

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Využití metod řízení kvality ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech

Bc. Pavel Roudenský

Diplomová práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Pavel Roudenský
Osobní číslo: D09902
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury
Název tématu: Využití metod řízení kvality ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

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

1. Úvod
2. Základní legislativa
3. Analýza nehodovosti z dostupné databáze dopravních nehod
4. Popis vhodných metod řízení jakosti
5. Aplikace vybrané metody
6. Analýza přínosu použité metody
7. Závěr

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20.11.2012

Bc. Pavel Roudenský

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá problematikou snižování nehodovosti na železničních přejezdech. Obsahem teoretické části je přehled metod řízení kvality, praktická část se zaměřuje na statistické vyhodnocení četností a příčin dopravních nehod na železničních přejezdech ve sledovaném období a na konkrétním příkladě demonstruje použití vybrané metody pro analýzu příčin nehodovosti a pravděpodobnost jejich výskytu.

KLÍČOVÁ SLOVA

železniční přejezd; dopravní nehoda; metody řízení kvality; snižování nehodovosti; analýza stromu poruch

TITLE

Utilization of Quality management methods to decrease railroad grade crossings' accident rate

ANNOTATION

The Diploma Thesis deals with the issue of reducing the accident rate at railroads crossings. The theoretical part reviews the quality management methods, the practical part focuses on the statistical evaluation of the frequency and causes of accidents at railroads crossings in the period under consideration and on a specific example demonstrates the use of the selected method for the accident cause analysis and the probability of their occurrence.

KEYWORDS

Railroads Crossing; Traffic Accident; Quality Management Methods; Reducing the Accident Rate; Fault Tree Analysis

OBSAH

Úvod.....	7
1 Metody řízení kvality	8
1.1. Přehled základních metod analýzy spolehlivosti.....	13
1.2. FTA.....	17
1.2.1. Cíl metody	18
1.2.2. Postup metody	18
1.2.3. FTA a lidský faktor	18
1.2.4. Vhodnost použití metody FTA vzhledem k tématu práce.....	19
1.3. PHA.....	20
1.3.1. Princip a cíle metody.....	20
1.3.2. Postup provádění analýzy.....	22
1.3.3. Praktické využití metody PHA.....	23
1.3.4. Vhodnost použití metody PHA vzhledem k tématu práce	26
1.4. HRA.....	27
1.4.1. Metoda TESEO	28
1.4.2. Vhodnost použití metody HRA vzhledem k tématu práce.....	29
1.5. HAZOP.....	30
1.5.1. Princip metody	30
1.5.2. Použití a omezení metody HAZOP	33
1.5.3. Vhodnost použití metody HAZOP vzhledem k tématu práce.....	34
2 Statistické zhodnocení nehodovosti na železničních přejezdech.....	35
2.1. Železniční přejezd.....	35
2.2. Statistické zhodnocení dle jednotlivých let.....	38
2.3. Hlavní příčiny dopravních nehod na železničních přejezdech.....	43
2.4. Vnější ovlivnění řidiče a jeho stav.....	46
2.5. Důsledky dopravních nehod na železničních přejezdech	48
2.5.1. Následky na životě nebo zdraví	48
2.5.2. Hmotné škody	49
3 Opatření vedoucí ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech	50

3.1.	<i>Srovnání se Spolkovou republikou Německo</i>	50
3.2.	<i>Vybraná opatření pro snížení nehodovosti na železničních přejezdech v České republice</i>	52
3.2.1.	Číslování přejezdů.....	52
3.2.2.	Zajišťování rozhledu na přejezdech zabezpečených pouze výstražným křížem..	54
3.2.3.	Opakování výstražníku nad vozovkou	55
3.2.4.	Závory v roli doplňkové výstrahy – méně známé aspekty	56
3.3.	<i>Světelné závory</i>	57
3.4.	<i>Kontrastní vymezení prostoru přejezdu</i>	58
3.5.	<i>Společné prohlídky železničních přejezdů</i>	60
3.6.	<i>Závěr a souhrn hlavních doporučení pro snížení nehodovosti na železničních přejezdech v České republice</i>	61
4	Praktický příklad – využití metod řízení kvality při snižování nehodovosti na železničních přejezdech	63
4.1.	<i>FTA – analýza stromu poruch (teoretická východiska)</i>	63
4.1.1.	Postup analýzy FTA	64
4.2.	<i>Využití metody FTA při snižování nehodovosti na železničních přejezdech</i>	66
4.2.1.	Situace na zabezpečených železničních přejezdech.....	66
4.2.2.	Situace na nezabezpečených železničních přejezdech	71
4.3.	<i>Zhodnocení výsledků analýzy FTA a návrh opatření ke snižování nehodovosti na železničních přejezdech</i>	75
4.3.1.	Situace na železničních přejezdech zabezpečených	76
4.3.2.	Situace na železničních přejezdech nezabezpečených	77
4.3.3.	Návrh možných opatření ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech	78
	Závěr	79
	Seznam použitých informačních zdrojů	81
	Seznam grafů	83
	Seznam ilustrací	83
	Seznam tabulek	84
	Seznam použitých zkratk	85
	Seznam příloh na datovém nosiči	86

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou nehodovosti na železničních přejezdech. Za cíle této práce jsem stanovil v první řadě vytvoření obsáhlé tabulky na základě dosud nezpracovaných dat týkajících se nehodovosti v České republice z databáze Ředitelství služby dopravní policie, dále vytvoření unikátních grafů a tabulek, které statisticky hodnotí nehodovost na železničních přejezdech v rozmezí let 2008 až březen 2012. Dalším krokem je použití konkrétní metody řízení kvality na výše zmíněný soubor dat, vytipování nejkritičtějších oblastí, na které je třeba se dále zaměřit (dle výsledků aplikované metody), a následně navržení opatření vedoucích ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech. Metod řízení kvality existuje v současné době velká řada, od ryze matematických a statistických modelů až po metody, které pracují výhradně s lidským faktorem. Zahrnout lidský faktor do analýzy nebývá v praxi jednoduché a většina metod řízení kvality to ani neumožňuje. Je zcela zřejmé, že problematika nehodovosti obecně v sobě nese velký podíl lidského ovlivnění, lidských chyb a selhání, nicméně důležité jsou také technické podmínky, za kterých se nehody odehrávají. Proto pro jejich analýzu budou nejvhodnější ty metody řízení kvality, které oba popsané aspekty umožní zkombinovat.

První část práce se zaměřuje na výčet možných metod řízení kvality, na jejich rozdělení z metodologického hlediska na induktivní (zdola nahoru) a deduktivní (shora dolů), na kvalitativní metody sloužící především k modelování systému spolehlivosti a kvantitativní metody sloužící k výpočtu číselných hodnot vybraných ukazatelů kvality. Druhá část se věnuje statistickému zhodnocení nehodovosti na železničních přejezdech. Data, ze kterých byly vytvořeny statistiky v této práci, jsou z rozmezí let 2008 až březen 2012, a pochází ze stránek Ředitelství služby dopravní policie a přístup k nim mají pouze příslušníci Policie ČR a jiné státní složky. V další části jsou nastíněna opatření ke snižování nehodovosti na železničních přejezdech, srovnání „bezpečnostních přejezdových politik“ České republiky se zahraničím a jsou zde prezentovány výsledky a doporučení plynoucí z výzkumného projektu AGATHA (MD ČR, 2008-2009). Poslední část se zabývá využitím vybrané metody řízení kvality v praxi. Konkrétně jde o aplikaci metody FTA (analýza stromu poruchových stavů), jejíž použití jsem vyhodnotil jako nejvhodnější vzhledem k tématu práce, na výše zmíněná data. Výsledkem jsou dva stromy poruchových stavů – pro železniční přejezdy zabezpečené a nezabezpečené – a navržená opatření vedoucí k eliminaci těch příčin dopravních nehod na daném typu přejezdu, které se podle analýzy FTA jeví jako nejkritičtější.

1 Metody řízení kvality

Kvalita je obecně definována jako stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků, přičemž požadavkem se rozumí potřeba nebo očekávání, které jsou stanoveny, obecně se předpokládají, nebo jsou závazné. Znak je rozlišující vlastnost nebo charakteristika. Existuje několik tříd znaků (hmotné, smyslové, týkající se chování, časové, ergonomické, funkční). Vzhledem k tématu mé práce se zaměřím především na znaky časové, které zahrnují mimo jiné i vlastnosti jako bezporuchovost nebo pohotovost, což jsou klíčové komponenty souhrnného pojmu – *spolehlivost*.¹

Následující tabulka vysvětluje vztah mezi kvalitou a spolehlivostí:

Tab. 1: Kvalita vs. spolehlivost

Termíny týkající se kvality	Činnosti	Vazba na spolehlivost
Kvalita	Vyjádření kvality souborem požadavků ke splnění	Vlastnosti – zde obecně „spolehlivost“
Požadavek	Popis požadavků souborem znaků	Ukazatele spolehlivosti (bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost)
Znak	Vyjádření vlastnosti kvantifikovanou formou	Požadované hodnoty ukazatelů spolehlivosti
Ověřování / validace	Poskytnutí důkazu o splnění požadavků	Postupy zkoušek a analýz
Objektivní důkaz	Zkouškou, měřením, výpočtem	Výsledky analýzy spolehlivosti nebo zkoušek spolehlivosti
Zkouška / měření / výpočty	Zjištění skutečné hodnoty	Zjištěné hodnoty ukazatelů spolehlivosti

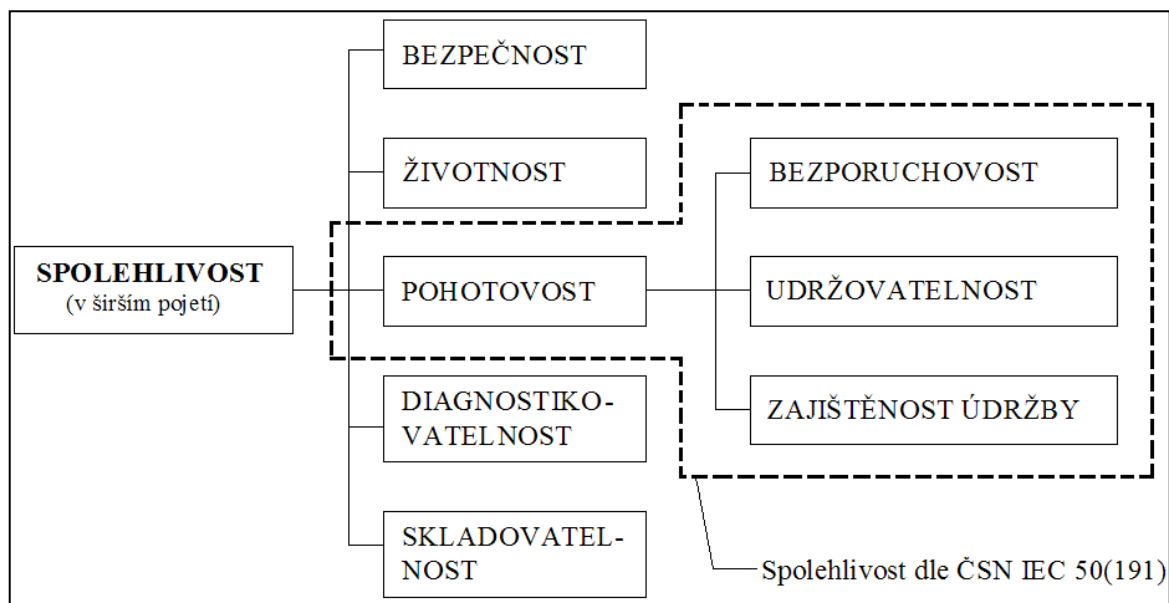
Zdroj:²

Podle platné definice spolehlivosti podle ČSN IEC 50 (191) je spolehlivost souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost,

¹ PELANTOVÁ, Věra; FUCHS, Pavel, *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/05-RJSPrednaska5JS08n09.ppt>

² PELANTOVÁ, Věra; FUCHS, Pavel, *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/05-RJSPrednaska5JS08n09.ppt>

udržovatelnost a zajištěnost údržby. Pojem spolehlivost je používán pouze pro obecný popis a nelze jej kvantifikovat a souhrnně vyjádřit žádným číselným ukazatelem. Kvantifikovatelně hodnotit lze pouze jednotlivé dílčí činitele: **pohotovost, bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby**. K tomu mohou přistupovat i další vlastnosti: bezpečnost, životnost, efektivnost a způsobilost. Na následujícím diagramu jsou znázorněny základní prvky spolehlivosti tak, jak je popisuje norma ČSN IEC 50 (191):



Obr. 1: Spolehlivost dle ČSN IEC 50 (191)

Zdroj:³

Z hlediska udržovatelnosti lze vyšetřované objekty dělit na **opravované** a **neopravované**. U opravovaného objektu je obnova funkceschopnosti zajištěna jeho opravou, v případě neopravovaného objektu je obnova funkce, kterou objekt vykonává, zajištěna výměnou porouchaného prvku za nový. U vyšetřovaného objektu je možné definovat řadu jevů a stavů. Nejčastěji je objekt charakterizován dvěma stavy: provozuschopným stavem a stavem poruchy. K těmto základním stavům dále přistupuje stav prostoje, kdy objekt v době používání není v provozu. **Porucha** je jev, při kterém přechází vyšetřovaný objekt z provozuschopného stavu do stavu poruchy. Naopak **obnova** je jev spočívající v obnovení schopnosti objektu plnit po poruše požadované funkce. Veličiny sledované ve spolehlivosti úzce souvisí s náhodným výskytem sledovaných jevů. Sledují se veličiny spojené s dobou (časem) – náhodnou proměnnou je zpravidla doba (čas) výskytu daného jevu. Jako příklad

³ FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

sledované veličiny lze uvést dobu provozu, dobu provozu do poruchy, dobu provozu mezi poruchami, dobu údržby apod.. Ukazateli se v pravděpodobnostním pojetí spolehlivosti rozumí funkce nebo hodnota používaná pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu.

Analýzou spolehlivosti se nazývá postup sloužící k přezkoumání a předpovědi ukazatelů bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti systému. Využívá se zejména v etapě volby koncepce a stanovení požadavků, v etapě návrhu a vývoje a v etapě provozu a údržby a to především pro vyhodnocení a stanovení ukazatelů spolehlivosti a pro posouzení, zda byly splněny specifikované požadavky. Je to proces, jehož podstatou je získávání, zkoumání a uspořádávání informací specifických a významných pro daný systém a potřebných pro rozhodování o něm a o stanovených cílech. Zkoumání probíhá obvykle na modelu systému. Konečným produktem tohoto procesu je soubor informací o vlastnostech modelu systému, přičemž je možné systém během analýzy modifikovat. V souladu s touto definicí je primárním cílem analýzy systému získávání informací o něm. Analýza musí být provedena podle jasně stanovených pravidel a postupů tak, aby proces analýzy byl opakovatelný a vždy vedl ke stejným výsledkům (dvě nezávisle provedené analýzy jednoho systému nemůžou dospět ke vzájemně rozporným výsledkům).

Každý model systému vytvořený pro potřeby analýzy spolehlivosti musí logicky popisovat funkčnost systému a elementy modelu musí představovat zcela konkrétní jevy, které v tomto případě mají povahu náhodných jevů. Tyto jevy se mohou týkat jak samotného systému, tak i prostředí, v němž pracuje. Jde například o poruchy a selhání funkcí jak prvků systému, tak systému jako celku, způsoby a postupy jeho údržby a oprav, změny ve způsobu provozu, provozních podmínkách, přepravy a skladování, lidský faktor, jeho úroveň, chyby v obsluze, případně o reakce na změny v chování systému apod.. Model spolehlivosti by měl postihnout podmínky pro požadovanou funkci, případně podmínky vzniku poruchy, a to jak jeho jednotlivých prvků, tak v kombinaci poruch prvků selhání funkce celého systému. Model by měl také umožnit výpočet charakteristik spolehlivosti v podobě konkrétních ukazatelů.⁴

Metody analýzy spolehlivosti je možné v zásadě rozdělit na dvě skupiny (z metodologického hlediska):

⁴ FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

- **Induktivní** (zdola nahoru)

Východiskem všech těchto metod je identifikace druhu poruchy na příslušné úrovni komponentů. Pro každý druh poruchy je odvozený odpovídající důsledek pro následující vyšší úroveň. Iterací se identifikují důsledky poruch až po úroveň systému. Metody umožňují pouze identifikaci důsledků jednoduchých poruch. Při detailní znalosti charakteristik jednotlivých komponentů systému je možné provést kvantitativní analýzu bezpečnosti systému.

- **Deduktivní** (shora dolů)

Tyto metody vycházejí z charakteristik poruchy základního prvku a z funkční struktury systému. Určují vztah mezi poruchami prvků a poruchami systému. Východiskem je určení nebezpečné vrcholné události na nejvyšší úrovni systému.

Analýza se uskutečňuje tak, že se identifikují všechny druhy uvažovaných poruch na nejbližší nižší funkční úrovni systému, které způsobí nebezpečnou vrcholovou událost. Pro každou takto definovanou uvažovanou poruchu na této úrovni se analýza opakuje, až do té doby, než se dosáhne nejnižší úrovně systému. Pro výběr vhodné metody spolehlivosti je třeba pečlivě zvážit účel analýzy a výpočtu (zda jde o předběžné odhady při volbě koncepce nebo při projektování), složitost analyzovaného objektu, počet stavů, které je možné uvažovat, typ rozdělení pravděpodobnosti poruch, požadovanou přesnost výsledků, způsob vyjádření výsledků (číselná hodnota ukazatelů, verbální popis), apod..⁵

V principu lze činnosti prováděné při prediktivní analýze spolehlivosti dělit na čtyři hlavní etapy:

- funkční a technická analýza
- kvalitativní analýza
- kvantitativní analýza
- syntéza výsledků analýzy.

⁵ ZAHRADNÍK, Jiří; RÁSTOČNÝ, Karol; KUNHART, Milan. *Bezpečnost železničních zabezpečovacích systémů*. Vyd.1. Žilina : EDIS - vydavatel'stvo Žilina, 2004. 276 s. ISBN 80-8070-296-9.

Funkční a technická analýza

V této etapě jsou shromažďována první data o systému a jeho účelu, cílových vlastnostech, funkčních a technických charakteristikách. Jde o data a informace nezbytné pro definování systému a jeho vlastností. Především je nutné shromáždit co nejpodrobnější informace o jeho prvcích, z nichž je systém utvořen. Je provedena první (předběžná) analýza, která by měla vyústit v podrobnější identifikaci a definování hlavních funkcí systému. Je to významné i pro definování všech významných vnějších omezení funkčních vlastností a provozních podmínek. Je to předběžná etapa kvalitativní analýzy, především pomůže identifikovat všechny funkce a jejich omezení.

Kvalitativní analýza

Konečným cílem kvalitativní analýzy je vyhledat všechny poruchy, jejich příčiny a popsat důsledky, které poruchy mohou mít a specifikovat jejich vliv na funkci systému. Existuje velký počet formálních postupů provedení analýzy a je na analytikovi, aby k danému účelu zvolil nejlepší s ohledem na podklady, které má k dispozici, a na cíle analýzy. Kvalitativní analýza poslouží především k vybudování odpovídajícího modelu spolehlivosti systému. Model musí vycházet ze strukturního členění systému a z předpokladů přijatých pro řešení. Modelování spolehlivosti systému je těsně svázáno s modelováním fyzikálních jevů a procesů (degradačních procesů), které mohou vyústit v určité fázi provozu až do poruchového stavu. Kvalita provedené analýzy je přímo závislá na použitém modelu funkčnosti, který musí postihovat co nejpřesněji všechny významné poruchy a jejich vzájemné souvislosti. Nezbytné je rovněž stanovení rozsahu, zaměření a hloubky analýzy. V souladu s požadavkem hloubky analýzy musí být provedeno i strukturální rozčlenění systému na prvky. Analýzu není účelné provádět do větší hloubky, než do jaké jsou k dispozici konkrétní informace o spolehlivosti prvků systému, zejména o možných poruchách, jejich příčinách a důsledcích.

Kvantitativní analýza

V rámci kvantitativní analýzy se provádí výpočet (odhad) kvantitativní (číselné) hodnoty vhodně vybraných ukazatelů spolehlivosti. Číselnou hodnotu ukazatele spolehlivosti lze získat vhodnou a dovolenou manipulací s modelem a uvážením elementárních jevů, které model strukturovaně spojuje v analyzovaný stav systému. Mimo dovolené manipulace s modelem, správný výběr vstupních elementárních jevů a vstupních údajů, je dále nezbytné správně uvážit dobu provozu, na níž se vztahuje analýza, způsoby ověřování správné funkce záložních prvků subsystémů, dobu provádění zkoušek, zásady provádění preventivní a nápravné údržby a přípustný rozsah a rychlost změny provozních podmínek.

Syntéza výsledků analýzy

Syntéza informací a závěry z kvalitativní a kvantitativní analýzy například přesně ukáže ty poruchy a jejich kombinace, na nichž je nejvíce závislá spolehlivost systému, odhalí nejkritičtější prvky systému nebo nejvýznamnější funkce systému. Tímto způsobem lze rozhodnout o takových technických či technologických opatřeních, která nejúčinnějším a nejrychlejším způsobem povedou ke zvýšení spolehlivosti, konkrétně bezporuchovosti, bezpečnosti, pohotovosti, udržovatelnosti a jiných vlastností systému. Ze závěru analýzy je možné usoudit, zda systém splnil nebo nesplnil požadavky na spolehlivost a bezpečnost. Jiné praktické kroky, ke kterým analýza může posloužit, jsou: zvýšení úrovně spolehlivosti prvků, změny v zálohování prvků, zdůvodnění nezbytnosti dodatečného zálohování prvků, odstranění nadbytečného zálohování, dodatečná ochrana nebo monitorování funkcí prvků, nezbytnost zabudování ochrany systému před poruchou společných prvků, nezbytnost předepsat kontrolu správné funkce prvků se skrytými poruchami, úprava preventivních údržbových operací, změny charakteru a period kontrolních zkoušek, minimalizace rizika vlivu lidského faktoru na spolehlivou funkci systému apod.

Následující část mé práce se zabývá stručnou charakteristikou nejpoužívanějších metod. Předem je nutné podotknout, že žádná jednotlivá metoda není natolik vyčerpávající, aby zvládla veškeré složité modely konkrétního systému. U každé metody jsem se pokusil zamyslet nad tím, nakolik je vhodná pro účely této práce, a na základě tohoto posouzení jsem vybral podle mého názoru nejvhodnější metodu aplikovatelnou na problematiku nehodovosti na železničních přejezdech. Tu se v závěru této práce pokusím použít na konkrétní soubor dat a zjištěných podmínek v okamžiku vzniku dopravních nehod na železničních přejezdech a s ohledem na výsledky provedené analýzy navrhnou opatření směřující ke snížení nehodovosti na přejezdech.

1.1. Přehled základních metod analýzy spolehlivosti

Metody analýzy spolehlivosti lze v první řadě dělit na kvalitativní a kvantitativní. Mezi kvantitativní metody se řadí počítání z dílů, blokový diagram bezporuchovosti, strom poruchových stavů, strom událostí a Markovova analýza. Mezi metody kvalitativní a semikvantitativní analýzy patří analýza způsobů a důsledků poruch FMEA a kritičnosti poruch FMECA, studie nebezpečí a provozuschopnosti HAZOP a analýza spolehlivosti lidského faktoru.

V současné praxi se při provádění analýz spolehlivosti můžeme setkat zejména s následujícími metodami:

- **Analýza způsobů a důsledků poruch** (FMEA – Fault Mode and Effects Analysis) je kvalitativní metoda analýzy bezporuchovosti s induktivním přístupem („zdola nahoru“), obsahující studium potenciálně možných druhů poruchových stavů (např. materiálů, součástek, zařízení), které mohou existovat v každé části systému a určování a vyhodnocování možných důsledků každého druhu poruchového stavu na nejbližší vyšší funkční úrovni systému. Opakování tohoto postupu vede k eventuálnímu zjištění všech jednotlivých druhů poruchových stavů systému.
- **Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch** (FMECA – Fault Mode, Effects and Criticality Analysis) je analýza potenciálně možných druhů a důsledků poruchových stavů s uvážením pravděpodobnosti jejich výskytu a uspořádáním podle stupně závažnosti poruchových stavů (závažnost důsledků je posuzována podle specifikované stupnice). FMECA je rozšířením metody FMEA, která jí zpravidla předchází.⁶
- **Metoda blokových diagramů** (RBD – Reliability Block Diagramme) byla původně vyvinuta pro analýzu ukazatelů bezporuchovosti a pohotovosti pro systémy bez opravy, při kterých nezáleží na pořadí vzniku poruch. Při aplikaci metody se předpokládá, že systém má dva stavy a v každém časovém okamžiku se nachází v jedné z těchto stavů. O jaké stavy jde, závisí na analyzované vlastnosti (funkční – nefunkční, použitelný – nepoužitelný, bezpečný – nebezpečný). Úlohou kvalitativní části analýzy je vytvoření diagramu sestávajícího z bloků, které jsou navzájem spojené logickými spojkami tak, aby diagram znázorňoval vlastnost systému.⁷

⁶ FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

⁷ ZAHRADNÍK, Jiří; RÁSTOČNÝ, Karol; KUNHART, Milan. *Bezpečnost železničních zabezpečovacích systémů*. Vyd.1. Žilina : EDIS - vydavatel'stvo Žilina, 2004. 276 s. ISBN 80-8070-296-9.

- **Metoda bezporuchovosti z dílů** (PC – Path County) je induktivní metoda vhodná k odhadu přibližné intenzity poruch systému pro předpoklad, že jeho poruchu způsobí porucha libovolné komponenty.
- **Metoda statistického modelování** se používá většinou ke kvantitativním analýzám. Je založena na vytvoření tzv. stochastického algoritmu, který vyjadřuje závislost výstupní náhodné veličiny (např. doby do poruchy systému) na vstupních náhodných veličinách (např. dobách do poruchy, dobách obnovy provozuschopnosti apod.) všech prvků systému.
- **Metoda stromu poruchových stavů** (FTA – Fault Tree Analysis) je deduktivní („shora dolů“) analýza prováděná ve tvaru stromu poruchových stavů k určení druhů poruchových stavů částí systému nebo vnějších jevů nebo jejich kombinací, které by mohly vést ke stanovenému druhu poruchového stavu systému. Pro vymezenou vrcholovou událost (např. kritická porucha systému) se zjišťují všechny možné příčiny nebo druhy poruchových stavů na nejbližší nižší funkční úrovni systému. Takto lze postupovat až na požadovanou nejnižší úroveň systému, kdy příčinami jsou obvykle druhy poruchových stavů součástek. Výsledky analýzy se zobrazují jako strom poruchových stavů, který pak může být základem kvantitativní analýzy.⁸
- **Metoda stromu událostí** (ETA – Event Tree Analysis) je grafický logický model, který identifikuje a kvalifikuje iniciační události. Systematicky pokrývá časové sekvence vývoje události. Následky mohou být přímé (požáry, exploze) nebo nepřímé (domino efekty). Událost následující po iniciační události je podmíněna výskytem předchozí události. Výsledky události mají nejčastěji binární podobu (úspěch – neúspěch, ano – ne), ale může se jednat i o více výsledků (100%, 50%, 0% uzavření regulačního ventilu).⁹

⁸ FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

⁹ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-09]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/10-RJSPrednaska5S08n.ppt>

- **Markovova analýza** (MA – Markov Analysis) je převážně induktivní metoda založená na teorii Markovových řetězců. Pomocí matematických modelů se při ní vyhodnocují pravděpodobnosti, že prvky systému jsou v určitém (funkčním) stavu nebo že nastanou určité události ve specifikovaných časových bodech (popřípadě intervalech). Na počátku musí být stavy, které jsou předmětem zájmu, definovány spolu s pravděpodobnostmi přechodu z jednoho stavu do jiného. Kvalitativní část analýzy vyžaduje určení všech možných stavů systému, znázorněné diagramem stavových přechodů. Pravděpodobnosti přechodů a způsob vzájemných vztahů mezi stavy umožňuje sestavit matici přechodů jako matematický model pro výpočty pravděpodobnosti bezporuchového provozu, součinitele pohotovosti, nebo dalších ukazatelů systému. Metoda je vhodná pro vyhodnocení funkčně složitých systémů a složitých strategií oprav a údržby.
- **Studie nebezpečí a provozuschopnosti** (HAZOP – Hazard and Operability Study) je jen určitá modifikace metody FMEA/FMECA vyvinutá původně pro chemický průmysl. Má však své uplatnění i v mnoha jiných oborech.
- **Předběžná analýza nebezpečí** (PHA – Preliminary Hazard Analysis) je relativně jednodušší způsob kvalitativní analýzy rizik zaměřené na identifikaci nebezpečí, nebezpečných situací a událostí, které mohou způsobit u analyzovaného systému poškození, újmu na zdraví a další nežádoucí následky.
- **Posuzování spolehlivosti člověka** (HRA – Human Reliability Assessment) je zejména kvalitativní metoda k posuzování vlivu typických chybných činností pracovníků (operátoři, údržbový personál apod.) na spolehlivost systému.

Nejčastěji používané metody analýz spolehlivosti jsou charakterizovány a podrobněji popsány v jednotlivých normách ČSN IEC. V technické praxi se nejvíce používá z kvalitativních metod analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA), resp. analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA) a z kvantitativních metod pak analýza stromu poruchových stavů (FTA).

V následující tabulce jsou shrnuty charakteristiky nejpoužívanějších metod analýz spolehlivosti dle normy ČSN IEC 300-3-1.

Tab. 2: Charakteristiky nejpoužívanějších metod analýz spolehlivosti dle ČSN IEC 300-3-1

analytická metoda	Charakteristiky												
	Způsobilost metody zpracovávat charakteristiky modelu jako:						Atributy						
	počet součástí (prvků)	zálohované struktury	kombinace a závislosti událostí	časově proměnná intenzita poruch / událostí	komplexní strategie údržby	symbolická reprezentace	Přístup		obtížnost		analýza		norma ČSN IEC
						deduktivní	Induktivní	kvalitativní	kvantitativní	kvalitativní	kvantitativní		
FMEA	až do několika tisíc	(ne)	(ne)	ano	ne	seznam	(nz)	z	z	nz	velká	-	812
FMECA	až do několika tisíc	(ne)	(ne)	ano	ne	seznam	nz	z	z	(z)	velká	malá	812
FTA	až do několika tisíc	ano	(ano)	ano	ne	strom poruchových stavů	z	nz	z	z	velká	střední	1025
RBD	až do několika tisíc	ano	(ano)	ano	ne	blokový diagram bezporuch	z	nz	(z)	z	střední	střední	1078
MA	2 až 100	ano	ano	(ne)	ano	stavový diagram systému	(nz)	z	z	z	velká	střední	1165
PC	1 až 1000	(ne)	ne	(ne)	-	seznam	nz	z	(nz)	z	malá	malá	-
Příčina / následek	až do několika set	ano	(ano)	(ano)	ano	tabulka příčin/následků	(z)	z	z	z	velká	malá velká	-
Strom událostí	2 až 50	ano	(ano)	ano	ne	strom událostí	z	z	(nz)	z	malá	malá	-

z ... metoda je způsobilá, nz ... metoda není způsobilá nebo vhodná

Zdroj:¹⁰

V dalších podkapitolách se budu více věnovat metodám analýzy spolehlivosti, které lze podle mého názoru využít pro danou problematiku, a pokusím se z nich vybrat tu nejvhodnější, kterou následně využiji v praktickém příkladě v kapitole 4.

1.2. FTA¹¹

Metoda FTA se stejně jako metoda FMEA řadí k preventivním metodám. A co vlastně FTA znamená? Je to zkratka anglických slov Fault Tree Analysis, která se do češtiny překládá jako Analýza stromu poruchových stavů.

¹⁰ FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

¹¹ *ikvalita.cz : Portál pro kvalifikované* [online]. 2009 [cit. 2011-03-10]. FTA. Dostupné z WWW: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=52>

1.2.1. Cíl metody

Cílem metody FTA je analýza pravděpodobnosti selhání celého systému a s tím související preventivní opatření, která by měla spolehlivost systému zvýšit. Jde o grafické vyjádření systému, které poskytuje popis kombinací možných výskytů problémů v systému, který může vyústit v problém závažnějšího charakteru, který nechceme, aby vůbec vznikl. Tato metodika může kombinovat jednak různé vady strojů a technologií, tak i lidské chyby.

1.2.2. Postup metody

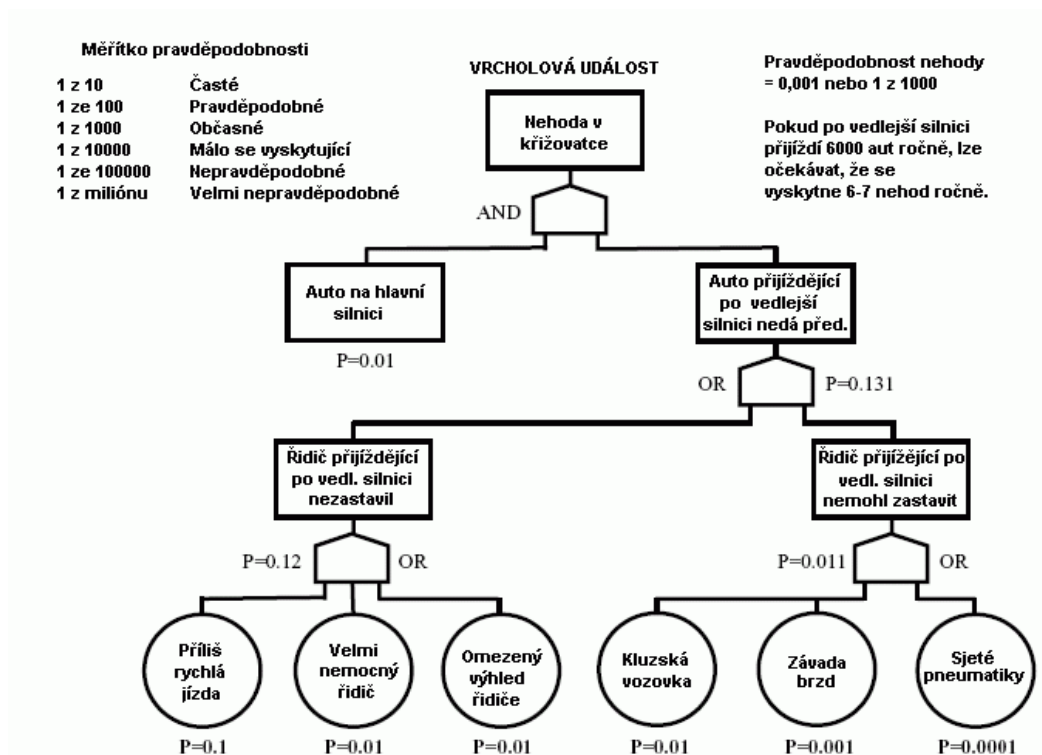
Nejkritičtější problém je tzv. vrcholový problém, který nejčastěji zahrnuje negativní události jako exploze, uvolnění toxických látek, smrt pacienta, nehoda na železničním přejezdu apod.. Strom poruch je tedy konstruován tak, aby popsal sled událostí, které samostatně nebo v kombinaci s jinými událostmi mohou vést k vrcholové události. Takovým příkladem může být posouzení pravděpodobnosti automobilové nehody na křižovatce nebo již zmíněné nehody na železničním přejezdu, kdy strom poruch je tvořen událostmi a tzv. hradly (*gates*) A a NEBO (*AND* a *OR*). Strom je tvořen dedukcí podmínek vzniku vrcholové události a posloupností jednotlivých úrovní až do definování nejnižší úrovně příčin.

Tím, že každé zahrnuté příčině přiřadíme pravděpodobnost, můžeme vypočítat pravděpodobnost výskytu vrcholové události. Toto ale vyžaduje schopnost odhadu pravděpodobnosti výskytu daných jevů. Pravděpodobnosti u všech hradel musí být definovány, přičemž pravděpodobnost u hradla A je součinem pravděpodobností u hradel NEBO. Tato metoda je účinná pro identifikaci možných vad, které mají významný vliv na vrcholovou událost.

1.2.3. FTA a lidský faktor

Vliv lidské chyby v systému popsaném ve stromu poruch samozřejmě může být zahrnut, ale jen za podmínky, že pravděpodobnosti výskytu jsou popsány stejným způsobem, jako je tomu u strojů a technologií. Při zahrnutí lidské chyby v FTA je důležité mít na zřeteli podmínky provádění činností, rychlost, správný sled operací apod..

Následující obrázek popisuje jednotlivé úrovně metody FTA a to včetně událostí a hradel. Model pracuje s pravděpodobnostmi, které obsahují také verbální popis.



Obr. 2: FTA - Strom poruchových stavů

Zdroj:¹²

1.2.4. Vhodnost použití metody FTA vzhledem k tématu práce

Je zcela zřejmé, že problematika nehodovosti obecně v sobě nese velký podíl lidského ovlivnění, lidských chyb a selhání, nicméně důležité jsou také technické podmínky, za kterých se nehody odehrávají. Soubor dat, na kterých je tato práce založena, obsahuje oba tyto faktory (lidský faktor – například stav řidiče v okamžiku dopravní nehody, řidič pod vlivem alkoholu či omamných látek, způsob jízdy nebo nedání přednosti v jízdě; technický faktor – stav povrchu vozovky v době nehody, povětrnostní podmínky, viditelnost, rozhledové poměry nebo technický stav vozidla).

Metoda FTA je preventivní analýza pravděpodobnosti selhání celého systému, zobrazuje se jako grafický model několika úrovní, kdy nejnižší úroveň je tvořena základními událostmi. Ty mohou samostatně nebo v kombinaci s jinými událostmi vést k vrcholové události. Model je doplněn o pravděpodobnosti vzniku jednotlivých událostí (poruch) či jejich kombinací a to nám poskytuje dobrý přehled o stavu celého systému. Velkou výhodou této metody je vcelku bezproblémové zahrnutí lidského faktoru do analýzy.

¹² *ikvalita.cz : Portál pro kvalitáře* [online]. 2009 [cit. 2011-03-10]. FTA. Dostupné z WWW: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=52>

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem a možnosti rozpracování systému do nejmenších detailů a tím i nasměrování následných opatření do nejkritičtějších oblastí, považují analýzu FTA za velmi vhodnou k řešení problematiky nehodovosti na železničních přejezdech.

1.3. PHA

Jde o induktivní metodu, jejímž cílem je vlastní identifikace nebezpečí, nebezpečných situací a událostí, které mohou způsobit při dané činnosti, u daného zařízení nebo u systému poškození nebo újmu. Nejčastěji se provádí v rané etapě vývoje projektu, kdy je k dispozici málo informací o podrobnostech návrhu nebo o provozních postupech, a může předcházet před dalšími studii. Je též užitečná při analyzování existujících systémů nebo stanovení priorit nebezpečí tam, kde okolnosti brání použití pokročilejších metod. Je to strukturovaná a systematická technika využívaná v rámci managementu spolehlivosti a bezpečnosti / rizika sestavená za účelem zkoumání stanoveného systému.

1.3.1. Princip a cíle metody

Důležitý přínos předběžné analýzy nebezpečí spočívá v tom, že výsledné znalosti získané při strukturovaném a systematickém rozpoznávání potenciálních problémů týkajících se nebezpečí plynoucího z funkce systému velmi pomáhají při určování vhodných opatření k nápravě a jsou podkladem pro další navazující analýzy. Zpracovává se seznam nebezpečí a generických nebezpečných situací uvažováním charakteristik, jako jsou používané nebo vytvářené materiály, použitá zařízení, provozní prostředí, prostorové rozmístění, rozhraní mezi součástmi systému apod..

Hlavní cíle metody jsou:

- nalezení slabých míst a identifikace nebezpečí v systému a subsystému,
- klasifikace závažností nebezpečí / událostí, pravděpodobnosti jejich výskytu a určení výsledné míry rizika / ohrožení,
- uvedení doporučených opatření pro řízení / snížení nebo eliminaci rizika / ohrožení (konstrukce, výroba, montáž, provoz, údržba, podpůrný systém apod.),
- posouzení vlivu aplikace provedených doporučení na systém, předpokládá se, že bude pozitivní,
- stanovení odpovědnosti za uvedený identifikovaný zdroj nebezpečí a jeho řešení,

- výstupy analýzy mohou být použity pro navazující analýzy,
- metoda se dokončí identifikací možností, že k nehodě dojde, kvalitativním vyhodnocením rozsahu možných zranění nebo škod na zdraví, které mohou být důsledkem nehody, a identifikaci možných opatření k nápravě,
- PHA se má aktualizovat v průběhu etap návrhu, konstrukce a zkoušení, aby se detekovala jakákoliv nová nebezpečí a aby se učinila opatření k nápravě, pokud to je nutné (získané výsledky mohou být prezentovány různými způsoby – například tabulky nebo stromy).

Kvalitně provedená metoda PHA může poskytnout následující informace:

- specifikace potenciálního nebezpečí v navrhovaném systému,
- pravděpodobná velikost a frekvence každého nepříjemného důsledku jevu na sledovaný systém jak „s“, tak „bez“ doporučených opatření pro snížení těchto důsledků,
- navrhovaná opatření pro eliminaci a řízení potenciálního ohrožení,
- kritické zařízení z hlediska bezpečnosti a rovněž identifikace kritických situací, na které se musí konstruktéři zaměřit v případě snah o eliminaci nebo snah o řízení nebezpečí,
- potenciální události (nehody), jež by měly být podrobeny detailní analýze, pokud jsou k dispozici dodatečné informace,
- identifikace možných chyb člověka, jež mohou vést k nehodám, a jež mohou být eliminovány schopnostmi konstruktérů (například varování, procedurální instrukce),
- identifikace specifických bezpečnostně důležitých okolností, které splní požadavky standardů, specifikací nebo obdobných dokumentů,
- poznámky o nehodách, téměř úspěšných akcích, a jiných potenciálních bezpečnostních problémech, které nebyly odhaleny během zkušeností s předešlými systémy,
- potenciální nebezpečí, jejichž řízení by mělo být verifikováno v následujících zkouškách specifického formátu.

Nedostatky této metody spočívají v její složitosti, pracnosti a časové náročnosti v případě komplexních systémů, které mají mnoho funkcí a sestávají z mnoha komponentů. Mnohdy je nutné mít dokonalé znalosti charakteristik, práce a reakce různých komponent systému na různé provozní podmínky a podmínky prostředí. Je specifická pro některé aplikace – letectví, železnice apod. Vstupními informacemi pro analýzu jsou účel a cíle analýzy, technický popis systému (technické požadavky a legislativa), definice funkcí systému a jeho prvků, funkční členění systému, údaje o prvcích systému. Charakteristickým rysem metody je používání tzv. „pracovních formulářů“, pomocí kterých se výsledky analýzy zaznamenávají do přehledné formy. Na PHA by se mělo nahlížet jako na iniciační metodu, která má za úkol zdokonalit projekt s použitím přístupů založených na zkušenostech, jako jsou praktické pokyny. Jelikož je tato metoda velmi důležitá, zaujímá významné místo mezi ostatními metodami užívanými v rámci procesů managementu spolehlivosti, bezpečnosti a rizika (například RAMS).

1.3.2. Postup provádění analýzy

Postup provádění analýzy lze rozdělit do tří částí:

- A. přípravná část,
- B. vlastní PHA jednotlivých prvků systému, respektive systému jako celku,
- C. vyhodnocení analýzy.

Obsahem přípravné části analýzy je shromažďování potřebných informací a podkladů, upřesnění cílů analýzy a stanovení základních pravidel pro jejich provádění. K základním informacím patří cíle a termíny, potřebná hloubka analýzy, požadavky na spolehlivost a bezpečnost systému, jako jsou požadavky vyplývající z technických a legislativních podkladů, informace o struktuře a funkcích systému, informace o provozních podmínkách a systému údržby, jako je specifikace podmínek provozu, doba a fáze provozu, systém provozní a nápravné údržby, dále jde o podmínky prostředí a požadavky na využití softwarové podpory analýzy.

Pro vlastní PHA systému / subsystému platí, že by metoda měla být co nejvíce prakticky použitelná ve smyslu identifikace potenciálních ohrožení a indikace prostředků preventivních i nápravných opatření. Princip spočívá v systematickém hledání a odhalování událostí, které mají potenciál „být pro nás rizikové“. Při realizaci metody PHA se snažíme o zjišťování všech okolností souvisejících s rizikem:

- od identifikace zdroje rizika a jeho popisu,
- přes definice a specifikace fáze technického života, kdy může dojít k události (provoz, údržba, modernizace, vypořádání apod.),
- přes specifikaci třídy možného důsledku a četnosti výskytu (danou pro určitou posuzovanou oblast),
- až po doporučená opatření a výslednou míru ohrožení pro aplikaci doporučených opatření.

Ve fázi vyhodnocení výsledků analýzy je třeba porovnat výsledky s požadavky stanovenými v normách a předpisech (pokud existují) nebo s požadavky stanovenými pro daný výrobek. Důležité je i navrhnout účinná opatření, zaměřená na odstranění příčin nejzávažnějších typů poruch nebo na snížení stupně jejich závažnosti.

1.3.3. Praktické využití metody PHA

Metoda PHA může nabývat dvou forem. Jde o formát tabulkový a formát stylizovaný. Obrázek níže obsahuje dokument metody PHA, respektive tabulku, která lze při analýze využít. Mimo tento tabulkový formát existuje již zmíněný formát stylizovaný, který může sloužit pro vhodnější popis systému, subsystému a komponenty, jež je analyzována tak, že si čtenář učiní lepší představu o okolnostech a podmínkách, za kterých může nebezpečí existovat, o faktorech, které mohou nebezpečí způsobit a o nepříjemných důsledcích, které mohou vyvstat.

Tab. 3: PHA - Příklad tabulkového formuláře

Systém: Subsystém:		System – Preliminary Hazard Analysis				List: Revize: Vypracoval: Schválil:	
P.č.	Popis nebezpečí	Důsledek nebezpečí	Provozní fáze	Kategorie nebezpečí a pravděpodobnost	Doporučená opatření ke snížení nebezpečí	Výsledná úroveň nebezpečí po provedených opatřeních	Poznámky

Zdroj: ¹³

¹³ VALIŠ, David. *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi (aneb jak přesvědčit zákazníka, že: Předběžná analýza nebezpečí (PHA) - základ racionálního návrhu systému* [online]. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009[cit. 2012-10-21]. ISBN 978-80-02-02156-8. Dostupné z: <http://www.csq.cz/res/data/020/002506.pdf>

Následující tabulky nastiňují příklad z letecké praxe. Jde o zkoumání přípustného pravděpodobnostního nastoupení poruchy za 1 letovou hodinu, založeného na průměrné době trvání letu daného typu letounu. První tabulka uvádí jen obecnou klasifikaci závažnosti důsledků událostí a poruch. Druhá tabulka obsahuje opět jen obecnou klasifikaci a frekvenci událostí a poruch. Další tabulka shrnuje předchozí dvě a odhaluje zónu nepřijatelného a přijatelného rizika pro daný příklad z praxe. Poslední tabulka klasifikuje závažnost událostí a poruch včetně verbálního popisu pro letadlo, cestující i osádku. Odhaluje, s jakou pravděpodobností dojde k nezávažnému, závažnému a katastrofickému poruchovému stavu a jak tyto stavy budou vypadat.

Tab. 4: PHA – Klasifikace závažnosti důsledků událostí / poruch

Úroveň závažnosti důsledku		Důsledky na osoby a systém
I	Katastrofické	Vícenásobná úmrtí a / nebo mnohonásobná těžká zranění a / nebo závažné poškození životního prostředí a / nebo ztráty systému / zařízení.
II	Kritické	Jednotlivá úmrtí a / nebo několik vážných zranění a / nebo několik případů nemoci z povolání a / nebo vážné poškození životního prostředí a / nebo velké poškození systému.
III	Závažné	Lehká zranění a / nebo malý počet případů nemoci z povolání a / nebo závažné ohrožení pro životní prostředí a / nebo malé poškození systému.
IV	Nevýznamné	Možné lehké zranění a / nebo možnost nemoci z povolání a / nebo poškození systému.

Zdroj:¹⁴

¹⁴ VALIŠ, David. *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi (aneb jak přesvědčit zákazníka, že: Předběžná analýza nebezpečí (PHA) - základ racionálního návrhu systému* [online]. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009[cit. 2012-10-21]. ISBN 978-80-02-02156-8. Dostupné z: <http://www.csq.cz/res/data/020/002506.pdf>

Tab. 5: PHA – Klasifikace a frekvence událostí / poruch

Kategorie		Popis
A	Časté	Existuje možnost častého výskytu. Nebezpečí působí trvale.
B	Pravděpodobné	Vyskytne se několikrát. Výskyt nebezpečí lze očekávat často.
C	Občasné	Je možné, že se vyskytne několikrát. Výskyt nebezpečí lze očekávat několikrát.
D	Ojedinelé	Je možné, že se vyskytne několikrát během životního cyklu objektu. Výskyt nebezpečí je možné očekávat přiměřeně často.
E	Nepřítomné	Nepříliš jisté, že se vyskytne, ale možné to je. Můžeme předpokládat, že nebezpečí se může výjimečně vyskytnout.
F	Nemožné	Extrémně nemožné, že se vyskytne. Lze předpokládat, že nebezpečí se nevyskytne.

Zdroj:¹⁵

Tab. 6: Klasifikace rizika

Četnost výskytu události / poruchy		Závažnost důsledku události / poruchy			
		I	II	III	IV
Častá (probability > 10 ⁻³ /h)	A				
Pravděpodobná (10 ⁻⁴ /h < probability ≤ 10 ⁻³ /h)	B				
Občasná (10 ⁻⁵ /h < probability ≤ 10 ⁻⁴ /h)	C				
Ojedinelá (10 ⁻⁷ /h < probability ≤ 10 ⁻⁵ /h)	D				
Nepřítomná (10 ⁻⁹ /h < probability ≤ 10 ⁻⁷ /h)	E				
Nemožná (probability ≤ 10 ⁻⁹ /h)	F				

	Zóna nepřijatelného rizika
	Zóna přijatelného rizika

Zdroj:¹⁶

^{15, 16} VALIŠ, David. *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi (aneb jak přesvědčit zákazníka, že: Předběžná analýza nebezpečí (PHA) - základ racionálního návrhu systému* [online]. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009[cit. 2012-10-21]. ISBN 978-80-02-02156-8. Dostupné z: <http://www.csq.cz/res/data/020/002506.pdf>

Tab. 7: PHA – Příklad klasifikace závažnosti důsledků událostí/poruch používaný v letectví

Klasifikace poruchových stavů	Nezávažné (Minor)	Závažné (Major)	Katastrofické (Catastrophic)
Důsledek pro letadlo	Mírné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Významné snížení funkčních schopností nebo rezerv bezpečnosti	Poruchové stavy vylučující pokračování v letu a přistání
Důsledek pro cestující	Mírné fyzické potíže pro cestující	Fyzické strádání u cestujících	
Důsledek pro osádku	Mírný nárůst pracovního zatížení osádky nebo použití nouzových postupů	Fyzické potíže nebo značný nárůst pracovní zátěže	
<p>Přípustné pravděpodobnostní nastoupení poruchy za 1 letovou hodinu, založené na průměrné době trvání letu daného typu letounu. U funkcí, které jsou používány pouze pro určitou část letu (např. vzlet, přistání apod.) by přípustná pravděpodobnost měla být založena na době trvání této operace.</p>			
	$> 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-9}$	$< 10^{-9}$

Zdroj:¹⁷

1.3.4. Vhodnost použití metody PHA vzhledem k tématu práce

Metoda PHA, často nazývána také jako kvantifikace zdrojů rizik, je založena na vyhledávání nebezpečných stavů (nouzových situací), jejich příčin a dopadů a jejich zařazení do předem stanovených kategorií. Jak název metody předjímá (Preliminary Hazard Analysis = *předběžná analýza ohrožení*), je nejčastěji používána v rané etapě vývoje projektu, kdy obvykle nebývá k dispozici dostatek informací. Lze na ni pohlížet jako na iniciační analýzu, po které mohou následovat další techniky.

Výhodou je přehledné uspořádání většinou ve formě tabulek či pracovních formulářů, strukturovanost a systematičnost, definování slabých míst systému, klasifikace závažnosti nebezpečí, určení pravděpodobnosti jejich výskytu a určení výsledné míry rizika. Výsledkem bývá kvalitativní vyhodnocení rozsahu možných zranění či škod na zdraví, které mohou být důsledkem nehody, a identifikace možných opatření k nápravě.

Nedostatky této metody jsou především její složitost, pracnost, časová náročnost a obtížné zahrnutí lidského faktoru do analýzy.

¹⁷ VALIŠ, David. *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi (aneb jak přesvědčit zákazníka, že: Předběžná analýza nebezpečí (PHA) - základ racionálního návrhu systému* [online]. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009[cit. 2012-10-21]. ISBN 978-80-02-02156-8. Dostupné z: <http://www.csq.cz/res/data/020/002506.pdf>

Vzhledem k výše uvedenému jsem ji jako metodu vhodnou pro účely této diplomové práce navrhl a spíše bych ji doporučil jako ideální pro případ výstavby nových železničních přejezdů nebo při zavádění inovativních zabezpečovacích prvků na stávající přejezdy.

1.4. HRA

Lidský faktor je nedílným prvkem moderní technologie. Člověk je zapojen do procesu údržby a řízení technologických zařízení a je často klíčovým faktorem celkové spolehlivosti provozu. Vzniká tedy požadavek na kvantitativní analýzu lidského faktoru.

Pokud bych měl najít definici, co je to lidská chyba, pak je to *jednání nebo pokus o jednání, při kterém jsou překročeny mezní hodnoty daných parametrů systému*. Existuje několik typů lidského selhávání:

- předhavarijní pochybení údržby s latentním efektem,
- závažné porušení pravidel provozu vedoucí k mimořádnému stavu,
- nezvládnutí odezvy na vznik mimořádného stavu.

Otázkou ale zůstává, jak lze kvantifikovat lidské selhávání? Je nutné odhadnout pravděpodobnost neúspěchu daných činností. Výsledná pravděpodobnost selhání je složena z elementárních lidských selhání. Výpočty pravděpodobností lidské chyby vycházejí z předpokladu, že k chybám bude docházet ve stejném poměru jako v minulosti. Součástí je také ohodnocení nejistoty odhadu. Následující přehled shrnuje devět metod kvantitativního zhodnocení možnosti selhání lidského činitele v rámci rizikového technologického provozu:

- metoda statistické analýzy subjektivních odhadů
- párová srovnávání
- metoda TESEO
- metoda THERP
- metoda ASEP
- metoda HEART
- metoda diagramů závislostí IDA
- metoda SLIM
- metoda HCR korelací
- databáze kvantitativních charakteristik lidských zásahů NUCLARR.

1.4.1. Metoda TESEO

Metoda TESEO je specifická a odlišná od ostatních metod analýzy lidského činitele. Ze všech metod jde o metodu nejjednodušší a vyžaduje nejmenší materiální a kapacitní zdroje. Metoda odhaduje spolehlivost lidského činitele pomocí pěti klíčových faktorů, které byly oceněny jako nejdůležitější mezi všemi faktory ovlivňujícími pravděpodobnost lidské chyby. Její model definuje pravděpodobnost chyby personálu jako multiplikativní funkci následujících faktorů:

- K_1 ... typ realizované aktivity (faktor typu činnosti)
- K_2 ... čas, který je k dispozici pro provedení aktivity (stresový faktor běžných činností, popř. mimořádných činností)
- K_3 ... charakteristika personálu (faktor operátorových kvalit)
- K_4 ... psychický stav personálu (faktor úzkosti a stresu)
- K_5 ... místní pracovní podmínky (ergonomický faktor)

Pravděpodobnost lidské chyby při realizaci dané aktivity je pak počítána jako

$$P(\text{HEP}) = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Konkrétní numerické hodnoty jednotlivých faktorů K_i lze získat z tabulek. Pokud dosáhne součin všech pěti faktorů numerické hodnoty **větší než 1**, předpokládá se, že pravděpodobnost lidské chyby je **rovna jedné**. Nevýhodou metody TESEO je nedostatečné teoretické ověření numerických hodnot jednotlivých uvážených faktorů i jejich vlastního výběru pro některé specifické případy. Velkou výhodou je její rychlost a snadnost jejího použití. Technika je velmi vhodná pro srovnávací výpočty (například srovnání podmínek na různých pracovištích).

Následující tabulka udává hodnoty výše uvedených pěti faktorů, jež mají vliv na selhání lidského činitele.

Tab. 8: TESEO – Faktory selhání lidského činitele (příklad pro výrobní závod)

Typ činnosti	K ₁	Přechodný stresový faktor pro běžné činnosti	K ₂
Jednoduchá, rutinní	0,001	Doba pohotovosti - 2 sec.	10
Vyžadující pozornost, rutinní	0,01	Doba pohotovosti - 10 sec.	1
Neobvyklá	0,1	Doba pohotovosti - 20 sec.	0,5
Operátorovy kvality	K ₃	Přechodný stresový faktor pro mimořádné činnosti	K ₂
Pozorně zvolený, expert	0,5	Doba pohotovosti - 3 sec.	10
Průměrné znalosti a školení	1	Doba pohotovosti - 30 sec.	1
Malé znalosti, chabé školení	5	Doba pohotovosti - 45 sec.	0,3
Činnost ergonomického faktoru	K ₅	Doba pohotovosti - 60 sec.	0,1
Vynikající mikroklima, vynikající koordinovanost s provozem	0,7	Činnost faktoru úzkosti a stresu	K ₄
Dobré mikroklima, dobrá koordinovanost s provozem	1	Stav vážného nepředvídaného případu	3
Rušené mikroklima, rušená koordinovanost s provozem	3	Stav potenciálního nepředvídaného případu	2
Špatné mikroklima, chabá koordinovanost s provozem	10	Normální stav	1

Zdroj:¹⁸

1.4.2. Vhodnost použití metody HRA vzhledem k tématu práce

Metoda HRA je jedna z mála technik, která se výhradně věnuje vlivu lidského faktoru na celkový systém. Vychází z předpokladu, že člověk je často klíčovým faktorem spolehlivosti daného systému a zabývá se kvantifikací lidského selhávání. Lze na ni nahlížet jako na souhrn několika dílčích metod k posuzování spolehlivosti člověka. Z těchto dílčích technik bych vyzdvihl především metodu TESEO, která by po určitých úpravách mohla sloužit k výpočtu spolehlivosti řidiče motorového vozidla, a určit pravděpodobnost jeho selhání na tom kterém železničním přejezdu.

Velkou nevýhodou této metody a hlavní příčinou, proč se jí již v dalším textu nebudu zabývat, je fakt, že nebere v potaz technické podmínky v době vzniku dopravní nehody na železničních přejezdech.

¹⁸ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/13-RJSPrednaska8S08n09.ppt>

1.5. HAZOP

HAZOP je definován jako týmový proces podrobného rozpoznávání problémů týkajících se nebezpečí a provozuschopnosti.

1.5.1. Princip metody

Metoda se zabývá rozpoznáváním potenciálních odchylek od cíle projektu (projektové funkce), zkoumáním jejich možných příčin a hodnocením jejich následků. Zkoumání se provádí pomocí systematického používání sady vodicích slov, aby se rozpoznaly potenciální odchylky od cíle projektu (projektové funkce) a tyto odchylky se používají jako „spouštěcí mechanismus“ pro stimulaci představ členů týmu o tom, jak by mohlo k odchylce dojít a jaké by mohla mít následky. Zkoumání se provádí pod vedením vyškoleného a zkušeného vedoucího studie, který musí zajistit zevrubné pokrytí studovaného systému pomocí logického analytického myšlení. Vedoucímu studie pomáhá celý tým lidí, z nichž je třeba jmenovat především osobu zapisovatele, který zaznamenává rozpoznaná nebezpečí a / nebo narušení provozu pro další vyhodnocení a řešení. Zkoumání vychází ze znalostí specialistů z různých vědních a technických oborů s vhodnými dovednostmi a zkušenostmi, kteří projevují intuici a dobrý úsudek. Dále je zapotřebí, aby byla zkoumání prováděna v prostředí pozitivního myšlení a otevřené diskuse. Řešení rozpoznávaných problémů není prvotním cílem zkoumání HAZOP, ale jestliže se k nim dospěje, zaznamenají se, aby je pracovníci odpovědní za projekt vzali v úvahu.

Studie má čtyři základní postupné kroky:

- **stanovení rozsahu, cílů a odpovědnosti**, kdy se stanoví rozsah platnosti a cíle, dále také odpovědnosti za dílčí oblasti a vybere se vhodný tým,
- **příprava**, kdy se vypracuje plán studie, shromáždí se data, dohodne se způsob zápisu průběhu analýzy, odhadne se doba provádění analýzy a sestaví se časový plán,
- **zkoumání**, které zahrnuje rozdělení systému na části, volbu vhodné části a stanovení cíle projektu, zjištění odchylek u každého prvku pomocí vodicích slov, rozpoznání následků a příčin, existence významného problému, mechanismů ochrany, detekce a indikace, možných opatření k nápravě a odsouhlasí se činnosti,
- **dokumentace a další postup**, kdy se celé zkoumání zaznamená, schválí se dokumentace, vypracuje se zpráva o studii, dále se sleduje, jak jsou tyto činnosti uplatňovány a nakonec se vypracuje závěrečná výstupní zpráva.

Principy zkoumání jsou založeny na využívání již zmíněných vodících slov, kdy jsou záměrně vyhledávány odchylky od cíle projektu. Systém se rozdělí na části tak, aby mohl být pro každou část přiměřeně stanoven cíl projektu (projektová funkce). Ve složitých systémech nebo systémech, které představují velké nebezpečí, bývají tyto části zpravidla malé. Volba prvků, které se mají prozkoumat, je subjektivním rozhodnutím. Tým HAZOP zkoumá každý prvek z hlediska odchylky od cíle projektu, která může vést k nežádoucím následkům, a to tak, že jsou postupně kladeny otázky s použitím předem stanovených „vodících slov“. Tato slova stimulují myšlení, soustředění na studii a vyvolávání nápadů a diskuse, čímž maximalizují vyhlídky na úplnost studie.

Následující tabulka shrnuje základní vodící slova a vysvětluje jejich všeobecný význam.

Tab. 9: HAZOP - Základní vodící slova

Vodící slovo	Význam
ŽÁDNÝ, NENÍ ŽÁDNÝ nebo NE	úplná negace cíle projektu (projektové funkce)
VYŠŠÍ	kvantitativní nárůst, kvantitativní plus
NIŽŠÍ	kvantitativní pokles, kvantitativní minus
A TAKÉ, JAKOŽ I, ROVNĚŽ	kvalitativní nárůst, kvalitativní plus
ČÁSTEČNĚ	kvalitativní pokles, kvalitativní minus
OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ	logický opak cíle projektu (projektové funkce)
JINÝ NEŽ	úplná náhrada, záměna

Zdroj:¹⁹

Mimo základní vodící slova existují i slova dodatečná, která se vztahují ke stanovenému času, pořadí či posloupnosti. Jsou to například vodící slova PŘEDČASNÝ (vzhledem ke stanovenému času), ZPOŽDĚNÝ (vzhledem ke stanovenému času), PŘED (vzhledem k pořadí nebo posloupnosti) a PO (vzhledem k pořadí nebo posloupnosti).

V etapě plánování studie HAZOP by měl vedoucí studie navrhnout počáteční seznam vodících slov, která se budou při zkoumání odchylek používat. Je třeba dbát především na

¹⁹ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/13-RJSPrednaska8S08n09.ppt>

jejich přiměřenost, protože příliš specifické vodící slovo může omezit nápady a diskusi a naopak příliš obecné vodící slovo nemusí efektivně zaměřit pozornost studie HAZOP. Pro lepší názornost uvádím příklad odchylek a s nimi spojených vodících slov v programovatelném elektronickém systému.

Tab. 10: HAZOP – Odchylky a s nimi spojená vodící slova

Typ odchylky	Vodící slovo	Interpretace pro programovatelný elektronický systém
Negace	ŽÁDNÝ, NENÍ ŽÁDNÝ	Nejsou předávána žádná data nebo řídicí signály.
Kvantitativní nárůst, kvantitativní plus	VYŠŠÍ	Data jsou předávána vyšší rychlostí, než je zamýšleno.
	NIŽŠÍ	Data jsou předávána nižší rychlostí, než je zamýšleno.
Kvalitativní nárůst, kvalitativní plus	A TAKÉ, JAKOŽ I, ROVNĚŽ	Je přítomen nějaký další nebo rušivý signál.
	ČÁSTEČNĚ	Data nebo řídicí signály jsou neúplné.
Náhrada, záměna	OBRÁCENÝ, ZPĚTNÝ	Zpravidla se programovatelného elektronického systému netýká.
	JINÝ NEŽ	Data nebo řídicí signály jsou nesprávné.
Čas	PŘEDČASNÝ	Signály přicházejí příliš brzy vzhledem ke stanovenému času.
	ZPOŽDĚNÝ	Signály přicházejí příliš pozdě vzhledem ke stanovenému času.
Pořadí nebo posloupnost	PŘED	Signály přicházejí dříve, než bylo v nějaké posloupnosti zamýšleno.
	PO	Signály přicházejí později, než bylo v nějaké posloupnosti zamýšleno.

Zdroj:²⁰

²⁰ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/13-RJSPrednaska8S08n09.ppt>

K úplnému rozpoznání všech nebezpečí je nutné, aby prvky a s nimi sdružené charakteristiky pokrývaly všechny příslušné aspekty cíle projektu a vodící slova pokrývala všechny odchylky. Existují dvě možné posloupnosti, v nichž se mohou buňky matice zkoumat. A sice „sloupec po sloupci“ (= nejdřív prvek) nebo „řádek po řádku“ (= nejdřív vodící slovo). Analýza má postupovat od vstupů k výstupům v logické posloupnosti. Síla techniky HAZOP spočívá v systematickém procesu zkoumání krok za krokem.²¹

1.5.2. Použití a omezení metody HAZOP

Původně byla tato technika vyvinuta pro systémy, zabývající se zacházením s kapalným médiem nebo tokem jiného materiálu. Dnes nachází uplatnění v takových oblastech, jako jsou softwarové aplikace nebo systémy zahrnující pohyb osob různými systémy dopravy, jako je silniční či železniční doprava. Obzvláště důležité postavení má metoda HAZOP ve výrobních závodech, kde je využívána pro analýzu vlivu spolehlivosti operátorů na kvalitu výroby. Upozorňuje zvláště na skutečnost, že přidání dodatečných kontrol často vede k nárůstu pravděpodobnosti selhání operátora.²²

HAZOP je technika, při které se samostatně uvažují jednotlivé části systému a zkoumají se vlivy odchylek u každé části. Je možné, že se na závažném nebezpečí podílí i vzájemné působení více částí systému. V těchto případech je nezbytné, aby se takové nebezpečí prostudovalo podrobněji s použitím technik, jako je analýza stromu událostí (ETA) a analýza stromu poruchových stavů (FTA). Nelze zaručit rozpoznání všech nebezpečí a problémů s provozuschopností, proto by studie HAZOP měla být používána spolu s jinými vhodnými technikami. Místní opatření ke zmírnění následků nemusí být zaměřeno na skutečnou příčinu a může vést k následné nehodě. Mnoho nehod způsobily nepředvídané účinky místních modifikací jinde. Tento problém lze překonat přenesením důsledků odchylek z jedné části na jinou. Úspěch ale také velmi závisí na schopnosti a zkušenosti vedoucího studie a jeho týmu. Při studii se dále uvažují pouze ty části, které se objevují v prezentaci projektu, zatímco činnosti a operace, které se v této prezentaci neobjevují, se neuvažují.²³

²¹ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/13-RJSPrednaska8S08n09.ppt>

²² KOTEK, Luboš, BABINEC, František. *Použití metody Human HAZOP při redukci chyb operátorů*. AUTOMA 11/2009. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

²³ FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/13-RJSPrednaska8S08n09.ppt>

1.5.3. Vhodnost použití metody HAZOP vzhledem k tématu práce

Tato metoda se mi teoreticky jeví jako velice vhodná pro problematiku snižování nehodovosti na železničních přejezdech. Je zde ovšem nutností vytvoření kvalifikovaného týmu lidí, součinnosti mnoha státních institucí a odborné veřejnosti. Bylo by zapotřebí soustavného sledování předem určených dílčích oblastí (problémů), které by musely být neustále kontrolovány a srovnávány s ideálním stavem, odchylky by musely být zjištěny pomocí vodících slov apod.

Výsledky dosažené užitím této metody by byly jistě velmi zajímavé a na vysoké úrovni, ale sestavení odborného týmu a získání potřebných dat pro provedení analýzy je pro moje možnosti nereálné.

2 Statistické zhodnocení nehodovosti na železničních přejezdech

Obecně lze říci, že na železnici vznikají nehody, kdy se srazí automobil s vlakem, nebo kdy vstoupí člověk vlaku do cesty, ať již z neopatrnosti nebo se sebevražedným úmyslem. Denně dochází ke dvěma až třem nehodám tohoto charakteru. Pro účely této diplomové práce jsou však podstatné pouze údaje týkající se železničních přejezdů. Mnoho informací o nehodách na železnici, respektive na železničních přejezdech, lze nalézt také na webových stránkách Drážní inspekce²⁴. V posledních letech je zaznamenáván velmi vysoký počet smrtelných nehod na železničních přejezdech. Zatímco dříve lidé umírali zhruba při každé desáté nehodě na přejezdu, dnes je to již při každé šesté nehodě.

Samotné statistické vyhodnocení problematiky nehodovosti na přejezdech v této diplomové práci vychází z neveřejných dat, přístupných pouze příslušníkům policie a jiných státních složek na intranetu provozovaném Ministerstvem vnitra na stránkách Ředitelství služby dopravní policie²⁵, kde jsem v prvním kroku z databáze všech dopravních nehod (tedy i jiných než je nehoda na železnici, respektive železničním přejezdu) vytřídil data podle jednotlivých let, a dále podle místa dopravní nehody – železniční přejezd. Výsledkem byla obsáhlá tabulka, seříděná podle jednotlivých let, krajů a okresů, kterou z kapacitních důvodů přikládám pouze jako přílohu této práce na datovém nosiči. Podařilo se mi získat data sahající do roku 2008 a nejnovější data jsou z března roku 2012.

2.1. Železniční přejezd

V České republice je 8096 železničních přejezdů²⁶. Každý musí odpovídat příslušným zákonům, vyhláškám a normám. Při dodržování všech pravidel ze strany účastníků silničního provozu je tedy střet s vlakem prakticky vyloučen. Přesto na nich při několika stech nehodách ročně zahynou desítky osob. V drtivé většině jsou viníky účastníci silničního provozu, kteří vjedou na přejezd v době, kdy to zákon zakazuje. Riskantní chování řidičů potvrzuje i dlouhodobá statistika Drážní inspekce. Podle ní se na přejezdech vybavených světelným signalizačním zařízením, jichž je pouze čtvrtina z celkového počtu, odehrává takřka polovina

²⁴ Železniční přejezdy. *Drážní inspekce* [online]. 2008 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.dicr.cz/zeleznicni-prejezdy>

²⁵ dostupné z <http://ppportal.pcr.cz/rsdp/rsdp.htm>

²⁶ aktualizováno k 1.3.2012

všech nehod. Zákon zabývající se problematikou železničního přejezdu a chováním účastníka silničního provozu při jeho přejíždění je zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (silniční zákon). Výňatek z tohoto zákona říká, že:

§ 28

(1) Před železničním přejezdem si musí řidič počínat zvláště opatrně, zejména se přesvědčit, zda může železniční přejezd bezpečně přejet.

(2) Vozidla se před železničním přejezdem řadí za sebou v pořadí, ve kterém přijela. Nejde-li o souběžnou jízdu nebo o jízdu podle § 12 odst. 2, smíjí vozidla přejíždět přes železniční přejezd jen v jednom jízdním proudu.

(3) Ve vzdálenosti 50 m před železničním přejezdem a při jeho přejíždění smí řidič jet rychlostí nejvýše 30 km.h-1. Svítí-li přerušované bílé světlo signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení, smí 50 m před železničním přejezdem a při jeho přejíždění jet rychlostí nejvýše 50 km.h-1. Při přejíždění železničního přejezdu nesmí řidič zbytečně prodlužovat dobu jeho přejíždění.

(4) Dojde-li k zastavení vozidla na železničním přejezdu, musí jeho řidič odstranit vozidlo mimo železniční trať, a nemůže-li tak učinit, musí neprodleně učinit vše, aby řidiči kolejových vozidel byli před nebezpečím včas varováni.

(5) Před železničním přejezdem, u kterého je umístěna dopravní značka "Stůj, dej přednost v jízdě!", musí řidič zastavit vozidlo na takovém místě, odkud má náležitý rozhled na trať.

§ 29

(1) Řidič nesmí vjíždět na železniční přejezd,

a) je-li dávana výstraha dvěma červenými střídavě přerušovanými světly signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení,

b) je-li dávana výstraha přerušovaným zvukem houkačky nebo zvonku přejezdového zabezpečovacího zařízení,

c) sklápějí-li se, jsou-li sklopeny nebo zdvihají-li se závory,

d) je-li již vidět nebo slyšet přijíždějící vlak nebo jiné drážní vozidlo nebo je-li slyšet jeho houkání nebo pískání; toto neplatí, svítí-li přerušované bílé světlo signálu přejezdového zabezpečovacího zařízení,

e) dává-li znamení k zastavení vozidla zaměstnanec dráhy kroužením červeným nebo žlutým praporkem a za snížené viditelnosti kroužením červeným světlem,

f) nedovoluje-li situace za železničním přejezdem jeho bezpečné přejetí a pokračování v jízdě.²⁷

Přehled o železničních přejezdech a přechodech na železničních drahách s právem hospodaření Správy železniční dopravní cesty, státní organizace za rok 2012 udává následující tabulka.

Tab. 11: Železniční přejezdy v číslech (aktualizováno k 1.3.2012)

Počet přejezdů celkem	8096
Přejezdy zabezpečené pouze výstražným křížem	4382
Přejezdy zabezpečené přejezdovým výstražným zabezpečovacím zařízením (PZZ)	3714
Přejezdy zabezpečené světelným PZZ (PZS)	3279
PZS se závorami	1091
PZS bez závor	2188
Přejezdy zabezpečené mechanickým PZZ (PZM)	396
PZM obsluhované na dálku	155
PZM obsluhované místně	241
PZM obsluhované kombinovaně	0
PZM 2 (trvale opatřené uzamykatelnou zábranou, odstraňovanou na požádání)	97
PZZ ostatní (jednodrátové, otočné, posuvné závory)	38
Přejezdy na silnicích I. třídy	172
Přejezdy na silnicích II. třídy	589
Přejezdy na silnicích III. třídy	1502
Přejezdy na místních komunikacích	1905
Přejezdy na účelových komunikacích	3928
Zrušené přejezdy ve sledovaném roce	2
Nově zřízené přejezdy ve sledovaném roce	1
Přejezdy s trvalým omezením největší traťové rychlosti z důvodů rozhledových poměrů	977

Zdroj:²⁸

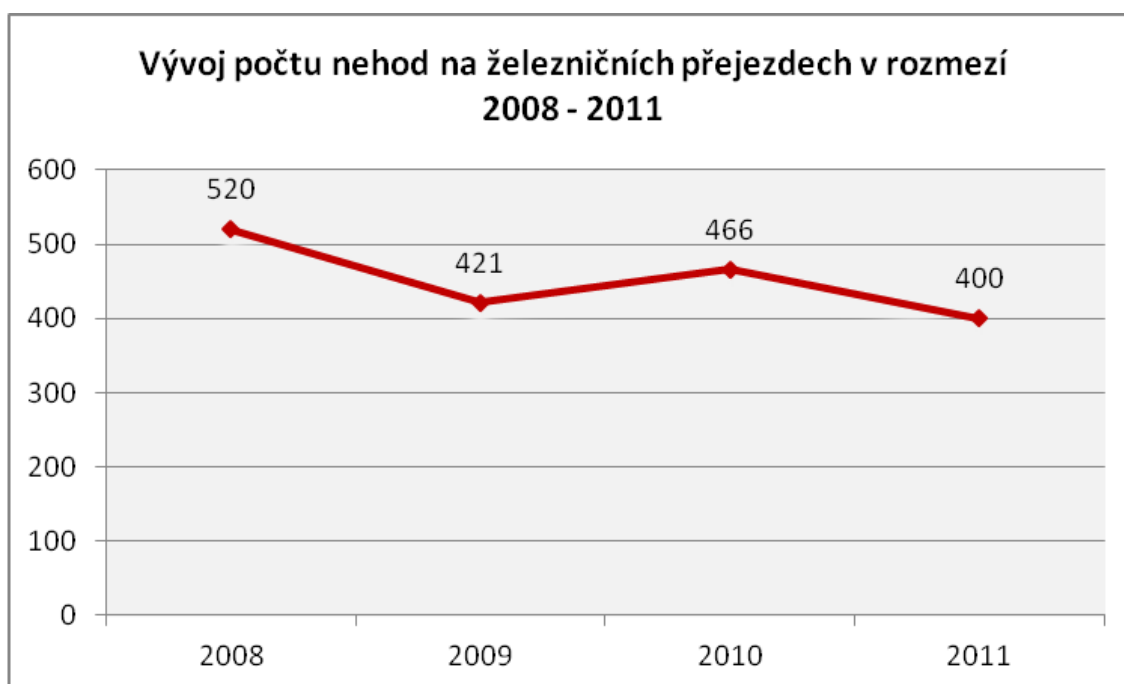
²⁷ Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (silniční zákon)

²⁸ Přejezdy v číslech. *Správa železniční dopravní cesty* [online]. 2012 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/prejezdy-v-cislech.html>

2.2. Statistické zhodnocení dle jednotlivých let

Tato podkapitola shrnuje vývoj nehodovosti na železničních přejezdech od roku 2008 do března 2012 podle jednotlivých krajů, charakteru nehody, druhu železničních přejezdů a dalších vybraných ukazatelů. Dle výsledků provedeného celostátního sčítání dopravy je patrné, že intenzita počtu dopravních nehod na železničních přejezdech je takřka konstantní, i když si lze povšimnout mírně klesající tendence. Počet dopravních nehod za rok ovšem není shodný s následky, a to zejména s počtem dopravních nehod s oběťmi na životech.

Graf 1: Vývoj počtu nehod na železničních přejezdech v rozmezí 2008 - 2011



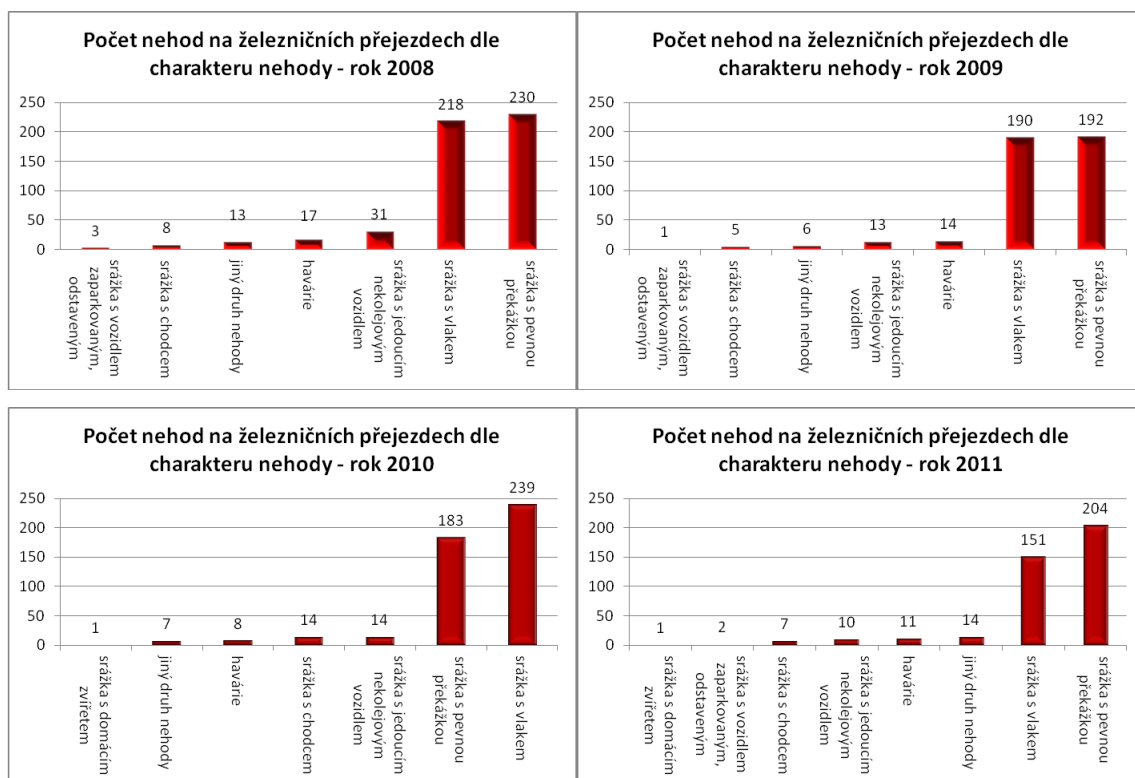
Zdroj: autor na základě [11]

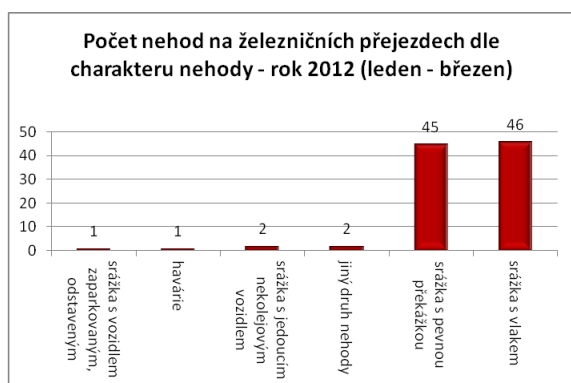
V roce 2008 bylo zaznamenáno 520 nehod, z nichž naprostá většina byla buďto srážka s vlakem nebo s pevnou překážkou. Pevnou překážkou se rozumí například dopravní značení, signalizační zabezpečovací zařízení nebo závory. Co se týče následků na životě nebo zdraví, zemřelo 27 lidí, 29 bylo těžce zraněno a 124 lehce. Celkové hmotné škody se vyšplhaly na 60,7 mil. Kč. Rok 2009 přinesl 421 nehod, což znamená oproti loňskému roku značné snížení, procentuální rozdělení charakteru nehod zůstalo stejné. 23 lidí přišlo při nehodách na železničních přejezdech o život, 29 lidí se zranilo těžce a 92 lehce. Celkové hmotné škody byly téměř 50 mil. Kč. Rok 2010 byl kritický co do počtu nehod celkem, tak i do počtu smrtelných a těžkých zranění. Bylo zaznamenáno celkem 466 nehod, 35 smrtelných zranění, 39 těžkých a 111 lehkých. Prudký nárůst mrtvých si vyžádal zavedení řady opatření ke

zjištění hlavních příčin dopravních nehod na železničních přejezdech, byla vypracována například studie AGHATA, a následovala opatření na eliminaci počtu nehod a jejich následků. Co se týče charakteru nehod, mírně převládá srážka s vlakem, následuje srážka s pevnou překážkou a zcela zanedbatelné jsou jiné druhy dopravních nehod. I celková hmotná škoda byla vyšší než byl zaznamenaný průměr v předchozích letech. Z dat, které jsem měl k dispozici vyplynulo, že se vyšplhala až na 72,8 mil. Kč. V roce 2011 se ukázalo, že zavedená opatření měla svůj smysl a skutečně došlo ke snížení celkového počtu nehod na železničních přejezdech a současně se snížily i počty zraněných. Dominovala srážka s pevnou překážkou. Celkově se událo 400 nehod, 16 lidí přišlo o život, 22 se zranilo těžce a 104 lehce. Celková hmotná škoda činila 51,6 mil. Kč. Získaná data sahají jen do března roku 2012. Celkem se za tři první měsíce stalo 97 nehod, 4 lidé zemřeli, 4 byli těžce zranění a 39 bylo zraněných lehce. Srážka s vlakem a s pevnou překážkou mají stejné procentuální zastoupení. Při těchto dopravních nehodách vznikla celková hmotná škoda ve výši 27,1 mil. Kč.

Následující grafy jen dokreslují situaci vylíčenou výše a doplňují další druhy dopravních nehod na železničních přejezdech.

Graf 2: Počet nehod na železničních přejezdech dle charakteru nehody v rozmezí 2008 – březen 2012

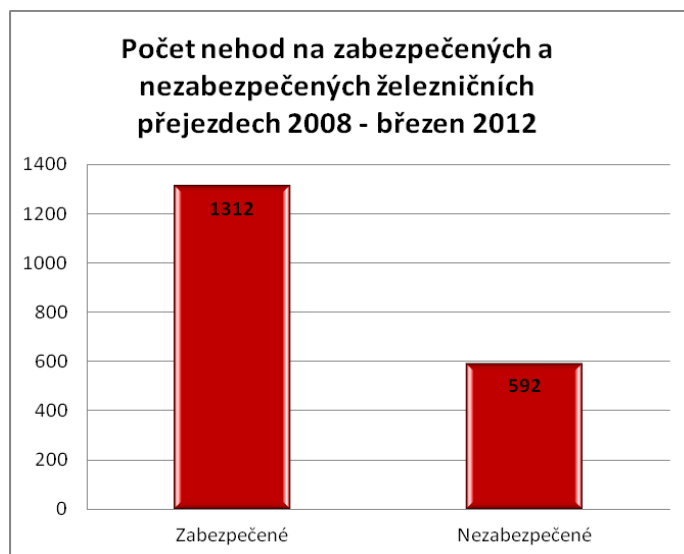




Zdroj: autor na základě [11]

Pro ověření již dlouhá léta známého paradoxního faktu, že asi dvě třetiny nehod se stávají na přejezdech zabezpečených (ať už pouze světelnou signalizací nebo doplněných závorami), byť jich je zhruba polovina z celkového počtu, jsem sestrojil následující graf.

Graf 3: Počet nehod na zabezpečených a nezabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012



Zdroj: autor na základě [11]

Výsledný graf výše zmíněný fakt potvrzuje, nelze si ovšem z něho vyvozovat, že nahrazením zabezpečených železničních přejezdů nezabezpečenými bychom docílili snížení nehodovosti, spíše naopak. Vysvětlení spočívá v tom, že nezabezpečené železniční přejezdy jsou umístěny především na dopravně méně významných komunikacích (silnice nižších tříd a účelové komunikace), kde je nízká intenzita provozu. Často se setkáváme s názorem, že ani instalace drahých zabezpečovacích zařízení na přejezdech nemůže vyřešit tragickou bilanci

nehodovosti. Podle mého názoru to tak není. Vhodně provedená instalace zařízení se závorami jednoznačně zvyšuje bezpečnost přejezdu, naopak instalace zařízení pouze světelného bez závor, může být mnohdy kontraproduktivní z důvodu následného zvýšení rychlosti vlaků. Obávané možné zavření vozidla mezi automatickými závorami je přitom zdrojem nehod spíše výjimečně, ročně dochází k jedné až dvěma nehodám s tímto scénářem. K nejmenšímu počtu dopravních nehod dochází na nejstarších typech železničních přejezdů – železniční přejezdy s mechanickými závorami, kdy na 7 % přejezdů dochází k pouhému 1 % nehod. Nárůst nehod po náhradě mechanických závor automatickým zabezpečovacím zařízením je určitou „krvavou daní“ vyplývající z charakteru dnešní doby, která požaduje maximalizaci rychlostí a minimalizaci dob výstražného stavu přejezdu. Neznalost, počáteční nezvyk či opomenutí tohoto faktu uživatelem pozemní komunikace pak často mívá tragické následky. Roli hraje i podceňování nutnosti práce s veřejností při změně typu zabezpečení. Například v Rakousku je při rekonstrukci mechanických závor na automatické PZZ veřejnost informována o funkci nového zařízení, jeho odlišnostech od zařízení stávajícího a s tím spojenou nutnou změnou vlastního chování. V prvních týdnech provozu dokonce bývá zrekonstruovaný přejezd střežen agentem, který s občany komunikuje na místě a funkci zařízení jim vysvětluje.²⁹

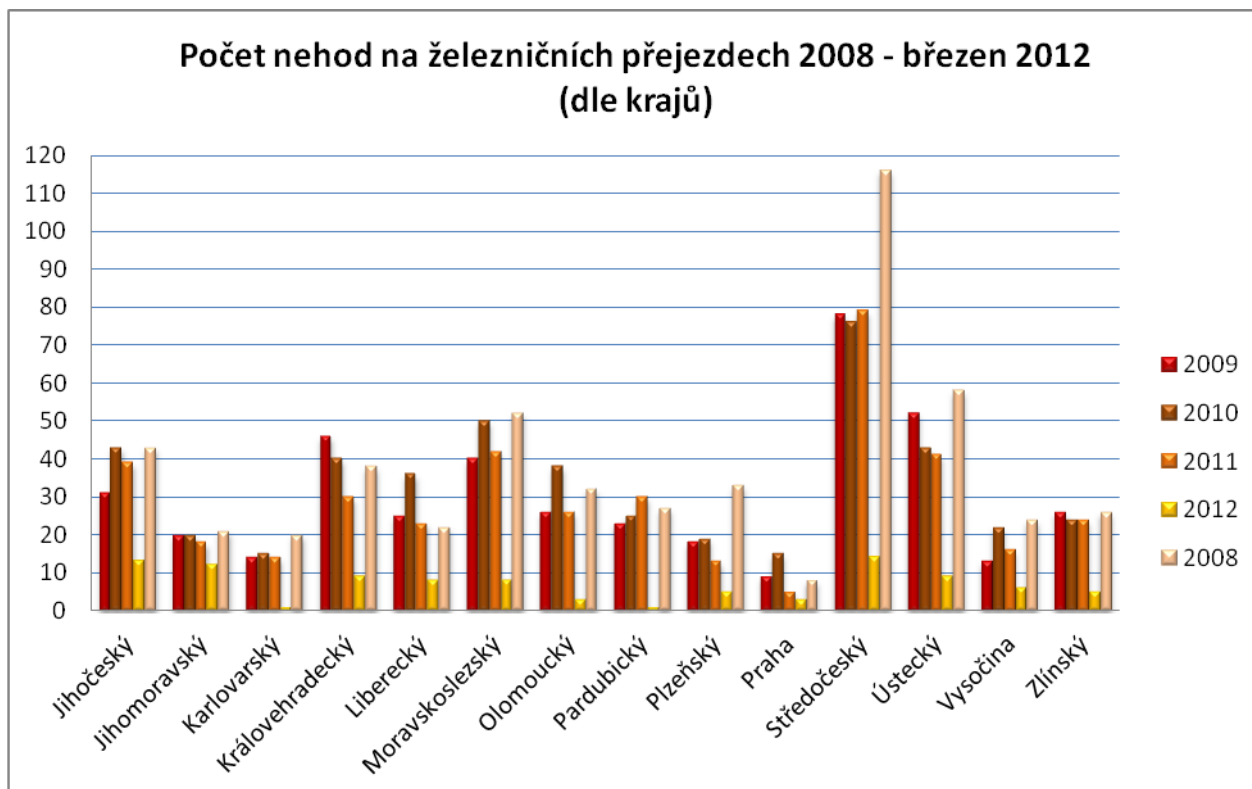
Co se týče statistického zkoumání nehodovosti na železničních přejezdech dle jednotlivých krajů bylo nutné sjednotit stávající okresy a nově vzniklé kraje³⁰ a z tohoto důvodu jsem zařadil okresy do krajů dle současného rozdělení i pro roky 2008 a 2009. Následující grafy se zabývají porovnáním počtu nehod celkem a zvláště na zabezpečených a nezabezpečených přejezdech v jednotlivých krajích za jednotlivé roky. Nejkritičtější krajem z hlediska počtu nehod na železničních přejezdech ve všech ohledech je kraj Středočeský. Snažil jsem se dopátrat příčiny, proč tomu tak je. Domnívám se, že velký počet dopravních nehod je způsoben velikostí Středočeského kraje, hustou dopravní sítí a velkou intenzitou dopravy, kterou způsobuje soustředěný průmysl v okolí hlavního města. Celkovému počtu dopravních nehod v této oblasti odpovídá i počet usmrcených osob a hmotné škody.

²⁹ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z:

<http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

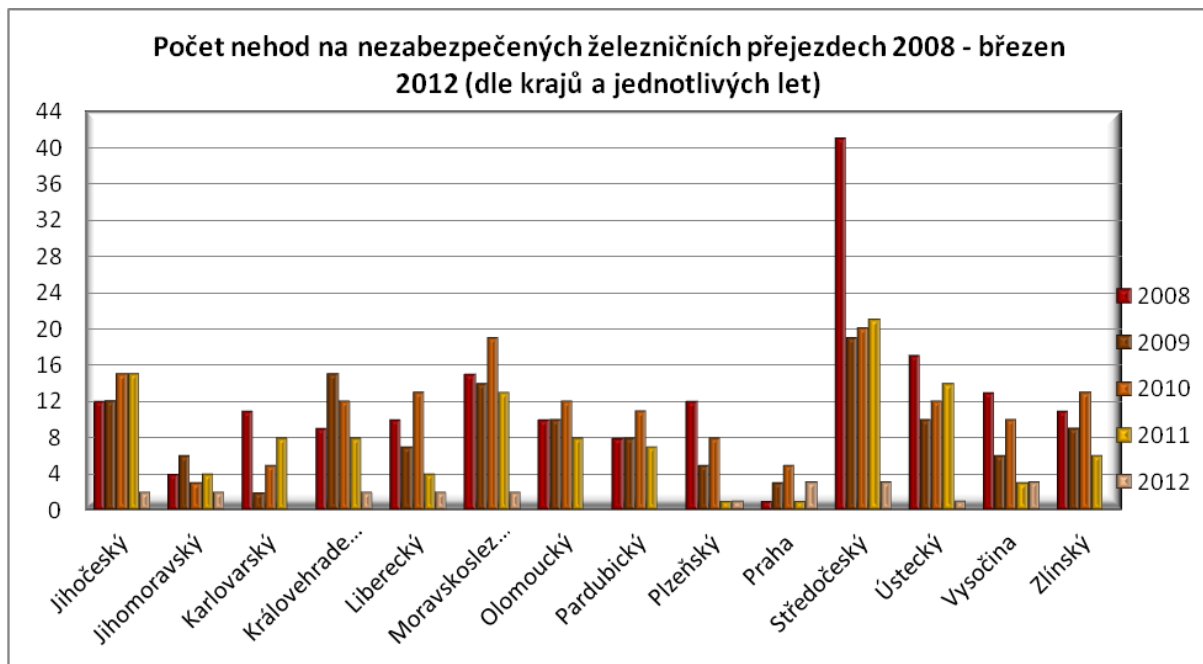
³⁰ Osm krajských ředitelství policie se dne 1. 1. 2010 změnilo na čtrnáct, která odpovídají územně správnímu členění České republiky.

Graf 4: Počet nehod na železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012



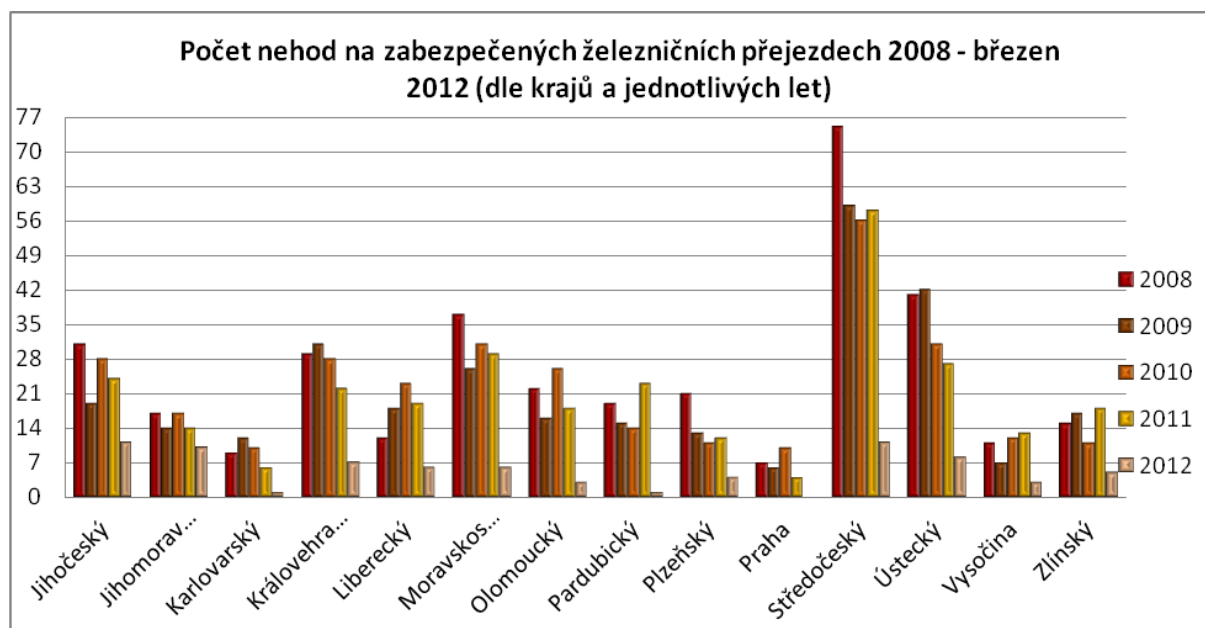
Zdroj: autor na základě [11]

Graf 5: Počet nehod na nezabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012



Zdroj: autor na základě [11]

Graf 6: Počet nehod na zabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012



Zdroj: autor na základě [11]

2.3. Hlavní příčiny dopravních nehod na železničních přejezdech

Většina dopravních nehod vzniká porušením pravidel silničního provozu. Toto porušení může být málo či více závažné. Za závažné porušení pravidel silničního provozu považujeme řízení dopravního prostředku pod vlivem alkoholu, nepřiměřenou rychlost, předjíždění v místech, kde je to zakázáno, couvání nákladním automobilem bez zajištění náležitě poučenou osobou, nepřiměřenou rychlost, špatný technický stav vozidla, nedání přednosti v jízdě, jízdu na železničních přejezdech v místech, kdy je to zakázáno a bezohlednou jízdu. Dopravní nehody obecně jsou důsledkem nepředvídaných událostí. Nehody mají svůj vlastní průběh. Ne všechny nehodové situace vedou k nehodám. Někdy naopak vedou i zdánlivě bezvýznamné situace k vážným nehodám. Dopravní nehody jsou nejčastěji způsobeny selháním lidského faktoru.

Pro tuto podkapitolu jsem data upravil tak, že jsem uvažoval pouze druh nehody – **srážka s vlakem**, protože výsledná setříděná data použiji dále v této diplomové práci v praktické aplikaci metod řízení jakosti při snižování nehodovosti na železničních přejezdech. Ostatními nehodami se již nebudu zabývat, protože srážka s pevnou překážkou je běžným druhem nehody v silničním provozu a vyhodnocení příčin těchto dopravních nehod není cílem mé práce.

Následující tabulka uvádí hlavní příčiny vzniku dopravních nehod a jejich zavinění, vychází z dat v rozmezí let 2008 až března 2012. Z celkového počtu 842 dopravních nehod

typu srážka s vlakem jich bylo zaviněno 821 řidičem motorového vozidla, což činí 97,5 %. V souboru zpracovávaných dat nebyl jediný případ, kdy by byl jako viník dopravní nehody určen strojvedoucí. Tři nejčastější příčiny nehod na železničních přejezdech je nedání přednosti v jízdě, nevěnování se plně řízení vozidla a jízda na „červené světlo“.

Tab. 12: Příčiny dopravních nehod na železničních přejezdech a jejich zavinění

Příčina / Zavinění dopravní nehody	Chodcem	Řidičem motorového vozidla	Řidičem nemotorového vozidla	Technickou závadou vozidla	Celkový počet
bezohledná, agresivní, neohleduplná jízda		3			3
chyby při udání směru jízdy		1			1
jiná technická závada				2	2
jiné nedání přednosti		429	9		438
jiný druh nepřiměřené rychlosti		1			1
jiný druh nesprávného způsobu jízdy		26			26
jízda na "červené světlo"		67	3		70
nedání přednosti v jízdě proti příkazu dopravní značky DEJ PŘEDNOST		11	1		12
nedání přednosti v jízdě proti příkazu dopravní značky STÚJ DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ		149			149
nedání přednosti v jízdě při odbočování vlevo souběžně jedoucímu vozidlu		1			1
nedání přednosti v jízdě při otáčení nebo couvání		1			1
nedání přednosti v jízdě při vjíždění na silnici		1			1
nedání přednosti v jízdě vozidlu přijíždějícímu zprava		17			17
nepřipojená nebo poškozená spojovací hadice brzdění přípojného vozidla				1	1
nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky (zatačka, klesání, stoupání apod.)		4			4
nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky (náledí, výtluky, bláto, mokrá povrch apod.)		18			18
nepřizpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu		2			2

nesprávné otáčení nebo couvání		4			4
nezaviněná řidičem	2				2
nezvládnutí řízení vozidla		11			11
překročení předepsané rychlosti		1			1
řidič se plně nevěnoval řízení vozidla		72	3		75
samovolné rozjetí nezajištěného vozidla		1			1
vyhýbání bez dostatečné boční vůle		1			1
Celkový součet	2	821	16	3	842

Zdroj: autor na základě [11]

Mimo vlastních příčin dopravní nehody je nutné prozkoumat i podmínky, za kterých se nehoda stala. Má snad snížená viditelnost nebo špatný stav komunikace zásadní vliv na počet dopravních nehod nebo jsou tyto aspekty zanedbatelné? Pokusil jsem se nahlížet na co největší počet vnějších vlivů (například rozhledové poměry, stav a povrch komunikace, povětrnostní vlivy, viditelnost) komplexně, ne na každý zvlášť. Výsledkem je tabulka, kterou nelze vzhledem ke svému rozsahu na toto místo umístit, a proto jsem ji zařadil do příloh této diplomové práce (na datový nosič).

Data pochází z rozmezí let 2008 až března 2012, celkem 842 dopravních nehod bylo vhodných pro další zpracování. Absolutně nejvíce nehod (612 z udaného celkového počtu) se stalo *ve dne, kdy viditelnost nebyla zhoršená stavem povětrnostních podmínek*. Za této viditelnosti dominovaly nehody na komunikacích, jejichž stav byl dobrý, bez závad a povrch byl suchý, neznečištěný (488). Na mokřém povrchu vozovky se stalo 69 nehod. Co se týká rozhledových poměrů, naprostá většina nehod se stala za neztížených podmínek, 17 nehod v této kategorii mělo rozhledové poměry špatné vlivem trvalé vegetace (stromy, keře apod.) a 12 nehod bylo ovlivněno špatnými rozhledovými poměry vlivem profilu komunikace (nepřehledný vrchol, stoupání, zářez komunikace apod.).

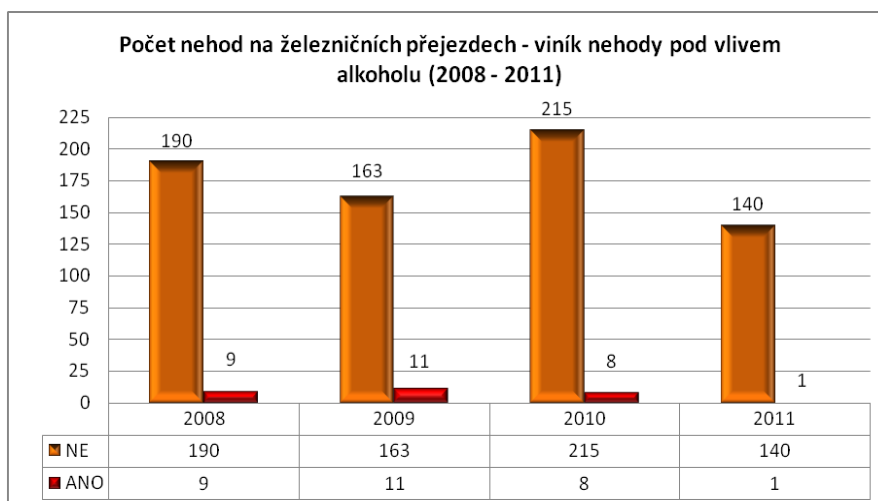
Druhý největší počet dopravních nehod na železničních přejezdech se odehrál *v noci, bez veřejného osvětlení, s viditelností nezhoršenou vlivem povětrnostních podmínek* (64 z celkového počtu). Opět se většina nehod stala na komunikacích, jejichž stav byl dobrý, bez závad a jejich povrch byl suchý, neznečištěný (38). Na mokřém povrchu se odehrálo 9 nehod. 58 dopravních nehod v této kategorii mělo dobré rozhledové poměry, pouze u 6 nehod byl rozhled ztížen trvalou vegetací, okolní zástavbou nebo profilem komunikace.

Stejná situace co do počtu nehod se odehrála *ve dne, s viditelností zhoršenou vlivem povětrnostních podmínek*, jako je například mlha, déšť nebo sněžení (64 z celkového počtu). 51 nehod se stala na komunikacích v dobrém stavu, bez závad, z čehož bylo 30 nehod na mokřém povrchu a 10 nehod na vozovce pokryté náledím, bez posypu. Dobré rozhledové poměry panovaly u 54 nehod, u ostatních překážely řidiči v rozhledu přechodná vegetace, budovy nebo špatný profil komunikace.

2.4. Vnější ovlivnění řidiče a jeho stav

Tradičně se rozeznávají tři klíčové faktory mající vliv na bezpečnost silničního provozu – stav a kvalita pozemních komunikací, stav vozového parku a účastníci silničního provozu. Právě posledně jmenovaný faktor se na zavinění dopravních nehod dlouhodobě podílí z cca 95%, uvedený údaj platí nejen pro Českou republiku, ale i pro ostatní státy EU. Pokud chceme dlouhodobě snížit počet dopravních nehod a jejich nejtěžších následků, je třeba věnovat účastníkům silničního provozu náležitou pozornost.³¹ Právě proto záleží na tom, v jakém psychickém a fyzickém stavu se nacházel řidič v době nehody, a jaké vnější faktory jeho jednání v daném okamžiku ovlivňovaly nebo mohly ovlivnit. Následující grafy o těchto skutečnostech vypovídají.

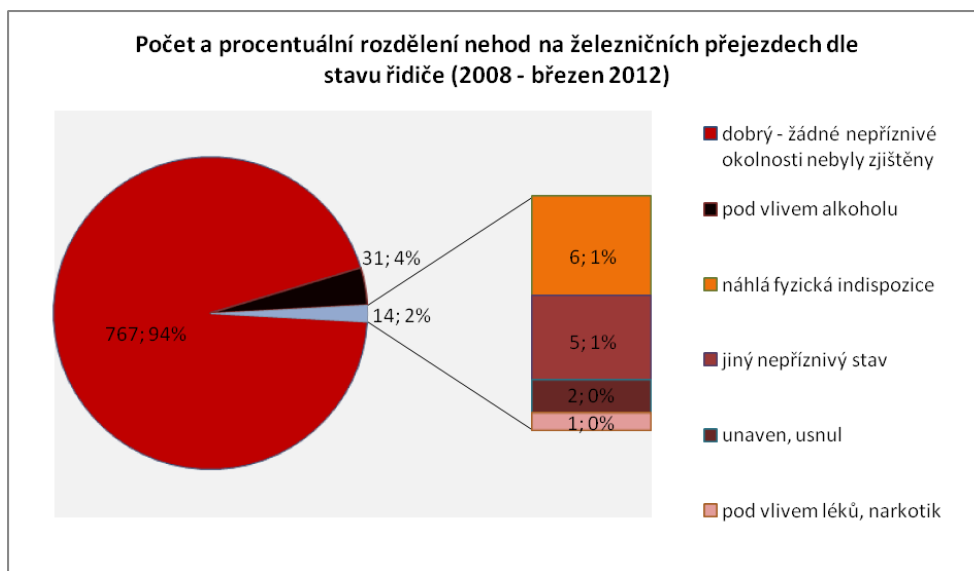
Graf 7: Počet nehod na železničních přejezdech – viník nehody pod vlivem alkoholu v rozmezí 2008 - 2011



Zdroj: autor na základě [11]

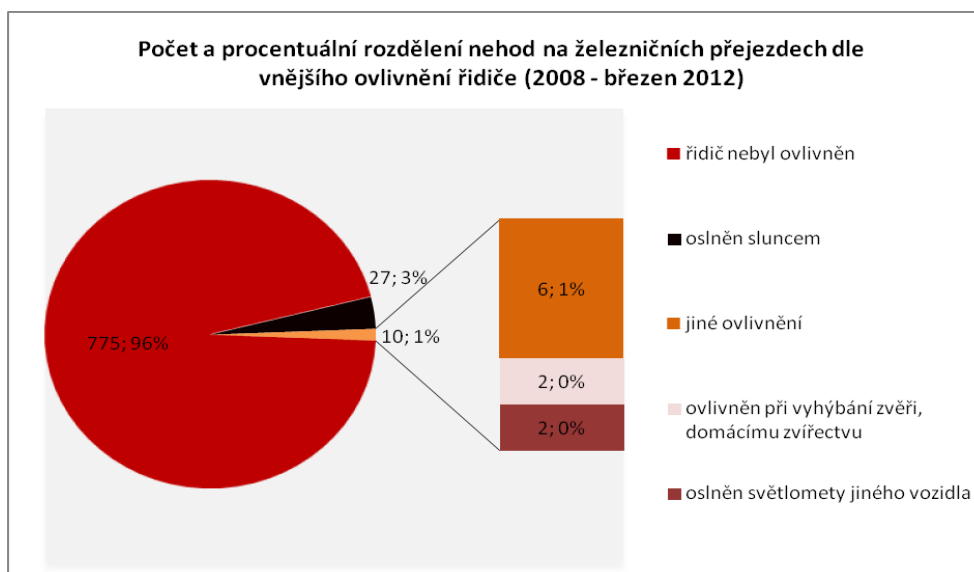
³¹ BUDSKÝ, Roman. Projekt SWING (1. díl) – Lidský faktor a bezpečnost silničního provozu. In: *Studio Twist* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2012-10-23]. Dostupné z: <http://www.studiotwist.eu/get.php?id=52>

Graf 8: Počet nehod a procentuální rozdělení nehod na železničních přejezdech dle stavu řidiče v rozmezí 2008 – březen 2012



Zdroj: autor na základě [11]

Graf 9: Počet a procentuální rozdělení nehod na železničních přejezdech dle vnějšího ovlivnění řidiče v rozmezí 2008 – březen 2012



Zdroj: autor na základě [11]

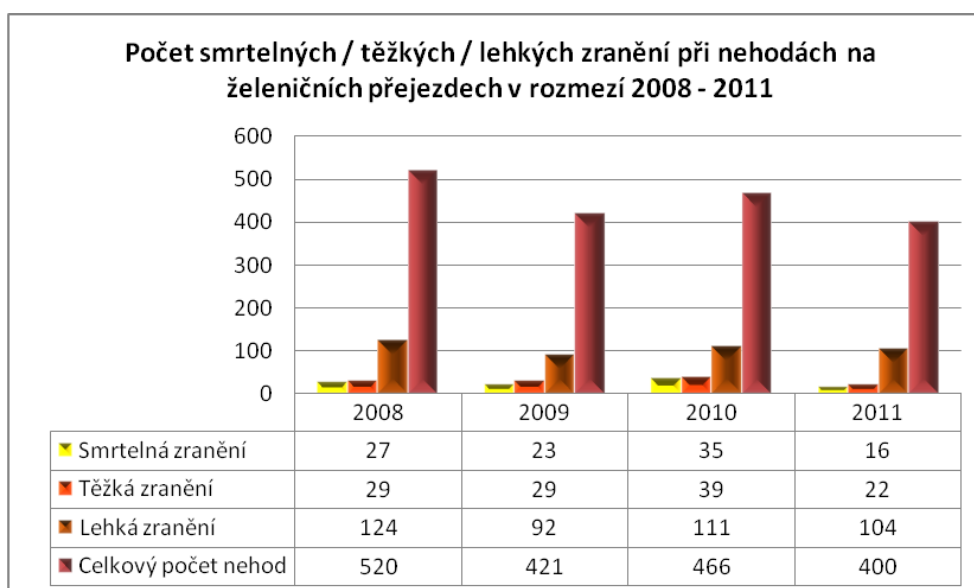
2.5. Důsledky dopravních nehod na železničních přejezdech

Dopravní nehoda je taková událost v silničním i jiném provozu, při níž dojde ke zranění nebo usmrcení osob, nebo ke škodě na majetku. V této kapitole uvádím vývoj počtu obětí na životě, zdraví a celkové finanční škody vzniklé při nehodách na železničních přejezdech ve sledovaném období. Právě tyto faktory jsou zásadní při rozhodování o způsobu a rozsahu opatření k odstranění příčin vzniku těchto dopravních nehod na konkrétním železničním přejezdu.

2.5.1. Následky na životě nebo zdraví

Vývoj a trend počtu dopravních nehod s oběťmi na životech vyplývá z níže uvedeného grafu a je z něj zřejmé, že v roce 2010 došlo k nárůstu těchto nehod. Zejména vysoký počet obětí na životech byl důvodem k přijetí některých opatření, které vyplynuly z výsledků výzkumného projektu Ministerstva dopravy ČR „Analýza a návrh opatření pro snížení nehodovosti na železničních přejezdech“ (akronym AGATHA), řešeném v letech 2008 – 2009 Centrem dopravního výzkumu Brno, v. v. i. (dále jen CDV). CDV je jedinou dopravní vědeckovýzkumnou organizací v působnosti Ministerstva dopravy. Více o projektu AGATHA lze nalézt v kapitole 4.

Graf 10: Počet smrtelných, těžkých a lehkých zranění při nehodách na železničních přejezdech v rozmezí 2008 - 2011



Zdroj: autor na základě [11]

2.5.2. Hmotné škody

Rozsah celkových hmotných škod a škod na vozidlech za sledované období jsem shrnul do přehledné tabulky.

Tab. 13: Rozsah hmotných škod při nehodách na železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012

Rok	Celkem dopravních nehod – srážka s vlakem	Celkové hmotné škody (v mil. Kč)	Hmotné škody na vozidlech (v mil. Kč)
2008	520	60,7	27,1
2009	421	50,0	22,2
2010	466	72,8	22,6
2011	400	51,7	13,6
2012³²	97	27,1	4,8

Zdroj: autor na základě [11]

³² údaj za první tři kalendářní měsíce

3 Opatření vedoucí ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech

Nehodovost na železničních přejezdech je velmi vysoká a v současné době je vnímána jako závažný společenský problém. Ve vyspělých evropských zemích činí podíl obětí nehod na železničních přejezdech méně než 1 % celkové národní nehodové bilance, zatímco v ČR je to okolo 3 %. Začátek roku 2010 se přitom vymyká všem předpokladům, neboť přinesl výrazný drastický výkyv obětí nehod na přejezdech směrem nahoru. Lze to částečně vztáhnout na problémy způsobené tuhou zimou – omezení rozhledu řidiče na trať v důsledku sněžných bariér, horší slyšitelnost drážních vozidel.

3.1. Srovnání se Spolkovou republikou Německo

Malá úspěšnost „přejezdové bezpečnostní politiky“ v České republice vynikne na příkladu srovnání se Spolkovou republikou Německo, kde je vývoj nehodovosti naopak velice pozitivní. Kromě systematického odstraňování bezpečnostních rizik stávajících přejezdů je tento vývoj dán i dynamickým rušením přejezdů. Zatímco u nás se podaří ročně zrušit jen několik přejezdů (v lepším případě několik málo desítek), v SRN je zrušeno průměrně 500 přejezdů. Například v rozmezí 1994 až 2005 bylo na síti DB Netz odstraněno přes 6000 přejezdů. Jednou z příčin pomalého rušení přejezdů v ČR je též současné pojetí legislativy, kdy jdou náklady na provozování přejezdu zcela k tíži vlastníka dráhy, zatímco vlastník pozemní komunikace má přejezd k dispozici „zdarma“ a není na jeho provozování nijak interesován. Jeho zájmem je tedy přejezd zachovat, neboť k jeho případnému zrušení není motivován. V ČR z tohoto důvodu přetrvává velké množství téměř zbytečných přejezdů, zejména na účelových komunikacích, často spojujících pozemek jednoho vlastníka. „Kvantita“ přejezdů je pak na úkor jejich kvality (údržba přejezdové plochy, zajišťování úrovně zabezpečení apod.).

Ve Spolkové republice Německo (podobně jako v Rakousku) se uplatňuje tzv. **sdílené financování**, kdy na nákladech zabezpečování a úprav přejezdů se podílí nejen vlastník dráhy, ale i vlastník pozemní komunikace a obec. Úspěšnost snah o rušení přejezdů je tak nesrovnatelně vyšší, neboť zrušení přejezdu znamená úsporu i na straně vlastníka pozemní komunikace, respektive obce a jde o společný zájem. Často se při jednání dosáhne kompromisu, kdy vlastník dráhy zřídí vyšší typ zabezpečení určitého přejezdu a obec svůj finanční podíl nezaplatí v penězích, ale souhlasem se zrušením jiného, málo využitého

přejezdu. Tímto způsobem se též daří slučovat několik přejezdů do jednoho. Kromě rušení přejezdů se v SRN souběžně uplatňuje intenzivní snaha zvýšit bezpečnost i na stávajících přejezdech, o čemž svědčí fakt, že počty obětí nehod nekopírují prostý úbytek počtu přejezdů, nýbrž klesají podstatně výrazněji. V současnosti jsou počty obětí na železničních přejezdech srovnatelné s počtem obětí na přejezdech v ČR (ovšem počet přejezdů na DB Netz je téměř trojnásobný). Výše uvedené vynikající výsledky SRN jsou dány trvalou a průběžnou péčí o bezpečnost na železničních přejezdech.³³

Positivní vývoj v posledních letech je dán zejména prováděním tzv. **společných prohlídek** na bázi jednotné inspekční metodiky (*Leitfaden zur Durchführung von Bahnübergangsschauen* – Příručka pro provádění prohlídek přejezdů).

Mezi základní odlišnosti technických předpisů pro zabezpečování přejezdů v SRN od těch v ČR patří:

- V SRN neexistuje pozitivní signalizace (zhaslý výstražník znamená „vlak nejede“, nikoli „varovný stav“.
- Na železničních přejezdech na dvou- a více kolejných tratích se zásadně užívají závory (i na pozemních komunikacích nižších funkčních tříd).
- Často se užívají samostatně malé závory pro chodníky a stezky pro cyklisty (u těchto uživatelů se mechanická výstraha považuje za dvojnásob důležitou).
- Světelná signalizace na železničním přejezdu probíhá ve smyslu „tma“ – „žluté nepřerušované světlo“ – „červené nepřerušované světlo“ (dříve užívaná zařízení s jedním blikajícím červeným světlem, zejména v NDR, jsou „na dožití“).
- Světelná výstraha zhasíná v okamžiku začátku zvedání závor, nikoli až po zvednutí závor do horní polohy. Dle pravidel silničního provozu není zakázáno vjíždět na přejezd, jestliže se závory zvedají (na rozdíl od ČR to znamená konec výstrahy).
- Zařízení se závorami jsou navrhována tak, aby nemohlo dojít k opětovnému „spadnutí“ závor během zvedání v případě, že se přihlásí vlak z opačného směru (v ČR běžná situace, zvyšující pravděpodobnost uzavření automobilu v prostoru přejezdu). Závory musí dojít do horní polohy a další výstraha smí následovat nejdříve

³³ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

za 10 sekund (nevýhodou je ovšem nutnost prodlužování spínacích úseků přejezdů, čímž se prodlužuje i doba trvání výstrahy).

- Průměry světelných polí návěstidel na železničních přejezdech činí 300 mm (v ČR dle ČSN 34 2650 jen 180 až 220 mm).
- Běžné je opakování výstražníku nad vozovkou (v ČR výjimka).
- Výstražný kříž (ondřejský kříž) se v zásadě užívá i na technicky zabezpečených přejezdech (ovšem v současnosti úvahy od něj upustit u zabezpečovacích zařízení s vysokou mírou spolehlivosti).
- Na železničních přejezdech na nevýznamných účelových komunikacích nemusí být ondřejský kříž umístěn, uživatel však musí i v tomto případě respektovat přednost dráhy.
- Za udržování rozhledových polí na tzv. technicky nezabezpečených přejezdech (tj. na přejezdech zabezpečených pouze výstražným křížem) odpovídá správce pozemní komunikace nikoli správce dráhy (s výjimkou samostatných stezek pro chodce a cyklisty, kde za rozhledy odpovídá správce železniční infrastruktury).
- Na většině přejezdů jsou užívány přejezdníky, informující strojvedoucího o správné funkci přejezdu (výhoda informování strojvedoucího o poruše přejezdu i v případě, že k ní došlo v situaci, „vlak je na cestě“, tj. výpravčí nemůže tuto skutečnost strojvedoucímu sdělit).

3.2. Vybraná opatření pro snížení nehodovosti na železničních přejezdech v České republice

3.2.1. Číslování přejezdů

V souvislosti se snahami Správy železniční dopravní cesty, státní organizace o neustálé zvyšování bezpečnosti na železničních přejezdech byl navržen systém číslování železničních přejezdů v České republice, který umožňuje jejich jednotnou, jednoduchou a jednoznačnou identifikaci. Zavedením systému číslování železničních přejezdů jsou v případě potřeby (vznik nehody na přejezdu, překážka na přejezdu apod.) vytvořeny podmínky k zastavení železničního provozu v daném úseku trati na základě informace podané veřejností o vzniku překážky. Systém je v provozu od 1. srpna 2009. Tvar čísla je v případě přejezdu na dráze vlastněné státem P1, P2, P3 až P9000. V případě železničního přejezdu na regionální dráze nevlastněné státem má přiřazené číslo tvar P9001 až P9999. V případě železničního přejezdu na vlečce má označení tvar P10000 až P99999, tedy pětimístné číslo.

Číslo je jedinečné a nezaměnitelné, je napsáno černým písmem na bílé, samolepící, reflexní fólii, které se nachází:

- U přejezdů zabezpečovaných pouze výstražným křížem nebo PZZ mechanickým na rubové straně ramene každého výstražného kříže.
- U přejezdů zabezpečených PZZ světelným bez závor nebo se závorami na rubové straně světelné skříně a to na všech výstražnicích.³⁴



Obr. 3: Označení přejezdu čtyřmístným číslem na výstražném kříži



Obr. 4: Označení přejezdu čtyřmístným číslem na výstražníku

Zdroj: autor

Zajímavostí je, že v zahraničí (Německo, Rakousko) se pro veřejně přístupnou identifikaci přejezdů často využívá staničení trati. Staničení je (stejně jako v ČR) definováno s přesností na 1 m (tj. na tři desetinná místa) a je v rámci železniční sítě jednoho státu originální (entita, která se neopakuje, například BŮ či EK 102, 763). Toto číslo je uvedeno velkými číslicemi na viditelném místě (na stěně přejezdového domku, která je přivrácena k přejezdu apod.).

³⁴ Železniční přejezdy. *Správa železniční dopravní cesty* [online]. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/cislovani-prejezdu.html>



Obr. 5: Označení přestupné identifikace přejezdu



Obr. 6: Označení přestupné identifikace přejezdu

Zdroj: ³⁵

3.2.2. Zajišťování rozhledu na přejezdech zabezpečených pouze výstražným křížem

Kvalitní rozhledové poměry jsou základem bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích obecně, respektive opačný případ je zdrojem vzniku nehod, což platí i pro železniční přejezdy. U přejezdu zabezpečeného pouze výstražným křížem musí být pro řidiče vozidla zajištěn nerušený rozhled na dráhu, tj. na čelo drážního vozidla, a to v parametrech zjištěných výpočtem. Ve výpočtu (dle ČSN 73 6380) se přitom zohledňuje zejména:

- délka nejdelšího provozovaného vozidla,
- minimální rychlost nejdelšího vozidla,
- šířka nebezpečného pásma přejezdu,
- traťová rychlost (reprezentující nejvyšší možnou rychlost vlaků).

Z těchto parametrů se odvodí potřebné rozhledové pole tak, aby i nejdelší přípustné vozidlo jedoucí normovou rychlostí stihlo opustit nebezpečné pásmo přejezdu před přijíždějícím vlakem. V tomto smyslu například vychází potřebná rozhledová délka na přejezdu přes jednokolejnou trať s dovolenou rychlostí vlaků 50 km/h (běžná situace na vedlejších tratích) okolo 280 m. ČSN 73 6380 dále vyžaduje, aby v rozhledovém poli nebylo nic, co by

³⁵ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

ztěžovalo rozhled (zejména v něm nesmí být vysazovány stromy a keře, pěstovány vysoké plodiny apod.). Velkým problémem je ovšem respektování těchto ustanovení v praxi.

Patrný rozpor je též mezi poměrně progresivně definovanými rozhledy ve výše zmíněné normě a dosud platným služebním předpisem ČSD S 4/3 (Předpis pro správu a udržování železničních přejezdů a přechodů vydaný 1.9.1987 tehdejší Federálním ministerstvem dopravy ČSSR), který umožňuje krácení potřebných rozhledových délek na polovinu (což se v praxi často děje a bezpečnosti provozu to neprospívá).

Velkým problémem při odstraňování rozhledových deficitů je kromě zastaralosti většiny tratí (které vznikaly převážně v 19. století) i to, že překážky bránící v rozhledu na železničních přejezdech (zejména na přejezdech zabezpečených pouze výstražným křížem) se často nacházejí na soukromých pozemcích (terénní vlny, stromy, křoviny, ploty apod.). Vlastník dráhy je tak v nelehké situaci se s těmito vlastníky dohodnout. Situaci by alespoň částečně mohla zlepšit úprava zákona, která by umožnila provést za státní peníze (respektive prostředky vlastníka dráhy) úpravu rozhledu (odstranění terénní vlny apod.) na soukromém pozemku. V současné době je takováto investice do cizího majetku nepřístupná.³⁶



Obr. 7: Ukázka dostatečných rozhledových poměrů



Obr. 8: Ukázka nedostatečných rozhledových poměrů

Zdroj: autor

3.2.3. Opakování výstražníku nad vozovkou

Opakovací výstražník je vhodné umístit i nad vozovku. V zahraničí je toto opatření běžné, v ČR se s ním prakticky nesetkáme. Podle mého názoru jde ale o velice vhodnou

³⁶ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

variantu, jak na železniční přejezd včas upozornit a upoutat pozornost řidiče na světelnou signalizaci, protože co je umístěno nad vozovkou, vnímá řidič mnohem intenzivněji.



Obr. 9: Opakovací výstražník umístěný nad vozovkou
Zdroj:³⁷

3.2.4. Závory v roli doplňkové výstrahy – méně známé aspekty

Závory (byť v roli pouhé doplňkové výstrahy k automatickému PZS) mohou výrazně zlepšit bezpečnost železničního přejezdu. Jejich kladný bezpečnostní efekt spočívá především ve zdůraznění základní světelné výstrahy (mnohdy z různých důvodů obtížně viditelné) tvarovou návěstí, umístěné do nejostřejšího zorného pole řidiče. V zahraničí je užití doplňkových závor mnohem frekventovanější než v České republice, kde převažují PZS bez závor. Přitom v zahraničí je například těžko myslitelný přejezd na vícekolejně trati, kde by PZS nebylo doplněno závorami, což je v ČR běžná situace.

Kromě parametrů běžných v ČR (definovaných v ČSN 34 2650) se v zahraničí při rozhodování o závorách zohledňují i jiné faktory u nás dosud málo akceptované, které vycházejí zejména z psychologie uživatelů pozemní komunikace:

- Užití závor v závislosti na zastoupení chodců a cyklistů – české i zahraniční zkušenosti potvrzují, že chodci a cyklisté z různých důvodů reagují na pouhou světelnou výstrahu méně spolehlivě než řidiči motorových vozidel.

³⁷ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

- Užití závor v závislosti na počtu projíždějících vlaků v rámci jedné výstrahy (reakce na problém tendence řidičů vjíždět do přejezdu po průjezdu vlaku).
- Užití závor v závislosti na době, která uplyne mezi zahájením výstrahy a příjezdem vlaku na přejezd. Například ve Spolkové republice Německo se musí celé závory užít mj. i tehdy, pokud mezi zahájením výstrahy a příjezdem vlaku běžně uplyne více než 240 s. Ustanovení vychází z psychologie účastníka silničního provozu, který při delším čekání začne být netrpělivý a rychle roste jeho tendence vjezdu (vstupu) do uzavřeného přejezdu. Toto ustanovení je obecně považováno za velmi produktivní pro bezpečnost.³⁸

3.3. Světelné závory

Světla ve vozovce či tzv. *světelná závora* jsou zajímavou variantou doplňkové výstrahy, zejména na přejezdech zabezpečených PZZ bez závor. Stavebně jde o řadu červených světel, která jsou zapuštěna do vozovky napříč před přejezdem a spínána společně se základní světelnou výstrahou.

Myšlenka světelné závory pochází z Rakouska, kde je v současnosti díky snahám Rakouských spolkových drah ÖBB), EBE Solutions a Swarco-Futurit provozováno přibližně 30 takto upravených přejezdů. Pro Českou republiku jde určitě o zajímavý námět, protože světelnou závoru lze považovat za perspektivní zařízení, které může pomoci zvýšit kontrast i autoritu základní světelné výstrahy (příčná psychologická bariéra, výborná viditelnost z dálky i za ostrého slunce, kompenzování horší svítivosti výstražníku apod.).

První obrázek zobrazuje užití světelné závory v Rakousku (trvalá aplikace) a druhý na přejezdu v České republice (provizorní montáž za účelem prezentace).

³⁸ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>



Obr. 10: Užití světelných závor na železničním přejezdu v Rakousku



Obr. 11: Užití světelných závor na železničním přejezdu v ČR (provizorní montáž)

Zdroj:³⁹

3.4. Kontrastní vymezení prostoru přejezdu

Prostor přejezdu je žádoucí pro varování řidičů kontrastně vyznačit, což v České republice ve většině případů chybí. Důvody pro značení se dají shrnout do několika bodů:

- Provedení povrchu pozemní komunikace často splývá s navazujícími úseky a přejezd působí nenápadně a to může vést k podceňování rizik, která u přejezdu vyplývají.
- Řidič vidí, kde přesně leží hranice zakázaného (nebezpečného) pásma. To je velice důležité pro lepší odhad vzdálenosti k místu, kde musí řidič dát přednost drážnímu vozidlu a snížit rychlost vozidla tak, aby byl schopen před přejezdem případně i bezpečně zastavit, ale též pro zmírnění rizik spojených se zastavením v blízkosti přejezdu.

Vymezení prostoru přejezdu lze provést například následovně:

- **Příčná čára souvislá** – jde o značení vhodné nejen pro situace, kdy je na železničním přejezdu umístěna dopravní značka „Stůj, dej přednost v jízdě“, jak to bylo obvyklé doposud, ale prakticky na všech železničních přejezdech (stejně jako v zahraničí – Německo, Rakousko, Nizozemí, Velká Británie apod.).
- **Žluté zkrřížené čáry**
- **Pásky tvořené řadami dlažebních kostek** nebo jiným materiálem, který se provedením, barvou či strukturou výrazně odlišuje od povrchu komunikace

³⁹ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

➤ Betonové příčné odvodňovací žlaby

Výše zmíněné příčné vymezení prostoru železničního přejezdu je vhodné doplnit o další prvky vodorovného dopravního značení vedoucí k zvýšení bezpečnosti provozu. Toto je zcela v souladu se zahraničními trendy, např. v USA či Itálii se lze často setkat se symbolem **výstražného kříže** na vozovce, i v ČR býváme v poslední době svědky zajímavých experimentálních řešení (například nápis VLAK). Na vozovce lze vyznačit i symbol dopravní značky (pro zdůraznění jejího významu). Symbol může být proveden v barvě bílé nebo jiné. Nevylučuje se ani reprodukce výstražného kříže na vozovce v ČR, což je jedním z aktuálních návrhů CDV. Výstražný kříž lze užit samostatně nebo, což je také velmi efektivní, může být užit i v kombinaci s optickou a akustickou psychologickou brzdou. Jeho předností je unikátní a nezaměnitelný tvar, který spolehlivě upozorní řidiče na blízkost železničního přejezdu. **Optická psychologická brzda** je vhodná zejména pro kompenzaci vlivu urychlujících přímých linií nebo výrazného pozadí přejezdu, kdy přejezd samotný se může řidiči opticky ztrácet. Parabolicky odstupňované příčné čáry vytvářejí dojem trychtýře, který při přibližování k přejezdu motivuje ke snížení rychlosti navozením iluze zužujícího se prostoru. V současnosti se hojně využívají i tzv. **opticko-akustické brzdy**, kde příčné pruhy vodorovného značení přes vozovku, které se ve směru jízdy zhušťují a při přejezdu způsobují hluk a vibrace v kabině.



Obr. 12: Pásky tvořené z dlažebních kostek



Obr. 13: Betonové příčné odvodňovací žlaby

Zdroj:⁴⁰

⁴⁰ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>



Obr. 14: Ukázka souvislé příčné čáry
Rakousko



Obr. 15: Experimentální výstražný nápis na
na vozovce v ČR

Zdroj:⁴¹

3.5. Společné prohlídky železničních přejezdů

Společné prohlídky přejezdů za účasti zástupců obou křižujících komunikací (jak pozemní komunikace, tak i dráha v jednom termínu na jednom místě) jsou nástrojem úspěšně používaným v zahraničí. Například v SRN jsou prováděny od roku 2003 a jsou považovány za klíčový nástroj pro snižování nehodovosti. Nehod na přejezdech v Německu trvale ubývá a dnes je tam dokonce méně obětí na přejezdech než u nás, přestože počet přejezdů je tam trojnásobný! Společné prohlídky plánuje od roku 2010 i Rakousko a tyto prohlídky jsou diskutovány i v rámci zájmového sdružení European Level Crossing Forum (ELCF) pro užití i v dalších evropských státech. CDV proto na základě výsledku výzkumného projektu AGATHA (MD ČR, 2008-2009) doporučilo, aby se ke společným prohlídkám připojila i Česká republika.

Principem společných prohlídek železničních přejezdů je provádění bezpečnostní inspekce týmem, který se skládá z následujících členů:

- vlastník dráhy a vlastník křižující pozemní komunikace (dále jen PK), případně další správci či vlastníci (například obec, majitel polní či lesní cesty),
- příslušný silniční správní úřad,
- drážní inspekce,
- drážní úřad,

⁴¹ ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

- zástupce dopravní policie,
- případně provozovatel drážní dopravy,
- případně akreditovaný inspektor (auditor) bezpečnosti provozu na PK.

Prohlídka se uskutečňuje buď v pravidelném cyklu (například 2 roky) nebo operativně na podnět některého z účastníků prohlídky. Metodickým základem prohlídky je příručka, která (stejně jako klasická metodika bezpečnostní inspekce) v příloze obsahuje soubor kontrolních otázek, respektive bodů, které mají být kontrolovány. Kontrolní otázky usnadňují hledání tzv. bezpečnostních rizik, tj. faktorů, které mohou v kritické situaci přispět ke vzniku dopravní nehody.

Hlavní výhody společných prohlídek železničních přejezdů jsou následující:

- Z hlediska uživatele přejezdu (řidič, chodec) nelze striktně oddělit „drážní“ a „silniční“ zařízení – mj. dopravní značení musí být v souladu bez ohledu na to, kdo je majetkovým správcem té které značky (například kříž – dráha, návěstní desky – PK). Tento soulad se dosáhne pouze vzájemnou konzultací a dohodou na místě.
- Totéž platí i o rozhledových poměrech – část rozhledového pole je v kompetenci dráhy, část v kompetenci PK (část je pochopitelně vydána „napospas“ soukromým vlastníkům. V zájmu dosažení dobrých rozhledových poměrů je žádoucí i zde postupovat společně.
- Totéž platí o vozovce na přejezdu a vozovce v přilehlých úsecích PK (v praxi velmi často tyto části nenavazují, respektive jsou v nesouladu, např. jiné šířky – přejezdová vozovka je užší než vozovka v přilehlých úsecích, auto může vjet do koleje).
- Operativní komunikace, projednání a dohoda o potřebných opatřeních přímo na místě bez pomalé, složité a málo účinné korespondence.

3.6. Závěr a souhrn hlavních doporučení pro snížení nehodovosti na železničních přejezdech v České republice

V předchozích kapitolách jsem se snažil shrnout nejen běžně používané prvky bezpečnosti v České republice, ale také další zajímavá opatření užívaná v zahraničí, která se u nás zatím buďto vůbec nevyskytují, nebo je jejich používání ojedinělé či ve fázi pilotních projektů. Vzhledem k tomu, že problematika železničních přejezdů je velmi složitá, a moje

práce se prvotně nevěnuje tomuto tématu, lze tuto kapitolu chápat pouze jako dílčí soubor příkladů z praxe.

Námětů pro zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech v ČR je celá řada, viz výzkumný projekt AGHATA, ale mezi deset nejzávažnějších (tedy těch, které mohou dopravně bezpečnostní situaci u nás nejvíce pomoci) patří:

- zavedení institutu společných prohlídek přejezdů PK / dráha,
- zlepšení rozhledových poměrů, zejména na přejezdech bez technického zabezpečení,
- velmi opatrný přístup k užívání značky „Stop, dej přednost v jízdě“,
- zavedení světelné závory určené pro přejezdy s PZS bez závor,
- sjednocení požadavků na svítivost výstražníků s požadavky na svítivost SSZ,
- standardní umístění výstražníků i po levé straně PK,
- standardní užívání „stopčár“ a symbolů dopravních značek na vozovce,
- zřetelné vymezení nebezpečného pásma přejezdu vodorovným značením nebo stavební úpravou,
- zvážení historického významu pozitivního signálu ve vztahu k přejezdové technice⁴².

⁴² ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Fflight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>

4 Praktický příklad – využití metod řízení kvality při snižování nehodovosti na železničních přejezdech

Cílem této kapitoly a současně i celé diplomové práce je využít metod řízení kvality k získání přehledu o situaci na železničních přejezdech a následně navrhnout taková opatření, která budou zacílena na oblasti, které jsou z hlediska dopravních nehod na přejezdech nejkritičtější. Data, se kterými budu dále pracovat, pochází ze stejného zdroje jako v kapitole Statistické zhodnocení nehod na železničních přejezdech, a týkají se let 2008 až 2012. Metoda, kterou použiji k aplikaci na železniční přejezdy, je metoda zvaná FTA – Strom poruchových stavů.

4.1. FTA – analýza stromu poruch (teoretická východiska)

Analýza stromu poruch (FTA – Fault Tree Analysis) je deduktivní technika, která se zaměřuje jen na jednu určitou nehodu, anebo na selhání systému a poskytuje metodu pro určení příčin událostí. Vytváří systém logických modelů chyb, který využívá logická hradla (AND – A, OR – NEBO) k popisu toho, jak se selhání zařízení a lidské chyby mohou vzájemně kombinovat a následně vést k selhání systému. Logická hradla jsou využívána k rozpisu příčin vrcholové události na základní chyby zařízení a lidské chyby. Specifikem je, že zároveň stanoví i podmínky, za nichž tyto příčiny nastanou. Míra rizika se stanoví výpočtem pravděpodobnosti, že k selhání systému či k lidské chybě dojde.

Při použití metody FTA postupujeme podle následujících čtyř kroků:

1. definování problému,
2. konstrukce stromu poruchových stavů,
3. analýza stromu poruchových stavů kvalitativním modelem,
4. dokumentace výsledků.⁴³

⁴³ BAŽANT, Martin. FTA (Fault Tree Analysis - strom poruch). In: *Bazant's Blog* [online]. 2011 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://bazant.wordpress.com/2011/02/06/fta-fault-tree-analysis-strom-porch/>

4.1.1. Postup analýzy FTA

Před zahájením analýzy je nutné řešit následující problémy:

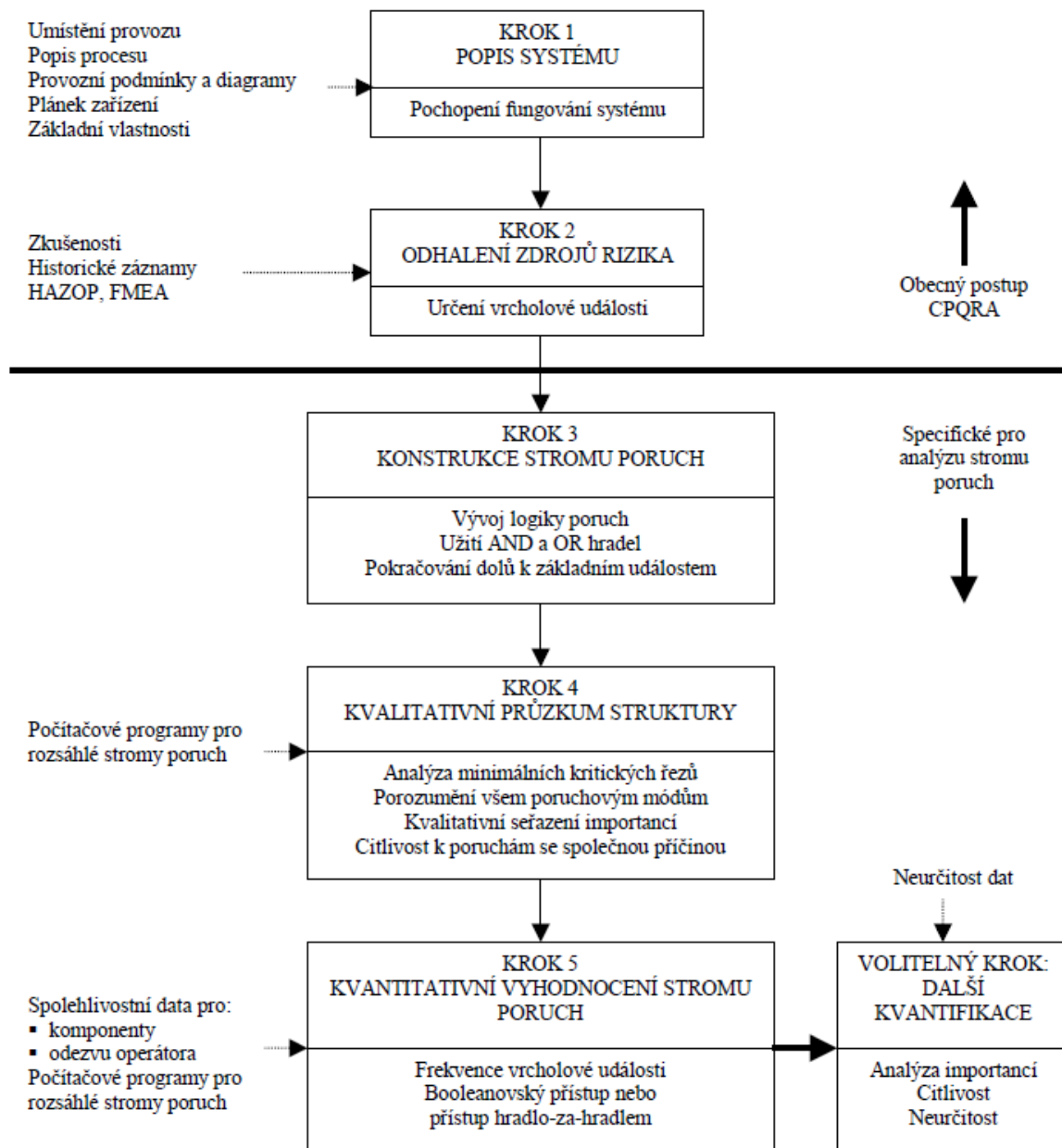
- Přesně definovat analyzovanou vrcholovou událost – popis musí být přesný a přiměřený.
- Popsat sledované události – jaké okolnosti / podmínky musí nastat, aby k události došlo.
- Stanovit okolnosti, které se při analýze nebudou brát v úvahu – případy, které jsou nepravděpodobné, nebo se s nimi nepočítá.
- Stanovit fyzikální hranice systému – které části systému ještě vezmeme v úvahu při sestavování FTA.
- Popsat uvažované stavy systému.

Postup analýzy FTA obsahuje následující kroky:

1. **Systémová analýza** – systém, který se má zkoumat, se rozčlení na podsystemy, vyjasní se požadované funkce apod.
2. **Stanovení příčin nežádoucích činností / stavů systému** – určí se hrubý rozsah analýz. Postupem na nižší úrovně systému se určí tzv. zprostředkované události, které postupně vedou až na požadovanou nejnižší úroveň. Tím se dostaneme na tzv. základní události.
3. **Sestrojení stromu poruchových stavů** na základě analýzy, který se kreslí pomocí standardních značek.
4. **Kvalitativní průzkum struktury stromu poruchových stavů** – prozkoumání mechanismu poruch a analýza / sestavení minimálních kritických řezů.
5. **Provedení kvantitativní analýzy** s využitím booleovské algebry a analýzy řezů. Požadovanými výchozími údaji pro kvantitativní analýzu jsou například pravděpodobnosti výskytu druhů poruchových stavů.

Při sestavování FTA se vychází z vrcholové události, následně se hledají poruchy, které k dané události vedly atd. Popis příčin poruchové události na každé úrovni by měl odpovídat na otázky: **CO**, **KDE**, **KDY** a **PROČ**.⁴⁴

⁴⁴ BAŽANT, Martin. FTA (Fault Tree Analysis - strom poruch). In: *Bazant's Blog* [online]. 2011 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://bazant.wordpress.com/2011/02/06/fta-fault-tree-analysis-strom-porch/>



Obr. 16: Logický diagram pro aplikaci analýzy FTA

Zdroj:⁴⁵

⁴⁵BUMBA, Jan, Lubomír KELNAR a Vilém SLUKA. *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik* [online]. 2005 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: http://www.vubp.cz/index.php/component/docman/doc_download/152-postupy-a-metodiky-analyz-a-hodnoceni-rizik-pro-uely-zakona-o-prevenci-zavanych-havarii

4.2. Využití metody FTA při snižování nehodovosti na železničních přejezdech

Zmiňovaná metoda hodnotí nežádoucí události „zdola nahoru“, tj. vychází se z koncové události a zpětně se zjišťují příčiny vzniku události. Z tohoto důvodu je nutné podrobně znát problematiku řešené nežádoucí události a s pomocí metody FTA, pokud jsou známy pravděpodobnosti vzniku jednotlivých příčin, lze stanovit výši rizika všech možných kombinací nehodových událostí. Na základě tohoto určení lze objektivně stanovit rizika, která se nejčastěji vyskytují a eliminovat je.

Ve své práci se chci zaměřit zvláště na přejezdy zabezpečené a na přejezdy nezabezpečené. Toto budou dvě vrcholové události V_1 a V_2 .

4.2.1. Situace na zabezpečených železničních přejezdech

Zdrojová data jsou z rozmezí let 2008 až březen 2012, tzn. za 51 měsíců. Celkem se na všech železničních přejezdech v České republice s jakýmkoli typem zabezpečení stalo **1312** dopravních nehod (dále jen DN).

TOP 3 kategorie DN a jejich procentuální zastoupení jsou následující:

➤ srážka s pevnou překážkou	806	61,43 %
➤ srážka s vlakem	381	29,04 %
➤ srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	44	3,35 %

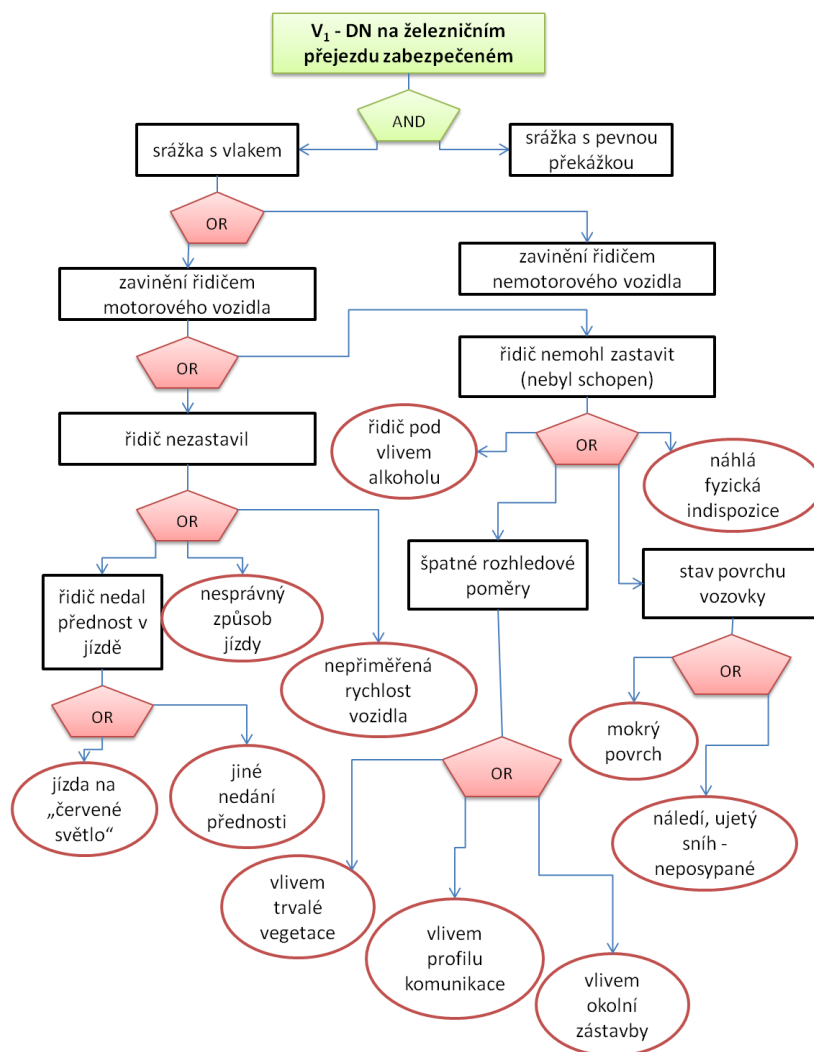
Ostatní kategorie, jako jsou například havárie, srážka s domácím zvířetem, srážka s chodcem (na železničním přejezdu, nikoli jinde na trati) a srážka s vozidlem zaparkovaným, jsou svým počtem zanedbatelné a nejsou ani předmětem zkoumání. Ze zmíněných kategorií mě zajímá pouze kategorie **srážka s vlakem**, protože právě na tento typ DN na železničních přejezdech a na opatření navržená ke snižování nehodovosti je tato práce zaměřena. Srážka s vlakem byla za sledované období 51 měsíců na zabezpečených přejezdech zaznamenána 381 krát, z tohoto počtu byla 362 krát zaviněna řidičem motorového vozidla a 12 krát řidičem nemotorového vozidla. Ostatní zavinění není bráno v úvahu. Dále se budu zaměřovat pouze na řidiče motorových vozidel a další podmínky, při kterých došlo k DN. Hlavní příčiny DN, stav řidiče v okamžiku DN, stav povrchu vozovky v době nehody a rozhledové poměry panující na daném přejezdu v rozhodném okamžiku shrnuje následující tabulka.

Tab. 14: Příčiny dopravních nehod, stav řidiče, stav povrchu vozovky a rozhledové poměry – zabezpečený přejezd

Příčiny dopravní nehody	počet	procentuální zastoupení
nedání přednosti v jízdě (jízda na „červené světlo“ - 54, proti příkazu dopravní značky STŮJ, DEJ PŘEDNOST - 11, proti příkazu dopravní značky DEJ PŘEDNOST - 1, nedání přednosti vozidlu přijíždějícímu zprava - 7, nedání přednosti při odbočování vlevo souběžně jedoucímu vozidlu - 1, jiné nedání přednosti v jízdě - 213)	287	21,88 %
nesprávný způsob jízdy (nesprávné otáčení nebo couvání - 1, bezohledná, agresivní, neohleduplná jízda - 3, řidič se plně nevěnoval řízení vozidla - 37, nezvládnutí řízení vozidla - 7, jiný druh nesprávného způsobu jízdy - 14)	62	4,73 %
nepřiměřená rychlost jízdy	13	0,09 %
ostatní příčiny dopravních nehod jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné		
Stav řidiče v okamžiku nehody	počet	procentuální zastoupení
dobrý (žádné nepříznivé okolnosti nebyly zjištěny)	323	24,62 %
pod vlivem alkoholu	16	1,22 %
náhlá fyzická indispozice	5	0,04 %
jiné stavy řidiče v rozhodném okamžiku jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné		
Rozhledové poměry	počet	procentuální zastoupení
dobré	331	25,23 %
špatné (vlivem trvalé vegetace - 12, okolní zástavby - 6, profilu komunikace, jako například nepřehledný vrchol stoupání, zářez komunikace - 8, přechodné vegetace - 1)	27	2,06 %
jiné rozhledové poměry jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné		
Stav povrchu vozovky v době nehody	počet	procentuální zastoupení
povrch suchý (neznečištěný)	247	18,83 %
povrch mokrý	79	6,02 %
náledí, ujetý sníh (neposypaný)	25	1,91 %
náledí, ujetý sníh (posypaný)	14	1,07 %
jiný stav povrchu vozovky v době nehody je svým počtem pro další analýzu zanedbatelný		

Zdroj: autor na základě [11]

Následující obrázek znázorňuje samotný strom poruchových stavů a dále bude představen postup výpočtu výše rizika metodou FTA, pro DN typu srážka s vlakem na zabezpečených železničních přejezdech.



Obr. 17: Strom poruchových stavů – dopravní nehoda na zabezpečeném železničním přejezdu

Zdroj: autor

Jakmile máme konečnou strukturu stromu poruchových stavů, je možné spočítat pravděpodobnost vrcholové události. Tento výpočet se za normálních okolností provádí užitím přístupu minimálních kritických řezů vyjádřených Booleanovým výrazem. Já ale použiji jednodušší alternativní postup, který se nazývá **hradlo-za-hradlem**, který není vhodný pro rozsáhlejší stromy poruch. Tato technika začíná u základních událostí stromu poruch a pokračuje nahoru k vrcholové události. Před výpočtem výstupu z hradla musí být definovány všechny vstupy do hradla. Všechna spodní hradla musí být spočtena před pokračováním do další vyšší hladiny. Matematické vztahy použité v technice hradlo-za-hradlem uvádí následující tabulka. Předpokládá, že všechny vstupy do hradel jsou statisticky nezávislé a že strom je koherentní, to znamená, že používá jen hradel typu AND a OR pro vyjádření logiky poruch. Tyto matematické vztahy mohou být rozšířeny na více než dva vstupy (součty pro OR hradla a součiny pro AND hradla). Pokud má OR hradlo několik

vstupů, které se sčítají, všechny součinnové členy se zanedbávají a tím výstupní součet bude o něco málo vyšší. Toto zjednodušení způsobí pro malé pravděpodobnosti zanedbatelnou chybu a je vždy konzervativní.⁴⁶ V této práci bylo uvedené zjednodušení použito pro úrovně V až III, kde byly pravděpodobnosti relativně nízké, pro výpočet výstupu úrovně II a I jsem použil klasický vzorec, tj. $P(A \text{ OR } B) = 1 - (1 - P_A) \cdot (1 - P_B)$.

Tab. 15: Pravidla pro výpočet stromu poruch technikou hradlo-za-hradlem

Hradlo	Párování vstupů	Výpočet pro výstup
OR	$P_A \text{ OR } P_B$	$P(A \text{ OR } B) = 1 - (1 - P_A) \cdot (1 - P_B)$
AND	$P_A \text{ AND } P_B$	$P(A \text{ AND } B) = P_A \cdot P_B$

Zdroj:⁴⁷

Pravděpodobnost základních událostí jsem spočítal jako podíl počtu výskytu konkrétní události a celkového počtu nehod na železničních přejezdech daného typu za sledované období. V tabulce níže vypadá výpočet například takto:

Pravděpodobnost jevu E (jízda na „červené světlo“) = 54 / 1312 = 0,0412.

Tab. 16: Výsledná tabulka FTA (zabezpečené železniční přejezdy)

Jevy	Úroveň dle analýzy stromu poruchových stavů		Počet DN	Pravděpodobnost
A	I	Srážka s vlakem	381	$P(A) = 1 - (1 - P(B)) \cdot (1 - P(T)) = 0,3516$
B	II	Zavinění řidičem motorového vozidla	362	$P(B) = 1 - (1 - P(C)) \cdot (1 - P(I)) = 0,3456$
C	III	Řidič nezastavil	362	$P(C) = P(D) + P(G) + P(H) = 0,2604$
D	IV	Řidič nedal přednost v jízdě	287	$P(D) = P(E) + P(F) = 0,2035$
E	V	Jízda na „červené světlo“	54	$P(E) = 0,0412$

⁴⁶ Po spočtení celého stromu poruchových stavů může být provedeno několik dalších volitelných výpočtů pro lepší využití vypovídací schopnosti metody FTA. Takovými výpočty jsou analýzy citlivosti, neurčitosti a důležitosti (importance).

⁴⁷ BUMBA, Jan, Lubomír KELNAR a Vilém SLUKA. *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik* [online]. 2005 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: http://www.vubp.cz/index.php/component/docman/doc_download/152-postupy-a-metodiky-analyz-a-hodnoceni-rizik-pro-uely-zakona-o-prevenci-zavanych-havarii

F	V	Jiné nedání přednosti	213	$P(F) = 0,1623$
G	IV	Nesprávný způsob jízdy	62	$P(G) = 0,0470$
H	IV	Nepřiměřená rychlost vozidla	13	$P(H) = 0,0099$
I	III	Řidič nemohl zastavit (nebyl schopen)	166	$P(I)=P(J)+P(K)+P(L)+P(P) = 0,1148$
J	IV	Řidič pod vlivem alkoholu	16	$P(J) = 0,0122$
K	IV	Náhlá fyzická indispozice	5	$P(K) = 0,0038$
L	IV	Špatné rozhledové poměry	27	$P(L)=P(M)+P(N)+P(O) = 0,0198$
M	V	Vliv trvalé vegetace	12	$P(M) = 0,0091$
N	V	Vliv profilu komunikace	8	$P(N) = 0,0061$
O	V	Vliv okolní zástavby	6	$P(O) = 0,0046$
P	IV	Stav povrchu vozovky	118	$P(P)=P(Q)+P(R) = 0,079$
Q	V	Mokrý povrch vozovky	79	$P(Q) = 0,060$
R	V	Náledí, ujetý sníh - neposypané	25	$P(R) = 0,019$
S	I	Srážka s pevnou překážkou	806	$P(S) = 0,6143$
T	II	Zavinění řidičem nemotorového vozidla	12	$P(T) = 0,0091$

Zdroj: autor

Pravděpodobnost vrcholové události V_1 je pravděpodobnost, že DN, ke které došlo na železničním přejezdu zabezpečeném (v úvahu bereme kategorie DN srážka s vlakem a s pevnou překážkou), byla zapříčiněna uvedenými základními událostmi a jejich kombinacemi (v míře dané pravděpodobností výskytu při DN každé z nich). Spočítá se jako $P(V_1) = P(A) \cdot P(S) = 0,3516 \cdot 0,6143 = 0,2160$ ⁴⁸.

⁴⁸ Všechny výpočty v analýze FTA se vztahují k celkovému počtu nehod na železničních přejezdech daného typu, nikoli k celkovému počtu průjezdů přes železniční přejezdy! Nelze tedy výslednou pravděpodobnost interpretovat jako pravděpodobnost, se kterou se dopravní nehoda stane.

Výsledná tabulka uvádí pravděpodobnosti a rizika té které příčiny a vnější podmínky, která se svojí měrou podílí na *srážce* motorového vozidla *s vlakem* na zabezpečeném železničním přejezdu. Jmenovitě jevy C a I podávají zajímavé srovnání toho, kdy řidič motorového vozidla vjel do prostoru přejezdu tehdy, kdy zastavit mohl, ale nezastavil (reprezentace lidského selhání) a tehdy, kdy zastavit nemohl, nebyl již zastavení schopen, tj. nebyl v dobré fyzické kondici nebo nepříznivé vnější podmínky (stav povrchu vozovky nebo rozhledové poměry) mu zastavení znemožnily. Tento fakt ukazuje na velký význam (důležitost) lidského faktoru v celé problematice nehodovosti na železničních přejezdech.

4.2.2. Situace na nezabezpečených železničních přejezdech

Stejným způsobem aplikuji analýzu FTA i na přejezdy nezabezpečené. Celkem se na všech železničních přejezdech bez zabezpečení v České republice za sledované období 51 měsíců stalo **592** dopravních nehod.

TOP 3 kategorie DN a jejich procentuální zastoupení jsou následující:

➤ srážka s vlakem	463	78,08 %
➤ srážka s pevnou překážkou	48	8,09 %
➤ srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	26	4,38 %

Situace je trochu jiná než v předchozím případě, první místo obsadila kategorie srážka s vlakem, což tvoří 78,08 % ze všech dopravních nehod na nezabezpečených přejezdech. Za sledované období 51 měsíců byla zaznamenána 463 krát, z tohoto počtu byla 459 krát zaviněna řidičem motorového vozidla a 4 krát řidičem nemotorového vozidla. Následuje srážka s pevnou překážkou a srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem. Na pomyslném čtvrtém místě by se umístila havárie (20 případů, 3,37 %), dále srážka s chodcem (11 případů, 1,85 %). Srážka s domácím zvířetem a srážka s vozidlem zaparkovaným jsou svým počtem zanedbatelné. Ze zmíněných kategorií mě pro další analýzu zajímá pouze kategorie *srážka s vlakem*, protože právě na tento typ DN na železničních přejezdech a na opatření navržená ke snižování nehodovosti je tato diplomová práce zaměřena. Dále se budu věnovat pouze řidičům motorových vozidel a další podmínkám, při kterých došlo k DN. Hlavní příčiny DN, stav řidiče v okamžiku DN, stav povrchu vozovky v době nehody a rozhledové poměry panující na daném přejezdu v rozhodném okamžiku shrnuje následující tabulka.

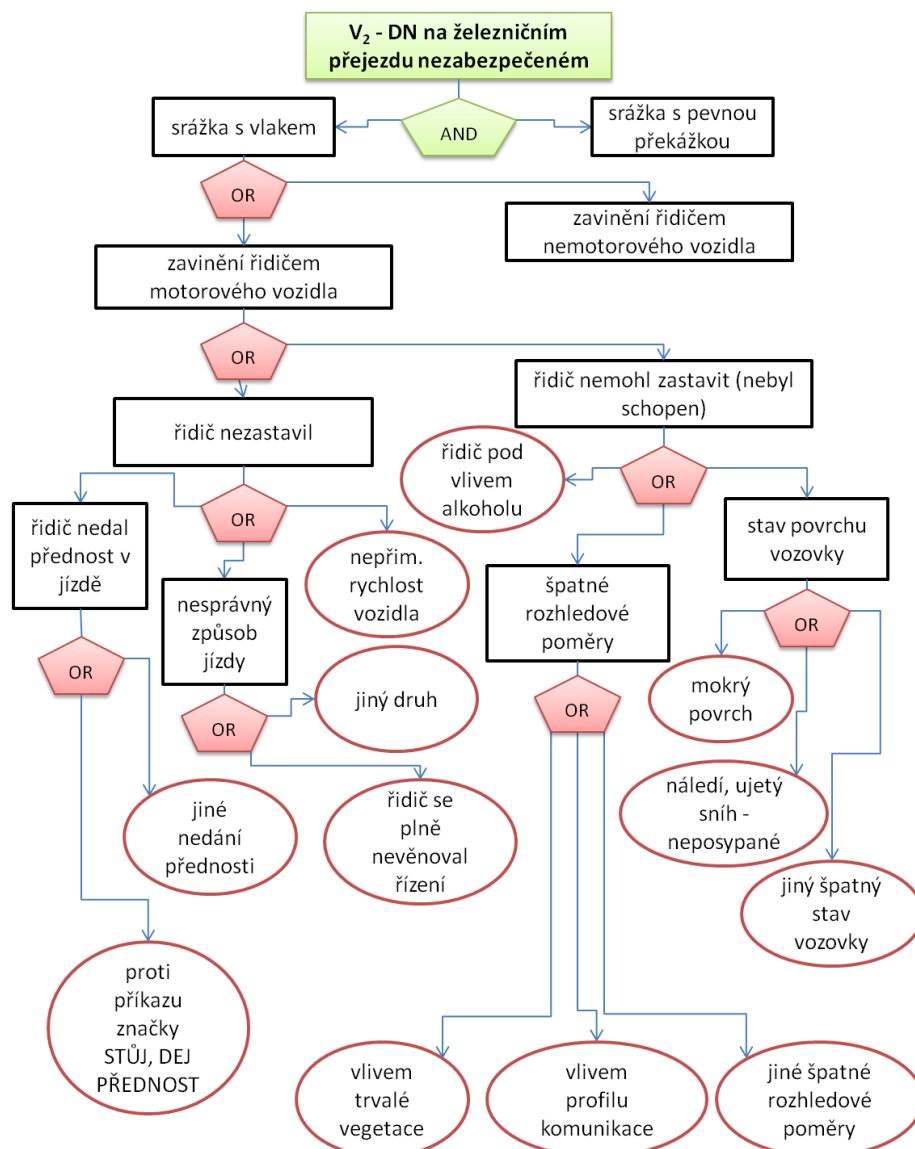
Tab. 17: Příčiny dopravních nehod, stav řidiče, stav povrchu vozovky a rozhledové poměry – nezabezpečený přejezd

Příčiny dopravní nehody	počet	procentuální zastoupení
nedání přednosti v jízdě (proti příkazu dopravní značky STŮJ, DEJ PŘEDNOST - 138, proti příkazu dopravní značky DEJ PŘEDNOST - 10, nedání přednosti vozidlu přijíždějícímu zprava - 10, nedání přednosti při vjíždění na silnici - 1, jiné nedání přednosti v jízdě - 216)	375	63,33 %
nesprávný způsob jízdy (vyhýbání bez dostatečné boční vůle – 1, nesprávné otáčení nebo couvání - 3, chyby při udání směru jízdy – 1, řidič se plně nevěnoval řízení vozidla – 35, samovolné rozjetí nezajištěného vozidla – 1, nezvládnutí řízení vozidla – 4, jiný druh nesprávného způsobu jízdy – 12)	57	9,61 %
nepřiměřená rychlost jízdy	13	2,19 %
ostatní příčiny dopravních nehod jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné		
Stav řidiče v okamžiku nehody	počet	procentuální zastoupení
dobrý (žádné nepříznivé okolnosti nebyly zjištěny)	431	72,68 %
pod vlivem alkoholu	11	1,85 %
unaven, usnul	2	0,04 %
jiné stavy řidiče v rozhodném okamžiku jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné		
Rozhledové poměry	počet	procentuální zastoupení
dobré	409	68,97 %
špatné (vlivem trvalé vegetace – 14, okolní zástavby – 8, profilu komunikace, jako například nepřehledný vrchol stoupání, zářez komunikace – 10, přechodné vegetace – 8, výhled zakryt stojícím vozidlem – 1, jiné špatné rozhledové poměry - 9)	50	8,43 %
jiné rozhledové poměry jsou svým počtem pro další analýzu zanedbatelné nebo nebyly u DN zjištěny a zaznamenány		
Stav povrchu vozovky v době nehody	počet	procentuální zastoupení
povrch suchý (neznečištěný)	273	46,04 %
povrch mokrý	104	17,54 %
náledí, ujetý sníh (neposypaný)	38	6,41 %
náledí, ujetý sníh (posypaný)	19	3,20 %
náhlá změna stavu vozovky (námraza na mostu, místní náledí)	18	3,04 %
jiný stav povrchu vozovky v době nehody je svým počtem pro další analýzu zanedbatelný		

Zdroj: autor na základě [11]

Ve srovnání s předchozím případem bych rád upozornil na několik zajímavých faktů. U zabezpečených železničních přejezdů, kdy se srazilo motorové vozidlo s vlakem, bylo jako hlavní příčina DN určeno nedání přednosti v jízdě v necelých 22 % DN, přičemž u železničních přejezdů nezabezpečených, ve stejné kategorii DN, bylo nedání přednosti určeno

jako hlavní příčina DN v 63,33 % všech DN na těchto přejezdech. Bylo zaznamenáno 138 případů nedání přednosti proti dopravní značce STŮJ, DEJ PŘEDNOST. Špatné rozhledové poměry hrály významnou roli při DN na zabezpečených železničních přejezdech (srážka motorového vozidla s vlakem) v 2,06 % případů, ovšem na nezabezpečených přejezdech to bylo již v 8,43 %. Co se týče nehod na mokrém povrchu, opět jich bylo ve srovnání s předchozím případem zaznamenáno více, a to i v absolutním počtu (zabezpečené přejezdy – 79, nezabezpečené přejezdy – 104). Tyto závěry jsou velice zajímavé i vzhledem k faktu, že zabezpečených přejezdů je v současné době v České republice zhruba stejný počet jako přejezdů nezabezpečených. A i přesto se na zabezpečených přejezdech stává více než 2/3 všech DN!



Obr. 18: Strom poruchových stavů – dopravní nehoda na nezabezpečeném železničním přejezdu

Zdroj: autor

Předchozí obrázek znázorňuje strom poruchových stavů ilustrující situaci na nezabezpečených železničních přejezdech.

V dalším kroku vytvořím výslednou tabulku FTA pro nezabezpečené železniční přejezdy s využitím techniky hradlo-za-hradlem a spočítám dílčí pravděpodobnosti pro základní události (opět jako podíl počtu základních událostí a celkového počtu DN na železničních přejezdech nezabezpečených) a nakonec i pro vrcholovou událost V_2 .

Tab. 18: Výsledná tabulka FTA (nezabezpečené železniční přejezdy)

Jevy	Úroveň dle analýzy stromu poruchových stavů		Počet DN	Pravděpodobnost
A	I	Srážka s vlakem	463	$P(A)=1-(1-P(B))*(1-P(U)) = 0,8534$
B	II	Zavinění řidičem motorového vozidla	459	$P(B)=1-(1-P(C))*(1-P(K)) = 0,8524$
C	III	Řidič nezastavil	458	$P(C)=P(D)+P(G)+P(J) = 0,7517$
D	IV	Řidič nedal přednost v jízdě	375	$P(D)=P(E)+P(F) = 0,6334$
E	V	Jízda proti příkazu dopravní značky STŮJ, DEJ PŘEDNOST	138	$P(E) = 0,2331$
F	V	Jiné nedání přednosti	237	$P(F) = 0,4003$
G	IV	Nesprávný způsob jízdy	57	$P(G) = P(H)+P(I) = 0,0963$
H	V	Řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	35	$P(H) = 0,0591$
I	V	Jiný druh nesprávného způsobu jízdy	22	$P(I) = 0,0372$
J	IV	Nepřiměřená rychlost vozidla	13	$P(J) = 0,0220$
K	III	Řidič nemohl zastavit (nebyl schopen)	242	$P(K)=P(L)+P(M)+P(L)+P(Q) = 0,4054$
L	IV	Řidič pod vlivem alkoholu	11	$P(L) = 0,0186$
M	IV	Špatné rozhledové poměry	50	$P(M)=P(N)+P(O)+P(P) = 0,0844$

N	V	Vliv trvalé vegetace	14	$P(N) = 0,0236$
O	V	Vliv profilu komunikace	10	$P(O) = 0,0169$
P	V	Jiné špatné rozhledové poměry (přechodná vegetace, zaparkované vozidlo apod.)	26	$P(P) = 0,0439$
Q	IV	Stav povrchu vozovky	179	$P(Q)=P(R)+P(S) +P(T) = 0,3024$
R	V	Mokrý povrch vozovky	104	$P(R) = 0,1757$
S	V	Náledí, ujetý sníh - neposypané	38	$P(S) = 0,0642$
T	V	Jiný špatný stav povrchu vozovky	37	$P(T) = 0,0625$
U	II	Zavinění řidičem nemotorového vozidla	4	$P(U) = 0,0068$
V	I	Srážka s pevnou překážkou	48	$P(V) = 0,0811$

Zdroj: autor

Pravděpodobnost vrcholové události V_2 , tedy pravděpodobnost, že DN na železničním přejezdu nezabezpečeném (v úvahu bereme opět kategorie srážka s vlakem a srážka s pevnou překážkou), bude zapříčiněna základními událostmi nebo jejich kombinacemi (se zohledněním jejich pravděpodobností výskytu), spočítáme jako součin pravděpodobností na I. stupni, tedy jako $P(V_2) = P(A) \cdot P(V) = 0,8534 \cdot 0,0811 = 0,0692$.

4.3. Zhodnocení výsledků analýzy FTA a návrh opatření ke snižování nehodovosti na železničních přejezdech

Na tomto místě bych rád okomentoval výsledky analýzy FTA. Pro oba případy se poté zaměřím na nejkritičtější oblasti a pokusím se navrhnout opatření, která by podle mého názoru měla být pro ten který problém účinná a obecně použitelná, a vedla by k faktickému snížení nehodovosti na železničních přejezdech.

Pravděpodobnost vrcholové události V_1 , tedy pravděpodobnost, že DN na železničním přejezdu zabezpečeném (v úvahu bereme opět kategorie srážka s vlakem a srážka s pevnou překážkou), bude zapříčiněna základními událostmi nebo jejich kombinacemi (se

zohledněním jejich pravděpodobností výskytu), vyšla na základě provedené analýzy FTA 21,60 % a na železničním přejezdu nezabezpečeném (vrcholová událost V_2) byla tato pravděpodobnost 6,92 %. Toto srovnání je ale pouze z pohledu celkového počtu dopravních nehod na železničních přejezdech, takže by se mohlo zdát, že nezabezpečené železniční přejezdy jsou bezpečnější. Opak je ale pravdou, protože pokud porovnáme pravděpodobnosti srážky vozidla s vlakem u obou typů přejezdů (při tomto typu DN bývají následky fatální), je riziko u nezabezpečených přejezdů v případě, kdy působí všechny faktory najednou, mnohem vyšší (jako příklad bych uvedl základní událost „rozhledové poměry“ – u zabezpečených železničních přejezdů je téměř dvouprocentní pravděpodobnost, že se tato příčina bude podílet na DN, ale u nezabezpečených přejezdů je pravděpodobnost čtyřnásobně vyšší! Výsledek odpovídá i logické úvaze, že u zabezpečených přejezdů není rozhled to jediné, na základě čehož řidič dospěje k rozhodnutí vjet na přejezd, na blížící se vlak ho upozorní SZZ). Na základě analýzy lze tvrdit, že na železničních přejezdech nezabezpečených dochází k menšímu počtu dopravních nehod, ale jsou přitom mnohem nebezpečnější a riziko srážky vozidla s vlakem je větší.

Je třeba si také uvědomit, že neexistuje kompletní řešení celého systému. Budou vždy existovat další a další základní události, které by mohly být zahrnuty do analýzy a možnost rozkladu systémových složek a odhalení více závislostí uvnitř systému.

4.3.1. Situace na železničních přejezdech zabezpečených

Při prvním pohledu na tabulku č. 16, tj. výslednou tabulku FTA pro zabezpečené přejezdy, se může zdát, že čísla jsou nesrozumitelná a nezasvěcenému člověku nedávají smysl. Je nutné si uvědomit, že typ dopravní nehody „srážka s vlakem“ se zaviněním ze strany řidiče motorového vozidla je de facto vždy způsobeno nedáním přednosti v jízdě z jakýchkoliv příčin. V tomto okamžiku tabulka začíná dávat smysl, protože z celkového počtu 362 nehod bylo zjištěno ve 166 případech, že na nedání přednosti mohl mít vliv i jiný (vnější) faktor než je prostá lidská chyba. Vnější faktor působící na dopravní nehodu mohl být jeden nebo šlo o kombinaci více faktorů.

Podíváme-li se podrobněji na základní události stromu poruchových stavů, zjistíme, že nejkritičtější příčinou je nedání přednosti v jízdě (což je logické - viz výše a odpovídá realitě). Dá se říci, že v případě dopravní nehody na zabezpečeném železničním přejezdu, to bude s 20,35 % pravděpodobností nehoda typu „srážka s vlakem“, zaviněná řidičem motorového vozidla z důvodu nedání přednosti v jízdě z jakýchkoliv příčin.

Rozložení pravděpodobností, že dopravní nehoda na zabezpečeném přejezdu (typ „srážka s vlakem“ a zavinění řidičem motorového vozidla) bude ovlivněna danou konkrétní příčinou, vypadá takto:

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| ➤ nedání přednosti v jízdě | 20,4 % pravděpodobnost |
| ➤ mokrý povrch vozovky | 6 % pravděpodobnost |
| ➤ nesprávný způsob jízdy | 4,7 % pravděpodobnost |
| ➤ náledí, ujetý sníh | 1,9 % pravděpodobnost |
| ➤ řidič pod vlivem alkoholu | 1,2 % pravděpodobnost |
| ➤ nepřiměřená rychlost vozidla | 1 % pravděpodobnost |
| ➤ vliv trvalé vegetace | 0,9 % pravděpodobnost |

4.3.2. Situace na železničních přejezdech nezabezpečených

Situace na nezabezpečených přejezdech vypadá trochu jinak. Zabezpečené dopravní přejezdy se vyznačují tím, že nejvíce dopravních nehod je typu „srážka s pevnou překážkou“ (například náraz do závor nebo do světelného zabezpečovacího zařízení), proto pravděpodobnostní rozdělení dle jednotlivých příčin u dopravních nehod typu „srážka s vlakem“ vykazuje jen relativně nízké hodnoty. U přejezdů nezabezpečených v cestě řidičům téměř žádné pevné překážky nestojí, proto zde jednoznačně převažuje typ nehody „srážka s vlakem“. Výsledné rozložení pravděpodobností, že dopravní nehoda na nezabezpečeném železničním přejezdu (uvažujeme-li typ „srážka s vlakem“ a zavinění řidičem motorového vozidla), vypadá následovně:

- | | |
|--|-----------------------|
| ➤ nedání přednosti v jízdě (mimo proti příkazu dopravní značky STŮJ, DEJ PŘEDNOST) | 40% pravděpodobnost |
| ➤ nedání přednosti v jízdě proti příkazu dopravní značky STŮJ, DEJ PŘEDNOST | 23,3% pravděpodobnost |
| ➤ mokrý povrch vozovky | 17,6% pravděpodobnost |
| ➤ náledí, ujetý sníh - neposypané | 6,4% pravděpodobnost |
| ➤ řidič se plně nevěnoval řízení | 5,9% pravděpodobnost |
| ➤ nesprávný způsob jízdy | 3,7% pravděpodobnost |
| ➤ vliv trvalé vegetace | 2,4% pravděpodobnost |
| ➤ nepřiměřená rychlost vozidla | 2,2% pravděpodobnost |
| ➤ řidič pod vlivem alkoholu | 1,9% pravděpodobnost |
| ➤ vliv profilu komunikace | 1,7% pravděpodobnost |

4.3.3. Návrh možných opatření ke snížení nehodovosti na železničních přejezdech

Na základě výsledků provedené analýzy FTA bych doporučoval provést na železničních přejezdech následující opatření:

1. **Nahrazení nezabezpečených železničních přejezdů zabezpečenými** – viz výsledky analýzy FTA
2. **Zvýraznění železničních přejezdů** – například užitím vodorovného dopravního značení (symboly a nápisy na vozovce, umístění stopčár), protože řidič vnímá symboly uvedené na vozovce mnohem intenzivněji než dopravní značení podél komunikace.
3. **Použití optické a akustické brzdy** – pro železniční přejezdy v intravilánu a extravilánu, které lze snadno přehlédnout vlivem zástavby nebo okolního terénu (lesní porosty, profil komunikace apod.). Vhodné použití je podle mého názoru i tam, kde je dlouhý rovný přehledný úsek komunikace před a za železničním přejezdem.
4. **Modernizace světelných výstražníků** – užití nových světel s vyšší intenzitou světelného záření bez tzv. fantom efektu (například nahrazení stávajících žárovek LED diodami).
5. **Legislativní změny** – zákonné umožnění okamžitého odstranění překážky ve výhledu způsobené vzrostlou vegetací i bez souhlasu vlastníka pozemku.
6. **Zrušení nadbytečných a nevyužívaných železničních přejezdů** – v ČR existuje v současné době velký počet zastaralých dopravně nevýznamných přejezdů, zejména na účelových komunikacích, které neodpovídají bezpečnostním požadavkům. Odstranění nedostatků nebo samotné zrušení přejezdů naráží na množství legislativních překážek (především neochota řešení problémů ze strany vlastníků přilehlých pozemků).
7. **Společné prohlídky** – zrušení dříve běžně prováděných společných prohlídek považují za „krok zpět“. Podle mého názoru je to velice účinná forma komunikace mezi všemi dotčenými stranami při zjištění závady. Výhodou je, že na místě se účastníci takřka ihned dohodnou na dalších krocích, kdo, kdy a jak závadu odstraní.

Závěr

Za cíle této diplomové práce jsem si stanovil vytvořit průřez různými metodami řízení kvality, z nich následně vybrat ty, které jsou aplikovatelné na problematiku snižování nehodovosti na železničních přejezdech, dále zpracovat soubor dat, které laická veřejnost nemá běžně k dispozici, a na nich práci vystavět, dále vytvořit grafy a tabulky, které situaci na železničních přejezdech z hlediska nehodovosti zhodnotí statisticky, a na zpracovaná data následně použít jednu konkrétní metodu řízení kvality. V posledním kroku bylo mým záměrem prezentovat výsledky zvolené analýzy a navrhnout opatření vedoucí ke snižování nehodovosti na železničních přejezdech.

Jako nejvhodnější metody se mi jevily metoda FTA, PHA, HRA a HAZOP. Analýza FTA (strom poruchových stavů) je založena na grafickém modelu pracujícím se základními příčinami vzniku událostí v daném systému a s pravděpodobnostmi, se kterými tyto události nebo jejich kombinace nastanou. Tato metoda poskytuje řešiteli možnost vhodně skloubit lidský i technický faktor, což je v problematice nehodovosti na železničních přejezdech velmi důležité, a což koneckonců rozhodlo o tom, že jsem tuto analýzu následně použil na zpracovaný soubor dat. Metodu PHA jsem vyhodnotil jako nevhodnou z hlediska obtížného zapracování vlivu lidského selhání do analýzy. Metody HRA a HAZOP lidskou chybu v sobě obsahují, ovšem u metody HRA jsem narazil na opačný problém, tj. že nebere v potaz technické podmínky a za klíčový faktor v analýze považuje především člověka. Metoda HAZOP byla pro mě nepoužitelná z hlediska nutnosti vytvoření řešitelského týmu a časové náročnosti pro získání vstupních dat pro analýzu.

Statistické vyhodnocení nehodovosti na železničních přejezdech vychází z neveřejných dat, přístupných pouze příslušníkům policie a jiných státních složek na intranetu provozovaném Ministerstvem vnitra na stránkách Ředitelství služby dopravní policie, kde jsem v prvním kroku z databáze všech dopravních nehod vytřídil data podle jednotlivých let, a také podle místa dopravní nehody – železniční přejezd. Podařilo se mi získat data sahající do roku 2008 a nejnovější data jsou z března roku 2012. Za velký přínos této práce považuji vytvoření výsledné obsáhlé tabulky, seříděné podle jednotlivých let, krajů a okresů. Tato tabulka může být kvalifikovaným zdrojem dat i pro další řešitele, kteří by se rozhodli analyzovat danou problematiku nebo její dílčí část pomocí jakéhokoli nástroje. Jednotlivé grafy jsem se snažil vytvořit tak, aby co nejvěrněji zobrazovaly situaci v ČR, co se týče nehodovosti na železničních přejezdech, a to podle jednotlivých let, krajů, charakteru dopravní nehody, typu železničního přejezdu, hlavních příčin dopravní nehody, a dále jsem se

pokusil čtenáři utvořit obrázek o tom, jaké škody na zdraví a majetku při těchto nehodách v jednotlivých letech vznikly.

Jak bylo již výše zmíněno, jako výchozí metodu pro praktickou ukázkou použití metod řízení kvality na problematiku nehodovosti na železničních přejezdech jsem zvolil analýzu FTA. Tu jsem aplikoval zvláště na železniční přejezdy zabezpečené a nezabezpečené, přičemž výsledkem byly dva stromy poruchových stavů a dvě tabulky shrnující pravděpodobnosti výskytu událostí (= jednotlivých příčin dopravních nehod na železničních přejezdech daného typu) při nehodách typu „srážka s vlakem“. Přínosem aplikace metody FTA v praxi na konkrétní pravdivá statisticky zpracovaná data je bezesporu ucelený pohled na hlavní příčiny vzniku dopravní nehody na železničních přejezdech. Dá se říci, že na základě výsledků provedené analýzy dokážeme odhadnout pravděpodobnost, s jakou mohly ovlivnit vnější faktory chování řidiče za konkrétních podmínek v okamžiku vzniku dopravní nehody na železničním přejezdu.

Domnívám se, že řešitel, který se rozhodne aplikovat některou z metod řízení kvality na problematiku železničních přejezdů (ať už z hlediska nehodovosti nebo výpočtu rizika), musí vždy zvážit, jaký účel jeho práce má. Pokud použiji příklad z předchozí kapitoly, účelem bylo podívat se na problematiku nehodovosti na železničních přejezdech jako na komplexní problém v rámci celé ČR, tím pádem nebyly brány v potaz parametry jednotlivých přejezdů a specifika konkrétního umístění přejezdu v rámci ČR. Velký význam při volbě vhodné metody mají bezesporu také vstupní data a další aspekty (nový projekt nebo zaběhlý systém, předběžná analýza apod.).

Seznam použitých informačních zdrojů

- [1] ADAMEC, Vladimír a Pavel SKLÁDANÝ. *Železniční doprava* [online]. 2009[cit. 2012-10-25]. ISBN 978-80-7204-727-7. Dostupné z: <http://issuu.com/esf150/docs/cdv4?mode=embed&layout=http%3A%2F%2Fskin.issuu.com%2Fv%2Flight%2Flayout.xml&showFlipBtn=true>
- [2] BAŽANT, Martin. FTA (Fault Tree Analysis - strom porúch). In: *Bazant's Blog* [online]. 2011 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://bazant.wordpress.com/2011/02/06/fta-fault-tree-analysis-strom-porch/>
- [3] BUDSKÝ, Roman. Projekt SWING (1. díl) – Lidský faktor a bezpečnost silničního provozu. In: *Studio Twist* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2012-10-23]. Dostupné z: <http://www.studiotwist.eu/get.php?id=52>
- [4] BUMBA, Jan, Lubomír KELNAR a Vilém SLUKA. *Postupy a metodiky analýz a hodnocení rizik* [online]. 2005 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: http://www.vubp.cz/index.php/component/docman/doc_download/152-postupy-a-metodiky-analyz-a-hodnoceni-rizik-pro-uely-zakona-o-prevenci-zavanych-havarii
- [5] FUCHS, Pavel, VALIŠ, David, CHUDOBA, Josef, KAMENICKÝ, Jan, ZAJÍČEK, Jaroslav. *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec : Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-09]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/10-RJSPrednaska5S08n.ppt>
- [6] FUCHS, Pavel. *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec, 2002. 127 s. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.
- [7] *ikvalita.cz : Portál pro kvalitaře* [online]. 2009 [cit. 2011-03-10]. FTA. Dostupné z WWW: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=52>
- [8] KOTEK, Luboš, BABINEC, František. *Použití metody Human HAZOP při redukci chyb operátorů*. AUTOMA 11/2009. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [9] PELANTOVÁ, Věra; FUCHS, Pavel, *Řízení jakosti a spolehlivosti* [online]. Liberec: Technická univerzita, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, 2009 [cit. 2011-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.rss.tul.cz/download/rjs/05-RJSPrednaska5JS08n09.ppt>
- [10] *Přejezdy v číslech. Správa železniční dopravní cesty* [online]. 2012 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/prejezdy-v-cislech.html>
- [11] *Ředitelství služby dopravní policie* [online]. 2012 [cit. 2012-10-03]. Dostupné z intranetu PČR: <http://ppportal.pcr.cz/rsdp/rsdp.htm>
- [12] VALIŠ, David. *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi (aneb jak přesvědčit zákazníka, že: Předběžná analýza nebezpečí (PHA) - základ racionálního návrhu systému* [online]. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009 [cit. 2012-10-21]. ISBN 978-80-02-02156-8. Dostupné z: <http://www.csq.cz/res/data/020/002506.pdf>

[13] ZAHRADNÍK, Jiří; RÁSTOČNÝ, Karol; KUNHART, Milan. *Bezpečnost železničných zabezpečovacích systémov*. Vyd.1. Žilina: EDIS - vydavateľstvo Žilina, 2004. 276 s. ISBN 80-8070-296-9.

[14] Zákon č. 361/2000 Sb., *o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů* (silniční zákon)

[15] Železniční přejezdy. *Drážní inspekce* [online]. 2008 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.dicr.cz/zeleznicni-prejezdy>

[16] Železniční přejezdy. *Správa železniční dopravní cesty* [online]. 2012 [cit. 2012-10-25]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/cislovani-prejezdu.html>

Seznam grafů

Graf 1: Vývoj počtu nehod na železničních přejezdech v rozmezí 2008 - 2011	38
Graf 2: Počet nehod na železničních přejezdech dle charakteru nehody v rozmezí 2008 – březen 2012	39
Graf 3: Počet nehod na zabezpečených a nezabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012	40
Graf 4: Počet nehod na železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012	42
Graf 5: Počet nehod na nezabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012	42
Graf 6: Počet nehod na zabezpečených železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012	43
Graf 7: Počet nehod na železničních přejezdech – viník nehody pod vlivem alkoholu v rozmezí 2008 - 2011	46
Graf 8: Počet nehod a procentuální rozdělení nehod na železničních přejezdech dle stavu řidiče v rozmezí 2008 – březen 2012	47
Graf 9: Počet a procentuální rozdělení nehod na železničních přejezdech dle vnějšího ovlivnění řidiče v rozmezí 2008 – březen 2012	47
Graf 10: Počet smrtelných, těžkých a lehkých zranění při nehodách na železničních přejezdech v rozmezí 2008 - 2011	48

Seznam ilustrací

Obr. 1: Spolehlivost dle ČSN IEC 50 (191)	9
Obr. 2: FTA - Strom poruchových stavů	19
Obr. 3: Označení přejezdu čtyřmístným číslem na výstražném kříži	53
Obr. 4: Označení přejezdu čtyřmístným číslem na výstražníku	53
Obr. 5: Označení přestupné identifikace přejezdu	54
Obr. 6: Označení přestupné identifikace přejezdu	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 7: Ukázka dostatečných rozhledových poměrů	55
Obr. 8: Ukázka nedostatečných rozhledových poměrů	55
Obr. 9: Opakovací výstražník umístěný nad vozovkou	56
Obr. 10: Užití světelných závor na železničním přejezdu v Rakousku	58
Obr. 11: Užití světelných závor na železničním přejezdu v ČR (provizorní montáž)	58

Obr. 12: Pásky tvořené z dlažebních kostek	59
Obr. 13: Betonové příčné odvodňovací žlaby	59
Obr. 14: Ukázka souvislé příčné čáry Rakousko	60
Obr. 15: Experimentální výstražný nápis na vozovce v ČR	60
Obr. 16: Logický diagram pro aplikaci analýzy FTA	65
Obr. 17: Strom poruchových stavů – dopravní nehoda na zabezpečeném železničním přejezdu.....	68
Obr. 18: Strom poruchových stavů – dopravní nehoda na nezabezpečeném železničním přejezdu ..	73

Seznam tabulek

Tab. 1: Kvalita vs. spolehlivost	8
Tab. 2: Charakteristiky nejpoužívanějších metod analýz spolehlivosti dle ČSN IEC 300-3-1	17
Tab. 3: PHA - Příklad tabulkového formuláře	23
Tab. 4: PHA – Klasifikace závažnosti důsledků událostí / poruch	24
Tab. 5: PHA – Klasifikace a frekvence událostí / poruch	25
Tab. 6: Klasifikace rizika	25
Tab. 7: PHA – Příklad klasifikace závažností důsledků událostí/poruch používaný v letectví	26
Tab. 8: TESEO – Faktory selhání lidského činitele (příklad pro výrobní závod).....	29
Tab. 9: HAZOP - Základní vodící slova	31
Tab. 10: HAZOP – Odchytky a s nimi spojená vodící slova	32
Tab. 11: Železniční přejezdy v číslech (aktualizováno k 1.3.2012).....	37
Tab. 12: Příčiny dopravních nehod na železničních přejezdech a jejich zavinění	44
Tab. 13: Rozsah hmotných škod při nehodách na železničních přejezdech v rozmezí 2008 – březen 2012	49
Tab. 14: Příčiny dopravních nehod, stav řidiče, stav povrchu vozovky a rozhledové poměry – zabezpečený přejezd.....	67
Tab. 15: Pravidla pro výpočet stromu poruch technikou hradlo-za-hradlem.....	69
Tab. 16: Výsledná tabulka FTA (zabezpečené železniční přejezdy)	69
Tab. 17: Příčiny dopravních nehod, stav řidiče, stav povrchu vozovky a rozhledové poměry – nezabezpečený přejezd	72
Tab. 18: Výsledná tabulka FTA (nezabezpečené železniční přejezdy).....	74

Seznam použitých zkratek

CDV	Centrum dopravního výzkumu
ČSD	České státní dráhy
ČR	Česká republika
DN	dopravní nehody
ETA	<i>Event Tree Analysis</i> (metoda stromu událostí)
EU	Evropská unie
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (metoda stromu poruchových stavů)
FMEA	<i>Fault Mode and Effects Analysis</i> (analýza způsobů a následků poruch)
FMECA	<i>Fault Mode, Effects and Criticaly Analysis</i> (analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch)
HRA	<i>Human Reliability Assessment</i> (posuzování spolehlivosti člověka)
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i> (studie nebezpečí a provozuschopnosti)
MA	<i>Markov Analysis</i> (Markovova analýza)
PHA	<i>Preliminary Hazard Analysis</i> (předběžná analýza nebezpečí)
PK	pozemní komunikace
PZM	přejezdové zabezpečení mechanické
PZS (SZZ)	přejezdové zabezpečení světelné (světelné zabezpečovací zařízení)
PZZ	přejezdové zabezpečovací zařízení
PC	<i>Path County</i> (metoda bezporuchovosti z dílů)
RBD	<i>Reliability Block Diagramme</i> (metoda blokových diagramů)
SRN	Spolková republika Německo

Seznam příloh na datovém nosiči

Příloha A – Tabulka zdrojových dat

Příloha B – Formulář evidence nehod v silničním provozu

Příloha C – Tabulka vnějších vlivů