

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

METODIKA NAVRHOVÁNÍ UKONČENÍ KUSÝCH  
KOLEJÍ

METHODOLOGY FOR DESIGNING THE DEAD END TRACKS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Petr Guziur

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.

BRNO 2021

© Ing. Petr Guziur, 2021  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební  
Veveří 331/95  
602 00 Brno

### ***Abstrakt***

Práce se zabývá navrhováním ukončení kusých kolejí a soustředí se zejména na navrhování pohyblivých zarážedel. Do rozhodovacího procesu ukončení kusé koleje vstupuje řada faktorů, mezi které patří hlavně poloha kusé koleje ve stanici, úroveň zabezpečení, prostorové možnosti, počet a skladba vlaků, které na kusou kolej pravidelně zajíždějí a další.

Z rešeršní části této práce vyplývá, že právě pohyblivá zarážedla jsou vhodná a v zahraničí preferovaná, pro ukončení kusé koleje. Z tohoto důvodu je tomuto typu zarážedla věnována pozornost s důrazem na popis postupu návrhu. Součástí práce je návrh výpočetního programu s využitím tabulkového editoru a jazyka Visual Basic pro usnadnění návrhu pohyblivého zarážedla. V rámci návrhu jsou popsány vybrané faktory, které návrh zarážedla nejvíce ovlivňují.

### ***Abstract***

This work aim is designing of dead-end tracks with focus mainly on the friction buffer stop design. There are numerous factors in decision-making process of ending the dead-end track, such as position of the track in station, level of train control system, area capabilities, number and types of trains that regularly run on the track, etc.

The recherche part of this work shows that friction buffer stop is the most suitable construction and preferred type of ending the dead-end track abroad. This is the reason for paying attention to that type of buffer stop with emphasis on the process of design itself. This work includes design of a program using a spreadsheet editor and Visual basic to make the design of friction buffer stop easier. There are described selected factors with highest impact on the design.

***Klíčová slova***

Zarážedlo, kinetická energie, brzdná síla, zpomalení, kusá kolej, vlaková cesta, boční ochrana, mimořádná událost.

***Key words***

Buffer stop, kinetic energy, braking force, deceleration, dead-end track, train route, flank protection, extraordinary event.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Petr Guziur *Metodika navrhování ukončení kusých kolejí*. Brno, 2021. 95 s., 15 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce Ing. Richard Svoboda, Ph.D.

**OBSAH**

ÚVOD .....	8
1 STAV V ČESKÉ REPUBLICE .....	9
2 CÍLE PRÁCE .....	13
3 ZABEZPEČENÍ JÍZDNÍCH CEST .....	14
3.1 Vlakové cesty .....	14
3.2 Posunové cesty .....	14
3.3 Boční ochrana vlakových cest.....	14
3.3.1 Přímá boční ochrana .....	15
3.3.2 Nepřímá boční ochrana .....	15
3.4 Výluky současných jízdních cest .....	15
3.4.1 Ochranné vzdálenosti.....	16
3.4.2 Prokluzové vzdálenosti.....	16
3.5 Jízda vlaku pod dohledem ETCS .....	16
4 TEORIE POHYBU VOZIDEL .....	19
4.1 Výpočet kinetické energie pohybujícího se kolejového vozidla.....	19
4.2 Výpočet vozidlových odporů .....	22
4.3 Výpočet traťových odporů .....	23
4.4 Výpočet rychlostní výšky.....	24
4.5 Výpočet brzdné dráhy .....	25
5 REŠERŠE NAVRHOVÁNÍ UKONČENÍ KUSÝCH KOLEJÍ A TYPŮ ZARÁŽEDEL V ZAHRANIČÍ.....	27
5.1 Obecné požadavky na zarážedla .....	27
5.2 Návrh zarážedla.....	28
5.2.1 Kinetická energie .....	28
5.2.2 Rychlost nárazu.....	29
5.2.3 Geometrické uspořádání koleje .....	31
5.3 Typy zarážedel .....	31
5.3.1 Pevná zarážedla s mechanickými nárazníky.....	32
5.3.2 Pevná zarážedla s hydraulickými nárazníky.....	34
5.3.3 Pohyblivá zarážedla .....	35
5.3.4 Dočasná zarážedla.....	38
5.4 Konstrukce umístěné v oblasti za koncem koleje - ochranné zdi .....	40
5.5 Shrnutí rešeršní části .....	42
6 ANALÝZA RIZIKA MOŽNÉHO OHROŽENÍ NA KUSÉ KOLEJI.....	43

---

7	NÁVRH ZARÁŽEDLA.....	63
7.1	Návrh pohyblivého zarážedla.....	65
7.1.1	Určení nárazové rychlosti.....	65
7.1.2	Stanovení hmotnosti kolejových vozidel .....	69
7.1.3	Kinetická energie .....	70
7.1.4	Koeficient bezpečnosti.....	71
7.1.5	Brzdná síla .....	71
7.1.6	Brzdná práce.....	72
7.1.7	Brzdné zpomalení.....	73
7.1.8	Posouzení .....	73
8	VÝPOČTOVÝ PROGRAM.....	74
8.1	Jednotlivé části zpracovávacího programu .....	75
9	PŘÍKLAD NÁVRHU UKONČENÍ KUSÉ KOLEJE POHYBLIVÝM ZARÁŽEDLEM.....	82
10	ZÁVĚR.....	87
	PŘÍLOHY .....	88
A.	SROVNÁNÍ POŽADAVKŮ NA NÁVRH ZARÁŽEDEL V ZAHRANIČÍ.....	89
B.	ZHODNOCENÍ RIZIK MOŽNÉHO OHROŽENÍ V OKOLÍ UKONČENÍ KUSÉ KOLEJE ..	92
C.	KOMPLETNÍ ZÁPIS PROGRAMU „NÁVRH ZARÁŽEDLA“ V TABULKOVÉM EDITORU .....	94
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	105
	SEZNAM TABULEK.....	106
	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	107
	PUBLIKAČNÍ ČINNOST .....	109

---

## Úvod

Metodika navrhování ukončení kusých kolejí se zabývá navrhováním zarážedel. Zarážedlo je zařízení na konci kusé koleje nebo koleje uzavřené, jehož úkolem je zastavení kolejového vozidla. Jedná se o konstrukci železničního spodku, která má omezit dopady mimořádných událostí na kusé koleji, zejména projetí návěsti zakazující jízdu vlaku a nedostatečné brždění před koncem koleje.

Snaha zabránit pohybu kolejového vozidla za konec koleje je zřejmá již z prvních úprav konců kusých kolejí. Za nejjednodušší možnosti ukončení kusé koleje můžeme považovat kolej se zasypávkou vhodným materiálem (například pískem, zeminou či šterkem) nebo připevnění dřevěného pražce či trámce na kolejnice. V tomto případě se nedá říct, že by se jednalo o zarážedla, jak je známe dnes. Jedná se především o způsob, jakým ke zpomalení a zastavení kolejového vozidla dochází. V případě zásypu koleje nebo trámce na koleji dochází k „nárazu“ na úrovni prvního dvojkolí, kde je zabráněno volnému odvalování kol dále po kolejnicích.

Dalším krokem ve vývoji se dostáváme k pevným zarážedlům, u kterých, na rozdíl od výše zmíněných způsobů, dochází ke kontaktu vlaku a zarážedla v úrovni předních nárazníků. Může se jednat o konstrukci tvořenou z dřevěných trámů, ocelových profilů, kolejnic či masivní betonový blok, případně kombinace výše uvedených. V dnešní době se jedná o nejpoužívanější typ ukončení kusých kolejí.

Se zvyšujícími se rychlostmi a požadavky na bezpečnost však pevná zarážedla přestávají v určitých případech vyhovovat a byly vyvinuty nové typy zarážedel – takové, které zpomalí kolejové vozidlo postupně. Můžeme tedy jmenovat další typy zarážedel a to zarážedla pohyblivá a zarážedla hydraulická (pevné nebo pohyblivé zarážedlo s hydraulickými nárazníky). Tato zarážedla dosahují větších odolností, než zarážedla pevná a zpomalí kolejové vozidlo postupně.

Pohyblivá zarážedla obvykle sestávají z pevného ocelového rámu s nárazníky, který je pomocí brzdných prvků uchycen ke kolejnicím. V případě nárazu je kinetická energie přeměněna na teplo, které vzniká při tření brzdných prvků o kolejnice. Energie, kterou je schopno zarážedlo absorbovat závisí tedy na počtu brzdných prvků, brzdné síle brzdných prvků a délce brzdění. Vzhledem k tomu, že pohyblivá zarážedla vyžadují určitou pracovní délku koleje (brzdnou vzdálenost), nelze je umístit bezprostředně na konec koleje. Dochází tak ke zkrácení užitečné délky koleje, resp. k větším prostorovým nárokům při použití tohoto druhu zarážedla.

Hydraulická zarážedla tvoří pevný betonový blok nebo ocelový rám (kotvený do betonové desky nebo na kolejnice), na který jsou upevněny hydraulické nárazníky, které se liší od klasických nárazníků na pevných zarážedlech. Hydraulický systém je navržen tak, aby se kinetická energie z nárazu absorbovala postupně a vlak byl zastaven plynuleji než u pevného zarážedla s mechanickými nárazníky. Účinnost hydraulických nárazníků je však menší, než účinnost pohyblivých zarážedel a ke zpomalení vlaku dochází na podstatně menší vzdálenosti.

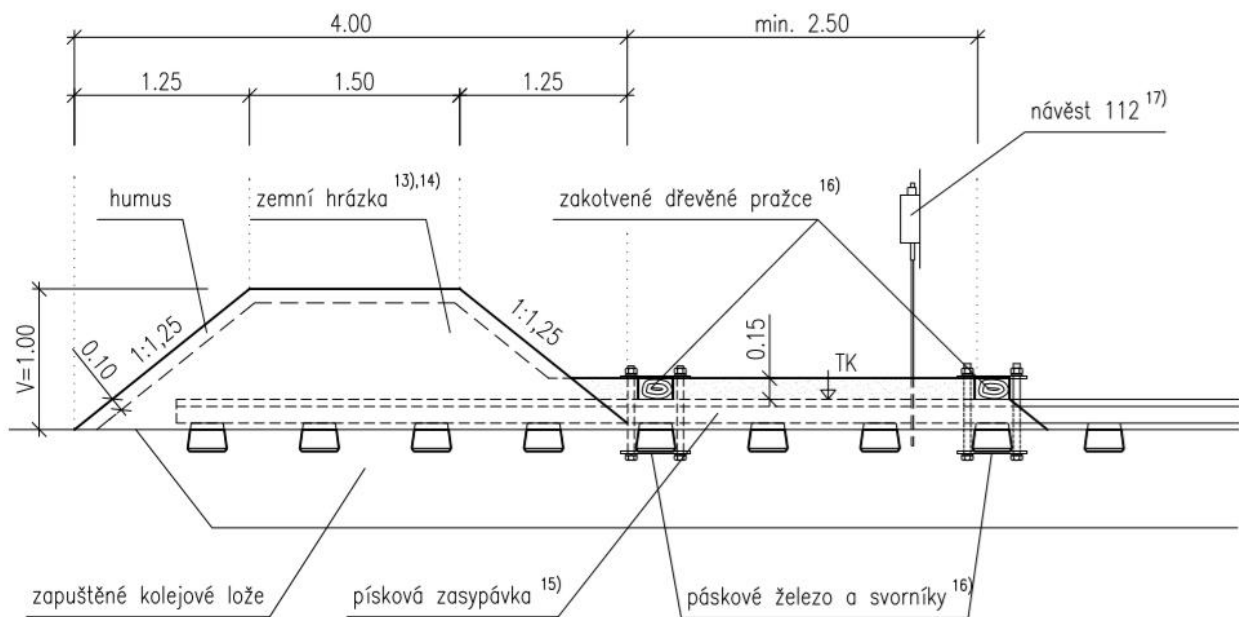


## 1 STAV V ČESKÉ REPUBLICE

Předpis SŽDC (ČD) Ž9, Vzorové listy železničního spodku, Zarážedla [3] uvažuje čtyři druhy pevných zarážedel, a to zarážedlo zemní, zarážedlo kolejnicové, zarážedlo betonové typ „SUDOP“ a zarážedlo betonové typ „DSB“. Předpis připouští použití i zarážedel jiných konstrukcí, avšak případy odlišné od vzorového listu podléhají schvalovacímu řízení. Předpis neobsahuje žádné informace jak k návrhu ukončení kusé koleje přistupovat, který typ z uvedených konstrukcí volit na základě např. kolejových vozidel, které na kusou kolej pravidelně zajíždí, úrovně zabezpečení atd.

### Zarážedlo zemní

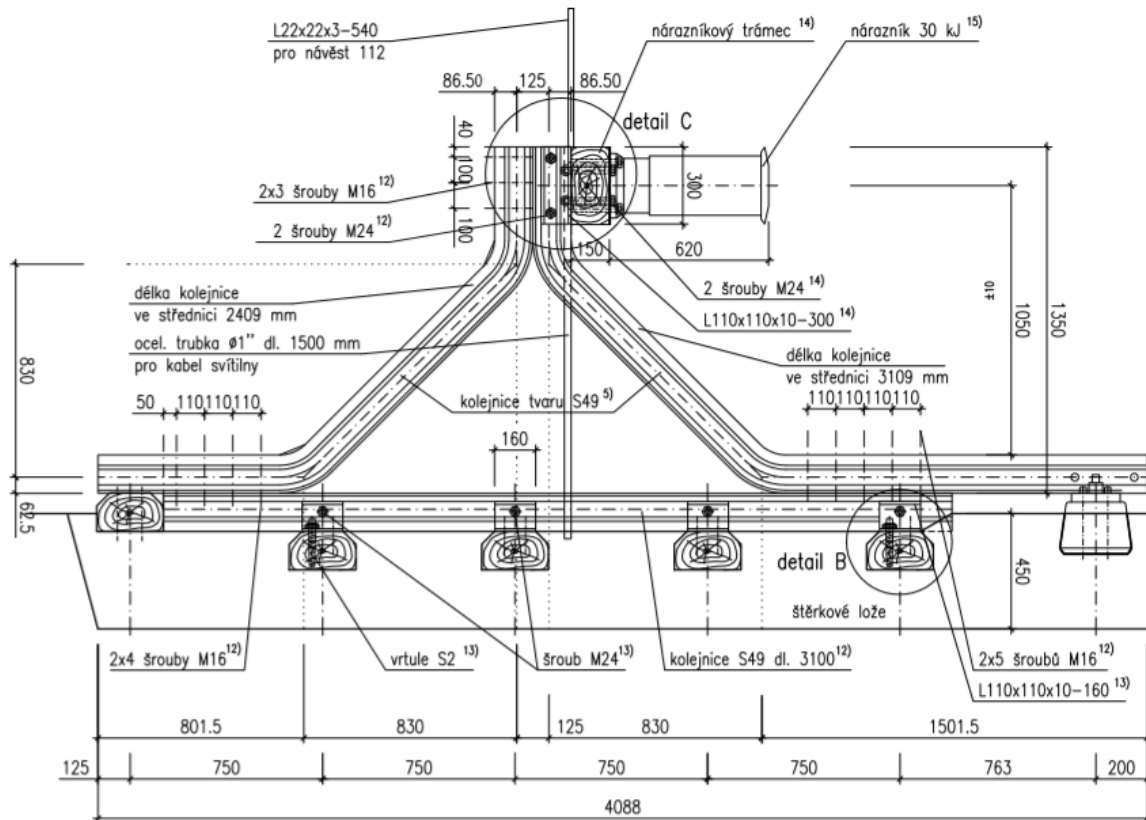
Jedná se o zarážedlo tvořené zemní hrázkou za koncem kusé koleje, jehož účinnost se dá zvýšit prodloužením koleje s pískovou zasypávkou. Vozidla jsou brzděna postupně, hnutím písku a zeminy. Jako výhodu lze uvést, že při najetí nedochází k většímu poškození vozidla a obnova zarážedla je poměrně jednoduchá.



Obr. 1.1 Zemní zarážedlo [3]

## Zarážedlo kolejnicové

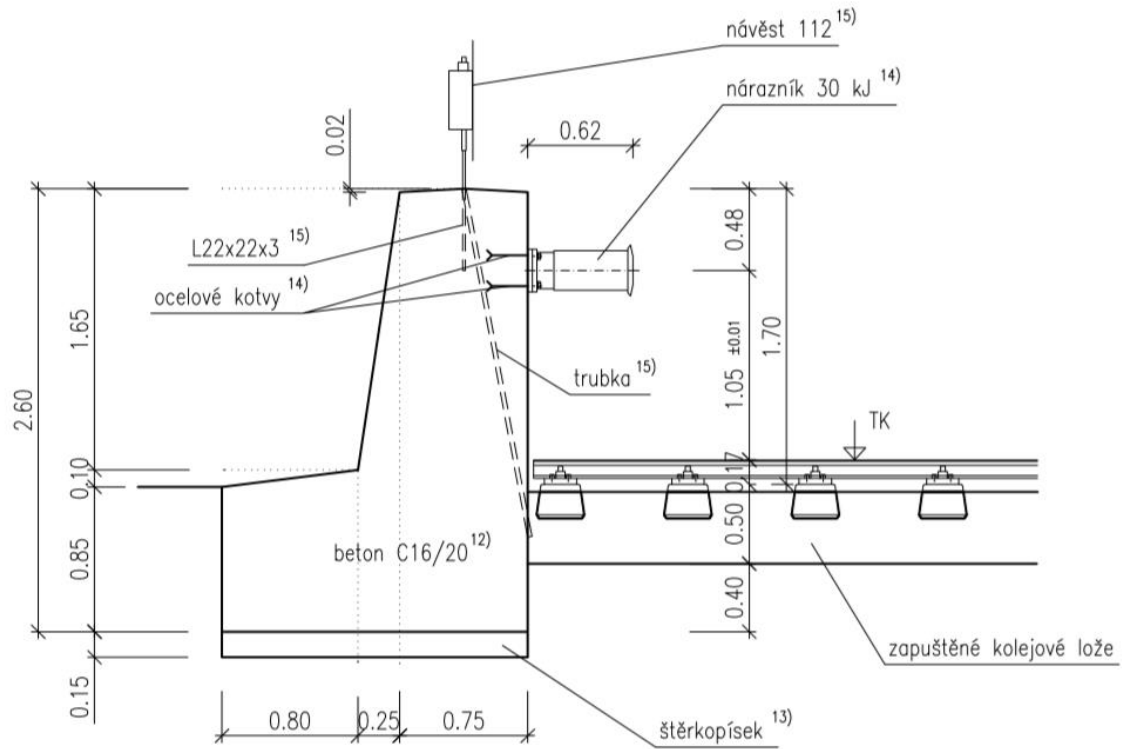
Zarážedlo je tvořeno ohnutými kolejnicovými profily jako dva rámy ve tvaru trojúhelníka. Zarážedlo je s koncem kusé koleje spojeno kolejnicovými spojkami a v horní části spojuje dva rámy dřevěný trámec s nárazníky. Vzhledem k malé konstrukční šířce zarážedla je vhodné i pro koleje s malými osovými vzdálenostmi.



Obr. 1.2 Kolejnicové zarážedlo [3]

### Zarážedlo betonové typ „SUDOP“

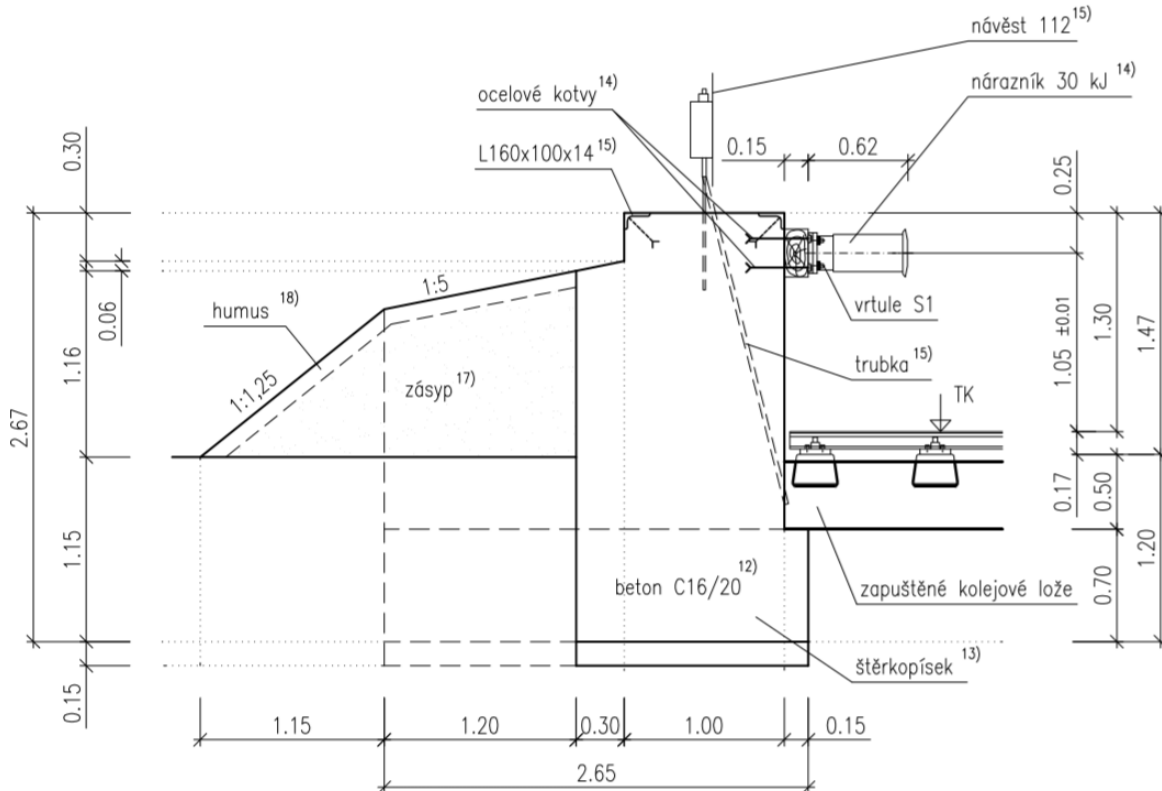
Zarážedlo je tvořeno monolitickým betonovým blokem, umístěným bezprostředně za konec koleje, osazeným nárazníky. Dojde-li při nárazu k poškození zarážedla, je jeho obnova obtížná a nákladná, protože dojde k destrukci zarážedla.



Obr. 1.3 Betonové zarážedlo "SUDOP" [3]

### Zarážedlo betonové typ „DSB“

Jedná se o betonové zarážedlo tvořené monolitickým betonovým blokem, v půdorysu ve tvaru písmene „U“. Prostor za čelní zídkou zarážedla je následně zasypán vhodnou zemínou a zarážedlo je opatřeno nárazníky. Vzhledem k hybridní konstrukci, vykazuje zarážedlo typu „DSB“ větší odolnost, než zarážedlo typu „SUDOP“. Jedná se však pořád o konstrukci, která je při poškození obtížně a nákladně opravitelná, či nahraditelná.



Obr. 1.4 Betonové zarážedlo "DSB" [3]

Hodnoty odolností pevných zarážedel používaných v ČR jsou zobrazeny v Tab. 1.1.

Tab. 1.1 Odolnosti pevných zarážedel dle Ž9 [3]

Typ zarážedla	6 vozů po 15 t	1 vůz 80 t
Kolejnicové	1,0 km.h <sup>-1</sup>	1,6 km.h <sup>-1</sup>
Betonové typ "SUDOP"	0,7 km.h <sup>-1</sup>	1,1 km.h <sup>-1</sup>
Betonové typ "DSB"	1,0 km.h <sup>-1</sup>	1,6 km.h <sup>-1</sup>

Odolnost zemních zarážedel nebyla statickým výpočtem stanovena.

V porovnání se zarážedly jiných konstrukcí jsou hodnoty odolností nízké a při jejich překročení dochází k destrukci zarážedla a zpravidla i kolejového vozidla.

## 2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je sestavení metodiky pro navrhování ukončení kusých kolejí na tratích v České republice. V současné době je ve vzorových listech Správy železnic zakotveno použití pevných zarážedel na konci kusých kolejí, která ovšem nevyhovují současným požadavkům. Tato metodika by měla být primárně určena projektantům, kterým by usnadnila práci s návrhem ukončení kusých kolejí.

Do návrhu vstupuje řada faktorů jako např. úroveň zabezpečení, počet vlaků, které zajíždějí na kusou kolej, typy vlaku, jejich hmotnost, rychlost apod. Do rozhodovacího procesu vstupuje také poloha kusé koleje, tj. zda může dojít k ohrožení osob nebo konstrukcí v okolí zarážedla. Vzhledem k závažnostem dopadu mimořádných událostí na těchto kusých kolejích je potřeba ukončení kusé koleje dobře zvážit a navrhnout vhodné opatření.

Pro návrh metodiky je zapotřebí řešit dílčí cíle:

- Rešerše ukončení kusých kolejí u zahraničních správců – vzhledem k tomu, že se v České republice doposud používala pouze pevná zarážedla, tak zkušenosti s návrhem jiných konstrukcí nejsou k dispozici. Jiné typy zarážedel jsou však v okolních státech běžně používané, proto je vhodné provést důkladnou rešerši zahraničních předpisů a další odborné literatury.
- Analýza rizik – sestavení nehodových scénářů na různých typech kusých kolejí, resp. jejich okolí a možného ohrožení cestujících a majetku při nárazu či vykolejení vlaku. Na základě hodnocení rizik navrhnout vhodný typ ukončení kusé koleje. Porovnání nehodových scénářů s daty o mimořádných událostech na kusých kolejích.
- Stanovení a popis klíčových vstupních parametrů
- Určení postupu výběru zarážedla – tato práce se zaměřuje zejména na popis návrhu pohyblivého zarážedla. Vzhledem k jeho variabilitě je možné takové zarážedlo při správné konfiguraci použít v mnoha případech.

## 3 ZABEZPEČENÍ JÍZDNÍCH CEST

### 3.1 VLAKOVÉ CESTY

Vlaková cesta je úsek koleje v dopravně s kolejovým rozvětvením, určený pro danou jízdu vlaku [19].

Nejvyšší rychlost vlaku stanovená v ČR je  $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Jízda vlaků ve stanicích se řídí hlavními návěstidly a je možná jen na dopravních kolejích.

Dle předpisu SŽDC D1 [19] je oblast vlakové cesty úsek koleje v obvodu dopravní s kolejovým rozvětvením pro průjezd, vjezd a odjezd vlaku vymezen takto:

- průjezd – úsek koleje mezi vjezdovým návěstidlem na vjezdové straně a úrovní vjezdového návěstidla pro opačný směr jízdy vlaku na odjezdové straně;
- vjezd – úsek koleje od vjezdového (cestového) návěstidla na vjezdové straně vlaku až k hlavnímu návěstidlu s návěstí zakazující jízdu vlaku, popř. k červené desce nebo červenému terči s návěstí „Stůj“, nahrazující hlavní návěstidlo a upravené jako nepřenosné návěstidlo; tam, kde takové návěstidlo není nebo není přímo u koleje, až k návěstidlu s návěstí „Konec vlakové cesty“; při vjezdu na kusou kolej úsek koleje od vjezdového (cestového) návěstidla na vjezdové straně vlaku k zarážedlu kusé koleje;
- odjezd – úsek koleje od konce vlaku až do úrovně vjezdového návěstidla pro opačný směr jízdy na vjezdové straně.

### 3.2 POSUNOVÉ CESTY

Posunová cesta je úsek koleje v dopravně s kolejovým rozvětvením, určený pro danou jízdu posunového oddílu [19].

Dle předpisu SŽDC D1 [19] je úsek posunové cesty vymezen jako úsek koleje od konce posunového oddílu až k místu, které stanoví zaměstnanec řídící posun.

Při posunu se nesmí překročit rychlost:

- a)  $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , jsou-li vozidla tažena, nebo při jízdě samostatných nebo spojených hnacích vozidel (speciálních vozidel);
- b)  $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , jsou-li vozidla sunuta;
- c)  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , tj. rychlost chůze při najíždění na stojící vozidla.

Posun je možné provádět na manipulačních kolejích, kolejích pro zvláštní účely i na kolejích dopravních (dokonce i na obsazené dopravní koleji).

### 3.3 BOČNÍ OCHRANA VLAKOVÝCH CEST

Boční ochranu vlakových cest můžeme dělit na ochranu přímou a ochranu nepřímou.

### 3.3.1 Přímá boční ochrana

Přímou boční ochranou vlakových cest rozumíme: ochrana jízdy drážních vozidel před ohrožením nedovolenou jízdou ze sbíhajících se kolejí, zajišťovaná odvratnou polohou výhybek nebo výkolejek [22].

Existují rozdílné podmínky pro boční ochranu vlakových cest s rychlostí do  $120 \text{ km.h}^{-1}$  (včetně) a nad tuto rychlost.

Přímá boční ochrana vlakových cest s rychlostí do  $120 \text{ km.h}^{-1}$  se vyžaduje:

- ze všech vlečkových kolejí;
- z manipulačních kolejí, které:
  - jsou určeny pro nakládku a vykládku vozů;
  - jsou trvale pronajaty organizacím, zajišťujícím výstavbu nebo údržbu železničních zařízení;
  - mají průměrný spád větší než 1 ‰ směrem k místu možného ohrožení vlakové cesty;
  - nejsou odděleny od dopravních kolejí návěstidly se zakazující návěstí;
  - po ukončení posunu smějí být v neobsazené dopravně obsazeny vozidly.

Přímá boční ochrana vlakových cest s rychlostí nad  $120 \text{ km.h}^{-1}$  se trvale vyžaduje:

- ze všech vlečkových kolejí;
- ze všech manipulačních kolejí.

#### *Odvratná kolej*

Odvratná kolej je kolej zabraňující nežádoucímu vjetí vozidel do vlakové, popřípadě posunové cesty [19]. Zpravidla se odvratné koleje budují na rychlost  $40 \text{ km.h}^{-1}$  (použití výhybky s poloměrem odbočení  $R = 190 \text{ m}$ ). Doporučená délka odvratné koleje je  $50 \text{ m}$  [4]. Délka však není nijak závislá na uspořádání zhlaví nebo rychlostech na kolejích, které jsou do odvratu zavedeny. Pro určení rychlosti na konci odvratné koleje je vhodné stanovit délky odvratných kolejí, ať už dle rychlostí na kolejích do odvratu zavedených, úrovně zabezpečení nebo konstrukčního uspořádání zhlaví. Každá odvratná kolej musí být ukončena zarážedlem.

### 3.3.2 Nepřímá boční ochrana

Nepřímou boční ochranou vlakových cest rozumíme: ochrana jízdy drážních vozidel před ohrožením nedovolenou jízdou ze sbíhajících se kolejí zajišťovaná zakazující návěstí na návěstidlech. [22]

## 3.4 VÝLUKY SOUČASNÝCH JÍZDNÍCH CEST

Jednou z podmínek, které musí splňovat staniční zabezpečovací zařízení druhé a vyšší kategorie je znemožnit současné postavení jízdních cest, u nichž se vlaková cesta pro rychlost větší než  $120 \text{ km.h}^{-1}$  stýká, kříží nebo překrývá s pokračováním jiné jízdní cesty. Jedná se o podmínku zásadní vzhledem ke zřizování přímé boční ochrany.

V případě nezajištění přímé boční ochrany vlakové cesty s rychlostí větší než  $120 \text{ km.h}^{-1}$  není možné současně postavit příslušné vlakové cesty, nebo dochází k omezení rychlosti na rychlost do

120 km.h<sup>-1</sup> (vlaková cesta s omezenou rychlostí – VCO). Omezení rychlosti je většinou závislé na možnosti hlavních návěstidel (tzn. jakou rychlost je možné příslušným návěstidlem návěstit – zpravidla se jedná o rychlost nižší, než 100 km.h<sup>-1</sup>). Z těchto omezení vyplývá, že ve stanicích, kde se používají VCO, dochází k omezení rychlosti na úroveň nižší, než ve stanicích, kde žádná omezení nejsou (tj. ve stanicích s rychlostí na hlavních kolejích do 120 km.h<sup>-1</sup>). Vzhledem k tomu, že ani systém jako např. KANGO<sup>1</sup> tyto zásady nezohledňuje, dochází k pravidelnému prodlužování jízdních dob vlaků. Jediné možné řešení z hlediska infrastruktury je budování přímé boční ochrany (odvratných kolejí) také z kolejí dopravních, ze kterých může docházet k ohrožení vlakové cesty s rychlostí větší než 120 km.h<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup>KANGO – *Komplexní Aplikace Návrhu Grafikonu Online. Informační systém obsahující editor kmenových dat (železniční síť, vozy, hnací vozidla aj.), editor vlaků a nástroje sloužící pro konstrukci grafikonu vlakové dopravy (GVD).*

### 3.4.1 Ochranné vzdálenosti

V případě, kdy není použita přímá boční ochrana vlakové cesty s rychlostí větší než 120 km.h<sup>-1</sup> ani postavena VCO, vytváří se tzv. ochranná vzdálenost. Ochranná vzdálenost je dodatečná vzdálenost (úsek koleje) před návěstidlem se zakazující návěstí (prostředkem nepřímé boční ochrany), zpravidla po nejbližší předchozí předvěst. Princip ochranných vzdáleností se užívá v ČR.

### 3.4.2 Prokluzové vzdálenosti

Prokluzová vzdálenost je pojistná vzdálenost za návěstidlem se zakazující návěstí, která je určena pro případné projetí návěstí.

V České republice nelze určit délku prokluzových vzdáleností, jelikož se v ČR využívá liniový přenos informace vlakového zabezpečovače. V tomto případě nelze určit vzdálenost vlaku od požadovaného místa zastavení, ani zda dochází k dostatečnému snižování rychlosti. Prokluzové vzdálenosti jsou využívány např. na německých drahách, kde dochází k bodovému přenosu informace vlakového zabezpečovače. Na základě informace z tohoto zabezpečovače je možné určit vzdálenost vlaku od místa zastavení a v případě nedostatečného snižování rychlosti vyvolá mobilní část vlakového zabezpečovače brzdění a vlak zastaví před návěstí se zakazující návěstí, nebo jí přejede maximálně o prokluzovou vzdálenost (pro  $V > 60$  km.h<sup>-1</sup> je stanovena prokluzová vzdálenost na 200 m).

## 3.5 JÍZDA VLAKU POD DOHLEDEM ETCS

ETCS je vlakový zabezpečovač, který má úplnou kontrolu nad rychlostí vlaku a výrazně tím přispívá k bezpečnosti železničního provozu.

Moderní vlakové zabezpečovače (ATP) kontinuálně kontrolují, zda vlak (vedený strojvedoucím, nebo systémem automatického vedení vlaku) nejede rychleji, než jak dovoluje jeho aktuální dynamický rychlostní profil, který je vypočten s uvažováním jeho garantovaných brzdných schopností. Základem převedení statického rychlostního profilu na dynamický je výpočet diferenciální rovnice brzdění – brzdné křivky. Základním vstupem pro jejich stanovení je



kromě dalších parametrů vlaku (jízdni odpor, rotující hmoty, ...) poměrná brzdná síla  $F/m$  (gama) a to v závislosti na čase (vývin brzdě síly – doba prodlevy a doba náběhu) a na rychlosti.

Obdobný princip používá i evropský vlakový zabezpečovač (dále ETCS). Základním vstupem pro výpočet brzděných křivek je závislost brzdě síly na rychlosti (tabulka funkce brzdě síly v závislosti na rychlosti) a závislost brzdě síly na čase (v době na začátku brzdě). Tímto způsobem lze velmi přesně stanovit brzdě křivky pro vlaky stálé sestavy (například trakční jednotky). Též lze definovat, zda je či není, jejich brzdě síla závislá na aktuální hmotnosti (obsazení) vlaku. Výpočet je validován zkouškou. Tento způsob nazýváme gama přístupem.

U náhodné sestavy vlaku (lokomotiva plus vozy) však nelze metodu gama uplatnit, neboť u jednotlivých vozidel tvořících vlak není k dispozici informace o průběhu brzdě síly v závislosti na rychlosti a čase, ani míra jistoty této informace. K dispozici je jen skutečné brzdě procento, zjištěné jako podíl součtu na vozech napsaných brzdě vah a (předpokládané) hmotnosti vlaku. Přepočet brzdě procenta (lambda) na průběh poměrné brzdě síly v závislosti na rychlosti a čase (gama) není snadný, neboť z nápisů na vozidlech není k dispozici funkce dvou proměnných ( $F = f(v, t)$ ), ale jen jedno číslo – brzdě procento. Obecně platí, že různá vozidla s různě působícími brzdami mohou z určité rychlosti dosáhnout stejnou brzdě dráhu, tedy je jim přiděleno stejné brzdě procento. Zpětně však nelze z brzdě procenta (zábrzdě dráhy) jednoznačně určit hodnoty jednotlivých parametrů brzdě. Pro umožnění transformace brzdě procent (lambda) na brzdě účinek (gama) slouží konverzní modely. Jejich zpracovatelé jsou si vědomi reálného rozptylu vlastností různých systémů brzd železničních vozidel, a proto přidávají další přírážky. Obecně tedy platí, že metoda lambda vede k pozvolnějším brzdě křivkám, než metoda gama, neboť navíc obsahuje přírážky na nejistotu konverzního modelu.

Tato skutečnost má hned několik negativních důsledků:

- zkrácení užitečné délky koleje,
- zastavení vlaku před koncem nástupiště, pokud toto končí u návěstidla,
- zastavení vlaku před koncem kusé koleje,
- pomalé dojíždění vlaku ke konci nástupiště

Strojvedoucí musí před jízdou zadat data o vlaku jako např. délka vlaku, brzdě procenta, režim brzdy a další.

Traťová část posílá na vozidlo oprávnění k jízdě se statickým rychlostním profilem

Mobilní část zabezpečovače vypočítává z informací dynamický rychlostní profil a porovnává vypočtenou povolenou rychlost a okamžitou. Při překročení rychlosti (dosažení, resp. překročení hodnot brzdě křivky) dochází k aktivaci brzdy

Používané brzdě křivky ETCS:

- Křivka nouzového brzdě;
- Křivka provozního brzdě.

Negativní aplikace systému ETCS:

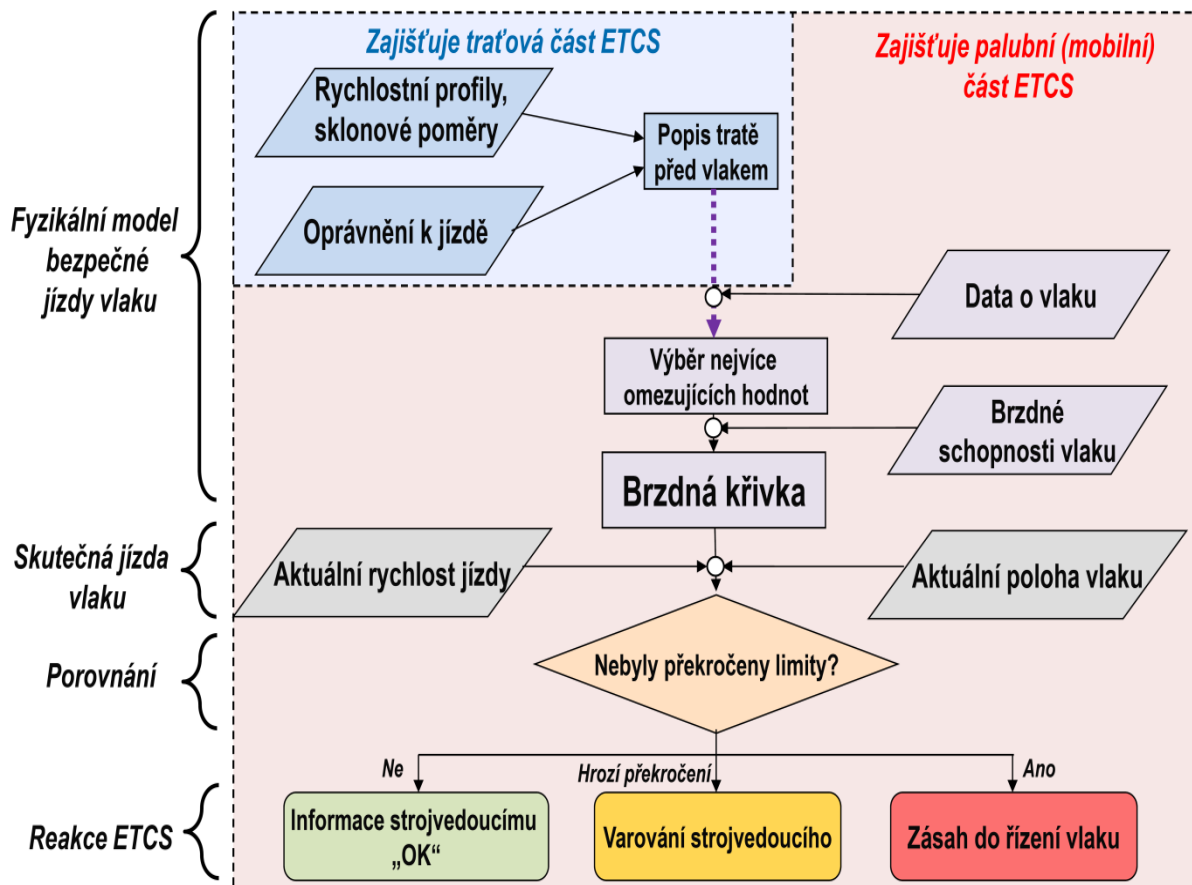
- Prodloužení jízdě dob;
- Nemožnost dojet do blízkosti návěstidla se zakazující návěstí -> prodloužení staničě kolejí;

- Problém u kolejí s nástupištěm.

Uvolňovací rychlost – rychlost, kterou je vlaku dovoleno dojet ke konci oprávnění k jízdě (EoA). Pokud dojde k přejetí místa EoA, dojde k aktivaci brzdy. Mobilní část zabezpečovače hlídá zpomalení na uvolňovací rychlost a dále hlídá blížící se konec oprávnění k jízdě.

Zastavení vlaku před EoA je v kompetenci strojvedoucího.

EoA může vlak tedy projet maximálně povolenou uvolňovací rychlostí.



Obr. 3.1 Jízda vlaku pod ETCS [27]

Výše uvedené zásady stavění vlakových cest, jejich výluk a užívání jejich přímé nebo nepřímé boční ochrany a zabezpečení vlakových cest je nutné zohlednit jako vstupní podmínky při navrhování zarážedla, resp. metodiky pro navrhování ukončení kusých kolejí.

## 4 TEORIE POHYBU VOZIDEL

### 4.1 VÝPOČET KINETICKÉ ENERGIE POHYBUJÍCÍHO SE KOLEJOVÉHO VOZIDLA

Kinetická energie pohybujícího se kolejového vozidla  $E_{kin,c}$  se skládá z kinetické energie celkové hmotnosti vozidla při posuvném pohybu  $E_{kin,p}$  a kinetické energie rotujících částí  $E_{kin,r}$  (jako jsou rotory trakčních motorů a dvojkolí vozidel).

$$E_{kin,c} = E_{kin,p} + E_{kin,r} \quad (4.1)$$

$$E_{kin,p} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.2)$$

$$E_{kin,r} = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (4.3)$$

Kinetická energie rotujících částí soupravy kolejových vozidel:

$$E_{kin,r} = \frac{1}{2} \left[ \sum I_H \omega_H^2 + \sum I_D \omega_D^2 + \sum I_r \omega_r^2 \right] \quad (4.4)$$

Pro zjednodušení výpočtů redukuje se pohyb rotujících částí na pohyb posuvný. Místem redukce je kolo kolejového vozidla.

Pro celkovou energii platí:

$$\frac{1}{2}m_x v^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \left[ \sum I_H \omega_H^2 + \sum I_D \omega_D^2 + \sum I_r \omega_r^2 \right] \quad (4.5)$$

Polární momenty setrvačnosti jsou vyjádřeny:

$$I_i = m_i r_i^2 \quad (4.6)$$

Převod rotujících částí rotorů a hnacích vozidel:

$$p = \frac{\omega_r}{\omega_H} \Rightarrow \omega_r = p \omega_H \quad (4.7)$$

Úhlová rychlost dvojkolí hnacích vozidel:

$$\omega_H = \frac{v}{R_H} \quad (4.8)$$

Úhlová rychlost dvojkolí dopravovaných vozidel:

$$\omega_D = \frac{v_D}{R_D} \quad (4.9)$$

Úhlová rychlost rotorů:

$$\omega_r = p \frac{v}{R_H} \quad (4.10)$$

$$m_x \frac{v^2}{2} = m \frac{v^2}{2} + \frac{1}{2} \left[ \sum m'_H \frac{r_H^2}{R_H^2} v^2 + \sum m'_D \frac{r_D^2}{R_D^2} v^2 + \sum m'_r \frac{r_r^2}{R_H^2} \rho^2 v^2 \right]$$

$$m_x \frac{v^2}{2} = m \frac{v^2}{2} + \frac{v^2}{2} \left[ \sum m'_H \frac{r_H^2}{R_H^2} + \sum m'_D \frac{r_D^2}{R_D^2} + \sum m'_r \frac{r_r^2}{R_H^2} \rho^2 \right] \quad (4.11)$$

Označme redukovanou hmotnost rotujících částí  $m'_{rč}$ , dostáváme:

$$m_x \frac{v^2}{2} = m \frac{v^2}{2} + m'_{rč} \frac{v^2}{2} \quad (4.12)$$

Potom redukovaná hmotnost vlaku jako náhradní teoretická hmotnost:

$$m_x = (m + m'_{rč}) \quad (4.13)$$

$$m_x = m \left( 1 + \frac{m'_{rč}}{m} \right) = m(1 + \rho) \quad (4.14)$$

Celková kinetická energie vlaku se dá vyjádřit jako:

$$E_{kin,c} = \frac{1}{2} m(1 + \rho) v^2 \quad (4.15)$$

$E_{kin,c}$  .....celková kinetická energie [J];

$E_{kin,p}$  .....kinetická energie posuvného pohybu [J];

$E_{kin,r}$  .....kinetická energie rotačního pohybu [J];

$m$  .....hmotnost [kg];

$m'_i$  .....redukovaná hmotnost dvojkolí, resp. rotorů trakčních motorů [kg];

$m_x$  .....hmotnost vozidel při posuvném pohybu [kg];

$v$  .....rychlost [m.s<sup>-1</sup>];

$I_D$  .....moment setrvačnosti dvojkolí dopravovaného vozidla [kg.m<sup>2</sup>];

$I_H$  .....moment setrvačnosti dvojkolí hnacího vozidla [kg.m<sup>2</sup>];

$I_r$  .....moment setrvačnosti rotoru trakčního motoru [kg.m<sup>2</sup>];

$\omega$  .....úhlová rychlost [s<sup>-1</sup>];

$r_i$  .....poloměr setrvačnosti i-té části [m];

$R_H, R_D$  .....vzdálenost od zvolené osy rotace [m].

Hodnoty součinitele rotujících částí se stanovují empiricky a jsou zobrazeny v Tab. 4.1.

**Tab. 4.1 Hodnoty součinitele rotujících částí [20]**

Skupiny vozidel	Vozidla	$\rho$ [-]
<b>Vlaky</b>	Obvyklé vlaky osobní nebo nákladní	0,06
	El. motorové jednotky a motorové jednotky s el. přenosem výkonu	0,15 - 0,20
<b>Vozy</b>	Motorové vozy s mechanickým přenosem	0,12 - 0,15
	Motorové vozy s trakčními motory	0,20 - 0,025
	Osobní	0,04 - 0,06
	Nákladní ložené	0,04 - 0,05
	Nákladní prázdné	0,1 - 0,12
<b>Lokomotivy</b>	Parní	0,08 - 0,10
	Elektrické	0,20 - 0,30
	Motorové	0,15 - 0,30

**Tab. 4.2 Kinetická energie při nárazu pro vybrané rychlosti a hmotnosti [kJ]**

Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	Rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	Hmotnost kolejového vozidla [t]									
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
<b>1</b>	<b>0,28</b>	4	8	12	15	19	23	27	31	35	39
<b>5</b>	<b>1,39</b>	96	193	289	386	482	579	675	772	868	965
<b>10</b>	<b>2,78</b>	386	772	1157	1543	1929	2315	2701	3086	3472	3858
<b>15</b>	<b>4,17</b>	868	1736	2604	3472	4340	5208	6076	6944	7813	8681

V Tab. 4.3 jsou zobrazeny odolnosti pevných zarážedel používaných v ČR, přepočteny na hodnoty kinetické energie, které jsou schopny absorbovat. Porovnáme-li tyto hodnoty s hodnotami v Tab. 4.2, dospíváme k závěru, že pevná zarážedla zdaleka nedosahují odolností, které odpovídají předpokládaným rychlostem nárazu uvažovaných v zahraničí. Jednotlivé hodnoty odolností můžeme navýšit o energii, kterou pojmu nárazníky osazené na zarážedle (30 kJ/nárazník [3], tj. 60 kJ), přesto jsou však výsledné hodnoty odolností nízké.

Tab. 4.3 Odolnosti zarážedel používaných v ČR

Typ zarážedla	6 vozů po 15 t		1 vůz 80 t	
	Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	Energie při nárazu [kJ]	Rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	Energie při nárazu [kJ]
Kolejnicové	1,0	3,47	1,6	7,90
Betonové typ "SUDOP"	0,7	1,70	1,1	3,73
Betonové typ "DSB"	1,0	3,47	1,6	7,90

## 4.2 VÝPOČET VOZIDLOVÝCH ODPORŮ

Vozidlové odpory působí proti směru jízdy vozidla a závisí na konstrukci vozidla. Jedná se o odpor v ložiscích, valivý odpor a odpor prostředí při jízdě vozidla.

Součinitel vozidlového odporu lze vyjádřit jako:

$$o_v = a + bV + cV^2 \quad (4.16)$$

$o_v$ .....součinitel vozidlového odporu [-];

$a, b, c$ .....koeficienty součinitele vozidlového odporu [-];

$V$ .....rychlost [km.h<sup>-1</sup>].

Tab. 4.4 Hodnoty koeficientů součinitele vozidlových odporů [20] – část 1/2

Typ vozidla	Popis	Koeficienty součinitele vozidlového odporu		
		a	b	c
<b>Vybrané konstrukce HV</b>				
Bo'Bo'		2,8	0	0,00085
Co'Co'		2,8	0,02	0,0004
B'B'		2,5	0	0,0055
MJ	motorová jednotka	3	0	0,00037
EJ	elektrická jednotka	2,45	0,0123	0,00041

Tab. 4.5 Hodnoty koeficientů součinitele vozidlových odporů [16] - část 2/2

Typ vozidla	Popis	Koeficienty součinitele vozidlového odporu		
		a	b	c
<b>Vybrané řady HV</b>				
140, 141		3,6	0,002	0,0006
181, 182		3,8	0,02	0,0004
230		1,4	0	0,00056
460		2,2	0,015	0,00038
727		2,2	0	0,00192
751		2,8	0	0,00085
770		3	0	0,0008
<b>Tažená vozidla</b>				
R	osobní 4nápravové vozy	1,35	0,0008	0,00033
S	osobní a nákladní vozy	1,9	0	0,00047
M4	osobní vozy lehké stavby 4nápravové	1,8	0,01	0,00048
M2	osobní vozy lehké stavby 2nápravové	1,5	0	0,0089
U2	prázdné 2nápravové nákladní vozy	2	0	0,00125
U4	prázdné 4nápravové nákladní vozy	2	0	0,0008
T2	ložené 2nápravové nákladní vozy	1,7	0,0033	0,00018
T4	ložené 4nápravové nákladní vozy	1,3	0	0,00033

### 4.3 VÝPOČET TRAŤOVÝCH ODPORŮ

Mezi traťové odpory patří odpor při průjezdu obloukem, odpor při průjezdu výhybkou a odpor ze stoupání.

V případě odvrtné koleje je pro posouzení rozhodující stav, kdy kolej směrem ke konci kusé koleje (zarážedlu) klesá. V tomto případě se tedy nejedná o odpor ze stoupání, ale naopak o přírůstek rychlosti a tedy rychlostní výšky, který lze vypočítat dle vztahu (4.23).

Součinitel odporu při průjezdu obloukem se určí jako:

$$o_o = \frac{600}{R} \quad (4.17)$$

$o_o$ .....součinitel odporu při průjezdu obloukem [-];

$R$ .....poloměr oblouku [m].

Odpor při průjezdu výhybkou je dán přímo ztrátou rychlostní výšky:

- pro průjezd přímou větví výhybky:  $O_{vyh} = 0,02$ ;
- pro průjezd odbočnou větví výhybky:  $O_{vyh} = 0,02 + \frac{12,2\alpha}{1000}$  (4.18)

$O_{vyh}$  .....ztráta rychlostní výšky při průjezdu výhybkou [m];

$\alpha$  .....úhel odbočení výhybky [°].

#### 4.4 VÝPOČET RYCHLOSTNÍ VÝŠKY

Při výpočtu rychlostní výšky můžeme vycházet z předpokladu, že pohybová energie vozidla  $E_k$  odpovídá potenciální energii  $E_p$ , kterou by vozidlo získalo po vyzvednutí do výšky  $h$ .

$$E_k = E_p \quad (4.19)$$

$$\frac{1}{2}(1 + \rho)mv^2 = mgh \quad (4.20)$$

Při pohybu železničních vozidel uvažujeme se součinitelem rotujících částí. Z tohoto důvodu se zavádí redukované gravitační zrychlení:

$$g' = \frac{g}{1 + \rho} \quad (4.21)$$

$g'$  .....redukované gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$g$  .....gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ];

$\rho$  .....součinitel rotujících částí [-] (viz kapitola 4.1).

Ze vztahu (4.20) můžeme vyjádřit výšku  $h$ , kterou označíme jako *rychlostní výšku*:

$$h_v = \frac{v^2}{2g'} \quad (4.22)$$

$h_v$  .....rychlostní výška [m];

$v$  .....rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Na úseku koleje o délce  $l$  a sklonu  $s$ , dojde ke změně (přírůstku) rychlostní výšky:

$$h_{p,i} = \frac{s_i}{1000} l_i \quad (4.23)$$

$h_{p,i}$  .....výškový rozdíl na  $i$ -tém úseku [m];



$s_i$ .....sklon i-tého úseku [%];

$l_i$ .....délka i-tého úseku [m].

Vozidlové i traťové odpory je možné s výhodou použít při výpočtech rychlostních výšek. Nejprve je zapotřebí vyjádřit součinitele jednotlivých odporů, které působí na vozidlo na úseku koleje o délce  $l$  a následně lze vyjádřit tzv. *ztrátovou výšku*.

Ztrátovou výšku lze obecně určit ze vztahu:

$$h_{z,i} = \frac{o_i}{1000} l_i \quad (4.24)$$

$h_{z,i}$ .....ztrátová výška na i-tém úseku [m];

$o_i$ .....součinitel odporu [-];

$l_i$ .....délka i-tého úseku [m].

## 4.5 VÝPOČET BRZDNÉ DRÁHY

Otázka brzdění vlaku je složitá záležitost, vstupuje do ní:

- průběh snížení tažné síly;
- náběh brzdné síly;
- chování vlaku – typ brzd, materiál brzdových špalků, typ nákladu atd.
- adheze – styk kolo-kolejnice.

Pro účely této práce je výpočet brzdné dráhy uvažován zjednodušeným způsobem – pro stanovení brzdné dráhy kolejového vozidla můžeme vycházet z předpokladu, že pohybovou energii brzděného vozidla  $E_p$  přeměníme na energii jinou (teplo, elektrickou energii). Pro výpočet změny energie při brzdění použijeme vztah (4.25). Předpokládáme, že rychlost  $v_1 > v_2$  (pro brzdění do úplného zastavení platí  $v_2 = 0 \text{ m.s}^{-1}$ ).

$$E_p = \frac{1}{2} m(1 + \rho)(v_1^2 - v_2^2) \quad (4.25)$$

$m$ .....hmotnost [kg];

$\rho$ .....součinitel rotujících částí [-];

$v_1$ .....rychlost na začátku brzdění [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

$v_2$ .....rychlost na konci brzdění [ $\text{m.s}^{-1}$ ].

V případě adhezních brzd (tzn., že brzdný účinek je závislý na kontaktu kolo-kolejnice) platí pro brzdnou sílu omezení dané součinitelem adheze  $\mu$ . Brzdnou sílu na mezi adheze můžeme vyjádřit jako:

$$B_a = G'_a \cdot \mu \quad (4.26)$$

$B_a$ .....brzdná síla na mezi adheze [N];

$G'_a$ .....tíha vozidla připadající na brzděné dvojkolí [N];

$\mu$  .....součinitel adheze [-].

Maximální brzdou sílu všech vozidel určíme:

$$B_{a,max} = \sum B_{a,i} \quad (4.27)$$

$B_{a,max}$  .....maximální brzdná síla všech vozidel [N];

$B_{a,i}$  .....brzdná síla na mezi adheze i-tého vozu [N].

Můžeme tedy vyjádřit přeměnu kinetické energie na energii mechanickou:

$$E_p = B \cdot l_B \quad (4.28)$$

$B$  .....brzdná síla [N];

$l_B$  .....brzdná dráha [m].

Minimální brzdou vzdálenost pro brzdění dostáváme při maximální brzdě síle, navýšené o odpory proti pohybu vozidla.

$$\frac{1}{2} m(1 + \rho)(v_1^2 - v_2^2) = (B + O_T + O_V) \cdot l_B \quad (4.29)$$

Po vyjádření minimální brzdě dráhy  $l_{B,min}$ :

$$l_{B,min} = \frac{\frac{1}{2} m(1 + \rho)(v_1^2 - v_2^2)}{(B_{a,max} + O_T + O_V)} \quad (4.30)$$

$O_T$  .....traťové odpory [N];

$O_V$  .....vozidlové odpory [N];

Známe-li průměrnou hodnotu zpomalení, lze brzdou dráhu, případně rychlost vlaku na konci zvoleného úseku zjednodušeně určit ze vztahu:

$$l = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2a} \quad (4.31)$$

$l$  .....délka [m];

$v_1$  .....výsledná rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ];

$v_0$  .....počáteční rychlost [ $m \cdot s^{-1}$ ];

$a$  .....zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ].

## 5 REŠERŠE NAVRHOVÁNÍ UKONČENÍ KUSÝCH KOLEJÍ A TYPŮ ZARÁŽEDEL V ZAHRANIČÍ

Jedním z požadavků na návrh zarážedla je bezpečnost při nárazu. Jedná se především o bezpečnost osob při nárazu a brzdění kolejového vozidla zarážedlem. Toto se týká jak cestujících ve vlaku, strojvedoucího a vlakového personálu, tak cestujících a ostatních osob pohybujících se v okolí zarážedla.

Obecný přístup navrhování ukončení kusých kolejí v zahraničí je pomocí kinetické energie. Jako základní návrhový parametr, kterému by mělo každé ukončení kusé koleje vyhovovat, můžeme uvažovat nárazovou rychlost a hmotnost pohybujícího se kolejového vozidla, tedy schopnost zarážedla absorbovat kinetickou energii a kolejové vozidlo zastavit.

Při návrhu vhodného typu zarážedla je vhodné přihlížet i k následujícím požadavkům:

- jednoduchá instalace;
- jednoduché navrácení do původního stavu po nárazu;
- vysoká míra spolehlivosti;
- minimální požadavky na údržbu a náklady na údržbu;
- prostorové možnosti (zvláště v místě ukončení koleje u nástupiště).

Zarážedlo je opatřeno návěstí konec koleje, kolej uzavřena, konec koleje apod. nebo je vybaveno světelným návěstidlem podle použití a podle platných předpisů příslušné drážní společnosti.

### 5.1 OBECNÉ POŽADAVKY NA ZARÁŽEDLA

Při návrhu zarážedla nebo při volbě typu zarážedla je potřeba vzít v úvahu různé faktory, které ovlivňují rychlost a sílu nárazu na zarážedlo. Tyto požadavky jsou přehledně shrnuty například v britském standardu GC/RT 5033 [9].

Mezi hlavní faktory patří:

- typ drážního vozidla;
- hmotnost vlaku;
- sklon koleje před zarážedlem;
- adhezní podmínky, zahrnující například vliv počasí či sněhové pokrývky na brzdící výkon;
- uspořádání zabezpečovacího zařízení a viditelnost;
- dovolená rychlost na vstupu do zarážedla;
- světelné podmínky.

Dalšími parametry vstupující do návrhu jsou:

- prostorové možnosti na pracovní délku zarážedla;
- systém spřahování vozů (druh táhlového a narážecího ústrojí);
- požadavky na izolované kolejnicové styky a elektrickou izolaci zarážedla;
- provozní zatížení trati (počet vlaků);
- případné ohrožení rizikových oblastí v blízkosti zarážedla jako například provozovaná kolej,

stavební konstrukce, pěší zóna a jiné;

- počet případů nepovoleného vjetí za konec vlakové nebo posunové cesty;
- přeprava nebezpečných nákladů, případně nákladů jiného typu omezující rychlost nárazu na zarážedlo.

Rychlost nárazu při návrhu zarážedla má být stanovena s uvažováním výše uvedených faktorů. Nejnižší uvažovaná rychlost nárazu má být dle GC/RT 5033 [9]  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Průměrné zpomalení vlaku nemá přesáhnout  $0,15g$  (tj.  $1,47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ). U vlaků s menším nápravovým zatížením lze uvažovat i s vyšší hodnotou brzdění, nejvyšší hodnota však nesmí přesáhnout  $0,25g$  (tj.  $2,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ).

V místech, kde existuje vyšší nebezpečí, že ujetí vlaků a jeho případné následné vykolejení může způsobit zranění lidí či poškození důležitých konstrukcí, je doporučeno navrhovat za zarážedly ochranné zdi. Pro zhodnocení rizika a potřeby návrhu ochranných zdí je vhodné zvážit:

- umístění kritických konstrukcí a pilířů;
- výskyt míst s větší koncentrací lidí (pracoviště, obchody apod.);
- místa s větším pohybem lidí (např. pěší zóny);
- další riziková místa.

Pro snížení pravděpodobnosti ujetí vozů je možné přijmout přídatná bezpečnostní opatření jako je zlepšení osvětlení, odstranění prvků rozptylující pozornost strojvedoucího (např. reklamní poutače) nebo omezení rychlosti v koleji před zarážedlem.

## 5.2 NÁVRH ZARÁŽEDLA

Jak bylo popsáno výše, hlavním návrhovým parametrem zarážedel je jejich schopnost absorbovat kinetickou energii pohybujícího se kolejového vozidla a tím ho zastavit.

### 5.2.1 Kinetická energie

Kinetická energie pohybujícího se kolejového vozidla (výpočet kinetické energie je za předpokladu, že při nárazu nedochází u kolejového vozidla k brzdění, zanedbává se vliv rotujících částí):

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5.1)$$

Jako základní podmínku správného návrhu můžeme uvažovat schopnost zarážedla absorbovat kinetickou energii nárazu, zvýšenou o koeficient bezpečnosti:

$$R \geq E_{kin}k \quad (5.2)$$

Koeficient bezpečnosti je klasifikován podle požadovaného stupně zabezpečení a typu vlaku. V rakouských standardech [14] se velikost koeficientu  $k$  používá dle Tab. 5.1. U německých drah je uvažován koeficient bezpečnosti dle Tab. 5.2.

Tab. 5.1 Koeficient bezpečnosti, Rakousko [14]

Typ vlaku a požadovaný stupeň zabezpečení	$k [-]$
vlaky osobní dopravy	1,5
nákladní vlaky a posun	1,2
nákladní vlaky a posun, zajištění ochrany oblasti za zarážedlem nebo v jeho blízkosti	1,5
nákladní vlaky a posun, zajištění ochrany staveb, obytných budov a dopravní zón za zarážedlem nebo v jeho blízkosti	1,8
zamezení pádu vlaku z výšky	2,0

Tab. 5.2 Koeficient bezpečnosti, Německo [8]

Typ vlaku a požadovaný stupeň zabezpečení	$k [-]$
vlaky obsazené osobami	1,5
zajištění ochrany staveb, zařízení a osob za zarážedlem nebo v jeho blízkosti	1,5
vlaky osobní a nákladní dopravy a posun v případě zajištění ochrany před pádem z výšky	1,5
ostatní	1,0

Koeficient bezpečnosti je podle švýcarských předpisů [7] stanoven hodnotou 1,0, 1,5 nebo 2,0 (viz Tab. 5.3) a to podle toho, zda případné vykolejení vlaku může způsobit ohrožení lidí či poškození důležitých konstrukcí.

Tab. 5.3 Koeficient bezpečnosti, Švýcarsko [7]

Riziková oblast v okolí zarážedla	$k [-]$
v blízkosti zarážedla se vyskytují nosné konstrukce	2,0
v blízkosti zarážedla se nachází místa s větší koncentrací nebo pohybem lidí	1,5
ostatní případy, kdy nehrozí ohrožení osob nebo důležitých konstrukcí	1,0

## 5.2.2 Rychlost nárazu

Rychlost nárazu je definována jako maximální dovolená rychlost vlaku při nárazu do zarážedla.

V následujícím textu jsou shrnuty návrhové kolizní rychlosti uvažované u vybraných železničních správ.

### Německo

Německý předpis DS 800 01 [8] „*Vorschrift für das Entwerfen von Bahnanlagen*“ uvažuje s kolizní rychlostí dle typu vlaku:

- vlaky osobní dopravy –  $15 \text{ km.h}^{-1}$ ;
- vlaky nákladní dopravy –  $10 \text{ km.h}^{-1}$ .

Německá železnice v tomto případě s výhodou využívá princip prokluzových vzdáleností. V případě nedostatečného brzdění vlaku vyvolá mobilní část vlakového zabezpečovače s bodovým přenosem informace brzdění a vlak zastaví před návěstí se zakazující návěstí, nebo jí přejeđe

maximálně o prokluzovou vzdálenost (pro  $V > 60 \text{ km.h}^{-1}$  je stanovena prokluzová vzdálenost 200 m). Předpokládá tedy dostatečné snižování rychlosti a rychlost nárazu tedy závisí na umístění návěstí před zarážedlem.

### Rakousko

Rakouské standardy [14], [18] rozlišují kolizní rychlost dle kategorie trati:

- vlaky osobní dopravy –  $15 \text{ km.h}^{-1}$ ;
- vlaky nákladní dopravy a posun –  $10 \text{ km.h}^{-1}$ ;
- posun na vlečkách –  $5 \text{ km.h}^{-1}$ .

### Španělsko

Návrhové rychlosti a zatížení používané u Renfe jsou shrnuty v následující tabulce [1].

**Tab. 5.4 Přehled návrhových hodnot hmotností a rychlostí vlaků pro návrh zarážedel ve Španělsku**

Oblast použití zarážedla	Zatížení	Rychlost
centrální stanice	1120 t (výjimečně lok. CC+20 vozů) 750 t (běžně lok. CC+12 vozů)	$15 \text{ km.h}^{-1}$ (výjimečně) $10 \text{ km.h}^{-1}$ (běžně)
příměstské vlaky	600 t (3 spřažené vozy)	$10 \text{ km.h}^{-1}$
stanice	1500 t (nákladní vlak, včetně lokomotivy)	$10 \text{ km.h}^{-1}$ (běžně) $30 \text{ km.h}^{-1}$ (výjimečně, určená rychlostí ve výhybkách)
nástupiště	1120 t (výjimečně lok. CC+20 vozů) 750 t (běžně lok. CC+12 vozů)	$15 \text{ km.h}^{-1}$ (výjimečně) $10 \text{ km.h}^{-1}$ (běžně)
manipulační koleje a vlečky	1500 t (nákladní vlak, včetně lokomotivy)	$10 \text{ km.h}^{-1}$ (výjimečně) $30 \text{ km.h}^{-1}$ (výjimečně, určená rychlostí ve výhybkách)
vysokorychlostní vlaky	vlaková cesta: neuvažuje se s ohledem na systém kontroly pohybu vlaku	
	posunová cesta:	
	800 t (dvě soupravy AVE) 450 t (lok. 252+26 vozů Talgo)	$5 \text{ km.h}^{-1}$

## **Švýcarsko**

Prováděcí předpis „*Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung*“ [7] uvažuje s maximální přepokládanou rychlostí nárazu na zarážedlo pro:

- vlaky osobní a nákladní dopravy –  $15 \text{ km.h}^{-1}$ ;
- posun –  $10 \text{ km.h}^{-1}$ .

## **Belgie**

V dodacích podmínkách „*Fourniture de heurtoirs/Levering van stootbokken*“ [6] pro zarážedla správce železniční infrastruktury Infrabel je zakotven požadavek na návrhovou nárazovou rychlost maximálně  $20 \text{ km.h}^{-1}$ .

## **Izrael**

Israel Railways Ltd. vycházely při stanovení požadavků na zarážedla a zarážecí zařízení z požadavků zakotvených u evropských železničních správ. Pohyblivá zarážedla mají bezpečně zastavit vlaky z rychlosti až  $10 \text{ km.h}^{-1}$  nebo  $15 \text{ km.h}^{-1}$ , pro pevná zarážedla je stanovena kolizní rychlost  $5 \text{ km.h}^{-1}$  [12].

### **5.2.3 Geometrické uspořádání koleje**

Na kinetickou energii nárazu má vliv také geometrické uspořádání kusé koleje, po které se bude kolejové vozidlo přibližovat k zarážedlu.

Úhel nárazu kolejového vozidla do zarážedla ovlivňuje přenos kinetické energie při nárazu. Návrh směrového uspořádání koleje vedoucí k zarážedlu je jedním z podstatných faktorů ovlivňující správnou funkci zarážedla. Počítáme-li kinetickou energii, kterou má zarážedlo pojmout, musíme brát v úvahu, zda je kusá kolej přímá, nebo v oblouku. Z důvodu správné funkce zarážedla je vhodné, aby kolej byla ve směrové přímé, a to v délce větší než je délka nejdelšího vozu, který příslušnou kolej (koleje) využívá, a nedocházelo tak ke vzniku nežádoucích sil při nárazu.

Dalším ovlivňujícím faktorem je výškové uspořádání. Klesá-li kolej směrem k zarážedlu, roste tím i kinetická energie, kterou musí zarážedlo pojmout. V opačném případě, kdy kolej k zarážedlu stoupá, kinetická energie nárazu se zmenšuje.

## **5.3 TYPY ZARÁŽEDEL**

Zarážedla můžeme rozdělit do několika skupin podle různých hledisek.

Dle účelu použití:

- zarážedla trvalá;
- zarážedla dočasná – pro dočasné ukončení koleje, např. při opravách či jiných výlukách koleje.

Dle konstrukce:

- ocelová;
- betonová;

- zemní.

Dle principu statické funkce:

- zarážedla pevná – absorbují kinetickou energii na místě;
- zarážedla pohyblivá – při nárazu drážního vozidla dojde k záměrnému posunutí zarážedla, vyžadují určitou pracovní délku koleje.

Dle typu nárazníků:

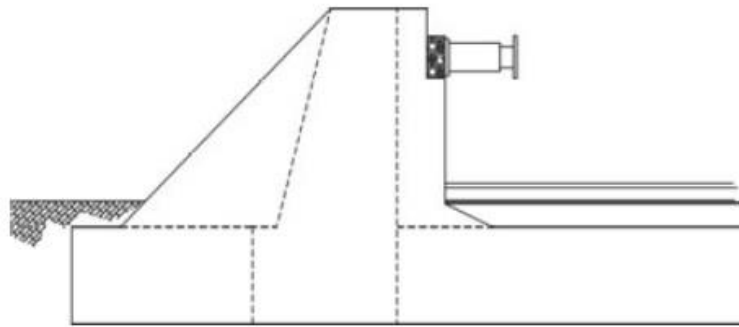
- mechanická;
- hydraulická.

### 5.3.1 Pevná zarážedla s mechanickými nárazníky

Jako základní rozdělení můžeme uvažovat na:

- betonová zarážedla;
- ocelová zarážedla.

Ať už se jedná o zarážedlo betonové nebo ocelové, podstata je stejná – sestává se z bloku nebo rámu, který je pevně ukotven v zemi nebo na kolejnicích (viz Obr. 5.1).



Obr. 5.1 Schéma pevného betonového zarážedla [1]

Pevná zarážedla mají své opodstatnění pro umístění například na koncích kolejí v továrnách, u nástupišť a čelních ramp nebo v oblastech, kde není místo na osazení jiného typu zarážedla.

Nevýhodou pevného betonového zarážedla je, že pokud je energie nárazu větší, než dokáže pojmout nárazníky na zarážedle a kolejovém vozidle, dochází k přenosu energie do betonového bloku, který se nárazem může porušit. Při porušení zarážedla nárazem kolejového vozidla se stává zarážedlo dále nepoužitelné (viz Obr. 5.2). Zarážedlo sice energii pohltí a kolejové vozidlo zastaví, ale tento stav se nedá považovat za uspokojivý.





Obr. 5.2 Porušené betonové zarážedlo [1]

Nabízí se možnost vyztužení zarážedla. Zarážedlo se však v tomto případě stává velmi tuhé a při nárazu dochází k destrukci kolejového vozidla.

Další možností je tedy zesílení rámu kolejového vozidla. Ale ani tato varianta není vhodná. Nedojde sice k destrukci zarážedla ani kolejového vozidla, ale ke zpomalení (pohlcení energie) a následnému zastavení dochází na velmi krátké vzdálenosti (zatlačení nárazníků), což je také nepřijatelné.

Tab. 5.5 Zpomalení a tomu odpovídající přetížení při nárazu do pevného zarážedla pro vybrané rychlosti

Rychlost nárazu [km.h <sup>-1</sup> ]	Rychlost nárazu [m.s <sup>-1</sup> ]	Zdvih nárazníků [mm] [21]			
		75		105	
		Zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ]	Přetížení	Zpomalení [m.s <sup>-2</sup> ]	Přetížení
5	1,39	6,43	0,66g	4,59	0,47g
10	2,78	25,72	2,62g	18,37	1,87g
15	4,17	57,87	5,90g	41,34	4,21g

### Situace v zahraničí

Jednoznačně jsou preferovány konstrukce zarážedel s postupným snižováním energie vlaku, na větší délce koleje, tedy pohyblivá zarážedla, případně zarážedla s hydraulickými nárazníky. Od navrhování pevných zarážedel s mechanickými nárazníky se upouští.

- Německo – pevná zarážedla nesmí být nově navrhována při novostavbách i rekonstrukcích tratí [8];
- Rakousko – umožňuje navrhování pevných zarážedel v kolejích v depech, na vedlejších kolejích a vlečkách, a to v případě, že kinetická energie nárazu je menší jak 500 kJ [15], [18];
- Švýcarsko – pevná zarážedla jsou povolena navrhovat v místech, kde nehrozí zranění osob nebo významné poškození vozidla, na příklad:
  - koleje s povolenou rychlostí 5 km.h<sup>-1</sup>;
  - vlečky s maximální rychlostí 10 km.h<sup>-1</sup>;

- ozubnicové dráhy;
- úzkorozchodné tratě.
- Belgie – dodací podmínky neumožňují navrhování nových pevných zarážedel.

### 5.3.2 Pevná zarážedla s hydraulickými nárazníky

Hydraulická zarážedla (pevná zarážedla s hydraulickými nárazníky) tvoří pevný betonový blok nebo ocelový rám (kotvený do betonové desky nebo na kolejnice), na který jsou upevněny hydraulické nárazníky, které se liší od klasických nárazníků na pevných zarážedlech. Hydraulický systém je navržen tak, aby se kinetická energie z nárazu absorbovala postupně a vlak byl zastaven plynuleji než u pevného zarážedla s mechanickými nárazníky.

Konstrukce zarážedla se skládá z pevné části a hydraulického systému s hydraulickými tlumiči na výsuvných ramenech. V případě potřeby (např. z důvodu velké účinné délky hydraulického systému nebo zvýšení účinnosti) je možné čelní část s nárazníky podepřít na koleji (viz Obr. 5.3).



Obr. 5.3 Pevné zarážedlo s hydraulickými nárazníky [12]

Parametry hydraulického systému jsou omezujícím prvkem pro použití zarážedla a limitují velikost působící kinetické energie při nárazu. Při návrhu je rozhodující rovněž správná volba nárazníku.

Hydraulická zarážedla mohou být obecně různé konstrukce:

- ocelové hydraulické zarážedlo;
- betonové hydraulické zarážedlo;
- hydraulické zarážedlo s čelní plochou spojenou s kolejnicemi.

Hydraulickými nárazníky lze opatřit i pohyblivá zarážedla. Délka zatlačení hydraulického nárazníku prodlužuje brzdnou dráhu vozidla.



Obr. 5.4 Ocelové hydraulické zarážedlo německé firmy Rawie [17]

Návrhové parametry zarážedla [17]:

- energie, kterou je zarážedlo schopno absorbovat: 1 735 kJ;
- účinná délka zatlačení nárazníků: 1 400 mm;
- celková váha: 3 050 kg;
- celková délka: 4 355 mm;



Obr. 5.5 Betonové hydraulické zarážedlo britské společnosti Oleo [16]

Návrhové parametry zarážedla [16]:

- energie, kterou je zarážedlo schopno absorbovat: 2 688 kJ;
- váha kolejového vozidla: 300 t;
- nárazová rychlost: 14 km.h<sup>-1</sup>;
- účinná délka zatlačení nárazníků: 2 400 mm;
- celková délka: 8,0 m;

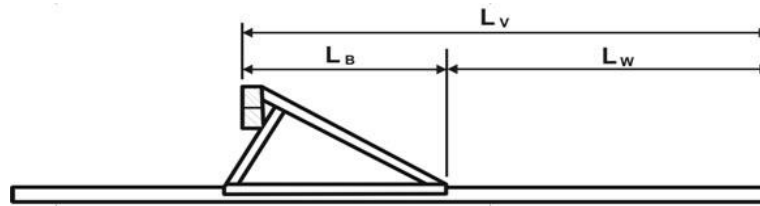
### 5.3.3 Pohyblivá zarážedla

Nevýhodou pevných zarážedel je míra zpomalení, které se odehrává na velmi krátké vzdálenosti. Tento problém řeší zarážedla pohyblivá, která zabrzdí kolejové vozidlo na větší vzdálenosti a pohltnou energii nárazu za delší dobu.

Pohyblivá zarážedla obvykle sestávají z pevného ocelového rámu s nárazníky, který je pomocí brzdných prvků uchycen ke kolejnicím. V případě nárazu je kinetická energie přeměněna na teplo, které vzniká při tření brzdných prvků a kolejnic. Energie, kterou je schopno zarážedlo absorbovat závisí tedy na počtu brzdných prvků, brzdné síle brzdných prvků a délce brzdění.

Vzhledem k tomu, že pohyblivá zarážedla vyžadují určitou pracovní délku koleje (brzdnou

vzdálenost), nelze je umístit bezprostředně na konec koleje. Dochází tak ke zkrácení užitečné délky koleje.



Obr. 5.6 Délka koleje pro instalaci pohyblivého zarážedla [12]

$L_v$  ... délka koleje potřebná pro instalaci zarážedla;

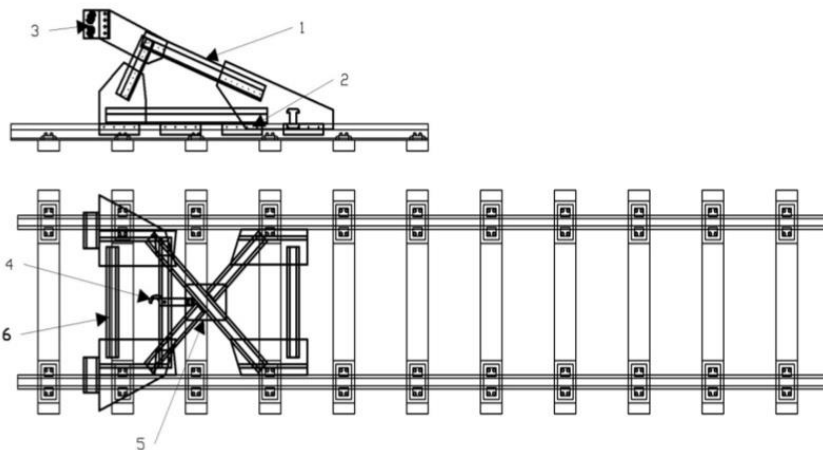
$L_B$  ... délka konstrukce zarážedla;

$L_w$  ... maximální dovolená délka pro zastavení.

Délka koleje potřebná pro instalaci pohyblivého zarážedla závisí na použitém typu zarážedla, počtu čelistí a účinnosti brzdění. Může se pohybovat od 5 m do 2 m. Pro správnou funkci pohyblivého zarážedla nesmí kolejnice v daném úseku obsahovat kolejnicové styky ani svary a kolej musí být ve směrově přímé.

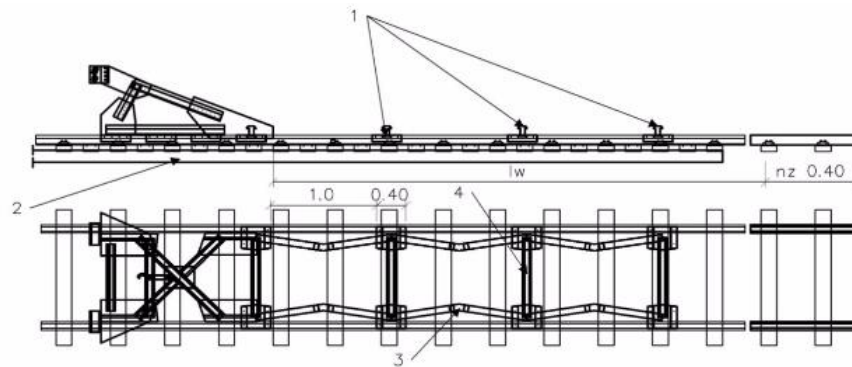
Pohyblivá zarážedla můžeme rozdělit do tří typů:

- pohyblivá zarážedla (bez přídavných brzd), [12];
- pohyblivá zarážedla s přídavnými brzdami, [12];
- pohyblivá zarážedla s hydraulickými nárazníky (bez/s přídavnými brzdami).



Obr. 5.7 Schéma pohyblivého zarážedla bez přídavných brzd [12]

1. Ocelový rám zarážedla, 2. Brzdné prvky, 3. Nárazníky, 4. Zařízení pro navrácení zarážedla do původní polohy po nárazu, 5. Ztužující prvek, 6. Ztužující prvek.



**Obr. 5.8** Schéma pohyblivého zarážedla s přídatnými brzdami a výztužným prvkem koleje [12]

1. Přídatné brzdné prvky, 2. Ocelový výztužný profil koleje, 3. Podélné pásy spojující přídatné brzdné prvky, 4. Příčné pásy spojující přídatné brzdné prvky

### ***Brzdná síla***

Brzdná síla pohyblivého zarážedla je jeho určujícím faktorem. Vzhledem k potřebě vyhradit určitou délku koleje pro práci pohyblivého zarážedla při nárazu je zapotřebí přesně stanovit množství energie, kterou je zarážedlo schopno na této vzdálenosti absorbovat. Energie závisí na počtu brzdných čelistí, brzdné síle jednotlivých čelistí a délce koleje za zarážedlem, která je pro zpomalení vyhrazena.

Brzdná síla jednoho brzdného prvku v závislosti na brzdné dráze se uvažuje:

- $F_b = 40 \text{ kN}$  pro  $d \leq 5 \text{ m}$ ;
- $F_b = 36 \text{ kN}$  pro  $5 \text{ m} < d \leq 8 \text{ m}$ ;
- $F_b = 32 \text{ kN}$  pro  $8 \text{ m} < d \leq 12 \text{ m}$ ;
- $F_b = 28 \text{ kN}$  pro  $12 \text{ m} < d \leq 20 \text{ m}$

### **Situace v zahraničí**

U některých správ jsou stanovené požadavky či doporučení pro použití těchto konstrukcí:

- Rakousko – pohyblivá zarážedla jsou používána pro hlavní koleje, směrové koleje seřadovacích nádraží, vedlejší koleje a koleje vleček v případě, že kinetická energie nárazu je větší jak 500 kJ [18];
- Německo – umožňuje navrhování pohyblivých zarážedel bez přídatných brzd (standardní řešení) nebo s přídatnými brzdami (vzhledem k současné potřebě zesílení koleje vyžaduje schválení).





Obr. 5.9 Pohyblivé zarážedlo RAWIE, typ 10 EB [17]



Obr. 5.10 Pohyblivé zarážedlo Oleo s přídavnými brzdami [16]



Obr. 5.11 Pohyblivé hydraulické zarážedlo s hydraulickými nárazníky OLEO [16]

### 5.3.4 Dočasná zarážedla

Pro dočasné ukončení koleje je možné použít speciální dočasná zarážedla. Pro flexibilitu použití a možnost operativního ukončení koleje, existují konstrukce zarážedel, která se instalují mimo pojížděné kolejnice (kolej) tak, aby v případě potřeby byla kolej uvedena co nejrychleji do

provozu. Takováto zarážedla existují v různých variantách – pevná zarážedla s mechanickými nebo hydraulickými nárazníky (Obr. 5.12) nebo pohyblivá zarážedla (Obr. 5.14), která mohou být instalována na přídatných kolejnicích umístěných podél příslušné koleje. V případě potřeby je možné tato zarážedla sklopit tak, aby nebránila průjezdu vozidla (Obr. 5.13, Obr. 5.15).



**Obr. 5.12 Dočasné zarážedlo pevné [17]**



**Obr. 5.13 Dočasné zarážedlo pevné po sklopení [17]**



**Obr. 5.14 Dočasné zarážedlo pohyblivé [17]**



Obr. 5.15 Dočasné zarážedlo pohyblivé po sklopení [17]

Dočasná zarážedla, která jsou instalována z důvodu různých (např. údržbových) prací, musí samozřejmě splňovat všechny požadavky z hlediska brzdného účinku jako zarážedla trvalá. Je potřeba vzít do úvahy také případný pohyb lidí v okolí zarážedla v případě umístění pracovního místa v jeho blízkosti nebo umístění dočasných staveb za zarážedlem.

#### 5.4 KONSTRUKCE UMÍSTĚNÉ V OBLASTI ZA KONCEM KOLEJE - OCHRANNÉ ZDI

Ochranné zdi se umísťují za zarážedla a jsou navrhovány pro ochranu lidí, staveb a dalších konstrukcí, které se nacházejí v blízkosti zarážedla a jsou ohroženy v případě vykolejení vlaku po nárazu do zarážedla. Slouží tedy jako ochrana proti poškození těchto konstrukcí a staveb a k zajištění bezpečnosti v blízkosti se pohybujících lidí. Úkolem ochranné zdi je zabránit vjetí vlaku do chráněného prostoru, případně ho odklonit žádoucím směrem (do bezpečného prostoru).

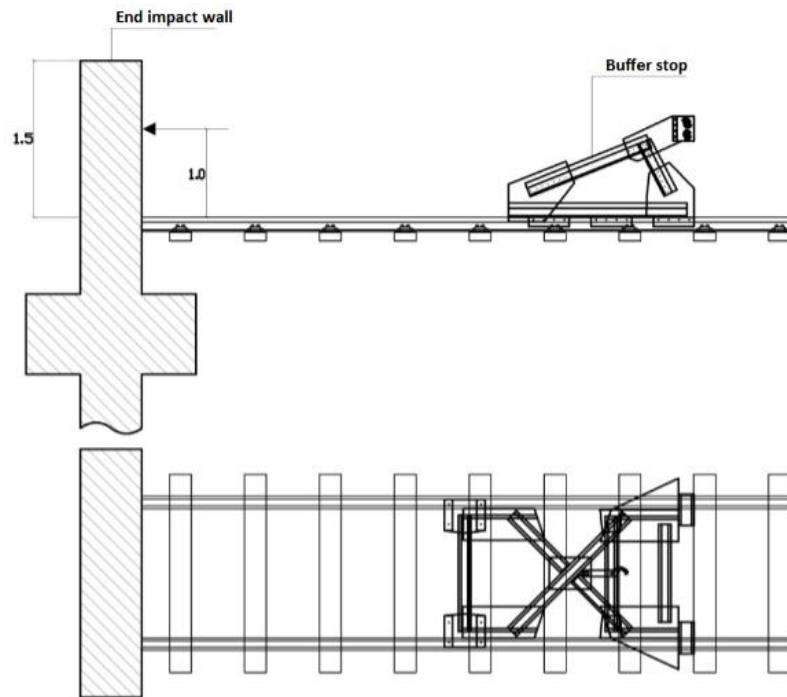
Ochranné zdi jsou kategorizovány do dvou skupin [12]:

- ochranné zdi ve stanicích pro vlaky osobní dopravy;
- ochranné zdi pro vlaky nákladní a vlaky na vedlejších tratích.

##### *Ochranné zdi pro vlaky osobní dopravy*

Na tratích s provozem osobních vlaků, na kterých jsou instalována zarážedla s minimální výkonností 2 500 kN.m, jsou navrhovány ochranné zdi dimenzované na zatížení příčnou silou 5 000 kN. Síla působí ve výšce 1 m nad kolejí. Výška zdi by měla být 1,5 m (viz Obr. 5.16).

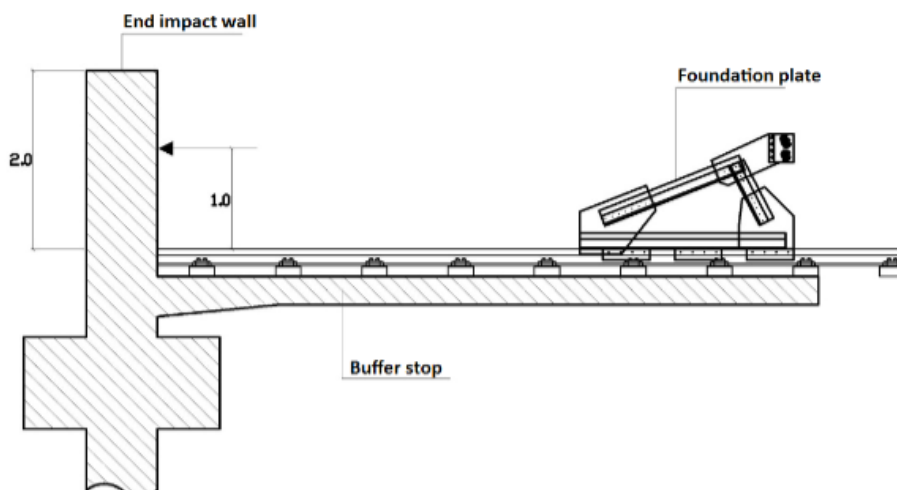




Obr. 5.16 Ochranná zeď pro vlaky osobní dopravy [12]

### ***Ochranné zdi pro vlaky nákladní dopravy***

Na tratích s provozem nákladních vlaků, na vedlejších kolejích a manipulačních kolejích, kde jsou instalována zarážedla s minimální výkonností 2 500 kN.m, jsou navrhovány ochranné zdi dimenzované na příčné zatížení 10 000 kN. Síla působí ve výšce 1 m nad kolejí. Výška zdi by měla být 2 m (viz Obr. 5.17).



Obr. 5.17 Ochranná zeď pro vlaky nákladní dopravy [12]

---

## 5.5 SHRNU TÍ REŠERŠNÍ ČÁSTI

Obecně je možné uvést, že rozhodujícím prvkem při výběru vhodného zarážedla je jeho schopnost pohltit energii při nárazu a zpomalit kolejové vozidlo. Pohlcení energie, resp. zpomalení, by nemělo být náhlé. Tento případ nastává u zarážedel pevných, kde dojde k deformaci či destrukci zarážedla nebo kolejového vozidla.

Jako vhodnější varianty ukončení kusých kolejí se jeví zarážedla pohyblivá nebo hydraulická. Pohyblivá zarážedla dokáží absorbovat velké množství energie, která se dá zvýšit použitím přidavných brzd a hydraulických nárazníků. Jejich nevýhodou se ale může jevit potřeba větší stavební délky, neboť zpomalení probíhá na větší vzdálenosti. Nedají se tedy umístit bezprostředně na konec kusé koleje, a tím zkracují její užitečnou délku.

Zarážedla hydraulická se umísťují na konec kusé koleje, kolejové vozidlo zpomalí plynule a přitom nevyžadují tak velkou pracovní délku jako zarážedla pohyblivá. Nedosahují však takové účinnosti. Míra pohlcení energie je závislá na typu hydraulického nárazníku. Je-li energie nárazu větší, než nárazníky dokáží absorbovat, dochází k destrukci zarážedla.

Pro jednodušší orientaci v požadovaných parametrech navrhování zarážedel v jednotlivých státech byla sestavená přehledná tabulka (viz Příloha A), která srovnává přístup správců železniční infrastruktury v zahraničí k navrhování a používání zarážedel na koncích kusých kolejí.

## 6 ANALÝZA RIZIKA MOŽNÉHO OHROŽENÍ NA KUSÉ KOLEJI

V průběhu přípravy metodického pokynu probíhaly konzultace s provozovatelem dráhy a odborníky z oboru rizikového inženýrství. Výsledkem spolupráce je následující analýza rizika možného ohrožení na kusé koleji. Jedná se o hodnocení rizik dopadů mimořádných událostí pouze v okolí ukončení kusé koleje, nikoli cestujících ve vozidle. Pro analýzu rizika byly použity následující metody:

**Brainsorming** – je technika skupinové kreativity zaměřená na generování co nejvíce nápadů na dané téma – v tomto případě typy ukončení kusých kolejí a mimořádných událostí na kusých kolejích. Nosnou myšlenkou je předpoklad, že lidé pracující ve skupině vymyslí na základě podnětů ostatních více důmyslné nápady, než by generovali samostatně. Na základě poznatků byly vybrány připomínky pro vytvoření scénáře nebezpečí a hodnocení rizik.

**Co se stane když...?** (What If Analysis) – je technika používaná pro hodnocení dopadů vybraných situací. Cílem aplikace metody bylo specifikovat možné nežádoucí dopady mimořádných událostí na kusých kolejích.

**Analýza možných chyb a následků** (Failure Mode and Effect Analysis – FMEA) – je metoda zaměřená na identifikaci vzniku nežádoucích jevů v systémech. V tomto případě se jedná o identifikaci mimořádných událostí na kusých kolejích, resp. projetí/náraz zarážedla.

### *Brainstorming*

Sloužil jako podklad pro další dvě metody. Cílem bylo upřesnění různých typů ukončení kusých kolejí, jejich okolí a scénáře, které mohou nastat.

Definované nehodové scénáře a uspořádání kusé koleje a jejího okolí:

- Nástupiště podél kusé koleje;
- Nástupiště podél kusé koleje s objekty za zarážedly;
- Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekt za zarážedly v úrovni pod nimi;
- Jazykové nástupiště;
- Nástupiště a manipulační kolej;
- Kusé koleje bez nástupišť;
- Hlavové nástupiště bez konstrukce zastřešení;
- Hlavové nástupiště s konstrukcí zastřešení.

Tab. 6.1 Nehodové scénáře dle brainstormingu

Typ kusé koleje se zarážedly	Schéma
Nástupiště podél kusé koleje	
Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekty za zarážedly	
Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekty za zarážedly v úrovni pod nimi	
Jazykové nástupiště	
Nástupiště s manipulační kolejí	

Typ kusé koleje se zarážedly	Schéma
Kusé koleje bez nástupišť	
Hlavové nástupiště bez střešní konstrukce	
Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí	

**Metoda co se stane když...?**

Metoda byla aplikována pro vytvoření nehodových scénářů, jejímž podkladem se staly výstupy brainstormingu. Metoda spočívala v kladení otázek a jejich vyhodnocení.

V následující tabulce jsou zaznamenány následovně:

x – předpoklad vzniku hrozby

o – bez předpokladu vzniku hrozby

**Tab. 6.2 Aplikace metody Co se stane když...?**

Ukončení kusé koleje	Co se stane když...?	Hrozba				
		Osoby		Havarované vozy	Objekty/konstrukce/budovy	El. vedení
		život	zdraví			
Nástupiště podél kusé koleje	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	po nárazu drážní vozidlo vykolejí	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po průjezdu zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo vykolejí směr nástupiště	x	x	x	x	o
	drážní vozidlo vykolejí směr vedlejší kolej	x	x	x	o	x

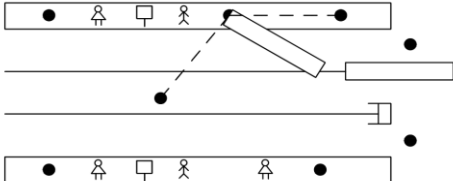
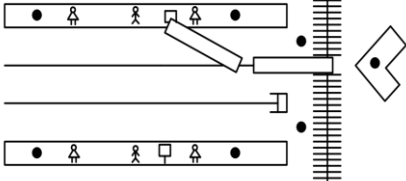
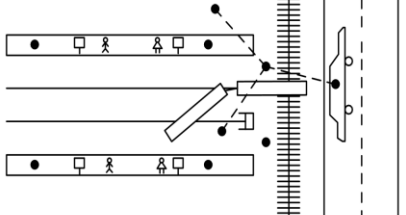
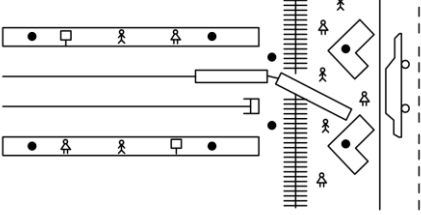
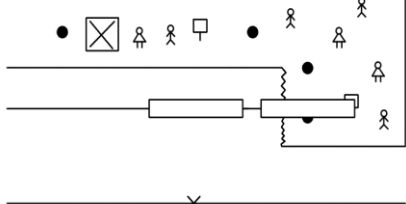
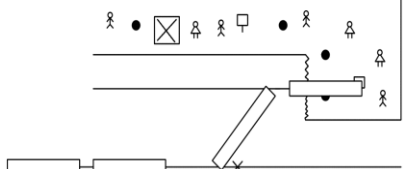
Ukončení kusé koleje	Co se stane když...?	Hrozba				
		Osoby		Havarované vozy	Objekty/konstrukce/budovy	El. vedení
		život	zdraví			
Nástupiště podél kusé koleje s objekty za zarážedly	se za zarážedly nachází objekty/konstrukce nepatřící do areálu nádraží	x	x	x	x	x
	po průjezdu zarážedlem narazí drážní vozidlo do objektů	x	x	x	x	x
	se za zarážedly nachází pozemní komunikace a jiné dopravní cesty	x	x	x	x	x
	vozidlo projede zarážedlem směr pozemní komunikace a jiným dopravním cestám	x	x	x	x	x
	po nárazu do zarážedla vozidlo vykolejí	x	x	x	o	x
	projede zarážedly a vykolejí	x	x	x	x	x
Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí/objekty/komunikací v úrovni pod nimi	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo projede přes okraj a dopadne na prostor pod ním	x	x	x	x	x
Jazykové nástupiště	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo po nárazu vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po projetí zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po projetí narazí do nástupiště	x	x	x	x	x
Nástupiště a manipulační kolej	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	o	x
	drážní vozidlo po nárazu vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po projetí zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x
Kusé koleje bez nástupišť	drážní vozidlo narazí do zarážedla	o	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po nárazu vykolejí	x	x	x	o	x
	drážní vozidlo po projetí zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x

Ukončení kusé koleje	Co se stane když...?	Hrozba				
		Osoby		Havarované vozy	Objekty/konstrukce/budovy	El. vedení
		život	zdraví			
Hlavové nástupiště bez konstrukce zastřešení	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po nárazu vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po projetí zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo projede do prostoru nádraží	x	x	x	x	x
Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí	drážní vozidlo narazí do zarážedla	x	x	x	o	o
	drážní vozidlo projede zarážedlem	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po nárazu vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo po projetí zarážedlem vykolejí	x	x	x	x	x
	drážní vozidlo projede do prostoru nádraží	x	x	x	x	x

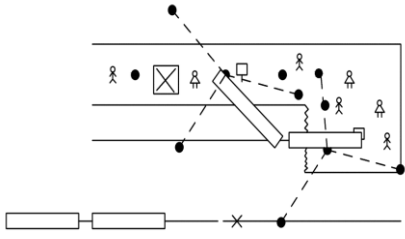
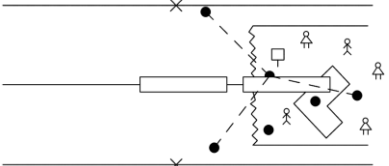
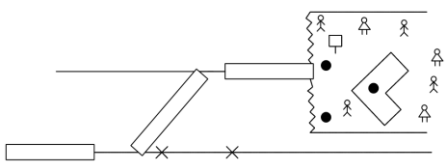
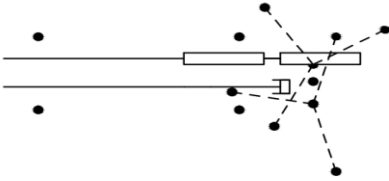
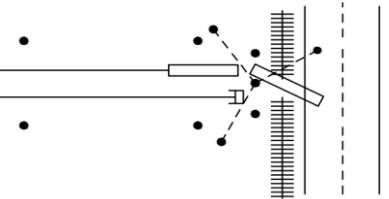
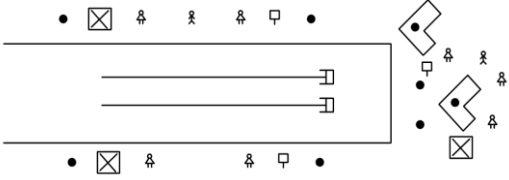
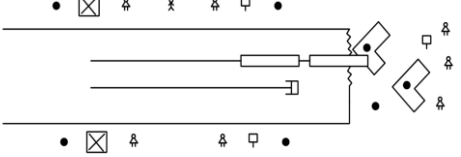
- Scénář nebezpečí pro všechny stanovené prvky
- Scénář nebezpečí není významný pro jeden stanovený prvek
- Scénář nebezpečí není významný pro více jak jeden stanovený prvek

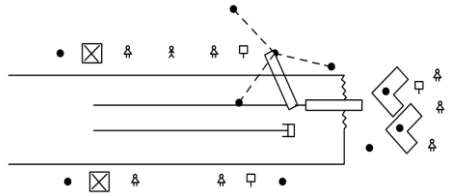
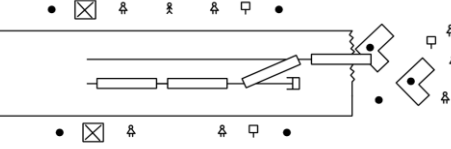
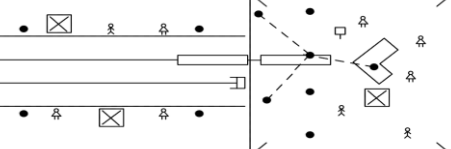
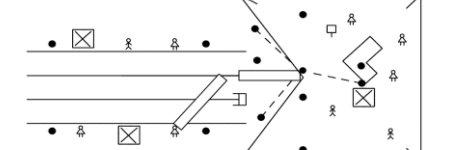
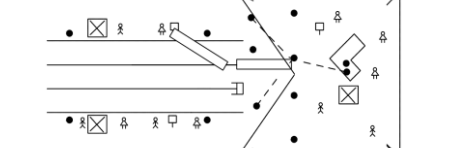
Tab. 6.3 Schéma nehodových událostí

Nehodové události	Schéma
Nástupiště podél kusé koleje	
Projetí vlaku a destrukce zarážedla	<p>The diagram illustrates a train (represented by a horizontal bar with a black dot at each end) moving from left to right. It is positioned on a track that has a platform (a horizontal bar) on the left side. The end stop (zarážedlo) at the end of the platform is shown as a broken, tilted rectangle. The train has passed the end stop and is continuing onto the next section of track.</p>
Projetí zarážedla s vykolejením vozidla na vedlejší kolej	<p>The diagram illustrates a train (represented by a horizontal bar with a black dot at each end) moving from left to right. It is positioned on a track that has a platform (a horizontal bar) on the left side. The end stop (zarážedlo) at the end of the platform is shown as a tilted rectangle. The train has passed the end stop and is shown derailing (tilted) onto an adjacent track on the right side.</p>

Nehodové události	Schéma
<p>Projetí zarážedla, vykolejení vozidla s ohrožením nástupiště</p>	 <p>The diagram illustrates a train car (represented by a rectangle with a square and a triangle) moving from left to right. It crosses a platform (represented by a horizontal line) and continues onto a set of tracks. A dashed line indicates the path of the car as it begins to tilt and derail off the tracks. The platform has several human figures (stick figures) standing on it, and there are dots representing objects or equipment on the tracks.</p>
<p>Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekty za zarážedly</p>	
<p>a) Projetí zarážedla a ohrožením objektu mimo areál nádraží</p>	 <p>The diagram shows a train car crossing a platform. A dashed line indicates the car's path as it moves past the platform and towards a structure (represented by a vertical line with a zigzag) located outside the station area. The structure has a diamond-shaped object attached to it. Human figures are shown on the platform, and dots represent objects on the tracks.</p>
<p>b) Projetí zarážedla a ohrožení pozemní komunikace</p>	 <p>The diagram shows a train car crossing a platform. A dashed line indicates the car's path as it moves past the platform and towards a vertical structure (possibly a signal or communication line). Human figures are shown on the platform, and dots represent objects on the tracks.</p>
<p>Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekty za zarážedly v úrovni pod nimi</p>	
<p>Projetí zarážedla s ohrožením osob a objektů za zarážedly – pád z výšky</p>	 <p>The diagram shows a train car crossing a platform. A dashed line indicates the car's path as it moves past the platform and towards a structure below the level of the platform. Human figures are shown on the platform, and dots represent objects on the tracks.</p>
<p>Jazykové nástupiště</p>	
<p>a) Projetí zarážedla s nárazem do nástupiště a jeho destrukcí</p>	 <p>The diagram shows a train car moving from left to right. It crashes into a platform (represented by a horizontal line). A dashed line indicates the car's path as it continues past the platform, which is shown with a jagged, broken edge. Human figures are shown on the platform, and dots represent objects on the tracks.</p>
<p>b) Projetí zarážedla s nárazem do nástupiště a vykolejením vozidla</p>	 <p>The diagram shows a train car moving from left to right. It crashes into a platform (represented by a horizontal line). A dashed line indicates the car's path as it continues past the platform and begins to tilt and derail off the tracks. Human figures are shown on the platform, and dots represent objects on the tracks.</p>



Nehodové události	Schéma
c) Projetí zarážedla s vykolejením vozidla na nástupiště	 <p>The diagram illustrates a train crossing a platform. A carriage has derailed and is positioned on the platform tracks. Dashed lines indicate the path of the train and the location of the derailed carriage. Various symbols represent passengers, equipment, and structural elements.</p>
<b>Nástupiště s manipulační kolejí</b>	
a) Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště, objektů a konstrukcí	 <p>The diagram shows a train crossing a platform. The train's front end is shown impacting the platform structure, causing significant damage and destruction of the platform and surrounding structures. Dashed lines indicate the impact point and the extent of the damage.</p>
b) Projetí zarážedla s vykolejením vozidla, destrukcí nástupiště a ohrožením vlaku na vedlejší koleji	 <p>The diagram depicts a train crossing a platform. A carriage has derailed, and the platform structure is being destroyed. Dashed lines indicate the path of the train and the location of the derailed carriage. The diagram also shows an adjacent track with a train, indicating a potential threat to that train.</p>
<b>Kusé koleje bez nástupišť</b>	
a) Projetí zarážedla a destrukce sloupů s el. vedením	 <p>The diagram shows a train crossing a track. The train's front end is shown impacting a structure, causing destruction of columns and overhead power lines. Dashed lines indicate the impact point and the extent of the damage.</p>
b) Projetí zarážedla na kusé koleji bez nástupišť s destrukcí sloupů el. vedení a ohrožení dalších objektů a konstrukcí	 <p>The diagram depicts a train crossing a track. The train's front end is shown impacting a structure, causing destruction of columns and overhead power lines. Dashed lines indicate the impact point and the extent of the damage. The diagram also shows other structures and objects nearby, indicating a potential threat to them.</p>
<b>Hlavové nástupiště bez střešní konstrukce</b>	
a) Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště, objektů	 <p>The diagram shows a train crossing a platform. The train's front end is shown impacting the platform structure, causing destruction of the platform and surrounding objects. Dashed lines indicate the impact point and the extent of the damage.</p>
b) Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště, objektů a konstrukcí	 <p>The diagram depicts a train crossing a platform. The train's front end is shown impacting the platform structure, causing destruction of the platform, surrounding objects, and structures. Dashed lines indicate the impact point and the extent of the damage.</p>

Nehodové události	Schéma
c) Projetí zarážedla a konstrukcí, vykolejení vozidla	
d) Projetí zarážedla, vykolejení vozidla s destrukcí nástupiště a ohrožením vlaku na vedlejší koleji	
<b>Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí</b>	
a) Projetí zarážedla s destrukcí objektů bez pádu střešní konstrukce	
b) Projetí zarážedla s pádem střešní konstrukce a vykolejením vozidla na vedlejší kolej	
c) Projetí zarážedla s pádem střešní konstrukce a vykolejením vozidla na nástupiště	

V následujících tabulkách jsou údaje o nehodových událostech na kusých kolejích v letech 2010-2015. Údaje byly získány z dostupných zpráv Drážní inspekce a doplňující údaje byly poskytnuty ze strany Správy železnic. Na základě porovnání zvolených nehodových událostí a mimořádných událostí, které se staly na kusých kolejích se zarážedly, se potvrdilo, že zvolené scénáře jsou reálné a odpovídají skutečnosti.

Tab. 6.4 Přehled mimořádných událostí na kusých kolejích v letech 2010-2015

Příčina	Počet událostí (2010-2015)	Dostupné hodnocení závažnosti mimořádné události nebo popis situace
Nezajištění vozu proti ujetí	4	Ohrožení sousední koleje
		Volné prostranství za zarážedlem
Nezajištění bezpečného zastavení posunových vozidel	1	Nebylo definováno
Chybějící příčný pražec, najetí na zarážedlo kusé koleje	1	Hlavové nástupiště bez dalších konstrukcí
Prudké najetí	7	Ohrožení sousedních manipulačních kolejí
		Ohrožení sousední hlavní traťové koleje (160 km.h <sup>-1</sup> )
		Ohrožení sousední hlavní koleje
		Nástupiště s manipulační kolejí
Nedovolený posun	2	Nástupiště s manipulační kolejí
Projetí zarážedla	7	Ohrožena budova za zarážedlem
		Ohrožena sousední manipulační kolej
		Nástupiště s manipulační kolejí
Projetí návěsti	4	Ohrožení sousední koleje
		Hlavové nástupiště bez dalších konstrukcí
		Jazykové nástupiště s dopravní kolejí
		Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí
Nesprávná technologie jízdy	1	Nebylo definováno
Nesprávně postavená posunová cesta	3	Ohrožení sousední hlavní traťové koleje (160 km.h <sup>-1</sup> )
		Ohrožení sousední hlavní koleje
Nezastavení posunového dílu	3	Nástupiště s manipulační kolejí
		Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí
Nezastavení na určeném místě	1	Hlavové nástupiště se střešní konstrukcí
Nesprávné pokyny pro řízení posunu	2	Ohrožení předjízdne koleje
Nedodržení jízdy podle rozhledových poměrů	2	Ohrožení sousední koleje
Nerespektování návěsti "Stůj" návěstidla	1	Nebylo definováno
Neubrzdění posunového dílu	1	Ohrožení sousední hlavní traťové koleje (160 km.h <sup>-1</sup> )
Neprovedené přezkoušení správného přestavení výhybek ve vlakové cestě	1	Nebylo definováno
Neoprávněné odstranění zajišťovacích prostředků	1	Nebylo definováno
Nedostatečná opatrnost při pobytu v jedoucím drážním vozidle	1	Nebylo definováno
Jízda posunového dílu bez řádného sjednání posunu	1	Nástupiště s manipulační kolejí
Neuposlechnutí návěsti	1	Ohrožení asfaltové plochy pro nakládku za zarážedlem a vedlejší staniční koleje

**Tab. 6.5 Přehled mimořádných událostí v letech 2010-2015 dle druhu dopravy**

Druh	Počet
Vlak	6
Posun	38
Není specifikováno	1
Celkem	45

**Tab. 6.6 Přehled mimořádných událostí dle jednotlivých let**

Rok	Počet	Specifikace
2010	5	5x posun
2011	7	6x posun, 1x vlak
2012	10	9x posun, 1x vlak
2013	6	6x posun, 1x vlak
2014	6	5x posun, 1x vlak
2015	11	7x posun, 3x vlak, 1x není spec.

Z výše uvedených dat lze konstatovat, že každoročně docházelo průměrně k sedmi mimořádným událostem na kusých kolejích se zarážedly. Převážně se jedná o mimořádné události při posunu.

Jedná se však pravidelně také o vlaky osobní dopravy, kde lze předpokládat závažnější dopady na zdraví osob.

### ***Analýza chyb a následků***

V rámci této metody byly stanoveny stupně charakterizující význam dopadu mimořádné události, pravděpodobnost výskytu rizika a pravděpodobnost odhalení. Hodnocení bylo založeno na základě výpočtu prioritního rizikového čísla. Je nezbytné stanovit předem škálu a rozsah jednotlivých hodnot včetně intervalu závažnosti rizika. K tomuto účelu byla definována matice rizika, popisující pravděpodobnost vzniku události a význam dopadu.

Tab. 6.7 Matice rizika stanovující pravděpodobnost výskytu a závažnost dopadu

Pravděpodobnost výskytu (P)	Stupeň	Frekvence vzniku (F)	Závažnost následků (Z)				
			Zanedbatelný	Málo významný	Střední	Těžký	Kritický
Vysoce pravděpodobné	5	>1 rok a >1 typ koleje	5	10	15	20	25
Velmi pravděpodobné	4	≥1 rok a ≥ 1 typ koleje	4	8	12	16	20
Pravděpodobné	3	≤1 rok a ≥ 1 typ koleje	3	6	9	12	15
Málo pravděpodobné	2	≤1 rok a = 1 typ koleje	2	4	6	8	10
Neppravděpodobné	1	<1 rok a = 1 typ koleje	1	2	3	4	5
Následky			1	2	3	4	5
			Bez zranění, poškození zarážedla, konstrukce vozidla, bez narušení konstrukce nástupišť apod.	Lehká zranění, destrukce zarážedla bez narušení konstrukce nástupiště, objektů na nástupišti apod.	Poranění osob, narušení konstrukce nástupiště, narušení konstrukce objektů na nástupišti apod.	Těžká zranění osob, méně než 1 úmrtí, závažné poškození vozidla, nástupiště, objektů na nástupišti apod.	Kritické (ztráta životů více než 1 osoby, destrukce konstrukce , závažné poruchy vozidla apod.)

Tab. 6.8 Míra pravděpodobnosti odhalení

Pravděpodobnost odhalení	Stupeň
Žádná (chyba/porucha je skrytá nebo považována za nepravděpodobnou, vyžaduje zvláštní režim kontrol, není odhalitelná běžnou činností)	5
Nízká (chyba/porucha je odhalena po důkladné nebo sekundární kontrole, případně nehodě)	4
Střední (chyba/porucha je odhalena běžnou a sekundární kontrolní činností)	3
Vysoká (chyba/porucha vyžaduje pro odhalení běžnou kontrolní činnost, pozorování)	2
Velmi vysoká (chyba/porucha je odhalena při běžných procesech provozu)	1

Tab. 6.9 Aplikace metody pro stanovení míry rizika

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Nástupiště podél kusé koleje	Projetí/náraz vlaku a destrukce zarážedla	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	3	4	3	36
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	3	2	3	18
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	2	4	40
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24
	Projetí/náraz vlaku s vykolejením na vedlejší kolej	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, riziko srážky a vykolejení vlaku na sousední kolej s ohrožením zdraví a životů osob ve vlaku, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí/náraz vlaku s vykolejením s ohrožením nástupiště	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti zarážedla, ohrožení osob a objektů za zarážedly, riziko srážky a vykolejení vlaku na sousední koleji s ohrožením zdraví a životů osob ve vlaku, ohrožení zdraví a životů osob na nástupišti, kde došlo k vykolejení vlaku, škody a majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	2	4	40
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Nástupiště podél kusé koleje s objekty za zarážedly	Projetí zarážedla a ohrožení objektů mimo nádraží	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti a za zarážedly vč. oblasti mimo areál vlakového nádraží, riziko škod na majetku v prostorách vlakového nádraží a po projetí i v oblasti mimo něj	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24
	Projetí zarážedla a ohrožení pozemní komunikace	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti a za zarážedly vč. oblasti mimo areál vlakového nádraží, riziko škod na majetku v prostorách vlakového nádraží a po projetí mimo něj, kdy dojde k ohrožení pozemní komunikace a objektů a osob, které se na ní a v její bezprostřední blízkosti pohybují	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	1	4	20
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
Nástupiště podél kusé koleje s konstrukcí a objekt za zarážedly v úrovni pod ním	Projetí zarážedla s ohrožením osob a objektů za zarážedly - pád z výšky	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti a za zarážedly vč. oblasti mimo areál vlakového nádraží, riziko škod na majetku v prostorách vlakového nádraží a po projetí mimo něj. V případě, že je kusá kolej a její ukončení nad úrovní terénu, jsou ohroženy v případě projetí i zdraví a životy osob, včetně objektů pod	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	1	4	20
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Jazykové nástupiště	Projetí zarážedla s nárazem do nástupiště a jeho destrukcí	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti a pohybujících se na jazykovém nástupišti, případně v jeho bezprostředním okolí, kde hrozí zranění padajícími nebo odletujícími předměty, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrždění apod.)	3	4	2	24
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí zarážedla s nárazem do nástupiště a vykolejením vozidla	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti a pohybujících se na jazykovém nástupišti, případně v jeho bezprostředním okolí, kde hrozí zranění padajícími nebo odletujícími předměty, při vykolejení je zvýšeno riziko újmy na zdraví a majetku, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrždění apod.)	4	3	2	24
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24
	Projetí/náraz zarážedla s vykolejením vozidla na nástupiště	ohrožení zdraví a životů osob ve vlaku a pohybujících se na nástupišti, případně v jeho bezprostředním okolí, kde hrozí zranění padajícími nebo odletujícími předměty, při vykolejení je zvýšeno riziko újmy na zdraví, životech a majetku, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrždění apod.)	4	3	2	24
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30



Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Nástupiště a manipulační kolej	Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště, objektů a konstrukcí	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, kde hrozí zranění padajícími nebo odletujícími předměty (personál), škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	3	5	2	30
			Technická závada (porucha, absence techniky, bezp. prvků, mechanických prvků, nefunkčnost apod.)	3	2	3	18
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	3	5	2	30
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	1	4	16
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24
	Projetí zarážedla s vykolejením vozidla, destrukcí nástupiště a ohrožením vlaku na vedlejší koleji	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly (s ohledem na druh koleje není předpokládán výskyt běžných cestujících), riziko srážky a vykolejení vlaku na sousední koleji s ohrožením zdraví a životů osob v sousední vlakové soupravě, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	2	5	2	20
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	2	2	3	12
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	2	5	2	20
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	2	1	4	8
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Kusé koleje bez nástupišť	Projetí zarážedla a destrukce sloupů el. vedení/trakčních sloupů	zdraví a životy osob ve vlakové soupravě a osob pohybujících se v bezprostřední blízkosti soupravy a za zarážedly, riziko zranění padajícími nebo odletujícími předměty, škoda na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	3	5	2	30
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	3	4	3	36
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	3	5	2	30
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	3	2	4	24
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	3	4	2	24
	Projetí zarážedla na kusé koleji s destrukcí sloupů a ohrožení dalších objektů konstrukcí	zdraví a životy osob ve vlakové soupravě a osob pohybujících se v bezprostřední blízkosti soupravy a za zarážedly, riziko zranění padajícími nebo odletujícími předměty, škoda na majetku, při přerušení el. vedení je riziko narušení funkčnosti ostatních vlakových souprav a vlakového nádraží po dobu do jeho odstranění a zajištění náhradního zdroje	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	3	4	2	24
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	3	3	3	27
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	3	5	3	45
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	3	2	4	24
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	4	3	2	24

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Hlavové nástupiště bez konstrukce zastřešení	Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	2	4	32
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí zarážedla s destrukcí nástupiště, objektů a konstrukcí	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty na nástupištích. Při vykolejení na nástupiště jsou pak přímo ohroženy osoby pohybující se po něm. Škody na majetku.	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	2	4	32
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí zarážedla a vykolejení vozidla	draví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty, škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	4	4	2	32
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	4	2	3	24
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	4	5	2	40
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	4	2	4	32
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí zarážedla, vykolejení vozidla s destrukcí nástupiště a ohrožením vlaku na vedlejší koleji	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty. Zdraví a životy osob jsou v případě vykolejení ohroženy i na vedlejší koleji s destrukcí druhé vlakové soupravy	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	2	4	40
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30

Typ struktury koleje	Nebezpečná situace	Možný dopad	Příčiny	PRČ			Celkem
				Význam	Výskyt	Odhalení	
Hlavové nástupiště s konstrukcí zastřešení	Projetí zarážedla s destrukcí objektů bez pádu střešní konstrukce	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty na nástupištích. Zvýšené je i riziko narušení nosné střešní konstrukce. Škody na majetku.	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	1	4	20
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	4	2	40
	Projetí zarážedla s pádem střešní konstrukce a vykolejením vozidla na vedlejší kolej	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty na nástupištích. Při vykolejení na nástupiště jsou pak přímo ohroženy osoby pohybující se po něm. Zvýšené je i riziko narušení nosné střešní konstrukce. Škody na majetku	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	3	30
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	1	4	20
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30
	Projetí zarážedla s pádem střešní konstrukce a vykolejením vozidla na nástupiště	zdraví a životy osob v bezprostřední blízkosti, ohrožení osob a objektů za zarážedly, kde je předpokládán pohyb vysoké koncentrace osob, zejména ve frekventovaných denních hodinách, zejm. odletujícími a padajícími předměty na nástupištích. Při vykolejení na nástupiště jsou pak přímo ohroženy osoby pohybující se po něm. Zvýšené je i riziko narušení nosné střešní konstrukce s jejím pádem, vysoký počet mrtvých nebo zraněných a vysoké materiálové škody. Škody na majetku.	Ujetí vlakové soupravy (nezajištění, nezabrzdnění apod.)	5	4	2	40
			Technická závada (porucha, absence techniky, nefunkčnost apod.)	5	2	2	20
			Porušení pokynů (nerespektování, nedodržení, opomenutí apod.)	5	5	2	50
			Neoprávněné jednání (odstranění bezp. zařízení, odcizení, úmyslné jednání)	5	1	3	15
			Projetí zarážedla (rychlost, nerespektování apod.)	5	3	2	30

Pro stanovení prioritního rizikového čísla byla s ohledem na závažnost stanovena škála míry rizika dle Tab. 6.10.

**Tab. 6.10 Hodnocení závažnosti rizika**

Interval rizika	Míra rizika
$R \geq 50$	Kritické
$50 > R > 40$	Vysoké
$39 > R > 30$	Střední
$29 > R > 15$	Nízké
$R \leq 15$	Zanedbatelné

Na základě analýzy rizika byl navržen zjednodušený postup hodnocení rizik na kusé koleji. Postup hodnocení rizika je zobrazen v Příloze B.

### ***Přehled vybraných mimořádných událostí***

V Tab. 6.11 jsou zobrazeny počty mimořádných událostí v letech 2019 a 2020. Jedná se o mimořádné události spojené s nedovolenou jízdou za návěstidlo zakazující jízdu vlaku.

Přehled vybraných mimořádných událostí na kusých kolejích ukončených zarážedlem v letech 2017-2019 je zobrazen v Tab. 6.12. Informace jsou převzaty ze závěrečných zpráv Drážní inspekce.

Z popisu událostí je patrné, že při těchto mimořádných událostech došlo k pochybení osoby řídící drážní vozidlo. Rychlost drážního vozidla byla před nárazem do zarážedla plynule snižována. Snižování rychlosti však nebylo dostatečné.

Jako přispívající faktor je ve všech případech absence vlakového zabezpečovače, který by aktivním způsobem zabránil nedovolené jízdě vlaku.

**Tab. 6.11 Nedovolená jízda za návěstidlo zakazující jízdu včetně následné srážky nebo vykolejení [28]**

	2020			2019		
	počet MU	vlak	posun	počet MU	vlak	posun
leden	15	10	5	14	12	2
únor	15	9	6	21	12	9
březen	11	8	3	20	15	5
duben	10	7	3	11	8	3
květen	7	7	0	7	5	2
červen	18	13	5	14	10	4
červenec	14	9	5	10	4	6
srpen	9	7	2	11	7	4
září	13	6	7	6	5	1
říjen	12	8	4	7	6	1
listopad	13	7	6	17	13	4
prosinec	12	10	2	11	7	4
Počet MU 1.1. - 31.12.	149	101	48	149	104	45

Tab. 6.12 Přehled vybraných mimořádných událostí [28]

Rok	2017	2017	2018	2019
Místo	žst. Praha hl.n.	žst. Přerov	žst. Praha Radošín	žst. Liberec
Popis události	Nedovolená jízda vlaku za návěstidlo s návěstí "Konec vlakové cesty", srážka se zarážedlem	Nedovolená jízda vlaku za hlavní (cestové) návěstidlo, srážka s betonovým zarážedlem	Nedovolená jízda, srážka se zádržným pražcem kusé odvrtné koleje, vykolejení vozidla,	Nedovolená jízda vlaku za hlavní (cestové) návěstidlo, srážka s kolejnicovým zarážedlem, vykolejení a následná srážka s vybavením stanice
Bezprostřední příčina	Nerespektování návěstí stůj strojvedoucím vlaku	Nerespektování návěstí stůj strojvedoucím vlaku	Nerespektování návěstí Posun zakázán vedoucím posunu	Nerespektování návěstí "Stůj" strojvedoucím vlaku
Informace o rychlosti	Nejvyšší dovolená rychlost vlaku 40 km.h <sup>-1</sup> . Rychlost byla snižována plynule. Cca 16 m před zarážedlem došlo ke ztrátě adheze v rychlosti 20 km.h <sup>-1</sup> . Další průběh rychlosti není znám. Průměrné brzdné zpomalení před ztrátou adheze 0,52 m.s <sup>-2</sup> .	Nejvyšší dovolená rychlost vlaku v místě MU 50 km.h <sup>-1</sup> . Rychlost byla snižována plynule. Vlak míjí rychlostí 30 km.h <sup>-1</sup> hlavní návěstidlo. Rychlost při nárazu 25 km.h <sup>-1</sup>	Nejvyšší dovolená rychlost posunového oddílu (sunutí) 30 km.h <sup>-1</sup> . Překročena nejvyšší dovolená rychlost. Rychlost při nárazu 12 km.h <sup>-1</sup> .	Nejvyšší dovolená rychlost vlaku v místě MU 40 km.h <sup>-1</sup> . Rychlost byla snižována plynule. Vlak míjí rychlostí 18 km.h <sup>-1</sup> cestové návěstidlo. Rychlost při nárazu 10 km.h <sup>-1</sup> .
Příspěvající faktor	Absence technických prostředků zabezpečení, které by při pochybení osoby řídící hnací drážní vozidlo aktivním zásahem do řízení vlaku zabránily nedovolené jízdě vlaku za návěstidlo, které zakazuje jízdu vlaku	Absence technických prostředků zabezpečení, které by při pochybení osoby řídící hnací drážní vozidlo aktivním zásahem do řízení vlaku zabránily nedovolené jízdě vlaku za návěstidlo, které zakazuje jízdu vlaku	Nebylo definováno	Absence technických prostředků zabezpečení, které by při pochybení osoby řídící hnací drážní vozidlo aktivním zásahem do řízení vlaku zabránily nedovolené jízdě vlaku za návěstidlo, které zakazuje jízdu vlaku
Následky	2 lehce zranění, škoda na majetku	31 osob utrpělo újmu na zdraví (28 cestujících ve vlaku, 3 zaměstnanci dopravce), škoda na majetku	1 újma na zdraví, škoda na majetku	Škoda na majetku

## 7 NÁVRH ZARÁŽEDLA

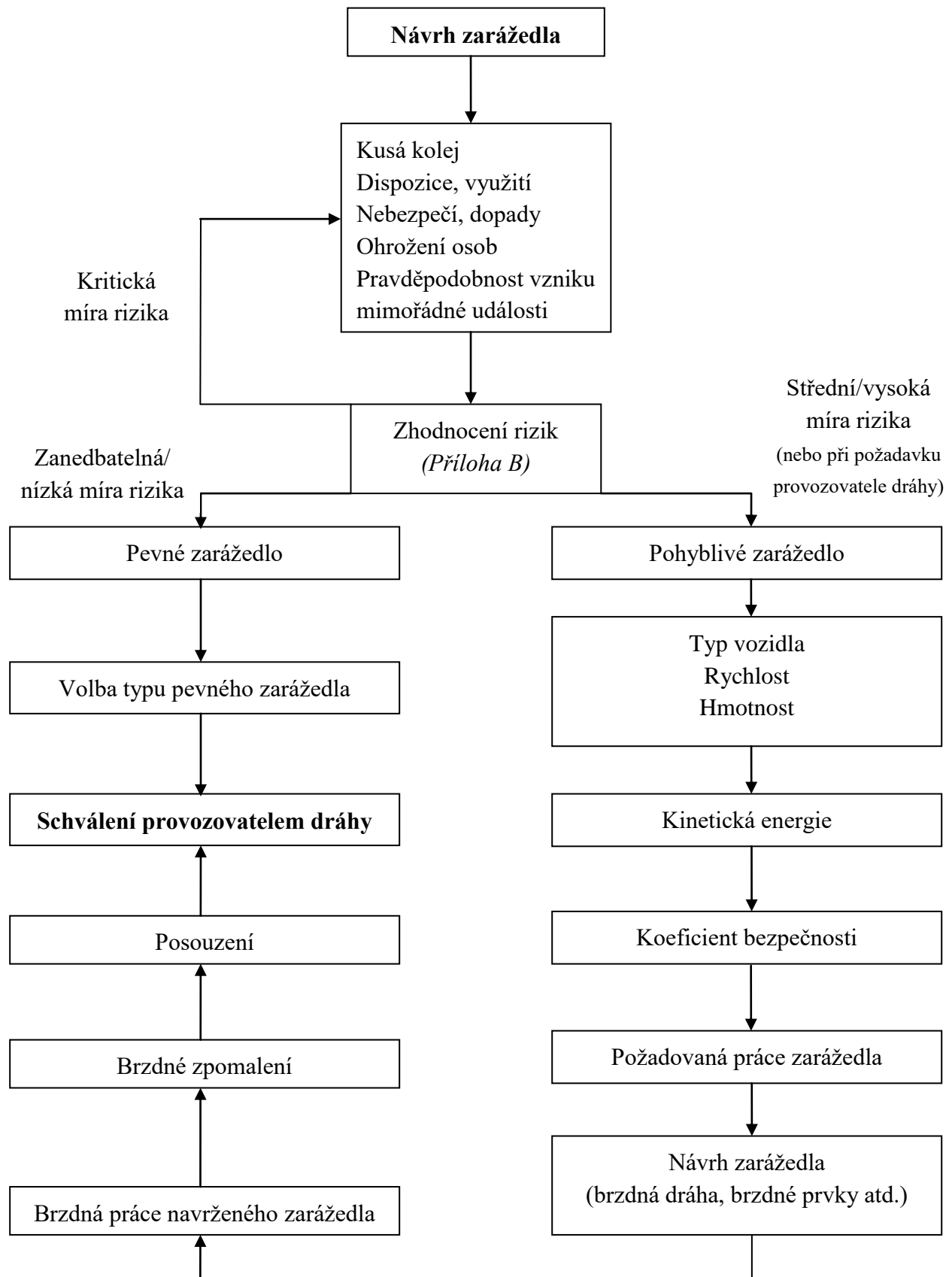
Způsob ukončení kusých kolejí se stanovuje na základě hodnocení rizik dle Přílohy B.

Pevné zarážedlo lze navrhnout v případě, že míra rizika vyplývající ze zhodnocení rizik je zanedbatelná nebo nízká. V případě střední nebo vysoké míry rizika se navrhne zarážedlo pohyblivé. Kritická míra rizika je nepřijatelná. V takovém případě je nutné zavést další opatření, kterými se míra rizika sníží.

Pokud nelze v případě střední nebo vysoké míry rizika navrhnout z důvodu stísněných poměrů pohyblivé zarážedlo, je možné navrhnout pevné zarážedlo za podmínek stanovených provozovatelem dráhy.

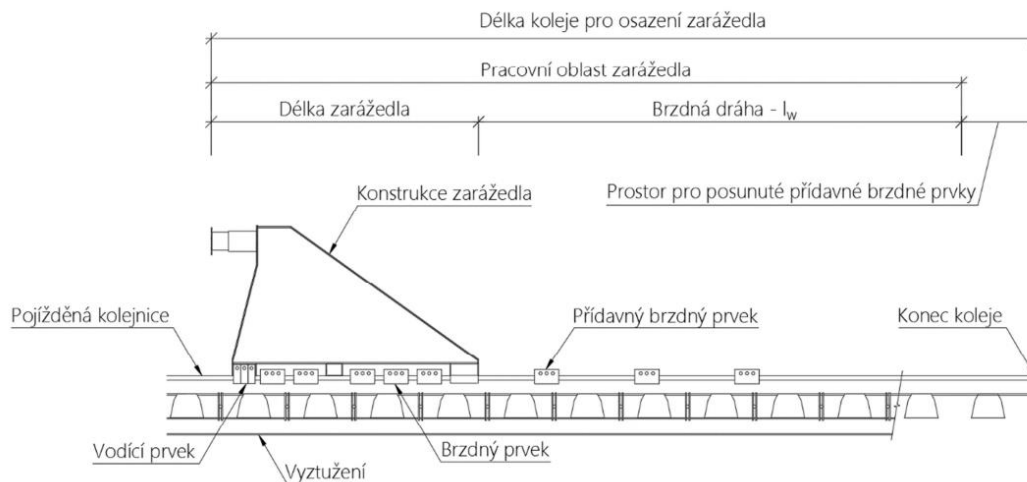
Zhodnocení rizik se neprovádí pro účelová kolejiště provozovatele dráhy v uzavřených areálech a pro odvrtné koleje. V těchto případech lze navrhnout jakýkoliv typ ukončení kusé koleje se zohledněním místních podmínek. Ve zvláštních případech může být na základě požadavku provozovatele dráhy posouzení rizik požadováno i v těchto případech.

Proces návrhu ukončení kusé koleje je schematicky zobrazen na diagramu níže.





## 7.1 NÁVRH POHYBLIVÉHO ZARÁŽEDLA



Obr. 7.1 Schéma pohyblivého zarážedla

### 7.1.1 Určení nárazové rychlosti

Pro určení nárazové rychlosti můžeme obecně uvažovat počáteční rychlost, délku brzdění a míru zpomalení. Případy můžeme rozdělit do tří základních možností pohybu vozidel, a to:

- jízda vlaku, tj. pohyb skupiny vozů a hnacího vozidla, vozy (souprava) jsou brzděny – zde je důležitým faktorem způsob zabezpečení vlakové cesty;
- posun, tj. pohyb skupiny vozů a hnacího vozidla, vozy jsou brzděny;
- pohyb samostatných vozů či skupiny vozů, tj. bez hnacího vozidla, vozy nejsou brzděny – jedná se o manipulační či odstavné koleje, kde může dojít k ujetí vozů.

Další způsob dělení můžeme uvažovat na základě polohy kusé koleje, zda se jedná o:

- ukončení dopravní koleje;
- ukončení manipulační koleje;
- odvrtné koleje z:
  - koleje dopravní;
  - koleje manipulační.

#### *Jízda vlaku*

Jedná-li se o jízdu vlaku se systémem ETCS, dá se určit maximální rychlost nárazu z nastavení systému. Konec oprávnění k jízdě (EoA) může vlak projet maximálně povolenou uvolňovací rychlostí. Jedná se zpravidla o nízké rychlosti –  $20 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $10 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $5 \text{ km.h}^{-1}$ . Uvolňovací rychlost může být nastavena také na  $0 \text{ km.h}^{-1}$ .

Jedná-li se však o kolej bez dohledu systému ETCS je určení nárazové rychlosti komplikované. Do procesu vstupuje zejména lidský faktor a to v podobě dostatečného snižování rychlosti před koncem koleje v gesci strojvedoucího.

Při výpočtech rychlosti nárazu se předpokládá brzdění vlaku před koncem vlakové cesty.

Brzdění můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií a to:

- brzdění provozní;
- brzdění rychločinné;

Pro výpočty jízdních dob a sestavování GVD se běžně užívá hodnot provozního brzdění s průměrnou hodnotou zpomalení  $a = 0,55 \text{ m.s}^{-2}$  pro vlaky osobní dopravy a průměrnou hodnotou zpomalení  $a = 0,30 \text{ m.s}^{-2}$  pro vlaky nákladní dopravy. Reálné hodnoty zpomalení se mohou lišit v závislosti na konstrukci vozidla, typu brzdění, brzdících procentech, adhezních podmínkách atd.

Rychločinné brzdění vyvolává vyšší hodnoty zpomalení, které však nesmí přesáhnout hodnotu průměrného zpomalení  $a = 2,50 \text{ m.s}^{-2}$  [11].

Délky kolejí potřebné pro zastavení kolejového vozidla pro vybrané počáteční rychlosti a rychlost na konci kusé koleje při uvažované délce brzdění 100 m před koncem koleje jsou zobrazeny v Tab. 7.1.

- provozní brzdění (průměrná hodnota zpomalení):
  - Os:  $0,50 \text{ m.s}^{-2}$  (2x jednotka 451/452) [10];
  - R, Ex, IC:  $0,45 \text{ m.s}^{-2}$  (hnací vozidlo 363 + 8 vozu typu Y) [10];
- rychločinné brzdění:  $2,40 \text{ m.s}^{-2}$ .

**Tab. 7.1 Příklady potřebné délky koleje pro zastavení a rychlost na konci koleje pro vybrané počáteční rychlosti**

Počáteční rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	Délka koleje potřebná pro zastavení [m]			Rychlost na konci kusé koleje [km.h <sup>-1</sup> ]		
	Os	R, Ex, IC	Rychločinné brzdění	Os	R, Ex, IC	Rychločinné brzdění
50	193	214	40	35	37	- <sup>1</sup>
60	278	309	58	48	49	- <sup>1</sup>
70	378	420	79	60	61	- <sup>1</sup>
80	494	549	103	71	72	13
90	625	694	130	82	83	43
100	772	857	161	93	94	61

<sup>1</sup> vlak zastaví před koncem koleje (zaráždlem)

U odvratných kolejí v pokračování vlakové cesty se systémem ETCS se navrhne pohyblivé zaráždlo, pokud je vzdálenost mezi koncem oprávnění k jízdě a zaráždlem kratší než požadovaná pro konkrétní situaci (tj. v závislosti na uvolňovací rychlosti, sklonových poměrech, skladbě dopravy apod.). V případě, kdy není jízda vlaku pod dohledem ETCS, nastává stejný případ jako u ukončení dopravní koleje, kdy je za dostatečné snižování rychlosti před koncem vlakové cesty zodpovědný strojvedoucí.

## Posun

Při posunu můžeme uvažovat obdobné podmínky jako při jízdě vlaku, kdy posunová cesta není pod dohledem ETCS. Za snižování rychlosti před koncem koleje je zodpovědný strojvedoucí resp. vedoucí posunu. Rychlosti při posunu jsou však nižší, než při jízdách vlaků. Rychlosti na manipulačních kolejích jsou omezeny na  $40 \text{ km.h}^{-1}$  případně  $30 \text{ km.h}^{-1}$  (viz kapitola 3.2).

Délky kolejí potřebné pro zastavení kolejového vozidla pro vybrané počáteční rychlosti a rychlost na konci kusé koleje při uvažované délce brzdění 100 m před koncem koleje jsou zobrazeny v Tab. 7.1. Ve výpočtu je uvažována průměrná hodnota zpomalení  $a = 0,50 \text{ m.s}^{-2}$ .

**Tab. 7.2 Příklady potřebné délky koleje pro zastavení a rychlost na konci koleje pro maximální dovolené rychlosti při posunu**

Počáteční rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]	Délka koleje potřebná pro zastavení [m]	Rychlost na konci kusé koleje [km.h <sup>-1</sup> ]
30	69	<sup>1</sup>
40	123	17

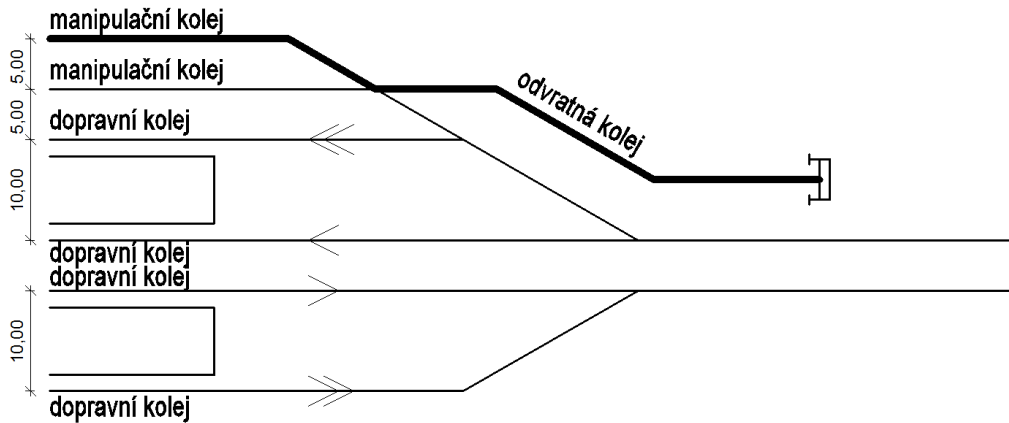
<sup>1</sup> zastaví před koncem koleje (zarážedlem)

## Pohyb samostatných vozů

Jedná se zpravidla o případ odvrtné koleje z koleje manipulační, která slouží především pro zamezení ujetí vozu (či skupiny vozů) na dopravní kolej. Vzhledem k tomu, že se ve většině případů jedná o pohyb samostatných vozů (nebo skupiny vozů), lze pro výpočet nárazové rychlosti na konci kusé koleje použít metodu rychlostních výšek a její ztráty při jízdě.

Udělíme-li vozu počáteční rychlost  $v_0$  (např. při posunu odrazem, manipulace s vozy nebo nákladem na nich atd.), působí na jeho pohyb pouze gravitační zrychlení (ve směru pohybu) a vozidlové a traťové odpory (proti směru pohybu).

Uvedme modelový případ ujetí vozu z manipulační koleje s počáteční rychlostí  $V_0 = 10 \text{ km.h}^{-1}$  přes zhlaví železniční stanice. Jedná se o prázdný nákladní vůz typu U2 (Upps,  $m = 13,14 \text{ t}$ ). Schéma zhlaví, kterým vůz projíždí, je zobrazeno na Obr. 7.2 (kolej zvýrazněna tlustou čarou). Celá kolej je ve sklonu 2,5 ‰, poloměry oblouků, délka úseku koleje oddělující dvě místa náhlé změny křivosti, náhlá změna nedostatku převýšení a nedostatek převýšení odpovídá požadavkům na konstrukční a geometrické uspořádání koleje dle [5].



Obr. 7.2 Schéma zhlaví železniční stanice pro modelový případ

Tab. 7.3 Ztráta rychlostní výšky při průjezdu zhlavím stanice – část 1/2

Sklon úseku $s_i$ [‰]	Délka úseku $L_i$ [m]	Poloměr oblouku v úseku $R$ [m]	Délka oblouku $l_i$ [m]	Změna výšky v úseku $h_i$ [m]	Základní jízdní odpor $O_z$ [‰]	Ztráta rychlostní výšky (odpory) [m]
2,5	20,000	0,000	0,000	0,050	2,125	0,042
2,5	36,822	190,000	36,000	0,092	2,127	0,078
2,5	10,430	0,000	0,000	0,026	2,099	0,022
2,5	33,180	0,000	0,000	0,083	2,100	0,070
2,5	38,510	0,000	0,000	0,096	2,076	0,080
2,5	15,797	190,000	15,797	0,039	2,081	0,033
2,5	15,000	0,000	0,000	0,038	2,068	0,031

Tab. 7.4 Ztráta rychlostní výšky při průjezdu zhlavím stanice – část 2/2

Ztráta rychlostní výšky ve výhybce [m]	Ztráta rychlostní výšky v oblouku [m]	Celková ztráta rychlostní výšky v úseku [m]	Změna rychlostní výšky [m]	Rychlostní výška [m]	Rychlost $v_i$ [m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost $V_i$ [km.h <sup>-1</sup> ]
				0,440	2,78	10,00
0,000	0,000	0,042	0,008	0,448	2,80	10,08
0,000	0,114	0,192	-0,100	0,348	2,47	8,89
0,000	0,000	0,022	0,004	0,352	2,48	8,94
0,097	0,000	0,167	-0,084	0,268	2,17	7,80
0,000	0,000	0,080	0,016	0,284	2,23	8,03
0,000	0,050	0,083	-0,043	0,241	2,05	7,40
0,000	0,000	0,031	0,006	0,247	2,08	7,49

Přepočteme-li tento vstup na kinetickou energii pro výše zmíněné vozidlo, dostáváme hodnotu kinetické energie při nárazu 28,44 kJ. V porovnání s hodnotami kinetické energie dle Tab. 4.2 se jedná o nízkou hodnotu. V tomto případě je zřejmé, že pevné zarážedlo je pro ukončení koleje dostačující.

Z výše popsaného je patrné, že určení nárazové rychlosti je v mnoha případech komplikované. Na základě poznatků z rešeršní části, s přihlédnutím na rychlosti v kusých kolejích, hospodárnost návrhu a konstrukční možnosti zarážedel se rychlost do výpočtu kinetické energie při navrhování pohyblivého zarážedla uvažuje následovně:

- $V = 10 \text{ km.h}^{-1}$  – pro nákladní vlaky a posun;
- $V = 15 \text{ km.h}^{-1}$  – pro vlaky osobní dopravy.

Ve vazbě na navrhované parametry vlakového zabezpečovacího zařízení nebo konkrétní dispoziční řešení stanice je možné po odsouhlasení provozovatele dráhy stanovit odlišné rychlosti.

### 7.1.2 Stanování hmotnosti kolejových vozidel

Určení hmotnosti kolejového vozidla vychází ze vztahu:

$$m = m_v + m_z \quad (7.1)$$

$m_v$  .....vlastní hmotnost vozidla [kg];

$m_z$  .....hmotnost zátěže [kg].

Hmotnost zátěže pro nákladní vozy se určí jako hmotnost nákladu. Pro určení hmotnosti zátěže vozidel pro přepravu cestujících se použije vztah (7.2).

$$m_z = N_c m_1 \quad (7.2)$$

$N_c$  .....počet cestujících [-];

$m_l$  .....hmotnost jednoho cestujícího (i se zavazadly) [kg].

Pro Evropu platí standardně hmotnost cestujícího 70, 75, 80 kg. Vážení cestujících dopravním podnikem v Praze v roce 2003 však ukázalo, že průměrná hmotnost dospělých cestujících je 84 kg.

$$N_c = N_s + hS \quad (7.3)$$

$N_s$  .....počet sedících cestujících [-];

$h$  .....plošná hustota stojících cestujících [počet cestujících/m<sup>2</sup>];

- $h = 0$  – jen sedící;
- $h = 2 - 3/m^2$  – provozní obsazení;
- $h = 5/m^2$  – normální obsazení;
- $h = 8/m^2$  – maximální obsazenost;

$S$  .....plocha ke stání.

Hodnoty plošné hustoty stojících cestujících  $h=5/m^2$  a  $h=8/m^2$  odpovídají městské hromadné dopravě. Pro určení hmotnosti zátěže vozidel pro přepravu cestujících v železniční dopravě odpovídá hustota  $h=0$  (pouze místňkové vlaky) a  $h=2-3/m^2$  pro maximální obsazenost.

$$S = S_c - S_{se} \quad (7.4)$$

$S_c$  .....celková plocha interiéru [m<sup>2</sup>];

$S_{se}$  .....plocha využita k sezení [m<sup>2</sup>].

$$S_{se} = N_{se} S_{se1} \quad (7.5)$$

$N_{se}$  .....počet sedadel [-];

$S_{se1}$  .....plocha jednoho sedadla (0,4 m<sup>2</sup>) [m<sup>2</sup>].

Z takto stanoveného obsazení vlakové soupravy cestujícími jsme schopni určit nejvyšší hmotnost vlaku, kterou lze využít při stanovení kinetické energie.

Pro výpočet maximální kinetické energie se uvažuje hmotnost nejtěžšího vozidla, které do kusé koleje pravidelně zajíždí nebo ve výhledovém stavu bude zajíždět. Druh vozidla a jeho hmotnost se stanoví s ohledem na užitečnou délku příslušné koleje nebo délku příslušné nástupní hrany. Dle charakteru provozu na kusé koleji je nutné při stanovení hmotnosti uvažovat s obsazením vozidla cestujícími nebo s naloženým nákladem.

V případě, že se posuzuje nejlehčí vozidlo osobní dopravy v pravidelném provozu z hlediska brzděného zpomalení, uvažuje se jeho hmotnost při poloviční obsazenosti.

### 7.1.3 Kinetická energie

Z rešerše je patrné, že právě pohyblivé zarážedlo je nejvhodnější konstrukce pro ukončení kusých kolejí, neboť jejich odolnosti dosahují nejvyšších hodnot.

Návrh zarážedla sleduje trendy v zahraničí a provádí se pomocí kinetické energie. Právě tento

přístup je vhodný, protože nám dobře popisuje chování vlaku při nárazu a jeho možnosti zastavení.

Obecně lze napsat, že jako podmínku správného návrhu zarážedla můžeme uvažovat jeho schopnost bezpečně absorbovat kinetickou energii při nárazu, která je zvětšena o bezpečnostní koeficient.

Pro určení kinetické energie se využívá zjednodušený výpočet se zanedbáním energie rotujících hmot:

$$E_{kin,p} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7.6)$$

### 7.1.4 Koeficient bezpečnosti

Koeficient bezpečnosti  $k$ , je používán pro zvýšení kinetické energie kolejového vozidla při nárazu. Případně se dá také říct, že zvyšuje požadovanou brzdou práci zarážedla. Zohledňuje nejistotu některých vstupních parametrů jako je například rychlost nárazu (viz kapitola 7.1.1). Dále vstupní parametry, které jsou pro praktický výpočet zanedbávány pro jejich zanedbatelný vliv či náročnost určování. Jedná se například o energii rotujících hmot nebo sklon kusé koleje v oblasti zarážedla.

Dále koeficient zohledňuje závažnost následků v případě mimořádné události. Jednotlivé scénáře uspořádání kusých kolejí a jejich okolí, stejně tak jako zhodnocení míry rizika jsou popsány v kapitole 6

Hodnoty koeficientu bezpečnosti jsou zvoleny na základě poznatků z rešeršní části této práce a voleny tak, aby co nejvíce vystihovaly podmínky použití zarážedel na kolejích v České republice a výsledná požadovaná práce zarážedla a brzdná dráha byly technicky proveditelné a hospodárné.

Tab. 7.5 Hodnoty koeficientu bezpečnosti

$k$	Popis charakteristiky provozu nebo okolí kusé koleje
1,2	pro nákladní vlaky a posun
1,5	pro všechny vlaky a posun, pokud se v blízkosti zarážedla (vedle něho nebo za ním) nachází zařízení nebo stavby, které je potřeba ochránit
1,8	pro všechny vlaky a posun, pokud se v blízkosti zarážedla (vedle něho nebo za ním) vyskytují důležité plochy, např. nástupiště nebo příchod na něj, provozně významné budovy nebo obytné domy
2,0	v případě, že je potřeba zabránit případnému pádu vozu nebo vlaku z výšky nebo nárazu vlaku na pevnou překážku, např. do skalního svahu, opěrné nebo zárubní zdi, pilíře apod.

### 7.1.5 Brzdná síla

Brzdná síla je závislá na uspořádání brzdových prvků pohyblivého zarážedla, resp. přídavných brzdových prvků za zarážedlem.

Vzhledem k hodnotám zpomalení a velikosti brzdné síly po délce brzdné dráhy je vhodné navrhovat delší brzdou dráhu s postupným nárůstem brzdné síly pro snížení negativních dopadů při nárazu do zarážedla (zpomalení působící na vozidlo). Velké délky brzdné dráhy mají však

negativní dopad na potřebnou délku koleje pro práci zarážedla a jsou méně efektivní také z pohledu účinku brzdných prvků, které vlivem tření a opotřebení ztrácejí svou účinnost.

V následující tabulce jsou zapsány brzdné síly brzdných prvků, s rozdělením brzdné dráhy do dílčích úseků, s uvažovanou brzdou silou pro daný úsek. Brzdné síly zapsané v tabulce odpovídají standartním brzdným prvkům, tj. brzdný prvek se třemi šrouby s utahovacím momentem 150 Nm/šroub.

**Tab. 7.6 Brzdná síla jednoho brzdného prvku v závislosti na délce brzdné dráhy**

Délka brzdné dráhy [m]	Brzdná síla $F_b$ [kN]
0 - 5	40
5 - 8	36
8 - 12	32
12 - 20	28

### 7.1.6 Brzdná práce

Velikost brzdné práce  $n$  brzdných prvků při konstantní síle  $F_b$  na délce brzdné dráhy  $l_w$  se určí ze vztahu:

$$W = nF_b l_w \quad (7.7)$$

Pro brzdou dráhu delší než 5 m se brzdá dráha rozdělí na dílčí úseky dle Tab. 7.6 pro každou skupinu brzdných prvků zvlášť. Určí se délky jednotlivých dílčích úseků a brzdné síly pro jednotlivé brzdné prvky v každém úseku brzdné dráhy. Brzdá práce  $i$ -té skupiny brzdných prvků se stejnou brzdou silou se pak určí dle vztahu:

$$W_i = n_i \sum_{j=1}^n F_{b,i,j} l_{i,j} \quad (7.8)$$

$W_i$  ..... brzdá práce  $i$ -té skupiny brzdných prvků [kJ]

$n_i$  ..... počet brzdných prvků v  $i$ -té skupině brzdných prvků [–]

$F_{B_{i,j}}$  ..... brzdá síla jednoho brzdného prvku v  $i$ -té skupině brzdných prvků v  $j$ -tém dílčím úseku brzdné dráhy dle Tab. 7.6 [kN]

$l_{i,j}$  ..... délka  $j$ -tého dílčího úseku brzdné dráhy  $i$ -té skupiny brzdných prvků [m]

$i$  ..... číslo skupiny brzdných prvků [–]

$j$  ..... číslo úseku brzdné dráhy [–]



Celková brzdná práce zarážedla se stanoví jako součet brzdných prací v jednotlivých dílčích úsecích:

$$W = \sum_{i=1}^s W_i \quad (7.9)$$

kde  $s$  je počet skupin brzdných prvků.

### 7.1.7 Brzdné zpomalení

Posuzujeme-li vlaky osobní dopravy s cestujícími, které pravidelně zajíždí na kusou kolej, je zapotřebí přihlížet také ke zpomalení působící na vlak při nárazu a následném brzdění, resp. průběhu snižování kinetické energie vlivem práce zarážedla. Průběh zpomalení je zpravidla skokový a to při nárazu vlaku do zarážedla a dále při každé aktivaci přídatných brzdných prvků za zarážedlem.

$$a_{\max} = \frac{F_{B,\max}}{m} \quad (7.10)$$

$a_{\max}$  ..... maximální brzdné zpomalení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$F_{B,\max}$  ..... největší brzdná síla po délce brzdné dráhy [kN]

$m$  ..... hmotnost vozidla [t]

### 7.1.8 Posouzení

Při posuzování správného návrhu zarážedla je potřeba porovnat, zda maximální brzdná práce pohyblivého zarážedla je větší, než kinetická energie vozidla zvětšená o koeficient bezpečnosti:

$$W \geq E_{kin} k \quad (7.11)$$

Doporučená hodnota zpomalení pro vlaky osobní dopravy je  $a=1,0 m \cdot s^{-2}$ . Maximální hodnota zpomalení při návrhu se uvažuje  $a=2,5 m \cdot s^{-2}$ . Další podmínkou správného návrhu je tedy dodržet maximální hodnotu zpomalení sledovaného vlaku osobní dopravy s cestujícími pod touto hodnotou:

$$a_{\max} \leq 2,5 m \cdot s^{-2} \quad (7.12)$$

Podmínka dle vzorce (7.11) musí být dodržena pro všechny vlaky pravidelně zajíždějící na kusou kolej.

Podmínka (7.12) musí být dodržena pro všechny vlaky osobní dopravy s cestujícími, které pravidelně zajíždějí na kusou kolej.

Zpravidla je potřeba posoudit nejtěžší a nejlehčí vlak, který na kusou kolej zajíždí. Těžké vlaky vyvolávají požadavky na velké brzdné síly, které však mají negativní dopad na zpomalení lehkých vlaků při nárazu, které při velkých brzdných silách dosahují vysokých hodnot zpomalení. Je tedy vidět, že návrh je nutno správně optimalizovat tak, aby vyhovoval široké škále vlaků různých hmotností a nárazových rychlostí.

## 8 VÝPOČTOVÝ PROGRAM

Pro zjednodušení návrhu ukončení kusé koleje pohyblivým zarážděm byl vyvinut výpočetní program v tabulkovém editoru využívající jazyk Visual Basic. Vzhledem k velké variabilitě návrhu – počet brzdných prvků, délka brzdné dráhy, rozmístění skupin brzdných prvků po délce brzdné dráhy atd. – je návrh ručním výpočtem zdlouhavý a při nevhodně uspořádaném návrhu (k čemuž se dojde zpravidla na konci výpočtu) je nutné celý návrh opakovat do doby, kdy jsou splněny všechny podmínky pro všechny vlaky.

Po spuštění souboru s názvem „Návrh zarážděla.xlsm“, který je přílohou této práce můžeme spatřit na spodním řádku tři typy záložek. Pro uživatele programu je stěžejní první záložka s názvem „Výpočet“. V této záložce uživatel zadává vstupní parametry pro výpočet a navrhuje samotné ukončení kusé koleje pohyblivým zarážděm. Další dvě záložky „Výpis“ a „pracovní data“ slouží pro běh programu, kontrolní výpis hodnot a obsahují pomocné buňky výpočtu – pro uživatele nejsou podstatné.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	<b>Návrh zarážděla</b>													
2														
3														
4	<b>Lehký vlak</b>													
5	Typ:	el. tři vozová jednotka ř. 471					Kinetická energie lehkého vlaku:		1458,33 kJ					
6	Hmotnost vlaku:	168 t					$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$							
7	Předpokládaná rychlost při nárazu:	15 km/h												
8														
9	<b>Těžký vlak</b>													
10	Typ:	el. jednotka ř. 380 + 8 osobních vozů					Kinetická energie těžkého vlaku:		3819,44 kJ					
11	Hmotnost vlaku:	440 t					$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$							
12	Předpokládaná nárazová rychlost:	15 km/h												
13														
14														
15	Koeficient bezpečnosti:	2,00												
16														
17	<b>Požadovaná práce zarážděla <math>W_{min}</math>: 7638,89 kJ</b>													
18														
19	<b>Návrh zarážděla</b>													
20														
21		1. skupina	2. skupina	3. skupina	4. skupina	5. skupina	6. skupina							
22	Počet brzdných prvků $n_i$	6	4	4	4	0	0							
23	Brzdná dráha $l_i$ [m]	19,00	14,00	9,00	4,00	0,00	0,00							
24	Brzdná práce $W_i$ [kJ]	3792	1968	1360	640	0	0							
25	Brzdná práce celkem $W$ [kJ]	7760												
											<b>Výpočet zpomalení</b>			
											$a_{max} = \frac{F_{z,max}}{m}$			
											Lehký vlak 2,24 m.s <sup>-2</sup>			
											Těžký vlak 1,36 m.s <sup>-2</sup>			
											<b>Spustit výpočet</b>			

Obr. 8.1 Rozhraní tabulkového editoru pro návrh pohyblivého zarážděla

Úbytek brzdné síly jedné čelisti po délce			
40 kN	pro $l_w$	0	5 m
36 kN	pro $l_w$	5	8 m
32 kN	pro $l_w$	8	12 m
28 kN	pro $l_w$	12	20 m

Brzdná práce po částech					
Zarážedlo	1. řada	2. řada	3. řada	4. řada	5. řada
1200	800	800	640	0	0
648	432	432	0	0	0
768	512	128	0	0	0
1176	224	0	0	0	0

Převodní tabulka											
Zarážedlo	1. řada		2. řada		3. řada		4. řada		5. řada		
19,00		14,00		9,00		4,00		0,00		0,00	
5,00	14,00	5,00	9,00	5,00	4,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,00	11,00	3,00	6,00	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4,00	7,00	4,00	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Obr. 8.2 Pomocné tabulky jejichž obsah je využit v jednotlivých funkcích výpočetního programu

## 8.1 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI ZPRACOVÁVACÍHO PROGRAMU

V této kapitole jsou popsány základní sepsané funkce, které slouží pro výpočet. Kompletní zápis programu je obsažen v příloze B. Příkazy používané v jazyku visual basic tabulkového editoru jsou zvýrazněny **červeně**. Hodnoty proměnných **modře** a identifikátory **černě**. **Zelenou** barvou jsou zvýrazněny popisky a komentáře autora pro orientaci v kódu, které do výpočtu nijak nezasahují.

### *Funkce ZjistíPocetRadku*

Pomocná funkce, která v záložce „pracovní data“ zjistí počet řádků pro brzdnou dráhu rozdělenou po kroku 0,01 m. Zápis funkce vypadá následovně:

**Function** ZjistíPocetRadku()

**Dim** Hodnota **As Variant**

'zjištění počtu řádků ve sloupci

PocetRadku = 0

Hodnota = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(0, 2).Value

**Do Until** Hodnota = 0

PocetRadku = PocetRadku + 1

Hodnota = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(PocetRadku, 2).Value

**Loop**

PocetRadku = PocetRadku

**End Function**

### ***Funkce NactiHodnoty***

Funkce, která využívá předešlou funkci *zjistipocetradku* a v tomto rozsahu načte hodnoty buněk, které slouží jako hodnoty „staničení“ brzdné dráhy.

Zápis funkce vypadá následovně:

**Function** NactiHodnoty()

**Call** ZjistiPocetRadku

'načte hodnoty buněk v hledaných sloupcích

**Dim** PrvniBunka **As** Range

**Dim** PosledniBunka **As** Range

**Set** PrvniBunka = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(0, 0)

**Set** PosledniBunka = PrvniBunka.Offset(PocetRadku, 0)

HodnotyStaniceni = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

**End Function**

### ***Funkce VypocetBrzdneSily***

Hlavní funkce výpočtu brzdné síly pro jednotlivé skupiny brzd. Po deklaraci proměnných je prvním krokem načtení vstupních hodnot.

Jako první se načtou hodnoty brzdné síly jednoho brzdného prvku (čelisti) z důvodu její proměnlivosti po délce brzdné dráhy – využívá tabulku „Úbytek brzdné síly jedné čelisti po délce“ ze záložky „Výpočet“. Dalším krokem je načtení počtu brzdných prvků v každé skupině z tabulky „Návrh zarážedla“ ze záložky „Výpočet“. Dalším krokem je načtení hodnot z tabulky „Převodní tabulka“ ze záložky „Výpočet“. Tato tabulka slouží pro rozdělení brzdné dráhy i-té skupiny brzdných prvků do dílčích částí v závislosti na brzdné síle.

Po načtení těchto vstupních hodnot přichází na řadu samotný výpočet průběhu kinetické energie a brzdné síly pro každou skupinu brzd zvlášť. V kódu níže je zobrazen výpočet jen pro první skupinu brzd (zarážedlo) a druhou a třetí skupinu brzd (první a druhou řadu přídavných brzdných prvků). Zápis pro další skupiny se analogicky mění a celý kód je zobrazen v Příloze C.

**Function** VypocetBrzdneSily()

**Dim** PocetCelisti **As** Variant

**Dim** PrvniBunka **As** Range

**Dim** PosledniBunka **As** Range

**Dim** BrzdnaSilaCelisti **As** Variant 'hodnoty síly v závislosti na délce brzdění

**Dim** DilciBrzdneDrahy **As** Variant 'z pomocné tabulky, rozdělení kvůli úbytku brzdné síly

**Dim** BrzdneDrahyCelisti **As** Variant 'brzdné dráhy čelistí z hlavní tabulky pro výpočet

## 'načtení hodnot

## 'úbytek brzdné síly jedné čelisti po délce

```
Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("A29")  
Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("A32")  
BrzdnaSilaCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)
```

## 'počet čelistí z hlavní tabulky

```
Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("B22")  
Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("G22")  
PocetCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)
```

## 'Převodní tabulka

```
Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("P29")  
Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("Z32")  
DilciBrzdneDrahy = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)
```

## 'brzdné dráhy přídavných čelistí

```
Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("C23")  
Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("G23")  
BrzdneDrahyCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)
```

## 'výpočet

```
Dim i As Integer  
Dim j, k As Integer  
Dim x As Double  
Call ZjistiPocetRadku  
ReDim BrzdnasilaZ(1 To PocetRadku) As Double
```

## 'výpočet pro zarážedlo

```
j = 0
```

```
k = 0
```

```
x = 0.01
```

```
For i = 1 To PocetRadku
```

```
  If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 1) / x) Then
```

```
    BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
```

```
    j = i + 1
```

```
  Else
```

```
    If i = PocetRadku Then
```

```
      j = j + 1
```

```

End If
If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 1) / x) + j - 1 Then
BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
k = i

Else
If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 1) / x) + k Then
BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)

Else
BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
End If
End If
End If

Next i

'výpočet pro 1. řadu čelistí
ReDim Brzdnasila1(1 To PocetRadku) As Double
Dim l As Integer

j = 0
k = 0
l = 0

For i = 1 To PocetRadku
If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 1) / x) - 1 Then
Brzdnasila1(i) = 0
j = i + 1
Else
If i = PocetRadku Then
j = j + 1
End If
If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 3) / x) + j - 1 Then
Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
k = i
Else
If i = PocetRadku Then
k = k + 1
End If
If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 3) / x) + k Then

```

```

    Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
    l = i
Else
    If i = PocetRadku Then
        l = l + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 3) / x) + 1 Then
        Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
    Else
        Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
    End If
End If
End If
End If
Next i

```

'výpočet pro 2. řadu čelistí

```
ReDim Brzdnasila2(1 To PocetRadku) As Double
```

```
j = 0
```

```
k = 0
```

```
l = 0
```

```
For i = 1 To PocetRadku
```

```
    If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 2) / x) - 1 Then
```

```
        Brzdnasila2(i) = 0
```

```
        j = i + 1
```

```
    Else
```

```
        If i = PocetRadku Then
```

```
            j = j + 1
```

```
        End If
```

```
        If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 5) / x) + j - 1 Then
```

```
            Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
```

```
            k = i
```

```
        Else
```

```
            If i = PocetRadku Then
```

```
                k = k + 1
```

```
            End If
```

```
            If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 5) / x) + k Then
```

```
                Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
```

```
                l = i
```

```

Else
  If i = PocetRadku Then
    l = l + 1
  End If
  If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 5) / x) + 1 + 1 Then
    Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
  Else
    Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
  End If
End If
End If
End If
Next i

```

### ***Výpis hodnot***

Klíčová metoda, která volá funkci „VypocetBrzdneSily“ a její výsledky zapisuje do záložky „Výpis“. Z tohoto výpisu hodnot je následně sestaven graf průběhu kinetické energie/brzdné síly a průběh zpomalení. Stejně jako u popisu funkce „VypocetBrzdneSily“ je zde pro ukázkou znázorněn výpis po třetí skupinu brzd.

```

Sub brzda()

Call VypocetBrzdneSily
Call NactiHodnoty

Dim Hodnota As Range

  'Promazání stávajících hodnot
  Sheets("Výpis").Select

  Range("A2").Select
  Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
  Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
  Selection.ClearContents

  'kontrolní výpis
  Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 0)
  Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
  Hodnota.Value = HodnotyStaniceni

Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 1)

```



```
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)  
Hodnota.Value = Application.Transpose(BrzdnasilaZ)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 2)
```

```
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)  
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila1)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 3)
```

```
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)  
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila2)
```

## 9 PŘÍKLAD NÁVRHU UKONČENÍ KUSÉ KOLEJE POHYBLIVÝM ZARÁŽEDEM

Uvedme modelový příklad návrhu ukončení kusé koleje zpracovaný dle výše popsaných postupů. Návrh provedeme ručním výpočtem a výsledky ověříme použitím výpočtového programu, jehož výstupem jsou také výsledné grafy znázorňující průběh kinetické energie a brzdné síly na brzdné dráze a průběh brzdného zpomalení na brzdné dráze. Dále popíšeme rozdíl, mezi výpočtovým modelem, se kterým se při návrhu pracuje a výsledným konstrukčním uspořádáním konce koleje, kde je nutné zohlednit skutečné rozměry použitých komponentů.

### Výpočet

Pro modelový příklad zvolíme jako vlaky pravidelně zajíždějící na kusou kolej osobní vlak tvořený elektrickou jednotkou ř. 380 + 8 osobních vozů a elektrickou tři vozovou jednotku ř. 471.

První vlak budeme uvažovat plně obsazený s hmotností 440 t a druhý vlak budeme uvažovat s poloviční obsazeností a výslednou hmotností 168 t. V tomto případě označme první vlak jako „těžký“ a druhý jako „lehký“ pro jednodušší orientaci ve výpočtu.

Za koncem kusé koleje uvažujme nebezpečí pádu vlaku z výšky, projel-li by zarážedlem. Z této informace vyvodíme hodnotu koeficientu bezpečnosti podle Tab. 7.5, tedy  $k = 2,0$ .

Kolej není zabezpečena vlakovým zabezpečovačem typu ETCS, kde bychom měli deklarovanou uvolňovací rychlost, která by mohla být použita do výpočtu. Vzhledem k tomu, že se v obou případech jedná o vlaky osobní dopravy, budeme uvažovat nárazovou rychlost  $v = 15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (dle kapitoly 7).

### Prvním krokem je výpočet kinetické energie vlaků

#### Těžký vlak

$$E_{kin,p} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 440 \cdot 4,167^2 = 3819,44 \text{ kJ}$$

Požadovaná brzdná práce zarážedla pro zadržení těžkého vlaku:

$$W \geq E_{kin,p}k = 3819,44 \cdot 2,0 = 7638,89 \text{ kJ}$$

#### Lehký vlak

$$E_{kin,p} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 168 \cdot 4,167^2 = 1458,33 \text{ kJ}$$

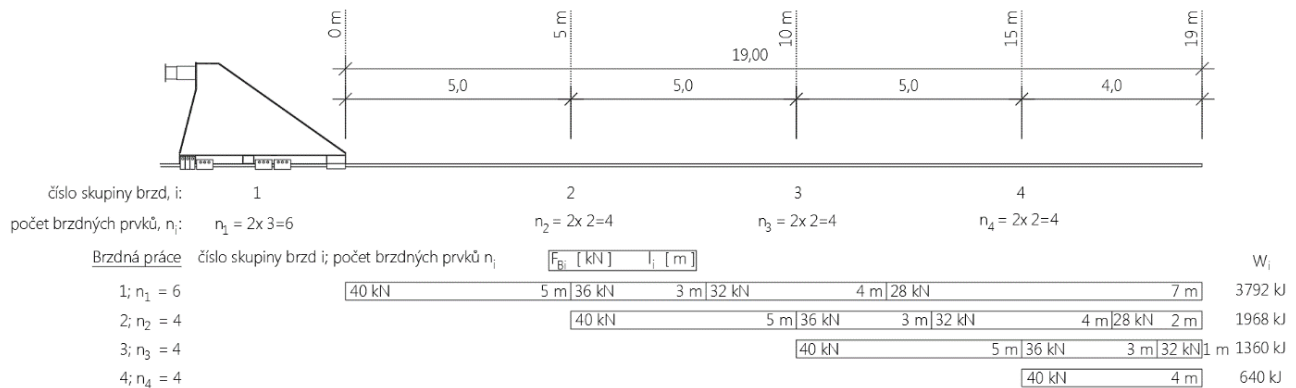
Požadovaná brzdná práce zarážedla pro zadržení lehkého vlaku:

$$W \geq E_{kin,p}k = 1458,33 \cdot 2,0 = 2916,66 \text{ kJ}$$

Minimální požadovaná brzdňá práce zarážedla je tedy  $W_{\min} = 7638,89 \text{ kJ}$ .

### Druhým krokem je návrh brzdňých prvků a jejich rozmístění

V tomto momentě přichází na řadu samotný návrh zarážedla, resp. jeho brzdňé síly. Uvažujeme pohyblivé zarážedlo se třemi páry brzdňých prvků a třemi skupinami přidavňých brzdňých prvků a to tak, že každá skupina brzdňých prvků bude sestávat ze dvou párů brzdňých prvků rozložena po brzdňé dráze po vzdálenostech 5,0 m, 5,0 m, 5,0 m a 4,0m. Délka brzdňé dráhy je v součtu 19,0 m. Graficky je případ znázorněn na Obr. 9.1. V tomto případě se jedná o výpočtový model, který znázorňuje rozmístění a počty brzdňých prvků. Tabulky pod schématem znázorňují úbytek brzdňé síly po délce brzdňé dráhy (viz kapitola 7.1.5).



**Obr. 9.1** Rozdělení brzdňé dráhy do dílčích úseků

Výpočet brzdňé práce rozdělíme dle jednotlivých skupin brzd, jak je uvedeno v kapitole 0.

Brzdňá práce první skupiny brzd (samotného zarážedla):

$$W_1 = n_1 \cdot l_1 \cdot F_{B1} + n_1 \cdot l_2 \cdot F_{B2} + n_1 \cdot l_3 \cdot F_{B3} + n_1 \cdot l_4 \cdot F_{B4} =$$

$$= 6 \cdot 5 \cdot 40 + 6 \cdot 3 \cdot 36 + 6 \cdot 4 \cdot 32 + 6 \cdot 7 \cdot 28 = 3792 \text{ kJ}$$

Brzdňá práce druhé skupiny brzd (první skupina přidavňých brzd):

$$W_2 = n_2 \cdot l_1 \cdot F_{B1} + n_2 \cdot l_2 \cdot F_{B2} + n_2 \cdot l_3 \cdot F_{B3} + n_2 \cdot l_4 \cdot F_{B4} =$$

$$= 4 \cdot 5 \cdot 40 + 4 \cdot 3 \cdot 36 + 4 \cdot 4 \cdot 32 + 4 \cdot 2 \cdot 28 = 1968 \text{ kJ}$$

Brzdňá práce třetí skupiny brzd (druhá skupina přidavňých brzd):

$$W_3 = n_3 \cdot l_1 \cdot F_{B1} + n_3 \cdot l_2 \cdot F_{B2} + n_3 \cdot l_3 \cdot F_{B3} = 4 \cdot 5 \cdot 40 + 4 \cdot 3 \cdot 36 + 4 \cdot 1 \cdot 32 = 1360 \text{ kJ}$$

Brzdňá práce čtvrté skupiny brzd (třetí skupina přidavňých brzd):

$$W_4 = n_4 \cdot l_1 \cdot F_{B1} = 4 \cdot 5 \cdot 40 = 640 \text{ kJ}$$

Celková brzdňá práce zarážedla:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 3792 + 1968 + 1360 + 640 = 7760 \text{ kJ}$$

Srovnáme-li navrženou práci zarážedla s minimální požadovanou, můžeme konstatovat, že návrh z hlediska požadované brzdné práce vyhovuje:

$$W = 7760 \text{ kJ} \geq W_{\min} = 7638,89 \text{ kJ}$$

### **Posouzení návrhu z hlediska zpomalení**

Vzhledem k tomu, že se jedná o vlaky osobní dopravy s cestujícími, je nutné posoudit také návrh ukončení kusé koleje z hlediska působení brzdění zpomalení, zda nedochází po délce brzdné dráhy k překročení maximální hodnoty  $a = 2,5 \text{ m.s}^{-2}$ .

#### **Těžký vlak**

Těžký vlak v tomto případě zastaví na konci brzdné dráhy, tzn., že využívá brzdění všech skupin brzd. Největší brzdění síla ( $F_{B,\max}$ ) působí na vlak při aktivaci čtvrté (poslední) skupiny brzd a vypočte se následovně:

$$F_{B,\max} = n_1 \cdot F_{B4} + n_2 \cdot F_{B3} + n_3 \cdot F_{B2} + n_4 \cdot F_{B1} = 6 \cdot 28 + 4 \cdot 32 + 4 \cdot 36 + 4 \cdot 40 = 600 \text{ kN}$$

Brzdění zpomalení odpovídající největší brzdění síle:

$$a_{\max} = \frac{F_{B,\max}}{m} = \frac{600}{440} = 1,36 \text{ m.s}^{-2}$$

#### **Lehký vlak**

Vzhledem k nižší hodnotě kinetické energie nedochází u lehkého vlaku k aktivaci všech skupin brzd, resp. lehký vlak nevyužívá celou brzdnu dráhu. Zde potřebujeme určit brzdnu dráhu lehkého vlaku a z ní odvodit největší brzdnu sílu. Z výpočtu výše můžeme určit, že lehký vlak zastaví před nárazem do třetí skupiny brzd. Brzdnu práci první a druhé skupiny brzd před nárazem do třetí skupiny určíme jako:

$$W = n_1 \cdot l_1 \cdot F_{B1} + n_1 \cdot l_2 \cdot F_{B2} + n_1 \cdot l_3^* \cdot F_{B3} + n_2 \cdot l_1 \cdot F_{B1} = \\ = 6 \cdot 5 \cdot 40 + 6 \cdot 3 \cdot 36 + 6 \cdot 2 \cdot 32 + 4 \cdot 5 \cdot 40 = 3032 \text{ kJ}$$

Porovnání brzdění práce a kinetické energie lehkého vlaku:

$$W = 3032 \text{ kJ} \geq W_{\min} = 2916,66 \text{ kJ}$$

Největší brzdění síla bude působit při nárazu do druhé skupiny brzd a vypočte se následovně:

$$F_{B,\max} = n_1 \cdot F_{B2} + n_2 \cdot F_{B1} = 6 \cdot 36 + 4 \cdot 40 = 376 \text{ kN}$$

Brzdění zpomalení odpovídající největší brzdění síle:

$$a_{\max} = \frac{F_{B,\max}}{m} = \frac{376}{168} = 2,24 \text{ m.s}^{-2}$$

Největší brzdné zpomalení působí na lehký vlak v době nárazu do druhé skupiny brzd s hodnotou  $a_{max}=2,24 \text{ m.s}^{-2}$ , což vyhovuje maximální požadované hodnotě  $a_{max}=2,50 \text{ m.s}^{-2}$  (viz kapitola 7.1.7)

Z příkladu je patrné, že návrh počtu skupin brzd, jejich brzdných sil a rozložení skupin brzd po brzdné dráze s přihlédnutím na požadovaná zpomalení není jednoduchý. Při nevhodném návrhu je potřeba zdoluhavý výpočet opakovat do doby, než dojde ke splnění všech požadavků návrhu. Tento problém lze zjednodušit užitím výpočtového programu. Jeho aplikace je znázorněna v následující kapitole.

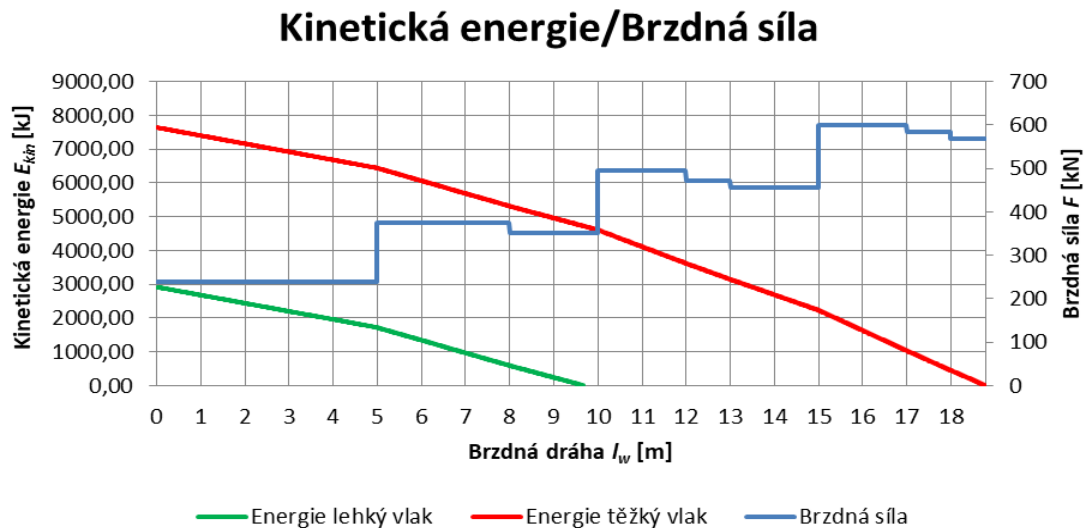
### Výpočet s využitím výpočetního programu

V záložce „Výpočet“ uživatel vyplní vstupní parametry do prvních dvou tabulek „Lehký vlak“ a „Těžký vlak“. Jedná se o hmotnost vlaku (buňky F6 a F11), dále předpokládanou rychlost nárazu (buňky F7 a F12) a jako poslední se nastaví Koeficient bezpečnosti (buňka E15). Po zadání vstupních hodnot se zobrazí minimální požadovaná práce zarážedla  $W_{min}$  (buňka G17).

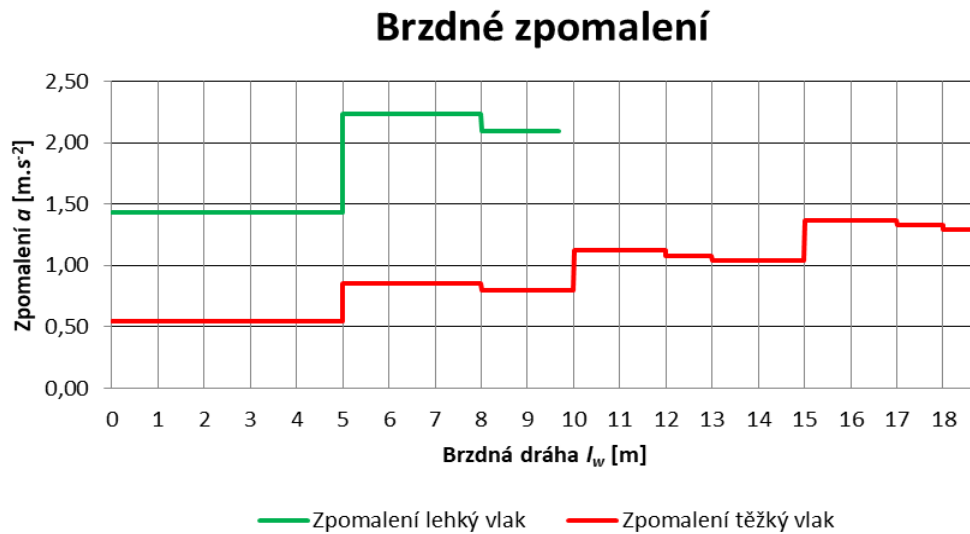
Následuje samotný návrh počtu skupin brzd  $n_i$ , počtu brzdných prvků v  $i$ -té skupině a brzdné dráhy dané skupiny brzd  $l_i$ .

Při vyplňování se automaticky počítá celková brzdná práce  $W$ .

Pro výpočet zpomalení a vykreslení průběhů kinetické energie/brzdné síly a průběhu zpomalení na brzdné dráze je nutné použít tlačítko „Spustit výpočet“, které aktivuje výpočtový program popsany v kapitole 8. Průběh výše uvedených veličin pro navržené řešení příkladu je znázorněn na následujících grafech.



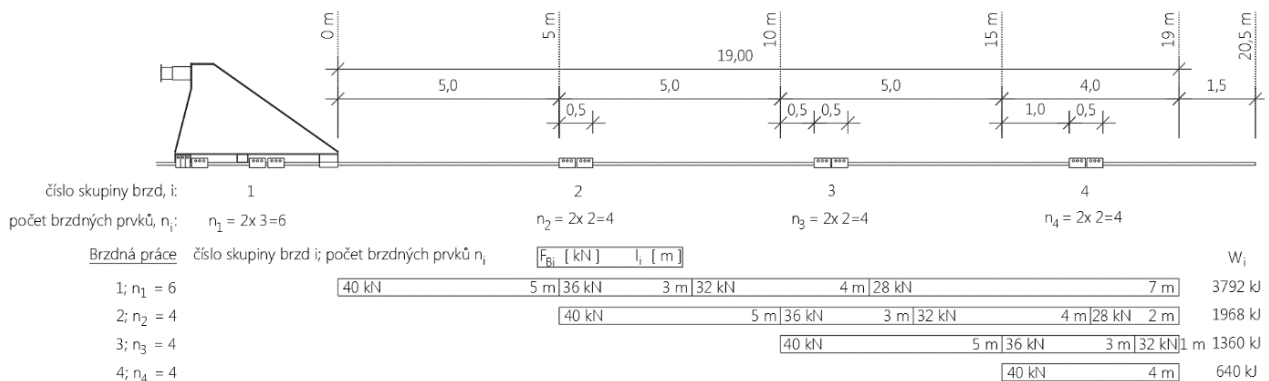
Obr. 9.2 Průběh kinetické energie a brzdné síly v závislosti na brzdné dráze



Obr. 9.3 Průběh brzdného zpomalení v závislosti na brzdné dráze

### Konstrukční uspořádání konce koleje

Výpočtový model neuvažuje reálné rozměry použitých komponent přídavných brzdných prvků. Tuto záležitost je však potřeba zohlednit při umisťování přídavných brzdných prvků za zarážedlem pro jejich aktivaci v požadovaný čas dle výpočtového modelu. Každou skupinu přídavných brzdných prvků je potřeba osadit s odsazením o součet délek předchozích přídavných brzdných prvků. Délka jednoho přídavného brzdného prvku se uvažuje 0,25 m.



Obr. 9.4 Schéma konstrukčního uspořádání konce kusé koleje

## 10 ZÁVĚR

Obecně můžeme rozdělit zarážedla do tří kategorií, v závislosti na principu absorbování kinetické energie kolejového vozidla při nárazu. Jedná se o:

- zarážedla pevná (s mechanickými nárazníky);
- zarážedla hydraulická (pevná nebo pohyblivá zarážedla s hydraulickými nárazníky);
- zarážedla pohyblivá.

U pevných zarážedel s mechanickými nárazníky dochází k absorbování kinetické energie na velmi krátké vzdálenosti a výsledné zpomalení je z důvodu bezpečnosti při vyšších rychlostech nepřijatelné. Také odolnosti pevných zarážedel jsou ve srovnání s jinými typy velmi nízké. Mají však své opodstatnění na kolejích, kde se kolejová vozidla pohybují nízkou rychlostí a neslouží pro přepravu cestujících.

Vhodnější konstrukce ukončení kusé koleje je zarážedlo pohyblivé. Konstrukce zpomalí kolejové vozidlo postupně a vykazuje větší odolnosti než zarážedla pevná. Při správném návrhu nedochází tedy k poškození zarážedla ani kolejového vozidla.

Při navrhování ukončení kusých kolejí je zapotřebí brát v úvahu mnoho faktorů, jako například umístění kusé koleje, dopravní zatížení, hmotnost kolejových vozidel a jejich rychlosti, úroveň zabezpečení, stavby či vybavení v okolí kusé koleje, možné ohrožení vlakové cesty aj. Každý případ je nutné vyhodnotit samostatně v závislosti na okolnostech, které do návrhu vstupují.

Jako výchozí podklad byla provedena rozsáhlá rešerše předpisů zahraničních správců železniční infrastruktury. Dále analýza odborných článků a také podkladů výrobců zarážedel.

V dalším kroku byla provedena analýza mimořádných událostí na kusých kolejích ukončených zarážedlem se zaměřením na jejich četnost, průběh samotné mimořádné události a její následky. Na základě těchto podkladů byl sestaven postup zhodnocení rizik možného ohrožení v okolí ukončení kusé koleje. Vhodný typ ukončení kusé koleje je pak vybírán na základě hodnocení rizik pro konkrétní případ.

Práce se dále zaměřuje na návrh ukončení kusé koleje pohyblivým zarážedlem. Z rešeršní části této práce vyplývá, že právě pohyblivá zarážedla jsou vzhledem ke své variabilitě uspořádání preferovaným typem ukončení kusé koleje, což potvrzují i zahraniční zkušenosti. V práci jsou zhodnoceny a popsány vstupní parametry, které do návrhu vstupují, a dále je popsán samotný návrh ukončení kusé koleje pohyblivým zarážedlem. Pro usnadnění návrhu ukončení kusé koleje pohyblivým zarážedlem byl sestaven výpočetní program s využitím tabulkového editoru a jazyka Visual Basic s grafickým výstupem v podobě grafů zobrazujících průběh kinetické energie, brzděné síly a brzděného zpomalení v závislosti na brzděné dráze.

Cílem práce bylo zhodnocení vybraných faktorů a na jejich základě navrhnout metodiku navrhování ukončení kusých kolejí. Tento cíl byl v průběhu tvorby této disertační práce splněn, neboť došlo k sestavení výše zmíněné metodiky. Dokument s názvem „Návrh ukončení kusých kolejí“ je veden jako Metodický pokyn Správy železnic, státní organizace. Autor této práce se na tvorbě dokumentu podílel a v samotném metodickém pokynu jsou zahrnuty dílčí výsledky a poznatky této práce.

## ***Přílohy***

- A. Srovnání požadavků na návrh zarážedla v zahraničí
- B. Zhodnocení rizik možného ohrožení v okolí ukončení kusé koleje
- C. Kompletní zápis programu „Návrh zarážedla“ v tabulkovém editoru



**A. Srovnání požadavků na návrh zarážedel v zahraničí**

	Velká Británie	Belgie	Izrael
<b>Pevná zarážedla</b>	Obecně ano	-	Ne
<b>Pohyblivá zarážedla</b>	Ano	Ano	Ano
<b>Hydraulická zarážedla</b>	Ano	Ano	Ano
<b>Zádržné zdi</b>	Ano	-	Ano
<b>Brzdné zarážky</b>	Ano	-	Ano
<b>Nárazová rychlost</b>	min. 10 km.h <sup>-1</sup>	20 km.h <sup>-1</sup> *při max. 2,5 km.h <sup>-1</sup> automatické navrácení zpět do původní polohy	10 km.h <sup>-1</sup> nebo 15 km.h <sup>-1</sup>
<b>Hmotnost vlaku</b>	-	120 - 800 t	-
<b>Součinitel spolehlivosti</b>	-	-	1,2; 1,5; 1,8; 2,0
<b>Přídavné brzdné prvky</b>			Ano
<b>Maximální míra zpomalení</b>	0,15 g (1,47 m.s <sup>-2</sup> ), 0,25 g (2,45 m.s <sup>-2</sup> )	10 m.s <sup>-2</sup>	0,15 g (1,47 m.s <sup>-2</sup> ), 0,25 g (2,45 m.s <sup>-2</sup> )
<b>Vyztužení koleje</b>	-	Ano, dle potřeby	Ano. V závislosti na brzdné práci.
<b>Značení zarážedel</b>	-	Fluorescenční deska 250 x 250 mm	Červené světlo, odrazné značky červeno-bílé barvy
<b>Barva zarážedel</b>	-	RAL 9010	Stříbrno-šedá (RAL 9023)
<b>Antikorozní nátěr</b>	-	Ano	Ano
<b>Krajní nárazníky</b>	-	Ano	Ano
<b>Nárazník pro střední spřáhlo</b>	-	Ano	Dle potřeby
<b>Nápravová síla</b>	-	14 - 22,5 t	22,5 t
<b>Průměr kola</b>	-		Platí pro brzdné zarážky: 850 mm; 920 mm; 1010 mm
<b>Typ pražců</b>	-	Betonové	Betonové
<b>Rozdělení pražců</b>	-		1667 pražců/km
<b>Tvar kolejnic</b>	-	60E1, 50E2T1, 50E2 (EB50T) kvalita 260	54E1, 60E1, 60E2
<b>Úklon kolejnic</b>	-	1:20	1:30, bez úklonu
<b>Rozchod</b>	-	1430 až 1440 mm	1435 mm
<b>Sklon koleje</b>	-	0 ‰	-2,0 až + 1,5 ‰
<b>Požadavky na kolej v oblasti zarážedla</b>	-	Směrová přímá R <sub>v</sub> > 5000 m	Směrová přímá v délce min. 20 m před zarážedlem; brzdná dráha v přímé bez styků, svarů atd.
<b>Požadovaná záruka</b>	-	-	10 let
<b>Požadovaná životnost</b>	-	20 let	40 let

	Německo	Polsko	Rakousko
<b>Pevná zarážedla</b>	Ano, ale nově se nenavrhují	Ano	Ano
<b>Třecí zarážedla</b>	Ano	Ano	Ano
<b>Hydraulická zarážedla</b>	Ano	-	Ano
<b>Zádržné zdi</b>	-	-	-
<b>Brzdné zarážky</b>	Ano	-	Ano
<b>Nárazová rychlost</b>	Vlaky osobní dopravy - 15 km.h <sup>-1</sup>	-	Vlaky na hlavní koleji - 15 km.h <sup>-1</sup>
	Vlaky nákladní dopravy - 10 km.h <sup>-1</sup>		Prázdné vlaky osobní dopravy nebo nákladní a posun - 10 km.h <sup>-1</sup>
<b>Hmotnost vlaku</b>	-	-	-
<b>Součinitel spolehlivosti</b>	1,5, 1,0		1,2; 1,5; 1,8; 2,0
<b>Přídavné brzdné prvky</b>	Ano	-	Ano
<b>Maximální míra zpomalení</b>	-	-	-
<b>Vyztužení koleje</b>	Ano, dle potřeby	-	Ano, dle potřeby
<b>Značení zarážedel</b>	Žlutý kolík a/nebo návěstidlo	-	Návěstění dle požadavků vlastníka infrastruktury
<b>Barva zarážedel</b>	Nárazníky barva žlutá, RAL 1004	-	
<b>Antikoroziní nátěr</b>	Ano	-	Ano
<b>Krajní nárazníky</b>	Ano	-	Ano
<b>Nárazník pro střední spřáhlo</b>	Ano, dle potřeby	-	Ano, dle potřeby
<b>Nápravová síla</b>	-	-	-
<b>Průměr kola</b>	-	-	-
<b>Typ pražců</b>	-	-	-
<b>Rozdělení pražců</b>	-	-	-
<b>Tvar kolejnic</b>	-	-	Bez styků a návarků, stejný profil
<b>Úklon kolejnic</b>	-	-	
<b>Rozchod</b>	-	-	1435 mm
<b>Sklon koleje</b>	-	-	-
<b>Požadavky na kolej v oblasti zarážedla</b>	Směrová přímá v délce 10 až 20 m před zarážedlem; styky ve vzdálenosti min. 3 m	Zásyp kolejnic před, příp. za zarážedlem (ŠD, ŠP, Š)	Směrová přímá v délce brzdné dráhy a min. 20 m před zarážedlem
<b>Požadovaná záruka</b>	-	-	-
<b>Požadovaná životnost</b>	-	-	-

	Španělsko	Švýcarsko
<b>Pevná zarážedla</b>	-	Za určitých podmínek ano
<b>Třecí zarážedla</b>	Ano	Ano
<b>Hydraulická zarážedla</b>	-	-
<b>Zádržné zdi</b>	-	-
<b>Brzdné zarážky</b>	-	-
<b>Nárazová rychlost</b>	5 km.h <sup>-1</sup> ; 10 km.h <sup>-1</sup> ; 15 km.h <sup>-1</sup> ; 30 km.h <sup>-1</sup>	Vlaky: rozchod 1435 mm - 15 km.h <sup>-1</sup> ; rozchod 1000 mm - 10 km.h <sup>-1</sup> Posun: rozchod 1435 mm - 10 km.h <sup>-1</sup> ; rozchod 1000 mm - 7 km.h <sup>-1</sup>
<b>Hmotnost vlaku</b>	-	-
<b>Součinitel spolehlivosti</b>		1,0; 1,5; 2,0
<b>Přídavné brzdné prvky</b>	Ano	-
<b>Maximální míra zpomalení</b>	-	-
<b>Vyztužení koleje</b>	Ano, pokud je použito více jak 6 přídavných brzdných čelistí	-
<b>Značení zarážedel</b>	-	-
<b>Barva zarážedel</b>	-	-
<b>Antikoroziní nátěr</b>	-	-
<b>Krajní nárazníky</b>	-	-
<b>Nárazník pro střední spřáhlo</b>	-	-
<b>Nápravová síla</b>	-	-
<b>Průměr kola</b>	-	-
<b>Typ pražců</b>	Zmíněno i možné použití brzdných dřevěných pražců	-
<b>Rozdělení pražců</b>	-	-
<b>Tvar kolejnic</b>	-	-
<b>Úklon kolejnic</b>	-	-
<b>Rozchod</b>	-	-

## ***B. Zhodnocení rizik možného ohrožení v okolí ukončení kusé koleje***

Hodnocení míry rizika je stanoveno určením prioritního rizikového čísla.

### **Pravděpodobnost výskytu mimořádné události – koeficient P**

<b>Pravděpodobnost výskytu mimořádné události</b>	<b>Koeficient P</b>
Nízká <sup>1)</sup>	1,0
Střední <sup>2)</sup>	1,5
Vysoká <sup>3)</sup>	2,0

Pozn.:

<sup>1)</sup> Typicky se hodnotí jako *Nízká pravděpodobnost výskytu* situace, kdy je celá kusá kolej v přímé (s výjimkou přípojného oblouku za výhybkou) a zároveň užitečná délka kusé koleje je alespoň 100 m, zároveň se jedná o manipulační kolej a počet vjezdů posunových dílů je méně než 2× za den.

<sup>2)</sup> Typicky se hodnotí jako *Střední pravděpodobnost výskytu* situace, kdy není splněna právě jedna z podmínek uvedených u hodnocení *nízké pravděpodobnosti výskytu*, tj., část kusé koleje je v oblouku, nebo kusá kolej je krátká s užitečnou délkou menší než 100 m, nebo na kusou kolej pravidelně vjíždějí vlaky nebo posunové díly, počet vjezdů je vyšší než 2× za den, nejvíce však 12× za den.

<sup>3)</sup> Typicky se hodnotí jako *Vysoká pravděpodobnost výskytu* situace, kdy není splněno současně více z podmínek uvedených u hodnocení *nízké pravděpodobnosti výskytu*, nebo je kolej intenzivně využívána pro vjezdy vlaků nebo posun, přitom za intenzivní využívání se považuje vjezd více jak 12 vlaků nebo posunových dílů za den.

### **Závažnost následků mimořádné události – koeficient D**

<b>Závažnost následků mimořádné události</b>	<b>Koeficient D</b>
Nízká <sup>1)</sup>	1,0
Střední <sup>2)</sup>	1,5
Vysoká <sup>3)</sup>	2,0

Pozn.:

<sup>1)</sup> Nízká závažnost následků mimořádné události se přiřadí případům, kdy hrozí jen zanedbatelné škody na majetku, nehrozí možnost zranění nebo usmrcení osob v okolí kusé koleje. Týká se kusé koleje bez nástupišť a bez objektů a komunikací za ukončením kusé koleje a kde nehrozí pád kolejových vozidel z výšky.

<sup>2)</sup> Střední závažnost následků mimořádné události se přiřadí případům, kdy hrozí pouze škody na majetku nebo zanedbatelné riziko zranění osob v okolí kusé koleje. Týká se kusých kolejí u vnějších nástupišť, za koncem kusé koleje nejsou umístěny žádné komunikace nebo konstrukce, např. sloupy trakčního vedení nebo osvětlení, zastřešení nástupiště, reklamní billboardy apod., hrozící pádem na nástupiště.

<sup>3)</sup> Vysoká závažnost následků mimořádné události se přiřadí případům, kdy hrozí těžká zranění nebo usmrcení osob v okolí kusé koleje. Týká se jazykových nástupišť nebo nástupišť s přístupem cestujících za ukončením kusé koleje, kusých kolejí směřujících k dopravním kolejím, kusé koleje končící před pozemní komunikací vedoucí na

železniční přejezd v sousední koleji apod.

### **Pravděpodobnost vzniku mimořádné události – koeficient O**

<b>Pravděpodobnost vzniku mimořádné události</b>	<b>Koeficient O</b>
Vysoká <sup>1)</sup>	2,0
Střední <sup>2)</sup>	1,5
Nízká <sup>3)</sup>	1,0

Pozn.:

<sup>1)</sup> Vysoká pravděpodobnost vzniku mimořádné události se přiřadí případům, kdy kolej není vybavena zabezpečovacím zařízením splňujícím podmínky uvedené v hodnocení střední pravděpodobnosti vzniku, a nebo se jedná o manipulační kolej.

<sup>2)</sup> Střední pravděpodobnost vzniku mimořádné události se přiřadí případům, kdy je kolej vybavena zabezpečovacím zařízením 2. a 3. kategorie, kde však není součinnost se zařízením na hnacím vozidle.

<sup>3)</sup> Nízká pravděpodobnost vzniku mimořádné události se přiřadí případům, kdy je zabezpečovací zařízení v dané koleji na takové úrovni, že je v součinnosti se zařízením na hnacích vozidlech (ETCS), které kontroluje rychlost vlaku a vynucuje jeho zastavení před zarážedlem a počet vjezdů posunových dílů je méně než 2× za den.

### **Prioritní rizikové číslo**

$$PRČ = P \cdot D \cdot O$$

<b>Interval rizika</b>	<b>Míra rizika</b>
$PRČ > 6$	Kritická
$4,5 < PRČ \leq 6$	Vysoká
$3 < PRČ \leq 4,5$	Střední
$1,5 < PRČ \leq 3$	Nízká
$PRČ \leq 1,5$	Zanedbatelná

### **Význam hodnocení míry rizika**

Kritická míra rizika je nepřijatelná a musí být odstraněna. Opatření pro stávající typy ukončení kusé koleje mohou být spojena například s provozními opatřeními. V případě nového typu ukončení kusé koleje, musí být již opatření aplikována do návrhu. V ostatních případech míry rizika se jedná o akceptovatelná rizika za předpokladu návrhu ukončení kusé koleje vhodným druhem zarážedla podle kapitoly 7 .

### ***C. Kompletní zápis programu „Návrh zarážedla“ v tabulkovém editoru***

Option Explicit

Private PocetRadku As Integer

Private HodnotyStaniceni As Variant

Private BrzdnasilaZ As Variant

Private Brzdnasila1 As Variant

Private Brzdnasila2 As Variant

Private Brzdnasila3 As Variant

Private Brzdnasila4 As Variant

Private Brzdnasila5 As Variant

Function ZjistiPocetRadku()

Dim Hodnota As Variant

'zjištění počtu řádků ve sloupci

PocetRadku = 0

Hodnota = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(0, 2).Value

Do Until Hodnota = 0

    PocetRadku = PocetRadku + 1

    Hodnota = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(PocetRadku, 2).Value

Loop

    PocetRadku = PocetRadku

End Function

Function NactiHodnoty()

Call ZjistiPocetRadku

'načte hodnoty buněk v hledaných sloupcích

Dim PrvniBunka As Range

Dim PosledniBunka As Range

Set PrvniBunka = Sheets("pracovní data").Range("H3").Offset(0, 0)

Set PosledniBunka = PrvniBunka.Offset(PocetRadku, 0)

HodnotyStaniceni = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

End Function

Function VypocetBrzdneSily()

Dim PocetCelisti As Variant

Dim PrvniBunka As Range

Dim PosledniBunka As Range

Dim BrzdnaSilaCelisti As Variant 'hodnoty síly v závislosti na délce brzdění

Dim DilciBrzdneDrahy As Variant 'z pomocné tabulky, rozdělení kvůli úbytku brzdné síly

Dim BrzdneDrahyCelisti As Variant 'brzdné drahy čelistí z hlavní tabulky pro výpočet

'načtení hodnot

'Úbytek brzdné síly jedné čelisti po délce

Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("A29")

Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("A32")

BrzdnaSilaCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

'počet čelistí z hlavní tabulky

Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("B22")

Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("G22")

PocetCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

'Převodní tabulka

Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("P29")

Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("Z32")

DilciBrzdneDrahy = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

'brzdné dráhy přidavných čelistí

Set PrvniBunka = Sheets("Výpočet").Range("C23")

Set PosledniBunka = Sheets("Výpočet").Range("G23")

BrzdneDrahyCelisti = Range(PrvniBunka, PosledniBunka)

'výpočet

Dim i As Integer

Dim j, k As Integer

Dim x As Double

Call ZjistiPocetRadku

ReDim BrzdnasilaZ(1 To PocetRadku) As Double

'výpočet pro zarážedlo

j = 0

k = 0

x = 0.01

---

```

For i = 1 To PocetRadku
  If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 1) / x) Then
    BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
    j = i + 1
  Else
    If i = PocetRadku Then
      j = j + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 1) / x) + j Then
      BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
      k = i

    Else
      If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 1) / x) + k Then
        BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)

        Else
          BrzdnasilaZ(i) = PocetCelisti(1, 1) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
        End If
      End If
    End If
  End If
Next i

'výpočet pro 1. řadu čelistí
ReDim Brzdnasila1(1 To PocetRadku) As Double
Dim l As Integer

j = 0
k = 0
l = 0

For i = 1 To PocetRadku
  If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 1) / x) - 1 Then
    Brzdnasila1(i) = 0
    j = i + 1
  Else
    If i = PocetRadku Then
      j = j + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 3) / x) + j - 1 Then

```



```

    Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
    k = i
Else
    If i = PocetRadku Then
        k = k + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 3) / x) + k Then
        Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
        l = i
    Else
        If i = PocetRadku Then
            l = l + 1
        End If
        If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 3) / x) + l Then
            Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
        Else
            Brzdnasila1(i) = PocetCelisti(1, 2) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
        End If
    End If
End If
End If
Next i

```

'výpočet pro 2. řadu čelistí

```
ReDim Brzdnasila2(1 To PocetRadku) As Double
```

```
j = 0
```

```
k = 0
```

```
l = 0
```

```
For i = 1 To PocetRadku
```

```
    If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 2) / x) - 1 Then
```

```
        Brzdnasila2(i) = 0
```

```
        j = i + 1
```

```
    Else
```

```
        If i = PocetRadku Then
```

```
            j = j + 1
```

```
        End If
```

```
        If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 5) / x) + j - 1 Then
```

```
            Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
```

```
            k = i
```

```

Else
  If i = PocetRadku Then
    k = k + 1
  End If
  If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 5) / x) + k Then
    Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
    l = i
  Else
    If i = PocetRadku Then
      l = l + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 5) / x) + l + 1 Then
      Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
    Else
      Brzdnasila2(i) = PocetCelisti(1, 3) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
    End If
  End If
End If
End If
End If
Next i

```

'výpočet pro 3. řadu čelistí

ReDim Brzdnasila3(1 To PocetRadku) As Double

j = 0

k = 0

l = 0

For i = 1 To PocetRadku

  If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 3) / x) - 1 Then

    Brzdnasila3(i) = 0

    j = i + 1

  Else

    If i = PocetRadku Then

      j = j + 1

    End If

    If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 7) / x) + j - 1 Then

      Brzdnasila3(i) = PocetCelisti(1, 4) \* BrzdnaSilaCelisti(1, 1)

      k = i

    Else

      If i = PocetRadku Then

```

    k = k + 1
End If
If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 7) / x) + k Then
    Brzdnasila3(i) = PocetCelisti(1, 4) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
    l = i
Else
    If i = PocetRadku Then
        l = l + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 7) / x) + l Then
        Brzdnasila3(i) = PocetCelisti(1, 4) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
    Else
        Brzdnasila3(i) = PocetCelisti(1, 4) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
    End If
End If
End If
End If
Next i

```

'výpočet pro 4. řadu čelistí

ReDim Brzdnasila4(1 To PocetRadku) As Double

j = 0

k = 0

l = 0

For i = 1 To PocetRadku

If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 4) / x) - 1 Then

Brzdnasila4(i) = 0

j = i + 1

Else

If i = PocetRadku Then

j = j + 1

End If

If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 9) / x) + j - 1 Then

Brzdnasila4(i) = PocetCelisti(1, 5) \* BrzdnaSilaCelisti(1, 1)

k = i

Else

If i = PocetRadku Then

k = k + 1

End If

```

If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 9) / x) + k Then
  Brzdnasila4(i) = PocetCelisti(1, 5) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)
  l = i
Else
  If i = PocetRadku Then
    l = l + 1
  End If
  If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 9) / x) + 1 Then
    Brzdnasila4(i) = PocetCelisti(1, 5) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
  Else
    Brzdnasila4(i) = PocetCelisti(1, 5) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
  End If
End If
End If
End If
Next i

```

'výpočet pro 5. řadu čelistí

```
ReDim Brzdnasila5(1 To PocetRadku) As Double
```

```

j = 0
k = 0
l = 0

```

```

For i = 1 To PocetRadku
  If i <= (PocetRadku - BrzdneDrahyCelisti(1, 5) / x) - 1 Then
    Brzdnasila5(i) = 0
    j = i + 1
  Else
    If i = PocetRadku Then
      j = j + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(1, 11) / x) + j - 1 Then
      Brzdnasila5(i) = PocetCelisti(1, 6) * BrzdnaSilaCelisti(1, 1)
      k = i
    Else
      If i = PocetRadku Then
        k = k + 1
      End If
      If i <= (DilciBrzdneDrahy(2, 11) / x) + k Then
        Brzdnasila5(i) = PocetCelisti(1, 6) * BrzdnaSilaCelisti(2, 1)

```

```
    l = i
  Else
    If i = PocetRadku Then
      l = l + 1
    End If
    If i <= (DilciBrzdneDrahy(3, 11) / x) + 1 Then
      Brzdnasila5(i) = PocetCelisti(1, 6) * BrzdnaSilaCelisti(3, 1)
    Else
      Brzdnasila5(i) = PocetCelisti(1, 6) * BrzdnaSilaCelisti(4, 1)
    End If
  End If
End If
End If
End If
Next i
```

End Function

Sub brzda()

Call VypocetBrzdneSily

Call NactiHodnoty

Dim Hodnota As Range

'Promazání stávajících hodnot

Sheets("Výpis").Select

Range("A2").Select

Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select

Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select

Selection.ClearContents

'kontrolní výpis

Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 0)

Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)

Hodnota.Value = HodnotyStaniceni

Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 1)

Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)

Hodnota.Value = Application.Transpose(BrzdnasilaZ)

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 2)
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila1)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 3)
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila2)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 4)
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila3)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 5)
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila4)
```

```
Set Hodnota = Sheets("Výpis").Range("A1").Offset(1, 6)
Set Hodnota = Hodnota.Resize(PocetRadku, 1)
Hodnota.Value = Application.Transpose(Brzdnasila5)
```

```
Sheets("Výpočet").Select
```

```
End Sub
```

## *Seznam použitých zkratek a symbolů*

ČR	Česká republika
EoA	end of authority (Konec oprávnění k jízdě)
ETCS	European train control systém (Evropský vlakový zabezpečovač)
Ex	expres (kategorie vlaku)
GVD	grafikon vlakové dopravy
HV	hnací vozidlo
IC	InterCity (kategorie vlaku)
KANGO	komplexní aplikace návrhu grafikonu online
MU	mimořádná událost
Os	osobní vlak (kategorie vlaku)
PRČ	prioritní rizikové číslo
R	rychlík (kategorie vlaku)
VCO	vlaková cesta s omezenou rychlostí
$a$	zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$B$	brzdná síla [N]
$B_a$	brzdná síla na mezi adheze [N]
$B_{a,max}$	maximální brzdná síla všech vozidel [N]
$E_{kin,c}$	celková kinetická energie [J]
$E_{kin,p}$	kinetická energie posuvného pohybu [J]
$E_{kin,r}$	kinetická energie rotačního pohybu [J]
$F_b$	brzdná síla brzděného prvku [N]
$g$	gravitační zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$g'$	redukované gravitační zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$G'_a$	tíha vozidla připadající na brzděné dvojkolí [N]
$h_p$	výškový rozdíl [m]
$h_v$	rychlostní výška [m]
$h_z$	ztrátová výška [m]
$I_D$	moment setrvačnosti dvojkolí dopravovaného vozidla [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]
$I_H$	moment setrvačnosti dvojkolí hnacího vozidla [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]
$I_r$	moment setrvačnosti rotoru trakčního motoru [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]
$k$	koeficient bezpečnosti
$l$	délka [m]
$l_B$	brzdná dráha [m]
$l_w$	brzdná dráha pohyblivého zarážedla

---

$m$	hmotnost [kg]
$m'_i$	redukována hmotnost dvojkolí, resp. rotorů trakčních motorů [kg]
$m_x$	hmotnost vozidel při posuvném pohybu [kg]
$n$	počet brzdných prvků [-]
$o_i$	součinitel odporu [-]
$o_o$	součinitel odporu při průjezdu obloukem [-]
$O_T$	traťové odpory [N]
$o_v$	součinitel vozidlového odporu [-]
$O_V$	vozidlové odpory [N]
$O_{vyh}$	ztráta rychlostní výšky při průjezdu výhybkou [m]
$R$	poloměr oblouku [m]
$R_H, R_D$	vzdálenost od zvolené osy rotace [m]
$r_i$	poloměr setrvačnosti i-té části [m]
$s$	počet skupin brzdných prvků [-]
$v$	rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
$V$	rychlost [km.h <sup>-1</sup> ]
$v_0$	počáteční rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
$v_l$	výsledná rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
$W$	brzdná práce [N]
$\alpha$	úhel odbočení výhybky [°]
$\mu$	součinitel adheze [-]
$\rho$	součinitel rotujících částí [-]
$\omega$	úhlová rychlost [s <sup>-1</sup> ]



## *Seznam obrázků*

Obr. 1.1 Zemní zarážedlo [3] .....	9
Obr. 1.2 Kolejnicové zarážedlo [3].....	10
Obr. 1.3 Betonové zarážedlo "SUDOP" [3] .....	11
Obr. 1.4 Betonové zarážedlo "DSB" [3] .....	12
Obr. 3.1 Jízda vlaku pod ETCS [27] .....	18
Obr. 5.1 Schéma pevného betonového zarážedla [1] .....	32
Obr. 5.2 Porušené betonové zarážedlo [1].....	33
Obr. 5.3 Pevné zarážedlo s hydraulickými nárazníky [12] .....	34
Obr. 5.4 Ocelové hydraulické zarážedlo německé firmy Rawie [17].....	35
Obr. 5.5 Betonové hydraulické zarážedlo britské společnosti Oleo [16] .....	35
Obr. 5.6 Délka koleje pro instalaci pohyblivého zarážedla [12] .....	36
Obr. 5.7 Schéma pohyblivého zarážedla bez přídavných brzd [12] .....	36
Obr. 5.8 Schéma pohyblivého zarážedla s přídavnými brzdami a výztužným prvkem koleje [12] .....	37
Obr. 5.9 Pohyblivé zarážedlo RAWIE, typ 10 EB [17].....	38
Obr. 5.10 Pohyblivé zarážedlo Oleo s přídavnými brzdami [16] .....	38
Obr. 5.11 Pohyblivé hydraulické zarážedlo s hydraulickými nárazníky OLEO [16].....	38
Obr. 5.12 Dočasné zarážedlo pevné [17].....	39
Obr. 5.13 Dočasné zarážedlo pevné po sklopení [17] .....	39
Obr. 5.14 Dočasné zarážedlo pohyblivé [17].....	39
Obr. 5.15 Dočasné zarážedlo pohyblivé po sklopení [17] .....	40
Obr. 5.16 Ochranná zeď pro vlaky osobní dopravy [12].....	41
Obr. 5.17 Ochranná zeď pro vlaky nákladní dopravy [12].....	41
Obr. 7.1 Schéma pohyblivého zarážedla .....	65
Obr. 7.2 Schéma zhlaví železniční stanice pro modelový případ .....	68
Obr. 8.1 Rozhraní tabulkového editoru pro návrh pohyblivého zarážedla .....	74
Obr. 8.2 Pomocné tabulky jejichž obsah je využit v jednotlivých funkcích výpočetního programu .....	75
Obr. 9.1 Rozdělení brzdné dráhy do dílčích úseků .....	83
Obr. 9.2 Průběh kinetické energie a brzdné síly v závislosti na brzdné dráze.....	85
Obr. 9.3 Průběh brzdného zpomalení v závislosti na brzdné dráze .....	86
Obr. 9.4 Schéma konstrukčního uspořádání konce kusé koleje.....	86

## Seznam tabulek

Tab. 1.1 Odolnosti pevných zarážedel dle Ž9 [3].....	12
Tab. 4.1 Hodnoty součinitele rotujících částí [20].....	21
Tab. 4.2 Kinetická energie při nárazu pro vybrané rychlosti a hmotnosti [kJ].....	21
Tab. 4.3 Odolnosti zarážedel používaných v ČR.....	22
Tab. 4.4 Hodnoty koeficientů součinitele vozidlových odporů [20] – část 1/2.....	22
Tab. 4.5 Hodnoty koeficientů součinitele vozidlových odporů [16] - část 2/2.....	23
Tab. 5.1 Koeficient bezpečnosti, Rakousko [14].....	29
Tab. 5.2 Koeficient bezpečnosti, Německo [8].....	29
Tab. 5.3 Koeficient bezpečnosti, Švýcarsko [7].....	29
Tab. 5.4 Přehled návrhových hodnot hmotností a rychlostí vlaků pro návrh zarážedel ve Španělsku.....	30
Tab. 5.5 Zpomalení a tomu odpovídající přetížení při nárazu do pevného zarážedla pro vybrané rychlosti.....	33
Tab. 6.1 Nehodové scénáře dle brainstormingu.....	44
Tab. 6.2 Aplikace metody Co se stane když...?.....	45
Tab. 6.3 Schéma nehodových událostí.....	47
Tab. 6.4 Přehled mimořádných událostí na kusých kolejích v letech 2010-2015.....	51
Tab. 6.5 Přehled mimořádných událostí v letech 2010-2015 dle druhu dopravy.....	52
Tab. 6.6 Přehled mimořádných událostí dle jednotlivých let.....	52
Tab. 6.7 Matice rizika stanovující pravděpodobnost výskytu a závažnost dopadu.....	53
Tab. 6.8 Míra pravděpodobnosti odhalení.....	53
Tab. 6.9 Aplikace metody pro stanovení míry rizika.....	54
Tab. 6.10 Hodnocení závažnosti rizika.....	61
Tab. 6.11 Nedovolená jízda za návěstidlo zakazující jízdu včetně následné srážky nebo vykolejení [28] ....	61
Tab. 6.12 Přehled vybraných mimořádných událostí [28].....	62
Tab. 7.1 Příklady potřebné délky koleje pro zastavení a rychlost na konci koleje pro vybrané počáteční rychlosti.....	66
Tab. 7.2 Příklady potřebné délky koleje pro zastavení a rychlost na konci koleje pro maximální dovolené rychlosti při posunu.....	67
Tab. 7.3 Ztráta rychlostní výšky při průjezdu zhlavím stanice – část 1/2.....	68
Tab. 7.4 Ztráta rychlostní výšky při průjezdu zhlavím stanice – část 2/2.....	69
Tab. 7.5 Hodnoty koeficientu bezpečnosti.....	71
Tab. 7.6 Brzdná síla jednoho brzdného prvku v závislosti na délce brzdné dráhy.....	72

## Použitá literatura a zdroje

- [1] BUGARÍN, M. R., DÍAZ-DE-VILLAGEAS, J-M. G. *Conception of buffer stop blocks*, 2001 [online]. Updated 2001. UIC: poster. Dostupné z: <<http://www.railway-research.org/IMG/pdf/329.pdf>>.
- [2] ČD V15/I *Předpis pro obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel*, změna č. 3. České dráhy, a.s. Praha 1997. V účinnosti od 28. 12.1997.
- [3] ČD Ž9 *Železniční spodek, Vzorový list železničního spodku, Zaráždla*. České dráhy, s.o., Divize dopravní cesty, o. z. Praha. 2001. V účinnosti od 1. 4. 2002.
- [4] ČSN 73 6310 *Navrhování železničních stanic*. Český normalizační institut, Praha 1996. V účinnosti od 1. 9. 1996.
- [5] ČSN 73 6360-1 *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování*. Český normalizační institut, Praha 2008. V účinnosti od 1. 10. 2008.
- [6] Infrabel: *Spécification technique – Fourniture de heurtoirs*. 2006
- [7] AB-EBV: *Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung*. 2012.
- [8] DB: DS 800 01. *Bahnanlagen entwerfen - Allgemeine Entwurfsrichtlinien*.
- [9] British Standard: GC/RT 5033. *Terminal Tracks-requirements for Buffer Stops, Arresting Devices and Impact Walls*. Issue 2, December 2007
- [10] FIALA, L. *Provozní dopady aplikace ochranných vzdáleností podle TNŽ 34 2620*. Pardubice. 2010. Diplomová práce. Dopravní fakulta Jana Pernera - Univerzita Pardubice. Vedoucí práce: Pavel Drda.
- [11] *Guide for the application of TSI LOC&PAS*. Version 2.0. European Railway Agency. France. 2015.
- [12] ISRAEL RAILWAYS LTD. *Railway buffer stops planning guidelines*, 2009, [online]. Updated 2013. Netevei Israel. From: <[http://www.iroads.co.il/sites/default/files/imce/ir\\_buffer\\_stops\\_guidelines.doc](http://www.iroads.co.il/sites/default/files/imce/ir_buffer_stops_guidelines.doc)>.
- [13] MAJERČÁK, J. a kol. *Železničná dopravná prevádzka*. Žilinská univerzita v Žilíně. Žilina. 2008. 230 stran. ISBN 978-80-8070-887-0.
- [14] ÖBB: DV B 53. *Die Gestaltung von Oberbauanlagen*.
- [15] ÖBB: Technische Lieferbedingungen Nr. 07.09.29 – Gleisabschlüsse. 2015
- [16] OLEO International [online]. Oleo end stops. Dostupné z: <<http://www.oleo.co.uk/products/end-stops>>.
- [17] RAWIE GmbH & Co. KG [online]. Rewie – Bahntechnik-Strassenbahn. Dostupné z: <<http://www.rawie.de/index.php/de/bahntechnik/strassenbahn>>.
- [18] RVE 05.05.31 *Oberbau, Oberbaukonstruktionen, Gleisabschlüsse*. Wien. 2014.
- [19] SŽDC D1 *Dopravní a návěsní předpis*, změna č. 3. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Odbor základního řízení provozu. Praha 2015. V účinnosti od 1. 5. 2015.

- 
- [20] ŠIROKÝ, J. *Mechanika v dopravě I – kolejová vozidla*, [online]. Updated 2003. Dostupné z: <[http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Skr\\_MvD.pdf](http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/Skr_MvD.pdf)>.
- [21] TNŽ 28 2605 *Kolejová vozidla – železniční. Trubkové nárazníky s korýtkovým vedením. Typy, základní parametry, technické požadavky, zkoušení*. Nymburk: ČSD, 1991. V účinnosti od 1. 7. 1991.
- [22] TNŽ 34 2620 *Železniční zabezpečovací zařízení. Staniční a traťové zabezpečovací zařízení*. Olomouc: České dráhy, s.o., 2002. V účinnosti od 1. 7. 2002.
- [23] VESELÝ, J. *Technologie dopravy*. SNLT – Nakladatelství technické literatury, Praha 1987. První vydání. 224 stran. 04 – 318 – 87.
- [24] TRÖGEL, M. *Problematika dojezdu vlaku ke konci oprávnění k jízdě v ETCS z pohledu SŽDC, 2018*, [online]. Dostupné z: <<https://www.fel.zcu.cz/rest/cmism/document/workspace://SpacesStore/8b29194c-45d0-4319-bff9-053ecba477ff;1.0/content>>
- [25] NACHTIGALL, P., OUŘEDNÍČEK, J. *Zajištění dohledu nad zastavením (snížením rychlosti) v ERTMS/ETCS v souvislostech*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 47/2019. [online]. Dostupné z: <[https://vts.cd.cz/documents/168518/233051/11\\_4719\\_Nachtigall%2C+Ourednicek\\_Zajistenidohledunadzastavenim+\(snizenim+rychlosti\)+v+ERTMSETCS+v+souvislostech\\_kor.pdf/bf57499e-aac1-4a0f-9ebd-b523361d694a](https://vts.cd.cz/documents/168518/233051/11_4719_Nachtigall%2C+Ourednicek_Zajistenidohledunadzastavenim+(snizenim+rychlosti)+v+ERTMSETCS+v+souvislostech_kor.pdf/bf57499e-aac1-4a0f-9ebd-b523361d694a)>
- [26] HRUBAN, I., NACHTIGALL, P., ŠTĚPÁN, O. *Přínosy zavedení ETCS z pohledu brzdných křivek*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 40/2015. [online]. Dostupné z: <<https://vts.cd.cz/documents/168518/195426/4009.pdf/1a8897f3-50f4-4c6f-8216-9071b7bc35d5>>
- [27] Správa železnic, s.o. [online]. Dostupné z: <<https://www.spravazeleznice.cz/>>
- [28] Drážní inspekce [online]. Dostupné z: <<http://www.dicr.cz/>>

## ***Publikační činnost***

GUZIUR, P., VYBRANÉ KAPITOLY NAVRHOVÁNÍ ŽELEZNIČNÍCH STANIC V NĚMECKU, příspěvek na konferenci *17. odborná konference doktorského studia Juniorstav 2015*, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2015. ISBN 978-80-214-5091-2

GUZIUR, P., Selected chapters of designing railway stations in Germany. In *YOUNG SCIENTIST 2015/MLADÝ VEDEC 2015, 7th International Scientific Conference of Civil Engineering and Architecture*, Technical University of Košice, Faculty of Civil Engineering, Košice. 2015, ISBN 978-80-553-1988-9

GUZIUR, P., Metodika navrhování ukončení kusých kolejí. Příspěvek na konferenci *18. odborná konference doktorského studia Juniorstav 2016*, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2016. ISBN 978-80-214-5311-1

GUZIUR, P., Methodology of designing ending of dead-end tracks. In *YOUNG SCIENTIST 2016/MLADÝ VEDEC 2016, 8th International Scientific Conference of Civil Engineering and Architecture*, Technical University of Košice, Faculty of Civil Engineering. Košice, 2016, ISBN 978-80-553-2537-8

GUZIUR, P., Design parameters of buffer stops. In *Interoperabilita v železniční dopravě IRICoN 2016*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2016. ISBN 978-80-01-05939-5

GUZIUR, P., Design parameters of buffer stops. In *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, (Online), České vysoké učení technické v Praze, Praha. 2016. ISSN 2336-5382

VALEHRACH, J.; GUZIUR, P. Stanovení nákladů na vyluku. Příspěvek na konferenci *19. odborná konference doktorského studia Juniorstav 2017*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2017. ISBN: 978-80-214-5473- 6

GUZIUR, P. Practical application of methodology of designing ending of dead-end tracks. In *YOUNG SCIENTIST 2017/MLADÝ VEDEC 2017, 9th International Scientific Conference of Civil Engineering and Architecture*, Technical University of Košice, Faculty of Civil Engineering. Košice, 2017. ISBN: 978-80-553-3136-2

GUZIUR, P. Friction buffer stop design. In *Interoperabilita v železniční dopravě IRICoN 2017*, České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2017. ISBN: 978-80-01-06140-04

GUZIUR, P. Friction buffer stop design. In *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, (Online), České vysoké učení technické v Praze, Praha. 2017. ISSN 2336-5382

VALEHRACH, J.; GUZIUR, P.; ŘÍHA, T.; PLÁŠEK, O. Assessment of rail long-pitch corrugation. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, roč. 236, č. 1, s. 1-8. ISSN: 1757-899X

PLÁŠEK, O.; SALAJKA, V.; ADAMEC, V.; HRUZÍKOVÁ, M.; HRADIL, P.; SCHÜLLEROVÁ, B.; GUZIUR, P. Railway Buffer Stops Planning. *In Road and Rail Infrastructure V*. Zagreb, Croatia: Department of Transportation Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, 2018. s. 803-809. ISBN: 978-953-8168-25-3