



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Opotřebení kol výkonných elektrických
lokomotiv – sběr a vyhodnocení dat

Wear of high-performance electric
locomotive wheels – data acquisition and
evaluation

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2024

Jakub KANIA

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Heptner



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kania** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **509500**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Opotřebenění kol výkonných elektrických lokomotiv - sběr a vyhodnocení dat

Název bakalářské práce anglicky:

Wear of high-performance electric locomotive wheels - data acquisition and evaluation

Pokyny pro vypracování:

1. Vypracujte rešerše literatury k zadanému tématu (konstrukce pojezdů určených typů elektrických lokomotiv, jízdní obrysy kol, mechanismy provozního opotřebenění kol)
2. Navrhněte způsob vyhodnocování dat z měření jízdních obrysů kol v provozu, vytvořte potřebné výpočtové postupy.
3. Vytvořené postupy ověřte na velmi omezeném vzorku dat z provozu. Proveďte vyhodnocení a interpretujte jeho výsledky.
4. Vypracujte technickou zprávu,

Seznam doporučené literatury:

normy ČSN EN
odborná periodika
firemní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Heptner ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.07.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Tomáš Heptner
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Jakub Kania

Název práce: Opotřebení kol výkonných elektrických lokomotiv – sběr a vyhodnocení dat

Anglický název: Wear of high-performance electric locomotive wheels – data acquisition and evaluation

Rozsah práce:

- 57 stran
- 25 obrázků
- 4 tabulek
- 15 grafů

Akademický rok: 2023/2024

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: TZSI

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Heptner

Klíčová slova: jízdní obrys kola, profil, lokomotiva, reprofilace, S1002, opotřebení

Key words: wheel running profile, profile, locomotive, reprofiling, S1002, wear



Abstrakt

Tato práce se zabývá opotřebením kol a analýzou jejich profilů v závislosti na délce provozu lokomotivy. Teoretická část práce se skládá z rešerše pojezdů lokomotiv Traxx F140 MS 2e a Vectron MS, která srovnává jejich konstrukční řešení a specifika s ohledem na možné ovlivnění opotřebením jízdního profilu kola. Dále tato část uvádí rešerši jmenovitých jízdních obrysů, jejich konstrukci, vznik a stručnou historii a rešerši zabývající se reprofilací kol. V praktické části je potom navržena metodika analýzy opotřebením jízdního obrysu kol a uplatněna na omezeném vzorku dat. V poslední kapitole je uveden návrh dalšího postupu analýzy dat.

Abstract

This work deals with the wear of wheels and the analysis of their profiles depending on the length of locomotive operation. The theoretical part of the thesis consists of a research of Traxx F140 MS 2e and Vectron MS locomotives, which compares their design and specifics with regard to the possible influence on the wheel wear. Furthermore, this section presents a research of nominal running profiles, their design, origin and brief history and a research dealing with wheel reprofiling. The practical part then proposes a methodology for analyzing wheel profile wear and applies it to a limited sample of data. In the last section, a proposal for further data analysis is presented.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou na téma: “Opotřebení kol výkonných elektrických lokomotiv – sběr a vyhodnocení dat” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 4.6.2024

.....

(podpis autora)



Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Heptnerovi za jeho vedení a podnětné rady při tvorbě této práce. Velké poděkování také patří firmě METRANS a.s., které mi poskytla data a umožnila mi exkurzi do její opravny. Dále bych rád poděkoval rodině za jejich výraznou podporu a trpělivost při celém studiu a psaní bakalářské práce.



Obsah

1 ÚVOD	9
2 KONSTRUKCE A POROVNÁNÍ LOKOMOTIV	10
3 JÍZDNÍ OBRYSY (PROFILY) KOL.....	12
3.1 POPIS JÍZDNÍHO PROFILU KOLA.....	12
3.1.1 TLOUŠŤKA (ŠÍŘKA) OKOLKU <i>E</i>	12
3.1.2 VÝŠKA OKOLKU <i>H</i>	13
3.1.3 SKLON KUŽELOVÉ ČÁSTI.....	13
3.1.4 ZNAČENÍ JÍZDNÍCH PROFILŮ KOL	13
3.2 OKOLEK	13
3.3 PŘECHODOVÁ OBLAST JÍZDNÍHO PROFILU KOLA.....	14
3.4 JÍZDNÍ PLOCHA JÍZDNÍHO OBRYSU	14
3.5 JÍZDNÍ PROFIL 1/40	14
3.5.1 VZNIK PROFILU 1/40	14
3.5.2 KONSTRUKCE PROFILU KOLA 1/40	15
3.6 PROFIL KOLA S1002.....	16
3.6.1 HISTORIE PROFILU S1002	16
3.6.2 KONSTRUKCE PROFILU S1002.....	17
3.7 JÍZDNÍ PROFIL EPS	17
3.7.1 KONSTRUKCE PROFILU EPS	18
3.8 JÍZDNÍ PROFIL 1/20	19
3.9 JÍZDNÍ OBRYSY ZI-3 A ZI-4	19
3.10 JÍZDNÍ PROFIL KKVMZ	19
3.11 BRITSKÉ JÍZDNÍ PROFILY	20
4 VADY A OPOTŘEBENÍ JÍZDNÍ PLOCHY KOLA.....	20
4.1 OPOTŘEBENÍ JÍZDNÍ PLOCHY KOLA.....	21
4.1.1 DŮSLEDKY OPOTŘEBENÍ.....	21
4.2 TYPY VAD.....	22
4.2.1 VADY POVRCHU KOLA (SURFACE DEFECTS)	22
4.2.1.1 PLOCHÉ MÍSTO (FLAT SPOT)	22
4.2.1.2 VYDROLENINY (SHELLING).....	23
4.2.1.3 ODLUPY (SPALLING)	23
4.2.1.4 LOKÁLNÍ PORUŠENÍ JÍZDNÍ PLOCHY (THREAD ROLL OVER).....	24
4.2.2 NEKRUHOVITOST JÍZDNÍ PLOCHY (OUT-OF-ROUNDNESS DEFECTS – OOR DEFECTS).....	24
4.2.2.1 POLYGONIZACE (POLYGONIZATION)	24
4.2.2.2 ULPÍVÁNÍ MATERIÁLU (SCALED WHEEL)	24
4.2.3 PODPOVRCHOVÉ VADY	24



5 KONTROLOVANÉ GEOMETRICKÉ ROZMĚRY KOL.....	25
5.1 HLOUBKA OPOTŘEBENÍ DO JÍZDNÍ PLOCHY	26
5.1.1 HLOUBKA ŽLÁBKU	26
5.1.2 HLOUBKA ŽLÁBKU MĚŘENÁ PODLE PŘÍSTROJE MINIPROF	26
5.1.3 HLOUBKA ŽLÁBKU PODLE PŘEDPISU ČD	26
6 REPROFILACE KOL	27
6.1 REPROFILACE S DVOJKOLÍM V PODVOZKU VOZIDLA	27
6.1.1 UCHYCENÍ ZA LOŽISKOVÉ SKŘÍŇE	29
6.1.1 UCHYCENÍ ZA STŘEDÍCÍ DŮLKY	30
6.2 REPROFILACE S VOLNÝM DVOJKOLÍM	30
7 OZNAČOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KOL LOKOMOTIV	31
PRAKTICKÁ ČÁST	32
8 KNIHOVNA PROFILŮ	32
9 VYHODNOCOVÁNÍ PROFILŮ	34
9.1 PROGRAM NA SROVNÁNÍ NAMĚŘENÉHO PROFILU (PROGRAM – SROVNANI.M).....	34
9.2 PROGRAM NA URČENÍ ODCHYLKY OD REFERENČNÍHO PROFILU V OSE Z (PROGRAM – PROSTYROZDIL.M).....	35
9.3 PROGRAM NA URČENÍ ODCHYLKY OD REFERENČNÍHO PROFILU PODLE NORMÁL Z REFERENČNÍHO PROFILU (PROGRAM – NORMALY.M)	35
9.4 URČENÍ <i>SD</i> , <i>SH</i> A <i>QR</i> (PROGRAM SDSHQR.M).....	36
9.4.1 KONTROLA PŘESNOSTI STANOVENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ	37
9.5 STANOVENÍ TH A POLOHY ŽLÁBKU.....	37
9.5.1 KONTROLA PŘESNOSTI STANOVENÍ TH	37
9.6 URČENÍ PLOCH ODEBRANÉHO MATERIÁLU (PROGRAM PLOCHY.M)	37
9.6.1 KONTROLA PROGRAMU NA URČENÍ ODEBRANÉHO MATERIÁLU	38
10 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT	39
10.1 REFERENČNÍ JÍZDNÍ OBRYSY	40
10.2 PRVNÍ VYKRESLENÍ DAT	40
10.1 ZÁVISLOSTI PARAMETRŮ	42
10.2 ANALÝZA DAT LOKOMOTIVY 383.402.....	44
10.2.1 ANALÝZA JÍZDNÍHO PROFILU KOLA V INTERVALU OD 298 510 KM DO 651 400 KM	45
10.3 ANALÝZA DAT LOKOMOTIVY 386.028.....	49
10.3.1 ANALÝZA JÍZDNÍHO PROFILU KOLA V INTERVALU OD 664 780 KM DO 864 200 KM	50
11 ZÁVĚR.....	54
12 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK.....	55
13 BIBLIOGRAFIE	56



1 Úvod

Opotřebení jízdní plochy kol je složitý a dlouhodobý proces a patří mezi klíčové prvky, které je potřeba sledovat při provozu kolejových vozidel. Správný tvar a stav jízdního obrysu kola je důležitý k zajištění bezpečnosti, spolehlivosti a nízké hlučnosti železničního provozu. Proto se studiu jízdního obrysu, jeho opotřebení v průběhu nájezdu stroje a vliv na dynamiku vozidla věnuje velké úsilí. Nevhodná volba a údržba tohoto profilu má vliv na opotřebení nejen profilu samotného, ale i na další prvky železniční infrastruktury jako např. kolejnic. Při nesprávném měření a vyhodnocování dat může špatná volba profilu způsobovat nejen technické problémy infrastruktury, ale také velké náklady pro provozovatele vozidla.

V této práci se proto zabývám jízdními obrysy kol a jejich opotřebením na kolech výkonných elektrických lokomotiv. Řeším, jak opotřebení popisovat a vyhodnocovat z naměřených dat, aby bylo možné porozumět faktorům, které ovlivňují opotřebení profilu, a tak přijmout vhodná řešení na eliminaci nežádoucích jevů. Hlavním cílem práce je navržení a vypracování programů, jak měřit a zobrazovat opotřebení jízdních profilů a ověření funkčnosti těchto programů. Dále na omezeném vzorku dat vypracovat analýzu opotřebení a stanovit hypotézy vzniku a důvodů některých jevů.



2 Konstrukce a porovnání lokomotiv

Data zpracovávané v poslední části této práce byla měřena na lokomotivách Traxx F140 MS 2e (řada 386) a Vectron MS (řada 383). V této kapitole uvádím srovnání jejich parametrů a konstrukce jejich pojezdů.

Základní typ:	ALSTOM TRAXX	SIEMENS VECTRON
Varianty provozované u spol. METRANS	F140 MS 2e	MS
Označení řady dle UIC	386	383
Výkon pro trakci [kW]	5 600 AC; 5 600 3kV DC; 4 000 DC 1,5 kV	6 400 AC; 6 000 DC 3 kV; 3 500 DC 1,5 kV
Brzdný výkon [kW]	5 600 AC; 2 600 3kV DC; 2 600 DC 1,5 kV	Nedohledáno
Napájecí systémy	AC 25 kV, 50 Hz; AC 15 kV, 16,67 Hz; DC 3 kV; DC 1,5 kV	AC 25 kV, 50 Hz; AC 15 kV, 16,67 Hz; DC 3 kV; DC 1,5 kV
Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'	Bo'Bo'
Hmotnost [t]	84	88
Max. tažná síla na háku [kN]	300	300
Max. brzdná síla [kN]	150 možno zvýšit na 240	150 možno zvýšit na 240
Vzdálenost středů podvozků [mm]	10 390	9 500
Rozvor podvozku [mm]	2 600	3 000
Průměr kol: nová - max. opotřebená [mm]	1 250 – 1 170	1 250 – 1 170
Primární vypružení a vedení dvojkolí	Pružiny flexi-coil a podélná ojnice se dvěma klouby	Pružiny flexi-coil a podélná ojnice se třemi klouby (jeden na ložiskové skříní)
Sekundární vypružení	Pružiny flexi-coil	Pružiny flexi-coil
Přenos podélných sil mezi podvozkem a skříní	Podélná tyč	Tažný „čep“ a pryžové prvky
Tlumiče vrtění podvozku	Pasivní	Pasivní
Trakce:		
Pohon dvojkolí	Tlapový motor	Motor v rámu podvozku, závěsková převodovka
Trakční motory	Třífázové asynchronní s kotvou nakrátko	Třífázové asynchronní s kotvou nakrátko
Řízení TM	TM jednoho podvozku jsou řízeny dohromady	Každý TM samostatně
Sklužová regulace	Ano	Ano
Různé režimy sklužové regulace	Automatické přizpůsobení různým podmínkám kolejnic	Ano, zvyšuje prokluz



Brzdy:		
Elektrická dynamická	Ano	Ano
Rekuperační	Ano	Ano
Odporová	Nedohledáno	Nedohledáno
Mechanická	Kotoučová, kotouče v kolech	Kotoučová, kotouče v kolech
Mazání okolků	Ano	Ano, je mazáno první dvojkolí ve směru jízdy
Pískování	Ano, dvojkolí č. 1 a 3 ve směru jízdy	Ano, každá náprava

Tabulka 1 - Srovnání základních parametrů řad lokomotiv 383 a 386

Z Tabulka 1 - Srovnání základních parametrů řad lokomotiv 383 a 386 vidíme, že jsou si tyto lokomotivy velmi podobné, ať už svojí hmotností, výkonem nebo rozměry.

Hlavním rozdílem těchto dvou řad je stavba pohonu a podvozku. Obě lokomotivy mají pro každé dvojkolí určen jeden trakční motor. U řady 386 se jedná o tlapový motor uchycený na nápravě dvojkolí a závěsem na rámu podvozku. Lokomotivy Vectron mají trakční motor zavěšený na rámu podvozku. Řízení trakce je také pro každou řadu jiné. Lokomotivy Traxx mají pro každý podvozek jeden frekvenční měnič, a proto není možné, aby dvojkolí v jednom podvozku měly různé průměry kol. U lokomotivy Vectron je frekvenční měnič pro každý trakční motor samostatný, což umožňuje rozdílné průměry kol náprav v jednom podvozku.

Dalším parametrem, který může výrazně ovlivňovat opotřebení dvojkolí je vypružení a brzdy vozidla. Vypružení obou lokomotiv, přes pružiny Flexi-coil, je podobné. Informace o brzdách, jejich používání a fungování, nebylo možné dohledat kvůli udržení know-how. Výrobci uvádí, že obě lokomotivy jsou vybaveny elektrodynamickou brzdou a pokud síť umožňuje vracet energii zpět, rekuperují. Bohužel výrobci už neuvádí, zdali se jedná o brzdu odporovou. Také není možné zjistit v jakém poměru se při běžném používání kombinuje používání elektrické a mechanické brzdy, nebo brzdné výkony jednotlivých částí brzdového systému.

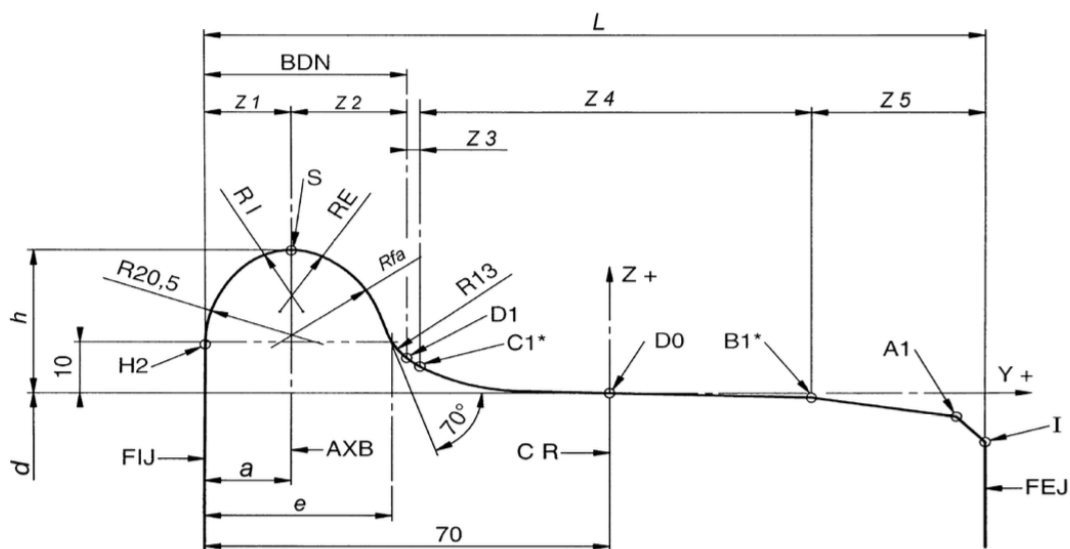


3 Jízdní obrysy (profily) kol

Jízdním obrysem kol je míněn tvar příčného průřezu obruče kola nebo tvar řezu věnce kola celistvého. Dle českých norem je zaveden název jízdní obrys kola, anglicky „Wheel tread profile“ nebo „Wheel running profile“, německy „Radprofil“. Z tohoto důvodu je v češtině běžně používán název jízdní profil kola nebo profil kola. V této práci používám jízdní profil kola kvůli častějšímu používání tohoto pojmenování než dle norem.[1][2]

Profil kola je zodpovědný pro přenos sil mezi kolem a kolejí. Přenáší síly svíslé, síly potřebné pro vedení dvojkolí v koleji, síly zabraňující vykolejení, síly brzdné a u hnacích vozidel síly hnací.

Dle normy ČSN EN 13715 (Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Kola – Jízdní obrysy kol)[1] se dnes v evropském železničním systému především používají tři hlavní typy profilů kol. Jedná se o profily kol S1002, EPS a 1/40. Před zavedením EN byly profily kol železničních vozidel definovány vyhláškou UIC 510-2[3], která stanovuje požadavky, které jsou v souladu se zásadami přijatými Mezinárodní žel. unií (UIC – Union Internationale des Chemins de fer).



Obr. 1 - Jízdní profi kola podle ČSN EN 13715[1]

3.1 Popis jízdního profilu kola

Jízdní profil můžeme rozdělit na okolek (kóta BDN), jízdní část (mezi body C1 až I) a přechodovou část mezi okolkem a jízdní částí. Mezi základní rozměry profilů kol patří tloušťka (šířka) okolku e , výška okolku h a hodnoty sklonu kuželové části.[4]

3.1.1 Tloušťka (šířka) okolku e

Tloušťka okolku značená e je rozměr v ose y a je měřena 10 mm v ose z nad počátkem souřadnicových os. Toto lze nejlépe vidět na Obr. 1 - Jízdní profi kola podle ČSN EN 13715. V normě ČSN EN 13715 jsou definovány jízdní profily s tloušťkami okolku v rozmezí od



28,5 mm do 32,5 mm s krokem 0,5 mm. Podle dřívějších norem byl možný ještě tenčí okolek. Dnes už tomu tak není.[5][6]

3.1.2 Výška okolku h

Výška okolku značená h je rozměr v ose z a je zavedena jako vzdálenost mezi nejvyšším bodem okolku a počátkem souřadnicových os. V normě ČSN EN 13715 jsou definovány profily kol se třemi výškami okolku a to 28, 30 a 32 mm. [1]

3.1.3 Sklon kuželové části

Sklon kuželové části, která je na Obr. 1 - Jízdní profi kola podle ČSN EN 13715[1] vidět pod kotou Z5 je přípustný mezi 6,7 až 15 %. [1]

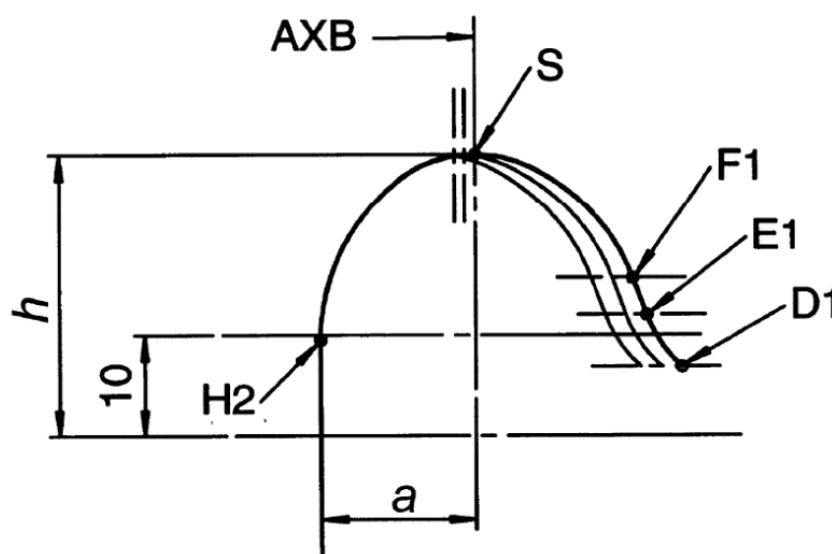
3.1.4 Značení jízdních profilů kol

Při značení profilů kol používáme podobu určenou normou, a to v následující podobě: „ČSN EN 13715 – typ jízdního profilu / výška okolku / tloušťka okolku / hodnota použitého sklonu“. Jako příklad bych zde uvedl jeden z používaných profilů – „ČSN EN 13715 - S1002/h30/e30/6,7 %“[1]

3.2 Okolek

Okolek je zodpovědný za vedení vozidla v koleji a brání vykolejení vozidla. Je ohraničen body $H2$, kde končí vnitřní čelo kola a bodem $D1$, kde začíná přechodová oblast. Konstrukce okolku vychází z referenčního okolku s tloušťkou $e = 32,5$ mm. Různé tloušťky okolku jsou poté získány posouváním oblasti $S - D1$. To je nejlépe viditelné na Obr. 2 - Způsob rozšíření okolku. Kóta a udávající polohu bodu S ve směru y je popsána vztahem:

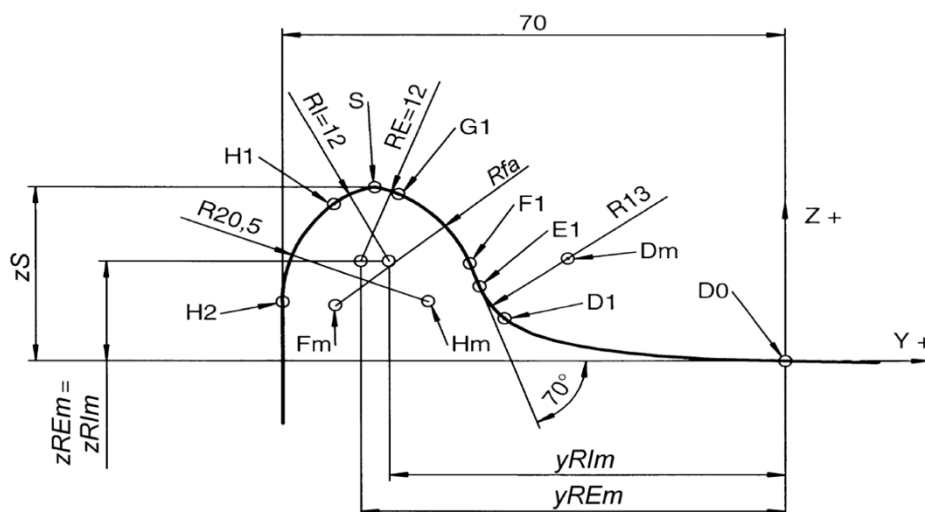
$$a = 15 - \left(\frac{32,5 - e}{2} \right) \quad (1)$$



Obr. 2 - Způsob rozšíření okolku[1]



Celý okolek je poté popsán tabulkou hodnot, kde jsou uvedeny všechny polohy středů oblouků a jejich poloměry. Způsob konstrukce okolku je nejlépe vidět na Obr. 3 - Konstrukce okolku.[1]



Obr. 3 - Konstrukce okolku [1]

3.3 Přechodová oblast jízdního profilu kola

Přechodová oblast je mezi body $D1$ až $C1$, respektive $C1a$ a $C1b$ pro profily 1/40 a EPS. Pro každý typ profilu je tato oblast jedinečná, a proto se pro každý profil touto částí zabývá samostatně.

3.4 Jízdní plocha jízdního obrusu

Každý profil kola má jiný tvar jízdní plochy. Jízdní plocha se nachází v oblasti mezi bodem $C1$, respektive $C1a$ a $C1b$. Pro kolo o šířce 140 mm se tato oblast nachází na souřadnicích $y(-35;70)$ mm. Jízdní část je hlavní plochou, přes kterou se přenáší svíslé, hnací a brzdě síly.

Na jízdní ploše najdeme také významný bod $D0$, který je počátkem os y a z . Bod $D0$ je definován jako průsečík styčné kružnice s povrchem profilu kola. Styčná kružnice se nachází 70 mm od vnitřního čela kola. [4][1]

3.5 Jízdní profil 1/40

V této podkapitole popisují konstrukci a historii jízdního profilu kola 1/40.

3.5.1 Vznik profilu 1/40

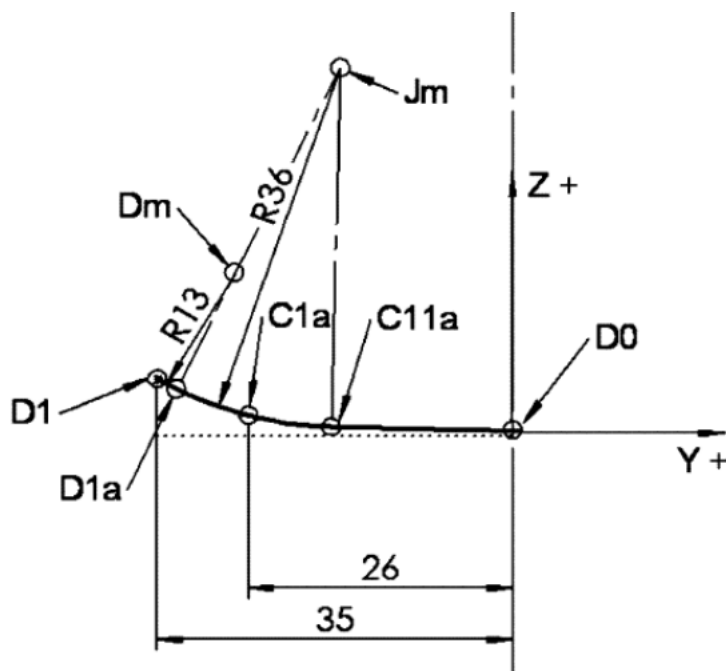
Jízdní profil byl hned od počátku železnic kuželový, protože zajišťoval středění dvojkolí v přímé koleji, zlepšoval průjezdnost obloukem a hlavně vyrovnával rozdíly průměrů kol téhož dvojkolí. U dříve standartního kuželového profilu s kuželem 1/20 se postupným přechodem z tratí s úklonem 1/20 na tratě s úklonem 1/40 začalo přecházet na jízdní profil



kola 1/40. Tento úklon začal být používán prvně v Německu a dnes je v Evropě používán jak úklon 1/20, tak 1/40. Úklon 1/40 je vhodnější pro vyšší rychlosti.[7][8]

3.5.2 Konstrukce profilu kola 1/40

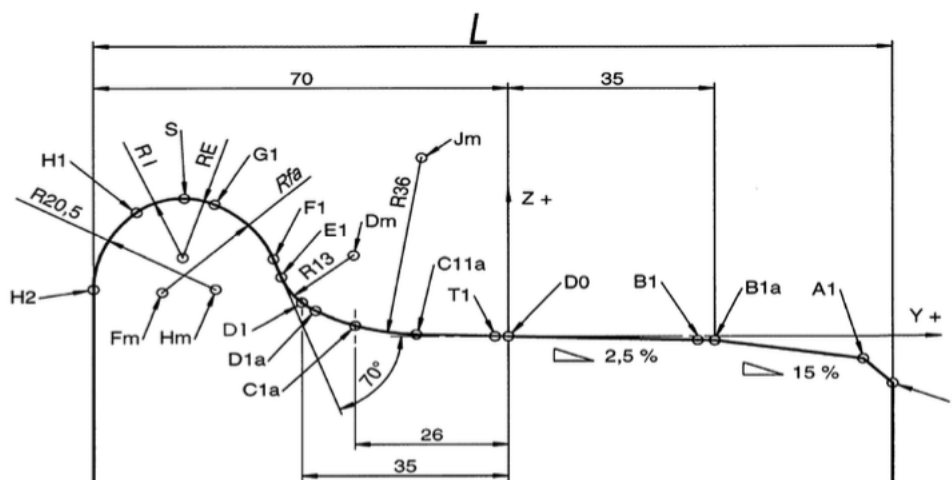
Přechodová a jízdní oblast jsou popsány jen přímkami a oblouky. Jejich poloměry a přímky jsou vypsány v normě. Přechodová oblast mezi $D1$ a $C11a$ je tvořena dvěma oblouky různých poloměrů. Oblouk Dm je mezi body $D1$ a $D1a$ jen prodloužením stejného oblouku, který byl za definován v okolku. Oblouk Jm je definován pro oblast mezi $D1a$ a $C11a$, jeho střed se posouvá společně se změnou šířky okolku. [1]



Obr. 4 - Přechodová oblast profilu kola 1/40 [1]



Jízdní plocha je u tohoto profilu dvoukuželová skládající se z kužele 1/40 (2,5 %) a kužele 15 %. Kvůli zužování okolku se ale kuželová plocha v bodu $D0$ rozpojí a vznikne bod $T1$. Oblast mezi těmito body je definována jako přímka spojující bod $T1$ a $D0$.



Obr. 5 - Jízdní profil kola 1/40 [1]

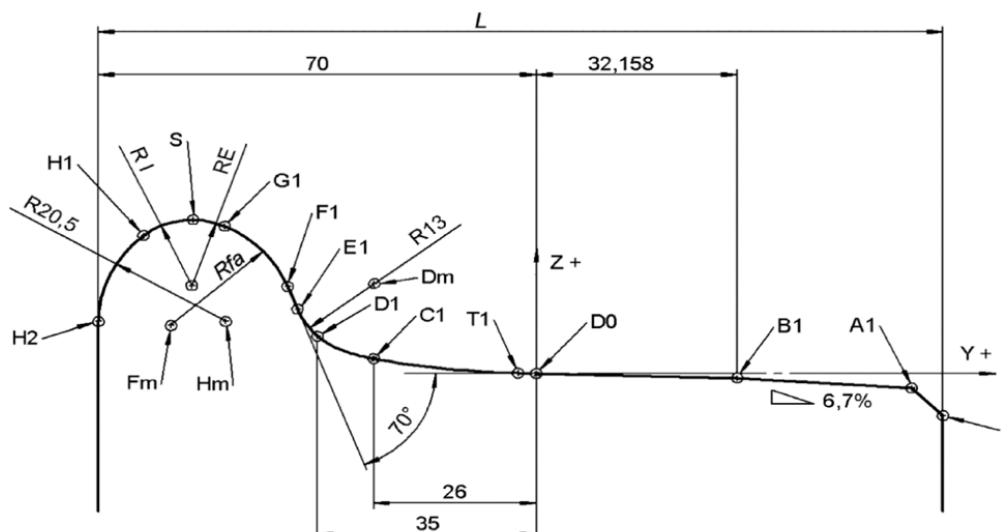
3.6 Profil kola S1002

V této podkapitole popisují konstrukci a historii jízdního profilu S1002.

3.6.1 Historie profilu S1002

Profil kola S1002 (UIC-ORE nebo UIC-ERRI) vznikl v 60. letech 20. stol. ve Výzkumném a zkušebním ústavu ORE (Office de Recherches et d'Essais), který spadal pod Mezinárodní železniční unii UIC (Union Internationale des Chemins de Fer), a to díky dlouhodobému pozorování vývoje tvaru dříve standardního kuželového jízdního profilu. Kuželový profil kola se bez ohledu na výchozí tvar ze začátku svého používání opotřeboval výrazně rychleji a později jeho opotřebení nebylo zdaleka tak rychlé. Proto byl tento přirozeně v provozu opotřebovaný tvar matematicky popsán polynomem, který je exaktně popsán ve vyhlášce UIC 510-2. V ČR byl tento obrys zaveden normou ČSN 28 0335 z roku 1976.[7][1][6]

Podstatné rozdíly oproti kuželovému profilu kola jsou tedy změna tvaru jízdní plochy a její popsání $z = f(x)$ mezi body $D1$ až $B1$, a změna sklonu a výšky okolku. Sklon okolku (mezi body $F1$ až $E1$) byl zvětšen z 60° na 70° , což zvyšuje bezpečnost proti vykolejení. Hodnoty pro oblast $D1$ až $B1$ můžeme najít buď zadané tabulkou hodnot v normě EN ČSN 28 0335 nebo zadané předpisem polynomu v normě UIC 510-2.[8]

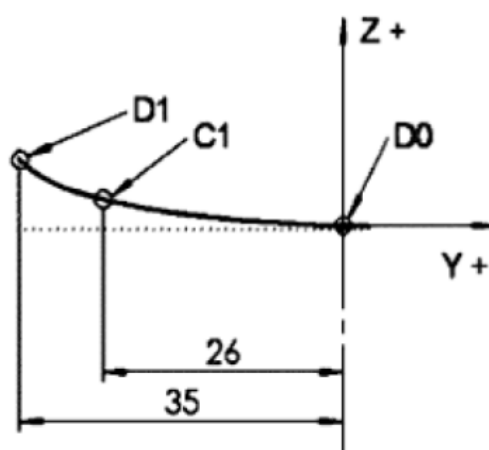


Obr. 6 - Jízdní profil S1002 [1]

3.6.2 Konstrukce profilu S1002

Dle normy je základním tvarem pro jízdní profil kola S1002 profil S1002/h28/e32.5. Ostatní profily jsou odvozeny z tohoto profilu. Přechodová oblast profilu S1002 je definovaná polynomem 7. stupně a nachází se mezi body $D1-C1$. Jízdní část v oblastech od $C1$ do $T1$ a od $D0$ do $B1$ je definována polynomem 8. stupně. Tato část je rozpojena v bodě $D0$ kvůli změně šířky okolku. Pro referenční šířku okolku je tak oblast $C1-B1$ spojitá. Pro užší okolky vzniká oblast $T1$ až $D0$, která je definována jako přímka mezi těmito body.[1]

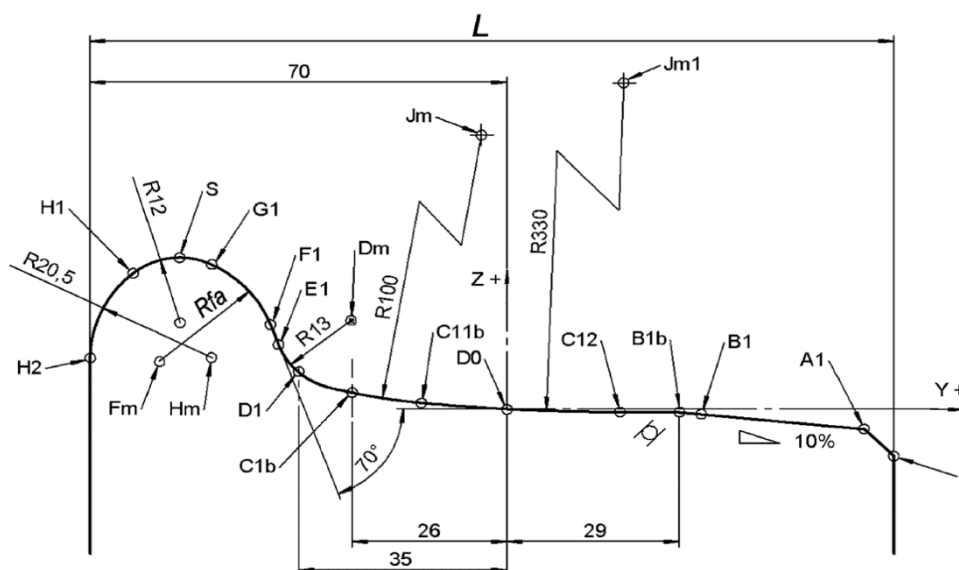
Po bodu $B1$ následuje kuželová část se sklonem 6,7 % a u vnějšího čela je 45° zkosení.



Obr. 7 - Přechodová oblast profilu S1002 [1]

3.7 Jízdní profil EPS

Profil EPS je používán např. v Dánsku a ve Spojeném království. Tamní železnice mají úklon kolejnic 1/20 a kvůli špatným zkušenostem s profilem S1002 používají pouze tento profil. Profil EPS se sklonem 10 % je ekvivalentním profilem k profilu P8 ze Spojeného království. V ČR byl poprvé uveden v roce 2006 v normě ČSN EN 13715.[2][1]

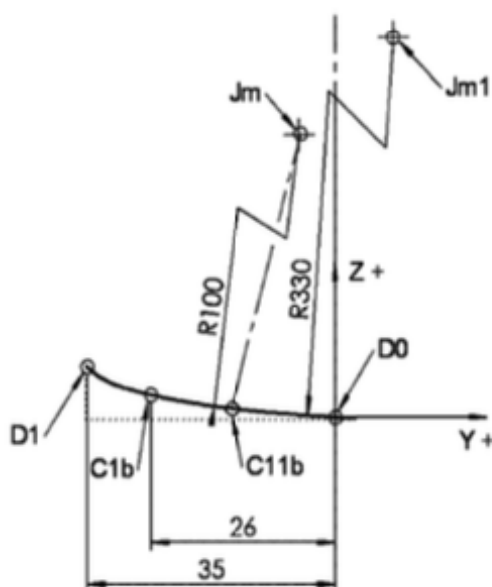


Obr. 8 - Jízdní profil EPS [1]

3.7.1 Konstrukce profilu EPS

Jízdní oblast tohoto profilu mezi body $C1b$ a I je jako jediná tvořena oblouky o velkém poloměru v oblastech $C1b$ až $C11b$ a $C11b$ až $C12$. V oblasti $C12$ a $B1b$ je tvořena rovnoběžnou přímkou s osou y . Potom nastupuje oblast kuželové části a zkosení.

Přechodová oblast mezi body $D1$ a $C1b$ je definována tabulkou hodnot. Autorovi se nepodařilo v české ani v britské normě dohledat jakýkoli matematický předpis této přechodové části.[1]



Obr. 9 - Přechodová oblast profilu EPS [1]



3.8 Jízdní profil 1/20

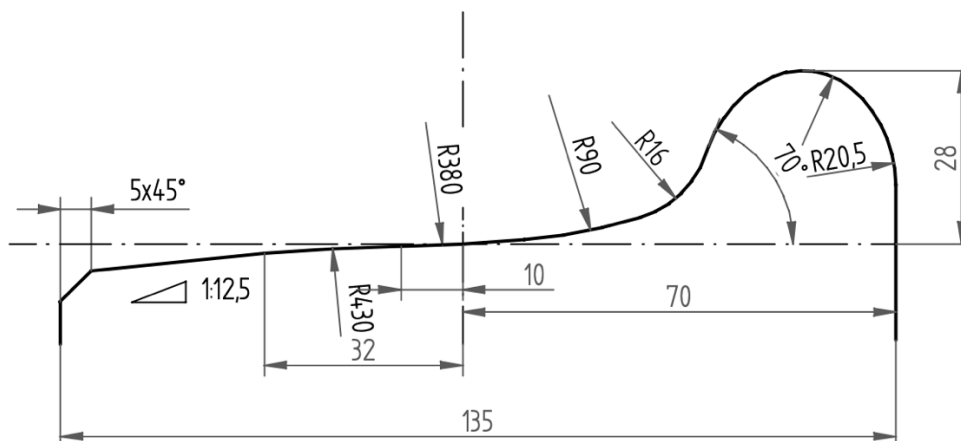
Profil kola 1/20 byl navržen kvůli eliminaci špatných vlastností válcových profilů. Válcové profily jsou vedeny v koleji jen díky okolku a nemají středící schopnost. Kola s těmito profily se po většinu času odvalovaly jen po úzkém pruhu jízdního profilu, což mělo za následek nerovnoměrné a rychlé opotřebení. Tyto špatné vlastnosti výrazně zlepšuje jízdní kuželový profil 1/20, který byl navržen, aby po trati s úklonem kolejnic 1/20 byl zajištěn pravidelný sinusový pohyb a tím rovnoměrnější zatěžování profilu. Samozřejmě také v obloucích koleje zabraňuje prokluzu jednoho z kol díky rozdílu poloměrů, po kterých se kolo odvaluje. Jízdní kuželový profil 1/20 se hojně používal na síti ČSD do 70. let 20. stol. Se zavedením obrysu S1002 v ČSR v roce 1976 začal být postupně nahrazován. V roce 2006 došlo k vyřazení tohoto profilu z normy a byl nahrazen profilem 1/40.[8][6][5][9]

3.9 Jízdní obrys ZI-3 a ZI-4

Tyto profily vznikly mezi lety 1996 až 2000 na katedře dopravních prostředků Dopravní fakulty Jana Pernera. Jedná se o profil odvozený z profilu S1002, kdy z měření velkého množství opotřebovaných obrysů byly vyvinuty jízdní profily ZI-3 a ZI-4. Vznikly jako střední poloha mezi profilem UIC-ORE a opotřebovanými profily po ujetí 300 až 400 tis. km. Tento profil reagoval na požadavek Ministerstva dopravy na vytvoření profilu, který by zohledňoval zvláštnosti tratí ČD a zohledňoval dlouhé časy mezi reprofilacemi. Bylo totiž zjištěno, že profil S1002 se na českých tratích rychle opotřebovává. Jízdní profil ZI-4 je profil ZI-3 s poněkud ztenčeným okolkem.[8][10]

3.10 Jízdní profil KKVMZ

Tento jízdní profil byl vyvinut a vyzkoušen na VŠDS v Žilině pro podmínky tratí ČSD. Dnes se už spíše jedná o historický profil a jeho stavba je znázorněna na Obr. 10 - Jízdní profil KKVMZ [3]. Svoje jméno získal podle prvních písmen názvu pracoviště, kde byl vyvinut – Katedra kolejových vozidel, motorů a zdvihadel. [7][4]

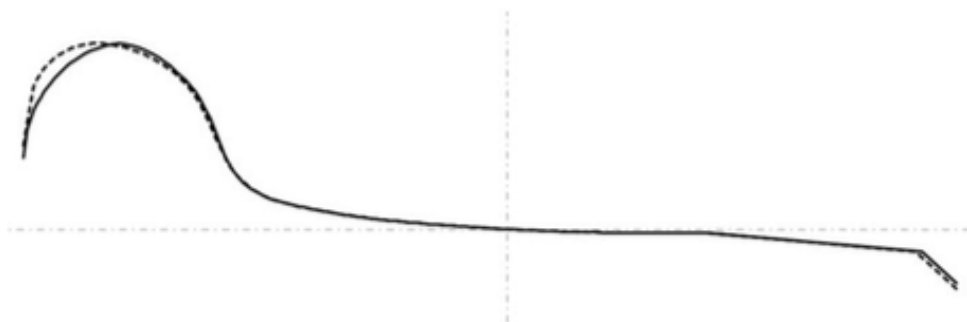


Obr. 10 - Jízdní profil KKVMZ [3]

3.11 Britské jízdní profily

Ve Spojeném království jsou používány jiné profily než ve zbytku EU. Kvůli úklonu kolejnic 1/20 ve Spojeném království nebyla zkušenost s profily S1002 pozitivní. V britské normě GMRT 2466[2] od Railway Group Standart jsou popsány profily P1, P5, P6, RD9, P8, P9, P10, P11, P12 a také jsou zde přejaty profily 1/40, S1002 a EPS.

Profil EPS vychází z profilu P8/30 mm. Jízdní plocha těchto profilů je stejná. Liší se hlavně v oblasti okolků, kde u profilu EPS je okolek stejný jako u S1002. Dle normy je profil EPS ekvivalentní k profilu P8. Porovnání těchto profilů můžete vidět na Obr. 11 - Porovnání jízdního profilu EPS (plná čára) a P8 (čárkovaně) [8][2]



Obr. 11 - Porovnání jízdního profilu EPS (plná čára) a P8 (čárkovaně) [8]

4 Vady a opotřebení jízdní plochy kola

Během používání dvojkolí v provozu dochází ke vzniku vad jízdních ploch kol a ke změnám jejich geometrie. Tato změna má za následek nepravidelný chod a mění dynamiku vozidla. Dále také může způsobovat větší odpor ve styku kolo-kolejnice. Proto je velmi důležité udržovat správný profil na železničním dvojkolí. V dnešní době je tato oblast zkoumána z důvodu možnosti velkých úspor a možnému předcházení poškození dvojkolí, vozidla a koleje.[11][12][13]



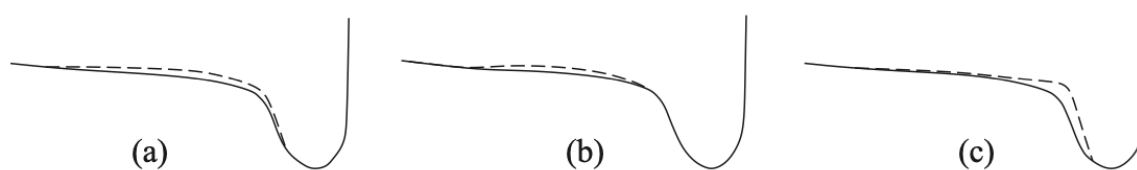
4.1 Opotřebení jízdní plochy kola

Opotřebení kola můžeme rozdělit do několika skupin. Každý z těchto typů opotřebení je ve své pokročilé formě nebezpečný pro dynamiku vozidla a poškozuje jak vozidlo, tak železniční infrastrukturu. Opotřebení můžeme rozdělit na adhezivní, abrazivní a erozivní opotřebení.[11][12]

Adhezivní opotřebení je způsobeno drsností povrchů kola a kolejnice a jejich rozdílnou rychlostí. Abrazivní opotřebení je způsobeno vnějšími činiteli jako například pískem, který zůstává na kolejnicích po jeho použití při prokluzování kol. K erozivnímu opotřebení dochází při delším odstavení vozidla.[11][12]

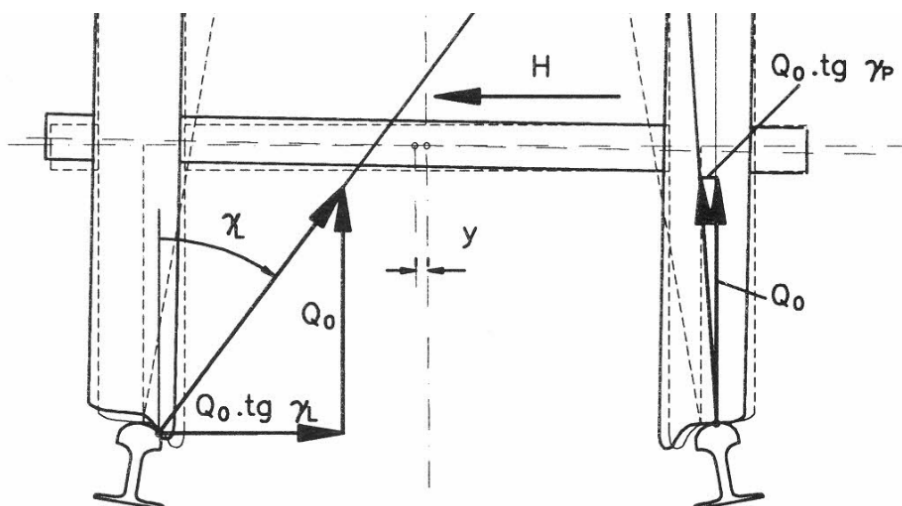
4.1.1 Důsledky opotřebení

Při delším používání kola se na geometrii jízdního obrysu kola začnou projevovat základní druhy adhezivního opotřebení. Toto opotřebení a jeho přesná podoba je velmi závislá na typu kolejnice, jejím úklonu, typu vozidla, počasí nebo jestli trať je více obloukovitá či má spíše dlouhé rovné úseky. Na Obr. 12 - Typy adhezivního opotřebení a) rovnoměrné opotřebení, b) opotřebení do jízdní plochy, c) opotřebení do okolku vidíme základní druhy opotřebení. [14][12]



Obr. 12 - Typy adhezivního opotřebení a) rovnoměrné opotřebení, b) opotřebení do jízdní plochy, c) opotřebení do okolku [14]

Opotřebení do okolku c) vzniká především na trati s velkým množstvím oblouků s malým poloměrem. V těchto obloucích dochází k vysunutí dvojkolí z rovnovážné polohy a síly potřebné k vedení dvojkolí v koleji začne přenášet okolek. Tento jev nejvýstižněji vystihuje Obr. 13 - Vysunutí dvojkolí z rovnovážné polohy, kde vidíme dvojkolí vysunuté o hodnotu y a jehož levé kolo šplhá na hlavu kolejnice a přenáší velké síly potřebné k vedení dvojkolí. Tyto síly poté způsobují větší otěr okolku a kolejnice, a tak i úbytek materiálu. K omezení tohoto typu opotřebení se používá několik systémů, jako natáčení dvojkolí do směru oblouku nebo mazání okolků mazivem a tím snižování tření.[12]



Obr. 13 - Vysunutí dvojkolí z rovnovážné polohy [7]

K opotřebení do jízdní plochy b) dochází na tratích, kde převažují rovné úseky nebo oblouky s velkým poloměrem. V ten moment jsou hlavními silami síly svislé, které se přenáší v okolí styčné kružnice. Tento typ opotřebení v pokročilém stadiu je také někdy nazýván žlábkem a je potřeba ho kontrolovat.[12]

Rovnoměrné opotřebení je kombinací dvou předchozích typů.

4.2 Typy vad

Vady můžeme rozdělit do několika skupin podle typu vady nebo jejího vzniku. Vady pro potřebu této práce rozdělím na vady povrchu kola, vady tvaru kola a podpovrchové vady. Pro neustálenost české terminologie uvádím i anglické názvy.[11][13]

4.2.1 Vady povrchu kola (surface defects)

Vady na jízdním povrchu kola budeme dělit do 4 skupin.

4.2.1.1 Ploché místo (Flat spot)

Ploché místo je definováno jako lokální abraze, kdy kolo ztrácí svůj původní obrys. Vzniká jako důsledek smýkání kola po kolejnici při brždění se zablokovanými koly. To může nastat kvůli špatnému technickému stavu brzd. systému nebo špatně zvolené brzdné síle. Dalšími faktory, které ovlivňují riziko skluzu, mohou být počasí nebo kontaminace na kolejnici (listí, olejový film atd.). Příklad menšího, ale již problematického plochého místa je vidět na Obr. 14 – Ploché místo (Wheel flat) [15].

Ploché místo je poté při provozu poznatelné kvůli pravidelnému cvakání kola o kolejnici a vytváří rázy při odvalování kola. Tuto vadu je nutné odstranit reprofilací kola.[15]



Obr. 14 – Ploché místo (Wheel flat) [15]

4.2.1.2 Vydroleniny (Shelling)

Jedná se o proces, kdy se z jízdni plochy začnou oddělovat části materiálu. Tato vada je způsobena únavou materiálu (rolling contact fatigue – RCF), kdy dojde k vyčerpání plasticity materiálu a tím k vydrolení materiálu. Únava materiálu je plastickou deformací způsobenou cyklickým namáháním. [16]

Dalším mechanismem vydrolenin může být prokluzování kola, kdy teplota mezi kolem a kolejnicí se dlouho drží nad 300°C. Kvůli takovému tepelnému zatížení dochází ke vzniku trhlin a vydrolení materiálu. [11]



Obr. 15 - Příklad vydrolení [17]

4.2.1.3 Odlupy (spalling)

K odlupování materiálu z jízdni plochy dochází po celém obvodu kola. Vznik odlupů je dobré rozdělit na dvě fáze. V první fázi dojde k lokálnímu vzrůstu teploty kvůli disipaci třecí síly. To způsobí, že v povrchových vrstvách začne docházet k martenzitické přeměně. V druhé fázi dochází k odlupování martenzitické vrstvy kvůli cyklickému namáhání, která je oproti původnímu materiálu tvrdší a křehčí. [12] [17][16]



4.2.1.4 Lokální porušení jízdní plochy (thread roll over)

V tomto případě je jízdní plocha profilu rozválcována přes vnější čelo kola, kdy dojde k plastické deformaci a převalení jízdní plochy. Tento defekt je pouze lokální a nevztahuje se na celý obvod kola. [16][12]

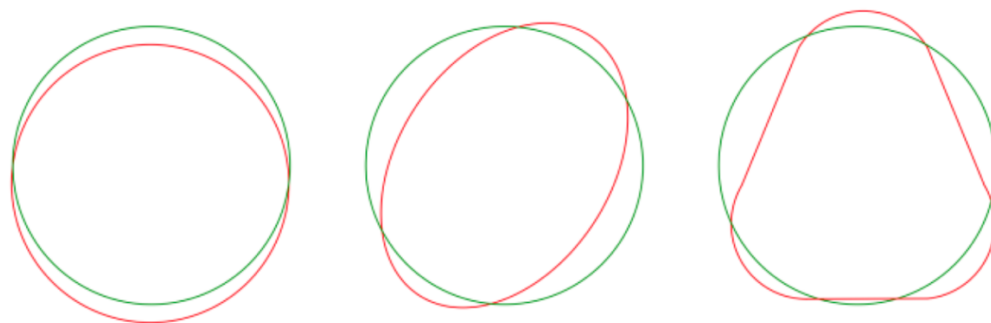
4.2.2 Nekruhovitost jízdní plochy (out-of-roundness defects – OOR defects)

Tato vada je obecně definována jako změna v délce poloměru po obvodu kola. Tím dochází ke ztrátě kruhového tvaru kola a transformace do jiného tvaru. Tento typ vady můžeme rozdělit na 2 druhy: polygonizace a ulpívání materiálu.[16]

4.2.2.1 Polygonizace (Polygonization)

Vznik polygonizace je velmi komplexní a závislý na hodně proměnných. Zde jsou některé důvody vzniku polygonizace: rezonanční frekvence působící na kola, elasticita dvojkolí a trati, nárazové zatížení dvojkolí (neodpružené hmoty), nepřesnost při výrobě nebo reprofilaci dvojkolí, účinek brzd atd. [11]

Mezi základní typy polygonizace patří excentricita a oválnost. Tyto případy jsou znázorněny na Obr. 16 - Typické formy polygonizace [17]



Obr. 16 - Typické formy polygonizace [17]

4.2.2.2 Ulpívání materiálu (Scaled wheel)

Tuto vadu můžeme definovat jako ulpívání materiálu na jízdní ploše. Nejčastěji se na ploše začnou přichytávat kusy kovu, které pocházejí ze samotného kola. K tomu dochází při zablokování kol a jejich tažení po kolejnici. V místě dotyku dojde ke zvýšení teploty a odtavení materiálu v místě dotyku a ten se poté přichytí na jiném místě jízdní plochy.[11]

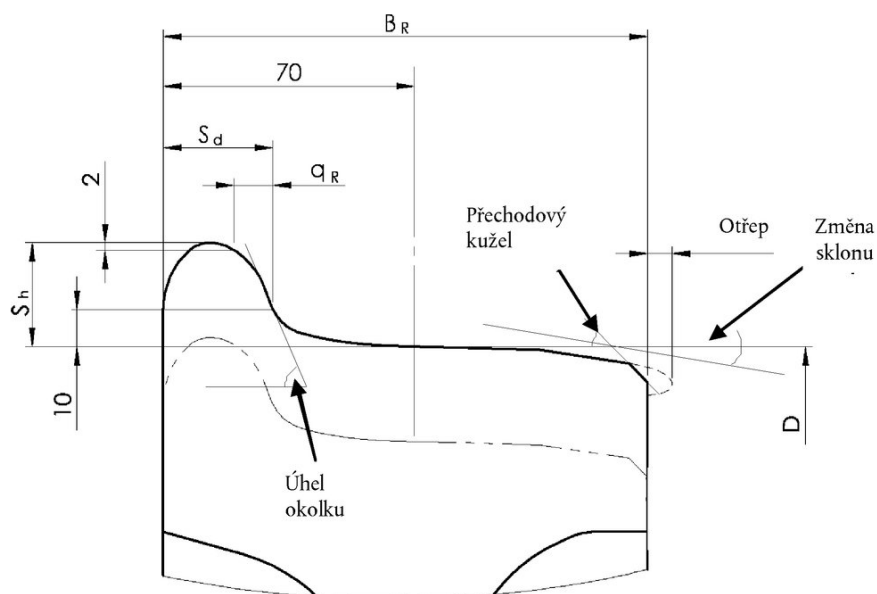
4.2.3 Podpovrchové vady

Do vad dvojkolí a kola musíme také zahrnout podpovrchové vady kola. Tyto vady jsou zjistitelné nedestruktivním zkoušením a to např. ultrazvukem. Často během používání dochází ke zvětšování těchto vad a jejich postupném projevení na povrchu nebo funkčnosti kola. Podpovrchové vady jsou např. trhliny, kontaminace materiálu, zbytková napětí atd.[11]



5 Kontrolované geometrické rozměry kol

K zajištění správného a bezpečného chodu, a především z důvodu interoperability v evropském žel. systému, byly k popisu změny tvaru jízdních profilů zavedeny 4 geometrické rozměry, které se na železničních dvojkolích ve vztahu k jízdnímu profilu vyhodnocují. Přehledně jsou vidět na Obr. 17 - Provozní geometrické rozměry jízdních profilů. Jedná se o celkovou šířku kola/obruče (B_R s otřepem), výšku okolku S_h , šířku okolku S_d a strmost okolku q_R . [18]



Obr. 17 - Provozní geometrické rozměry jízdních profilů [18]

Jejich dovolené mezní hodnoty jsou uvedeny v NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1302/2014 a jsou závislé pro různé průměry kol. V Tabulka 2 - Mezní hodnoty geometrických rozměrů kol $D > 840$ mm jsou uvedeny mezní provozní hodnoty pro železniční kola o průměru větším jak 840 mm, což jsou hlavně kola lokomotiv.

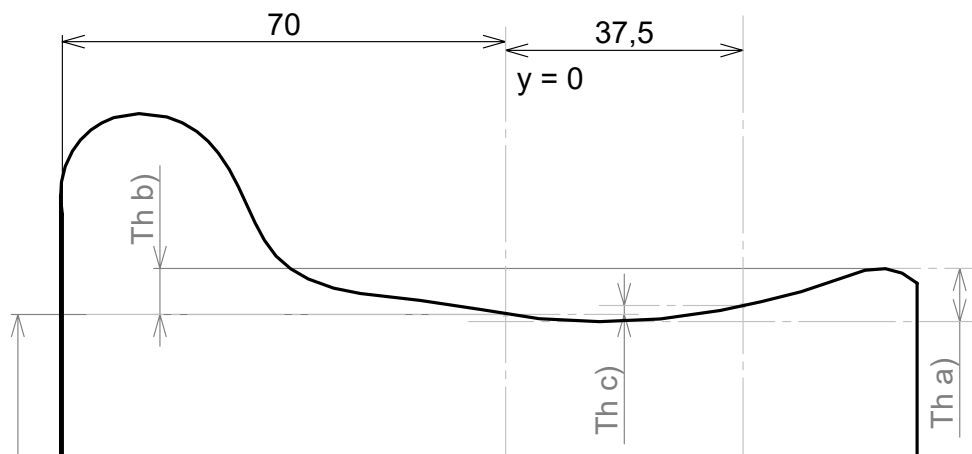
Označení	Minimální hodnota [mm]	Maximální hodnota [mm]
Celková šířka kola/obruče (Br s otřepem)	133	145
Šířka okolku S_d	22	33
Výška okolku S_h	27,5	36
Strmost okolku q_r	6,5	-

Tabulka 2 - Mezní hodnoty geometrických rozměrů kol $D > 840$ mm [18]



5.1 Hloubka opotřebení do jízdni plochy

Dalším parametrem, který je na kole měřen, je hloubka žlábků (hollowing). V dostupné literatuře byly dohledány tři způsoby, jak je možné měřit hloubku žlábků. Všechny jsou zobrazeny na Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků.



Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků

5.1.1 Hloubka žlábků

V různých zahraničních pracích se můžeme setkat s definicí žlábků jako rozdíl mezi nejmenším průměrem kola a největším průměrem na vnější straně kola.[19]

Tato varianta je znázorněna na Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků pod označením Th a).

5.1.2 Hloubka žlábků měřená podle přístroje Miniprof

Další možností, jak vyhodnocovat hloubku žlábků, je styčnou kružnicí a vrcholem u vnějšího čela kola. Toto měření provádí a rovnou vyhodnocuje přístroj Miniprof. Tímto přístrojem byla měřena všechna data použitá v praktické části této práce. Ze získaných dat se ukázalo, že přístroj Miniprof stanovuje i pozitivní hodnotu žlábků. Bohužel se nikde v materiálech společnosti Greenwood Engineering A/S nepodařilo dohledat, jakým způsobem tak činí.

Tato varianta je znázorněna na Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků pod označením Th b).

5.1.3 Hloubka žlábků podle předpisu ČD

Další používaný způsob vyhodnocení hloubky žlábků je uveden v interním předpisu ČD V25. Zde je hloubka žlábků definována jako rozdíl mezi průměrem kola v rovině styčné kružnice a průměrem kola v rovině vzdálené 37,5 mm od roviny styčné kružnice. [20]

Tato varianta je znázorněna na Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků pod označením Th c). Tento způsob vyniká svojí jednoduchostí. Není potřeba u něj stanovovat nejnižší místo, a tak se jedná o výrazněji jednodušší metodu.



6 Reprofilace kol

Pro správný kontakt kolo-kolejnice je při výrobě a při používání nutné udržet na kolech správný jízdní obrys. Proces obnovy nebo tvorby profilu na obruč kola nebo celistvé kolo se nazývá reprofilace kola. Tento proces lze provést několika způsoby. Hlavní rozdělení postupu je závislé na tom, zda je již dvojkolí ve vozidle či nikoliv. Při reprofilacích, kdy je dvojkolí zabudováno do podvozku, by bylo vyvázání dvojkolí z vozidla velmi časově, a tudíž i finančně, náročné. Proto se při údržbě v provozu využívá reprofilace na podúrovňovém soustruhu. Když je dvojkolí mimo vozidlo, tak je manipulace s ním jednodušší. Na vytvoření jízdního obrysu se poté hlavně využívá speciálních soustruhů pro obrábění funkčních ploch dvojkolí. Podúrovňový soustruh je na volné dvojkolí možno použít také, nicméně přichází se tak o hlavní výhodu podúrovňového soustruhu.

Obě tyto možnosti popisují v následujících kapitolách.

6.1 Reprofilace s dvojkolím v podvozku vozidla

Stroje, které se používají, se nazývají podúrovňové soustruhy. Jedná se z pravidla o stroj zabudovaný do podlahy opravy/dílny, který je schopen reprofilovat obě kola jednoho dvojkolí současně. V Tabulka 3 - Porovnání parametrů podúrovňových soustruhů uvádím seznam momentální nabídky několika podúrovňových soustruhů a jejich hlavní parametry. Mezi hlavní parametr se řadí maximální zatížení na nápravu, rozsah rozchodu, velikost třísky, přesnost obrábění a maximální a minimální průměr kola. Tyto stroje jsou často připravené i na reprofilaci nejen jízdního profilu, ale také na obrobení brzdových kotoučů.

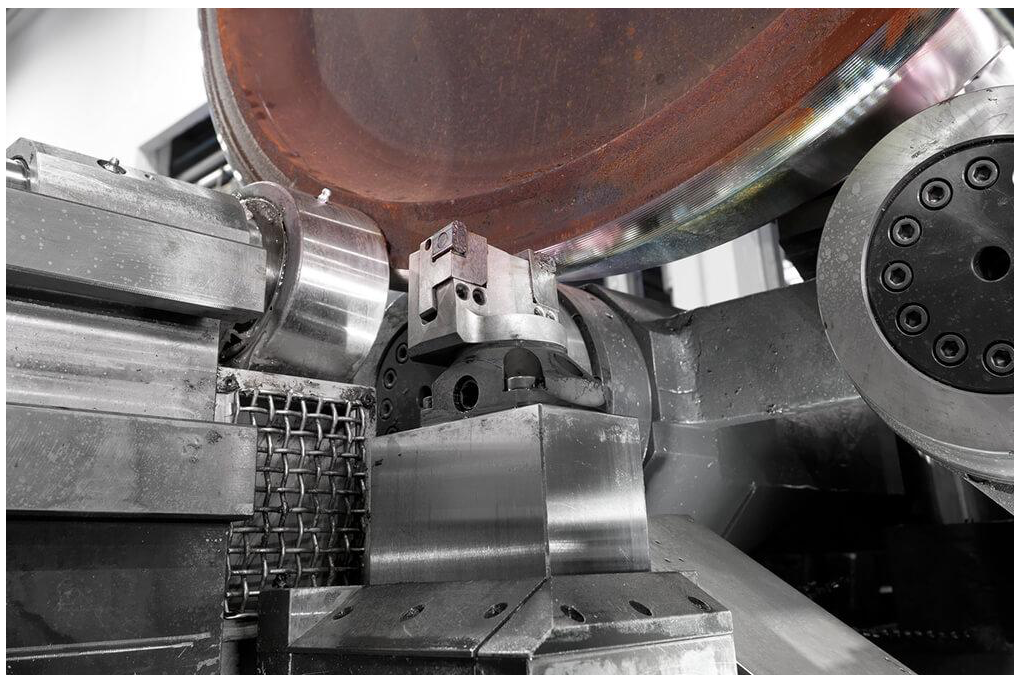
Obchodní označení	-	DLR	DHD	U2000-150	U 2000-400	TUP650SH
Výrobce	-	Danobat	Danobat	HEGENSCHEIDT	HEGENSCHEIDT	Koltech
Max. zatížení na nápravu	kN	180	300	180	400	300
Max. průměr kola	mm	1400	1400	1250	1400	1500
Min. průměr kola	mm	375	375	375	350	600
Výkon hlavního pohonu	kW	4x9	4x15	80	96	55
Průřez třísky	mm ²	6	10	6	10	10
Hmotnost	t	18	18	16	18	20
Rozdíl průměru kol dvojkolí	mm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2
Rozdíl průměru kol podvozku	mm	<0,3	<0,2	<0,3	<0,2	-
Přesnost tvaru profilu	mm	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,15
Boční házení	mm	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	-
Radiální házení	mm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,15

Tabulka 3 - Porovnání parametrů podúrovňových soustruhů[21][22][23]



Dále jsou podúrovňové soustruhy vybaveny měřícím systémem, který před a po reprofilaci změří výsledný profil, průměr kola a radiální a axiální házení.

Otáčení dvojkolí zajišťuje dvojice poháněných kladek. Tyto kladky a jejich umístění jsou v detailu zobrazeny na Obr. 19 - Kladky podúrovňového soustruhu, kde je vidíme zajištěny černou přírubou. V momentě, kdy vozidlo najede na vyjímatelný úsek koleje, jsou zvednuty kladky soustruhu a po kontaktu kladek s kolem dojde k vystředění dvojkolí. Poté se odstraní úsek odnímatelné koleje.



Obr. 19 - Kladky podúrovňového soustruhu[24]

Kvůli přesnosti a opotřebení kladek podúrovňového soustruhu je potřeba, aby na kladky byla vyvíjena konstantní síla, bez ohledu na typ vozidla. U vozidel s vyšší hmotností na nápravu je potřeba dvojkolí odlehčit, aby na kladky nepůsobily tak velké svislé síly, jinak by docházelo k opotřebení jízdního profilu a kladek. U lehčích vozidel je naopak potřebné dvojkolí přitlačit na kladky, aby bylo možné přenést dostatečný moment potřebný k osoustružení dvojkolí. Toto uchycení zajišťuje dvojkolí v radiálním směru a zabraňuje jeho pohybu. Odlehčení nebo zatížení dvojkolí je možné provést několika způsoby, které uvádím v následujících kapitolách.

K zachycení řezných sil v axiálním směru se používá čelní kladky přitlačené na vnitřní čelo věnce kola. Tato kladka je zobrazena na Obr. 19 - Kladky podúrovňového soustruhu[24], vlevo od nožové hlavy. Při uvedení do řezu způsobují řezné síly velké axiální síly, které potom působí na nápravu velkým momentem a deformují ji ohybem. Tyto síly by měly být zachyceny v této kladce, aby byl minimalizován jejich účinek na přesnost obrábění.

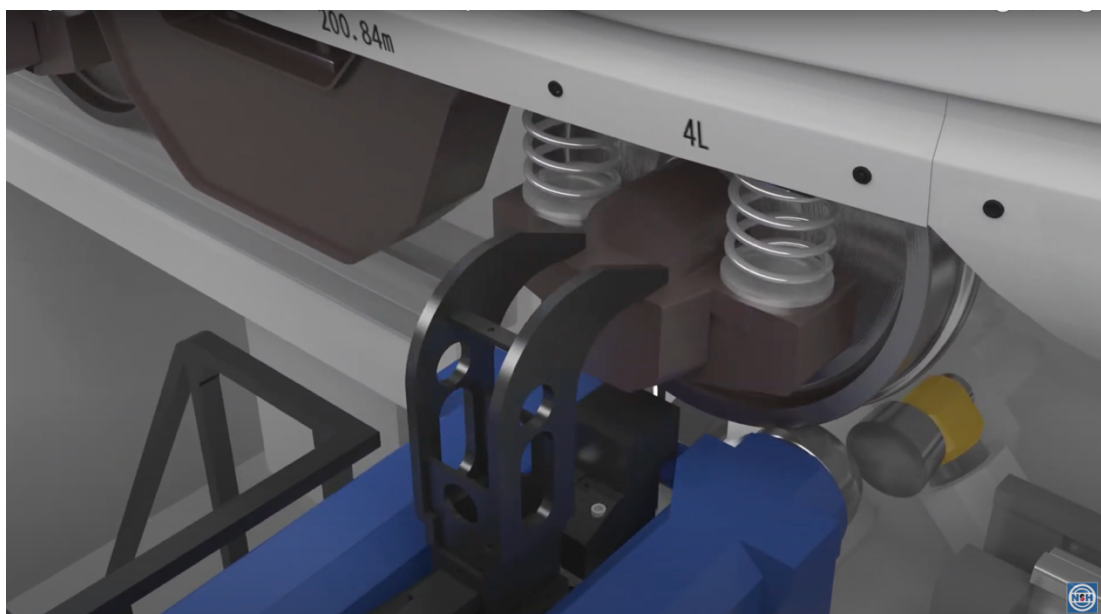
Softwary těchto soustruhů běžně nedovolují soustružit jen část plochy kola. Není tak možné například odebrat pouze vysoký okolek a jízdní plochu nechat. Proto při každé reprofilaci



dochází ke zmenšení průměru kola. Software soustruhu je vybaven knihovnou souborů s různými šířkami a výškami okolků. Obsluha může po počátečním měření vybrat, jaký z nabízených referenčních profilů chce na kolo použít. Software soustruhu poté ukáže nový průměr kola. Správnou volbou referenčního obrysu je tak možné minimalizovat úběr materiálu na potřebné minimum. I přesto se při běžné reprofilaci odebírá tříska o velikosti nejméně 2 mm. Při menším odběru je proces náročnější a hrozí, že se tříška dostane mezi kladky a kolo, a tak způsobí defekt na obrobené jízdni ploše.

6.1.1 Uchycení za ložiskové skříně

U vozidel se zajištění dvojkolí provádí uchopením ložiskových skříní. Výhodou tohoto řešení je, že není potřeba na vozidle provádět žádné úpravy. Vozidlo může rovnou přijet a bez přípravy být reprofilováno, což výrazně šetří čas a snižuje riziko chyby. Tento způsob opravy v dnešní době převládá. Ložiska vozidla se mohou nacházet buď vně nebo uvnitř vozidla. Systém uchycení za ložiskové skříně vně vozidla je znázorněn na Obr. 20 - Uchycení ložiskové skříně vně vozidla [21]. Tento příklad ukazuje případ, kdy je dvojkolí tlačeno do kladek soustruhu. U lokomotivy nebo jiného těžkého vozidla by byla podepřena za spodní stranu ložiskových skříní.



Obr. 20 - Uchycení ložiskové skříně vně vozidla [21]

Dalším možným způsobem uchycení dvojkolí je za ložiskové skříně, které se nacházejí v prostoru mezi koly nápravy. S tímto typem reprofilace se můžeme setkat např. u tramvají, kde je tato stavba běžnější.



6.1.1 Uchycení za středící důlky

K uchycení je využito středících důlků vyvrtaných v čelech nápravy. Tento způsob uchycení není v dnešní době běžný, jelikož konce náprav jsou často schovány do ložiskových skříní a demontáž vík ložiskových skříní je pracná.

6.2 Reprofilace s volným dvojkolím

Obrobení volného dvojkolí se hlavně děje při výrobě dvojkolí, kdy je možné s dvojkolím pohybovat bez nutnosti jeho demontáže z vozidla. Navzdory snazší manipulaci může samotné dvojkolí vážit cca 1,2 t. Proto jsou soustruhy na reprofilaci volného dvojkolí dělány v konfiguraci „roll in – roll out“ nebo přímo v konfiguraci „roll – through“. Podoba první konfigurace je zřejmá z Obr. 21- Nadúrovňový soustruh Danobat DPL/J [23], z kterého jsou zřejmé i výhody této konfigurace. Soustruhy jsou samozřejmě vybaveny měřícím zařízením schopným změřit radiální a axiální házení, průměr kola a tvar jízdního profilu. [25][24]



Obr. 21- Nadúrovňový soustruh Danobat DPL/J [23]

Uchycení a přenos momentu na dvojkolí je možné provádět dvěma způsoby. U obou se k uchycení použije středících důlků. V prvním případě je přenos momentu proveden tří čelistovým sklíčidlem. Tento způsob dovoluje přenesení většího momentu a tedy možnost odběru větší třísky. Dále je také možné při použití sklíčidla nechat ložiskové skříně na dvojkolí, což snižuje časovou pracnost. Nevýhodou tohoto způsobu je, že čelisti sklíčidla na věnci kola nechávají otisky, které je poté nutné brousit, aby nedošlo ke vzniku trhlin od těchto stop. Druhým způsobem je, jako u podúrovňové reprofilace, použití přítlačných kladek. U tohoto způsobu je nutné ložiskové skříně sundat, ale nastává riziko, že při opakovaném použití a špatném stavu kladek, dojde k poškození jízdní plochy kola. Přesnost obrobení průměru kola, tvaru jízdního profilu a házení je srovnatelné se soustruhy podúrovňovými.[22][24][25]

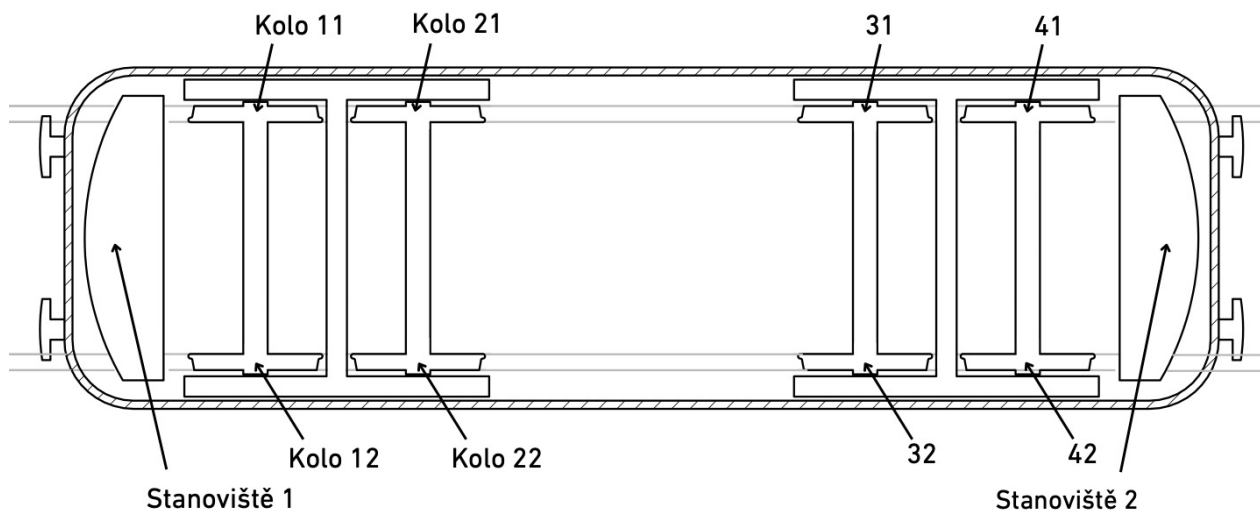


7 Označování jednotlivých kol lokomotiv

Pro jednoznačné označení jednotlivých kol lokomotiv a ostatních železničních vozidel se ustálilo značení kol podle strany lokomotivy a nápravy, kde se kolo nachází. U lokomotiv se dvěma stanovišti není možné určit směr jízdy, a tak přesně označit stranu vozidla. Proto u lokomotiv se dvěma stanovišti strojvedoucího, je jedno ze stanovišť označeno č. 1 a druhé č. 2.

Značení je poté složeno jako dvouciferné číslo. První číslo odkazuje na číslo nápravy, začínající od stanoviště č. 1. Druhé číslo potom určuje, zda je toto kolo na pravé či levé straně. Pravá strana má č. 1 a levá č. 2. Například tedy kolo označené 32 se nachází na třetí nápravě vlevo.

Tento systém je dobře pochopitelný na Obr. 22 - Schéma označování kol lokomotiv.



Obr. 22 - Schéma označování kol lokomotiv

Bohužel se pro toto označování nepodařilo najít vhodnou citaci z normy, která by tento systém popisovala. I přesto se toto označování používá v další dokumentech, vztahujících se ke kolejovým vozidlům např. [26].

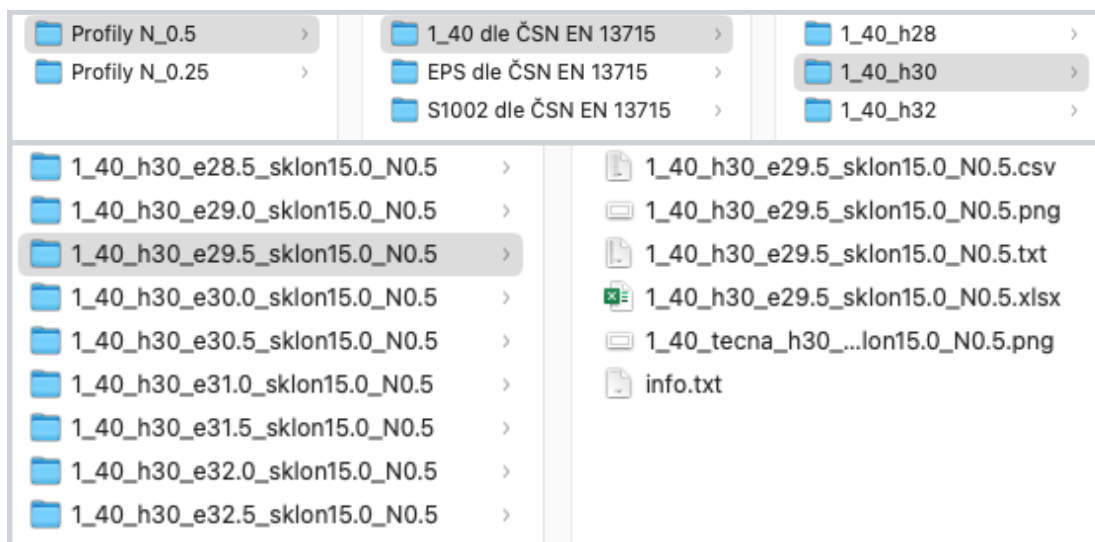


Praktická část

8 Knihovna profilů

První částí praktické části mé práce byla tvorba knihovny profilů, kde by byla obsažena data k jednotlivým jmenovitým profilům. Motivací pro tvorbu této knihovny byla potřeba pozdějšího porovnání naměřených profilů s profilem, který byl na začátku života kola. Tuto knihovnu jsem vytvořil v programu MATLAB a zahrnul jsem do ní jízdní profily S1002, EPS a 1/40. K tvorbě daného profilu jsem přistoupil rozdělením profilů na přibližně 12 částí. Každou z těchto částí lze popsat rovnicí kružnice, přímkou nebo polynomem. Definiční obory těchto funkcí bylo jednoduché určit díky normě[1], která definuje význačné body, kde se jednotlivé části setkávají a hlavně polohy středů oblouků a jejich poloměry pro různé šířky a výšky okolku. Jízdní obrys S1002 je definován v UIC 510-2, kde jsou uvedeny přesné hodnoty koeficientů pro dva polynomy, ze kterých se skládá přechodová oblast a jízdní oblast tohoto obrysu. Pro jízdní obrys EPS se mi nepodařilo dohledat jakýkoli předpis přechodové oblasti, ale jen tabulku hodnot. Tuto tabulku jsem nahrál do MATLABu. Jelikož krok na ose y v této tabulce je 0,5 mm, tak pro dopočítání hodnot pro jemnější krok, jsem zvolil proložení tabelárních hodnot interpolovanou křivkou a dopočet hodnot z ní.[3][27]

Toto rozdělení je nejlépe vidět na Obr. 23 - Ukázka členění knihovny jízdních profilů kol. Prvním dělením v této knihovně je rozdělení podle podrobnosti popisu (velikosti) kroku N na ose y. Poté následuje rozdělení na jednotlivé typy profilů, výšku okolku a jednotlivé složky profilů podle tloušťky okolku. V každé složce každá tato složka obsahuje vygenerovaný profil pro různé výšky a šířky okolků.



Obr. 23 - Ukázka členění knihovny jízdních profilů kol

Pro každý profil jsou uloženy souřadnice na ose y a z a hodnoty derivace v souborech typu .csv, .txt a .xlsx. Data obsahují nejen body ve stanoveném kroku, ale i význačné body, které



často neleží ve zvoleném kroku. Dále je v každé podsložce zahrnut graf zobrazující daný obrys a průběh sklonu tečny tohoto profilu. Kromě toho je ve složce uložen soubor *info.txt*, kde jsou poskytnuty doplňující informace k danému profilu.

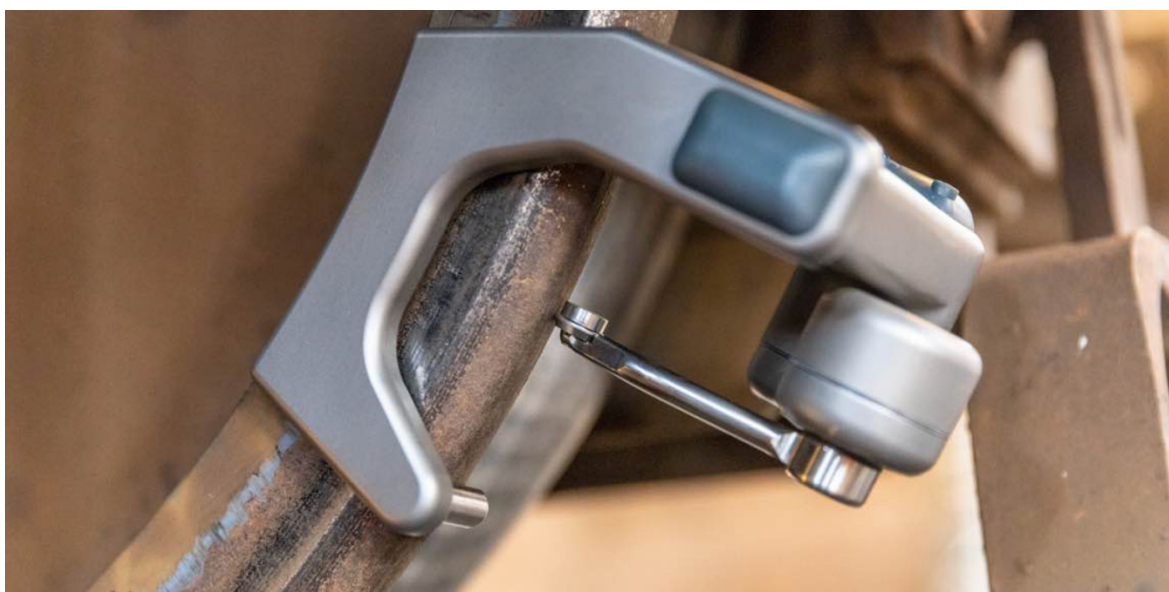


9 Vyhodnocování profilů

Pro zpracování dat jsem jako součást své bakalářské práce napsal několik skriptů/programů, které popisují opotřebení profilu kola. Součástí této práce bylo tyto kódy nejen napsat, ale i ověřit jejich správnou funkčnost.

9.1 Program na srovnání naměřeného profilu (program – srovnani.m)

U dat z reálného provozu se setkáváme s nepřesností měření nebo se špatně naměřenými daty, která je potřeba zpracovat. Všechna data, která jsem používal, byla z přístroje Miniprof. Ten zajišťuje změření dotykovou metodou. Díky stavbě měřícího přístroje, zobrazeném na Obr. 24 - Přístroj Miniprof – Wheel mini [25], je zajištěno, že souřadnice y změřených dat je vždy rovna 0 na vnitřním čele kola. Toho využívá script „srovnani“, který se stará o převedení naměřených dat do souřadného systému kola.[28]



Obr. 24 - Přístroj Miniprof – Wheel mini [25]

Na začátku dojde k seřazení dat podle hodnot na ose y . Poté program zkontroluje hodnoty a vyřadí jakékoli nečíselné hodnoty, seřadí naměřené hodnoty podle osy y a vyřadí opakující se hodnoty na ose y . Díky výše zmíněné vlastnosti měřícího přístroje srovná souřadnice y odečtením 70 mm.

U osy z program najde nejvyšší místa obou profilů. U profilů železničních kol by na rozdíl od kol tramvajových, nemělo docházet k žádnému opotřebení nejvyššího místa okolku. Proto by to měl být nejlepší bod pro zaměření na ose z . Z rozdílu referenčního profilu a naměřeného profilu potom dojde k přičtení, respektive odečtení dané hodnoty u naměřeného profilu.



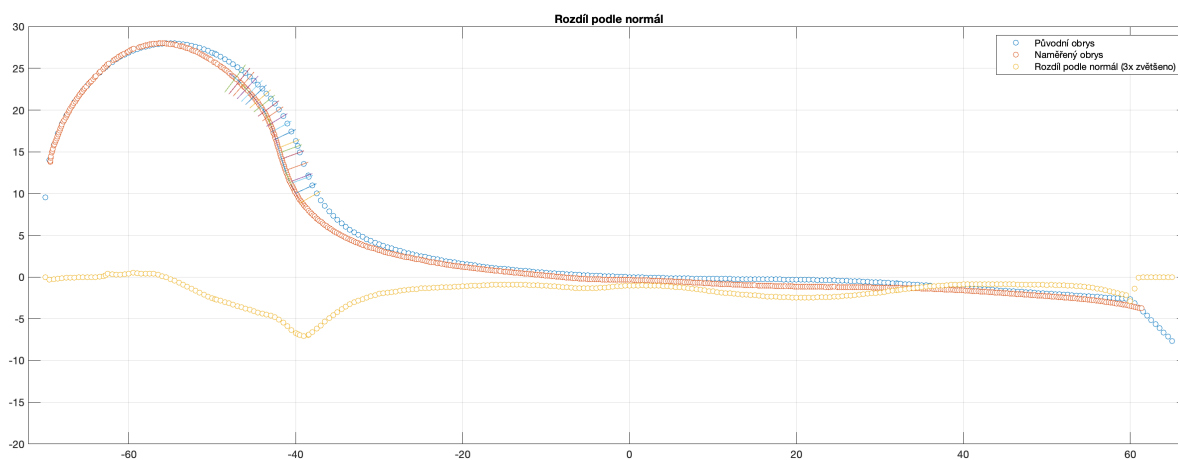
9.2 Program na určení odchylky od referenčního profilu v ose z (program – prostyrozdil.m)

Tento script stanovuje jednoduchý rozdíl výšky obrysů. Pomocí funkce *interp1* dojde k proložení referenčního a naměřeného obrysu křivkou a stanovení jejich rozdílů. Funkce *interp1* je vhodná, jelikož v sobě kombinuje několik druhů interpolace a dokáže stanovit definiční obor této funkce. Kvůli nedokonalosti měření není obrys často změřen po celé šířce. Z této funkce se poté vypočítají hodnoty z ve stejném kroku na ose y jako má referenční obrys.[27]

9.3 Program na určení odchylky od referenčního profilu podle normál z referenčního profilu (program – normaly.m)

V tomto scriptu je zavedena funkce „normaly“, která počítá vzdálenosti naměřeného profilu od referenčního profilu ve směru normál z křivky referenčního profilu. Při opotřebování profilu dochází k velkému úbytku materiálu na vnější straně okolku. V tomto místě by ale prostá odchylka profilů dobře nepopisovala probíhající děj, proto funkce měří odchylku dle normál ze zadaného referenčního profilu. Aby program byl schopen kvalitně stanovit normálu k referenčnímu profilu, byl do knihovny profilů, popsané v předchozí kapitole, zahrnut i třetí sloupec s hodnotou sklonu tečny. Z té vždy program udělá normálu a najde místo průniku s naměřeným profilem. Vytvoření normál z referenčního povrchu ukazuje Graf 1 - Rozdíl podle normál. Výsledkem této funkce je matice hodnot s prvním sloupcem s hodnotami na ose y s krokem stejným jako referenční profil a druhým se vzdálenostmi podle normál.[29]

Výsledek tohoto programu je znázorněn na Graf 1 - Rozdíl podle normál, kde modré body zobrazují referenční jízdní obrys, oranžové body jsou z naměřeného profilu a žlutý je výsledný rozdíl podle normál, který je pro názornost 3x zvětšen.

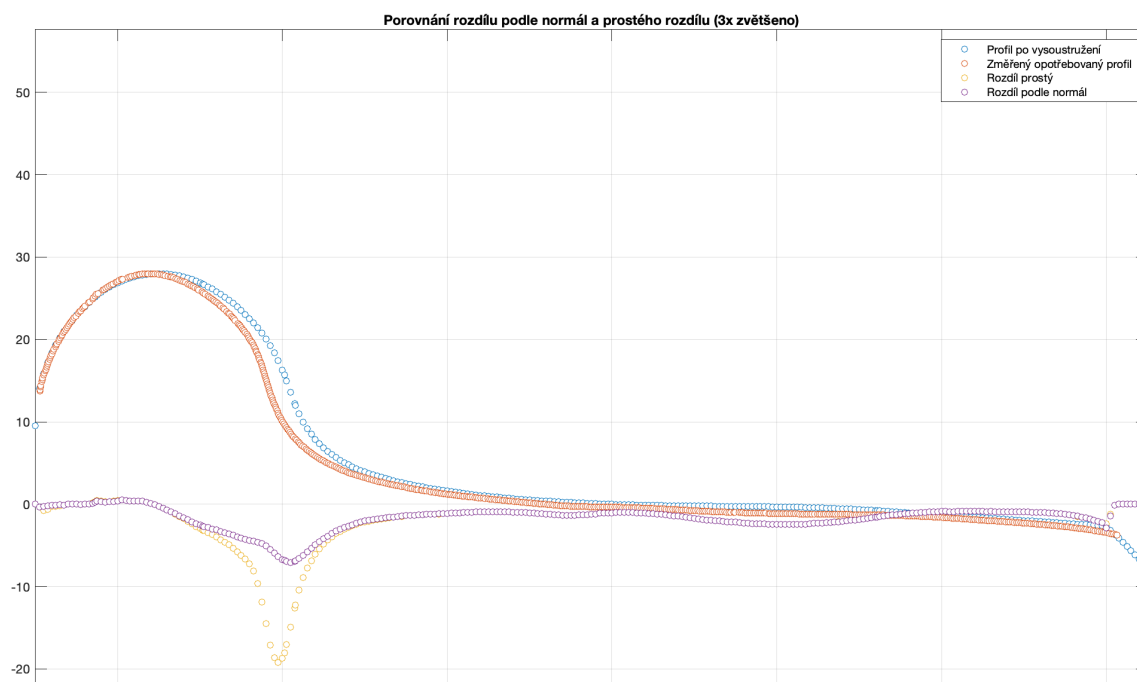


Graf 1 - Rozdíl podle normál

Srovnání obou způsobů tvorby rozdílů je znázorněn na Graf 2 - Porovnání rozdílů mezi rozdílem prostým a rozdílem podle tečen. Hlavní rozdíl těchto dvou rozdílů je v oblasti



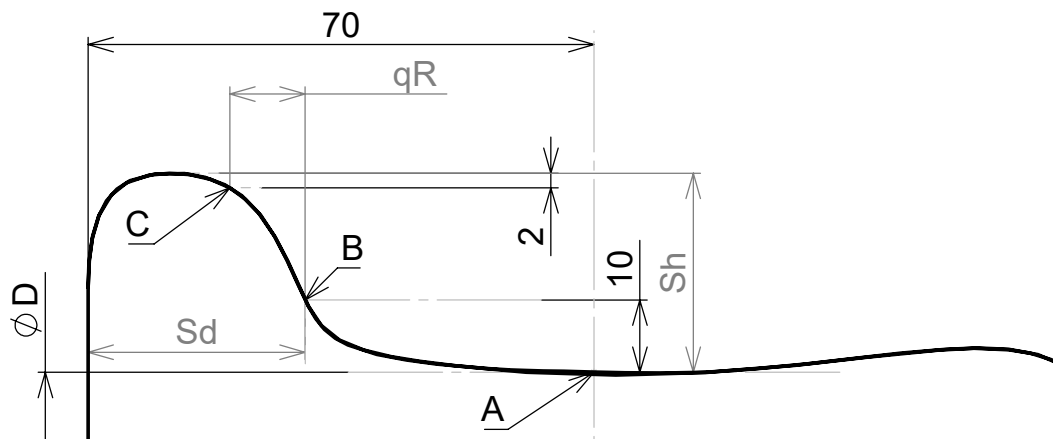
vnitřní strany okolku, kde by prostá odchylka ukazovala vysoké hodnoty odebraného materiálu, což, jak vidíme, by neodpovídalo skutečnému stavu. Ve zbytku si křivky téměř odpovídají.



Graf 2 - Porovnání rozdílu mezi rozdílem prostým a rozdílem podle tečen

9.4 Určení S_d , S_h a qR (program `sdshqr.m`)

Při stanovení S_d , S_h a qR je nutné najít souřadnice bodů A, B, C a souřadnice vrcholku okolku. Poloha těchto bodů je zřejmá z Obr. 25 - Význačné body pro určení S_d , S_h a qR . Na začátku program vytvoří interpolovanou křivku pomocí funkce `interp1`, která je implementována v MATLABu. Tuto křivku srovná do souřadného systému kola a tím si položí souřadnice bodu A do $[70;0]$. Pro stanovení S_h , která se měří v ose z, potřebuje zjistit souřadnici z vrcholku okolku. Jelikož se jedná o nejvýše položené místo celého profilu, nalezne jej funkcí `max` ze souřadnic na ose z. [27]



Obr. 25 - Význačné body pro určení S_d , S_h a qR



U bodů B a C je potřeba naleznout jejich souřadnice na ose y . Oba body jsou hledány za pomoci funkce *fzero* implementované v MATLABu. Ta hledá na dané funkci body, které se rovnají 0. Pro bod B se tedy musí křivka získaná interpolací posunout o -10 mm na ose z . Proto se bude hodnota $z = 0$ nacházet v hledaném bodu B, jehož polohu najde funkce *fzero*. Tento postup je aplikován poté i pro nalezení bodu C, jen je křivka posunuta o hodnotu $-(Sh-2)$. Tyto hodnoty jsou poté zaokrouhleny na 4 desetinná místa.

9.4.1 Kontrola přesnosti stanovení geometrických parametrů

Pro kontrolu programů na stanovení Sd , Sh a qR jsem využil data, která jsem později analyzoval. Data obsahovala nejen změřený profil, ale i hodnoty stanovené přístrojem Miniprof. Kontrolu jsem provedl na přibližně 300 profilech. U všech měření se podařilo, aby program ukazoval stejné hodnoty jako hodnoty stanovené přístrojem. Tato přesnost je tak zajištěna na 4 desetinná místa, která ukazuje přístroj.

9.5 Stanovení Th a polohy žlábků

Při stanovení hloubek žlábků, popsaných v kapitole Hloubka opotřebení do jízdni plochy, je třeba nalézt souřadnice nejnižšího místa žlábků a nejvyššího místa na vnějším čele kola. K hledání žlábků jsem zvolil metodu hledání lokálních extrémů funkcí. Díky funkci *fminsearch*, která hledá minima funkce a předpisem interpolované křivky, je možné najít místo žlábků a místo nejvyššího bodu. Díky tomu je možné potom stanovit velikosti Th a) a Th b). Pokud nenalezne žlábek nebo vrchol, stanoví hloubku žlábků jako 0. To stejné udělá s polohou žlábků.

9.5.1 Kontrola přesnosti stanovení Th

Pro kontrolu hodnoty Th b) bylo využito stejných dat jako při kontrole Sd , Sh a qR . Přístroj stanovuje hodnotu hloubky společně s ostatními hodnotami. Zajímavé je, že přístroj hodnotu hloubky žlábků stanovuje i do plusových hodnot. To z pohledu hloubky nedává smysl, neboť není možné stanovit místo, kde je žlábek nejhlubší a kde je vrchol. Po pokusu na přibližně 300 profilech se ukázalo, že v drtivé většině případů (cca 80 %), program správně určí hodnotu hloubky žlábků. Průměrná chyba se pohybuje okolo $0,003 \text{ mm}$ a pochází z již popsané kladné hodnoty hloubky žlábků pohybující se okolo $0,005 \text{ mm}$. Takto dosaženou přesnost jsem vyhodnotil jako dostatečnou.

Polohu žlábků neboli souřadnici roviny v ose y , ve které je průměr kola nejmenší, není možnost přímo kvantitativně zkontrolovat. Jelikož z ní ale vychází hloubka žlábků, je možné s vysokou pravděpodobností tvrdit, že program polohu určuje spolehlivě.

9.6 Určení ploch odebraného materiálu (program plochy.m)

Pro další popis opotřebení profilu jsem vytvořil program plochy. Tento program stanoví velikost ploch, kde materiál vůči referenčnímu profilu chybí a kde naopak přebývá.



Na začátku program stanoví hranice integrace, části, kde nejsou naměřeny/definovány oba profily, měřit nebude. Poté funkcí *interp1* určí rozdíl obou profilů. Díky tomu se funkce rozdílu bude rovnat nule v místech křížení těchto obrysů. Tyto body najde funkce „bodynula“ a použije je na stanovení velikosti oblastí, kde materiál chybí a kde naopak přebývá pomocí funkce *integral*, která je implementována v MATLABu.[28][30]

9.6.1 Kontrola programu na určení odebraného materiálu

Kontrolu programu na určení odebraného materiálu jsem provedl na cca 300 profilech. U všech jsem spočítal odebraný a přemístěný materiál. Ten by se v ideálním případě měl rovnat rozdílu integrálů referenčního profilu a naměřeného profilu. Tento rozdíl jsem získal díky MATLABové funkci *integral*. [30]

Maximální odchylka byla zjištěna $0,006 \text{ mm}^2$ a průměrná chyba byla $0,0001 \text{ mm}^2$. Tato chyba může být způsobena v situaci, kdy se naměřený profil často kříží s referenčním profilem nebo drsností naměřeného profilu.



10 Analýza naměřených dat

Data ke zpracování byla poskytnuta společností METRANS a.s. provozující nákladní dopravu ve střední Evropě. Data byla dodána v podobě jednotlivých souborů z každého měření, rozdělena do složek podle měsíce a roku měření. Data byla z období 05/2019 až 03/2024 a celkem se jednalo o 4272 souborů typu *.mmw*.

V každém souboru byla uložena data z měření všech kol lokomotivy. Informace, které jsem ze souborů použil, byly následující:

- souřadnice profilu každého kola
- označení lokomotivy
- datum měření
- průměr kola
- proběh lokomotivy
- parametry *Sd*, *Sh*, *qR* a *Th* změřené programem

Do jednoho souboru se mi tedy podařilo shromáždit 33 928 jednotlivých profilů z celkem 228 lokomotiv různých čísel. Pro každou lokomotivu jsem poté provedl výpočet četnosti měření. Přibližně polovina lokomotiv byla změřena jednou, maximálně dvakrát, a proto byla z dalšího zpracování vypuštěna. Z výsledků četnosti jsem pro potřeby této práce vybral celkem 8 lokomotiv z řad 383 a 386, které jsem zpracovával dál. Označení lokomotiv vidíme v Graf 3 - Průběh *Sd*, *Sh*, *qR* a *D* na kole 11 8 různých lokomotiv. Tyto lokomotivy měly často více jak 35 různých měření. Jsou to stroje různého stáří, různých oblastí používání a různého proběhu.

Pro každou z těchto lokomotiv jsem si vypracoval soubor typu *.csv*, do kterého jsem ukládal informace jak vypočtené, tak získané. V Tabulka 4 - Struktura souborů se zpracovanými daty vidíme strukturu pro jeden naměřený profil a profily z jedné lokomotivy se v tomto systému skládají postupně za sebe do jedno souboru.

Číslo řádku/stoupce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		Den	Měsíc	Rok	Číslo Loko.	Nájezd	Průměr kola	Číslo podvozku	Náprava	Kolo (strana)	Sh naměřeno
2	y [mm]										
3	z [mm]										
4	vzdálenost prostá [mm]										
5	vzdálenost podle normál [mm]										

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Sd</i> naměřeno	<i>qR</i> naměřeno	<i>Th</i> naměřeno	<i>Sh</i> určeno	<i>Sd</i> určeno	<i>qR</i> určeno	<i>Th</i> a)	<i>Th</i> b)	<i>Th</i> c)	Poloha žlábků	Změna poloměru	Plocha chybějící	Plocha přebývající

Tabulka 4 - Struktura souborů se zpracovanými daty



V prvních 14 sloupcích prvního řádku a řádcích 2 a 3 jsou uložena data získaná z poskytnutých dat. Další informace byly doplněny dalším zpracováním popsáním v předchozích kapitolách.

Dále jsem provedl kontrolu, aby žádné měření nebylo duplicitní. Tímto jsem u každé lokomotivy vyřadil cca 2 měření, jelikož se jednalo buď o jedno měření, které bylo duplicitní nebo o měření ve stejné hodnotě nájezdu.

10.1 Referenční jízdní obrysy

Referenční profily u obdržených dat byly různé. Firma METRANS a.s. při reprofilaci opatřuje kola lokomotiv profilem S1002/h28/e31/sklon, 6.7 %. Bohužel velká část naměřených kol měla referenční profil jiný. Stalo se tak, jelikož výrobce lokomotiv dodává lokomotivy s jiným profilem a při výměně dvojkolí za nové, je zde také jiný profil.

V době psaní práce nebyl možný přístup k datům o proběhlých reprofilacích, kdy došlo k výměně dvojkolí a jaké profily byly na lokomotivě při dodání a jaké na novém dvojkolí. Proto nebylo možné provést některá vyhodnocení na celém měřeném nájezdu lokomotiv, ale jen v oblasti, kde byl zaručen použitý profil. Tyto informace byly zjistitelné z vykreslení závislosti průměru kola na nájezdu, ale nebylo to možné udělat hromadně pro každé měření. Pro další podrobnou analýzu dat jsou tyto informace nezbytné, poněvadž bez těchto dat lze jen odhadovat, kdy přesně reprofilace proběhla a z jakého důvodu.

10.2 První vykreslení dat

Po rozdělení, vyřídění a vybrání 8 lokomotiv jsem doplnil napsanými programy další hodnoty. Poté jsem se rozhodl vykreslit základní rozměry profilů v závislosti na nájezdu lokomotivy. Výsledky jsou znázorněny v Graf 3 - Průběh S_d , S_h , q_R a D na kole 11 8 různých lokomotiv.

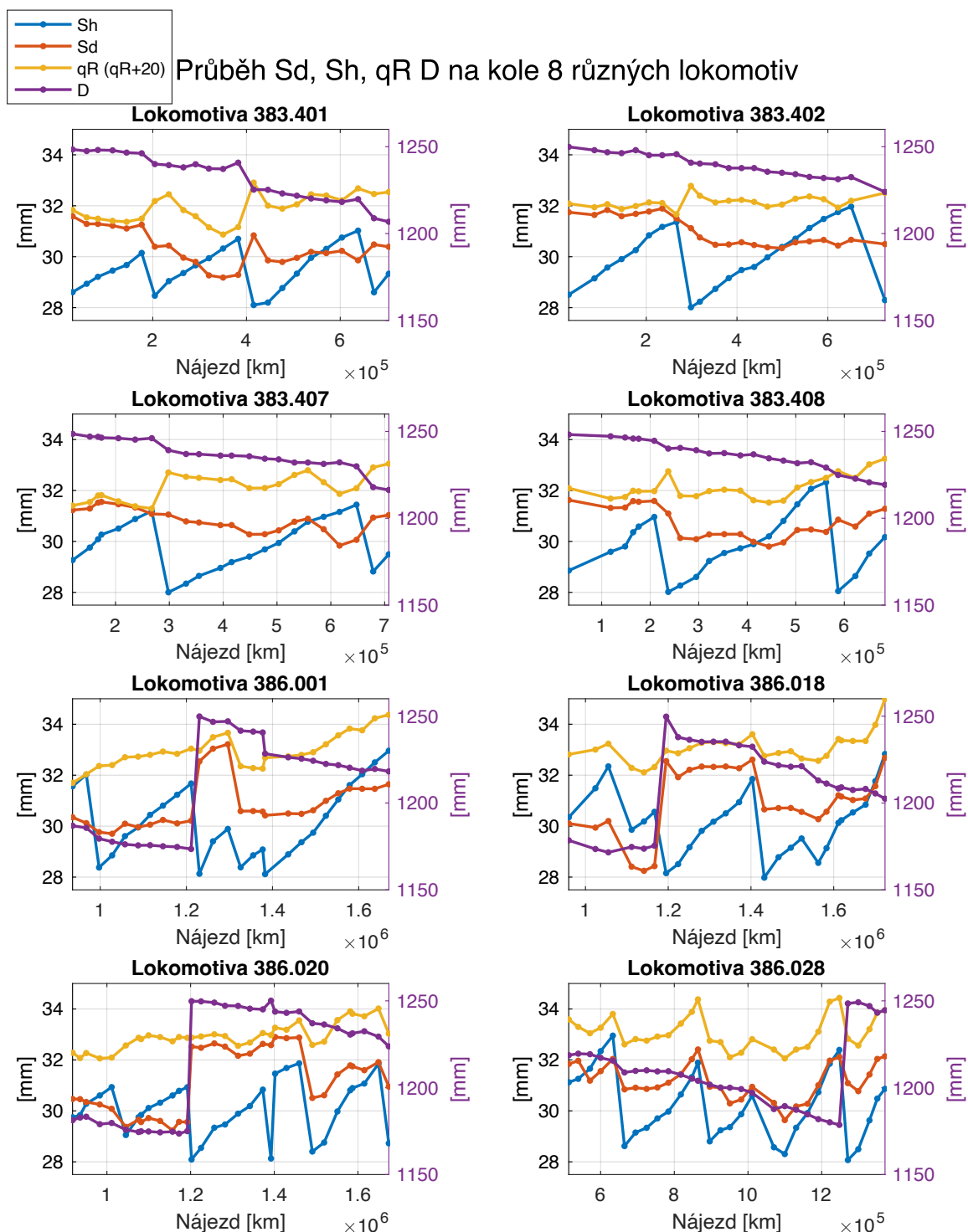
Každý podgraf vykresluje závislost rozměrů S_d , S_h , q_R a D pro jednu lokomotivu. S_d a S_h jsou vynášeny podle měřítka vlevo. Hodnota q_R je vynášena na stejné ose, ale je posunuta o 20 mm vzhůru. Hodnota průměru kola D je vynesena dle osy vpravo.

Z průběhů S_h vidíme, že často pozvolně narůstá až do hodnoty 32 mm, kdy je potřebná reprofilace kvůli maximální povolené hodnotě. Někdy nedojde k nárůstu S_h až do limitní hodnoty, a přesto došlo k reprofilaci. To může být způsobeno tím, že nějaká jiná hodnota byla překročena nebo došlo k jinému poškození dvojkolí, vyžadujícímu reprofilaci např. plošce, vydrolenině nebo byly při defektoskopii indikovány trhlinky.

U hodnoty S_d je průběh výrazně složitější. Tento parametr se s nájezdem nemění periodicky jako hodnoty S_h , ale hlavní důvod jeho výkyvů, je reprofilace nebo výměna dvojkolí za nové. Dále může hodnotu S_d ovlivňovat druh trati. Pokud je trať obloukovitá, tak se šířka okolku zmenší kvůli většímu opotřebení okolku. U prvních 4 lokomotiv zůstává téměř konstantní



a nemění se s nájezdem ani reprofilací. U dalších 4 lokomotiv to takto není. Parametr Sh i u těchto vykazuje stejný „zubový“ průběh, i když s jinou rychlostí změny a s jinou četností reprofilace. Parametr Sd se mění výrazněji než u předchozích parametrů. To je způsobeno



Graf 3 - Průběh Sd , Sh , qR a D na kole 11 8 různých lokomotiv

výměnou dvojkolí za nové. Poslední 4 lokomotivy v přehledu jsou starší a mají vyšší proběh a tak muselo být přistoupeno k výměně dvojkolí, což se u prvních 4 lokomotiv ještě nestalo.



U průběhu qR si můžeme všimnout, že kopíruje tvar Sd . Mění se velikost mezery, kterou mají mezi sebou a z těchto grafů bychom mohli říct, že spolu korelují. Velikost mezery mezi průběhy těchto dvou veličin, můžeme předpokládat, se mění podle použitého referenčního obrysu, jelikož se mění při reprofilaci nebo výměně dvojkolí.

Z tohoto základního srovnání lokomotiv jsem se rozhodl použít pouze 383.402 a 386.028. Tyto lokomotivy jsem vybral kvůli dostupnosti dat, z velké četnosti měření a kvůli jejich hladkému průběhu.

10.1 Závislosti parametrů

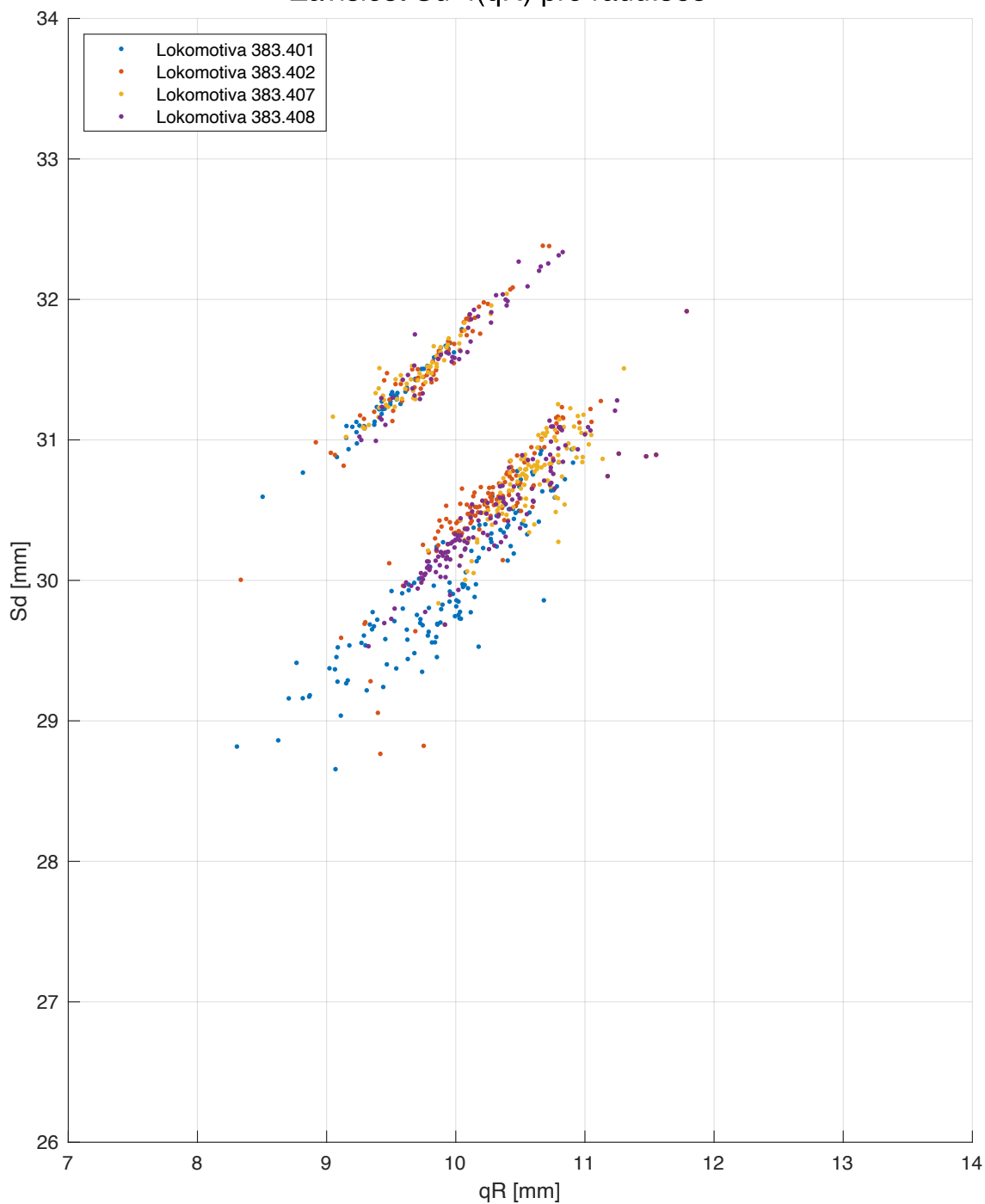
Z předpokladu provázání hodnoty qR a Sd jsem pro lokomotivy řad 383 a 386 vypracoval závislost mezi Sd a qR . Tyto závislosti jsou znázorněny na Graf 4 - Závislost $Sd = f(qR)$ pro řadu 383 a Graf 5 - Závislost $Sd = f(qR)$ pro řadu 386.

Na nich jsou vidět šikmé pruhy. Tyto pruhy pravděpodobně odpovídají využívaným referenčním profilům na naměřených kolech. Poloha tohoto pruhu na ose y pravděpodobně závisí na výchozí šířce okolků. Šířka tohoto pruhu pravděpodobně odpovídá rozdílným situacím během provozu a přechodem z rovinatých tratí na obloukovité a naopak. Na Graf 4 - Závislost $Sd = f(qR)$ pro řadu 383 jsou tyto viditelné pruhy dva. Na měřených datech se totiž projevuje první profil, který byl dodán na lokomotivě výrobce a potom druhý, na který bylo vozidlo reprofilováno. Na Graf 5 - Závislost $Sd = f(qR)$ pro řadu 386 není toto tak zřejmé. Pravděpodobně jde o důsledek používání několika profilů, a to nejen dvou výše popsaných, ale i profilu, který byl na nových kolech po výměně dvojkolí.

Bohužel momentálně není možné tuto závislost exaktně popsat a objasnit, jelikož informace o referenčních profilech a jejich použití nejsou k dispozici. Dále by bylo potřeba propojit společně měření, které byly měřeny postupně po reprofilaci, aby se vyloučilo jiné chování a potvrdil předpoklad, že hodnoty Sd a qR jsou takto přímo provázané.



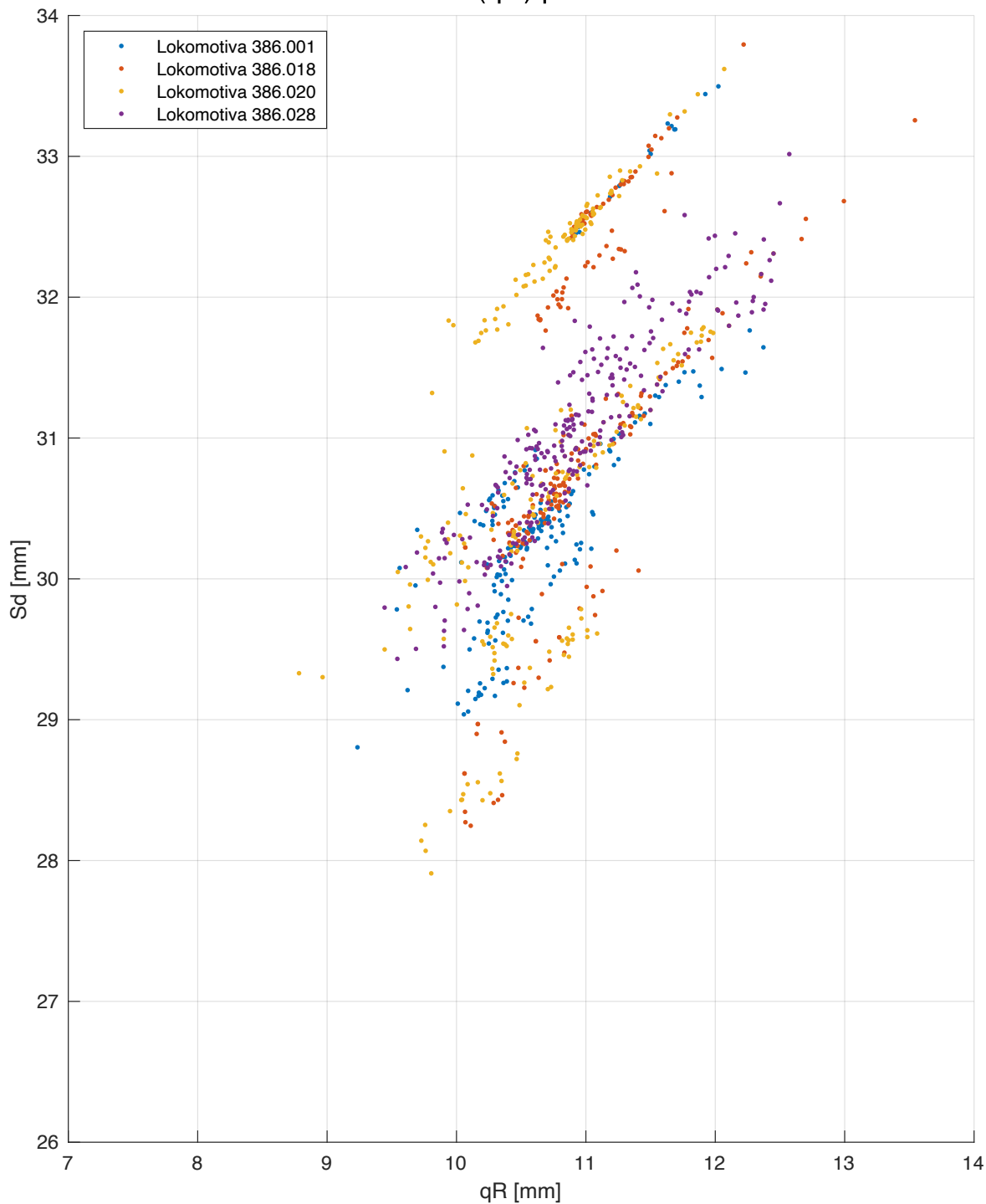
Závislost $S_d=f(qR)$ pro řadu:383



Graf 4 - Závislost $S_d = f(qR)$ pro řadu 383



Závislost $S_d=f(qR)$ pro řadu:386



Graf 5 - Závislost $S_d = f(qR)$ pro řadu 386

10.2 Analýza dat lokomotivy 383.402

Jako první vykreslení dat jsem zvolil zobrazení průběhu S_d , S_h a D na všech kolech lokomotivy. Tyto grafy jsou znázorněny na Graf 6 - Průběh S_d , S_h a D všech kol lok. 383.402, a je vidět, že za měřené období proběhly dvě reprofilace dvojkolí. Dále vidíme, že hodnoty parametru S_h na kolech náprav 1 a 4 dosahují vyšších hodnot, než parametry ve stejných měřeních na nápravách 2 a 3. Jedná se o nevýznamný nárůst.



Hodnota S_d byla na začátku jiná (pravděpodobně $e = 32 \text{ mm}$) a po první reprofilaci byla použita $e = 31 \text{ mm}$. Z průběhů hodnoty S_d je postřehnutelné, že průběhy na kolech náprav 1 a 4 jsou si průběhově podobné a stejně tak u náprav 2 a 3.

U kola 22 došlo pravděpodobně ke dvěma chybným měřením okolo 200 000 km. Jsou zde v průběhu S_d dvě velké změny, které se nepodařilo nijak vysvětlit. Další zajímavostí u kola 22 je výrazný pokles S_d v druhé půli měřeného intervalu. Tento pokles nevidíme na žádném jiném kole lokomotivy a mohl být způsoben rozdílem průměrů levého a pravého kola. Dalším možným důvodem by mohla být nefunkčnost mazání okolku na tomto kole a tím jeho větší opotřebení.

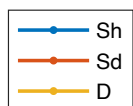
Pro další analýzu jsem u této lokomotivy vybral oblast mezi první a druhou reprofilací, a to z důvodu, že byl znám referenční profil.

10.2.1 Analýza jízdního profilu kola v intervalu od 298 510 km do 651 400 km

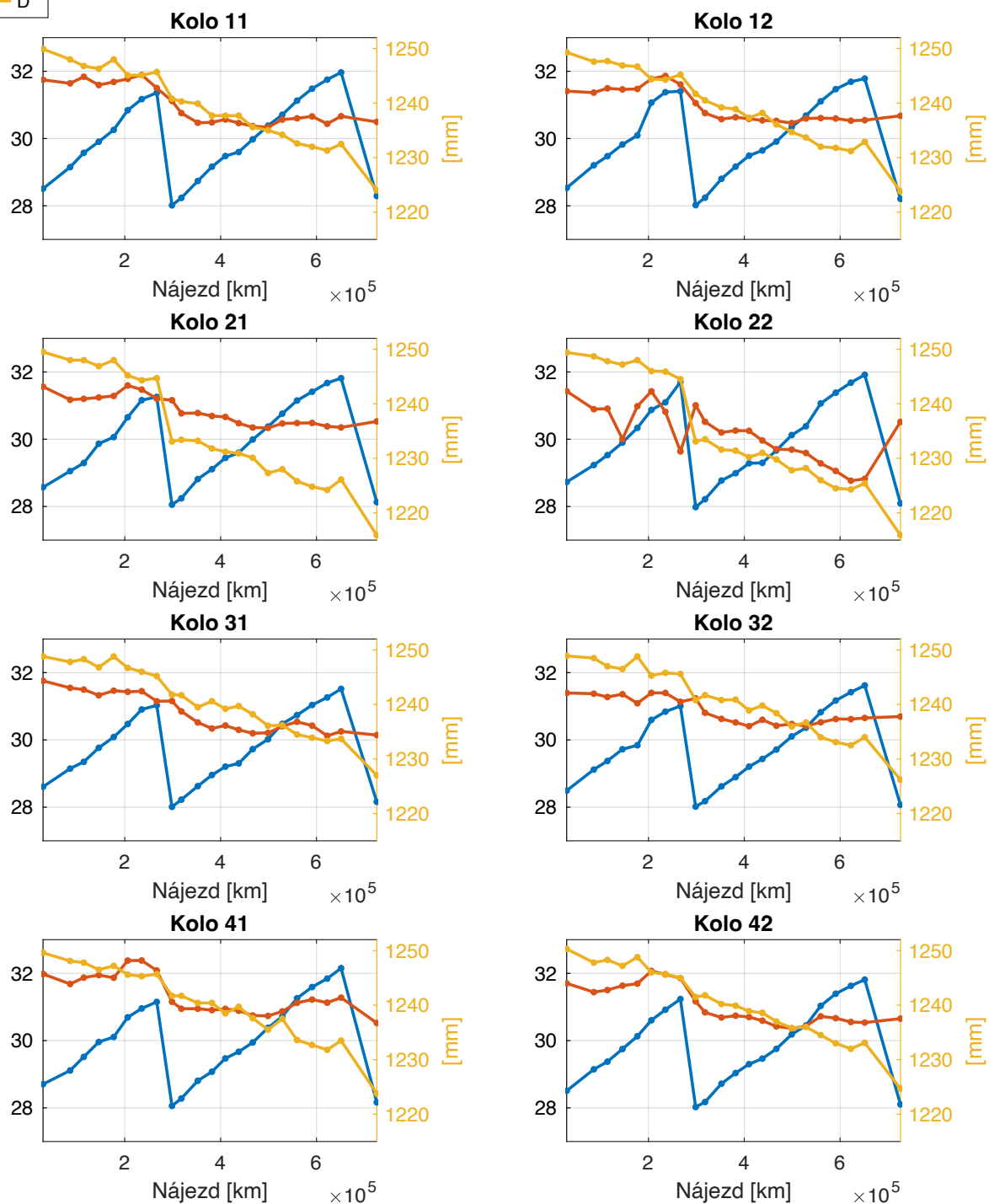
Součástí další analýzy bylo vykreslení parametrů S_d , Sh , Th a), qR , D , změna poloměru a přebývající a chybějící materiál viditelné na Graf 7 - Změna parametrů jízdního obrysu kola 11 lok. 383.402. Další, co jsem k tomuto intervalu zobrazil, byl průběh tvaru profilu a průběh vzdálenosti podle normál na Graf 8 - Změna jízdního obrysu kola a rozdílu podle normál lok. 383.402. K tomu, abych mohl dobře popsat změnu v různých místech profilu, jsem provedl řezy, které jsou znázorněny na Graf 9 - Závislosti hodnoty vzdálenosti podle normál kola 11 lok. 383.402.

Z grafů na Graf 7 - Změna parametrů jízdního obrysu kola 11 lok. 383.402 můžeme pozorovat, že na začátku popisovaného intervalu byla lokomotiva do okolku více opotřebována, jelikož došlo ke snížení S_d a z řezu $y = -38 \text{ mm}$ vidíme z počátku rychlejší propad než ve zbytku intervalu. Také můžeme usuzovat, že vozidlo během tohoto intervalu jezdilo na kombinaci obloukovitých a rovinatých tratích. Pokud by vozidlo jezdilo na jednom z extrémů, došlo by buď k výraznému opotřebení do okolku nebo ke vzniku žlábků. Ani k jednomu nedošlo a profil byl rovnoměrně opotřebovan po celou dobu užívání, pouze na konci došlo k jeho reprofilaci, pravděpodobně kvůli limitní výšce okolku.

Hodnota chybějícího materiálu rostla konstantně a ke konci došlo ke zpomalení tohoto růstu. Ke konci popisovaného intervalu začalo vozidlo pravděpodobně jezdit na rovinatých tratích. Usuzuji tak nejen z průběhu chybějícího materiálu, ale i ze změny poloměru při aktuální reprofilaci a průběhu Sh , které se ke konci více zplošťují. V řezech rozdílu podle normál v polohách $y = 10 \text{ mm}$ a $y = 45 \text{ mm}$ je vidět, že ke konci docházelo ke vzniku žlábků z důvodu menšího opotřebení jízdní plochy u vnějšího čela kola.



Průběh Sd, Sh a D všech kol lok.383.402

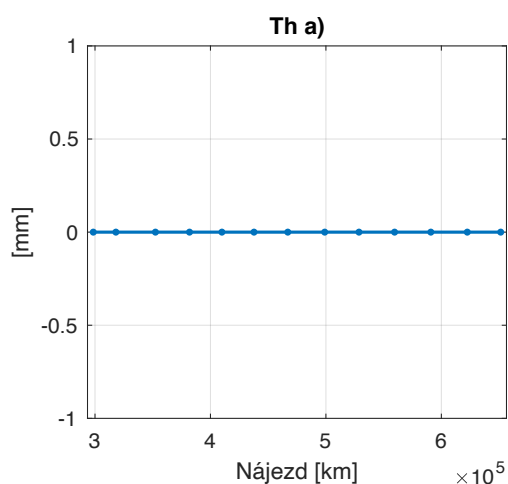
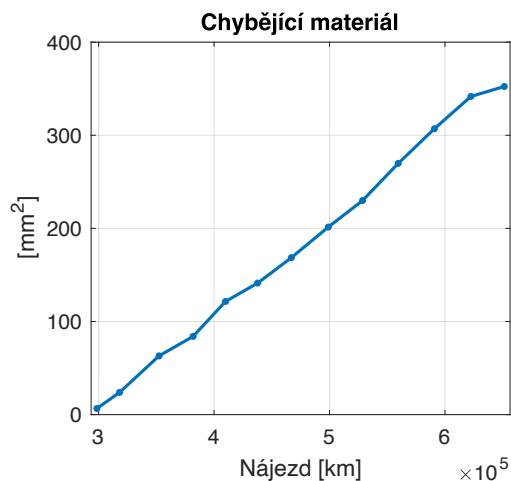
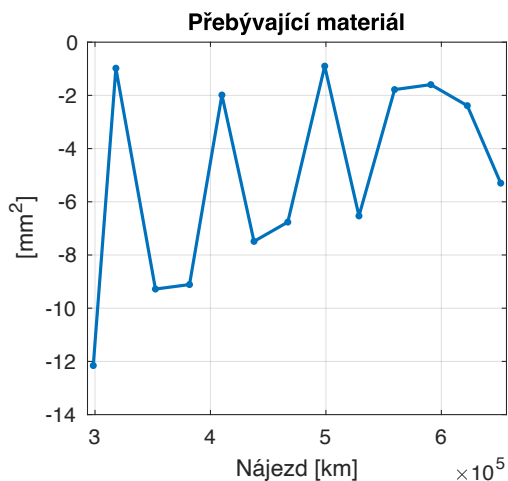


Graf 6 - Průběh Sd, Sh a D všech kol lok. 383.402

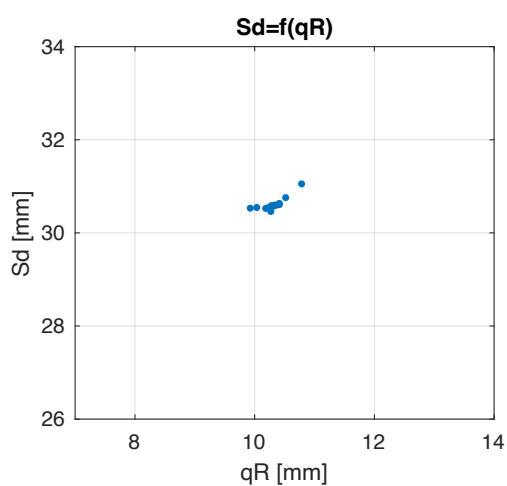
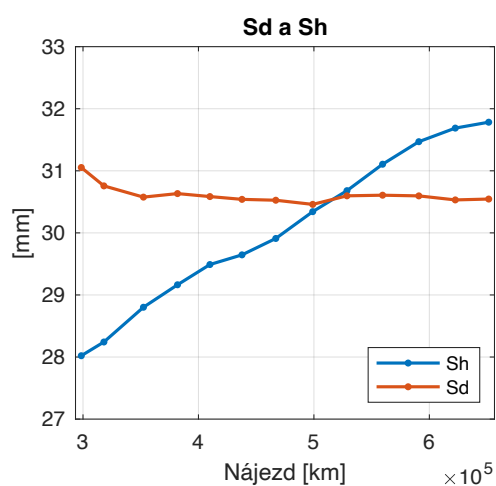
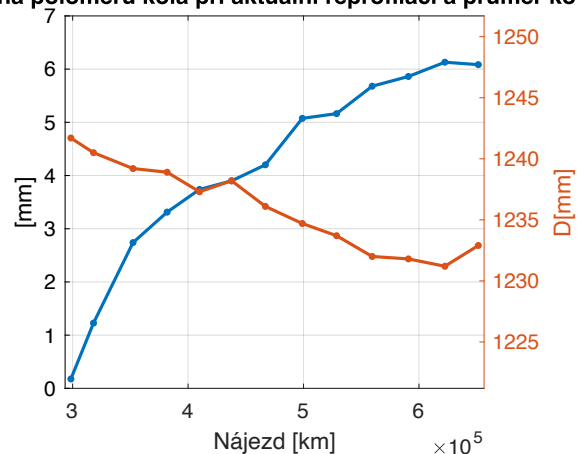
Z Graf 10 - Závislost mezi průměrem a nájezdem lok. 383.402 můžeme pozorovat zajímavý jev. Při první reprofilaci došlo k velkému zmenšení kol náprav č. 2. Stavba řady 383 dovoluje, aby dvojkolí ve stejném podvozku měly rozdílné průměry kol. Momentálně se lze jenom domnívat, co tento odskok způsobilo. Je možné, že to bylo vynuceno vadou jízdni plochy, defektem nebo jinými okolnostmi.



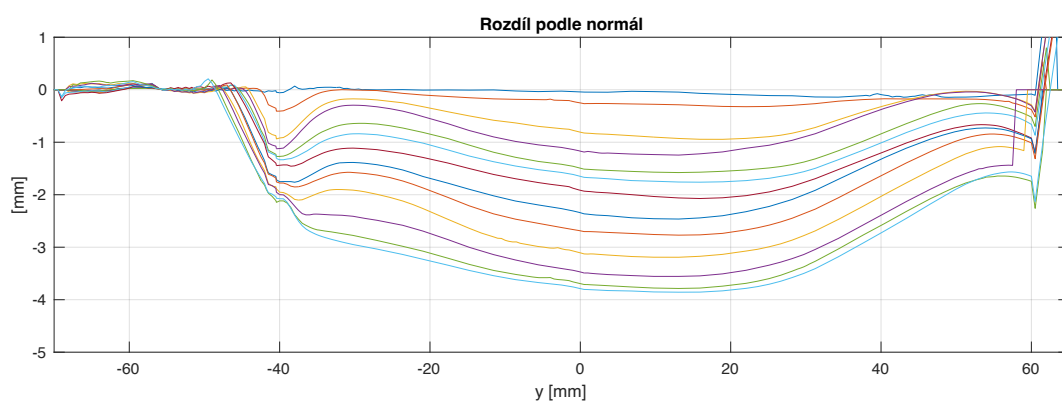
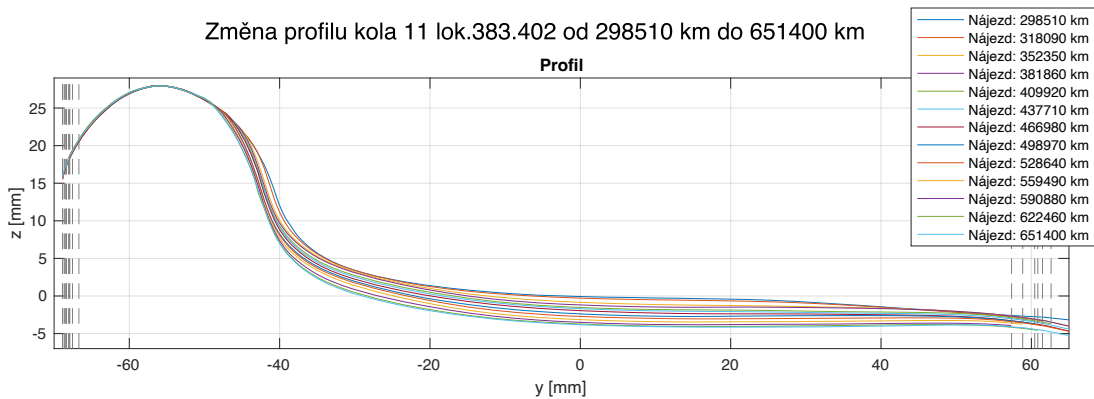
Změna parametrů jízdního profilu kola 11 lok.383.402 od 298510 km do 651400 km



Změna poloměru kola při aktuální reprofilaci a průměr kola

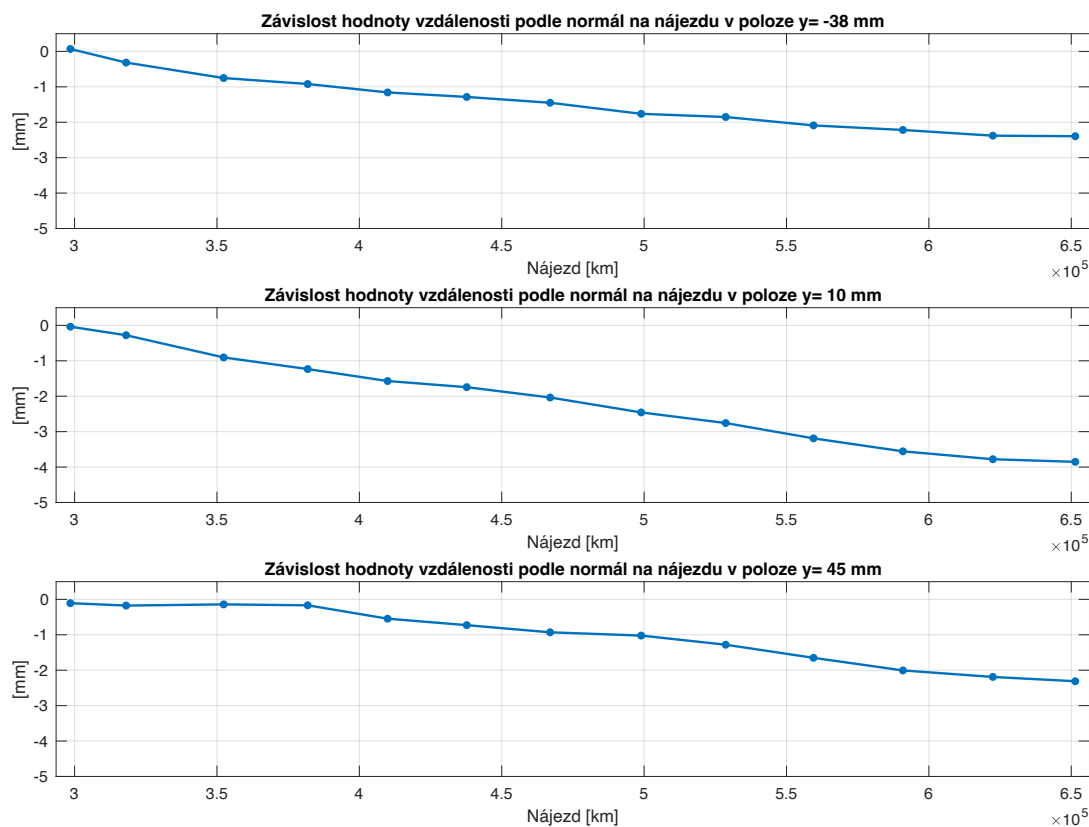


Graf 7 - Změna parametrů jízdního obrysu kola 11 lok. 383.402

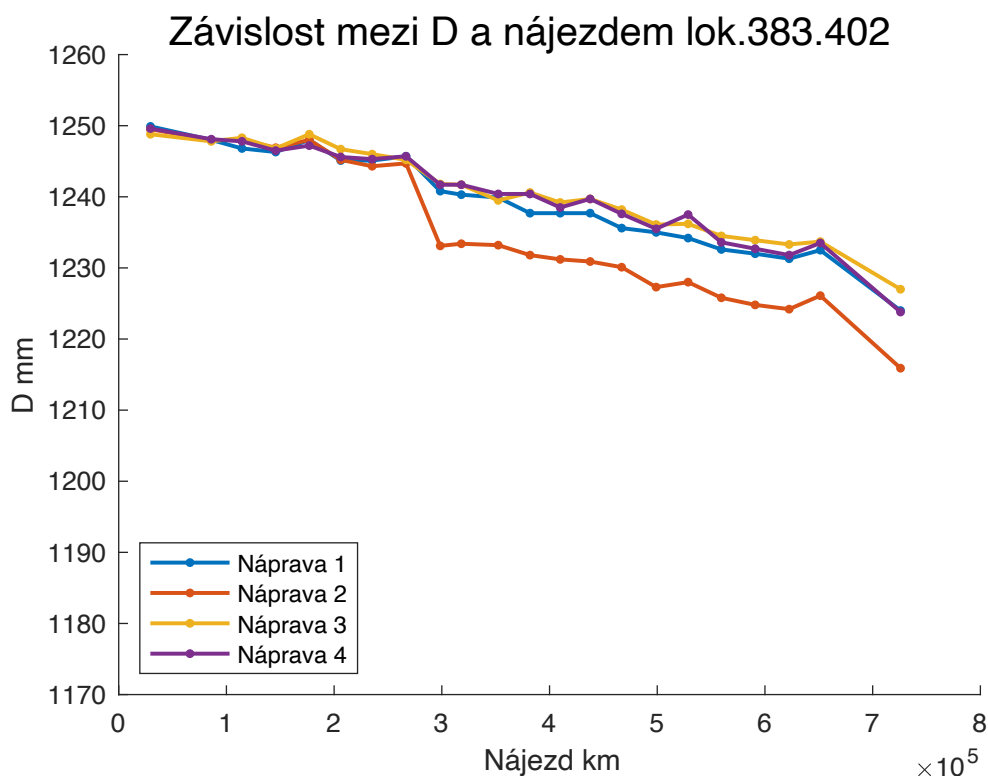


Graf 8 - Změna jízdního obrysu kola a rozdílu podle normál lok. 383.402

Závislosti hodnoty vzdálenosti podle normál na nájezdu kola 11 lok.383.402 od 298510 km do 651400 km



Graf 9 - Závislosti hodnoty vzdálenosti podle normál kola 11 lok. 383.402

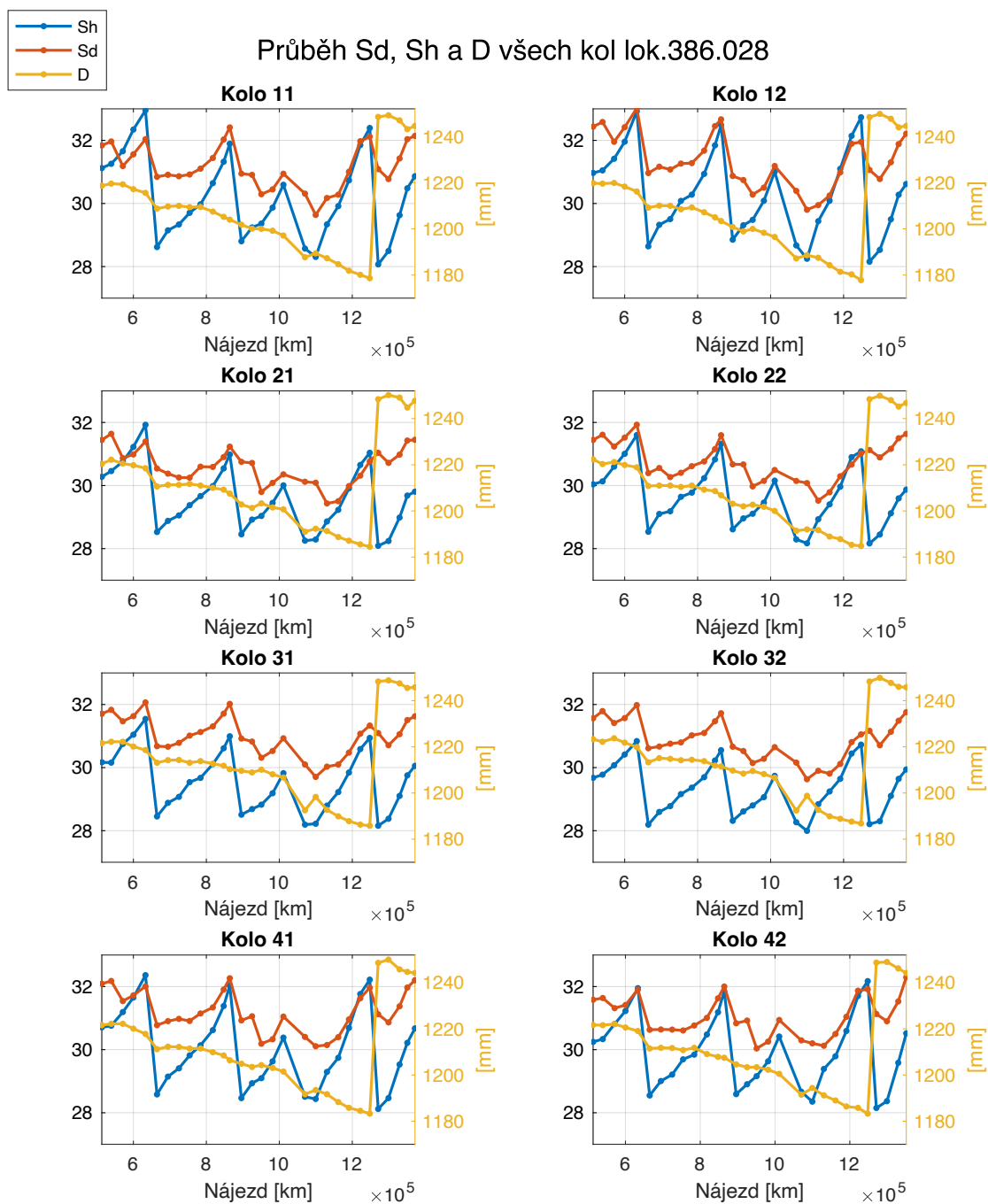


Graf 10 - Závislost mezi průměrem a nájezdem lok. 383.402

10.3 Analýza dat lokomotivy 386.028

Pro tuto lokomotivu jsem provedl analýzu za pomoci stejných typů grafů jako u předchozího stroje. Z průběhu S_d , S_h a D na Graf 11 - Průběh S_d , S_h a D všech kol lok. 386.028 je zřejmé, že za měřený úsek došlo k výměně dvojkolí a pravděpodobně ke 3 reprofilacím. Dále můžeme zřetelně vidět, že na kolech první a čtvrté nápravy hodnoty dosahují vyšších hodnot než na nápravách 2 a 3.

Průběh S_h má, jako u minulé lokomotivy, stejný průběh s reprofilací po cca 230 000 km. Průběh S_d je jiný než u předchozí lokomotivy. V předešlém případě zůstával konstantní, zatímco zde se mění periodicky společně s S_h . Obzvláště těsně před reprofilací společně s S_h prudce stoupá. I tento prudký růst se také omezuje jen na nápravy 1 a 4. U náprav 2 a 3 se vyskytuje také, ale není tak markantní. Dále se můžeme domnívat, proč bylo přistoupeno k reprofilacím. Zatímco okolo 600 000 a 900 000 km došlo k reprofilacím pravděpodobně z důvodu vysokého okolku, tak to stejné neplatí o třetí reprofilaci. Zde S_h nedosahuje limitních hodnot, a to stejné platí pro S_d . Dále tam také vidíme velký skok na průměru kola, což naznačuje velký odběr materiálu, a to na všech nápravách.



Graf 11 - Průběh Sd, Sh a D všech kol lok. 386.028

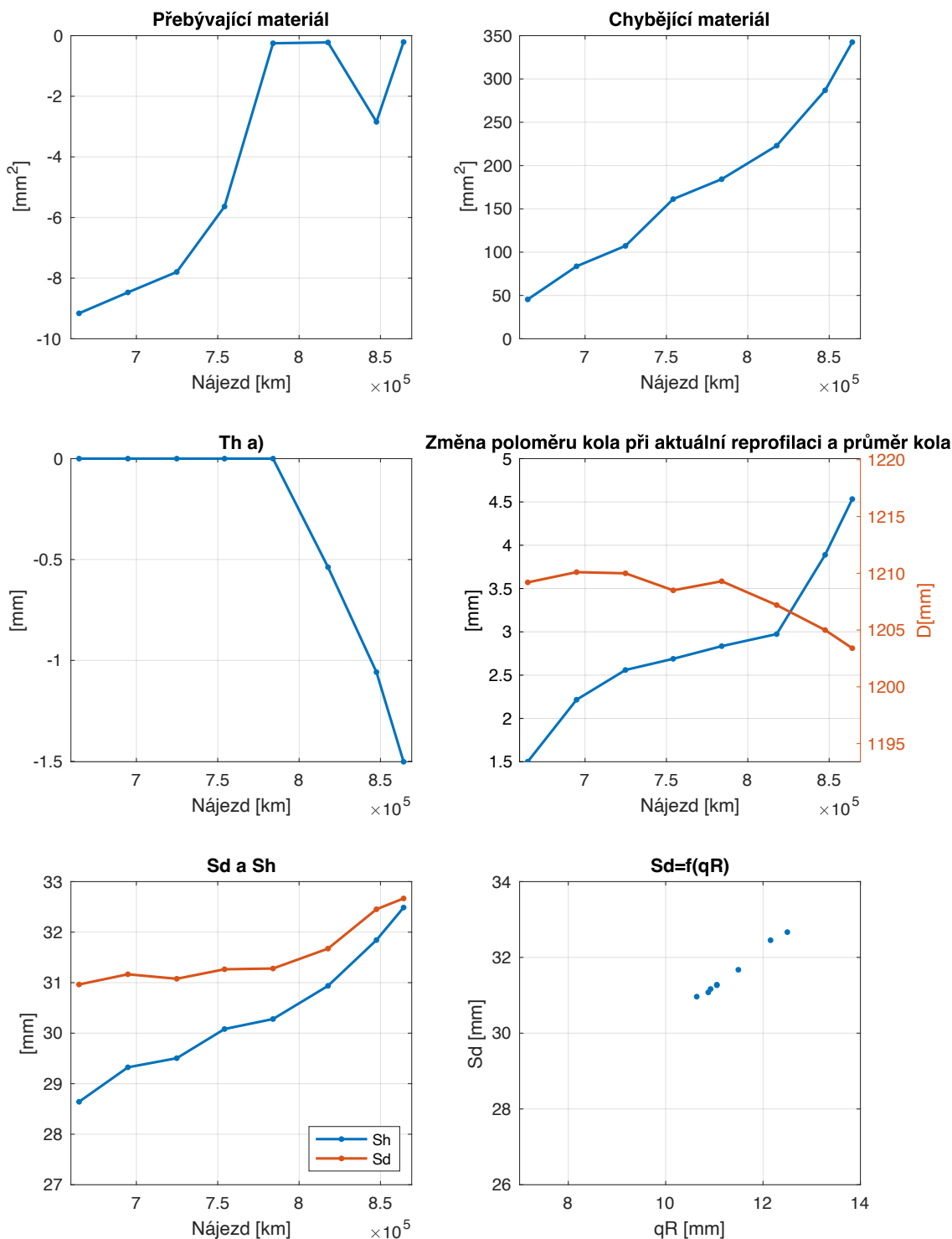
10.3.1 Analýza jízdniho profilu kola v intervalu od 664 780 km do 864 200 km

Pro další zkoumání jsem vybral interval mezi první a druhou reprofilací, pro které jsem vypracoval další grafické vyhodnocení. Pro tuto lokomotivu můžeme pozorovat výrazné opotřebení do jízdni plochy, které vede ke vzniku žlábků. Ten nevzniká ihned, ale až po určitém proježdění jízdni plochy. Okolok se naopak, jak vidíme z Graf 13 - Změna profilu a rozdílu podle normál kola 11 lok. 386.028, neopotřeboval téměř vůbec. I přesto, že zde byl jiný druh opotřebení, křivka chybějícího materiálu vypadá podobně a dosahuje ve výsledku podobné hodnoty a to 350 mm^2 , ale až po výrazně delším nájezdu. Zatímco u první lokomotivy byl nájezd mezi reprofilacemi cca 200 000 km, u tohoto stroje to bylo přes



350 000 km. Průběh Sh je zde podobný jako u předchozího stroje. Průběh Sd je ale jiný a napovídá, že vozidlo jezdilo po rovinatých tratích, kde nebylo opotřebováno do okolku, ale do jízdni plochy. Zajímavý je také průběh D , který se ze začátku vůbec neměnil. To pravděpodobně bude způsobeno nepřesností měření.

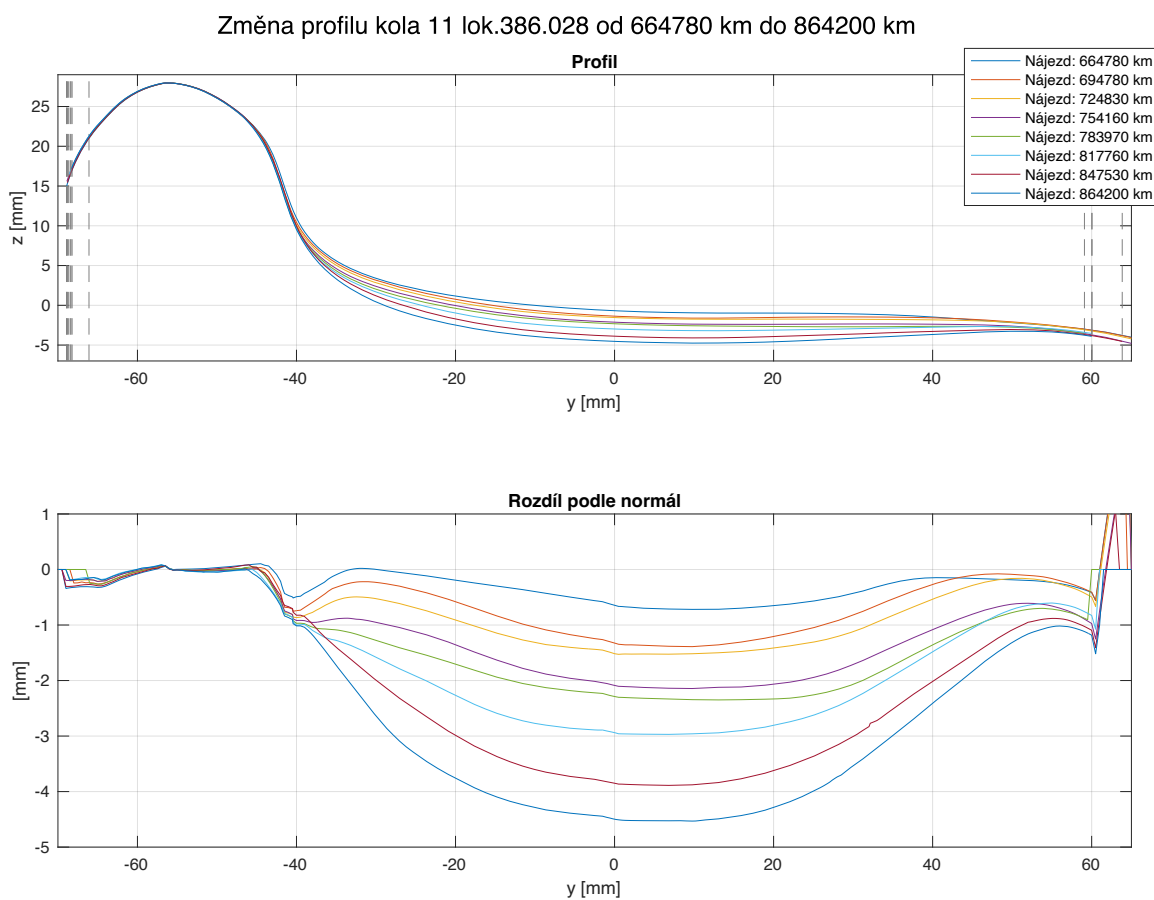
Změna parametrů jízdniho profilu kola 11 lok.386.028 od 664780 km do 864200 km



Graf 12 - Změna parametrů kola 11 lok. 386.028



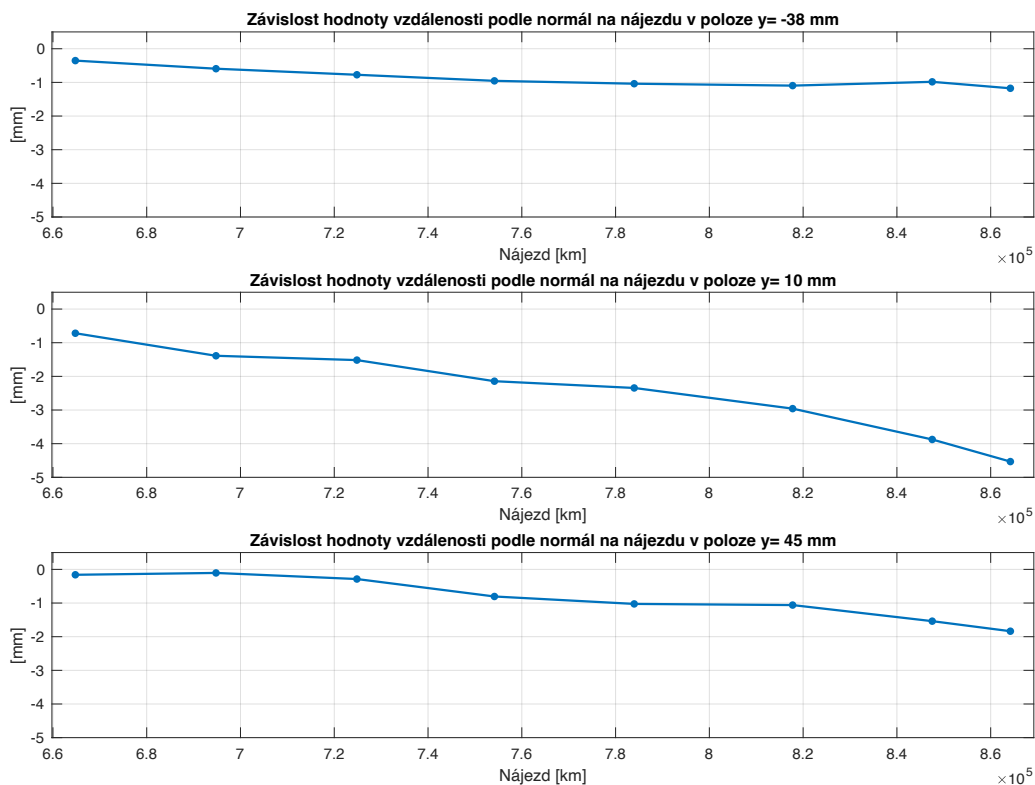
Na Graf 15 - Závislost průměru kol náprav na nájezdu lok. 386.028 jako u předchozího stroje nevidíme odskok průměru jedné nápravy. U lokomotivy této řady je nutné, aby k většímu rozdílu nedošlo z důvodu jiné konstrukce pohonu.



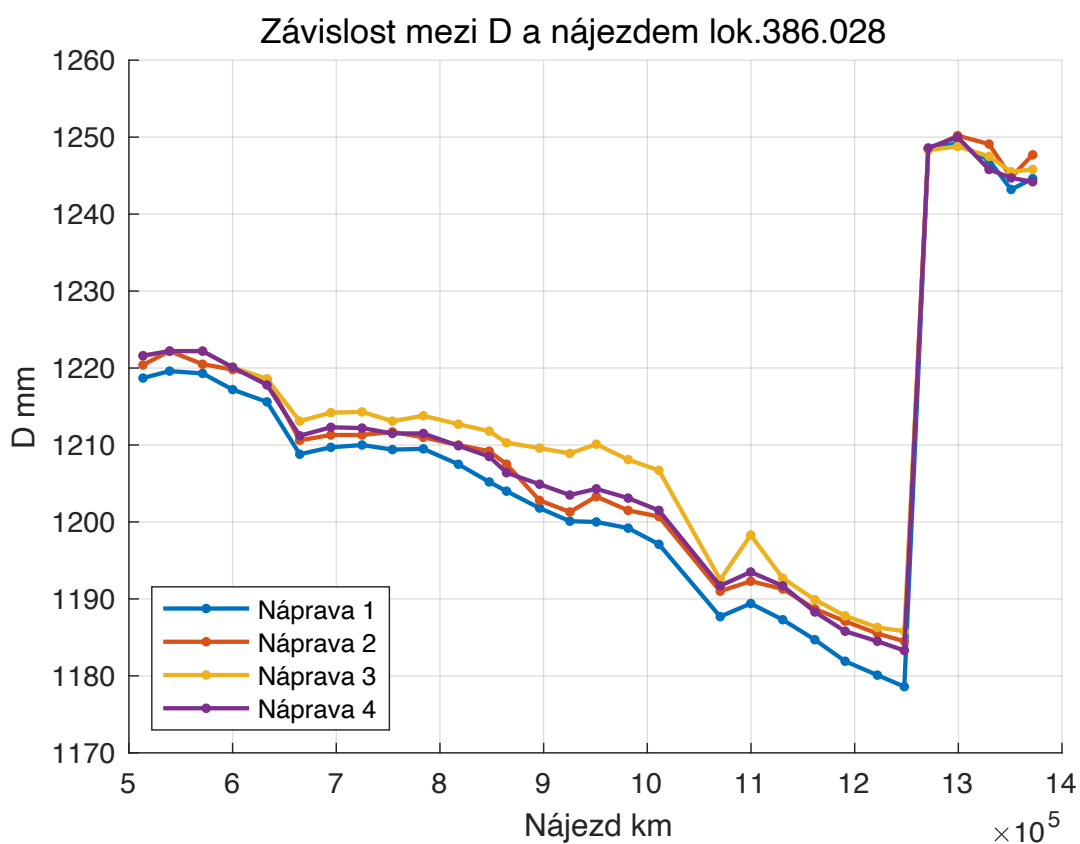
Graf 13 - Změna profilu a rozdílu podle normál kola 11 lok. 386.028



Závislosti hodnoty vzdálenosti podle normál na nájezdu kola 11 lok.386.028 od 664780 km do 864200 km



Graf 14 - Závislosti hodnot vzdálenosti podle normál na nájezdu lok. 386.028



Graf 15 - Závislost průměru kol náprav na nájezdu lok. 386.028



11 Závěr

V této práci jsem se zabýval opotřebením jízdní plochy kola a sestavil jsem skript/program, který je schopen analyzovat a stanovit důležité parametry profilu opotřebované jízdní plochy kol.

V teoretické části jsem se zabýval jmenovitými jízdními obrysy kol, stavbou podvozku a pohonu moderních elektrických lokomotiv, vadami a opotřebením jízdního profilu a reprofilací dvojkolí. Seznámil jsem se s geometrií jízdních profilů, s jejich konstrukcí a také s jejich vývojem. Dále jsem popsal způsoby moderní reprofilace dvojkolí a v jedné kapitole uvedl vady dvojkolí, které se v provozu objevují a čím jsou způsobeny.

V praktické části jsem sestavil skripty/programy, které spolehlivě popisují tvar křivky profilu kola a umožňují stanovit základní rozměry jízdního obrysu (výšku, šířku, strmost okolku a hloubku žlábků) a tyto programy ozkoušel na dostupných datech. Dále jsem vypracoval skripty pro grafický popis opotřebením dvojkolí.

Pro potřeby práce jsem dále vypracoval knihovnu referenčních profilů. Tuto knihovnu jsem naprogramoval a vygeneroval v programu MATLAB a rozdělil ji do přehledných složek, aby ji bylo možné do budoucna používat. Zpracoval jsem velké množství dat z provozu a malou část z nich v rámci ověření vytvořených skriptů zanalyzoval. K tomu jsem využil všechny vypracované skripty. U dat ze dvou lokomotiv jsem provedl hlubší analýzu a na základě jejich výsledků popsal různé jevy, které se v provozu objevují a formuloval hypotézy důvodů jejich vzniku.

Cílem činností popsaných v této bakalářské práci bylo vytvořit a otestovat nástroje pro systematickou analýzu dat, které vznikají jako výsledky měření profilů jízdních ploch kol železničních vozidel v provozu. Tyto nástroje budou v další fázi projektu využívány pro studium a analýzu vlivu různých faktorů, které se podílejí na opotřebením jízdních ploch kol v reálném provozu. Jimi jsou například

- provedení pojezdu a pohonu různých typů lokomotiv
- směrové poměry a stav svršku na pojížděných tratích
- hmotnost přepravovaných vlaků
- roční období ve sledovaném časovém úseku



12 Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázky:

Obr. 1 - Jízdní profi kola podle ČSN EN 13715[1]	12
Obr. 2 - Způsob rozšíření okolku[1]	13
Obr. 3 - Konstrukce okolku [1]	14
Obr. 4 - Přechodová oblast profilu kola 1/40 [1]	15
Obr. 5 - Jízdní profil kola 1/40 [1]	16
Obr. 6 - Jízdní profil S1002 [1].....	17
Obr. 7 - Přechodová oblast profilu S1002 [1].....	17
Obr. 8 - Jízdní profil EPS [1].....	18
Obr. 9 - Přechodová oblast profilu EPS [1].....	18
Obr. 10 - Jízdní profil KKVMZ [3]	20
Obr. 11 - Porovnání jízdního profilu EPS (plná čára) a P8 (čárkovaně) [8].....	20
Obr. 12 - Typy adhezního opotřebení a) rovnoměrné opotřebení, b) opotřebení do jízdní plochy, c) opotřebení do okolku [14]	21
Obr. 13 - Vysunutí dvojkolí z rovnovážné polohy [7]	22
Obr. 14 – Ploché místo (Wheel flat) [15]	23
Obr. 15 - Příklad vydrolení [17].....	23
Obr. 16 - Typické formy polygonizace [17]	24
Obr. 17 - Provozní geometrické rozměry jízdních profilů[18].....	25
Obr. 18 - Způsoby měření hloubky žlábků	26
Obr. 19 - Kládky podúrovňového soustruhu[24]	28
Obr. 20 - Uchycení ložiskové skříně vně vozidla [21]	29
Obr. 21- Nadúrovňový soustruh Danobat DPL/J [23]	30
Obr. 22 - Schéma označování kol lokomotiv.....	31
Obr. 23 - Ukázka členění knihovny jízdních profilů kol	32
Obr. 24 - Přístroj Miniprof – Wheel mini [25]	34
Obr. 25 - Význačné body pro určení Sd, Sh a qR.....	36

Grafy:

Graf 1 - Rozdíl podle normál	35
Graf 2 - Porovnání rozdílů mezi rozdílem prostým a rozdílem podle tečen	36
Graf 3 - Průběh Sd, Sh, qR a D na kole 11 8 různých lokomotiv.....	41
Graf 4 - Závislost Sd = f(qR) pro řadu 383	43
Graf 5 - Závislost Sd = f(qR) pro řadu 386	44
Graf 6 - Průběh Sd, Sh a D všech kol lok. 383.402	46
Graf 7 - Změna parametrů jízdního obrysu kola 11 lok. 383.402	47
Graf 8 - Změna jízdního obrysu kola a rozdílů podle normál lok. 383.402	48
Graf 9 - Závislosti hodnoty vzdálenosti podle normál kola 11 lok. 383.402	48
Graf 10 - Závislost mezi průměrem a nájezdem lok. 383.402.....	49
Graf 11 - Průběh Sd, Sh a D všech kol lok. 386.028	50
Graf 12 - Změna parametrů kola 11 lok. 386.028.....	51
Graf 13 - Změna profilu a rozdílů podle normál kola 11 lok. 386.028	52
Graf 14 - Závislosti hodnot vzdálenosti podle normál na nájezdu lok. 386.028	53
Graf 15 - Závislost průměru kol náprav na nájezdu lok. 386.028	53

Tabulky:

Tabulka 1 - Srovnání základních parametrů řad lokomotiv 383 a 386.....	11
Tabulka 2 - Mezní hodnoty geometrických rozměrů kol D>840 mm [18]	25
Tabulka 3 - Porovnání parametrů podúrovňových soustruhů[21][22][23].....	27
Tabulka 4 - Struktura souborů se zpracovanými daty.....	39



13 Bibliografie

- [1] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Kola - Jízdní obrysy kol*. 2021.
- [2] RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD. *Railway Wheelsets GMRT2466*. 5.
- [3] INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS. *Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning the use of wheels of various diameters*. 4th edition.
- [4] HANÁK, David. *Jízdní obrysy železničních vozidel*. Pardubice, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [5] ÚŘAD PRO NORMALISACI. *Obrysy obručí s plným a se ztenčeným okolkem*. 1955.
- [6] ČESKOSLOVENSKA ŠTÁTNA NORMA. *Jízdné obrysy obručí a věncov celistvých kol*. 1976.
- [7] IZER, Jiří a Jaromír ZELENKA. *Charakteristiky kontaktní geometrie*. Series B. 1996.
- [8] DOSTÁL, Josef a Petr HELLER. *Kolejová vozidla I*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043520-5.
- [9] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *Železniční aplikace-Dvojkolí a podvozky- Kola-Jízdní obrysy kol*. 2006.
- [10] ZELENKA, Jaromír a Jiří IZER. Nový jízdní obrys železničního kola a jeho zkušební provoz. *Vědecko technický sborník Českých drah*. 2000, **2000**(10), 61-78. ISSN 1211-2321.
- [11] SŁOWIŃSKI, Marcin. *The characteristics of the selected types of wheel wear and their effect on the rail vehicle – track interaction*. 2022.
- [12] DE VRIES, M.J. *Just-In-Time Delivery of Wheel Sets*. Mekelweg 2 2628 CD Delft, the Netherlands, 2013. Master Assignment. FACULTY MECHANICAL, MARITIME AND MATERIALS ENGINEERING Department Marine and Transport Technology, TU Delft.
- [13] ASPLUND, Matthias a Stephen M. FAMUREWA. A study of railway wheel profile parameters used as indicators of an increased risk of wheel defects. *The Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*. 2014, **2014**(1), 1-14.
- [14] DIRKS, Babette. *Simulation and measurement of wheel on rail fatigue and wear*. Stockholm, SWEDEN, 2015. Doctoral thesis. KTH Royal Institute of Technology.
- [15] TSOTSOS, Alex. Trains get flat tires too. In: *Valley metro* [online]. 2019 [cit. 2024-04-03]. Dostupné z: <https://www.valleymetro.org/blog/2019/12/trains-get-flat-tires-too>
- [16] ČSN. *Železniční aplikace - Požadavky na dvojkolí v provozu - Údržba dvojkolí v provozu na vozidlech a po demontáži*. 2017.



- [17] SŁOWIŃSKI, Marcin. *The characteristics of the selected types of wheel wear and their effect on the rail vehicle – track interaction*. 4-9.
- [18] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1302/2014: o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii. In: . 2014.
- [19] RANTATALO, Matti. Evaluation of Measurement Strategy for Track Side Monitoring of Railway Wheels. *Applied Sciences*. 2023, **13**(1), 3-16.
- [20] ČESKÉ DRÁHY A.S. *Předpis pro organizaci údržby elektrických a motorových hnacích vozidel, osobních, vložených, přípojných a řídicích vozů*.
- [21] DANOBAT. DLR/DHD Danobat. *Danobat.com* [online]. 2023 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: www.danobat.com
- [22] Hegenscheidt MFD. *Hegenscheidt-mfd* [online]. 2024 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://www.hegenscheidt-mfd.com>
- [23] KOLTECH. *Koltech* [online]. 2020 [cit. 2024-05-07]. Dostupné z: <https://wheellathes.com/underfloor-wheel-lathes-tup650>
- [24] Danobat. In: *Danobat.com* [online]. ©2023 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.danobat.com/en/dpl-dpl-j-portal-lathe#paragraph8345>
- [25] RAFAMET. *Rafamet* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.rafamet.com/en/>
- [26] MICHÁLEK, Tomáš a Jaromír ZELENKA. Reduction of lateral forces between the railway vehicle and the track in small-radius curves by means of active elements. *Applied and Computational Mechanics*. 2011, **5**(2), 187-193.
- [27] THE MATHWORKS, INC. *1-D data interpolation* [online]. 2024 [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/interp1.html>
- [28] GREENWOOD ENGINEERING. *MiniProf BT wheel* [online]. c2024 [cit. 2024-01-05]. Dostupné z: <https://greenwood.dk/railway/instruments/miniprof-bt-wheel/>
- [29] OPEN AI. *Proč tento kód nefunguje?* [online]. c2024 [cit. 2024-01-07]. Dostupné z: <https://chat.openai.com>
- [30] THE MATHWORKS, INC. *Numerical integration* [online]. 2024 [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/integral.html?searchHighlight=integral&s_tid=srchtitle_support_results_1_integral