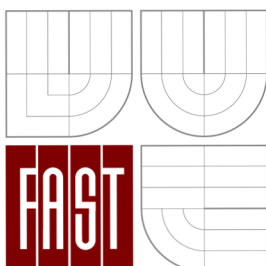


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

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

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR

ING. PETR MISÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

DOC. ING. TOMÁŠ VYMAZAL, PH.D.

BRNO 2013

Klíčová slova

risk management, FMEA, fuzzy logika, statistická regulace, charakteristická hodnota, stavební materiály a výrobky, Markovova analýza

Keywords

risk management, FMEA, fuzzy logic, statistic process control, characteristic value, building materials and products, Markov analysis

Obsah

1	ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	3
2	TEORETICKÉ POZNATKY V OBLASTI RIZIKOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A DALŠÍ MOŽNOSTI	5
2.1	Úvod do rizikového inženýrství ve výrobě stavebních materiálů a výrobků	5
2.2	Klasické postupy analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA) . .	5
2.3	Management rizik ve výrobě stavebních materiálů a výrobků . . .	7
2.4	Fuzzy množiny a fuzzy inference systémy (FIS)	8
2.5	Rozšíření klasických postupů kvantitativní analýzy rizik pomocí fuzzy množin	9
2.6	Markovovy řetězce a fuzzy markovova analýza	10
2.7	Statistická regulace a charakteristická hodnota	12
3	APLIKACE - VÝROBA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ	16
3.1	Identifikace rizik a nebezpečí s využitím klasických a upravených postupů	16
3.2	Aplikace fuzzy Markovových řetězců ve výrobě stavebních hmot a dílců	19
3.3	Aplikace upravených indexů způsobilosti v procesu výroby betonového zboží	21
4	ZÁVĚR	24
	CURRICULUM VITAE	30
	ABSTRACT	31

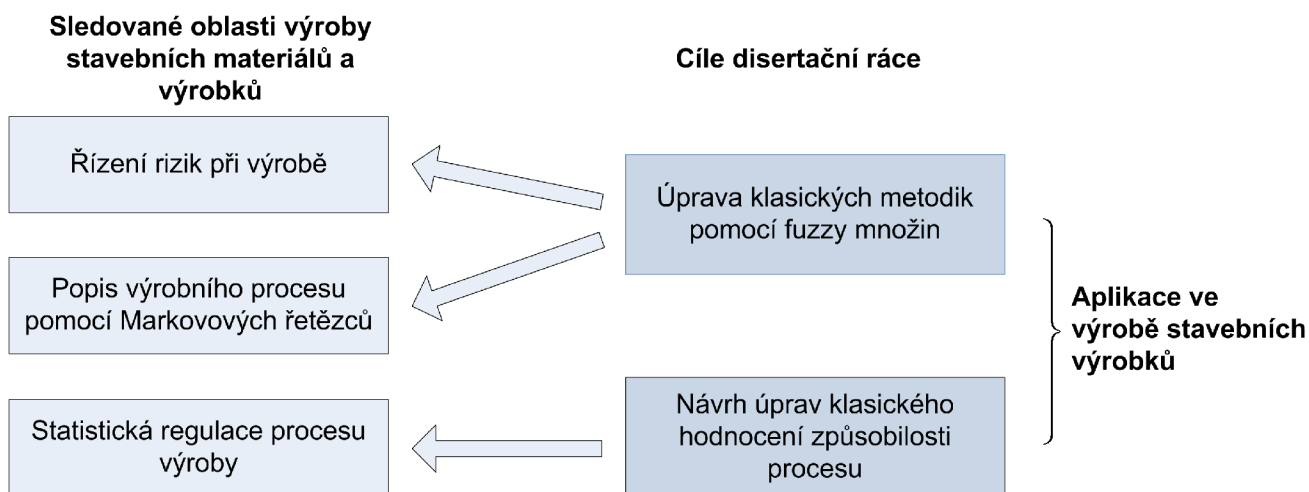
1 ÚVOD A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Obecně lze říci, že pokud výrobní organizace (společnost) 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]).

Vývoj a výroba stavebních materiálů a výrobků je z hlediska řízení kvality a rizik velice složitý proces. Ve výrobě stavebních materiálů a výrobků se setkáváme s celou řadou problémů, které jsou způsobeny specifickostí 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 elektro-technický 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.

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

Hlavním cílem disertační práce je ukázat možnosti rozšíření standardních metodik pro hodnocení a minimalizaci rizik a způsobnosti 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.



Obrázek 1: Etapy disertační práce

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.

2 TEORETICKÉ POZNATKY V OBLASTI RIZIKOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A DALŠÍ MOŽNOSTI

2.1 Úvod do rizikového inženýrství ve výrobě stavebních materiálů a výrobků

V nejširším slova smyslu *riziko* znamená *vystavení nepříznivým okolnostem* [3]. Tato definice však není zcela přesná. Výklad pojmu riziko do značné míry závisí na odvětví, oboru a problematice. Norma ČSN EN 31000 [5] 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. 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.

V normě ČSN EN 31010 [6] je definováno tzv. *posuzování rizik* jako celkový proces identifikace, analýzy a hodnocení rizik. Posuzování rizik umožňuje pracovníkům činícím 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 by měl být vstupem do procesů rozhodování dané organizace.

Norma ČSN EN 31010 [6] 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 (případně rizikového inženýrství), které jsou vymezeny v normě ČSN ISO 31000 [5]. Podle norem ČSN EN 31010 [6] a ČSN ISO 31000 [5] není posuzování rizik samostatnou činností, ale má být plně včleněno do dalších součástí v procesu managementu rizik.

2.2 Klasické postupy analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)

V současné době patří metoda FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) ke klasickým nástrojům pro řízení kvality. 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. 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* [7].

Mezi základní cíle analýzy FMEA a FMECA patří identifikace a vyhodnocení všech nežádoucích důsledků, stanovení kritičnosti, klasifikace zjištěných způsobů poruch a zjištění funkčních poruch systému a odhad míry závažnosti a pravděpodobnosti poruchy, který by měl vést ke snížení pravděpodobnosti vzniku poruchy.

Jednou z metod kvantitativního stanovení kritičnosti je tzv. *číslo priority rizika RPN* (Risk Priority Number) [7]. *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

$$RPN = S \times O \times D. \quad (1)$$

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.

Pro aplikace FMEA a FMECA ve stavebním inženýrství je vhodné provádět hodnocení samostatně v logických podoblastech: kvalita, bezpečnost a 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. 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.

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

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 (1)) je možné provést interpretaci výstupu podle tabulky 4.

Kategorizace rizik BOZP (bezpečnost a ochrana zdraví při práci) se provádí podle zákona a je uvedena v tabulkách 5, 6, 7 a 8.

2.3 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.

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*

V ideálním případě se jedná o organizaci se zavedeným a uplatňovaným integrovaným systémem řízení (IMS) [8]. V oblasti řízení kvality tvoří soubor tzv. ISO norem řady 9000 [9, 10] obecný návod jak řídit procesy tak, aby byl zajištěn jejich rozvoj a zlepšování [11]. Norma ISO 14001 [12] definuje environmentální řízení a norma OHSAS 18001 [13] se zabývá systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

2.4 Fuzzy množiny a fuzzy inference systémy (FIS)

Základní problém, se kterým se setkáváme při modelování složitých systémů nejen v oblasti rizikového inženýrství, spočívá v nemožnosti popsat všechny děje naprosto analyticky přesně. Při řešení toho problému se často využívají dva přístupy. 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, a to z důvodu větší dostupnosti nepřesných informací a dat.

Základem fuzzy přístupu je teorie fuzzy množin a na ni úzce navazující fuzzy logika. Teorie fuzzy množin vlastně zobecňuje klasickou teorii množin, a to tak, že umožňuje, aby prvek do množiny patřil jen částečně, přičemž míra zastoupení prvku ve fuzzy množině je určena tzv. stupněm příslušnosti, resp. funkcí příslušnosti [14, 15].

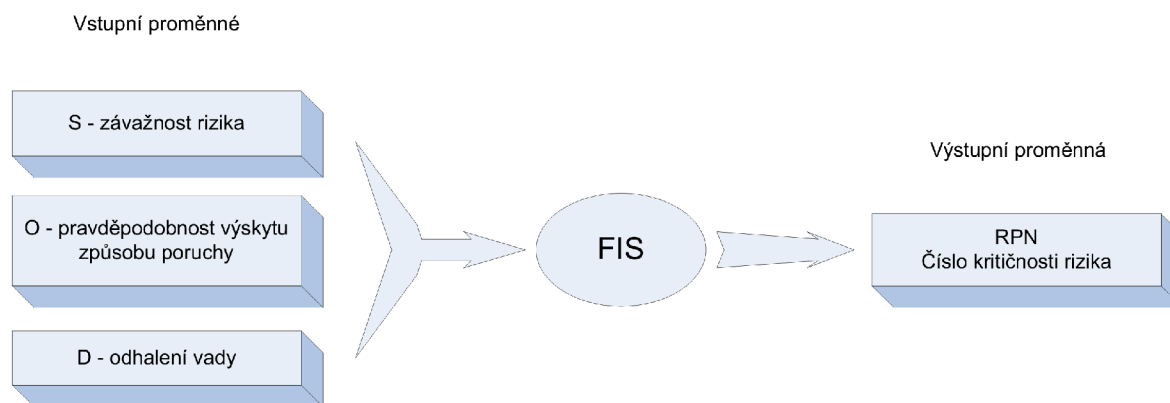
Nejčastější aplikací teorie fuzzy množin a fuzzy logiky, a to nejen ve stavebním inženýrství, jsou tzv. fuzzy inference systémy (FIS). V posledních letech se ve velké míře využívají při rozhodování, řízení a modelování procesů, ve kterých vystupují veličiny, které nelze nebo lze velice obtížně a tedy 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 [14, 15]. 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, kterou je možné převést na klasickou „ostrou“ hodnotu defuzzifikačními postupy.

2.5 Rozšíření klasických postupů kvantitativní analýzy rizik pomocí fuzzy množin

V oblasti rizikového inženýrství 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.

Dříve již bylo 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. Modelování míry 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. Jednotlivá kritéria pro hodnocení kritičnosti rizika, resp. čísla RPN , si poté můžeme jednoduše představit jako jazykové proměnné, jejichž slovní hodnoty (viz tabulky 1, 2 a 3) jsou fuzzy množiny.



Obrázek 2: Vstupní a výstupní proměnné FIS

Jedním ze způsobů vyhodnocení takto sestaveného výpočtu kritičnosti rizika je prostřednictvím FIS, které se v posledních letech stále více 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.

Využití FIS pro kvantifikaci rizik nejen ve výrobě stavebních materiálů a výrobků 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. Některé další výhody a možnosti využití FIS autor práce popisuje např. v článku [4] a dalších.

2.6 Markovovy řetězce a fuzzy markovova analýza

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 [17]. Využití Markovových řetězců v technické praxi je široké. V posledních desetiletích se konečné homogenní řetězce používají především pro popis (modelování) kvality výrobních procesů. 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 [6], kde je technika Markovových řetězců zmiňována v souvislosti s posuzováním rizik různě strukturovaných výrobních procesů.

Klasická Markovova analýza je založena na skutečnosti, že všechny tzv. 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. Mnohdy jsou k dispozici jen velmi omezené statistické soubory, čímž je snížena vypovídací schopnost odhadů pravděpodobností přechodu. V případě nově zaváděné výroby je odhad pravděpodobností zatížen značnou nejistotou, jejíž rozsah lze jen stěží odhadnout.

Řešení tohoto problému můžeme nalézt ve fuzzy přístupu popsáném v části 2.4 a spočívá v práci s vágními pojmy. Je tedy založeno na využití fuzzy množin. Myšlenka spočívá v nahrazení pravděpodobností přechodu fuzzy čísly, 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 [18]. Autoři zde definovali fuzzy pravděpodobnostní prostor, fuzzy náhodnou veličinu a další pojmy. V českém jazyce je zásadní publikace [16]. Autoři příspěvků [19, 20, 21] se věnují již samotné implementaci poznatků uvedených v [18, 16] 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 [21]. 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 tzv. principu rozšíření a fuzzy aritmetiky, které lze nalézt např. v [14, 15].

2.7 Statistická regulace a charakteristická hodnota

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. Touto strategií lze výrazně snížit náklady na kontrolu, materiál, čas a mzdy na výrobu neshodných výrobků. Mezi základní nástroje statistické regulace a hodnocení způsobilosti procesu patří regulační diagram a tzv. indexy způsobilosti a výkonnosti, které napomáhají porovnat výstupy výrobních procesů s požadavky zákazníka, případně požadavky danými normativními předpisy.

Postupy statistické regulace a hodnocení způsobilosti procesu se v hojné míře využívají v odvětví jako je strojírenství a elektrotechnika. Ve výrobě stavebních materiálů a výrobků se však tyto metody příliš nevyužívají. Jedním z důvodů může být to, že nejsledovanějším statistickým parametrem v této oblasti výroby je tzv. charakteristická hodnota.

Autor práce se domnívá, že pro hodnocení způsobilosti procesu vzhledem k charakteristické hodnotě není zcela vhodné používat standardních indexů, které jsou sestaveny především pro kontrolu centrace a rozpětí procesu. Charakteristická hodnota, jakožto 5% kvantil, je funkcí obou těchto parametrů současně, a proto klasické vyhodnocení může udávat zavádějící závěry.

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:

$$C_c = \frac{X_{0,05}}{LSL} = \frac{\mu - u_{0,95}\sigma}{LSL}, \quad (2)$$

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

Index C_c je možné odhadovat pomocí vztahu:

$$\hat{C}_c = \frac{X_c}{LSL} = \frac{m_X (1 - k_n V_X)}{LSL} = \frac{m_X - k_n s_X}{LSL}, \quad (3)$$

kde X_c je odhad charakteristické hodnoty podle ČSN EN 1990 [22] a k_n je koeficient závislý na počtu pozorování (viz [22]).

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

$$C_c = \frac{\exp[\mu - u_{0,95}\sigma]}{LSL}. \quad (4)$$

Odhad indexu se provede analogicky:

$$\hat{C}_c = \frac{\exp[m_Y(1 - k_n s_Y)]}{LSL}. \quad (5)$$

Odhady \hat{C}_c výrazně zohledňují rozsah statistického souboru prostřednictvím koeficientu k_n , a to směrem na stranu bezpečnou.

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. 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.

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 způsobí přímé finanční ztráty, poškození zdraví, majetku nebo životního prostředí, zjednání nápravy zpravidla není zcela v silách firmy.	50 - 75

Tabulka 4: Vyhodnocení čísla *RPN*

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 APLIKACE - VÝROBA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ

Cílem této části práce je ukázat aplikace získaných 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 [24]) je „Výroba cementu, vápna a sádry, betonových, sádrových, vápenných a cementových výrobků (16)“, kód CZ NACE je 23.5 a 23.6.

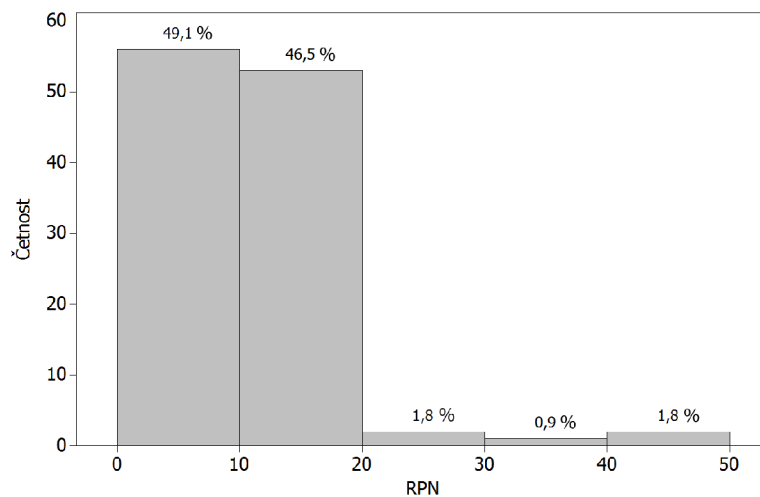
3.1 Identifikace rizik a nebezpečí s využitím klasických a upravených postupů

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 [10].
- *Environment* - Shrnuje rizika spojená s možným poškozením životního prostředí - ČSN EN ISO 14001 [12].
- *Bezpečnost* - Oblast BOZP (bezpečnost a ochrana zdraví při práci) - stěžejní normativní předpis je ČSN OHSAS 18001 [13].

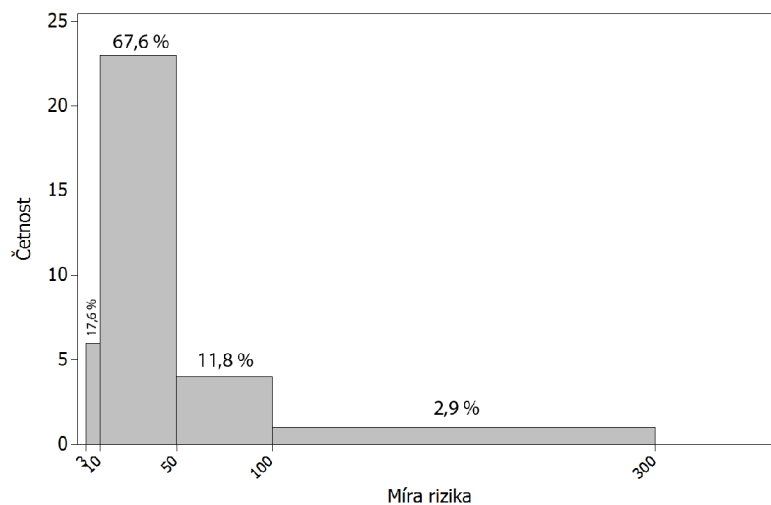
Rizika byla nejprve identifikována s využitím Ishikawova diagramu příčin a následků a některých dalších nástrojů. Poté byla rizika kvantifikována zmiňovanými klasickými postupy FMEA a FMECA a také upravenými metodami s využitím fuzzy množin.

Kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik byla prováděna společně pro každou z operací (fází) výrobního procesu samostatně. Nejzávažnější rizika byla určena Paretovou analýzou. V případě klasické kvantifikace rizik bylo vyhodnocení provedeno na základě tabulek 1, 2, 3 a 4 a vztahu (1). Na obrázku 3 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.



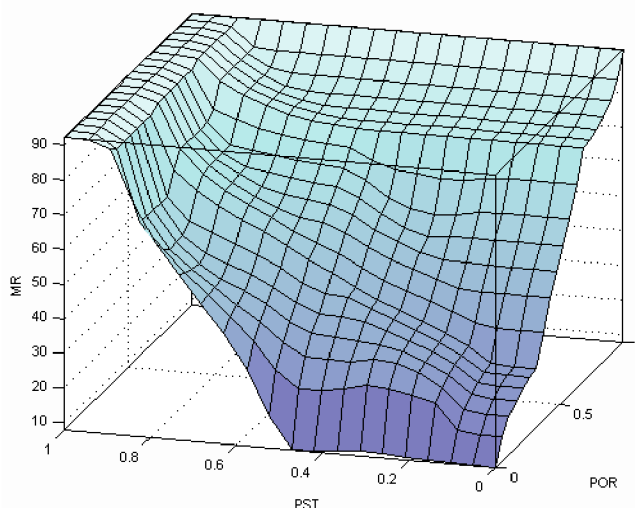
Obrázek 3: Histogram čísla *RPN*

Rizika BOZP byla identifikována a kvantifikována pro celý výrobní proces dohromady podle části 2.2. Obrázek 4 znázorňuje formou histogramu rozložení jednotlivých rizik BOZP s ohledem na jejich ohodnocení. Nejvíce rizik (67,6 %) spadá do kategorie mírných rizik. 11,8 % rizik jsou nežádoucí a 2,9 % (jedno riziko) tvoří rizika nepřijatelná.



Obrázek 4: Histogram rizik BOZP

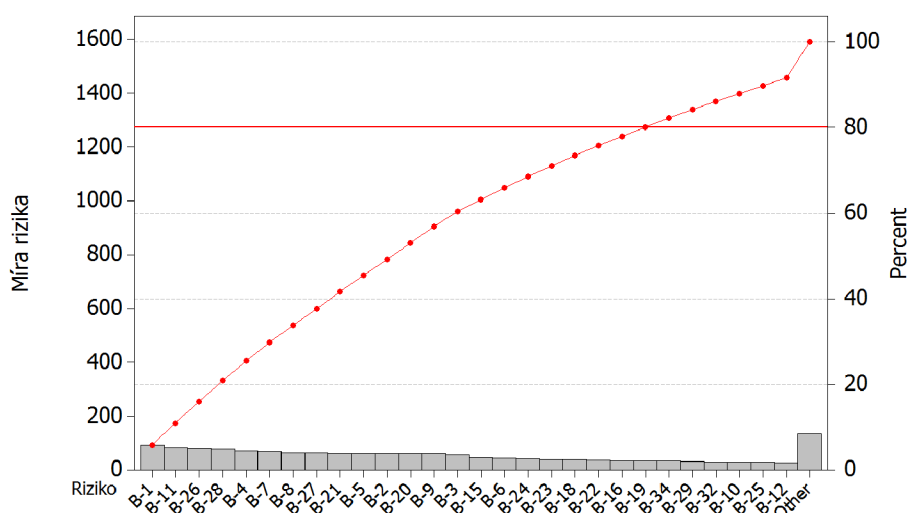
Za účelem kvantifikace rizik výrobního procesu s využitím fuzzy množin byly sestaveny dva fuzzy inference systémy (FIS), první pro vyhodnocení kvalitativních a environmentálních rizik a druhý pro rizika BOZP. Řídící plocha druhého jmenovaného FIS je znázorněna na obrázku 5.



Obrázek 5: Ukázka řídicí plochy FIS pro vyhodnocování rizik BOZP. PST - pravděpodobnost výskytu rizika; POR - poranění, MR - míra rizika

Sestavení vstupních proměnných vychází z předpokladů klasického vyhodnocení, tedy z tabulek 1, 2, 3 a 4 (kvalitativní a environmentální rizika) a z tabulek 5, 6, 7 a 8 v případě rizik BOZP. Základní myšlenka tohoto postupu spočívá v náhradě „ostrých“ proměnných jazykovými proměnnými, jejichž jednotlivé slovní hodnoty jsou tvořeny fuzzy množinami.

Nejzávažnější rizika byla také vyhodnocována Paretovou analýzou jako v případě klasické kvantifikace. Celkem 71,1 % kvalitativních a environmentálních rizik bylo označeno jako velmi významné a 7 % rizik dokonce jako kritické. Paretův diagram rizik BOZP je znázorněn na obrázku 6. Zde bylo 50 % rizik označeno jako významné, 29,4 % jako velmi významné a 14,7 % jako kritické.



Obrázek 6: Paretův diagram rizik BOZP vyhodnocených prostřednictvím FIS

3.2 Aplikace fuzzy Markovových řetězců ve výrobě stavebních hmot a dílců

Sledovaný 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 autorova názoru pouze formální a umožní lepší náhled na výrobní proces.

Na obrázku 7 je znázorněn zjednodušený Markovův diagram, který zohledňuje 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 9 je matice pravděpodobností přechodu s tímto označením stavů.

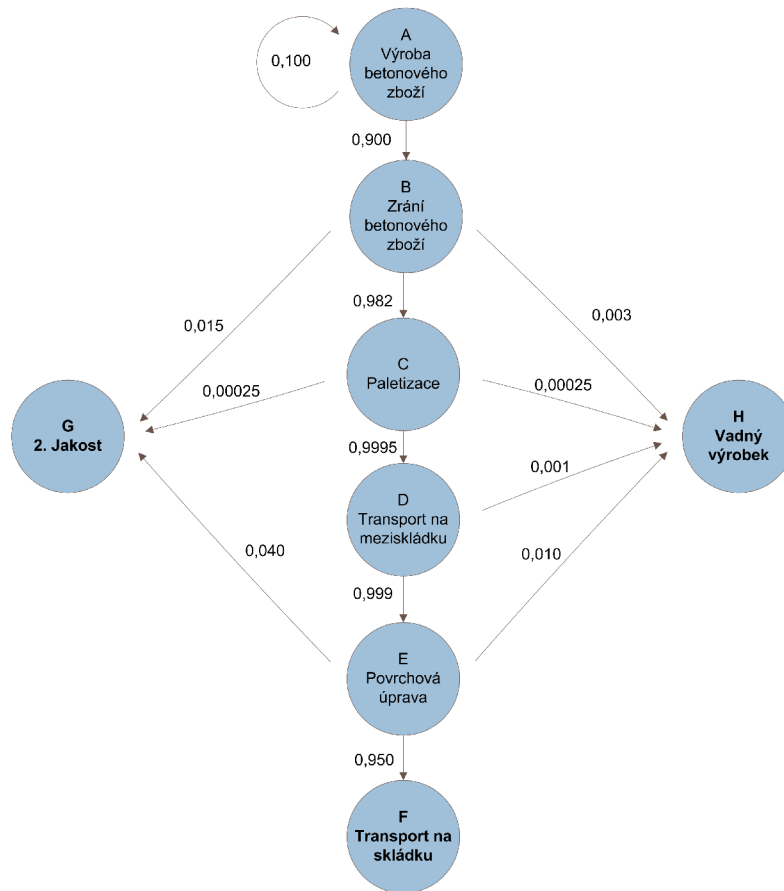
	A	B	C	D	E	F	G	H	Σ
A	0,10000	0,90000	0	0	0	0	0	0	1
B	0	0	0,98200	0	0	0	0,01500	0,00300	1
C	0	0	0	0,99950	0	0	0,00025	0,00025	1
D	0	0	0	0	0,99900	0	0	0,00100	1
E	0	0	0	0	0	0,95000	0,04000	0,01000	1
F	0	0	0	0	0	1,00000	0	0	1
G	0	0	0	0	0	0	1,00000	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	1,00000	1

Tabulka 9: Markovova matice pravděpodobností přechodu

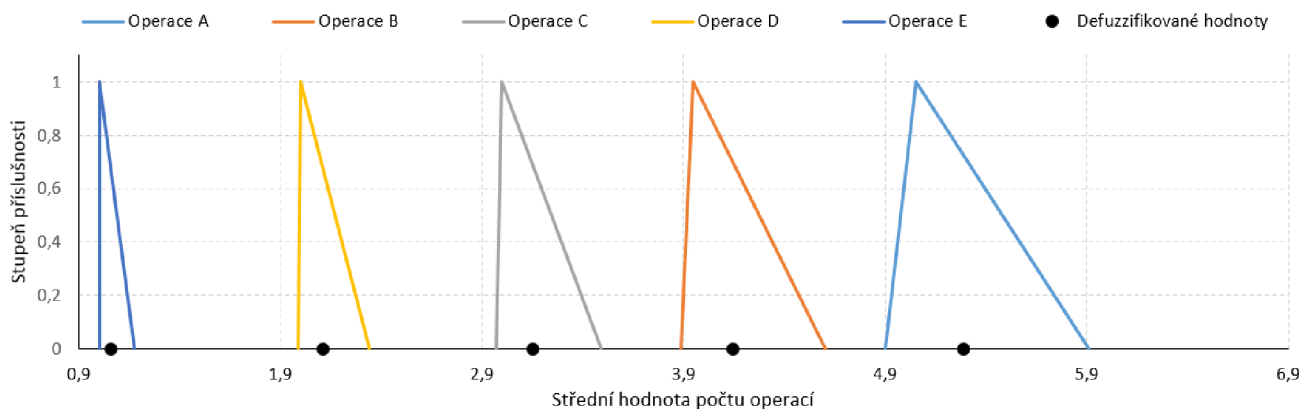
Výstupy provedené Markovovy analýzy jsou: vypočet absolutních pravděpodobností po 5 krocích výrobního procesu, střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden výrobek, střední hodnoty počtu operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu a pravděpodobnosti přechodu z neabsorbujících do absorbujících stavů, které jsou shodný finální výrobek, výrobek 2. jakosti a neshodný výrobek.

Fuzzy přístup v Markovově analýze se jeví jako vhodný v situacích, kdy přesně neznáme jednotlivé pravděpodobnosti přechodu mezi stavy procesu nebo je jejich odhad zatížen do značné míry nejistotou. Je zde navrženo využití teorie fuzzy množin 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. Obrázek 8 ukazuje jeden z výstupů takto provedené analýzy, což jsou střední hodnoty počtu jednotlivých operací na jeden

výrobek v celém výrobním procesu a jejich defuzzifikované hodnoty. Porovnání výstupů s využitím klasického a fuzzy přístupu je uvedeno v tabulce 10.



Obrázek 7: Zjednodušený Markovův diagram výrobního procesu



Obrázek 8: 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 10: Porovnání středních hodnot počtu jednotlivých operací na jeden výrobek v celém výrobním procesu

3.3 Aplikace upravených indexů způsobilosti v procesu výroby betonového zboží

Produktem sledovaného výrobního procesu jsou různé druhy betonových dlažebních bloků. V normě ČSN EN 1338 [23] 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 [23]. 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.

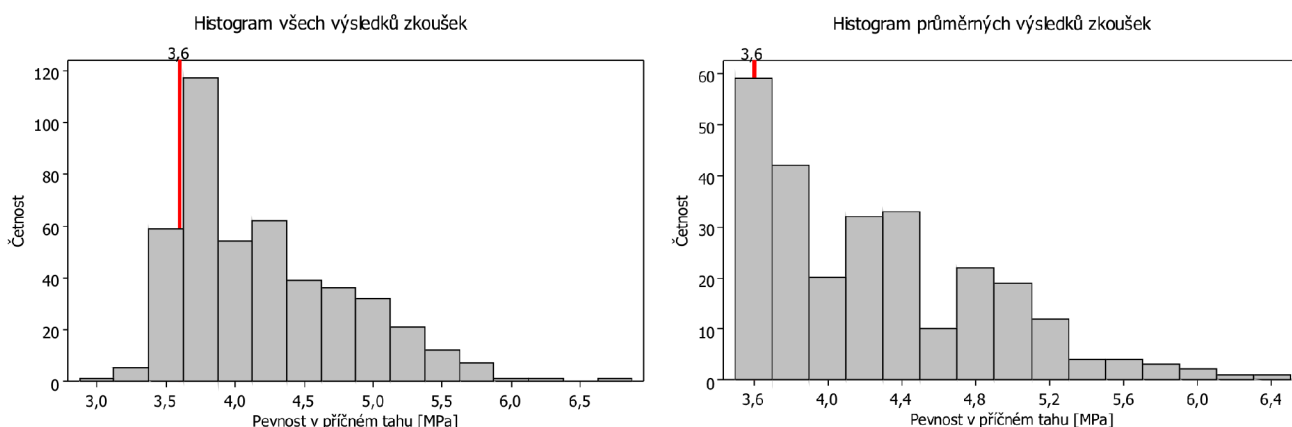
Kapitola 5.3.3 normy [23] uvádí: „*Charakteristická pevnost v příčném tahu T nesmí být menší než 3,6 MPa. Žádný z jednotlivých výsledků zkoušek nesmí být menší než 2,9 MPa ani mít lomové zatížení menší než 250 N/mm délky porušení.*“ Charakteristická pevnost v příčném tahu vlastně označuje tzv. charakteristickou hodnotu pevnosti v příčném tahu. Norma [23] však neuvádí konkrétní způsob stanovení charakteristické hodnoty. Proto lze předpokládat, že nejvhodnějším způsobem výpočtu bude materiálově nezávislý postup uvedený v eurokódu ČSN EN 1990 [22].

Kapitola 6 normy [23] 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 [23] je tedy možné výrobní proces hodnotit vzhledem k pevnosti v příčném tahu bez ohledu na konkrétní typ výrobku.

Z normy [23] 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 [23] a tedy nejlépe zkušební laboratoří akreditovanou podle ČSN EN ISO/IEC 17025 [25]. 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.

Na obrázku 9 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 [23], 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 [23]. 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.



Obrázek 9: Histogram jednotlivých výsledků zkoušek a průměrných hodnot pevnosti v příčném tahu betonových výrobků

Je ovšem důležité zmínit, že silná nesymetričnost může být způsobena náhradou některých zkušebních těles, kterou dovoluje norma [23]. 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 [23] tímto vnáší do celkového hodnocení výsledků zkoušek silné systematické vlivy, které způsobují velmi omezené možnosti hodnocení způsobilosti výrobního procesu podle klasických metodik.

V disertační práci je navržen 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 [22]. 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 (3). S využitím vztahu (5) 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
%	21,43	6,25	22,22	0,00	16,52	4,02	4,44	0,00

Tabulka 11: Vyhodnocení indexu C_c

Jednoduchá analýza výsledků je uvedena v tabulce 11. Hodnoty odhadů indexu C_c jsou zde porovnány se základními kritérii popsány dříve. Z této analýzy vyplývá, že výrobní proces by měl splňovat požadavky dané normou ČSN EN 1338 [23] 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.

4 ZÁVĚR

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 narážíme 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).

Všechny dosažené teoretické poznatky jsou aplikovány na výrobní proces betonových dlažebních bloků. Tato výroba 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 (operací) výrobního procesu samostatně.

Z porovnání klasické kvantifikace kvalitativních a environmentálních rizik a kvantifikace s použitím fuzzy množin je patrné, že se výsledky 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. Jako 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.

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 disertační práci jsou popsány 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 [23]. Jako nejdůležitější charakteristika byla zvolena pevnost v příčném tahu stanovená podle zmiňované normy [23]. 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 [23] však neuvádí konkrétní způsob stanovení charakteristické hodnoty. Proto lze předpokládat, že nejvhodnějším způsobem výpočtu bude materiálově nezávislý postup uvedený v eurokódu ČSN EN 1990 [22]. 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 9. Nesymetričnost dat může být způsobena náhradou některých zkušebních těles, kterou dovoluje norma [23] 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 [23] 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 [23] 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 diskusi 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 disetační 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 diskusi 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] ČSN ISO 31000. *Management rizik - Principy a směrnice*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [6] ČSN EN 31010. *Management rizik - Techniky posuzování rizik*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [7] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systému - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] 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.
- [9] ČSN EN ISO 9000. *Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN ISO 9001. *Systémy managementu kvality - Požadavky*. Český normalizační institut, 2009.
- [11] VYMAZAL, T.; MISÁK, P. *Zkušebnictví a řízení jakosti*. Brno: VUT Brno, 2008. s. 1 - 111.
- [12] ČSN EN ISO 14001: 2005. *Systémy environmentálního managementu - Požadavky s návodem pro použití*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] ČSN OHSAS 18001: 2008. *Systémy managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci - Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] DRUCKMÜLLER, M. *Technické aplikace vícehodnotové logiky*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1998. ISBN 9788021412316.
- [15] NOVÁK, V. *Základy fuzzy modelování*. Praha: Nakladatelství BEN, 2003. ISBN 80-7300-009-1.
- [16] 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.
- [17] KARPÍŠEK, Z. Aplikace Markovových řetězců v řízení jakosti. In *Celostátní seminář Analýza dat 2003/ II*. Pardubice: TriloByte Pardubice, 2003. ISBN: 80-239-2590- 3.

- [18] ZADEH, L. A., BELLMAN, R. E. Decision- Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 1970, 17. ISSN 141-164.
- [19] 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]
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [23] ČSN EN 1338. *Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [24] *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.
- [25] ČSN EN ISO/IEC 17025. *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

CURRICULUM VITAE

Ing. Petr Misák

Narozen:

10. 2. 1982 v Brně

Vzdělání:

1997 – 2001 Gymnázium Táborská Brno

2001 – 2006 Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně

Obor: Matematické inženýrství

Studium: magisterské

Téma diplomové práce: Vlastnosti Fuzzy Inference systémů a jejich aplikace

Odborná praxe:

2006 - 2009 Fakulta stavební, VUT v Brně

Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství

Studium: doktorský studijní program s prezenční formou studia

2009 - dosud Fakulta stavební, VUT v Brně

Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství

Studium: doktorský studijní program s kombinovanou formou studia

2009 - dosud zaměstnanec Ústavu stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, VUT v Brně

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.