



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RENOVACE ŽELEZNIČNÍHO DVOJKOLÍ

RENOVATION OF RAILWAY WHEELSETS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Halásek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| Ústav: | Ústav strojírenské technologie |
| Student: | Jan Halásek |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Strojírenská technologie |
| Vedoucí práce: | Ing. Milan Kalivoda |
| Akademický rok: | 2019/20 |

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:

Renovace železničního dvojkolí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kolejová vozidla podléhají opotřebení. Téma se zaměřuje na podvozek vozidla, konkrétně na dvojkolí. Je doložen renovační postup u vytipovaného vozidla.

Cíle bakalářské práce:

- Typy dvojkolí u kolejových vozidel
- Druhy opotřebení
- Renovační postupy
- Rozbor procesu pro konkrétní vozidlo
- Výroba a montáž
- Zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8-214-3946-7.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 219 s. ISBN 978-80-214-4370-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 807361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 807044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá rozbořem a popisem renovací železničních dvojkolí. Téma nabízí celkový náhled na technologii, podmínky a možnosti oprav. V teoretické části je zmíněno základní názvosloví s přehledem možných defektů a vad. Následuje kapitola s opakováním různých vad s jejich odstraňováním v dílenské praxi. Praktická část je doložena technologickým postupem opravovaného vozidla ve firmě DPOV, a. s. PSO Nymburk. V konečné fázi je shrnutí potenciálních možností směřujících ke zlepšení chodu firmy s důrazem na renovaci součástí, které dnes musí být vyřazovány z provozu.

Klíčová slova

Ocel EA4T, dvojkolí, renovace, náprava, lisovací síla

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with an analysis and a description of railway wheelsets' renovation. The theme offers a complete view of a technology, conditions and renovations' possibilities. In the theoretical part, there is mentioned a basic terminology with an overview of all defects and also their removing in the workroom practice. Practical part is illustrated with the technological process of a repaired vehical in the company DPOV, a. s. PSO Nymburk. In the end, there is a summary of all potencial possibilities leading towards improving the functioning of the company with the emphasis on renovation of a components, which nowadays must be eliminated out of operation.

Key words

EA4T steel, wheelsets, renovation, axle, pressing force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HALÁSEK, Jan. Renovace železničního dvojkolí [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129498>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda. 68 stran, 12 příloh.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Renovace železničního dvojkolí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 10. 9. 2020

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji zaměstnancům společnosti DPOV, a.s., jmenovitě technikovi kvality Bohumilovi Šimkovi a přejímacímu technikovi Petrovi Vícovi, za praktické informace a ochotu spolupracovat.

Své blízké rodině děkuji za podporu během celého vysokoškolského studia i při vypracovávání bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|--|----|
| ABSTRAKT | 3 |
| PROHLÁŠENÍ..... | 5 |
| PODĚKOVÁNÍ | 6 |
| OBSAH..... | 7 |
| ÚVOD..... | 9 |
| 1 ZÁKLADNÍ TEORIE ŽELEZNIC | 10 |
| 1.1 Historický vývoj ve světě..... | 11 |
| 1.2 Historický vývoj na území Československa | 11 |
| 2 TECHNICKÝ ROZBOR DVOJKOLÍ | 12 |
| 2.1 Jízdní obrys | 13 |
| 3 TYPY DVOJKOLÍ U KOLEJOVÝCH VOZIDEL | 14 |
| 3.1. Typy kol | 14 |
| 3.1.1. Kola celistvá | 14 |
| 3.1.2. Kola obručová..... | 15 |
| 3.1.3. Kola složená | 16 |
| 3.2. Materiál kol | 17 |
| 3.3. Nápravy..... | 18 |
| 3.3.1. Zatížení a síly působící na nápravy..... | 20 |
| 3.4. Materiál náprav..... | 20 |
| 4 DRUHY OPOTŘEBENÍ | 21 |
| 4.1. Opotřebení náprav..... | 21 |
| 4.2. Opotřebení nábojů kotoučů a hvězdic..... | 22 |
| 4.3. Opotřebení ozubených kol..... | 22 |
| 4.4. Opotřebení brzdových kotoučů..... | 22 |
| 4.5. Tepelně ovlivněná dvojkolí | 23 |
| 4.6. Opotřebení kolejnic | 24 |
| 5 RENOVAČNÍ POSTUPY | 25 |
| 5.1. Stupně oprav hnacích vozidel | 25 |
| 5.2. Renovace náprav | 25 |
| 5.3. Renovace celistvých kol, kotoučů a hvězdic | 26 |
| 5.4. Renovace obručí..... | 26 |
| 5.5. Renovace jízdního obrysu celistvých kol a obručí..... | 26 |
| 5.6. Renovace kotoučů nebo disků brzd..... | 27 |
| 5.7. Renovace tepelně ovlivněných dvojkolí..... | 27 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6 | ROZBOR PROCESU NA KONKRÉTNÍCH PŘÍKLADECH..... | 28 |
| 6.1. | Motorový vůz řady 854 | 28 |
| 6.2. | Motorová lokomotiva řady 743 | 32 |
| 6.3. | Elektrická lokomotiva řady 363..... | 35 |
| 7 | VÝROBA A MONTÁŽ..... | 39 |
| 7.1. | Výroba dvojkolí..... | 39 |
| 7.1.1. | Výroba náprav | 40 |
| 7.1.2. | Výroba kol..... | 41 |
| 7.2. | Montáž dvojkolí..... | 43 |
| 7.2.1. | Přesah mezi sedlem kola na nápravě a otvorem kola v náboji..... | 44 |
| 7.2.2. | Lisování za tepla | 44 |
| 7.2.3. | Lisovací síla..... | 44 |
| 8 | DISKUZE..... | 47 |
| 8.1 | Dynamické vyvažování odlitků..... | 47 |
| 8.2 | Žárový nástřik..... | 47 |
| 8.3 | Modernizace dílny | 48 |
| 8.4 | Železniční modelářství..... | 48 |
| | ZÁVĚR..... | 49 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 50 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 53 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 55 |

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou dvojkolí kolejových vozidel. Toto téma úzce souvisí s různými ostatními odvětvími průmyslu, například s automobilovým nebo strojírenským, ale i různé varianty automatizačních robotů a manipulační techniky. Základní společný rys zde spočívá ve vynálezu kola, který lidstvo zná asi šest tisíc let, prameny dokládají první sestrojené kolo z doby Sumerů. A už v této době je možné, že na svých prvních vozech měli spojená dvě kola na nápravě – historické dvojkolí [1]. Používání kola je dnes považováno za klíčovou skutečnost, bez které by nemohlo existovat množství dalších strojů a zařízení.

Kolo je základní konstrukční prvek používaný v prvním významu svou jízdní funkcí. Kolo je v tomto případě článkem mezi přepravovaným vozidlem a dráhou pohybu. Dále se dá kolo užít ve významu, kdy přenáší pohyb díky točivému momentu. Jedná se o kolo ozubené (obr. 1), řemenicové nebo setrvačnickové. Využitím takového kola jsou například válečkové dopravníky, kuličková a válečková ložiska, kolo větrné elektrárny.

Konkrétní řešení bakalářské práce zpracovává železniční dvojkolí, tím se rozumí osazená náprava dvěma koly pevným spojem [2]. Dvojkolí je jednou z nejdůležitějších částí kolejových vozidel. Působí na ně velká napětí a jsou namáhána od více vlivů, jako například nerovností kolejnic, projíždění oblouků nebo hmotností převáženého nákladu. Na jejich výrobu a následné opravy musí být kladen velký důraz. Zaměřením na technologii výroby často směřuje k inovacím a zlepšením kvality součástí. Je důležité dbát na bezpečnost a pokud možno předcházet defektům. Z tohoto důvodu se provádí pravidelné prohlídky a kontroly.

K řešení bakalářské práce jsou použita data z firmy DPOV, a.s. se sídlem v Nymburku. Některá data se nesmějí zveřejnit, proto jsou zmíněna jen obecně nebo jsou uvedena v upraveném tvaru.



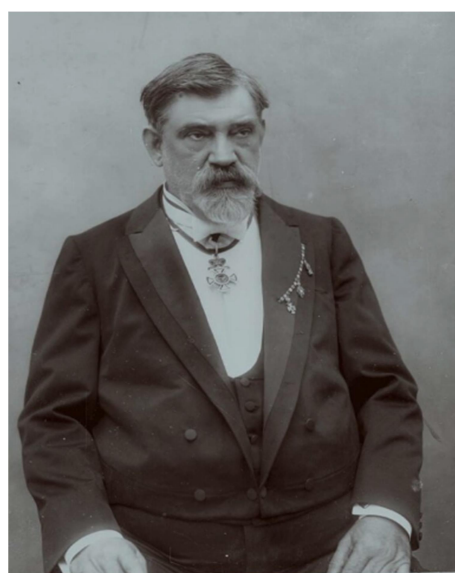
Obr. 1 Příklady aplikace kola, vlevo z minulosti, vpravo současnost [3], [4].

1.1 Historický vývoj ve světě

Již v 16. století se začaly používat dřevěné kolejnice k usnadnění převozu materiálu při těžbě v dolech. V 18. století byly vynalezeny železné kolejnice. První veřejná železnice vznikla v Londýně, tažnou silou byly koně. Následovaly pokusy o sestrojení parního stroje, parního automobilu a parní lokomotivy. První pojízdnou lokomotivu sestrojil brit Richard Trevithick. Tato lokomotiva nebyla technicky ideální, byla velmi pomalá a neměla potřebný výkon. Angličan George Stephenson (obr. 3) roku 1814 sestrojil svoji lokomotivu. Byla zdokonalením strojů svých předchůdců. Jeho prosazeným plánem byl návrh a sestavení první parní veřejné železnice, která byla dokončena 1825. První trať byla dlouhá 40 km. Setkala se s úspěchem, a proto byly budovány další železniční tratě, například mezi městy Liverpool a Manchester [7], [8].

1.2 Historický vývoj na území Československa

První železnici na našem území se stala v roce 1828 koněspřežná dráha Linz – Summerau – Horní Dvořiště – České Budějovice (příloha 1). Téměř všechny české železniční tratě byly vybudovány již za Rakousko-Uherské monarchie. Po rozpadu monarchie vznikla Československá republika a začíná se psát historie Československých státních drah neboli ČSD. Tato historie je přerušena prvním rozpadem Československa a německou okupací, kdy na několik let značku ČSD vystřídá v protektorátu ČMD/BMB a ve Slovenském státě SŽ. František Křižík (obr. 3) – 1891 představen vynález první elektrifikované tramvajové trati v ČSR v Praze-Letné (příloha 2), poté byla Křižíkem projektována druhá tramvajová trať, která vedla z Vysočan do Prahy a Libně (příloha 3), [9], [10].



Obr. 3 George Stephenson (vlevo), František Křižík (vpravo) [10], [11].

2 TECHNICKÝ ROZBOR DVOJKOLÍ

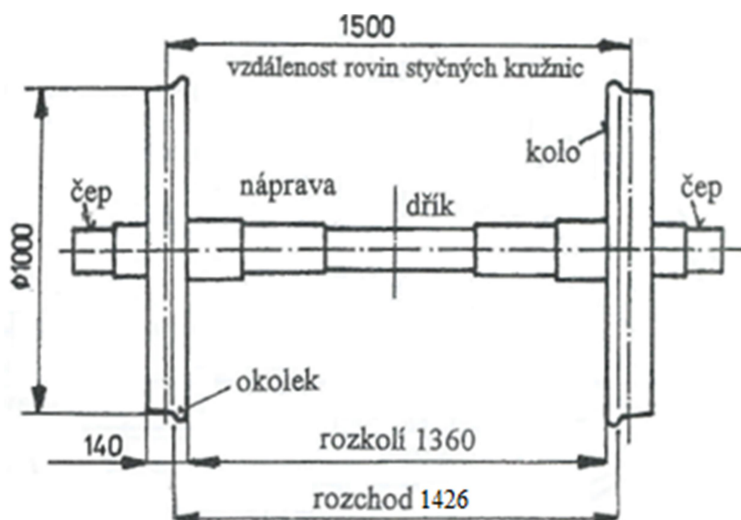
Dvojkolí jako samostatný funkční celek je tvořeno nápravou a dvěma koly nalisovanými na nápravě. Na jednotlivých kolech je jízdní obrys (jízdní profil). Na nápravě jsou vyhrazeny čepy pro uložení nápravových ložisek, jsou situovány na vnější nebo na vnitřní straně kola. Ložisky je umožněno spojení samotného dvojkolí s ostatními součástmi podvozku a s hlavní skříň vozidla. Nápravy dále obsahují sedla nábojů, to jsou vyhrazená místa pro nalisování samotných kol [2]. Na vozidlech vyvíjejících tažnou sílu jsou dvojkolí hnací. Tato dvojkolí obsahují na nápravě sedla, na kterých jsou uloženy složky pohonu, například převodová skříň upevněná na tlapových ložiskách, ozubená kola nebo též brzdové kotouče. U některých náprav tažených (přípojných) vozidel jsou pouze sedla pro brzdové kotouče.

Dvojkolí je jednou z více komponentů, které se řadí do pojezdů nebo do podvozků. Pojezdy jsou obecně zařízení, které spojuje vozovou nebo lokomotivní skříň a kolej. Podvozek se nazývá takový druh pojezdu, který má dvě nebo více náprav. Je připevněn ke spodní straně vozu a má schopnost se vzhledem k vozové skříni natáčet dle oblouku koleje [12]. Dále se pojezd skládá z brzdové soustavy, vypružení náprav a nápravových ložisek.

Vzdálenost styčných kružnic udává vzdálenost dvou rovnoběžných rovin procházejících odvalovanou částí jízdního obrysu kola po kolejnici. Současně je považována za průměr kola (obr. 4).

Rozchod dvojkolí má nižší hodnotu než rozchod koleje. Rozchod dvojkolí je vzdálenost mezi vnějšími čely okolku měřená 10 mm nad styčnou kružnicí kol. V České republice je na většině kolejových tratí zvolen normální rozchod koleje o hodnotě 1435 mm, na části tratí je instalován úzký rozchod. Kolejnicím s normálním rozchodem odpovídá vzdálenost styčných kružnic 1500 mm. V některých evropských zemích je instalován rozchod široký, jako například v Rusku, Norsku, Nizozemí.

Rozkolí je vzdálenost mezi vnitřními čely věnců kol. Měří se rozkolkou, která se dá připodobnit k mikrometru na delší tyči. Tolerovaná odchylka pro kola s průměrem větším než 840 mm je ± 3 mm [13] (příloha 4).

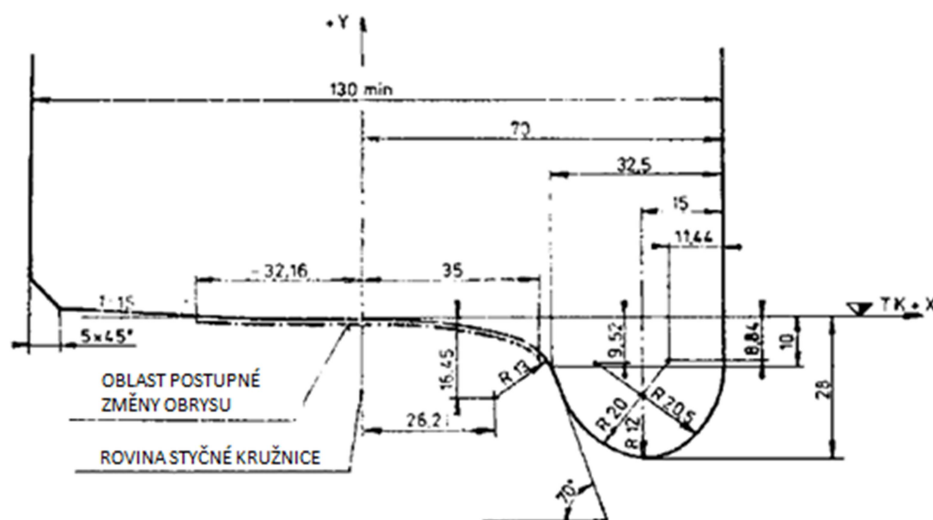


Obr. 4 Nehnací dvojkolí s normálním rozchodem [14].

2.1 Jízdní obrys

Tvar jízdního obrysu kola je kromě okolku téměř vždy kuželovitá a přesná podoba je stanovena technickou normou ČSN EN 13 715:2006. Norma se zaměřuje na kola o průměru $D \geq 330$ mm usazená na dvojkolí s normálním rozchodem [12]. Zde se zavádí přípustná změna obrysu, kdy po překročení mezního stavu je nutná reprofilace. Tento tvar je dosažen mnohaletou praktickou zkušeností kolejových vozidel. Je navržen tak, aby jeho přímý styk s kolejnicí byl co nejmenší a tím se zmenšila hodnota měrného valivého odporu. Kolo se ale opotřebovává nejvíce v místě styku s kolejnicí a proto se po čase může rozšiřovat jeho styčná plocha s kolejnicí. Jízdní obrys slouží k dosažení optimálních jízdních vlastností. Kuželovitost slouží ke středění dvojkolí a vozidla na přímé koleji. Na okolek jsou působena největší silová zatížení při průjezdu kolejového oblouku a jeho sklon je důležitý pro boční kontakt s kolejnicí. V neposlední řadě obrys kola slouží také k vyrovnání miniaturních nepřesností při jízdě dvojkolí, v jehož kolech se z důvodu opotřebování vyskytuje nepatrný rozdíl jejich průměrů.

V dnešní době je stanoven standardní mezinárodní jízdní obrys S 1002, jiným označením jízdní obrys UIC-ORE (obr. 5). U dříve užívaného dvoukuželového jízdního obrysu byla vyzorována vysoká míra deformace. Opotřebovaná byla nejvíce v části okolku, kde se materiál napěchoval do tvaru téměř totožného s tvarem dnešního okolku [12]. V tomto stupni deformace již kolo prokazovalo pomalejší opotřebení. Jízdní obrysy mohou být také různě modifikované podle specifické potřeby. Existují i další obrysy, jako například ZI-3, nebo ZI-4.



Obr. 5 Jízdní profil UIC-ORE [15].

3 TYPY DVOJKOLÍ U KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Dvojkolí se aplikuje na všechna kolejová vozidla. Dvojkolí je v základní myšlence stále stejné jako se používalo při začátku vývoje železniční dopravy. Prošlo ale mnoha inovacemi v technologiích výroby a v používaném materiálu [16].

Tento typ řešení pojezdové části je využíván z důvodu výhodných mechanických vlastností, které jsou potřebné při jízdě po koleji. Jedná se o vzájemný kontakt dvou tuho-plastických materiálů, kdy neprobíhá tak viditelná deformace, jako je to například u silniční dopravy. Je zde mnohem menší valivé tření a tudíž i valivý odpor. Důležitá vlastnost pojezdů je tuhost celku a pohlcování vibrací [2].

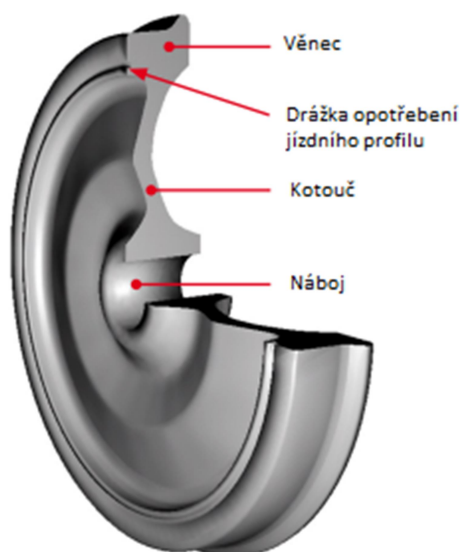
Na světové kolejové síti jezdí mnoho různých typů dopravních prostředků a jsou na nich použita dvojkolí různého charakteru. Faktory, podle kterých se volí typ dvojkolí, jsou: maximální rychlost jízdy na trati, technický stav tratě, převýšení tratě (stoupání), hmotnost vozidla nebo soupravy, stupeň modernizace vozidel.

3.1. Typy kol

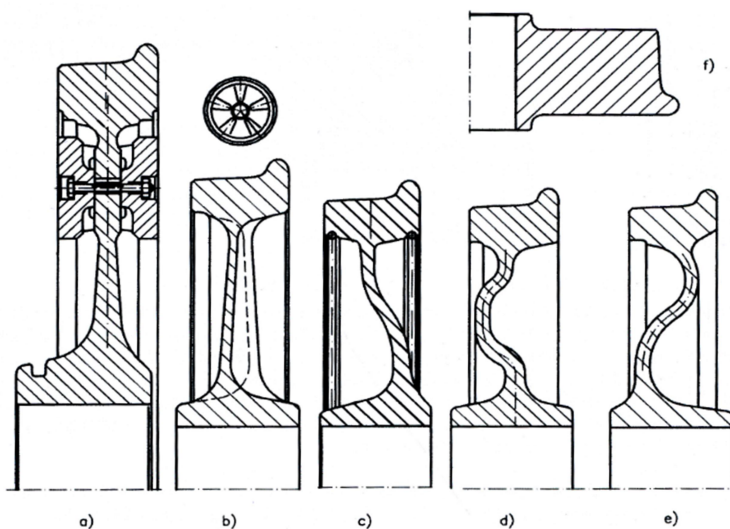
Železniční vozidla jsou založena na kolech z nedeformovatelných materiálů. Klasický typ kol je používán bez odpružení v kontaktu s pojížděným povrchem, tj. bez pneumatiky. Podle funkce má každé kolejové vozidlo požadavek na specifický typ kola a na jeho rozměry, tvar, pracovní vlastnosti a životnost. Tato kola musí splňovat podmínky mnoha předpisů a norem. Například vyhláška o kolech a dvojkolích na přívěsných vozidlech UIC 510-2. Technické podmínky pro dodávku kol určují vyhlášky UIC 812. Technické normy ČSN EN 13260, ČSN EN 13261 a ČSN EN 13262 popisují požadavky na dvojkolí a podvozky, konkrétně nápravy a kola. Vozidla mají kola, které se dělí na tři základní typy. Kola celistvá, obručová a složená.

3.1.1. Kola celistvá

Celistvá kola, v praxi nazývaná jako monobloková (obr. 6). Na jejich okraji je tzv. věnec s jízdni plochou a ve středu kola je otvor pro montáž na nápravu. Zesílená část kolem otvoru je nazvána náboj. Jsou spojena deskou, která může mít různý tvar [2] (obr. 7). Jejich výhodou je sériová výroba a nehrozí nebezpečí uvolnění nebo rozlomení obruče. Nevýhoda je, že pokud se poškodí nebo opotřebují, tak je nutné vyměnit celé kolo a je tedy velká spotřeba jakostního materiálu (příloha 5). Mohou se vyrábět odléváním z ocelolitiny nebo tvářecím způsobem na kovacím lise a následně vyválním [17]. Používají se v osobní i nákladní dopravě. Nákladní a starší osobní vozy jsou brzděny špalíkovými brzdami, což urychluje opotřebení jízdniho profilu.



Obr. 6 Celistvé kolo [19].

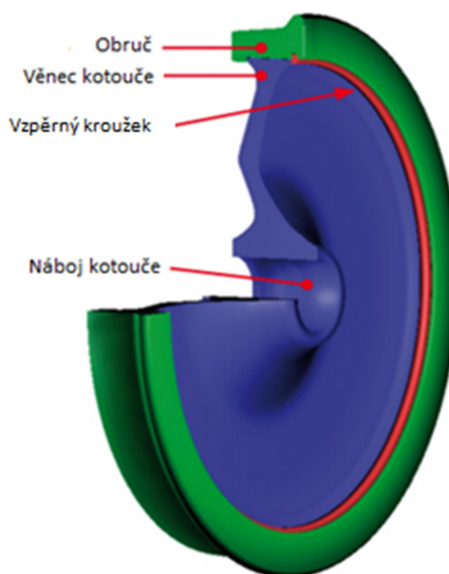


Obr. 7 Varianty tvarů desky celistvého kola a) rovná deska s brzdovými kotouči; b) šikmá deska; c) – e) prohnutá deska; f) kolo malého průměru plné - bez tvářené desky [2].

3.1.2. Kola obručová

Kola obručová jsou složena ze tří dílů (obr. 8). Z obruče, která se za tepla natahuje s přesahem na hvězdicí (kap. 5.1.3., tab. 3) nebo na kotouč. Vzpěrný kroužek, který je vyroben z pérové oceli 9x16 mm a je předem zakroužený, se rozpojený vloží do vyrobené drážky v obruči a následně se jeho konce spojí svarem. Tímto se zajistí pevná vazba těchto dílů [2]. Tato technologie je výhodná díky možnosti opakované výměny obruče. Například při opotřebení povrchu do mezní hodnoty poloměru nebo jiným poškozením. Je zde třeba dbát na ohřev a na sousost při lisování obruče. Kola obručová s hvězdicemi jsou v dnešní

době používána na elektrických lokomotivách. U motorových lokomotiv se používají obruče nasazené na kotoučích kol.



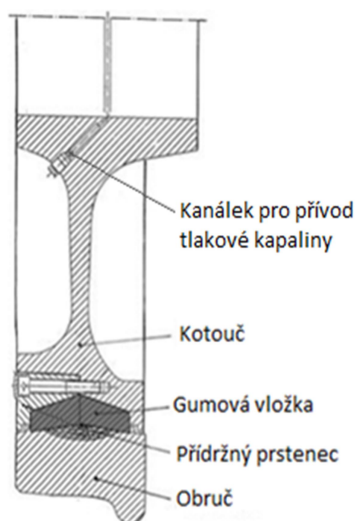
Obr. 8 Obručové kolo [19].

3.1.3. Kola složená

Složená kola jsou variantou kol, kdy mezi věncem kola a nábojovou částí jsou připevněny prvky tlumící hluk, nárazy a vibrace (obr. 9). Toho se dosahuje pomocí využití pryžových segmentů nebo vložkou gumové báze. Kola jsou rozšířena v městské a příměstské dopravě [2]. Tyto kolejové dráhy jsou často přizpůsobovány pozemní komunikaci a obsahují velké množství výhyben a oblouků o malých poloměrech. Tím jsou zhoršeny podmínky pro dodržení reálné rovinnosti kolejnic a nemožnost vést kolejnice bez přechodů a změn. Kola s tlumicími elementy zvyšují komfort jízdy, jsou šetrná k sluchovému ústrojí kolemjdoucích i k vozidlu. Nejsou vhodná pro rychlovlaky a běžnou železniční dopravu. Důvodem je nadměrné zahřívání pryže a zvýšené jízdní odpory. Tento typ kol byl dokonce zakázán pro používání u vysokorychlostních vozidel po vlakovém neštěstí v německém městě Eschede. Příčinou havárie byla rozlomená obruč složených kol. Vlakové soupravy ICE dosahují rychlostí nad 160 km/h, maximální rychlost může dosahovat 300 km/h.

Zcela se však od používání složených kol v železniční dopravě neodstoupilo. I dnes jezdí na českých sítích vozidla s těmito koly, příkladem toho je motorový vůz firmy Stadler 840 (obr 10 vpravo).

Odhlučnění kola na vozidlech jsou stále častějším požadavkem na dvojkolí. Firma Bonatrans Group, a. s. produkuje speciální odhlučnění celistvých kol. Pomocí příšroubovaného pryžového nebo plechového dílu k desce kola je možné minimalizace vibrací a hluku. Ukázka takového kola je na obr. 10 vlevo.



Obr. 9 Složené kolo [20].

3.2. Materiál kol

Kola celistvá se vyrábí z různých materiálů. Jedná se o vakuově odplyněnou ocel, dále zpracovanou válcováním nebo kování. Další využívanou technologií výroby je odlévání z ocelolity. Odlévané kolo je výhodné hlavně z důvodu nižší výrobní ceny, proto jsou tyto kola i s horšími mechanickými vlastnostmi (vrubová houževnatost, tažnost, kontrakce) stále v nabídce výroby [17]. Věnc zajišťuje přenos mnoha zatížení, a proto se zpevňuje kalením. Ve světové i tuzemské železniční dopravě se neustále zvyšují rychlosti, a proto je potřebné stále provádět výzkum a vývoj nových materiálů. V asijských zemích jsou provozovány nejrychlejší vlaky světa typu dálkového i rychlovlaky na bázi městské dopravy. I zde je možné čerpat inspiraci a získávat konkrétní zkušenosti. Nejpoužívanější z nich, zvláště u vozidel společnosti Českých drah a.s., jsou uvedeny v (tab. 1). Hodnoty korespondují s evropskou normou ČSN EN 13262+A1 a s vyhláškou UIC 812-3 [21].

Tab. 1 Mechanické vlastnosti ocelí používaných na kolech [22].

| Typ oceli | Evropské značení | Obsah C [%] | ReH [Mpa] | Rm [Mpa] | Z [%] | KCU [J] | KV [J] |
|-----------|------------------|-------------|-----------|------------|-------|---------|--------|
| R6 T, E | ER6 | ≤ 0,48 | ≥ 500 | 780 ÷ 900 | ≥ 15 | ≥ 15 | ≥ 12 |
| R7 T, E | ER7 | ≤ 0,52 | ≥ 520 | 820 ÷ 940 | ≥ 14 | ≥ 15 | ≥ 10 |
| R8 T, E | ER8 | ≤ 0,56 | ≥ 540 | 860 ÷ 980 | ≥ 13 | ≥ 15 | ≥ 10 |
| R9 T, E | ER9 | ≤ 0,60 | ≥ 580 | 900 ÷ 1050 | ≥ 12 | ≥ 10 | ≥ 8 |

Legenda: T – zušlechtěný věnc

E – objemově zušlechtěné kolo

Hvězdice jsou zpravidla vyráběny odléváním. Kotouče mohou být rovněž vyráběny odlitím, vyválcovány nebo vykovány. Zvolená ocel pro tvářenou výrobu je C1 – C4, materiálem odlitků je 42264.0 (tepelně nezpracováno) nebo 42 264.3 (žíháno na měkko). Požadavky na odlitky jsou dány v technických předpisech TNŽ 28 2157 (železniční

norma). Obruče se vyrábí tvářením za tepla na zakroužených válcovačkách z materiálu označeného B1 – B6T podle železniční normy UIC 810-1. Na ozubená kola pohonu je použita ocel třídy 14, je vhodná k cementování a pro objemové tvářením za tepla. Zpracovává se žíháním 14 341.2 s výchozím stavem zušlechtnění na střední pevnost u příslušné oceli se značením nebo podle dohodnutého předpisu [21].

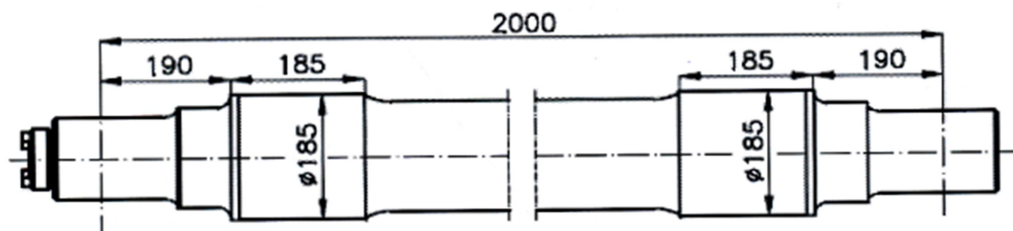


Obr. 10 Vlevo dvojkolí s odhlučnými celistvými koly a třemi brzdovými kotouči, vpravo příklad odpruženého složeného kola z motorového vozu 840 Stadler.

3.3. Nápravy

Každé vozidlo má určitý požadavek na nápravy. Podle druhu funkce dvojkolí jsou vizuálně i rozměrově odlišné. Nápravy pro hnací dvojkolí slouží k přenosu točivého momentu, a proto obsahují sedlo pro uložení převodového ústrojí. Na broušených připravených sedlech nehnacích dvojkolí jsou nalisovány kola, ložiska a kotouče brzd. Sedla jsou po dlouholetých zkušenostech zhotovovány se zvýšením oproti dřívku náprav a zvýšení je provedeno se zaoblením. Důvodem tohoto zavedeného tvaru je vyšší pevnost a je zcela minimalizováno riziko lomů náprav kvůli koncentraci napětí. Nápravy mohou obsahovat také čidla snímající počet otáček, alternátory, čidla protismykové ochrany anebo rychlíkovou brzdu [12], [23].

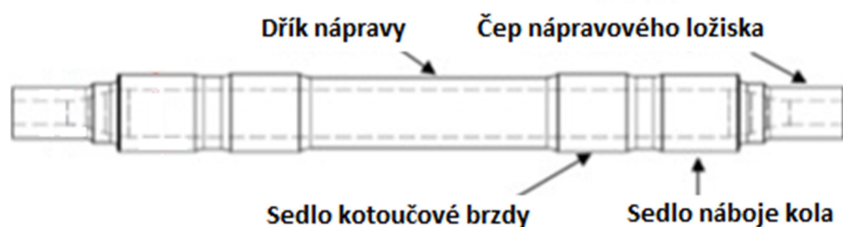
Na nápravách se udává povolená zátěž, která může být v rozmezí (10.000 – 30.000) kg. Nejvyšší hodnoty se vyskytují u nákladních vozů, nejnižší mohou náležet tramvajím nebo speciálním drážním vozidlům.



Obr. 11 Náprava železničních vozů [2].

Nápravy mohou být plné nebo duté (obr. 11). Provrtání v ose nápravy se provádí z důvodu lepšího přístupu prohlídek a snížení hmotnosti dvojkolí i soupravy. Vývrt nemusí

být se zvětšeným průměrem, jako je uveden na (obr. 12), ale se stejnou hodnotou po celé délce. Díky otvoru je umožněno nahlížení do středu nápravy a zde detekovat porušení nebo trhliny. Další výhodou je zmenšení rotující hmoty, tedy i k lepším brzdovým účinkům [23]. Tyto nápravy se používají převážně u hnacích vozidel. V cenovém porovnání je jejich výroba nákladnější než u plných náprav. I z těchto faktorů lze usoudit, že jich je celkově méně [21]. Na čele nápravy jsou v kruhovém poli zhotoveny vnitřní závity, které slouží k axiálnímu zajištění nápravových ložisek pomocí koncových desek. Provádí se v počtu tří, čtyř nebo dvou závitů.



Obr. 12 Průřez dutou nápravou [24].

U tramvajových vozidel se často vyskytují nápravy krátké typu poloos, ty jsou připevněny na okraje nápravnic (obr. 13). V takovémto případě bývá na poloosách uchycen elektromotor pro pohon jednotlivých kol [25]. Používají se zvláště u moderních nízkopodlažních vozů. Účelem je zachování volného prostoru v ose kol tím, že propojení dvou kol je provedeno v nižší rovině. Díky tomu je možné v přepravním prostoru zachovat sníženou podlahu, která usnadní cestujícím pohyb a umožní manipulaci s invalidními vozíky a dětskými kočárky.

U klasických starších modelů se staví dvojkolí klasické na jedné nápravě, s osazením trakčními motory. Je používáno vnitřní ložiskové uložení, což znamená uložení ložisek blíže ke středu nápravy, kola se lisují na okraj. Vozidla městské a příměstské dopravy jsou osazována koly o menších průměrech. Jedná se o průměry okolo (550 – 350) mm, liší se jednotlivými výrobci. Pomocí toho je dosaženo snížení osy kola, snížení celkového položení nápravy i zachování maximálního prostoru nad samotnými koly [23].



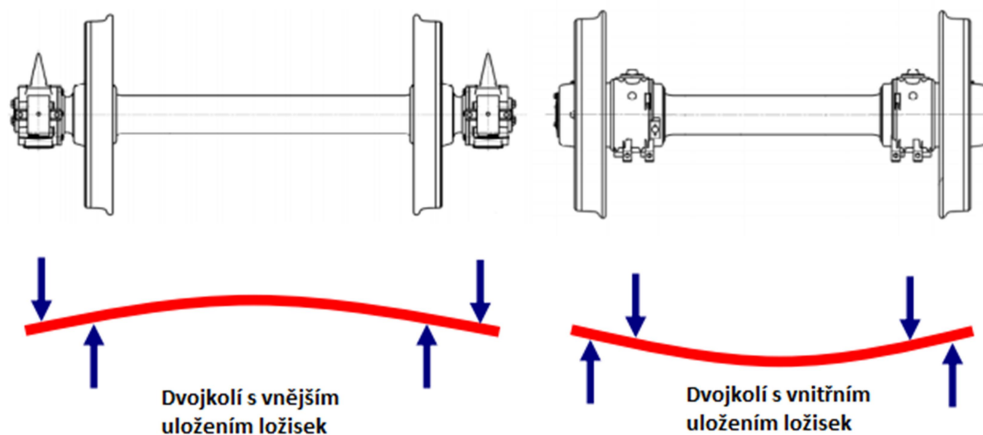
Obr. 13 Nápravnice s nosností 12.500 kg pro tramvajová kola firmy Bonatrans a.s. [25].

3.3.1. Zatížení a síly působící na nápravu

Obrázek znázorňuje rozdíl mezi uložením ložisek. Průhybová čára naznačuje ohyb, který působí na nápravu výsledný ohybový moment. Modrými šipkami je směřováno do pomyslného středu (osy) nápravy, znázorňují působení sil. Síla se směrem vzhůru je vztlačná od podložky, síla s opačným smyslem pochází z hmotnosti vlaku, tzv. zatížení nápravy.

Další namáhání je způsobeno pohonem a brzdami, při rozjíždění a naopak při brzdění. Jak již bylo zmíněno, brzdové systémy jsou aplikovány na obvodu jízdnic ploch (špalíkové brzdy), kotoučové brzdy samostatné na nápravách nebo montované na desce kol. Všechny varianty brzd zvyšují napjatost v nápravách a to konkrétně namáháním na krut (obr. 14). Při namáhání krutem se v příčném průřezu vyskytují hodnoty napětí, které nabývají na intenzitě se vzrůstající vzdáleností od středu průřezu [26].

Při průjezdu kolejnicovými oblouky vzniká napjatost smyková, která působí nejvíce na okolky. Díky jejich speciálnímu tvaru a kvalitě zpracování je vozidlo chráněno proti vykolejení. Namáhání na smyk však je působeno na celé kolo i nápravu.



Obr. 14 Průhybová čára zatížených dvojkolí [26].

3.4. Materiál náprav

Vstupním materiálem ve výrobě náprav bývá vakuovaná nízkouhlíková ocel. V ocelárnách výrobní proces začíná metodou kontinuálního lití [21]. Výběr nejčastěji používaných materiálů uvádí (tab. 2). Materiály s označením EA1N jsou normalizačně žhánány a EA4T jsou tepelně zpracovány kalením a popouštěním. Vlastnosti materiálů jsou určeny normou ČSN EN 13261 (28 0522).

Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocelí pro nápravy kolejových vozidel, podle normy ČSN EN 13261 (28 0522) [27].

| Označení oceli | Typ | ReH [Mpa] | Rm [Mpa] | A [%] | HV [-] |
|----------------|---------|-----------|----------|-------|--------|
| EA1N | 0,35 %C | >320 | 578,3 | 22 | 164 |
| EA1T | 0,35 %C | >350 | 676 | 24 | 199 |
| EA4T | 25CrMoV | >420 | 736,4 | 18 | 229 |

Legenda: N – normalizačně žhánáno
T – zušlechtěno
E – podle evropské normy

4 DRUHY OPOTŘEBENÍ

Dvojkolí v běžném denním provozu u železniční vlakové přepravy může ujet dráhu okolo 500 až 900 km. Styčné plochy kol a kolejnic přirozeně podléhají opotřebení, které se neprojeví v bezprostřední době po jízdě, ale až po delším čase v denním provozu. Jedná se o deformace na jízdním obrysu, který se přeměňuje na jiný, nežádoucí tvar. Z důvodu styku obroučového kola s kolejnicí se vytrhává materiál z jízdnicích ploch, vtlačují se zde drážky, nebo se nalepuje přebytečný materiál. Kolo se může vyválcovat přes okraj věnce, nebo vznikají tepelné trhliny příčnými průřezy jízdnicí plochy. Trhliny se mohou vycházet z otvorů v desce kola. Na vnějším čele kola je mezní drážka označená po celém průměru, která značí maximální hloubku možného opotřebení kola. Na novém kole je (30 – 70) mm široká. Průměr kol je měřen na styčné kružnici kola. Na kolech téhož dvojkolí se sleduje rozdíl průměrů. U kol po opravě pro vozidla s rychlostmi do 140 km/h rozdíl může být 0,5 mm a nad 140 km/h nesmí přesáhnout 0,3 mm [18], [20], [28].

V interním předpisu ČD V 25 jsou stanoveny kilometrické proběhy, kdy je nutné provést defektoskopickou ultrazvukovou zkoušku dvojkolí. V předpisu s názvem ČD V 26 se popisuje, které díly podléhají defektoskopické zkoušce. U vozidel nepodléhajícím defektoskopické zkoušce v kilometrickém proběhu se provádí tato zkouška nejdéle po sedmi letech. Poškození mohou vznikat i nepravidelná. Při menší poruše mechanismu a následné ztrátě funkčnosti celku nebo nekvalifikovaným úkonem strojvedoucího vznikají například probrzděné plochy na kolech způsobené zablokováním kola (obr. 15).

Druhy opotřebení povrchu jízdnicí plochy jsou: Shelling (vydroleniny), představují místní ztrátu materiálu v malé oblasti, do hloubky několik milimetrů. Spalling je vada lokální ztráty materiálu po celém povrchu jízdnicí plochy. Scalling představuje lokální tečení materiálu po celém obvodu jízdnicí plochy.



Obr. 15 Železniční dvojkolí s probrzděnou plochou [29].

4.1. Opotřebení náprav

Nápravy mají s koly za úkol nést hmotnost soupravy. Bezpečnost je závislá na bezchybnosti těchto částí. Proto jsou na ně kladeny velké nároky a nesmí vykazovat větší poškození, než stanovuje předpis. Defekty povrchové tvoří únavové trhliny v sedlech kol, vruby, vrypy, důlky po korozi, rýhy, vydřená místa. Tyto zmíněné jsou opravitelné nebo v určitých miniaturních rozměrech neškodné. Měřením rozkolí po 120° se může zjistit silné prohnutí nápravy, pokud jsou naměřené různé hodnoty [28]. Závity na okraji nápravy

mohou také vykazovat známky opotřebení. Nápravy s příčnými trhlinami není možné dále renovovat a používat.

Únavové trhliny jsou takové, které vznikají cyklickým namáháním. Při jízdě kolejových vozidel koná celé dvojkolí rotační pohyb. V počáteční fázi vznikají iniciační trhliny, které umožní korozi počátek působení s vnikem do nitra materiálu a tím oslabení pevnosti. Při včasné neodstranění únavových trhlin a setrvání v zatíženém stavu dochází v konečné fázi k lomu materiálu. Jsou zaznamenány nehody kolejových vozidel s příčinou příčného lomu nápravy. Zadření náprav je problémem u lisování, příklad v (příloze 6).

4.2. Opotřebení nábojů kotoučů a hvězdic

Kotouče kol mohou vykazovat poškození na náboji. Trhliny malého rozsahu se mohou opravovat tehdy, když směřují z otvorů unášecích děr. Trhliny se vyskytují i na paprscích hvězdic nebo ve věnci kola. Při malém počtu a rozměrech se dají opravit. Tato poškození vznikají působením rázů kola o kolejnici [28].

4.3. Opotřebení ozubených kol

Ozubená kola na hnacích dvojkolích nesmí vykazovat známky trhlin nebo dokonce vylomených zubů. Je měřena míra přes zuby kvůli jejich abrazivnímu opotřebení. Například u motorových vozů řady 743 se měří rozměr přes 9 zubů, u elektrických lokomotiv se měří přes 12 zubů. Je stanovená minimální vzdálenost (maximální možné zúžení zubů).

4.4. Opotřebení brzdových kotoučů

Další běžná závada je opotřebení brzdových kotoučů nebo brzdových desek. Mezi opotřebení patří trhliny, které se v menší velikosti a množství mohou přesoustružit, rýhy a otlaky. U brzdových komponentů je důležitá brzdící plocha, která nesmí být zešikmená ani nijak prohnutá. Na třecí ploše se vyskytuje radiální prohloubení kotouče od přítlačného tělesa. V provozu je stanoveno maximální přípustné prohloubení (konkávní projetí) 2 mm z každé strany brzdového kotouče. U vozů brzděných špalíkovými brzdami (zdržemi) není akceptovatelné vybočení brzdového tělesa mimo styčné plochy jízdního obrysu. Je kontrolována tloušťka brzdných přítlačných těles (zdrží). Všechny šroubové spoje musí být dotažené na předepsaný moment [28]. Magnetická prášková kontrola brzdového kotouče, při které je zjištěna trhlina (příloha 6).

4.5. Tepelně ovlivněná dvojkolí

Tepelné ovlivnění dvojkolí se vyskytuje ve spojení s průběžnými tlakovými pneumatickými brzdami – hovorově špalíkové brzdy. Používané typy kol při způsobu brzdění jsou celistvá kola s tepelně zušlechťeným věncem. Při brzděném úkonu působí dvoušpalíkové zdrže tlakovým namáháním na jízdní plochu pojížděného kola. Hodnoty tlaku v tlakovém vzduchovém rozvaděči vozu jsou přibližně 3,8 baru. Při tažení zabrzděného vozu, nebo částečně přibrzděného po delší trase, dochází k ohřívání kola i brzdícího segmentu. Nadměrným zvýšením teploty dochází k degradaci tepelného nátěru (obr. 16, obr. 17). Konkrétně ke snižování meze kluzu a pevnosti v tahu. U kola nastává trvalá deformace, zhortí se důležité rozměry a parametry nebo vznikají tepelné trhliny. Tepelně ovlivněné dvojkolí musí být podrobena ultrazvukové zkoušce. Pokud je nevyhovující, je nutno jej vyřadit z provozu nebo je určeno k opravě [28].



Obr. 16 Monoblokové dvojkolí číslo 1233 s poškozeným tepelným nátěrem. Toto poškození naznačuje přítomnost nežádoucích vnitřních zbytkových pnutí v kole. Trhлина vznikla v důsledku neodstraněného pnutí. Pomocí nátěru je možno sledovat tepelné i napěťové změny v materiálu.



Obr. 17 Monoblokové dvojkolí číslo 1231 s trhlinou. Zde je příklad, kdy i přes překročenou mez vnitřního pnutí není znatelná degradace nátěru, zbytkové pnutí přítomno.

4.6. Opotřebení kolejnic

Stejně jako má omezenou životnost kolo v provozu, tak i u kolejnic se vyskytují defekty a opotřebení. Poruchy většinou začínají na povrchu kolejnice v části nazvané hlava, kde dochází ke kontaktu s koly. Dají se nazvat únavové poruchy, neboť jsou vyvolané opakovaným zatěžováním. Dle výskytu se mohou dělit na dva typy: povrchové a podpovrchové [30]. Podpovrchové vady vznikají postupem iniciační trhliny směrem do materiálu, následným šířením trhliny a konečným odlomením části povrchu. Na poškozeném materiálu jejím důsledkem zůstane plošná vada libovolného rozměru. Každé odlomení části kolejové hlavy je nutné renovovat. Povrchové jsou způsobeny přímým kontaktem s tlakovým zatížením kola. Jsou adhezního i abrazivního původu.

Adhezní opotřebování vzniká za působení smýkání a valení. U styku koleje a kola dochází k těmto jevům. Není možné dosáhnout ideální roviny ani ideálního kruhovitého tvaru. Proto při styku dvou neideálních povrchů nastává bodová elastická deformace a vzápětí při rozpojování způsobí vytrhávání mikročásti materiálu [30], [31].

Opotřebení je velmi podobné jako u případu opotřebení kola u vozidel. Případy se dají představit jako opačný jev. Opotřebení kola se zpravidla projeví i do opotřebení železničního svršku. A naopak opotřebovaná nebo poškozená kolejnice má negativní vliv na kola a na celé dvojkolí. Opotřebení vyplývá z konkrétního funkčního hlediska, které je běžné u kolejových vozidel. Je to sinusový pohyb dvojkolí. Tento pohyb nastává u běžného kolejového vozidla a speciálními konstrukčními úpravami lze minimalizovat. Například obnovením jízdního obrysu. Sinusový pohyb má za následek opotřebování kolejnice tzv. „dlouhými vlnami“. Při jízdách zatáčkami o malých poloměrech způsobují prokluzu kol vlnovitost kolejnic (obr. 18). Úběr materiálu na kolejnici lze spatřit na (obr. 18, vlevo); v tomto případě je úběr způsoben kontaktní plochou okolku. Toto opotřebení je časté v městské kolejové dopravě, lze je spatřit například v brněnské městské dopravě na kolejnicích procházejících obloukem.



Obr. 18 Opotřebení styčných ploch na kolejnicích: vlevo opotřebení vnitřní strany hlavy kolejnice, vpravo vlnovitost [32], [33].

5 RENOVAČNÍ POSTUPY

5.1. Stupně oprav hnacích vozidel

U kolejových vozidel se rozdělují opravy podle rozsahů, které jsou určeny pravidelným opakováním s ohledem na kilometrové ujeté vzdálenosti. Jsou určovány podle předpisu ČD V25. Ve společnosti DPOV, a.s. se provádí hlavní opravy, vyvazovací opravy, opravy funkčních celků a modernizace vozidel zahraničních dopravců.

V následujícím přehledu je uveden význam zkratk názvů oprav a prohlídek [34]. Tyto zkratky se v praxi běžně používají, ale nemusí být mimo obor železnic a kolejových vozidel známy:

M – motorová trakce

E – elektrická trakce

P – přípojné a řídicí vozy

Opravy:

EVY, MVY, PVY – vyvazovací oprava

ES, MS – střední oprava (starší vozidla)

EH, MH, PH – hlavní oprava (aplikace nového laku nebo opravy poškozených míst)

EG, MG, PG – generální oprava

Prohlídky:

D – denní prohlídka

EO, MO, PO – provozní ošetření

EM, MM, PM – malá periodická prohlídka

EV, MV, PV – velká periodická prohlídka

5.2. Renovace náprav

Povrchové defekty na nápravách se díky jejich rotačnímu tvaru opravují na soustruzích. Jsou zde ale stanoveny limity, které určují maximální počet poškozených míst na nápravě do maximální poškozené hloubky. Opotřebené čepy pro tlapová ložiska s kluzným uložením se opraví regulací na požadovaný rozměr. Poškozená sedla pro kola a pro kotouče brzd se opraví soustružením na opravárenský rozměr, který je převzat z předpisu ČD V99, přílohy 2. Pokud již není možné splnit opravárenský rozměr, nebo rozměr není uveden, náprava se vyřadí. Všechny zásahy do nápravy musí být na konci ověřeny defektoskopickým zkoušením práškovou polévací metodou, která se provádí i na počátku opravy [28], [35].

5.3. Renovace celistvých kol, kotoučů a hvězdic

Trhliny malých rozměrů na celistvých kolech, kotoučích nebo hvězdicích, se opravují svařováním (podle předpisu ČD V 95/5) a následným přebroušením svarů. Oprava se provádí pouze s demontovanou obručí, protože by mohlo dojít k jejímu nežádoucímu tepelnému i mechanickému ovlivnění. Otlaky a vruby po unášečích kolových soustružů se odstraňují vybroušením. Před opravou i po skončení se provádí defektoskopické zkoušení. Opracováním se opravují i otláčená a zadřená místa na povrchu věnců, nebo i na čelech věnců, dle stanovených rozměrů [36]. Pokud jsou naměřené hodnoty věnců hvězdic menší, než stanovuje výkres a předpis, je možné navařit a následně přesoustružit na jmenovitý rozměr [28]. Otláčené nebo zadřené náboje kotoučů je povoleno opravit soustružením. Naopak, pokud je hodnota průměru větší než jmenovitý rozměr, mohou se poškození opravit navařováním dle článku 23 předpisu ČD V 99 [28].

5.4. Renovace obručí

Obruče jsou nasazovány s přesahem, jehož velikost je určena tabulkou 3. U opravy obruče se sleduje tloušťka obruče kol po opracování. Ta musí zachovat minimální tloušťku podle předpisu ČD V 25. Rozmezí tlouštěk se pohybuje od 25 do 40 mm (tab. 9). Při montáži musí být dodrženy rozměry rozkolí, vodící šířky dvojkolí a rozchodu kol [28], [35].

Tab. 3 Ukázka přesahů pro obruče podle vnitřního průměru dosedací plochy [28].

| Vnitřní průměr dosedací plochy obruče (mm) | Přesah (mm) | | | |
|--|-------------|-----------|--------------------|-----------|
| | HKV | | Vozy a řídicí vozy | |
| | Minimální | Maximální | Minimální | Maximální |
| 470 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 |
| 500÷650 | 0,8 | 1,0 | 0,7 | 0,8 |
| 690 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 |
| 700÷730 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |
| 750 | 0,95 | 1,1 | 0,95 | 1,1 |
| 775÷810 | 1,0 | 1,15 | 1,05 | 1,2 |
| 819÷880 | 1,1 | 1,3 | 1,1 | 1,25 |
| 895÷930 | 1,1 | 1,3 | - | - |
| 950÷1000 | 1,2 | 1,35 | - | - |
| 1090÷1100 | 1,4 | 1,6 | - | - |

5.5. Renovace jízdního obrysu celistvých kol a obručí

Jízdní obrys se opravuje soustružením (obr. 19). Obnovení je možné provádět na podúrovňovém soustružku bez nutnosti vyvázání dvojkolí, popř. na kolových soustružkách (vyvázaná dvojkolí). Po ukončení se kontroluje defektoskopicky ultrazvukovou metodou. (Aplikace metody povrchových vln). Tvar jízdního obrysu se někdy kontroluje pomocí speciálních měrek, většinou již jsou uloženy v CNC soustružkách. Důležité rozměry okolku

jsou: šířka, výška, strmost, tloušťka. Pokud by při opravě mělo být dosaženo podkročení mezní drážky, celistvé kolo se vyřadí. Jestliže jsou na opracovaných plochách vměstky (nehomogenita) a nedají se odstranit dalším opracováním, obruč se vyřadí. Při nesplnění požadovaných rozměrů okolku (tloušťka), popř. překročené hodnoty rozchodu (více jak 1426 mm) se provede obnova jízdního obrysu se ztenčeným okolkem. Ukázka měření obrysu (příloha 7). Poškozené plochy jsou k vidění v příloze 8 [28].



Obr. 19 Soustružení jízdního obrysu [20].

5.6. Renovace kotoučů nebo disků brzdy

Na poškozených kotoučích trhlinami a prasklinami, které splňují podmínku opravy, se provede zabroušení a zarovnání. Provádí se zde i přesoustružení a to za předpokladu, že obě strany brzdového kotouče nebo disku jsou odebrány stejně. Kotouče obsahují mezní drážku pro maximální ztenčení šířky (brzdné plochy). Povolené šroubové spoje se dotáhnou podle určeného momentu [28].

5.7. Renovace tepelně ovlivněných dvojkolí

V případě tepelného ovlivnění na dvojkolí je nutné zkontrolovat hodnotu rozkolí a změřit zbytkové napětí. Pokud hodnota rozkolí neodpovídá požadované, provádí se odlisování o minimální vzdálenost 30 mm a následné zpětné nalisování na správnou polohu. Hodnoty zbytkového napětí, které jsou v toleranci, se zaznačí na identifikační štítek a do Evidenčního listu dvojkolí podle předpisu ČD V 99/1. Celistvá kola s nevyhovující naměřenou hodnotou zbytkového napětí je nutno vyřadit [28].

6 ROZBOR PROCESU NA KONKRÉTNÍCH PŘÍKLADECH

6.1. Motorový vůz řady 854

V této kapitole se bude rozebírat oprava motorového vozu řady 854, která se provádí v DPOV, a.s. Nymburk. V tomto opravárenském podniku se provádí opravy několika rozsahů. Rozsah MVY (vyvazovací periodická oprava) je řízen předpisem ČD V25 a je nižším stupněm opravy hlavní. Jedná se o vyvázání (neboli demontáž) pojezdu či podvozku z vozové skříně. Součástí této opravy je více opravovaných celků, jako například táhlové a narážecí ústrojí, elektrická zařízení, převodovky, kloubové hřídele, spalovací motor, skříň, brzdová výstroj a další. V technologickém postupu je popsána oprava hnacího i hnaného dvojkolí (tab. 5). Je sepsán seznam měněných komponent, prováděných operací a rozměrová kontrola (tab. 4, tab. 8, tab. 9). Měrové listy dvojkolí jsou uvedeny pro jedno dvojkolí hnací a druhé hnané (tab. 6, tab. 7).

Řada 854 je modernizovaná předchozí řada 852 a 853 opravou Pars Nova v Šumperku. Původní řada byla vyráběna v letech 1967 – 1970, modernizace probíhala od 2000 do 2006 [36]. Vybraný vůz je poháněn dieselovým agregátem značky Caterpillar a přenos výkonu je proveden hydrodynamickou převodovkou. Na voze jsou dva podvozky, z nichž se každý skládá ze dvou náprav, dvojkolí. Jeden podvozek je hnací, druhý hnaný. Číselné označení vyvazovaného vozu je 95 54 5, 854 201-1, výrobní číslo 70 294/1968.

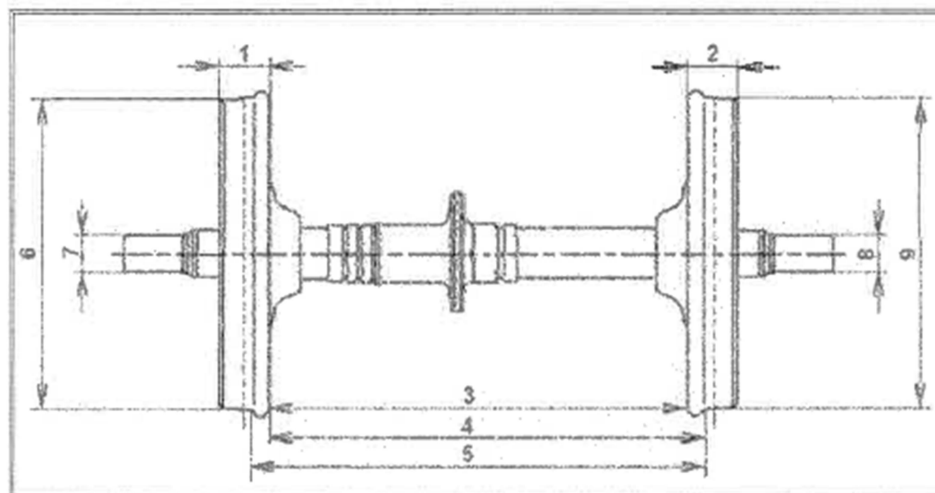
Tab. 4 Měrové listy dvou dvojkolí jednoho podvozku. Kola s čísly (1-2) jsou z hnacího dvojkolí, čísla (3-4) jsou z běžného dvojkolí.

| Rozkolí | | | | 1. | 2. | 3. | 4. | |
|---|------|------|------|--------------|--------|--------|--------|-------|
| I. | | | | 1360,3 | 1360,6 | 1360,7 | 1360,7 | |
| II. | | | | 1360,4 | 1360,7 | 1360,7 | 1360,8 | |
| III. | | | | 1360,5 | 1360,6 | 1360,7 | 1360,9 | |
| Rozchod dvojkolí | | | | 1424,5 | 1424,7 | 1425,7 | 1424,9 | |
| Vodící šířka dvojkolí | | | | 1292,5 | 1392,7 | 1392,7 | 1392,9 | |
| Kola vlevo: | | | | Kola vpravo: | | | | |
| 1. | 2. | 3. | 4. | | 1. | 2. | 3. | 4. |
| Průměr kola dvojkolí: | | | | | | | | |
| 920 | 920 | 920 | 922 | | 920 | 920 | 920 | 922 |
| Tloušťka okolku: | | | | | | | | |
| 32,0 | 32,0 | 32,0 | 32,0 | | 32,0 | 32,0 | 32,0 | 32,0 |
| Výška okolku: | | | | | | | | |
| 28,0 | 28,0 | 28,0 | 28,0 | | 28,0 | 28,0 | 28,0 | 28,0 |
| Strmost: | | | | | | | | |
| 10,0 | 10,0 | 10,5 | 10,5 | | 10,0 | 10,0 | 10,5 | 10,5 |
| Elektrický odpor dvojkolí mezi obručemi nebo celistvými koly v Ω | | | | | 0,005 | 0,005 | 0,004 | 0,004 |

Tab. 5 Technologický postup opravy dvojkolí při vyvazovací opravě.

| Číslo operace | Činnost | Popis práce v operaci |
|---------------|-------------------|--|
| 1 | Převzetí | Převzetí dvojkolí - vykládka dílna |
| 2 | | Kontrola označení na identifikačním štítku |
| 3 | Čištění | Hrubé předčištění |
| 4 | | Čištění (mechanické, chemické) |
| 5 | Kontrola | Posouzení stavu kol, náprav a ložisek |
| 6 | | Defektoskopická kontrola |
| 7 | | Rozměrová kontrola |
| 8 | Demontáž ložisek | Indukční ohřev, stažení, značení, kontrola, manipulace - 4ks ložiskových kroužků |
| 9 | | Výměna nápravového ložiska - stažení ložiska, kontrola prašníků, natažení - 1ks |
| 10 | | Demontáž ložiskových kroužků a prašníků |
| 11 | | Kontrola ložiskových kroužků |
| 12 | Demontáž dvojkolí | Výměna monobloků - slisování |
| 13 | | Výměna monobloků - slisování mobilní lis |
| 14 | Renovace | Výměna monobloků - soustružení monobloků 2ks |
| 15 | | Výměna nápravy - soustružení sedel nápravy 1ks nápravy |
| 16 | | Reg. sedel staré nápravy |
| 17 | | Gradace čepů nápravy |
| 18 | | Soustružení namáčknutého lož. čepu nápravového čepu - 1 náprava |
| 19 | Montáž dvojkolí | Výměna monobloků - nalisování |
| 20 | | Tmelení lis. Spojů |
| 21 | | Soustružení profilu 1ks dvojkolí, manipulace |
| 22 | | Reprofilace původních monobloků |
| 23 | | NDT kontrola jízdního profilu |
| 24 | | Vyvažování, vytvoření protokolu |
| 25 | | Montáž prašníků a ložiskových kroužků, natažení ložiska |
| 26 | Výstupní kontrola | Měřit důležité rozměry opraveného celku |
| 27 | | Manipulace, odmaštění, lakování, konzervace dvojkolí a expedice (manipulace na auto, vagón) 1ks dvojkolí |
| 28 | | Doplnit označení na identifikační štítky. Při dodávání nové nápravy a nových kol označit jako při výrobě |
| 29 | | Vystavení výstupní dokumentace dvojkolí |

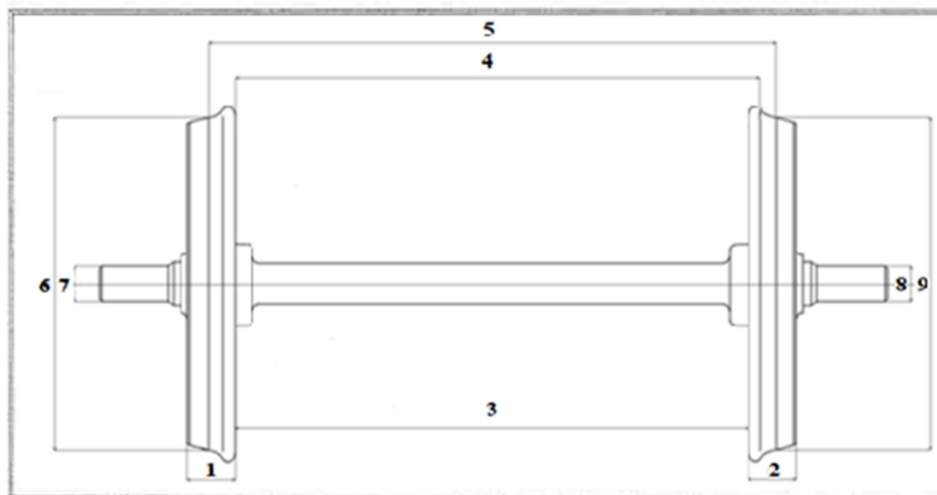
Měrový list hnacího dvojkolí Hm číslo: 1397



Tab. 6 Naměřené hodnoty hnacího dvojkolí při vyvazovací opravě.

| Hodnoty na daných pozicích dle schématu | | | | | | | |
|---|--|---------|------------|-----------------------|--------|--------------|----------|
| Rozměr číslo | Jmenovitý rozměr | | | Naměřené hodnoty (mm) | | | |
| 1 | Šířka celistvého kola min. 134 mm max. 136 mm | | levé | 135,2 | | | |
| 2 | Šířka celistvého kola min. 134 mm max. 136 mm | | pravé | 135,2 | | | |
| 3 | Rozkolí | | | 1360,6 | 1360,6 | 1360,7 | |
| 4 | Vodící šířka dvojkolí max. 1394 mm | | | 1392,5 | | | |
| 5 | Rozchod dvojkolí 1410-1426 mm | | | 1419,5 | | | |
| 6 | Průměr kola na styčné kružnici min. 854 mm | | levé | 919 | | | |
| 7 | Průměr čepu pro nápravové ložisko min. 120 +0,037 mm | | levé | 120,04 | | | |
| 8 | Průměr čepu pro nápravové ložisko min. 120 +0,037 mm | | pravé | 120,04 | | | |
| 9 | Průměr kola na styčné kružnici min. 854 mm | | pravé | 919 | | | |
| 10 | El. Odpor dvojkolí 0,01Ω | | | 0,005 | | | |
| Profil dvojkolí UIC ORE | | | | | | | |
| Levá strana | | | | Pravá strana | | | |
| Šířka | Výška | Strmost | Tloušťka | Šířka | Výška | Strmost | Tloušťka |
| 32 | 28 | 10 | - | 32 | 28 | 10 | - |
| Defektoskopická zkouška: | | | Vyhovující | | | Nevyhovující | |

Měrový list běžného dvojkolí číslo: 2141



Tab. 7 Naměřené hodnoty běžného dvojkolí při vyvazovací opravě.

| Hodnoty na daných pozicích dle schématu | | | | | | | |
|---|--|---------|----------|-----------------------|--------|---------|----------|
| Rozměr číslo | Jmenovitý rozměr | | | Naměřené hodnoty (mm) | | | |
| 1 | Rozkolí 1360 (+3/-1 mm) | | | 1360,7 | 1360,8 | 1360,9 | |
| 2 | Průměr kola na styčné kružnici min. 854 mm | | | levé | 922 | | |
| 3 | | | | pravé | 921,9 | | |
| 4 | Šířka celistvého kola min. 134 mm max. 136 mm | | | levé | 135,2 | | |
| 5 | | | | pravé | 135,1 | | |
| 6 | Průměr čepu pro nápravové ložisko min. 118 +0,037 mm | | | levé | 120,05 | | |
| 7 | | | | pravé | 120,05 | | |
| 8 | Vodící šířka dvojkolí max. 1394 mm | | | 1392,9 | | | |
| 9 | Rozchod dvojkolí 1410-1426 mm | | | 1424,9 | | | |
| 10 | El. Odpor dvojkolí 0,01Ω | | | 0,004 | | | |
| Profil dvojkolí UIC ORE | | | | | | | |
| Levá strana | | | | Pravá strana | | | |
| Šířka | Výška | Strmost | Tloušťka | Šířka | Výška | Strmost | Tloušťka |
| 32 | 28 | 10,5 | - | 32 | 28 | 10,5 | - |

Tab. 8 Stav výměny ložisek, ozubených kol a kontrola vůlí. Komponenty patří k nápravové převodovce NK 18, výrobní číslo 13.

| Seznam ozubených kol | | |
|----------------------|-------------------------------------|---------|
| Pozice | Název dílu | Stav |
| 1 | Pastorek kuželový 1-700-29-1.18-1.1 | Původní |
| 2 | Kolo talířové 1-700-29-1.18-2.1 | Původní |

| Seznam ložisek | | |
|----------------|----------------------------|-----------|
| 3 | Ložisko 30320 | Nové |
| 4 | Ložisko NU 2314 ECML/C3 | Nové |
| 5 | Ložisko 6236 MAC3 | Ponecháno |
| 6 | Ložisko NU 236 ČSN 02 4670 | Ponecháno |

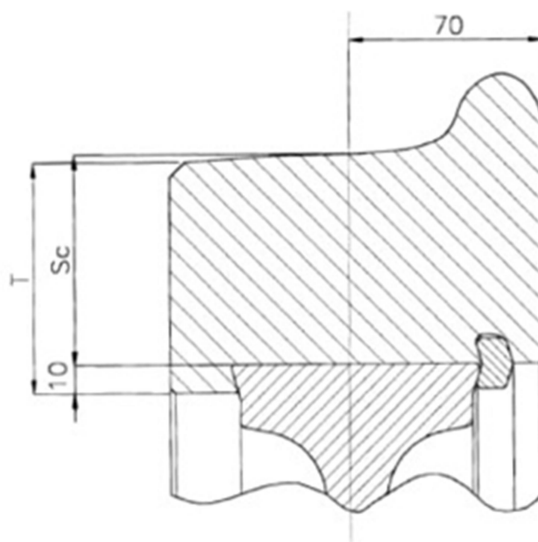
| Rozměrová kontrola převodu | | |
|--|------|----------|
| Montážní vůle kuželového soukolí | 0,8 | 0,4 |
| Montážní vůle pohonu čerpadla | 0,3 | 0,2 |
| Montážní vůle kuželových ložisek | 0,25 | 0,15 |
| Seřizovací podložka pastorku | | 7 |
| Seřizovací podložka talířového kola | | 0,7 |
| Měření obvodového házení nápravy (výrobní číslo: 1397) | 0,12 | Vyhovuje |
| Měření obvodového házení kuželového pastorku | | Vyhovuje |

6.2. Motorová lokomotiva řady 743

Pojezd lokomotivy je dvoupodvozkový, na každém podvozku má samostatně hnané dvojkolí. Systém uspořádání podvozku se značí Bo'- Bo'. Celkem tedy má 4 dvojkolí hnací, počet obručí 8. Při opravě dvojkolí došlo k výměně obručí a ozubených kol. Obruče před opravou byly nevyhovující svými rozměry, konkrétně tloušťkou. Jelikož jsou dvojkolí stejného typu, proto bude popsáno pouze jedno. Číselné označení všech dvojkolí na vozidle: 8, 126, 26, 30; z nich vybráno dvojkolí č. 30 (příloha 11).

Tab. 9 Tloušťky obruče [35].

| Typ vozidla | V (kmh^{-1}) | Tloušťka Sc a) |
|-------------------|----------------------------------|----------------|
| Osobní | > 160 | Není dovoleno |
| | ≤ 160 | 35 |
| Nákladní | > 120 | Není dovoleno |
| | ≤ 120 | 35 |
| | ≤ 100 | 30 b) |
| Lokomotivy a jiné | Podle specifikace v plánu údržby | |
| a) | Pro definici viz obr. 20 | |
| b) | 120 kmh^{-1} nelozžený | |



Obr. 20 Definice tloušťky obruče (Sc) [35].

Tloušťka obruče je znázorněna na obr. 20 pomocí kóty Sc. V (tab. 5) lokomotivy nejsou vypsané, ale u konkrétního vozu je rozměr tloušťky 35 mm dle ČD V 25, přílohy 9. Není dovolené tento rozměr překračovat, protože se jím zmenšuje průměr kol, takže by se mohlo kolo dostat do nepřístupné rozměrové kategorie.

Tab. 10 Technologický postup opravy dvojkolí motorové lokomotivy řady 743, číslo nápravy 30.

| Technologický postup opravy dvojkolí řady 743, číslo nápravy 30 | | | | |
|---|-------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|
| Číslo operace | Činnost | Stroj/zařízení | Popis práce v operaci | |
| 1 | Čištění | | Převzetí dvojkolí do dílny | |
| 2 | | | Kontrola označení na identifikačním štítku | |
| 3 | | | Hrubé předčištění | |
| 4 | | | WAP/tryska | Čištění (mechanické, chemické) |
| 5 | | | | Krátkodobá konzervace čepů |
| 6 | Kontrola | | Vizuální kontrola - posouzení stavu náprav a kol, zjištěna minimální tloušťka obručí | |
| 7 | Demontáž dvojkolí | Rafamet UCB 125 | Odsoustružení vzpěrného kroužku | |
| 8 | | Plynový hořák | Ohřátí obruče teplota (200 – 220 °C), sražení obruče (2 ks) | |
| 9 | | | Vyjmutí vzpěrného kroužku, vyjmutí obručí z kotoučů (2 ks) | |
| 10 | | Lis RAD 315 MAE | Slisování levého kotouče | |
| 11 | | | Odeslání převodovky na nápravě do externí specializované dílny, demontáž převodovky | |
| 12 | Kontrola | | Rozměrová kontrola čepů nápravy | |
| 13 | | USM 35 XS, Ferrotest 1000/1400 | NDT - ultrazvuková zkouška nápravy, magnetická polévací prášková zkouška kotouče, kapilární zkouška ozubeného věnce, zjištěn vypadaný materiál v ozubení | |
| 14 | | Lis RAD 315 MAE | Rozlisování ozubeného věnce a pravého kotouče | |
| 15 | | Elmag. jho Tiede | NDT - magnetická polévací prášková zkouška nápravy, kapilární zkouška ozubeného věnce | |
| 16 | Montáž dvojkolí | | Manipulace 2 ks naskladněných obručí, 1 ks ozubené kolo | |
| 17 | | Karusel 1516 | Obrábění obručí načisto, obrobení vnitřního průměru, rybinového ozubu, drážky pro vzpěrný kroužek | |

| | | | |
|----|----------------------|-----------------------|---|
| 18 | | Lis RAD 315 MAE | Nalisování ozubeného kola |
| 19 | | | Nalisování levého kola na nápravu |
| 20 | | | Nalisování pravého kola na nápravu |
| 21 | | Hořák kruhový | Nahřátí obruče na teplotu 200-220 °C (2 ks) |
| 22 | | | Nasazení na levý kotouč s nápravou, zajistit vzpěrným kroužkem, svaření konců (2 ks) |
| 23 | | | Zajistit kolo na nápravě opěrným kroužkem |
| 24 | Renovace | Rafamet UCB 125 | Soustružení vnitřního i vnějšího čela obručí na šířku obruče 140 mm (2 ks) |
| 25 | | | Soustružení jízdního obrysu UIC ORE (2 ks) |
| 26 | Výstupní kontrola | | Kontrolovat důležité rozměry dvojkolí, rozkolí, el. odpor |
| 27 | | Vyvažovačka HM 5 U | Dynamické vyvažování |
| 28 | | | Odmaštění, lakování, konzervace dvojkolí |
| 29 | Výstupní kontrola | | Doplnit označení na identifikační štítky, vyplnit evidenční listy, výstupní dokumentace dvojkolí |

6.3. Elektrická lokomotiva řady 363

Skříň lokomotivy je propojena se dvěma podvozky. Každý z nich je postaven na dvou nápravách. Ty jsou unifikované, sestrojené pro rychlosti do 200 km/h. Svislé vodící čepy jsou použity k propojení rámu vozidla s podvozkovým rámem. Na dvojkolí je aplikována dutá náprava (obr. 12). Jak je patrné na (obr. 21), náprava obsahuje hvězdice s nalisovanými obručemi, převodovou skříní. Pod ní je usazen pastorek neboli ozubené kolo. Vypružení lokomotivy je provedeno dvojestupňově. Lokomotivy po rekonstrukci mají na boční straně podvozku podélný tlumič, který je důležitý pro tlumení kmitů v rychlostech nad 120 km/hod. Kola jsou ošetřována pomocí zařízení pro mazání okolků [37].

Opravovány byly všechny čtyři dvojkolí, z důvodu rozsahu je zdokumentováno pouze jedno. Při opravě byla nutná výměna všech obručí. Celkem na třech nápravách bylo nalezeno poškození pomocí defektoskopických nedestruktivních metod a ty byly následně vyřazeny. U jednoho dvojkolí byla měněna hvězdice, na dvou nesplňovaly defektoskopické zkoušení a též měněné ozubené věnce. Na třech nápravách byla měněna nápravová ložiska. Označení dvojkolí na lokomotivě: číslo nápravy 1658; číslo nápravy 361/17; číslo nápravy 362/17; číslo nápravy 360/17 (původní č. n. 2318). Poslední z nich je popsána v technologickém postupu (tab. 10). Protokol o defektoskopické zkoušce nápravy je přiložen v (příloze 9), vyvažování dvojkolí v (příloze 10).



Obr. 21 Pohled na hvězdicové dvojkolí lokomotivy 363, na pravé straně nápravy je patrný kryt nápravové převodovky [37].

Tab. 11 Technologický postup opravy dvojkolí elektrické lokomotivy řady 363, číslo nápravy: 360/17 (původní č. n. 2318).

| Technologický postup opravy dvojkolí č. n. 360/17 elektrické lokomotivy řady 363 | | | |
|--|----------|----------------|--|
| Číslo operace | Činnost | Stroj/zařízení | Popis práce v operaci |
| 1 | | | Vyvázání dvojkolí č.n. 2318 z lokomotivy |
| 2 | Čištění | WAP/tryska | Převzetí dvojkolí do závodní kolové haly, příprava dokumentace |
| 3 | | | Kontrola označení na identifikačním štítku a na odlitcích |
| 4 | | | Hrubé předčištění |
| 5 | | | Čištění (mechanické, chemické) |
| 6 | | | Vizuální kontrola - posouzení stavu, zjištění nevyhovující obruče, nápravová ložiska NH, NU 1060 |
| 7 | Kontrola | | Indukční ohřev, stažení ložiska, stažení ložiskových domků, kroužků |

| | | | |
|----|--------------------------------|-----------------|---|
| 8 | Demontáž ložisek | | Krátkodobá konzervace čepů |
| 9 | Demontáž dvojkolí | Škoda | Odsoustružení vzpěrného kroužku |
| 10 | | Plynový hořák | Ohřátí obruče teplota (200 – 220 °C), sražení obruče (2 ks) |
| 11 | | | Demontáž převodovky |
| 12 | | Lis RAD 315 MAE | Slisování levé hvězdice |
| 13 | | | Slisování ozubeného kola |
| 14 | | | Otočení dvojkolí, slisování pravé hvězdice |
| 15 | | | Demontáž šroubů ozubeného kola |
| 16 | | Kontrola | |
| 17 | USM 35 XS, Ferrotest 1000/1400 | | NDT - ultrazvuková zkouška nápravy, magnetická polévací prášková zkouška hvězdice, kapilární zkouška ozubeného věnce, zjištěn vyložený zub |
| 18 | Elmag, jho Tiede | | NDT - magnetická polévací prášková zkouška sedla nápravy po slisování hvězdice a ozubeného kola, zjištěna příčná trhlinka, náprava vyřazena |
| 19 | | | Manipulace ze skladu: 2 ks obručí, 1 ks ozubené kolo, 1 ks dutá náprava, ložiska |
| 20 | Rafamet UCB 125 | | Obrábění sedel nápravy načisto, přesah dle předpisu ČD |
| 21 | Karusel 1516 | | Obrábění obručí načisto, obrobení vnitřního průměru, rybinového ozubu, drážky pro vzpěrný kroužek |
| 22 | Montáž dvojkolí | | Nalisování ozubeného kola |
| 23 | | Lis RAD 315 MAE | Nalisování levé hvězdice na nápravu |
| 24 | | | Nalisování pravé hvězdice na nápravu |
| 25 | | Hořák kruhový | Nahřátí obruče na teplotu 200-220 °C (2 ks) |

| | | | |
|----|-------------------|--------------------|--|
| 26 | | | Nasazení na hvězdici s nápravou, zajistit vzpěrným kroužkem, svaření konců (2 ks) |
| 27 | | | Zajistit kolo na nápravě opěrným kroužkem, provést zkoušku poklepem |
| 28 | Renovace | Rafamet UCB 125 | Soustružení vnitřního i vnějšího čela obručí na šířku obruče 140 mm (2 ks) |
| 29 | | | Soustružení jízdního obrysu UIC ORE (2 ks) |
| 30 | Výstupní kontrola | | Kontrolovat důležité rozměry dvojkolí, průměr kol, rozkolí, el. odpor |
| 31 | Vyvažování | Vyvažovačka HM 5 U | Dynamické vyvažování - nevyvažek |
| 32 | | | Lepení závaží na vnitřní stranu věnců hvězdice - technologický postup lepení |
| 33 | | | Montáž prašníků, indukční ohřev, montáž ložiskových kroužků na čepy |
| 34 | | | Odmaštění, lakování, konzervace dvojkolí |
| 35 | Výstupní kontrola | | Doplnit označení na identifikační štítky, vyplnit evidenční listy, vystavení výstupní dokumentace dvojkolí |

7 VÝROBA A MONTÁŽ

7.1. Výroba dvojkolí

V následujícím přehledu je v odrážkách naznačen proces výroby [38]. Při výrobě dvojkolí je nutné rozdělit na samostatnou linku náprav a linku kol; dále se kola ještě rozdělují na obruče a kotouče (pokud se jedná výrobu skládaných kol). Tato kapitola je uváděna pouze pro úplnost tématu, není předmětem závěrečné práce, a proto není popsána s dostatečnou podrobností. Přehled technologických operací výroby je převzat z firmy Bonatrans Group, a. s. se sídlem v Bohumíně.

Výroba náprav:

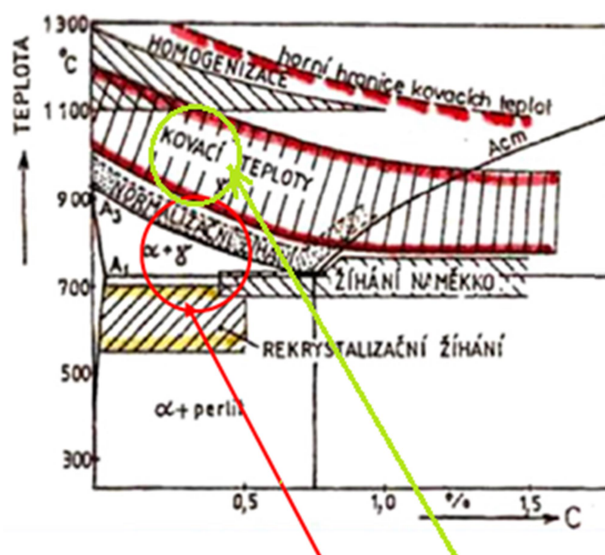
- dělení materiálu,
- ohřev,
- odkujnění,
- kování,
- tepelné zpracování,
- materiálová zkouška,
- obrábění,
- broušení,
- válečkování,
- montáž.

Výroba kol:

- dělení materiálu,
- ohřev v karuselové peci,
- odstranění okují,
- kování,
- děrování kola,
- válcování,
- prohýbání desky kola,
- tepelné zpracování,
- odstranění okují,
- materiálová zkouška,
- obrábění,
- ultrazvuková zkouška,
- vyvažování,
- montáž.

7.1.1. Výroba náprav

Vstupním polotovarem do výroby náprav bývá předvalek z vakuované oceli čtvercového nebo kruhového průřezu. Jejich rozměry se pohybují od (150 x 150) mm po (300 x 300) mm, v závislosti na průměru vyráběné nápravy. Po dělení materiálu se provede ohřátí v krokových pecích na teplotu nižší než 1300 °C. V odkujňovačích se pomocí řetězů odstraní okuje. Ohřátý špalek je dále kován na kovacím lise. Při kování se odstraní případné bubliny, nebo trhliny uvnitř materiálu. Kování je prováděno ve třech odlišných zápustkách, které jsou rozděleny podle kované části na nápravě. Například zápustky pro sedla nebo pro dřík a čepy nápravy. Kovací zápustky mají kruhový tvar, takže pomocí otáčení výkovku se vytvoří budoucí tvar nápravy s přídatky na obrábění. Stupeň prokování se pohybuje od 3 do 4. Přebytečné konce náprav jsou odděleny plamenem, kvůli nahromadění vměstků a nehomogenity [39], [40], [41].



Obr. 22 Žíhací teploty náprav v diagramu Fe-Fe₃C (červeně), kovací teploty (zeleně) [40].

Vstupním polotovarem do výroby náprav bývá předvalek z vakuované oceli čtvercového nebo kruhového průřezu. Následuje normalizační žíhání nebo jsou nápravy kaleny a popouštěny (obr. 22). Tepelné zpracování se používá z důvodu zrovnomnění mikrostruktury, zjemnění zrna a odstranění zbytkových pnutí. Po ukončení operace kování je nutné do začátku ohřevu pro tepelné zpracování zachovat technologickou prodlevu.

Pro normalizační žíhání se doba náhřevu v krokové žíhací peci stanovuje od 5 do 12 hodin. Pomalým ohřevem se dostane teplota na teplotu $AC3 + 50^{\circ}C$ a po uplynutí doby se opět pomalu ochlazuje na teplotu okolí.

Proces kalení se začíná s pomalým ohřevem na teplotu $AC3 + 30^{\circ}C$. Po nahřátí na teplotu se dodrží limit stanovený pro kalení náprav, který záleží na průměru nápravy a použitém materiálu. Ochlazování probíhá v kalici kapalně, v tomto případě se používá voda. Rozmezí teplot pro popouštění je od (450 do 680) °C. Dochází ke snížení vnitřního pnutí a dosahuje se zlepšených mechanických vlastností [40], [41].

Následuje kontrola rozměrů a materiálových vlastností. V obráběcích CNC centrech se provede opracování třískovým obráběním – hrubováním, při kterém se dodržuje přesný přírůstek pro obrábění načisto [40], [41]. Šířka záběru ostří může dosáhnout až 18 mm, tudíž je důležitá tuhost a výkon stroje, ten se pohybuje kolem 100 kW. Po hrubování se technologií frézováním obrobí čela náprav se zkrácením na konkrétní rozměr délky. Na čelech se zhotoví díry pro uchycení ložiska, případně vrtání nápravy. Před montáží se provede obrábění načisto [40]. K tomu je používán stroj o výkonu asi 60 kW, ponechává se přírůstek na broušení o velikosti 0,5 mm. Šířka záběru ostří je asi 2 mm. Každá náprava obrobena na hotovo se zkouší ultrazvukovou a magnetickou metodou.

Obrobené nápravy se dopraví na brusírnou. Je třeba dosáhnout předepsané drsnosti povrchu na čepích a sedlech náprav. Ta je stanovena v předpisu ČD V 99/1. Konečná drsnost bude dosahovat hodnot od $Ra = (0,4 - 1,6) \mu\text{m}$. Dále se na některých nápravách aplikuje operace válečkování. To je výhodné zejména zvýšením únavové životnosti. Rotující kotouč, který silově působí do středu nápravy, vnáší do nápravy tlakové napětí a vytváří tím odolnější povrchovou vrstvu. Zvláště užitečné v místech přechodů mezi sedly, kdy se mění hodnota průměrů a tudíž jsou zde potenciální nebezpečná místa pro lom [42], [43].

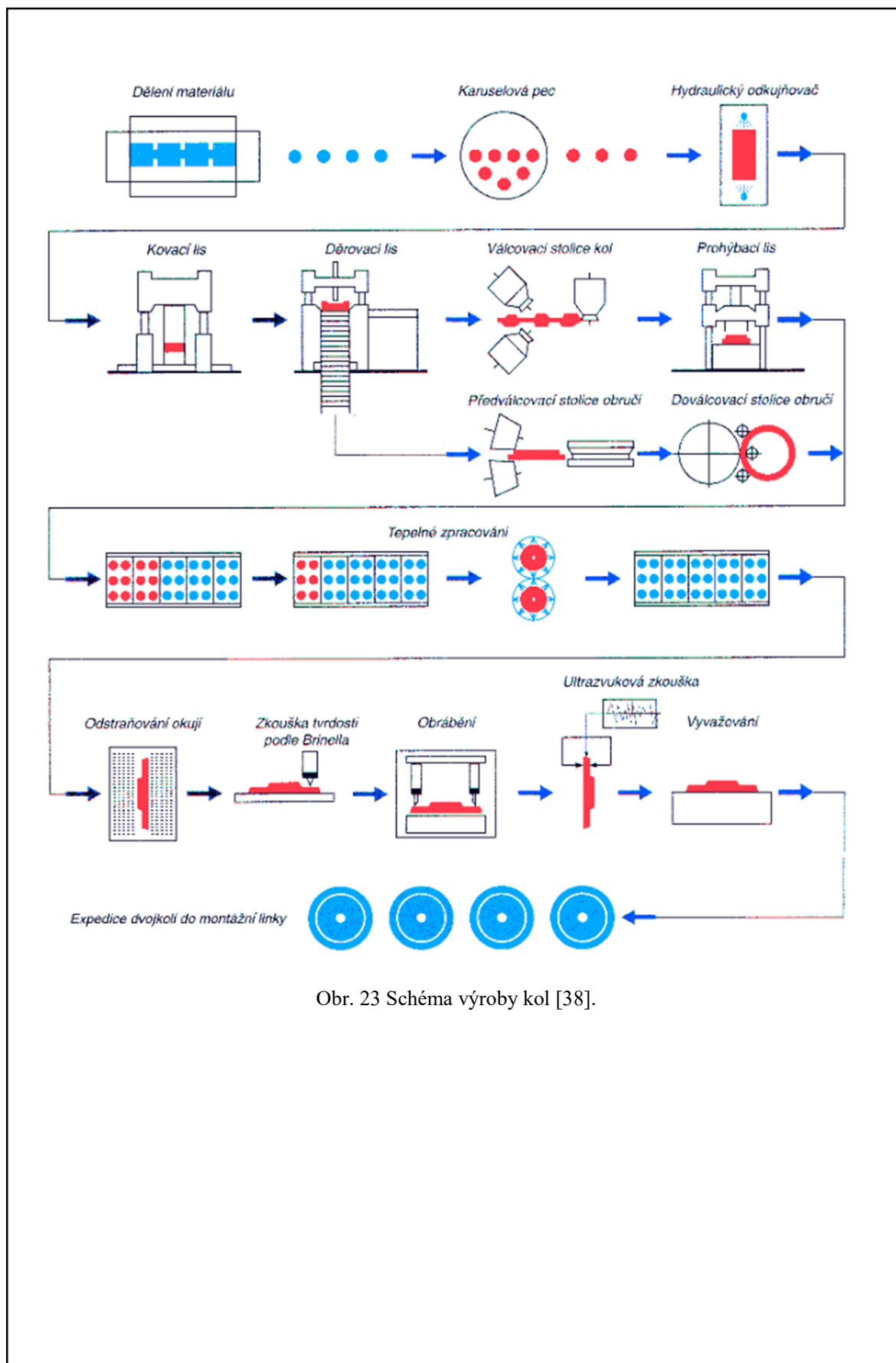
7.1.2. Výroba kol

Kontisky jsou v první fázi děleny na kotoučových pilách, špalky jsou následně ohřívány v karuselové peci na tvářecí teplotu 1300 °C (obr. 23). Po ohřátí se provede odkujňování na mechanickém odkujňovači pomocí řetězů a následně postříkáním uvolněných zbylých okujů tlakovou vodou.

Pokračuje na kovací lis, kde probíhají dvě kovací operace. První z nich je pýchovací a druhá tvarovací. Pýchování původního špalíku se provádí kvůli splnění tvářecího poměru. Vycentrováný předpýchovaný špalík je následně tvářen tvarovací záputkou. Tvarovací lis může dosahovat jmenovité tvářecí síly 56 000 KN. Na děrovacím lise je zhotoven otvor pro náboj. Dále je kolo přeneseno na válcovací stolice, kde získá deska svoje budoucí tvarové rysy a věnec přibližné rozměry.

Obruče se válcují na samostatné válcovací lince. Tato sestává z předválcovací a doválcovací linky – obručí a doválcování čel. Probíhají tvářecí operace, kdy se vlákna deformují, a materiál nabývá na houževnatosti. Prohýbacím lisem se vytvoří přesný tvar desky. Další operací je opět tepelné zpracování, které probíhá z důvodu zrovnomnění mikrostruktury, snížení zbytkového napětí a zmenšení velikosti zrna. Tepelné zpracování se provádí v tunelových pecích a velkých kaličkách kol. Používá se kalení celého objemu kola nebo kalení věnce pomocí ostřikovacích trysek. Následuje odkujňování, materiálové mechanické zkoušky, zkouška tvrdosti podle Brinella a ultrazvuková zkouška [40], [44].

Následují operace, kdy se opracují důležité rozměry hrubováním. Někdy to bývá celý tvar kola, případně se využívá pouze soustružení náboje a věnce. Používají se CNC stroje, která zaručují přesnost a spolehlivost. Jsou zde kladeny velké nároky na tuhost a na výkon [40].



Obr. 23 Schéma výroby kol [38].

7.2. Montáž dvojkolí

Při opravě dvojkolí se provádí kompletní demontáž a po ukončení pracovních operací zpětná montáž. V tomto případě velká část operací souvisí lisováním. K montáži kol je používán lisovací stroj RAD 315, výrobce MAE. Při demontáži se jednotlivé díly slisují (nebo rozlisují), naopak při montáži se nalisují. Vznikne uložení s přesahem, jehož velikost je zvolena podle rozsahu hodnot z předpisu ČD V 99. Lisování na nápravu se většinou lisuje za studena, při manipulaci s obručí obručových kol se využije plynový ohřev.

Zařízení určené pro lisování musí být vybaveny tlakoměrem a přístrojem pro zaznamenání lisovací síly. Výtisk s průběhem této síly je důležitým dokladem o bezpečnosti dvojkolí. Lisování probíhá za konstantní rychlosti. Velikost dosažené síly musí odpovídat výkresům výrobců dvojkolí a není větší než 0,8 mm/s. V případě, že nevyhovuje průběh lisovací síly, se provádí zkouška protitlakem (příloha 12). Tato zkouška je s velikostí 1,2 minimální lisovací síly. Pokud komponenty opět nevyhovují, postupuje se rozlisováním a opět nalisováním nazpět. Tento úkon, při kterém se nijak neupraví styčné plochy mezi lisováním, je možné provést pouze jednou. Poté je nutná ultrazvuková zkouška, zjišťující případné vady sedel nápravy [28].

Osy lisovaných dílů (náprava, celistvé kolo, kotouč kola, hvězdice kola, brzdový kotouč, obruč, ozubené kolo ad.) musí být sestaveny ve shodném směru s působením lisovací síly. Po nalisování se kontroluje správnost polohy, obvodové a čelní házení, pokud jsou předepsané v předpise ČD V 99, přílohy 2. Při montáži nových nebo opravených kol na nápravu je nutné dbát na správný rozměr rozkolí.

Před samotnou montáží musí být vždy dosedací plochy (tj. sedla náprav a díry náboje kotoučů, hvězdic nebo celistvých kol, popř. věnec kola - obruč) řádně očištěny a následně namazány vhodným mazivem. Pouze tenká vrstva, z důvodu vytečení nebo nahromadění přebytečného. V průběhu lisování je dovoleno přidávat na volná sedla mazivo z důvodu zlepšení lisovacího účinku. Druhy běžně používaných:

- lněný nebo řepkový olej,
- lůj,
- směs oleje a loje,
- sulfid molybdeničitý MoS_2 .

Obrobené vnitřní plochy obruče (obr. 24) jsou před natahováním rovnoměrně ohřáté na $(180 \div 220) \text{ }^\circ\text{C}$. Po jejich natažení se do drážky vloží předem zakroužený vzpěrný kroužek. Ten se do drážky zalisuje s pomocí lisu nebo strojního zaválcování. Přechínající konce je nutno zkrátit například odseknutím a následně se konce kroužku upevní svařením. Svařování se řídí předpisem V 95/5, nesmí při něm dojít k tepelnému ovlivnění věnců ani obruče. Dvojkolí s obručí se nesmí vystavit náhlému místnímu ochlazení. Po ochlazení se provede kontrola poklepem na jízdní plochu a na vnitřní čela obručí. Dále se dvojkolí označí na samostatné identifikační pásky upevněných na dřících náprav nebo na kovové štítky našroubované pod hlavy šroubů pro přívod tlakového oleje na náboji kola [28]. Obruče se označí barevným označením.

7.2.1. Přesah mezi sedlem kola na nápravě a otvorem kola v náboji

Podmínky pro určení přesahu j:

- lisování kol za studena: $0,0010 e \leq j \leq 0,0015 e + 0,06$,
- lisování kol za tepla: $0,0009 e \leq j \leq 0,0015 e$,

kde: e [mm] - střední průměr sedla,

j [mm] - přesah mezi sedlem kola a otvorem v náboji.

7.2.2. Lisování za tepla

Při lisování za tepla se využívá tepelného smrštění. Metoda je používána na požadavek objednavatele. Nedá se však aplikovat na sestavu kola s obručemi. Ohřev se provádí na maximální teplotu 250 °C podle schváleného postupu. Je potřebné ohřát kolo v celém objemu i se všemi součástmi. Při ohřevu v peci je důležité dbát na to, aby nedošlo k oxidaci povrchů otvorů kol. Po vyjmutí z pece se musí kolo očistit od mastnoty a nečistot, stejně jako sedla na nápravě. Kolo se nasadí na nápravu do konečné polohy a nechá se ochladit na vzduchu, dokud nesedí pevně. Poté je možno nasazovat druhé kolo [45].

7.2.3. Lisovací síla

Velmi důležitá proměnná veličina při lisování je lisovací síla. Na té závisí správnost a bezpečnost lisovaného spoje na dvojkolí. Síla je vyvíjena hydraulickým systémem. Je možné nastavit rychlost posuvu při lisování. Lis je vybaven možností dávkování tlakového oleje, který se používá při rozlisování pomocí drážky v nábojích kol. Stanovení velikosti síly v závislosti na průměru sedla a povolených průbězích lisovacích tlaků je v kodexu UIC 813.1 [16].

Lisovací síla se počítá podle vztahu:

$$F = D \cdot K \text{ [kN]} \quad (1.1)$$

kde: F [kN] - lisovací síla,

D [mm] - průměr sedla,

K [-] - konstanta.

Například stanovené lisovací síly pro sedlo o průměru 200 mm jsou v intervalu od (700 – 1100) kN. V následujícím výpočtu je uvedena dolní lisovací síla. Uvedená lisovaná náprava se řadí do prostředního řádku tabulky (tab. 11), jedná se o kolo s obručí na běžném dvojkolí. Pro mazání sedla sulfidem molybdeničitým neboli molykou (MoS_2) konstanta nabývá od (3,50 – 5,50) (tab. 12). Pro každé mazivo jsou dány určité hodnoty konstant [16]. Konstantu předepisuje konstruktér na výkres dvojkolí.

$$F = 200 \cdot 3,50 \text{ [kN]} = 700 \text{ kN} \quad (1.2)$$

Tab. 12 Uvedené hodnoty koeficientu „K“ [45].

| Druh kola | 1 | 2 | 3 |
|---|-------------------|-----------|-----------|
| | Mazací prostředek | | |
| | olej | lůj | MoS2 |
| Těleso kola bez obruče, vozy | 3,5 ÷ 5,0 | 3,0 ÷ 4,5 | 3,0 ÷ 4,5 |
| Plná kola Kola s obručemi Vozy | 4,0 ÷ 6,0 | 3,0 ÷ 5,5 | 3,5 ÷ 5,5 |
| Plná kola Kola s obručemi Hnací vozidla | 4,5 ÷ 6,5 | 3,0 ÷ 6,0 | 3,5 ÷ 6,0 |

Pozn.: platí pro sedla náprav $L/D = 0,8$ až $1,1$. (L – délka sedla a D – průměr sedla)



Obr. 24 Obruč upnutá na Karuselu 1516 před montáží na dvojkolí. Obroběny dosedací plochy.

Na obr. 25 je detail složeného kola tramvaje linky 4 městské dopravy v Brně. Je zde viditelné bílé značení, které se značí na vnější stranu. Kontroluje se vzájemná poloha lisovaného spoje obruče kola s věncovou částí kotouče.

U hnacích vozidel s hvězdicemi se barevné značení aplikuje na obruč kola a na vnější stranu hvězdice. Toto značení se udává po 90°. Šířka pruhu je 20 mm a délka 150 mm. Kombinuje se s důlkovým značením. Dva důlky jsou umístěny na obruč a dva na kotouč nebo hvězdici, přičemž všechny leží na přímce procházející středem dvojkolí.



Obr. 25 Barevné značení vzájemné polohy kotouče a obruče.

8 DISKUZE

8.1 Dynamické vyvažování odlitků

Podle železničních předpisů ČD V 95/5 a ČD V 99/1 je známo, že nápravy není možné opravovat navařováním. V prvním zmíněném dokumentu o svařování železničních kolejových vozidel jsou vypracovány a schváleny pracovní postupy. Při opravě touto technologií vzniká tepelně ovlivněná vrstva, která není žádoucí. Na dynamické vyvažovačce mohou nastat dva výsledky. Dvojkolí může být vyváženo a v pořádku nebo vykazuje známky nevyváž. V takových případech se řeší situace většinou úběrem materiálu na vnitřní straně věnce, pokud je nevyváža na brzdovém kotouči, odebrává se část vnitřního chladicího žebra. V případě odlitých hvězdic odebrání ale není možné. V úvahu řešení připadá přidání materiálu na protější stranu nevyváženého místa. Další otázkou je jakým způsobem materiál lze přidat, upevnit. Při vyvažování již nalisovaného celku s obručovými koly a hvězdicemi se nemůže použít technologie navařování, protože by nutně došlo k tepelnému ovlivnění hvězdice. Další funkční možností je přilepení závaží požadované hmotnosti. Používá se dvousložkové lepidlo. Závaží se lepí na vnitřní stranu věnce. V kapitole 6 při procesu opravy hnacího dvojkolí elektrické lokomotivy řady 363 (číslo nápravy 360/17) je řešen nevyvážek přilepováním závaží. Na levém kole byl nevyvážek o velikosti 1,14 kg, na pravém se musí přidat 0,406 kg. Dokumentace o vyvážení tohoto dvojkolí je přiložena v příloze 10).

8.2 Žárový nástřik

Žárový nástřik, neboli povlakování funkčních ploch náprav, je technologie, která se zaměřuje na opravy při podkročení minimálních rozměrů. Aplikace je používána k renovaci ložiskových čepů a sedel náprav nebo i ostatních dílů a komponentů. Před samotným průběhem operace povlakování se provede vstupní kontrola, ověří se absence vnitřních i povrchových vad metodou ultrazvukovou a magnetickou práškovou polévací. Je nutná hlavně i rozměrová kontrola. Před opravou se provede opracování, které nesmí překročit toleranci o více než 1 milimetr na průměr. Neopravitelné poškození náprav je takové, které zasahuje do hloubky větší, než 1 milimetr pod povrch. Funkční plochy jsou opracovány před opravou na kvalitu povrchu $Ra = 1,6$ až $3,2$ mikrometrů broušením. Po opravě je používáno také opracování broušením, kdy vzniká drsnost $Ra = 0,4$ až $0,2$ mikrometrů. Žárový nástřik metodou vysokorychlostního stříkání není dovoleno aplikovat na nápravy, které nesplňují NDT, obsahují trhliny a mechanická hloubková poškození, a při rozměrové kontrole nesplňují minimální opravárenské rozměry [46].

Základní vlastnosti povlaku:

- přilnavost 60 MPa,
- pórovitost max. 1,5 %,
- tvrdost min. 55 HRC,
- množství oxidů max. 1 %.

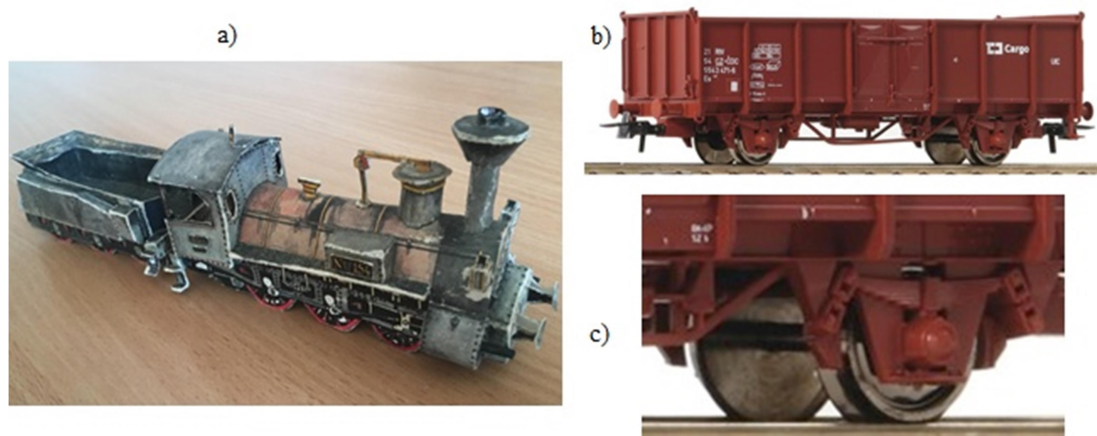
Tyto vlastnosti jsou ověřovány u každé tavby [46].

8.3 Modernizace dílny

Montážní a opravárenská dílna kol v aktuální době prochází rekonstrukcí. Důvodem je zvyšování kapacity opravovaných dvojkolí, snaha o zkrácení času opravy při zachování špičkové kvality služeb. Rozmístění strojů musí být optimální z hlediska materiálového toku. Některé ze starých strojů prošly modernizací (např. Karusel SKI) a jsou instalovány i nové stroje, například kolový montážní lis. Znatelný přínos by byl dosažen výměnou stávajících jeřábových drah nebo doplněním nového mostového jeřábu s dosahem přes celou halu. Současná výroba postrádá dostatek odkládacího prostoru. S plánovaným navýšením celkového objemu opravovaných dvojkolí tento problém bude narůstat. Možným řešením je navýšení kapacity meziskladů, odkladových prostor a pro úsporu místa zvolit stohovací regály.

8.4 Železniční modelářství

Železniční problematika je velice obsáhlá a vyvolává zájem širokého spektra oborů nejen v dopravě. Příbuzné odvětví jsou například: gastronomie, design, rekreace, dříve pošta ale hlavně modelářství. Již v mladém věku si hrají děti s modely vlaků a získávají tak technické zaměření a zálibu ve strojích. V dospělosti se jejich zájem může promítnout například do zaměstnání nebo vzdělávání. Tímto je podle autora výhodné modelářství a hračkářství, protože i v jeho dětství to bylo podobně. Papírový model historické parní lokomotivy řady 233.0 ČSD s tendrem byl sestaven autorem v roce 2009 (obr. 26 a). Trh nabízí množství plastových nebo kovových modelů, které často bývají replikou skutečných vozidel. Pod rukama „nadšenců“ vznikají celá nádraží a pohyblivá modelová kolejiště.



Obr. 26 a) papírová parní lokomotiva řady 233.0 ČSD, vyráběná od roku 1868; b) model nákladního vagonu ČD Cargo; c) detail dvojkolí, kola s okolkem a odpružené uložení [47].

ZÁVĚR

Renovace dvojkolí kolejových vozidel je velice komplexní a rozsáhlá problematika. Z důvodu omezeného rozsahu bakalářské práce se není možné detailně zabývat všemi tématy. Na české železnici jezdí mnoho vozidel různých výrobců, různého stáří a různých technických provedení a i dvojkolí mají více konstrukčních variant. Ve společnosti DPOV, a. s. je opravováno kolem 50 různých typů dvojkolí. Na jednotlivých opravovaných dvojkolích se vyskytují různé typy poškození a defektů, tyto se v plném rozsahu projeví až v různém stavu rozpracovanosti opravy dvojkolí. Z tohoto důvodu není doba trvání opravy jednotlivých konkrétních typů dvojkolí stejná.

Cílem práce bylo vypracovat přehled o používaných typech dvojkolí, jejich opotřebením a princip oprav. Je zde popsáno základní názvosloví součástí dvojkolí. Jsou uvedeny používané materiály a jejich vlastnosti. Dále jsou rozebírána jednotlivá opotřebením kol, náprav, kotoučů brzd a součástí pohonu. Jsou přiloženy fotografie poškozených a opotřebovaných částí. Podle firemních opravárenských postupů jsou zpracovány druhy renovací. Praktická část je podložena vypracovaným technologickým postupem opravy tří železničních dvojkolí. První z nich je motorový vůz řady 854, kde je popisována část periodické vyvažovací opravy, která se zaměřuje na dvojkolí. Na motorové lokomotivě řady 743 technologický postup dokládá opravu dvojkolí číslo 30. Poslední technologický postup jedná o elektrické lokomotivě řady 363, číslo opravovaného dvojkolí je 360/17.

V kapitole s názvem „Diskuze“ byly shrnuty možnosti směřující k eliminaci vyřazování poškozených dílů, které se dají opravit popsanou speciální technologií. Je možné dosáhnout finančních úspor a zjednodušení pracnosti opravy:

- nalepování vyvažovacích závaží na hvězdice,
- žárový nástřik sedel a čepů náprav, gradace/navyšování průměrů nesplňujících požadované rozměry,
- optimalizace rozmístění strojů modernizované dílny, navýšení skladovacích prostor, volba jeřábu/manipulace.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Gruber Josef. *Střední průmyslová škola strojnická Plzeň* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/vyn_kola.pdf
2. DOSTÁL, Josef a Petr HELLER. *Kolejová vozidla I. 2.*, přeprac. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-960-9.
3. Forging and Grinding Helical Gears. *Cnc Machinery* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <http://m.se.cnxlmachinery.com/gear/helical-gear/forging-and-grinding-helical-gears-with.html>
4. Spoked Wheel. In: *Aukro* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://aukro.cz/loukotove-kolo-45-5cm-6941366961>
5. UIC 60. *Alibaba.com* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-Selling-Uic60-60E2-Rail-En13674_60684097718.html
6. Kolejový svršek tvořený kolejnicí S49. *Pražské tramvaje* [online]. 2010 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2010031701>
7. HERCÍK, Jan. Vývoj Dopravy. In: *Geography* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/historicky_vyvoj_dopravy_2.pdf
8. Historie Lokomotiv. *Trains Web* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <http://trainsweb.wz.cz/historie.html>
9. Kolejová Doprava. *Správa Železniční Dopravní Cesty* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/documents/50004227/50156852/historie-zeleznice-v-cr.pdf>
10. Křížík. In: *Šechtl & Voseček* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Franti%C5%A1ek_K%C5%99i%C5%BE%C3%ADk
11. Stephenson. *George* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.findagrave.com/memorial/13737711/george-stephenson>
12. HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla II.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.
13. Dvojkolí-pojezd. *Vagony.cz* [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/dvojkoli.html>
14. POHL, Rudolf. *Dopravní prostředky v plánech a obrazech I: železniční vozidla.* V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04165-9.
15. Jízdní obrysy obruží a věnců celistvých kol. *Parostroj* [online]. 1999 [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/profil/profil.htm>
16. Dvojkolí. *Parostroj* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <http://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/dvojkoli.htm#Dvojkol%C3%AD>

17. Výroba kol. *Vagony.cz* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/kola.html>
18. Vollrad. In: *Bochumer-verein* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.bochumer-verein.de/das-spannungshomogenisierte-bvv-vollrad-fuer-triebzuege-lokomotiven-und-personenwagen/>
19. Schienenfahrzeugtechnik. *Bahn-fachverlag* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: https://www.bahn-fachverlag.de/wp-content/uploads/2016/09/FB_SFT2_Leseprobe_LP3_s.pdf
20. LEHMANN, Thomas. *Technische Universität Chemnitz* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: https://www.tuchemnitz.de/mb/FKM_Daten/FKM_Lehrveranstaltungen/FKM_Betriebsfestigkeit_Bruchmechanik/Downloads/Vorlesung_1.pdf
21. VACULÍK, F. *Proces opravy dvojkolí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 61 s. 13 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Osička Karel, Ph.D.
22. Railway-Research. *Materials used for Wheels on Rolling Stock* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <http://railway-research.org/IMG/pdf/760.pdf>
23. Nápravy. *Vagony.cz* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/naprava.html>
24. Axle. *Ars.els-cdn.com* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S135063071530073X-gr2.jpg>
25. Nápravnice pro samostatná kola. *Bonatrans.com* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyzkum-a-vyvoj/inovativni-vyroby/>
26. Dmg-berlin. *Moderne innengelagerte Drehgestelle für den Vollbahnbereich* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: http://www.dmg-berlin.info/page/downloads/vortrag_mannsbarth.pdf
27. Konsys-t.tanger. *FRETTING FATIGUE OF STEELS WITH DIFFERENT STRENGTH* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/metal_11/lists/papers/1045.pdf
28. České dráhy, a.s., *Oprava dvojkolí železničních kolejových vozidel*, 116 s., Česká republika, ČD V 99/1, 2010-12-01
29. ScienceDirect. *Modeling the impact of wheelsets with flat spots on a railway track* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: [Modeling_the_impact_of_wheelsets_with_flat_spots_o.pdf](#)
30. *Wheel-rail interface handbook*. Editor R. LEWIS, editor Ulf OLOFSSON. Cambridge: Woodhead, 2009. Woodhead publishing in mechanical engineering. ISBN 978-1-84569-412-8.
31. NOHEL, R. *Klasifikace a hodnocení opotřebenění kolejnic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radovan Galas.

32. ŽelPage. *Pojednání o styku kola a kolejnice* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/clanky/pojednani-o-styku-kola-a-kolejnice?oddil=5&lang=cs>
33. SŽDC. *Opatření snižující opotřebení kolejnic* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50159407/09pr.pdf>
34. České dráhy, a.s., *Předpis pro organizaci údržby elektrických a motorových hnacích vozidel, osobních, vložených, přípojných a řídicích vozů*, Česká republika ČD V 25, 2000-10-01
35. ČSN EN 15313. – *Železniční aplikace – Požadavky na dvojkolí v provozu – Údržba dvojkolí v provozu na vozidlech a po demontáži*, 2017, třídící znak 280510
36. Technický týdeník. *Princip renovací* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/renovace-zeleznicniho-dvojkoli_31817.html
37. Hvězdice. *Atlas lokomotiv* [online]. [cit. 2020-09-10]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-podvozky.html>
38. Parostroj. *Technika, dvojkolí* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: http://www.parostroj.net/technika/dvojkoli/kola_schema.htm
39. Idnes. *Technet* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/reportaze/jak-vznika-obuti-pro-nejrychlejsi-lokomotivu-sveta-fotoreportaz.A080622_221359_tec_reportaze_rja
40. DOLEŽAL, L. *Problematika tváření a tepelného zpracování při zavádění nového typu nápravy*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. 2016. 42 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Kubina, Ph.D.
41. *Pojezdy. Vagony.cz* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/kola.html>
42. SZCZYGIEL, P. *Zkoušky řezivosti vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kolejových součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, I. 2016. XY s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
43. ČSN EN 13260:2009 *Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Dvojkolí – Požadavky na výrobek*.
44. ČSN EN 13261:2009 *Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Nápravy – Požadavky na výrobek*.
45. UIC 813 (F) 2nd Edition, December 2003 French Language - technical specification for the supply of wheelsets for tractive and trailing stock - tolerances and assembly
46. České dráhy, a.s., *Technické podmínky pro povlakování funkčních ploch náprav železničních vozidel*. Doplnění předpisu, kapitola VI, Česká republika, ČD V 99/1
47. Fleischmann. In: *RK model* [online]. [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://www.rkmodel.cz/G-PIKO-37919-kyselina-DB-d1284.htm> Railian. Počátky

kolejové dopravy u nás. [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z:
<http://www.railian.com/historie/cesko.html>

48. PRAGUE CITY LINE – Poznej Prahu sám. *KŘÍŽÍKOVÁ ELEKTRICKÁ DRÁHA* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z:
<http://www.praguecityline.cz/prazske-pamatky/krizikova-elektricka-draha>
49. 120 let Elektrické dráhy Praha – Libeň – Vysočany. *Dopravní podnik hlavního města Prahy* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z:
<https://m.praha8.cz/file/b9u/120let-TRAM-v-Libni-brozura-16-stran-FINAL.pdf>
50. Citace Pro. *Generátor citací* [online]. [cit. 2020-09-09]. Dostupné z:
<https://citace.lib.vutbr.cz/dokument/kOmrvx9WwF5jqJRD>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Symbol | Jednotka | Název |
|-----------------|----------|--|
| A | [%] | tažnost |
| AC3 | [° C] | teplota horní kovací |
| D | [mm] | průměr (sedla) |
| F | [kN] | síla lisovací |
| HV | [-] | tvrdost |
| K | [-] | konstanta |
| KCU | [J] | vrubová houževnatost U-vrubu |
| KV | [J] | vrubová houževnatost V-vrubu |
| R _a | [μm] | střední aritmetická hodnota drsnosti |
| Re _h | [Mpa] | mez kluzu |
| R _m | [Mpa] | mez pevnosti |
| Z | [%] | kontrakce |
| e | [mm] | střední průměr sedla |
| j | [mm] | přesah mezi sedlem kola a otvorem v náboji |
| v | [km/h] | rychlost |

| Zkratka | Popis |
|-----------------|--|
| CNC | central numeric control – obráběcí stroje |
| ČD | České dráhy |
| ČD Cargo | České dráhy Cargo, akciová společnost |
| ČMD-BMB | Českomoravské dráhy - Böhmisch-Mährische Bahn |
| ČSD | bývalé označení Československých státních drah |
| ČSN | česká norma |
| ČSN EN | česká verze evropské normy |
| ČSR | Československá republika |
| DPOV | dílny pro opravu vozidel, akciová společnost |
| HKV | hnací kolejové vozidlo |
| MT | prášková polévací magnetická metoda |
| MVY | vyvazovací periodická oprava |
| NDT | nedestruktivní zkoušky |
| PSO | provozní středisko oprav |
| SŽ | Slovenské železnice |
| TNŽ | technická norma železnic |
| UIC | mezinárodní železniční unie |
| UIC-ORE | mezinárodní jízdní obrys |
| UT | ultrazvuková nedestruktivní metoda |
| ZI-3, 4 | jízdní obrys podle Zelenky – Izera |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|------------|---|
| Příloha 1 | Koněspřežná dráha Linz – Summerau – Horní Dvořiště – České Budějovice. |
| Příloha 2 | Křížikova dráha v Praze-Letné, první elektrická tramvajová dráha v Čechách. |
| Příloha 3 | Dobový plán tratí Praha – Libeň – Vysočany. |
| Příloha 4 | Měření rozkolí pomocí rozkolky. |
| Příloha 5 | Mezní drážka na vnějších čelech celistvých kol. |
| Příloha 6 | Poškozená náprava zadřením při slisování kola kolovým lisem. |
| Příloha 7 | Kontrolní měrka se stupnicemi pro měření jízdního obrysu. |
| Příloha 8 | Opotřebení jízdní plochy kola. |
| Příloha 9 | Trhlina na nápravě lokomotivy řady 363. |
| Příloha 10 | Vyvažování na hvězdice dvojkolí technologií nalepování závaží. |
| Příloha 11 | Měrový list dvojkolí číslo nápravy 30. Lokomotiva řady 743. |
| Příloha 12 | Porovnání nepřístupného a vyhovujícího lisovacího grafu. |

