

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukční návrh úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy

Autor: **Václav WOČADLO**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří KOŘÍNEK**

Akademický rok 2019/2020

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Václav WOČADLO</b>
Osobní číslo:	<b>S19B0085P</b>
Studijní program:	<b>B2301 Strojní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Dopravní a manipulační technika</b>
Téma práce:	<b>Konstrukční návrh úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra konstruování strojů</b>

### Zásady pro vypracování

#### Základní požadavky:

Navrhněte konstrukci úzkorozchodné důlní lokomotivy pro rozchody 450 – 600 mm s pohonem pomocí trakčních motorů a akumulátorů. Vyberte vhodné komponenty. Vypracujte rešerši současného stavu techniky a to jak nabídky na trhu, tak strojů v provozu. Navrhněte několik variant uspořádání pojezdu s výběrem a rozpracováním nejvhodnější varianty. Ekonomicky zhodnoťte projekt.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše stávající techniky
2. Zpracování základních teoretických poznatků
3. Shrnutí požadovaných technických parametrů
4. Vypracování variant koncepčních řešení
5. Zhodnocení vybrané konstrukční varianty, závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla I.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007

HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla II.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009

SZKLARSKI, L. *Underground electric haulage.* Oxford: Pergamon Press, 2013

LATA, M. *Konstrukce kolejových vozidel II.* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004

ŠIROKÝ, J. *Mechanika v dopravě – kolejová vozidla.* Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kořínek**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ladislav Tříška, Ph.D.**  
Strkan s.r.o.  
Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, jenž je součástí této bakalářské práce.

V plzni dne: .....

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Jiřímu Kořínkovi, za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a čas, který mi věnoval. Děkuji také svému konzultantovi Ing. Ladislavu Třískovi.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, přítelkyni, spolužákům a přátelům za dlouhodobou podporu během studia.

## ANOTAČNÍ LIST (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Wočadlo	<b>Jméno</b> Václav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 – Dopravní a manipulační technika		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Kořínek	<b>Jméno</b> Jiří	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukční návrh úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	75	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	65	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje koncepční návrh úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy se zadaným rozchodem 450-600 mm. Je proveden hrubý návrh celkové stavby a klíčových komponent lokomotivy. Dále práce obsahuje konstrukční návrh jedné součásti. Návrh byl proveden v softwaru Creo Parametric.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Lokomotiva, elektromotor, baterie, prostředí s nebezpečím výbuchu</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Wočadlo	<b>Name</b> Václav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 – Transport and handling machinery		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Kořínek	<b>Name</b> Jiří	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of narrow gauge mining battery locomotive		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	75	<b>TEXT PART</b>	65	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis consists of conceptual design of a narrow gauge mining battery locomotive with a specified gauge of 450-600 mm. A design of overall structure and key components of the locomotive is made in this thesis. This work contains also a design of one specific component. The design was made in Creo Parametric software.
<b>KEY WORDS</b>	Locomotive, electric motor, battery, explosive atmosphere

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Akumulátorové důlní lokomotivy .....	12
2.1	Provozní podmínky.....	12
2.1.1	Důlní prostředí.....	12
2.1.2	Legislativa .....	12
2.2	Historie .....	14
2.2.1	ČKD – ALD-2.....	14
2.2.2	BBA B 360.....	16
2.3	Technika v provozu .....	18
2.3.1	PHS AE 30 .....	18
3	Specifikace požadavků.....	20
3.1	Popis variant řešení.....	20
3.2	Metoda výběru a stanovení koncepčních řešení .....	21
4	Popis a výběr konstrukční prvků.....	23
4.1	Kabina řidiče.....	23
4.1.1	Výběr řešení .....	25
4.2	Dvojkolí.....	26
4.2.1	Výběr řešení .....	27
4.3	Pohon dvojkolí.....	28
4.3.1	Pohon individuální .....	28
4.3.1.1	Pohon tlapovým motorem.....	28
4.3.1.2	Pohon dutým hřídelem objímajícím nápravu.....	29
4.3.1.3	Pohon kloubovým hřídelem.....	29
4.3.2	Pohon skupinový .....	30
4.3.3	Pohon ústřední.....	30
4.3.4	Výběr řešení .....	30
4.4	Odpružení a vedení dvojkolí.....	32
4.4.1	Výběr řešení .....	34
4.5	Baterie.....	35
4.5.1	Olověné .....	35
4.5.2	Lithium-iontové baterie.....	35
4.5.3	Výběr řešení .....	35
4.6	Motory .....	36



4.6.1	Výběr řešení .....	37
4.7	Brzdny systém .....	38
4.7.1	Provozní brzda.....	38
4.7.1.1	Adhezní brzda .....	38
4.7.1.2	Brzdění motorem .....	39
4.7.2	Parkovací brzda .....	40
4.7.3	Výběr řešení .....	40
4.8	Shrnutí vybraných řešení .....	41
5	Konstrukční návrh .....	42
5.1	Konstrukční návrh vybrané součásti.....	42
5.1.1	Stanovení rozměrů.....	42
5.1.2	Popis konstrukce .....	43
5.2	Konstrukční návrh lokomotivy .....	45
5.2.1	Výpočet potřebné hmotnosti lokomotivy .....	45
5.2.2	Rám lokomotivy .....	46
5.2.3	Spřáhla a nárazníky .....	46
5.2.4	Uchycení skříní .....	48
5.2.5	Odpružení .....	48
5.2.6	Zavěšení motoru .....	48
5.2.7	Návrh pohonu .....	50
5.2.7.1	Výběr motoru .....	50
5.2.7.2	Návrh převodovky .....	53
5.2.9	Pískovací systém .....	54
5.2.10	Brzdy .....	54
5.3	Shrnutí parametrů navrhovaného řešení .....	55
6	Ekonomické zhodnocení projektu .....	59
7	Závěr.....	60
8	Literatura .....	61
9	Seznam obrázků .....	64
10	Seznam tabulek .....	65

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ATEX		Atmospheres Explosibles
ČSN		Československá státní norma
ISO		International Organization for Standardization
EN		Evropské normy
MHD		Městská hromadná doprava
PVC		Polyvinilchlorid
PPS		Polyfenylensulfid
3F		Třífázový
$\Sigma$		Suma
R	[m]	Radius průjezdu lokomotivy
$m_L$	[t]	Hmotnost lokomotivy
$m_V$	[t]	Hmotnost vlaku
$G_L$	[kN]	Tíhová síla lokomotivy
$G_a$	[kN]	Adhezní tíhová síla
$o_L$	[N/t]	Měrný odpor lokomotivy
$O_L$	[N]	Vozidlový odpor lokomotivy
$o_V$	[N/t]	Měrný odpor vlaku
$O_V$	[N]	Vozidlový odpor vlaku
$F_{Sp}$	[kN]	Síla na spřáhle
$F_O$	[kN]	Síla na kolech
$F_a$	[kN]	Adhezní síla
$\mu_a$	[-]	Součinitel adheze
$P_O$	[kW]	Výkon na kolech
$P_M$	[kW]	Výkon motoru
$n_O$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky na kolech
$\eta_M$	[%]	Účinnost motoru
$\eta_P$	[%]	Účinnost převodu
$\varepsilon$	[-]	Součinitel využití adheze
D	[mm]	Průměr kola
x	[ks]	Počet utáhnutelných vozíků

## 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je návrh konstrukce úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy pro rozchody 450–600 mm s ohledem na spolehlivost a ekonomičnost při výrobě i provozu. První část práce seznamuje s důlními lokomotivami, a především s předpisy platícími pro důlní prostředí. Ty jsou závazné pro celkový návrh lokomotivy. Dále je provedena rešerše starších i stávajících druhů akumulátorových lokomotiv. Na základě získaného základního přehledu jsou specifikovány parametry a varianty řešení, z nichž jedna vybraná bude detailněji zpracována. V následující kapitole jsou variantám přiřazovány vhodné konstrukční prvky. Další část se zabývá samotným návrhem jedné z variant a podrobněji jednoho dílčího konstrukčního prvku. Jsou zde uvedené základní výpočty potřebné pro stanovení vhodného typu pohonu a je přiložena příslušná výkresová dokumentace. Nakonec je uvedeno shrnutí technických parametrů lokomotivy.

## 2 Akumulátorové důlní lokomotivy

Úzkorozchodné důlní lokomotivy jsou z dlouhodobého hlediska brány jako nejlevnější a nejefektivnější způsob dopravy materiálu, vytěžených surovin a osob v důlním prostředí, a to jak přímo pod povrchem, tak i v blízkém okolí dolu. V důlním prostředí panují velmi náročné podmínky kladoucí specifické nároky na konstrukci důlní techniky. V současnosti se nejvíce používají lokomotivy dieselové, trolejové a akumulátorové. Každá koncepce má své výhody a nevýhody, a proto se používají pro různé aplikace v různých prostředích. Nevýhodou dieselových lokomotiv je produkce zplodin, takže se nehodí do hůře větratelných prostor. Trolejové lokomotivy mají oproti akumulátorovým velkou výhodu ve výrazně nižších nákladech na provoz a možnost pracovat nepřetržitě, avšak nehodí se do míst, kde by jiskření trolejí a mezi lokomotivou a kolejí mohlo způsobit vznícení nebezpečné atmosféry dolu. Akumulátorové lokomotivy mohou být vyrobeny v nevýbušném provedení a jelikož k provozu nepotřebují troleje a nevyžadují intenzivní větrání prostor, mohou být nasazeny téměř kdekoli. Ale pokud je např. lokomotiva určena do prostředí v neplynulých dolech, tak se konstrukce bateriové a trolejové lokomotivy liší jen ve zdroji energie. [1] [2]

### 2.1 Provozní podmínky

#### 2.1.1 Důlní prostředí

Doly dělíme na plynující a neplynující podle toho, jaká maximální koncentrace metanu může v prostorách dolu vzniknout. O neplynujícím dolu mluvíme tehdy, když v případě větrání nestoupne koncentrace metanu ve vzduchu na víc než 0,1 % a pokud po zastavení větrání na 24 hodin nebude koncentrace vyšší než 1 %. V opačném případě mluvíme o plynujícím dolu. Není to ale jediné rozdělovací kritérium z hlediska nebezpečnosti prostředí. [3] Specifickým typem dolů jsou uhelné doly, kde se kromě výbušných plynů vyskytuje i uhelný prach, který je v kombinaci se vzduchem velmi explozivní. Tato prachovzdušná směs je daleko vznětlivější než prostředí pouze s výbušnými plyny. Mohou se tvořit nánosy prachu na nežádoucích místech a tyto nánosy se s časem zvětšují, zatímco koncentrace plynů se naopak snižuje. [4]

#### 2.1.2 Legislativa

Podmínky pro provoz zařízení a ochranných systémů určených pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu stanovuje směrnice **ATEX 94/9/ES** (ATEX = Atmospheres Explosibles). Směrnice definuje prostředí s nebezpečím výbuchu jako „*atmosféru, která se může stát výbušnou vlivem místních a/nebo provozních podmínek*“ nebo jako „*směs hořlavých látek ve formě plynů, par, mlh nebo prachů se vzduchem za atmosférických podmínek ve které se po vzniku iniciace šíří hoření do veškeré nespálené směsi.*“ Dále uvádí zdroje iniciace, jako jsou například elektrické jiskry, elektrické oblouky a průrazy, elektrostatické výboje, horké povrchy, plameny a horké plyny, mechanicky generované jiskry a další. Definuje ochranné systémy jako systémy, které mají zastavit začínající výbuch a omezit rozsah výbuchu. Dle směrnice jsou zařízení určená do prostředí s nebezpečím výbuchu rozdělena do dvou skupin:

## Skupina I

To jsou zařízení určená k provozu v dolech, pod povrchem i na povrchu. Jsou přizpůsobená prostředí s výskytem důlního plynu a prachu. Dále je dělíme do dvou kategorií podle toho, zda jsou při kontaktu s nebezpečnou atmosférou vypínána, či mohou být i nadále v provozu.

- **Kategorie M1** – zařízení pokračují v provozu i v přítomnosti výbušné atmosféry
- **Kategorie M2** – Předpokládá se vypnutí zařízení. Vzhledem k tomu, že k vyřazení zařízení z provozu nemusí nastat ihned, je nutné zajistit dostatečnou ochranu těchto zařízení.

Skupina I má dvě teplotní třídy vztahující se k povrchu součásti, od kterého by mohlo dojít k zapálení výbušného prachu.

- **150 °C (T4)** na povrchu, kde se může uhelný prach vrstvit
- **450 °C (T1)** kde se nepředpokládá, že se bude uhelný prach vrstvit (platí pouze pro důlní plyn – metan)

## Skupina II

Do této skupiny jsou zařazena zařízení určená k provozu ve všech ostatních místech, kde se může objevit výbušná atmosféra. Dělí se do třech kategorií vzestupně podle úrovně ochrany na **0, 1 a 2** pro prostředí s výbušnými plyny a **20, 21 a 22** pro prostředí s výbušnými prachy. Skupina II má šest teplotních tříd **T1 až T6** a to od **450 °C** do **85 °C**. [3]

Vzhledem k použití akumulátorové důlní lokomotivy musí všechny její součásti, které by se mohly stát iniciátory zápalu výbušné atmosféry, splňovat požadavky pro **skupinu I**. Tyto výrobky jsou označovány symbolem Evropské unie pro nevýbušné výrobky, viz **obrázek 1**. [5]



Obrázek 1 – Symbol normy ATEX [6]

## 2.2 Historie

Historie důlních akumulátorových lokomotiv sahá až do roku 1842, kdy skotský vynálezce Robert Davidson sestrojil elektrickou lokomotivu *Galvani* využívající galvanické články, chemicko-elektrický zdroj, který po vybití nelze znovu nabít, nejedná se tedy přímo o akumulátorovou lokomotivu. Tato lokomotiva nebyla nikdy v důlním prostředí použita. Za první důlní čistě akumulátorovou lokomotivu lze považovat lokomotivu společnosti *Siemens und Halske* nasazenou do provozu v roce 1904. Od roku 1828 se ve Spojených státech Amerických používalo několik trolejových lokomotiv v kombinaci s bateriemi pro prodloužení dojezdu. Byly to nikl-železné akumulátory, které jsou odolné a mají velmi dlouhou životnost. Později byly nahrazeny olověnými bateriemi. [7] [8] [9] [10] [11]

### 2.2.1 ČKD – ALD-2

Tato lokomotiva velmi malých rozměrů byla vyráběna v letech 1956–1964 společností ČKD n. p. Praha v závodech na Vinohradech a v Radotíně a na Slovensku v Turčianských strojárnách Martin v závodě Lučenec. Typ ALD-2 je určený pro důlní výbušné prostředí. Proto je zkonstruován s vhodným krytem trakčních motorů a elektrických zařízení. Na základě tohoto modelu byly odvozeny dva další typy. ALD-22 vhodný pouze do prostředí, v němž nehrozí nebezpečí výbuchu plynů a prototyp ALD-21 s ještě menšími rozměry, který byl určen především pro rudné doly. Tyto lokomotivy mohly být v konstrukčním řešení se zastřešenou kabinou nebo bez zastřešení. Nápravy s uspořádáním typu B jsou navzájem mechanicky spojeny. Na úzkorozchodné dráze ve Starém Plzenci je v provozu nezastřešený model této lokomotivy viz **obrázek 3-4**. Je vybaven již novým typem olověných akumulátorů.



Obrázek 2 – Lokomotiva ALD-2 (Starý Plzenec)

Tabulka 1 – Hlavní parametry lokomotivy ALD-2 [13]

<b>Motor:</b>	Typ S14/14x4, elektrický, 40 V, sériový trakční motor
<b>Výkon motoru:</b>	3 kW (při 950 ot/min)
<b>Baterie:</b>	olověná, 2x20 článků typu 4K225, kapacita 320 Ah
<b>Kontroler:</b>	5 jízdnicích stupňů bez zátěže, 4 stupně se zátěží
<b>Brzda:</b>	ruční, elektrická odporová
<b>Rozchod:</b>	stavitelný 450–600 mm
<b>Uspoř. náprav:</b>	B
<b>Hmotnost:</b>	2,1 t
<b>Tažná síla:</b>	3,0 kN
<b>Rychlost:</b>	max. 5 km/h
<b>Průměr kol:</b>	450 mm
<b>Délka:</b>	2155 mm, transportní 1725 mm
<b>Rozvor:</b>	750 mm
<b>Šířka:</b>	800 mm
<b>Výška:</b>	1500 mm
<b>Min. R:</b>	5 m



Obrázek 3 – Lokomotiva ALD-2 (Starý Plzenec) – Detail brzdy





Obrázek 4 – Baterie lokomotivy ALD-2 (Starý Plzenec)

### 2.2.2 BBA B 360

Tato lokomotiva společnosti BBA se vyráběla v NDR v letech 1980 až 1991. Jedná se o velmi rozšířený model v rámci NDR, bylo vyrobeno několik stovek kusů v různých verzích. Technicky vychází z předchozího modelu BBA Metallist, který se vyvážel i do Československa. Základem lokomotivy je nosný svařovaný rám. Vybavena je dvěma tlapovými motory, které jsou paralelně připojeny a řízeny pomocí odporových měničů. V závislosti na konstrukční variantě disponuje klasickou nebo automatickou spojkou a možnými dvěma typy baterií – 78 V a 80 V. Tato lokomotiva je už vybavena některými bezpečnostními prvky. V kabině řidiče je umístěn spínač bdělosti ovládaný levou nohou. To brání provozu lokomotivy bez přítomnosti řidiče. Ta je vyžadována i v případě nutnosti změny směru jízdy pomocí vyjímatelného klíče u přepínače směru, který lze vyjmout jen v neutrální poloze. [14] [15]



Tabulka 2 – Hlavní parametry lokomotivy BBA B 360 [15] [16]

<b>Motor:</b>	2 x trakční stejnosměrný motor Tatzlager
<b>Výkon motoru:</b>	2 x 2,1 kW
<b>Baterie:</b>	1 x 78 V/80 V kapacita 280 Ah/260 Ah
<b>Kontroler:</b>	5 jízdnicích stupňů
<b>Brzda:</b>	elektrická, ruční parkovací
<b>Rozchod:</b>	600 mm
<b>Uspoř. náprav:</b>	B <sub>0</sub>
<b>Hmotnost:</b>	3,2 t
<b>Tažná síla:</b>	3,2 kN
<b>Rychlost:</b>	max. 10 km/h
<b>Průměr kol:</b>	500 mm
<b>Délka:</b>	2650 mm, s automatickou spojkou 2920 mm
<b>Rozvor:</b>	630 mm
<b>Šířka:</b>	780 mm
<b>Výška:</b>	1460 mm
<b>Min. R:</b>	5 m



Obrázek 5 - Lokomotiva BBA B 360 [15]

## 2.3 Technika v provozu

V současné době ve světě působí nemalý počet společností, jejichž služby zahrnují široký sortiment důlní techniky a u některých z nich i různá technická důlní řešení včetně projektování a výstavby dolů. Napříč jejich modelovými řadami akumulátorových lokomotiv jsou používána různá technická řešení. V této kapitole je uveden jejich stručný přehled a podrobnější popis některých konkrétních modelů. Jednotlivé pojmy uvedené **tabulce 3** jsou popsány v **kapitole 4**.

Tabulka 3 – Světoví výrobci akumulátorových důlních lokomotiv a jejich používaná technická řešení. [2] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25]

VÝROBCE	ZEMĚ	MOTOR	MĚNIČ	BRZDY	ODPRUŽENÍ
<b>Ferrit</b>	ČR	3F asynchronní	frekvenční měnič		gumové bloky šípového tvaru
<b>PHS strojárne</b>	Slovensko	3F asynchronní	frekvenční měnič / proporcionální regulátor	mechanická / elektrodynamická	gumové bloky šípového tvaru / pružiny
<b>Kingdomine</b>	Čína		Odporový, frekvenční měnič / IGBT	mechanická / pneumatická / elektrodynamická	
<b>Shaoli</b>	Čína	stejnoseměrný	Odporový, frekvenční měnič / IGBT	mechanická / pneumatická	
<b>Enwei</b>	Čína	3F asynchronní	Odporový, frekvenční měnič / IGBT	mechanická / elektrodynamická / pneumatická	
<b>Yutong</b>	Čína	3F asynchronní	Odporový / frekvenční měnič / IGBT	mechanická / pneumatická / elektrodynamická	
<b>Fidko</b>	Makedonie	3F asynchronní / stejnoseměrný	frekvenční měnič		
<b>Loco</b>	Slovensko	3F asynchronní	frekvenční měnič	mechanická / elektrodynamická	
<b>Brookville</b>	USA		IGBT	mechanická	

### 2.3.1 PHS AE 30

AE 30 je třetím nejmenším modelem z řady akumulátorových lokomotiv slovenské společnosti PHS Strojárne. Jedná se o modulárně pojatou jednokabinovou lokomotivu s možností různých způsobů řešení podle požadavků zákazníka. Kabina je odnímatelná pro snazší přepravu, výška připojovacího zařízení může mít dvě nastavitelné polohy a odpružení je řešeno pomocí gumových bloků nebo pružin. Také akumulátory jsou snadno odnímatelné. Obě nápravy jsou hnané dvěma trojfázovými asynchronními motory a kroučící moment je na kola přenášen nápravovými převodovkami. Brzdění lokomotivy je zajištěno mechanickou i elektrodynamickou brzdou a lokomotiva je vybavena bezpečnostními systémy certifikovanými podle evropských norem a normy ATEX, která stanovuje bezpečnostní podmínky pro prostředí s nebezpečím výbuchu. [17] [18]

Tabulka 4 – Hlavní parametry lokomotivy PHS AE 30. [17] [18]

<b>Motor:</b>	2 x trojfázový asynchronní motor
<b>Výkon motoru:</b>	2 x 15 kW
<b>Baterie:</b>	Hawker-Perfect Plus-3PzB225-olověná
<b>Kontroler:</b>	Proporcionální regulátor
<b>Brzda:</b>	mechanická, elektrodynamická, samočinná parkovací
<b>Rozchod:</b>	600 mm
<b>Uspoř. náprav:</b>	B <sub>o</sub>
<b>Hmotnost:</b>	7,9 t
<b>Tažná síla:</b>	14 kN
<b>Rychlost:</b>	max. 18 km/h
<b>Průměr kol:</b>	450 mm
<b>Délka:</b>	4550 mm
<b>Rozvor:</b>	1200 mm
<b>Šířka:</b>	1050 mm
<b>Výška:</b>	1650 mm
<b>Min. R:</b>	12 m



Obrázek 6 - Lokomotiva PHS AE 30 [17]

### 3 Specifikace požadavků

V této kapitole jsou uvedeny základní požadavky na navrhovaný technický systém, kterými se bude následný návrh řídit. Dále jsou popsány varianty řešení taktéž splňující tyto požadavky a použitá rozhodovací metoda.

Tabulka 5 - Zadané parametry

Vlastnost	Požadovaná hodnota
Tažná síla na spřáhle lokomotivy	15 kN
Maximální rychlost	18 km/h
Rozchod	450–600 mm
Rozvor	900 mm
Průměr kol	450 mm
Maximální výška	1800 mm
Maximální délka	4000 mm
Maximální šířka	1100 mm
Pracovní prostředí dané směrnicí ATEX 94/9/ES	Skupina I, kategorie M2

#### 3.1 Popis variant řešení

Zde je uveden základní popis dvou variant řešení, na jejichž základě budou vybírány jednotlivé konstrukční prvky tak, aby splňovaly požadavky dané varianty.

##### Varianta 1:

Kompaktní lokomotiva jednoduché bytelné konstrukce, jednoduše rozebíratelná, snadno a levně opravitelná. Jednotlivé díly jsou vyrobené ze snadno dostupných materiálů, na jejich zpracování jsou použity jednoduché technologie. Jsou použity všechny nezbytné konstrukční prvky a součásti dané legislativou a podmínkami danými provozním prostředím.

##### Varianta 2:

Lokomotiva složitější konstrukce zaměřené na spolehlivost, efektivní a hladký provoz. Klade důraz na bezpečnost posádky při provozu i na okolní prostředí. Jednotlivé díly jsou vyrobeny z odolných materiálů a je u nich vyžadována dlouhá životnost. Jsou použity všechny nezbytné konstrukční prvky a součásti dané legislativou a podmínkami danými provozním prostředím.

### 3.2 Metoda výběru a stanovení koncepčních řešení

Vlastnosti jednotlivých technických systémů popsaných v následující kapitole jsou rozděleny do čtyř základních kategorií:

- **Cena** – zahrnuje veškeré vlastnosti týkající se nákladů na provoz, údržbu, likvidaci a také odhadovanou, či známou pořizovací cenu.
- **Technická jednoduchost** – zahrnuje vše týkající se jednoduchosti instalace, údržby, používání v běžném provozu atd.
- **Provozní vlastnosti** – vše co přispívá k hladkému a efektivnímu provozu má v této kategorii kladné body.
- **Bezpečnost** – zahrnuje vše, co se týče bezpečnosti a ergonomie. K dobru je přičteno vše nad rámec minima daného legislativou v rámci této kategorie.

Tyto jednotlivé kategorie vlastností bereme jako kritéria rozhodovacího procesu. Pomocí bodovací metody jsou kritériím přiřazeny váhy, které vycházejí ze dvou požadovaných koncepčních řešení (variant):

#### Určující kritéria:

- **Varianta 1:** Cena, Technická jednoduchost
- **Varianta 2:** Provozní vlastnosti, Bezpečnost

Na základě požadavků těchto variant na vlastnosti lokomotivy je pro každou variantu sestavena tabulka přiřazení bodů a tabulka vah důležitosti jednotlivých kritérií – **Tabulka 6-9**. V bodovací tabulce jsou kritériím přiřazeny body podle jejich důležitosti (1-10) a v tabulce vah důležitosti jsou jejich vypočtené váhy.

$$váha = \frac{\text{body daného kritéria}}{\Sigma}$$

Následně jsou různá řešení jednotlivých technických systémů obodována (číslicemi 1-10) a přepočtem pomocí vah důležitosti je pro danou variantu číselně vyjádřena použitelnost konstrukčního řešení pro danou variantu. Tedy:

$$\Sigma = \Sigma(\text{body daného kritéria} \cdot váha)$$

Dále je určeno pořadí konstrukčních řešení. Řešení na prvním místě bude použito pro danou variantu. [26]

**Varianta 1:**

Tabulka 6 - Přiřazení bodů

<b>Kritéria</b>				
<b>Cena</b>	<b>Technická jednoduchost</b>	<b>Provozní vlastnosti</b>	<b>Bezpečnost</b>	$\Sigma$
9	8	4	5	26

Tabulka 7 - Váhy důležitosti

<b>Kritéria</b>				
<b>Cena</b>	<b>Technická jednoduchost</b>	<b>Provozní vlastnosti</b>	<b>Bezpečnost</b>	$\Sigma$
0,346	0,308	0,154	0,192	1,000

**Varianta 2:**

Tabulka 8 - Přiřazení bodů

<b>Kritéria</b>				
<b>Cena</b>	<b>Technická jednoduchost</b>	<b>Provozní vlastnosti</b>	<b>Bezpečnost</b>	$\Sigma$
4	3	9	8	24

Tabulka 9 - Váhy důležitost

<b>Kritéria</b>				
<b>Cena</b>	<b>Technická jednoduchost</b>	<b>Provozní vlastnosti</b>	<b>Bezpečnost</b>	$\Sigma$
0,167	0,125	0,375	0,333	1,000

## 4 Popis a výběr konstrukčních prvků

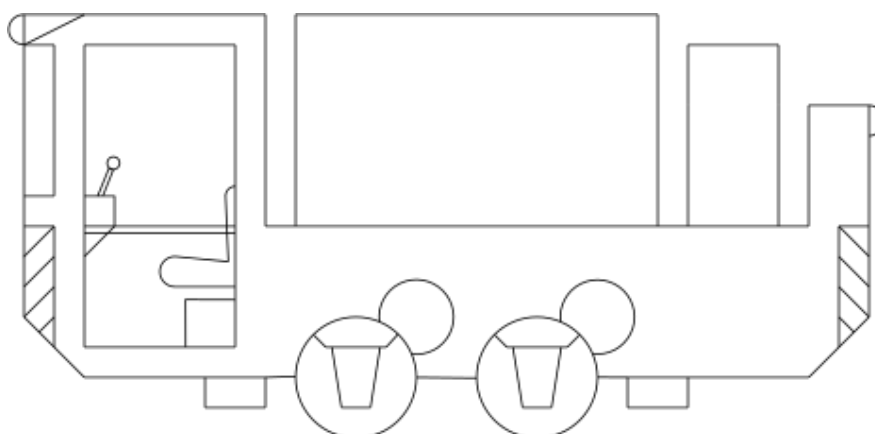
V této kapitole je uveden popis konstrukčních prvků kolejových vozidel a jejich různých koncepcí, které lze využít pro stavbu elektrických důlních lokomotiv. Je kladen důraz na jejich hlavní rozdíly, využití, konstrukční a servisní náročnost, případně jejich odhadovanou cenu. Jedno konkrétní řešení každého popsaného konstrukčního prvku je přiřazeno jednotlivým variantám řešení na základě rozhodovacího procesu popsaného v **kapitole 3.2.** Některé prvky jsou vybrány bez použití tohoto rozhodovacího procesu, a to z důvodu, že nebylo možné kvůli specifickým vlastnostem důlních lokomotiv nebo obecně důlních zařízení vybírat z více řešení. V jiném případě může být použitelné vícero možností, ale jen jedno vhodné, pak je výběr slovně podložen.

### 4.1 Kabina řidiče

Dle normy **ČSN 1889-2 A1** a **EN ISO 3411** může být kabina umístěna:

#### Na jednom konci

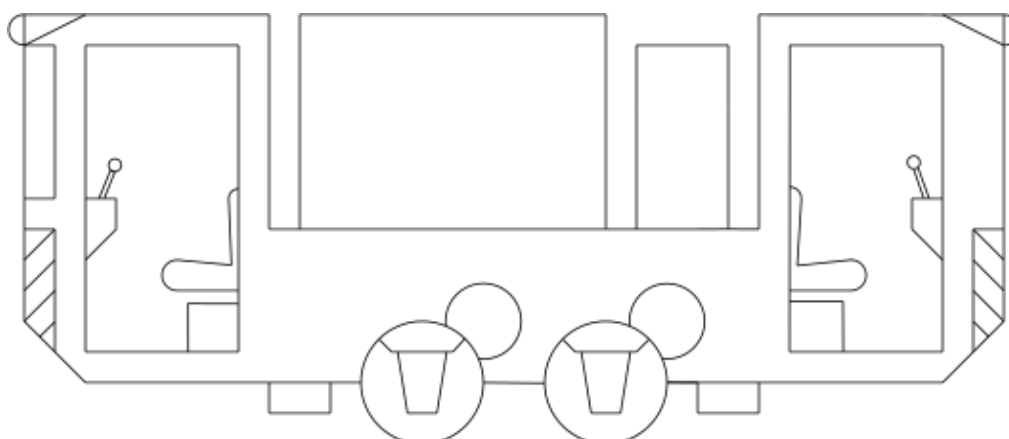
Nejjednodušší a nejkompaktnější řešení. Řidič má výhled dopředu a do stran, nikoliv dozadu, pokud to není umožněno jiným způsobem, např. zpětnými zrcátky nebo kamerami, což může značně zvětšovat jízdní profil lokomotivy nebo celkové náklady.



Obrázek 7 - Kabina na jednom konci

#### Na obou koncích

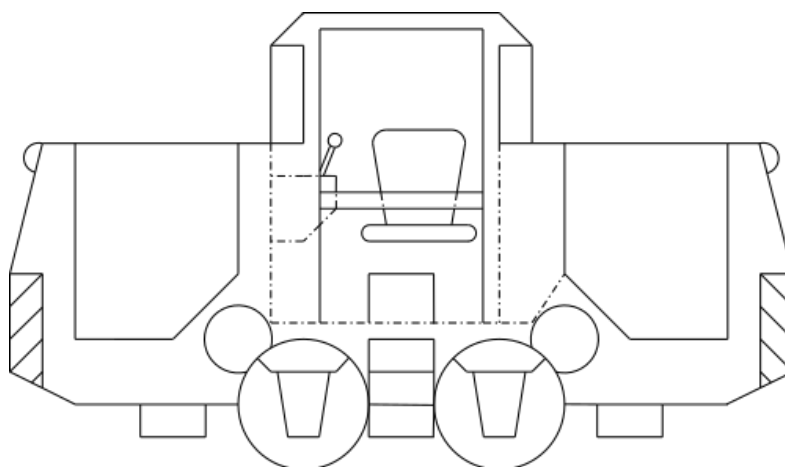
Oboustranná verze první varianty, která přináší výhodu plnohodnotného provozu v obou směrech, jinak s první variantou sdílí stejné nevýhody. V případě použití této koncepce výrazně narůstá celková délka lokomotivy a je nutné zajištění vybavení obou kabin.



Obrázek 8 - Kabina na dvou koncích

### Ve středu a vyčnívající

Tato varianta má zjevný nedostatek v tom, že umístění kabiny řidiče uprostřed ubírá místo na pohon, který by musel být vyveden do přední a zadní části. Také znemožňuje sestavení baterií do jednoho bloku. Skříň baterií je na lokomotivě ten největší a zároveň nejtěžší prvek. Taktéž by musela být rozdělena na dvě části, a to i z důvodu rozložení hmotnosti. Výhodou je dobrý výhled do všech stran s omezením výhledu vzad. Tato koncepce také umožňuje umístění sedadla bokem ke směru jízdy a řidič má tak pohodlný výhled i vzad. Ztrácí tak ale výhled na jedu boční stranu. Použití otočného sedadla neuvažujeme. V omezeném prostoru kabiny by to nebylo ani možné.



Obrázek 9 - Kabina uprostřed

### Na jednom konci a vyčnívající

Obdoba první varianty s tím rozdílem, že předpokládáme nižší bateriovou skříň i ostatní prvky umístěné za kabinou, což umožňuje přidání zadního okna. Řidič má tak částečný výhled vzad a to např. díky zpětným zrcátkům umístěným v kabině. Stejně jako v případě kabiny umístěné uprostřed, je u této koncepce možné umístit sedadlo řidiče bokem a získat tak možnost výhledu vzad. [27]



#### 4.1.1 Výběr řešení

##### Varianta 1:

Tabulka 10 - Výběr umístění kabiny – Varianta 1

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Varianty										
<b>Kabina na jednom konci</b>	10	3,460	10	3,080	3	0,462	4	0,768	7,770	3
<b>Kabina na obou koncích</b>	3	1,038	5	1,540	10	1,540	10	1,920	6,038	4
<b>Kabina uprostřed a vyčnívající</b>	4	1,384	2	0,616	8	1,232	9	1,728	7,960	2
<b>Kabina na jednom konci a vyčnívající</b>	9	3,114	9	2,772	6	0,924	6	1,152	7,962	1
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,346		0,308		0,154		0,192			

Pro tuto variantu řešení byla vybrána kabina na jednom konci a vyčnívající viz **tabulka 10**. Je to řešení se náročností na výrobu příliš neliší od první varianty, jen je třeba přidat zadní okno. Zároveň při zachování relativně dobrého výhledu je možné použít jen jednu kabinu a zachovat tak kompaktní rozměry lokomotivy.

##### Varianta 2:

Tabulka 11 - Výběr umístění kabiny – Varianta 2

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Varianty										
<b>Kabina na jednom konci</b>	10	1,670	10	1,250	3	1,125	4	1,332	5,377	4
<b>Kabina na obou koncích</b>	3	0,501	5	0,625	10	3,750	10	3,330	8,206	1
<b>Kabina uprostřed a vyčnívající</b>	4	0,668	2	0,250	8	3,000	9	2,997	6,915	2
<b>Kabina na jednom konci a vyčnívající</b>	9	1,503	9	1,125	6	2,250	6	1,998	6,876	3
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,167		0,125		0,375		0,333			

Pro druhou variantu byla vybrána kabina na obou koncích viz **tabulka 11**. Je tak zajištěn plnohodnotný obousměrný provoz. V případě dostatečně nízké skříně baterií je možné také připojit zadní okna kabin.

## 4.2 Dvojkolí

Dvojkolí kolejových vozidel se skládá z nápravy a kol. Jedná se o nejvíce namáhanou část lokomotivy, tudíž jsou kladeny velké nároky na její přesnost, dimenzování, a servis. Jeho hlavními funkcemi jsou nesení a vedení vozidla v kolejovém kanálu, přenos adhezních a brzdících sil. U hnacích vozidel rozlišujeme dvojkolí hnaná a běžná (nehnaná), tzv. běhouny. V rámci této práce se budeme zabývat pouze hnanými dvojkolími.

### Kola dělíme na:

#### Obručová

Skládají se z obruče nalisované na věnec ve tvaru kotouče nebo hvězdice. Hvězdicová kola umožňují snazší přístup k pohonu dvojkolí mezi paprsky kol. To však u kol malého průměru důlních lokomotiv ztrácí svůj význam. Kotouč kotoučového kola může být vyroben jako výkovek, který je oproti odlitku kvalitnější a lehčí, to ovšem povede i k vyšší ceně. Problematickým prvkem může být lisovaný spoj mezi věncem a obručí v kombinaci se špalíkovou brzdou. Oteplením při intenzivním brzdění může dojít ke ztrátě předpětí a k pootočení obruče. Lisovaný spoj má svá úskalí také z hlediska opotřebení. Obručová kola se používají zejména u lokomotiv určených pro střední a nižší rychlosti.

#### Celistvá

Nebo také monobloková, jsou používána pro vyšší rychlosti. Jelikož postrádají jakékoliv spoje, jsou velmi spolehlivá. Umožňují snadnější uchycení pohonu dvojkolí a kotoučových brzd, nikoliv však obojího na jednom kole zároveň. Používají se především na hnacích dvojkolích, neboť se zde předpokládá nižší podíl využití kotoučových nebo špalíkových brzd v rámci brzdícího výkonu. Většina brzdící síly je zajištěna brzděním pomocí elektromotorů. [28] [29]

#### Složená

Neboli odpružená, jsou používány zejména u vozidel MHD, tedy u vozidel určených pro malé rychlosti. [28] Jsou odpružená pomocí pryžových segmentů umístěných mezi věncem a obručí a zajišťují znatelně vyšší komfort jízdy a snížení hluku. Nevýhodou jsou větší jízdní odpory a vlastnosti pryže jako je tečení projevující se po dlouhodobém zatěžování, citlivost na teplo nebo nízká pevnost. [29]

### 4.2.1 Výběr řešení

#### Varianta 1:

Tabulka 12 - Výběr dvojkolí – Varianta 1

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Varianty										
<b>Obručová litá</b>	9	3,114	7	2,156	5	0,770	6	1,152	7,192	1
<b>Obručová kovaná</b>	6	2,076	6	1,848	7	1,078	6	1,152	6,154	4
<b>Celistvé kolo</b>	4	1,384	8	2,464	8	1,232	9	1,728	6,808	2
<b>Složené kolo</b>	7	2,422	5	1,540	9	1,386	7	1,344	6,692	3
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,346		0,308		0,154		0,192			

Pro tuto variantu byla vybrána litá obručová kola viz **tabulka 12**. Jelikož předpokládáme velmi malé rychlosti (do 18 km/h) volíme jednoduchou a levnou konstrukci i přes její nedostatky, které se v takové rychlosti neprojeví. Také díky tomu, že jsou všechna dvojkolí hnací uvažujeme o to menší využití případné špalíkové brzdy, a tedy menší zatížení kola na oteplení.

#### Varianta 2:

Tabulka 13 - Výběr dvojkolí – Varianta 2

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Varianty										
<b>Obručová litá</b>	9	1,503	7	0,875	5	1,875	6	1,998	6,251	4
<b>Obručová kovaná</b>	6	1,002	6	0,750	7	2,625	6	1,998	6,375	3
<b>Celistvé kolo</b>	4	0,668	8	1,000	8	3,000	9	2,997	7,665	1
<b>Složené kolo</b>	7	1,169	5	0,625	9	3,375	7	2,331	7,500	2
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,167		0,125		0,375		0,333			

Pro tuto variantu byla vybrána celistvá kola viz **tabulka 13**. Vzhledem k nejlepší životnosti a tím pádem dobrým provozním vlastnostem zapadá tato volba do celkové koncepce této varianty lokomotivy. Poskytují také větší variabilitu co se týče použitelných typů brzd a pohonu dvojkolí.

## 4.3 Pohon dvojkolí

Existují tři způsoby pohonu dvojkolí: Individuální, skupinový a ústřední.

### 4.3.1 Pohon individuální

V tomto nejrozšířenějším uspořádání pohonu je každé dvojkolí poháněno samostatně. Každý motor tedy může být regulován individuálně. Díky umístění pohonu přímo na dvojkolí ušetříme prostor a velkou výhodou je celková konstrukční jednoduchost koncepce.

#### 4.3.1.1 Pohon tlapovým motorem

##### Provedení s kluznými ložisky

Motor s nápravovou převodovkou jsou jako jeden celek tříbodově uloženy. Dvěma tlapovými ložisky ke dvojkolí a jednou pružnou vazbou k rámu podvozku. Používá se hlavně u nákladních a posunovacích lokomotiv. Výhodou tohoto druhu pohonu je jednoduchost a relativně dobře se vypořádává s relativními pohyby rámu. Nevýhodou však je, že nevypružená hmota pohonu působí přímo na dvojkolí a při jízdě ji tak nepříznivě dynamicky ovlivňuje.

##### Provedení s valivými ložisky

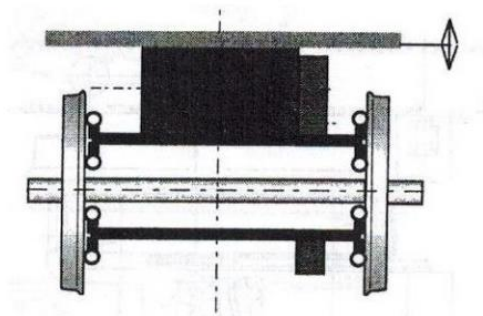
Od předchozího provedení se liší tím, že jsou kluzná ložiska nahrazena valivými. Výhodou je, že se valivá ložiska tolik neopotřebovávají, tudíž nejsou tak vysoké náklady na údržbu a opravu ložisek. V případě oprav ložisek je ale nutné provést rozlisování dvojkolí. Další výhodou je přesnější uložení motoru vůči dvojkolí. Díky tomu je docíleno přesnějšího záběru ozubených kol převodovky a k jejich menšímu opotřebování.

##### Provedení s tangenciálním vypruženým věncem

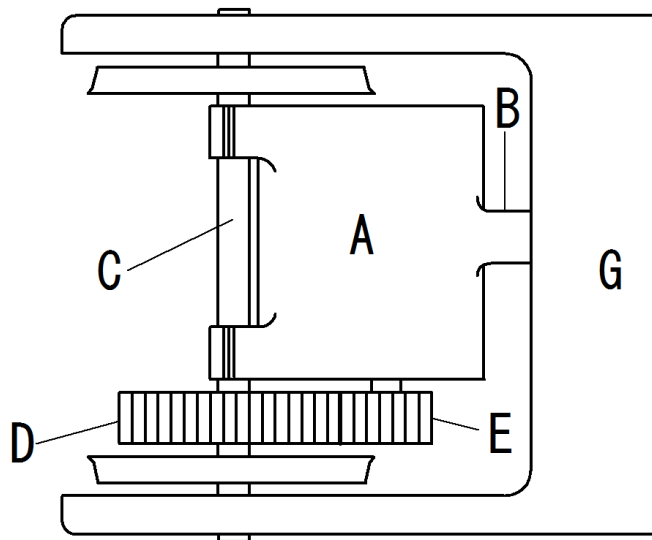
Odpružení motoru vůči dvojkolí je provedeno pomocí pružných segmentů tvořených pružinami a příčnými miskami. Ty jsou uloženy nejčastěji ve velkém ozubeném kole a vytváří tak tangenciálně vypružený věnc – pružný spoj. Nevýhodou je nutnost speciálního přípravku pro montáž a demontáž. Na místo tangenciálního věnce mohou být použity i jednoduché pružné spojky.

##### Provedení s odpruženým dutým věncem

Tlapy elektromotoru jsou připevněny k dutému hřídeli objímajícího nápravu. Ten je připojen přímo ke kolům pomocí pružných pryžových prvků. Motor je připevněn pouze k hřídeli, nikoliv k rámu vozidla. [28]



Obrázek 10 - Dutý hřídel objímající nápravu [28]



Obrázek 11 - Tlapový motor [31]

#### 4.3.1.2 Pohon dutým hřídelem objímajícím nápravu

V tomto provedení je motor s převodovkou připevněn pevně k rámu a je s dvojkolím spojen dutým hřídelem. Ten je od dvojkolí odpružen. Dvojkolí je odpoutáno od motoru a převodovky a není tudíž zatíženo jejich hmotou. Nepůsobí na něj tedy přídavné ohybové momenty. Je zde ale nutnost dalšího členu vloženého nějakým způsobem mezi motor s převodovkou a dvojkolí, tedy z jedné nebo druhé strany dutého hřídele. Například:

- a) Ojničkovým mechanismem
- b) Pružinovým mechanismem

Z tohoto důvodu se jedná celkově o poměrně složité řešení, které je tím pádem náročné na výrobu i servis.

#### 4.3.1.3 Pohon kloubovým hřídelem

Motor je připevněn pevně k rámu a dvojkolí je odpruženo pomocí kloubového hřídele, který zároveň přenáší krouticí moment. Převodovka je umístěna buď mezi motorem a kloubovým hřídelem, nebo mezi hřídelem a dvojkolím. Jednotlivá konstrukční řešení se pak liší především umístěním kloubového hřídele:

- a) Hřídel uložen v dutině motoru
- b) Hřídel uložen vně rotoru
- c) Hřídel objímající nápravu
- d) Hřídel s podélnou osou rotace

Případ **d**) se používá pro vozidla slabších výkonů a menších rozměrů, jako např. tramvaje a malé příměstské jednotky. Motor, díky menší velikosti, může být v tomto případě uložen podélně a přenos momentu probíhá přes kuželovou nápravovou převodovku. Ta je odpružena od dvojkolí kloubovým hřídelem objímajícím nápravu. Úskalím tohoto řešení je právě nutnost použití kuželového převodu a zachycení reakčního momentu převodovky. V případě **c**) je také možné spojení dutého hřídele přímo s jedním z kol. To s sebou nese problém v podobě plného zatížení jednoho kola hnacím momentem.

### 4.3.2 Pohon skupinový

Velkou výhodou tohoto druhu pohonu je úspora jednoho motoru, tudíž i části hmotnosti. Musí být ale nahrazen systémem pro přenos momentu mezi nápravami, což vede k navýšení výrobní i opravárenské náročnosti a především k nemožnosti individuální regulace výkonu každého dvojkolí. Používá se zejména u vozidel s menšími výkony. Motor může být uložen příčně nebo podélně.

- Motor uložen příčně
- Motor uležen podélně mezi nápravami
- Motor uložen podélně mimo nápravy

### 4.3.3 Pohon ústřední

Všechna dvojkolí jsou vázána kloubovými hřídeli a nápravovými převodovkami a poháněna jedním motorem. Toto řešení se používá především u lokomotiv s diesel-hydraulickým přenosem výkonu. [28]

### 4.3.4 Výběr řešení

#### Varianta 1:

Tabulka 14 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 1

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Individuální	5	1,730	8	2,464	8	1,232	8	1,536	6,962	1
Skupinový	8	2,768	4	1,232	6	0,924	7	1,344	6,268	2
Váha důl. kritérií	0,346		0,308		0,154		0,192			

Tabulka 15 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 2

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Tlapovým motorem	8	2,768	9	2,772	6	0,924	8	1,536	8,000	1
Dutým hř. Objímajícím nápravu	5	1,730	3	0,924	8	1,232	7	1,344	5,230	3
Kloubovým hřídelem	6	2,076	5	1,540	7	1,078	6	1,152	5,846	2
Váha důl. kritérií	0,346		0,308		0,154		0,192			

Tabulka 16 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 3

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
S kluznými ložisky	6	2,076	8	2,464	6	0,924	7	1,344	6,808	2
S valivými ložisky	8	2,768	5	1,540	8	1,232	8	1,536	7,076	1
S tan. vypruž. věncem	4	1,384	6	1,848	8	1,232	6	1,152	5,616	4
S odpr. Dutým věncem	5	1,730	7	2,156	7	1,078	7	1,344	6,308	3
Váha důl. kritérií	0,346		0,308		0,154		0,192			

Pro tuto variantu byl vybrán individuální pohon s tlapovým motorem, který je k hřídeli dvojkolí připojen pomocí valivých ložisek viz **tabulka 14-16**. Bylo zvoleno technicky nejjednodušší řešení, které zároveň slibuje spolehlivost. V rámci odpružení pohonu bylo zvoleno řešení s lepší životností.

**Varianta 2:**

Tabulka 17 - Výběr pohonu – Varianta 2 – 1

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Individuální	5	0,835	8	1,000	8	3,000	8	2,664	7,499	1
Skupinový	8	1,336	4	0,500	6	2,250	7	2,331	6,417	2
Váha důl. kritérií	0,167		0,125		0,375		0,333			

Tabulka 18 - Výběr pohonu – Varianta 2 – 2

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Tlapovým motorem	8	1,336	9	1,125	6	2,250	7	2,331	7,042	2
Dutým hř. Objímajícím nápravu	5	0,835	4	0,500	9	3,375	8	2,664	7,374	1
Kloubovým hřídelem	6	1,002	5	0,625	8	3,000	6	1,998	6,625	3
Váha důl. kritérií	0,167		0,125		0,375		0,333			

Pro druhou variantu byl vybrán individuální pohon s motorem odpruženým pomocí dutého hřídele objímajícího nápravu viz **tabulka 17-18**. Dutý hřídel byl vybrán jako nejkvalitnější řešení, které lze použít v kombinaci s celistvými koly. Do dalšího návrhu se ale musí počítat s větší prostorovou náročností tohoto řešení.

#### 4.4 Odpružení a vedení dvojkolí

Kolejová vozidla využívají celkem dva stupně vypružení. První stupeň vypružení mezi dvojkolím a rámem podvozku a druhý mezi podvozkem a skříní vozidla. U důlních lokomotiv se používá pouze první stupeň vypružení, se kterým bezprostředně souvisí i vedení dvojkolí v rámu. Obecně platí, že pro vozidla, jako jsou důlní lokomotivy, se používá odpružení spíše měkčí, tedy s nižším poměrem podélné a příčné tuhosti vypružení, než je tomu u lokomotiv určených pro vysoké rychlosti a přímější tratě. Prvky vypružení a vedení dvojkolí vůči rámu lze sdružit do jednoho komplexního konstrukčního celku, který má za úkol především:

- Zajistit svislé a příčné vypružení dvojkolí
- Rovnoměrné rozložení tíhy na jednotlivá kola
- Snižování dynamických účinků mezi kolem a tratí
- Přenos sil mezi rámem a dvojkolím ve všech směrech

##### První stupeň vypružení a vedení dvojkolí

Vzhledem k menším celkovým rozměrům, hmotnosti, rozměrům kol a výrazně nižší provozní rychlosti nejsou na vypružení a vedení kladeny takové nároky jako u klasických lokomotiv. Je možno zahrnout do výčtu možných řešení i méně komplexní a únosné typy vedení a vypružení používaných např. i u osobních vozů nebo regionálních a příměstských jednotek. Níže popsaná řešení by se dala rozčlenit do třech typů: Vedení paralelně s odpružením např. pomocí čepů nebo trnů, kyvné vedení v kombinaci s pružinou, pryžové odpružení.

##### Rozsochové

Tento typ vedení se uplatňuje ve spojení nejčastěji se šroubovitými pružinami nebo listovými pružinami se závěsy. Jde o nejstarší používaný systém vedení. Jeho velkou nevýhodou je jeho třecí charakter, díky němuž má problémy s opotřebením, mazáním a nutným seřizováním vůlí. Lze použít pro nižší rychlosti.

##### Svislými trny

Vedení je zajištěno svislými trny uloženými v pryžových prstencích proložených třemi plechovými vrstvami s otvory. Prstenec zajišťuje vypružení podélných a příčných sil. Mezi trny a pryžovými prstenci jsou silonová pouzdra, obstarávající kromě vedení také svislé tlumení. Vlastní vypružení dvojkolí je provedeno pomocí vinutých pružin. Mezi trny a pouzdry vzniká značné tření, které způsobuje opotřebením a vznik vůlí.



### **Svislými čepy**

Podobným řešením je zavěšení svislými čepy. Toto řešení má však celkově složitější stavbu než varianta se svislými trny, nese s sebou však stejné nedostatky. Pryžové a silonové prstence funkčně nahrazuje alkamidové pouzdro a ocelové pouzdro. Kvalitativně lepším řešením bez problémů s nežádoucím třením je čep uložený v silentbloku s hydraulickým tlumičem a vlastním mazáním. Může však dojít k prolínání oleje z vedení. Bezúdržbovou variantou pak může být čepové vedení se samomazným pouzdrům.

### **Kyvným ramenem**

Kyvné rameno je čepovým spojením se silentblokem uloženo v rámu. Svislé odpružení zajišťují nejčastěji vinuté pružiny spojené s rámem na druhém konci kyvného ramena v kombinaci s tlumičem. Rameno s ložiskovou skříní dvojkolím tvoří jeden celek. Kyvný pohyb je přenášen pomocí válečkových nebo dvouřadých naklápacích ložisek. Jedná se celkem o jednoduché řešení. Výhodou je také absence třecích prvků a je tak nenáročná na údržbu. [30] [28]

### **Ojnicí a flexi-coil pružinou**

Toto prostorově nenáročná řešení se skládá ze tří prvků. Ojnice s pryžovými pouzdry orientované podélně, která spojuje rám s ložiskovým domkem a zajišťuje vedení; mírně nakloněné pružiny typu flexi-coil; tlumiče. Pouzdra ojnice mohou být orientována příčně, po, svisle nebo mohou být jejich osy navzájem kolmé. Velká výhoda pružin typu flexi-coil tkví v možnosti přenášení kromě svislého zatížení také značné příčné zatížení. To zvládají bez přítomnosti třecích prvků a celková konstrukce se tak velmi zjednodušuje a není náročná na údržbu. Výhodou je také stálá tuhost a delší životnost např. oproti pryžovým prvkům. [30] [32]

### **Pryžovými prvky**

Výhodou je jednoduchá konstrukce nenáročná na údržbu, která navíc spojuje vedení a vypružení v jeden celek. Pryž však stárne a v průběhu času se značně zhoršují pružné vlastnosti bloků. Ty mohou mít tvar buď šikmý nebo šípový a jsou na sebe kladeny v několika vrstvách. Další možností jsou pryžové prstence obepínající válcové tvarové trny. Prstence jsou trny stlačovány a zároveň se po nich odvalují. Toto konkrétní řešení má výhodu ve vysokém zdvihu. [30]

#### 4.4.1 Výběr řešení

Zde je v rámci kritéria technické jednoduchosti zařazena také kompaktnost řešení.

##### Varianta 1:

Tabulka 19 - Výběr vypružení – Varianta 1

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Rozsochové	8	2,768	4	1,232	4	0,616	3	0,576	5,192	6
Svislými trny	5	1,730	7	2,156	6	0,924	7	1,344	6,154	4
Svislými čepy	4	1,384	6	1,848	8	1,232	7	1,344	5,808	5
Kyvným ramenem	9	3,114	8	2,464	7	1,078	8	1,536	8,192	2
Ojnicí a flexi-coil pružinou	8	2,768	8	2,464	9	1,386	8	1,536	8,462	1
Pryžovými prvky	6	2,076	8	2,464	6	0,924	6	1,152	6,616	3
Váha důl. kritérií	0,346		0,308		0,154		0,192			

##### Varianta 2:

Tabulka 20 - Výběr vypružení – Varianta 2

Kritéria	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
Rozsochové	8	1,336	4	0,500	4	1,500	3	0,999	4,335	6
Svislými trny	5	0,835	7	0,875	6	2,250	7	2,331	6,291	4
Svislými čepy	4	0,668	6	0,750	8	3,000	7	2,331	6,749	3
Kyvným ramenem	9	1,503	8	1,000	7	2,625	8	2,664	7,792	2
Ojnicí a flexi-coil pružinou	8	1,336	9	1,125	9	3,375	8	2,664	8,500	1
Pryžovými prvky	6	1,002	8	1,000	6	2,250	6	1,998	6,250	5
Váha důl. kritérií	0,167		0,125		0,375		0,333			

V tomto případě bylo pro obě varianty řešení vybráno vedení ojnicí a odpružení flexi-coil pružinou viz **tabulka 19-20**. Toto řešení se prokázalo jako ideální, neboť v sobě kombinuje jednoduchost konstrukce, dobré provozní vlastnosti a trvanlivost. Předpokládáme, že snadno obstojí i v náročných důlních podmínkách navzdory tomu, že se jedná v rámci důlních lokomotiv o netradiční řešení.

## 4.5 Baterie

### 4.5.1 Olověné

Olověné baterie (angl. Lead-acid batteries) jsou nejstarším a dodnes hojně využívaným typem baterií se širokým spektrem využití (trakční, nabíjecí, záložní). Zároveň jsou jediným druhem baterií, které dosahují na certifikaci normy ATEX umožňující použití v důlním prostředí s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a prachů. Spadají tedy do Skupiny I M2.

Baterie je složena z několika článků, skládajících se ze dvou elektrod na bázi olova ponořených do roztoku kyseliny sírové a vody, který tvoří elektrolyt. Přenos elektrické energie probíhá elektrochemickou reakcí.

Jejich výhodou je poměrně nízká cena, vysoká spolehlivost a schopnost produkovat vysoké rázové proudy, což má své využití při startování vozidel. Také jsou téměř bezúdržbové. Mezi hlavní nevýhody patří poměrně nízká energetická hustota a také skutečnost, že úplné vybíjení baterie nebo skladování v nenabitěm stavu může způsobit nežádoucí chemické reakce v baterii a razantně tak snížit její životnost. Ta se odvíjí také od tloušťky kladných elektrod, které mají např. v bateriích určených pro vysokozdvizné vozíky až šestkrát větší tloušťku než u startovacích baterií automobilů. [33] [34] [35]

### 4.5.2 Lithium-iontové baterie

Alternativou k olověným bateriím by mohly být Lithium-iontové baterie. Ty však nespadají ani ve své nejbezpečnější podobě do skupiny I, nýbrž je do skupiny II dané normou ATEX viz **kapitola 2.1.2**. Nemohou tak být použity v dolech s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a prachů. Důkazem je vysokozdvizný vozík od firmy Miretti prezentovaný od listopadu roku 2017 jako první vysokozdvizný vozík splňující normu ATEX. Z **obrázku 12** je patrné, že jeho certifikace dosahuje skupiny II. [36]



Obrázek 12 - Vysokozdvizný vozík Miretti [36]

### 4.5.3 Výběr řešení

Jak z výše uvedeného vyplývá, nelze vybrat jiný typ baterie než olověnou baterii.

## 4.6 Motory

Motor je jednou z nejvíce rizikových součástí, co se týče provozu v prostředí s nebezpečím výbuchu. Proto je kladen velký důraz na ochranné prvky, které mají zamezit průniku tepla z motoru při jeho přehřátí a zároveň vniknutí výbušných plynů a prachů do prostoru motoru.

Nabídka elektromotorů vhodných do důlního prostředí s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a prachů je omezena pouze na třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko. Jiné druhy motorů nesplňují požadavky Skupiny I kategorie M2. Následující parametry pak ovlivňují výběr konkrétního modelu.

### Otáčky

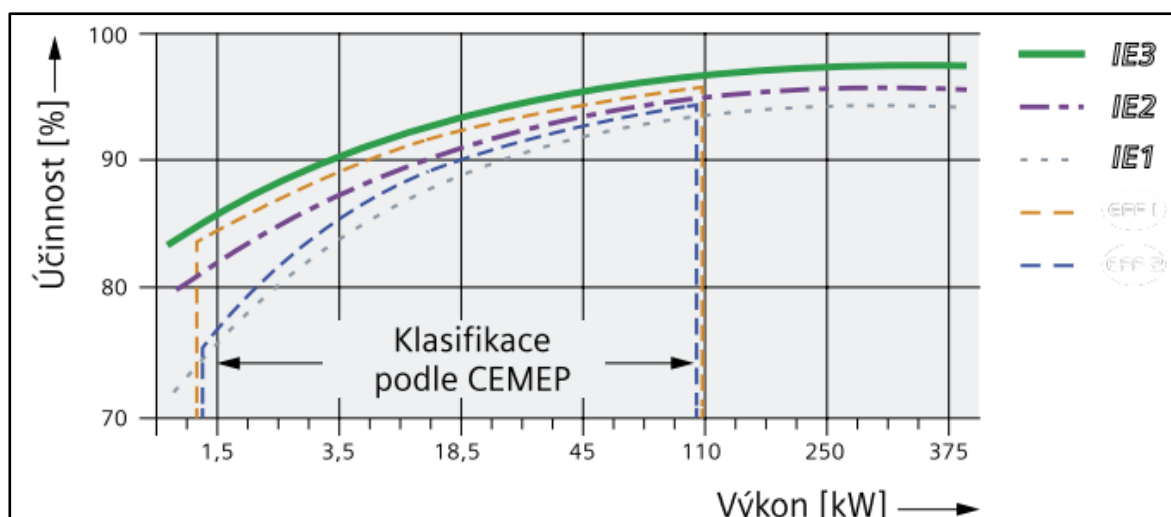
Otáčky třífázového asynchronního motoru jsou závislé na skluzu, počtu pólů, výkonu a účinnosti motoru. Počet pólů je ovlivňuje nejvýrazněji. Na otáčkách závisí míra chlazení motoru vlastním ventilátorem. Při nízkých otáčkách může být nedostatečné a motor se tak může přehřívat. V tom případě musí být připojeno vnější nezávislé chlazení. Případné použití přídavného chlazení závisí na spektru provozních otáček motoru. [37]

### Výkon

Požadovaný výkon motoru je přímo odvozen od počtu motorů vycházejícího ze zvolené koncepce a z požadované tažné síly lokomotivy, resp. požadovaného kroutícího momentu na kolech lokomotivy. Je nutné vzít v úvahu, že provozní teplota elektromotorů je max. 40 °C a při vyšších teplotách by mohlo dojít k přehřátí vinutí motoru, a to může ohrozit bezpečnost provozu. Proto při zvýšených teplotách nelze využít celý jmenovitý výkon motoru. Procentuální hodnoty snížení výkonu ukazuje **tabulka 21**. [37] [4]

Tabulka 21 - Závislost výkonu motoru na okolní teplotě [4]

Teplota vzduchu [°C]	45	50	55	60
Přípustné % z jmenovitého výkonu	95	90	85	80



Obrázek 13 - Třídy účinnosti [37]

## Účinnost

Účinnost motoru stoupá s jeho výkonem, ale zároveň s účinností výrazně stoupá cena motoru. Motory jsou dle účinnosti rozděleny do několika tříd viz. **obrázek 13**. Cílem je zvolit motor s co nejvyšší účinností, ale ne s příliš vysokou cenou. [37]

## Třída bezpečnosti

Je třeba, aby motor spadl do skupiny nevýbušných zařízení I (certifikované pro použití v dolech), která je popsána v **kapitole 2.1.2**. Z dostupných motorů do výbušného prostředí nejsou na trhu dostupné motory splňující podmínky kategorie M1. Dostupné motory splňují kategorii M2, mají zajištěný vysoký stupeň ochrany, ale při vzniku výbušné atmosféry se vypínají. Nejvyšší stupeň ochrany mají motory s pevným závěrem (označení „d“). Konstrukčně jsou řešeny například tak, že mají litinový ventilátor a žádný z vnějších dílů není vyroben z hliníku. Také bývá připojena tepelná ochrana v podobě termistorů. Při přehřátí motoru je odstaven od napájení. [4]

## Pracovní prostředí

Pracovní prostředí, ve kterém bude motor lokomotivy pracovat je podrobněji popsáno v **kapitole 1.1.1**. Motory určené do prostředí s nebezpečím výbuchu jsou určeny pro provoz v následujících podmínkách:

- Teplota okolního vzduchu -20 až +60 °C (provozní teplota motorů max. +40 °C)
- Tlak 80 až 110 kPa (0,8 až 1,1 bar)
- Obsah kyslíku ve vzduchu 21 %

## Napětí

Motory se mohou dodávat v rozmezí napětí od 120 V do 690 V. Mívají různé hodnoty jmenovitého napětí, což závisí na zapojení měniče napětí k motoru. To je Buď do Y nebo do Δ. Přípustnou odchylkou od napětí zdroje je 10 %. [37] [4]

## Kmitočet

Nejčastější provedení motorů je pro 50 Hz nebo 60 Hz. [4]

### 4.6.1 Výběr řešení

Pro obě varianty řešení budou vybrány třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko od jednoho z následujících výrobců. **Tabulka 22** uvádí některé parametry charakterizující nabídku elektromotorů.

Tabulka 22 - Nabídka elektromotorů [4] [39] [40]

Výrobce	Siemens	Bartec – Varnost	Brook Crompton
Frekvence [Hz]	50/60	50/60	50/60
Jmenovité napětí [V]	380/400/-	-/400/-	380/400/415
Rozměry	Nejmenší	Střední	Největší
Druh ochrany	d	d	d
Stupeň krytí	IP 55	IP 55/ max IP 65	IP 55/ max IP 65
Teplotní třída	T4	-	T4

## 4.7 Brzdny systém

Lokomotivy musí být vybaveny provozními, nouzovými a parkovacími brzdami v souladu s legislativou. Pro lokomotivy s celooceľovými koly je dáno, že brzdna síla musí být 14 % až 18 % hmotnosti lokomotivy a musí být umožněno nastavení brzdne síly. Je nutno dodat, že se počítá pouze s brzděním lokomotivy, na rozdíl od běžných velkých vlakových souprav, kde je nutné použít průběžnou brzdu pro současné brzdění všech tažených vozů současně. Důlní vozíky nejsou brzdny systémem vybaveny. [27] [28]

### 4.7.1 Provozní brzda

Pro důlní lokomotivu bude vhodné použití kombinace mechanické brzdy a brzdění motorem. Neadhezivní brzdy, jako elektromagnetické kolejové brzdy používané např. u tramvají nelze považovat za vhodné řešení, neboť v důlních podmínkách předpokládáme spíše špatný stav tratě.

#### 4.7.1.1 Adhezní brzda

Pro tuto část provozní brzdy lze použít dva druhy brzd. Jsou to brzdy špalíkové nebo a kotoučové. Tento druh brzdy má svou mechanickou a pneumatickou či hydraulickou část. Čistě mechanicky by nemohla být vyvinuta dostatečná brzdna síla. Součástí brzdového systému je tedy i kompresor, brzdový válec a rozvodné ústrojí. [41]



Obrázek 14 - Špalíková brzda [41]

### Špalíková

Její druhy se liší materiálem špalíků. Velmi často používané jsou špalíky litinové. Mají sice horší vlastnosti, co se týče odvodu tepla a životnosti, ale tato negativa ztrácí na váze, pokud uvažujeme jejich provoz pro velmi malé rychlosti vozidla (do 20 km/h). Výhodou je naopak jejich přímý kontakt s obručí kol, který zajišťuje očišťování jejich povrchu a je tím také zlepšován součinitel adheze. Pokud je materiál těchto špalíků obohacen fosforem, mají pak výrazně vyšší životnost i lepší provozní vlastnosti.

Špalíky vyrobené z nekovových materiálů na bázi např. grafitu nebo různých pryskyřic jsou lehčí, zachovávají si velký součinitel tření a mají delší životnost než špalíky litinové. Mají ale i své nevýhody. Může dojít k oleštění funkčního povrchu kol a ke snížení součinitele adheze.

## Kotoučová

Kotoučové brzdy lze rozdělit podle umístění kotouče. Vzhledem k vybraným variantám pohonu dvojkolí jsou na výběr tyto možnosti: Kotouč umístěný na nápravě, na dutém hřídeli, k rotoru trakčního motoru nebo na kolech. Konkrétní umístění kotoučů není omezeno pouze koncepcí pohonu, ale především prostorem. Používají se obecně pro vozidla vysokých rychlostí, disponují tedy lepšími brzdnými vlastnostmi při dostatečném chlazení, které zajišťují žebra. Jsou vyrobeny nejčastěji z litiny. Negativní vlastností je nemožnost očišťovat při provozu funkční plochu kola, jak je tomu u špalíkových brzd, a snižuje se tak součinitel adheze. [28]



Obrázek 15 - Kotoučová brzda [41]

### 4.7.1.2 Brzdění motorem

Pro potřeby méně intenzivního brzdění lze využít brzdné síly motoru. Toho, aby motor dokázal vyvinout dostatečný brzdný moment, můžeme docílit dvěma způsoby. Brzděním protiproudem nebo tzv. elektrodynamickou brzdou. Případné třetí řešení – brzdění stejnosměrným napětím – nelze použít, neboť použité frekvenční měniče regulují frekvenci otáčení magnetického pole střídavým napětím. Při brzdění protiproudem dochází ke značnému zahřívání motoru a je tak nutné motor silně chladit. Toto řešení se tedy vzhledem k pracovnímu prostředí jeví jako nevhodné. Naopak použití elektrodynamické brzdy skýtá řadu výhod. Pokud otáčky rotoru převyšují synchronní otáčky, motor začne pracovat v režimu generátoru. Motor vyrábí elektrickou energii, kterou může vrátit zpět do zdroje. Mluvíme o tzv. rekuperaci, hojně využívané v elektrických dopravních prostředcích. Narozdíl od prvního řešení je energie odvedena pryč z motoru a ten se tak nepřehřívá. Získanou energii lze vrátit zpět do akumulátorů a při ideálním využívání brzdného potenciálu motoru lze zajistit velmi hospodárny provoz lokomotivy. Pokud ale během brzdění dosáhneme plné kapacity akumulátorů, je nutné tuto energii odklonit jinam, jinak by se mohlo dojít k poškození baterií. Odklonit ji lze do dalšího záložního zdroje energie, nebo zmařit v odporu. Při takovémto maření energie se použité rezistory zahřívají výrazně nad povolenou teplotu povrchů zařízení v důlním prostředí, která činí 150 °C viz. **kapitola 2.1.2**. energii lze přeměrovat například i do tzv. superkapacitorů, což by bylo vhodné řešení pouze v případě, že by jízdní režim lokomotivy zahrnoval časté rozjíždění a brzdění, jako je tomu například u provozu tramvají mezi jednotlivými zastávkami. [42] [43]



#### 4.7.2 Parkovací brzda

Uvádí se do provozu, pokud se lokomotiva nepohybuje. Slouží k zamezení samovolného rozjetí lokomotivy za předpokladu nejhorších podmínek (největšího spádu, nejnižší adheze, plného zatížení). Může být čistě mechanická neboli ruční, která pomocí vratidel zajistí alespoň jedno dvojkolí proti pohybu. Dále může být parkovací brzda pneumatická, což vyžaduje složitější konstrukci a napojení na pneumatický systém provozní brzdy. Pokud nebyla parkovací brzda uvedena do činnosti ručně obsluhou, musí dojít k zabrzdění automaticky. [27] [28]

#### 4.7.3 Výběr řešení

Výběr a následný návrh se v této kapitole omezuje pouze na adhezni část provozní brzdy. Zároveň u obou variant řešení počítáme s brzdou elektrodynamickou s možností rekuperace z důvodů popsaných výše. Konkrétní řešení využití zpětně získané elektrické energie popisuje **kapitola 5.2.8**. Ostatní, ač nezbytné, prvky brzdového systému, jako je parkovací, či nouzová brzda tato práce neřeší.

##### Varianta 1:

Tabulka 23 - Výběr brzdy – Varianta 1

Kritéria Varianty	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
	Špalíková	7	2,422	7	2,156	7	1,078	6		
Kotoučová	6	2,076	5	1,540	7	1,078	8	1,536	6,230	2
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,346		0,308		0,154		0,192			

Pro první variantu řešení byla vybrána brzda špalíková viz **tabulka 23**. Jde o celkově jednodušší a prostorově úspornější řešení. Velkou výhodou je zlepšování součinitele adheze. Má sice horší brzděné vlastnosti než brzda kotoučová, to však u velmi malých rychlostí nehraje velkou roli.

##### Varianta 2:

Tabulka 24 - Výběr brzdy – Varianta 2

Kritéria Varianty	Cena		Technická jednoduchost		Provozní vlastnosti		Bezpečnost		$\Sigma$	Pořadí
	Špalíková	7	1,169	7	0,875	7	2,625	6		
Kotoučová	6	1,002	5	0,625	7	2,625	8	2,664	6,916	1
<b>Váha důl. kritérií</b>	0,167		0,125		0,375		0,333			

Zde bylo vybráno řešení s kotoučovou brzdou viz **tabulka 24**. Vzhledem k předchozímu výběru konstrukčních řešení předpokládáme větší celkové rozměry lokomotivy, a tudíž uvažujeme dostatek prostoru i pro kotoučové brzdy, které mají lepší brzděný účinek. Jsou vhodné ke kombinaci s dříve vybranými prvky jako jsou celistvá kola a hřídel objímající nápravu.



## 4.8 Shrnutí vybraných řešení

**Tabulka 25** přehledně ukazuje shrnutí vybraných řešení jednotlivých konstrukčních prvků pro každou z variant.

Tabulka 25 - shrnutí vybraných řešení

	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>
<b>Kabina řidiče</b>	Na jednom konci a vyčnívající	Na obou koncích
<b>Dvojkolí</b>	Obručové lité kolo	Celistvé kolo
<b>Pohon dvojkolí</b>	Individuální	
	Tlapovým motorem	Dutým hřídelem objímajícím nápravu
	S valivými ložisky	
<b>Odpružení a vedení dvojkolí</b>	Ojnicí a flexi-coil pružinou	
<b>Baterie</b>	Olověné	
<b>Motor</b>	Třífázový asynchronní	
<b>Měnič</b>	Frekvenční měnič	
<b>Brzdný systém</b>	Špalíková brzda	Kotoučová brzda

## 5 Konstrukční návrh

Ke zpracování byla vybrána **varianta 1**. V této kapitole je popsáno její hrubé konstrukční řešení a detailnější návrh vybrané součásti.

### 5.1 Konstrukční návrh vybrané součásti

K detailnějšímu zpracování byla vybrána akumulátorová skříň lokomotivy.

#### 5.1.1 Stanovení rozměrů

Rozměry skříně vycházejí z použitých akumulátorů. Vybrány jsou akumulátory řady *Perfect Plus ATEX* od firmy *Hawker*, která garantuje stejné vlastnosti baterií jako u řady *Perfect Plus* pro běžné aplikace v nevýbušných prostředích. Jejich počet je závislý na požadované kapacitě a proudu odebíraným motorem. Vybraný motor při zapojení na 400 V odebírá jmenovitý proud 30 A. To znamená, že při použití dvou motorů potřebujeme více než 60 A, nejlépe s dostatečnou rezervou. Jako optimální hladina napětí bylo zvoleno 96 V. Napěťový rozdíl je vyrovnám pomocí frekvenčních měničů. V **tabulce 26** je uveden druh a parametry použité baterie. [35]

Tabulka 26 - Parametry baterie [44]

Druh baterie	Uspořádání článků	Počet článků	Kapacita [Ah]*	Napětí [V]	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]
Hawker-Perfect Plus	6 PzB 450	6	450	2	109	157,5	541	26,2
<i>*Kapacita za pětihodinový cyklus</i>								

Pokud zapojíme sériově 48 těchto baterií dostaneme se na požadovaných 96 V a kapacita zůstane na 450 Ah při pětihodinovém vybíjecím cyklu. To znamená 90 Ah, což vystačí přibližně na 7,5 hodiny provozu lokomotivy. Tím je podmínka větší kapacity než 60 Ah splněna. **Tabulka 27** shrnuje parametry bateriového bloku po sestavení.

Tabulka 27 - Parametry bloku baterií [44]

Počet baterií	Kapacita [Ah]*	Napětí [V]	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]
48	450	96	945	875	541	1257,6
<i>*Kapacita za pětihodinový cyklus</i>						

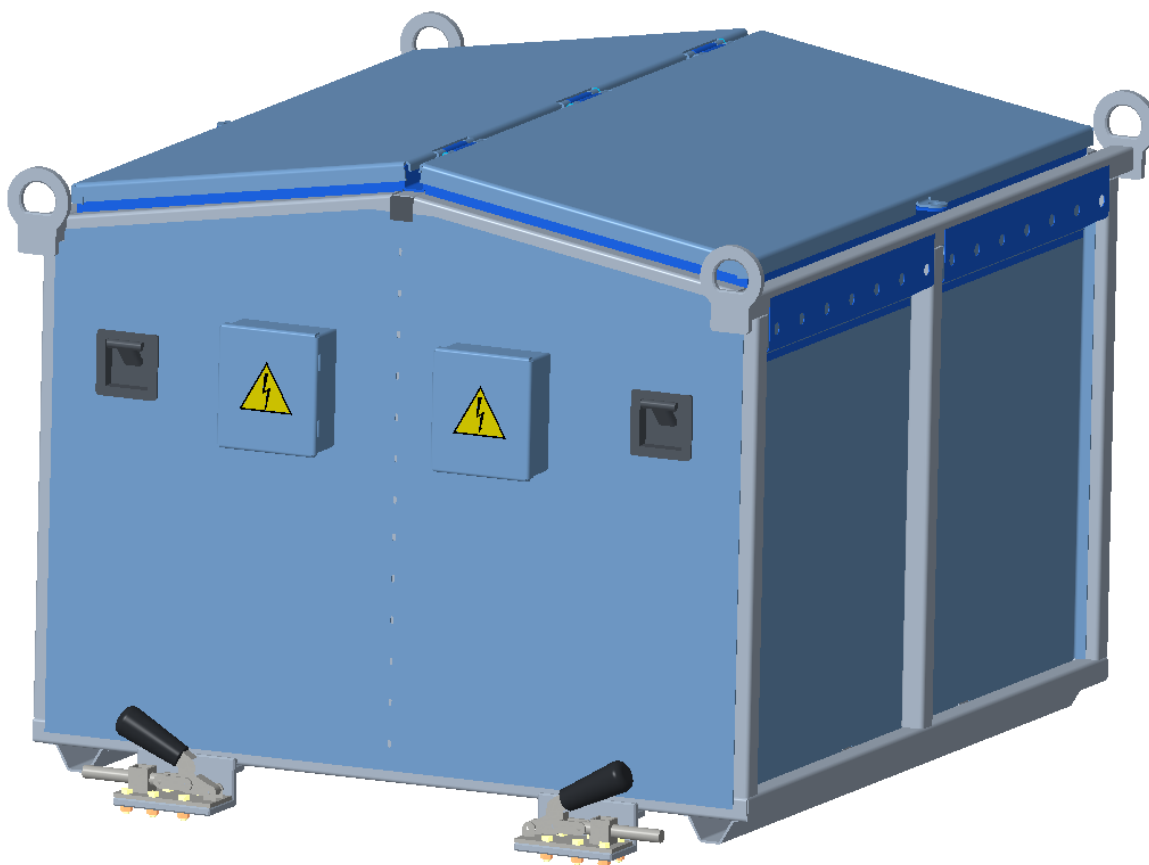
Vnitřní obrys skříně musí kopírovat šířku a délku bloku baterií, aby nemohlo dojít během provozu k jejich posunutí. Norma **ČSN 1889-2 A1** stanovuje, že nad živou částí baterií musí být volný prostor minimálně 30 mm. **Tabulka 28** popisuje celkové minimální vnitřní rozměry skříně baterií. [27]

Tabulka 28 - Minimální vnitřní rozměry bateriové skříňe

Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]
945	875	541

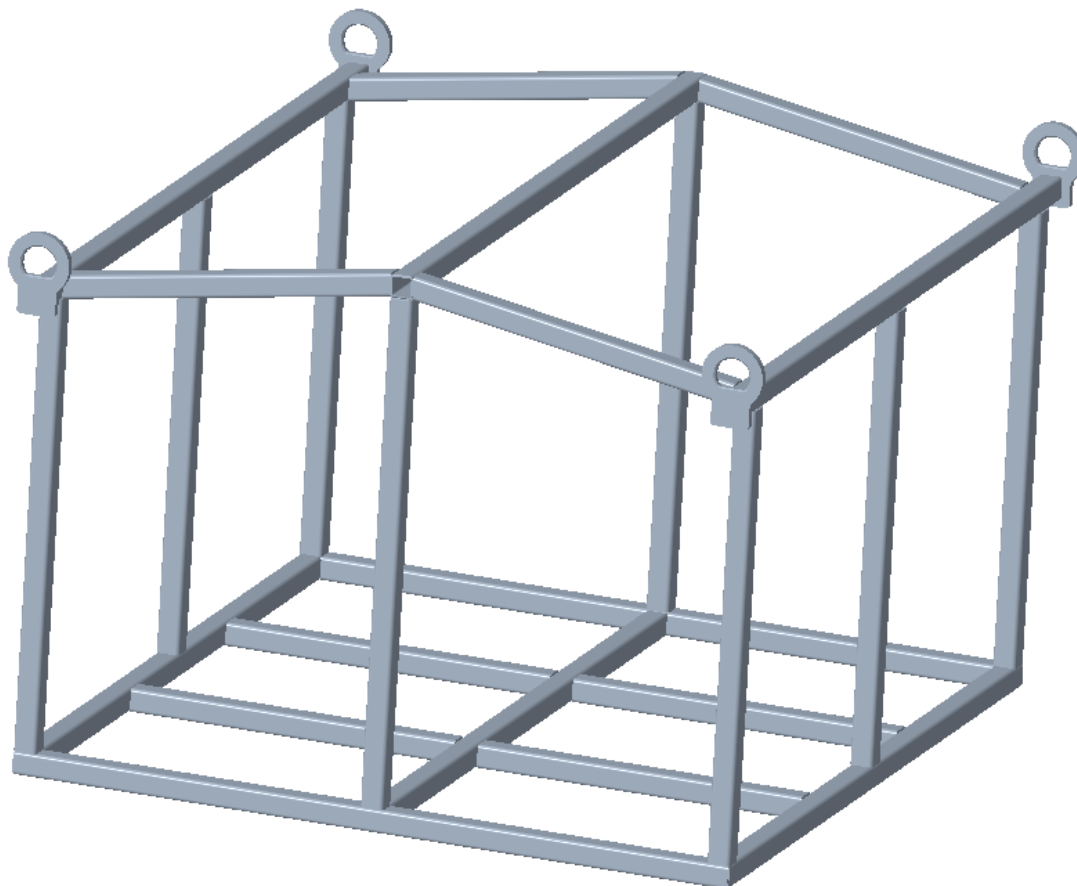
### 5.1.2 Popis konstrukce

Skříň baterií je řešena jako svařovaná konstrukce skládající se z kostry a opláštění. Tato koncepce byla zvolena z důvodu požadované pevnosti konstrukce vycházející z vysoké hmotnosti baterií a nutnosti celou skříň i s bateriemi vyzdvihovat z lokomotivy pro nabíjení.



Obrázek 16 - Skříň baterií 1

Kostra je řešena jako svařovaná konstrukce z profilů 30x30 mm a s tloušťkou stěny 3 mm. Všude, kde je třeba, jsou sraženy hrany, aby bylo možné dané místo ovařit. V **tabulce 29** je uveden název, norma a parametry použitého materiálu. Pro získání většího prostoru nad bateriemi a pro snazší manipulaci s víky skříňe je horní část mírně zkosená. Horní podélné profily jsou mírně prodlouženy dopředu i dozadu a na jejich konci jsou přivařena závěsná oka. Díky tomuto řešení lze pro vyzdvížení skříňe čtyřbodově zavěsit na háky nebo případně opásat za vyčnívající části profilů. Závěsná oka mohou sloužit i jako jištění pro vyklouznutí opásání.



Obrázek 17 - Skříň – kostra

Opláštění se skládá z ohýbaných plechů převážně tloušťky 3 mm. Pro všechny plechové součásti byl zvolen stejný materiál jako pro kostru. Boky jsou jednovrstvé a v horní části v prostoru nad bateriemi opatřené dírami pro nutné odvětrávání skříně. Pokud by nebyla skříň odvětrávaná, hrozilo by zvyšování koncentrace nebezpečných výparů z baterií uvnitř skříně. Druhou částí odvětrávacího systému jsou na bok připojené větrací lišty, které jsou opatřeny stejným typem děr jako boční plechy, jen posunutými o polovinu rozteče děr. Tím je zabráněno vnikání většího množství uhlénoho prachu, který tak nemůže uvnitř tvořit vrstvy. Čela skříně jsou dvouvrstvé s mezerou 30 mm. Zadní část je řešena tak, že ve výšce nad bateriemi jsou u vnitřního plechu velké podélné díry, které slouží pro protažení kabelů až k vnějším skříňkám, v nichž jsou umístěny svorkovnice. Jedna slouží jako vstup, druhá jako výstup. Vývody na kabely jsou v jejich dolní části. Dále jsou na zadním čelu umístěny vypínače pro rychlé odpojení baterií. Pro snazší přístupnost je jeden z každé strany. Na čelech se přivařují nejprve vnitřní plechy, poté vnější. Aby mohly být vnější plechy přivařeny ke středovému profilu, je zde plech připraven k použití děrových svarů. V horní části U-profil s pásky tvoří lemy, na něž pasuje gumové těsnění. Přes ně jsou překlopeny víka uložená na pantech. Víka jsou zamykatelná jednoduchým zámkem. Poslední část opláštění tvoří jednovrstvá podlaha, vyztužená zespodu pomocí jednoduchých podpěr z ohýbaných plechů.

Vespod skříně jsou po délce přivařeny ližiny, které slouží k ustavení skříně na lokomotivě a k zamezení příčného pohybu. K zamezení podélného a svislého pohybu skříně vůči lokomotivě slouží čtyři vespod umístěné upínky, které jsou přišroubované k navařeným patkám. Stejným způsobem je vybavena i skříň měničů. Celá skříň je natřena ohnivzdorným nátěrem a z vnitřku do výšky baterií vyložena materiálem odolným proti elektrolytu jako např. PVC nebo PPS (polyfenylsulfid). [1] [27]

Tabulka 29 - Parametry materiálu

Norma	Jakost	Pevnost [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Svařování	Tažnost	Korozní odolnost
EN 10088-2	DIN 1.4301 ČSN 17 240	540-750	230	dobré	vynikající	dobrá

## 5.2 Konstrukční návrh lokomotivy

### 5.2.1 Výpočet potřebné hmotnosti lokomotivy

Aby bylo dosaženo požadované tažné síly na spřáhle lokomotivy  $F_{sp}$ , musí být zajištěna dostatečná adheze mezi kolejnicí a koly. K tomu musí mít lokomotiva dostatečnou hmotnost  $m_L$ ,

$$m_L = \frac{G_L}{g}$$

Kde je  $G_L$  tíha lokomotivy a  $g = 9,81\text{m/s}^2$  je tíhové zrychlení.

Nejprve je nutné stanovit jízdní odpory lokomotivy. Měrný vozidlový odpor vlaku (tažených vagonů) je  $100\text{ N/t}$  nebo také  $100\text{ N/kN}$ , což je odvozeno ze zátěžového diagramu lokomotivy DH30. [47]

$$o_V = 0,01\text{ N/t}$$

Měrný odpor lokomotivy volíme jako dvakrát větší.

$$o_L = 0,02\text{ N/t}$$

Pro výpočet uvažujeme ideální podmínky, tedy žádné stoupání, ani odpor trati. Koeficienty  $b$  a  $c$ , vyjadřující právě odpory trati a stoupání, volíme nulové. Platí tedy

$$o_L = a + bV + cV^2$$

$$o_L = a = 0,02\text{ N/t}$$

$$O_L = G_L o_L = G_L \cdot 0,02\text{ [N]}$$

$$F_O = F_{sp} + O_L$$

$$F_O < F_a$$

Uvažujeme, že síla na kolech lokomotivy  $F_O$  dosahuje alespoň 98% adhezní síly, neboť chceme adhezní sílu  $F_a$  využít na maximum, nesmíme ji však překročit, jinak by došlo k prokluzu kol.

$$F_O = 0,98 \cdot F_a$$

$$F_a = \mu_a G_a \varepsilon$$

$$\varepsilon = (0,9; 0,93)$$

Uvažujeme spodní hranici součinitele využití adheze, protože předpokládáme spíše špatný stav tratě. Pro maximální rychlost  $18\text{ km/h}$  dostáváme

$$\mu_a = \left( \frac{7500}{V + 44} + 161 \right) 10^{-3} = \left( \frac{7500}{18 + 44} + 161 \right) 10^{-3} = 0,2819$$

Pokud jsou všechna dvojkolí hnací, tak platí:

$$G_a = G_L$$

$$G_a = \frac{0,98 \cdot F_a - F_{sp}}{o_L}$$

$$G_a = \frac{F_a}{\mu_a \varepsilon}$$

Položíme sobě rovny obě vyjádření  $G_a$  a vyjádříme  $F_a$

$$F_a = \frac{F_{sp}}{\frac{o_L}{\mu_a \varepsilon} - 0,98} = \frac{15}{\frac{0,02}{0,2819 \cdot 0,9} - 0,98} = 16,64 \text{ kN}$$

Dostáváme se zpět ke vztahu

$$G_a = \frac{F_a}{\mu_a \varepsilon} = \frac{16,64}{0,2819 \cdot 0,9} = 65,5867 \text{ kN}$$

$$m_L = \frac{G_L}{g} = 6,6857 \text{ t}$$

Známe tedy potřebnou hmotnost lokomotivy pro zadané  $F_{sp} = 15 \text{ kN}$ .

[48]

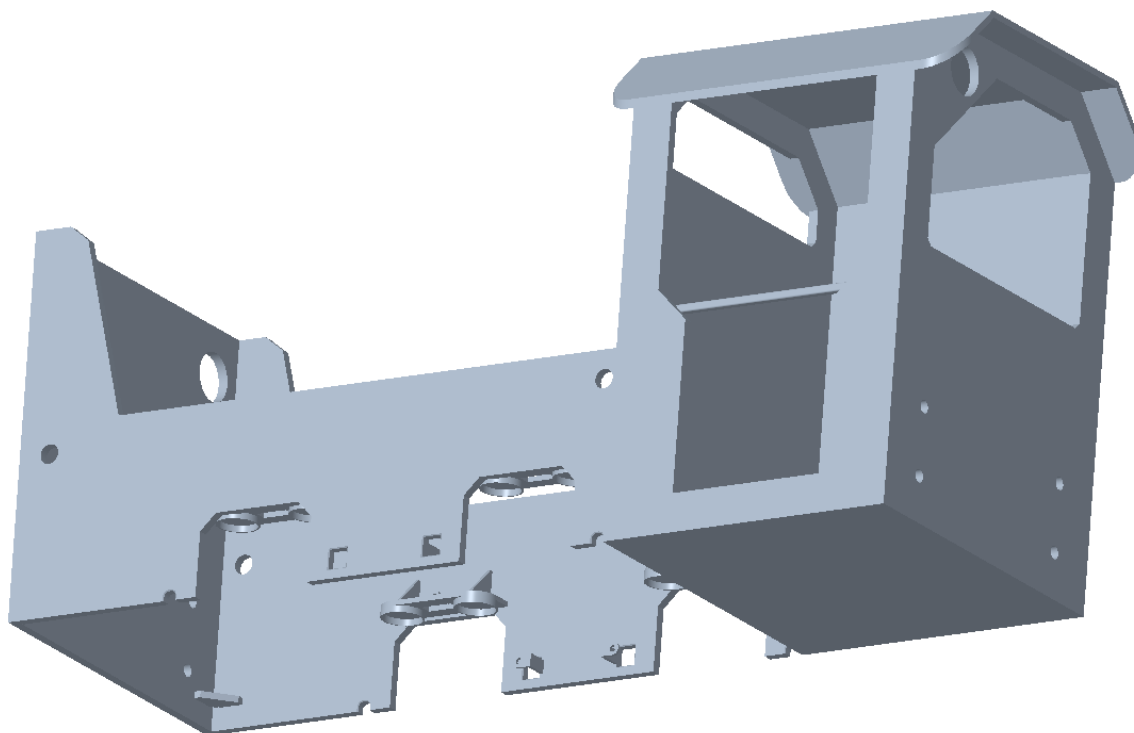
### 5.2.2 Rám lokomotivy

Jedná se o svařovanou konstrukci z velkých výpalků tloušťky 30 mm v rozích zesílené žebry. Zvýšený zadní štít slouží jako ochrana skříně měniče a zároveň k uchycení zadní svítilny v dostatečné výšce. Z boku jsou z kraje vyříznuty malé oblouky jako závěsné body, dále čtvercové průřezy pro snazší přístup k čepům ojnic odpružení a v horní části jsou otvory navazující na potrubí pro doplňování pískovacího zařízení.

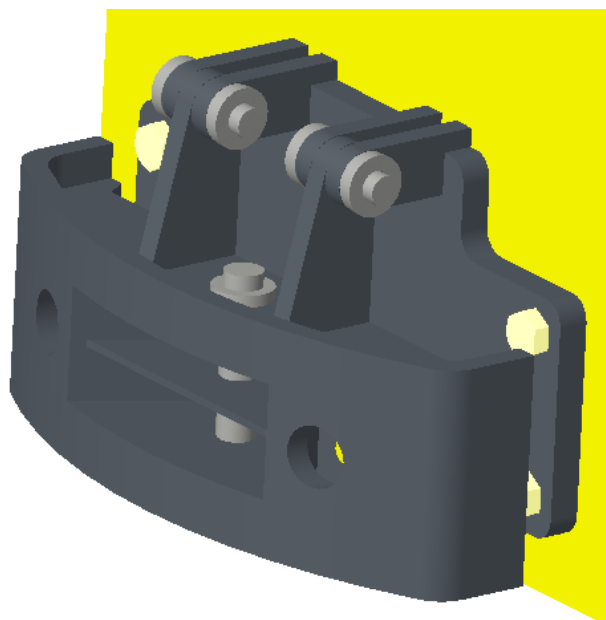
V tomto provedení je přímo k rámu navařena i kabina řidiče. Ta ale může být i odnímatelná. To lze řešit dostatečně pevným šroubovým spojením. V takovém případě by bylo nutné připojit potřebné pevnostní výpočty. Řešení by mělo velkou výhodu ve snazší přepravě dílů lokomotivy především do stísněných prostor dolu.

### 5.2.3 Spřáhla a nárazníky

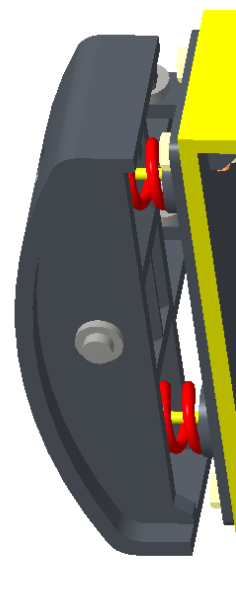
Nárazníky jsou zavěšeny na kyvných ramenech a odpruženy šroubovými pružinami s tlumiči. Ty slouží jen k tlumení nárazů. Ve směru tahu je zamezeno pohybu. Spřáhování je umožněno silným svislým čepem v ose lokomotivy, a to ve výškách 250 a 330 mm nad hlavou koleje. Stejnými hodnotami disponuje slovenská lokomotiva AE 25 od firmy *PHS Strojárne*. [17]



Obrázek 18 - Rám lokomotivy



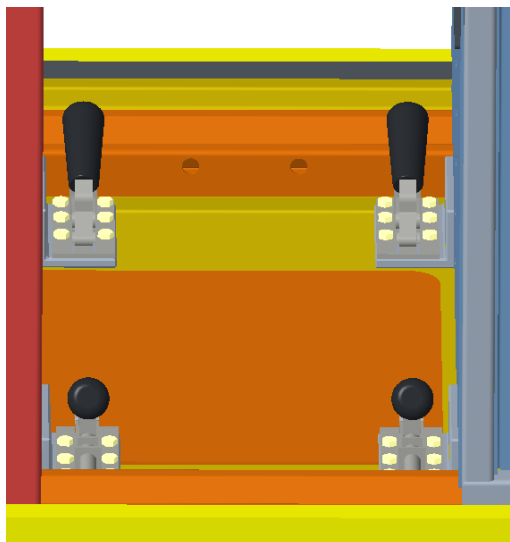
Obrázek 19 - Nárazník 1



Obrázek 20 - Nárazník 2

### 5.2.4 Uchycení skříní

Vrchní část lokomotivy je zakrytována pomocí plechů zabraňujících vnikání prachu z vrchu do prostoru motorů. Nachází se zde důležitý prvek v podobě dvou podélných žlábků z ohýbaného plechu, do kterého zapadají ližiny bateriové i měničové skříně. Do těchto profilů jsou po celé délce vyvrtány díry s roztečí 100 mm, které slouží pro uchycení skříní pomocí upínek. Skříněmi lze podélně posouvat a ustavovat je v různých pozicích. Zejména vhodné umístění velmi těžké bateriové skříně lze využít ke správnému vyvážení lokomotivy.



Obrázek 21 - Uchycení skříní k rámu

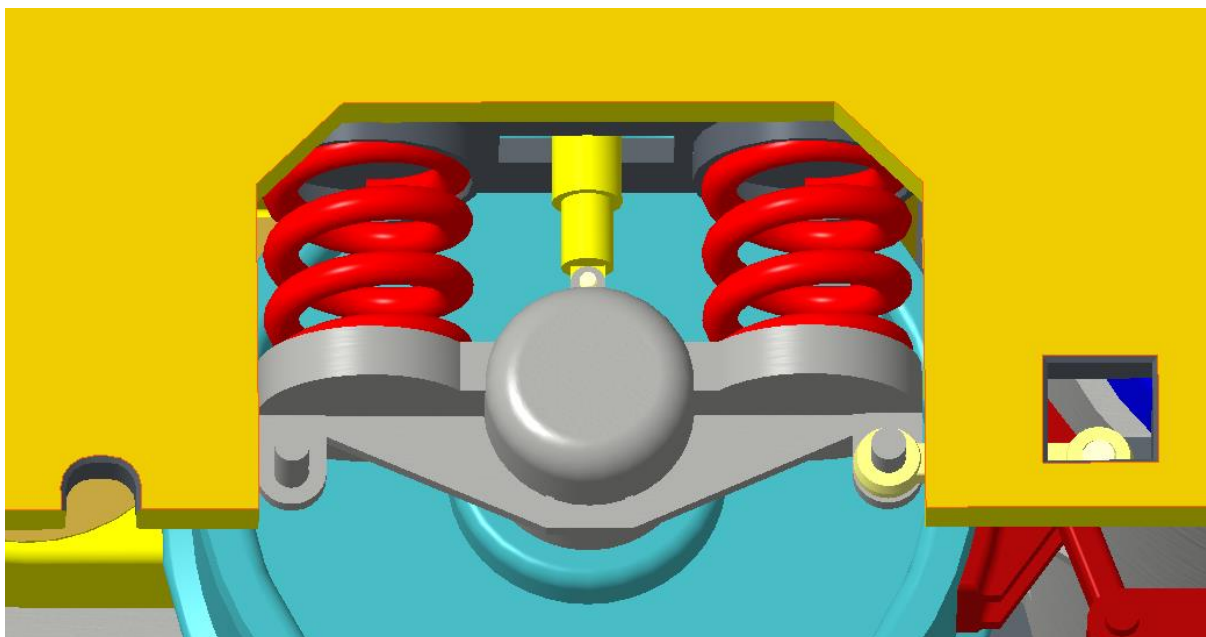
### 5.2.5 Odpružení

Odpružení obstarávají flexi-coil pružiny z každé strany ložiskových domků umístěných na koncích hřídelí. Ty jsou vyvedeny jako odlitky s miskami pro pružiny. V prostřední části je veden svislý tlumič pomocí čepů připojený z jedné strany k ložiskovému domku a z druhé strany k výpalku přivařeného z vnitřní strany k rámu. Vedení zajišťuje ojníčka s vodorovnými osami.

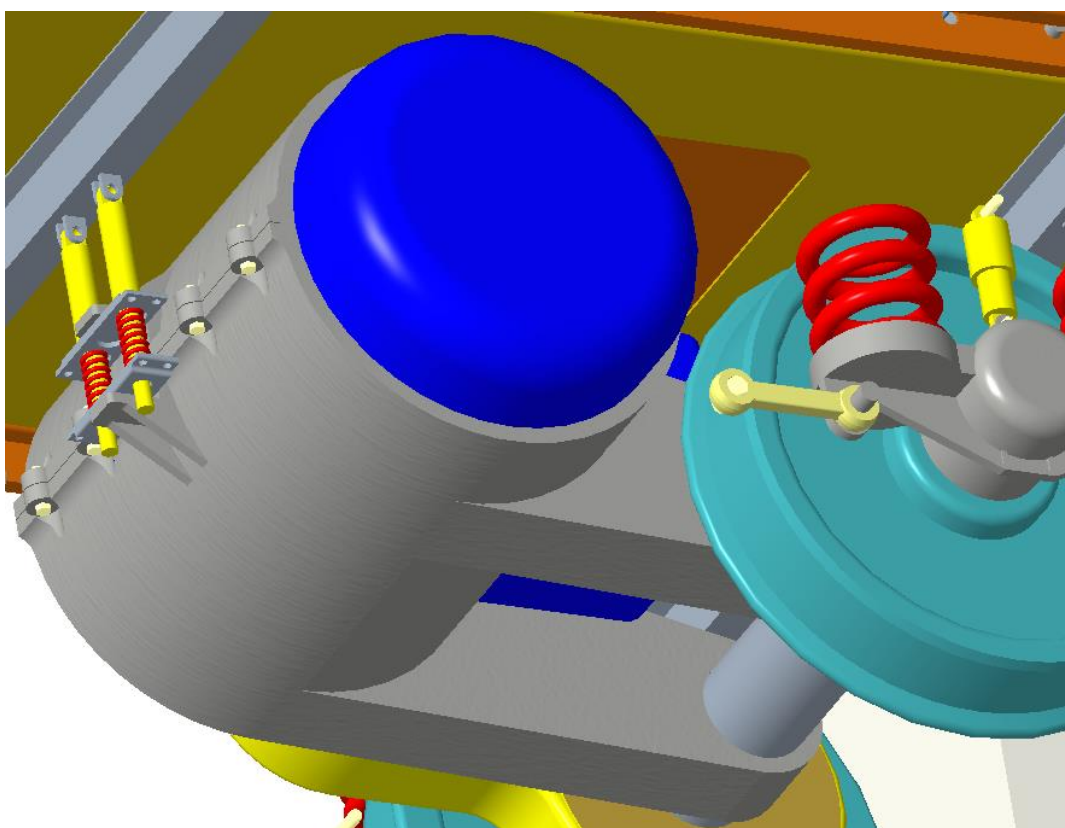
### 5.2.6 Zavěšení motoru

Rám motoru je řešen jako odlitek, jehož dvě části jsou spojeny šrouby. Jeho členění do velké míry závisí na tvaru motoru. Z **obrázku 23** je patrný především princip konstrukce. Motor je v rámu umístěn naležato, aby bylo maximálně využito volné místo mezi koly. Tlapy rámu jsou nezvykle dlouhé. To je dáno délkou motoru, která přesahuje rozchod lokomotivy. To má ale i své výhody. Díky tomu působí na dvojkolí daleko menší neodpružená hmotnost motoru a převodovky a také je tím získán větší prostor pro převod, u něhož předpokládáme veliký převodový poměr. Odpružení je zajištěno pomocí dvou svislých vinutých pružin s tlumiči připojenými k příčnému I-profilu v horní části rámu lokomotivy. Ten zároveň slouží jako výztuha rámu a podpora ližin nesoucích skříně baterií a měniče.





Obrázek 22 – Odpružení



Obrázek 23 - Odpružení motoru

## 5.2.7 Návrh pohonu

### 5.2.7.1 Výběr motoru

Abychom stanovili potřebný výkon lokomotivy, využijeme k tomu tzv. trakční charakteristiku, která vyjadřuje závislost tažné síly na rychlosti, což je křivka v souřadném systému  $F-V$  a nazýváme ji *trakční hyperbola*. Lokomotiva je schopna pracovat v hodnotách daných oblastí pod touto křivkou. Trakční charakteristika je omezena výkonem, maximální rychlostí a adhezí. V **kapitole 5.2.1** byl odvozen vzorec pro výpočet adhezní síly.

$$F_a = \frac{F_{sp}}{\frac{\sigma_L}{\mu_a \varepsilon} - 0,98} \text{ [kN]}$$

Tato závislost tedy udává omezení adhezí. Maximální rychlost lokomotivy je zadána v **tabulce 5**. Dále je třeba stanovit velikost výkonu tak, aby i při dosažení maximální rychlosti zbývala lokomotivě dostatečná síla na kolech k efektivnímu provozu. Výkon motoru není zdaleka jediným kritériem pro volbu motoru. Jeho výběr je nejvíce ovlivněn a omezen druhem vybrané koncepce pohonu, dalšími parametry popsány v **kapitole 4.6** a zejména jeho rozměry, které jsou nejvíce ovlivněny právě velikostí výkonu a počtem pólů, ale závisí i na konkrétním výrobcí. Počet pólů ovlivňuje výběr motoru pozitivně i negativně. Čím více pólů motor má, tím nižší převodový poměr potřebujeme, a tak i jednodušší převod, ale motory pak mají větší rozměry. Pro určení závislosti tažné síly na rychlosti byly použity následující vztahy

$$P_O = 2 \cdot P_M \cdot \eta_M \cdot \eta_P \text{ [kW]}$$

$$n_O = \frac{1,1 \cdot V}{\pi \cdot D \cdot 3,6} \cdot 60 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

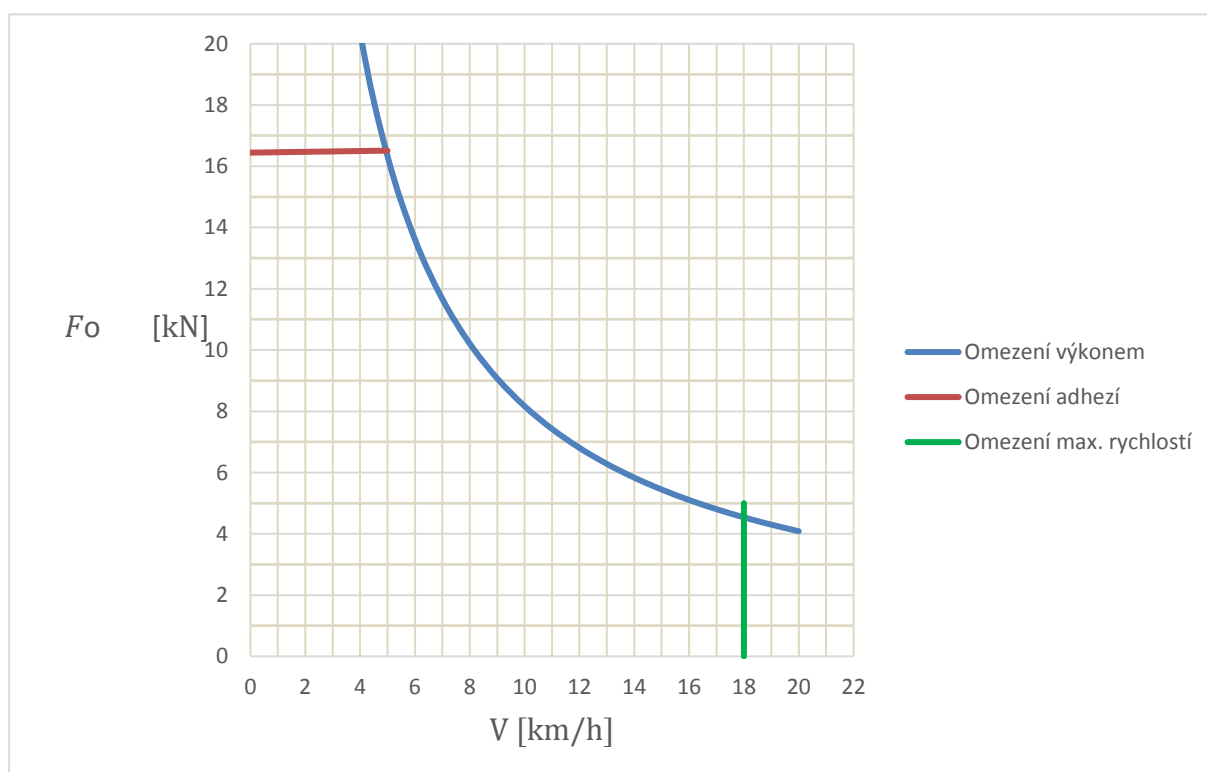
$$F_O = \frac{P_O \cdot 60}{\pi \cdot D \cdot n_O} \text{ [kN]}$$

kde  $\eta_P$  představuje účinnost převodovky. Každý převodový stupeň odebírá 2 % z účinnosti převodovky. Počet převodových stupňů uvádí **kapitola 5.2.7.2**.  $\eta_M$  je účinnost motoru,  $D$  je průměr kola a  $n_O$  jsou otáčky na kole lokomotivy. Výkon motoru je přenásoben dvěma, neboť počítáme s dvěma motory. [48]

V **tabulce 30** jsou uvedené hodnoty tažných sil na spráhle při rychlostech 5, 10 a 18 km/h pro různé výkony motorů a počty pólů. Jsou zde uvedeny motory různých výrobců podle toho, který z nich danou variantu dodává s nejmenšími rozměry. Cílem je tedy vybrat kompaktní motor s dostatečným výkonem.

Tabulka 30 - Tažné síly pro zadané motory [4] [39]

Výkon motoru [kW]	Počty pólů motoru								
	Rychlost lokomotivy [km/h]								
	4			6			8		
	5	10	18	5	10	18	5	10	18
11	15,19	4,62	1,99	15,19	4,58	1,96	15,19	4,66	2,01
15	15,19	6,87	3,23	15,19	6,86	3,23	15,19	6,86	3,23
18,5	15,19	8,99	4,41	15,19	8,90	4,36	15,19	9,05	4,44
22	15,19	11,01	5,53	15,19	10,87	5,46	15,19	11,07	5,57
30	15,19	15,52	8,04	15,19	15,73	8,17	15,19	15,82	8,20
Výrobci			Siemens			Bartec – Varnost			



Obrázek 24 - Trakční charakteristika lokomotivy

Jako nejlepší možnost je zvolen motor s 15 kW a 6 pólů. Trakční charakteristika lokomotivy pro zvolený motor je na **obrázku 24**. Výkon je v tomto případě dostatečný, velikost motoru je přijatelná a jak vyplývá z **tabulky 33** v **kapitole 5.2.7.2**, převodový poměr ještě dovoluje navržení převodovky vhodných rozměrů. Pro demonstraci je uvedeno množství plně ložených vozíků, které lokomotiva dokáže utáhnout při provozu v daných rychlostech viz **tabulka 32**. Jde o *samovýsypané důlní vozíky VSV 1,8*, jejich parametry udává **tabulka 31**. Měrný vozidlový odpor vlaku (tažených vozíků) je

$$o_v = 0,01 \text{ N/t}$$

Počet utáhnutelných vozíků lze tedy vypočítat ze vztahu

$$x = \frac{F_{sp}}{o_v \cdot g \cdot m_v \cdot 0,001} \text{ [ks]}$$

Kde  $m_v$  je hmotnost plně loženého vozíku.

[48]

Tabulka 31 - Parametry důlního vozíku [49]

<b>Objem vozu</b>	1,8 m <sup>3</sup>
<b>Šířka</b>	950 mm
<b>Výška</b>	1300 mm
<b>Délka</b>	2500 mm
<b>Rozchod</b>	600 mm
<b>Rozvor</b>	1100 mm
<b>Průměr kola</b>	350 mm
<b>Hmotnost</b>	900 kg
<b>Max. kusovitost materiálu</b>	250 mm
<b>Hustota převáženého materiálu (uhlí)</b>	905 kg/m <sup>3</sup>

Tabulka 32 - Počet utáhnutelných vozíků

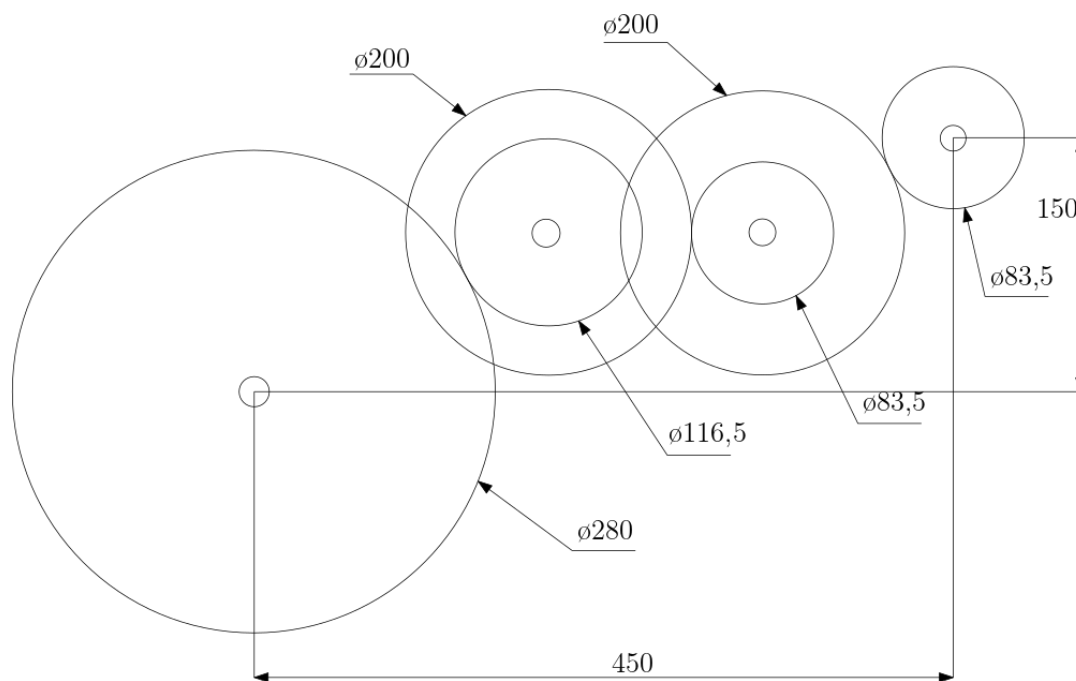
<b>Rychlost lokomotivy [km/h]</b>	<b>Tažná síla na spřáhle [kN]</b>	<b>Počet vozíků</b>
5	15,19	61
10	6,86	28
18	3,23	13

### 5.2.7.2 Návrh převodovky

Návrh převodovky se omezuje pouze na určení typu převodovky, počtu převodových stupňů a základních rozměrů. Vzhledem k použití tlapového motoru volíme nápravovou převodovku. Volba rozměrů a počet převodových stupňů vyplývá z osové vzdálenosti motoru a hřídele dvojkolí a také z převodového poměru. Byl zvolen šestipólový motor, převodový poměr je tedy **13,88** viz **tabulka 33**, kde je patrná závislost převodového poměru na počtu pólů motoru. Převodový poměr bude v každém případě značný. Musíme ale brát v úvahu velmi nízkou provozní rychlost lokomotivy do 20 km/h a potřebu vyvození velkého kroutícího momentu na kolech. Maximální synchronní otáčky motoru jsou zde sníženy o 10 %, neboť se předpokládá právě o 10 % nižší maximální provozní rychlost lokomotivy. Rychlost při 100 % otáček je pouze zkušební. Na **obrázku 25** je znázorněn návrh velikostí roztečných kružnic jednotlivých ozubených kol. Jedná se o třístupňovou redukční převodovku.

Tabulka 33 - závislost převodového poměru na počtu pólů motoru

Počet pólů motoru	2	4	6	8
Max. otáčky - 10% [ $\text{min}^{-1}$ ]	5400	3780	3240	2700
Převod. poměr [-]	23,14	16,20	13,88	11,57



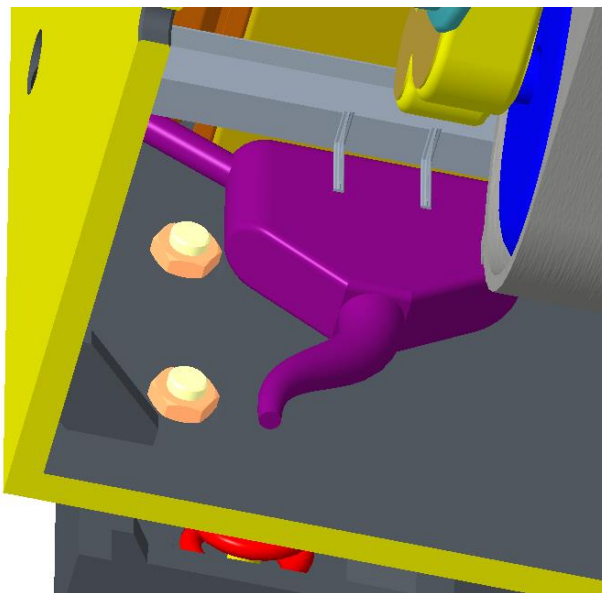
Obrázek 25 - návrh rozměrů převodovky

### 5.2.8 Měníče

Vzhledem k použitému druhu baterií a motoru je k zajištění konverze stejnosměrného napětí baterií na střídavé napětí motoru třeba použít frekvenční měniče napětí. Ty také umožní zvýšit napětí z 96 V na požadovanou hladinu nad 400 V, aby do motoru z baterií mohla proudit energie. Jelikož návrh počítá s možností rekuperace energie, musí být měničem zajištěno, že v případě plné kapacity akumulátorů nebude energie vracena zpět do baterií, ale bude znemožněno brždění motorem až do doby, kdy se baterie vybijí na určitou mez. Předpokládáme, že tento stav bude nastávat jen ojedinele. [37]

### 5.2.9 Pískovací systém

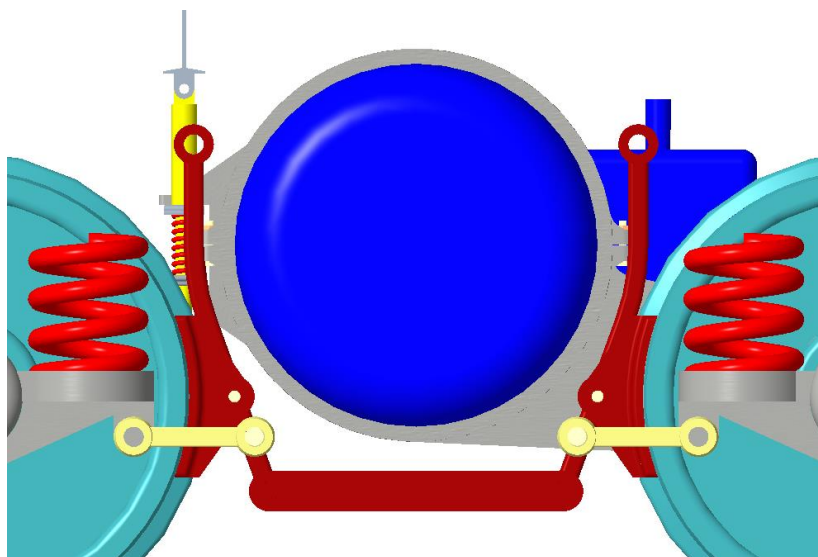
Důležitým bezpečnostním prvkem lokomotivy je pískovací systém, ten slouží k zvýšení součinitele adheze mezi kolejí a kolem. Písek se v případě potřeby sype před kola podle směru jízdy. Je tedy umístěn na obou stranách a koncích lokomotivy. Z důvodu malého prostoru je zásobník písku řešen jako úzká nádoba oblého tvaru, která se v dolní části mění do tvaru trychtýře a úzkou trubicí ústí v prostoru nad hlavou koleje. Písek se doplňuje z boku lokomotivy pomocí trubice se zátkou.



Obrázek 26 - Pískovací systém

### 5.2.10 Brzdy

Řešena je část mechanické provozní brzdy. Jedná se o brzdou špalíkovou. Materiál špalíků je z litiny obohacené o větší množství fosforu pro lepší provozní vlastnosti a životnost. Systém táhel je inspirován řešením na lokomotivě ČKD ALD-2 viz **obrázek 3**. Kvůli malému prostoru mezi rámem motoru a kolem je ale svislé rameno zakřiveno. Pro zajištění součinnosti všech brzd jsou brzdy na obou stranách lokomotivy spojeny příčnicemi. Jednotlivé části jsou řešeny jako výpalky z oceli.

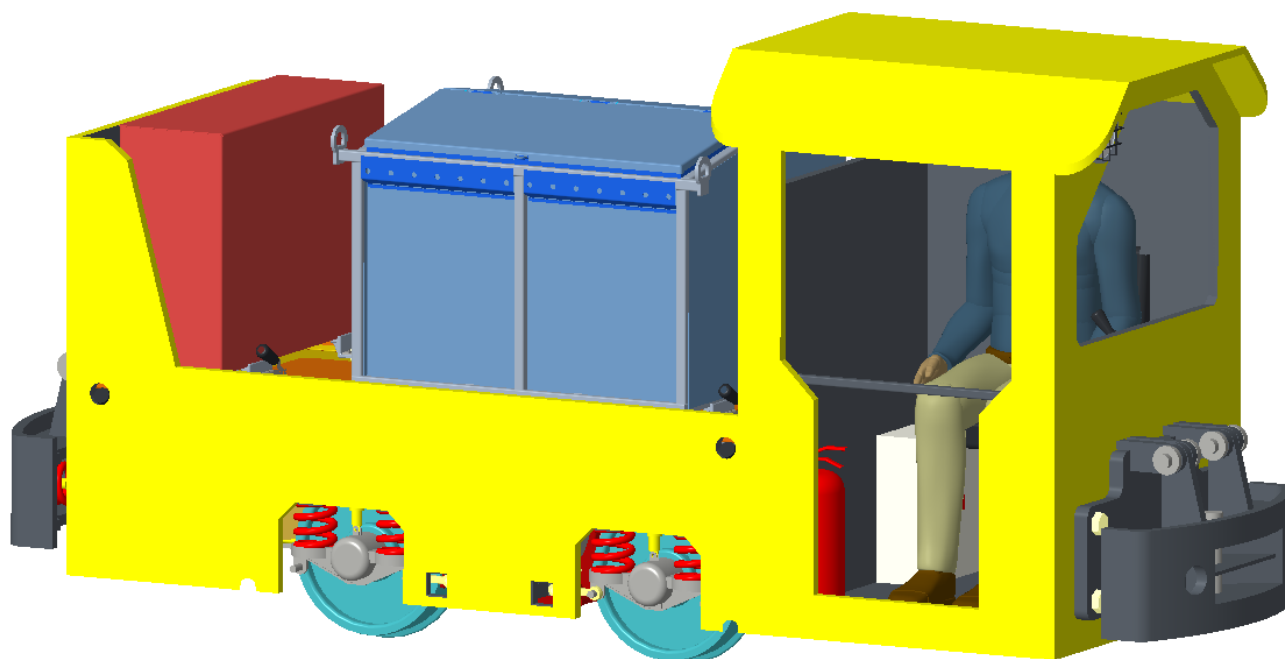


Obrázek 27 - Špalíková brzda

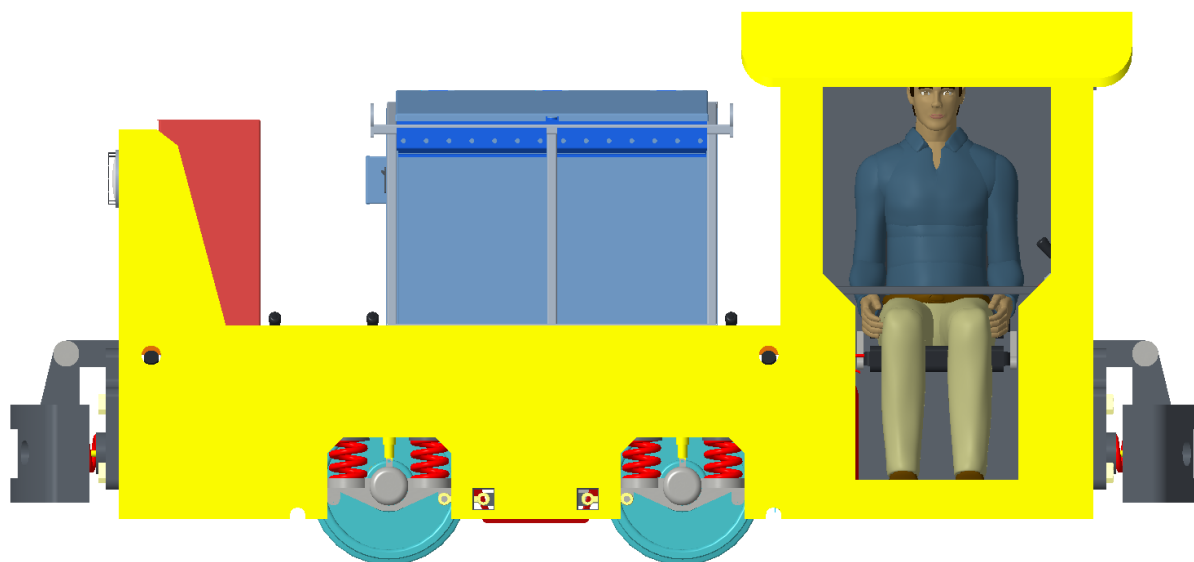
### 5.3 Shrnutí parametrů navrhovaného řešení

Tabulka 34 - Shrnutí parametrů lokomotivy

<b>Motor</b>	2 x trojfázový asynchronní motor Siemens
<b>Výkon motoru</b>	2 x 15 kW
<b>Baterie</b>	Hawker – Perfect Plus ATEX – 6PzB450 – olověná
<b>Měniče</b>	Frekvenční měnič
<b>Brzd</b>	Špalíková, elektrodynamická, parkovací
<b>Rozchod</b>	600 mm
<b>Uspoř. náprav</b>	B <sub>o</sub>
<b>Tažná síla</b>	15kN
<b>Rychlost</b>	max. 18 km/h
<b>Průměr kol</b>	450 mm
<b>Délka</b>	3650 mm
<b>Rozvor</b>	900 mm
<b>Šířka</b>	1080 mm
<b>Výška</b>	1675 mm

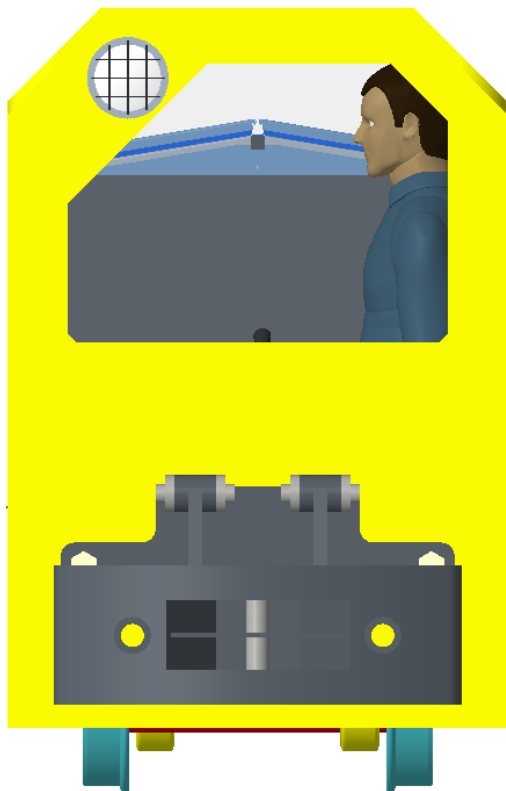


Obrázek 28 - Konečný návrh lokomotivy

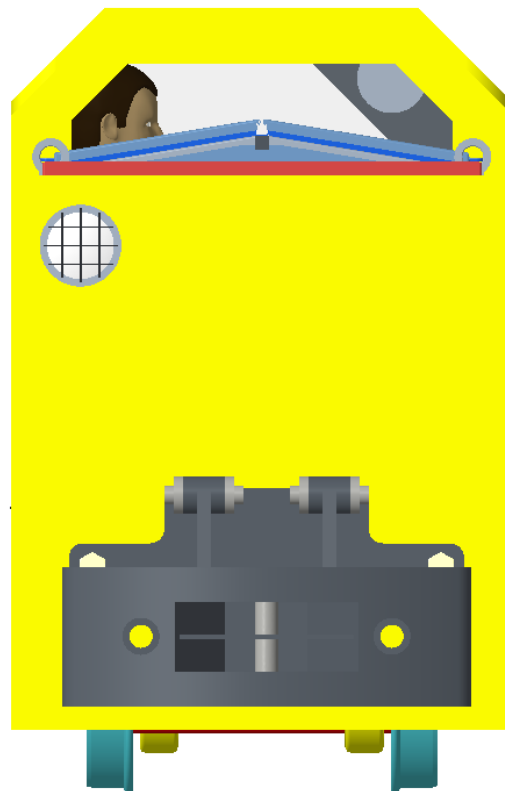


Obrázek 29 - Boční pohled

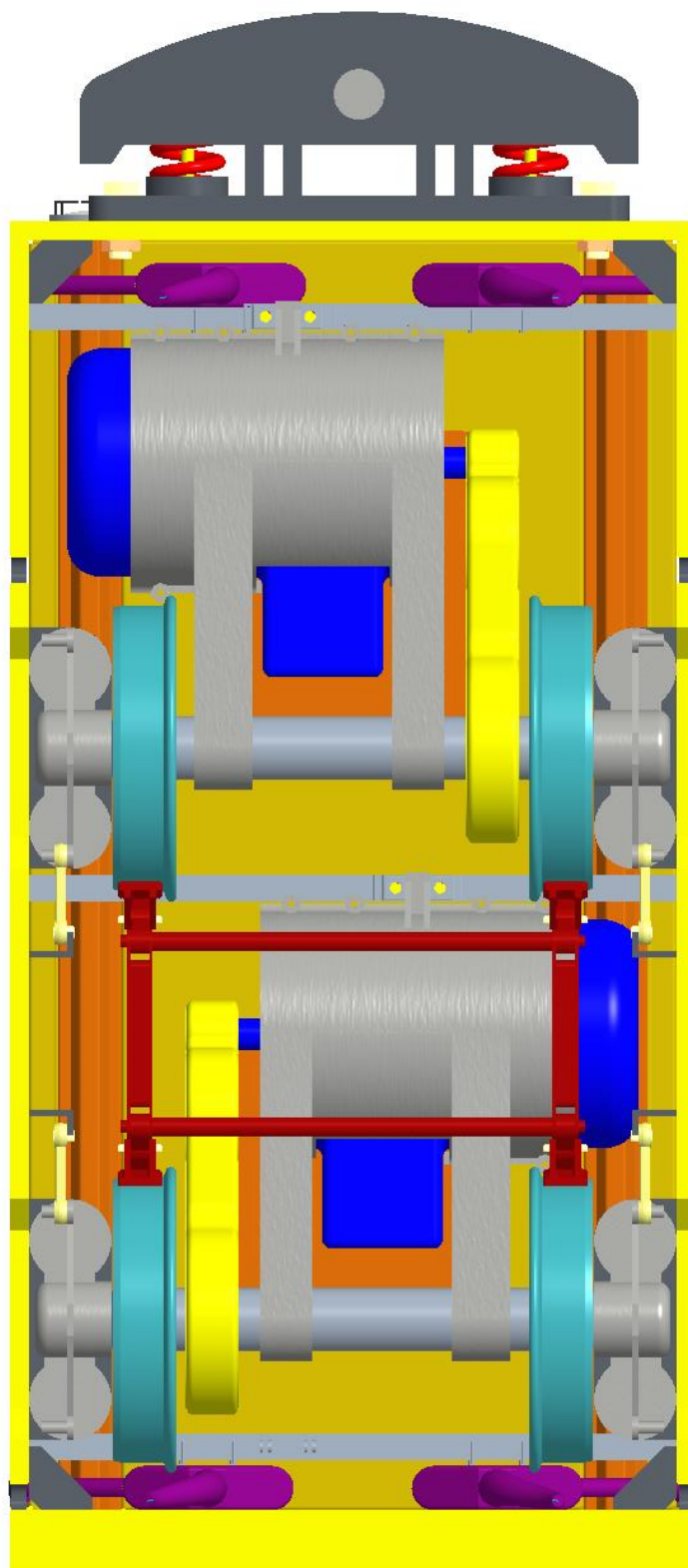




Obrázek 30 - Pohled zepředu



Obrázek 31 - Pohled zezadu



Obrázek 32 - Pohled zespodu

## 6 Ekonomické zhodnocení projektu

Vzhledem k tomu, jaké fáze návrhu bylo dosaženo, nelze z ekonomického hlediska projekt jednoduše zhodnotit. Téměř všechny součásti lokomotivy jsou velmi specifické a v dané podobě nebo rozměrech se běžně nevyskytují na jiných zařízeních. Komponenty by bylo nutné popsat minimálně v nestandardních provedeních, přičemž většina součástí by musela být vyrobena na zakázku. Je zde uveden alespoň výčet součástí uvažovaných v tomto návrhu, které je možno zakoupit v katalogové podobě a je tedy možné u nich určit cenu.

### Jedná se o tyto komponenty

- Elektromotor
- Baterie
- Upínka
- Ojníčka odpružení
- Vínuté pružiny
- I-profily
- Hasicí přístroj
- Tlumiče odpružení
- Spojovací součásti (šrouby, matice, podložky, čepy, kolíky)
- Brzdové špalíky
- Ložiska
- Panty

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh konstrukce úzkorozchodné akumulátorové důlní lokomotivy pro rozchody 450–600 mm s ohledem na spolehlivost a ekonomičnost při výrobě i provozu. Na základě poznatků plynoucích z rešerše stávající techniky byly definovány dvě rozdílné varianty řešení, z nichž jedna byla zaměřena na jednoduchost a ekonomičnost konstrukce, zatímco druhá na spolehlivost, dobrou životnost a provozní vlastnosti. Na základě rozhodovacího procesu byly oběma variantám přiřazeny vhodné konstrukční prvky. Po jednoduchém shrnutí vybraných komponent pro obě varianty následoval konstrukční návrh první varianty. Celkový návrh lokomotivy je v konečném stavu spíše koncepčního charakteru. I vzhledem k tomu nebylo možné stanovit hmotnost navrhované lokomotivy. Návrh nastínil řešení většiny klíčových prvků lokomotivy, která by mohla být do budoucna podrobněji rozpracována. Detailněji zpracovaným prvkem je bateriová skříň. Byl vypracován detailnější model i popis řešení. Jsou přiloženy výkresy sestavy kostry a kostry s opláštěním. Výkresová dokumentace lokomotivy se omezuje na typový výkres. Lze konstatovat, že v počátku stanovené parametry lokomotivy byly konstrukčním návrhem dodrženy.

## 8 Literatura

- [1] SZKLARSKI, Ludger M. a DUDEK, Wladyslaw a MACHOWSKI, Józef. *Underground electric haulage*. Oxford: Pergamon Press, 1969.
- [2] *Pozemní kolejová doprava* [online]. [cit. 8.6.2020] Dostupné z: [http://ferrit.cz/upload/CZ/Katalog\\_Rail.pdf](http://ferrit.cz/upload/CZ/Katalog_Rail.pdf)
- [3] Vyhláška č. 22/1989. *O bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí*. Český báňský úřad, 1988
- [4] *Nevýbušné trojfázové asynchronní motory s kotvou nakrátko* [online]. [cit. 9.6.2020] Dostupné z: [http://www.embrno.cz/f/96/K13-0309CZ\\_AOM.pdf](http://www.embrno.cz/f/96/K13-0309CZ_AOM.pdf)
- [5] Směrnice 94/9/ES. *Příručka ke směrnici ATEX*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2006.
- [6] *Značka pro zařízení určené do prostředí s nebezpečím výbuchu* [online]. [cit. 20.6.2020] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/ATEX>
- [7] REID, John S. Robert Davidson – *pioneer electrician*. *The Scientific Tourist*: Aberdeen. [Online] [Citace: 12. 1. 2020.]  
Dostupné z: <https://homepages.abdn.ac.uk/npmuseum/Scitour/Davidson.pdf>.
- [8] *Primární článek* [online]. [cit. 12.1.2020] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A1rn%C3%AD\\_%C4%8DI%C3%A1nek](https://cs.wikipedia.org/wiki/Prim%C3%A1rn%C3%AD_%C4%8DI%C3%A1nek)
- [9] GAIRNS, J. F., *Industrial Locomotives for Mining, Factory and Allied Uses, part III*. 1904
- [10] MARTIN, George Curtis. *Mineral resources of Alaska*. Washington, DC: Government Printing Office, 1919.
- [11] *Železný akumulátor, ocelový akumulátor, oceloniklový akumulátor* [online]. [cit. 12.1.2020] Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/povery-a-myty-o-hermetickyh-akumulatorech/nespravne-pouzivani-nekterych-terminu/zelezny-akumulator-ocelovy-akumulator-oceloniklovy-akumulator>
- [12] Lokomotiva ČKD ALD-2 [online]. [cit. 6.11.2019] Dostupné z: <http://solvayovylomy.cz/>
- [13] *ALD 2 Akumulační* [online]. [cit. 17.3.2020] Dostupné z: [http://www.plzeneckazeleznice.cz/?page\\_id=46](http://www.plzeneckazeleznice.cz/?page_id=46)
- [14] *BBA Metallist* [online]. [cit. 6.11.2019] Dostupné z: [https://de.wikipedia.org/wiki/BBA\\_Metallist](https://de.wikipedia.org/wiki/BBA_Metallist)
- [15] *BBA B 360* [online]. [cit. 6.11.2019] Dostupné z: [https://de.wikipedia.org/wiki/BBA\\_B\\_360](https://de.wikipedia.org/wiki/BBA_B_360)
- [16] *Restauration BBA B 360* [online]. [cit. 6.11.2019] Dostupné z: <https://www.fenstergrund.de/seite/332358/grubenlok-bba-b-360.html>
- [17] *Akumulátorové lokomotivy* [online]. [cit. 9.12.2019] Dostupné z: <http://www.phs-strojarnie.sk/index.php?id=battery-locomotives>

- [18] *Akumulátorové lokomotivy* [online]. [cit. 9.12.2019] Dostupné z: <http://www.phs-strojarnes.sk/index.php?id=battery-locomotives>
- [19] *Battery locomotive* [online]. [cit. 10.12.2019] Dostupné z: <http://www.kingdomine.com/pro/pro01bl/>
- [20] *Xiangtan Electric Locomotive Factory Co., Ltd.* [online]. [cit. 10.12.2019] Dostupné z: [https://shaolilocomotive.en.alibaba.com/productgroupdetail-214077797/AC\\_Converter\\_Adjusting\\_Speed.html?spm=a2700.icbuShop.88.17.75367f08e5McO](https://shaolilocomotive.en.alibaba.com/productgroupdetail-214077797/AC_Converter_Adjusting_Speed.html?spm=a2700.icbuShop.88.17.75367f08e5McO)
- [21] *Mining equipment* [online]. [cit. 22.1.2020] Dostupné z: <http://www.chinacoalmachine.com/product/product-17-983.html>
- [22] *Battery locomotive* [online]. [cit. 23.1.2020] Dostupné z: <https://www.ytlocomotive.com/battery-locomotive/>
- [23] *Mining locomotives* [online]. [cit. 23.1.2020] Dostupné z: <http://www.fidko.com/Projects/Locomotives.html>
- [24] *Electric accumulator locomotives* [online]. [cit. 11.2.2020] Dostupné z: <http://locopro.eu/electric-accumulator-locomotives.php>
- [25] *Underground mining equipment: tunneling units* [online]. [cit. 23.1.2020] Dostupné z: <https://www.brookvillecorp.com/mining-tunneling.asp>
- [26] KOSOV, Andrei. *Aplikace vícekriteriálního rozhodování ve společnosti VCES, a.s.* Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní. Ústav řízení a ekonomiky podniku
- [27] ČSN EN 1889-2+A1. *Důlní stroje – Mobilní podzemní stroje – Bezpečnost – Část 2: Lokomotivy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.
- [28] LATA, Michael. *Konstrukce kolejových vozidel II*. Pardubice: Univerzita Pardubice – Dopravní fakulta Jana Pernera, 2004.
- [29] HELLER, P., DOSTÁL, J.. *Kolejová vozidla I*. Plzeň: Západočeská univerzita – KKS, 2007.
- [30] HELLER, P., DOSTÁL, J.. *Kolejová vozidla II*. Plzeň: Západočeská univerzita – KKS, 2009.
- [31] *Tlapový motor* [online]. [cit. 28.7.2020] Dostupné z: [https://www.wikiwand.com/cs/Tlapov%C3%BD\\_motor](https://www.wikiwand.com/cs/Tlapov%C3%BD_motor)
- [32] *Bezkolébkové uložení skříně na podvozku* [online]. [cit. 28.7.2020] Dostupné z: [https://www.vagony.cz/pojezdy/mapa/podvozky\\_mapa\\_bezkolebkove.html](https://www.vagony.cz/pojezdy/mapa/podvozky_mapa_bezkolebkove.html)
- [33] *Lead acid batteries* [online]. [cit. 13.4.2020] Dostupné z: [https://www.concordia.ca/content/dam/concordia/services/safety/docs/EHS-DOC-146\\_LeadAcidBatteries.pdf](https://www.concordia.ca/content/dam/concordia/services/safety/docs/EHS-DOC-146_LeadAcidBatteries.pdf)

- [34] *How does the Lead Acid Battery Work*. [online]. [cit. 13.4.2020] Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/lead\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries)
- [35] *Hawker – Traction Batteries – ATEX*. [online]. [cit. 13.4.2020] Dostupné z: [http://www.enersys-hawker.com/pdf/atex/atex\\_gb.pdf](http://www.enersys-hawker.com/pdf/atex/atex_gb.pdf)
- [36] *The first ATEX Truck with Lithium Battery* [online]. [cit. 22.5.2020] Dostupné z: <https://miretti.com/portfolio/the-first-atex-truck-with-lithium-battery-the-collaboration-between-byd-and-miretti-to-reach-innovation-for-clients/>
- [37] *Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče* [online]. [cit. 10.6.2020] Dostupné z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>
- [38] ATEX 94/9/EC. *Ochranné elektrické systémy a zařízení v prostředí s nebezpečím výbuchu*. Praha: Český úřad bezpečnosti práce, 2003.
- [39] *Flameproof motors for mining* [online]. [cit. 7.6.2020] Dostupné z: <https://www.bartec.de/en/downloads/electrical-engineering-for-mining/flameproof-mining-en.pdf>
- [40] *Ex d/de Zone 1 flameproof motors* [online]. [cit. 7.6.2020] Dostupné z: [http://www.brookcrompton.com/upload/files/products/2205E\\_EEx\\_d\\_issue%202e.pdf](http://www.brookcrompton.com/upload/files/products/2205E_EEx_d_issue%202e.pdf)
- [41] *Mechanická část brzdy* [online]. [cit. 25.7.2020] Dostupné z: <https://vagony.cz/pojezdy/brzda/mechanika.html>
- [42] *Asynchronní motor* [online]. [cit. 26.7.2020] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchron%C3%AD\\_motor#Brzd%C4%9Bn%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchron%C3%AD_motor#Brzd%C4%9Bn%C3%AD)
- [43] *Superkapacitory v tramvajích šetří energii* [online]. [cit. 26.7.2020] Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/111.php>
- [44] *Hawker Perfect Plus* [online]. [cit. 26.7.2020] Dostupné z: [http://www.enersys-hawker.com/pdf/perfect\\_plus/td/perfect\\_plus\\_td\\_gb.pdf](http://www.enersys-hawker.com/pdf/perfect_plus/td/perfect_plus_td_gb.pdf)
- [45] *Chemická odolnost* [online]. [cit. 27.7.2020] Dostupné z: <http://www.akplast.cz/chemicka-odolnost>
- [46] *Korozivzdorná ocel – Nerez* [online]. [cit. 27.7.2020] Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [47] *Technické podmienky banskej diesel – hydraulickej lokomotívy DH 30 D*. Martin: Závody těžkého strojírenství, n.p. Martin, 1978.
- [48] ŠIROKÝ, Jaromír, *Mechanika v dopravě I – kolejová vozidla*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004.
- [49] *Důlní vozy* [online]. [cit. 28.7.2020] Dostupné z: [http://podzemí.solvayovylomy.cz/prirucka/technika/d\\_vozy.htm](http://podzemí.solvayovylomy.cz/prirucka/technika/d_vozy.htm)
- [50] *Pískování* [online]. [cit. 29.7.2020] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADskov%C3%A1n%C3%AD\\_\(kolejov%C3%A1\\_doprava\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADskov%C3%A1n%C3%AD_(kolejov%C3%A1_doprava))

## 9 Seznam obrázků

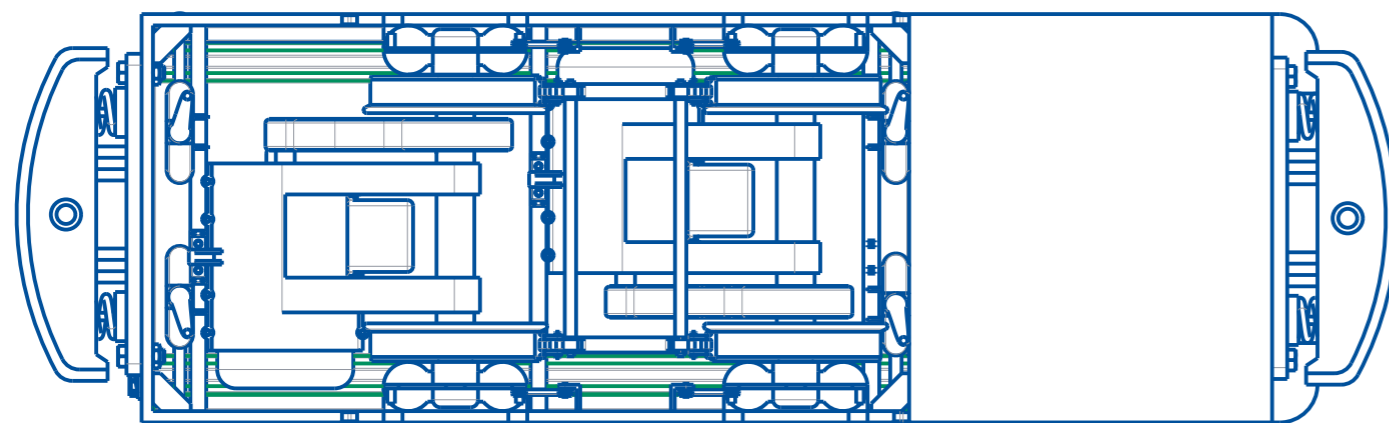
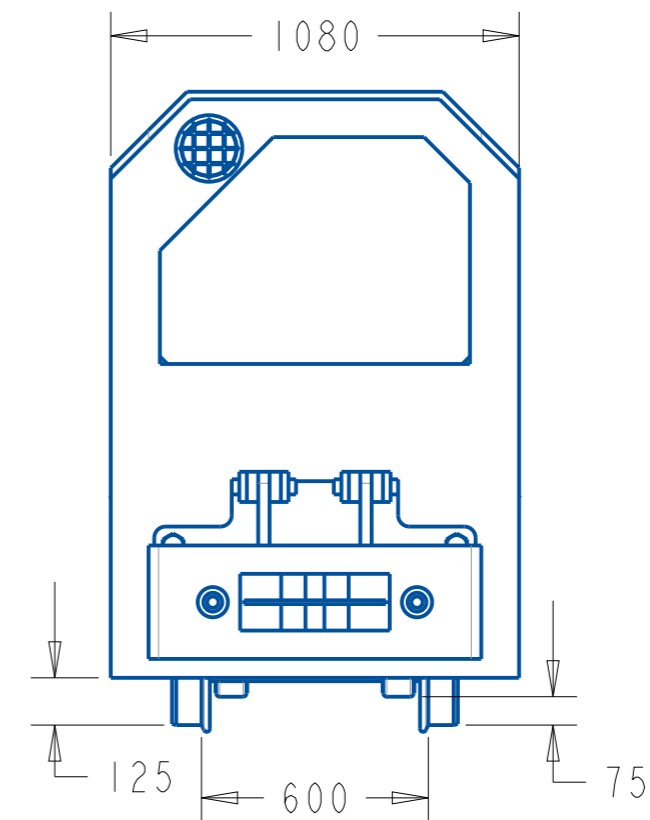
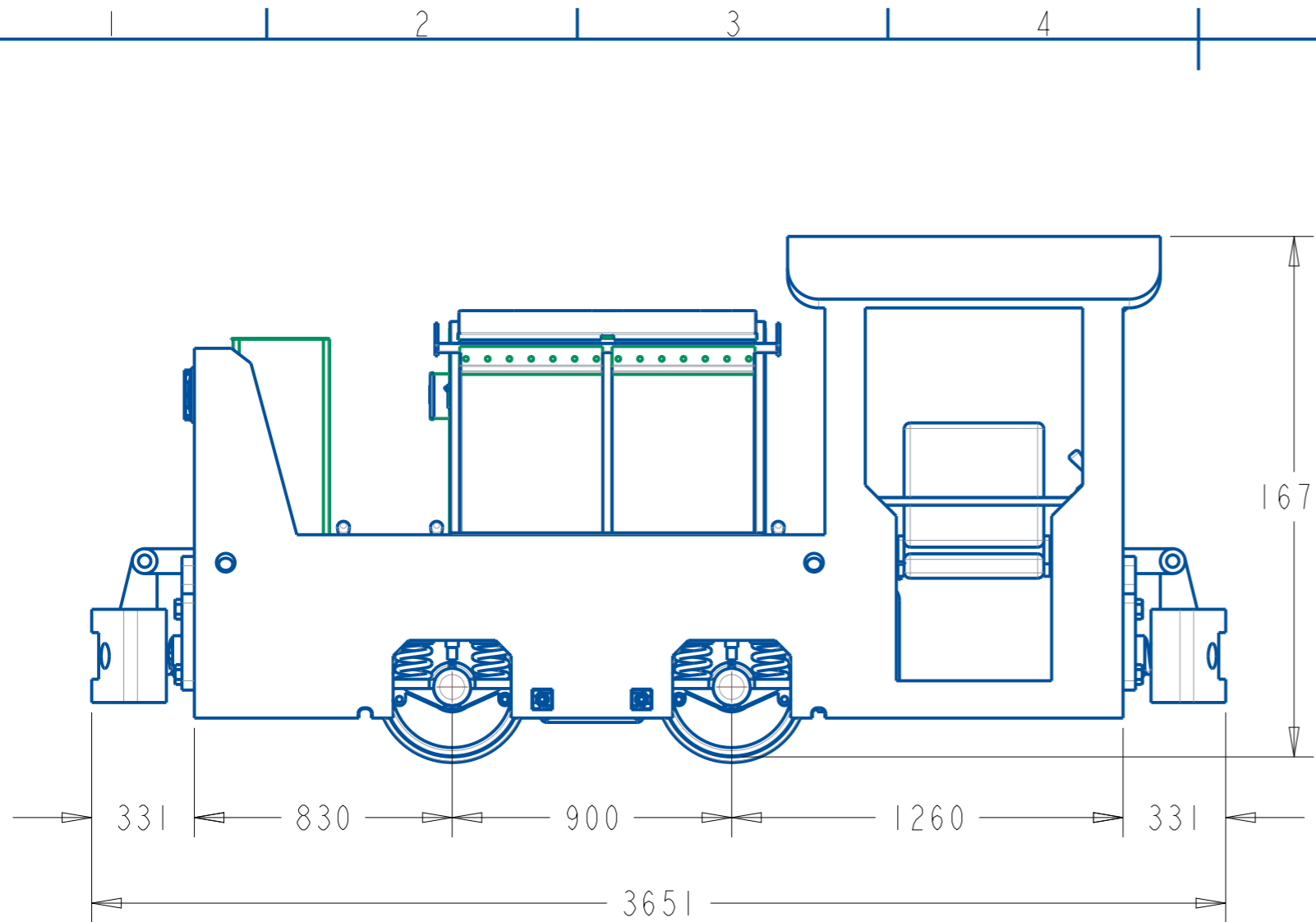
Obrázek 1 – Symbol normy ATEX.....	13
Obrázek 2 – Lokomotiva ALD-2 (Starý Plzenec).....	14
Obrázek 3 – Lokomotiva ALD-2 (Starý Plzenec) – Detail brzdy .....	15
Obrázek 4 – Baterie lokomotivy ALD-2 (Starý Plzenec) .....	16
Obrázek 5 - Lokomotiva BBA B 360.....	17
Obrázek 6 - Lokomotiva PHS AE 30.....	19
Obrázek 7 - Kabina na jednom konci.....	23
Obrázek 8 - Kabina na dvou koncích .....	24
Obrázek 9 - Kabina uprostřed .....	24
Obrázek 11 - Dutý hřídel objímající nápravu.....	28
Obrázek 10 - Tlapový motor .....	29
Obrázek 12 - Vysokozdvizný vozík Miretti.....	35
Obrázek 13 - Třídy účinnosti .....	36
Obrázek 14 - Špalíková brzda .....	38
Obrázek 15 - Kotoučová brzda.....	39
Obrázek 16 - Skříň baterií 1 .....	43
Obrázek 17 - Skříň – kostra.....	44
Obrázek 18 - Rám lokomotivy .....	47
Obrázek 19 - Nárazník 1 .....	47
Obrázek 20 - Nárazník 2 .....	47
Obrázek 21 - Uchycení skříní k rámu .....	48
Obrázek 22 – Odpružení .....	49
Obrázek 23 - Odpružení motoru.....	49
Obrázek 24 - Trakční charakteristika lokomotivy.....	51
Obrázek 25 - návrh rozměrů převodovky .....	53
Obrázek 26 - Pískovací systém .....	54
Obrázek 27 - Špalíková brzda .....	55
Obrázek 28 - Konečný návrh lokomotivy .....	56
Obrázek 29 - Boční pohled.....	56
Obrázek 30 - Pohled zepředu .....	57
Obrázek 31 - Pohled zezadu.....	57
Obrázek 32 - Pohled zespodu.....	58



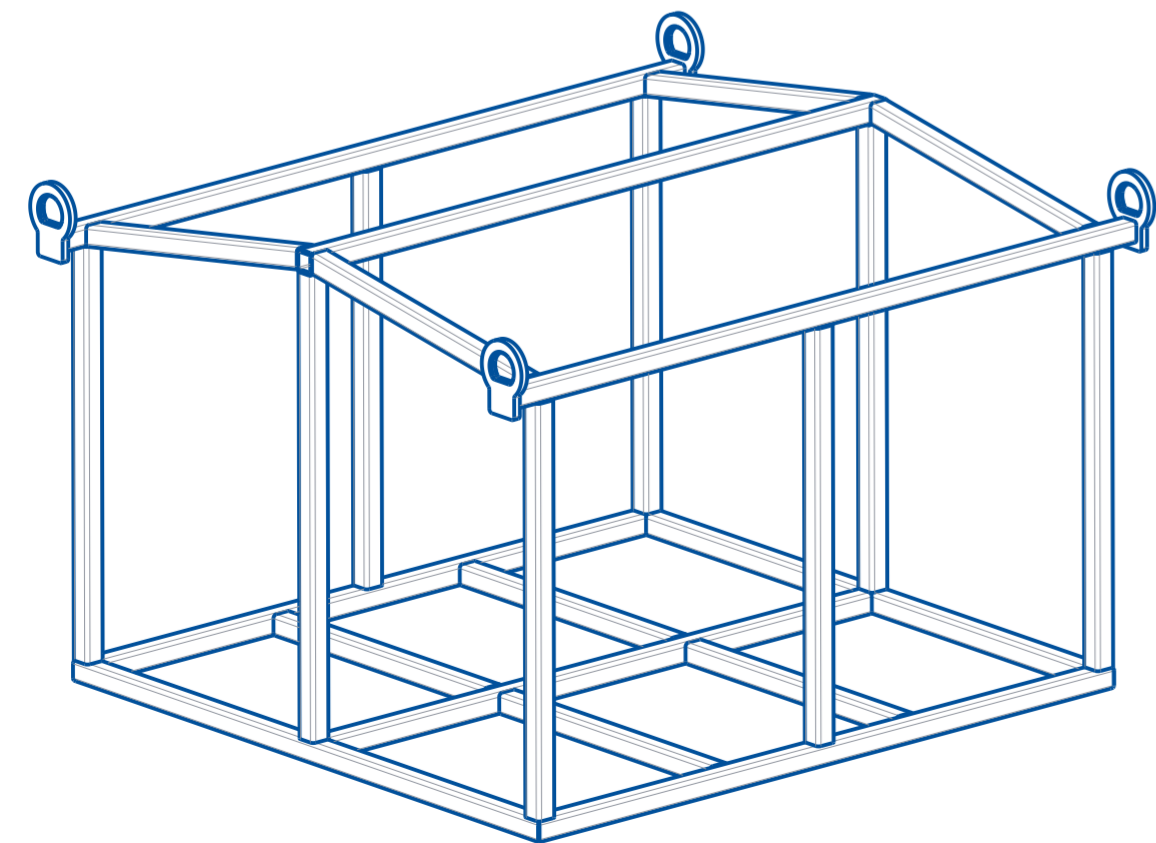
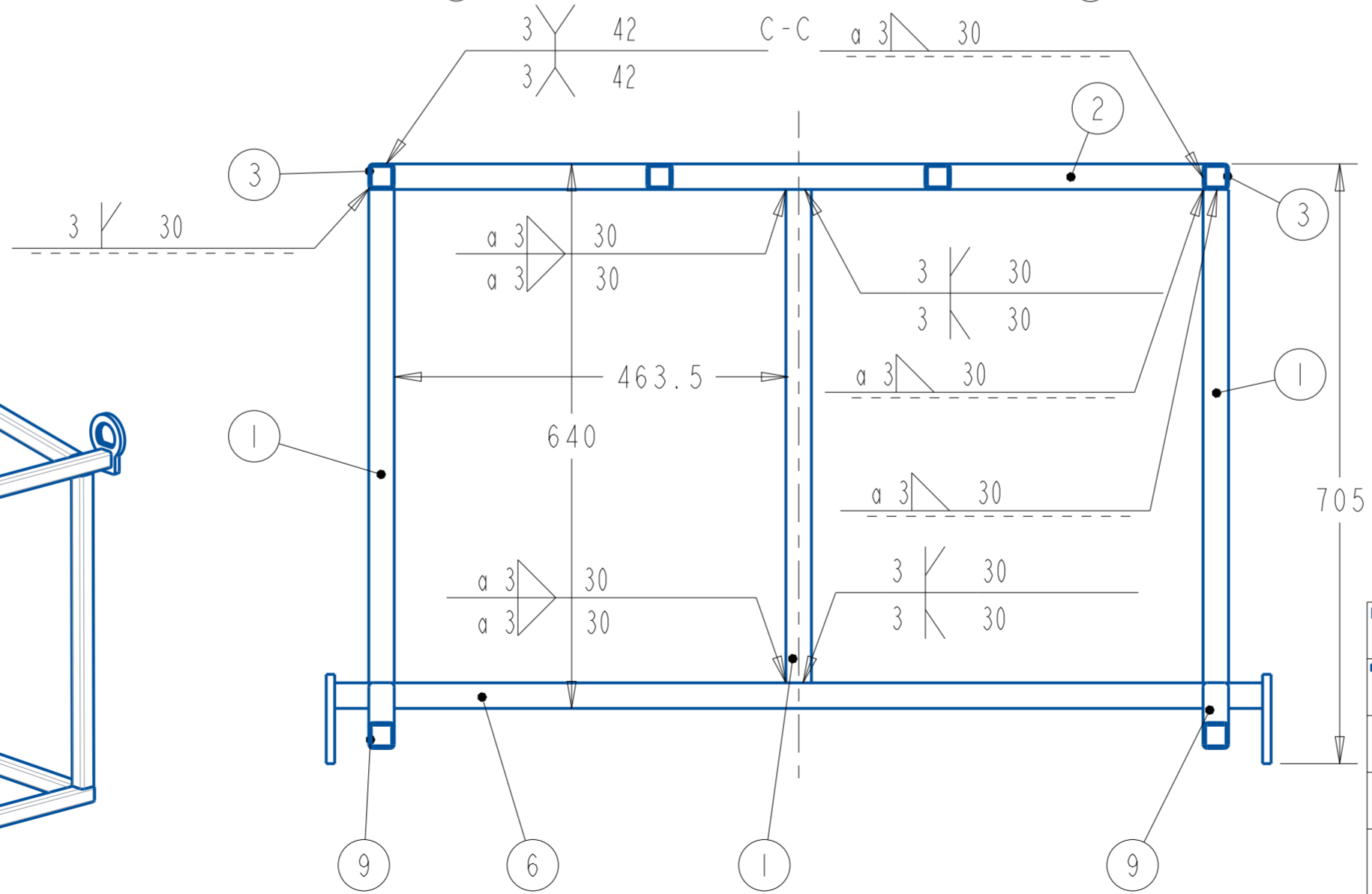
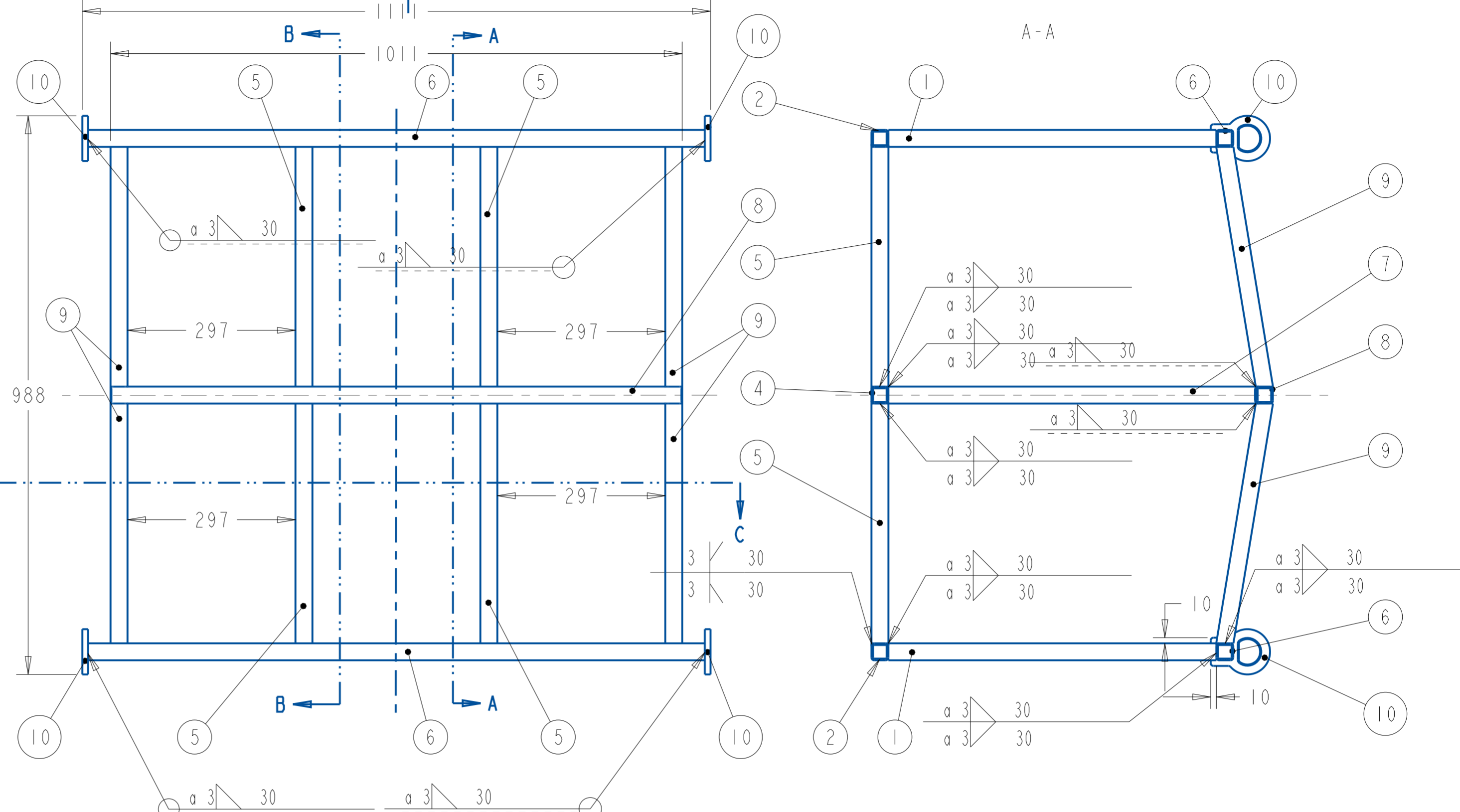
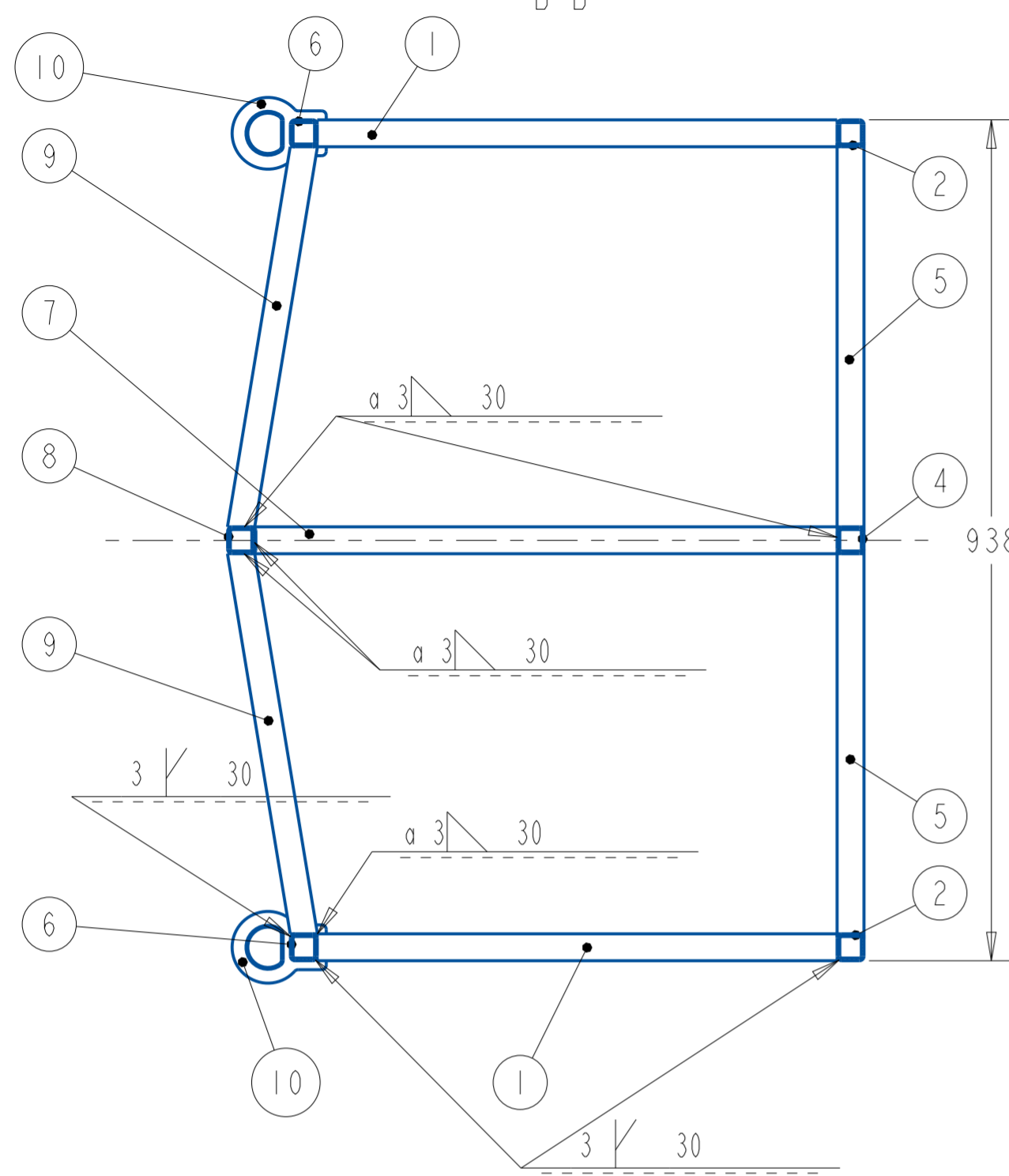
## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Hlavní parametry lokomotivy ALD-2.....	15
Tabulka 2 – Hlavní parametry lokomotivy BBA B 360 .....	17
Tabulka 3 – Světoví výrobci akumulátorových důlních lokomotiv a jejich používaná technická řešení.....	18
Tabulka 4 – Hlavní parametry lokomotivy PHS AE 30.....	19
Tabulka 5 - Zadané parametry .....	20
Tabulka 6 - Přiřazení bodů .....	22
Tabulka 7 - Váhy důležitosti .....	22
Tabulka 8 - Přiřazení bodů .....	22
Tabulka 9 - Váhy důležitost .....	22
Tabulka 10 - Výběr umístění kabiny – Varianta 1 .....	25
Tabulka 11 - Výběr umístění kabiny – Varianta 2 .....	25
Tabulka 12 - Výběr dvojkolí – Varianta 1 .....	27
Tabulka 13 - Výběr dvojkolí – Varianta 2 .....	27
Tabulka 14 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 1 .....	30
Tabulka 15 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 2.....	30
Tabulka 16 - Výběr pohonu – Varianta 1 – 3.....	31
Tabulka 17 - Výběr pohonu – Varianta 2 – 1 .....	31
Tabulka 18 - Výběr pohonu – Varianta 2 – 2.....	31
Tabulka 19 - Výběr vypružení – Varianta 1 .....	34
Tabulka 20 - Výběr vypružení – Varianta 2.....	34
Tabulka 21 - Závislost výkonu motoru na okolní teplotě .....	36
Tabulka 22 - Nabídka elektromotorů .....	37
Tabulka 23 - Výběr brzdy – Varianta 1.....	40
Tabulka 24 - Výběr brzdy – Varianta 2.....	40
Tabulka 25 - shrnutí vybraných řešení .....	41
Tabulka 26 - Parametry baterie .....	42
Tabulka 27 - Parametry bloku baterií.....	42
Tabulka 28 - Minimální vnitřní rozměry bateriové skříně.....	43
Tabulka 29 - Parametry materiálu.....	45
Tabulka 30 - Tažné síly pro zadané motory .....	51
Tabulka 31 - Parametry důlního vozíku .....	52
Tabulka 32 - Počet utáhnutelných vozíků .....	52

Tabulka 33 - závislost převodového poměru na počtu pólů motoru .....	53
Tabulka 34 - Shrnutí parametrů lokomotivy .....	55



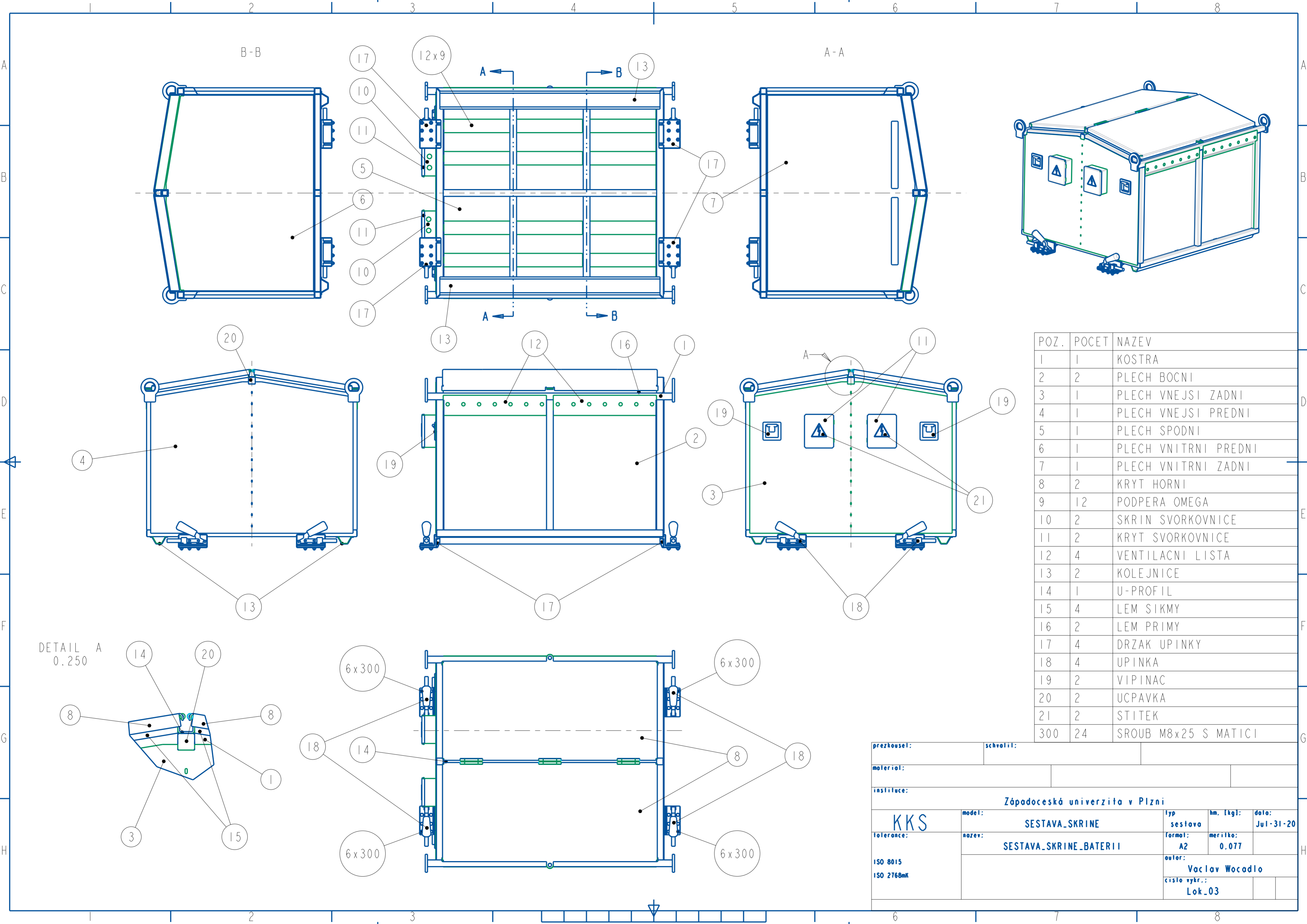
przkoušel:		schválil:		
materiál:				
instituce: Zapadoceska univerzita v Plzni				
KKS	model:	SESTAVA_PODVOZKU	typ: sestava	hm. [kg]: Jul-30-20
tolerance: ISO 8015 ISO 2768mK	nazev:	TYPOVY_VYKRES_LOKOMOTIVY	formal: A3	meritko: 0.022
			autor: Vaclav Wocadlo	
			cislo vyk.: Lok_01	



SCALE 0.100

POZ.	POCET	NAZEV
1	6	SVISLY PROFIL
2	2	PODELNY PROFIL
3	2	PRICNY PROFIL
4	1	PODELNY PROFIL STREDOVY
5	4	PRICNY PROFIL STREDOVY
6	2	PODELNY PROFIL NOSNY
7	2	SVISLY PROFIL STREDOVY
8	1	PODELNY PROFIL HORNÍ
9	4	SIKMY PROFIL HORNÍ
10	4	OKO

prezkoušel:	schválil:			
materiál:	CSN 17 240			
instituce:	Zapadoceska univerzita v Plzni			
KKS	typ:	hm. (kg):	datum:	
	SESTAVA_KOSTRY	sestava	Jul-30-20	
tolerance:	název:	formát:	merítka:	
	SESTAVA_KOSTRY	A2	0.050	
ISO 8015	autor:		Vaclav Wocadlo	
ISO 2768mK	číslo vykr.:		Lok_02	



POZ.	POCET	NAZEV
1	1	KOSTRA
2	2	PLECH BOCNI
3	1	PLECH VNEJSI ZADNI
4	1	PLECH VNEJSI PREDNI
5	1	PLECH SPODNI
6	1	PLECH VNITRNI PREDNI
7	1	PLECH VNITRNI ZADNI
8	2	KRYT HORNÍ
9	12	PODPERA OMEGA
10	2	SKRIN SVORKOVNICE
11	2	KRYT SVORKOVNICE
12	4	VENTILACNI LISTA
13	2	KOLEJNICE
14	1	U-PROFIL
15	4	LEM SIKMY
16	2	LEM PRIMY
17	4	DRZAK UPINKY
18	4	UPINKA
19	2	VIPINAC
20	2	UCPAVKA
21	2	STITEK
300	24	SROUB M8x25 S MATICI

prezkoušel:	schválil:			
materiál:				
instituce:	Západočeská univerzita v Plzni			
KKS	model:	typ sestava	hm. [kg]:	dato:
	SESTAVA_SKRINE	A2	0.077	Jul-31-20
tolerance:	nozev:	formal:	merilko:	
	SESTAVA_SKRINE_BATERIE			
ISO 8015	autor:		Vaclav Wocadlo	
ISO 2768mK	cislo vykr.:		Lok_03	