



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

OPTIMALIZACE PROVOZNÍCH VLASTNOSTÍ LOKOMOTIV AEG

OPERATIONAL OPTIMIZATION OF AEG LOCOMOTIVES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vavřinec Kumšta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dana Foltýnová

BRNO 2026

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Vavřinec Kumšta**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Dana Foltýnová**
Akademický rok: 2025/26

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Optimalizace provozních vlastností lokomotiv AEG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bateriové lokomotivy AEG jsou v současné době využívány ve vozovém parku Společnosti moravských parkových drah z.s., kde plní svou nenahraditelnou roli jako zácvikové hnací vozidlo, posunovací stroj a lokomotiva pro vozbu vlakových souprav. Současné lokomotivy již jsou v provozu přes 15 let a je tudíž nutné uvažovat o možnosti postupného nahrazování. Protože se konstrukčně v provozu osvědčily, tak není potřeba navrhovat vše od základů znovu a řešením je zdokonalit to, co funguje. Druhá generace proto bude co nejvíce rozměrově i vzhledově shodná se současným stavem.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Práce si klade za cíl zhodnotit současné nedostatky lokomotiv AEG a tyto nedostatky u druhé generace v co největší míře odstranit.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- navrhnout funkční brzdový systém, který bude umožňovat jak ruční zajištění lokomotivy, tak brzdění lokomotivy pomocí tlakového vzduchu (možné ověřit experimentem, ve kterém bude změřena přenášená síla přes spřáhlo v momentě rozpohybování a porovnání současné AEG s novým AEG),
- doplnit lokomotivu o potrubí vzduchové brzdy,
- zmenšit znečišťování řetězových převodů,
- umožnit lepší průtok vzduchu uvnitř karoserie a tím snížit vnitřní teplotu během nabíjení a provozu,
- zlepšení výkyvu spřáhla a jeho odpružení.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 8.vydání, VUTIUM, Brno 2023, 1296 s, ISBN 978-80-214-5471-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2025/26

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem řešení druhé generace bateriových úzkorozchodných lokomotiv typu AEG, které jsou využívány Společností moravských parkových drah z. s. Analytická část identifikuje hlavní problémy, kterými jsou nerovnoměrné napínání a znečišťování řetězů u pohonu dvojkolí, nespolehlivá zajišťovací brzda společně s absencí tlakové brzdy, chybějící ventilace způsobující přehřívání baterií v letních měsících a nevhodná konstrukce spřáhla. V rámci koncepčního a konstrukčního řešení je navržen nový systém pohonu. Pro bezpečné brzdění a zajištění vozidla byla zkonstruována kompaktní brzdová jednotka, která spojuje ruční zajišťovací a pneumatickou brzdou SMPD. Spřáhlové ústrojí bylo kompletně přepracováno na řešení s minimálními nežádoucími účinky na připojené vozy. Problém s přehříváním byl částečně vyřešen umožněním průtoku vzduchu strojovnou. Výsledkem práce jsou konkrétní konstrukční návrhy a úpravy, které zásadně přispívají ke zvýšení spolehlivosti, bezpečnosti a celkové životnosti lokomotivy.

KLÍČOVÁ SLOVA

úzkorozchodná lokomotiva, kolejové vozidlo, spřáhlové ústrojí, brzdy, převodovka

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of a second-generation solution for AEG-type battery-powered narrow-gauge locomotives, which are used by Společnost moravských parkových drah z.s. The analytical part identifies the main problems, namely the uneven tensioning and contamination of the wheelset drive chains, an unreliable parking brake combined with the absence of an air brake, insufficient ventilation causing the batteries to overheat during the summer months, and an unsuitable coupler design. Within the conceptual and engineering design, a new drive system is proposed. For safe braking and securing of the vehicle, a compact brake unit was developed, combining a manual parking brake with an SMPD pneumatic brake. The coupling mechanism was completely redesigned into a solution with minimal adverse effects on the connected wagons. The overheating issue was partially resolved by enabling airflow through the engine compartment. The outcome of the thesis comprises specific design proposals and modifications that significantly contribute to enhancing the reliability, safety, and overall service life of the locomotive.

KEYWORDS

narrow-gauge locomotive; railway vehicle; coupling mechanism; brakes; gearbox

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUMŠTA, Vavřinec. *Optimalizace provozních vlastností lokomotiv AEG*. Online, bakalářská práce. Dana FOLTÝNOVÁ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2026. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/173401>

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě vyjádřil upřímné poděkování Ing. Daně Foltýnové za odborné vedení, cenné rady a ochotu vypsát takto specifické téma bakalářské práce. Mé poděkování patří rovněž Ing. Romanu Šilerovi a Ing. Martinu Šilerovi za poskytnutí praktických poznatků z oblasti parkové železnice a konstruování obecně. Dále děkuji Mgr. Blance Kumštové za jazykovou korekturu textu. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich všestrannou podporu a trpělivost během mého studia a tvorbu této práce.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Dany Foltýnové. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	15
2.1	lokomotiva AEG	15
2.1.1	Dvojkolí	16
2.1.2	Nápravová ložiska	19
2.1.3	Vypružení a vedení dvojkolí	21
2.1.4	Brzdy	23
2.1.5	Pohon dvojkolí	25
2.1.6	Trakční výkon	28
2.1.7	Lokomotivní skříň	29
2.1.8	Spřáhlové ústrojí	32
2.1.9	Pomocná zařízení a součásti	34
2.1.10	Modelová předloha	38
2.2	Brzdy kolejových vozidel	39
2.2.1	Pneumatická brzda užívaná SMPD	40
2.2.2	Zajišťovací brzda	42
2.2.3	Špalíková brzda	43
2.2.4	Kotoučová brzda	45
2.2.5	Elektrodynamická brzda	46
2.3	Ventilace hnacích vozidel	47
2.3.1	Uspořádání ventilace v lokomotivě	48
2.3.2	Žaluzie	50
2.4	Spřáhlové ústrojí	52
2.4.1	Vypružovací zařízení táhlového ústrojí	54
2.4.2	Spřáhla užívaná SMPD	56
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	58
3.1	Analýza problému	58
3.1.1	Pohon dvojkolí	58
3.1.2	Brzdy	58
3.1.3	Ventilace	58
3.1.4	Spřáhlové ústrojí	59
3.2	Cíl práce	59
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	60

4.1	Pohon dvojkolí	60
4.1.1	Variante A	60
4.1.2	Variante B	61
4.1.3	Variante C	62
4.1.4	Výběr vhodné koncepční varianty pohonu dvojkolí	63
4.2	Krytí řetězů	64
4.2.1	Variant B1	64
4.2.2	Variant B2	64
4.2.3	Výběr vhodné koncepční varianty krytí řetězů	65
4.3	Brzdy	66
4.3.1	Varianta I	66
4.3.2	Varianta J	67
4.3.3	Varianta K	68
4.3.4	Varianta L	69
4.3.5	Výběr vhodné koncepční varianty brzd	70
4.4	Spřáhlové ústrojí	71
4.4.1	Varianta O	71
4.4.2	Varianta P	71
4.4.3	Varianta Q	73
4.4.4	Výběr vhodné koncepční varianty spřáhlového ústrojí	75
4.5	Ventilace	77
4.5.1	Varianta U	77
4.5.2	Varianta V	78
4.5.3	Varianta W	79
4.5.4	Výběr varianty ventilace	79
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	80
5.1	Mechanické vlastnosti používaných materiálů	80
5.2	Pohon dvojkolí	81
5.2.1	Převodovka	82
5.2.2	Řetězový převod	86
5.2.3	Krytí řetězových převodů	86
5.3	Brzdová jednotka	88
5.4	Spřáhlové ústrojí	90
5.4.1	Vypružovací zařízení	91
5.4.2	Dorazová deska	92
5.5	Ventilace strojovny	94

5.5.1	Žaluzie	94
5.6	Průběžné brzdové potrubí pneumatické brzdy SMPD	96
6	DISKUZE	97
7	ZÁVĚR	99
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	100
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	CHYBA!
	ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	
9.1	Příklady použitých fyzikálních veličin	Chyba! Záložka není definována.
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	104
11	SEZNAM TABULEK	109
12	SEZNAM PŘÍLOH	110

1 ÚVOD

Parkové železnice tvoří specifickou a divácky atraktivní odnož železničního modelářství, která umožňuje nejen stavbu zmenšených modelů, ale i reálný převoz cestujících. Téma této bakalářské práce jsem si zvolil na základě svého dlouhodobého členství ve Společnosti moravských parkových drah z. s. (dále jen SMPD), která zajišťuje provoz na Parkové dráze Brno (dále jen PDB). SMPD dlouhodobě trápí nedostatek provozních lokomotiv, který je způsobený jednak vlastněním nedostatečného počtu lokomotiv a zadruhé poruchovostí některých typů. Je proto na místě uvažovat o výrobě dalších kusů lokomotiv, které by tento nedostatek pokryly.

Volba optimalizovat provozní vlastnosti lokomotivy AEG byla provedena na základě její velmi dobré spolehlivosti, kdy nejčastějším důvodem k odstavení jsou vybité baterie na konci provozního dne. Vzhledem k tomu, že se tyto bateriové stroje ve vozovém parku SMPD konstrukčně velmi osvědčily a plní svou nenahraditelnou roli jakožto zácviková vozidla, stroje pro posun i vozbu vlakových souprav, tak není potřeba navrhovat pro druhou generaci vše od základů znovu. Cílem je zdokonalit to, co funguje, a zachovat přitom maximální rozměrovou a vzhledovou shodu se současným stavem.

Tato bakalářská práce si tak klade za cíl zhodnotit současné nedostatky těchto lokomotiv, které jsou v provozu již přes 15 let, a v co největší míře je u druhé generace odstranit. Mezi konkrétní dílčí úkoly patří především návrh nového funkčního brzdového systému, který umožní jak spolehlivé ruční zajištění lokomotivy, tak její brzdění pomocí tlakového vzduchu přes nově doplněné potrubí vzduchové brzdy. Dále je práce zaměřena na optimalizaci pohonu spočívající ve zmenšení znečišťování řetězových převodů, návrh uspořádání ventilace pro lepší průtok vzduchu uvnitř karoserie za účelem snížení vnitřní teploty během nabíjení a provozu, a v neposlední řadě také na zlepšení výkyvu i odpružení spřáhlového ústrojí.

Práce je rozdělena do několika navazujících částí. Po rešeršním přehledu, který mapuje současný stav lokomotiv AEG a řešených konstrukčních uzlů, následuje analýza provozních problémů a stanovení cílů. Na základě těchto cílů jsou vypracované koncepční varianty, ze kterých v konstrukční části vzešly finální návrhy konstrukce. Mezi těmito jednotlivými částmi postupně procházejí čtyři nejdůležitější témata této práce, tj. pohon dvojkolí, brzdy, spřáhlové ústrojí a ventilace.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Téma lokomotiv je velmi rozsáhlé, proto zde budou pokryty pouze oblasti vyplývající z zadaných cílů práce a popis současného provedení lokomotiv AEG, který bude místy rozšířen o doplňující informace s možným využitím v koncepční a konstrukční části práce.

2.1 Lokomotiva AEG

Lokomotivy typu AEG, určené pro parkovou železnici, byly vyráběny švýcarskou firmou Balson AG. V základu se jedná o bateriové rámové dvounápravové lokomotivy, které slouží pro vozbu lehčích vlakových souprav, posunovací výkony, a pro svou jednoduchou ovladatelnost jsou vhodné i jako výukové stroje pro nové strojvedoucí. I přes symetrické uspořádání lokomotivní skříně má lokomotiva svůj primární směr jízdy, jak je tomu například u některých typů tramvají (rozlišujeme přední a zadní čelo lokomotivy).

Jelikož si každý modelář nebo klub své lokomotivy postupně opravuje a vylepšuje, tak se další popis omezí pouze na tři kusy provozované SMPD:

- lokomotiva č. 4 s rozchodem dvojkolí 127 mm (Obr. 1)
- lokomotiva č. 6 s rozchodem dvojkolí 127 mm (Obr. 1)
- lokomotiva č. 9 s rozchodem dvojkolí 184 mm (Obr. 2)

Tyto tři kusy se rovněž mezi sebou mírně liší, ale až na rozdílný rozchod lokomotivy č. 9 jsou tyto změny minimální.



Obr. 1 lokomotiva č. 4 (modrá vlevo) a lokomotiva č. 6 (červená vpravo) s malým obslužným vozem [1]



Obr. 2 lokomotiva č. 9 s obslužným vozem typu hytlák na točně (zdroj: autor)

2.1.1 Dvojkolí

Dvojkolí je samostatný konstrukční celek, který se v základu skládá z nápravy a dvou nalisovaných kol. Avšak může být osazené dalšími přídavnými součástmi, jako například brzdové kotouče, části pohonu apod. Jeho hlavním parametrem je rozchod koleje, na kterém má být provozováno. [2]

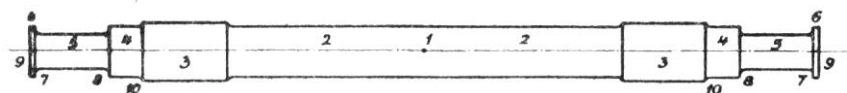
Hlavními funkcemi dvojkolí jsou:

- vést vozidlo v kolejovém kanálu,
- valením umožňovat pohyb a přenos brzdových (u hnacích vozidel i tažných) sil,
- nést tíhu vypružených částí vozidla a přenášet dynamické síly. [3]

Pro umožnění těchto funkcí jsou přídavnou součástí všech dvojkolí nápravová ložiska. [2]

Náprava

Jedná se o válcovou součást s odstupňovanými průměry na základě funkce a namáhání jednotlivých míst (schéma na Obr. 3). Hlavními částmi nápravy jsou sedla nábojů pro nalisování kol (3) a čepy pro nasazení nápravových ložisek (5). Náprava může obsahovat další sedla nábojů například pro nalisování brzdových kotoučů. Mezi těmito funkčními částmi se nachází dřík (2). [2]



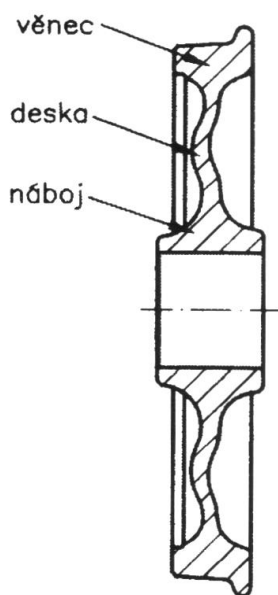
Obr. 3 schématické znázornění nápravy vozu [4]

1 – střed nápravy; 2 – dřík nápravy; 3 – sedlo nápravy; 4 – osazení nápravy; 5 – čep nápravy; 6 – růžice čepu; 7 – střední výkružek čepu; 8 – zadní výkružek čepu; 9 – čelo nápravy; 10 – výkružek osazení nápravy. [4] Prvky 6 až 7 sloužili pro kluzná ložiska a novější nápravy je již nemají.

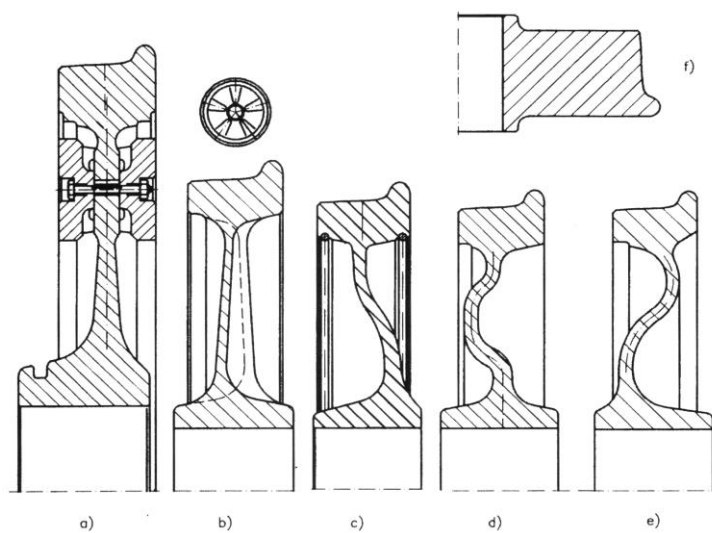
Kola

Dle konstrukce se dělí na následující tři typy:

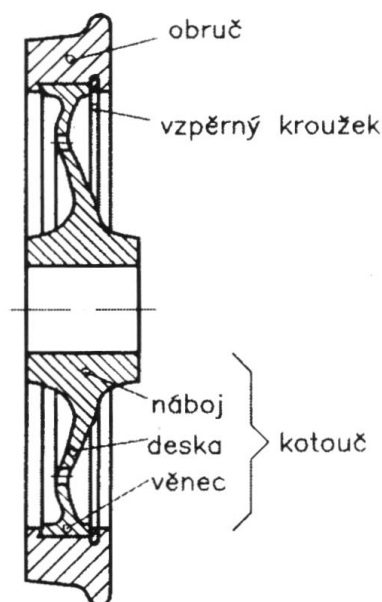
- Kola celistvá – vyráběná z jednoho kusu a skládající se ze tří částí viz Obr. 4. Deska může mít různé tvary podle účelu kola. Rovná deska slouží pro zabudování brzdových kotoučů (Obr. 5 a). Pro intenzivnější brzdění špalíkovou brzdou je deska prohnutá radiálně i obvodově (Obr. 5 b) nebo jen radiálně (Obr. 5 c, d, e). V případě kol velmi malých průměrů může být deska vypuštěna (Obr. 5 f).
- Kola obručová – skládající se z vnitřního kotouče a na něm zatepla natažené obruče s přesahem (schéma na Obr. 6). Celá sestava je zajištěna vzpěrným kroužkem.
- Kola složená – mezi kotoučovou a obručovou část jsou vloženy pryžové elementy (jedno z možných provedení je na Obr. 7). [2]



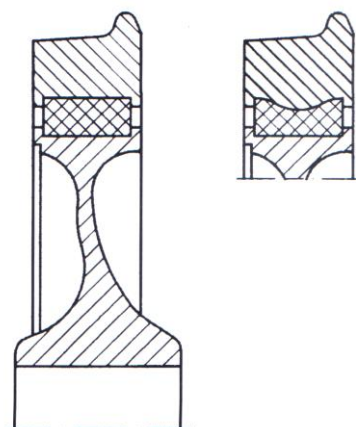
Obr. 4 celistvé kolo [2]



Obr. 5 tvary desky celistvého kola [2]



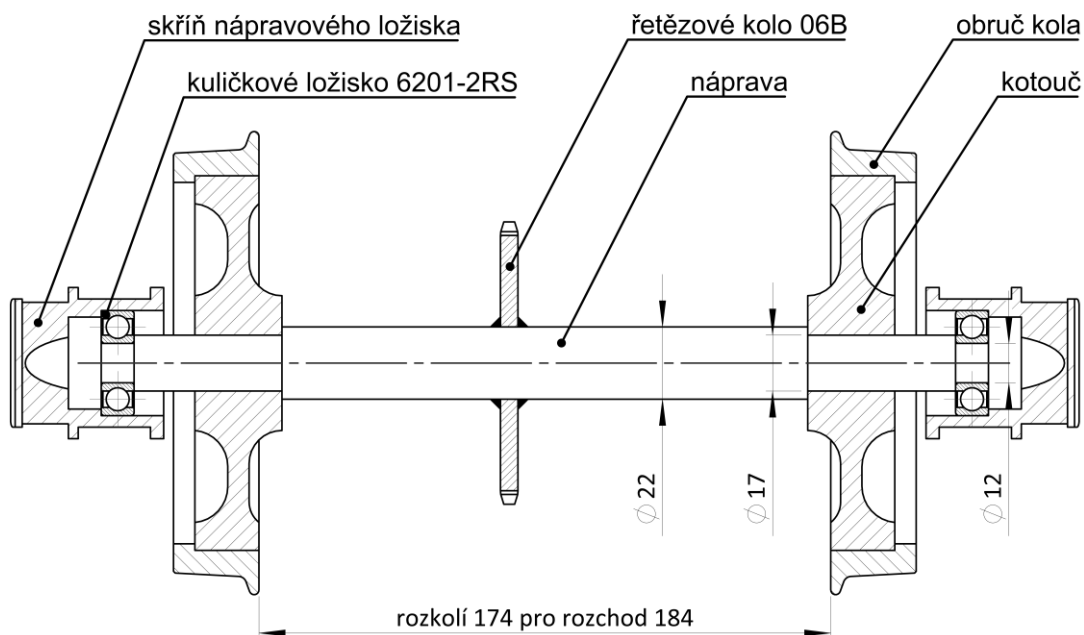
Obr. 6 obručové kolo [2]



Obr. 7 kolo s pryží typu BOCHUM [2]

Schéma provedení dvojkolí lokomotivy AEG je vyobrazené na Obr. 8. Dvojkolí existuje ve dvou provedení v závislosti na rozchodu lokomotivy. Jediný prvek, který obě verze dvojkolí rozlišuje je velikost rozkolí, kdy rozkolí pro rozchod 184 mm je 174 mm a pro rozchod 127 mm je 117 mm.

Používané jsou obručová i celistvá kola (v závislosti na verzi), která nejsou ovšem nalisována na sedlech na nápravě, ale na osazení nápravy. Náprava na sobě nemá žádné sedla, takže řetězové kolo je k ní přivařeno v místě dřívku nápravy. Na čepech jsou osazena kuličková ložiska 6201-2RS.



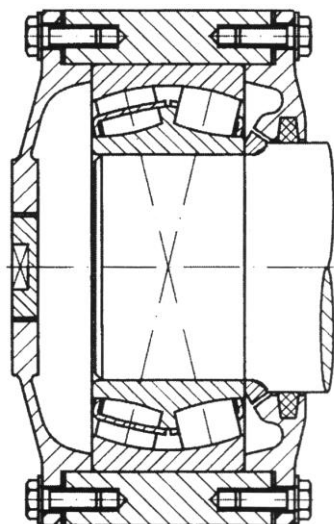
Obr. 8 schéma dvojkolí lokomotivy AEG pro rozchod 184 mm (zdroj: autor)

2.1.2 Nápravová ložiska

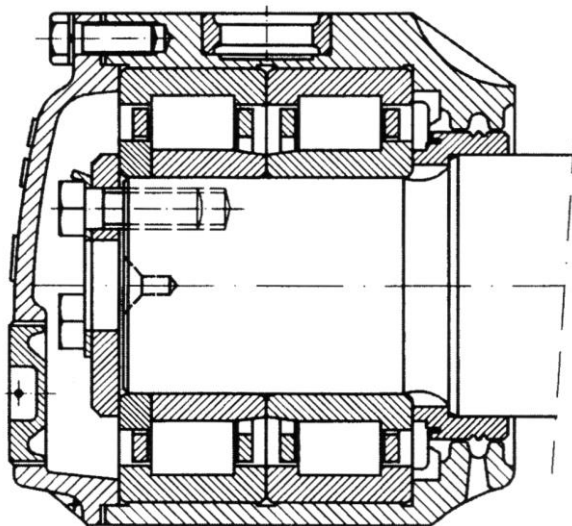
Hlavní funkcí nápravových ložisek je přenos všech sil (svislých, vodorovných podélných i příčných, statických i dynamických) z dvojkolí přes ložiskovou skříň na rám podvozku nebo skříní vozidla. Zároveň jsou na ně kladeny požadavky na velkou provozní životnost, spolehlivost, nízký součinitel tření, malé jízdní odpory, snadnou kontrolu a údržbu. [2]

V běžném železničním provozu se dnes používají zejména ložiska:

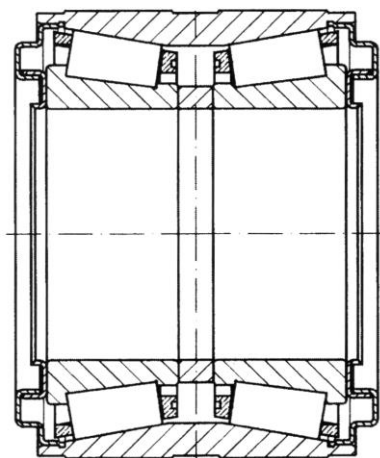
- dvouřadá soudečková (naklápěcí) ložiska – lze u nich provádět kontrolu oběžných drah pomocí vyklopení vnějšího kroužku (uložení na nápravě je na Obr. 9),
- jednořadá válečková ložiska – umožňují jistý osový posuv přímo v ložisku (uložení na nápravě je na Obr. 10),
- kuželíková ložiska – nejčastěji ve formě tzv. ložiskových kuželíkových jednotek (příklad kuželíkové jednotky na Obr. 11). [2]



Obr. 9 dvouřadé soudečkové ložisko na nápravě [2]



Obr. 10 dvě jednořadá válečková ložiska na nápravě [2]



Obr. 11 ložisková jednotka TBU (SKF) [2]

Na lokomotivě AEG jsou používány standartní kuličková ložiska 6201-2RS (viz Obr. 8) pro jejich příznivé rozměry.

V Tab. 1 je srovnání základních dynamických únosností, základních statických únosností a cen jednotlivých typů ložisek pro vnitřní průměr 20 mm (průměr je zvolen jako nejbližší možný k průměru 12 mm čepu nápravy tak, aby pro něj byly vyráběny všechny typy porovnávaných ložisek). U každého typu ložiska je vybráno vždy nejlevnější ložisko od výrobce SKF.

Typ Označení	Rozměry (v mm)	Základní dynamická únosnost	Základní statická únosnost	Cena
Soudečkové ložisko SKF 22205/20 E	d = 20; D = 52; B = 18 ^{a)}	49,9 kN ^{a)}	44 kN ^{a)}	2 039 Kč ^{b)}
Válečkové ložisko SKF NJ 204 ECP	d = 20; D = 47; B = 14 ^{c)}	28,5 kN ^{c)}	22 kN ^{c)}	711 Kč ^{d)}
Kuželíkové ložisko SKF 30204/VA983	d = 20; D = 47; B = 15.25 ^{e)}	29,6 kN ^{e)}	28,5 kN ^{e)}	184 Kč ^{f)}
Jed. kul. ložisko SKF 6204	d = 20; D = 47; B = 14 ^{g)}	13,5 kN ^{g)}	6,55 kN ^{g)}	77 Kč ^{h)}
^{a)} údaje převzaté z [5]; ^{b)} údaje převzaté z [6]; ^{c)} údaje převzaté z [7]; ^{d)} údaje převzaté z [8]; ^{e)} údaje převzaté z [9]; ^{f)} údaje převzaté z [10]; ^{g)} údaje převzaté z [11]; ^{h)} údaje převzaté z [12]				

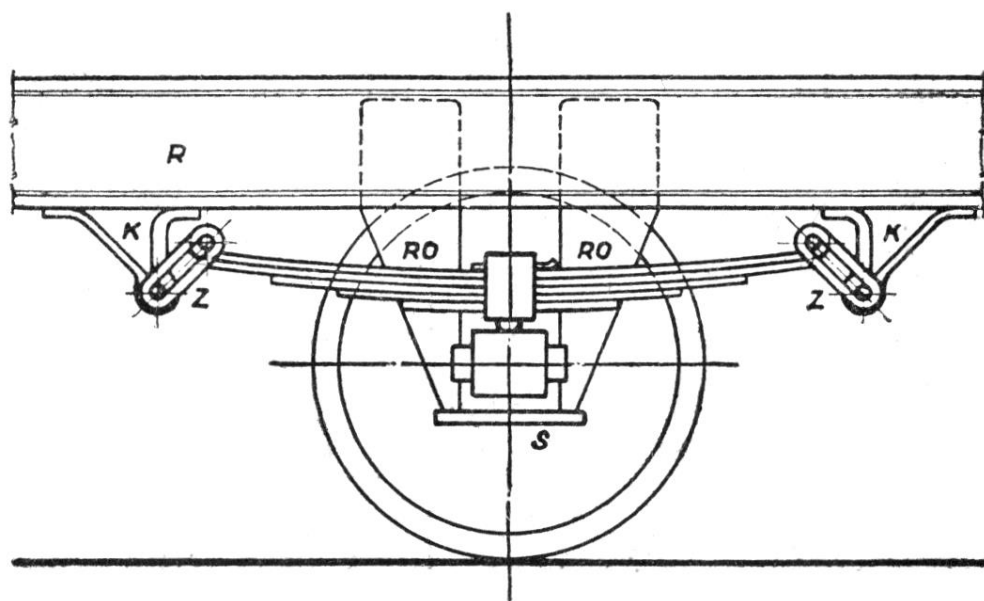
Tab. 1 porovnání typů ložisek užívaných na železničních dvojkolích (zdroj: vlastní zpracování)

2.1.3 Vypružení a vedení dvojkolí

Vypružení dvojkolí má za úkol v co možná největší míře tlumit veškeré rušivé pohyby svislé, příčné a podélné mezi dvojkolím a vozovou skříní. Tyto rušivé pohyby vznikají nepravidelnostmi kolejí (přejíždění styků, srdcovek apod.). [4]

Vedení ložiskových skříní (vedení dvojkolí) musí umožňovat ono vypružení a zároveň přenášet podélné síly mezi rámem podvozku a dvojkolím. Oba konstrukční celky proto do jisté míry na sebe navazují. [3]

U lokomotiv AEG je vypružení provedeno jednoduchou listovou pružnicí, která je spojena s ložiskovou skříní pomocí šroubu vedeného skrz celý opasek. Na opačné straně je pružnice zavěšena pomocí oblých závěsek (Z) na konících (K), kteří jsou šrouby spojeni s rámem lokomotivy (R). Vedení ložiskové skříně je zajištěno rozsochami (RO), které jsou přišroubované k rámu skříně (R). Spodní spojení rozsoch je provedeno pomocí spodního ochranného opásání na místo spony rozsoch (S). Schématické provedení je na Obr. 12 a reálné provedení je na Obr. 13.



Obr. 12 schéma jednoduchého vypružení dvounápravového vozu [4]

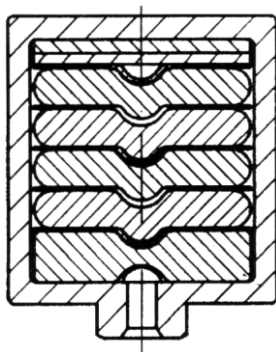


Obr. 13 vypružení a vedení nápravy lokomotivy AEG (zdroj: autor)

Pro snížení opotřebení a zlepšení kluzných vlastností jsou ložiskové skříně vyráběny v provedení s hranolovými pravítky (pravítka jsou kalena) a jejich protilehlé plochy jsou vybavené bronzovým obložením. [13]

Rozsochové vedení je jedním z nejstarších a pochází z parních lokomotiv. Své uplatnění nachází u posunovacích a průmyslových lokomotiv s nižšími nároky na rychlost a kvalitu jízdních vlastností. [13]

Vzájemné propojení pružnic pomocí šroubu je poměrně atypické, protože otvory v listových pružinách vytvářejí koncentrátoři napětí. V běžné železniční praxi jsou pružiny mezi sebou propojeny ve středu pomocí kulové jamky na vrchní straně a kulového vrchlíku na straně spodní (řez svazkem pružnic na Obr. 14). [4]



Obr. 14 řez svazkem pružnic v opasku [2]

2.1.4 Brzdy

Lokomotiva AEG má k dispozici elektrodynamickou a špalíkovou třecí brzdu.

Elektrodynamická brzda

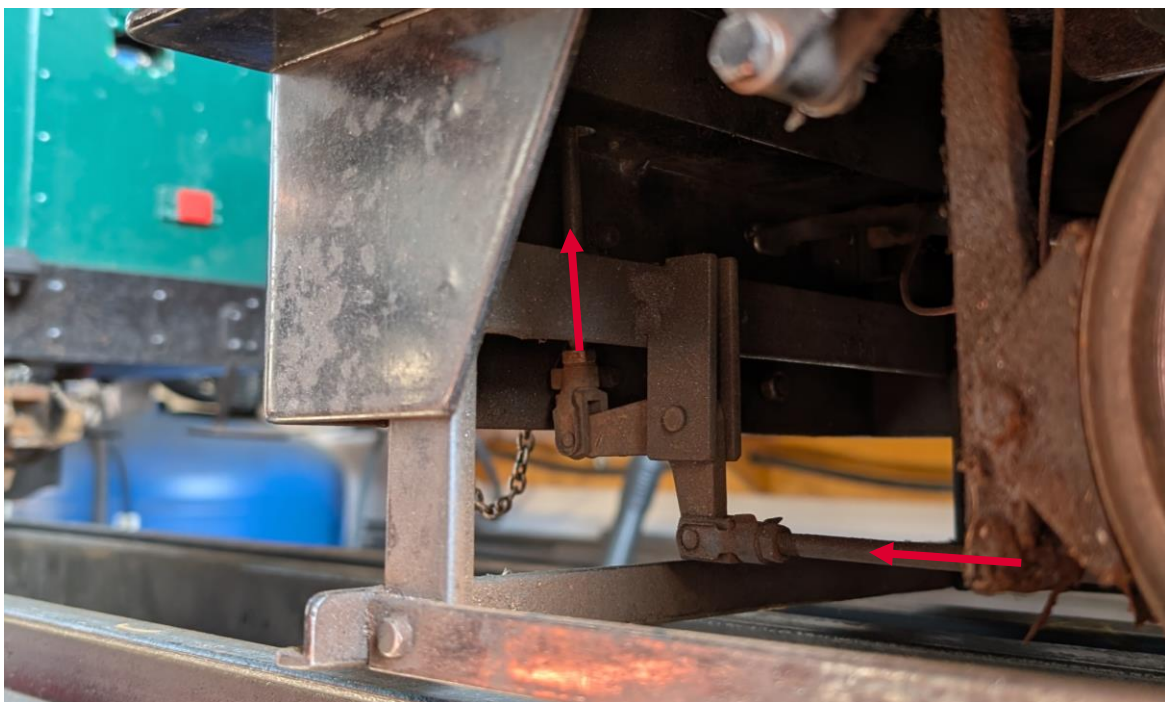
Slouží jako primární brzda, neb začne působit okamžitě po zadání požadavku od strojvedoucího na snížení rychlosti. Její princip je popsán v kapitole 2.2.5 Elektrodynamická brzda. Zde nedochází k maření elektrické energie v odpornících, ale probíhá rekuperace do trakčních baterií.

Špalíková třecí brzda

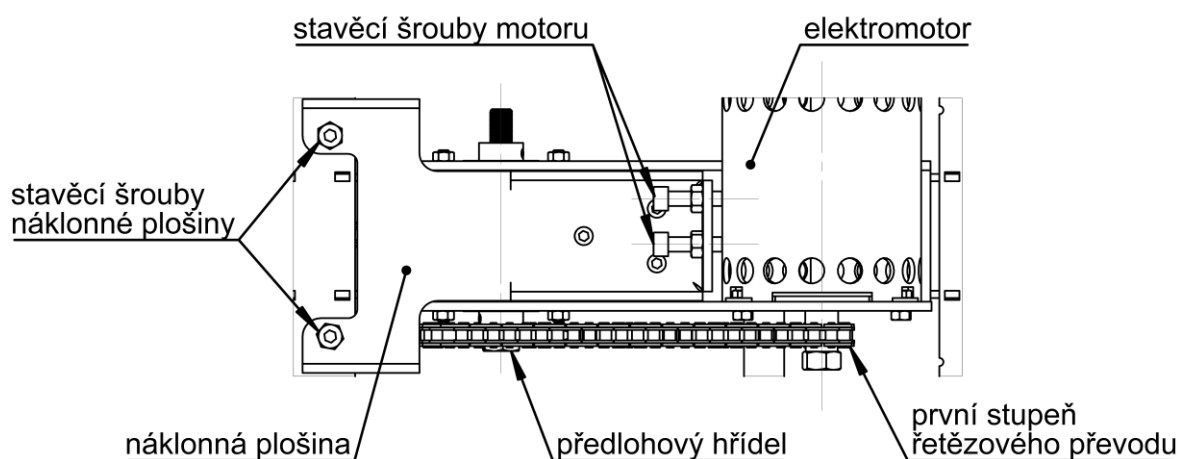
Na rozdíl od předešlé je tato brzda spíše doplňková a měla by sloužit k zajištění stojící lokomotivy. Zdrojem brzdné síly je páka na zadní straně lokomotivy (Obr. 15). Od ní je brzdná síla nejdříve přepákováná z vertikální do horizontální roviny pomocí páky na Obr. 16 a následně přivedena táhlem na soustavu letmo pák (Obr. 17). Odsud je dále vedena pomocí brzdového tyčový na brzdové zdrže. Směrování brzdné síly je na obrázcích znázorněno pomocí červených šipek. Princip špalíkové brzdy je podrobněji popsán v kapitole 2.2.3 Špalíková brzda.



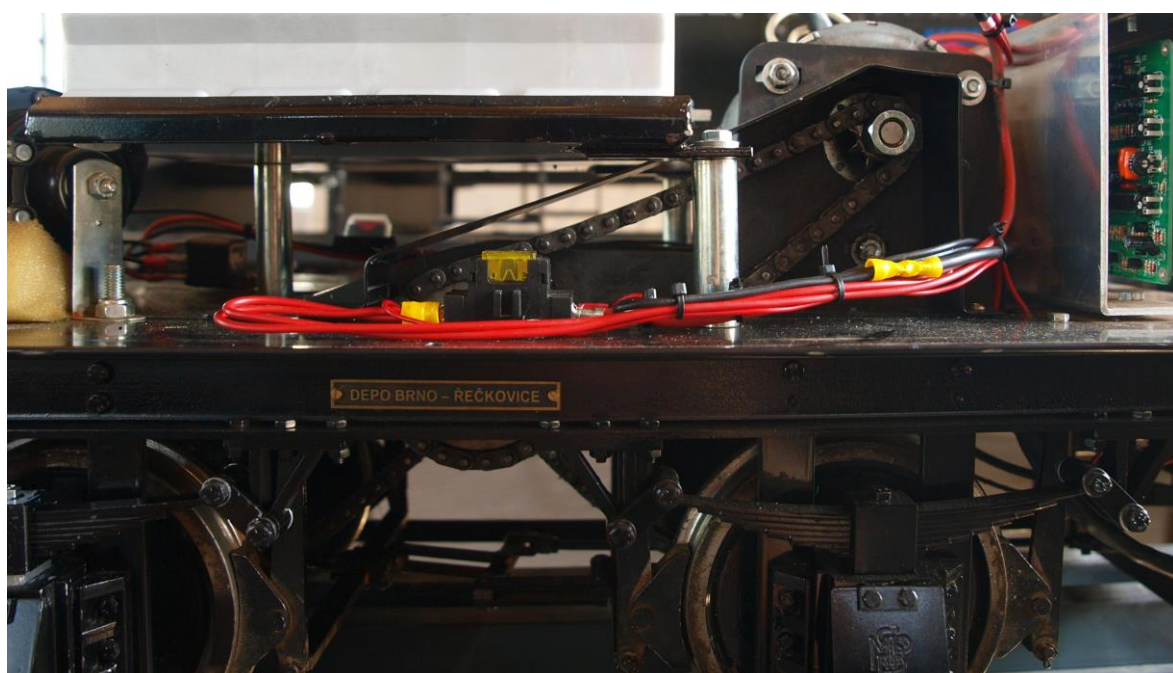
Obr. 15 Ovládací páka brzdy na zadní straně lokomotivy (zdroj: autor)



Obr. 16 přepákování z vertikální do horizontální roviny (zdroj: autor)



Obr. 19 schéma náklonné plošiny s elektromotorem (zdroj: autor)



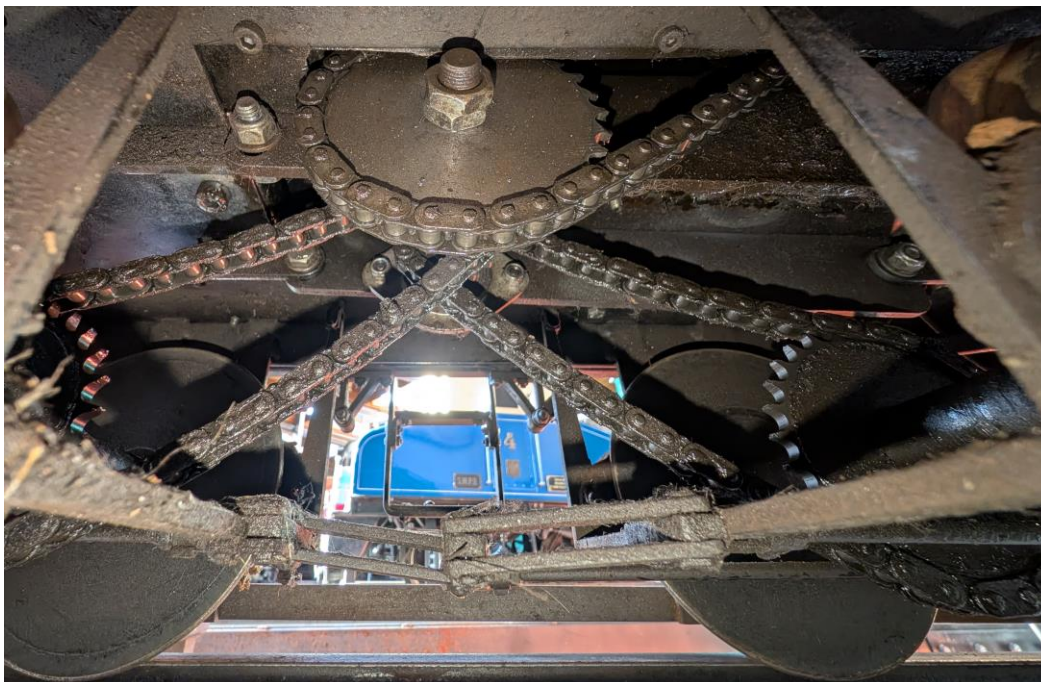
Obr. 20 praktické provedení prvního stupně řetězového převodu [14]

Druhý stupeň se nachází mezi předlohovým hřídelem s řetězovým kolem o 13 zubech a nápravou s řetězovým kolem o 27 zubech. Každá náprava má svůj řetězový převod a k vzájemnému mechanickému propojení dochází na předlohovém hřídeli. Napínání obou řetězů náprav probíhá společně pomocí naklápění náklonné plošiny, které je řízené stavěcími šrouby náklonné plošiny (viz Obr. 18). Řetězy jsou nikterak chráněné proti okolnímu prostředí, jak je patrné na Obr. 17.

Všechny tři řetězové převody jsou periodicky mazány pomocí oleje.

Celkový převodový poměr mezi elektromotorem a nápravami je:

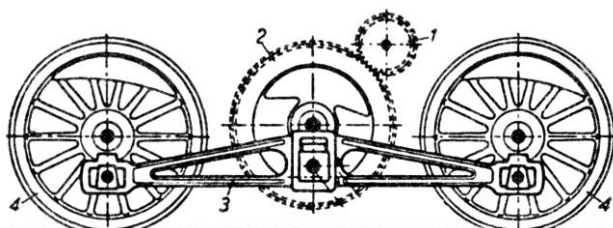
$$i_{\text{soucasny}} = \frac{z_{\text{soucasny-h1}}}{z_{\text{soucasny-m1}}} \cdot \frac{z_{\text{soucasny-n2}}}{z_{\text{soucasny-h2}}} = \frac{27}{9} \cdot \frac{27}{13} = 6,231 \quad (1)$$



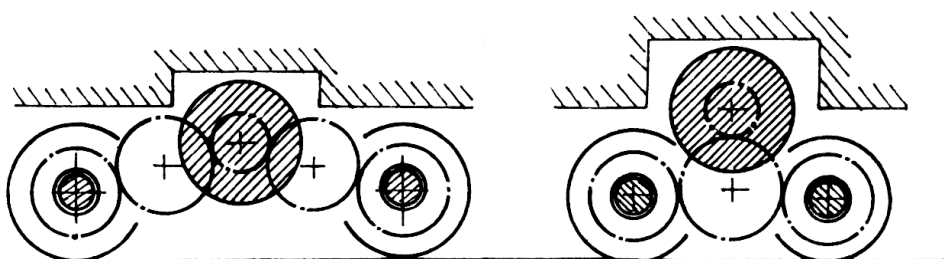
Obr. 21 vedení řetězového převodu mezi předlohovým hřídelem a dvojkolími (zdroj: autor)

Podle značení uvedeném v literatuře [3] se jedná o koncepci uspořádání dvojkolí typu B (rámové 2-nápravové vozidlo se skupinovým pohonem obou dvojkolí). Nicméně provedení pohonu dvojkolí prostřednictvím řetězového převodu je u konstrukce kolejových vozidel poměrně speciální záležitostí [13]. Zde jsou příklady běžnějších koncepcí dvounápravových skupinových pohonů uvedených v [13]:

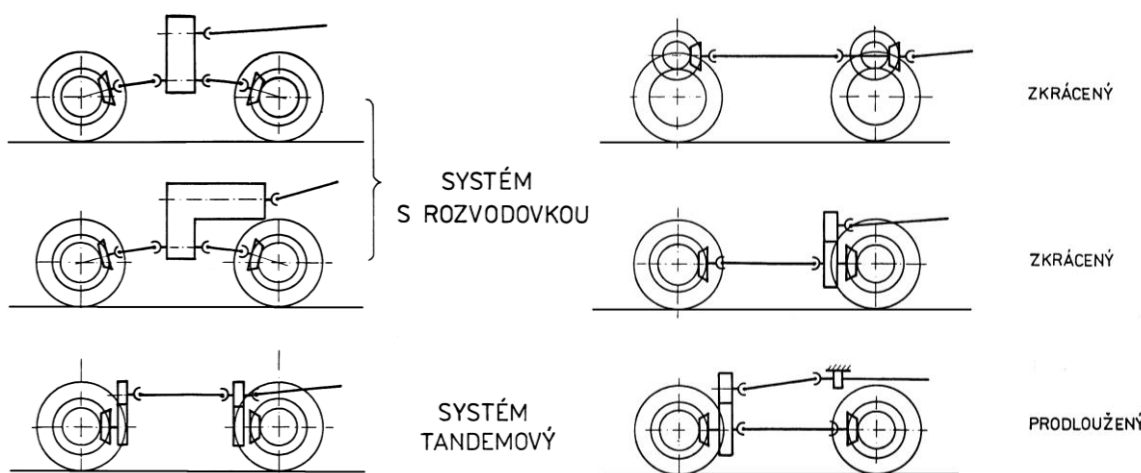
- spojnicový pohon dvojkolí (vycházející z parních lokomotiv) na Obr. 22,
- pohon soustavou čelních ozubených kol na Obr. 23 (užívaný firmou Alstom),
- pohon pomocí kloubových hřídelů a převodovek na Obr. 24 (užívaný Čs. vagonkou).



Obr. 22 spojnicový pohon dvojkolí [13]



Obr. 23 pohon dvojkolí od motoru s příčnou osou upevněného na rámu podvozku [13]



Obr. 24 pohon dvojkolí od motoru s podélnou osou upevněného na skříni vozidla [13]

2.1.6 Trakční výkon

Zdrojem trakčního výkonu je v případě lokomotivy AEG elektromotor F006 B10 267 od značky BOSCH (Obr. 25). Jedná se o stejnosměrný elektromotor pracující na napětí 24V. Výstupní hřídel se závitem M12. Další technické údaje o tomto elektromotoru buď nejsou k dispozici nebo jsou sporné.



Obr. 25 elektromotor BOSCH F006 B10 267 (zdroj: autor)

Pro potřeby konstrukční části práce jsou tyto technické údaje zcela nedostatečné. Na Mezinárodním strojírenském veletrhu 2025 byl proto proveden průzkum možných výrobců stejnosměrných motorů na 24V. Výsledkem bylo nalezení čtyř výrobců/dodavatelů (získané produktové katalogy jsou na Obr. 26). Z jejich portfolia bude v konstrukční části vybrán vhodný alternativní elektromotor.



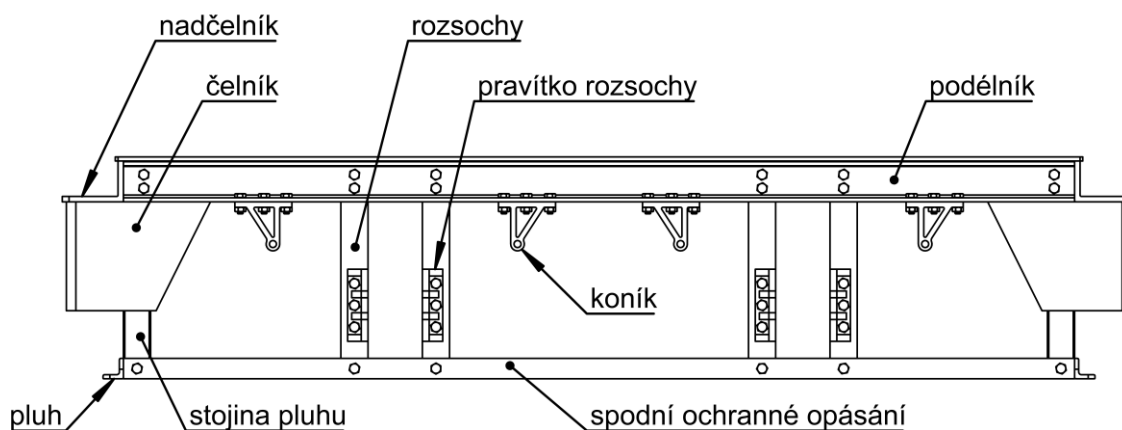
Obr. 26 výrobci stejnosměrných motorů (zdroj: autor)

2.1.7 Lokomotivní skříň

Lokomotivní skříň AEG tvoří svařovaný hlavní rám, na kterém je umístěna odnímatelná kapota. Jedná se tedy o kapotovou koncepci používanou u posunovacích lokomotiv [15]. Proporcionální tvar skříňe vychází z modelové předlohy lokomotivy (viz kapitola 2.1.10 Modelová předloha) k jejímuž vzhledu se snaží maximálně přiblížit.

Hlavní rám

Základní úlohou hlavního rámu je přenos podélných síly od spřáhla a svislých sil od zařízení strojovny. Tvoří ho svařenec z U profilů, L profilů, pásovin a plechů. Nejsou u něj kladeny požadavky na hmotnostně úspornou konstrukci. Ba naopak se ve strojovně nachází dva bloky závaží (na Obr. 37 a Obr. 40) úmyslně navyšující hmotnost lokomotivy na celkovou hrubou hmotnost vozidla 104,8 kg, jak vyplývá z vážného lístku na Obr. 28. Schémata konstrukce rámu z různých pohledů jsou na Obr. 27, Obr. 29 a Obr. 30.

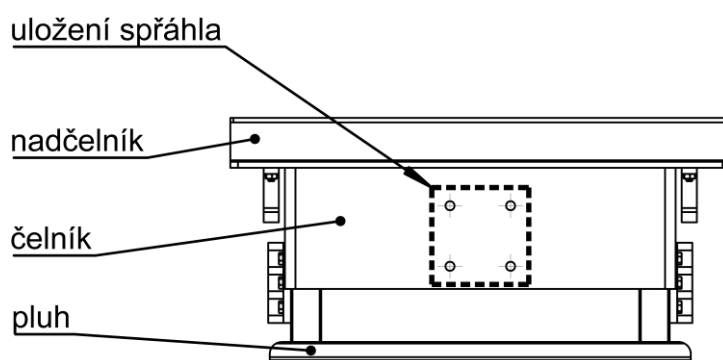


Obr. 27 rám lokomotivy z bočního pohledu (zdroj: autor)

VÁŽNÍ LÍSTEK	
Parková dráha Olympia Brno – kolejová váha v rotundě	
vozidlo (model):	AEG 9
HMOTNOST	
podvozek 1:	
podvozek 2:	
celkem:	94,1 kg
	max. zatížení 104,8 kg (7.10.2014)
vážení provedl:	Karolína
datum:	14.8.2016

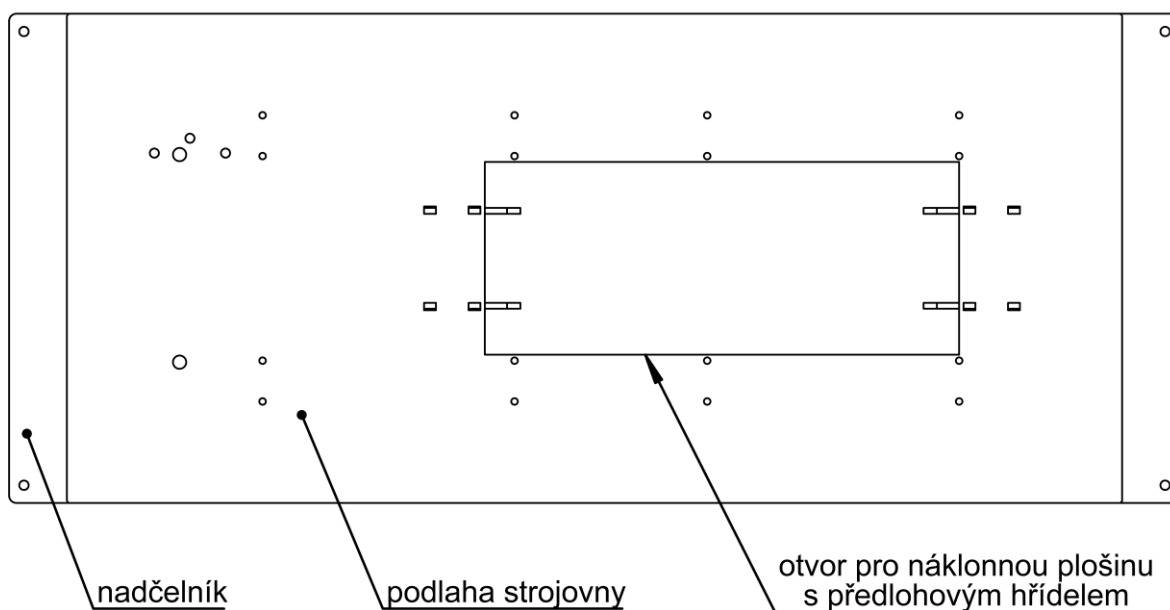
Obr. 28 vážní lístek lokomotivy č.9 (zdroj: autor)

Na čelním pohledu (Obr. 29) je vidět prostor pro upevnění spřáhlového ústrojí. Ve spodní části se nalézá pluh sloužící zejména jako ochrana v při vykolejení, kdy lokomotiva dosedne na něj a zamezí se tak poškození řetězového převodu.



Obr. 29 rám lokomotivy z čelního pohledu (zdroj: autor)

Součástí plechu podlahy strojovny (na Obr. 30) je mnoho otvorů sloužících pro upevňování pomocných zařízení a umožnění uložení náklonné plošiny.



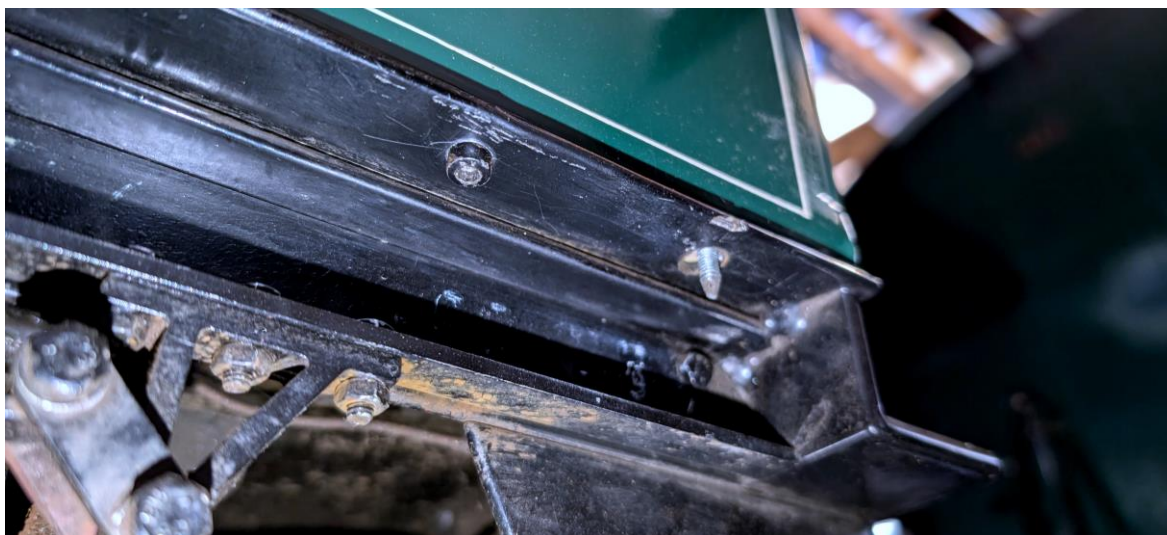
Obr. 30 rám lokomotivy z pohledu shora (zdroj: autor)

Kapota

Kapotu tvoří lehký plechový svařenec s dekorativními prolisy a otvory pro okna (jejich detail je na Obr. 31). Kvůli zajištění přístupu do strojovny je kapota oddělovací a s hlavním rámem je spojena pomocí čtyř šroubů M4 umístěných v rozích (Obr. 32). Vedle každého šroubu se nalézá hrot, který pomáhá vystředovat kapotu při jejím nasazování. Součástí kapoty jsou dále čtyři reflektory umístěné po dvou na čelech (detail na Obr. 33), dekorativní černá madla a na střeše je umístěna maketa pantografu.



Obr. 31 detail prolisů a otvorů na kapotě (zdroj: autor)



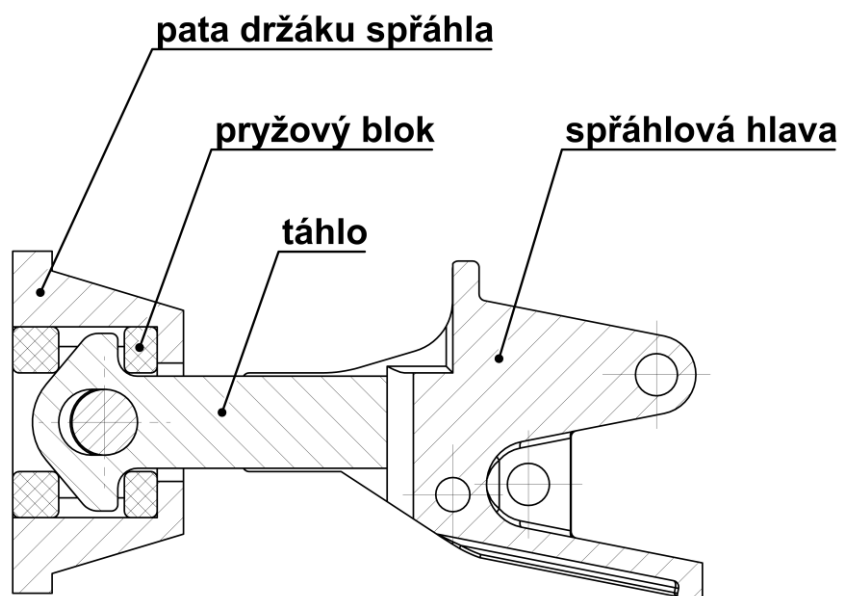
Obr. 32 naváděcí hrot a spojovací šroub kapoty s hlavním rámem (zdroj: autor)



Obr. 33 detail reflektoru na čele lokomotivy (zdroj: autor)

2.1.8 Spřáhlové ústrojí

Problematickou spřáhlového ústrojí obecně se zabývá samostatná kapitola 2.4 Spřáhlové ústrojí. Proto je následující popis zaměřen pouze na technické provedení spřáhla lokomotiv AEG, jehož schéma je na Obr. 34 a praktické provedení na Obr. 35.



Obr. 34 schéma spřáhlového ústrojí lokomotivy AEG (zdroj: autor)



Obr. 35 praktické provedení spřáhlového ústrojí na lokomotivě č.9 (zdroj: autor)

Sestav spřáhla se skládá z hlavy spřáhla (provedení dle rozchodu lokomotivy), která je připevněná na táhle. Mezi táhlem a patou držáku spřáhla se nachází čtyři pryžové prvky, které by zde měli plnit roly vykrúžovacího zařízení. Pata držáku spřáhla je přišroubována pomocí čtyř šroubů M6 na čelník lokomotivy.

2.1.9 Pomocná zařízení a součásti

Do této podkapitoly byly zařazeny všechny další části lokomotivy, jejichž rozměrové parametry nebo místo umístění je třeba vzít v potaz při návrhu vnitřního spořádání.

Regulátor otáček elektromotoru

Zpracovává analogové signály odesílané strojvedoucím z obslužného vozu pomocí kontrolérů. Tyto signály se do lokomotivy dostávají drátovým přenosem přes konektor umístěným na zadní straně lokomotivy (Obr. 36). Regulátor na základě těchto signálů zvyšuje/snižuje otáčky elektromotoru anebo mění jejich smysl (jízda vpřed/vzad). Při tomto procesu v něm vzniká ztrátové teplo, které je odváděno hliníkovou skříní na ocelová závaží a přes rám lokomotivy dochází k jeho rozptýlení do okolního vzduchu. Hliníková skříň s okolním ocelovým závažím je na Obr. 37.



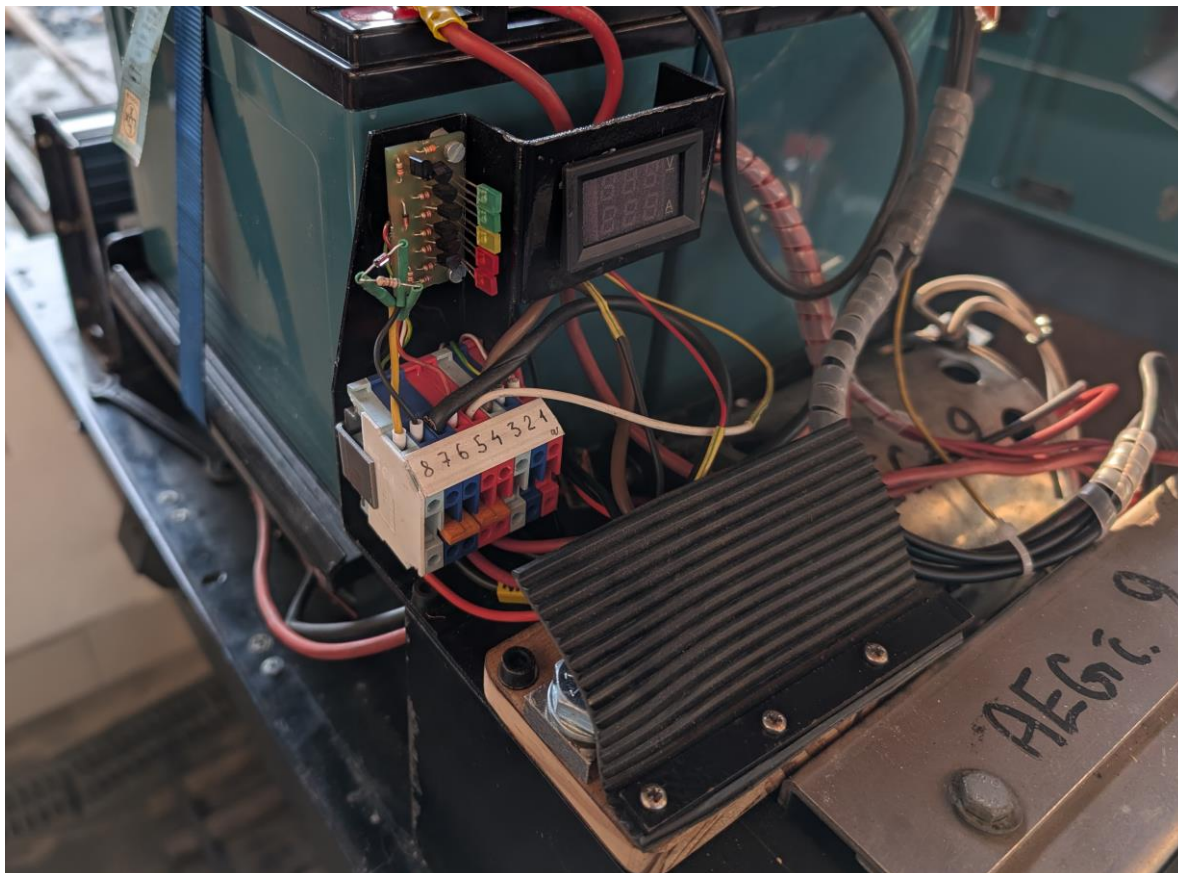
Obr. 36 konektoru dálkového řízení (vpravo) a vypínač předních reflektorů (vlevo) (zdroj: autor)



Obr. 37 hliníková skříň regulátoru připevněná na ocelovém závaží (zdroj: autor)

Centrální svorkovnice

Úlohou svorkovnice (na Obr. 38) je zajištění propojení vodičů různých elektrických obvodů lokomotivy tak, aby bylo toto zapojení přehledné.

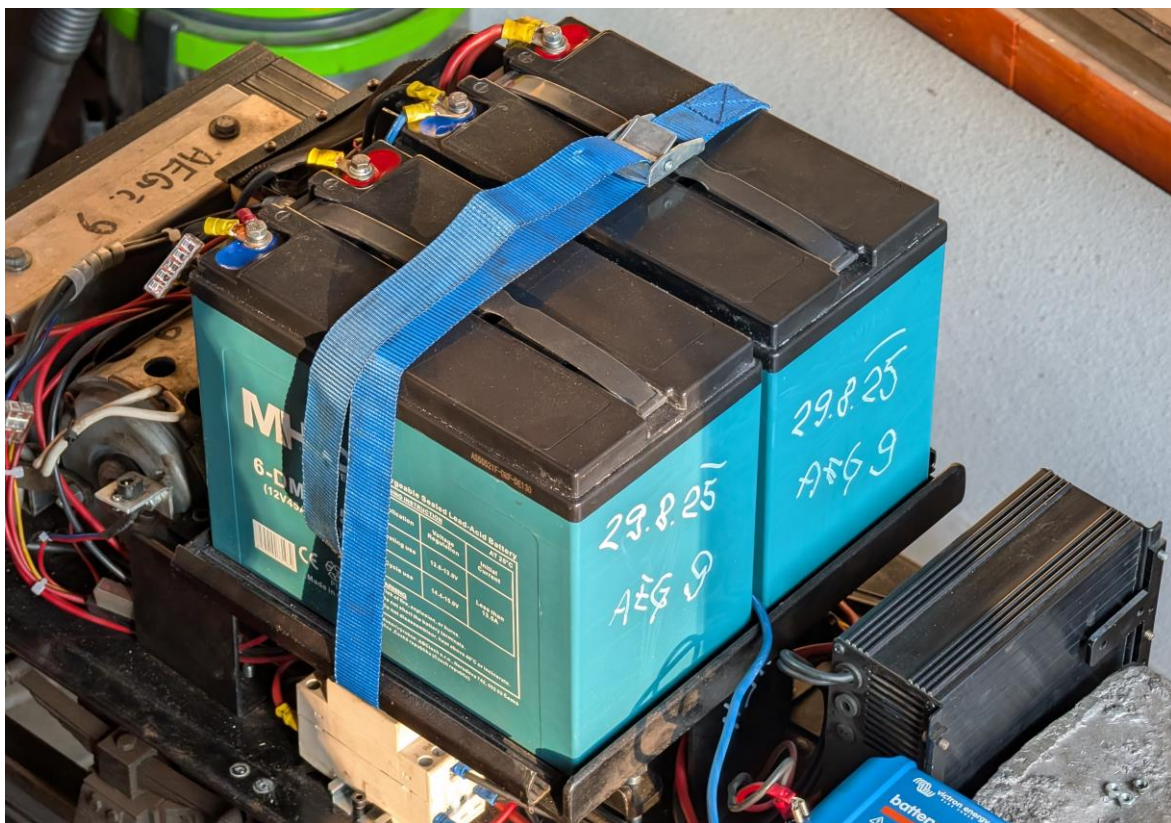


Obr. 38 centrální svorkovnice lokomotivy AEG se svorkami uchycenými pomocí DIN lišty (zdroj: autor)

Trakční baterie

Lokomotiva ke svému provozu vyžaduje zdroj elektrické energie o napětí 24 V. Za tímto účelem se ve strojovně nalézají dvě trakční olověné baterie každá o jmenovitém napětím 12 V. Společně jsou zapojené do série s výsledným napětím 24 V.

Kvůli snaze o zvýšení maximálního dojezdu lokomotivy došlo postupně k několikaletým obměnám výrobců baterií. V současné době jsou používány baterie MHPower 6-DMF-45 (Obr. 39) doplněné o bateriový balancér (Obr. 40) pro vyrovnávání případného nevyváženého napětí baterií.



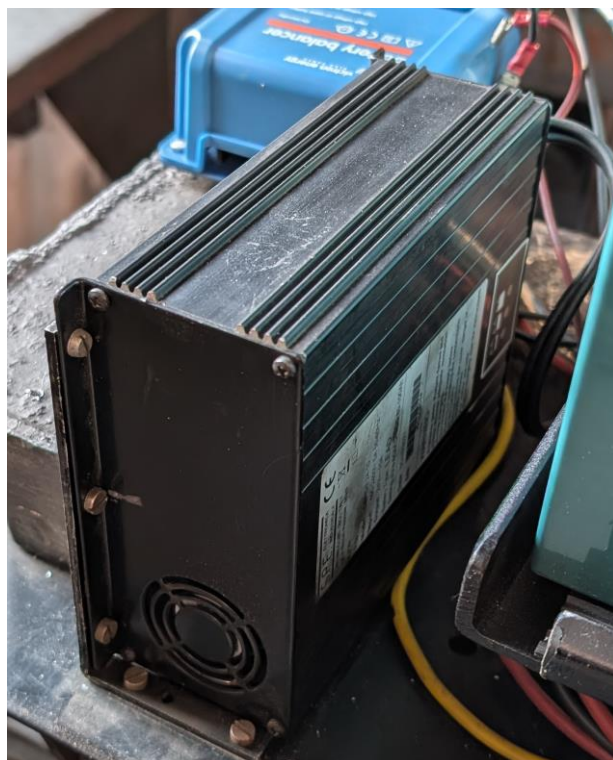
Obr. 39 baterie instalované ve strojovně lokomotivy (zdroj: autor)



Obr. 40 bateriový balancér umístěný na předním olověném závaží (zdroj: autor)

Nabíječka

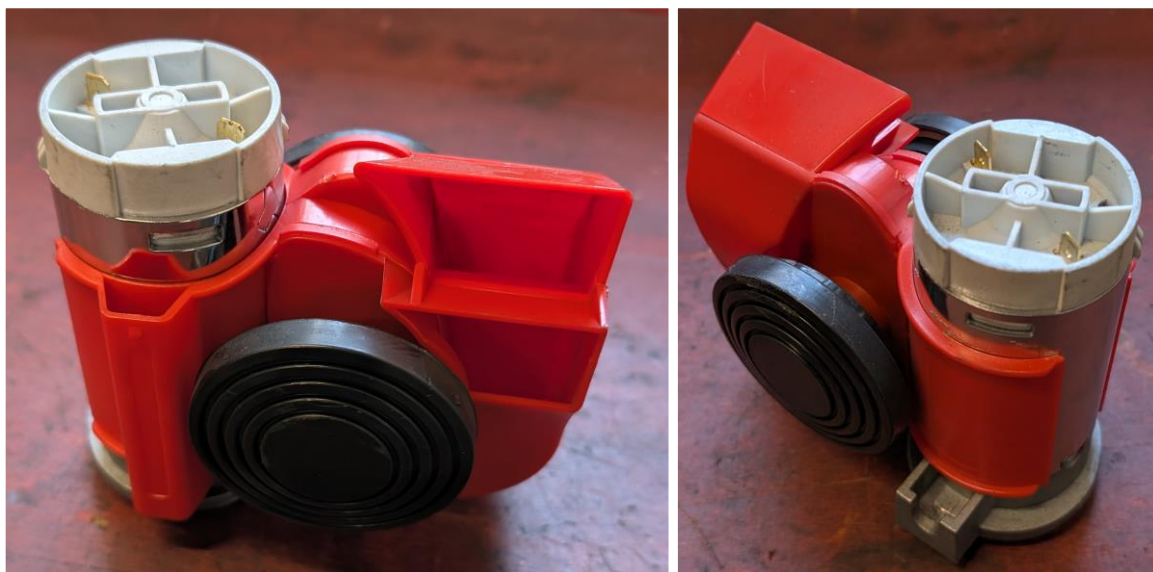
Pro umožnění dobíjení baterií po skončení provozního nasazení je lokomotiva vybavená nabíječkou na Obr. 41.



Obr. 41 nabíječka baterií (zdroj: autor)

Lokomotivní houkačka

Účelem lokomotivní houkačky je vydávání akustických signálů. Ať už pro potřeby zvukových signálů vyplývajících z dopravních a návěstních předpisů, anebo pro varování lidí před možným nebezpečím. Lokomotiva používá pneumatickou houkačku s integrovaným malým kompresorem (Obr. 42).



Obr. 42 houkačka lokomotivy AEG (zdroj: autor)

2.1.10 Modelová předloha

Parková lokomotiva AEG byla zkonstruována na základě dvou existujících úzkorozchodných lokomotiv provozovaných na dráze Mixnitz - St. Erhard v Rakousku s rozchodem 760 mm [16]. Konkrétně se jedná o lokomotivy MStE E 1 a MStE E 2 vyrobené firmou AEG v roce 1913 [17]. Lokomotiva v původním provedení je na Obr. 43 a Obr. 44.



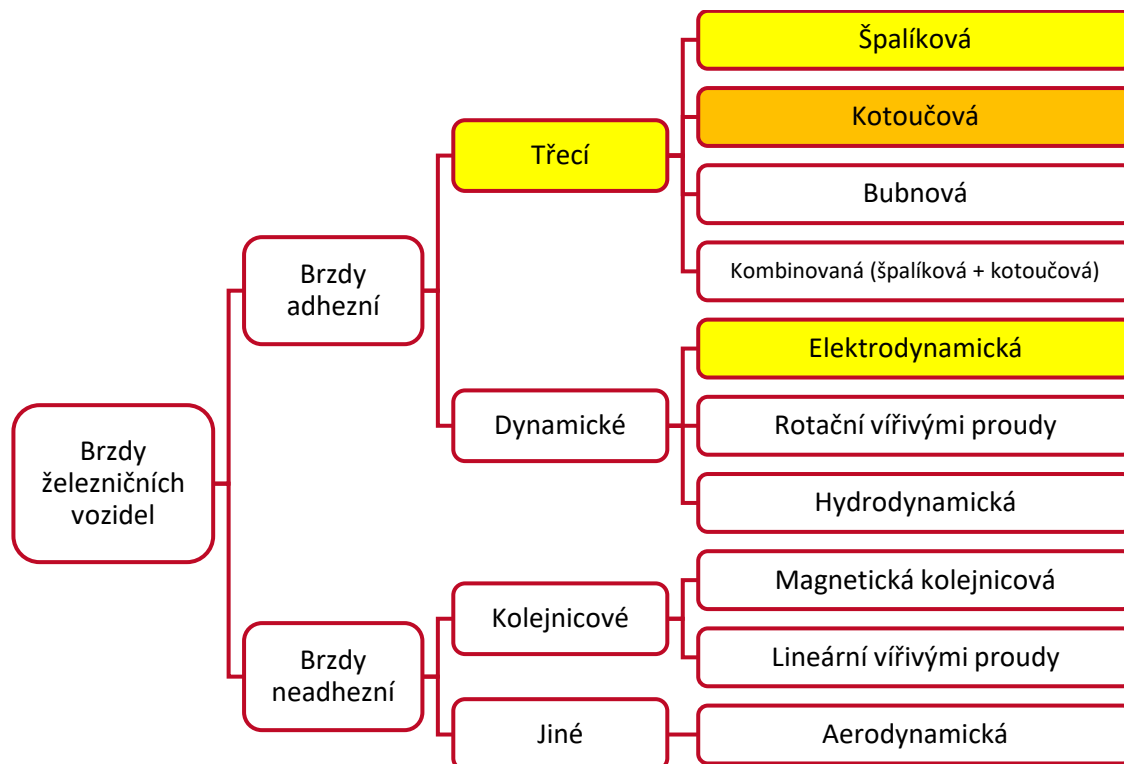
Obr. 43 lokomotiva od firmy AEG v čele vlaku [18]



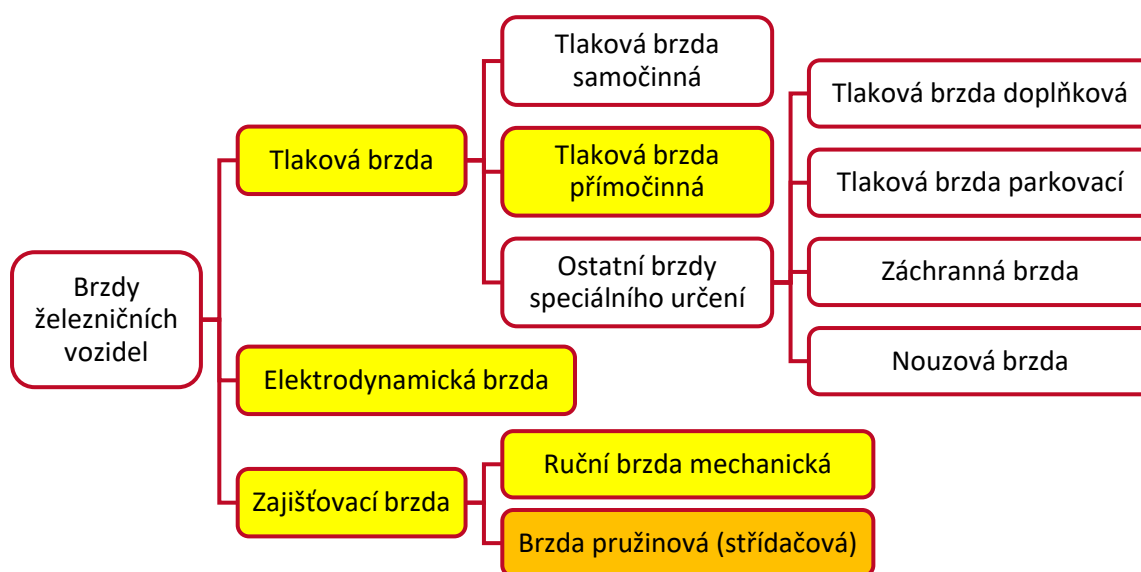
Obr. 44 lokomotiva od firmy AEG [18]

2.2 Brzdy kolejových vozidel

Z pohledu bezpečnosti jsou brzdy jedním z nejdůležitějších subsystémů kolejových vozidel, protože umožňují regulovat rychlost jedoucího vlaku/vozidla až do jeho úplného zastavení a v tomto stavu ho bezpečně zajistit proti samovolnému rozjetí. [15]



Obr. 45 Brzdy železničních kolejových vozidel [15] (upraveno)

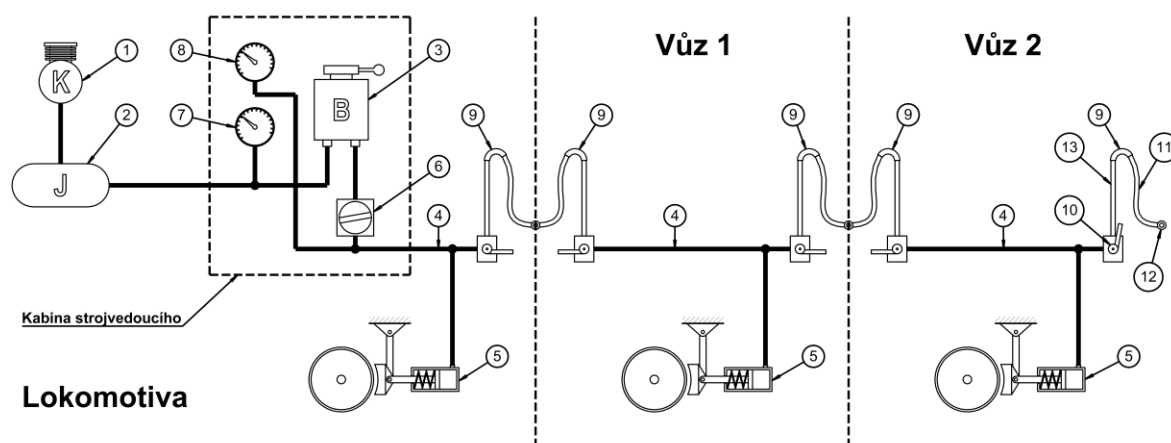


Obr. 46 Rozdělení brzd podle zdroje brzdné síly [15] (upraveno)

Během vývoje železnice vzniklo mnoho různých brzdových systémů jejichž rozdělení je znázorněné na Obr. 45 a Obr. 46. Pro zestručnění této kapitoly jsou v následujících podkapitolách popsány typy brzd užívané v SMPD (na Obr. 45 a Obr. 46 zvýrazněny žlutou barvou) s rozšířením o brzdy s potencionálním využitím v koncepční části (na Obr. 45 a Obr. 46 zvýrazněny oranžovou barvou).

2.2.1 Pneumatická brzda užívaná SMPD

Hlavním účelem této pneumatické brzdné soustavy je umožnit brždění všech vozů a lokomotiv, které jsou součástí vlakové soupravy. Funguje na principu tlakového vzduchu (schéma na Obr. 47), který je dodáván kompresorem (1) do vzduchové jímky (vzduchojemu) (2) lokomotivy nebo obslužného vozu. Odsud je pomocí brzdiče (3) distribuován do průběžného brzdového potrubí (4), na které jsou připojeny brzdové válce (5) jednotlivých vozidel. Principiálně se tedy jedná o pneumatickou brzdou přímočinnou [19].



Obr. 47 Schéma pneumatické brzdny SMPD (zdroj: autor)

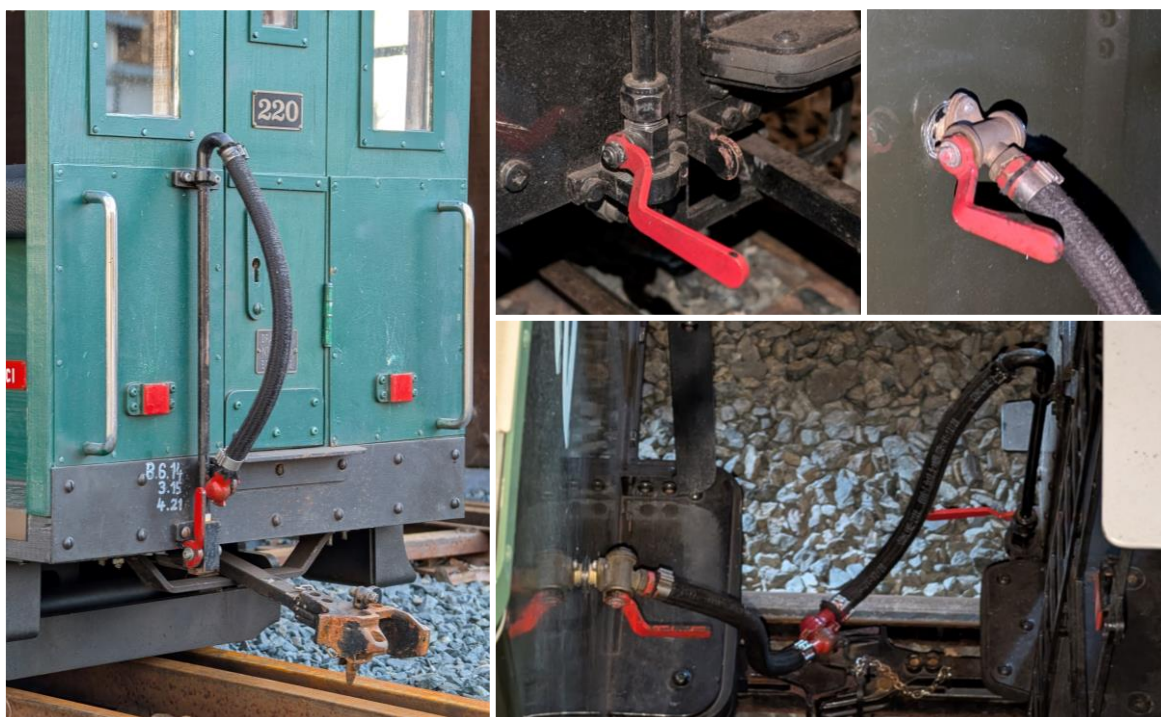
Lokomotivy/obslužné vozy vybavené brzdičem mají k dispozici kohout (6), kterým mohou brzdič odpojit od průběžného brzdového potrubí a tím lokomotivu/obslužný vůz přepnout do režimu vozu. Pro kontrolu tlaku slouží dva manometry, kdy jeden ukazuje tlak ve vzduchové jínce (7) a druhý tlak v brzdovém potrubí (8). Rozmístění jednotlivých zařízení na stanovišti strojvedoucího je znázorněné na Obr. 48.

Propojení brzdového potrubí mezi vozidly je řešeno pomocí sestavy (9), která je umístěná na čele vozidla (z jeho pohledu na pravé straně, aby docházelo ke spojování do kříže) a skládá se z brzdového kohoutu (10), pryžové hadice (11) a spojkové hlavy (12). Brzdový kohout umožňuje uzavřít potrubí v případě rozpojování vozidel. Sestava někdy bývá doplněná o vertikální trubku (13) pro snazší spojování/rozpojování spojkových hlav. Praktické provedení je vyobrazeno na Obr. 49. [19]

Provozní tlak brzdové soustavy SMPD je okolo 5 bar (0,5 MPa). Při dosažení této hodnoty v průběžném brzdovém potrubí musí všechny vozidla vlakové soupravy, vybavené pneumatickou brzdou SMPD, vyvinout brzdou sílu, která je plně dostačující pro zastavení daného vozidla.



Obr. 48 Stanoviště strojvedoucího na obslužném voze (zdroj: autor)

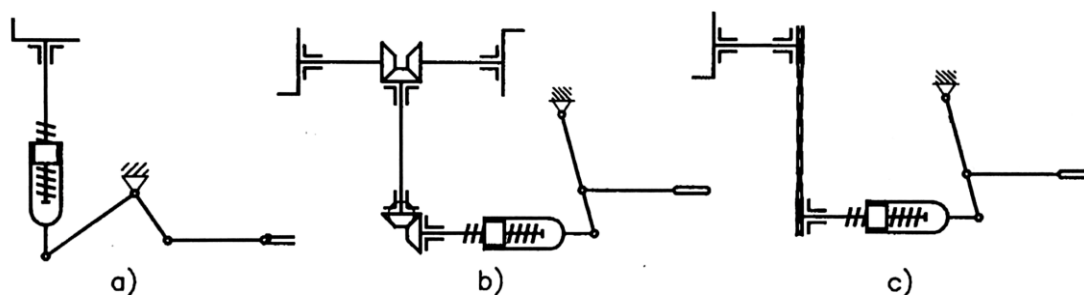


Obr. 49 Praktické provedení brzdové spojky SMPD (zdroj: autor)

2.2.2 Zajišťovací brzda

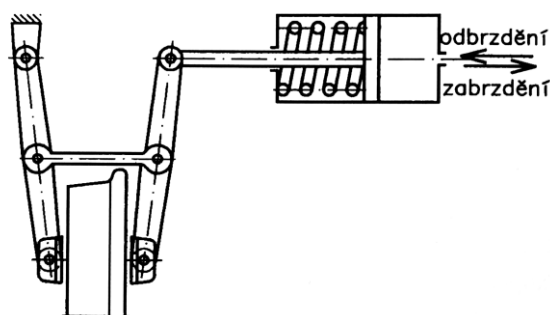
Zajišťovací brzdou musejí být vybavena všechna vozidla na železnici (s výjimkou omezeného počtu nákladních vozů určitého typu v soupravě), přičemž působit musí nejméně na polovinu dvojkolí vozidla (avšak minimálně na dvě dvojkolí) [15]. Na parkové železnici většinou působí pouze na jedno dvojkolí z důvodů zjednodušení konstrukce a dostačujícímu účinku.

Ruční brzda je používána především u vozů. Její konstrukce musí být samosvorná (výjimkou tvoří hnací vozidla, kde samosvorná být nemusí). Nejrozšířenější je vřetenová ruční brzda. Příklady jejího obvyklého řešení jsou na Obr. 50. [15]



Obr. 50 schémata příkladů provedení ruční brzdy (a – s pákovým převodem, b – s převodem kuželovými koly, c – s převodem řetězovými koly) [15]

Samočinná (střídačová) brzda je žádaná u hnacích vozidel, protože zajišťuje stojící vozidlo proti samovolnému rozjetí. Ve výchozím stavu je zabrzděná pomocí pružiny vyvozuující přítlak na zdrže. Pro její odbrzdění je potřeba vyvinout tlakovým vzduchem nebo elektromagnetem sílu působící proti pružiny. Princip fungování je znázorněn na Obr. 51. [15]

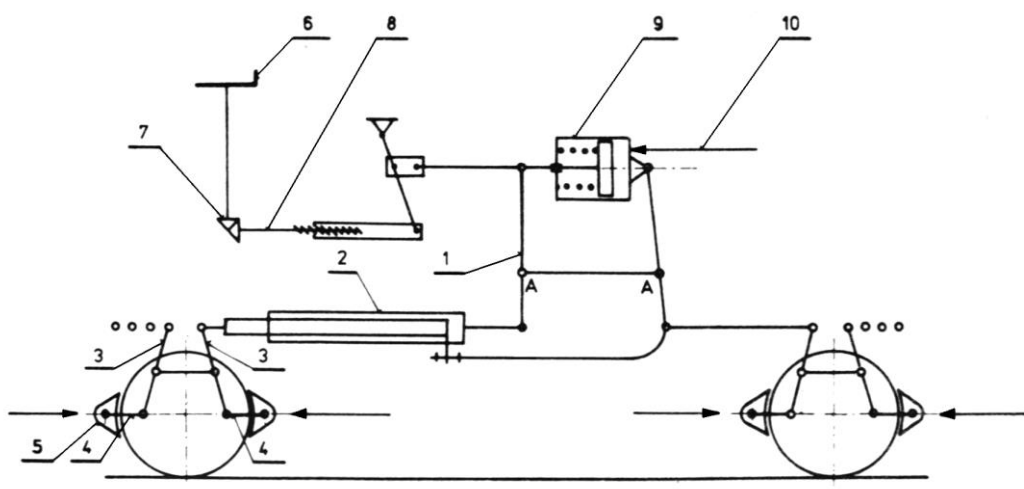


Obr. 51 Princip samočinné (střídačové) brzdy [15]

2.2.3 Špalíková brzda

Brzdící účinek je vyvozován prostřednictvím přitlačování brzdových zdrží na jízdní plochu kola. Tím vznikají třecí síly, jejichž působením dochází k přeměně kinetické energie jedoucího vozidla na energii tepelnou. [15]

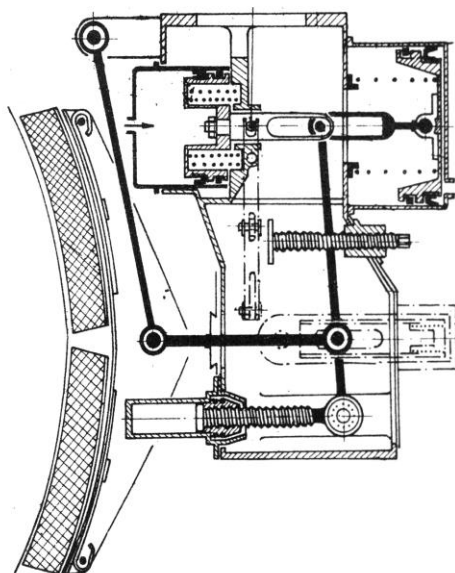
Na Obr. 52 se nachází schéma dříve používaného uspořádání brzdy na voze. Zdrojem přitlačné síly je zde brzdový válec (9) s přívodem od rozvaděče (10) anebo ruční vřetenová brzda skládající se z kola ruční brzdy (6), ozubených převodů (7) a vřeten (8). Mezi nimi a brzdovými zdržemi (5) se nachází pákové převodové ústrojí (1 - dvojzvrtná převodová páka, 2 - svíslá dvojzvrtná páka, 3 - rozpory zdrží). Odlehnutí zdrží po odbrzdění zabezpečuje vratná pružina brzdového válce. [20]



Obr. 52 Uspořádání mechanické a ruční brzdy na voze [20]

Účelem pákových převodů (nebo brzdového tyčového dle terminologie [15]) je mnohonásobně zvětšit a rovnoměrně rozprostřít přitlačnou sílu na všechny brzdové zdrže rovnoměrně (bez ohledu na tloušťky špalíků). Eliminaci zvětšujících se vůlí vlivem provozu (opotřebení kol, brzdových špalíků, ...) samočinně upraví stavěč zdrží (2) na stejnou vzdálenost od bržděné jízdní plochy kola. Tím zabezpečí správný zdvih pístu brzdového válce. [20]

Dříve popsané komponenty brzdy (vyobrazené na Obr. 52) lze redukovat do tzv. brzdové jednotky. Tím dochází k úspoře 800 až 1000 kg hmotnosti oproti klasickému provedení brzdové výstroje. Příklad brzdové jednotky ŠKODA je na Obr. 53. Její hlavní části jsou: brzdový válec, páka, botka zdrže, brzdový špalík, válec zajišťovací brzdy, odbrzdovací šroub a ve spodní části převodní páky je umístěn kotevník a stavěč odlehlosti zdrží. [3]



Obr. 53 Schéma brzdové jednotky ŠKODA [3]

Velký vliv na výslednou třecí sílu má součinitel tření. Ten se odvíjí od materiálu špalíku a rychlosti jízdy. Běžné materiály brzdových špalíků jsou uvedeny v Tab. 2. [15]

Název	Součinitel tření při $V = 0$ km/h	Výhody (+) / Nevýhody (-)
Šedá litina GG	0,35	+ malá závislost součinitele tření na vlhkosti - často vytvářejí při brždění rýhy v jízdní ploše kola - zvýšená hluchnost - s rostoucí teplotou klesá součinitel tření
Kompozitní materiál		+ malá závislost součinitele na rychlosti + snižují hluchnost provozu + oproti litinovým špalíkům jsou lehčí, nejiskří a mají menší opotřebení
1) špalíky s vysokou úrovní tření (K)	1) 0,20	
2) špalíky s nízkou úrovní tření (LL)	2) 0,17	- citlivé na vlhkost - při brždění leští jízdní plochu kola a tím zhoršují adhezi mezi kolem a kolejnici - větší tepelné zatížení kol (materiál špatně vede teplo) - dražší oproti litinovým
Spékané materiály	0,20	+ přijímají většinu výhod a odstraňují většinu nevýhod kompozitních špalíků - poměrně drahé

Tab. 2 Přehled vlastností běžných materiálů pro brzdové špalíky [15] (upraveno)

V běžném železničním provozu se používají brzdové zdrže dělené (jednošpalíkové, dvoušpalíkové a dvojčité), které se skládají z brzdového špalíku, botky zdrže a pojistného klínu. Příklad dělené dvoušpalíkové brzdy je na Obr. 53. Brzdové zdrže celistvé (monoblokové) nejsou v železničním provozu používány. [15]

Jiná situace je ovšem na PDB, kde jsou monoblokové zdrže naprosto dominantním typem. Vzhledem k relativně nízkým provozním rychlostem (do 20 km/h) a pouze víkendovému provozu nedochází k výraznému opotřebování (úbytku) třecích ploch. Tudiž výměna brzdových špalíků není potřebná a nevyplácí se proto dělat konstrukci dělenou. Za posledních 10 let na PDB nedošlo k výměně brzdové zdrže vlivem opotřebení. Příklad provedení monoblokové zdrže je na Obr. 54.



Obr. 54 Provedení špalíkové brzdy na lokomotivě LT12 (zdroj: autor)

2.2.4 Kotoučová brzda

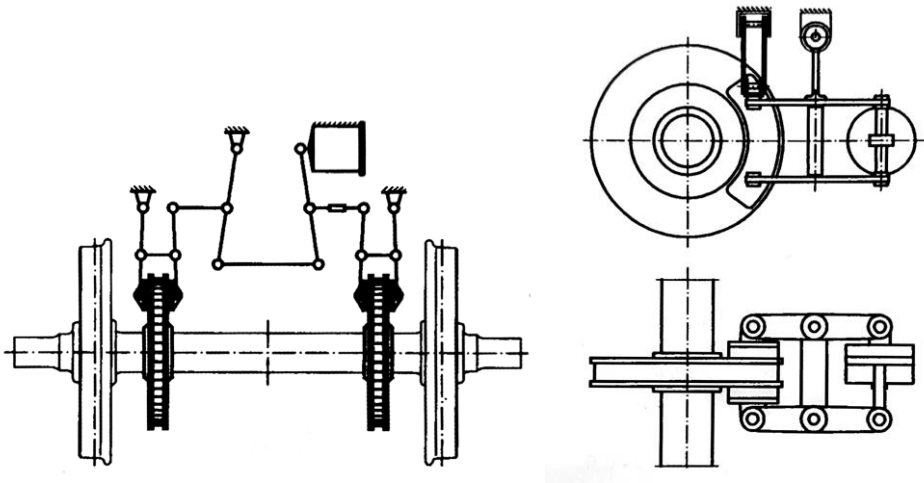
Funguje na obdobném principu jako brzda špalíková. Zde je ovšem třecí síla vyvozována mezi brzdovými čelistmi a brzdovým kotoučem. To přináší určité výhody:

- + způsobilost pro vyšší brzdné výkony,
- + absence extrémního tepelného zatěžování kol dvojkolí,
- + rovnoměrné a tiché brždění,
- + mnohem delší životnost brzdového obložení čelistí ve srovnání s litinovými špalíky špalíkové brzdy (až 6x),
- + konstrukční jednoduchost,

ale i nevýhody:

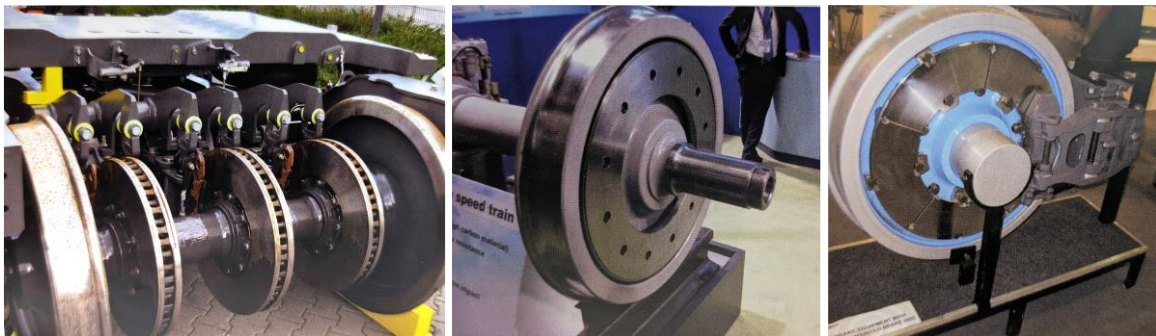
- vyšší hmotnost než u špalíkové brzdy vhodné konstrukce,
- jízdní plocha kol není čištěna (na kole musí být použit čistící špalík),
- ventilační ztrátový výkon při jízdě vyššími rychlostmi. [15]

Zdroj přitlačné síly může být, stejně jako u špalíkové brzdy, řešen pomocí jednoho brzdového válce s odpovídajícím brzdovým tyčovým (Obr. 55 vlevo) nebo brzdovou jednotkou kotoučové brzdy (Obr. 55 vpravo). Obložení brzdových čelistí koresponduje s materiály pro brzdové špalíky (uvedené v Tab. 2). [15]



Obr. 55 Schéma kotoučové brzdy (vlevo s brzdovým tyčovím, vpravo brzdová jednotka) [15]

Brzdový kotouč může být buď to samostatný (Obr. 56 vlevo) nebo součástí kol dvojkolí, k jejichž deskám je připevněn z obou stran (buď to jako celistvý kotouč (Obr. 56 uprostřed) nebo ve formě brzdových segmentů (Obr. 56 vpravo)). Běžnými materiály brzdových kotoučů jsou litiny (s kuličkovým nebo lupínkovým grafitem), lete oceli nebo hliníková slitina s keramicky tvrzeným povrchem. [15]



Obr. 56 Příklady provedení brzdových kotoučů [15]

2.2.5 Elektrodynamická brzda

K brždění dochází za pomoci trakčního elektromotoru, který se přepne do režimu generátoru, proto je k nalezení zejména u hnacích vozidel s elektrickým přenosem výkonu (tramvaje, elektrické lokomotivy, ...). V tomto režimu přeměňují kinetickou energii vlaku na energii elektrickou, se kterou lze dále naložit následujícími způsoby:

- zmařit ji v brzdovém odborníku, kde se přemění ve ztrátové teplo,
- prostřednictvím sběrače ji vracet zpět do trolejového vedení,
- ukládat ji do akumulátorů ve vozidle. [21]

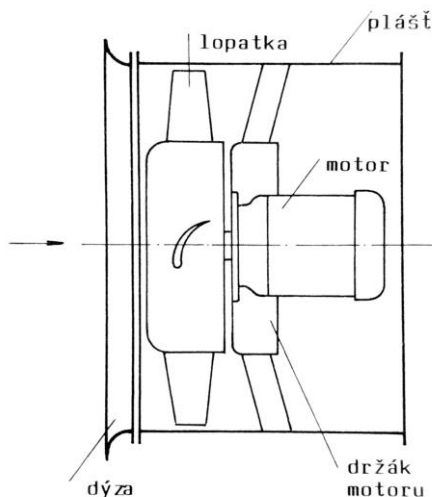
Její velkou předností je, že se vlivem provozu neopotřebovává, jako například kotoučová, či špalíková brzda. [21]

2.3 Ventilace hnacích vozidel

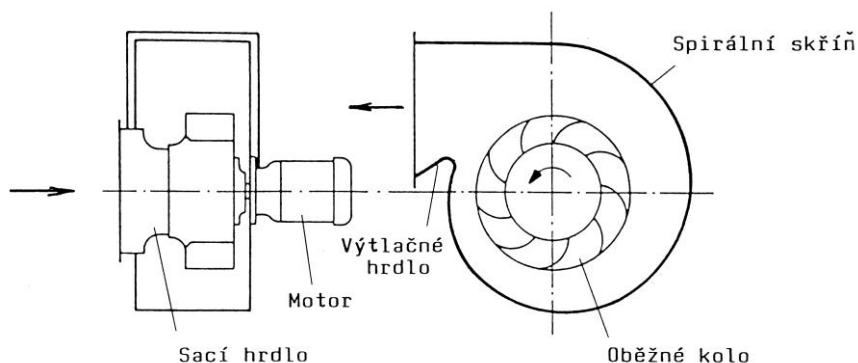
Součástí hnacích vozidel jsou zařízení (např. trakční elektrický motor, trakční měnič, kompresor, spalovací motor, ...), při jejichž provozu vzniká vlivem ztrát odpadní teplo, které je třeba odvádět do okolního vzduchu. Tento proces se obvykle nazývá ventilace. [15]

Pokud se k odvádění tepla užívá chladicí kapalina (voda nebo olej), pak hovoříme o chlazení (např. vodní chlazení spalovacího motoru) [15]. Jelikož součástí lokomotiv AEG nejsou zařízení využívající chladicí kapalinu, tak se bude zbytek této podkapitoly věnovat pouze ventilaci a jejím součástem.

Ventilaci lze provést buď to přirozeně (proudem vzduchu za jízdy) nebo nuceně. Velkou nevýhodou přirozené ventilace je, že funguje pouze za jízdy, což nevyhovuje potřebě nepřetržitého odvodu tepla od některých zařízení. Nejrozšířenější je proto nucená ventilace pomocí ventilátorů. V kolejových vozidlech se používají axiální (na Obr. 57) a radiální (na Obr. 58). [15]



Obr. 57 Schéma axiálního ventilátoru [22]

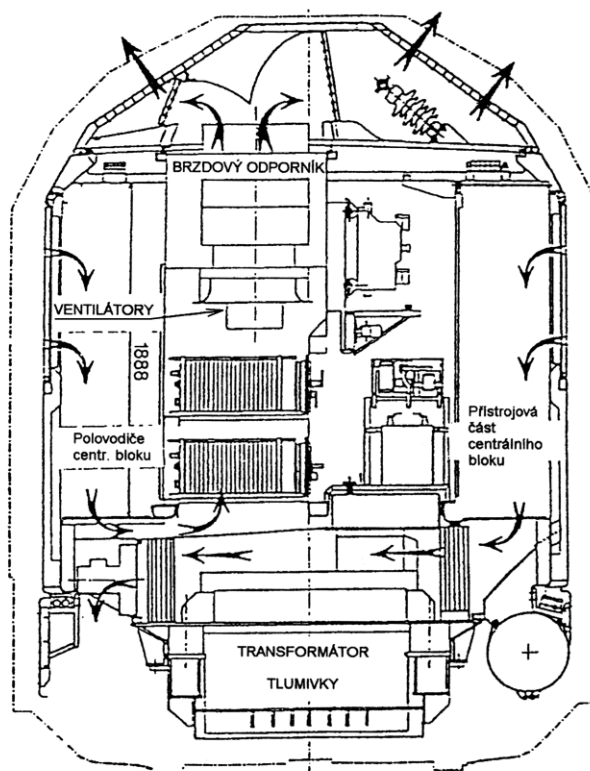


Obr. 58 Schéma radiálního ventilátoru [22]

Výpočtové postupy pro řešení ventilačního systému (byť i s malým počtem větví) jsou poměrně složité. Proto jsou v současné době řešeny pomocí počítačových simulací proudění (CFD). Ty umožňují řešit náročné úlohy, jako například přenosy tepla, vícefázové proudění, ustálené i časově proměnné režimy atd. Na základě výsledků CFD lze provádět optimalizace tvarů, uspořádání zařízení a provozní režimy. [15]

2.3.1 Uspořádání ventilace v lokomotivě

Pro názornost je popis proveden na základě Obr. 59. V tomto případě se vzduch do prostoru strojovny dostává přes žaluzie (a popřípadě i filtry) v bočnici. Následně je odsud ventilátory nasáván a vháněn k chlazeným zařízením. V samotném sání ventilátoru mohou být někdy umístěna některá zařízení, které ovšem nesmějí způsobovat zřetelné oteplení vzduchu (omezili by tím chlazení ventilátorového motoru). Ohřátý vzduch je zde u jednoho okruhu vyfukován na střešku a u druhého je přes podlahu vyfukován ven. [23]

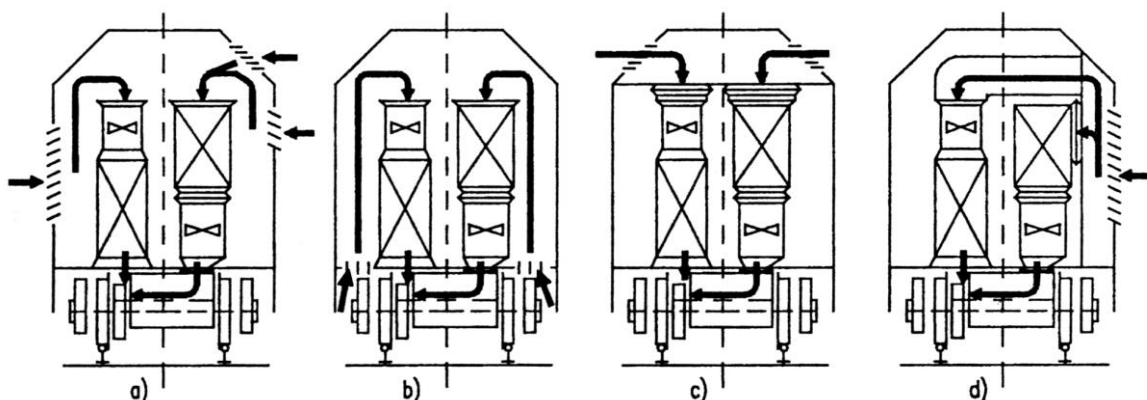


Obr. 59 Schéma ventilace lokomotivy 26 000 SYBIC [23]

Na Obr. 60 se nachází další možné koncepce provedení nasávání vzduchu. Zde je bodový popis jednotlivých koncepcí:

- a) Vzduch vstupuje přes bočnice, případně šikmé části střeš do prostoru strojovny a odtud ho nasávají jednotlivé ventilátory. To poskytuje poměrně velkou plochu pro sání, ale za cenu zvýšení prašnosti vzduchu v celé strojovně. Ve strojovně je oproti okolí podtlak o tlakový spád na filtrech. [23]

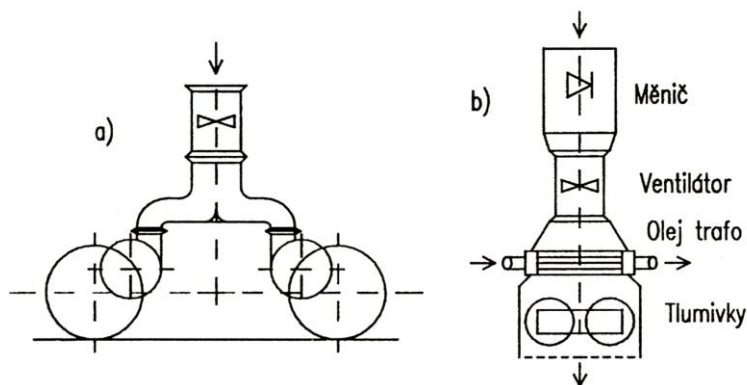
- b) Konceptně vychází z varianty a) s tím rozdílem, že vzduch je nasáván skrz podlahu. To přináší nevýhody v podobě sání zvířeného vzduchu smíšeného s prachem. [15]
- c) Vzduch vstupuje do uzavřeného prostoru nasávací skříně pod střešou a následně je pomocí vzduchovodů přiváděn k ventilátorům. Odděluje se tak „špinavý“ prostor nasávací skříně od „čistého“ prostředí strojovny. Ve vnikání nečistot do strojovny navíc brání mírný přetlak, který se vytvoří výfukem potřebného množství vzduchu do strojovny. Nevýhodou je snížená využitelná výška strojovny. [23]
- d) Obdobná koncepce jako u varianty c) s tím rozdílem, že vzduch vstupuje do uzavřené uličky (nasávací skříně) skrz bočnici. Oproti variantě c) není snížena výška strojovny a je poskytnuta větší plocha pro sání, ale nevýhodou je potřeba většího množství vzduchovodů. [23]



Obr. 60 Varianty uspořádání vzduchového obvodu ve strojovně [23]

Provedení vyústění odpadního vzduchu nesmí způsobovat víření prachu a mělo by zabránovat jeho opětovnému nasávání jako chladicího. [23]

Chlazená zařízení mohou být uspořádána paralelně (Obr. 61a) nebo sériově (Obr. 61b). Paralelní řazení je vhodné u stejných zařízení (např. trakční motory), protože lze snáze zajistit správné dělení vzduchu. Sériové řazení umožňuje zajistit stejné množství vzduchu pro všechna zařízení, ale každé další zařízení je chlazeno vzduchem o něco teplejším (tím se zmenšuje tepelný spád a účinnost chlazení). V praxi se oba způsoby různě kombinují. [23]

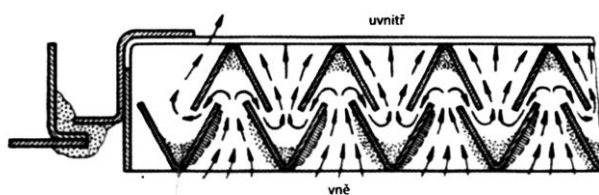


Obr. 61 Paralelní a sériové řazení chlazených zařízení [23]

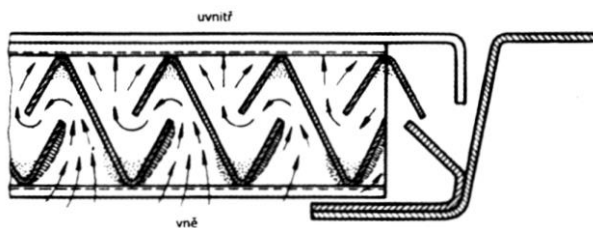
2.3.2 Žaluzie

Účelem žaluzií je umožnit průchod vzduchu na definovaných místech a během toho z něj odlučovat nečistoty (popřípadě i kapky vody/sníh). Zároveň by neměli mít velké tlakové ztráty (velký odpor proti proudění vzduchu). Využívané jsou svislé žaluzie, protože lépe odlučují nečistoty oproti vodorovným. [15]

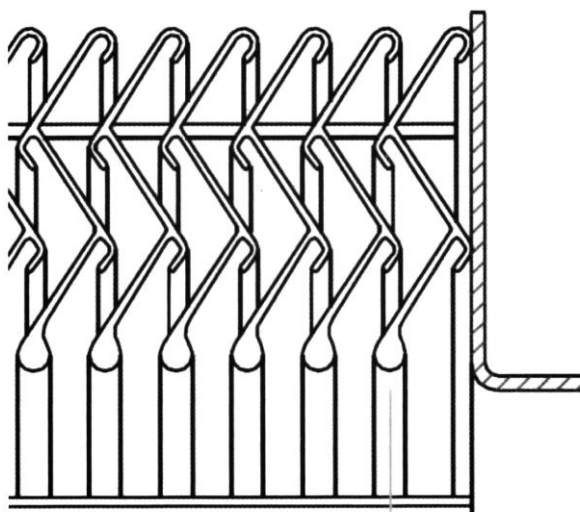
Existuje mnoho různých provedení žaluzií. Dříve byli využívány žaluzie ve tvaru V (Obr. 62), ale z důvodů snazší výroby a menšího odporu dostaly později přednost žaluzie tvaru Z (Obr. 63). Další varianty žaluzií jsou na Obr. 64 a Obr. 65. Z výsledků simulace vývoje tlakového pole na Obr. 66 je patrné, že u varianty A dochází k nasměrování proudu vzduchu na jednu stranu po průchodu sadou lamel. Varianta B je účinnější pro zachycování částic, ale za cenu vyšší tlakové ztráty. [15]



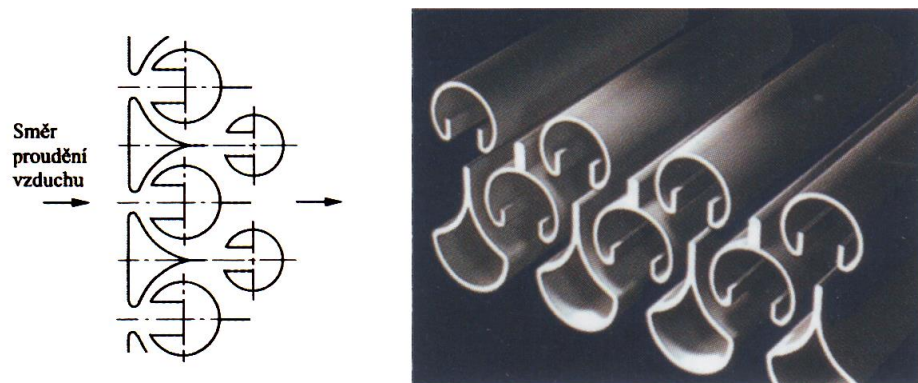
Obr. 62 žaluzie tvaru V [15]



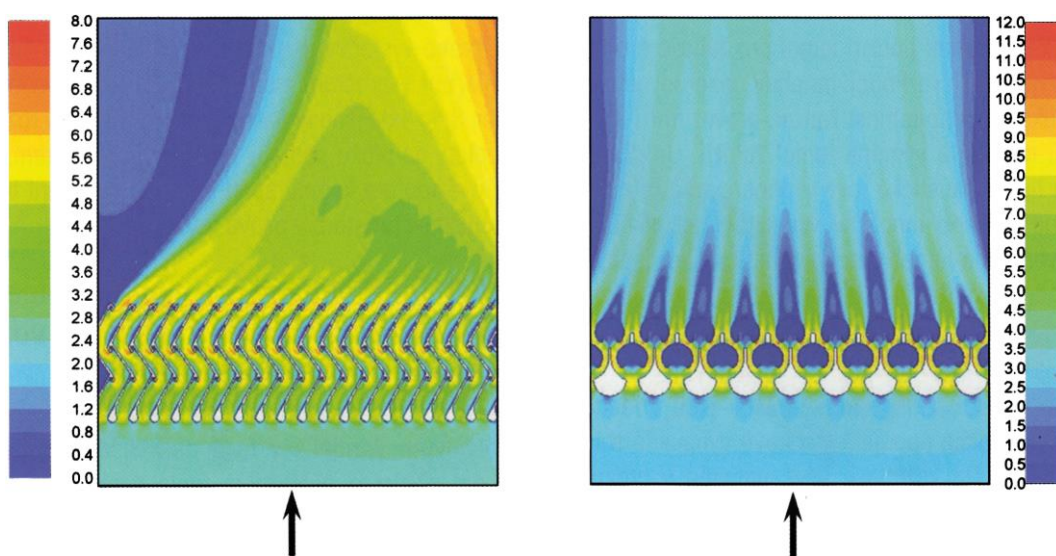
Obr. 63 žaluzie tvaru Z [15]



Obr. 64 žaluzie varianta A [15]



Obr. 65 žaluzie varianta B [15]



Obr. 66 simulace vývoje tlakového pole [15]

2.4 Spřáhlové ústrojí

Hlavním účelem spřáhel je přenášet tažné a tlačné síly mezi skříněmi kolejových vozidel. Tyto síly musí být přenášeny pružně a zároveň musejí být tlumeny dynamické účinky těchto sil. [24]

Konstrukce spřáhlového ústrojí a jeho uložení v rámu vozidla musí umožňovat spřaženým vozidlům bezproblémový průjezd po trati. Tj. musí umožňovat dostatečné vychýlení ve vodorovné a svislé rovině tak, aby nemohlo dojít k vymezení vůlí při průjezdu obloukem nebo změně sklonu tratě.

U samostatných vozů a lokomotiv provozovaných dopravci v UIC (Mezinárodní unie železniční) prozatím převažuje centrální táhlové ústrojí s nárazníky. Táhlové ústrojí, přenášející tažné síly, se skládá ze šroubovky a táhlového háku. Nárazníky jsou dva, umístějí se symetricky na čelo vozidla a přenášejí tlačné síly. Příklad praktického provedení je zachycen na Obr. 67. [24]



Obr. 67 lokomotiva s táhlovým ústrojím a nárazníky (zdroj: autor)

V případě tramvajové dopravy se používají centrální spřáhla [24]. Dříve byli rozšířená talířová a trychtýřová spřáhla (Obr. 68), ale kvůli značným nevýhodám (nutnost mít k dispozici svorník při každém spojování vozidel a také postupné zvětšování vůlí vlivem vymačkávání) bylo v roce 1915 na pražských tramvaji zavedeno dvouhlavé spřáhlo [25]. Jelikož není znám autor ani typové označení, tak je dnes označováno jako spřáhlo pražského vzoru nebo tramvajové spřáhlo Atlas (na Obr. 69), protože pod tímto označením bylo dlouhé roky vystavováno v Národním technickém muzeu [25]. Obr. 70 je zde uveden pro ilustraci možného provedení uložení a vypružení centrálního tramvajového spřáhla.



Obr. 68 příklad talířového spřáhla (zdroj: autor)



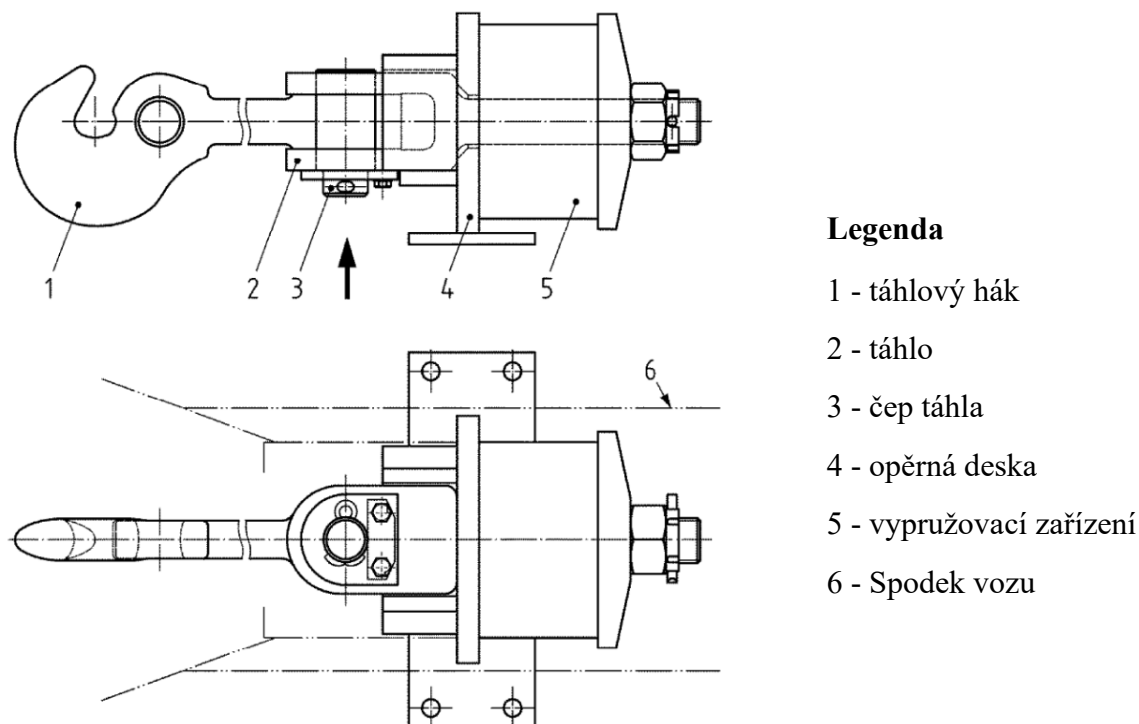
Obr. 69 příklad spřáhla typu Atlas (nebo též spřáhlo pražského vzoru) (zdroj: autor)



Obr. 70 uložení a vypružení spřáhla tramvaje typu KT8D5R.N2 (zdroj: autor)

2.4.1 Vypružovací zařízení táhlového ústrojí

Samotné táhlové ústrojí je určené pro přenos tažných sil, které musejí být přenášeny pružně a tlumeně. Za tímto účelem obsahuje vypružovací zařízení. Popis uspořádání dílů v táhlovém ústrojí a umístění vypružovacího zařízení je znázorněn na obr. 4. [24]



Obr. 71 Sestava táhlového ústrojí [26]

Minimální hodnoty vypružovacího zařízení dle [26] při tažné síle 1 MN:

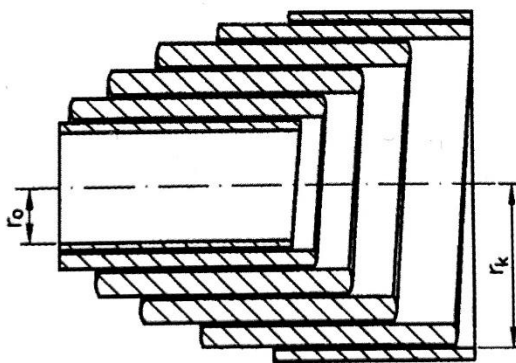
- Síla při stlačení mezi 50 až 60 mm je 400 kN
- Síla předpětí pružiny 10 kN
- Statická akumulovaná energie 10kJ
- Tlumení 30%

Příklady pružících prvků pro vypružovací zařízení:

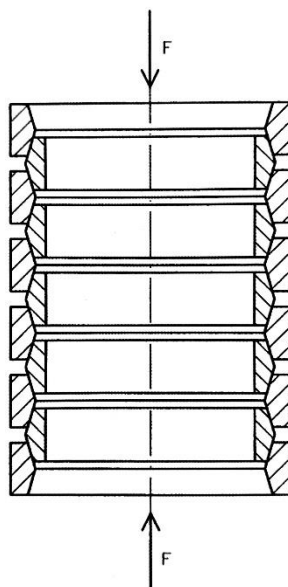
- Kuželová tlačná pružina z ploché oceli (schéma na Obr. 72) – výrobně jednoduchá, ale nevyhovující současným požadavkům na objem akumulované a absorbované energie.
- Kroužková pružina (schéma na Obr. 73) – splňuje požadavky na malé a střední objemy akumulované energie, ale mají vyšší cenu (kvůli potřebě opracování dosedacích ploch kroužků, jejich geometrické přesnosti, nároky na mazání a nutnost ochrany před vodou a nečistotami).
- Pryžové prvky – splňují požadavky na menší objemy akumulované a absorbované energie. Oproti předešlým jsou citlivé na kontakt s mastnotou a časem mění své mechanické vlastnosti (stárnou).

- Termoplastové elastomery ve formě segmentů (příklad použití na Obr. 74) – splňují požadavky na malý a střední objem akumulované a absorbované energie. Oproti pryži sice časem nestárnou, ale nesmějí být vystavovány přímému slunečnímu svitu (či jinému UV záření). [24]

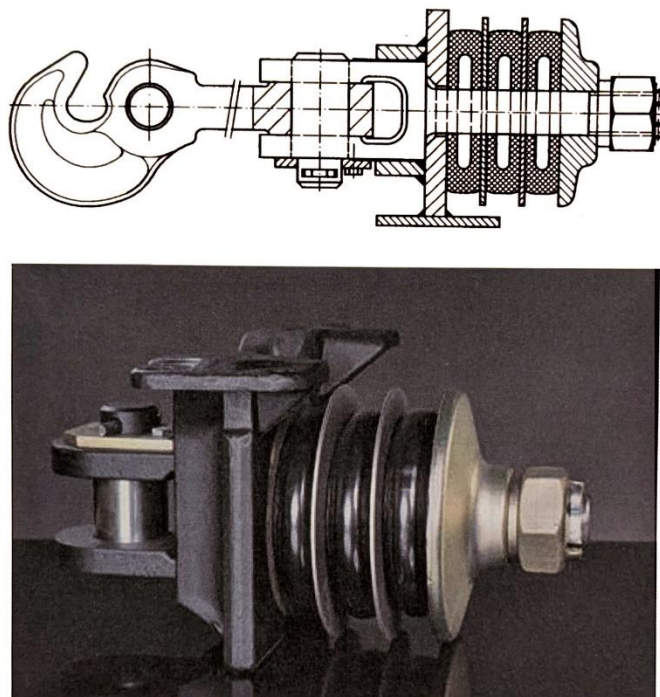
Obecně se uplatňují prvky, které dokážou přijmout velké množství mechanické energie a významnou její část pohltit svým vnitřním třením. Zároveň by měli mít co možná nejmenší prostorové nároky. [24]



Obr. 72 Schéma kuželové pružiny [24]



Obr. 73 Schéma kroužkové pružiny [24]



Obr. 74 Táhlové ústrojí s vypružením MINER ST-9-2. Nahoře náčrt, dole výrobek MSV Studénka a.s. [24]

2.4.2 Spřáhla užívaná SMPD

Aby bylo možné spojovat klubové i soukromé modely lokomotiv a vozů do vlakových souprav, tak došlo k zavedení následujících standardů:

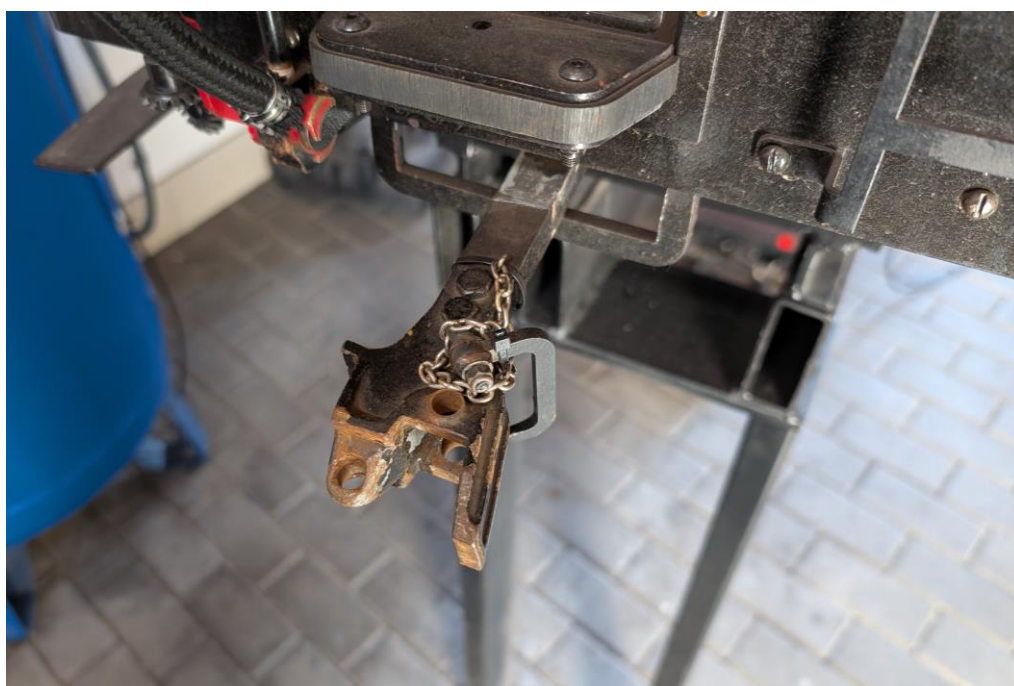
- Vozidla o rozchodu 127 mm užívají výhradně centrální talířové spřáhlo s válcovým svorníkem (viz Obr. 75), které je standartně umísťováno ve výšce 90 mm nad temenem kolejnice.
- U vozidel s rozchodem 184 mm je užíváno výhradně centrální spřáhlo typu Atlas (nebo též Pražské spřáhlo). Jeho standartní umístění je ve výšce 100 mm nad temenem kolejnice. Jedná se o převedený model skutečného tramvajového spřáhla v měřítku 1:4 [25]. Spřáhlo je vyobrazené na Obr. 76.

Vnitřní podniková norma pro uložení spřáhla dosud nebyla publikována a je tedy nutné vycházet z okrajových podmínek stanovenými parametry tratě:

- Maximální stoupání je 10‰ [27].
- Minimální traťový oblouk má poloměr 12 m [27].
- Nejmenší poloměr vratné smyčky Ořechová je 7,6 m [28].
- Maximální špičková tažná síla standartní vlakové soupravy je 50 kg [29].



Obr. 75 centrální talířové spřáhlo (zdroj: autor)



Obr. 76 centrální spřáhlo typu Atlas (zdroj: autor)

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Ač se lokomotivy AEG během svého, více než patnáctiletého, nasazování v provozu osvědčily, tak se nejedná o zcela bezchybné stroje. V následujících podkapitolách jsou popsány nejzávažnější problémy, které byly v rámci provozu odhaleny.

3.1.1 Pohon dvojkolí

Pro správnou funkci pohonu dvojkolí je třeba zajistit ideální napnutí řetězových převodů. Na provedení napínání prvního stupně nejsou shledávány zásadní závady. Jiná situace je ovšem na stupni druhém. K jeho napínání má sloužit náklonná plošina, kdy se pomocí jejího náklonu mění výška předlohového hřídele nad temenem kolejnice (a tím pádem i vzdálenost od obou náprav). Jelikož je plošina k hlavnímu rámu vázaná rotační vazbou, tak opisuje trajektorii kružnice. To má za následek nerovnoměrné napnutí řetězů mezi oběma dvojkolími (předlohový hřídel se od jednoho oddaluje více, než od druhého).

Další problém vzniká vlivem provozu po ne zcela čištění prostředí parku. V kolejišti se občas vyskytují suché listy, rostoucí plevel a jiné nečistoty, které se namotávají do řetězu a tím ho znečišťují. Silně znečištění stav nevyhovuje původnímu návrhu a dochází tak k dřívějšímu opotřebení řetězu s nutností výměny.

3.1.2 Brzdy

Absence dlouhodobě funkční zajišťovací brzdy je jedním z největších nedostatků aktuálního provedení lokomotiv AEG. Současné provedení sice umožňuje velmi pracné seřízení, kterým lze sestavu uvést do funkčního stavu, ale po pár provozních dnech dojde k samovolnému uvedení do stavu nefunkčního (jednotlivé prvky jdou špatně fixované).

Samotná páka brzdy má velmi krátkou dráhu chodu na to, aby dokázala vymezit postupně se zvětšující vůle v celém mechanismu a přimkla tak brzdové zdrže ke kolům.

Brzdění pomocí průběžné pneumatické brzdy zde chybí úplně.

3.1.3 Ventilace

Základním problémem ventilace je, že neexistuje. Veškerý přenos tepla se uskutečňuje pouze přes základní rám anebo přes plech kapoty. Navíc je tento přenos tepla během letních měsíců na slunci přesně v opačném směru, než by bylo potřebné.

Z důvodu častějšímu výskytu tropických letních dnů došlo, v uplynulých dvou letech, ke zkrácení životnosti baterií (místo šesti měsíců provozu od května do října vydrží jen do půlky července). Což je poměrně závažný problém.

3.1.4 Spřáhlové ústrojí

I když v současném provedení umožňuje spřáhlové ústrojí lokomotivě AEG průjezdy všemi oblouky na trati, tak při průjezdu obloukem o menším poloměru dochází k častějšímu vykolejování malých obslužných vozů. To je způsobeno nevhodnou geometrií dorazových ploch mezi táhlem a pryží. Při průjezdu obloukem o malém poloměru dojde k většímu výkyvu spřáhla do strany, proti čemuž začne působit reakční síla od stlačované pryže. Tato síla následně vytlačuje připojené vozidlo ven z kolejí, což má u lehčích vozů závažné následky v podobě vykolejení.

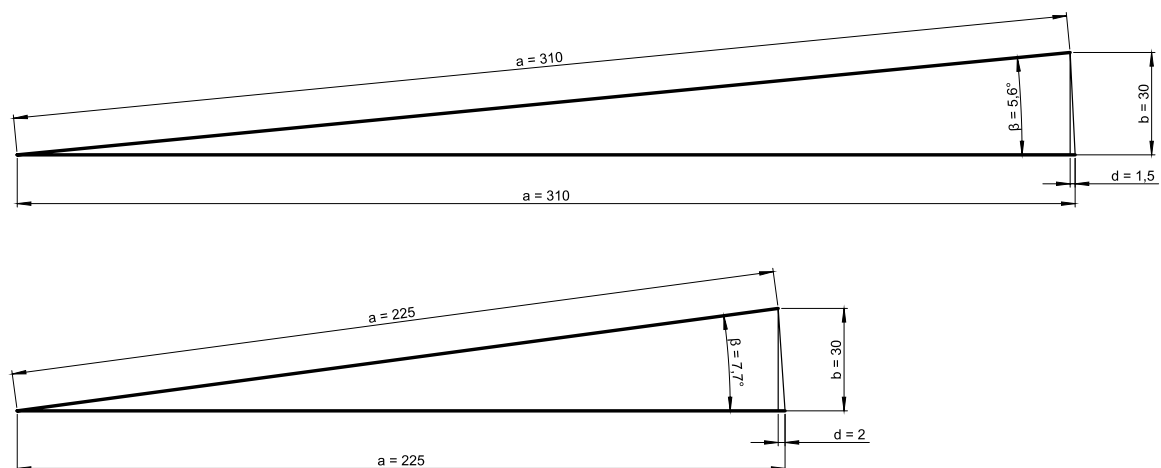
Pryž ve spřáhlovém ústrojí by měla zastávat roly vypružovacího zařízení. Ovšem vzhledem k váze soupravy a velikosti pryžových prvků nedochází k ideálnímu tlumení při rozjezdech či změnách tahu lokomotivy.

3.2 Cíl práce

Práce si klade za cíl provést analýzu současného provedení lokomotiv AEG a zjistit jejich nedostatky. Z provedené analýzy vyplývají následující dílčí cíle:

- umožnit rovnoměrné napínání řetězových převodů
- zmenšit znečišťování řetězových převodů
- navrhnout funkční brzdový systém, který bude umožňovat brzdění pomocí tlakového vzduchu z průběžné brzdové potrubí anebo pomocí ruční brzdy
- doplnit lokomotivu o průběžné brzdové potrubí
- pomocí ventilace umožnit lepší průtok vzduchu uvnitř karoserie a tím snížit vnitřní teplotu během nabíjení a provozu
- zajistit volný výkyv spřáhla do stran (bez odporů od vypružovacího zařízení) a pokusit se splnit (vhodně aproximované) hodnoty stanovené normou [26] pro vypružovací zařízení

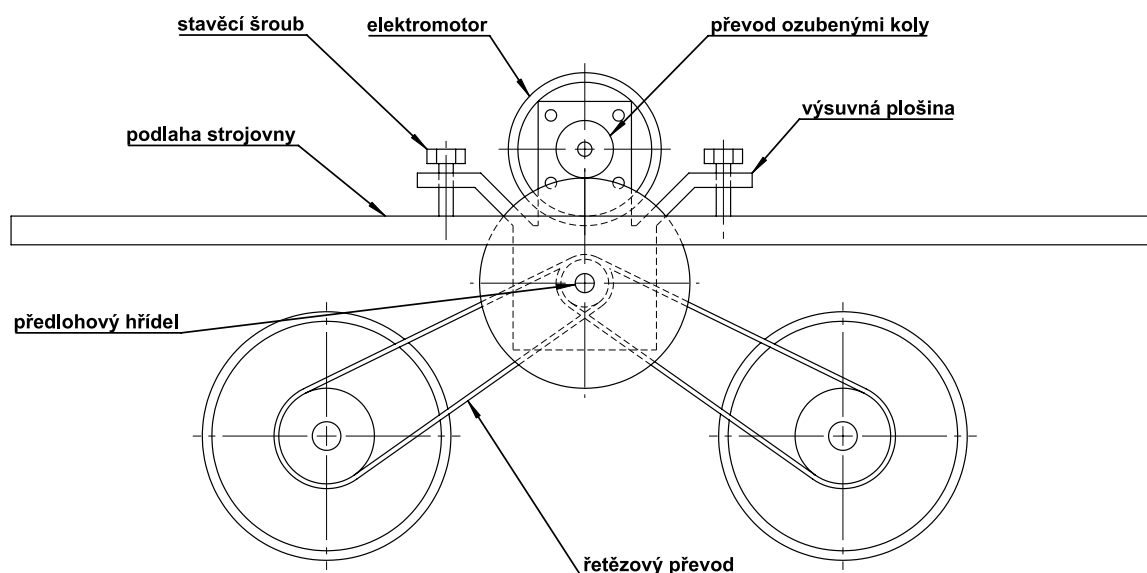
K jednotlivým dílčím cílům budou vypracované koncepční řešení, která ovšem musejí brát ohled na celkovou koncepci lokomotivy AEG a zásadně ji neměnit (počet náprav, jejich uložení, obrys lokomotivy, ...).



Obr. 78 rozměrové schéma změny úhlu náklonu β a boční odchylky d při nadzvednutí předlohového hřídele (nahore návrhový stav, dole současné provedení)

4.1.2 Varianta B

Obdobně, jak u varianty A, je i zde pro pohon samotných dvojkolí použit řetězový převod. Rozdíl je v provedení prvního převodového stupně, kde byl řetězový převod nahrazen převodem ozubenými koly s přímým ozubením (schéma na Obr. 79). Z literatury [30] vyplívá, že pro vyšší obvodové rychlosti (vzniklé vysokými otáčkami na vstupu od elektromotoru) je tento druh převodu vhodnější oproti řetězovému převodu.



Obr. 79 schéma pohonu dvojkolí varianty B

Potřeba posuvné plošiny elektromotoru varianty A (viz Obr. 77) odpadá, protože převod ozubenými koly nevyžaduje napínání. Tím bylo možné zredukovat celý celek náklonné plošiny varianty A na výsuvnou plošinou, která je pomocí stavěcích šroubů rovnoměrně vysouvána a spouštěná oproti podlaze strojovny. Díky tomu by nemělo docházet při napínání řetězů k bočnímu vychýlení předlohového hřídele.

4.1.3 Varianta C

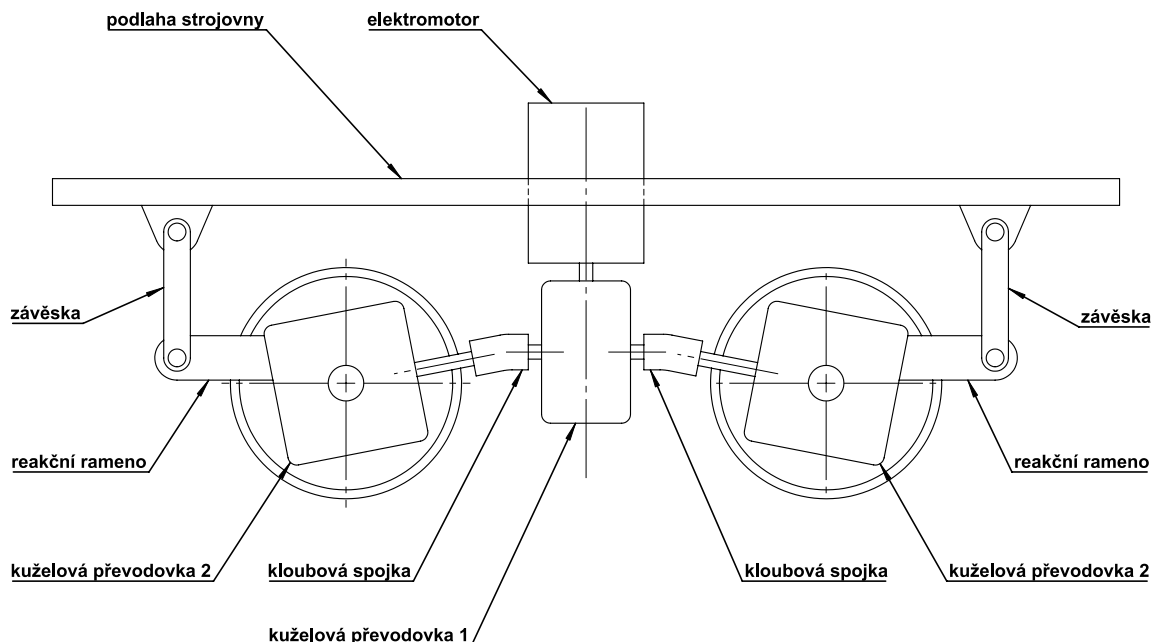
Vychází ze schémat skupinového pohonu dvojkolí schematicky znázorněném v kapitole 2.1.5 Pohon dvojkolí a jedná se o snahu aplikování konceptu z reálné železnice v menším měřítku parkové železnice.

Všechny tři převody jsou realizovány pomocí kuželových převodovek. Stejně, jak u variant A a B, tak i zde je použito dvoustupňového převodu, přičemž první stupeň je sdílen oběma dvojkolími. Mezi první a druhou kuželovou převodovkou je vložena kloubová spojka s výsuvným hřídelem, která:

- 1) kompenzuje výrobní a montážní nepřesnosti
- 2) umožňuje dvojkolí se pohybovat (důležité pro správné fungování jejich vypružení)

Schéma varianty C je na Obr. 80.

Aby bylo zabráněno otáčení kuželových převodovek kolem náprav, tak je třeba je doplnit o reakční rameno a závěsku, které zachytí reakční momenty převodovky.



Obr. 80 schéma pohonu dvojkolí varianty C

4.1.4 Výběr vhodné koncepční varianty pohonu dvojkolí

	Výhody	Nevýhody
Variant A	+ Koncepčně vychází z praxí ověřeného řešení	- Přetrvávající nevýhoda s ne-souměrným napínáním - Nutnost chránit tři řetězové převody před nečistotami - Provedení napínání řetězů zabírá velkou část strojovny
Variant B	+ Menší prostorové nároky ve strojovně (oproti variantě A)	- Nutnost zvýšit karoserie lokomotiv nad elektromotorem - Nutnost chránit dva řetězové převody před nečistotami
Variant C	+ Odstraňuje potřebu napínání řetězových převodů + Kloubové spojky budou lépe zvládat pohyby náprav při jízdě přes nerovnosti na trati + Menší prostorové nároky ve strojovně (oproti variantě A)	- Nutnost použít reakční rameno a závěsku - Náklady na tři převodovky a dvě kloubové spojky s výsuvnou částí budou vysoké - V prostředí parkové železnice neověřená koncepce

Tab. 3 souhrnný výpis výhod a nevýhod koncepčních řešení pohonu dvojkolí

Volím variantu B, protože její nevýhody (uvedené v Tab. 3) jsou víceméně zanedbatelné ve srovnání se ostatními variantami. Navíc bylo zjištěno, že kuželové převodovky (potřebné u varianty C) dostupné z katalogů výrobců rozměrově nevyhovují požadavkům.

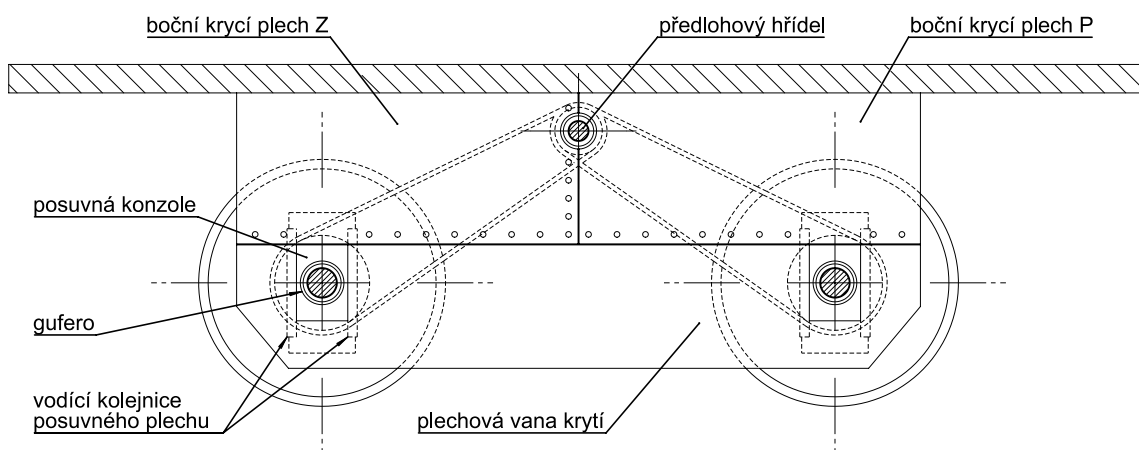
4.2 Krytí řetězů

Na základě vítězného konceptu z kapitoly 4.1 jsou zde navrženy možná koncepční řešení zakrytování řetězových převodů pohánějící dvojkolí.

4.2.1 Varianta B1

V základu se skládá ze tří plechových dílů, které jsou dohromady sešroubovány a tvoří tak ochranný box kolem řetězových převodů (schéma na Obr. 81). Rozdělení do tří dílů má usnadnit montáž. Průchozí otvory pro předlokový hřídel a nápravy jsou osazeny gufery s prachovkou kvůli zabránění vnikání nečistot dovnitř a mazacímu oleji ven.

Pro umožnění pohybu dvojkolím v pravítkách rozsoch z důvodu vypružení jsou nápravová gufera vsazena do posuvné konzole. Ta jsou uvnitř ochranného boxu vedena pomocí pravítek.



Obr. 81 schéma krytí řetězů varianty B1

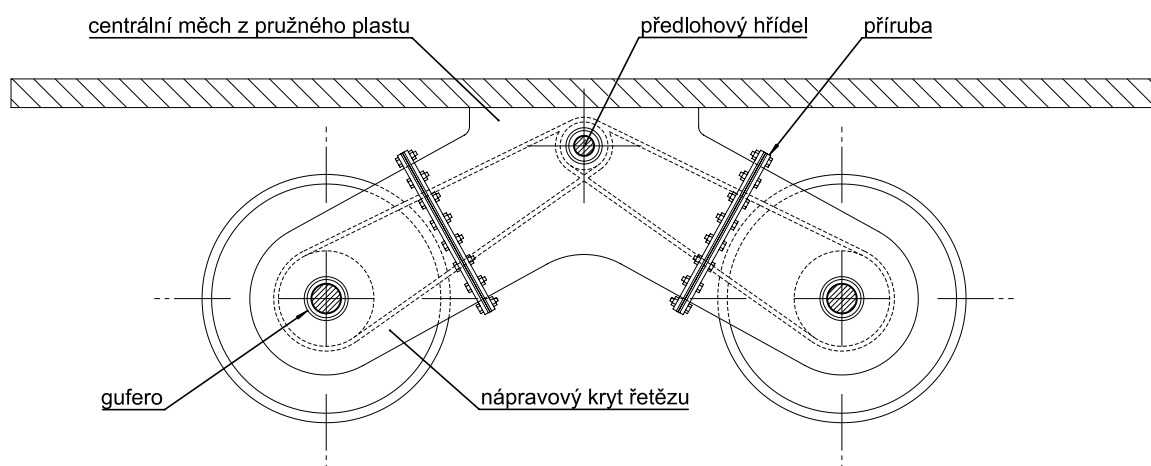
4.2.2 Varianta B2

Vzhledem k velikosti rozkolí náprav se zde nabízí možnost využití 3D tištěných dílů (tisková plocha dnešních FFF tiskáren převyšuje využitelný prostor mezi koly). Koncept (schematicky zakreslen na Obr. 82) je založen na dvou hlavních dílech tištěných z plastu:

- 1) Centrální měch zhotovený z pružného plastu (předpokládáné použití TPU filamentu) kvůli umožnění volného pohybu dvojkolím z důvodu vypružení.
- 2) Kryt na nápravě lze vyrobit ze stejného materiálu jako centrální měch, ale může být použit i méně pružný plast (například PETG) z důvodů možného prověšování ochranného krytu do řetězového převodu.

Těsnost mezi krytem a rotující nápravou je řešena pomocí gufera s prachovkou. Stejným způsobem je provedeno utěsnění předlohového hřídele procházející ho skrz stěnu centrálního měchu.

Použití příruby (skládající se ze dvou plechů, které jsou k sobě přišroubovány) je diskutabilní, protože by šlo teoreticky aplikovat nějaký typ snap fit spoje. Příruba je nicméně jistější, protože se sevřením obou plastových dílů zaručí jejich těsnost.



Obr. 82 schéma krytí řetězů varianty B2

4.2.3 Výběr vhodné koncepční varianty krytí řetězů

Volím variantu B2, protože spojení jednotlivých dílů mezi sebou by mělo zaručovat vyšší těsnost oproti variantě B1, kde bude mezi posuvnou konzolí a ostatními plechy docházet pravděpodobně k průsakům maziva do okolního prostředí.

4.3 Brzdy

U všech koncepčních variant brzd je uvažováno použít tyto dva zdroje brzdné síly:

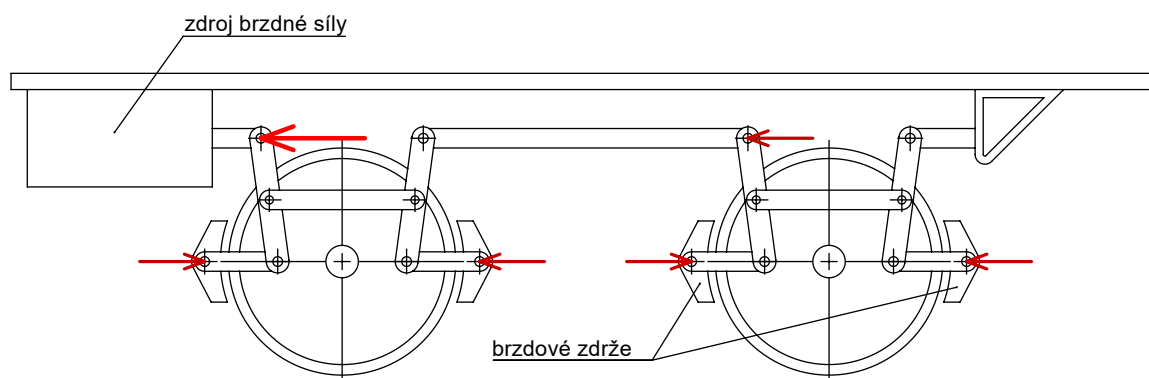
- Brzdový válec – umožní lokomotivu zapojit do systému pneumatické brzdy SMPD.
- Vřeteno ruční brzdy – bude plnit roly zajišťovací brzdy, jejíž účelem je zamezit samovolnému rozjetí stojícího vozidla.

Tyto dvě zařízení jsou ve schématech souhrnně nazvanými jako zdroj brzdné síly z důvodu zjednodušení a přehlednění nákresů. Jejich provedení v daném konceptu bude řešeno následně v konstrukční části práce.

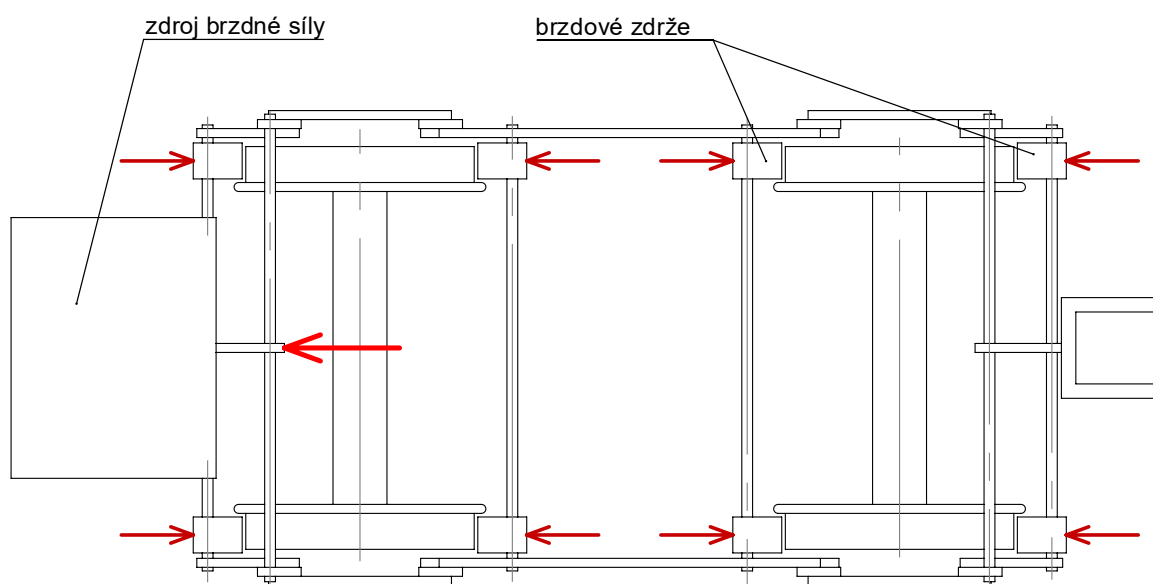
4.3.1 Varianta I

Tato varianta vychází z koncepce uspořádání špalíkové brzdy na voze, jehož schéma je na Obr. 52. Přítlačná síla na brzdové zdrže je i zde rozváděná z jednoho místa. Oproti vozovému provedení se zdroj brzdné síly nenachází uprostřed vozidla, ale je umístěn na kraji za jedním z čel. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu potřeby uvolnit prostřední část lokomotivy pro sestavu pohonu dvojkolí.

Přenos síly na brzdové zdrže je realizován pomocí brzdového tyčového (viz schéma na Obr. 83 a Obr. 84), které je přeorientované do vertikální roviny, oproti současnému horizontálnímu provedení (viz Obr. 17). Jednotlivé páky a táhla jsou umístěny vně dvojkolí, aby byli maximálně eliminované možné kolize s pohonem dvojkolí (viz Obr. 84).



Obr. 83 schéma brzd varianty I pohled z boku

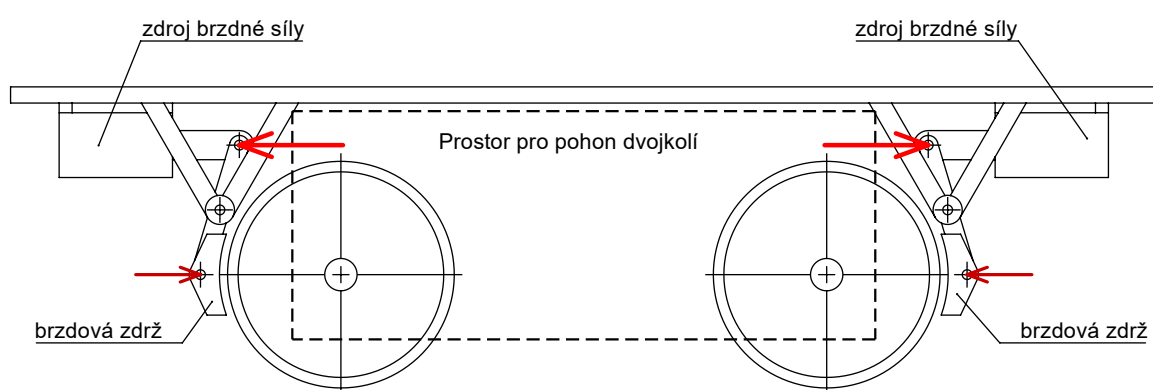


Obr. 84 schéma brzd varianty I pohled shora

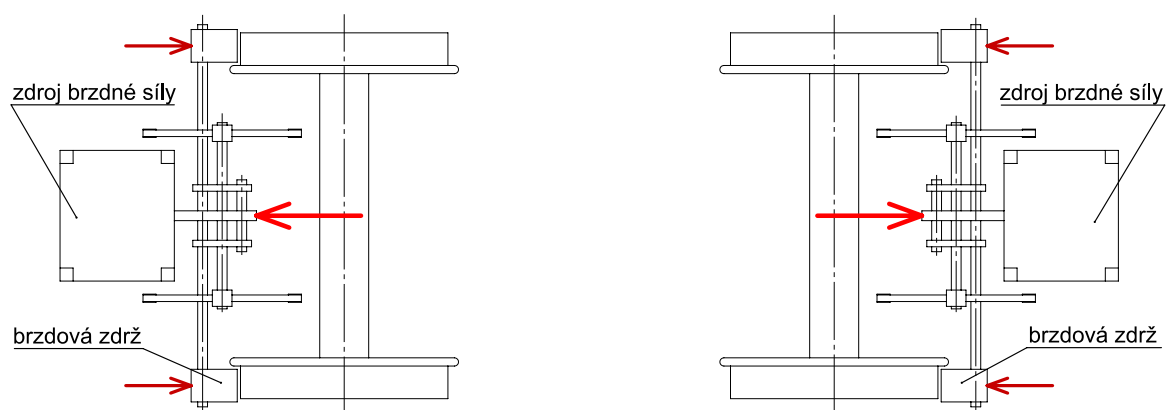
4.3.2 Varianta J

Jedná se o hybridní řešení mezi uspořádáním brzdy varianty I (Obr. 83 a Obr. 84) a brzdovou jednotkou použitou u varianty K. Brzdové zdrže jsou sloučené do páru, kdy každý pár sdílí jeden zdroj brzdné síly. Mechanické propojení je zajištěno pomocí zredukovaného brzdového tyčoví. Tím se kompletně uvolní centrální prostor určený primárně pro sestavu pohonu dvojkolí, jak je patrné ze schémat na Obr. 85 a Obr. 86.

Jelikož jsou dvojkolí vzájemně mechanicky propojeny přes předlohový hřídel, tak lze uvažovat nad rozdělením zdroje brzdné síly na pneumatickou a mechanickou část. Díky tomu by zůstal stejný počet funkčních komponent, jak u varianty I.



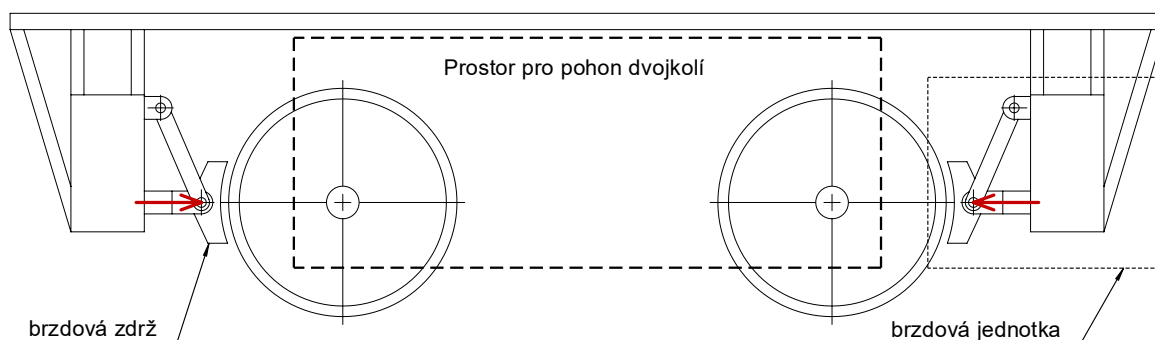
Obr. 85 schéma brzd varianty J pohled z boku



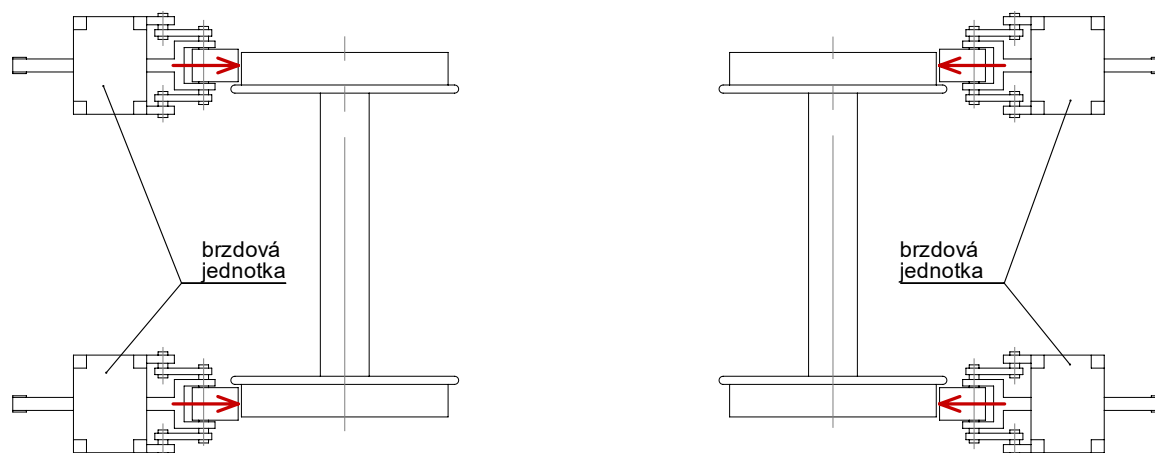
Obr. 86 schéma brzd varianty J pohled shora

4.3.3 Varianta K

Jde o aplikaci konceptu brzdové jednotky špalíkové brzdy. Konkrétně je zamýšleno vycházet z brzdové jednotky ŠKODA na Obr. 53. Všechny komponenty (brzdový válec, vřeteno ruční brzdy, vratná pružina a převodová páka) jsou zde seskupeny do jednoho kompaktního celku brzdové jednotky. Jejich rozmístění na lokomotivě AEG je na Obr. 87 a Obr. 88.



Obr. 87 schéma brzd varianty K pohled z boku



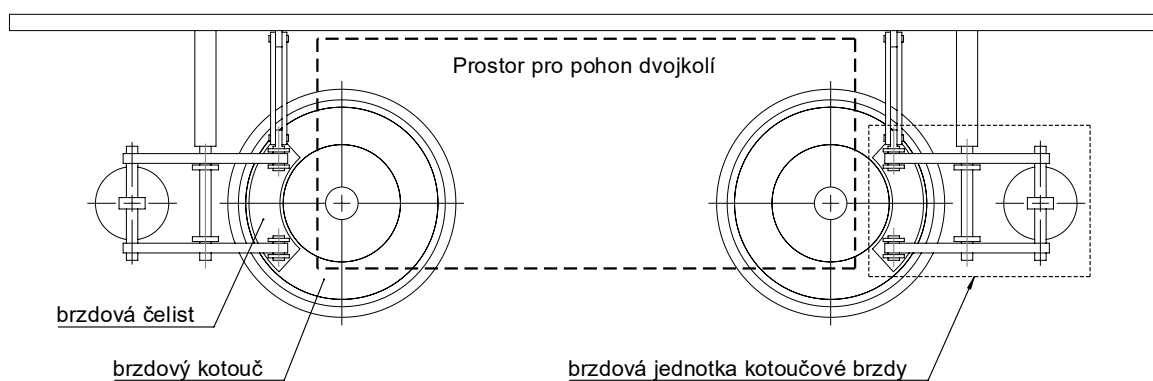
Obr. 88 schéma brzd varianty K pohled shora

Absence nutnosti propojovat brzdové zdrže mezi sebou umožňuje uvolnit jak prostor pro pohon dvojkolí, tak i prostor v oblasti spřáhlového ústrojí. Jejich instalace na okraji hlavního rámu bude pravděpodobně značně lehčí než montáž brzdového tyčového do útrob lokomotivy, jak to vyžadují varianty I a J.

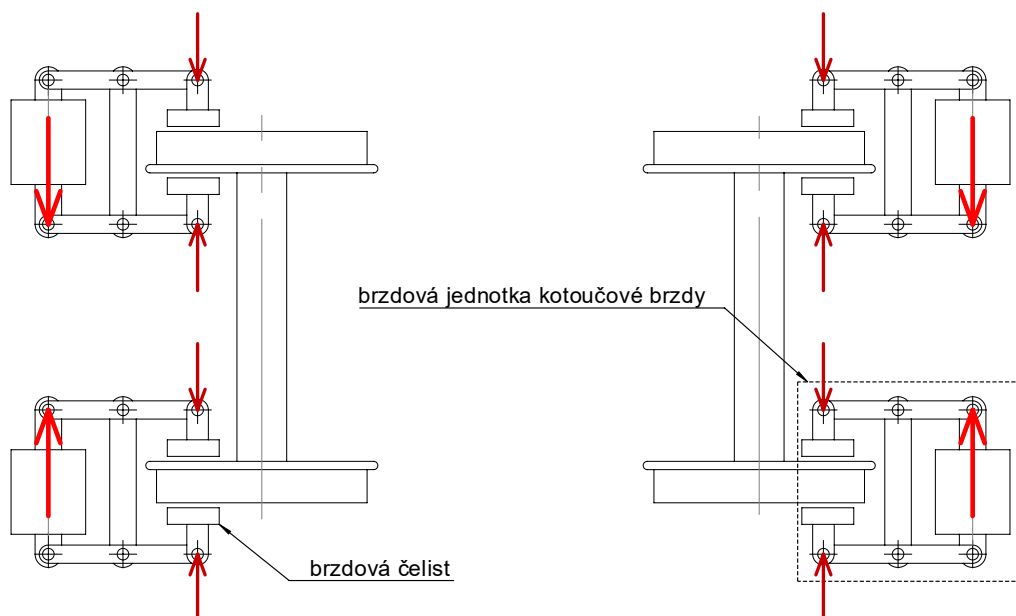
4.3.4 Varianta L

Rovněž, jak u varianty K, tak i tato varianta vychází z konceptu brzdové jednotky. Oproti ní je však založená na konceptu brzdové jednotky kotoučové brzdy z Obr. 55 (aplikace na lokomotivě AEG je na Obr. 89 a Obr. 90). Ke kladům varianty K se zde navíc přidává eliminace jednostranně zvýšené zátěže ložisek díky použití kotoučů oproti špalíkům.

Nevýhodou této koncepce je potřeba instalace právě oněch kotoučů. Ty jsou zde, z důvodu úspor místa, instalovány do kol dvojkolí. Další negativním vlastností je potřeba provádět průběžné čištění jízdních ploch kol, anebo instalovat čistící špalíky.



Obr. 89 schéma brzd varianty L pohled z boku



Obr. 90 schéma brzd varianty L pohled shora

4.3.5 Výběr vhodné koncepční varianty brzd

V Tab. 4 jsou vypsaná kritéria hodnocení jednotlivých variant. Každá varianta obdrží číselné hodnocení v rozmezí 1 až 4 podle splnění daného kritéria (1 – splňuje, 4 – nesplňuje). Následné vyhodnocení bude založené na aritmetickém průměru přidělených hodnocení.

Varianta:	I	J	K	L
Nezvyšuje zatížení nápravových ložisek přitlačováním špalíků na kola	2	4	4	1
Umožňuje instalaci ruční brzdy na obou čelech lokomotivy	4	1	1	1
Nevyžaduje instalaci brzdových kotoučů	1	1	1	4
Minimalizuje možné kolizi s pohonem dvojkolí	4	2	1	1
Při brždění dochází k automatickému čištění jízdní plochy kola	1	1	1	4
Omezuje duplicitní výskyt dražších prvků brzdy*	1	2	4	4
Výsledné aritmetické průměry	2,167	1,833	2	2,5

Tab. 4 porovnání variant řešení uspořádání brzd

* – dražšími prvky jsou myšleny pneumatické válce a pohybové šrouby ruční brzdy

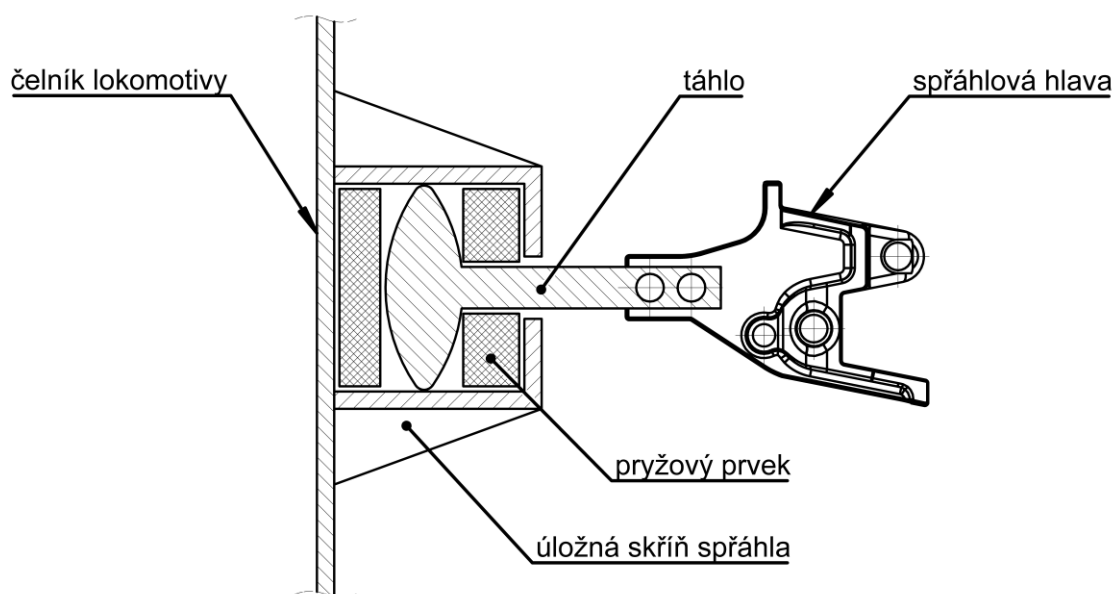
Při tvorbě modelu v konstrukční části došlo ke kolizi brzd koncepce varianty J se spráhlovým ústrojím varianty Q-1. Jelikož již bylo spráhlové ústrojí z větší části dokončené, tak se jeví jako nejvhodnější řešení vyřadit varianty I a J z výběru. Z tohoto důvodu volím variantu K.

4.4 Spřáhlové ústrojí

4.4.1 Varianta O

Koncepčně vychází ze současného provedení (Obr. 34). Rozdílné je tvarování dosedacích ploch mezi táhlem a pryžovými prvky. Zde jsou tyto plochy ve tvar půlkružnic, což by mělo usnadňovat výkyv spřáhla do stran. Ze stejného důvodu jsou zaoblené rohy dotýkající se stěn úložné skříně spřáhla. Otvor pro vyústění táhla z úložné skříně spřáhla musí být dostatečně velký, aby umožnil bezkolizní výkyv. Schématické provedení je na Obr. 91.

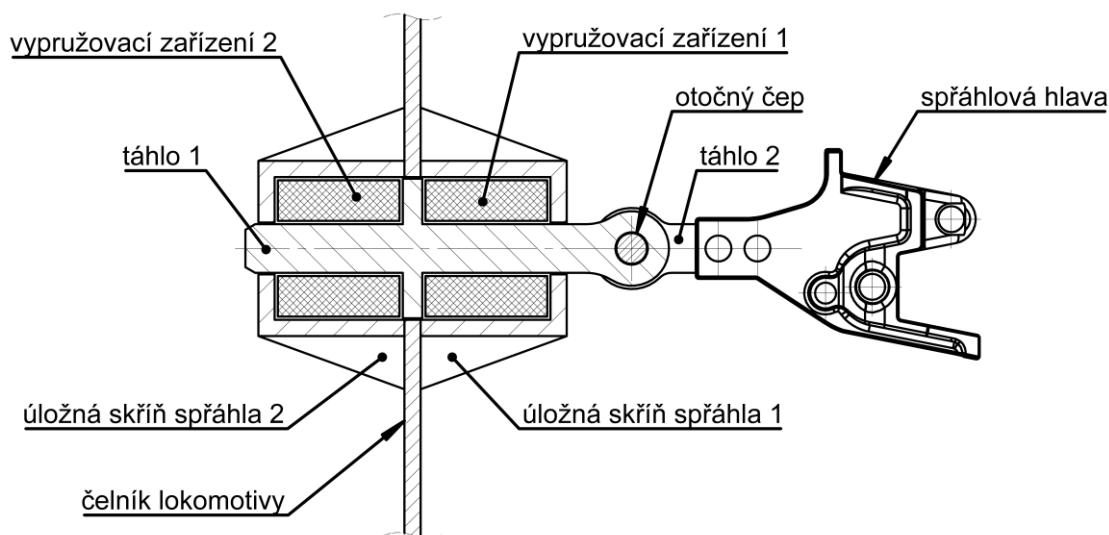
I přes uvedená vylepšení je však zřejmé, že i zde bude pryž klást odpor při snaze vykývnout spřáhlo do strany a bude tlačit spřáhlo do vystředěné pozice.



Obr. 91 schéma varianty O

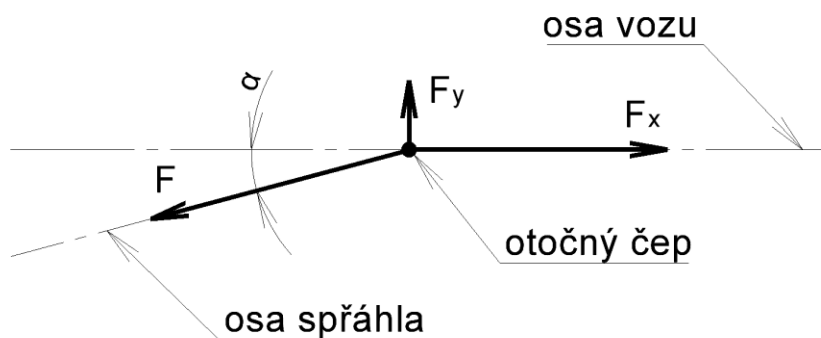
4.4.2 Varianta P

U této varianty dochází k oddělení pružící a otočné části spřáhla (schéma na Obr. 92). Vypružovací zařízení jsou dvě (1 – pro tažné síly, 2 – pro tlačné síly) a jsou uložena mezi rámem lokomotivy (rozšířeným pomocí dvou úložných skříní spřáhla) a táhlem. Na konci táhla, který směřuje mimo lokomotivu, se nachází otočný čep. K tomuto čepu je přichyceno 2. táhlo s hlavou spřáhla. Tím je spřáhlu umožněno úhlové natáčení do stran bez znatelného odporu (třecí odpory ale zůstávají).



Obr. 92 schéma varianty P

Nedostatkem tohoto provedení je, že na otočném čepu dochází k rozkladu sil (viz Obr. 93). Zatímco síla F_x je na rám lokomotivy přenášena přes vypružovací zařízení, tak síla F_y toto zařízení obchází a je přenášena bez jakéhokoliv tlumení. Čím větší je vychýlení spřáhla z osy, tím větší síla se bez jakéhokoliv vypružení a tlumení přenáší na rám lokomotivy.

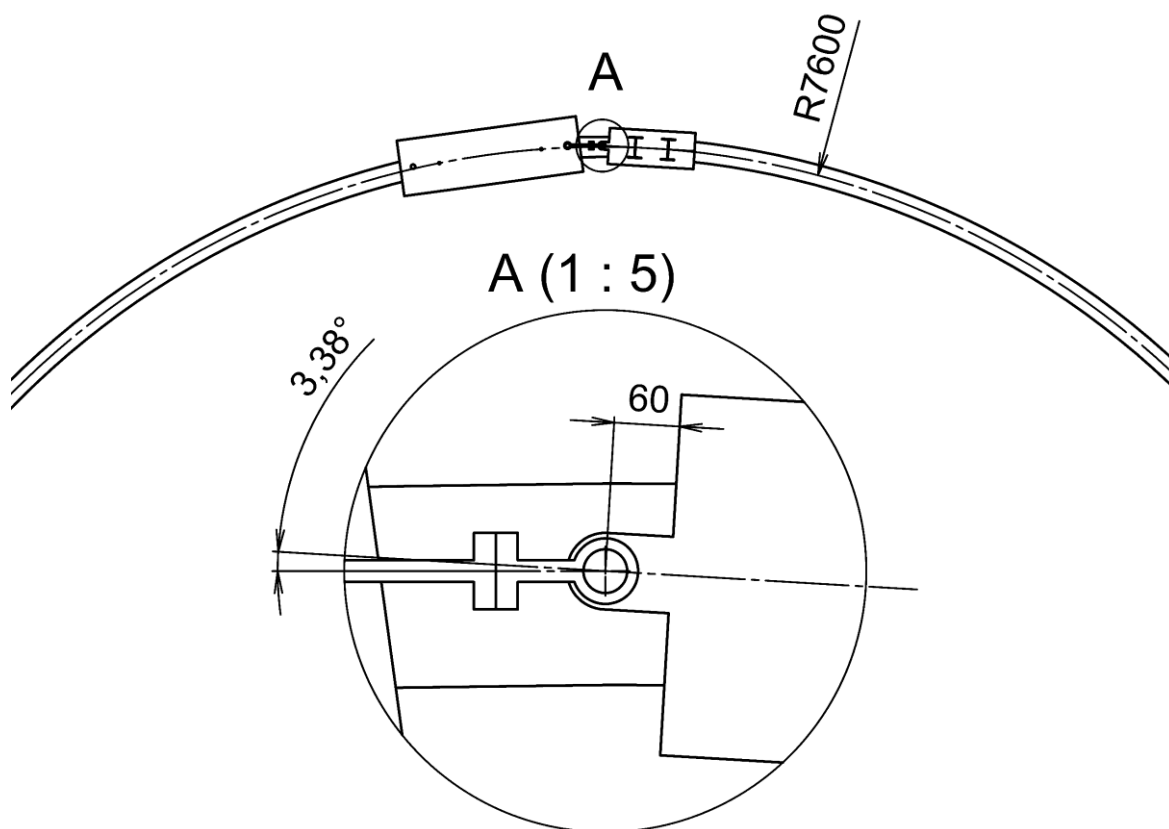


Obr. 93 Náčrt rozkladu sil na otočném čepu

Pro lepší porovnání kladů a záporů koncepčního návrhu P bude určeno, kolik procent síly F přejde do nevypružené síly F_y . Úhel vychýlení spřáhla α je určen pomocí rozměrového náčrtu (viz Obr. 94) na základě rozměrů lokomotivy AEG (vzdálenost čepu táhla od čelníku lokomotivy je volena přibližně), obslužného vozu 451 (standartně užívaný vůz pro řízení lokomotivy č. 9) a nejmenšího poloměru oblouku vratné smyčky Ořechová.

$$F_y = F \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$F_{y\%} = \frac{F_y}{F} \cdot 100 = \frac{F \cdot \sin(\alpha)}{F} \cdot 100 = \sin(\alpha) \cdot 100 = \sin(3,38^\circ) \cdot 100 \doteq 6\% \quad (3)$$

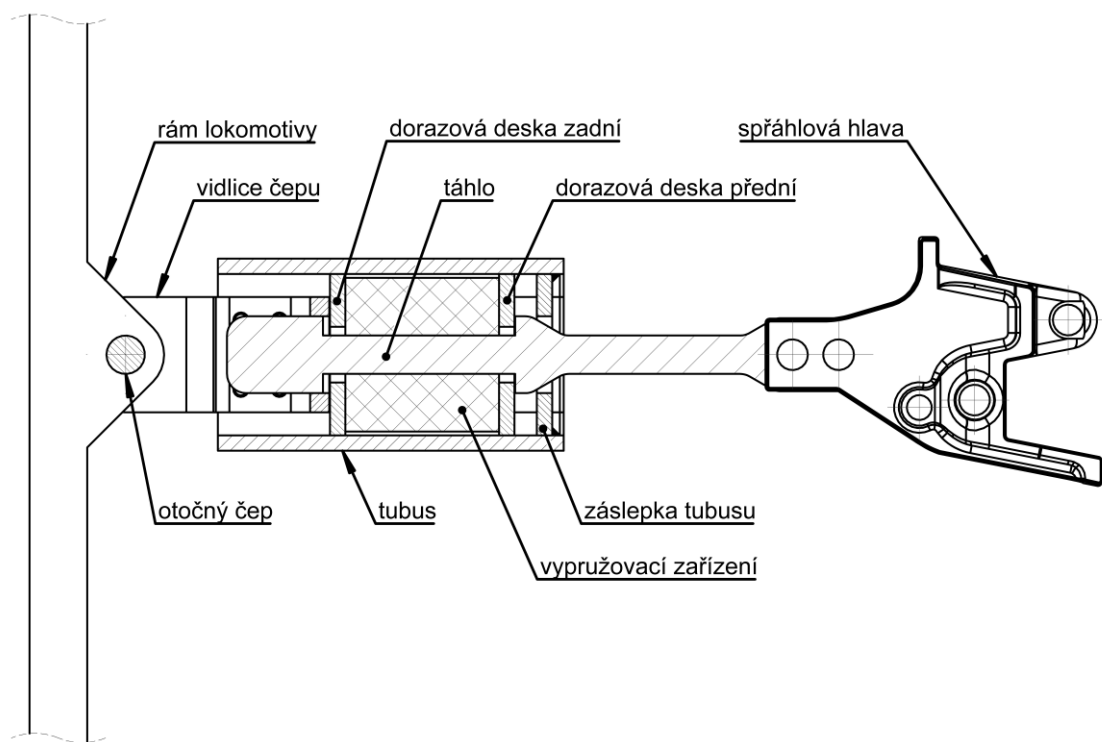


Obr. 94 rozměrový náčrt průjezd soupravy obloukem

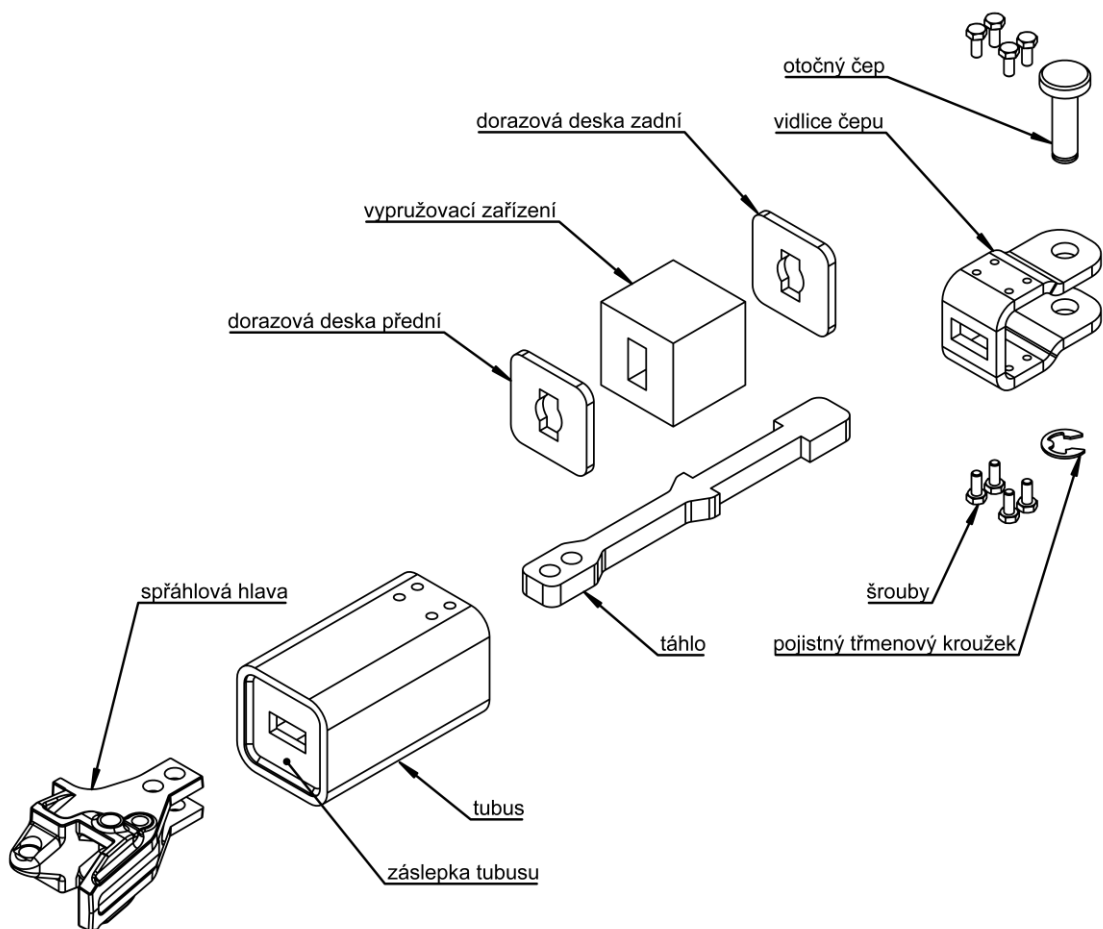
4.4.3 Varianta Q

Oproti variantě P zde došlo ke změně pořadí pružící a otočné části spráhla. Uložení otočného čepu táhla je umístěno na rám lokomotivy a vypružovací zařízení je zabudováno do táhla (viz schéma na Obr. 95 a rozložený pohled sestavy na Obr. 96). Obdobné uspořádání se používá u tramvají (viz Obr. 70). Toto pořadí zachovává výhodu varianty P v podobě natáčení do stran bez znatelného odporu (třecí odpory pochopitelně přetrvávají) a zároveň odstraňuje problém s nevypruženou silou F_y .

Nevýhoda varianty Q spočívá v prodloužení táhla o vypružovací zařízení. Aby tato nevýhoda byla minimalizována, tak je zde použito pouze jedno vypružovací zařízení, které slouží pro tlumení tažných i tlačných sil. To je umožněno pomocí dvou dorazových desek (přední a zadní), které se mohou v určitém rozmezí volně pohybovat po táhle (mezi zarážkami na něm) a uvnitř tubusu (mezi vidlicí čepu a záslepkou tubusu).

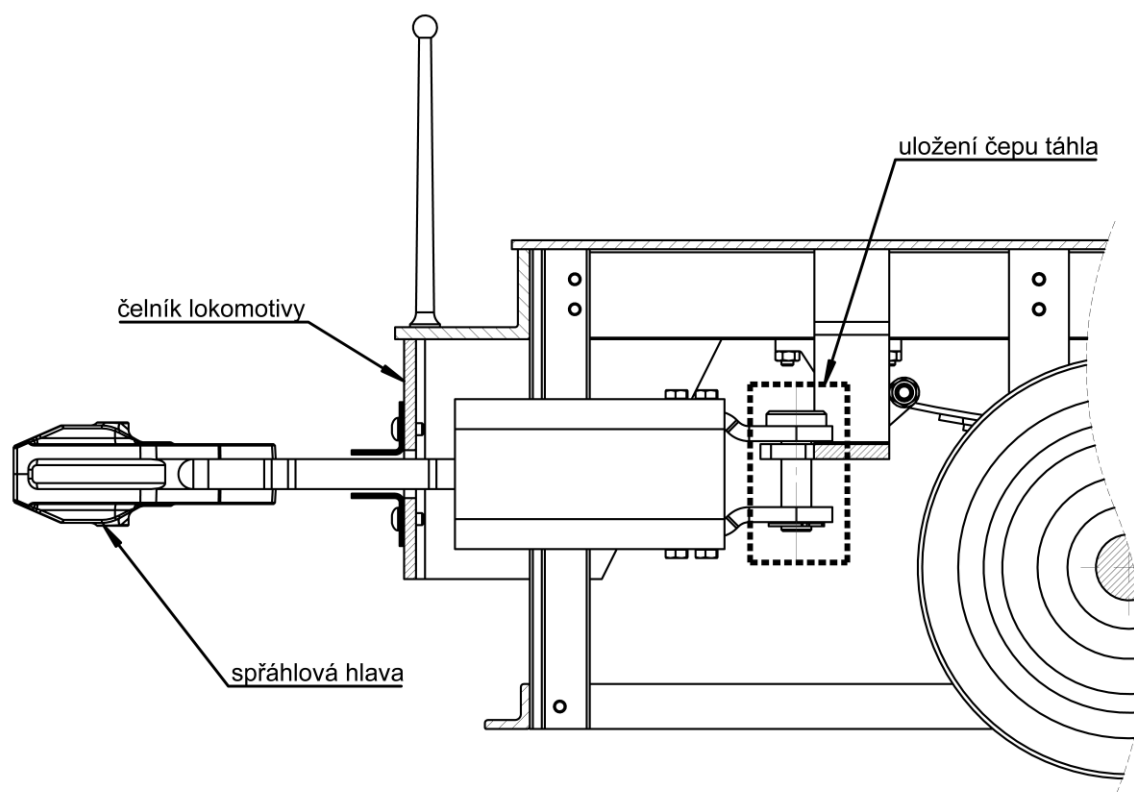


Obr. 95 schéma varianty Q



Obr. 96 rozklad sestavy varianty Q

Další možností, jak kompenzovat tuto nevýhodu, je umístit uložení otočného čepu táhla do útrob lokomotivy, čímž se zmenší mezera mezi lokomotivou a obslužným vozem. Přibude však problém v podobě možných kolizí s brzdovým tyčovím. Toto provedení je dále označováno jako varianta Q-1 (schéma na Obr. 97).



Obr. 97 schéma varianty Q-1

Uložení otočného čepu táhla lze umístit i na čelník lokomotiv (shodné s variantami A a B). Odpadne tím problém s možnými kolizemi uvnitř lokomotivy, ale zas se značně prodlouží vzdálenost mezi vozem a lokomotivou. Navíc zajištění spřáhla proti volnému výkyvu do stran je komplikovanější. Toto provedení je dále označováno jako varianta Q-2.

4.4.4 Výběr vhodné koncepční varianty spřáhlového ústrojí

V Tab. 5 jsou vypsána kritéria hodnocení jednotlivých variant. Každá varianta obdrží číselné hodnocení v rozmezí 1 až 4 podle splnění daného kritéria (1 – splňuje, 4 – nesplňuje). Následné vyhodnocení bude založené na aritmetickém průměru přidělených hodnocení.

	Variantá:	O	P	Q-1	Q-2
Pružící prvek nevytváří sílu proti výkyvu spřáhla		3	1	1	1
Veškerá přenášená síla prochází skrz vypružovací zařízení		2	3	1	1
Možno užít různé pružné prvky vypružovacího zařízení*		3	1	1	1
Zajištění nečinného spřáhla proti nekontrolovatelnému výkyvu za jízdy		1	4	2	3
Bez možných kolizních problémů uvnitř lokomotivy		1	2	4	1
Minimalizace vzdálenosti mezi lokomotivou a vozem**		3	2	1	4
		2,167	2,167	1,667	1,833

Tab. 5 porovnání variant řešení spřáhla

* – umožnění více experimentovat s dalšími typy pružících prvků s využitím 3D tisku

** – s větší vzdáleností je nutno prodlužovat i kabely řízení (= vyšší cena) rostou

Z hlediska průměru si nejlépe vede varianta Q-1. Má poměrně dost kladů a prakticky jen jeden nedostatek, přičemž ony možné kolize je možné vyřešit výběrem vhodné koncepce uspořádání brzd.

4.5 Ventilace

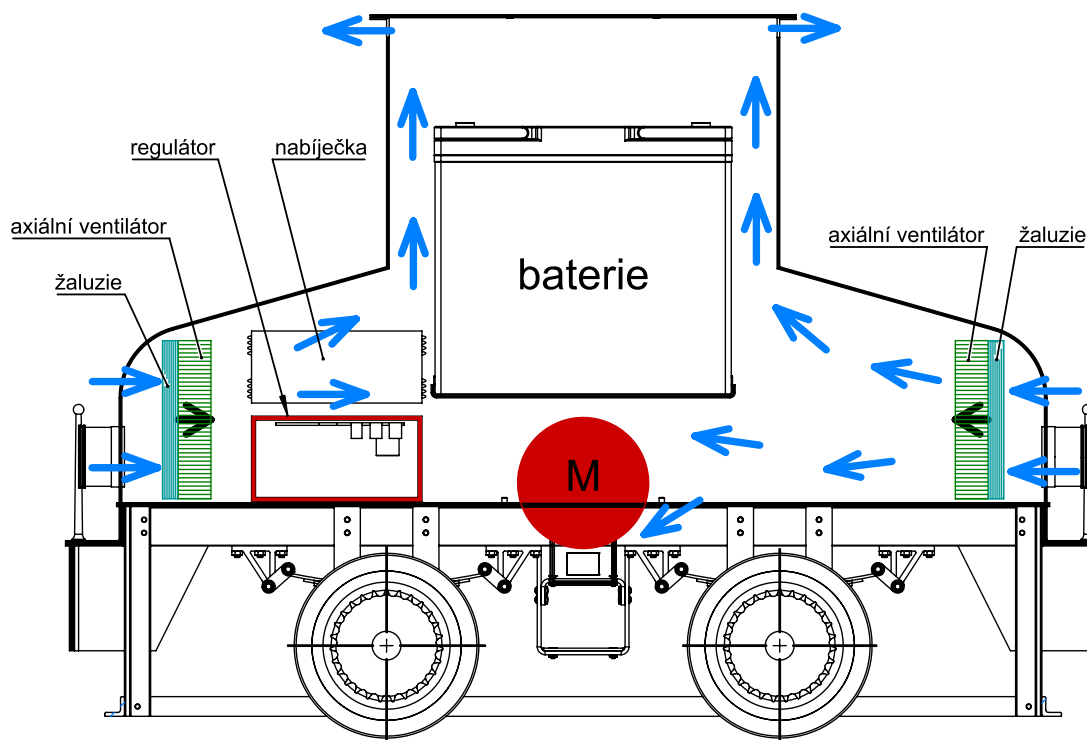
Všechny 3 varianty jsou založené na nucené ventilaci, která vytváří v prostoru strojovny přetlak. Tato koncepce by měla vyloučit vnikání nečistot jinou cestou než přes žaluzie, které je v co největší míře budou odlučovat.

Oproti předešlým koncepčním řešením zde dochází k navázání na zvolenou koncepci pohonu dvojkolí, protože její výsledek ovlivňuje rozvržení prvků ve strojovně lokomotivy.

Je poměrně důležité zdůraznit, že modré šipky znázorňující průtok vzduchu (v následujících schématech) jsou pouze domněnkami založenými na ukázkách simulací průtoku vzduchu v jiných zařízeních. Zpřesnění těchto úsudků by šlo pomocí provedení CFD simulací, které jsou ovšem poměrně náročné. Pro realistické výsledky by bylo navíc třeba znát přesné rozvržení strojovny a velikosti jednotlivých prvků (převodovka, motor, ...), které v řešení koncepční části nejsou k dispozici.

4.5.1 Varianta U

Tato koncepce se zakládá na modelové předloze (Obr. 43), kde jsou patrné otvory na čelním plechu kapoty. Vytvoření obdobných otvorů by, krom funkce sání vzduchu, přiblížilo novou verzi lokomotivy ke své reálné předloze. Oproti předloze jsou zde ovšem otvory na obou čelech, jak je patrné z Obr. 98.



Obr. 98 schéma ventilace varianty U

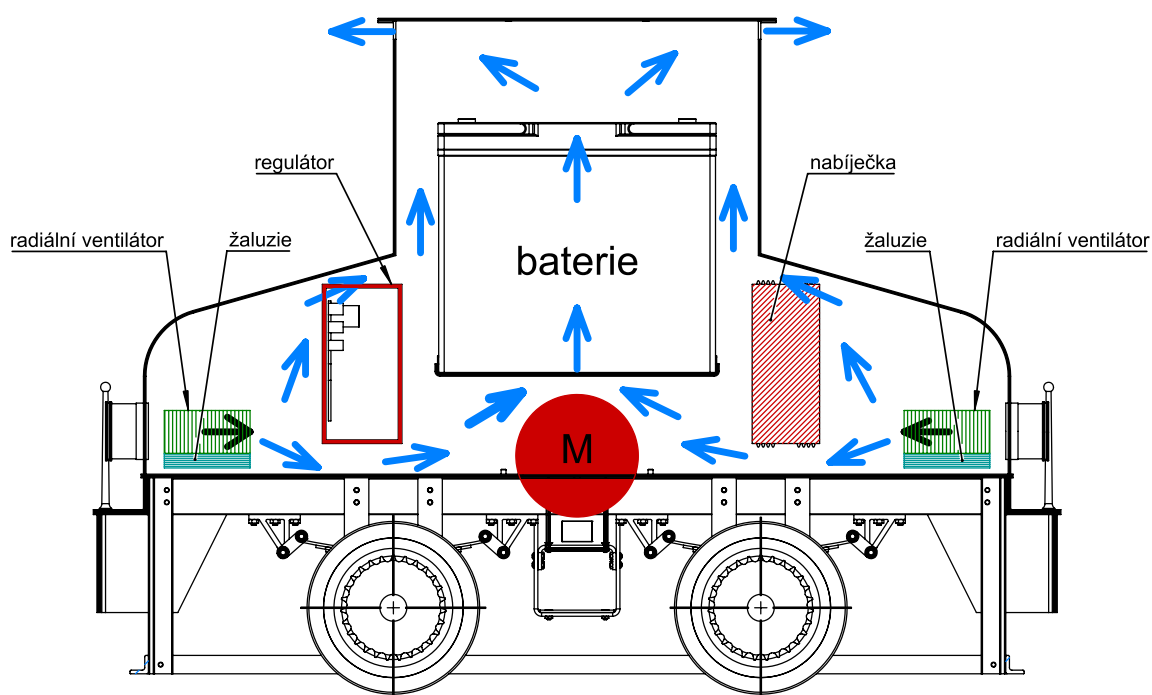
Chladicí vzduch je tedy nasáván skrz otvory na čelní straně kapoty, které zároveň tvoří první stupeň filtrace proti velmi hrubým nečistotám (např. suché listí). Hned za nimi se nacházejí žaluzie, které odlučující další nečistoty a případné kapky vody od deště. Na žaluzie jsou napojeny axiální ventilátory, který vytváří potřebný tah.

Hlavní výfuk ohřátého vzduchu je zde zamýšlen provést pomocí otvoru pod střechou lokomotivy, který vznikne jejím nepatrným nadzvednutím nad zbytek okolního plechu kapoty. Tím dojde k nucenému průtoku vzduchu kolem baterií pro zajištění jejich chlazení. Vedlejším výfukem vzduchu jsou netěsnosti kolem elektromotoru.

4.5.2 Varianta V

Vzduch je zde nasáván ze spodu přes otvory vytvořenými v podlaze strojovny. K těmto otvorům jsou přidělané žaluzie, které odlučují primárně nečistoty vzniklé jízdou vlaku. Nad žaluziemi jsou instalovány radiální ventilátory, které distribuují vzduch rovnoběžně s podlahou (viz Obr. 99). Tím je zajištěn dostatečný průtok vzduchu kolem elektromotoru a částečně i regulátoru + nabíječky.

Horší situace nastává u chlazení baterie, kdy zakreslené proudění nejspíše nebude moc odpovídat realitě. Výfuk vzduchu by zde měl opět probíhat v prostorách pod střechou, ale spíše bude docházet k úniku skrz netěsnosti skříně lokomotivy.

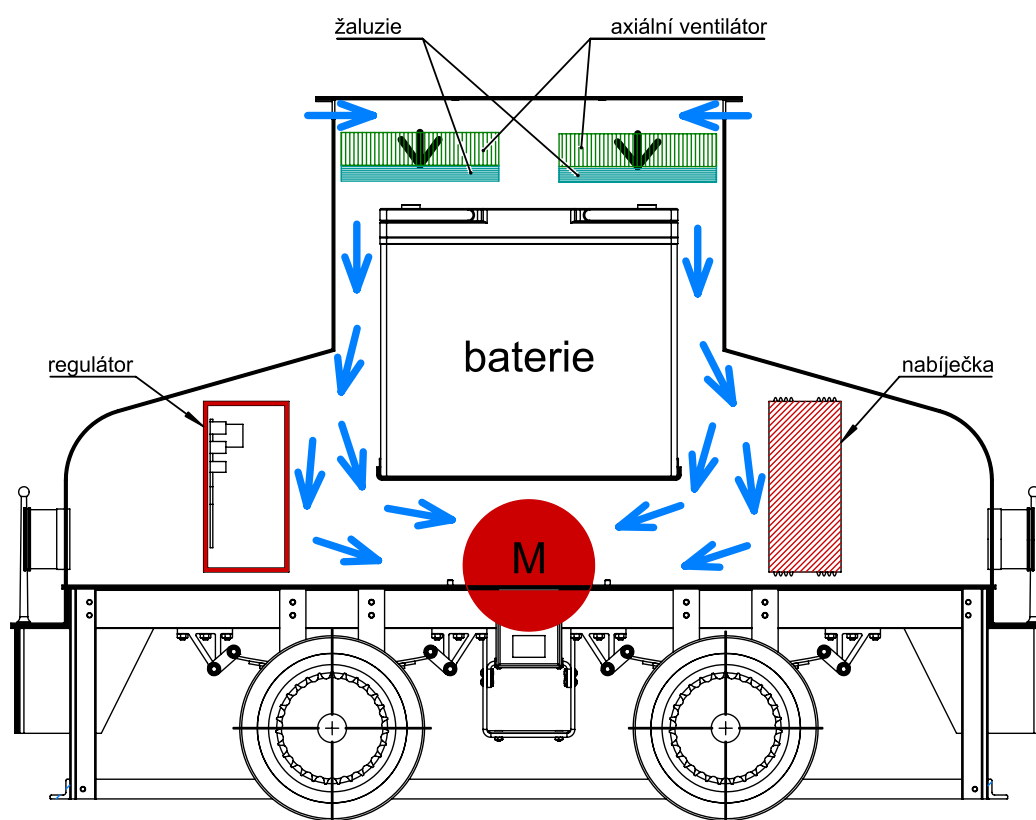


Obr. 99 schéma ventilace varianty V

4.5.3 Varianta W

Oproti všem předešlým variantám je zde průtok vzduchu provedeno shora dolů (znázorněno na Obr. 100). K toku vzduchu ze shora dolů dochází pomocí axiálních ventilátorů umístěnými pod střechou. Žaluzie jsou zde až za ventilátorem z důvodů směřování vzduchu do stran (některé typy žaluzií toto umožňují, jak vyplývá za simulace na Obr. 66). Nicméně i přes toto uspořádání lze konstatovat, že výfuk vzduchu na baterie bude značně ztrátový.

Tato koncepce průtoku zajišťuje ideální chlazení baterií tím nejchladnějším možným vzduchem (baterie jsou prvním článkem v sérii chlazení). Posledním článkem je zde elektromotor, kde dochází k výfuku vzduchu kolem jeho netěsností.



Obr. 100 schéma ventilace varianty W

4.5.4 Výběr varianty ventilace

Jelikož nejsou k dispozici přesné simulace a jedná se spíše o domněnky, tak vybírám variantu U ze tří následujících důvodů:

- Nedochozí u ní k sání zvěřeného vzduchu zpod lokomotivy, jak u varianty V.
- Nepotřebuje zvyšování kapoty, jak u varianty W
- Přibližuje lokomotivu modelové předloze.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Konstruování je obecně založeno na neustálém iteračním procesu, kdy dochází k postupnému vylepšování v závislosti na získaných poznatcích z předchozí verze stroje. Mou iterací nula, pro účely této práce, je současné konstrukční provedení lokomotivy AEG č. 9. Tato konkrétní lokomotiva byla vybrána na základě konzultace s vedením SMPD, protože jí využívaný rozchod 184 mm je do budoucna preferovaným rozchodem.

Jelikož se, jak jsem se již zmiňoval v úvodu, celková koncepce a konstrukce lokomotivy z větší části osvědčila, tak není třeba vše navrhovat a propočítávat znovu od nuly. A jelikož by popis již existujícího stavu byl víceméně opakováním kapitoly 2.1, tak se konstrukční řešení zabývá popisem nově navrhovaných konstrukčních celků.

V následujících podkapitolách je popsána poslední provedená iterace, kterou lze označit jako vyhovující ke stanoveným cílům. Kvůli zestručnění textu nejsou popsány jednotlivé iterační fáze (Výjimkou tvoří komentáře odůvodňující odklon od zvoleného koncepčního řešení.)

Ve výpočtech jsou používány následující dva návrhové koeficienty podle stupně jistoty znalosti daného druhu namáhání a výpočtového vztahu pro ověření bezpečnosti:

- Návrhový koeficient $k_{n2} = 2$ pro dobře známé druhy namáhání
- Návrhový koeficient $k_{n4} = 4$ pro méně jasné způsoby namáhání

Vzhledem k faktu, že lokomotiva v současné době používá přídavná závaží pro zvýšení své hmotnosti, tak se výpočty nesnaží o její minimalizování i přes místy vysoké hodnoty vůči mezním stavům. Lokomotiva je navrhovaná pro kusovou výrobu, a tudíž selhání jakékoliv součástky vyráběné na míru bude znamenat její okamžité odstavení a čekání na dodání nového dílu (= výsledné vysoké bezpečnosti jsou proto spíše žádané).

Plánovaná životnost lokomotivy je minimálně 30 let. Tento údaj je především důležitý při výpočtech ložisek, kdy je třeba uvážit požadovaný počet hodin. Ty lze odhadem spočítat z počtu provozních dnů jednoho provozního roku PDB. Pro rok 2026 to vychází na přibližně 60 provozních dnů. Každý provozní den má necelých 10 hodin, během kterých může být lokomotiva nasazena. Životnost lokomotivy v hodinách tedy je:

$$t_{ziv} = 30 \text{ let} \cdot 60 \text{ dnů} \cdot 10 \text{ hodin} = 18\,000 \text{ hodin}$$

5.1 Mechanické vlastnosti používaných materiálů

Primárně používanou ocelí je ocel S235JR pro její širokou dostupnost v normalizovaných polotovarech, dobrou svařitelnost a příznivou cenu. Zbylé materiály vznikly potřebou jednotlivých součástí ať už z dodavatelských, nebo pevnostních důvodů. V Tab. 6, Tab. 7 a Tab. 8 jsou uvedeny mechanické vlastnosti používaných ocelí.

Konstrukční ocel S235JR

Mez kluzu zvolena na základě [31]:

$$Re_{S235} = 225 \text{ MPa}$$

Tab. 6 mechanické vlastnosti oceli S235JR

Ocel na strojní součástky E335

Mez kluzu zvolena na základě [32]:

$$Re_{E335} = 340 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti zvolena na základě [32]:

$$Rm_{E335} = 690 \text{ MPa}$$

Tab. 7 mechanické vlastnosti oceli E335

Hodnoty oceli C43 referenčního ozubeného kola

Mez únavy v dotyku [33]:

$$\sigma_{Hlim} = 1300 \text{ MPa}$$

Mez únavy v ohybu [33]:

$$\sigma_{Flim} = 312 \text{ MPa}$$

Tab. 8 mechanické vlastnosti referenčního ozubeného kola z oceli C43

Pro všechny oceli jsou uvažovány následující vlastnosti převzaté z [33]:

- modul pružnosti $E = 207 \text{ GPa}$
- poissonovo číslo $\mu = 0.292$
- základní hodnota dovoleného tlaku na otláčení $p_0 = 150 \text{ MPa}$

5.2 Pohon dvojkolí

Na základě koncepční varianty B bylo vypracováno následující konstrukční řešení skládající se z jednostupňového převodu čelní ozubeným soukolím s přímými zuby (uložený ve skříní převodovky) a jednostupňového válečkového řetězového převodu (nacházející se mezi výstupem z převodovky a nápravami dvojkolí). Pevnostní kontroly jednotlivých součástí jsou provedené v příloze o výpočetní stránce byl I Výpočet – pohon dvojkolí.

Před zahájením procesu navrhování konstrukce bylo třeba určit vhodný alternativní elektromotor. Při výběru rozhodoval zejména maximální dosažitelný výkon, neb se od něj odvíjí tažný výkon celé lokomotivy, což je jeden z hlavních parametrů lokomotiv. Zároveň však jeho rozměry (včetně převodové skříně) nesměly přesáhnout současný půdorys lokomotivy. Na základě těchto kritérií byl vybrán elektromotor EC350.240 od firmy TRANSTECNO s.r.l., který má (oproti konkurenčním motorům) velmi dobře zpracovanou technickou dokumentaci a dodavatelská firma RAVEO umožňuje zdarma stáhnout 3D model, což se pro návrhovou práci velmi hodí. Pro výpočet byli potřebné zejména tyto dva parametry převzaté z [34]:

- Maximální výkon elektromotoru $P_{moto} = 500 \text{ W}$
- Otáčky elektromotoru $n_{moto} = 3000 \text{ min}^{-1}$

Rotační vazby jednotlivých hřídelů pohonu dvojkolí jsou zajištěné pomocí jednořadých kuličkových ložisek s doživotní náplní. Tento typ ložisek se na PDB velmi osvědčil pro svoje bezúdržbové vlastnosti a vysokou spolehlivost. Přehled základních dynamických únosností použitých ložisek je uveden v Tab. 9.

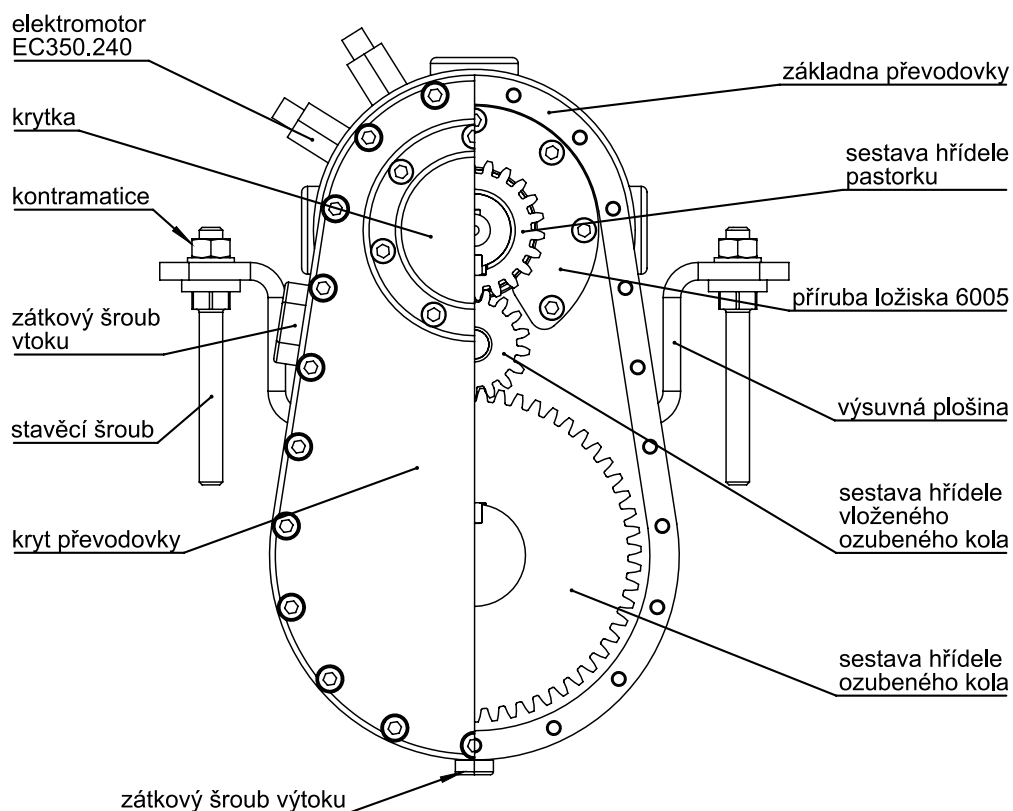
Název ložiska	Použitý zdroj	Základní dynamická únosnost
6000-2RS	[35]	$C_{r-6000} = 4.6 \text{ kN}$
6005-2RS	[36]	$C_{r-6005} = 10.1 \text{ kN}$
6006-2RS	[37]	$C_{r-6006} = 13.2 \text{ kN}$
Ložiskové těleso BPFL 201	[38]	$C_{r-201} = 9.2 \text{ kN}$

Tab. 9 přehled vlastností ložisek použitých v převodovce

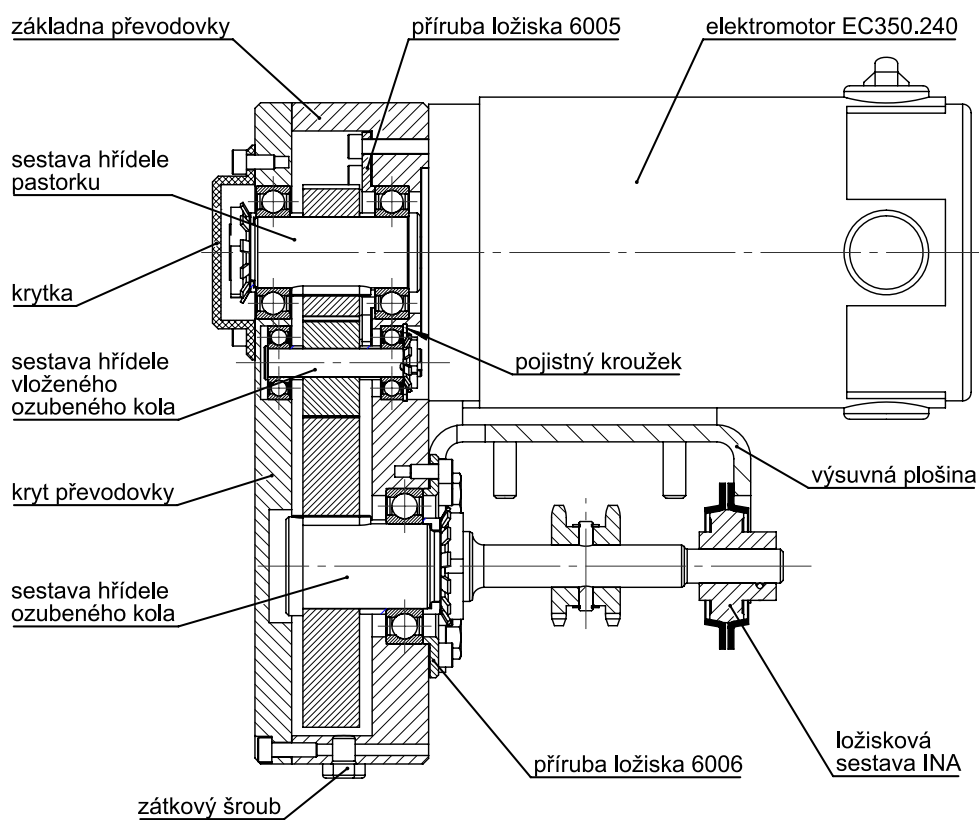
5.2.1 Převodovka

Skládá se ze tří ozubených kol s přímým ozubením. Přímé ozubení bylo zvoleno na základě možnosti koupi sériově vyráběných ozubených kol (např. na e-shopu Mateza). Jedná se především o ekonomické rozhodnutí, protože zvětšení předvrtaných děr s doplněním o drážky pro pero na obrážecce bude pravděpodobně levnější než výroba ozubeného kola na zakázku. Materiál ozubených kol C43 byl tedy určen na základě dodavatelských možností.

Na Obr. 101 a Obr. 102 je popis sestavy převodové skříně, která je sešroubovaná s výsuvnou plošinou.



Obr. 101 sestava převodovky – pohled zepředu



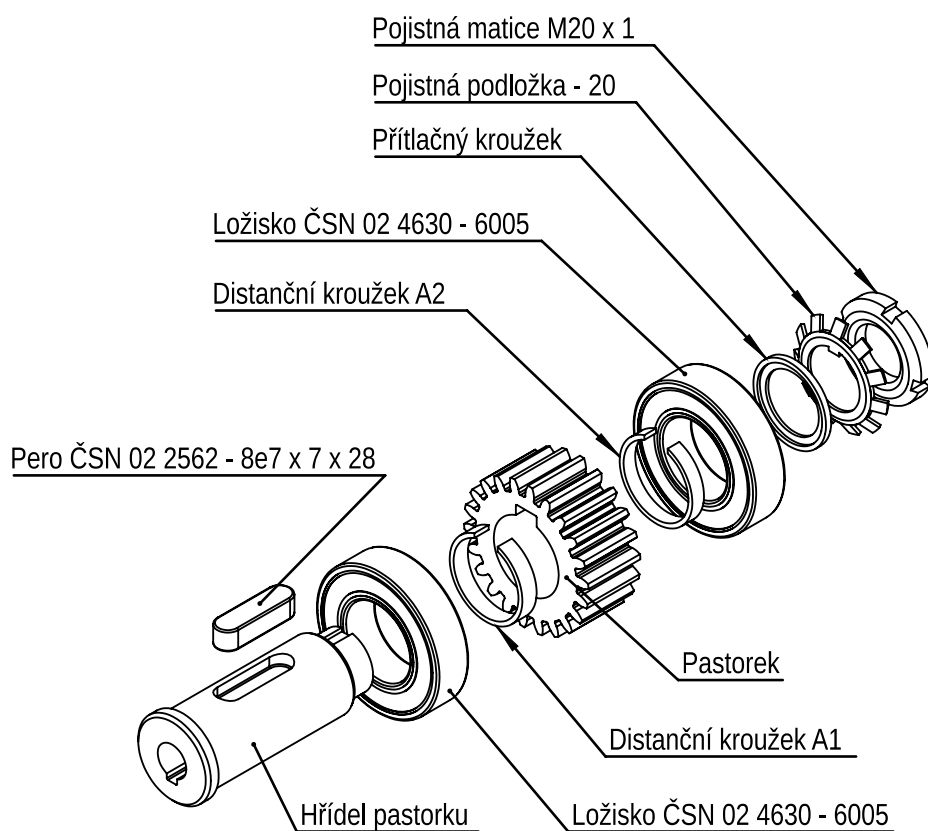
Obr. 102 sestava převodovky – pohled z boku

Oproti koncepčnímu návrhu bylo přidáno vložené ozubené kolo z důvodu potřeby navýšení osové vzdálenosti mezi vstupním hřídelem (hřídel pastorku) a výstupním hřídelem (hřídel kola). Bez tohoto navýšení docházelo buď ke kolizi mezi tělem elektromotoru, výsuvnou plošinou a řetězovým kolem, nebo byly rozměry výstupního ozubeného kola natolik velké, že se výsledná sestava převodovky nevešla mezi kola dvojkolí.

Sestava hřídele pastorku

Aby bylo docíleno minimální šířky sestavy elektromotoru s převodovkou, tak nebylo možno vložit mezi elektromotor a hřídel spojku. Hřídel je proto po celé své délce dutý. Návrhem jejího průměru se zabývá I Výpočet – pohon dvojkolí na straně 2.

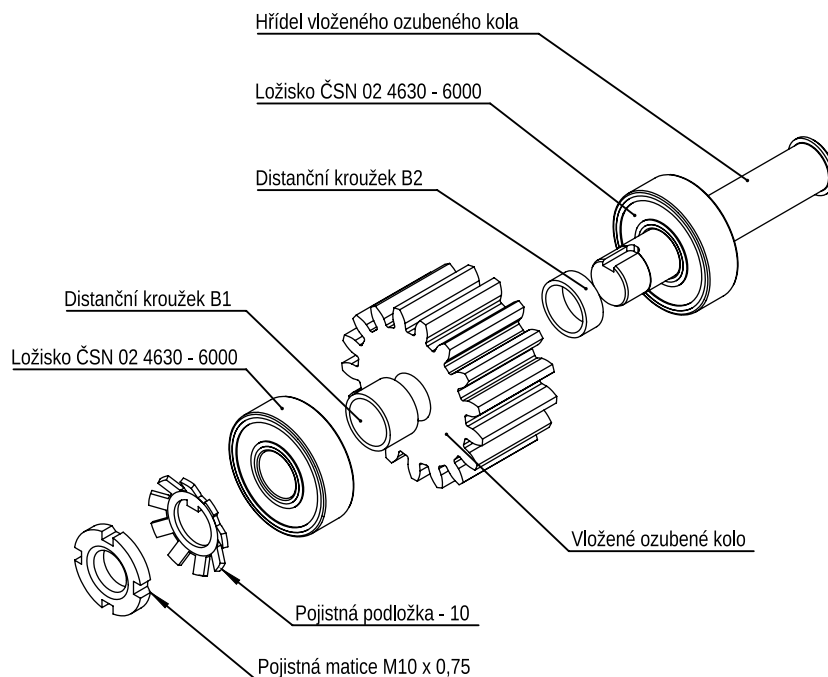
Pro minimalizaci dalších koncentrátů napětí byly použity distanční kroužky na místo postupného odstupňování průměrů na hřídeli. Celá sestava (na Obr. 103) je následně zajištěna pojistnou maticí M20 x 1 s pojistnou podložkou.



Obr. 103 sestava hřídele pastorku

Sestava hřídele vloženého ozubeného kola

Na tuto sestavu byli kladeny požadavky především z pohledu její minimalizace. Je zde aplikován obdobný koncept, jako u hřídele pastorku, tj. minimalizace koncentrátů napětí. Rozklad sestavy je na Obr. 104.

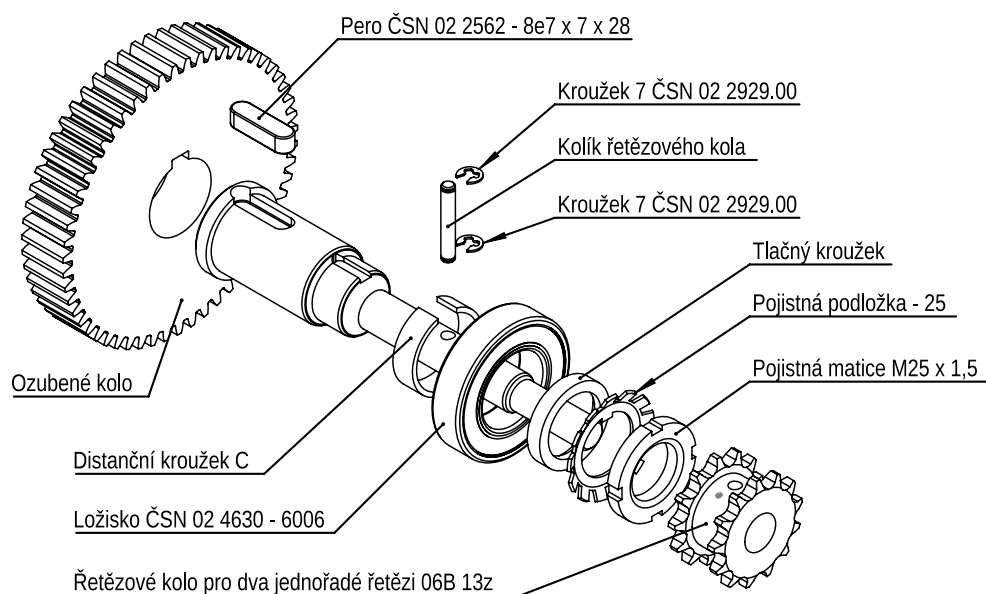


Obr. 104 sestava hřídel vloženého ozubeného kola

Sestava hřídele ozubeného kola

Sestava zajišťuje přenos kroutícího momentu z ozubeného kola na řetězové kolo pro dva jednořadé řetězy, které je vstupním kolem řetězového převodu na nápravy. Provedení uložení ozubeného kola je obdobné, jak v předešlých případech (pomocí distančního kroužku, ložiska a následného vymezení vůlí pojistnou maticí).

Rozklad sestavy je na Obr. 105.



Obr. 105 sestava hřídele ozubeného kola

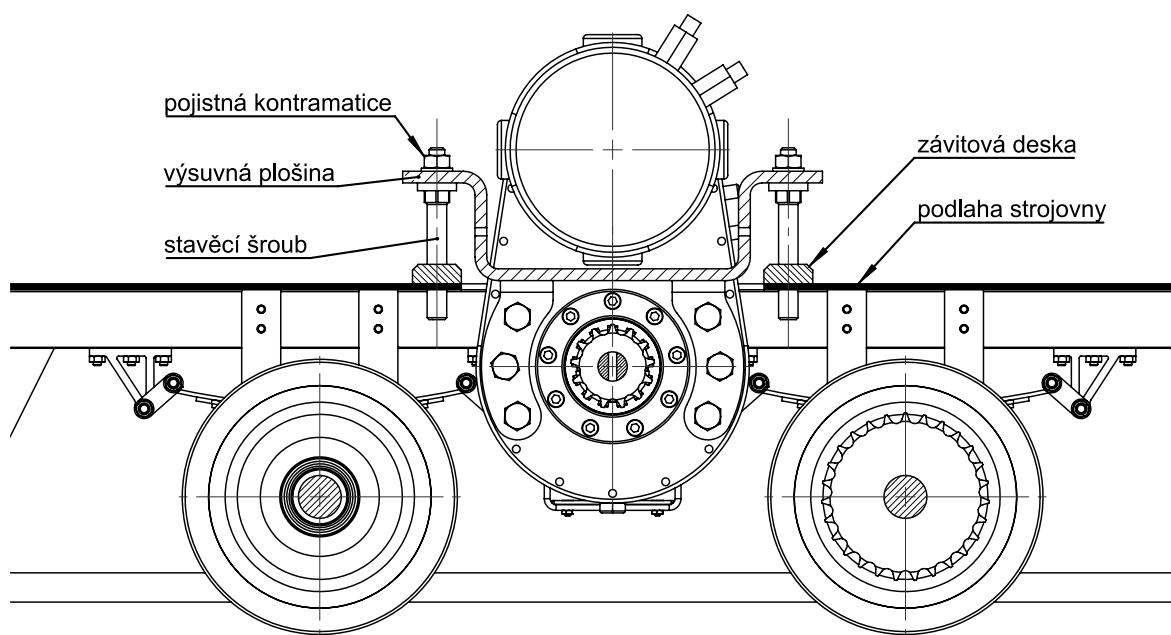
Řetězové kolo je spojené s hřídelem prostřednictvím kolíkového spoje. Ten umožňuje zajistit axiální polohu řetězového kola a zároveň je přes něj přenášen kroutící moment. Drobnou nevýhodou tohoto řešení je, že se v tomto místě nalézá nejnižší vypočítaná bezpečnost vůči meznímu stavu únavy, což je způsobeno přítomností otvoru pro kolík a zároveň vysokého ohybového momentu. Ale i přesto je tato bezpečnost rovna přibližně 5.

Jelikož tato sestava vystupuje ven z převodové skříně (obsahující olej), tak bylo třeba na ní provést úvahu o utěsnění. Místo použití gufera zde plní těsnící funkci ložisko 6006-2RS.

5.2.2 Řetězový převod

Na samotném řetězovém převodu k žádným větším změnám nedošlo. Výpočet provedl pouze ověření, že jeho parametry plně dostačují změnám v podobě elektromotoru a prvního převodového stupně.

Napínání řetězového převodu probíhá pomocí čtveřice stavěcích šroubů (se závitem M10), které se zašroubovávají/vyšroubovávají do/ze závitové vložky, která je součástí podlahy strojovny (viz Obr. 106). Proti samovolnému otáčení jsou stavěcí šrouby pojištěny maticemi M8 z druhé strany výsuvné plošiny.

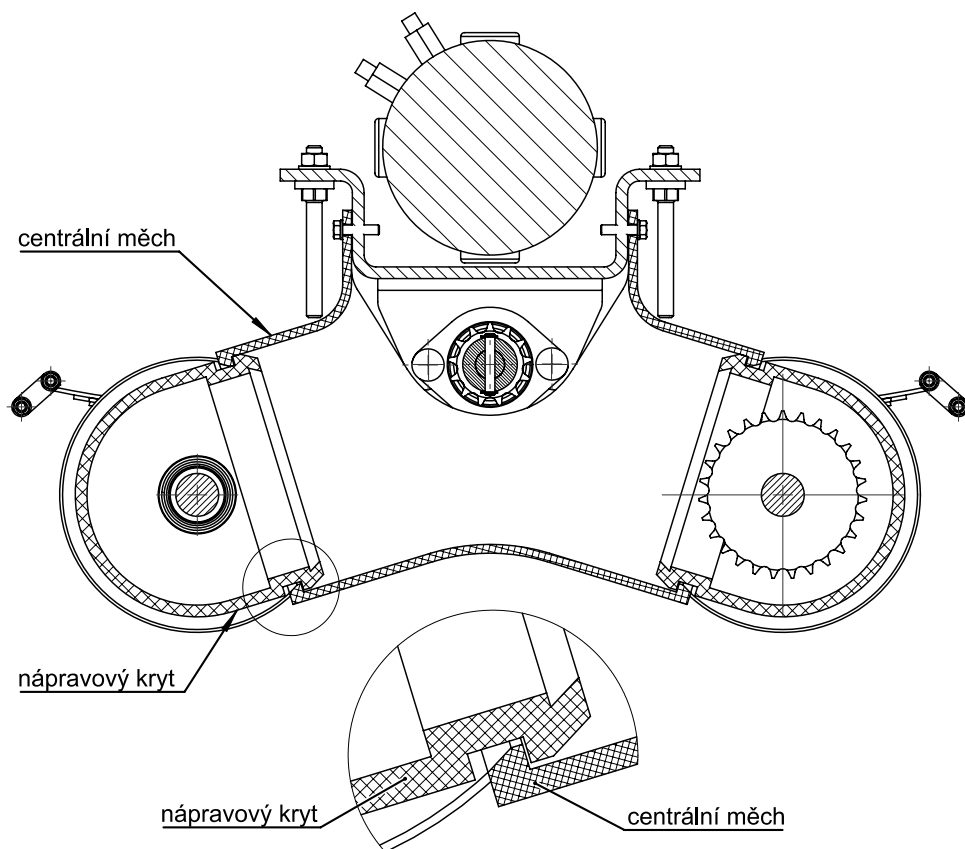


Obr. 106 schéma napínání řetězů

5.2.3 Krytí řetězových převodů

Konstrukční návrh krytí řetězu mírně pozměnil původní koncepci tím, že vypustil gufero, které mělo být na hřídeli ozubeného kola. Místo toho je centrální měch zavěšen jakoby pod výsuvnou plošinou.

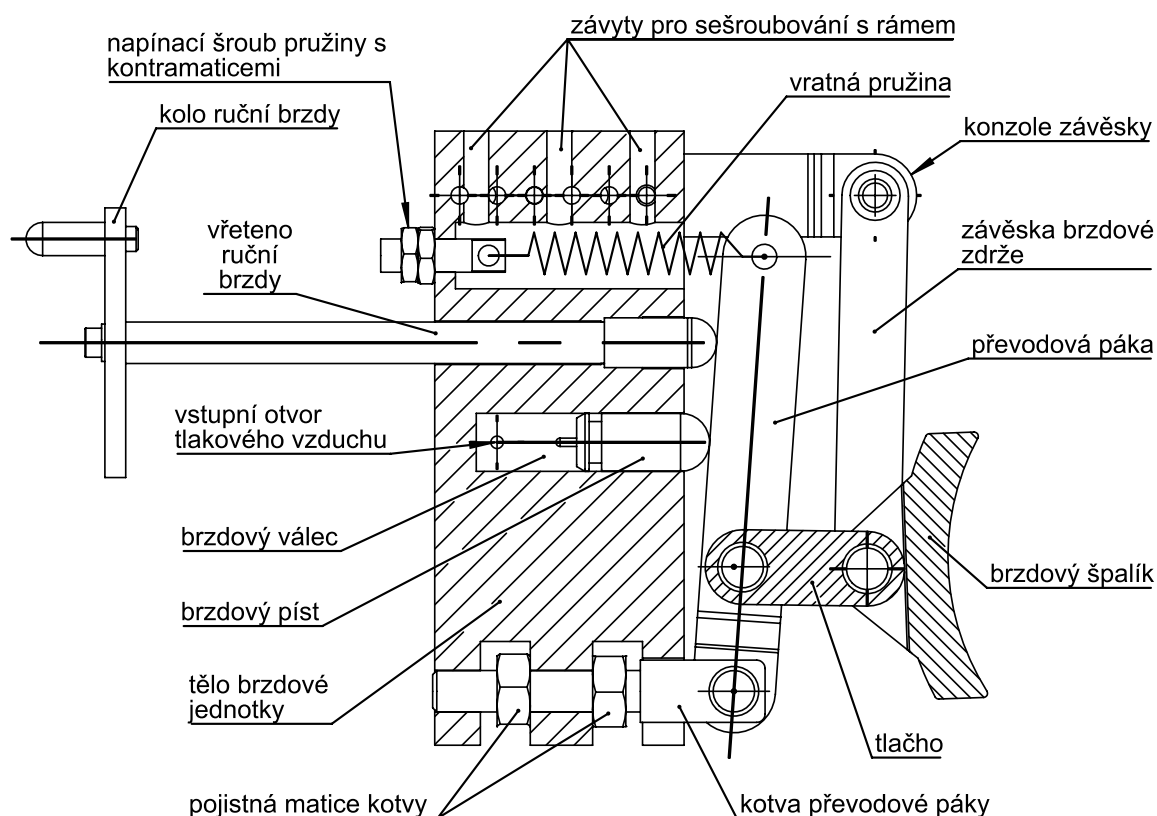
Další změnou je spojení obou částí. Zde navrhované spojení by mělo fungovat na základě převlečení centrálního měchu (vytištěném na FFF 3D tiskárně z pružného materiálu TPU) přes nápravový kryt, který je uvažováno rovněž tisknout, ale pro změnu z materiálu PETG (dobrá odolnost a těsnost). Na Obr. 107 je řez sestavu pohonu dvojkolí s osazeným krytí řetězů.



Obr. 107 krytí řetězových převodů

5.3 Brzdová jednotka

Brzdová jednotka byla navrhována na základě obrázku brzdové jednotky ŠKODA (viz Obr. 53). Její hlavní účel je umožnit brždění jak pomocí pneumatické brzdy SMPD, tak pomocí ruční brzdy. Pro korekci vůlí je brzdová jednotka vybavena posuvnou kotvou převodové páky. Další možnou úpravou nepřesností a vůlí je konzole závěsky, která má vícero pozic pro šrouby. Schéma konstrukce brzdové jednotky je na Obr. 108 a pohled na složenou jednotku je na Obr. 109.

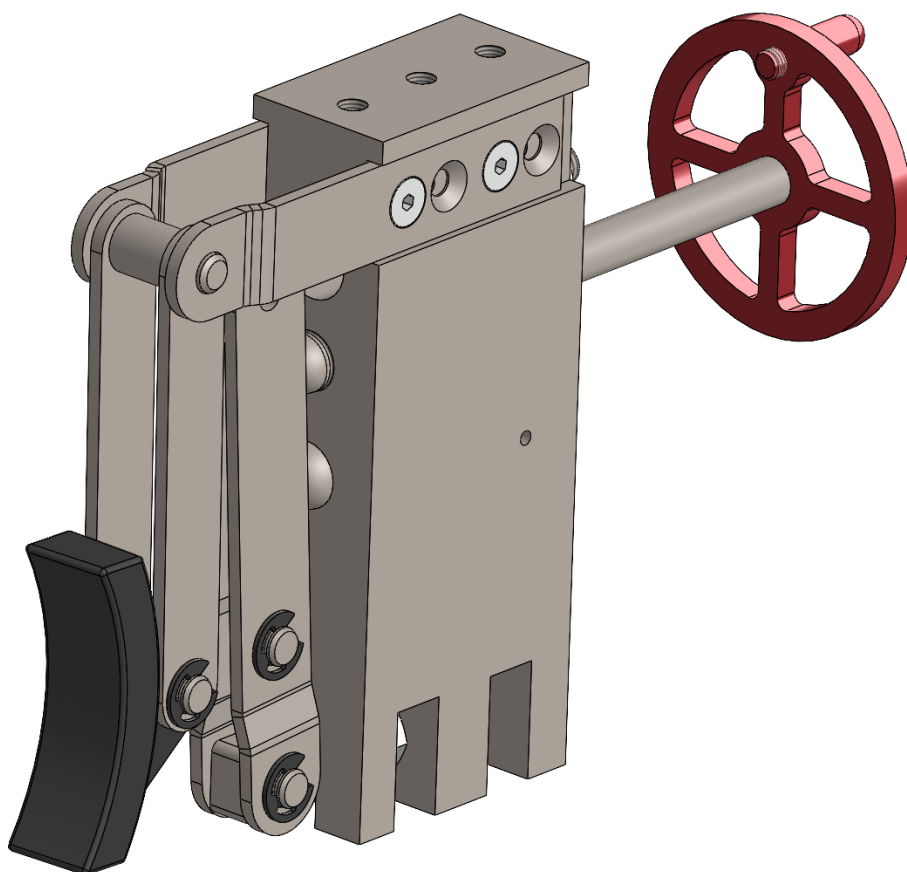


Obr. 108 schéma brzdové jednotky

Brzdová jednotka je konstruována na předpokladu, že jí vytvářená třecí síla od špalíku na kolo dvojkolí je rovna třecí síle mezi tímto kolem a kolejnicí. Na základě toho byl vypracován II výpočet - brzdné síly (viz příloha). Ve výpočtu je použit provozní tlak v brzdném potrubí $p_{brzdy} = 5 \text{ bar}$ a následující dva součinitele tření:

- součinitel tření $f_{ocel} = 0,2$ mezi dvěma ocelovými povrchy převzatý [33]
- součinitel tření $f_{špalík} = 0,35$ brzdového špalíku z litiny převzatý z Tab. 2

Materiál špalíků byl zvolen na základě dlouholetých zkušeností s jeho používáním u jiných vozidel provozovaných na PDB.

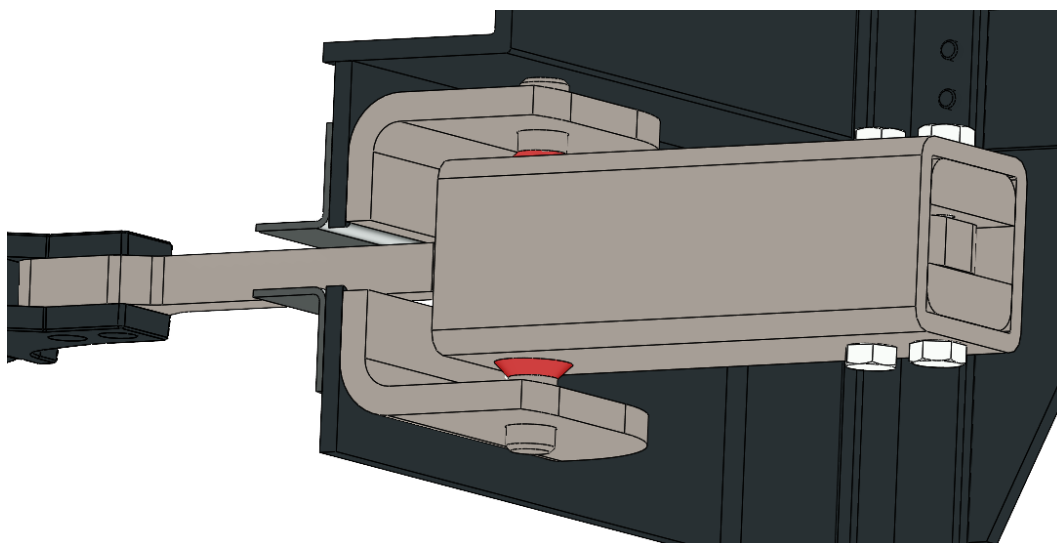


Obr. 109 brzdová jednotka

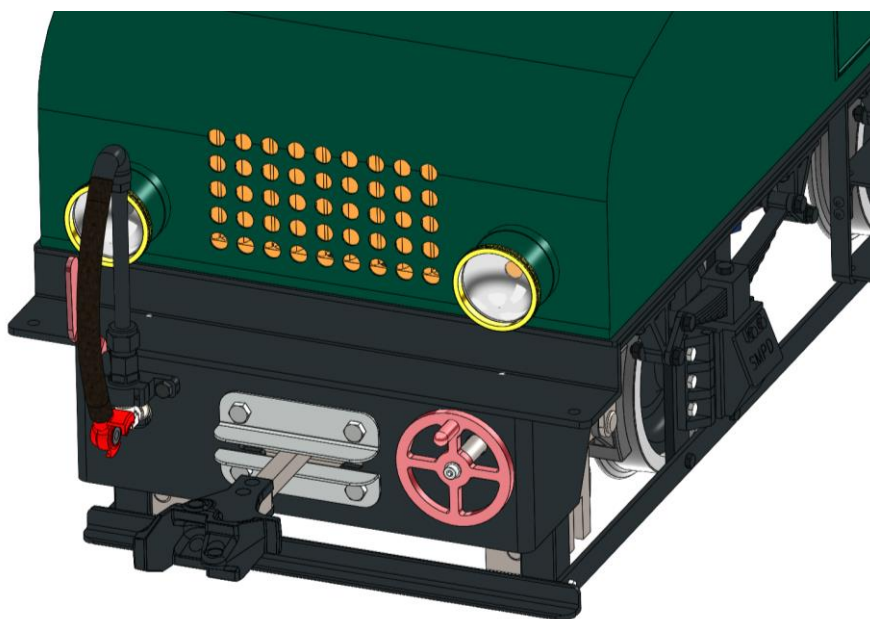
5.4 Spřáhlové ústrojí

Původní koncepční uspořádání varianty Q-1 bylo drobně pozměněno z důvodu nutnosti prodloužení vypuzovacího zařízení na základě výsledků z přílohy III Výpočet – spřáhlové ústrojí.

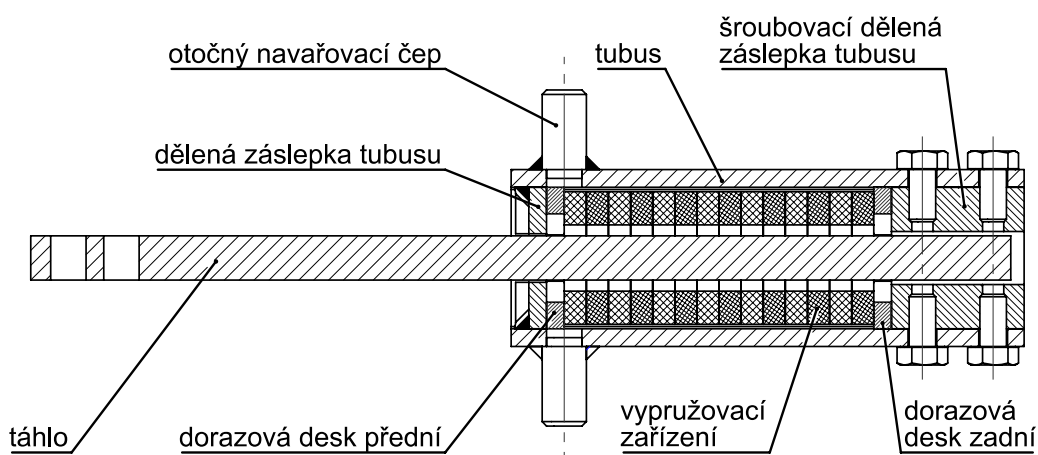
Nové uspořádání používá uchycení pomocí dvou konzolí (Obr. 110Obr. 110), které jsou čtyřmi šrouby sešroubované s celníkem lokomotivy (Obr. 111). Toto uspořádání odstranilo potřebu přidavného nosníku, který vedl skrz vnitřek rámu (viz Obr. 97) a při posunutí o délku nového vypružovacího zařízení začal zasahovat do prostoru dvojkolí. Schéma pozměněného provedení sestavy spřáhla (oproti koncepční variantě Q-1) je na Obr. 112.



Obr. 110 uložení spřáhla v konzolích



Obr. 111 spřáhlové ústrojí při pohledu na čelo lokomotivy



Obr. 112 schéma spřáhla v řezu

5.4.1 Vypružovací zařízení

I přes počáteční úvahy o možnosti použití 3D tištěného vypružovacího zařízení došlo nakonec k použití pryžových prvků z důvodů lépe výpočtově popsatelného chování oproti různým možnostem vnitřního borcení tištěných výplní.

Pro potřeby výpočtu bylo třeba určit modul pružnosti oné pryže. Jelikož se však standartně její vlastnosti udávají ve stupních tvrdosti podle Shore, tak bylo třeba vyhledat převodní vztah. Modul pružnosti pryže $E_{pryž} = 2,5 \text{ MPa}$ (použitý v příloze III Výpočet – spřáhlové ústrojí) byl zvolen na základě Tab. 10 pro pryž o tvrdosti 50 °ShA. Konkrétně se jedná o těsnicí pryž P9639, u které výrobce deklaruje dobrou odolnost vůči olejům, kterými bude spřáhlové ústrojí mazáno z důvodu snižování tření mezi ocelovými díly [39].

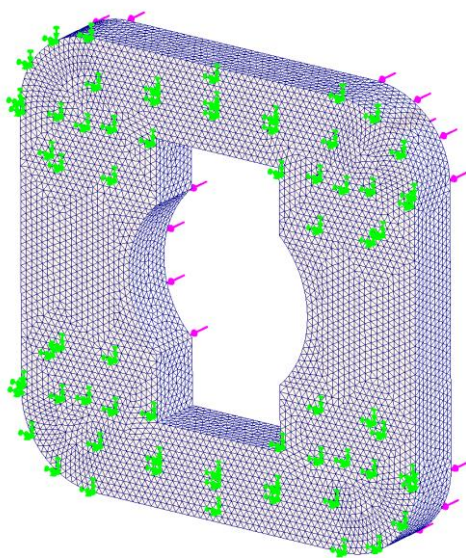
Stupeň tvrdosti	E (Shore) [MPa]	E (IRHD) [MPa]
10	0,4	0,3
20	0,7	0,6
30	1,2	1,0
40	1,7	1,5
50	2,5	2,3
60	3,8	3,6
70	6	5,5
80	10	9,5
90	23	20

Tab. 10 Vztah mezi stupněm tvrdosti (vtlačení) a modulem pružnosti (Young) E [40]

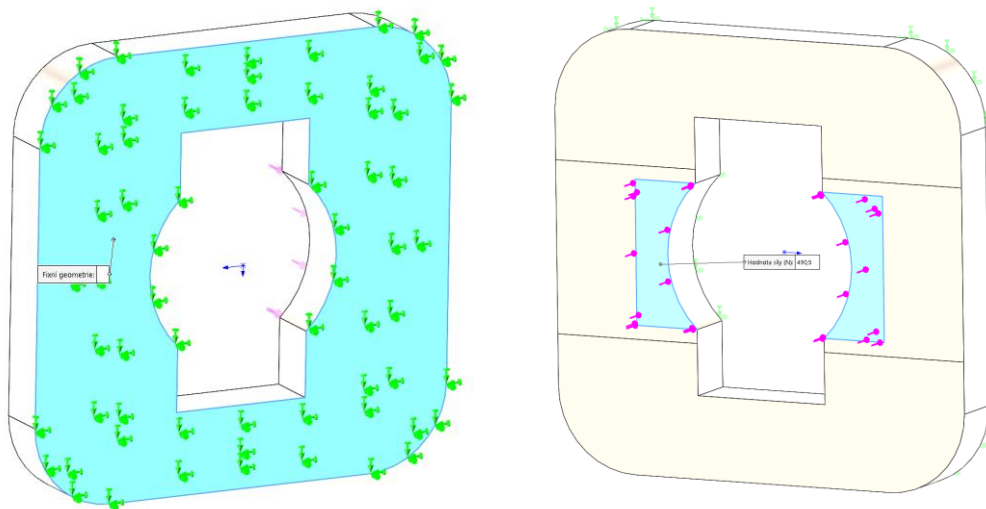
5.4.2 Dorazová deska

Tato součást je namáhána poměrně specifickým druhem ohybu, kdy z jedné strany je na ni vyvíjet tlak od pryžového vykružovacího zařízení (uvažovaný rovnoměrný po celé ploše) a z druhé strany je buď to záslepka tubusu anebo doraz na táhle.

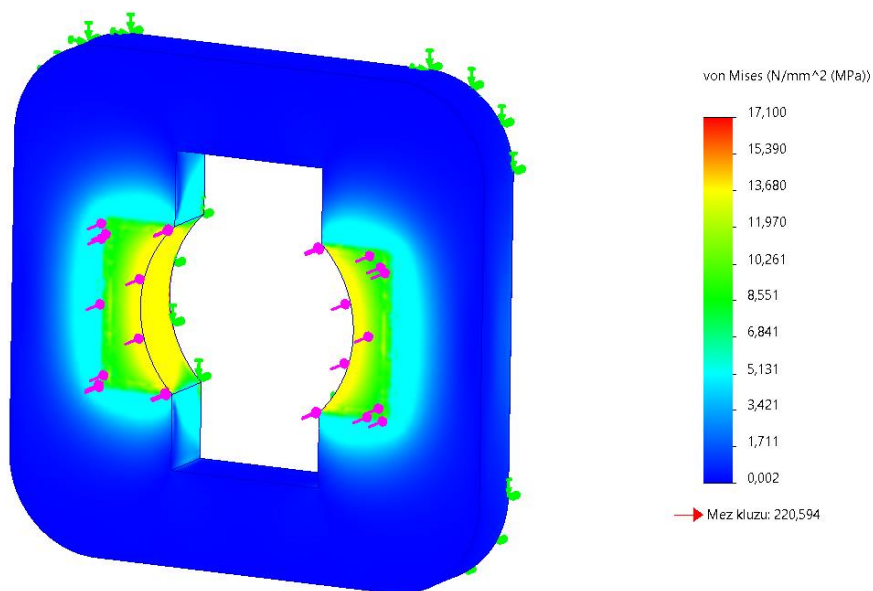
Z tohoto důvodu byly provedené numerické simulace pomocí modulu v programu SolidWorks 2024. Jemnost použité sítě je na Obr. 113. Byly provedeny celkem dvě simulace k oběma možným stavům zatížení. Okrajové podmínky pro zatížení od táhla jsou na Obr. 114 a místo s výsledným nejvyšším napětím je potom na Obr. 115. Okrajové podmínky pro druhý způsob zatěžování jsou na Obr. 116 a výsledné místo s největším napětím je potom na Obr. 117. Z výsledků simulací lze vyvodit závěr, že nedojde k poškození dorazové desky.



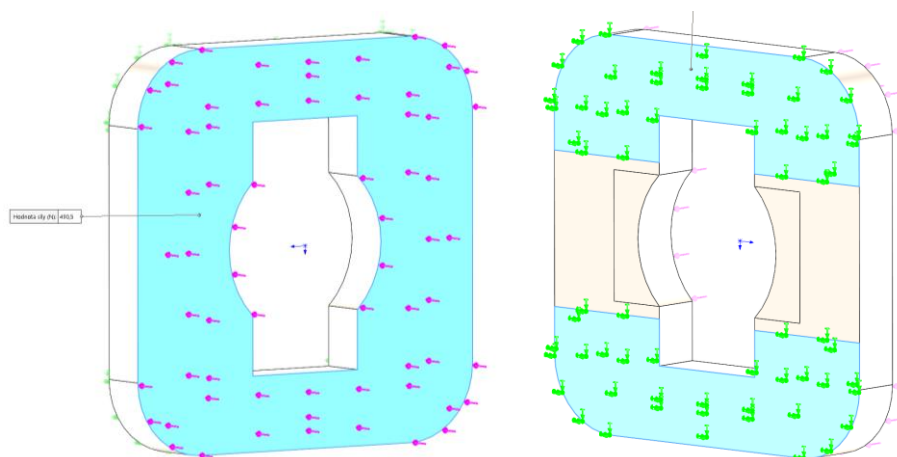
Obr. 113 vzhled použité sítě



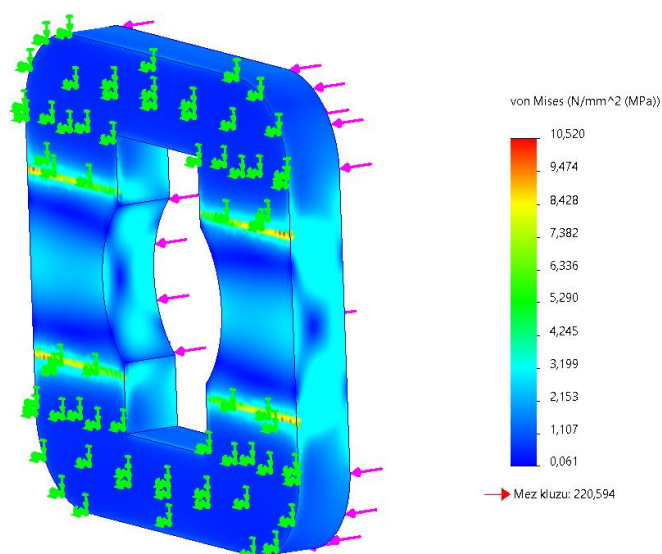
Obr. 114 okrajové podmínky při zatížení od táhla (zelené šipky - vetknutí; růžové šipky – působící síla)



Obr. 115 výsledné nejvyšší napětím při zatížení od táhla



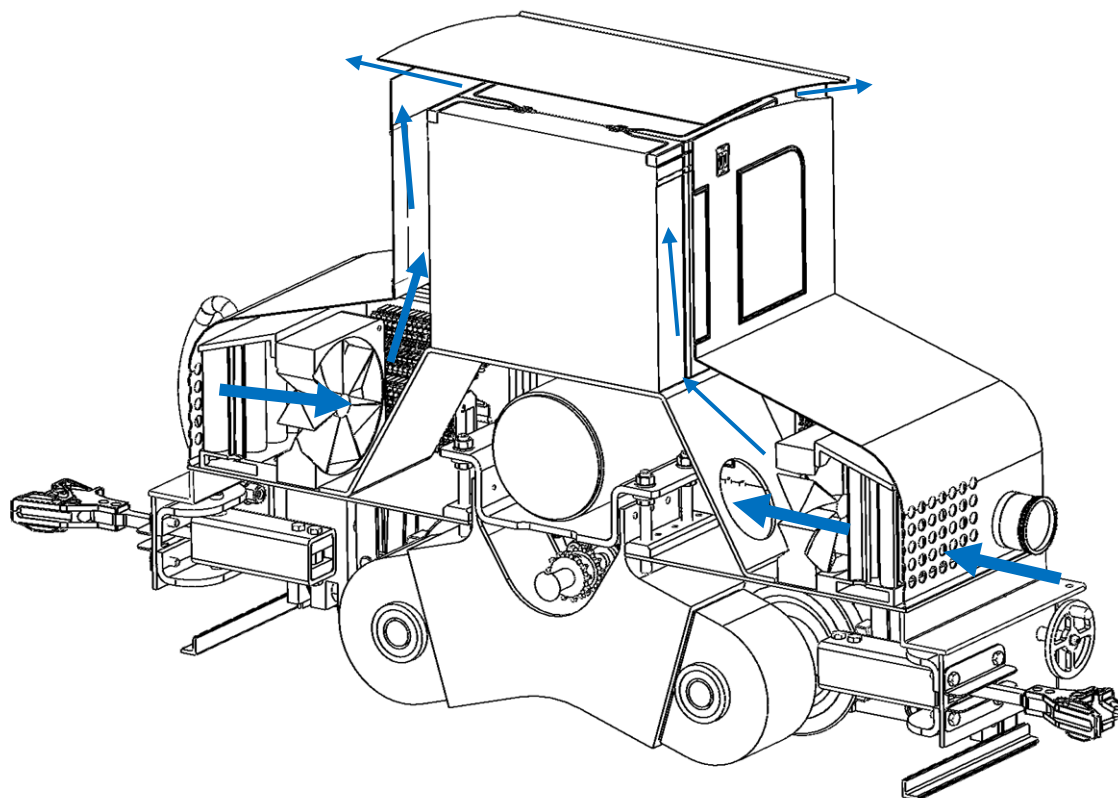
Obr. 116 okrajové podmínky při dosednutí na doraz (zelené šipky - vetknutí; růžové šipky – působící síla)



Obr. 117 výsledné nejvyšší napětím při dosednutí na doraz

5.5 Ventilace strojovny

Strojovna lokomotivy byla přeuspořádána na základě zvolené koncepční varianty U tak, aby umožňovala snazší průchod vzduchu (pomocná zařízení byli umístěny po stranách strojovny a nohy stojanu baterie byli mírně vychýlené pro navedení vzduchu směrem vzhůru). Zamýšlený průtok vzduchu je zakreslen na Obr. 118. Sání zajišťuje na každé straně jeden standardizovaný axiální ventilátor 120x120x38 provozovaný na napětí 24 V.

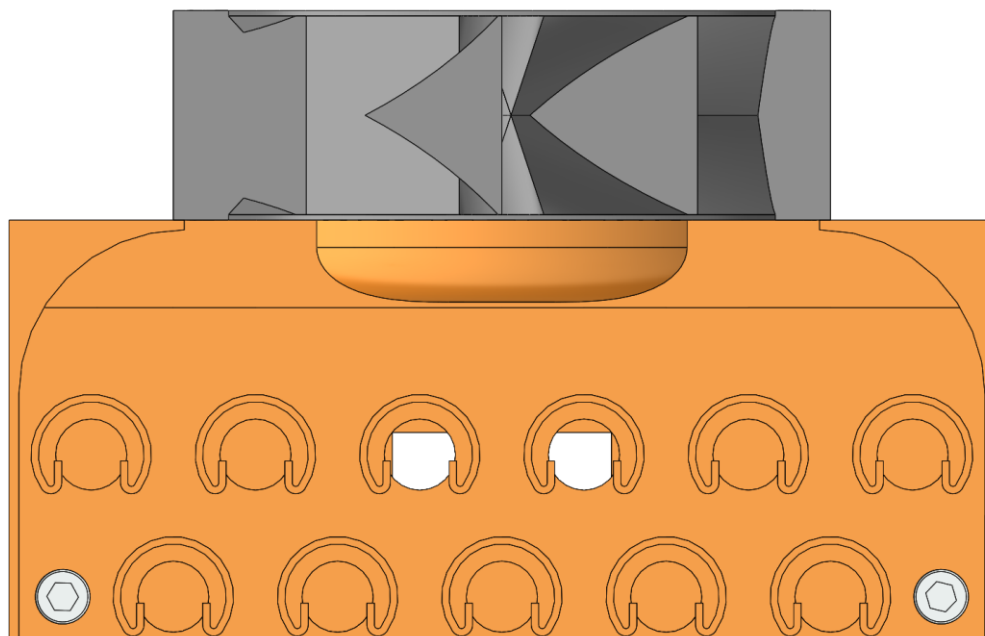


Obr. 118 zamýšlený průtok vzduchu uvnitř lokomotivy

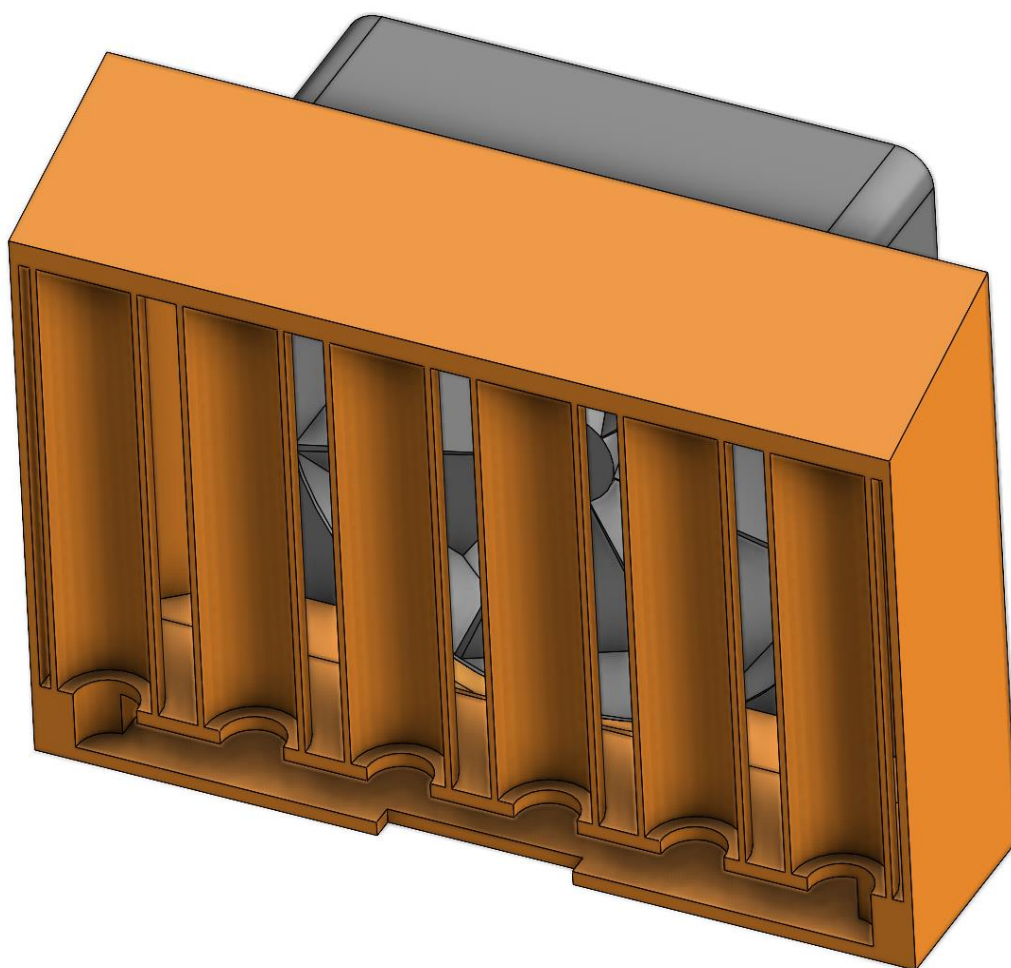
5.5.1 Žaluzie

Tvar žaluzií je založen na základě získaných poznatků v rámci kapitoly 2.3.2 Žaluzie a zamýšlen vyrábět pomocí FFF metody 3D tisku. Tlaková ztráta je sice u tohoto tvarového provedení vyšší, ale zato přináší klady v podobě vyšší odlučivosti nečistot a nedochází ke změně směru proudění vzduchu, jak vyplívá ze simulace na Obr. 66. Řez tělem žaluzií je na Obr. 119.

Ve spodní části dílu (viz Obr. 120) se pak nalézá odtokový kanál, který umožňuje zachycené vodě odtékat pryč.



Obr. 119 řezu žaluziemi s přimontovaným ventilátorem

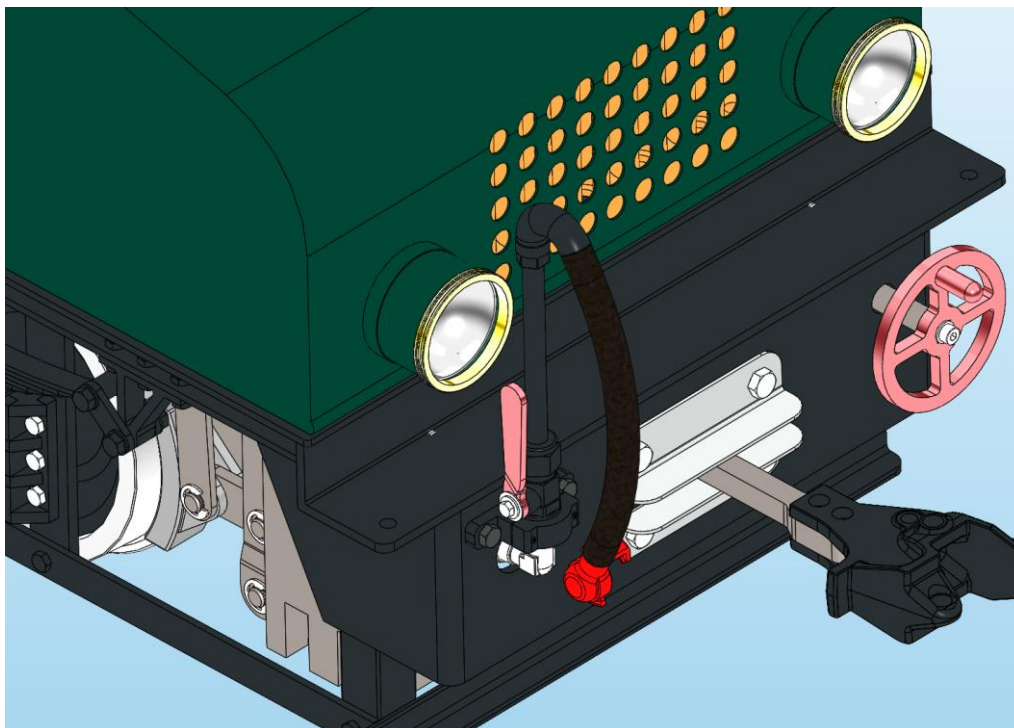


Obr. 120 řez tělem žaluzií

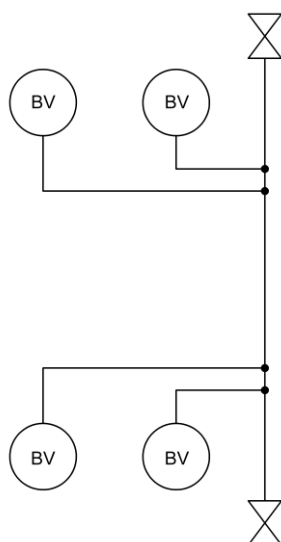
5.6 Průběžné brzdové potrubí pneumatické brzdy SMPD

Aby bylo možno brzdovou jednotku z kapitoly 5.3 používat ve vlakové soupravě, tak bylo třeba doplnit lokomotivu o průběžné potrubí vzduchové brzdy. K tomu byla použita standardizovaná propojovací sestava jejíž popis je na Obr. 47. Její umístění na lokomotivě AEG je na Obr. 121 a schéma pneumatického rozvodu lokomotivy je na Obr. 122.

Pneumatické potrubí uvnitř lokomotivy je zamýšleno řešit pomocí plastových hadic, jak je tomu i u zbytku vozového parku SMPD.



Obr. 121 propojovací šlouch na čele lokomotivy



Obr. 122 schéma pneumatického zapojení lokomotivy AEG

6 DISKUZE

V rámci řešení pohonu dvojkolí byl navržen hybridní systém kombinující čelní ozubené soukolí s přímými zuby a řetězovým převodem. Nahrazení původního naklápečího mechanismu za výsuvnou plošinu efektivně řeší analyzovaný problém nerovnoměrného napínání řetězů u obou náprav, které u starší generace způsobovalo dřívější opotřebení a poruchy. Zcela novým a inovativním prvkem je zakrytování řetězových převodů. Využitím technologie 3D tisku byl navržen centrální měch z pružného materiálu TPU v kombinaci s pevnějším nápravovým krytem z PETG. Toto řešení by mělo zamezit vnikání mechanických nečistot (jako je listí či plevel z kolejiště) do chodu převodů. Otevřenou otázkou do budoucna ovšem zůstává dlouhodobá tvarová stálost a odolnost TPU materiálu vůči působení mazacích olejů a venkovním povětrnostním vlivům, což bude nutné ověřit až v delším reálném provozu.

Nejzávažnějším bezpečnostním a funkčním nedostatkem původních lokomotiv AEG byla absence spolehlivé zajišťovací brzdy a naprostá absence průběžné pneumatické brzdy. Zvolená koncepce brzdové jednotky, jež vychází z reálných jednotek ŠKODA, velmi elegantně sdružuje pneumatický brzdový válec i vřeteno ruční brzdy do jednoho kompaktního celku, který byl umístěn na okraj hlavního rámu. Toto uspořádání vyřešilo kolize s pohonem dvojkolí uvnitř lokomotivy a umožnilo plné zapojení stroje do brzdového systému SMPD pomocí doplněného průběžného potrubí a standardizovaných hadic. Ačkoliv výpočty potvrzují teoretickou účinnost zvolených litinových špalíků, pro konečné potvrzení bezpečnosti by mělo následovat reálné experimentální měření brzdných drah a maximální přenášené síly, jak naznačovalo zadání práce.

V původním provedení docházelo při průjezdech oblouky o malých poloměrech (zejména ve vratné smyčce s poloměrem 7,6 m) k nadměrnému odporu pryže, což vedlo k vykořejování lehčích obslužných vozů. Přepracované uspořádání, ve kterém bylo vypružovací zařízení s pryžovými prvky vloženo přímo do táhla a uloženo ve dvou konzolích přišroubovaných na čelník, zajišťuje volný úhlový výkyv bez vzniku nevypružené boční síly. Numerické simulace MKP (v programu SolidWorks) ověřily, že navržené dorazové desky táhla bez problému a s vysokou bezpečností snesou rázová zatížení, aniž by došlo k překročení meze kluzu u použité oceli. Otázkou pro budoucí ladění podvozku tak zůstává pouze praktické ověření optimální tuhosti zvolených pryžových segmentů (Shore 50A) pro dokonalé pohlcení rázů při rozjezdech.

Přehřívání trakčních baterií během letních měsíců, které radikálně zkracovalo jejich životnost, vyřešil návrh nuceného větrání pomocí dvou axiálních ventilátorů (120x120x38 mm). Sání vzduchu bylo skryto do čela kapoty za pomoci 3D tištěných žaluzií, čímž se zamezilo nasávání zvířeného prachu a zároveň se lokomotiva vzhledově přiblížila své historické předloze ze dráhy Mixnitz – St. Erhard. Hlavním nedostatkem ventilace je absence provedení CFD simulací a celková otázka její funkčnosti.

Celkově lze konstatovat, že navržené konstrukční úpravy z větší části odpovídají stanoveným cílům práce a odstraňují hlavní nedostatky první generace. Realizací předložených návrhů získá SMPD spolehlivější stroj, který zajistí vyšší provozní bezpečnost a snížený potřebu údržby.

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala optimalizací provozních vlastností bateriových lokomotiv typu AEG, které tvoří důležitou součást vozového parku SMPD. Hlavním cílem bylo zhodnotit stávající nedostatky těchto strojů první generace a navrhnout konstrukční řešení, která tyto problémy u druhé generace v co největší míře odstraní, a to při zachování stávajícího vnějšího vzhledu a rozměrů.

V první části práce proběhla analýza současného stavu, ze které vyplynuly čtyři hlavní problémové okruhy: nespolehlivé napínání a znečišťování řetězů pohonu dvojkolí, chybějící funkční brzdový systém, absence ventilace způsobující přehřívání baterií a příliš tuhé spřáhlo zapříčínující vykolejování lehkých vozů.

Pohon dvojkolí byl z poloviny přepracován z původního čistě řetězového pohonu na hybridní řešení tvořené jednostupňovou převodovkou s přímým ozubením a v druhé polovině zachovalým řetězovým pohonem. Problém se znečišťováním řetězů byl navrhnout vyřešit pomocí inovativního ochranného krytu z 3D tisku, který se skládá z flexibilního centrálního měchu (z materiálu TPU) a pevných krytů náprav. Tento systém umožňuje volný pohyb dvojkolí při pružení a zároveň těsný systém proti nečistotám.

U brzdového systému byla zkonstruována zcela nová kompaktní brzdová jednotka, která v sobě sdružuje funkci přímočinné tlakové brzdy SMPD a ruční vřetenové zajišťovací brzdy. Lokomotiva byla rovněž doplněna o průběžné brzdové potrubí s odpovídajícími propojkami, čímž je umožněno její plnohodnotné zapojení do brzdového systému celé vlakové soupravy.

Problém s odporem proti bočnímu výkyvu spřáhla byl vyřešen zkonstruováním zcela nového spřáhlového ústrojí. To používá otočné čepy, které by měli klást jen minimální odpor. Dále došlo k tvorbě nového mechanismu v tubusu, který umožňuje absorpci rázových zatížení spřáhlového ústrojí.

Pro zamezení přehřívání baterií a prodloužení jejich životnosti byl navržen systém nucené ventilace. Ten využívá dvojici axiálních ventilátorů doplněnou o speciálně tvarované 3D tištěné žaluzie na čelech kapoty, kterými prochází vzduch do strojovny. Ventilace strojovny je nicméně jednou z nejméně uspokojivě vyřešenou problematikou, neb snadný způsob ověření reálného proudění uvnitř strojovny.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RANDÝSEK, Tomáš. *Provoz 2016: Provozní víkend sobota 16. července a neděle 17. července 2016*. Online. In: SPOLEČNOST MORAVSKÝCH PARKOVÝCH DRAH Z.S. Parková dráha Brno. 2026. Dostupné z: <https://www.smpd.cz/fotogalerie/provoz2016/>. [cit. 2026-05-08].
- [2] DOSTÁL, Josef a HELLER, Petr. *Kolejová vozidla I. 2.*, přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-960-9.
- [3] LATA, Michael. *Konstrukce kolejových vozidel II*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-719-4696-6. Dostupné také z: <http://kramerusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:19687380-8955-11e6-88c5-005056827e52>.
- [4] HORČIČKA, Bohumil. *ŽELEZNIČNÍ VOZIDLA*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1964.
- [5] SKF CZ, A.S. *22205/20 E*. Online. C2026. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-22205%2F20%20E>. [cit. 2026-05-06].
- [6] MATEZA SPOL. S R.O. *SKF 22205/20 E Soudečkové ložisko*. Online. C1991–2026. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/lozisko-skf-22205-20-e>. [cit. 2026-05-06].
- [7] SKF CZ, A.S. *NJ 204 ECP*. Online. C2026. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/rolling-bearings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-cylindrical-roller-bearings/productid-NJ%20204%20ECP>. [cit. 2026-05-06].
- [8] MATEZA SPOL. S R.O. *SKF NJ 204 ECP Válečkové ložisko*. Online. C1991–2026. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/lozisko-skf-nj-204-ecp>. [cit. 2026-05-06].
- [9] SKF CZ, A.S. *30204/VA983*. Online. C2026. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-30204%2FVA983>. [cit. 2026-05-06].

- [10] MATEZA SPOL. S R.O. *SKF 30204/VA983 Kuželíkové ložisko*. Online. C1991–2026. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/skf-30204-va983-kuzelikove-lozisko>. [cit. 2026-05-06].
- [11] SKF CZ, A.S. *6204*. Online. C2026. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6204>. [cit. 2026-05-06].
- [12] MATEZA SPOL. S R.O. *SKF 6204 Jednořadé kuličkové ložisko*. Online. C1991–2026. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/lozisko-skf-6204>. [cit. 2026-05-06].
- [13] ŠÍBA, Jaroslav. *Kolejová vozidla II - pojezdy*. Vydání druhé. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00615-8.
- [14] ŠILER, Roman. *Praktické provedení prvního stupně řetězového převodu*. Fotografie. Nepublikováno. 2014.
- [15] HELLER, Petr. *Kolejová vozidla II*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2019. ISBN 978-80-261-0773-6.
- [16] *Elektrická lokomotiva AEG*. Online. C2007–2017. Dostupné z: <https://www.railman.cz/5palcu/aeg.html>. [cit. 2026-05-08].
- [17] *MStE E 1–2*. Online. 2024. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/MStE_E_1%E2%80%932. [cit. 2026-05-09].
- [18] ŠILER, Roman. *Lokomotiva od firmy AEG*. Fotografie. Nepublikováno. B. r.
- [19] ŠILER, Roman; SAJBRT, Jiří; SAJBRT, Jan a RANDÝSEK, Tomáš. *Nárazník*. Online. *Nárazník*. 2012, č. 5, s. 3-5. Dostupné z: <https://new.olympiavlacek.cz/wp-content/uploads/N%C3%A1razn%C3%ADky/zpravodaj05.pdf>. [cit. 2026-03-02].
- [20] BLAHO, Jozef a VESELKA, Jaroslav. *Železniční vozidla: učební text pro předmět Železniční vozidla vyučovaný ve 3. ročníku studia oboru 37-50-6 Doprava a přeprava alternativní blok učiva Železniční doprava*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987.

- [21] MĚRKA, Petr. *Trendy v konstrukci brzdových systémů kolejových vozidel*. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Martin Kohout. Pardubice: Univerzita Pardubice, Doprná fakulta Jana Pernera, 2009. Dostupné také z: <https://dk.upce.cz/server/api/core/bitstreams/a0ec529c-9a22-44ae-99c2-de034d02b0ab/content>.
- [22] NOVÝ, Richard. *Ventilátory*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2385-0.
- [23] DANZER, Jiří. *Elektrická trakce II*. V Plzni: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2001. ISBN 80-708-2814-5.
- [24] *Kolejová vozidla IV*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2024. ISBN 978-80-261-1286-0.
- [25] ŠILER, Roman. *Centrální dvouhlové spráhlo pro modely velikosti 7 odlitek z oceli 1:4*. Online. DRAH-SERVIS, SPOL. S R.O. DRAH-servis. 2011. Dostupné z: http://www.drah-servis.cz/detail.php?typ=lgb_7_soucasti_sprahlo-dvouhlave. [cit. 2026-03-12].
- [26] ČSN EN 15566, *Železniční aplikace - Železniční vozidla - Táhlové ústrojí a šroubovka*. Česká agentura pro standardizaci, 2023.
- [27] ŠILER, Roman. *Parková dráha Brno*. Brno: Společnost moravských parkových drah, 2017. ISBN 978-80-270-1175-9.
- [28] SPOLEČNOST MORAVSKÝCH PARKOVÝCH DRAH Z.S. *Informace pro hostující modeláře*. Online. Dostupné z: <https://www.smpd.cz/pdb/infopromodelare/>. [cit. 2026-03-12].
- [29] *Nárazník*. Online. 2017, č. 14. 2017. Dostupné z: <https://www.smpd.cz/wp-content/uploads/N%C3%A1razn%C3%ADky/zpravodaj14.pdf>. [cit. 2026-03-12].
- [30] KRÍŽ, Rudolf; WEIGNER, Karel a AUDYOVÁ, Jiřina. *Stavba a provoz strojů: Převody*. Praha: Stát. nakl. techn. lit., 1978.

- [31] *Přehled vlastností oceli S235JR*. Online. BOHDAN BOLZANO, S.R.O. Bolzano. C2020. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jdrive-s235jrg2>. [cit. 2026-05-18].
- [32] *Jakost E335 (ČSN 11600, St 60-2, Fe 590, ozn. W nr. 1.0060)*. Online. ATREON, S.R.O. ATREON. C2026. Dostupné z: <https://www.atreon.cz/jakost-e335/>. [cit. 2026-05-18].
- [33] BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, J. Keith. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUUM, 2023. ISBN 978-80-214-5471-2.
- [34] *DC MOTOR – ŘADA EC*. Online. RAVEO S.R.O. RAVEO. C2026. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/stejnosemny-motor-ec/>. [cit. 2026-05-01].
- [35] *6000-2RS*. Online. ZKL, A.S. ZKL Group. C2024. Dostupné z: <https://www.zkl.cz/cs/p/6000-2RS>. [cit. 2026-05-20].
- [36] *6005-2RS*. Online. ZKL, A.S. ZKL Group. C2024. Dostupné z: <https://www.zkl.cz/cs/p/6005-2RS>. [cit. 2026-05-20].
- [37] *6006-2RS*. Online. ZKL, A.S. ZKL Group. C2024. Dostupné z: <https://www.zkl.cz/cs/p/6006-2RS>. [cit. 2026-05-20].
- [38] *BPFL - oválné uchycení (ocel)*. Online. MATIS S.R.O. Matis s.r.o. C2026. Dostupné z: <https://www.matis.cz/cs/produkt/bpfl-ovalne-uchyceni-ocel>. [cit. 2026-05-22].
- [39] *OLEJIVZDORNÁ TĚSNICÍ PRYŽ P9639*. Online. GUMEX, SPOL. S R.O. GUMEX, spol. s r.o. C1995-2026. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/h/olejivzdorna-tesnici-pryz-p9639-00411?Filter=True#sekce=variant-table-placeholder>. [cit. 2026-05-22].
- [40] GENT, Alan N. *Engineering with Rubber - How to Design Rubber Components (3rd Edition)*. München: Hanser Publishers, 2012. ISBN 1569905088.

polární kvadratický moment průřezu

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 lokomotiva č. 4 (modrá vlevo) a lokomotiva č. 6 (červená vpravo) s malým obslužným vozem [1]	15
Obr. 2 lokomotiva č. 9 s obslužným vozem typu hytlák na točně (zdroj: autor)	16
Obr. 3 schématické znázornění nápravy vozu [4]	17
Obr. 4 celistvé kolo [2]	17
Obr. 5 tvary desky celistvého kola [2]	18
Obr. 6 obručové kolo [2]	18
Obr. 7 kolo s pryží typu BOCHUM [2]	18
Obr. 8 schéma dvojkolí lokomotivy AEG pro rozchod 184 mm (zdroj: autor)	19
Obr. 9 dvouřadá soudečkové ložisko na nápravě [2]	20
Obr. 10 dvě jednořadá válečková ložiska na nápravě [2]	20
Obr. 11 ložisková jednotka TBU (SKF) [2]	20
Obr. 12 schéma jednoduchého vypružení dvounápravového vozu [4]	22
Obr. 13 vypružení a vedení nápravy lokomotivy AEG (zdroj: autor)	22
Obr. 14 řez svazkem pružnic v opasku [2]	23
Obr. 15 Ovládací páka brzdy na zadní straně lokomotivy (zdroj: autor)	24
Obr. 16 přepákování z vertikální do horizontální roviny (zdroj: autor)	24
Obr. 17 soustava letmopák brzdového tyčový (zdroj: autor)	25
Obr. 18 schéma pohonu dvojkolí (zdroj: autor)	25
Obr. 19 schéma náklonné plošiny s elektromotorem (zdroj: autor)	26
Obr. 20 praktické provedení prvního stupně řetězového převodu [14]	26
Obr. 21 vedení řetězového převodu mezi předlohovým hřídelem a dvojkolími (zdroj: autor)	27
Obr. 22 spojnicový pohon dvojkolí [13]	27
Obr. 23 pohon dvojkolí od motoru s příčnou osou upevněného na rámu podvozku [13] ..	27
Obr. 24 pohon dvojkolí od motoru s podélnou osou upevněného na skříni vozidla [13] ..	28
Obr. 25 elektromotor BOSCH F006 B10 267 (zdroj: autor)	28
Obr. 26 výrobci stejnosměrných motorů (zdroj: autor)	29
Obr. 27 rám lokomotivy z bočního pohledu (zdroj: autor)	29

Obr. 28 vážní lístek lokomotivy č.9 (zdroj: autor).....	30
Obr. 29 rám lokomotivy z čelního pohledu (zdroj: autor)	30
Obr. 30 rám lokomotivy z pohledu shora (zdroj: autor)	31
Obr. 31 detail prolisů a otvorů na kapotě (zdroj: autor)	31
Obr. 32 naváděcí hrot a spojovací šroub kapoty s hlavním rámem (zdroj: autor)	32
Obr. 33 detail reflektoru na čele lokomotivy (zdroj: autor)	32
Obr. 34 schéma spřáhlového ústrojí lokomotivy AEG (zdroj: autor).....	33
Obr. 35 praktické provedení spřáhlového ústrojí na lokomotivě č.9 (zdroj: autor)	33
Obr. 36 konektoru dálkového řízení (vpravo) a vypínač předních reflektorů (vlevo) (zdroj: autor).....	34
Obr. 37 hliníková skříň regulátoru připevněná na ocelovém závaží (zdroj: autor)	34
Obr. 38 centrální svorkovnice lokomotivy AEG se svorkami uchycenými pomocí DIN lišty (zdroj: autor)	35
Obr. 39 baterie instalované ve strojovně lokomotivy (zdroj: autor).....	36
Obr. 40 bateriový balancér umístěný na předním olověném závaží (zdroj: autor)	36
Obr. 41 nabíječka baterií (zdroj: autor).....	37
Obr. 42 houkačka lokomotivy AEG (zdroj: autor)	37
Obr. 43 lokomotiva od firmy AEG v čele vlaku [18].....	38
Obr. 44 lokomotiva od firmy AEG [18].....	38
Obr. 45 Brzdy železničních kolejových vozidel [15] (upraveno)	39
Obr. 46 Rozdělení brzd podle zdroje brzdné síly [15] (upraveno)	39
Obr. 47 Schéma pneumatické brzdy SMPD (zdroj: autor)	40
Obr. 48 Stanoviště strojvedoucího na obslužném voze (zdroj: autor)	41
Obr. 49 Praktické provedení brzdové spojky SMPD (zdroj: autor)	41
Obr. 50 schémata příkladů provedení ruční brzdy (a – s pákovým převodem, b – s převodem kuželovými koly, c – s převodem řetězovými koly) [15]	42
Obr. 51 Princip samočinné (střídačové) brzdy [15]	42
Obr. 52 Uspořádání mechanické a ruční brzdy na voze [20].....	43
Obr. 53 Schéma brzdové jednotky ŠKODA [3]	44
Obr. 54 Provedení špalíkové brzdy na lokomotivě LT12 (zdroj: autor)	45

Obr. 55 Schéma kotoučové brzdy (vlevo s brzdovým tyčovým, vpravo brzdová jednotka) [15]	46
Obr. 56 Příklady provedení brzdových kotoučů [15]	46
Obr. 57 Schéma axiálního ventilátoru [22]	47
Obr. 58 Schéma radiálního ventilátoru [22]	47
Obr. 59 Schéma ventilace lokomotivy 26 000 SYBIC [23]	48
Obr. 60 Varianty uspořádání vzduchového obvodu ve strojovně [23]	49
Obr. 61 Paralelní a sériové řazení chlazených zařízení [23]	49
Obr. 62 žaluzie tvaru V [15]	50
Obr. 63 žaluzie tvaru Z [15]	50
Obr. 64 žaluzie varianta A [15]	50
Obr. 65 žaluzie varianta B [15]	51
Obr. 66 simulace vývoje tlakového pole [15]	51
Obr. 67 lokomotiva s táhlovým ústrojím a nárazníky (zdroj: autor)	52
Obr. 68 příklad talířového spřáhla (zdroj: autor)	53
Obr. 69 příklad spřáhla typu Atlas (nebo též spřáhlo pražského vzoru) (zdroj: autor)	53
Obr. 70 uložení a vypružení spřáhla tramvaje typu KT8D5R.N2 (zdroj: autor)	53
Obr. 71 Sestava táhlového ústrojí [26]	54
Obr. 72 Schéma kuželové pružiny [24]	55
Obr. 73 Schéma kroužkové pružiny [24]	55
Obr. 74 Táhlové ústrojí s vypružením MINER ST-9-2. Nahoře náčrt, dole výrobek MSV Studénka a.s. [24]	56
Obr. 75 centrální talířové spřáhlo (zdroj: autor)	57
Obr. 76 centrální spřáhlo typu Atlas (zdroj: autor)	57
Obr. 77 schéma pohonu dvojkolí varianty A	60
Obr. 78 rozměrové schéma změny úhlu náklonu β a boční odchylky d při nadzvednutí předlohového hřídele (nahore návrhový stav, dole současné provedení)	61
Obr. 79 schéma pohonu dvojkolí varianty B	61
Obr. 80 schéma pohonu dvojkolí varianty C	62
Obr. 81 schéma krytí řetězů varianty B1	64
Obr. 82 schéma krytí řetězů varianty B2	65

Obr. 83 schéma brzd varianty I pohled zboku.....	66
Obr. 84 schéma brzd varianty I pohled shora.....	67
Obr. 85 schéma brzd varianty J pohled zboku	67
Obr. 86 schéma brzd varianty J pohled shora	68
Obr. 87 schéma brzd varianty K pohled zboku	68
Obr. 88 schéma brzd varianty K pohled shora	68
Obr. 89 schéma brzd varianty L pohled zboku.....	69
Obr. 90 schéma brzd varianty L pohled shora.....	69
Obr. 91 schéma varianty O.....	71
Obr. 92 schéma varianty P	72
Obr. 93 Náčrt rozkladu sil na otočném čepu.....	72
Obr. 94 rozměrový náčrt průjezd soupravy obloukem	73
Obr. 95 schéma varianty Q.....	74
Obr. 96 rozklad sestavy varianty Q	74
Obr. 97 schéma varianty Q-1.....	75
Obr. 98 schéma ventilace varianty U	77
Obr. 99 schéma ventilace varianty V	78
Obr. 100 schéma ventilace varianty W	79
Obr. 101 sestava převodovky – pohled zepředu.....	83
Obr. 102 sestava převodovky – pohled zboku	83
Obr. 103 sestava hřídele pastorku	84
Obr. 104 sestava hřídel vloženého ozubeného kola	85
Obr. 105 sestava hřídele ozubeného kola	85
Obr. 106 schéma napínání řetězů	86
Obr. 107 krytí řetězových převodů.....	87
Obr. 108 schéma brzdové jednotky	88
Obr. 109 brzdová jednotka.....	89
Obr. 110 uložení spřáhla v konzolích	90
Obr. 111 spřáhlové ústrojí při pohledu na čelo lokomotivy	90
Obr. 112 schéma spřáhla v řezu	91

Obr. 113 vzhled použité sítě	92
Obr. 114 okrajové podmínky při zatížení od táhla (zelené šipky - vetknutí; růžové šipky – působící síla)	92
Obr. 115 výsledné nejvyšší napětím při zatížení od táhla	93
Obr. 116 okrajové podmínky při dosednutí na doraz (zelené šipky - vetknutí; růžové šipky – působící síla)	93
Obr. 117 výsledné nejvyšší napětím při dosednutí na doraz	93
Obr. 118 zamýšlený průtok vzduchu uvnitř lokomotivy.....	94
Obr. 119 řezu žaluziemi s přimontovaným ventilátorem	95
Obr. 120 řez tělem žaluzií	95
Obr. 121 propojovací šlouch na čele lokomotivy	96
Obr. 122 schéma pneumatického zapojení lokomotivy AEG	96

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 porovnání typů ložisek užívaných na železničních dvojkolích (zdroj: vlastní zpracování)	21
Tab. 2 Přehled vlastností běžných materiálů pro brzdové špalíky [15] (upraveno)	44
Tab. 3 souhrnný výpis výhod a nevýhod koncepčních řešení pohonu dvojkolí	63
Tab. 4 porovnání variant řešení uspořádání brzd	70
Tab. 5 porovnání variant řešení spřáhla	76
Tab. 6 mechanické vlastnosti oceli S235JR	81
Tab. 7 mechanické vlastnosti oceli E335	81
Tab. 8 mechanické vlastnosti referenčního ozubeného kola z oceli C43	81
Tab. 9 přehled vlastností ložisek použitých v převodovce	82
Tab. 10 Vztah mezi stupněm tvrdosti (vtlačení) a modulem pružnosti (Young) E [40].	91

11 SEZNAM PŘÍLOH

I Výpočet – pohon dvojkolí

II Výpočet – brzdné síly

III Výpočet – spřáhlové ústrojí

10-00-00-A0 - SESTAVA LOKOMOTIVY

15-00-00-A3 - SPŘÁHLO

15-00-01-A3 - TÁHLO

15-00-02-A3 - DORAZOVÁ DESKA

15-00-03-A3 - PRYŽOVÝ SEGMENT

15-00-04-A3 - ŠROBOVACÍ DORAZ

15-10-00-A3 - SVAŘENEC SPŘÁHLA

15-10-01-A3 - TUBUS

15-10-02-A3 - ČELNÍ DESKA

15-10-03-A3 - ČEP NAVAŘOVACÍ