rizik technologií výroby stavebních materiálů a výrobků pomocí fuzzy logiky a dalších nástrojů nejen risk managementu, a zahájit diskuzi o důvodech, proč se v tomto odvětví některé metodiky běžně nevyužívají. Na základě získaných poznatků a zkušeností se autor práce domnívá, že je potřeba více upozorňovat na tyto metody, zejména jejich výhody, možnosti a aplikovatelnost, neboť prokazatelně vedou ke zkvalitnění a zefektivnění fungování výrobních procesů tak, jak můžeme vidět v jiných odvětvích průmyslu.

## LITERATURA

- [1] TICHÝ, M. *Ovládání rizika: analýza a management*. Praha: C. H. Beck, , 2006. ISBN 80-7179-415-5.
- [2] SMEJKAL, V.; RAIS, K. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3051-6.
- [3] RAIS, K. *Řízení rizik firmy*. Brno: VUTIUM, 2002, ISBN 80-214-2088-X.
- [4] VYMAZAL, T.; ŽIŽKOVÁ, N.; MISÁK, P. Prediction of the risks of design and development of new building materials by fuzzy inference systems. *Ceramics-Silikáty*. 2009. 53(3). p. 216 - 445. ISSN 0862-5468.
- [5] MISÁK, P.; VYMAZAL, T.; ŽIŽKOVÁ, N. Kvantifikace rizik pomocí expertních systémů. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*. Praha, ČVUT Praha. 2007. p. 37 - 39.
- [6] ČSN ISO 31000. *Management rizik - Principy a směrnice*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [7] ČSN EN 31010. *Management rizik - Techniky posuzování rizik*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [8] TEPLÝ, B. Je analýza rizik ve stavebnictví užitečná? *Stavebnictví*, 2010, 02/10. ISSN 1802-2030.
- [9] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systému - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] VYMAZAL, T. *Možnosti predikce, identifikace, analýzy, hodnocení a řízení rizik ve stavební praxi*. Brno, 2009. Habilitační práce na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně.
- [11] ČSN IEC 812. *Metody analýzy spolehlivosti systému; postup analýzy způsobu a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Vydavatelství norem, 1992.
- [12] ŠTÁVA, J. *Brainstorming - metoda pro tvořivé učení a řízení*. Pedagogická orientace. ISSN 1211-4669, 1995, vol. 1995, no. 15, s. 104-106.
- [13] MORAVCOVÁ, B. *Analýza a hodnocení rizik technologií výstavby stavebních konstrukcí v prostředí integrovaného systému řízení*. Brno, 2013. Diplomová práce na Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
- [14] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [15] ČSN EN ISO 9001. *Systémy managementu kvality - Požadavky*. Český normalizační institut, 2009.
- [16] VYMAZAL, T.; MISÁK, P. *Zkušebnictví a řízení jakosti*. Brno: VUT Brno, 2008. s. 1 - 111.
- [17] ČSN EN ISO 14001: 2005. *Systémy environmentálního managementu - Požadavky s návodem pro použití*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [18] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In *Sbírky zákonů*. 15. 5. 2001.
- [19] *Evropské nařízení CLP - č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí*. Dostupné z URL: [http://www.eurochem.cz/EKO/TOXI\\_CLP\\_524896/index.html](http://www.eurochem.cz/EKO/TOXI_CLP_524896/index.html). [cit. 2013-09-02].
- [20] Zákon č. 54/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In *Sbírky zákonů*. 28. 6. 2001.
- [21] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In *Sbírky zákonů*. 25. 10. 2000.
- [22] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In *Sbírky zákonů*. 1. 6. 2006.
- [23] Nařízení vlády č. 502/2000 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými vlivy hluku a vibrací. In *Sbírky zákonů*. 30. 12. 2000.

- [24] ČSN OHSAS 18001: 2008. *Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [25] URL: <http://www.guard7.cz/> [cit. 2011-01-15]
- [26] URL: <http://www.bozpinfo.cz/> [cit. 2012-05-10]
- [27] Zákon č. 155/2000 Sb., kterým se mění zákon č. 65/1965 Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů, a některé další zákony. In *Sbírky zákonů*. 18. 5. 2000.
- [28] ČSN OHSAS 18002: 2009. *Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci - Směrnice pro implementaci OHSAS 18001:2007*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [29] Zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce. In *Sbírky zákonů*. 21. 4. 2006.
- [30] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In *Sbírky zákonů*. 14. 7. 2000.
- [31] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 89/2001 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. Praha: Ministerstvo zdravotnictví, 28. 2. 2001.
- [32] ČSN ISO 14004: 2005. *Systémy environmentálního managementu - Všeobecná směrnice k zásadám, systémům a podpůrným metodám*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [33] ČSN ISO 5807. *Zpracování informací. Dokumentační symboly a konvence pro vývojové diagramy toku dat, programu a systému, síťové diagramy programu a diagramy zdrojů systému*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [34] VYMAZAL, T.; MISÁK, P. *Metrologie ve zkušebnictví*. Brno: VUT Brno. 2013.
- [35] KOŠÍKOVÁ, J. *Základní myšlenky metody Six sigma*. Brno, 2008. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně 2008. Vedoucí práce Ing. Josef Bednář, Ph.D.
- [36] ČSN ISO 8258. *Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [37] MISÁK, P. *Vlastnosti fuzzy inference systémů a jejich aplikace*. Brno, 2006. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí práce RNDr. Libor Žák, Ph.D.
- [38] DRUCKMÜLLER, M. *Technické aplikace vícestupňové logiky*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1998. ISBN 9788021412316.
- [39] JURA, P. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*, Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2003. ISBN 80-214-2261-0.
- [40] NOVÁK, V. *Základy fuzzy modelování*. Praha: Nakladatelství BEN, 2003. ISBN 80-7300-009-1.
- [41] ZADEH, L. Fuzzy Sets. *Inform. Control* 8, 1965, s. 338-353.
- [42] NAVARA, P.; OLŠÁK, P. *Základy fuzzy množin*, Praha, 2002.
- [43] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Fuzzy množiny a jejich využití ve stavebním inženýrství. In *Juniorstav 2008*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2008. p. 202 - 701. ISBN 978-80-86433-45-5.
- [44] KARPÍŠEK, Z. *Matematika IV, statistika a pravděpodobnost. 3. doplněné vydání*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-214-3380-9.
- [45] KALA, Z.; OMISHORE, A. Fuzzy stochastická analýza spolehlivosti konstrukcí, *CIDEAS - Technické listy 2008*.
- [46] KARPÍŠEK, Z. Fuzzy spolehlivost. In *Sborník konference REQUEST '06*. Praha: Centrum pro jakost a spolehlivost výroby, 2007. s. 164-177. ISBN: 978-80-01-03709- 6.
- [47] KOVÁČOVÁ, M, JANČO, R.: Critically assesment for fmeca analysis using fuzzy logic, In *Journal of applied mathematics*, vol. 1, no. 1, 2008.

- [48] VYMAZAL, T.; MISÁK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; SCHMID, P.; DANĚK, P. Využití fuzzy inference systémů v managementu rizik stavebních technologií. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*. Brno, FAST VUT v Brně. 2009. p. 453 - 462. ISBN 978-80-214-3951-1.
- [49] MISÁK, P.; VYMAZAL, T.; ŽIŽKOVÁ, N. Prediction of the physico mechanical characteristics of new building materials by fuzzy inference systems. In *Construmat 2009*. Praha, ČVUT Praha. 2009. p. 225 - 234. ISBN 978-80-01-04355-4.
- [50] VYMAZAL, T.; ŽIŽKOVÁ, N.; MISÁK, P. Odhad fyzikálně mechanických vlastností nových stavebních hmot pomocí expertních systémů. In *Sanace 2007*. brno, SSBK. 2007. p. 380 - 386.
- [51] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Výpočet odhadů pevnostních charakteristik betonových směsí pomocí fuzzy inference systémů. In *Juniorstav 2007*. Brno, VUT Fast v Brně. 2007. p. 170 - 170.
- [52] K. Xu, L. C. Tang, M. Xie, S. L. Ho and M. L. Zhu, Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, In *Reliability Engineering & System Safety*, 2002, s. 17-29.
- [53] RIVERA, S. S.; McLEOD, J. E., RMS defuzzification algorithm applied to FMEA, In *8th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM8)*, 2008.
- [54] KARPÍŠEK, Z. Aplikace Markovových řetězců v řízení jakosti. In *Celostátní seminář Analýza dat 2003/ II*. Pardubice: TriloByte Pardubice, 2003. ISBN: 80-239-2590- 3.
- [55] LUKÁŠ, L. *Pravděpodobnostní modely v managementu*. Praha: Academia, 2009. ISBN 978-80-200-1704.
- [56] ČSN EN 61165. *Použití Markovových technik*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [57] ZADEH, L. A., BELLMAN, R. E. Decision- Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 1970, 17. ISSN 141-164.
- [58] URL: : [://dmle.cindoc.csic.es/pdf/MATHWARE\\_2002\\_09\\_01\\_03.pdf](://dmle.cindoc.csic.es/pdf/MATHWARE_2002_09_01_03.pdf) [cit. 2012-08-11]
- [59] AVRACHENKOV, K. E., , SANCHEZ, E. Fuzzy Markov Chains and Decision-Making, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2002, vol. 1, no. 2, s. 143-159. ISSN 1568-4539.
- [60] KLEYLE, R., M. DE KORVIN, A. Constructing one-step and limiting fuzzy transition probabilities for finite Markov chains. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 6, 2, 223-235. 1998.
- [61] ZADEH, L. Fuzzy probabilities, *Information Processing and Management* 20, no. 3, s. 363-372, 1984.
- [62] BEDNÁŘ, J. Určování způsobilosti procesu v MINITABu 15. In *Sborník ze 17. semináře Moderní matematické metody v inženýrství*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. p. 14 - 18. ISBN 978-80-248-1871-9.
- [63] MICHÁLEK, J. Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu. In *Sborník Request 2006*. p. 265 - 275. ČVUT v Praze. Praha, 2007. ISBN 978-80-01-03709-6.
- [64] MISÁK, P. Úprava indexů způsobilosti vzhledem k charakteristické hodnotě. In *Construmat 2009*. Brno, FAST VUT v Brně. 2009. p. 1 - 4. ISBN 978-80-01-04355-4.
- [65] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [66] HOLICKÝ M.; MARKOVÁ J. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí - příručka k ČSN EN 1990*. ISBN 978-80-87093-27-6. Praha, 2007.
- [67] MISÁK, P.; VYMAZAL, T.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; SCHMID, P.; DANĚK, P. Hodnocení způsobilosti procesu a charakteristická hodnota. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*. Brno, FAST VUT v Brně. 2009. p. 423 - 922. ISBN 978-80-214-3951-1.
- [68] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Posuzování shody pevnosti v tlaku nově navrhovaných betonů prostřednictvím charakteristické hodnoty. In *Construmat 2009*. Praha, ČVUT Praha. 2009. p. 235 - 238. ISBN 978-80-01-04355-4.

- [69] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Posuzování charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci nepřímými metodami (ČSN EN 13791). In *Construmat 2009*. Brno, FAST VUT v Brně. 2009. p. 247 - 250. ISBN 978-80-01-04355-4.
- [70] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Charakteristická hodnota a ČSN EN 206-1. In *Juniorstav 2009 - sborník anotací*. Brno. 2009. p. 29 - 29. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [71] MISÁK, P.; VYMAZAL, T.; VÍTEK, L.; ULRICH, P. Posuzování charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci. In *Sborník příspěvků konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2008*. Praha, Kloknerův ústav ČVUT. 2008. p. 211 - 219. ISBN 978-80-01-04123-9.
- [72] MISÁK, P.; VYMAZAL, T. Využití logaritmicko-normálního rozdělení při stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku. In *Construmat 2007*. Ostrava, TU Ostrava. 2007. p. 52 - 55.
- [73] ČSN IEC 812. *Metody analýzy spolehlivosti systému; postup analýzy způsobu a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [74] URL: <http://ktp.istp.cz/> [cit. 2013-04-02]
- [75] ČSN EN 206-1. *Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [76] Dokumentace o integrovaném systému řízení sledované organizace.
- [77] Nařízení vlády 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií.
- [78] ČSN EN 1338. *Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [79] *Meet Minitab 15*, Minitab Inc., 2006. Dostupné z URL: <http://wolfweb.unr.edu/zal/STAT452/MeetMinitab.pdf>
- [80] ČSN ISO 7870-1. *Regulační diagramy - Část 1: Všeobecné pokyny*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [81] *MPA 50-01-09 k aplikaci ČSN EN ISO/IEC 17021:2007 Posuzování shody - Požadavky na orgány provádějící audit a certifikaci systémů managementu v akreditačním systému České republiky*. Praha: Český institut pro akreditaci, 2007.
- [82] ČSN EN ISO/IEC 17025. *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

## 6 DEFINICE, POJMY A POUŽITÉ ZKRATKY

### 6.1 Definice a pojmy

- *Organizace* - skupina osob a vybavení s uspořádáním odpovědností, pravomocí a vztahů. Např. společnost, sdružení, firma nebo instituce.
- *Aspekt* - specifický, kvantitativně vymezený pohled na projekt.
- *Benchmarking* - nepřetržitý a systematický proces porovnávání a měření produktů, procesů a metod vlastní organizace s těmi, kdo byli uznáni jako vhodní pro toto měření, za účelem definovat cíle zlepšování vlastních aktivit.
- *Bezpečnostní list* - soubor identifikačních údajů o výrobcí nebo dovozci, o nebezpečné látce nebo přípravku a údajů potřebných pro ochranu zdraví nebo životního prostředí.
- *Druhotný energetický zdroj* - využitelný energetický zdroj, jehož energetický potenciál vzniká jako vedlejší produkt při přeměně a konečné spotřebě energie a při likvidaci odpadů.
- *Důsledek poruchy* (failure effect) - následek způsobu poruchy pro provoz, funkci nebo stav objektu/procesu.
- *Environmentální politika* - celkové záměry a zaměření organizace ve vztahu k jejímu environmentálnímu profilu, oficiálně vyjádřené vrcholovým vedením.
- *Environmentální profil* - měřitelné výsledky managementu svých environmentálních aspektů.
- *Environmentální aspekty* - prvek činností, který může ovlivňovat životní prostředí.
- *Emise* - vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do životního prostředí.
- *Emisní limit* - nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek nebo pachových látek vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší vyjádřené jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky v odpadních plynech, nebo hmotnostní tok znečišťující látky za jednotku času, nebo hmotnost látky vztažená na jednotku produkce nebo lidské činnosti, nebo jako počet pachových jednotek na jednotku objemu nebo jako počet částic znečišťující látky na jednotku objemu.
- *Energetické hospodářství* - soubor technických zařízení sloužících k nakládání s energií.
- *Chemické látky* - jsou chemické prvky a jejich sloučeniny v přírodním stavu nebo získané výrobním postupem včetně případných přísad a rozpouštědel nezbytných pro uchování jejich stability a jakýchkoliv nečistot přírodního původu nebo vznikajících ve výrobním procesu, s výjimkou rozpouštědel, která mohou být z látky oddělena beze změny jejího složení nebo ovlivnění její stability.
- *Chemické přípravky* - jsou směsi nebo roztoky složené ze dvou nebo více chemických látek.
- *Kritičnost poruchy* (failure criticality) - kombinace závažnosti důsledku a četnosti výskytu nebo jiných atributů poruchy jako míra potřeby zaměřit se na ně a zmírnit je.
- *Komunální odpad* - veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.
- *Nebezpečí* - reálná hrozba poškození vyšetřovaného objektu nebo procesu.
- *Nebezpečný odpad* - odpad uvedený v „Seznamu nebezpečných odpadů“ uvedeném v prováděcím právním předpisu a jakýkoliv jiný odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze č. 2 k zákonu č. 185/2001 o odpadech.
- *Nakládání s odpady* - jejich shromažďování, soustřeďování, sběr, výkup, třídění, přeprava a doprava, skladování, úprava, využívání a odstraňování.



- *Nakládání s CHLP* - každá činnost, jejímž předmětem je látka nebo přípravek, jejich výroba, dovoz, vývoz, distribuce, používání, skladování, balení, označování a vnitropodniková přeprava.
- *Nebezpečné CHLP* - látky a přípravky, které vykazují jednu nebo více nebezpečných vlastností a pro tyto vlastnosti jsou klasifikovány jako výbušné, oxidující, extrémně hořlavé, vysoce hořlavé, hořlavé, vysoce toxické, toxické, zdraví škodlivé, žíravé, dráždivé, senzibilizující, karcinogenní, mutagenní, toxické pro reprodukci, nebezpečné pro životní prostředí.
- *Nakládání s energií* - výroba, přenos, přeprava, distribuce, rozvod, spotřeba energie a uskladňování plynu, včetně souvisejících činností.
- *Odpad* - každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze č. 1 k zákonu č. 185/2001 o odpadech.
- *Obnovitelný energetický zdroj* - využitelný energetický zdroj, jehož energetický potenciál se obnovuje přírodními procesy.
- *Objekt* (item) - jakákoli část, součást, zařízení, subsystém, funkční jednotka nebo systém, kterým je možné se individuálně zabývat. Jako objekt může být definován také proces, který provádí předem stanovenou funkci a u něhož se provádí FMEA.
- *Projekt* - souhrn stávajících, probíhajících nebo budoucích hmotných a nehmotných skutečností a/nebo činností probíhajících v definovaném prostoru, v definované době a za definovaných podmínek, vedoucích k definovanému cíli.
- *Proces* - objekt, jehož jedním rozměrem je čas. Rozlišujeme procesy *stacionární* (Povaha jejich vlastností je na čase nezávislá, tj. na konci procesu stejná jako na začátku) a *nestacionární* (v čase se mění všechny vlastnosti).
- *Přírodní energetický zdroj* - obnovitelný i neobnovitelný zdroj, jehož energetický potenciál je využíván v energetickém hospodářství.
- *Porucha* (failure) - ukončení schopnosti objektu/procesu plnit požadovanou funkci.
- *Poruchový stav* (fault) - stav objektu/procesu charakterizovaný neschopností plnit požadovanou funkci, kromě neschopnosti během preventivní údržby nebo jiných plánovaných činností nebo neschopnosti způsobené nedostatkem vnějších zdrojů.
- *Scénář nebezpečí* - způsob realizace nebezpečí, vyznačující se výskytem určitých skutečností.
- *Systém* (system) - soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících prvků.
- *Účinnost užití energie* - míra efektivnosti energetických procesů vyjádřená poměrem mezi úhrnnými energetickými výstupy a vstupy téhož procesu vyjádřená v procentech.
- *Závažnost poruchy* (failure severity) - významnost nebo stupeň důsledku způsobu poruchy na provoz objektu, na okolní prostředí objektu nebo na obsluhu objektu. Je to závažnost důsledku způsobu poruchy vztahující se k vymezeným hranicím analyzovaného systému.
- *Způsob poruchy* (failure mode) - způsob, jakým u objektu/procesu dochází k poruše.

## 6.2 Použité zkratky a symboly

- *FMEA* (Failure Modes and Effect Analysis) - systematický postup analýzy systému za účelem zjištění potenciálních způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na technické parametry (výkonnost) systému (bezprostřední montážní sestavy a celého systému či procesu).
- *CHLP* - chemické látky a přípravky
- *C* - očekávaná újma
- *P<sub>f</sub>* - pravděpodobnost, se kterou by mohla nastat neočekávaná událost
- *R* - riziko
- *T* - referenční doba
- *RPN* - číslo priority rizika

- $S$  - závažnost rizika
- $O$  - pravděpodobnost výskytu způsobu nějaké poruchy
- $D$  - odhalení (detekce) vady
- IMS - integrovaný systém řízení
- BOZP - bezpečnost a ochrana zdraví při práci
- EMS - Environmental Management System
- EP - environmentální politika
- EA - environmentální aspekty
- $UCL, USL$  - horní regulační mez
- $LCL, LSL$  - dolní regulační mez
- $\mu$  - funkce příslušnosti
- $U$  - univerzum, referenční množina
- FIS - Fuzzy Inference System
- $\Omega$  - stavový prostor
- $p$  - pravděpodobnost
- PO - požární ochrana
- $\mathbf{X}$  - stochastický dynamický diskretní systém
- $\mathbf{P}$  - matice pravděpodobností přechodu
- $I_a$  - jednotková matice typu  $(a, a)$
- $0$  - nulová matice
- $M$  - fundamentální matice
- $c_p, c_{pk}$  - indexy způsobilosti
- $p_p, p_{pk}$  - indexy výkonnosti
- $X_c$  - charakteristická hodnota
- $V_X$  - variační koeficient
- $m_X$  - výběrový průměr
- $s_X$  - výběrová směrodatná odchylka
- $n$  - počet stanovení
- KZAM - klasifikace zaměstnání podle kartotéky typových pozic
- VV - vysokovzdvižní vozík
- AME - označení výrobní linky
- OHSAS - Occupational Health and Safety Assessment Specification
- NCHLP - nebezpečné chemické látky a přípravky
- SPP -
- ČB - čerstvý beton
- *fuzzy RPN* - číslo priority rizika vyhodnocené prostřednictvím FIS
- $PST$  - pravděpodobnost výskytu rizika
- $POR$  - poranění
- $MR$  - míra rizika

## Seznam tabulek

1	Pravděpodobnost výskytu způsobu poruchy - $O$ . . . . .	18
2	Závažnost rizika - $S$ . . . . .	18
3	Odhalení vady (detekce) - $D$ . . . . .	19
4	Vyhodnocení čísla $RPN$ . . . . .	20
5	Pravděpodobnost vzniku a existence rizika - $O$ . . . . .	33
6	Závažnost rizika - $S$ . . . . .	34
7	Názor hodnotitelů . . . . .	34
8	$RPN$ - vyjádření míry rizika . . . . .	34
9	Markovova matice pravděpodobností přechodu [7] . . . . .	50
10	Hodnoty $k_n$ . . . . .	54
11	Hodnocení kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	72
12	Markovova matice pravděpodobností přechodu . . . . .	75
13	Vypočtená matice pravděpodobností přechodu po 5 krocích . . . . .	77
14	Interpretace výsledků po 5 krocích od vstupu do první operace procesu . . . . .	78
15	Kanonický tvar matice pravděpodobností přechodu procesu . . . . .	78
16	Interpretace výsledků středních hodnot počtu provedených operací . . . . .	79
17	Interpretace výsledků středních hodnot počtu provedených operací . . . . .	79
18	Pravděpodobnost, že výrobek vstupující do operace A přejde do jednoho z absorbujících stavů. . . . .	80
19	Porovnání pravděpodobností po 5 provedených operacích . . . . .	81
20	Porovnání středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek . . . . .	81
21	Porovnání středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu . . . . .	82
22	Základní popisné statistiky pevnosti v příčném tahu betonových výrobků . . . . .	84
23	Vyhodnocení indexu $C_c$ . . . . .	90
24	Kontrola surovin a výrobního procesu . . . . .	2
25	Kontrola vstupních surovin . . . . .	3
26	Schéma výstupní kontroly zařízení . . . . .	4
27	Kontrola hotových výrobků – betonové dlažební bloky . . . . .	4
28	1 - Přejímka surovin: Kvantifikace kvalitativních rizik . . . . .	5
29	1 - Přejímka surovin: Kvantifikace environmentálních rizik . . . . .	5
30	2 - Skladování surovin: Kvantifikace kvalitativních rizik . . . . .	6
31	2 - Skladování surovin: Kvantifikace environmentálních rizik . . . . .	7
32	3 - Doprava surovin: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	8
33	4 - Vážení a dávkování surovin: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	9
34	5 - Výroba čerstvého betonu: Kvantifikace kvalitativních rizik . . . . .	10
35	5 - Výroba čerstvého betonu: Kvantifikace kvalitativních rizik . . . . .	11
36	6 - Výroba betonového zboží: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	12
37	7 - Vizuální kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	13
38	8 - Zrání betonového zboží: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	13
39	9 - Výstupní kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	14
40	10 - Paletizace: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	15
41	11 - Transport na meziskládku: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	16
42	12 - Povrchová úprava: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	17
43	13 - Výstupní kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik . . . . .	18

---

44	14 - Transport na skládku: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik .	19
45	Nejzávažnější rizika vyhodnocená klasickými postupy - část 1 . . . . .	21
46	Nejzávažnější rizika vyhodnocená klasickými postupy - část 2 . . . . .	22
47	Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 1 . . . . .	25
48	Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 2 . . . . .	26
49	Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 3 . . . . .	27
50	Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 4 . . . . .	28
51	Nejzávažnější rizika vyhodnocená prostřednictvím FIS - část 1 . . . . .	36
52	Nejzávažnější rizika vyhodnocená prostřednictvím FIS - část 2 . . . . .	37
53	Vyhodnocení rizik BOZP prostřednictvím FIS . . . . .	38
54	Nejzávažnější rizika BOZP vyhodnocená prostřednictvím FIS . . . . .	39

## Seznam obrázků

1	Etapy disertační práce . . . . .	12
2	Příspěvek posuzování rizik k procesu managementu rizik [7] . . . . .	14
3	Grafické znázornění hodnocení <i>RPN</i> . . . . .	19
4	Schéma fungování systému řízení kvality podle [15] - neustálé zlepšování systému managementu kvality . . . . .	21
5	Ukázka Paretova diagramu . . . . .	35
6	Tvary funkcí příslušnosti . . . . .	37
7	Ukázka $\alpha$ -řezu nekonvexní fuzzy množiny . . . . .	40
8	Základní metody fuzzifikace ( $x^*$ - ostrá vstupní hodnota) . . . . .	40
9	Struktura fuzzy systému . . . . .	41
10	Inferenční proces . . . . .	42
11	Slovní hodnoty proměnné <i>O</i> . . . . .	44
12	Slovní hodnoty proměnné <i>S</i> . . . . .	44
13	Příklad využití fuzzy aritmetiky - vstupní slovní hodnoty proměnných <i>S</i> , <i>O</i> a <i>D</i> . . . . .	45
14	Příklad využití fuzzy aritmetiky - funkce příslušnosti vyhodnoceného čísla <i>RPN</i> na základě vstupních hodnot z obrázku 13 . . . . .	46
15	Vstupní a výstupní proměnné FIS . . . . .	46
16	Markovův diagram procesu [7] . . . . .	51
17	Způsobilost a výkonnost procesu - krátkodobá (vnitřní) a dlouhodobá (vnější) směrodatná odchylka . . . . .	53
18	Ukázka betonového dlažebního bloku . . . . .	57
19	Vývojový diagram výrobního procesu . . . . .	59
20	Histogram čísla <i>RPN</i> . . . . .	66
21	Histogram rizik BOZP . . . . .	67
22	Slovní hodnoty vstupních proměnných . . . . .	68
23	Slovní hodnoty výstupní proměnné FIS - fuzzy <i>RPN</i> . . . . .	68
24	Ukázka vyhodnocení pravidel - inferenční proces typu Mamdani . . . . .	69
25	Řídící plocha FIS . . . . .	69
26	Řídící plocha FIS . . . . .	70
27	Slovní hodnoty vyjadřující poranění při realizaci rizika . . . . .	70
28	Řídící plocha FIS pro vyhodnocování rizik BOZP. PST - pravděpodobnost výskytu rizika; POR - poranění, MR - míra rizika . . . . .	71
29	Grafické znázornění hodnocení fuzzy <i>RPN</i> . . . . .	73
30	Histogram - <i>fuzzy RPN</i> . . . . .	73
31	Paretův diagram rizik BOZP vyhodnocených prostřednictvím FIS . . . . .	74
32	Histogram - vyhodnocení rizik BOZP prostřednictvím FIS . . . . .	74
33	Markovův diagram sledovaného procesu . . . . .	76
34	Zjednodušený Markovův diagram výrobního procesu . . . . .	77
35	Funkce příslušnosti pravděpodobností po 5 krocích . . . . .	81
36	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek . . . . .	82
37	Střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu . . . . .	82
38	Histogram jednotlivých výsledků zkoušek a průměrných hodnot pevnosti v příčném tahu betonových výrobků . . . . .	85
39	Regulační diagram - pevnost v příčném tahu [MPa] . . . . .	86
40	Analýza způsobilosti procesu - pevnost v příčném tahu [MPa] . . . . .	87

41	Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65] . . . . .	88
42	Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení po 10-ti výsledcích zkoušek po dle ČSN EN 1990 [65] . . . . .	88
43	Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65] - lognormální rozdělení pravděpodobnosti . . . . .	89
44	Histogram jednodenních charakteristických hodnot pevnosti v příčném tahu - hodnocení podle ČSN EN 1338 [78] a ČSN EN 1990 [65] - lognormální rozdělení pravděpodobnosti . . . . .	89
45	1 - Přejímka surovin: Paretův diagram . . . . .	6
46	2 - Skladování surovin: Paretův diagram . . . . .	7
47	3 - Doprava surovin: Paretův diagram . . . . .	8
48	4 - Vážení a dávkování surovin: Paretův diagram . . . . .	9
49	5 - Výroba čerstvého betonu: Paretův diagram . . . . .	11
50	6 - Výroba betonového zboží: Paretův diagram . . . . .	12
51	7 - Vizuální kontrola: Paretův diagram . . . . .	13
52	8 - Zrání betonového zboží: Paretův diagram . . . . .	14
53	9 - Výstupní kontrola: Paretův diagram . . . . .	15
54	10 - Paletizace: Paretův diagram . . . . .	16
55	11 - Paletizace: Paretův diagram . . . . .	17
56	12 - Transport na meziskládku: Paretův diagram . . . . .	18
57	13 - Povrchová úprava: Paretův diagram . . . . .	19
58	14 - Transport na skládku: Paretův diagram . . . . .	20
59	Paretův diagram rizik BOZP . . . . .	23
60	Ishikawův diagram příčin a následků - BOZP . . . . .	24
61	1 - Přejímka surovin: Paretův diagram . . . . .	29
62	2 - Skladování surovin: Paretův diagram . . . . .	29
63	3 - Doprava surovin: Paretův diagram . . . . .	30
64	4 - Vážení a dávkování surovin: Paretův diagram . . . . .	30
65	5 - Výroba čerstvého betonu: Paretův diagram . . . . .	31
66	6 - Výroba betonového zboží: Paretův diagram . . . . .	31
67	7 - Vizuální kontrola: Paretův diagram . . . . .	32
68	8 - Zrání betonového zboží: Paretův diagram . . . . .	32
69	9 - Výstupní kontrola: Paretův diagram . . . . .	33
70	10 - Paletizace: Paretův diagram . . . . .	33
71	11 - Paletizace: Paretův diagram . . . . .	34
72	12 - Transport na meziskládku: Paretův diagram . . . . .	34
73	13 - Povrchová úprava: Paretův diagram . . . . .	35
74	14 - Transport na skládku: Paretův diagram . . . . .	35

## **Seznam příloh**

Příloha A - Kontrolní a zkušební plán

Příloha B - Klasická kvantifikace rizik

Příloha C - Kvantifikace rizik BOZP

Příloha A - Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik prostřednictvím FIS

**A Příloha - Kontrolní a zkušební plán**

Předmět kontroly	Účel kontroly	Metoda / postup	Četnost kontrol prováděných výrobcem
Poměr jednotlivých složek	ověřit shodu směsných poměrů a doby míchání, kontrolovat správné promíchání materiálů (homogenizace)	Kontrola dávkovacího zařízení	Denně
Vytváření	ověřit shodu s výrobními postupy	Vizuální kontrola	Denně
Ošetřování	ověřit shodu se specifikovaným režimem ošetřování	Vizuální kontrola výrobku a/nebo kontrolního zařízení	Denně

Tabulka 24: Kontrola surovin a výrobního procesu



Materiál	Zkouška	Účel zkoušky	Min. četnost	Místo odběru
<b>Cement</b>	Přezkoumání dodacího listu	K zjištění, zda je dodávka dle objedn. a ze správného zdroje	Každá dodávka	Velín mísícího centra
	Stanovení objemové stálosti	K posouzení, zda vyhov. normě	V případě pochybnosti	Cementové silo
	Stanovení poč. doby tuh.	K posouzení, zda vyhov. normě	V případě pochybnosti	Cementové silo
	Stanovení pevnosti	K posouzení, zda vyhov. normě	V případě pochybnosti	Cementové silo
<b>Kamenivo</b>	Inspekce dodávky	K vizuálnímu srovnání zrnitosti, tvaru a znečištění	Každá dodávka	Skládka kameniva
	Zkouška zrnitosti	K posouzení, zda vyhovuje normě, nebo odsouhlasené zrnitosti	a) první dod. z nového zdroje b) v případě pochybn. po vizuální inspekci	Skládka kameniva
	Zkouška odplavitel. částic	K posouzení přítomnosti a množství nečistot	a) první dod. z nového zdroje b) v případě pochybn. po vizuální inspekci	Skládka kameniva
	Přezkoumání dodacího listu	K zjištění, zda je dodávka dle objedn. a zda je řádně označena	Každá dodávka	Velín mísícího centra
<b>Přísady</b>	Inspekce dodávky	Ke srovnání s běžným vzhledem	Každá dod. při použití	Kontejner
	Zkouška obsahu sušiny	Ke srovnání požadované objem. hmotnosti	V případě pochybnosti	Kontejner

Tabulka 25: Kontrola vstupních surovin

Zařízení	Zkouška přesnosti vážení	Účel	Způsob záznamu	Minimální četnost
Skládky, zásobníky, atd.	Vizuální inspekce	K posouzení shody s požadavky	Zápis do provozního deníku	Jednou týdně
Vážící a dávkovací zařízení	Vizuální inspekce funkce  Zkouška přesnosti vážení	K posouzení zda vážící zařízení správně funguje  Posouzení přesnosti	Zápis do provozního deníku  Kalibrační protokol	Denně  a) při instalaci b) pravid. dle nár. předp. c) v případě pochybnosti
Dávkovač přísad	Vizuální inspekce funkce  Zkouška přesnosti vážení	K posouzení dávkovače, že není znečištěn a správně funguje  K zabránění nepřesného dávkování	Bez záznamu  Kalibrační protokol	Denně  a) při instalaci b) 1 x za rok c) v případě pochybnosti
Zkušební zařízení	Zkoušky zařízení dle norem nebo jiných předpisů	K posouzení shody	Kalibrační a ověřovací protokol	Pravidelně podle Metrologického řádu
Mísící centrum	Vizuální inspekce	Ke kontrole funkce mísícího zařízení	Zápis do provoz. deníku	Denně
Vibrační lis	Vizuální inspekce  Kontrola nastav. parametrů	K posouz. tech. stavu a čistoty  Kontrola nastavení řídicí jednotky	Zápis do provoz. deníku  Zápis do provoz. deníku	Denně  Denně při změně sortimentu
Vozovka	Vizuální inspekce	K posouz. tech. stavu a čistoty	Zápis do provoz. Deníku	1 x za týden
Paletovací vozík	Vizuální inspekce	Posouz. tech. stavu a čistoty	Zápis do provoz. deníku	1 x za týden

Tabulka 26: Schéma výstupní kontroly zařízení

Předmět kontroly	Účel kontroly	Metoda / postup	Četnost kontrol
Vizuální hodnocení, tvar a rozměry	Shoda s deklarovanou hodnotou danou v ČSN EN 1338 a PN BB 1338	ČSN EN 1338, Přílohy J, C	2 ks za každý pracovní den
Pevnost v příčném tahu	Shoda s deklarovanou hodnotou danou v ČSN EN 1338 a PN BB 1338	ČSN EN 1338, Příloha F	2 ks za každý pracovní den
Odolnost proti zmrazování / rozmrazování	Shoda s deklarovanou hodnotou danou v ČSN EN 1338 a PN BB 1338	ČSN EN 1338, Příloha D, ČSN 73 1326	3 ks daného typu výrobku za 3 měsíce
Obrusnost	Shoda s deklarovanou hodnotou danou v ČSN EN 1338 a PN BB 1338	ČSN EN 1338, Příloha H	3 ks daného typu výrobku za 3 měsíce

Tabulka 27: Kontrola hotových výrobků – betonové dlažební bloky

## B Příloha - Klasická kvantifikace rizik

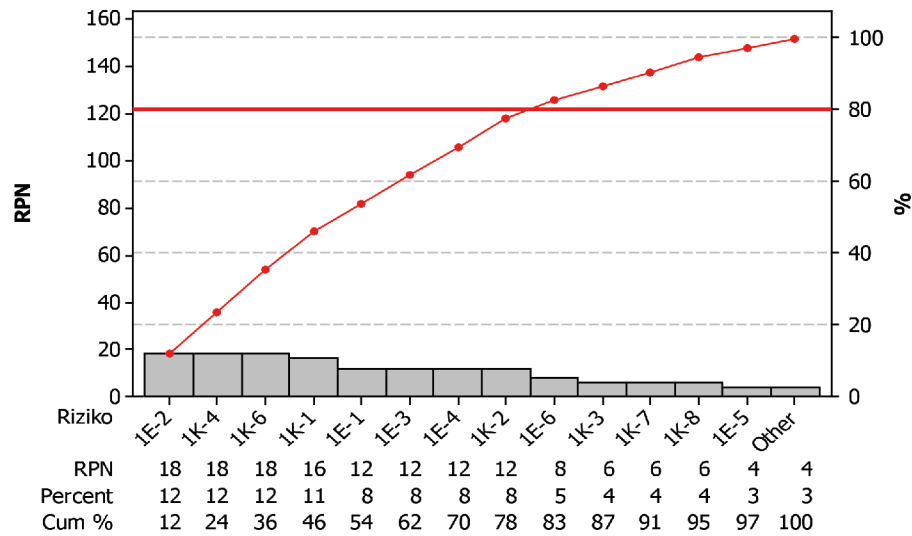
### B.1 1 - Přejímka surovin

Riziko	Proměnná			
	O	S	D	RPN
1K-1 Přijetí neshodných surovin	2	2	4	16
1K-2 Přijetí neshodného množství surovin	2	2	3	12
1K-3 Chyba v evidenci dodacích listů (nezaevidování)	2	1	3	6
1K-4 Smíchání kameniv s předchozí převáženou komoditou (suť, obilí, atd.)	2	3	3	18
1K-5 Porucha vozidla dopravce v areálu závodu (+ nehoda?)	2	1	2	4
1K-6 Nedodání složek ČB	3	2	3	18
1K-7 Zablokování dopravy v areálu				6
1K-7.1 Kolize s manipulačním prostředkem/vozidlem	1	1	3	3
1K-7.2 Porucha vnitřních dopravních cest surovin	1	1	3	3
1K-8 Odborná způsobilost zaměstnanců	2	3	1	6

Tabulka 28: 1 - Přejímka surovin: Kvantifikace kvalitativních rizik

Riziko	Proměnná			
	O	S	D	RPN
1E-1 Kontaminace NCHLP kanalizace	3	2	2	12
1E-2 Kontaminace povrchových vod NCHLP	3	2	3	18
1E-3 Kontaminace půdy NCHLP	2	2	3	12
1E-4 Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Va- pexu	2	2	3	12
1E-5 Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	1	2	2	4
1E-6 Nesprávné třídění/vracení/likvidace obalů	2	2	2	8

Tabulka 29: 1 - Přejímka surovin: Kvantifikace environmentálních rizik



Obrázek 45: 1 - Přejímka surovin: Paretův diagram

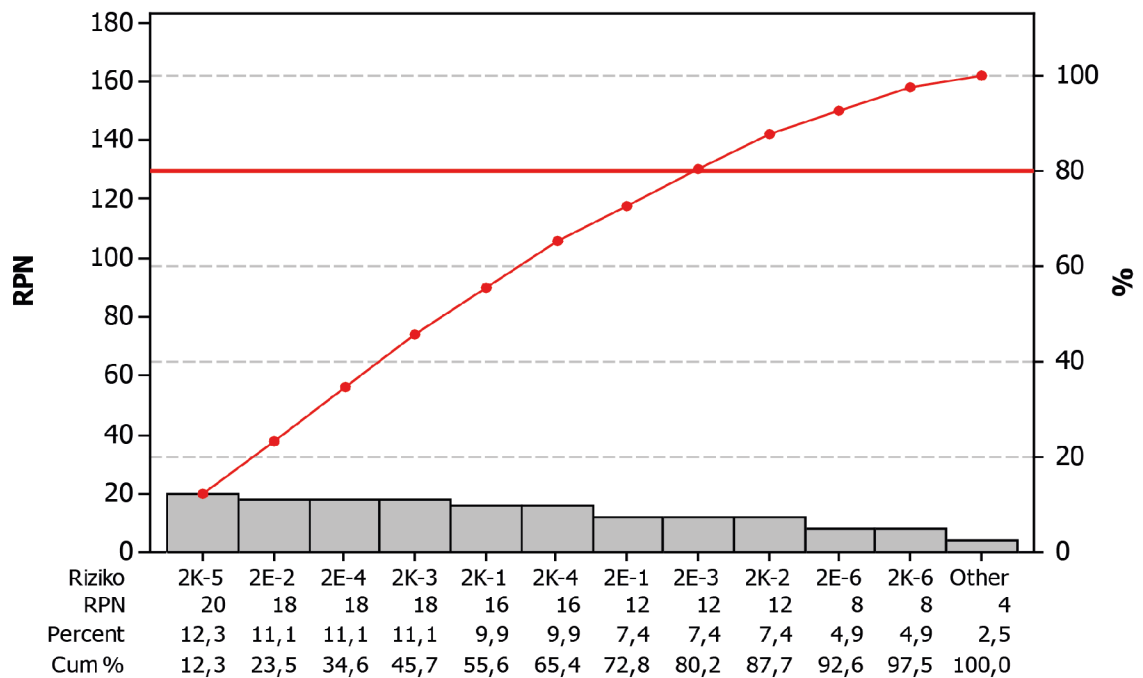
## B.2 2 - Skladování surovin

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
2K-1	Neshoda způsobená klimatickými podmínkami	2	2	4	16
2K-2	Únik kapalin – neshodná změna stavu zásob	2	2	3	12
2K-3	Poškození zásobníků				18
	2K-3.1 Nedbalost	2	1	3	6
	2K-3.2 Porucha	2	1	3	6
	2K-3.3 Havárie	2	1	3	6
2K-4	Porucha dopravníků	2	2	4	16
2K-5	Neprovedení periodických kontrol skladovacích objektů				20
	2K-5.1 Skladovací přístřešek uzavřený	2	1	2	4
	2K-5.2 Přístřešek se zásobníky	2	1	2	4
	2K-5.3 Zásobníky cementu	2	1	2	4
	2K-5.4 Zásobníky štěrku	2	1	2	4
	2K-5.5 Zásobníky písku	2	1	2	4
2K-6	Neprovedení technických kontrol motorových vozíků	2	1	4	8

Tabulka 30: 2 - Skladování surovin: Kvantifikace kvalitativních rizik

	Riziko	Proměnná			RPN
		O	S	D	
2E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace	3	2	2	12
2E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP	3	2	3	18
2E-3	Kontaminace půdy NCHLP	3	2	2	12
2E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Va- pexu	3	2	3	18
2E-5	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	1	2	2	4
2E-6	Nesprávné třídění/vracení/likvidace obalů	2	2	2	8

Tabulka 31: 2 - Skladování surovin: Kvantifikace environmentálních rizik

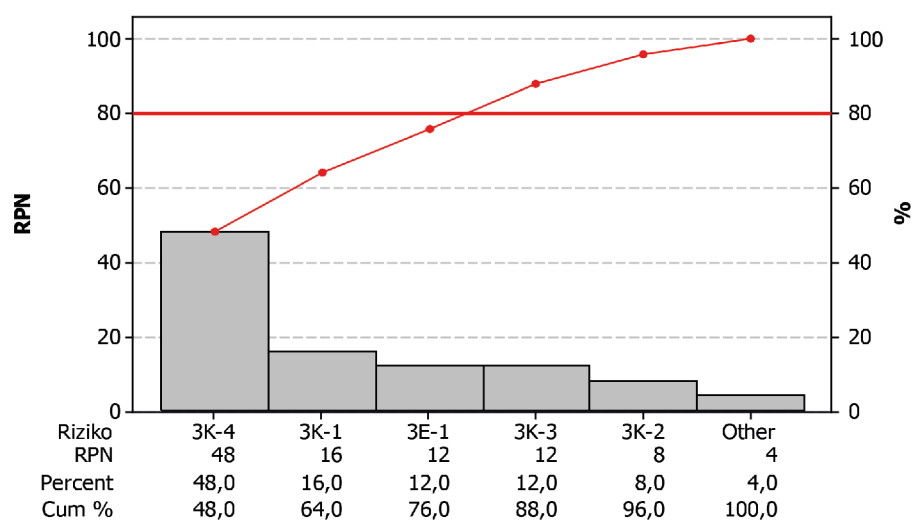


Obrázek 46: 2 - Skladování surovin: Paretův diagram

## B.3 3 - Doprava surovin

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
3K-1	Porucha dopravníku/čerpadla				16
	3K-1.1 Nedbalost pracovníka	2	1	4	8
	3K-1.2 Nevyhovující technický stav	1	1	4	4
	3K-1.3 Nedostatečná údržba	1	1	4	4
3K-2	Havárie vodovodního řadu	1	2	4	8
3K-3	Neprovedení technických kontrol motorových vozíků	2	2	3	12
3K-4	Neprovedení revizí				48
	3K-4.1 Dopravník bílého písku	2	1	2	4
	3K-4.2 Dopravník žlutého písku	2	1	2	4
	3K-4.3 Dopravník šterku	2	1	2	4
	3K-4.4 Dopravník písku	2	1	2	4
	3K-4.5 Čerpadlo vody	2	1	2	4
	3K-4.6 Zdvihací zařízení	2	1	2	4
	3K-4.7 Kompresor	2	1	2	4
	3K-4.8 Vodárna	2	1	2	4
	3K-4.9 Zásobník cementu	2	1	2	4
	3K-4.10 Zásobník písku	2	1	2	4
	3K-4.11 Zásobník šterku	2	1	2	4
	3K-4.12 Zásobník písku	2	1	2	4
3E-1	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest	3	2	2	12
3E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	1	2	2	4

Tabulka 32: 3 - Doprava surovin: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

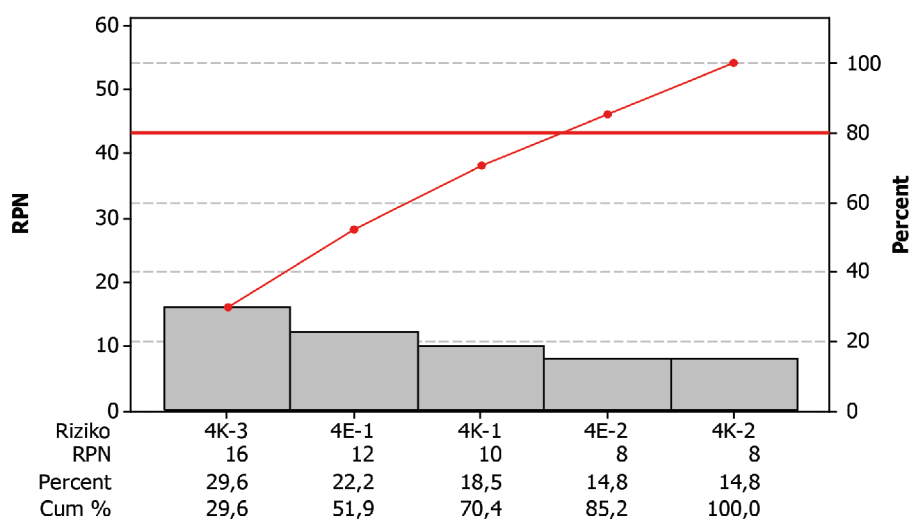


Obrázek 47: 3 - Doprava surovin: Paretův diagram

## B.4 4 - Vážení a dávkování surovin

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
4K-1	Porucha vah	2	1	5	10
4K-2	Neshoda v metrologické confirmaci	2	1	4	8
4K-3	Neprovedení revizí				16
	4K-3.1 Automatická váha písku	2	1	2	4
	4K-3.2 Automatická váha šterku	2	1	2	4
	4K-3.3 Automatická váha cementu	2	1	2	4
	4K-3.4 Automatická váha přísad	2	1	2	4
4E-1	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest	3	2	2	12
4E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 33: 4 - Vážení a dávkování surovin: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik



Obrázek 48: 4 - Vážení a dávkování surovin: Paretův diagram

**B.5 5 - Výroba čerstvého betonu**

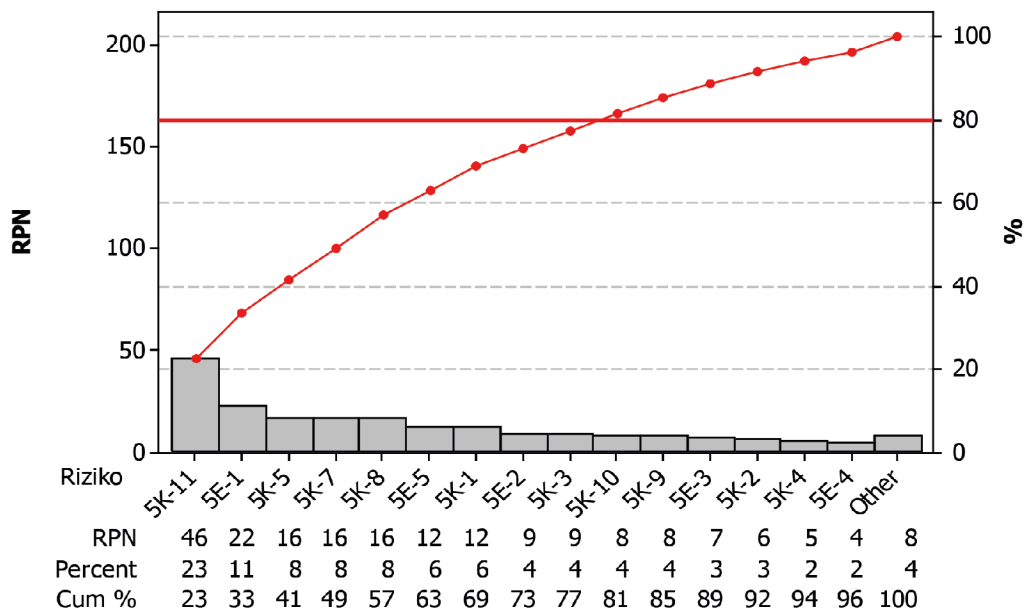
Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
5K-1	Nedodržení SPP	2	3	2	12
5K-2	Neshodný čerstvý beton				6
	5K-2.1 Neshodné plnění formy	1	2	1	2
	5K-2.2 Neshodná konzistence	2	2	1	4
5K-3	Forma				9
	5K-3.1 Velká drsnost povrchu	1	1	1	1
	5K-3.2 Nečistota	2	2	1	4
	5K-3.3 Opotřebení	2	2	1	4
5K-4	Hutnění				5
	5K-4.1 Neshodná frekvence vibrace	1	1	1	1
	5K-4.2 Neshodný čas	2	2	1	4
5K-5	Porucha míchačky	2	2	4	16
5K-6	Svévolný zásah obsluhy míchacího centra do výroby čerstvého betonu	1	2	2	4
5K-7	Porucha elektromagnetické sondy pro měření konzistence ČB	2	2	4	16
5K-8	Neprovedení vizuální kontroly ČB	2	2	4	16
5K-9	Lidský faktor	1	2	4	8
5K-10	Vyšší moc (energetika, klima, atd.)	1	2	4	8
5K-11	Neprovedení revizí a kontrol				
	5K-11.1 Dopravník bílého písku	2	1	1	2
	5K-11.2 Dopravník žlutého písku	2	1	1	2
	5K-11.3 Dopravník šterku	2	1	1	2
	5K-11.4 Automatická váha písku	2	1	1	2
	5K-11.5 Automatická váha šterku	2	1	1	2
	5K-11.6 Dopravník šterku	2	1	1	2
	5K-11.7 Dopravník písku	2	1	1	2
	5K-11.8 Míchačka	2	1	1	2
	5K-11.9 Čerpadlo vody	2	1	1	2
	5K-11.10 Vibrolis	2	1	1	2
	5K-11.11 Dopravník vyvážecí od vibrolisu	2	1	1	2
	5K-11.12 Paletizační linka, včetně vynašecího dopravníku	2	1	1	2
	5K-11.13 Zdvihačí zařízení	2	1	1	2
	5K-11.14 Kompresor	2	1	1	2
	5K-11.15 Vyvážecí dopravník	2	1	1	2
	5K-11.16 Výrobní hala	2	1	1	2
	5K-11.17 Portálový elektrický jeřáb	2	1	1	2
	5K-11.18 Vzdušník	2	1	1	2
	5K-11.19 Vodárna	2	1	1	2
	5K-11.20 Zásobník cementu	2	1	1	2
	5K-11.21 Zásobník písku	2	1	1	2
	5K-11.22 Zásobník šterku	2	1	1	2
	5K-11.23 Zásobník písku	2	1	1	2

Tabulka 34: 5 - Výroba čerstvého betonu: Kvantifikace kvalitativních rizik



Riziko	Proměnná			
	O	S	D	RPN
5E-1 Odpadové hospodářství				<b>22</b>
5E-1.1 Netřídění odpadu	2	2	2	8
5E-1.2 Nezjištění / nenahlášení nebezpečného odpadu	1	3	1	3
5E-1.3 Porucha ČOV únikem nebezpečných kapalin	1	3	1	3
5E-1.4 Špatná recyklace				8
5E-1.4.1 Smíchání vedlejších produktů	2	2	1	4
5E-1.4.2 Špatné skládkování	1	2	2	4
5E-2 Hluk	3	3	3	<b>9</b>
5E-3 Ovzduší				<b>7</b>
5E-3.2 Emise	1	1	1	1
5E-3.3 Doprava	3	2	1	6
5E-4 Neshodné užití nebezpečných chemických látek	2	2	1	<b>4</b>
5E-5 Nehospodárné nakládání s energiemi	2	3	2	<b>12</b>
5E-6 Kontaminace půdy	1	2	1	<b>2</b>
5E-7 Zásah emitovanými energiemi	1	2	1	<b>2</b>

Tabulka 35: 5 - Výroba čerstvého betonu: Kvantifikace kvalitativních rizik

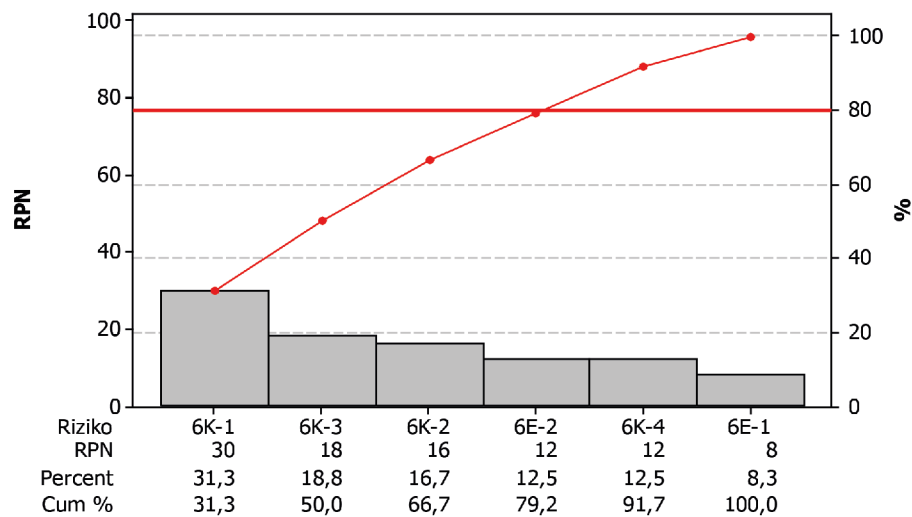


Obrázek 49: 5 - Výroba čerstvého betonu: Paretův diagram

## B.6 6 - Výroba betonového zboží

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
6K-1	Porucha výrobní linky	2	3	5	30
6K-2	Porucha dopravníku	2	2	4	16
6K-3	Neprovedení revizí a kontrol				18
6K-3.1	Vibrolis	2	1	1	2
6K-3.2	Dopravník vyvážecí od vibrolisu	2	1	1	2
6K-3.3	Paletizační linka, včetně vynašecího dopravníku	2	1	1	2
6K-3.4	Zdvihací zařízení	2	1	1	2
6K-3.5	Kompresor	2	1	1	2
6K-3.6	Vyvážecí dopravník	2	1	1	2
6K-3.7	Výrobní hala	2	1	1	2
6K-3.8	Portálový elektrický jeřáb	2	1	1	2
6K-3.9	Vzdušník	2	1	1	2
6K-4	Neshodná konzistence ČB	2	2	3	12
6E-1	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8
6E-2	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest	3	2	2	12

Tabulka 36: 6 - Výroba betonového zboží: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

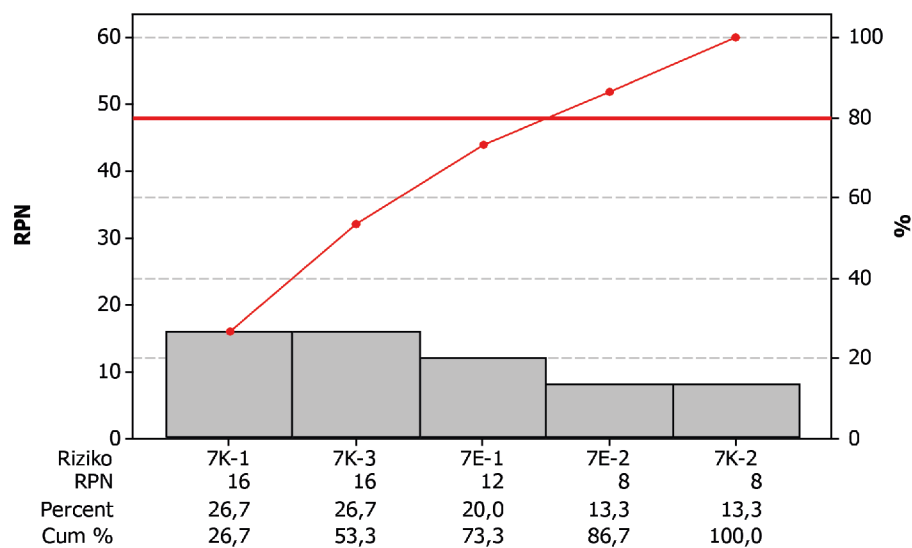


Obrázek 50: 6 - Výroba betonového zboží: Paretův diagram

### B.7 7 - Vizuální kontrola

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
7K-1	Neshodné provedení vizuální kontroly	2	2	4	16
7K-2	Selhání lidského faktoru - komunikace	1	2	4	8
7K-3	Zastavení výrobní linky	2	2	4	16
7E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
7E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 37: 7 - Vizuální kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

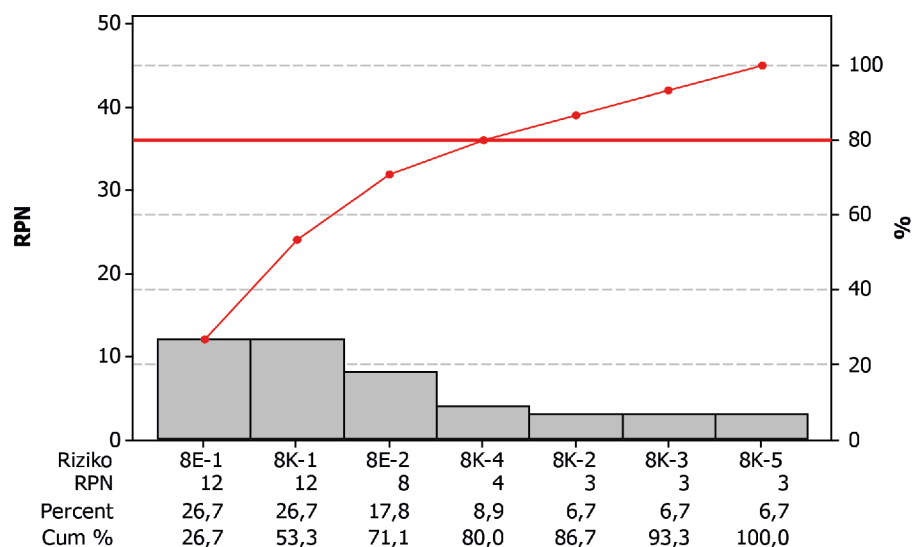


Obrázek 51: 7 - Vizuální kontrola: Paretův diagram

### B.8 8 - Zrání betonového zboží

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
8K-1	Porucha zavážecího zařízení	2	2	3	12
8K-2	Neshodné skladovací podmínky	1	1	3	3
8K-3	Nedosažení manipulační pevnosti	1	1	3	3
8K-4	Neprovedení revizí				4
	8K-4.1 Zárny	2	1	1	2
	8K-4.2 Regály	2	1	1	2
8K-5	Vyšší moc	1	1	3	3
8E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
8E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 38: 8 - Zrání betonového zboží: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

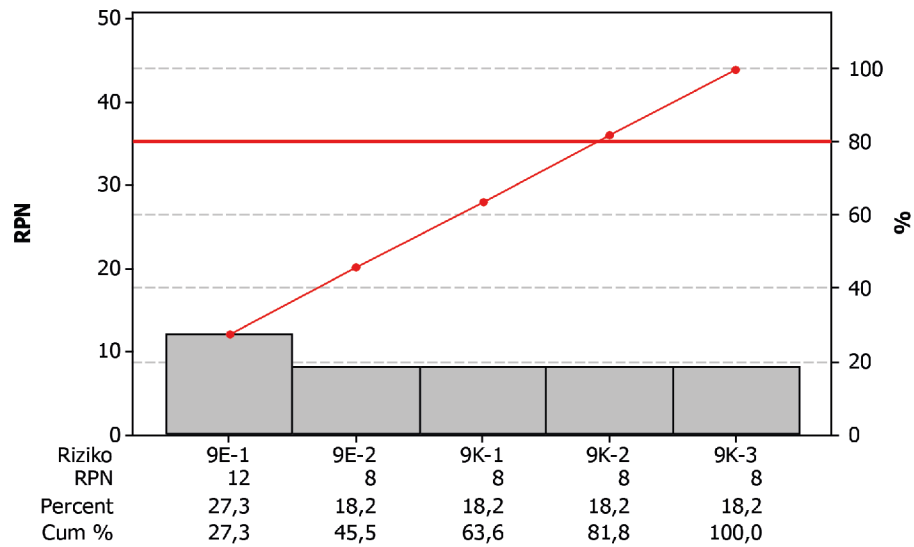


Obrázek 52: 8 - Zrání betonového zboží: Paretův diagram

## B.9 9 - Výstupní kontrola

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
9K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly	2	2	2	8
9K-2	Neshodné rozřídění výrobků podle jakostních tříd	2	2	2	8
9K-3	Nedostatečné zabezpečení výrobků proti posunu na paletě	2	2	3	8
9E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
9E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 39: 9 - Výstupní kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

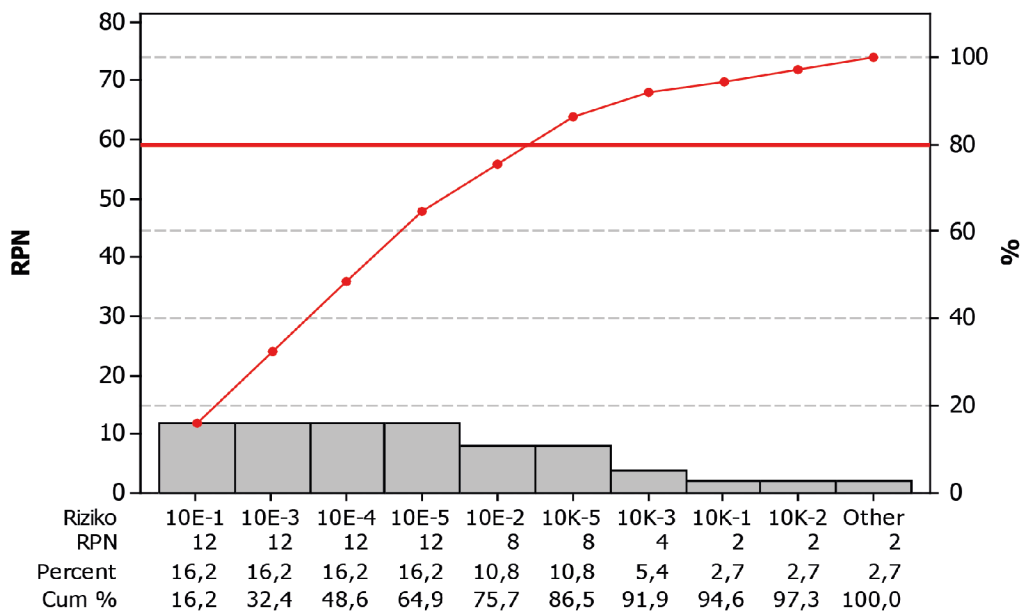


Obrázek 53: 9 - Výstupní kontrola: Paretův diagram

## B.10 10 - Paletizace

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
10K-1	Poškození povrchu zboží	1	1	2	2
10K-2	Poškozená paleta	2	1	1	2
10K-3	Porucha MV	2	1	2	4
10K-4	Neshodné označení zboží	1	1	2	2
10K-5	Neprovedení revizí				
	10K-5.1 Vozíky	2	2	2	8
10E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
10E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8
10E-3	Kontaminace NCHLP kanalizace	2	2	3	12
10E-4	Kontaminace povrchových vod NCHLP	2	2	3	12
10E-5	Kontaminace půdy NCHLP	2	2	3	12

Tabulka 40: 10 - Paletizace: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

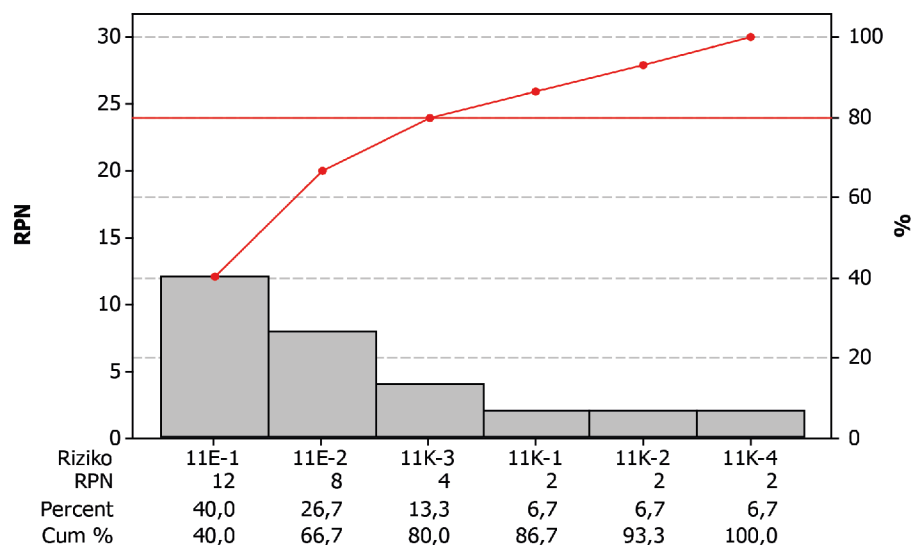


Obrázek 54: 10 - Paletizace: Paretův diagram

### B.11 11 - Paletizace

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
11K-1	Poškození povrchu zboží	1	1	2	2
11K-2	Poškozená paleta	2	1	1	2
11K-3	Porucha MV	2	1	2	4
11K-4	Neprovedení revizí				
	11K-4.1 Vozíky	1	1	2	2
11E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
11E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 41: 11 - Transport na meziskládku: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik

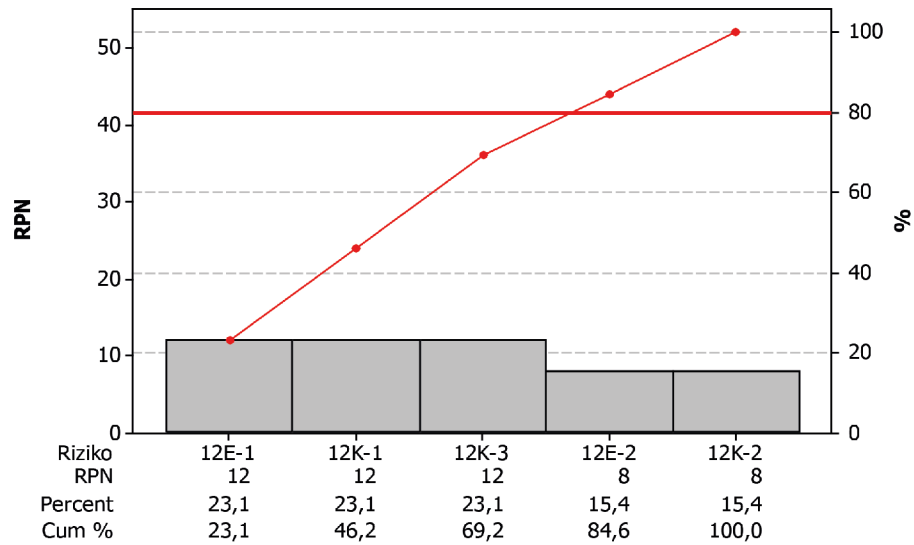


Obrázek 55: 11 - Paletizace: Paretův diagram

## B.12 12 - Transport na meziskládku

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
12K-1	Porucha zařízení na tryskání/otloukání/štípání	2	2	3	12
12K-2	Neprovedení revizí	2	2	2	8
12K-3	Nedodržení doby zrání	2	2	3	12
12E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
12E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 42: 12 - Povrchová úprava: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik



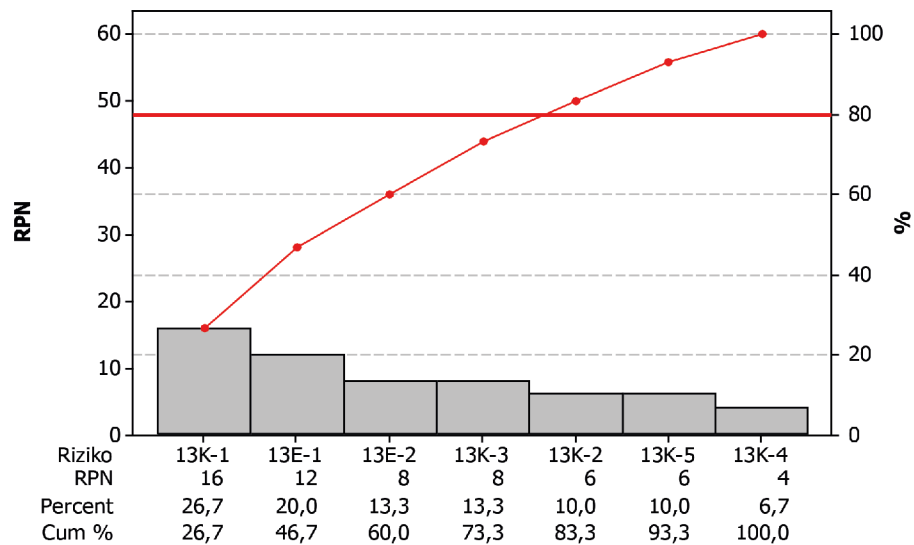
Obrázek 56: 12 - Transport na meziskládku: Paretův diagram

### B.13 13 - Povrchová úprava

Riziko		Proměnná			
		O	S	D	RPN
13K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly	2	2	4	16
13K-2	Neshodné roztrídění výrobků podle jakostních tříd	1	2	3	6
13K-3	Nedostatečné zabezpečení výrobků proti posunu na paletě	1	2	4	8
13K-4	Porucha MV	1	2	2	4
13K-5	Neshodné označení zboží	1	2	3	6
13E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků	3	2	2	12
13E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami	2	2	2	8

Tabulka 43: 13 - Výstupní kontrola: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik



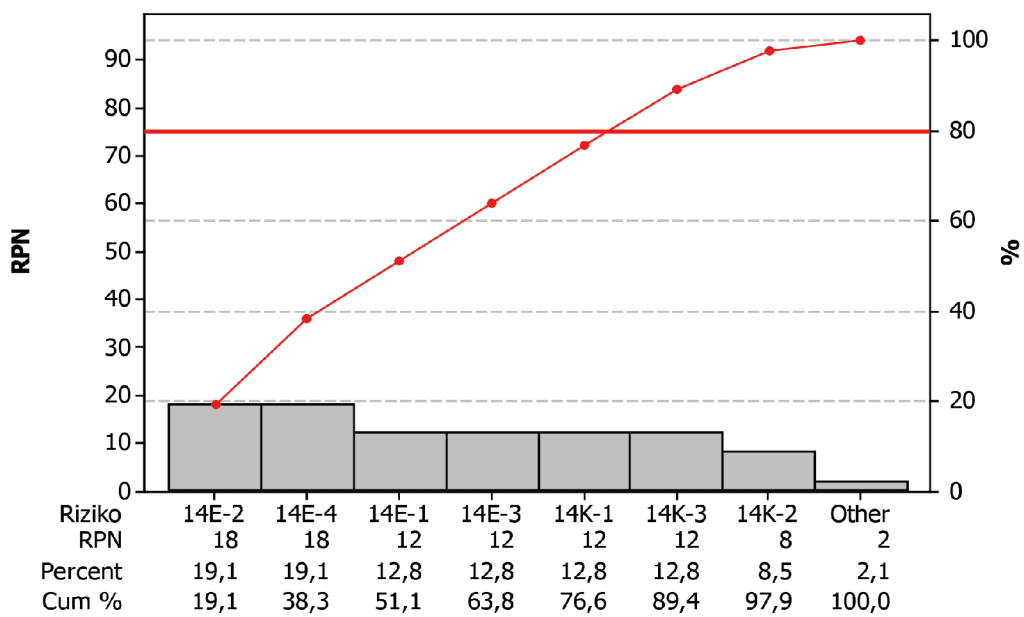


Obrázek 57: 13 - Povrchová úprava: Paretův diagram

### B.14 14 - Transport na skládku

Riziko	Proměnná			
	O	S	D	RPN
14K-1 Poškození povrchu zboží	2	2	3	12
14K-2 Poškozená paleta	2	2	2	8
14K-3 Porucha MV	2	2	3	12
14K-4 Neprovedení revizí 14K-4.1 Vozíky				
14E-1 Kontaminace NCHLP kanalizace	3	2	2	12
14E-2 Kontaminace povrchových vod NCHLP	3	2	3	18
14E-3 Kontaminace půdy NCHLP	3	2	2	12
14E-4 Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Va- pexu	3	2	3	18

Tabulka 44: 14 - Transport na skládku: Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik



Obrázek 58: 14 - Transport na skládku: Paretův diagram

**B.15 Vyhodnocení nejzávažnějších rizik**

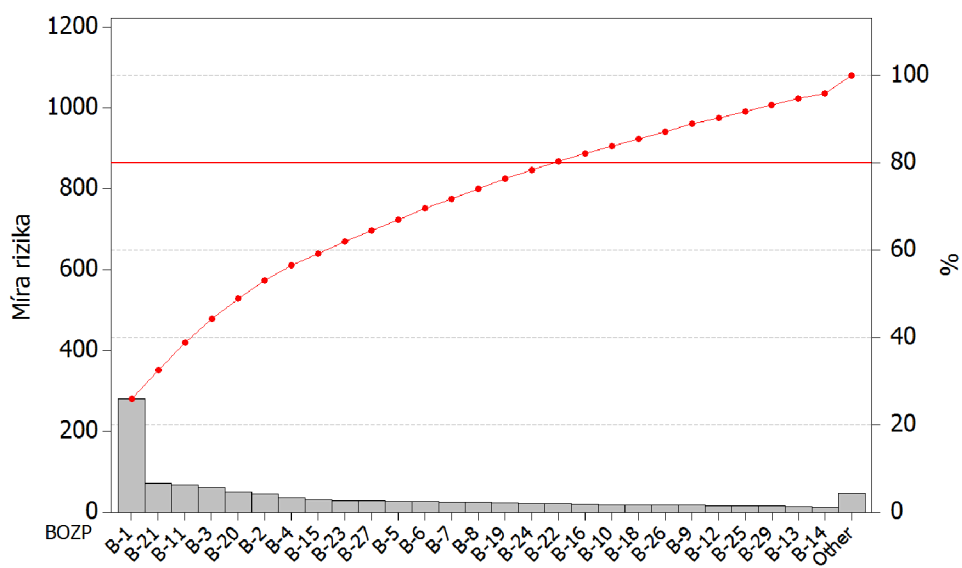
Označení	Riziko
1E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
1K-4	Smíchání kameniv s předchozí převáženou komoditou (suť, obilí, atd.)
1K-6	Nedodání složek ČB
1K-1	Přijetí neshodných surovin
1E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace
1E-3	Kontaminace půdy NCHLP
1E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu
1K-2	Přijetí neshodného množství surovin
2K-5	Neprovedení periodických kontrol skladovacích objektů
2E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
2E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu
2K-3	Poškození zásobníků
2K-1	Únik kapalin – neshodná změna stavu zásob
2K-4	Porucha dopravníků
2E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace
3K-4	Neprovedení revizí
3K-1	Porucha dopravníku/čerpadla
3E-1	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest
4K-3	Neprovedení revizí
4E-1	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest
4K-1	Porucha vah
5K-11	Neprovedení revizí a kontrol
5E-1	Odpadové hospodářství
5K-5	Porucha míchačky
5K-7	Porucha elektromagnetické sondy pro měření konzistence ČB
5K-8	Neprovedení vizuální kontroly ČB
5E-5	Nehospodárné nakládání s energiemi
5K-1	Nedodržení SPP
5E-2	Hluk
5K-3	Forma
6K-1	Porucha výrobní linky
6K-3	Neprovedení revizí a kontrol
6K-2	Porucha dopravníku
6E-2	Nesprávná likvidace úkapů/úsypů z dopravních cest
7K-1	Neshodné provedení vizuální kontroly
7K-3	Zastavení výrobní linky
7E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
8E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
8K-1	Porucha zavážecího zařízení
8E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
9E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
9E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
9K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly

Tabulka 45: Nejzávažnější rizika vyhodnocená klasickými postupy - část 1

Označení	Riziko
10E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
10E-3	Kontaminace NCHLP kanalizace
10E-4	Kontaminace povrchových vod NCHLP
10E-5	Kontaminace půdy NCHLP
10E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
11E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
11E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
12E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
12K-1	Porucha zařízení na tryskání/otloukání/štípání
12K-3	Nedodržení doby zrání
13K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly
13E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
13E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
13K-3	Nedostatečné zabezpečení výrobků proti posunu na paletě
14E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
14E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu
14E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace
14E-3	Kontaminace půdy NCHLP
14K-1	Poškození povrchu zboží

Tabulka 46: Nejzávažnější rizika vyhodnocená klasickými postupy - část 2

## C Příloha - Kvantifikace rizik BOZP



Obrázek 59: Paretův diagram rizik BOZP



Riziko BOZP		Pst.	Záv.	Názor	Míra
B-1	Úraz el. proudem				<b>280</b>
	B-1.1 porušení izolace připojených pohyblivých přívodů	3	5	5	75
	B-1.2 dotyk cizích vodivých předmětů s el. vodiči při manipulaci	2	5	5	50
	B-1.3 poškození, porušení izolace vodičů, kabelů šňůrových vedení	2	5	5	50
	B-1.4 vytržení přívodní šňůry nešetrou, nežádoucí nebo zakázanou manipulací pracovníky	2	5	3	30
	B-1.5 zařízení např. při obsluze a činnostech na el. zařízeních pracovníky seznámenými a poučenými	1	5	5	25
	B-1.6 nahodilý dotyk s živými nebo neživými částmi elektrických zařízení	1	5	5	25
	B-1.7 nemožnost rychlého vypnutí el. proudu v případě nebezpečí	1	5	5	25
B-2	Podlahy, komunikace - pohyb osob				<b>45</b>
	B-2.1 ztížená evakuace a pohyb osob únikovými cestami v případě nebezpečí	3	5	3	45
B-3	Jednoduché a dvojité žebříky				<b>60</b>
	B-3.1 Špatné zajištění stability - pád	4	3	3	36
	B-3.2 prasknutí, zlomení příčle dřevěných žebříků s následným pádem pracovníka	3	3	2	18
	B-3.3 převrácení žebříku jinou osobou	2	3	1	6
B-4	Destrukce tlakového celku TNS s ohrožením osob dynamickými účinky kovových částí	3	4	3	<b>36</b>
B-5	Pád osoby z výšky při mytí oken, čištění stropních svítidel	3	3	3	<b>27</b>
B-6	Manipulační prostory - pád osoby z rampy	3	3	3	<b>27</b>
B-7	Atmosférická elektrina - zasažení bleskem	1	5	5	<b>25</b>
B-8	Zachycení a vtažení končetiny pohybující se částí stroje	1	5	5	<b>25</b>
B-9	Chemické látky - popálení, poleptání, pořezání těla	3	3	2	<b>18</b>
B-10	Provoz na vnitrozávodních komunikacích - dopravní nehody v areálu firmy	3	3	2	<b>18</b>
B-11	Manipulační zdvižné vozíky				<b>67</b>
	B-11.1 Sesutí nákladu	3	3	2	18
	B-11.2 najetí vozíkem na osobu	2	3	2	12
	B-11.3 přiražení osoby pohybujícím se vozíkem	3	3	1	9
	B-11.4 převrácení vozíku	2	4	1	8
	B-11.5 pád břemene na řidiče vysokozdvižného vozíku	2	3	1	6
	B-11.6 pád břemene a zasažení osoby nacházející se v blízkosti vozíku	2	3	1	6
	B-11.7 pád řidiče při sestupování z vozíku	2	2	1	4
	B-11.8 obtěžující účinky výfukových plynů	2	2	1	4
B-12	Tlakové nádoby stabilní - únik látky	2	4	2	<b>16</b>

Tabulka 47: Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 1

Riziko BOZP		Pst.	Záv.	Názor	Míra
B-13	Statická elektřina - zapálení par hořlavých kapalin, plynů nebo hořlavých prachů	1	5	3	<b>15</b>
B-14	Silniční vozidla, pojízdné prostředky a stroje - zranění pracovníka	3	2	2	<b>12</b>
B-15	Práce s akumulátorovými bateriemi, jejich nabíjení				<b>30</b>
	B-15.1 potřísnění při manipulaci s elektrolytem nebo hydroxidem draselným	2	3	2	12
	B-15.2 zasažení žíravinou	2	3	2	12
	B-12.3 vývin vodíku s explozí, požár, popáleniny pracovníka při nabíjení aku-baterií	2	3	1	6
B-16	Ruční nářadí				<b>20</b>
	B-16.1 zranění vlivem nedostatečného osvětlení	2	2	3	12
	B-16.2 vyklouznutí nářadí z ruky a následné zranění	2	2	1	4
	B-16.3 dlouhotrvající jednostranné zatížení organismu	2	2	1	4
B-17	Provoz na vnitrozávodních komunikacích - zranění osoby	2	3	2	12
B-18	Zvýšené podlahy, plošiny a komunikace				<b>18</b>
	B-18.1 pád osoby	2	3	2	12
	B-18.2 pád a propadnutí materiálu na osobu	2	3	1	6
B-19	Podlahy, komunikace				<b>24</b>
	B-19.1 uklouznutí, podvrtnutí nohy, naražení a pád osoby na podlaze	3	2	2	12
	B-19.2 pád osoby při sestupování (nastupování) ze schodů	3	2	2	12
B-20	Úklid provozních prostor				<b>50</b>
	B-20.1 pořezání rukou při odklizení skleněných střepeň	3	2	2	12
	B-20.2 opaření horkou vodou	3	2	2	12
	B-20.3 poleptání pokožky žíravými čistícími a desinfekčními prostředky	3	2	2	12
	B-20.4 ohrožení infekčními onemocněními	2	2	2	8
	B-20.5 hýždí při úderech o hrany stolů, rohy nábytku, stoly, skříně a o části zařízení budov	2	1	3	6
B-21	Ruční manipulace				<b>72</b>
	B-21.1 pád osoby při chůzi a přenášení břemen ve skladovacích prostorách	2	2	3	12
	B-21.1 přetížení a namožení	2	3	2	12
	B-21.3 poškození páteře při dlouhodobějším zvedání a manipulaci s břemeny v nevhodné poloze	2	3	2	12
	B-21.4 pád břemene na pracovníka	3	2	2	12
	B-21.5 provádění manipulačních prací ve stísněných prostorách	2	2	2	8
	B-21.6 pád, sklouznutí lyžiny, pád osoby	2	2	2	8
	B-21.7 pád břemene na nohu, naražení břemenem	2	1	2	4
	B-21.8 pořezání rukou/píchnutí/bodnutí/ odření	2	2	1	4

Tabulka 48: Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 2



<b>Riziko BOZP</b>		<b>Pst.</b>	<b>Záv.</b>	<b>Náзор</b>	<b>Míra</b>
B-22	Nakládka a vykládka dopravních prostředků				<b>21</b>
	B-22.1 přejetí, naražení, přitlačení osoby dopravním prostředkem	1	3	3	9
	B-22.2 uklouznutí, klopýtnutí podvrtnutí nohy na manipulačních a ložných plochách	2	2	1	4
	B-22.3 naražení, přiražení, přiskřípnutí prstů k úložné ploše	2	2	1	4
	B-22.4 pád břemene, předmětu, materiálu při vykládce a nakládce na pracovníka/osobu	2	1	2	4
B-23	Skladovací regály				<b>29</b>
	B-23.1 zřícení a pád regálu	1	3	3	9
	B-23.2 pád materiálu z regálové buňky a zasažení pracovníka	2	2	2	8
	B-23.3 pád pracovníka při obsluze výše položených regálových buněk	2	2	2	8
	B-23.4 zakopnutí, naražení osoby o konstrukci regálu a uložený materiál	2	1	2	4
B-24	Údržba a opravy strojů a zařízení				<b>22</b>
	B-24.1 výron a únik vysokotlaké hydraulické kapaliny a zasažení pracovníka	1	3	3	9
	B-24.2 neznalost technického stavu stroje/zařízení, vznik podmínek pro mimořádný stav	1	3	3	9
	B-24.3 naražení ruky, poranění kloubů o část stroje ve stísněném prostoru, sklouznutí náradí	1	2	2	4
B-25	Zařízení se zobrazovacími jednotkami -				<b>16</b>
	B-25.1 zraková zátěž	2	2	2	8
	B-25.2 dlouhodobé opírání zápěstí a předloktí o hranu stolu nebo klávesnice (útlak nervů)	2	2	2	8
B-26	Vrata, dveře				<b>18</b>
	B-26.1 samovolné zavření křídel	2	2	2	8
	B-26.2 vypadnutí křídel vrat a jejich pád na osobu	2	3	1	6
	B-26.3 přiražení osoby pohybem vratových křídel	2	2	1	4
B-27	Ruční vozíky - vodorovná doprava				<b>28</b>
	B-27.1 přiražení osoby vozíkem ke zdem	2	2	2	8
	B-27.2 pád, sklouznutí lyžiny na osobu	2	2	2	8
	B-27.3 uklouznutí při uvádění vozíku do pohybu	2	2	1	4
	B-27.4 pád nákladu	2	1	2	4
	B-27.5 přetížení pracovníka	1	2	2	4
B-28	Venkovní komunikace a venkovní prostory - pád, naražení různých částí těla po nastalém pádu osoby	2	2	2	<b>8</b>
B-29	Ruční čištění vnitropodnikových komunikací				<b>16</b>
	B-29.1 najetí vozidla na pracovníka	2	3	1	6
	B-29.2 sražení pracovníka či naražení vozidla na pracovníka provádějícího čištění na komunikaci za provozu	2	3	1	6
	B-29.3 pořezání ruky při sběru skleněných střepů	2	2	1	4
B-30	Okna, dveře - pořezání o sklo rozbité skleněné výplně	3	2	1	<b>6</b>

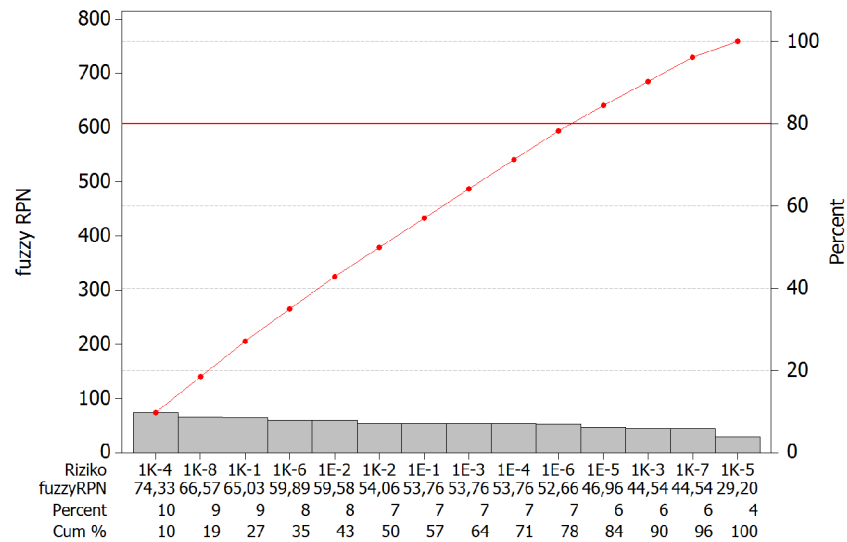
Tabulka 49: Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 3

	<b>Riziko BOZP</b>	<b>Pst.</b>	<b>Záv.</b>	<b>Názor</b>	<b>Míra</b>
B-31	Pracovní stoly - zvýšená únava v důsledku ohýbání zad a natahování rukou	2	2	1	4
B-32	Kancelářské práce - pád kancelářského zařízení po ztrátě jeho stability	1	2	2	4
B-33	Pracovní prostředí - osvětlení	2	2	1	4
B-34	Stohování materiálu				<b>8</b>
	B-34.1 prochlazení v zimním období při práci na venkovních nechráněných prostranstvích	2	2	1	4
	B-34.2 přehřátí, úpal v letním období	2	2	1	4

Tabulka 50: Shrnutí a vyhodnocení rizik BOZP - část 4

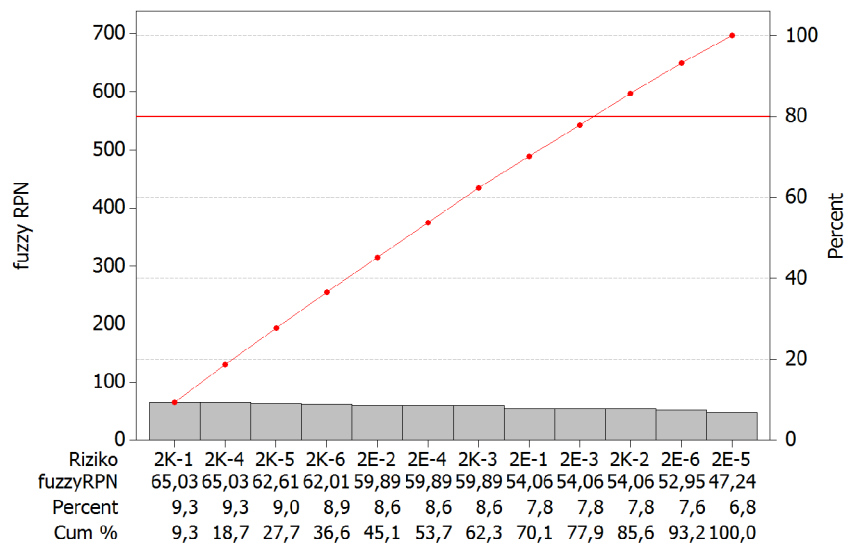
## D Příloha - Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik prostřednictvím FIS

### D.1 1 - Přejímka surovin



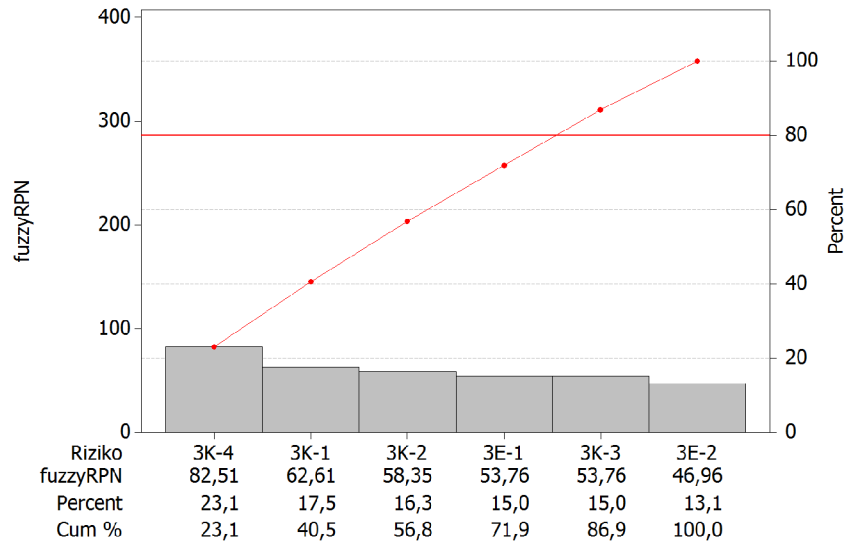
Obrázek 61: 1 - Přejímka surovin: Paretův diagram

### D.2 2 - Skladování surovin



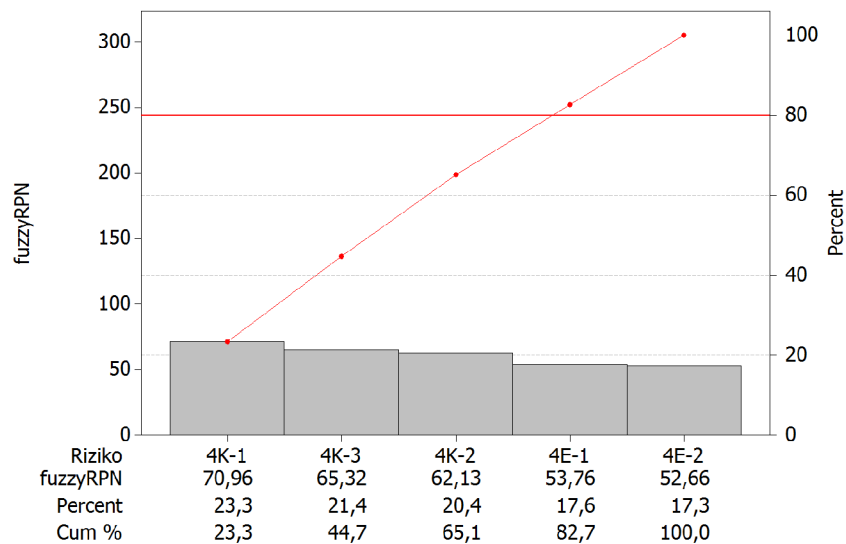
Obrázek 62: 2 - Skladování surovin: Paretův diagram

## D.3 3 - Doprava surovin



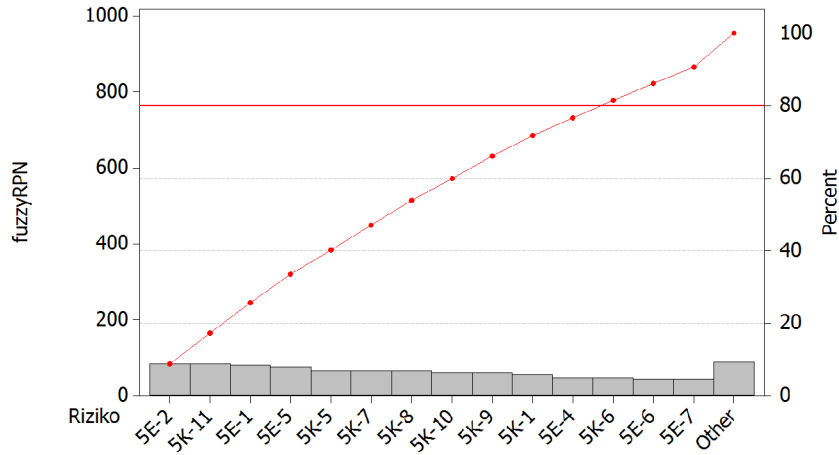
Obrázek 63: 3 - Doprava surovin: Paretův diagram

## D.4 4 - Vážení a dávkování surovin



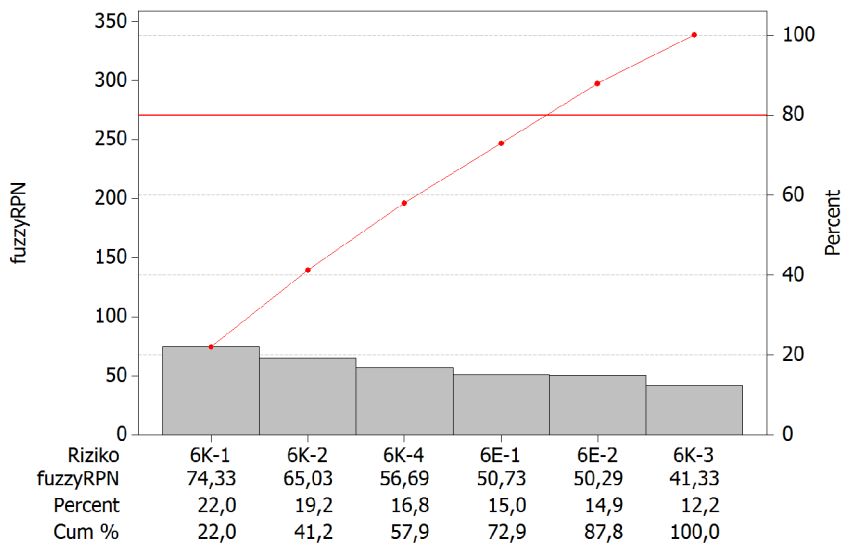
Obrázek 64: 4 - Vážení a dávkování surovin: Paretův diagram

**D.5 5 - Výroba čerstvého betonu**



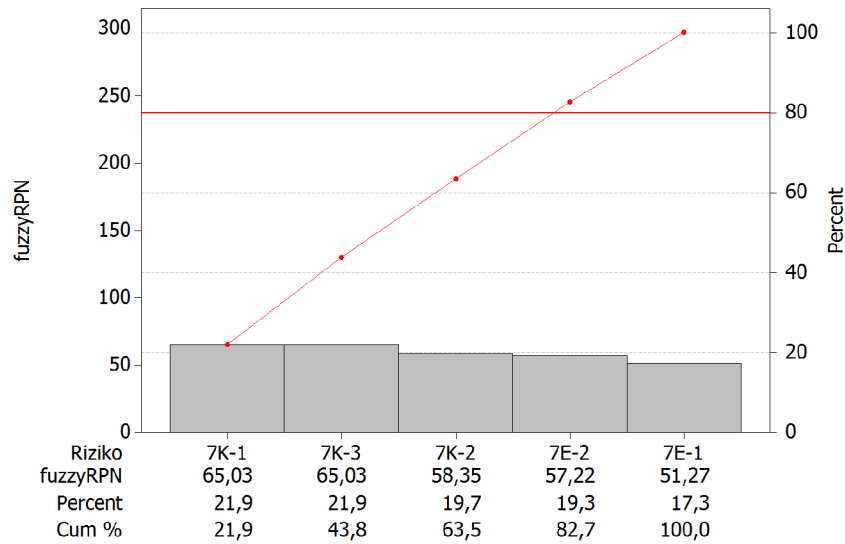
Obrázek 65: 5 - Výroba čerstvého betonu: Paretův diagram

**D.6 6 - Výroba betonového zboží**



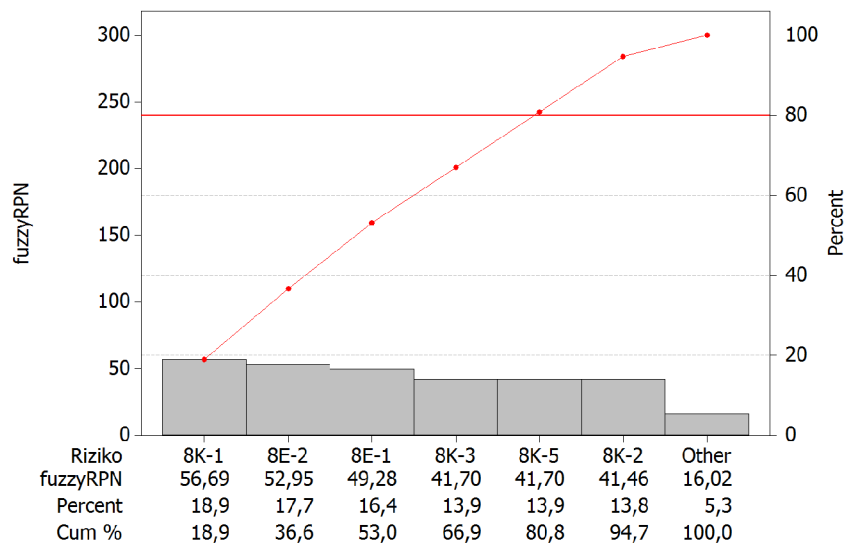
Obrázek 66: 6 - Výroba betonového zboží: Paretův diagram

## D.7 7 - Vizuální kontrola



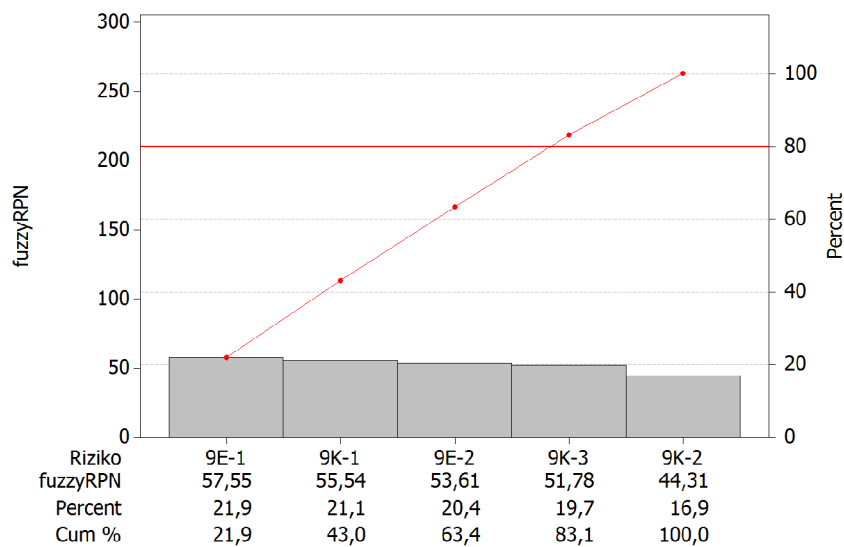
Obrázek 67: 7 - Vizuální kontrola: Paretův diagram

## D.8 8 - Zrání betonového zboží



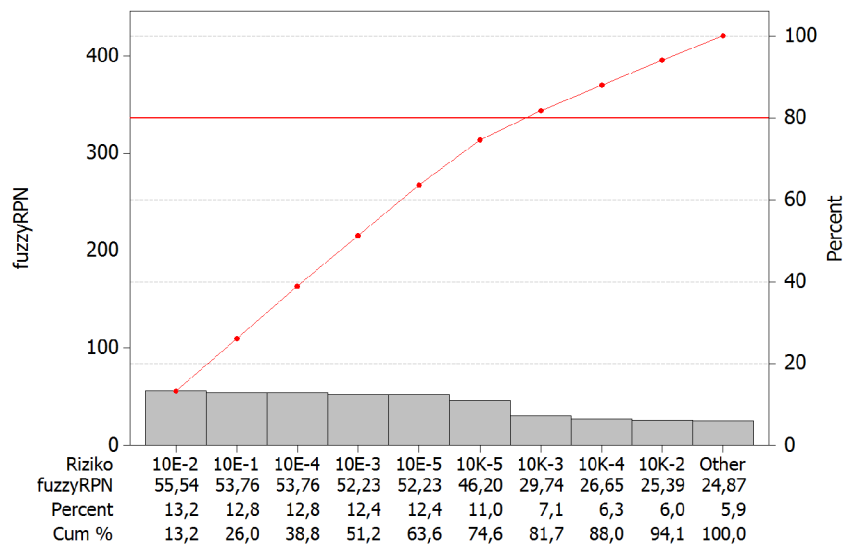
Obrázek 68: 8 - Zrání betonového zboží: Paretův diagram

## D.9 9 - Výstupní kontrola



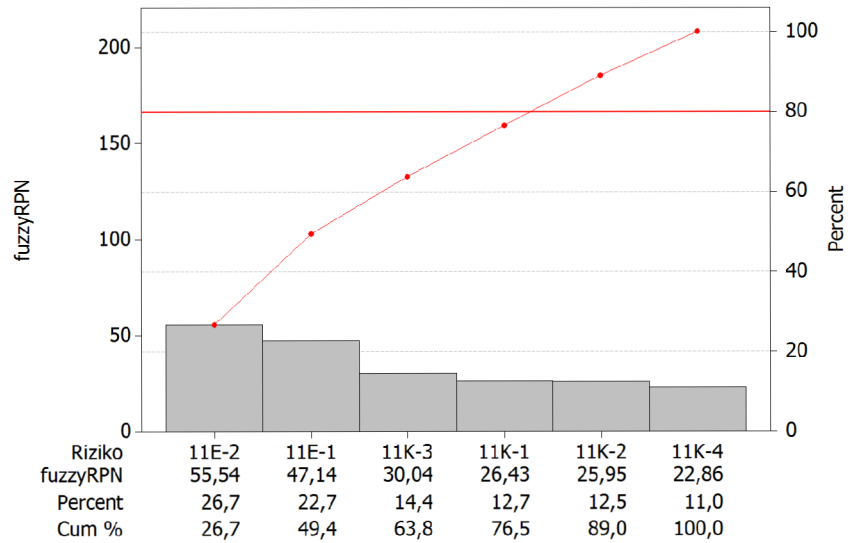
Obrázek 69: 9 - Výstupní kontrola: Paretův diagram

## D.10 10 - Paletizace



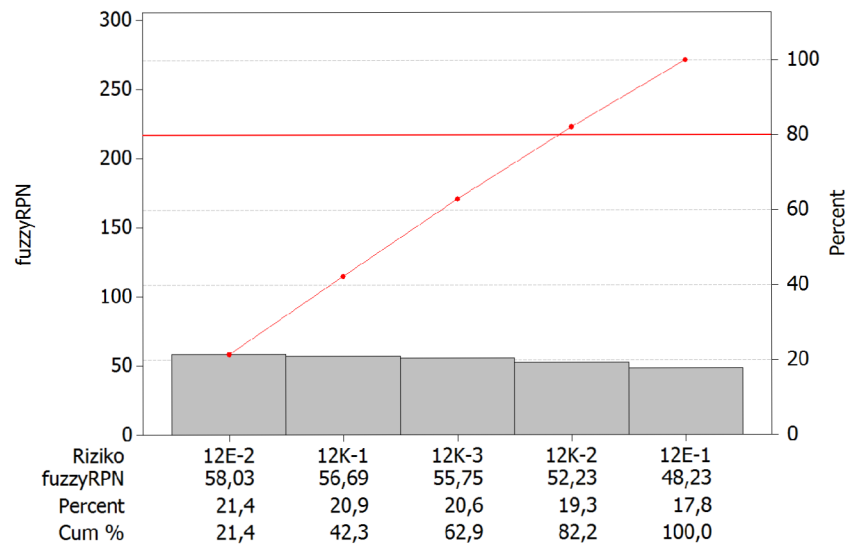
Obrázek 70: 10 - Paletizace: Paretův diagram

## D.11 11 - Paletizace



Obrázek 71: 11 - Paletizace: Paretův diagram

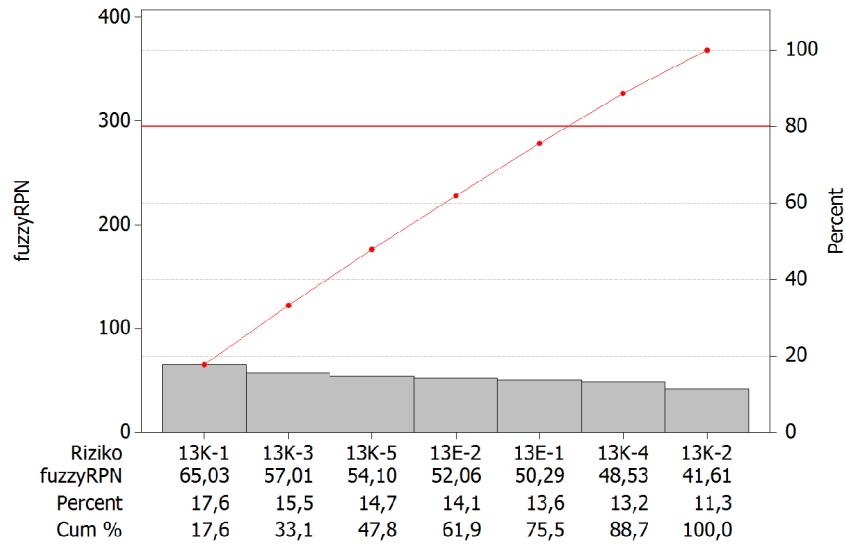
## D.12 12 - Transport na meziskládku



Obrázek 72: 12 - Transport na meziskládku: Paretův diagram

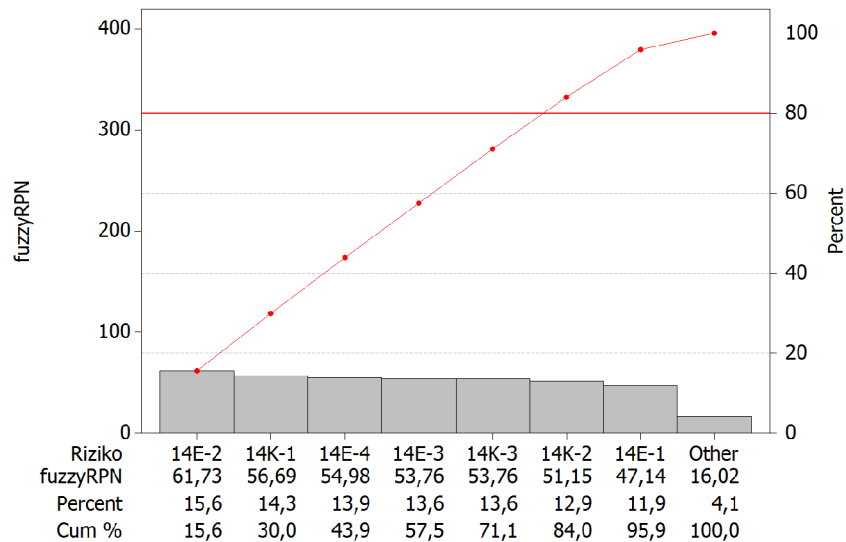


## D.13 13 - Povrchová úprava



Obrázek 73: 13 - Povrchová úprava: Paretův diagram

## D.14 14 - Transport na skládku



Obrázek 74: 14 - Transport na skládku: Paretův diagram

Označení	Riziko
1K-4	Smíchání kameniv s předchozí převáženou komoditou (suť, obilí atd.)
1K-8	Odborná způsobilost zaměstnanců
1K-1	Přijetí neshodných surovin
1K-6	Nedodání složek ČB
1E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
1K-2	Přijetí neshodného množství surovin
1E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace
1E-3	Kontaminace půdy NCHLP
1E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu
1E-6	Nesprávné třídění/vracení/likvidace obalů
2K-1	Neshoda způsobená klimatickými podmínkami
2K-4	Porucha dopravníků
2K-5	Neprovedení periodických kontrol skladovacích objektů
2K-6	Neprovedení technických kontrol motorových vozíků
2E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
2E-4	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu
2K-3	Poškození zásobníků
2E-1	Kontaminace NCHLP kanalizace
2E-3	Kontaminace půdy NCHLP
3K-4	Neprovedení revizí
3K-1	Porucha dopravníku/čerpadla
3K-2	Havárie vodovodního řadu
4K-1	Porucha vah
4K-3	Neprovedení revizí
4K-2	Neshoda v metrologické konfirmaci
5E-2	Hluk
5K-11	Neprovedení revizí a kontrol
5E-1	Odpadové hospodářství
5E-5	Nehospodárné nakládání s energiemi
5K-5	Porucha míchačky
5K-7	Porucha elektromagnetické sondy pro měření konzistence ČB
5K-8	Neprovedení vizuální kontroly ČB
5K-10	Vyšší moc (energetika, klima atd.)
5K-9	Lidský faktor
5K-1	Nedodržení SPP
5E-4	Neshodné užití nebezpečných chemických látek
6K-1	Porucha výrobní linky
6K-2	Porucha dopravníku
6K-4	Neshodná konzistence ČB
6E-1	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
7K-1	Neshodné provedení vizuální kontroly
7K-3	Zastavení výrobní linky
7K-2	Selhání lidského faktoru - komunikace
8K-1	Porucha zavázacího zařízení
8E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
8E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
8K-3	Nedosažení manipulační pevnosti

Tabulka 51: Nejzávažnější rizika vyhodnocená prostřednictvím FIS - část 1

Označení	Riziko
9E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
9K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly
9E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
10E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
10E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
10E-4	Kontaminace povrchových vod NCHLP
10E-3	Kontaminace NCHLP kanalizace
10E-5	Kontaminace půdy NCHLP
10K-5	Neprovedení revizí
11E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
11E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
11K-3	Porucha MV
11K-1	Poškození povrchu zboží
12E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
12K-1	Porucha zařízení na tryskání/otloukání/štípání
12K-3	Nedodržení doby zrání
13K-1	Neshodné provedení výstupní kontroly
13K-3	Nedostatečné zabezpečení výrobků proti posunu na paletě
13K-5	Neshodné označení zboží
13E-2	Zanesení kanalizace hrubými nečistotami
13E-1	Nesprávná likvidace neshodných výrobků
14E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
14K-1	Poškození povrchu zboží
14E-2	Kontaminace povrchových vod NCHLP
14E-3	Kontaminace půdy NCHLP
14K-3	Kontaminace kanalizace, povrchových vod a půdy smetky Vapexu

Tabulka 52: Nejzávažnější rizika vyhodnocená prostřednictvím FIS - část 2

<b>Riziko BOZP</b>		<b>Pst.</b>	<b>Por.</b>	<b>Míra rizika</b>
B-1	Úraz el, proudem	0,90	1,00	<b>92,0</b>
B-2	Podlahy, komunikace - pohyb osob	0,45	0,60	<b>60,6</b>
B-3	Jednoduché a dvojité žebříky	0,50	0,42	<b>55,9</b>
B-4	Destrukce tlakového celku TNS s ohrožením osob dynamickými účinky kovových částí	0,35	0,80	<b>71,8</b>
B-5	Pád osoby z výšky při mytí oken, čištění stropních svítidel	0,40	0,65	<b>61,1</b>
B-6	Manipulační prostory - pád osoby z rampy	0,40	0,30	<b>44,1</b>
B-7	Atmosférická elektřina - zasažení bleskem	0,05	0,85	<b>69,4</b>
B-8	Zachycení a vtažení končetiny pohybující se částí stroje	0,30	0,75	<b>62,6</b>
B-9	Chemické látky - popálení, poleptání, pořezání těla	0,25	0,80	<b>59,9</b>
B-10	Provoz na vnitrozávodních komunikacích - dopravní nehody v areálu firmy	0,10	0,50	<b>30,2</b>
B-11	Manipulační zdvižné vozíky	0,75	0,80	<b>82,7</b>
B-12	Tlakové nádoby stabilní - únik látky	0,06	0,30	<b>28,0</b>
B-13	Statická elektřina - zapálení par hořlavých kapalin, plynů nebo hořlavých prachů	0,06	0,25	<b>26,3</b>
B-14	Silniční vozidla, pojízdné prostředky a stroje - zranění pracovníka	0,05	0,25	<b>24,8</b>
B-15	Práce s akumulátorovými bateriemi, jejich nabíjení	0,23	0,55	<b>45,4</b>
B-16	Ruční nářadí	0,16	0,40	<b>35,2</b>
B-17	Provoz na vnitrozávodních komunikacích - zranění osoby	0,06	0,25	<b>26,3</b>
B-18	Zvýšené podlahy, plošiny a komunikace	0,22	0,35	<b>38,2</b>
B-19	Podlahy, komunikace	0,30	0,25	<b>34,8</b>
B-20	Úklid provozních prostor	0,45	0,60	<b>60,6</b>
B-21	Ruční manipulace	0,48	0,55	<b>61,6</b>
B-22	Nakládka a vykládka dopravních prostředků	0,20	0,34	<b>37,1</b>
B-23	Skladovací regály	0,26	0,35	<b>39,2</b>
B-24	Údržba a opravy strojů a zařízení	0,16	0,55	<b>40,8</b>
B-25	Zařízení se zobrazovacími jednotkami	0,09	0,25	<b>29,6</b>
B-26	Vrata, dveře	0,70	0,75	<b>80,1</b>
B-27	Ruční vozíky - vodorovná doprava	0,50	0,50	<b>62,5</b>
B-28	Venkovní komunikace a venkovní prostory - pád, naražení různých částí těla po nastalém pádu osoby	0,84	0,33	<b>78,5</b>
B-29	Ruční čištění vnitropodnikových komunikací	0,15	0,22	<b>30,8</b>
B-30	Okna, dveře - pořezání o sklo rozbité skleněné výplně	0,05	0,12	<b>17,8</b>
B-31	Pracovní stoly - zvýšená únava v důsledku ohýbání zad a natahování rukou	0,30	0,06	<b>24,8</b>
B-32	Kancelářské práce - pád kancelářského zařízení po ztrátě jeho stability	0,10	0,25	<b>30,4</b>
B-33	Pracovní prostředí - osvětlení	0,05	0,10	<b>14,5</b>
B-34	Stohování materiálu	0,30	0,22	<b>33,2</b>

Tabulka 53: Vyhodnocení rizik BOZP prostřednictvím FIS

Označení	Riziko
B-1	Úraz el. proudem,
B-11	Manipulační zdvižné vozíky,
B-26	Vrata, dveře,
B-28	Venkovní komunikace a venkovní prostory - pád, naražení různých částí těla po nastalém pádu osoby,
B-4	Destrukce tlakového celku TNS s ohrožením osob dynamickými účinky kovových částí,
B-7	Atmosférická elektřina - zasažení bleskem,
B-8	Zachycení a vtažení končetiny pohybující se částí stroje,
B-27	Ruční vozíky - vodorovná doprava,
B-21	Ruční manipulace,
B-5	Pád osoby z výšky při mytí oken, čištění stropních svítidel,
B-2	Podlahy, komunikace - pohyb osob,
B-20	Úklid provozních prostor,
B-9	Chemické látky - popálení, poleptání, pořezání těla,
B-3	Jednoduché a dvojité žebříky,
B-15	Práce s akumulátorovými bateriemi, jejich nabíjení,
B-6	Manipulační prostory - pád osoby z rampy,
B-24	Údržba a opravy strojů a zařízení,
B-23	Skladovací regály,
B-18	Zvýšené podlahy, plošiny a komunikace,
B-22	Nakládka a vykládka dopravních prostředků,
B-16	Ruční nářadí.

Tabulka 54: Nejzávažnější rizika BOZP vyhodnocená prostřednictvím FIS