

Jaroslav Fait, jaroslav.fait@siemens.com

Railway Knowledge Handbook

27. června 2017

Obsah

I	BZT	1
1	Úvodní slovo	5
2	Náplň zabezpečovací techniky	6
3	Bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích systémů	7
II	PZT	10
4	Výhybka	13
5	Detekce kolejových vozidel	14
6	Návěstidlo	15
III	MOL	16

Část I.

BZT

--

Table of Contents

1	Úvodní slovo	5
2	Náplň zabezpečovací techniky	6
2.1	Přehled norem	6
2.2	Klasifikace poruch	6
3	Bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích systémů	7
3.1	Spolehlivost	7
3.2	Bezpečnost	7
3.3	Integrita bezpečnosti	8
	Seznam literatury	9

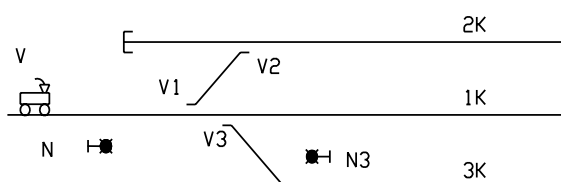
--

Úvodní slovo

Tyto příručka je určena jako studijní materiál nezbytný pro implementaci moderních metod návrhu zabezpečovacích systémů v železniční dopravě.

1.1. Náplň zabezpečovací techniky

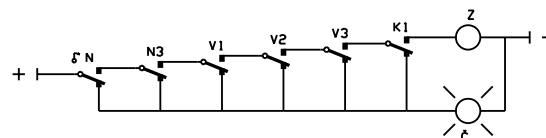
Klasická železniční zabezpečovací zařízení jsou definována jako zařízení, která prvořadě kontrolují, zda zamýšlené dispoziční dopravní zaměstnanců jsou bezpečné a zda jím nařízené výkony se provádějí tak, aby nebyla ohrožena bezpečnost železniční dopravy. Pro přiblížení uvažujme část stanice podle obr. ?? a na této situaci s určitými zjednodušeními tento obsah naznačme.



Obrázek 1.1.: Stanice (Chudacek2005)

Před stanicí je umístěno návěstidlo N , které v základní poloze ukazuje návěst „stůj“. Dokud návěstidlo ukazuje tuto návěst, nesmí vlak V do stanice vjet. Má-li vlak vjet bezpečně např. na kolej $1K$, je třeba splnit určité podmínky. Výměny pohyblivé části výhybek - $V1$ a $V3$ musí být v poloze umožňující řádnou jízdu na kolej $1K$, tj. jeden jazyk musí vždy přiléhat k příslušné opornici, druhý musí být od své opornice náležitě vzdálen. Na koleji $1K$ (včetně výhybek $V1$ a $V3$) nesmí být žádná vozidla a ani nesmí být povolen příjezd jiných vozidel na tuto kolej z opačného směru. Zamýšlenou cestu nesmí ohrožovat z boku pohyby jiných vlaků nebo posunujících dílů, proto výměna $V2$ musí kolizní jízdu svou polohou znemožňovat a návěstidlo $N3$ musí kolizní jízdu zakazovat (ochrana odvratnou polohou výměny se nazývá *přímou boční ochranou*, ochrana návěstidlem se zakazující návěstí je *nepřímou boční ochranou*). Když tedy byly všechny prvky zvolené cesty správně nastaveny, přezkoušeny a shledány bez závady, může být návěstidlo N přestaveno do polohy dovolující jízdu. Po celou dobu, kdy návěstidlo dovoluje jízdu, bude dohlíženo, že všechny k tomu rozhodující podmínky jsou nadále splněny. Vlak V vjede do stanice a ihned po jeho vjezdu se návěstidlo N přestaví opět do základní polohy (návěst „stůj“), aby též povel návěstidla nemohl být využit více vlaky a aby shora uvedený postup bylo třeba pro každý vlak znovu opakovat.

Úkony, potřebné k tomu, aby vlak vjel do stanice bezpečně, může vykonat určený zaměstnanec. Ten se například pochůzkou přesvědčí, že kolej $1K$ je volná, že výměny jsou řádně postaveny atd. a po ověření všech podmínek přestaví návěstidlo N do polohy povolující jízdu. Pokud se zaměstnanec nezmýlí, nedojde k nehodě (povšimněme si, že negace této věty nemusí být pravdivá). Bezpečnost jízdy vlaku bude tedy



Obrázek 1.2.: Vybavení koleje technickým zařízením, které dohlíží na aby vlak vjel do stanice bezpečně (Chudacek2005)

závislá na osobních vlastnostech člověka. Aby tomu tak nebylo, vybavíme kolej technickým zařízením, které bude na jejich volnost dohlížet, výměny jinými technickými zařízeními, která budou kontrolovat jejich polohu atd. a jízdní návěst návěstidel učiníme nuceně závislou na informacích těchto technických zařízení. Primitivní schéma takového zařízení je na obr. ?? . I když pak dopravní zaměstnanec dá návěstním řadičem N pokyn k rozsvícení jízdní (tj. jízdu povolující) návěstí Z , návěst se rozsvítí jen v případě, že kontakt $N3$ informuje svým sepnutím, že návěstidlo $N3$ skutečně ukazuje návěst „stůj“, kontakty $V1$, $V2$ a $V3$ informují, že výměny jsou ve správné poloze a kontakt $K1$ informuje, že první kolej je volná a není na ni postavena jiná cesta. Jízdní návěst Z se tedy rozsvítí až po splnění všech předem stanovených podmínek pro bezpečný vjezd vlaku. Není-li kterákoliv podmínka splněna, na návěstidlo N zůstává svítit červené světlo Č.

Přesto takové zařízení nelze považovat za zabezpečovací zařízení. Prvním důvodem je, že nebyly zřízeny vzájemné závislosti. Jízdní návěst na návěstidlo N se sice rozsvítí až když jsou splněny všechny podmínky, ale výměny a návěstidla zůstala volná. Nic nebrání, aby se např. poloha výměn změnila dříve, než vlak V ukončí svou jízdu. Zhasnutí jízdního znaku Z na návěstidlo N v důsledku ztráty kontroly při přestavení výměny už nemusí být nic platné, protože vlak již mohl návěstidlo minout nebo již není schopen včas zastavit. Nepostačí ale ani zřízení vzájemné závislosti tím, že by rozsvícená jízdní návěst Z uzavírala výměny a návěstidla v žádoucí poloze (např. prostřednictvím sériově řazeného relé). Vzhledem k nebezpečí přerušení sekvence postupných kroků je důležité aby uzavření výměn a návěstidel bylo provedeno dříve, než se rozsvítí jízdní návěst. Postup stavění jízdní cesty, vyhovující požadavkům zabezpečovací techniky, bude tedy v naznačeném příkladě následující:

- nejprve se přestaví výměny do žádané polohy,
- v druhém úkonu (nazývaném závěr jízdní cesty) se při uzavírání výměn a návěstidel přezkouší jejich správná poloha a tedy, že první úkon byl řádně proveden. Pokud první úkon nebyl proveden správně, musí být znemožněn úkon druhý,
- obdobně třetí úkon, tj. rozsvícení jízdní návěstí na návěstidlo N , je možný jen tehdy, byl-li druhý úkon (a tedy i první úkon) řádně proveden.

Tím jsme dosáhli požadované vzájemné závislosti, jejíž popsaná úroveň je prvním charakteristickým rysem zabezpečo-

vacího zařízení. Zařízení z obr. ?? bude podmínce vyhovovat například v případě, že návěstní přepínač N bude konstrukčně upraven tak, že ho nebude možné přeložit bez provedení **závěru jízdní cesty**. Důsledkem zavedení závěru jízdní cesty bude potřeba po vlaku jízdní cestu vybavit, tj. závěr zrušit, aby bylo možné s jednotlivými prvky opět volně manipulovat.

Ani nyní však ještě nelze v uvedeném příkladě hovořit o zabezpečovacím zařízení. Zařízení musí být konstruováno tak, aby bezpečnost byla zachována i při jakékoliv možné poruše vlastního zařízení. Tento požadavek platí jak pro jednotlivé části, tak pro celek a je druhým charakteristickým rysem železniční zabezpečovací techniky. V uvedeném případě to znamená, že zařízení pro kontrolu volnosti koleje nesmí ani při poruše hlásit obsazenou kolej jako volnou, zařízení pro kontrolu polohy výměny nesmí ani při poruše hlásit nesprávně postavenou výměnu jako výměnu správně postavenou, ke zrušení závěru jízdní cesty nesmí ani poruchou dojít dříve než vlak dotčené prvky skutečně mine atd. Právě tak vlastní zapojení pro rozsvícení jízdní návěsti musí být konstruováno tak, aby se jízdní návěst nemohla poruchou zapojení rozsvítit, pokud všechny podmínky pro její svícení nebudou splněny. Jak patrně, vychází se ze základního železničního bezpečnostního předpokladu, že zastavení vlaku poskytuje nejvyšší bezpečnost. Tento předpoklad se zásadně liší od principů aplikovaných v letecké dopravě, kosmonautice, nukleární technice, navigaci, řízení procesů, robotice, dolování, systémech zabezpečení proti vloupání či odcizení atd., kde je prozatím obvykle hlavním cílem dosažení maximální spolehlivosti a pohotovosti systému.

Důsledkem druhého charakteristického rysu zabezpečovací techniky, tj. převedení všech poruch bezpečnějším směrem je, že téměř každá porucha zabezpečovacího zařízení znamená omezení dopravy. To samozřejmě může vést k narušení plynulosti a vzniku provozních nepravidelností, což jsou jevy, které samy o sobě nebezpečí v dopravě výrazně zvětšují. Ve vážnějších případech je nutné zabezpečovací zařízení do skončení jeho opravy zcela vypnout, aby byl možný alespoň omezený pohyb vlaků. Pak se ovšem provoz, jehož pravidelnost je navíc narušena, děje bez jakékoliv podpory zabezpečovacího zařízení, zatížen, byť i jen na omezenou dobu, možnými lidskými omyly. Odtud tedy plyne třetí charakteristický rys zabezpečovací techniky, což je taková konstrukce zařízení, která má co nejméně poruch, tedy vysokou spolehlivost nebo obecněji - co nejvyšší pohotovost.

Úloha zabezpečovací techniky nekončí zajištěním odpovídajícího návěstního znaku na návěstidle. Také na lokomotivě je strojvedoucí, jemuž je svěřena péče o bezpečnost vlaku a který tuto bezpečnost může ohrozit svým omylem. Působnost zabezpečovacích zařízení se tedy (prostřednictvím vlakového zabezpečovacího zařízení) prodlužuje až na vozidlo, aby se zajistilo, že vlak také skutečně bude návěsti respektovat.

Aplikují-li se všechny výše uvedené zvláštnosti správně při vývoji zabezpečovacího systému, je třeba se postarat také o to, aby nedošlo k jejich znehodnocení při projekci, výrobě, montáži a údržbě konkrétních zařízení. Při těchto činnostech je také třeba počítat s lidskými vlastnostmi. Zařízení, sloužící primárně pro eliminaci chyb dopravních zaměstnanců konstruuji, vyrábějí, montují a udržují opět lidé. Naštěstí tyto práce, na rozdíl od výkonu dopravní služby, probíhají (nebo by rozhodně měly probíhat) v lepších podmínkách a bez časové tísně. Za příznivých podmínek se nedokonalosti člověka tolik neuplatňují a práci každého pracovníka lze kontrolovat jinými s případnou pomocí dalších technických zařízení. Přesto však z toho pro projekci, výrobu, montáž a údržbu

zabezpečovacích zařízení vyplývají jisté zvláštnosti.

Vedle úloh z oblasti bezpečnosti plní moderní zabezpečovací technika i úkoly další. Především jde o hlubší zásahy do vlastního provozu prostředky automatizace. Ta pak, při správném provedení, vede k zlepšenému využití technických prostředků železnic (např. zvýšení propustné výkonnosti tratí), k zhospodárnění provozu, k úspoře jiných, podstatně vyšších investičních nákladů (např. budování další koleje). Protože však zabezpečovací zařízení je zařízením v zásadě restriktivním, nelze u něj bezhlavě prosazovat zvyšování výkonnosti vždy a ve všech směrech. Později také uvidíme, že zabezpečovací technika se podílí na zvyšování bezpečnosti i v jiných oblastech: kolejové obvody alespoň částečně dohlíží na stav jízdní dráhy (celistvost kolejnic), přestavná zařízení výměn dohlíží na stav výhybek, vlakové zabezpečovače mohou do určité míry dohlížet na stav brzdové soustavy vlaku (sledováním skutečně dosaženého odrychlení při brzdění), přejezdová zabezpečovací zařízení se podílejí na eliminaci cizích vlivů na dopravu atd.

Souhrnně lze konstatovat, že prvořadým účelem zabezpečovacích zařízení na železnici je předcházet kolizím a vykolejení vlaků z důvodu chybného řízení dopravy. K tomu účelu je u zařízení třeba sledovat následující oblasti:

- funkční bezpečnost (korektnost systému), tj. řádné plnění všech požadovaných funkcí v bezporuchovém stavu a při očekávaných vlivech pracovního prostředí,
- technickou bezpečnost (bezpečnou konstrukci), tj. splnění požadavku, aby nedošlo k přímému ohrožení bezpečnosti dopravy ani při poruchách samotného zabezpečovacího zařízení,
- bezpečnou aplikaci, tj. vytvoření takových logických funkcí a vzájemných závislostí, aby pro konkrétní situaci navržené zařízení ve všech provozních stavech mohlo řádně plnit svou funkci (na jeho výstupech budou jízdu povolující informace pouze v takovém rozsahu, který odpovídá stavu informací vstupních) a zajištění, aby tyto vlastnosti zařízení mělo i po výrobě a montáži,
- bezpečný provoz a údržbu, tj. zajištění, že předchozí úrovně zůstanou v zařízení zachovány po celou dobu životnosti,
- vysokou spolehlivost, tj. omezení případů, kdy nepřímo, vyřazením zabezpečovacího zařízení a přechodem na manuální řízení, by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti dopravy.

Žádnou ze zmíněných oblastí nelze preferovat, protože žádná nemůže nahradit druhou a nedostatky v kterékoliv z nich znehodnocují výsledky ostatních.

Přímým obsahem železniční zabezpečovací techniky není zajištění zdraví a bezpečnosti zaměstnanců (i když provozovaná zařízení samozřejmě musí splňovat i požadavky např. ve směru ochrany před nebezpečným dotykovým napětím, ergonomicky správně navrženého obsluhovacího pracoviště atd.), zabránit nehodám ze zlého úmyslu, násilnou obsluhou, úmyslným poškozením nebo zneužitím zařízení. V poslední době se však jeví jako nezbytné dokonaleji zajišťovat zabezpečovací zařízení proti vandalům a lapkům všeho druhu a neoprávněným zásahům do zařízení v případě, že používají jiných než speciálně drážních zařízení (viz dále např. ochrana dat v otevřených sítích).

1.2. Třídění

K železničním zabezpečovacím zařízením se obvykle řadí i zabezpečovací zařízení používaná na podzemních drahách (metro, doly), na pouličních drahách (tramvaje - zejména městské rychlodráhy) a na vlečkách, protože využívají obdobných principů, často i obdobná nebo jen poněkud upravená zařízení. Při třídění zařízení lze použít řadu třídících hledisek; téměř vždy se však vyskytnou zařízení přechodová (smíšená) nebo podle užitého třídění obtížně definovatelná. Přesto je dále několik třídění uvedeno, protože poskytují obrázek o pestrosti a mnohotvárnosti pojednávaného zařízení.

Nejpřirozenějším a klasickým tříděním zabezpečovacích zařízení je třídění podle účelu zařízení. Podle tohoto hlediska lze zabezpečovací zařízení dělit na zařízení:

- staniční,
- traťové,
- vlakové,
- přejezdové.

Účel je patrný již z názvu. Staniční zabezpečovací zařízení zajišťuje bezpečný pohyb vlaků ve stanici, traťové zařízení zabezpečuje jízdu vlaku na trati mezi stanicemi, vlakové zařízení zabráňuje vlaku pohybovat se nad rámec, který povoluje zařízení staniční a traťové (s případným zahrnutím i dalších omezení), přejezdové zařízení přispívá k zajištění bezpečnosti na úrovňovém křížení silnice a železnice informováním uživatelů silnice, že se k přejezdu blíží vlak s předností v jízdě. Nad všemi těmito zařízeními pak může být budováno zařízení pro dálkové ovládání většího úseku tratě z jednoho místa.

Podle místa ovládání zařízení mluvíme o zařízení s obsluhou :

- místní,
- ústřední (centralizovanou v oblasti jedné stanice),
- dálkovou (mimo vlastní stanici).

Další třídění je odvozeno od způsobu ovládání periferií (výměn, návěstidel atd.) a tak vlastně zahrnuje celou historii železniční zabezpečovací techniky. Rozeznáváme zařízení:

- mechanická (využívající výhradně lidské síly),
- elektrická,
- pneumatická,
- hydraulická.

Obdobně, v následujícím třídění je rozhodující způsob, jímž se v zařízení potřebné závislosti realizují. Zde rozeznáváme zařízení se závislostmi:

- mechanickými,
- mechanickými i elektrickými (tzv. elektromechanická a elektrodynamická zařízení),
- elektrickými, která lze dále dělit podle rozhodujících stavebních prvků, jimiž jsou závislosti realizovány, na zařízení:
 - reléová,
 - hybridní (rozhodující část bezpečné logiky je realizována reléově, zbytek elektronicky),

– elektronická (mikroprocesorová).

U traťových zabezpečovacích zařízení je kladen důraz na rozsah spolupůsobení vlaku. Zařízení se pak dělí na:

- poloautomatická (poloautobloky),
- automatická (autobloky).

Podle rozmístění traťových zařízení podél trati lze automatická zařízení dále dělit na:

- decentralizovaná (funkční bloky jsou umístěny v každém návěstním bodě),
- částečně centralizovaná (funkční bloky jsou umístěny pouze ve vybraných bodech na trati),
- centralizovaná (zařízení je koncentrováno do stanic).

Vlaková zabezpečovací zařízení se dělí podle způsobu přenosu informací mezi tratí a hnacím vozidlem na zařízení:

- bodová,
- semiliniiová,
- liniiová.

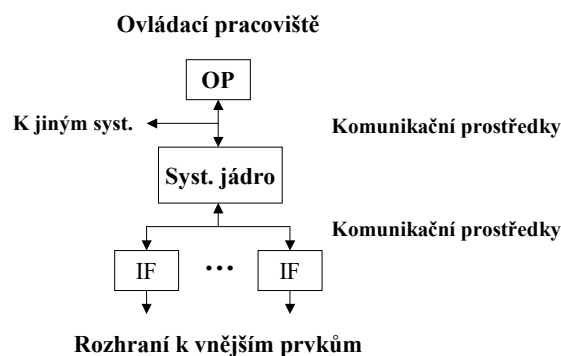
Podle způsobu kontroly souladu jízdy vlaku s přenášnými informacemi se vlaková zařízení dále dělí na zařízení s kontrolou:

- bdělosti strojvedoucího,
- rychlosti vlaku.

Zařízení přejezdová se dělí podle způsobu výstrahy na přejezdová zařízení:

- mechanická,
- světelná bez závor,
- světelná se závorami.

U moderních systémů dělení zabezpečovacích zařízení na zařízení staniční, traťová, vlaková a přejezdová ztrácí smysl, protože systémy jsou komplexní, se společným jádrem řídicím jednotlivé periferie a tyto celky pak tvoří nanejvýš pod-systémy. Na obr. 3-1 je základní blokové schéma takového systému.



Obrázek 1.3.: Stanice (Chudacek2005)

1.3. Klasifikace poruch

Chyba je rozdíl mezi správnou a skutečnou hodnotou nějaké veličiny. V zařízení se chyby mohou obecně objevit jako *důsledek (projev) poruchy některé jeho součásti, působením nějakého cizího vlivu* nebo *selháním lidského činitele*. Za poruchy hardware se považují všechna vybočení z předpokládaných vlastností stavebního prvku (součástky, dílu) zařízení. Předpokládanými vlastnostmi prvků přitom jsou vlastnosti odpovídající příslušným technickým podmínkám popisujícím jeho vlastnosti. Jako omyl lze označit každou lidskou činnost, která může vést k nezamýšlenému chování zařízení. V širším slova smyslu se jako **porucha** označují souhrnně všechny příčiny vedoucí k chybě, tj. poruch součástí, cizí vliv i omyl.

Bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích systémů

2.1. Spolehlivost

2.2. Bezpečnost

V různých publikacích je možné najít různé definice bezpečnosti. Například norma EN 61508¹ definuje bezpečnost jako nepřítomnost netolerovaného rizika. Z této definice je zřejmé, že bezpečnost je úzce spjatá s rizikem, a je nutné bezpečnost třeba chápat relativně. Když se řekne, že řídicí systém je bezpečný, neznamená to jeho absolutní bezpečnost (ta je prakticky nedosažitelná vzhledem na existenci objektivních faktorů, jako je například úroveň poznání, technologická úroveň a limitované finanční prostředky), ale taková úroveň bezpečnosti, která zodpovídá definovaným bezpečnostním požadavkům na tento řídicí systém.

Relativnost v pojmání bezpečnosti znamená posun od kvalitativního ke kvantitativnímu chápání bezpečnosti.

Kvalitativně je bezpečnost chápána jako schopnost řídicího systému zajistit omezení důsledků poruch řídicích systémů v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. Matematicky je možné kvalitativní bezpečnost řídicího systému vyjádřit jako

$$E_H = 0, \quad (2.1)$$

kde E_H je množina nebezpečných stavů, které jsou důsledkem výskytu pravděpodobných poruch řídicího systému. Pravděpodobná porucha je taková porucha z množiny všech poruch, jejichž výskyt během provozu řídicího systému je nutné předpokládat (vzhledem na požadovanou úroveň bezpečnosti řídicího systému).

Kvantitativně je bezpečnost řídicího systému chápána jako pravděpodobnost nepřítomnosti jakéhokoliv nebezpečného stavu v řídicím systému v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. Je zřejmé, že i když pravděpodobnost nebezpečného stavu řídicího je malá, neznamená to, že se nebezpečný stav nemůže vyskytnout v nejbližším časovém intervalu, Matematicky je možné kvantitativní bezpečnost vyjádřit tak, že

$$P_{HT}(t) \geq P_{HT}(t) > 0, \quad (2.2)$$

kde $P_{HT}(t)$ je pravděpodobnost tolerovaného nebezpečného stavu řídicího systému a $P_{HR}(t)$ je reálná pravděpodobnost nebezpečného stavu řídicího systému.

Na kvantitativním hodnocení bezpečnosti řídicího systému je v podstatě možné uplatnit stejné teoretické postupy, jako při hodnocení spolehlivosti technických systémů. Zásadní rozdíl je v tom, že při hodnocení spolehlivosti standardních řídicích systémů se obvykle rozlišují dva stavy - bezporuchový stav a poruchový stav, a k těmto dvěma stavům se vztahují také kvantitativní ukazatele spolehlivosti. Při hodnocení

bezpečnosti řídicích systémů musíme uvažovat s dvěma druhy poruchových stavů - bezpečným a nebezpečným poruchovým stavem. Bezpečnost řídicího systému se potom vyjadřuje pomocí ukazatelů bezpečnosti (například pravděpodobnost výskytu nebezpečné poruchy, intenzita nebezpečných poruch ...).

Při kvantitativním hodnocení důsledků poruch na bezpečnost řídicího systému se obvykle k hodnoceným řídicím systémům přistupuje jako k neobnovovaným objektům, protože z pohledu bezpečnosti jsou důležité dva stavy (bezpečný/nebezpečný) a analýza končí výskytem nebezpečné poruchy (může jít o jednu poruchu, nebo o kombinaci více poruch, které nejsou individuálně nebezpečné). To znamená, že od uvedení řídicího systému do provozu, až po výskyt nebezpečné poruchy, se může řídicí systém střídavě nacházet ve funkčním, nebo nefunkčním stavu (nefunkční ještě neznamená nebezpečný). Z tohoto důvodu ukazatele bezpečnosti jsou podobné ukazatelům bezporuchovosti neobnovovaných objektů.

2.2.1. Základní legislativa

- **EN 61508** - *základní všeobecná norma pro SRCS*; pojednává o funkční bezpečnosti elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic systems), obecná norma funkční bezpečnosti, která se opírá o dvě základní koncepce - životní cyklus bezpečnosti a úroveň integrity bezpečnosti (SIL)
 - EN 61508-1: Všeobecné požadavky
 - EN 61508-2: Požadavky na elektrické / elektronické / programovatelné elektronické systémy související s bezpečností
 - EN 61508-3: Požadavky na SW
 - EN 61508-4: Definice a zkratky
 - EN 61508-5: Příklady metod určování úrovně integrity bezpečnosti
 - EN 61508-6: Metodické pokyny na používání EN 61508-2, STN EN 61508-3
 - EN 61508-7: Přehled technik a opatření
- **EN 50126**: *Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*
 - Part 1: Basic requirements and generic process 1999
 - Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 for safety. 2007
 - Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS. 2008

¹Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností (Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic systems), obecná norma funkční bezpečnosti, která se opírá o dvě základní koncepce - životní cyklus bezpečnosti a úroveň integrity bezpečnosti (SIL)

Zabývá se specifikací parametrů RAMS (spolehlivost, pohotovost, udržitelnost, a bezpečnost) obecně pro všechny železniční systémy, reaguje na skutečnost, že naléhavost požadavků na bezpečnost funkce jednotlivých železničních systémů je různá a lze je tedy splňovat s různou pravděpodobností jejich selhání. Také zavádí pojem *integrita bezpečnosti* (*safety integrity - celistvost, úplnost, neporušenost bezpečnosti*), který definuje jako pravděpodobnost, s níž systém uspokojivě splní požadované bezpečnostní funkce, za všech stanovených podmínek a ve stanoveném časovém období. Jde o to, do jaké míry může být pro bezpečnost relevantní funkce narušena např. poruchami vlastního zařízení, omyly obsluhy, vnějším rušením atd.

- **EN 50128:** Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems. 2003
- **EN 50129:** Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related electronic systems for signalling. 2011 Modifikovaně byl pojem integrita bezpečnosti přenesen i do této normy pro železniční zabezpečovací systémy. I klasická zabezpečovací technika bez velkého zdůrazňování respektovala, že nejsou na všechna zařízení kladeny stejně důrazné bezpečnostní požadavky (kategorie zařízení, vedlejší tratě/hlavní tratě, zařízení pro ČD/zařízení pro vlečky, staniční zařízení/spádoviště atd.). Uvidíme dále, že pojmu integrita bezpečnosti je pro zabezpečovací zařízení dominantně obsažena oblast, kterou běžně v této technice označujeme (a také normá EN 50129 ji tak označuje ve své základní části) termínem technická bezpečnost. Úvahy okolo integrity bezpečnosti zde sledujeme odděleně od úvah o technické bezpečnosti (přes jejich podobnost) pro jejich výhodnost zejména v úvodních fázích projektu nového systému (zařízení, výrobu, atd.)
- **EN 50159:** Railway applications – Communication, signalling and processing systems - Safety-related communication in transmission systems. 2010

Vyjmenované normy se poněkud liší v definici termínu *bezpečnost*:

- Bezpečnost (Safety) – nepřítomnost nepřijatelných úrovní rizika poškození (EN50129)
- Bezpečnost (Safety) – nepřítomnost nepřijatelného rizika. (EN61508)
- Bezpečnost při poruše (Fail Safe) – vlastnost konstrukce objektu zabraňující, aby jeho poruchy způsobili nebezpečné poruchové stavy. (IEC 50 (191))
- Kvalitativní bezpečnost – schopnost systému zajistit omezení důsledku poruch systému v daných podmínkách a v daném časovém intervale.
- Kvantitativní bezpečnost – pravděpodobnost nepřítomnosti jakéhokoli nebezpečného stavu v systému v daných podmínkách a v daném časovém intervale.

2.2.2. Ukazatel bezpečnosti

Pravděpodobnost bezpečného provozu je pravděpodobnost, že objekt může bezpečně plnit požadovanou funkci v daných podmínkách v časovém intervalu t_1, t_2 .

$$R_S(t_1, t_2) = 1 - F_H(t_1, t_2), \quad (2.3)$$

kde $F_H(t_1, t_2)$ je distribuční funkce, která naopak vyjadřuje pravděpodobnost, že objekt nemůže bezpečně plnit požadovanou funkci k daným podmínkám v časovém intervalu t_1, t_2 .

$$F_H(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f_H(t) \cdot dt, \quad (2.4)$$

kde $f_H(t)$ je hustota pravděpodobnosti nebezpečné poruchy objektu.

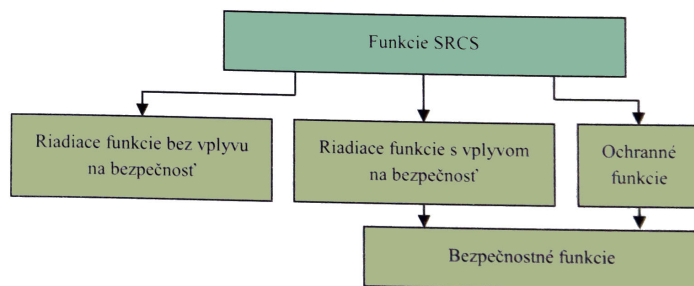
Intenzita nebezpečných poruch $\lambda_H(t)$ definujeme jako limitu poměru podmíněné pravděpodobnosti, že časový okamžik vzniku nebezpečné poruchy objektu T padne do daného časového intervalu $t, t + \Delta t$, přičemž délka časového intervalu $\Delta t \rightarrow 0$

$$\lambda_H = \frac{f_H(t)}{R_S(t)}. \quad (2.5)$$

Protože nebezpečné poruchy jsou méně časté, zkoušky na určení požadovaných ukazatelů bezpečnosti by bylo třeba provádět dlouhodobě, což je prakticky nemožné.

2.3. Integrita bezpečnosti

Všeobecně je možné konstatovat, že SRCS realizuje řídicí i ochranné funkce (obr. 3.1). Jelikož selhání řídicí funkce může způsobit ohrožení bezpečnosti, je třeba i tyto funkce považovat za bezpečnostní. Bezpečnostní funkce jsou definované



Obrázek 2.1.: Vztah mezi bezpečnostními funkcemi a moduly SRCS

na základě analýzy rizik jako technická opatření na snížení rizika spojeného s konkrétními nebezpečí na tolerovatelnou úroveň. Účinnost bezpečnostní funkce se určuje pomocí úrovně integrity bezpečnosti (*SIL - safety integrity level*).

Norma *EN 61508* definuje integritu bezpečnosti jako pravděpodobnost, že SRCS bude plnit požadované bezpečné funkce za všech stanovených podmínek v rámci stanoveného operačního prostředí a během stanoveného časového období. Všeobecně lze konstatovat, že čím je integrita bezpečnosti SRCS větší, tím je menší pravděpodobnost selhání bezpečnostních funkcí realizovaných SRCS.

Integrita bezpečnosti se skládá ze dvou částí a to:

- *integrita bezpečnosti proti systematickým poruchám*: jde o nekvantifikovatelnou část integrity bezpečnosti, která souvisí s nebezpečnými systematickými poruchami

hardware a software; integrity bezpečnosti proti systematickým poruchám se dosahuje především opatřeními na předcházení chybám a poruchám; vzhledem k tomu, že jde o nekvantifikovatelnou část integrity bezpečnosti, je vhodnější chápat integritu bezpečnosti jako vlastnost a né jako pravděpodobnost; hodnocení integrity bezpečnosti proti systematickým chybám a poruchám se realizuje kontrolou dodržování opatření předcházejících chybám a poruchám, mezi které patří také důsledné testování korektní realizace bezpečnostních funkcí;

- *integrity bezpečnosti proti náhodným poruchám*: jde o kvantifikovatelnou část integrity bezpečnosti, která se týká náhodných poruch hardware vyplývajících z konečné bezporuchovosti použitých součástek; hodnocení integrity bezpečnosti proti náhodným poruchám se realizuje prostřednictvím pravděpodobnostních výpočtů.

Aby se dosáhla požadovaná integrity bezpečnosti, musí být splněné požadavky na integritu proti systematickým poruchám i náhodným poruchám.

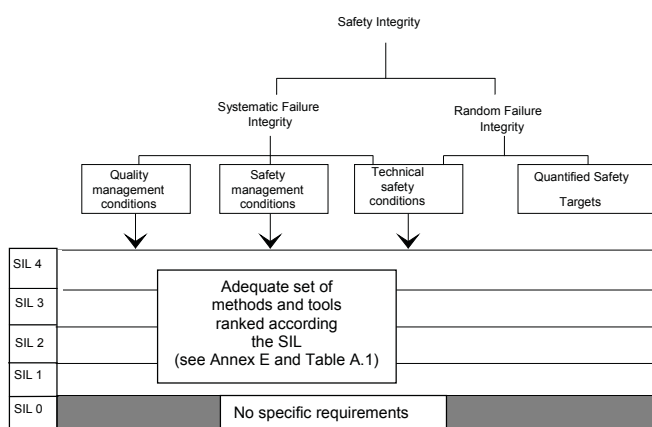
2.3.1. Úroveň integrity bezpečnosti

Úroveň integrity bezpečnosti (*Safety Integrity Levels - SIL*) se dělí podle EN 50129 do čtyř kategorií - úroveň 4 (SIL 4) je nejvyšší, úroveň 1 (SIL 1) je nejnižší. Pokud se objevuje úroveň SIL 0, značí to, že se jedná o systém na které nejsou kladeny žádné bezpečnostní požadavky (ve smyslu zabezpečovací techniky)

Proto, aby SRCS mohl být zařazen do odpovídající úrovně bezpečnosti SIL, musí vyhovovat těmto faktorům:

- naplnění podmínek řízení kvality,
- naplnění podmínek řízení bezpečnosti,
- splnění požadavků na technickou bezpečnost,
- dosažení kvantitativního cíle

Jak patrně, splnění kvantitativního ukazatele samo o sobě neznamená, že bylo dosaženo odpovídající úrovně bezpečnosti. To platí ovšem i naopak - splnění tří předchozích podmínek (řízení kvality, řízení bezpečnosti a technické bezpečnosti) nezaručuje, že bylo dosaženo kvantitativních cílů a nelze tedy tvrdit, že zařízení lze zařadit do odpovídající skupiny SIL (3.2).



Obrázek 2.2.: Vztah mezi SIL úrovní a technikami jejich dosažení

Žádná z norem CENELEC nepředepisuje, které zařízení musí být jaké úrovně. Toto určení je ponecháno na provozovateli,

resp. regulátorovi, vyplývá také z provedených analýz rizik a hazardů.

Následující tabulka shrnuje definované úrovně integrity bezpečnosti a zároveň dává do souvislosti s tolerovatelnými četnostmi hazardů. SIL jsou tedy prostředkem přiřazení kvalitativních přístupů (pro vyloučení systematických poruch) ke kvantitativnímu přístupu (pro řízení náhodných poruch), neboť systematické poruchy nelze kvantifikovat.

Úroveň integrity bezpečnosti SIL	Tolerovatelná četnost hazardu THR [za hodinu a funkci]
4	$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$
3	$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$
2	$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$
1	$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$

Tabulka 2.1.: SIL tabulka: Funkce, jejichž kvantitativní požadavky by převyšovaly hranici 10^{-9} , která se zdánlivě nelogicky objevuje u SIL4, vyžaduje podle normy EN 50129 zvláštní technická nebo provozní opatření pro dosažení tak mimořádného cíle.

1. Z normy jasně vyplývá rozdělení na dvě skupiny SIL 1,2 vs. SIL 3,4, u nichž je výrazný rozdíl v požadavcích, které je potřeba splnit, aby SRCS mohl patřit do dané skupiny. To je velmi dobře patrné z tabulek v příloze E normy EN 50129, která se zabývá technikami a opatřeními pro řízení náhodných a systematických poruch.
2. Druhým důležitým faktem je poněkud odlišná definice chápání úrovně SIL v EN 61508. *Funkční bezpečnost elektrických, elektronických, programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností*. Tato norma je obecnou normou pro průmyslové elektronické systémy, z níž vycházejí normy EN 50126, EN 50 129 atd. jakožto specifické normy pro železniční aplikace. Důležitou odlišností ve specifikaci SIL, viz tab. 2 a 3 v první části této normy (EN 61508-1). Nicméně tabulka 3 pro režim provozu s vysokým, resp. nepřetržitým vyžádáním odpovídá tabulce v normě EN 50129. Avšak i pro tyto systémy se zde jeví určitá odlišnost v požadavcích na zajištění dané SIL. Norma EN 61508 je zaměřena pouze na *funkční bezpečnost*, není zde zahrnutý požadavek na bezpečnou reakci na ojedinělé náhodné poruchy. S poruchami se samozřejmě pracuje, mají být provedena opatření k jejich maximálnímu potlačení - četnosti i následku, nicméně může stačit, když systém je schopen poruchy detekovat a dát o nich vědět (např. obsluze). Závěrem nutno dodat, že je potřeba určité obezřetnosti k tvrzení, že systém splňuje daný SIL. Tento údaj musí být doplněn specifikací, která norma byla při klasifikaci použita.

Část II.

PZT

Table of Contents

4	Výhybka	13
	Seznam literatury	13
5	Detekce kolejových vozidel	14
	Seznam literatury	14
6	Návěstidlo	15
	Seznam literatury	15

--

Výhybka

3.1	Spolehlivost	7
3.2	Bezpečnost	7
3.2.1	Základní legislativa	7
3.2.2	Ukazatel bezpečnosti	8
3.3	Integrita bezpečnosti	8
3.3.1	Úroveň integrity bezpečnosti	9
	Seznam literatury	9

Detekce kolejových vozidel

Seznam literatury	13
-----------------------------	----

Návěstidlo

Seznam literatury	14
-----------------------------	----

Část III.

MOL