

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Petr Novák

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Dislokované pracoviště Česká Třebová

**PROBLEMATIKA VZTAHU
DVOJKOLÍ – KOLEJ V PODMÍNKÁCH METRA
DOPRAVNÍHO PODNIKU HL. M. PRAHY**

Petr Novák

Diplomová práce

2016

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Novák**
Osobní číslo: **D13643**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**
Název tématu: **Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách metra DP hl. m. Prahy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Popište současnou situaci vztahu dvojkolí-kolej v metru Praha po zavedení jízdního obrysu KUŽEL-2A. Zaměřte se na stav a způsob opotřebení jízdnicích obrysů kol a příčných profilů kolejnic v síti metra Praha.

Body vypracování:

1. Popis současné situace vztahu dvojkolí-kolej.
2. Souhrn typických stavů opotřebení jízdnicích obrysů kol a příčných profilů kolejnic.
3. Provedení měření jízdnicích obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic v provozu metra.
4. Příslušné výpočty charakteristik geometrické vazby dvojkolí-kolej.
5. Zhodnocení výsledků a návrh na opatření ke zlepšení provozu vozidel metra.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího DP

Rozsah pracovní zprávy: 50-60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] IZER, J., ZELENKA, J.: Charakteristiky kontaktní geometrie. In Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty, 2 (1996). Pardubice: Univerzita Pardubice, 1996. S. 39-62. ISSN 1211-6610.
- [2] KALINČÁK, D., GERLICI, J., KUKUČA, P., LÁBAJ, J., LACK, T., POLÁCH, O., SÁGA, M.: Dopravný prostředek - výpočtové metody. 1. vydání, 402 s. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. ISBN 80-8070-476-7.
- [3] ŠTÁSEK, R.: Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách DP hl. m. Prahy, Metro. Diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005.
- [4] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T.: Teorie vozidel. Studijní opora. 1. vydání, 78 s. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-652-3.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce:

26. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2016



doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.

děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou použity v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona 121/200 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Tato práce byla realizována s využitím technologií VVCD.

V Pardubicích 27.5.2016

Petr Novák

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Jaromíru Zelenkovi, CSc. za příkladné vedení diplomové práce a Ing. Petru Havlíčkovi za cenné poznatky z provozu pražského metra. Dále bych rád Ing. Martino Kohoutovi, Ph.D. za cenné konzultace. A v neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu.

V Pardubicích 27.5.2016

Petr Novák

ANOTACE

Práce se zabývá geometrickými vztahy dvojkolí – kolej v podmínkách pražského metra. Je zde popsán vliv kontaktní geometrie na vývoj opotřebení tvarů jízdních obrysů kol a profilů kolejnic. Dále je zde vyhodnoceno měření, které bylo v rámci této diplomové práce provedeno a porovnány měřicí systémy. Na závěr je provedeno shrnutí konkrétních faktorů ovlivňujících opotřebení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kontaktní geometrie, vztah dvojkolí - kolej, obrysy kol a kolejnic.

TITLE

Related issues of wheel set – track in conditions of DP hl.m. Praha subway.

ANNOTATION

This thesis is suggesting a geometry relationship wheel set – track in conditions on Prague Metro. There is described contact geometry influence on damage wheel profiles and rail profiles. Then there is the evaluation of the measurement that is made as a part of this thesis and compared measure systems. At the end there is a summary of factors affecting wear.

KEYWORDS

Contact geometry, wheel set – track relationship, wheel and rail profiles

OBSAH

1	ÚVOD	16
2	PROVOZNÍ PODMÍNKY METRA	17
2.1	DOPRAVNÍ PODMÍNKY LINKY B	17
2.2	TRATĚ	18
2.2.1	<i>Trať na lince B</i>	<i>18</i>
2.2.2	<i>Problémový úsek Anděl – Karlovo náměstí, 2. traťová kolej</i>	<i>18</i>
2.2.3	<i>Problémový úsek Jinonice – Radlická, 1. a 2. traťová kolej</i>	<i>19</i>
2.2.4	<i>Problémový úsek Smíchovské nádr. – Anděl, 1. a 2. traťová kolej</i>	<i>20</i>
2.3	VOZIDLA	21
2.3.1	<i>Vozidla používaná DP na lince B</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Jízdní obrys Kužel</i>	<i>21</i>
2.3.3	<i>Jízdní obrys K2A</i>	<i>22</i>
2.3.4	<i>Mazání okolků</i>	<i>23</i>
2.3.5	<i>Shrnutí poskytnuté technické zprávy</i>	<i>24</i>
3	VADY JÍZDNÍCH OBRYŠŮ KOL A PROFILŮ KOLEJNIC	25
3.1	VADY PROFILŮ KOLEJNIC	25
3.1.1	<i>Vlnovitost</i>	<i>25</i>
3.1.2	<i>Shelling</i>	<i>26</i>
3.1.3	<i>Flaking</i>	<i>26</i>
3.1.4	<i>Head Checking</i>	<i>27</i>
3.1.5	<i>Spalling</i>	<i>27</i>
3.1.6	<i>Změna tvaru vnější kolejnice</i>	<i>28</i>
3.2	VADY JÍZDNÍCH OBRYŠŮ KOL	28
3.2.1	<i>Teplotní trhliny</i>	<i>28</i>
3.2.2	<i>Trhliny vznikající mechanickým namáháním</i>	<i>29</i>
3.2.3	<i>Materiálové vady</i>	<i>29</i>
3.2.4	<i>Spalling</i>	<i>30</i>
3.2.5	<i>Ploché kolo</i>	<i>30</i>
3.2.6	<i>Změna tvaru jízdní plochy kola</i>	<i>31</i>
4	MĚŘENÍ JÍZDNÍCH OBRYŠŮ A PROFILŮ KOLEJNIC	32
4.1	POUŽITÉ MĚŘÍCÍ SYSTÉMY PRO ZÍSKÁNÍ DAT	32
4.1.1	<i>Systém MiniProf</i>	<i>32</i>
4.1.2	<i>Profiloměr a Pavouk</i>	<i>33</i>
4.1.3	<i>Systém Calipri</i>	<i>34</i>
4.2	POROVNÁNÍ MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ	35

4.3	MĚŘENÉ TRATĚ A VOZIDLA.....	36
4.3.1	Naměřená data v rámci údržby DP	36
4.3.2	Měření na vozu metra 3336 v depu Zličín	36
4.3.3	Měření profilů kol v mezistaničním úseku Můstek – Náměstí Republiky	36
4.4	ÚPRAVA DAT	37
4.4.1	Úprava obrysů kol pořízených ze systému MiniProof.....	37
4.4.2	Vzorkování - vícebodová interpolace	37
4.4.3	Průměrování obrysů	38
4.4.4	Výpočet tangenty ke křivce	38
4.4.5	Naklopení kola vůči kolejnici	39
4.5	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	40
4.5.1	Měření po periodických probězích	40
4.5.2	Měření pomocí systému Calipri	41
5	VZTAH DVOJKOLÍ – KOLEJ.....	42
5.1	HLAVNÍ FUNKČNÍ ROZMĚRY.....	42
5.1.1	Rozměry tratě.....	42
5.1.2	Rozměry dvojkolí a jízdních obrysů	42
5.1.3	Šířka volného kanálu a úhel náběhu	43
5.2	CHARAKTERISTIKY KONTAKTNÍ GEOMETRIE DVOJKOLÍ - KOLEJ	43
5.2.1	Poloha dotykových bodů	43
5.2.2	Δr – funkce	45
5.2.3	$Tg \gamma$ – funkce	45
5.2.4	Ekvivalentní konicita	46
5.2.5	Předstih	47
5.2.6	Použité softwary pro výpočet kontaktní geometrie	48
5.3	POMĚRY DVOJKOLÍ – KOLEJ V PODMÍNKÁCH METRA.....	49
5.3.1	Potřebná Δr – funkce.....	49
5.4	VYHODNOCENÍ KONTAKTNÍ GEOMETRIE V PODMÍNKÁCH METRA.....	51
5.4.1	Kontaktní geometrie na teoretické trati	51
5.4.2	Kontaktní geometrie na úseku Radlická - Jinonice.....	52
5.4.3	Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky, 17,1 km	53
5.4.4	Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky 16,9 km	53
5.4.5	Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky 16,7 km	54
6	MOŽNÁ NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ	55
6.1	REPROFILACE ZBÝVAJÍCÍCH SOUPRAV METRA S OBRYSEM KUŽEL	55
6.2	VHODNÁ ÚPRAVA GEOMETRIE TRATĚ POMOCÍ BROUŠENÍ	55
6.3	POUŽITÍ KOLEJNIC Z MATERIÁLU S VYŠŠÍ OTĚRUVZDORNOSTÍ.....	55
6.4	PRUŽNÉ UPEVNĚNÍ KOLEJNIC.....	55

7	ZÁVĚR.....	56
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

Seznam veličin

2σ	..... volný kanál koleje
$2a$	..... rozvor podvozku
$2b$	..... rozchod dvojkolí
$2s$	..... vzdálenost styčných kružnic
α	..... úhel náběhu
Δr	..... rozdíl okamžitých poloměrů kol (Δr – funkce)
γ_1, γ_2	..... sklony normály ke kontaktní ploše jednotlivých kol
λ	..... kuželovitost
λ_{ekv}	..... ekvivalentní konicita
Λ	..... matice polynomu Lagrangeovy interpolace
ω	..... úhlová rychlost dvojkolí kolem středu oblouku
ω_r	..... úhlová rychlost dvojkolí vůči jeho příčné ose
e	..... rozchod koleje
H	..... středící síla dvojkolí
L	..... perioda harmonického pohybu dvojkolí
N	..... normálová síla kontaktu kolo - kolejnic
p	..... převýšení koleje
q_R	..... strmost okolku
Q	..... svislá kolová síla
r	..... jmenovitý poloměr kola
r_1, r_2	..... okamžitý poloměr kola
R	..... poloměr oblouku
R_1, R_2	..... příčné kolové síly
S_d	..... šířka okolku
S_h	..... výška okolku
$tg \gamma$	..... tangens – gama funkce
v	..... rychlost středu dvojkolí
v_1, v_2	..... rychlost jednotlivých kol
y_0	..... příčný posuv dvojkolí vůči ose kolejnice

Seznam použitých zkratk

ČD.....	České Dráhy a.s.
DFJP.....	Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice
DP.....	Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s.
K2A.....	Jízdní obrys Kužel – 2A
KŽV s.r.o.	Komerční železniční výzkum s.r.o.
SŽDC.....	Správa železniční dopravní cesty s.o.

Seznam ilustrací

OBR. 1 KOLEJNICE S49	18
OBR. 2 VNITŘNÍ KOLEJNICE – VIDITELNÁ VLNKOVITOST (VLEVO), DETAIL VYDROLENIN (VPRAVO)	19
OBR. 3 DETAIL VNITŘNÍ KOLEJNICE (VLEVO) A VNĚJŠÍ KOLEJNICE (VPRAVO)	19
OBR. 4 DETAIL VNITŘNÍ KOLEJNICE (VLEVO) A VNĚJŠÍ KOLEJNICE (VPRAVO)	20
OBR. 5 JEDNOTKA 81-71M A JEJÍ ZÁKLADNÍ PARAMETRY	21
OBR. 6 JÍZDNÍ OBRYŠ KUŽEL A JEHO ZÁKLADNÍ PARAMETRY	22
OBR. 7 DETAIL OPOTŘEBOVANÉHO JÍZDNÍHO OBRYSU KUŽEL	22
OBR. 8 JÍZDNÍ OBRYŠ K2A A JEHO ZÁKLADNÍ PARAMETRY	23
OBR. 9 SYSTÉM MAZÁNÍ OKOLKŮ POMOCÍ TYČINKY Z TUHÉHO MAZIVA	23
OBR. 10 VLNKOVITOST V PROSTŘEDÍ METRA	26
OBR. 11 SHELLING (VLEVO) A FLAKING (VPRAVO)	26
OBR. 12 HEAD CHECKING V PROSTŘEDÍ METRA (VLEVO) A SPALLING (VPRAVO)	27
OBR. 13 BOČNÍ VYJETÍ VNĚJŠÍHO KOLEJNICOVÉHO PÁSU, SPOLU S HEAD CHECKINGEM	28
OBR. 14 TEPLOTNÍ TRHLINY (VLEVO) A TRHLINY VZNIKLÉ MECHANICKÝM NAMÁHÁNÍM (VPRAVO)	29
OBR. 15 TRHLINA NA JÍZDNÍ PLOŠE ZPŮSOBENÉ MATERIÁLOVOU VADOU (POZDNÍ FÁZE)	29
OBR. 16 POČÁTEČNÍ (VLEVO) A POZDNÍ FÁZE SPALLINGU (VPRAVO)	30
OBR. 17 PLOŠKA NA OBVODU KOLA	30
OBR. 18 DVA ZÁKLADNÍ DRUHY ZMĚNY TVARU OBRYSU KOLA	31
OBR. 19 POKROČILÉ OPOTŘEBENÍ OKOLKU (VLEVO) A JÍZDNÍ PLOCHY (VPRAVO)	31
OBR. 20 MĚŘÍCÍ SYSTÉM MINIPROF [13]	32
OBR. 21 MĚŘÍCÍ SYSTÉM CALIPRI [14]	35
OBR. 22 SCHÉMA MEZISTANIČNÍHO ÚSEKU S VYZNAČENÝMI MÍSTY A POČTEM MĚŘENÍ	37
OBR. 23 ŘEŠENÍ NAKLOPENÍ KOLA VŮČI SVISLÉ OSE Z	40
OBR. 24 FUNKČNÍ ROZMĚRY TRATĚ	42
OBR. 25 FUNKČNÍ ROZMĚRY JÍZDNÍHO OBRYSU A DVOJKOLÍ	42
OBR. 26 VÝPOČET ÚHLU NÁBĚHU	43
OBR. 27 PRINCIP VÝPOČTU DOTYKOVÝCH BODŮ	43
OBR. 28 VÝVOJOVÝ DIAGRAM KONTAKTNÍHO ALGORITMU	44
OBR. 29 ZOBRAZOVÁNÍ KONTAKTNÍCH BODŮ, KONTAKTNÍ KŘIVKY (VLEVO), KONTAKT 3 (VPRAVO)	44
OBR. 30 PRINCIP ΔR – FUNKCE (VLEVO), ΔR – FUNKCE TEORETICKÝCH OBRYSŮ KUŽEL A S49 (VPRAVO)	45
OBR. 31 PRINCIP $Tg \gamma$ – FUNKCE (VLEVO), $Tg \gamma$ TEORETICKÝCH OBRYSŮ KUŽEL A S49 (VPRAVO)	46
OBR. 32 PŘEDSTIH DRUHÉHO BODU (3D SOFTWARE)	48
OBR. 33 VÝPOČET POTŘEBNÉ ΔR – FUNKCE	49
OBR. 34 KONTAKTNÍ POMĚRY TEORETICKÁ TRATĚ - TEORETICKÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO)	51
OBR. 35 KONTAKTNÍ POMĚRY TEORETICKÁ TRATĚ - OPOTŘEBENÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO)	51
OBR. 36 KONTAKTNÍ POMĚRY ÚSEKU RADLICKÁ – JINONICE A TEORETICKÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO)	52
OBR. 37 KONTAKTNÍ POMĚRY RADLICKÁ – JINONICE A OPOTŘEBENÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO)	52

OBR. 38 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 17,1 A TEORETICKÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO).....	53
OBR. 39 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 17,1 A OPOTŘEBENÝ KUŽEL(VLEVO) / K2A (VPRAVO).....	53
OBR. 40 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 16,9 A TEORETICKÉ OBRYSY KUŽEL / K2A	53
OBR. 41 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 16,9 A OPOTŘEBENÝ KUŽEL (VLEVO) / K2A (VPRAVO)	54
OBR. 42 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 16,7 A TEORETICKÉ OBRYSY KUŽEL(VLEVO) / K2A (VPRAVO).....	54
OBR. 43 MŮSTEK – N. REPUBLIKY KM 16,7 A OPOTŘEBENÉ OBRYSY KUŽEL(VLEVO) / K2A (VPRAVO).....	54

Seznam tabulek

TAB. 1 INTERVALY PROVOZU LINKY B	17
TAB. 2 FAKTORY PODPORUJÍCÍ VZNIK VLNKOVITOSTI.....	25
TAB. 3 VLASTNOSTI MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU MINIPROF.....	33
TAB. 4 CHYBNÝ VÝVOJ POLOMĚRU KOLA PODLE SYSTÉMU MINIPROOF	33
TAB. 5 PROFILOMĚR (VLEVO) A PAVOUK (VPRAVO)	34
TAB. 6 VLASTNOSTI SYSTÉMŮ PROFILOMĚR A PAVOUK.....	34
TAB. 7 VLASTNOSTI MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU CALIPRI.....	35
TAB. 8 POROVNÁNÍ MĚŘÍCÍCH SYSTÉMŮ	35
TAB. 9 NAMĚŘENÉ ZÁKLADNÍ ROZMĚRY KOL JEDNOTKY 3336.....	36
TAB. 10 ODHADNUTÁ CHYBA ΔY (V ABSOLUTNÍ HODNOTĚ).....	37

Úvod

1 Tato diplomová práce navazuje na problematiku kontaktní geometrie dvojkolí – kolej konkrétních jízdních obrysů kol a kolejnic používaných Dopravním podnikem hlavního města Prahy (dále jen DP), která je dlouhodobě řešena pracovníky a studenty Dopravní fakulty Jana Pernera, Dislokovaného pracoviště Česká Třebová. Během této doby došlo k mnoha zásahům do podmínek řešení údržby vozidel metra i tratě. Byla získávána data o průběhu opotřebení jízdních profilů kol a vytipovány problémové traťové úseky, kde byla sledována zvýšená interakce dvojkolí – kolej. Vše probíhá ve snaze zvýšit bezpečnost provozu, komfort cestujících a naopak snížit náklady na údržbu vozidel a tratě a hlukové emise.

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení kontaktní geometrie v podmínkách linky B pražského metra na základě poskytnutých, dlouhodobě získávaných dat a zjistit možné příčiny vzniku nadměrného opotřebení kolejnic a jízdních obrysů. Dále provést měření přímo konkrétního vozu a problémového úseku tratě, provést příslušná vyhodnocení a v rámci tohoto měření porovnat různé měřicí systémy. Na základě výsledků poté navrhnout konkrétní opatření. Tato diplomová práce se zabývá opotřebením především z hlediska kontaktní geometrie dvojkolí – kolej, hlediskem dynamických účinků a materiálů se zabývá jen okrajově.

Provozní podmínky metra

2 Vzhledem k tomu, že prostředí metra je izolováno od povětrnostních podmínek, se naskytuje příležitost sledovat jeho provoz takřka v laboratorních podmínkách. Ty zajišťují konstantní adhezni vlastnosti, a proto můžou soupravy zvládat náročnější traťové podmínky. Oproti konvenční železnici jsou soupravy metra o poznání lehčí, na trať působí tedy nižší nápravové zatížení. Na druhou stranu je zde hustá frekvence provozu s častými rozjezdy a brzděním.

V souvislosti s dlouhodobým sledováním opotřebení jízdních profilů kol a kolejnic bylo provedeno rozsáhlé měření na lince B, jehož výsledkem byla zpráva [1], která byla DP poskytnuta spolu s daty z měření a fotodokumentací jako podklad ke zpracování této diplomové práce. Zjištění z této zprávy jsou prezentovány v kapitolách 2.2 a 2.3.

2.1 Dopravní podmínky linky B

Linka trasy B přepraví ve špičce okolo 21 000 osob za hodinu, má 24 stanic a trasu dlouhou 25,704 km zvládne souprava ujet za 42 minut. Jedná se zatím o nejmladší a nejdelší linku pražského metra. Interval provozu je v Tab. 1. O bezpečný provoz této linky se stará zabezpečovací zařízení ARS.

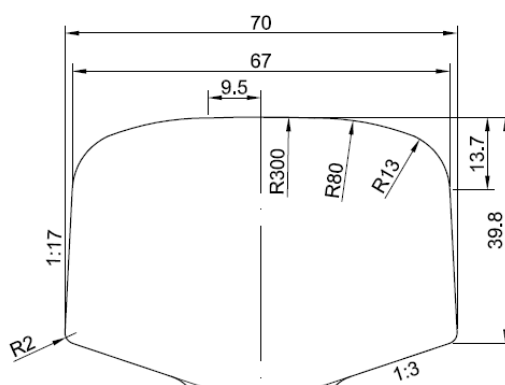
INTERVAL NA LINCE B				
	Po - Čt	Pátek	Sobota	Neděle
5:00 - 6:30	10-3 min	10-3 min	0 min	10 mi
6:30 - 8:30	2-3 mn	23 min	7,5 in	10 min
8:30 - 9:45	2-4 min	2-4 min	7,5 min	10 min
9:45 - 13:30	5 min	5 in	7,5 min	10 min
13:30 - 15:30	3-4 min	3-4 min	7,5 min	7, min
15:30 - 17:30	3-4 min	35min	7,5 min	7,5 min
17:30 - 19:00	3-5 min	5-6 min	7,5 min	7,5 min
19:00 - 20:00	5-7 min	5-7 min	7,5 min	7,5 min
20:00 - 24:00	10 min	10 min	10 min	10 min

Tab. 1 Intervaly provozu linky B

2.2 Trať

2.2.1 Trať na lince B

DP používá kolejnice typu S49 s úklonem 1:20. Tvar této kolejnice je zobrazen na Obr. 1 Kolejnice S49. Na trati se vyskytuje stoupání až 40 ‰. Nejnižší poloměr oblouku na trati linky B je $R\ 350\ m$, takových oblouků je celkem osm. Rozchod kolejí je $1435\ mm$ s tolerancemi $+5\ mm / -3\ mm$.



Obr. 1 Kolejnice S49

V poskytnuté zprávě z měření jsou vytipovány problémové úseky trati, kde byla zvýšená interakce dvojkolí – kolej. Společným znakem těchto úseků bylo, že se nacházely vždy v oblouku do poloměru $R\ 650\ m$, většina z nich se také nacházela v blízkosti zastávky. Zpráva se poté zabývá třemi konkrétními zvláště problémovými úseky, které byly detailně změřeny a zdokumentovány. Technologii měření a použité přístroje zmíním v kapitole 3.

2.2.2 Problémový úsek Anděl – Karlovo náměstí, 2. traťová kolej

Tento úsek se nachází v místě staničení $km\ 15,150$ a tvoří ho oblouk o poloměru $R\ 350\ m$ s převýšením $p = 148\ mm$, stoupání je 21 ‰. Rozchod kolejí byl v tomto úseku naměřen $1438,5\ mm$. Na hlavě kolejnice vnitřního kolejnicového pásu se nachází v podélném směru poměrně hluboké vydroleniny a projevuje se zde podélná vlnkovitost. Na vnějším kolejnicovém pásu je patrný značný úbytek materiálu, na nově vyjeté vnitřní straně kolejnice jsou rovněž viditelné trhliny a vydroleniny. Fotografie z místa na Obr. 2. K tomuto úseku bohužel nebyla k dispozici žádná data z měření.



Obr. 2 Vnitřní kolejnice – viditelná vlnkovitost (vlevo), detail vydrolenin (vpravo)

2.2.3 Problémový úsek Jinonice – Radlická, 1. a 2. traťová kolej

Úsek v místě staničení *km 10,450* tvořen obloukem *R 430 m* ve stoupání *38,3 ‰*. Rozchod kolejí byl naměřen *1443,5 mm*. To je více než dovoluje předpis, který mezní hodnotu rozchodu tratě stanovuje *1440 mm*. Podobně jako v předchozím úseku se zde vyskytuje značná míra vlnkovitosti především vnitřní kolejnice, vyjetí hlavy vnější kolejnice a viditelné vydroleniny. Zároveň jsou na hlavě kolejnice patrné stopy po broušení, v těchto místech tedy vůbec nedochází ke styku kola a kolejnice. Detaily jsou vidět na fotografiích (Obr. 3). Změřená data jsou k dispozici v příloze 1.2. Tento úsek je jako jediný, ke kterému byla zpracována podrobná kontaktní geometrie těsně před tím, než proběhla údržba hlav kolejnic broušením.



Obr. 3 Detail vnitřní kolejnice (vlevo) a vnější kolejnice (vpravo)

2.2.4 Problémový úsek Smíchovské nádr. – Anděl, 1. a 2. traťová kolej

Poslední sledovaný úsek se nachází v *km 13,750*. V první traťové koleji je úsek tvořen dvěma protisměrnými oblouky poloměrů *R 435 m* a *R 400 m*, mezi kterými je jen krátká přímá kolej délky *30,4 m*. V druhé traťové koleji jsou oblouky poloměrů *R 400 m* a *R 400 m* propojeny přímou kolejí délky *83,3 m*. Stoupání je v tomto úseku *35 ‰* a naměřená hodnota rozchodu byla *1444,1 mm*. Na vnitřním kolejnicovém pásu se objevují vydroleniny a trhliny. Výrazné ojetí především vnějších pásů kolejnice narušuje diferenciál dvojkolí metra. Vše je možné sledovat na fotografiích níže. Tato trať nebyla zpracována v rámci kontaktní geometrie z důvodu nedostatečně změřené hlavy vnější kolejnice. (Viz příloha 1.2)



Obr. 4 Detail vnitřní kolejnice (vlevo) a vnější kolejnice (vpravo)

Na Obr. 4 vpravo je možné sledovat charakteristické opotřebení vnějšího pásu kolejnice v současných podmínkách pražského metra v problémových úsecích. Mezi rysy, které toto opotřebení má, patří boční vyjetí kolejnice, pás vydrolenin a pás trhlinek na hlavě kolejnice.. Vnitřní kolejnicový pás je postižen především vlnkovitostí, ztrátou úklonu hlavy kolejnice vlivem opotřebení, dále pak vydroleniny a trhliny.

2.3 Vozidla

2.3.1 Vozidla používaná DP na lince B

Linku B obsluhují výhradně modernizované soupravy metra pod označením 81-71M; tyto původně zastaralé sovětské vozy 81-71 prošly v letech 1996 - 2011 rekonstrukcí, kterou prováděla firma Škoda Transportation a.s. v Plzni. Životnost těchto souprav se očekává přibližně do roku 2026. Základní technické parametry těchto souprav jsou uvedeny v Obr. 5.



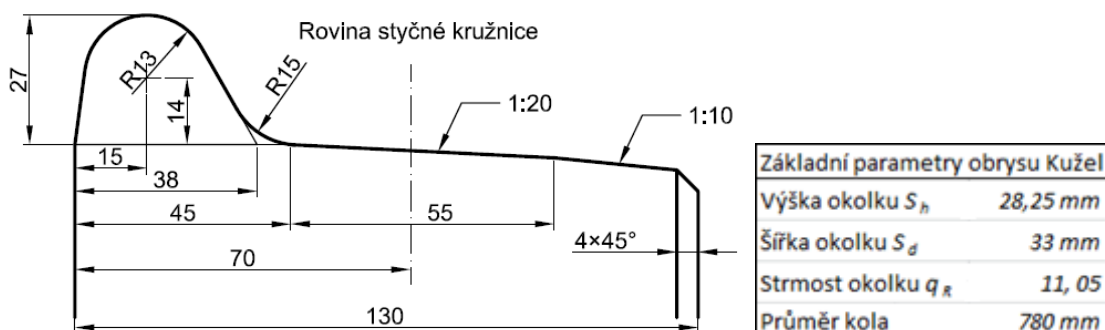
Souprava metra typu 81-71M	
Délka vozu přes spřáhlo	19 398 mm
Šířka skříně	2 712 mm
Výška nezatíženého vozidla od TK	1 280 mm
Vzdálenost otočných čepů	12 600 mm
Rozvor podvozku	2 100 mm
Jmenovitý průměr kola	780 mm
Systém uspořádání pojezdu	Bo Bo
Hmotnost prázdného vozu	32 000 kg
Obsaditelnost	1526 osob
Výkon motoru	110 kW
Maximální rychlost	80 km/h

Obr. 5 Jednotka 81-71M a její základní parametry

V následujících kapitolách jsou detailněji popsány parametry vozidla, které bezprostředně souvisí s problematikou kontaktu kolo – kolejnice, tedy používané jízdní obrysy a jejich vlastnosti.

2.3.2 Jízdní obrys Kužel

Jízdní obrys používaný od 70. let s konstantní kuželovitostí v jízdní ploše a se sklonem okolku 60° je v současné době v pražském metru na ústupu a v současné době se reprofiluje na křivkový obrys K2A. Tvar jízdního obrysu včetně základních parametrů je zobrazen na Obr. 6. Tento jízdní obrys se vyznačuje značným opotřebováváním zejména do okolku. Ukázalo se, že po poměrně rychlém počátečním opotřebování se tvar tohoto obrysu měnil mnohem pomaleji. Podobný poznatek vedl k vývoji křivkového jízdního obrysu UIC – ORE, ze kterého je odvozený i druhý používaný jízdní obrys K2A.



Obr. 6 Jízdní obrys Kužel a jeho základní parametry

Poskytnutá technická zpráva se zabývá především právě opotřebením jízdního profilu Kužel. Zpráva poukazuje na žlábek, který se tvoří na jízdní ploše a na výrazné opotřebenění do okolku. Dále je poukázáno na odlupování materiálu na jízdní ploše směrem k okolku, data ze sledování změny tvaru jízdních obrysů kol soupravy 3336 jsou zpracována v příloze 1. Detaily opotřebeného jízdního obrysu jsou na Obr. 7.

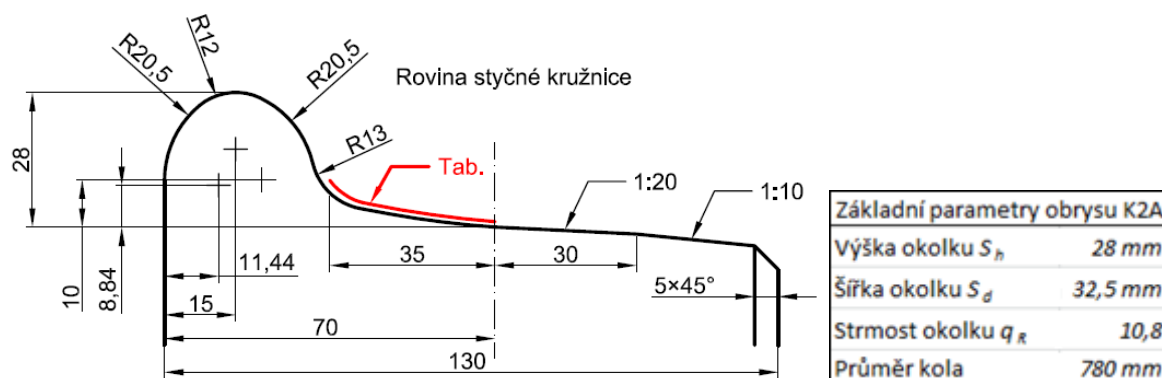


Obr. 7 Detail opotřebeného jízdního obrysu Kužel

2.3.3 Jízdní obrys K2A

Křivkový jízdní obrys K2A se sklonem okolku 70°. Tento obrys byl navržen v počátečních stádiích výzkumu jako vhodný obrys pro provoz vozidel pražského metra především z důvodu ušetření nákladů na údržbu a požadavku na zvýšení bezpečnosti proti vykolejení.

Tento obrys (Obr. 8) si zachovává ve své jízdni ploše konstantní strmost okolku 70° . Červeně zobrazená část je dána tabulkovými hodnotami nebo analyticky.



Obr. 8 Jízdní obrys K2A a jeho základní parametry

Technická zpráva uvádí, že u tohoto jízdniho obrysu jsou v nižší míře sledovatelné podobné problémy jako v případě obrysu Kužel. V příloze 1.1 jsou k dispozici zobrazená data postupné změny tvaru jízdniho obrysu K2A.

2.3.4 Mazání okolků

V současné době se používá mazání okolků pomocí speciálních tyčinek vyrobených z tuhého maziva (Obr. 9), které jsou přitlačovány přímo na plochu jízdniho kola. Tento moderní systém mazání měl za následek zlepšení čistoty jízdni plochy a snížilo se i opotřebení jízdni obrysů směrem do okolku. Mezi negativní vlivy mazání patří zvýšení opotřebení do jízdni plochy a vyšší výskyt trhlin [2].



Obr. 9 Systém mazání okolků pomocí tyčinky z tuhého maziva

2.3.5 Shrnutí poskytnuté technické zprávy

Z technické zprávy bych vyzdvihl především následující skutečnosti týkající se opotřebení jízdních obrysů kol a kolejnic.

Obrysy kol:

- Jízdní profil Kužel podléhá mnohem většímu vlivu opotřebení než jízdní profil K2A a má tedy také menší kilometrický průběh.
- U obrysů dochází k odlupování materiálu na jízdní ploše.

Kolejnice:

- Opotřebení vzniká především v obloucích malých poloměrů v blízkosti zastávek.
- Vlnovitost se vyskytuje především na vnitřním kolejnicovém pásu, z obrázků je patrné, že se jedná o krátké vlny (viz Kapitola 3).
- Na vnitřním kolejnicovém pásu vzniká ostrá hrana převalku a plochý styk kola s vlastním úklonem směrem dovnitř oblouku.
- Vnější kolejnicový pás má vyjetou vnitřní hlavu kolejnice, naopak na vnější straně jsou stopy po údržbovém broušení.
- Na kolejnicích se vyskytují vydroleniny a trhliny.

Už z výše uvedeného lze usoudit, že příčinou opotřebení je především adhezivního opotřebení vlivy způsobené nevhodnou geometrií kola vůči kolejnici. Nedostatečný diferenciál dvojkolí má za následek prokluzu kol na odlehčeném vnitřním kolejnicovém pásu a zvýšené namáhání vnějšího kolejnicového pásu. Ostatně u obou používaných obrysů dochází k dvoubodovému kontaktu se všemi měřenými profily vnějších kolejnic.

Vady jízdnic obrysů kol a profilů kolejnic

- V kolejové dopravě může porucha znamenat obrovské škody na zdraví a majetku.
- 3 Sledování opotřebení, diagnostika a důsledná údržba tvoří nepostradatelnou část provozu kolejových vozidel. Díky tomu je možno využít maximální životnosti jak dvojkolí, tak tratě a včas provést potřebnou údržbu. Vady, které jsou tímto způsobem odhaleny, potom slouží jako měřítko kvality tratí, kontaktní geometrie dvojkolí - kolej, materiálu, ale i konstrukčního řešení podvozků apod. Zjištěné nedostatky vedou ke zkoumání možností, jak jim předcházet a zlepšit efektivitu provozu. K opotřebení kol a kolejnic dochází především z důvodu velkých měrných tlaků v kontaktní ploše, popřípadě velkých skluzů. Oba tyto faktory bezprostředně souvisí s kontaktní geometrií dvojkolí – kolej.

3.1 Vady profilů kolejnic

3.1.1 Vlnkovitost

Vlnkovitost (Obr. 10) se vyznačuje hrbolky na hlavě kolejnice a je běžně sledovatelná pohledem, nebo speciálními měřicími systémy. Z hlediska jejich rozteče dělíme tyto vlny na krátké (rozteč 8 – 30 cm) a dlouhé (rozteč 0,6 – 2,3 m). Dlouhé vlny mají původ především ve výrobním procesu při rovnání kolejnic neokrouhlými rovníacími válečky. Díky moderním technologiím se tento problém daří eliminovat. Původů krátkých vln je mnoho, nejčastěji se však jedná o kombinaci několika faktorů. Faktory ovlivňující jsou uvedeny v Tab. 2.

Předpoklady pro vznik vlnkovitosti
Nízká Δr - funkce
Elektrická trakce
Brzdné a rozjezdové síly
Vlhkost a koroze
Nesouměrně rozložená hmotnost na nápravu
Počáteční nerovnosti (izolované spoje ZZ)
Vnitřní pnutí v kolejnici
Provoz konstrukčně totožných vozidel

Tab. 2 Faktory podporující vznik vlnkovitosti



Obr. 10 Vlnkovitost v prostředí metra

3.1.2 Shelling

Shelling (Obr. 11 vlevo), neboli vydrolování, je postupné odlupování části materiálu z hlavy kolejnice. Příčinou je počáteční povrchová nebo podpovrchová trhlina na zaoblení kolejnice. Vlivem podélných skluzových sil se tato trhlina šíří, dokud nedojde k odloupení celé části materiálu. Tyto části mohou být značných velikostí. Shelling je možno v počátečních stadiích zjistit defektoskopickou zkouškou, v pozdějších fázích i vizuálně. Při odstraňování shellingu je nutné vyměnit vždy celou kolejnici.

3.1.3 Flaking

Flaking (Obr. 11 vpravo) je odlupování drobných částí z povrchu kolejnice. Vzniká v místech, kde se vyskytují nedokonalosti tvaru hlavy kolejnice, na kterých se provozuje doprava s velkým nápravovým zatížením. Sledovatelný je vizuálně. Samotný flaking není sám o sobě vážnou vadou kolejnice, může však být počátkem shellingu.



Obr. 11 Shelling (vlevo) a flaking (vpravo)

3.1.4 Head Checking

Jedná se o povrchové, šikmé trhlinky (Obr. 12 vlevo) na pojížděné straně hlavy kolejnice. Objevují se především na výhybkách a v obloucích, kde na jedno kolo působí větší síla a kde při nevhodném vedení dvojkolí kolejnicí dochází k značným smykovým namáháním jak na vnější, tak vnitřní kolejnici. Trhliny se poté šíří a může dojít k odlupování menších částí materiálu z kolejnice, v horším případě až k lomu. Vada se zjišťuje vizuálně; s pomocí ultrazvuku je to vzhledem k charakteru trhlin obtížné.

3.1.5 Spalling

Spalling (Obr. 12 vpravo) je podobný Head Checkům v pozdní fázi, nicméně na rozdíl od nich nemá charakter šikmých trhlin, ale spíše odloupených částí materiálu. Vzniká vlivem velkých kontaktních tlaků na hlavu kolejnice. V pokročilém stádiu může být příčinou lomu kolejnice. Tato vada se může týkat i kol vozidel. Vada je dobře zjiřitelná vizuálně. Spalling se v provozu pražského metra neprojevil.



Obr. 12 Head checking v prostředí metra (vlevo) a spalling (vpravo)

3.1.6 Změna tvaru vnější kolejnice

Mezi další kontaktně – únavové vady patří dnes velmi aktuální změna tvaru vnější kolejnice (Obr. 13). Nastává především v extrémních traťových a okolních podmínkách jako jsou kombinace oblouků malých poloměrů, stoupání a vlhkost či koroze. Tato vada potom může mít zásadní vliv na změnu kontaktní geometrie dvojkolí – kolej. Přitom na vznik tohoto opotřebení má také zásadní vliv původní kontaktní geometrie.



Obr. 13 Boční vyjetí vnějšího kolejnicového pásu, spolu s Head Checkingem

3.2 Vady jízdnicích obrysů kol

3.2.1 Teplotní trhliny

Tato vada vzniká střídavým ohříváním a ochlazováním obruče kola v kombinaci s kontaktními skluzovými silami. Trhliny (Obr. 14 vlevo) mají obvykle směr po obrysu kola a mohou se vyskytovat po celém jeho obvodu. V případě nálezu těchto trhlin je vhodné zkontrolovat správnou činnost brzdového systému. Trhliny jsou dlouhé 10 – 40 mm dlouhé, záleží na fázi jejich rozvoje. Trhliny je možno odstranit soustružením, je však nutné dbát na to, aby byla trhlina kompletně odbroušena. Tato vada může vést až k vydrolování materiálu z kola, nebo až k prasknutí věnce kola.

3.2.2 Trhliny vznikající mechanickým namáháním

Tyto trhliny (Obr. 14 vpravo) vznikají vlivem velkých kontaktních napětí a skluzových sil při valení na povrchu kola. Na rozdíl od teplotních trhlin je pro ně charakteristický určitý sklon, který může dosahovat až 45°. Dalším namáháním může tato vada přejít v spalling.



Obr. 14 Teplotní trhliny (vlevo) a trhliny vzniklé mechanickým namáháním (vpravo)

3.2.3 Materiálové vady

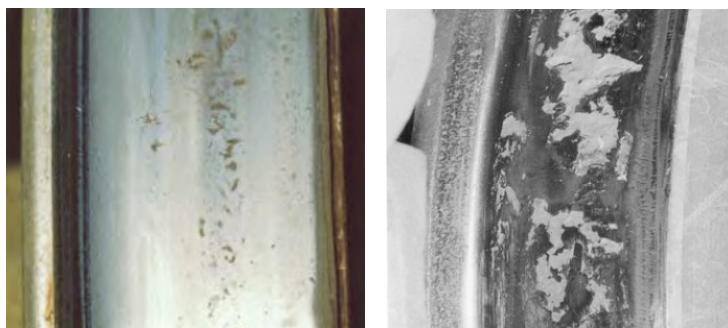
Tyto vady vznikají především pod povrchem kola, jsou tedy odhalitelné především důslednou defektoskopickou zkouškou. Vlivem namáhání místa, kde se vyskytuje materiálová vada, vznikne trhlina, která se dále šíří, dokud nedojde k odloupení části materiálu. Tyto vady mohou postihovat i části okolku, vnější čelo věnce apod.



Obr. 15 Trhlina na jízdní ploše způsobené materiálovou vadou (pozdní fáze)

3.2.4 Spalling

Spalling (Obr. 16) je vydrolování materiálu z kola. Může být způsobeno kontaktně – únavovým namáháním, ale původ může mít i v teplotních trhlinách. Většinou se vyskytuje tam, kde je souběh několika následujících faktorů: velká nápravová zatížení, špatný stav tratě, velké hodnoty okamžitých kontaktních napětí, povrchy kol z nevhodně tvrdého materiálu, prudké rozjezdy a brzdění. Velikost vydrolenin je různá, od drobných nepatrných částic (známých jako pitting) až po dolíky o průměru 25 mm a hloubce až 3 mm.



Obr. 16 Počáteční (vlevo) a pozdní fáze Spallingu (vpravo)

3.2.5 Ploché kolo

K plochám po obvodu kola dochází především při zablokování nápravy, například při prudkém brzdění apod. Plochá kola mohou vést k dalším vadám jízdního obrysu, jako například spalling. Výrazně snižují životnost komponentů podvozků, ložisek a také výrazně zvyšují namáhání tratě. Velikost plochy závisí na podmínkách jejich vzniku, v extrémních případech mohou dosahovat i délky větší jak 100 mm.



Obr. 17 Ploška na obvodu kola

3.2.6 Změna tvaru jízdní plochy kola

Změna tvaru jízdní plochy kola patří k přirozenému procesu opotřebení, je však snahou toto opotřebení minimalizovat a optimalizovat jeho průběh tak, aby neovlivnilo jízdní vlastnosti dvojkolí. Při vhodné kontaktní geometrii dvojkolí – kolej dochází k rovnoměrnému opotřebení jízdního obrysu a dvojkolí si tuto kontaktní geometrii zachovává, nebo se může i zlepšovat. Značně se prodlouží kilometrický proběh mezi soustruženými. Naopak nevhodná kontaktní geometrie má za následek velké opotřebení, větší interakci dvojkolí – kolej a vyšší ekonomické nároky na údržbu. Mezi vady spojené s nevhodnou změnou tvaru patří především výrazné opotřebení do okolku a výrazné opotřebení do jízdní plochy (Obr. 18 a Obr. 19).



Obr. 18 Dva základní druhy změny tvaru obrysu kola

Při intenzivním opotřebení do okolku může vzniknout na jeho vrcholu vlivem odemílání materiálu převalek, pokud dosáhne určité kritické velikosti, může nepříznivě ovlivňovat jízdu dvojkolí výhybkami. Naopak při intenzivním opotřebení jízdní plochy může vzniknout na jízdním obrysu žlábků. Ten nepříznivě ovlivňuje středící vlastnosti dvojkolí při jízdě po přímé koleji.



Obr. 19 Pokročilé opotřebení okolku (vlevo) a jízdní plochy (vpravo)

Měření jízdních obrysů a profilů kolejnic

4.1 Použité měřicí systémy pro získání dat

4

4.1.1 Systém MiniProf

Pro sledování opotřebení v provozu metra používá DP již dlouhodobě měřicí systém MiniProf (Obr. 20) od holandské firmy Greenwood Engineering. Pro měření kol se tento kontaktní měřicí systém ukotví ke kolu pomocí úchytů k okolku a opře se pomocí magnetů o vnitřní čelo věnce, poté obsluha přejede po jízdním obrysu speciálním ramenem, které je osazeno snímači pohybu. Data jsou přímo převáděna ke zpracování do přenosného počítače. V případě měření kolejnic je systém součástí tyče, pomocí které se měří rozchod koleje. K přípravku je dodávána řada dalšího příslušenství, které umožňuje měření průměru dvojkolí, rozkolí apod. DP si tento systém přizpůsobil, a to vlastním vyhodnocovacím softwarem a upínacím přípravkem vyrobeným dle zadání společnosti [2].



Obr. 20 Měřicí systém MiniProf [13]

Při dodržení správných postupů a zásad při měření výrobce slibuje vlastnosti měřicího systému uvedené v Tab. 3. Systémem MiniProf byla měřena veškerá data získaná od DP. Po zobrazení dat z tohoto systému však byly zjištěny nedostatky. Naměřené profily tímto systémem byly posunuté v příčném směru o chybu Δy . Vlastní data však nevykazovala známky další nestandardní chyby a i s ohledem na jejich důležitost byla upravena, jak je popsáno v kapitole 4.4.1, a použita. Dále MiniProof očividně chybně měřil průměr kol, kdy tato hodnota se nesmyslně vyvíjela v čase i nad jmenovitý průměr kola. Vzhledem k tomu, že

se provádělo vždy jen jedno měření, nebylo možné průměr kola ani jinak statisticky vyhodnotit. Jako podklad k uvedenému uvádím vývoj poloměru kola jednotky 3289 – 1P podle systému MiniProof v Tab. 4.

Vlastnosti MiniProfu	Kolo	Kolejnice
Přesnost	± 9 μm	± 11 μm
Opakovatelnost	± 2,5 μm	± 2,5 μm
Přesnost měření průměru kola	± 0,09 mm	/
Hmotnost včetně přípravků	0,9 kg	0,8 kg
Vzorkování	10 000 bodů/sek	
Měření jednoho profilu	< 5 sek	
Doba zpracování dat	< 1 sek*	
Velikost souboru jednoho profilu	20 - 30 kb	

* záleží na výkonu výpočetní techniky

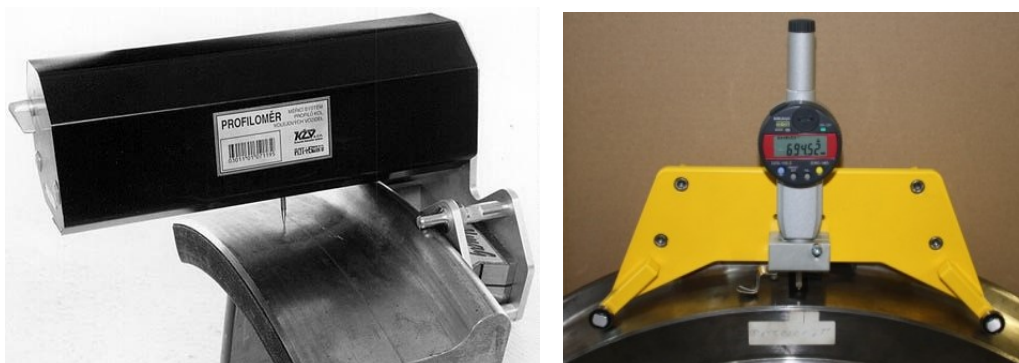
Tab. 3 Vlastnosti měřícího systému MiniProf

Proběh [Km]	5 000	11 000	15 000	22 000	27 200	35 000
R [mm]	383,83	383,59	384,28	384,04	384,06	385,66
Proběh [Km]	40 500	45 000	55 000	67 000	75 000	96 000
R [mm]	385,78	399,5	383,45	383,16	382,96	378,53

Tab. 4 Chybný vývoj poloměru kola podle systému MiniProof

4.1.2 Profiloměr a Pavouk

Pracovníci DFJP již dlouho používají Profiloměr od české společnosti KŽV s.r.o. Jedná se o jednoduché kontaktní měřidlo na principu jehlice posouvající se po jízdním obrysu kola či kolejnici. Při měření obrysu kola je přípravek připevněn k vnějšímu věnci kola obdobně jako MiniProf. Přístroj se ovládá pomocí připojeného počítače, který zároveň zpracuje data. V případě měření koleje je přístroj součástí tyče pro měření rozchodu. Profiloměr sám o sobě není schopný změřit průměr kola. K tomu se zvláště používá přípravek Pavouk od stejné firmy, ten se přiloží na čelo věnce a pomocí dvou opěrných bodů také na jízdni plochu kola. Mezi těmito body je potom měřič výchylky – vzepětí nad tětivou, na základě které se určí průměr kola.



Tab. 5 Profilměr (vlevo) a Pavouk (vpravo)

Při správném použití slibuje výrobce následující parametry měření v Tab. 6.

Vlastnosti systému Profilměr	
Přesnost v ose Z	$\pm 0,02$ mm
Přesnost v ose Y	$\pm 0,04$ mm
Vzorkování	1 bod / 0,5 mm v ose y

Vlastnosti systému Pavouk	
Přesnost měření průměru kola	$\pm 0,02$ mm
Rozsah měření	500 až 2250 mm
Hmotnost	1,2 kg
Výdrž baterie	až 20 000 h měření

Tab. 6 Vlastnosti systémů Profilměr a Pavouk

4.1.3 Systém Calipri

Calipri je kompaktní bezkontaktní měřicí systém od rakouské společnosti NextSence. Měřidlo využívá technologii měření pomocí vysílání tří laserových paprsků, které jsou zpětně zachytávány kamerou. Příklad je propojen s tabletem, který shromažďuje a vyhodnocuje naměřená data a pomocí něhož je celý systém i částečně ovládán. Tablet přitom může být pohodlně zavěšen přes rameno obsluhy. Měření spočívá ve spuštění měřicího režimu a následným pohybem laserového senzoru okolo měřeného obrysu kola nebo kolejnice. K systému je možno dokoupit další příslušenství umožňující měření průměru kola apod. Dále společnost nabízí vlastní vyhodnocovací software. Tento systém byl prvně vyzkoušen v rámci měření této diplomové práce, a s přihlédnutím k tomu, aby výpočet kontaktní geometrie čerpal od jednoho měřicího systému, jsem se rozhodl pouze porovnat měřicí systémy Calipri a MiniProof v rámci přílohy 4.1.



Obr. 21 Měřicí systém Calipri [14]

Při dodržení správného postupu měření výrobce slibuje vlastnosti měřicího systému v Tab. 7

Vlastnosti Calipri	Kolo i kolejnice
Přesnost	$< \pm 80 \mu\text{m}$
Opakovatelnost	$< \pm 35 \mu\text{m}$
Hmotnost senzoru	0,45 kg
Hmotnost přenosného tabletu	1,3 kg
Výdrž baterie při plném výkonu	5 h

Tab. 7 Vlastnosti měřicího systému Calipri

4.2 Porovnání měřících systémů

Přehled závěrů ohledně měřících systémů, které lze vyvodit z proběhlého měření s přihlédnutím na parametry uváděnými výrobcí, je zpracován v Tab. 8

	Výhody	Nevýhody
MiniProof	Rychlé měření Rychlé hodnocení Jednoduchá obsluha Teoretická přesnost	Zvlášť postižen chybami kontaktních měřidel Nevhodné měření průměrů kol
Profiloměr + Pavouk	Přesnost	Nízký interval měření Prostorově náročný
Calipri	Měření plného profilu Okamžité vyhodnocení v tabletu Rychlé měření Široká oblast použití (Vyhýbky)	Nízká teoretická přesnost Nízká výdrž baterie Cena

Tab. 8 Porovnání měřících systémů

4.3 Měřené tratě a vozidla

4.3.1 Naměřená data v rámci údržby DP

DP poskytl data ohledně měření jízdních obrysů kol po určitých kilometrických probězích. Z těch byla použita, především pro vývoj tvaru jízdního obrysu Kužel, data o všech kolech čelního vozu metra pod označením 3336, celkem v pěti probězích. Na zpracování vývoje obrysu K2A byla použita data z prvního podvozku čelního vozu metra pod označením 3289. Vše bylo měřeno pomocí systému MiniProf, který DP používá. Kompletní upravená data jsou k dispozici v příloze 1.1.

4.3.2 Měření na vozu metra 3336 v depu Zličín

V rámci této diplomové práce bylo provedeno měření všech kol na voze metra 3336. Cílem bylo ověření naměřených dat DP, jako vedlejším cílem bylo porovnání měřících systémů Calipri a MiniProf. Přípravek Profiloměr bohužel nebylo možné kvůli omezenému prostoru kolem kola vozu uchytit. Měřilo se vždy každé kolo minimálně třikrát systémem Calipri, systémem MiniProf se měřilo jednou. Dále se změřilo rozkolí jednotlivých kol standartní tyčovou rozkolkou a průměr kol pomocí Pavouku. Výsledky měření jsou uvedené v Tab. 9. Vzhledem k tomu, že byla známa předchozí průběžná měření tohoto vozu metra, bylo měření použito jako další údaj s proběhem přibližně 69 000 km a celý vůz byl vyhodnocen jako celek pro výpočet vývoje kontaktní geometrie.

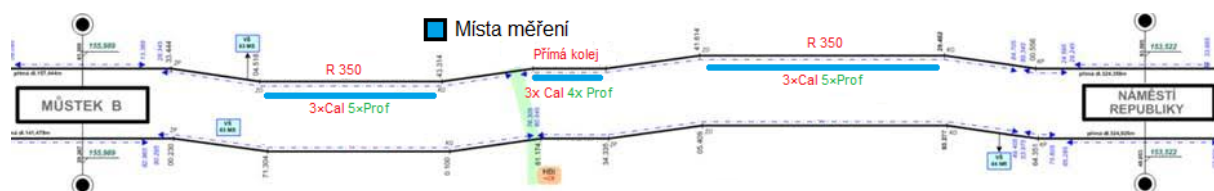
	1L	1P	2L	2P	3L	3P	4L	4P
Průměr kola [mm]	379,05	378,97	379,05	379,05	381,39	381,27	381,31	381,23
Rozkolí [mm]	1359,12		1360,04		1360		1359,76	

Tab. 9 Naměřené základní rozměry kol jednotky 3336

4.3.3 Měření profilů kol v mezistaničním úseku Můstek – Náměstí Republiky

Dále bylo provedeno měření mezistaničního úseku Můstek – Náměstí Republiky v rámci noční výluky. Tento úsek tvoří dva protisměrné oblouky o poloměru R 350 m a převýšení 146 mm, mezi nimiž je krátký přímý úsek dlouhý 53,2 m. Trať v tomto úseku

dosahuje slonu 3‰ K měření byly použity systémy Calipri a Profiloměr. K datům profiloměru byl vždy změřen rozchod koleje rozchodkou. Místa a počet měření je zobrazen na Obr. 22.



Obr. 22 Schéma mezistaničního úseku s vyznačenými místy a počtem měření

4.4 Úprava dat

4.4.1 Úprava obrysů kol pořízených ze systému MiniProof

Jak již bylo uvedeno, data z MiniProofu bylo nutné upravit. Po hlubší analýze dat se ukázalo, že hledaná chyba Δy má dominantní systematickou hodnotu (stálou chybu) vždy v rámci jednoho kola, z toho lze soudit že chyba může být způsobena opotřebením věnce kola, ke kterému se přípravek přikládá. Ta byla odhadnuta na základě porovnání obrysu s nejnižším opotřebením a teoretickým obrysem v místech, kde není předpokládáno opotřebením (vršek okolku, zkosení věnce) a zobrazena jsou v Tab. 10. Podobným způsobem byl odhadnut i vlastní poloměr kola pomocí porovnání vršků okolku.

Chyba - K2A	3289 - 1L	3289 - 1P	3289 - 2L	3289 - 2P				
Δy	0	0,5	0,4	0,3				
Chyba - Kužel	3336 - 1L	3336 - 1P	3336 - 2L	3336 - 2P	3336 - 3L	3336 - 3P	3336 - 4L	3336 - 4P
Δy	0,6	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4

Tab. 10 Odhadnutá chyba Δy (v absolutní hodnotě)

4.4.2 Vzorkování - vícebodová interpolace

Pro snazší práci s daty a především kvůli požadavkům vyhodnocovacího programu Kontakt 3 byla veškerá data převzorkována na jeden bod každých 0,1 mm. K tomu byla použita vícebodová interpolace neboli interpolace vyšším stupněm polynomu. K výpočtu byla použita konkrétně metoda Lagrangeovy interpolace. Výhodou (vzhledem k objemu dat) je především snadná a rychlá algoritmicizace tohoto převodního procesu; v případě zvolení

vhodného stupně polynomu je metoda uspokojivá. Dále můžeme v rámci této metody snadno určit směrnici křivky, která je potřebná pro výpočet $tg\gamma$ funkce, jeden z ukazatelů kontaktní geometrie. V tomto případě základem převodu jsou matice v (1).

$$\Lambda = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 y_0 & \dots & a_n y_0^n \\ a_0 & a_1 y_1 & \dots & a_n y_1^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0 & a_1 y_n & \dots & a_n y_n^n \end{bmatrix}, \vec{f}(x_i) = \begin{bmatrix} f(y_0) \\ f(y_1) \\ \dots \\ f(y_n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kde Λ je čtvercová matice, která má v každém řádku rovnici polynomu vždy pro daný bod. n je zvolený stupeň polynomu, počet bodů zahrnutých do interpolace je $n+1$. $a_0 \dots a_n$ jsou neznáme koeficienty. $y_0 \dots y_n$ jsou y -ové souřadnice bodů zahrnutých do interpolace. Vektor $\vec{f}(x_i)$ je potom vektor z -ových souřadnic bodů zahrnutých do interpolace. Vždy byla použita polovina bodů vlevo a polovina (+1 v případě lichého počtu) bodů vpravo od řešené souřadnice. Pomocí koeficientů $a_0 \dots a_n$ můžeme určit výsledný polynom $a_0 + a_1 y + \dots + a_n y^n$ a za y dosadit požadovanou souřadnici. V případě interpolace bylo vždy po výpočtu sledováno, zda nedošlo k „rozkmítání“ křivky mezi body; to bylo dobře sledovatelné především na vypočítané a vykreslené tangentě. V případě, že tento jev nastal, zvolil se nižší stupeň polynomu. V drtivé většině výpočtů byl použit stupeň polynomu $n = 3$.

4.4.3 Průměrování obrysů

Pro eliminaci chyby způsobené měřením bylo použito tzv. průměrování obrysů. Nejprve se vizuálně zkontrolují zobrazená data, zda nenesou známky hrubé chyby (nečistoty, neúplné obrysy apod.). Takové obrysy jsou vyřazeny z výpočtu. Následně dojde k vzorkování a pro každou souřadnici se vypočítá aritmetický průměr. Výsledný obrys byl potom použit pro další výpočty.

4.4.4 Výpočet tangenty ke křivce

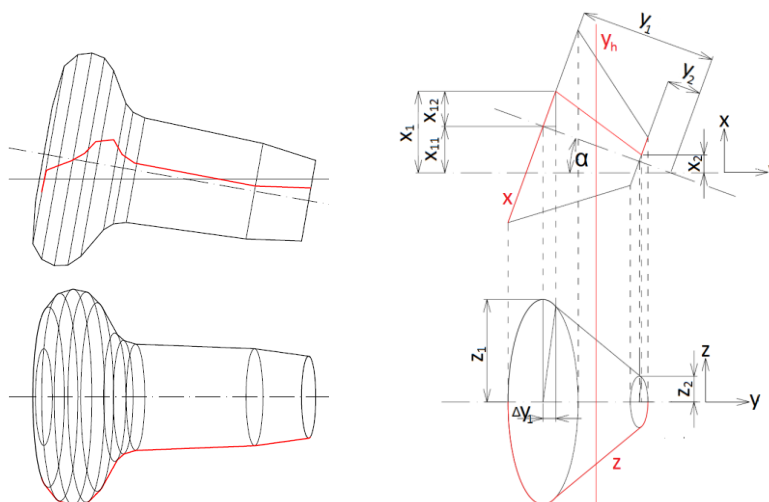
Výpočet směrnice křivky bezprostředně navazuje na interpolaci obrysů. Je jí totiž možné určit pouhým derivováním vypočítaného polynomu: $a_1 + 2a_2 x + \dots + n a_n x^{n-1}$. Bylo

však zjištěno, že graf takto vypočítané tangenty je nutné numericky vyhladit. Numerické vyhlazení proběhlo pomocí algoritmu softwaru MathCad, který k vyhlazení využívá následující postup. Necht' D jsou data y -ových souřadnic bodů, které potřebujeme vyhladit. Vypočítáme klouzavé mediány M v okně určených n body. Bodů n musí být lichý počet. Následně vypočítáme rozdíl $D-M$, z těchto dat potom určíme další klouzavé mediány R . Vyhlazeným výsledkem jsou potom data vzniklá součtem $R+M$.

V této kapitole bych chtěl dále upozornit, že systém MiniProf v rámci měření automaticky vypočítává pomocí vlastního algoritmu tangentu. Výsledky jsem nepoužil z důvodu pochybností o jejich správnosti. Příklad totiž určil ve všech případech minimální hodnotu tangenty větší než $-1,5$ u profilu K2A a $-1,3$ u profilu Kužel. Strmost okolků těchto profilů jsou 70° a 60° , což odpovídá tangentám $-2,75$ a $-1,73$.

4.4.5 Naklonění kola vůči kolejnici

Naklonění kola vůči kolejnici kolem svislé osy z o úhel náběhu bylo uvažováno pouze při výpočtu předstihu. Jedná se o poměrně náročnou geometrickou úlohu, kdy promítneme nakloněné kolo v rovinách $x-y$ a $z-y$. Na Obr. 23 je zobrazen modelový případ nakloněného kola, kde hledáme kontaktní červenou křivku, která je dána funkcí pro každé Y_h souřadnicemi X a Z . Zatímco Y_h je dáno vzorkováním, souřadnici X a Z určíme na základě rozboru elementů kola daný měřením. Na obrázku je také naznačen princip řešení, kdy X a Z určíme na základě průsečíku s rovinou Y_h .



Obr. 23 Řešení naklopení kola vůči svislé ose z

4.5 Vyhodnocení měření

4.5.1 Měření po periodických probězích

Jízdní obrysy:

Kompletně naměřená a vyhodnocená data jsou zobrazena v příloze 1.1. Můžeme zde sledovat vývoj opotřebení u jednotlivých obrysů. Rozdíl je především ve smyslu opotřebení okolků.

Obrys Kužel je již zpočátku opotřebováván v úrovni 10 mm nad styčnou kružnicí, tedy v místě měření šířky okolků. Zvyšuje volný kanál koleje pro tento obrys, což není vhodné v kombinaci se špatnou kontaktní geometrií tohoto obrysu. Dvojkolí dostane prostor pro rozvoj nestabilního pohybu a v obloucích dosáhne vyšších úhlů náběhu. Zajímavý je jev, kdy opotřebení se začíná šířit směrem k vrcholu okolků. Ten připisují vlivu kolejnic, které již mají opotřebovanou vodící hranu, popřípadě vyšším úhlu náběhu v pozdních fázích opotřebení. O nevhodnosti tohoto obrysu však svědčí především oblast přechodu jízdní plochy do okolků, která je nedotčená, dochází tedy k nežádoucímu dvoubodovému kontaktu a „soustružení“ kola kolejnicí.

Opotřebení obrysu K2A je na rozdíl od předchozího rovnoměrné, nicméně má podobné problémy. Výhodou tohoto obrysu je především lepší využití přechodové části mezi jízdní plochou a okolkem a o něco lepší kontaktní geometrie. Nevýhodou jsou potom teoreticky vyšší silové nároky na okolek v kombinaci s vyšším předstihem. Teoretický K2A má navíc tenčí okolek než Kužel.

Profily kolejnic:

Naměřené profily hlav kolejnic jsou v příloze 1.2. Ty především potvrzují, že extrémní opotřebení je především způsobeno nevhodnou kontaktní charakteristikou při průjezdu vozidla obloukem. Měřený úsek Můstek – Náměstí Republiky je tvořen dvěma

protisměrnými oblouky, mezi nimiž je krátký úsek přímé koleje. Můžeme sledovat výrazné opotřebení kolejnic v obloucích, avšak přímá kolej je oproti ní opotřebena minimálně.

4.5.2 Měření pomocí systému Calipri

Pomocí Calipri byl kompletně změřen vůz 3336; zde jsme mohli porovnat tento systém s měřením pomocí MiniProofu. I v tomto případě bylo nutné odhadnout korekci Δy . Výsledky (Příloha 4.1) hodnotím negativně vzhledem k tomu, co slibují výrobci – viz statistické údaje. Bohužel ani jeden ze systémů zatím není ve stádiu, kdy by mohl být prohlášen za referenční. Dále byl pomocí Calipri změřen zmiňovaný úsek trati Můstek – Náměstí Republiky (Příloha 4.2). Vzhledem k tomu, že měření Profiloměrem a Calipri neproběhla na stejném místě (ve snaze naměřit co největší množství obrysů), nejsou porovnána.

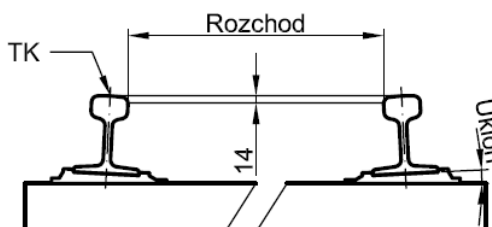
Vztah dvojkolí – kolej

5.1 Hlavní funkční rozměry

5

5.1.1 Rozměry tratě

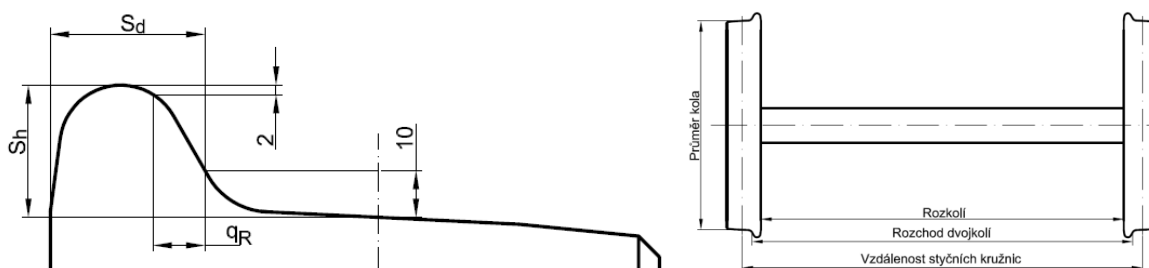
Kromě tvarů profilů kolejnic je potřeba pro výpočet kontaktní geometrie znát především rozchod. V případě, že měříme pouze profily kolejnic (systém Calipri) je potřeba navíc k příslušné úpravě dat znát úklon a provést příslušné úpravy.



Obr. 24 Funkční rozměry tratě

5.1.2 Rozměry dvojkolí a jízdních obrysů

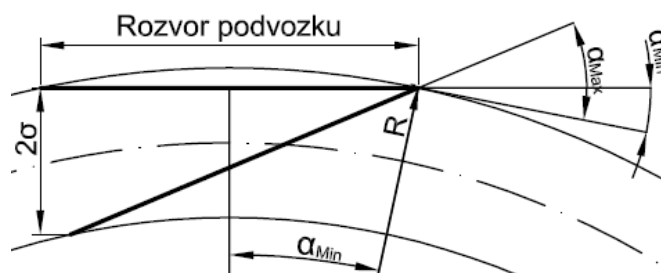
Rozměry funkčních rozměrů jízdního obrysu a dvojkolí jsou zobrazeny na Obr. 25. Tyto parametry bezprostředně souvisí se schopností dvojkolí projíždět oblouky, výhybkami a správně vést vozidlo, jsou tedy zvlášť sledovány a v případě dosažení limitních hodnot je nutný zásah údržby.



Obr. 25 Funkční rozměry jízdního obrysu a dvojkolí

5.1.3 Šířka volného kanálu a úhel náběhu

Jsou již parametry vztahu mezi dvojkolím a kolejí. Šířka volného kanálu (2σ) je prostor, ve kterém se může dvojkolí pohybovat v rámci koleje. Je dán jako rozdíl rozchodů koleje a dvojkolí + 2 mm. Kde konstanta 2 vyplývá z rozdílů metodiky měření rozchodů dvojkolí a trať. Šířka volného kanálu má velmi vysoký vliv na kontaktní geometrii, neboť vymezuje maximální příčné posunutí dvojkolí od osy koleje.



Obr. 26 Výpočet úhlu náběhu

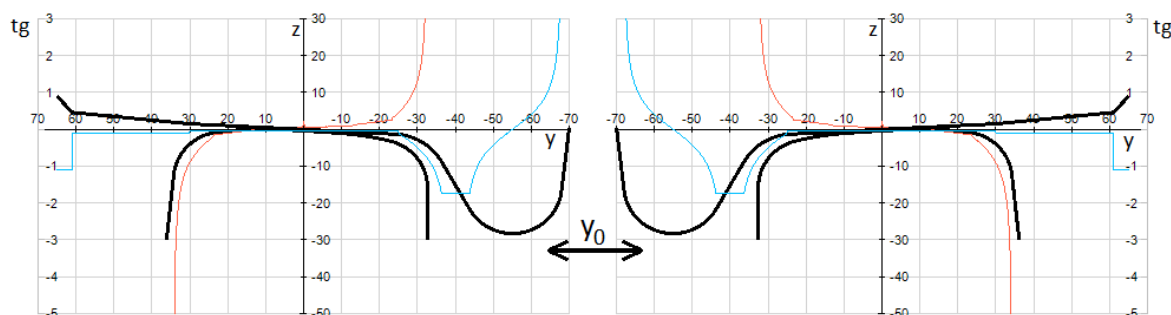
S šířkou volného kanálu také roste maximální možný úhel náběhu při jízdě vozidla obloukem, ten stanovíme pomocí rovnice (2) odvozené z Obr. 26. Vysoký úhel náběhu při průjezdu vozidlo obloukem zapříčiňuje vysoké skluzové síly, předstih a tedy i opotřebení.

$$\alpha_{MAX} = \frac{a}{R} + \frac{2\sigma}{2a} \quad (2)$$

5.2 Charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí - kolej

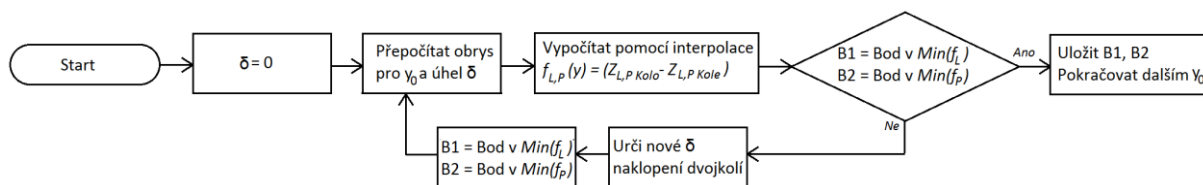
5.2.1 Poloha dotkových bodů

Základem pro řešení dalších kontaktních charakteristik je nutnost najít kontaktní body mezi kolem a kolejnicí. Ty lze nalézt pomocí numerické metody – kontaktního algoritmu.



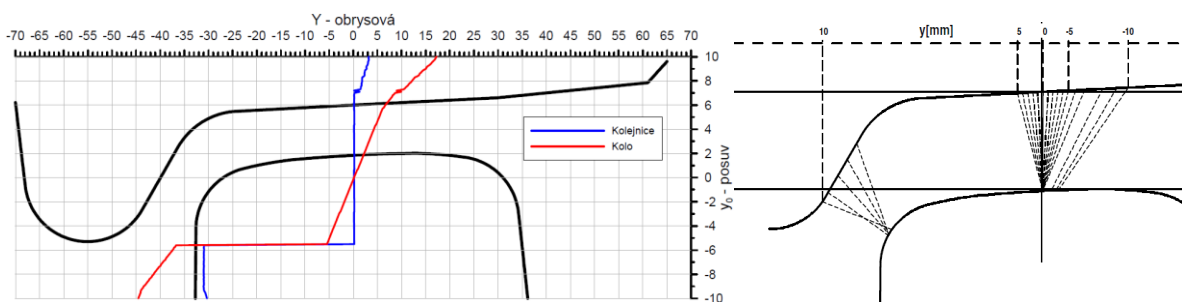
Obr. 27 Princip výpočtu dotkových bodů

Na Obr. 27 je zobrazen princip posouvání dvojkolí po kolejnici, kdy pro každé příčné posunutí y_0 hledáme dotykové body mezi kolem a kolejnicí. To je provedeno výpočtem rozdílu obrysů kola a kolejnice na každé straně. Tam kde se nachází minimum, je teoreticky dotykový bod, vlivem rozdílné svislé polohy těchto bodů však dojde k naklonění dvojkolí kolem podélné osy a je nutno obrys kola přepočítat a proces zopakovat. Vlastní vývojový diagram tohoto algoritmu by mohl vypadat podle Obr. 28.



Obr. 28 Vývojový diagram kontaktního algoritmu

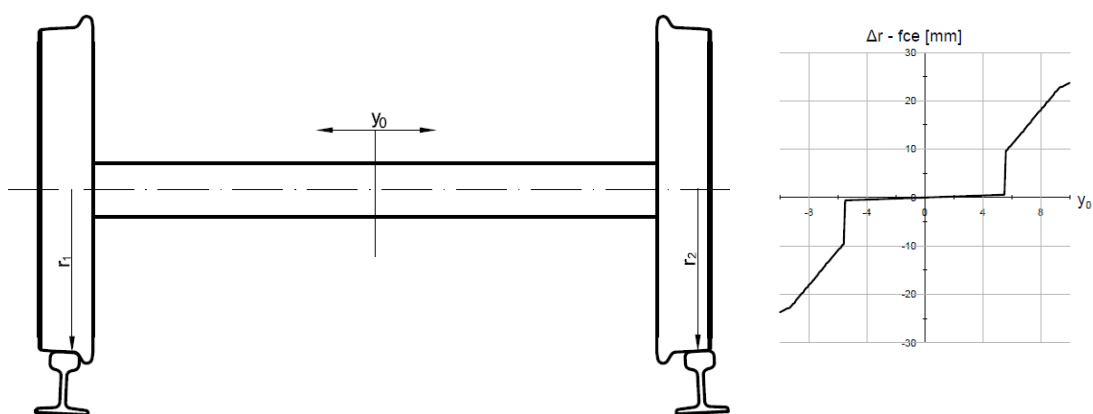
Zobrazení kontaktních bodů je pak možno více způsoby. Kontakt 3 zobrazuje přímo spojnice mezi nimi. Alternativou pak může být křivkové označení, kdy se osa posuvu y_0 vykreslí na svisle a na vodorovnou je potom vykreslena Y – souřadnice kontaktního bodu zvlášť pro kolo a kolejnici (Obr. 29).



Obr. 29 Zobrazování kontaktních bodů, kontaktní křivky (vlevo), Kontakt 3 (vpravo)

5.2.2 Δr – funkce

„Delta – er funkce“ (Obr. 30) je základní kontaktní charakteristikou dvojkolí – kolej, a vychází z ní i mnohé další, doplňující. Vyjadřuje závislost rozdílů poloměrů kola vždy při daném posuvu y_0 . Δr – funkce nám tedy vyjadřuje diferenciál dvojkolí v závislosti na jeho aktuální poloze. Díky tomu můžeme dále předpokládat pohyb dvojkolí po koleji.



Obr. 30 Princip Δr – funkce (vlevo), Δr – funkce teoretických obrysů Kužel a S49 (vpravo)

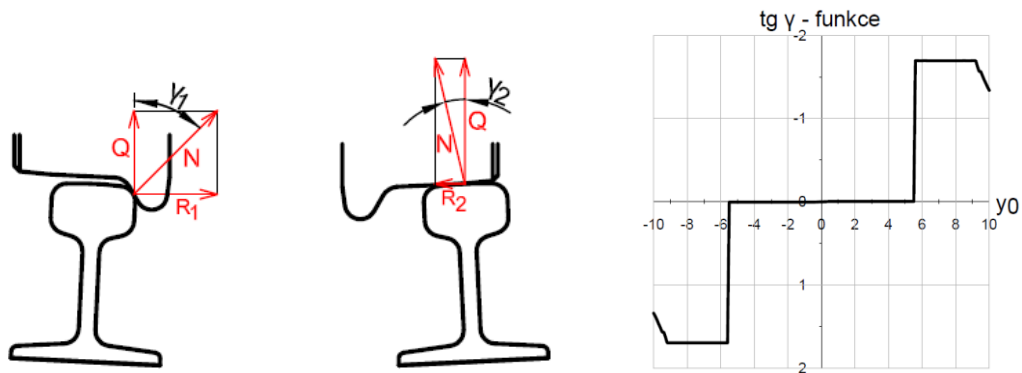
Výpočet této funkce je potom následující, po zjištění kontaktních bodů pomocí vhodného algoritmu (v našem případě použit program Kontakt 3 / Diana), jsou jednotlivé body dány rovnicí (3).

$$\Delta r = r_1 - r_2 \quad (3)$$

Pro teoretické obrysy kol a kolejnic platí, že Δr – funkce je středově souměrná; v praxi, s opotřeбенými jízdními obrysy, má tato funkce dosti rozličný charakter.

5.2.3 $Tg \gamma$ – funkce

„Tangens – gama funkce“ je charakteristika, která nám popisuje rozdělení sil mezi dvojkolím a kolejí. Při vychýlení dvojkolí o y_0 dojde v dotkových bodech rozdělení normálové síly do svislého směru a do směru k ose koleje (Obr. 31). Toto rozdělení závisí na úhlu sklonu dotkových rovin.



Obr. 31 Princip $Tg \gamma$ – funkce (vlevo), $Tg \gamma$ teoretických obrysů Kužel a S49 (vpravo)

Pro výpočty pomocí těchto funkcí platí rovnice (4). Pokud chceme vypočítat sílu, která působí do středu kolejnice (síla H), použijeme rovnici (5).

$$tg \gamma = tg \gamma_1 - tg \gamma_2 \quad (4)$$

$$H = Q \cdot (tg \gamma_1 - tg \gamma_2) = Q \cdot tg \gamma \quad (5)$$

Podobně jako v případě Δr – funkce, je i $tg \gamma$ – funkce středově souměrná pouze v případě použití shodných (teoretických) obrysů.

5.2.4 Ekvivalentní konicita

Ekvivalentní konicita (kuželovitost) charakterizuje periodický pohyb dvojkolí v koleji křivkového jízdního obrysu. Posunutí y_0 zde plní funkci amplitudy periodické funkce. Tento periodický pohyb dále můžeme charakterizovat délkou vlny L . V případě kuželového jízdního obrysu je délka této vlny dána rovnicí (6) a z ní odvozené rovnice (7).

$$L_{kuž} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{s \cdot r}{\lambda}} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot s \cdot r}{L_{kuž}^2} \quad (7)$$

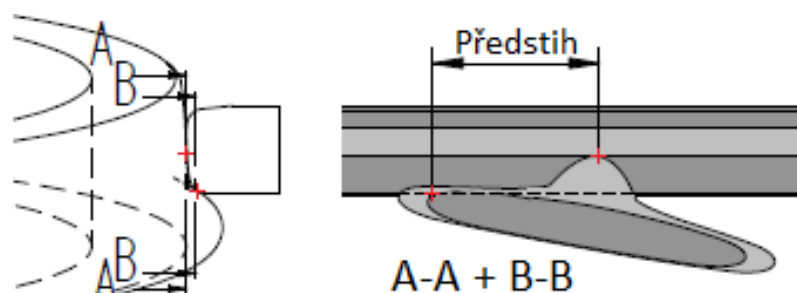
Kde s je polovina vzdálenosti styčných kružnic, r jmenovitý průměr kola a λ je kuželovitost obrysu. V případě kuželového jízdního obrysu je kuželovitost i délka vlny konstantní. V případě křivkového jízdního obrysu je však délka vlny závislá na amplitudě y_0 . V praxi je potom výpočet ekvivalentní konicity možný řešit numericky, kdy dvojkolí dám do počáteční výchylky y . Následně dvojkolím odvaluji a pro každý krok zjišťuji pomocí Δr – funkce další polohou dvojkolí, dokud nezjistím požadovanou délku vlny $L_{kř}$. Následně vypočítám ekvivalentní konicitu pomocí rovnice (8), která vychází z (7)

$$\lambda_{ekv} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot s \cdot r}{L_{kuž}^2} \quad (8)$$

Pro porovnávací výpočty a v zásadě informativně nejdůležitější hodnotou je ekvivalentní konicita v bodě $y_0 = 3$ mm, což odpovídá kuželovitosti 1:20. Ekvivalentní konicita má především význam při pohybu po přímé koleji, kde je rozvíjen harmonický pohyb dvojkolí. Při jízdě obloukem je pak vyjádřením strmosti Δr – funkce, tedy kvalitou diferenciálu.

5.2.5 Předstih

Při dvoubodovém kontaktu nakloněného kola (Viz kapitola 4.4.5) dochází k pohybu jednoho dotykového bodu před druhým. Ukázalo se, že příčná vzdálenost těchto dvou bodů má vysoký vliv na opotřebení, neboť přímo určuje rozdíl obvodových a tedy i skluzových rychlostí v rámci jednoho kola. Velikost předstihu je možné s výhodou řešit pomocí 3D softwarů, které nabízejí komplexní pohled na polohu kola v oblouku. Alternativou může být již zmiňované naklonění kola a následné vyhodnocení pomocí kontaktního algoritmu. Předstih potom rozdíl souřadnice X dvou sousedních dotykových bodů.



Obr. 32 Předstih druhého bodu (3D software)

V rámci této diplomové práce byl předstih řešen pomocí numerického naklápění dvojkolí pouze pro teoretické jízdní obrysy (v protokolech uveden jako „Teoretický předstih“). Ukázalo se totiž, že již po malém opotřebení dochází k plošnému kontaktu mezi kolejnicí a okolcem kola. Tato situace zapříčiňuje nestabilitu řešení předstihu, kdy výsledkem je poměrně široký interval řešení.

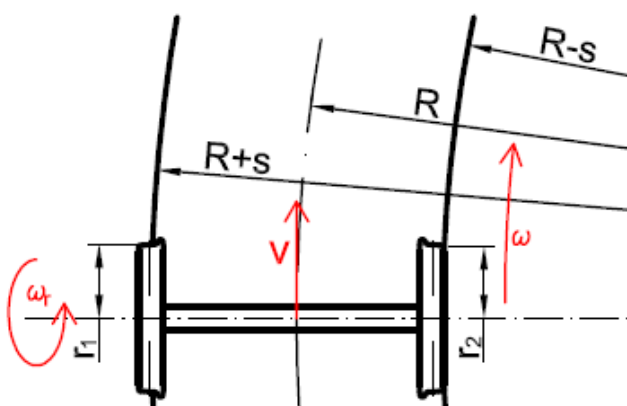
5.2.6 Použité softwary pro výpočet kontaktní geometrie

Pro výpočet kontaktní geometrie ve smyslu výše uvedeného byl naprogramován program „Diana“ navržený pro řešení většího objemu dat. Paralelně k výsledkům tohoto programu byla zpracována vybraná stejná data k ověření správnosti pomocí programu Kontakt 3, který je pracovníky DFJP již dlouhodobě používán. Dále byla zpracována validace (Příloha 5A) dle normy ČSN EN 15 302, zabývající se validací výpočetních metod pro stanovení ekvivalentní konicity, ta probíhá na základě příkladů, kde jsou zadány obrysy kol (označené A, B, H, I) a obrys kolejnice (A), výsledek výpočetní metody se potom musí být v mezích tolerančního pole ve všech případech. Tato norma však neuvažuje při výpočtu naklápění dvojkolí kolem podélné osy, jak je popsáno v kapitole 5.2.1. Proto byla podobná validace vypočtena, kde referenčním výsledkem byl výsledek z programu Kontakt 3 (Příloha 5B), který toto naklápění uvažuje. Dále byla nalezena chyba v normě, kde je kolejnice dána rovnicemi je již zarovnaná v souřadnicovém systému styčné kružnice, a kde je následně uveden mylný údaj o rozchodu kolejí 1435,16 mm na přiloženém protokolu. Správný údaj dle uvedených rovnic je 1435,20 mm. Tato chyba, která je v normě zanedbána, přitom má vliv na výsledek už při srovnání souřadnicového systému na temeno kolejnice, nebo při menším kroku výpočtu než 0,1 mm.

5.3 Poměry dvojkolí – kolej v podmínkách metra

5.3.1 Potřebná Δr – funkce

Tato hodnota Δr – funkce nám zajistí hladký průjezd vozidla obloukem, teoreticky bez skluzových rychlostí. Z vypočtených Δr – funkcí můžeme potom teoreticky uvažovat, že dvojkolí zaujme takovou y_0 , při které bude tato hodnota splněna. Pomocí úvahy na Obr. 33.



Obr. 33 Výpočet potřebné Δr – funkce.

Sestrojíme rovnice (9a) pro rychlosti jednotlivých kol a středu dvojkolí z hlediska kruhového pohybu kolem středu oblouku.

$$v_1 = (R + s) \cdot \omega \quad (9a)$$

$$v_2 = (R - s) \cdot \omega \quad (9a)$$

$$v = R \cdot \omega \quad (9a)$$

Kde R je poloměr oblouku, $2s$ je vzdálenost styčných kružnic, r_1 a r_2 je okamžité poloměry kol, ω je kruhová rychlost okolo středu oblouku, ω_r je kruhová rychlost dvojkolí vůči své příčné ose a v je posuvná rychlost středu dvojkolí.

Sestrojíme rovnice (10a) pro rychlosti jednotlivých kol a středu dvojkolí z hlediska vlastní rotace dvojkolí.

$$v_1 = r_1 \cdot \omega_r \quad (10a)$$

$$v_2 = r_2 \cdot \omega_r \quad (10a)$$

$$v = r \cdot \omega_r \quad (10a)$$

Dosazením rovnic (9a) do (10a) dostaneme rovnice (11a)

$$r_1 \cdot \omega_r = (R + s) \cdot \omega \quad (11a)$$

$$r_2 \cdot \omega_r = (R - s) \cdot \omega \quad (11a)$$

$$r \cdot \omega_r = R \cdot \omega \quad (11a)$$

Odečtením (11a) a (11a) a dosazením (11a) dostaneme konečný vztah (12)

$$(r_1 - r_2) = 2s \cdot \frac{r}{R} \quad (12)$$

Do vztahu (12) dosadíme známé veličiny a určíme potřebnou Δr – funkci.

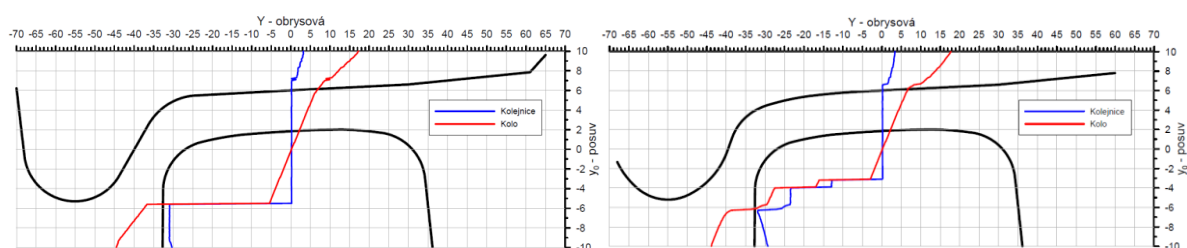
$$\Delta r = 2s \cdot \frac{r}{R} = 1500 \cdot \frac{390}{350000} = 1,67 \text{ mm}$$

5.4 Vyhodnocení kontaktní geometrie v podmínkách metra

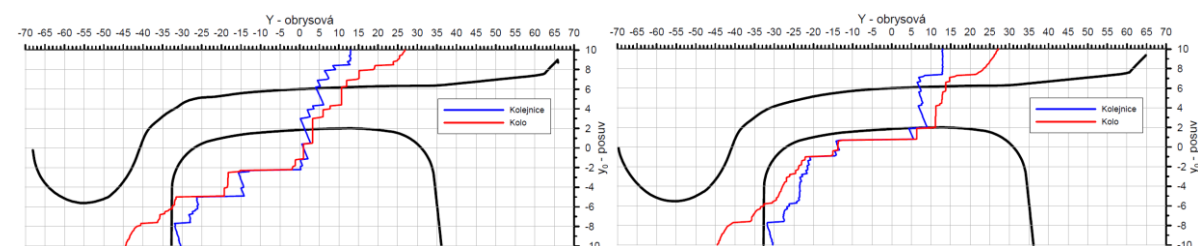
Vyhodnocení proběhlo po příslušných úpravách zmíněných v kapitole 4.4. Pomocí programu Diana byl vyhodnocen vývoj kontaktní geometrie (Příloha 2) na celkem pěti měřených tratích, a to k vztahu opotřebovávajících se obrysů Kužel a K2A. Konkrétně pro všechny obrysy uvedené v Příloze 1. Pomocí Kontaktu 3 potom byla paralelně spočítána kontaktní geometrie pro každou trať ve vztahu k třem fázím opotřebení obrysů Kužel a K2A, vždy pro nabíhající první nápravu vozidla (Příloha 3), tyto tři fáze jsou navíc označeny v protokolech o vývoji kontaktní geometrie barevně.

5.4.1 Kontaktní geometrie na teoretické trati

Kontaktní geometrie teoretických obrysů je zobrazena na Obr. 34 a Obr. 35. U obrysu Kužel dochází při pohybu do kolejnice k různému najetí na okolek a k okamžitému nárůstu Δr , která byla do té doby téměř nulová. V případě obrysu K2A dochází ke stupňovitému, nikoli však rovnoměrnému najíždění. Konkrétně námi vypočítané potřebné Δr dosáhne při najetí na druhý stupeň, dále tak zde může docházet k přeskokům kontaktních bodů. Za povšimnutí stojí i fakt, že je vždy namáhán pouze jeden kontaktní bod kolejnice v širokém intervalu y_0 .



Obr. 34 Kontaktní poměry teoretická trať - teoretický Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)

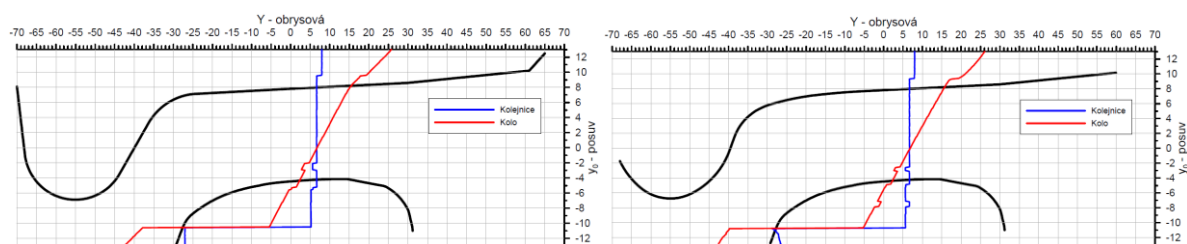


Obr. 35 Kontaktní poměry teoretická trať - opotřeбенý Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)

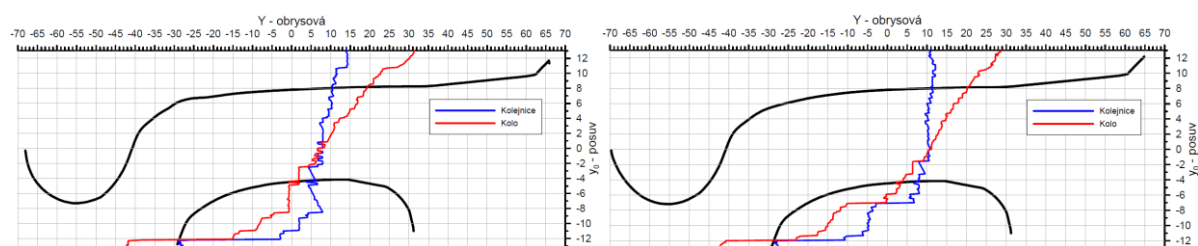
Z vývoje kontaktní geometrie v příloze 2 vyplývá, že obrys K2A se zajíždí mnohem rychleji než obrys Kužel. V pozdní fázi opotřebení se potom oba obrysy chovají obdobně jako teoretický obrys K2A – stupňovitě nabíhání na okolek. K2A však již v malé výchylce dvojkolí od osy koleje.

5.4.2 Kontaktní geometrie na úseku Radlická - Jinonice

Tento traťový úsek je ze sledovaných nejopotřeбенější. Opotřeбенá vodící hrana kolejnice znemožňuje jakýkoliv středící účinek mimo najetí přímo na okolek a vzniku nežádoucího dvoubodového kontaktu bez ohledu na profil (Obr. 36). Navíc je v širokém intervalu y_0 záporná Δr – dvojkolí má tedy opačný diferenciál a je vytlačováno ven z oblouku.



Obr. 36 Kontaktní poměry úseku Radlická – Jinonice a teoretický Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)

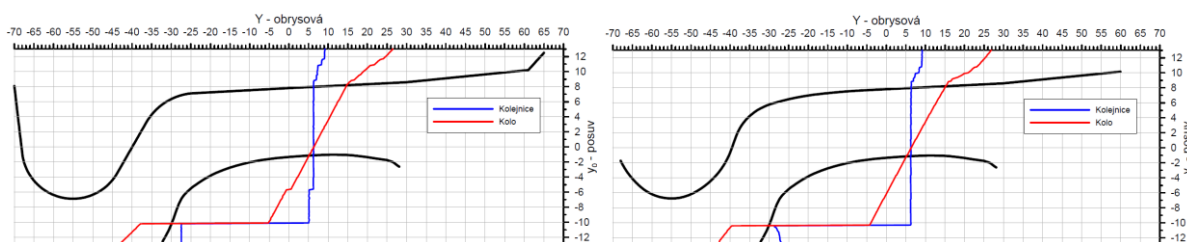


Obr. 37 Kontaktní poměry Radlická – Jinonice a opotřeбенý Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)

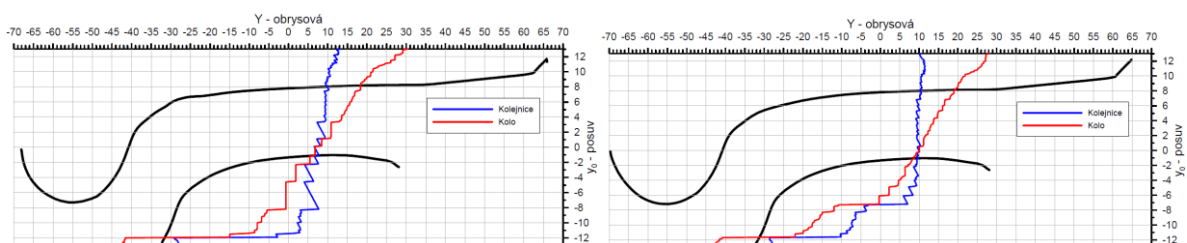
Opotřeбенím jízdního obrysu se situace v případě Kuželu nezlepší. V případě K2A dojde k vytvoření části jízdní plochy, která dle Δr začne vykazovat kladný diferenciál, vzhledem k výpočtům však není dostačující.

5.4.3 Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky, 17,1 km

Jedná se o jeden z měřených oblouků pomocí profiloměru. Situace je zde téměř stejná jako v předchozím případě. Dvojkolí ani zde nevykazuje kladný diferenciál a dokud nenalehne okolkem na vnější kolejnicový pás, bude mít snahu vyjet ven z oblouku.



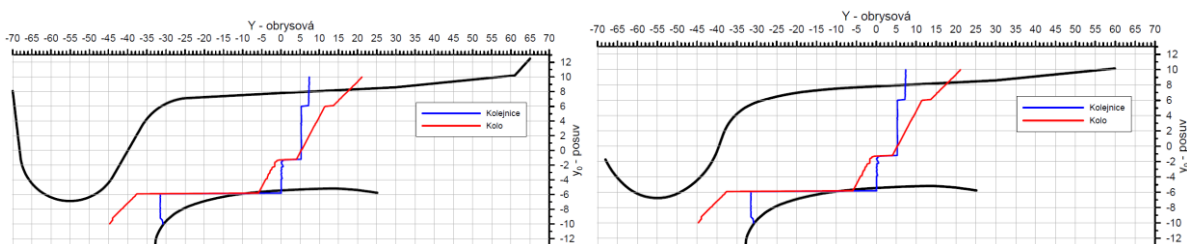
Obr. 38 Můstek – N. Republiky km 17,1 a teoretický Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)



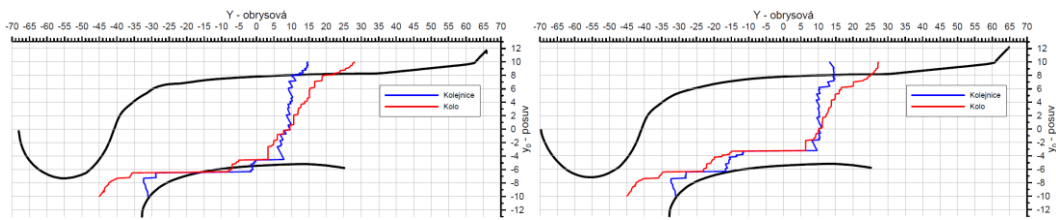
Obr. 39 Můstek – N.Republiky km 17,1 a opotřebený Kužel(vlevo) / K2A (vpravo)

5.4.4 Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky 16,9 km

Jedná se o jedinou měřenou přímou trať, bohužel krátkou, takže dvojkolí nemá možnost se rozvinout harmonický pohyb ve volném kanálu koleje. I přes nepříznivou kontaktní geometrii zde není sledováno výrazné opotřebení a charakter dotkových bodů je podobný jako na teoretické trati. To potvrzuje teorii, že opotřebení vzniká výhradně v obloucích metra při vysokých skluzových silách dvoubodového kontaktu.



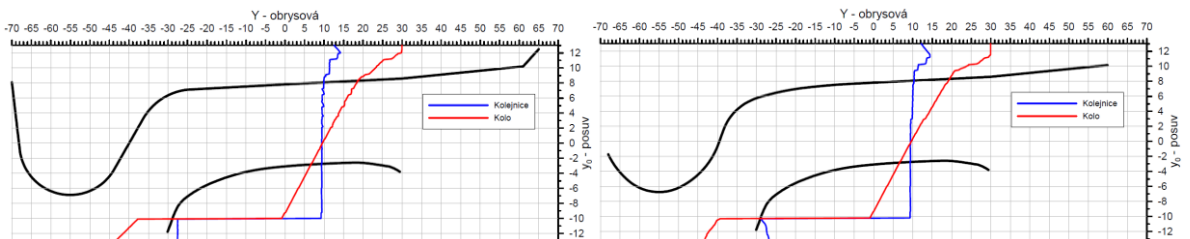
Obr. 40 Můstek – N.Republiky km 16,9 a teoretické obrysy Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)



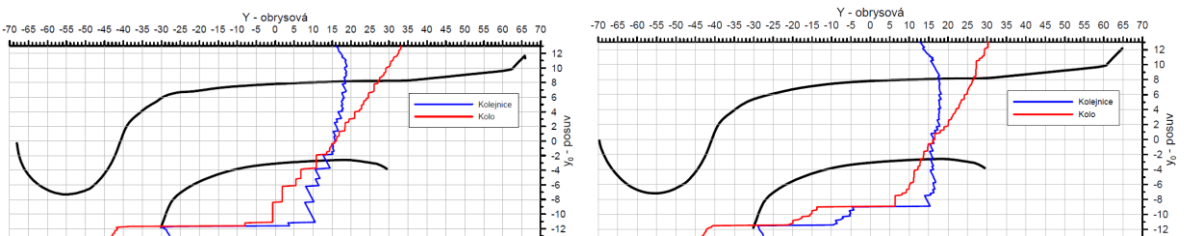
Obr. 41 Můstek – N. Republiky km 16,9 a opotřebený Kužel (vlevo) / K2A (vpravo)

5.4.5 Kontaktní geometrie v úseku Můstek – Náměstí Republiky 16,7 km

Posledním vyhodnocovaným úsekem byl oblouk, který svojí kontaktní charakteristikou zapadá mezi ostatní sledované oblouky. Potvzuje výše zmíněné ohledně opotřebení



Obr. 42 Můstek – N. Republiky km 16,7 a teoretické obrysy Kužel(vlevo) / K2A (vpravo)



Obr. 43 Můstek – N. Republiky km 16,7 a opotřebené obrysy Kužel(vlevo) / K2A (vpravo)

Možná nápravná opatření

6.1 Reprofilace zbývajících souprav metra s obrysem Kužel

6

Obrys Kužel se ukázal jako méně vhodný obrys pro provoz metra vzhledem jak vyplývá z vypočítaných charakteristik. Vzhledem k tomu, že již z počátku nemá obrys Kužel žádnou Δr – funkci, urychluje tak počáteční opotřebení tratě, které je hlavním problémem.

6.2 Vhodná úprava geometrie tratě pomocí broušení

Vhodnou úpravou tvaru kolejnic broušením je možné výrazně ovlivnit průběh opotřebení. Slabé místo lze hledat především ve stejném úklonu kolejnice a kuželovitosti kol. Tato nevyřešená otázka je však předmětem dalšího výzkumu.

6.3 Použití kolejnic z materiálu s vyšší otěruvzdorností

Především na vnějších kolejnicích v obloucích malých poloměrů se poslední dobou investuje do materiálů s vyšší otěruvzdorností. Mnohé výzkumy prokázaly, že vhodnou úpravou mikrostruktury lze docílit až dvojnásobné odolnosti vůči kontaktně - únavovým vadám [12].

6.4 Pružné upevnění kolejnic

Další možnost, která může mít pozitivní vliv na opotřebení kolejnic je jejich pružné upevnění. Ze zkušeností ze zahraničí a SŽDC [12] vzniká větší množství vad právě na pevné betonové dráze. Naopak snížené opotřebení je při použití dřevěných pražců, bezpodkladnicového uchycení kolejí, popřípadě použití speciálních pružných podložek.

Závěr

7 Řešením problematiky vztahu dvojkolí – kolej se v dnešní době zabývá řada vědeckých institucí, dopravců a provozovatelů dopravních cest, kteří hledají efektivní cestu, jak zvýšit bezpečnost, rychlost a konkurenceschopnost železniční dopravy. V případě metra a městské dopravy obecně je to také úroveň hlukových emisí a komfortu cestujících. Tato práce se zabývá analýzou kontaktní geometrie v provozu pražského metra, kde se již dlouhodobě projevuje zvýšené opotřebení a vady jízdních obrysů kol a profilů kolejnic. Díky této práci je možné posoudit stávající stav provozu, správně identifikovat vady, zjistit jejich příčiny a udělat patřičná opatření. Dále se diplomová práce zabývá porovnáváním měřících systémů, díky čemuž bylo možné porovnat jednotlivá data a zjistit případné nedostatky.

Výpočtem kontaktní geometrie obrysů jízdních kol a profilů kolejnic v různých stádiích opotřebení byla zjištěna pravděpodobná příčina nadměrného opotřebení v provozu pražského metra. Především u obrysu Kužel a u již opotřebovaných hlav kolejnic v obloucích dochází k nevhodným geometrickým poměrům dvojkolí – kolej. Dvojkolí vykazuje vůči trati v oblouku záporný diferenciál, kdy dvojkolí přirozeně jede ven z oblouku, dokud není zastaveno nárazem okolkem o hranu kolejnice. Vlivem toho vnikají především na vnějším kolejnicovém pásu značné rozdíly sil v rámci dvoubodového kontaktu a vlivem dalšího valení dvojkolí dochází k mikroskluzům, které mají za následek vady kolejnic jako je head – checking, spalling a obecně výrazné zvýšení opotřebení. Podobné vady je možno sledovat i na jízdním obrysu kola.

Seznam použitých zdrojů

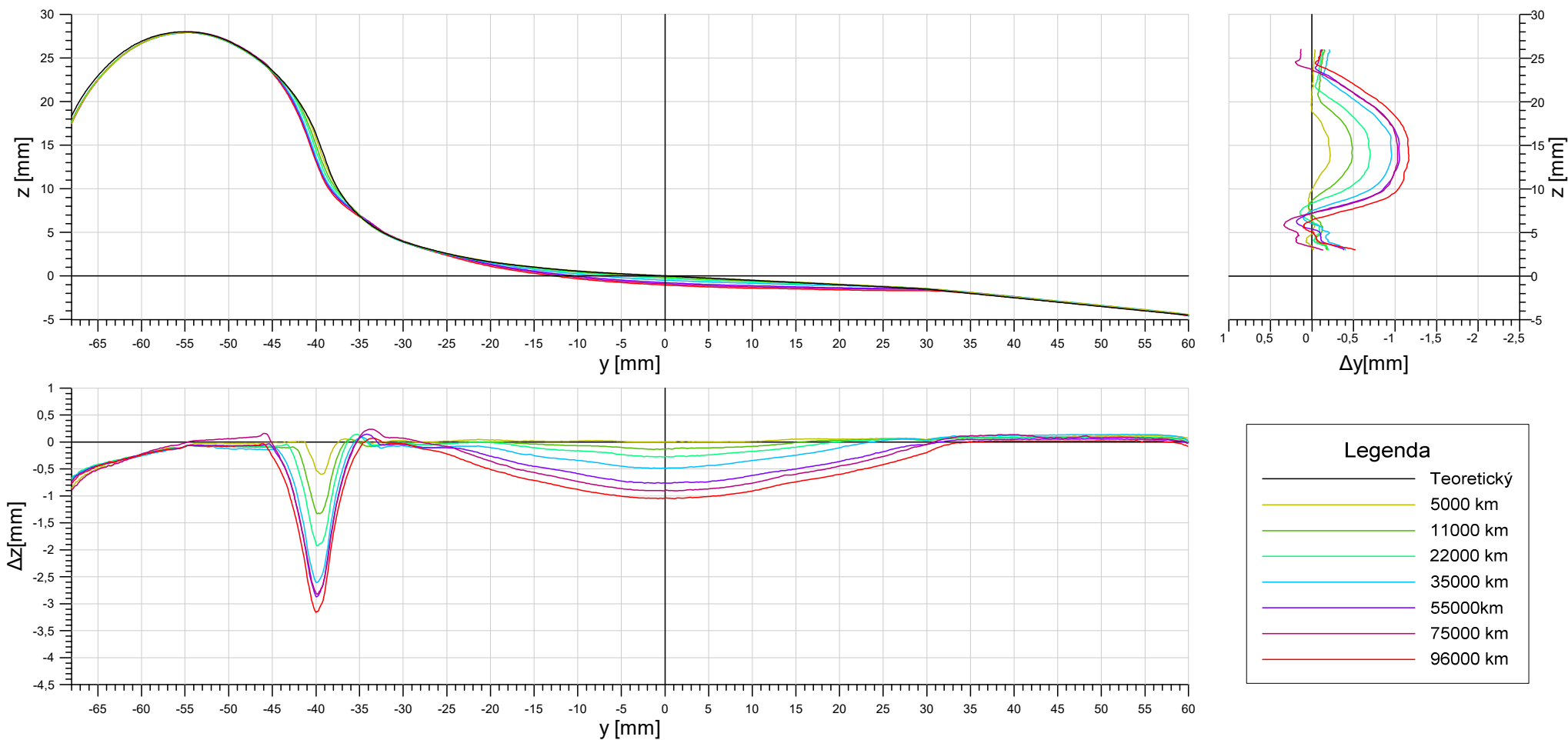
- 8 [1] HAVLÍČEK, Petr a Jiří PAPEŽ. DOPRAVNÍ PODNIK HL.M. PRAHY. *Provozní opotřebenění kolo - kolejnice v reálných podmínkách trasy B pražského metra*. Praha, 2014.
- [2] ŠTÁSTEK, R.: *Problematika vztahu dvojkolí – kolej v podmínkách DP hl.m. Prahy, Metro*. Diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2005
- [3] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T.: *Teorie Vozidel*. Studijní opora. 1. Vydání, 78 s. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013 ISBN 978-80-7395-652-3.
- [4] KOHOUT, Martin. *Výzkum kontaktní geometrie dvojkolí - kolej při průjezdu vozidel oblouky malých poloměrů*. Pardubice, 2009. Disertační práce. Univerzita Pardubice.
- [5] S67: *Vady a lomy kolejnic*. Předpis, ČD s.o., DDC, o.z., 1997
- [6] ČSN EN 15302. *Metoda stanovení ekvivalentní konicity*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2011.
- [7] *Metroweb* [online]. 2009 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://www.metroweb.cz/index.htm>
- [8] IGWEMEZIE, Jude. *Understanding the Effects of Track Gauge, Wheel/Rail Geometry and Friction on Stresses at the Wheel/Rail Interface* [online]. 2014 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://interfacejournal.com/archives/342>
- [9] NORDCO, INC. *Nordco rail flaw defects identification handbook* [online]. [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://www.nordco.com/Media/Assets/General-Files/NordcoRailFlawDefectsIdentificationHandbook.pdf>
- [10] KŽC S.R.O. *Pavouk* [online]. 2009 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://kzv.cz/Czech/spider.php>
- [11] *ESR 0330 WHEEL DEFECT MANUAL* [online]. 2013 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://www.asa.transport.nsw.gov.au/sites/default/files/asa/railcorp-legacy/disciplines/rollingstock/esr-0330.pdf>
- [12] TÁBORSKÝ, Martin. SŽDC, S.O. *OPATŘENÍ SNIŽUJÍCÍ OJÍŽDĚNÍ KOLEJNIC* [online]. 2010 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/soubory/konference-a-seminare/zdc-2010/09sb.pdf>
- [13] GREENWOOD ENGINEERING A/S. *MiniProf Wheel* [online]. 1992 [cit. 2015-09-07]. Dostupné z: <https://www.greenwood.dk/miniprofwheel.php>
- [14] NEXTSENSE GMBH. *Calipri Railway* [online]. [cit. 2013-09-07]. Dostupné z: http://www.nextsense.at/downloads/Folder/NextSense_FolderRailway_EN.pdf

Seznam příloh

	Přílohy 1.1.A.....	Vývoj opotřebení kol na vozidle s jízdním obrysem K2A
9	Přílohy 1.1.B.....	Vývoj opotřebení kol na vozidle s jízdním obrysem Kužel
	Přílohy 1.2.....	Seznam měřených obrysů kolejnic
	Přílohy 2.1.A.....	Vývoj kontaktní geometrie pro teoretickou trať a obrys K2A
	Přílohy 2.1.B.....	Vývoj kontaktní geometrie pro teoretickou trať a obrys Kužel
	Přílohy 2.2.A.....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Radlická – Jinonice a obrys K2A
	Přílohy 2.2.B.....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Radlická – Jinonice a obrys Kužel
	Přílohy 2.3.A.....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 17,1 a obrys K2A
	Přílohy 2.3.B....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 17,1 a obrys Kužel
	Přílohy 2.4.A.....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,9 a obrys K2A
	Přílohy 2.4.B....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,9 a obrys Kužel
	Přílohy 2.5.A.....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,7 a obrys K2A
	Přílohy 2.5.B....	Vývoj kontaktní geometrie pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,9 a obrys Kužel
	Přílohy 3.1.A.....	Protokol Kontakt 3 pro teoretickou trať a obrys K2A
	Přílohy 3.1.B.....	Protokol Kontakt 3 pro teoretickou trať a obrys Kužel
	Přílohy 3.2.A.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Radlická – Jinonice a obrys K2A
	Přílohy 3.2.B.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Radlická – Jinonice a obrys Kužel
	Přílohy 3.3.A.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 17,1 a obrys K2A
	Přílohy 3.3.B.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 17,1 a obrys Kužel
	Přílohy 3.4.A.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,9 a obrys K2A
	Přílohy 3.4.B.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,9 a obrys Kužel
	Přílohy 3.5.A.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,7 a obrys K2A
	Přílohy 3.5.B.....	Protokol Kontakt 3 pro úsek Můstek – N. Republiky km 16,7 a obrys Kužel
	Přílohy 4.1.....	Porovnání měřicího systému Calipri s měřícím systémem MiniProof
	Přílohy 4.2.....	Naměřené obrysy kolejnic pomocí systému Calipri
	Přílohy 5.A.....	Validace softwaru Diana podle normy EN 15 302
	Přílohy 5.B.....	Validace softwaru Diana ve smyslu normy EN 15 302 vůči softwaru Kontakt 3

-

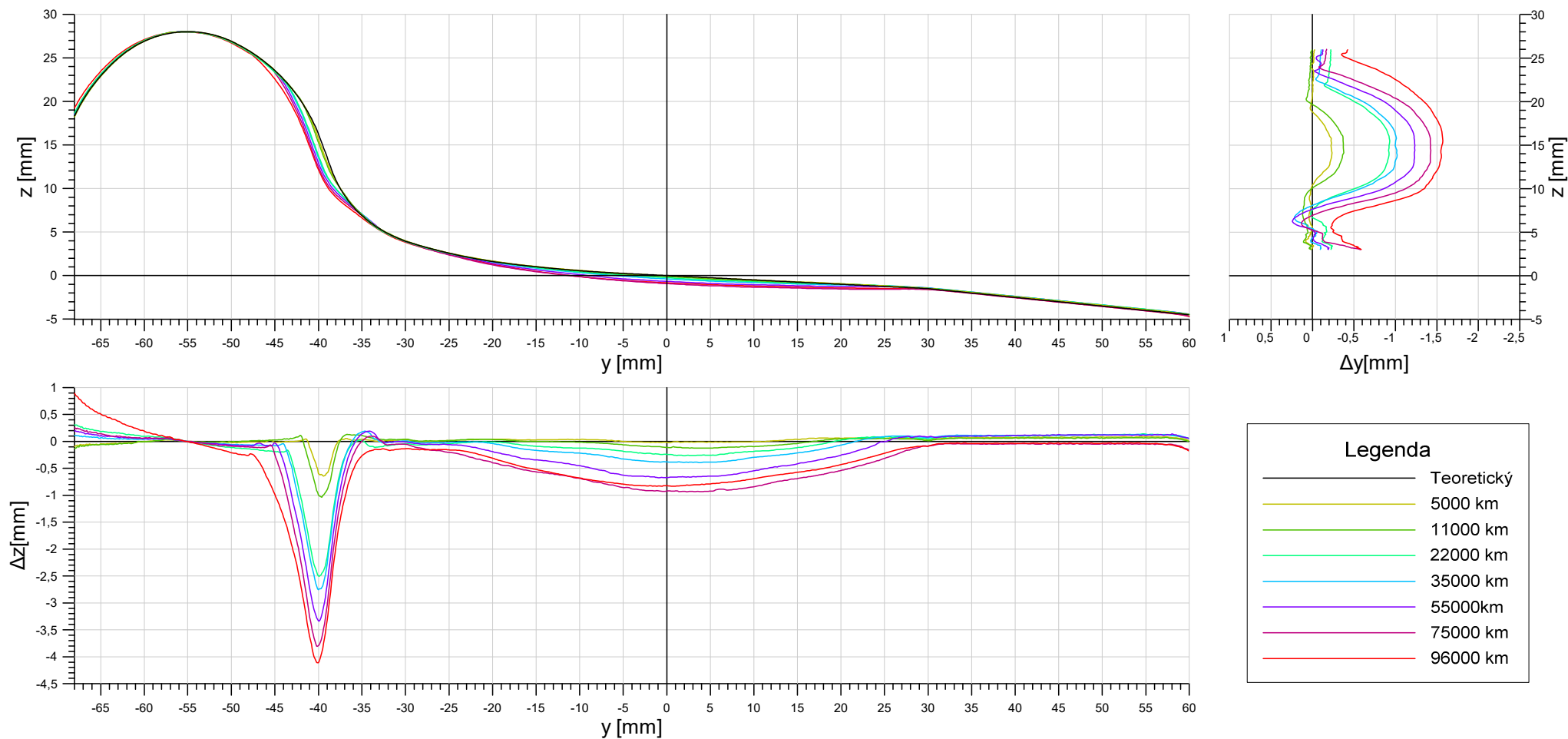
Průběžná měření obrysu K2A na voze metra 3289 - 1L



	Teor.	5000 km	11 000 km	15 000 km	22 000 km	27 200 km	35 000 km	40 500 km	45 000 km	55 000 km	67 000 km	75 000 km	96 000 km
Datum měření:	/	5.3.2014	20.3.2014	25.4.2014	19.5.2014	9.6.2014	24.6.2014	23.7.2014	21.8.2014	19.9.2014	21.10.2014	28.11.2014	12.1.2015
S_1 [mm]	28	27,93	28,07	28,13	28,21	28,35	28,42	28,48	28,55	28,69	28,82	28,90	28,98
S_2 [mm]	32,5	32,50	32,32	32,18	32,09	31,87	31,80	31,86	31,76	31,65	31,53	31,63	31,47
q_0 [l]	10,8	10,72	10,65	10,54	10,41	10,20	10,18	10,11	10,06	9,94	9,84	9,79	9,77
Poloměr kola [mm]*	390,00	390,00	389,87	389,81	389,73	389,58	389,51	389,46	389,39	389,24	389,12	389,10	388,96
Hmotnostní otěr [g]*	0,00	-55,73	186	289	357	648	702	823	846	1132	1387	1206	1654

*Hrubý odhad

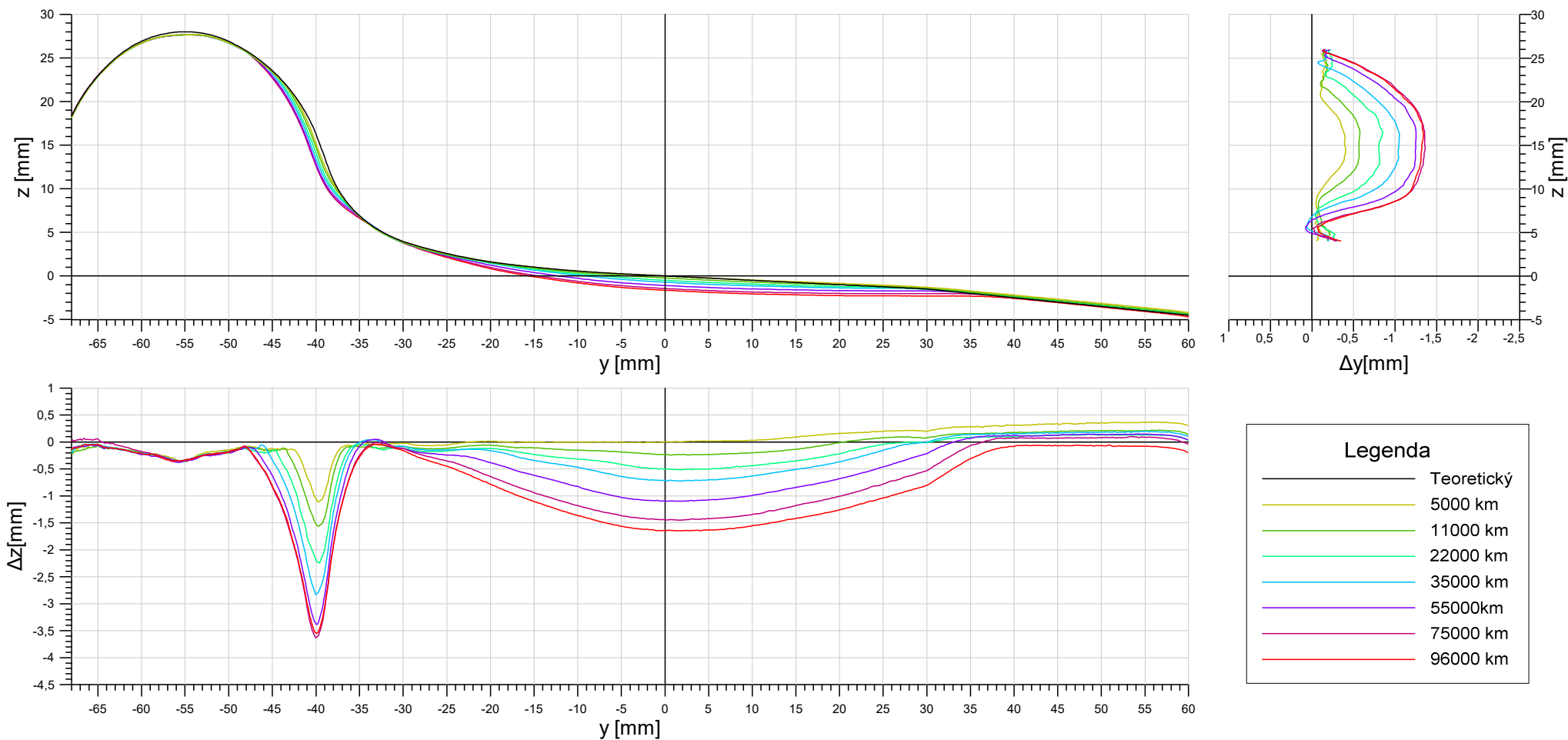
Průběžná měření obrysu K2A na voze metra 3289 - 1P



	Teor.	5000 km	11 000 km	15 000 km	22 000 km	27 200 km	35 000 km	40 500 km	45 000 km	55 000 km	67 000 km	75 000 km	96 000 km
Datum měření:	/	5.3.2014	20.3.2014	25.4.2014	19.5.2014	9.6.2014	24.6.2014	23.7.2014	21.8.2014	19.9.2014	21.10.2014	28.11.2014	12.1.2015
S_n [mm]	28	28,02	28,11	28,18	28,24	28,34	28,38	28,44	28,53	28,68	28,79	28,93	28,83
S_d [mm]	32,5	32,53	32,52	32,07	32,00	32,59	31,93	31,88	31,66	31,65	31,56	31,38	31,16
q_n [l]	10,8	10,85	10,80	10,60	10,52	10,37	10,33	10,23	10,18	10,07	9,88	9,85	9,88
Poloměr kola [mm]*	390,00	389,98	389,89	389,82	389,76	389,66	389,62	389,56	389,47	389,33	389,21	389,08	389,17
Hmotnostní otěr [g]*	0,00	-43,17	60	385	436	44	544	632	851	963	1255	1585	1643

*Hrubý odhad

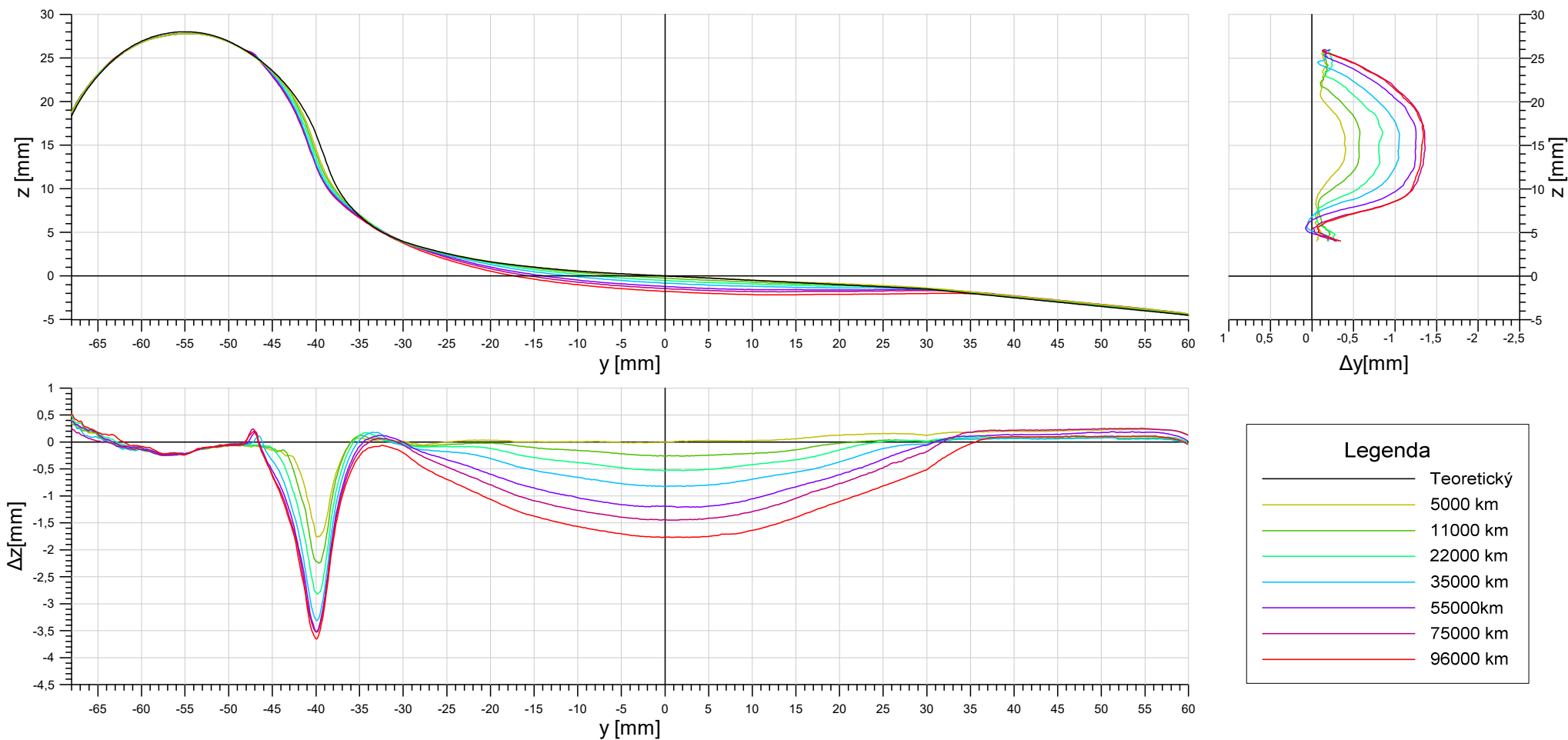
Průběžná měření obrysu K2A na voze metra 3289 - 2L



	Teor.	5000 km	11 000 km	15 000 km	22 000 km	27 200 km	35 000 km	40 500 km	45 000 km	55 000 km	67 000 km	75 000 km	96 000 km
Datum měření:	/	5.3.2014	20.3.2014	25.4.2014	19.5.2014	9.6.2014	24.6.2014	23.7.2014	21.8.2014	19.9.2014	21.10.2014	28.11.2014	12.1.2015
S_n [mm]	28	27,68	27,91	28,02	28,18	28,24	28,39	28,43	28,60	28,77	29,04	29,12	29,32
S_d [mm]	32,5	32,39	32,26	32,03	31,96	31,78	31,74	31,64	31,55	31,46	31,35	31,29	31,31
q_R [l]	10,8	10,29	10,17	9,99	9,92	9,79	9,67	9,61	9,48	9,40	9,25	9,21	9,24
Poloměr kola [mm]*	390,00	390,00	389,77	389,66	389,50	389,44	389,28	389,24	389,08	388,91	388,64	388,56	388,36
Hmotnostní otěr [g]*	0,00	-80,50	351	567	798	844	1073	1144	1426	1754	2269	2417	2850

*Hrubý odhad

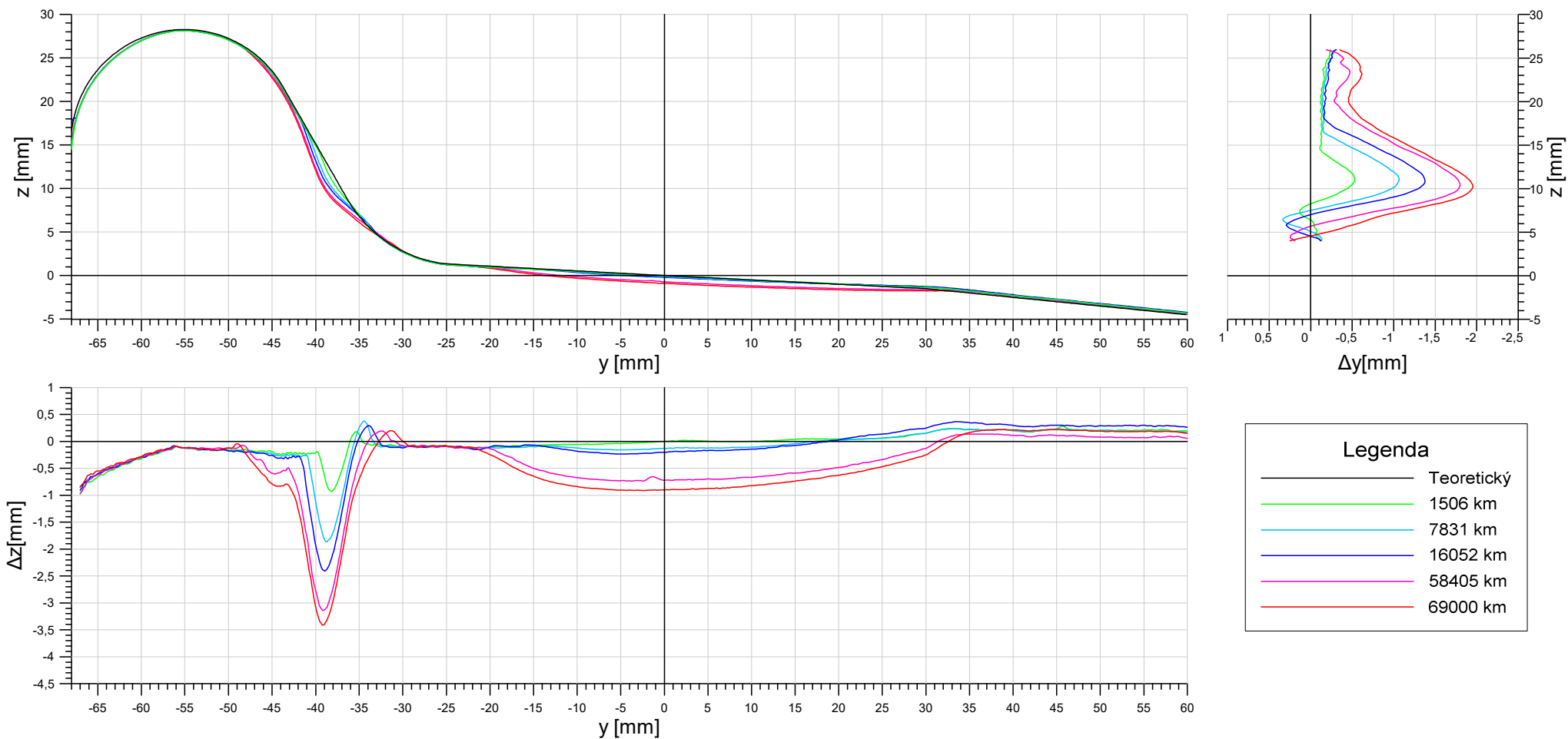
Průběžná měření obrysu K2A na voze metra 3289 - 2P



	Teor.	5000 km	11 000 km	15 000 km	22 000 km	27 200 km	35 000 km	40 500 km	45 000 km	55 000 km	67 000 km	75 000 km	96 000 km
Datum měření:	/	5.3.2014	20.3.2014	25.4.2014	19.5.2014	9.6.2014	24.6.2014	23.7.2014	21.8.2014	19.9.2014	21.10.2014	28.11.2014	12.1.2015
S_n [mm]	28	27,80	28,06	28,13	28,33	28,49	28,62	28,65	28,78	28,99	29,14	29,24	29,56
S_d [mm]	32,5	32,15	32,05	31,87	31,84	31,66	31,61	31,56	31,57	31,45	31,42	31,42	31,35
q_n [1]	10,8	10,23	10,09	10,04	9,89	9,75	9,63	9,61	9,51	9,45	9,25	9,26	9,22
Poloměr kola [mm]*	390,00	390,00	389,74	389,67	389,47	389,31	389,17	389,14	389,02	388,81	388,66	388,56	388,24
Hmotnostní otěr [g]*	0,00	37,39	436	468	786	1085	1267	1257	1403	1782	2006	2122	2799

*Hrubý odhad

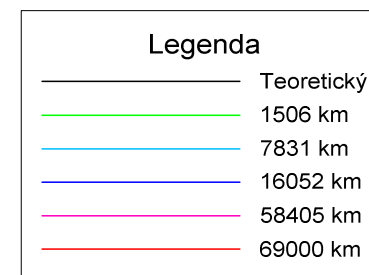
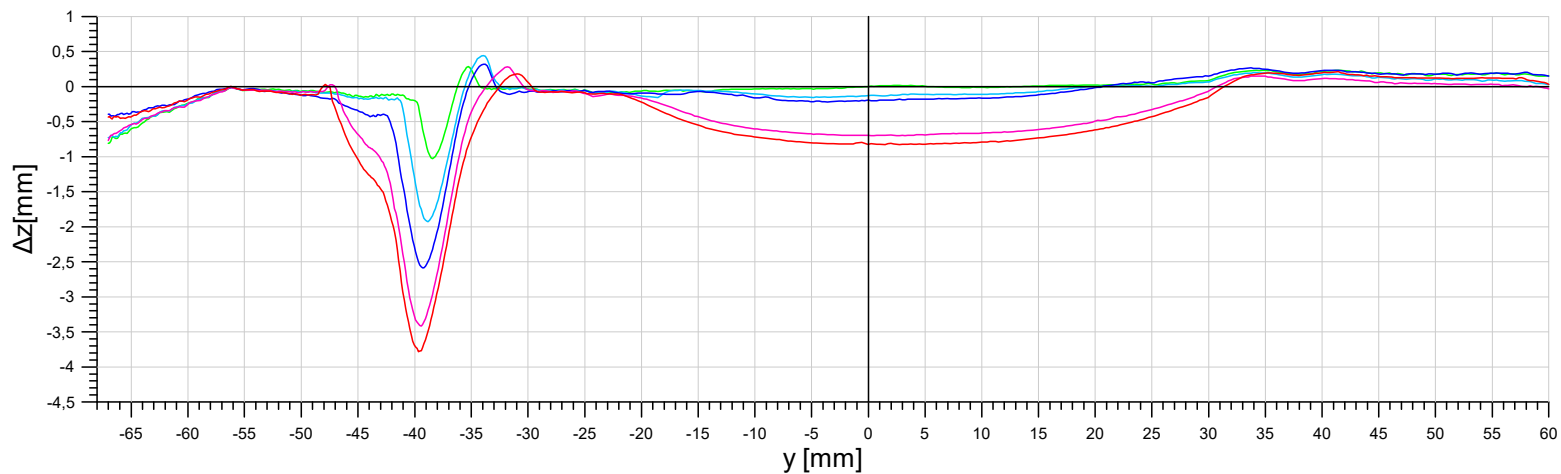
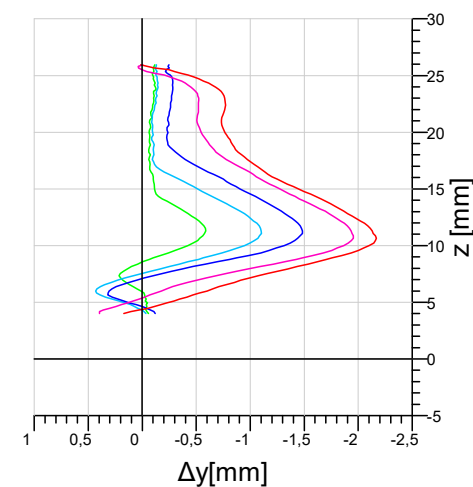
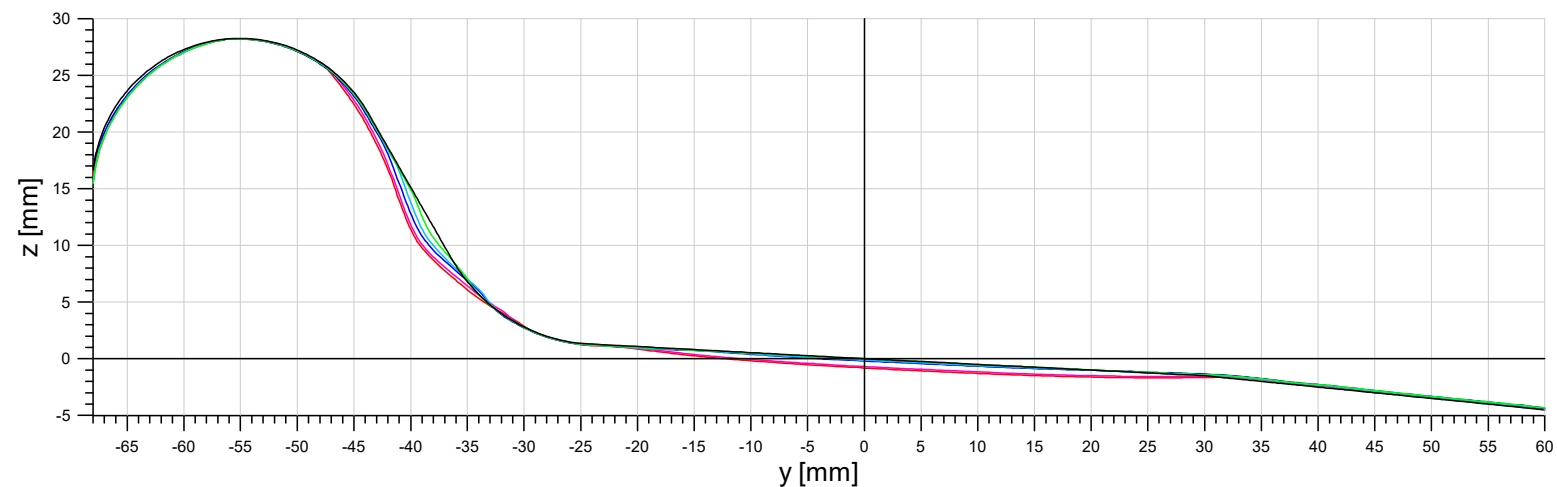
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 1L



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_n [mm]	28,25	28,13	28,26	28,34	28,86	29,04
S_d [mm]	33,00	33,21	32,73	32,43	31,84	31,63
q_n [1]	11,05	11,38	10,98	10,69	9,93	9,86
Poloměr kola [mm]*	379,95	379,95	379,82	379,75	379,23	379,05
Hmotnostní otěr [g]*	0	58	264	318	1275	1578

*Hrubý odhad

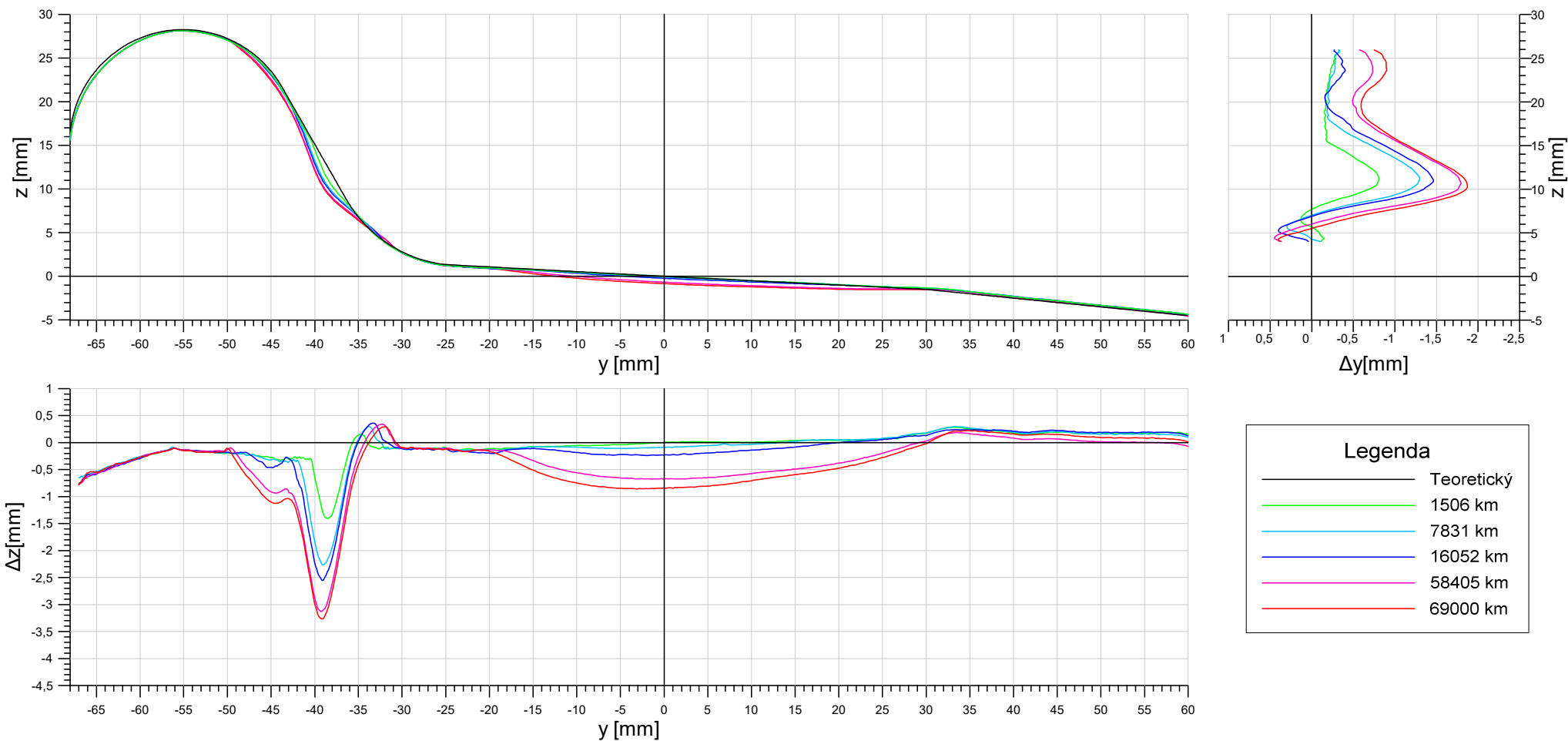
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 1P



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_h [mm]	28,25	28,21	28,34	28,40	28,90	29,03
S_d [mm]	33,00	33,23	32,75	32,40	31,81	31,55
q_d [l]	11,05	11,40	10,95	10,72	9,98	9,59
Poloměr kola [mm]*	379,79	379,79	379,66	379,60	379,10	378,97
Hmotnostní otěr [g]*	0	18	255	422	1297	1588

*Hrubý odhad

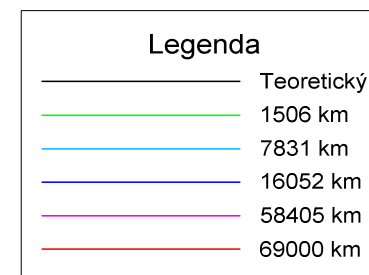
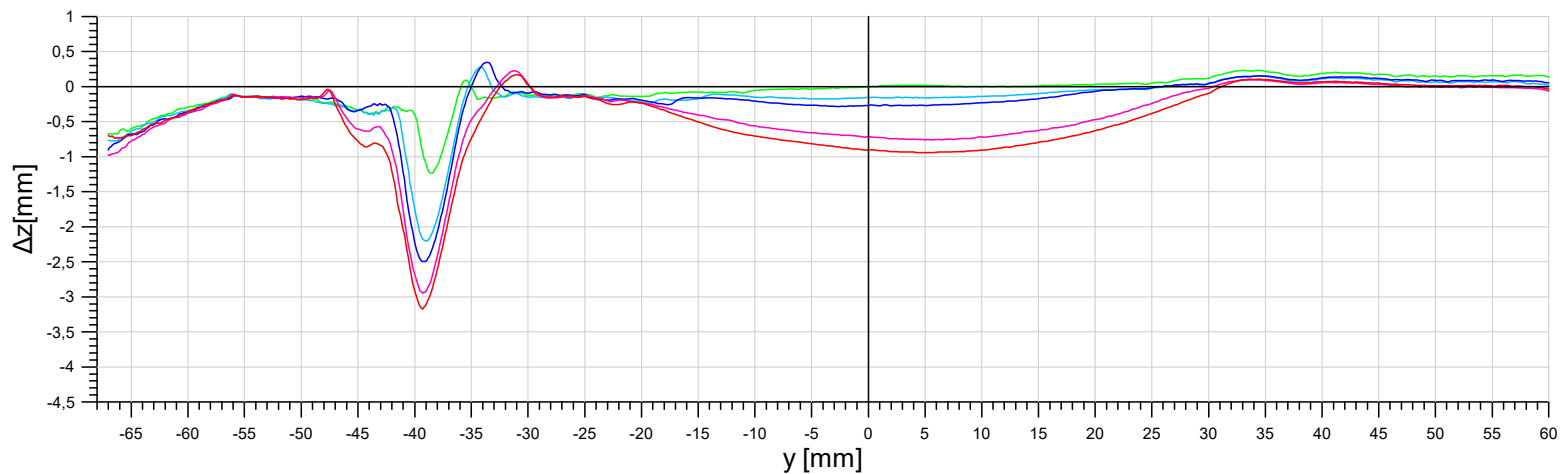
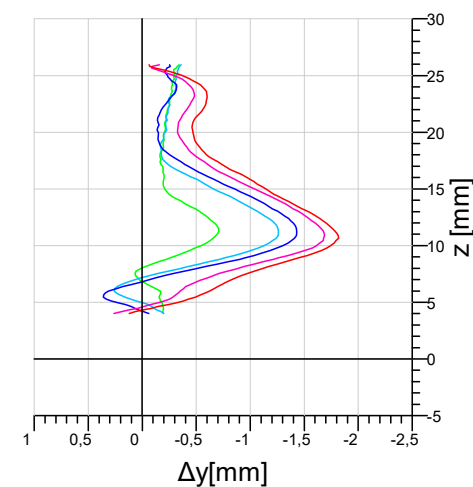
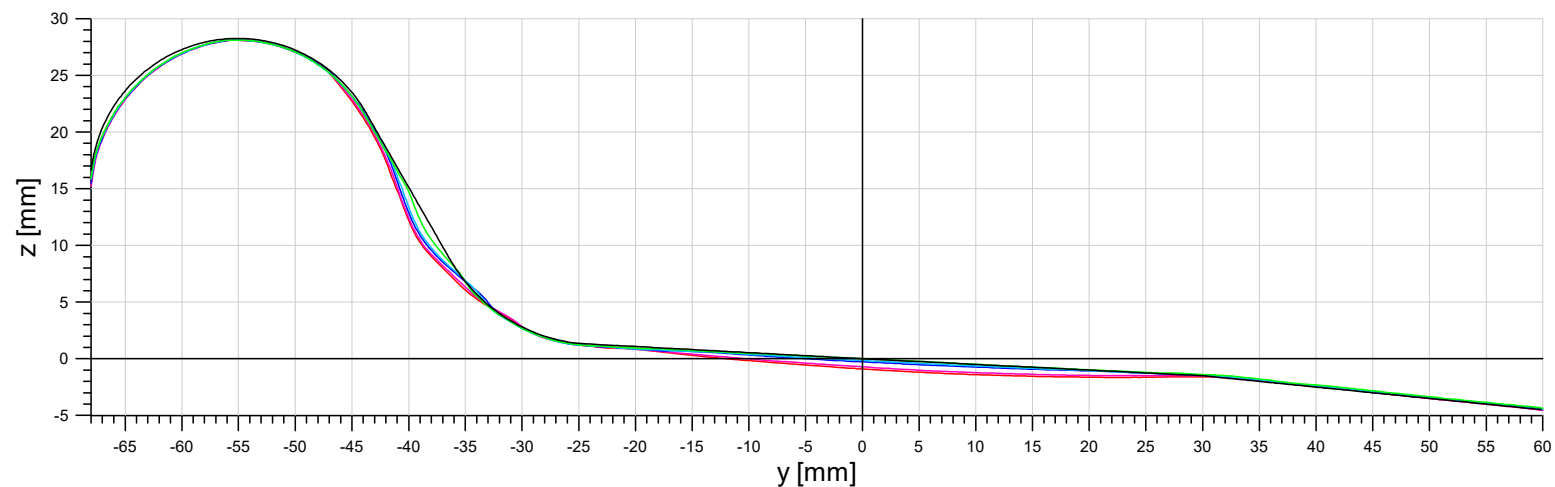
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 2L



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_n [mm]	28,25	28,12	28,20	28,35	28,79	28,96
S_d [mm]	33,00	32,98	32,49	32,33	31,87	31,74
q_n [1]	11,05	11,22	10,73	10,54	10,32	10,37
Poloměr kola [mm]*	379,81	379,81	379,73	379,58	379,14	378,97
Hmotnostní otěr [g]*	0	141	294	468	1198	1432

*Hrubý odhad

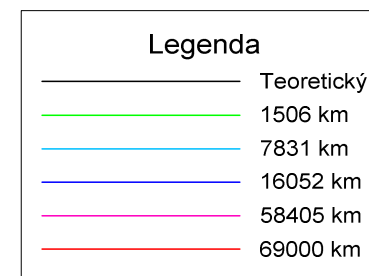
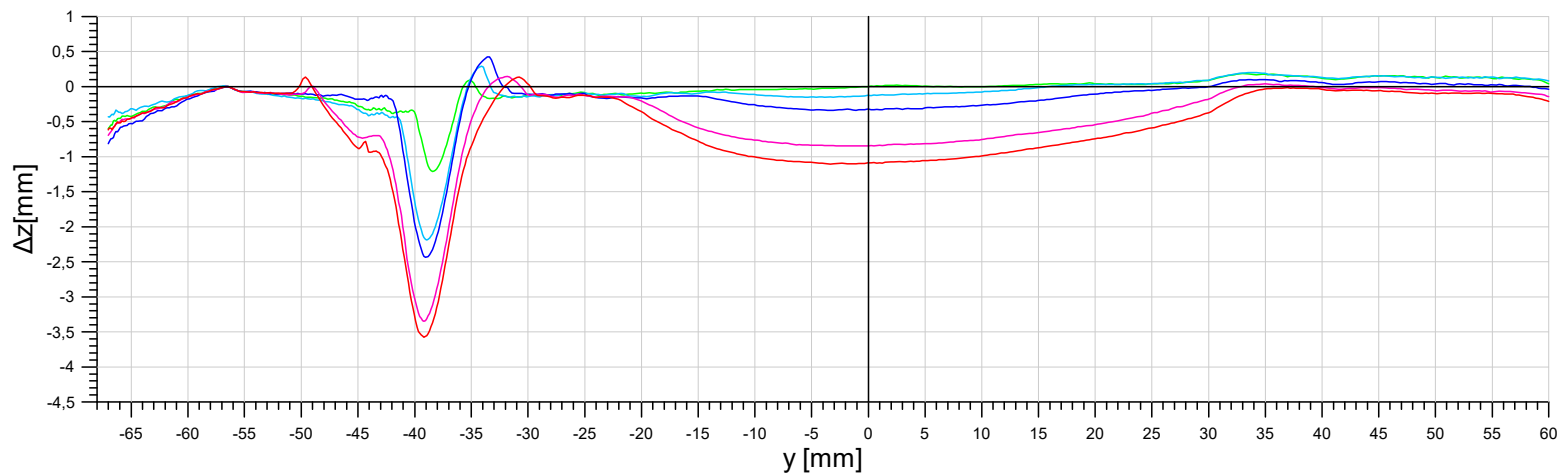
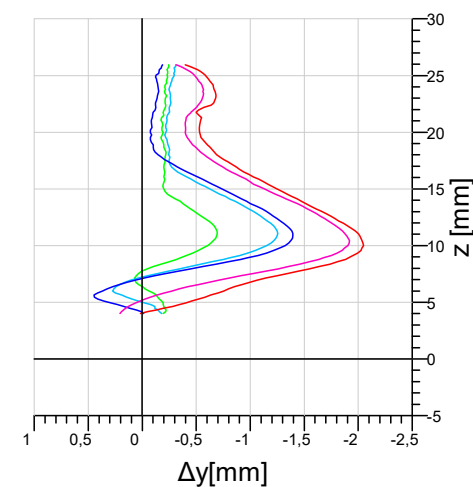
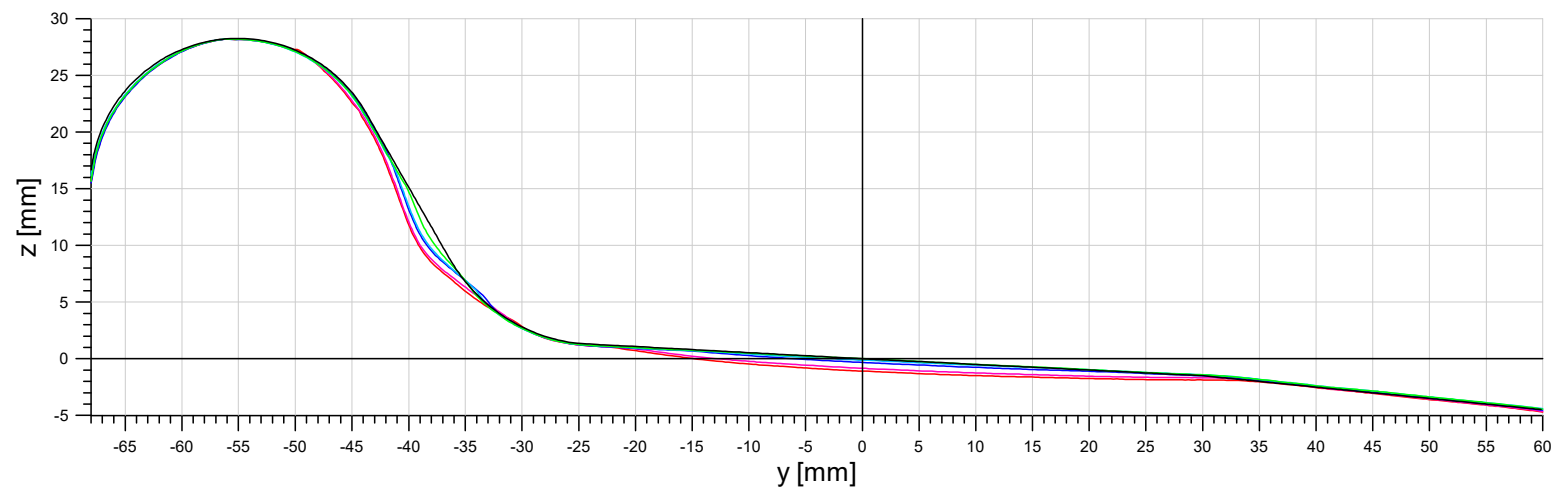
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 2P



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_n [mm]	28,25	28,11	28,27	28,38	28,82	29,01
S_d [mm]	33,00	33,14	32,62	32,43	32,12	31,94
q_n [l]	11,05	11,40	10,89	10,60	10,24	9,99
Poloměr kola [mm]*	379,95	379,95	379,79	379,68	379,23	379,05
Hmotnostní ořěr [g]*	0	161	491	590	1271	1571

*Hrubý odhad

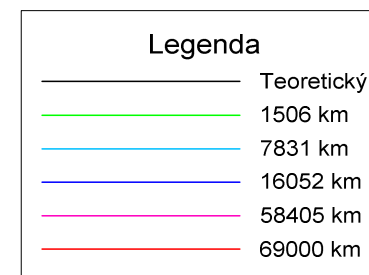
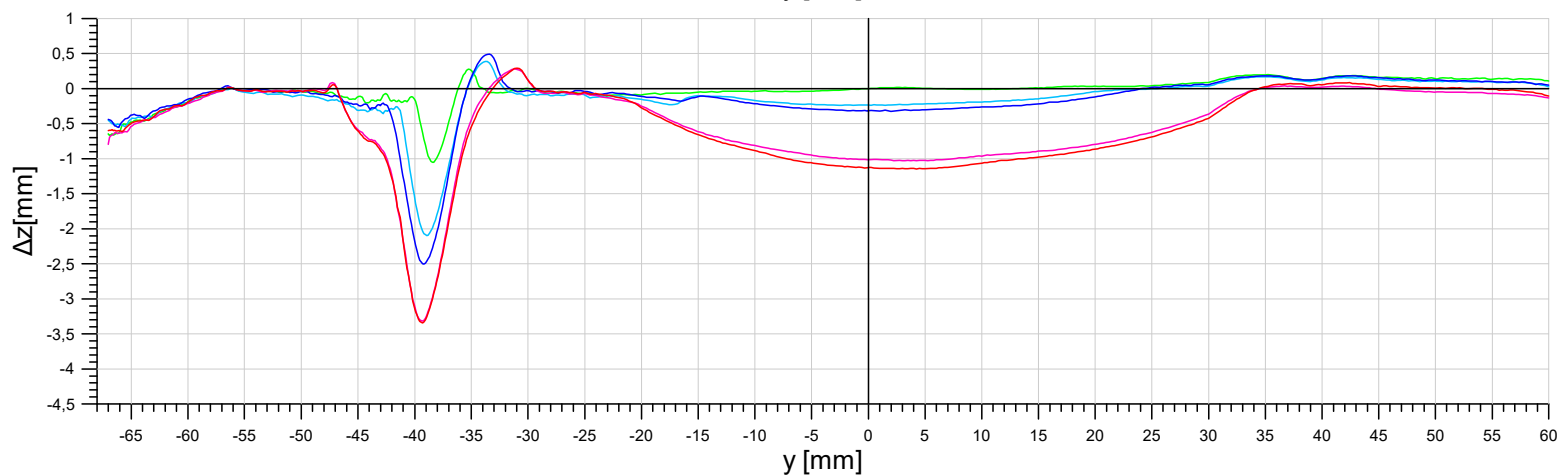
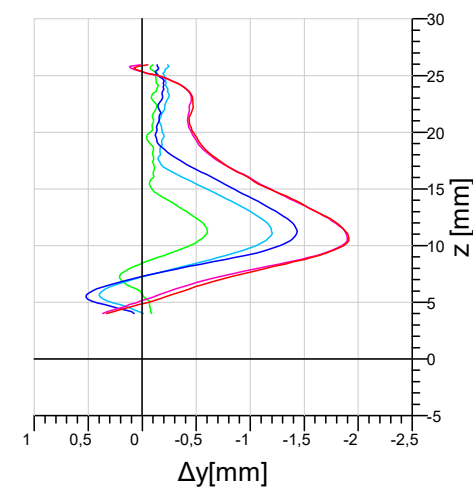
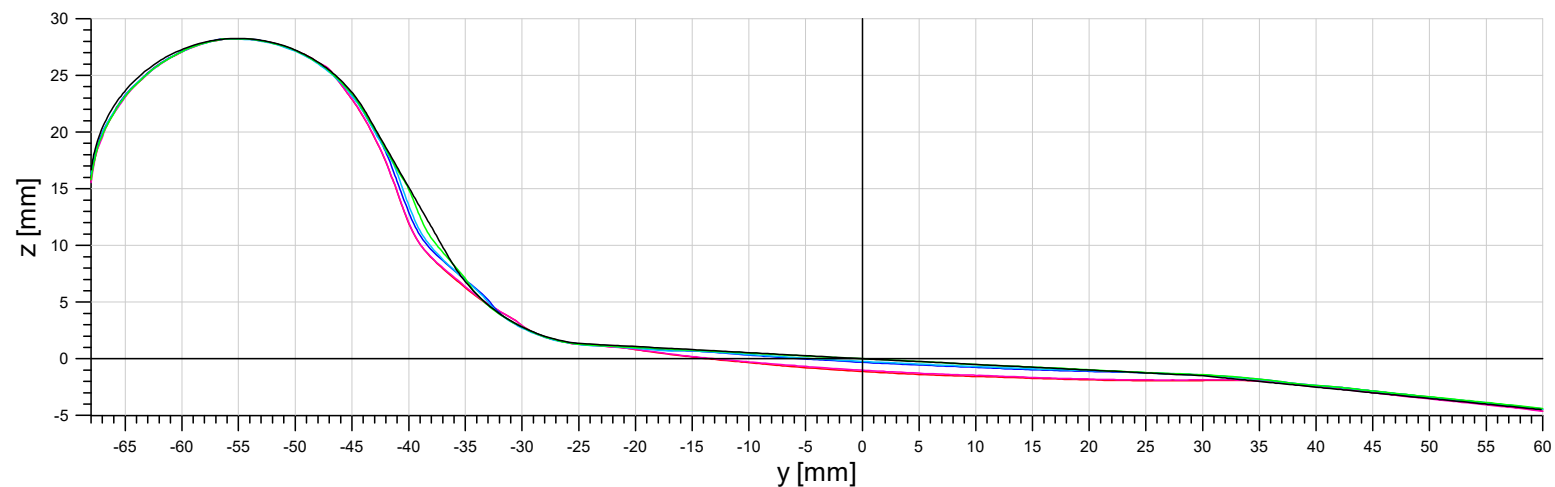
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 3L



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_n [mm]	28,25	28,19	28,31	28,51	29,03	29,28
S_d [mm]	33,00	33,21	32,75	32,59	31,89	31,65
q_a [1]	11,05	11,50	11,08	10,81	10,14	9,98
Poloměr kola [mm]*	382,48	382,48	382,35	382,16	381,63	381,39
Hmotnostní otěr [g]*	0	161	366	600	1541	2004

*Hrubý odhad

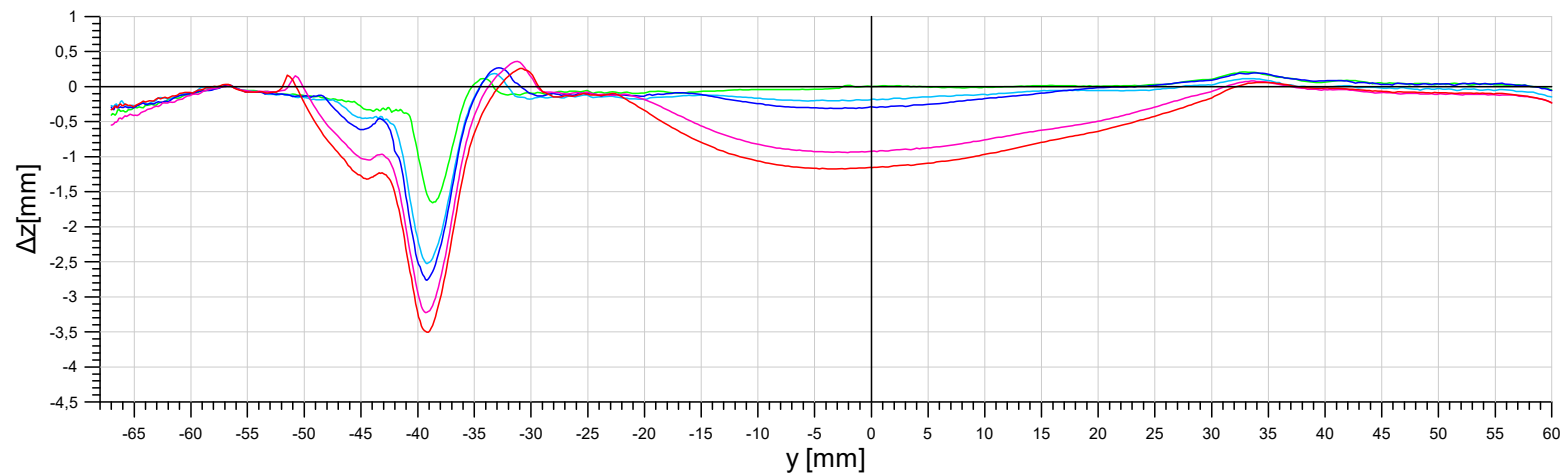
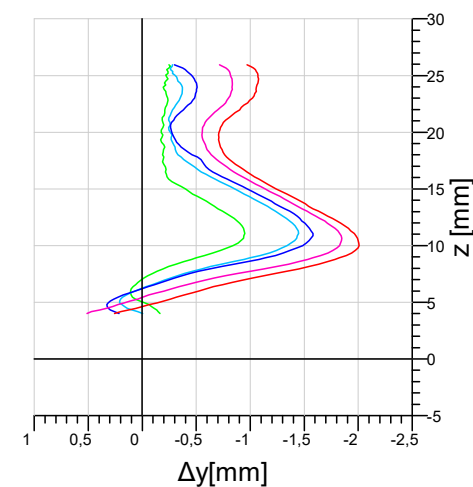
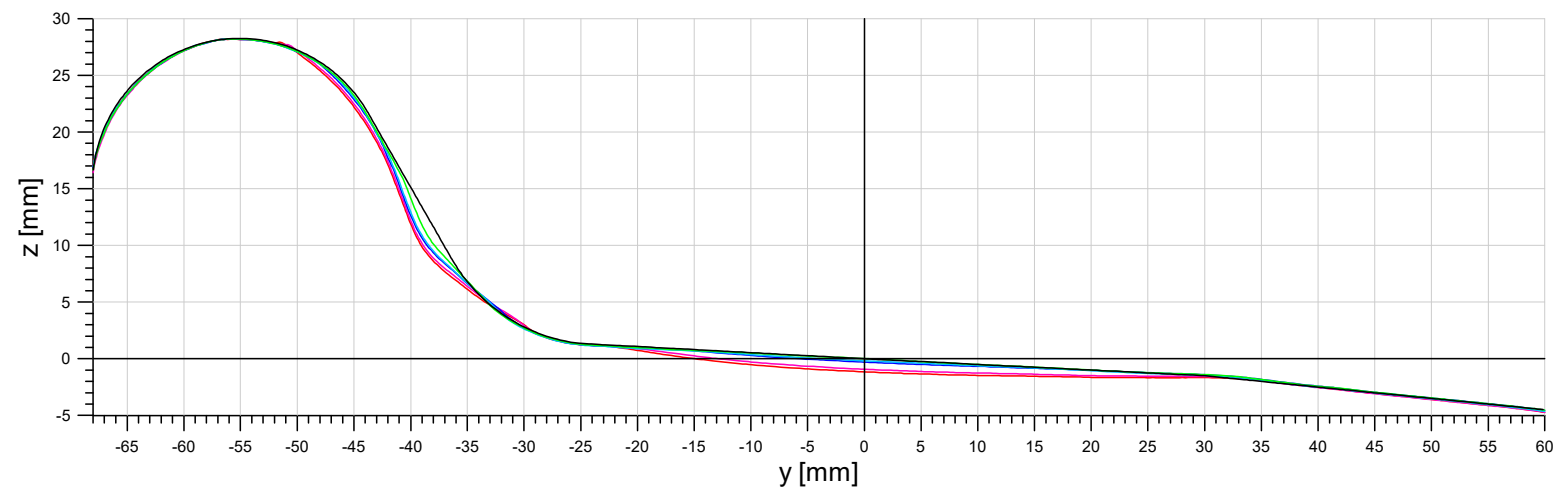
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 3P



	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_h [mm]	28,25	28,22	28,46	28,54	29,24	29,35
S_d [mm]	33,00	33,46	32,91	32,77	32,07	32,05
q_h [1]	11,05	11,65	11,21	10,98	10,19	10,21
Poloměr kola [mm]*	382,40	382,40	382,16	382,08	381,38	381,27
Hmotnostní otěr [g]*	0	41	430	504	1712	1830

*Hrubý odhad

Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 4L

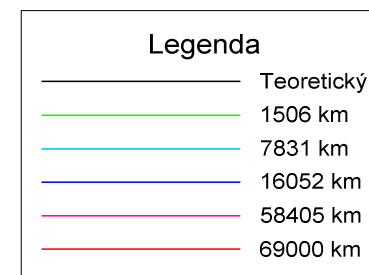
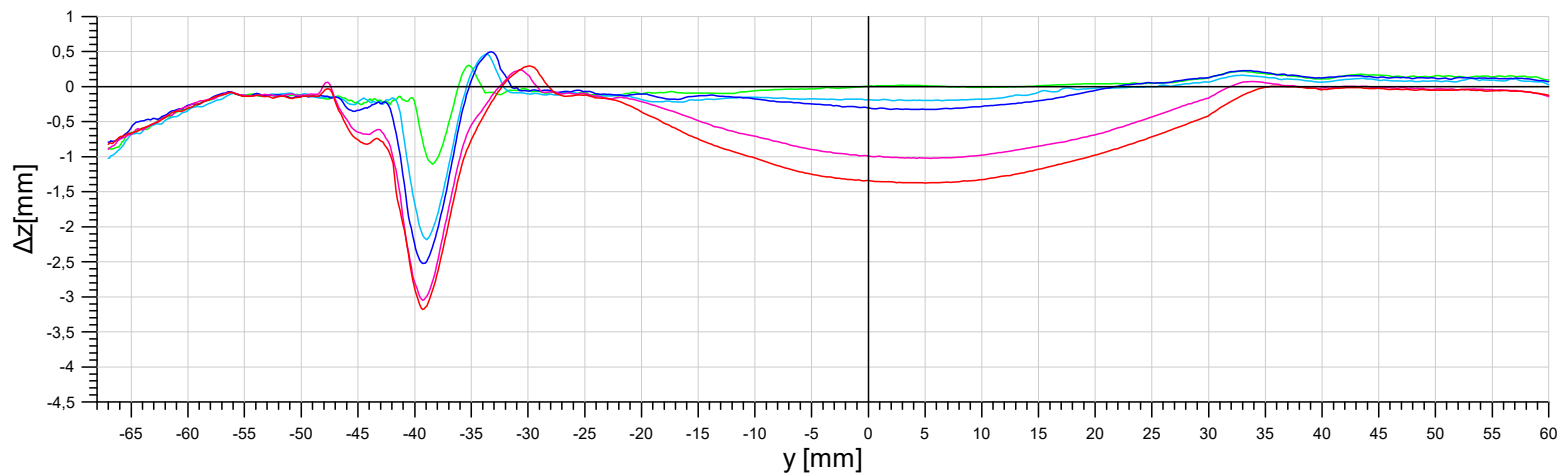
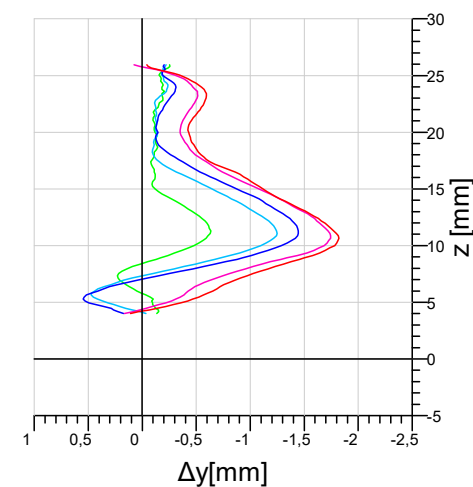
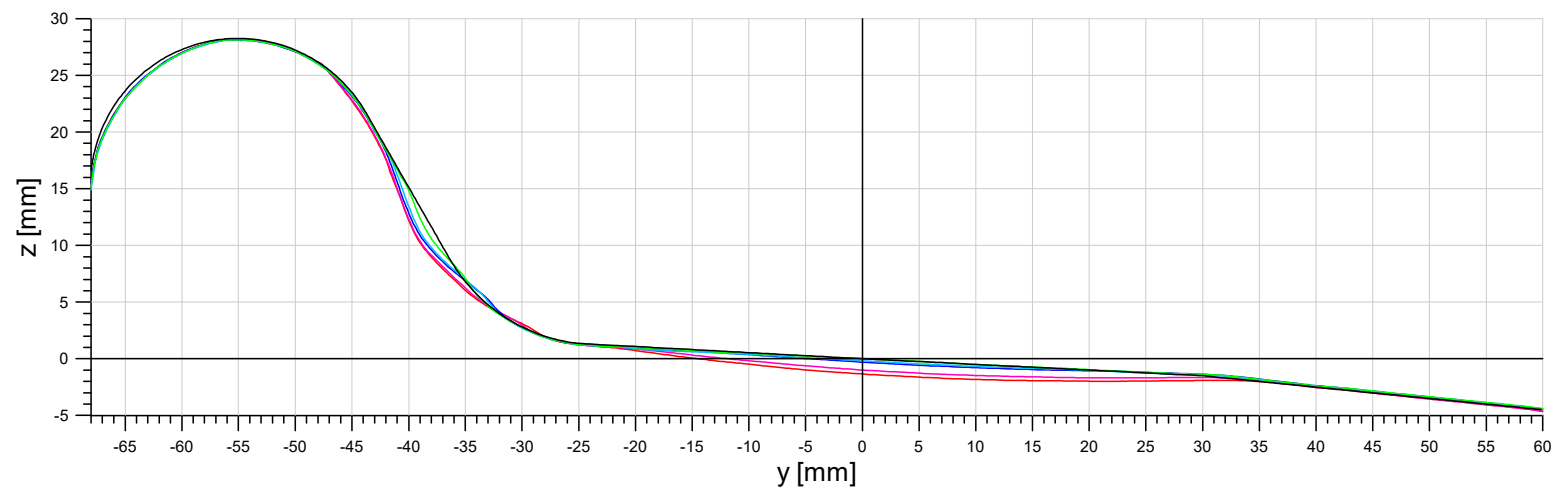


Legenda	
—	Teoretický
—	1506 km
—	7831 km
—	16052 km
—	58405 km
—	69000 km

	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_0 [mm]	28,25	28,20	28,38	28,49	29,12	29,35
S_d [mm]	33,00	33,13	32,63	32,49	32,05	31,80
q_0 [1]	11,05	11,42	10,98	10,76	10,74	10,74
Poloměr kola [mm]*	382,47	382,47	382,28	382,17	381,54	381,31
Hmotnostní otěr [g]*	0	229	604	640	1559	1986

*Hrubý odhad

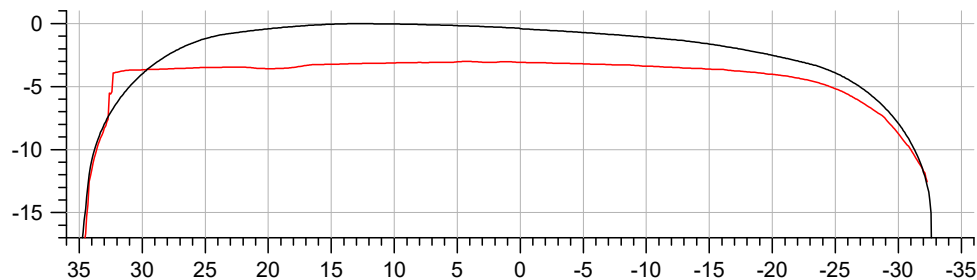
Průběžná měření obrysu Kužel na voze metra 3336 - 4P



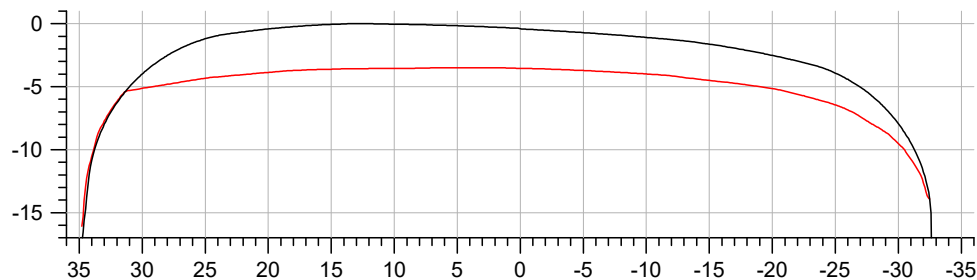
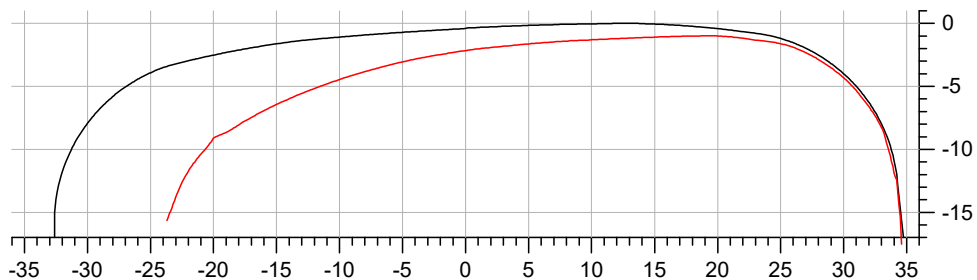
	Teor.	1 506 km	7 831 km	16 052 km	58 405 km	69 000 km
Datum měření:	/	23.6.2016	23.7.2014	3.9.2014	4.3.2015	28.4.2015
S_n [mm]	28,25	28,13	28,32	28,43	29,12	29,47
S_d [mm]	33,00	33,63	33,09	32,90	32,49	32,30
q_R [1]	11,05	11,82	11,27	11,04	10,34	10,35
Poloměr kola [mm]*	382,57	382,57	382,39	382,27	381,58	381,23
Hmotnostní otěr [g]*	0	99	429	520	1591	2128

*Hrubý odhad

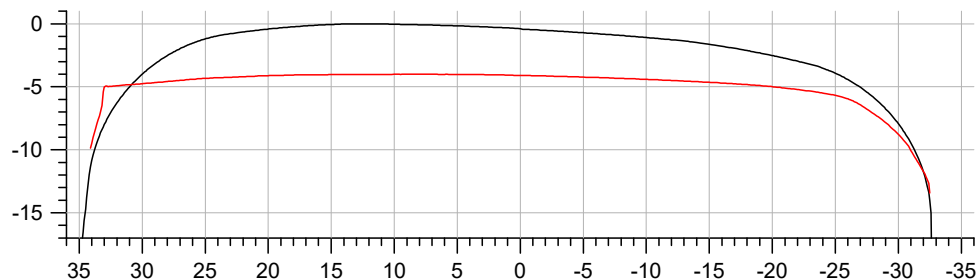
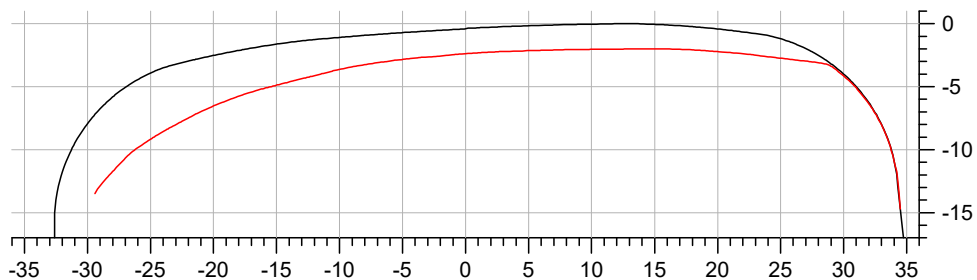
Měřené kolejnice na úsecích pražského metra linky B



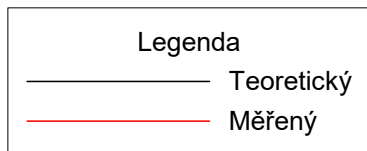
Anděl - Smíchovské nádraží 1. TK (rozchod neznámý)



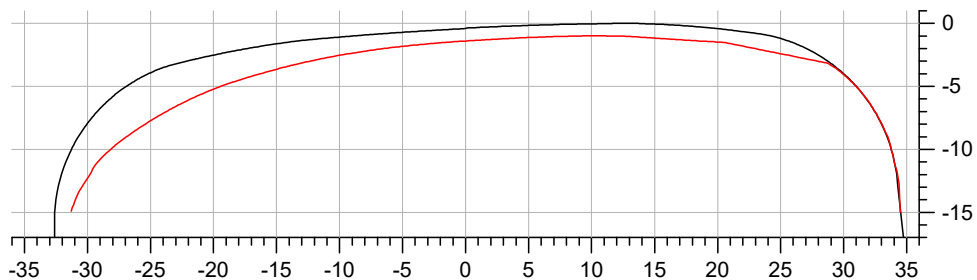
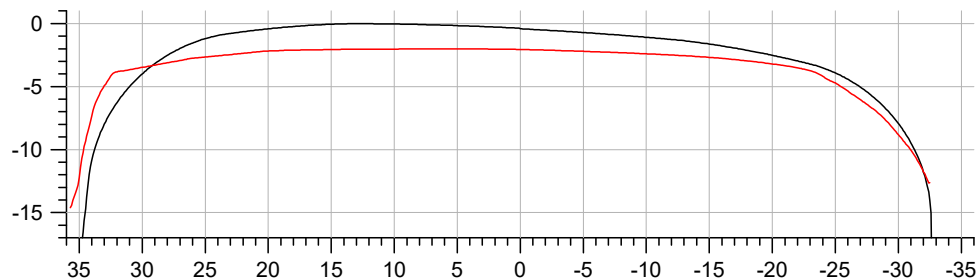
Smíchovské nádraží - Anděl 2. TK (rozchod 1444,1 mm)



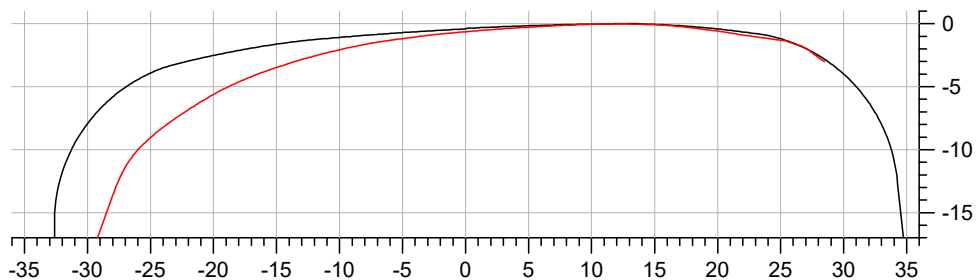
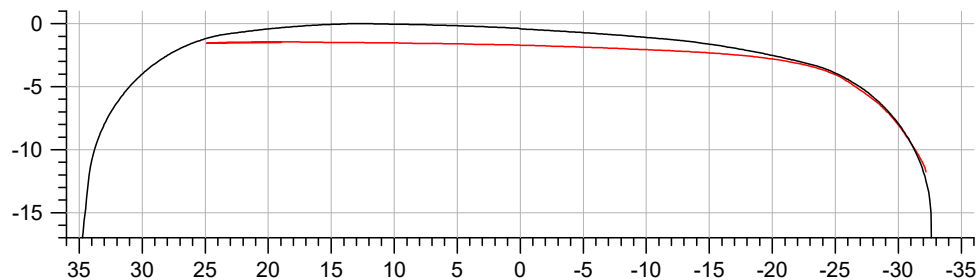
Radlická - Jinonice 1. TK (rozchod 1443,5 mm)



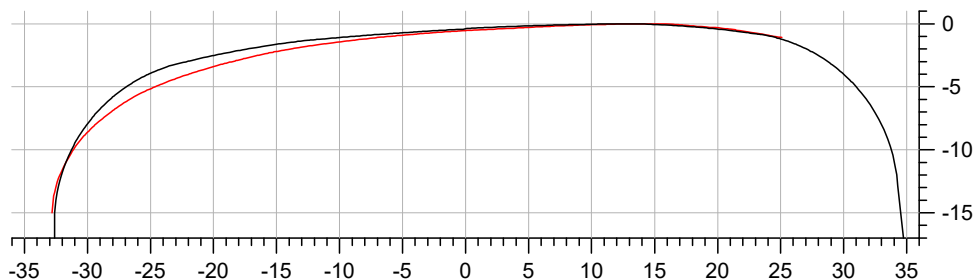
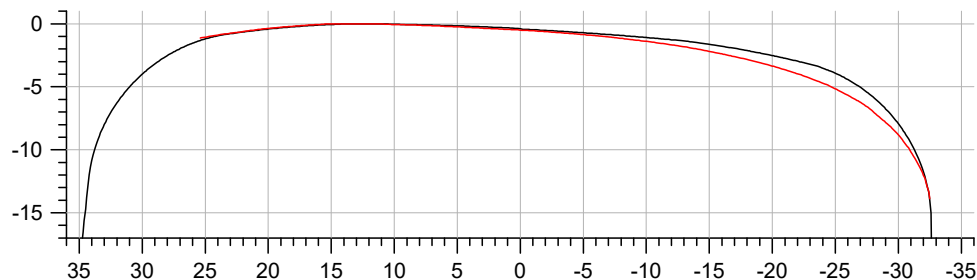
Měřené kolejnice na úsecích pražského metra linky B



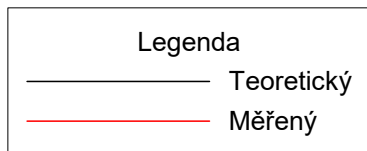
Jinonice - Radlická 2. TK (rozchod neznámý)



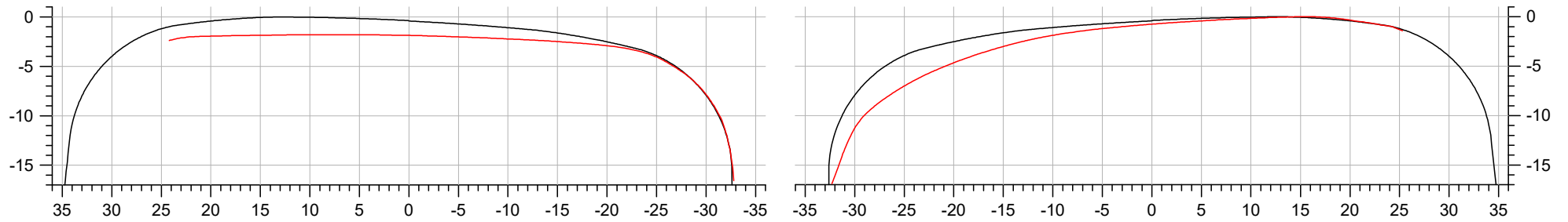
Můstek - Náměstí Republiky km.17,1 (průměr z 5ti měření, rozchod 1442,8 mm)



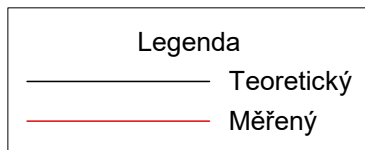
Můstek - Náměstí Republiky km 16,9 (průměr z 4 měření, rozchod 1434,5 mm)



Měřené kolejnice na úsecích pražského metra linky B



Můstek - Náměstí Republiky km 16,7 (průměr z 5 měření, rozchod 1442,5 mm)



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

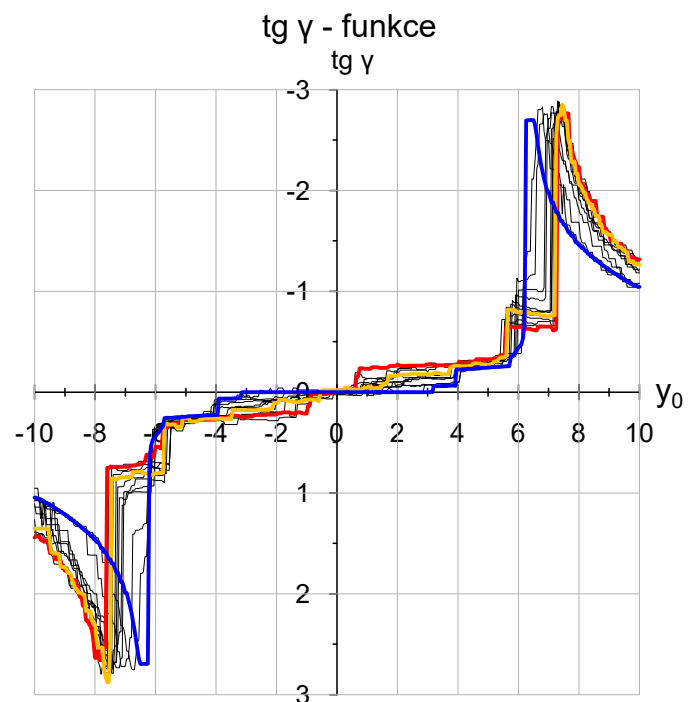
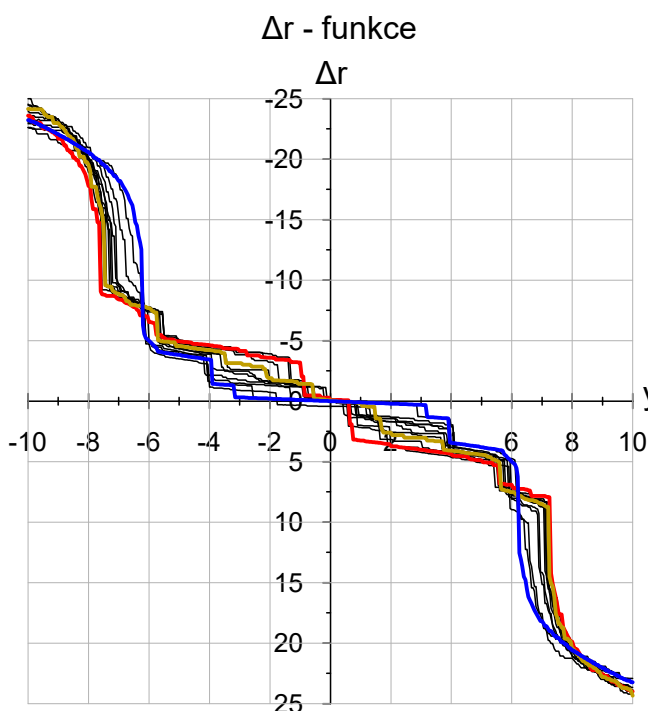
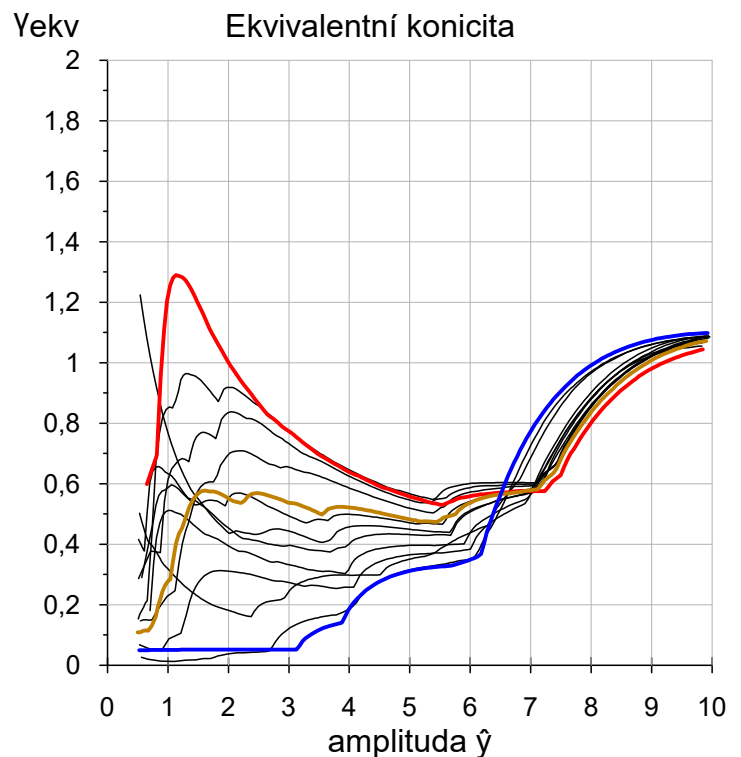
Teoretický předstih: 7,7 mm

Jednotka: 3289

Náprava: 1.

Obrys : K2A

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
— Teoretická	Teor	0,051
— 45000 km	5000 km	0,121
— 96000 km	11 000 km	0,244
	15 000 km	0,274
	22 000 km	0,333
	27 200 km	0,396
	35 000 km	0,443
	40 500 km	0,494
	45 000 km	0,537
	55 000 km	0,665
	67 000 km	0,733
	75 000 km	0,774
	96 000 km	0,773



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

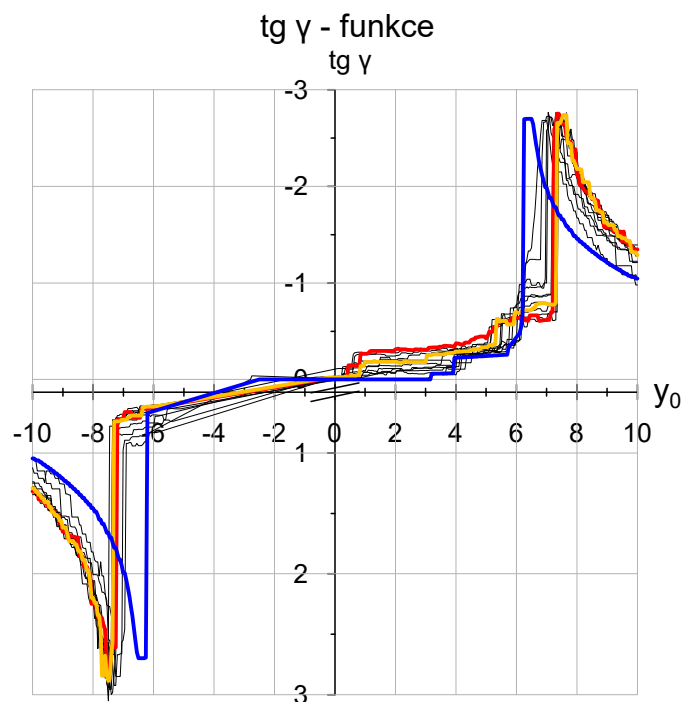
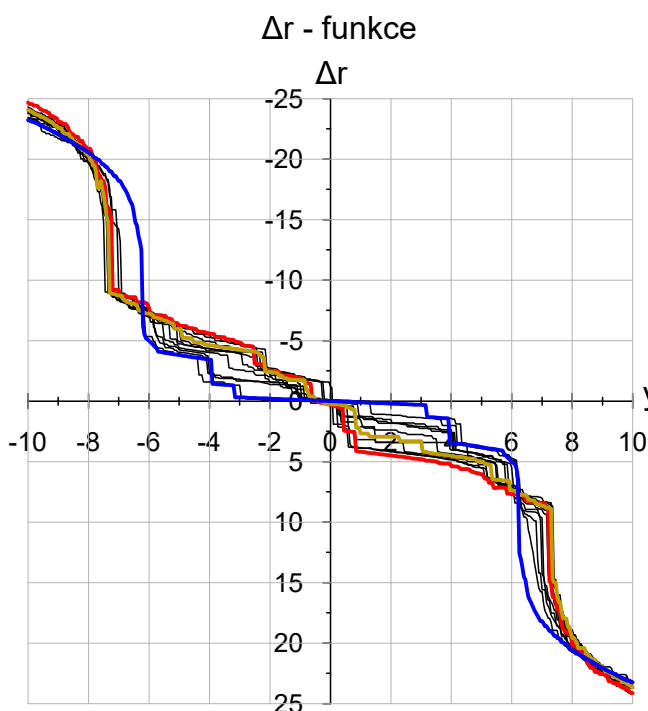
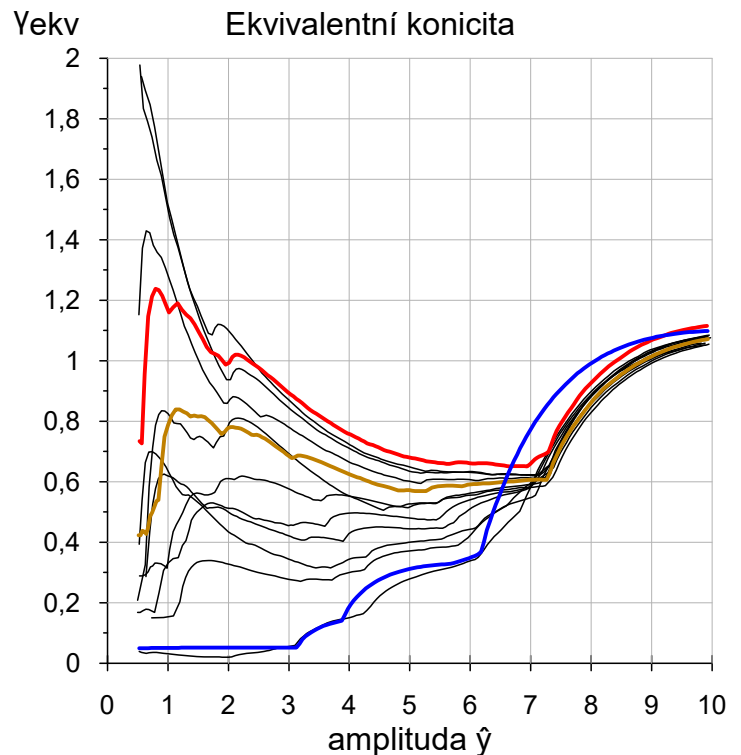
Teoretický předstih: 7,7 mm

Jednotka: 3289

Náprava: 2.

Obrys : K2A

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
Teoretická		0,051
45000 km	5000 km	0,055
	11 000 km	0,277
	15 000 km	0,344
	22 000 km	0,421
	27 200 km	0,456
	35 000 km	0,576
	40 500 km	0,693
	45 000 km	0,685
	55 000 km	0,780
	67 000 km	0,844
	75 000 km	0,870
	96 000 km	0,894



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

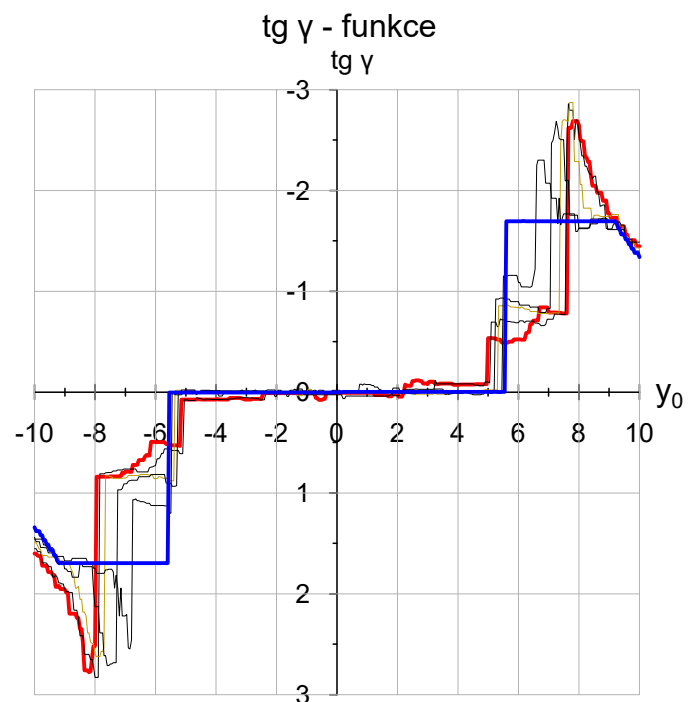
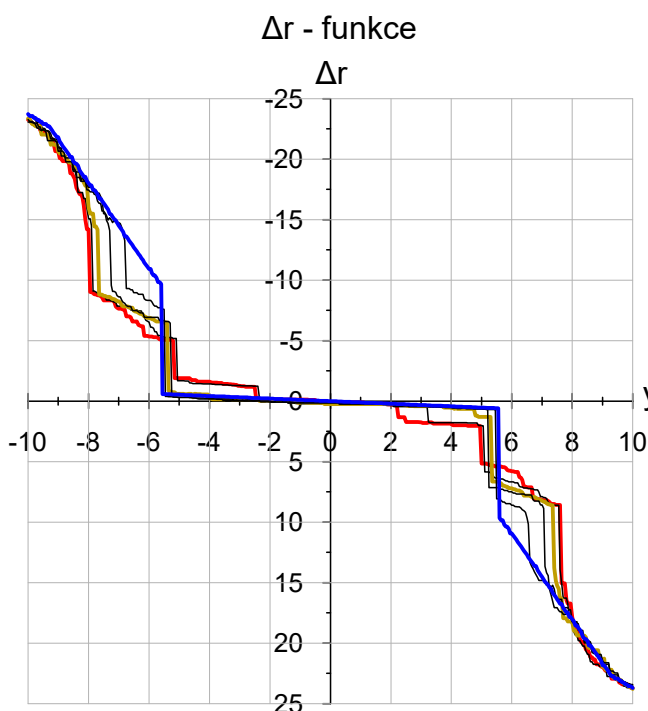
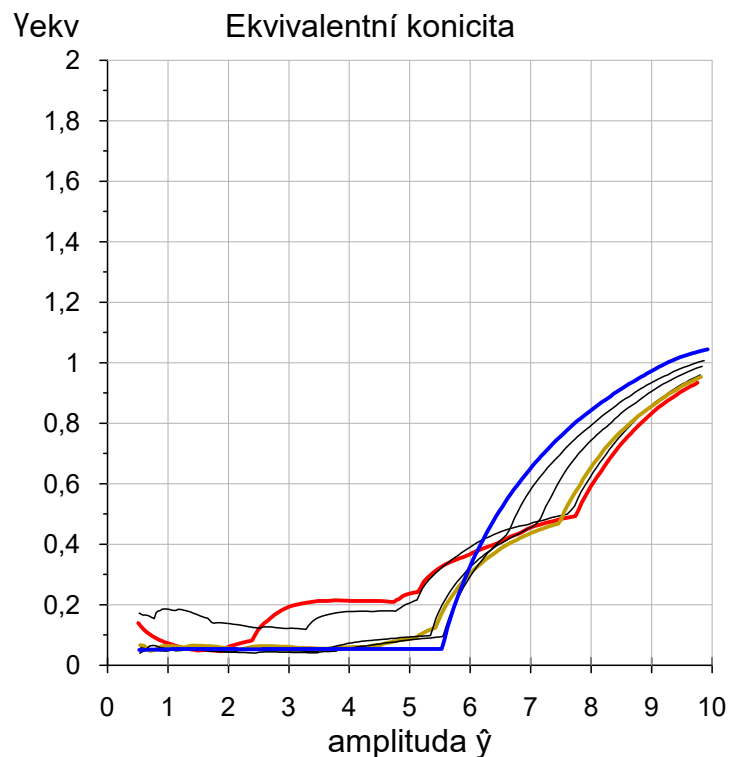
Teoretický předstih: 5,7 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 1.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,053
16 052 km	1 506 km	0,043
69 000 km	7 831 km	0,048
	16 052 km	0,061
	58 405 km	0,122
	69 000 km	0,193



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

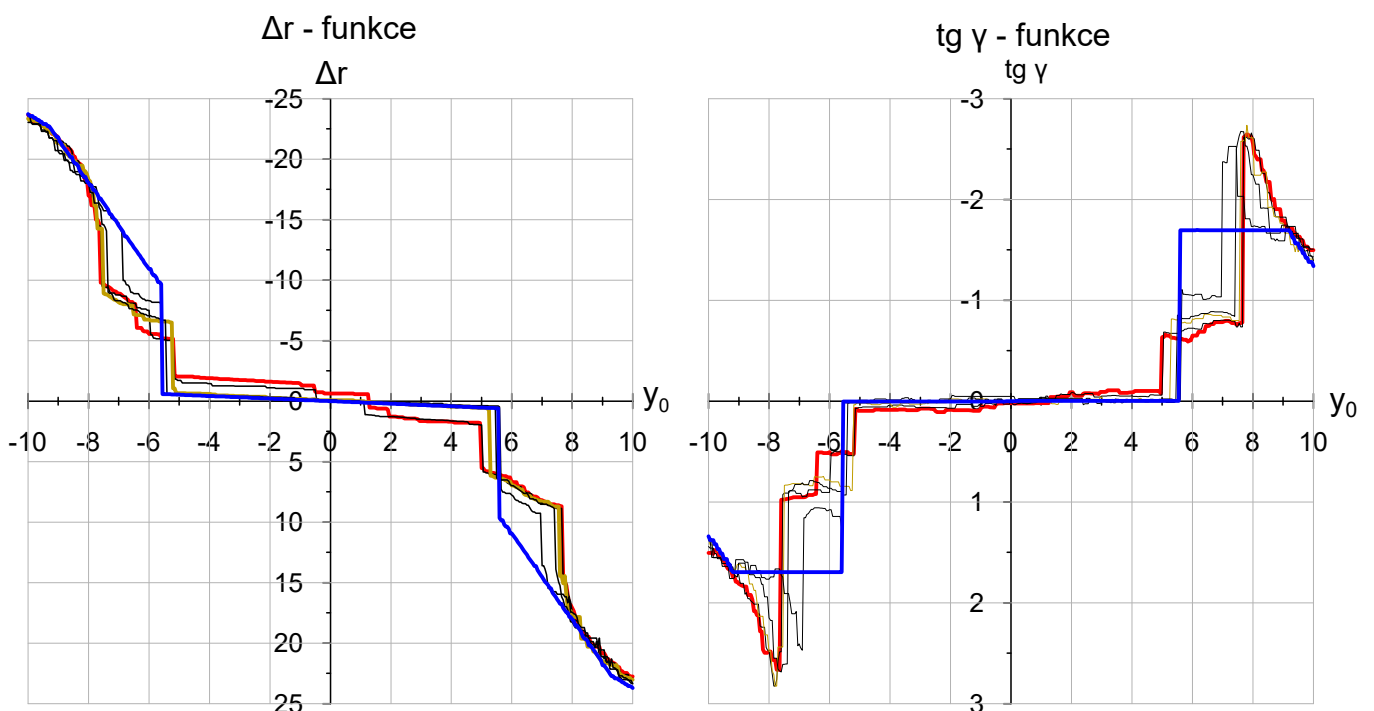
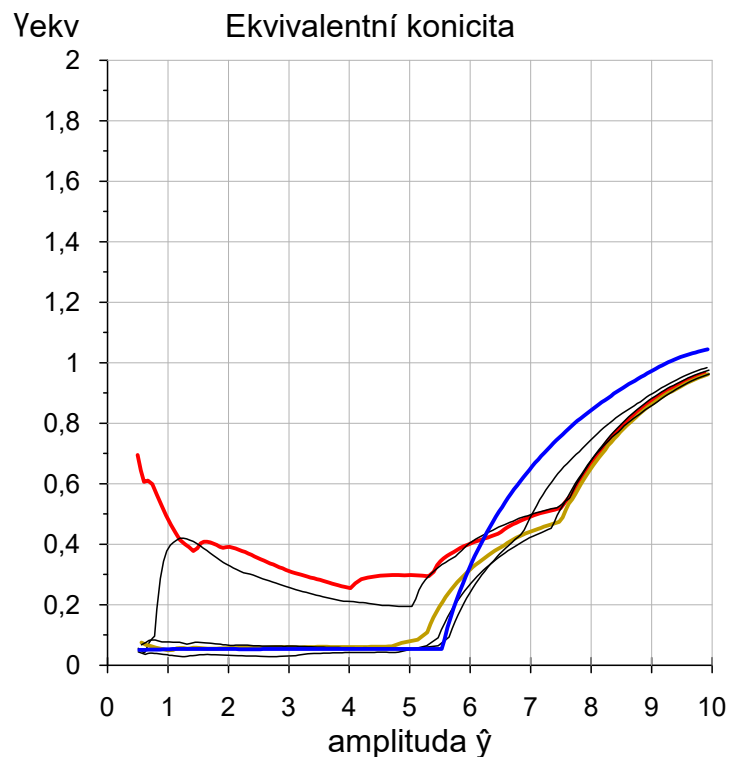
Teoretický předstih: 5,7 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 2.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,053
16 052 km	1 506 km	0,031
69 000 km	7 831 km	0,063
	16 052 km	0,060
	58 405 km	0,258
	69 000 km	0,312



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

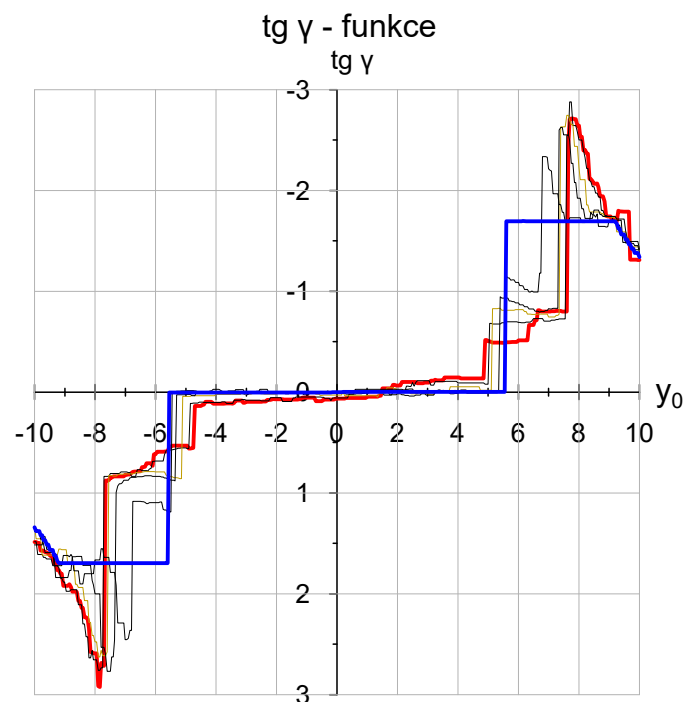
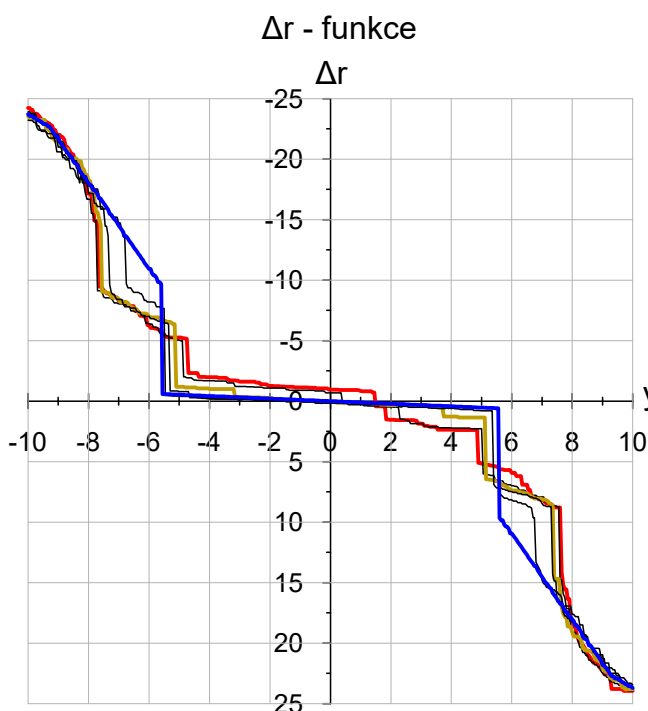
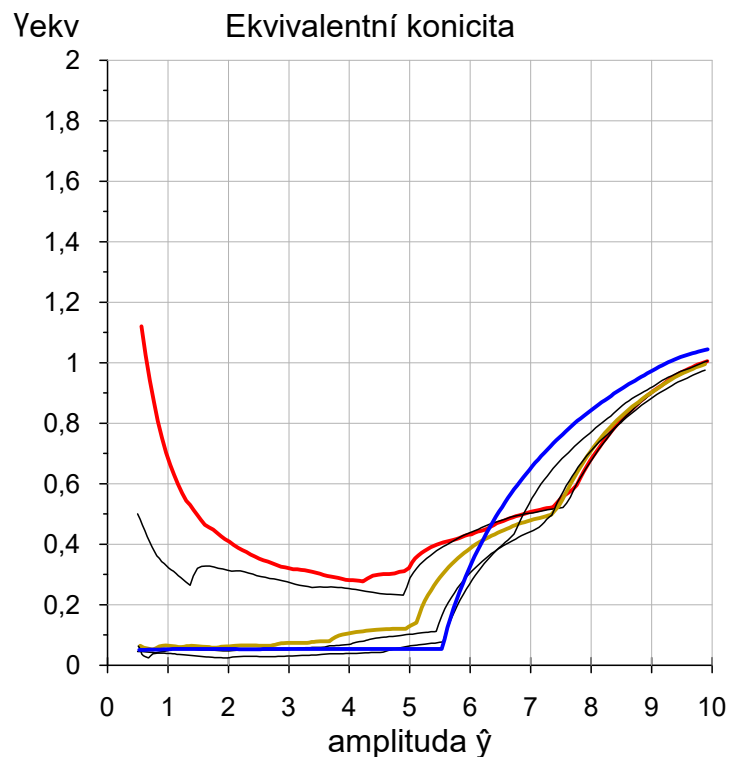
Teoretický předstih: 5,7 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 3.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,053
16 052 km	1 506 km	0,030
	7 831 km	0,051
	16 052 km	0,073
	58 405 km	0,274
	69 000 km	0,321



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Teoretická

Km : /

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1435 mm

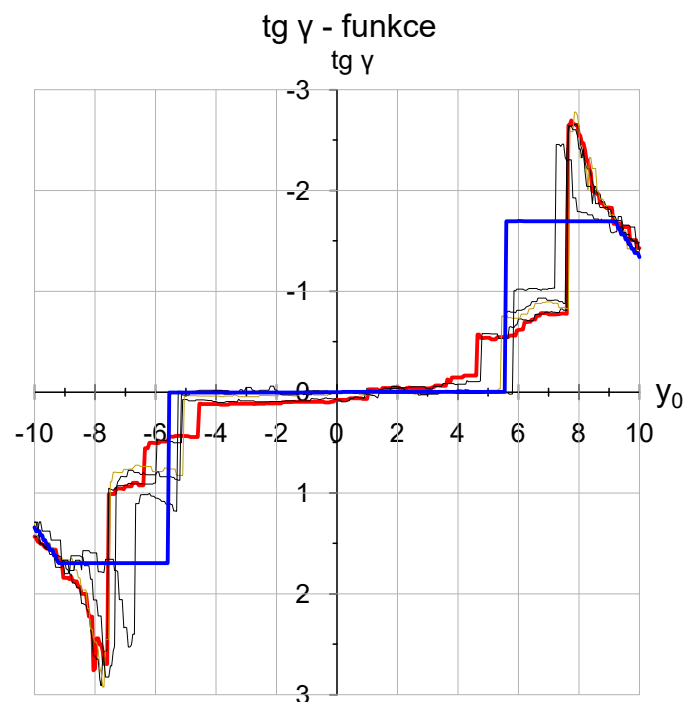
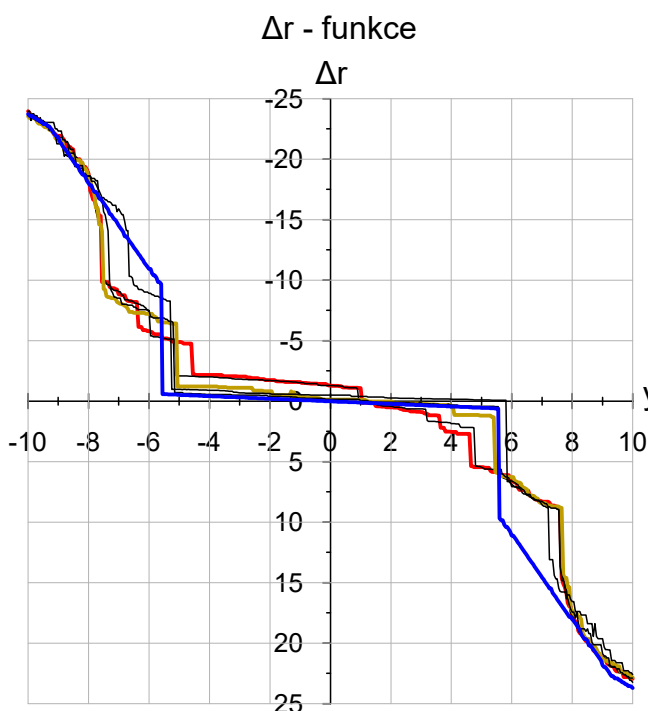
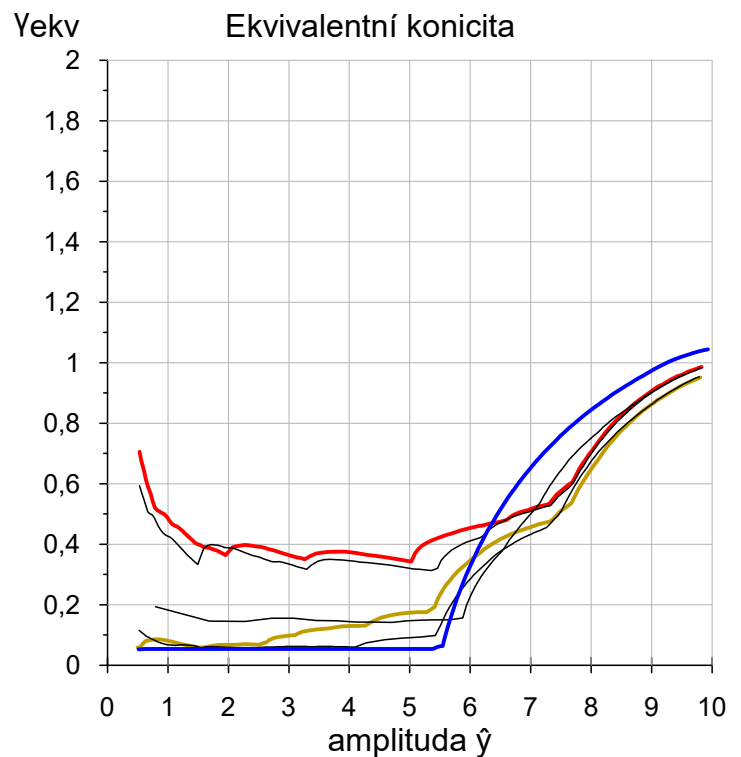
Teoretický předstih: 5,7 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 4.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,053
16 052 km	1 506 km	0,155
69 000 km	7 831 km	0,062
	16 052 km	0,098
	58 405 km	0,334
	69 000 km	0,364

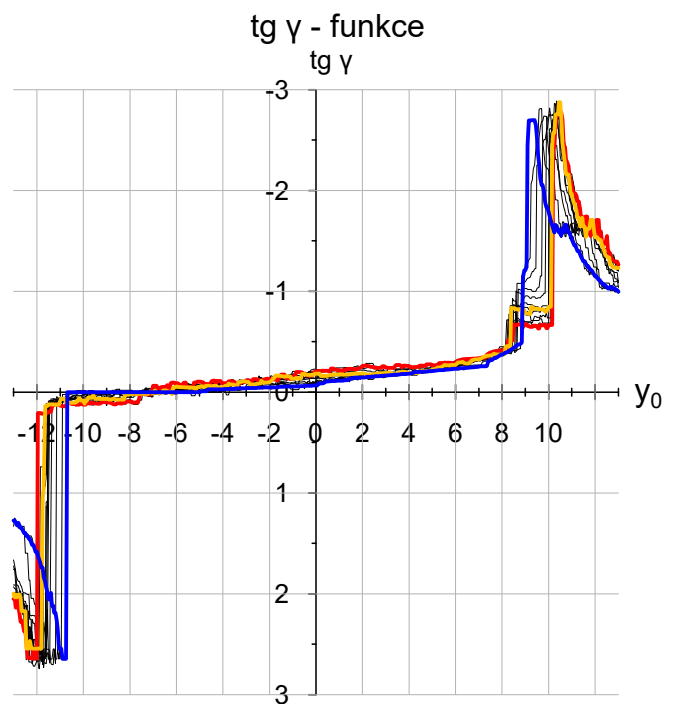
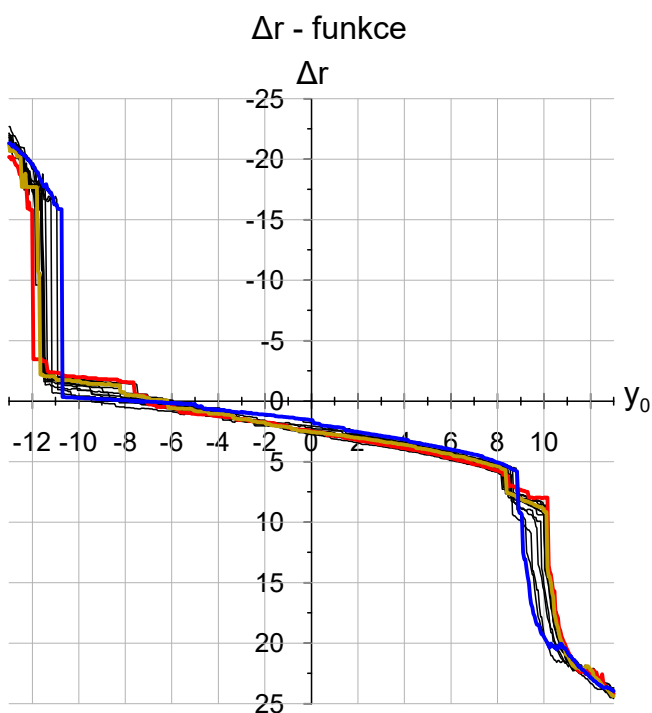
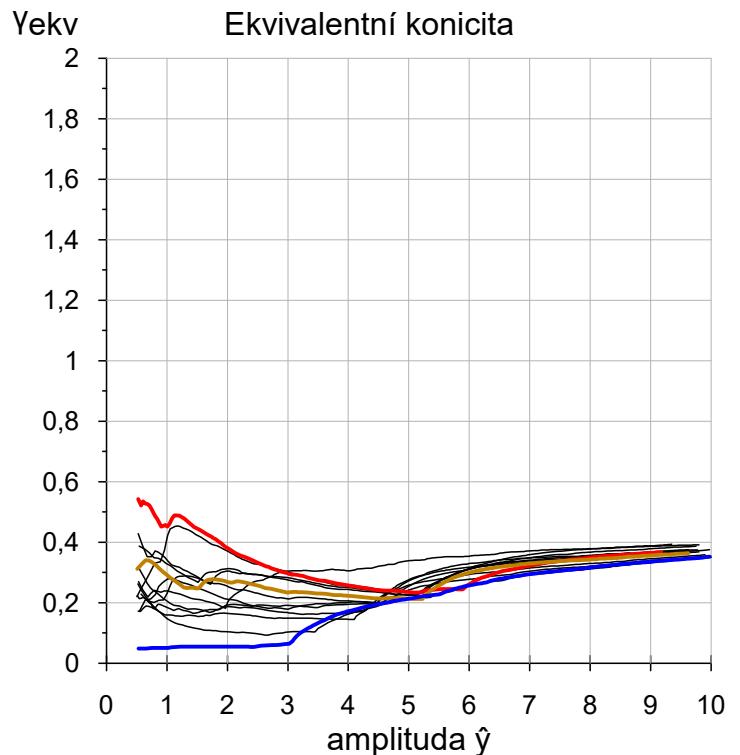


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Radlická - Jinonice
 Km : 10,6
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1443,5 mm
 Teoretický předstih: 14,2 mm

Jednotka: 3289
 Náprava: 1.
 Obrys : K2A

γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
Teor	0,064
5000 km	0,103
11 000 km	0,304
15 000 km	0,149
22 000 km	0,167
27 200 km	0,191
35 000 km	0,213
40 500 km	0,179
45 000 km	0,234
55 000 km	0,275
67 000 km	0,283
75 000 km	0,303
96 000 km	0,296

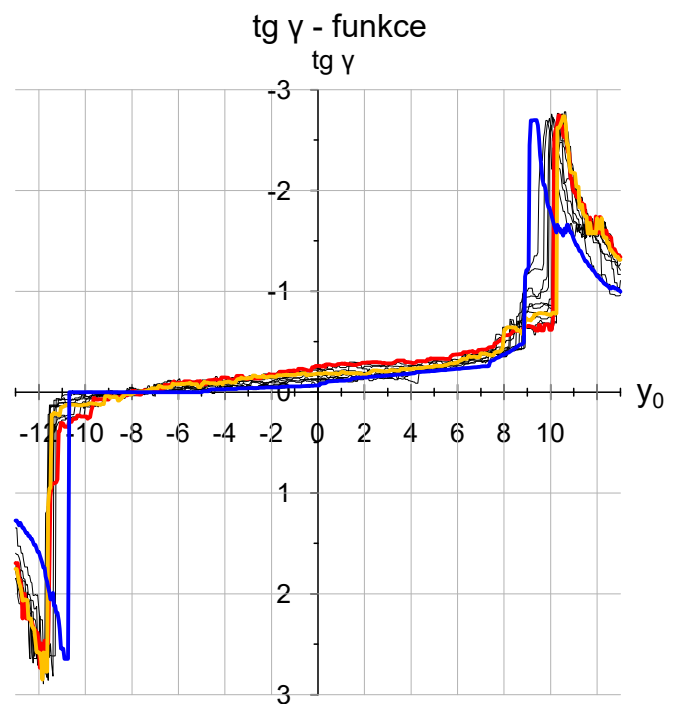
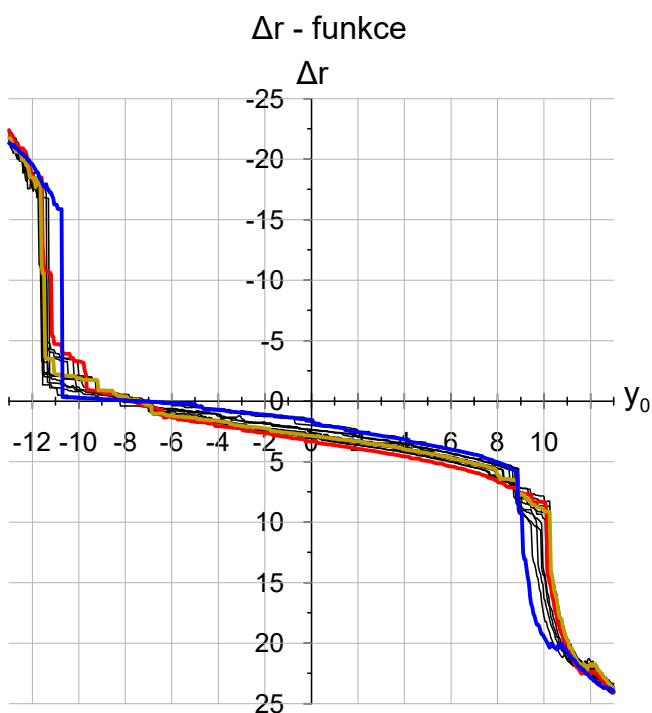
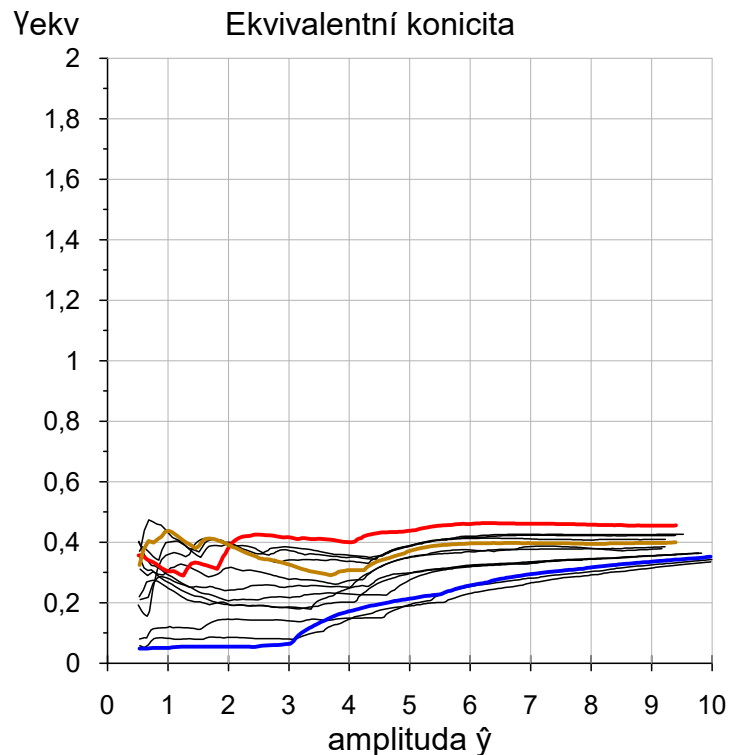


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Radlická - Jinonice
 Km : 10,6
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1443,5 mm
 Teoretický předstih: 14,2 mm

Jednotka: 3289
 Náprava: 2.
 Obrys : K2A

<ul style="list-style-type: none"> — Teoretická — 45000 km — 96000 km 	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor		0,064
5000 km		0,080
11 000 km		0,140
15 000 km		0,186
22 000 km		0,183
27 200 km		0,218
35 000 km		0,253
40 500 km		0,277
45 000 km		0,326
55 000 km		0,342
67 000 km		0,373
75 000 km		0,384
96 000 km		0,416



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Radlická - Jinonice

Km : 10,6

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1443,5 mm

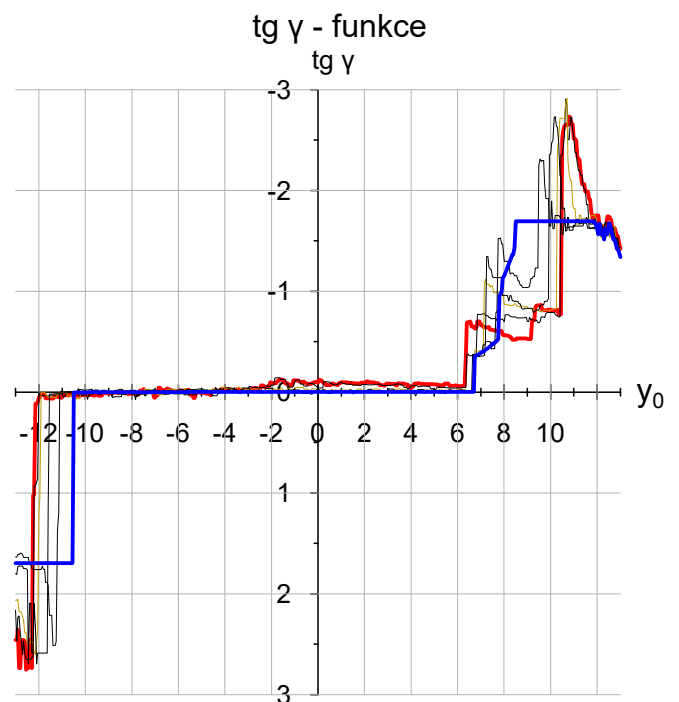
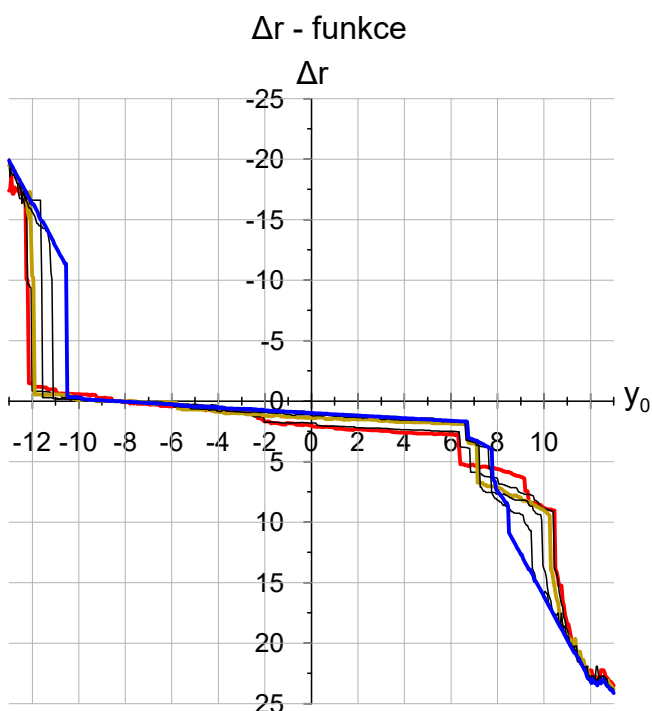
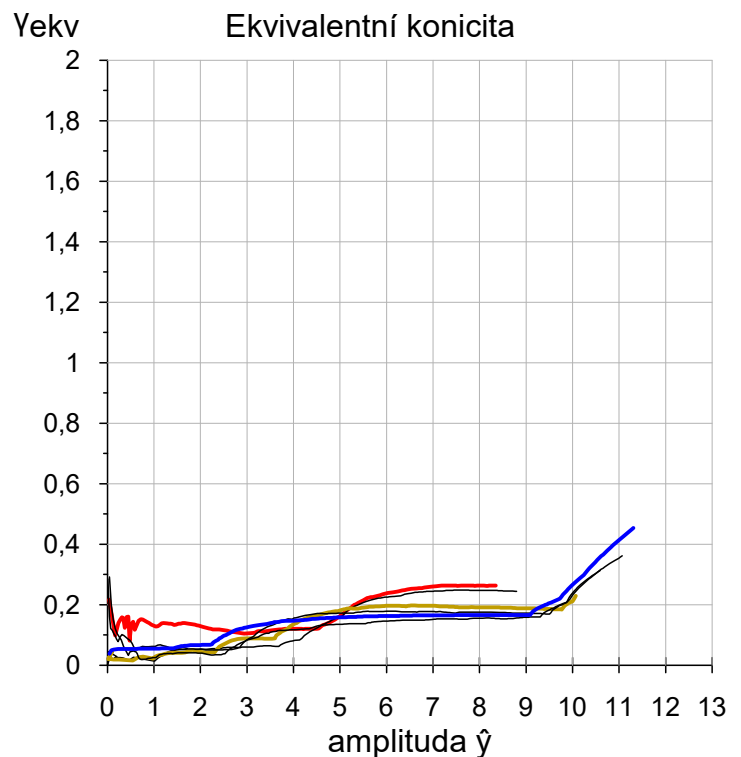
Teoretický předstih: 8,5 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 1.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,125
16 052 km	1 506 km	0,083
69 000 km	7 831 km	0,084
	16 052 km	0,089
	58 405 km	0,060
	69 000 km	0,105



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Radlická - Jinonice

Km : 10,6

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1443,5 mm

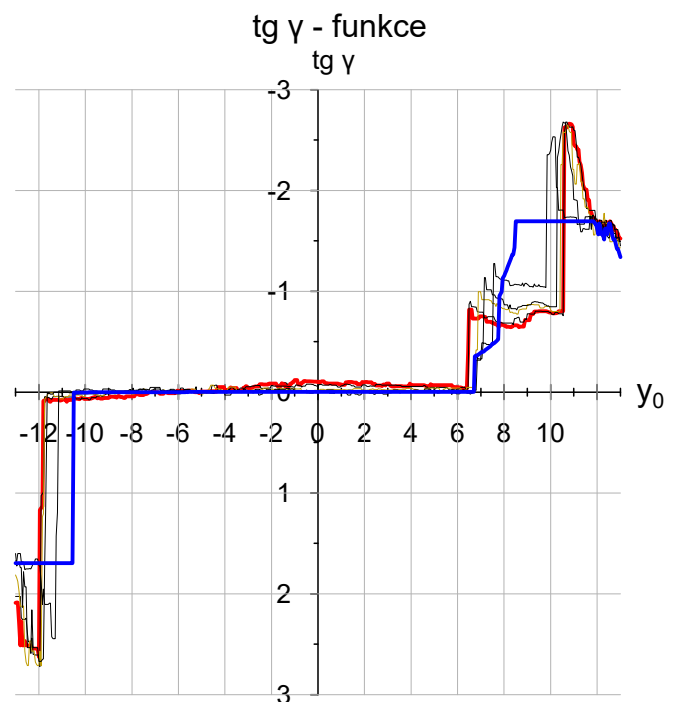
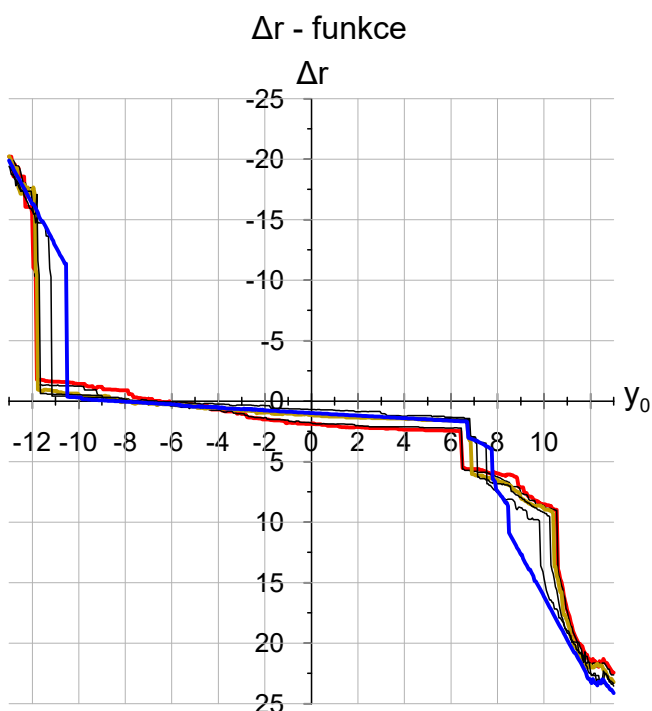
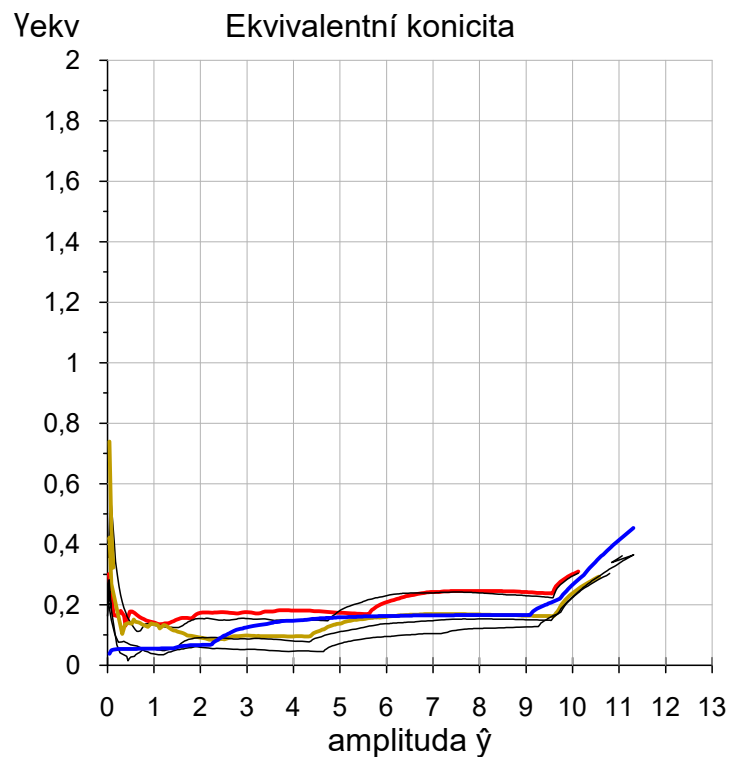
Teoretický předstih: 8,5 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 2.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
— Teoretická		0,125
— 16 052 km	1 506 km	0,053
— 69 000 km	7 831 km	0,087
	16 052 km	0,098
	58 405 km	0,154
	69 000 km	0,176



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Radlická - Jinonice

Km : 10,6

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1443,5 mm

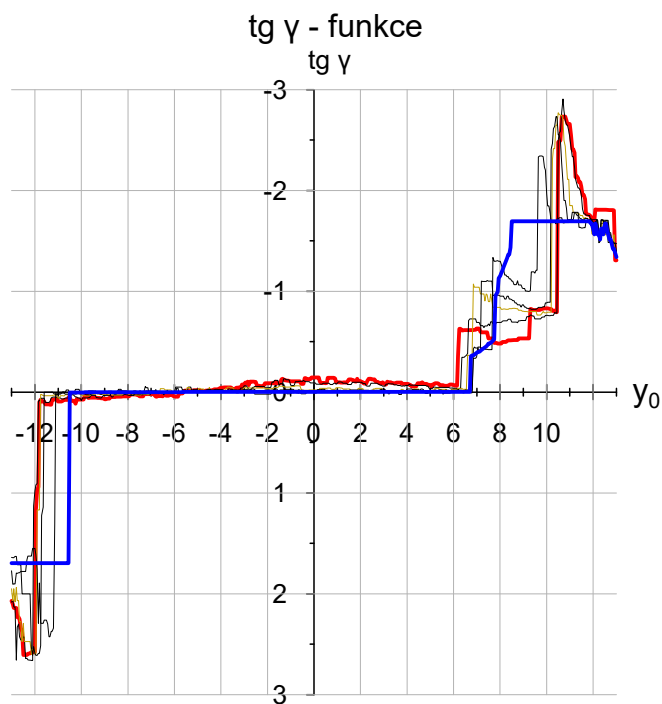
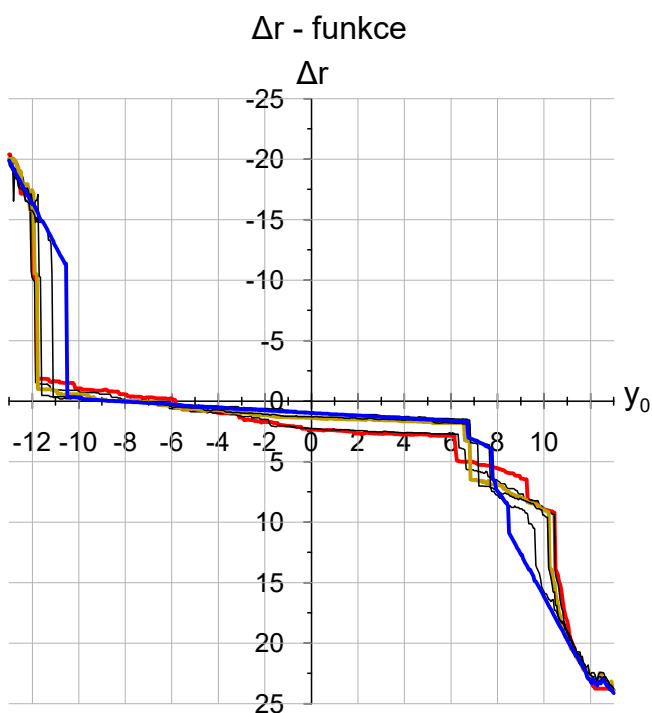
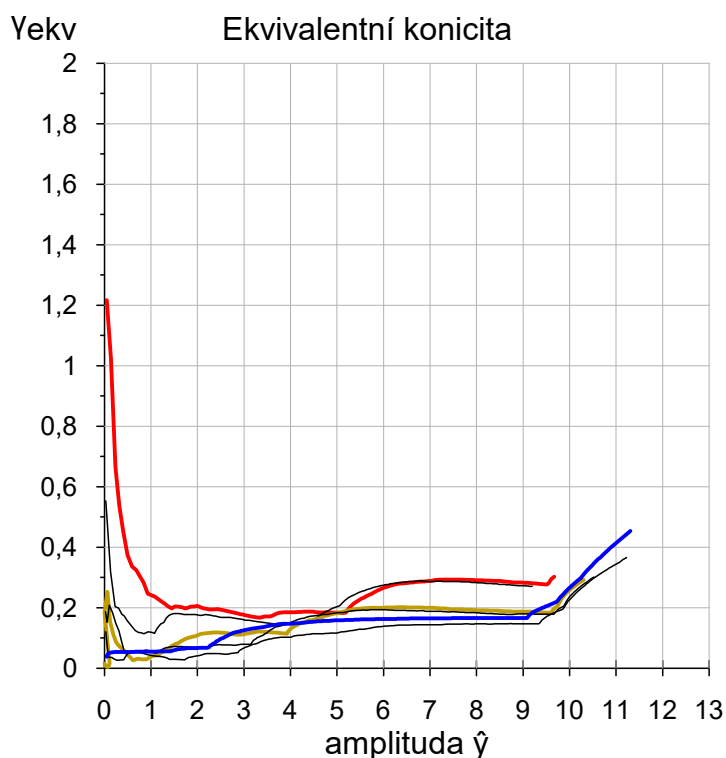
Teoretický předstih: 8,5 mm

Jednotka: 3336

Náprava: 3.

Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,125
16 052 km	1 506 km	0,067
69 000 km	7 831 km	0,079
	16 052 km	0,113
	58 405 km	0,161
	69 000 km	0,177

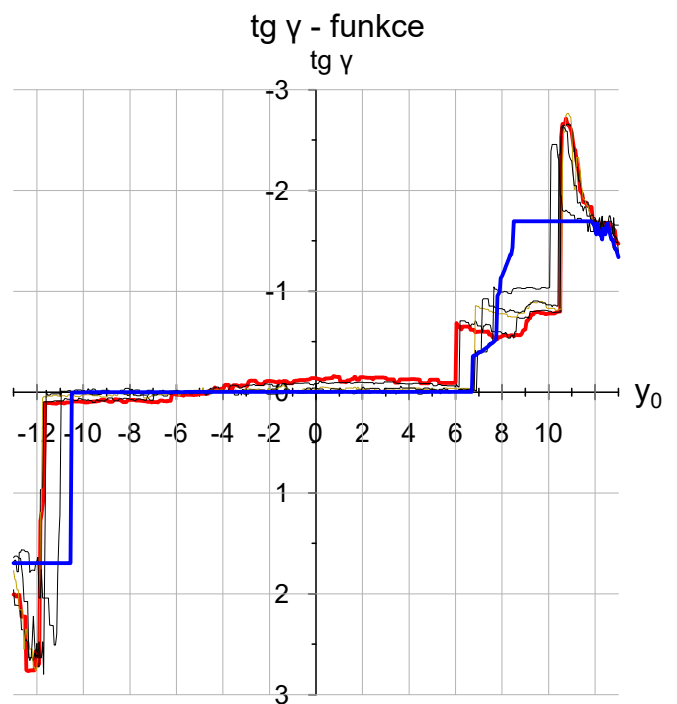
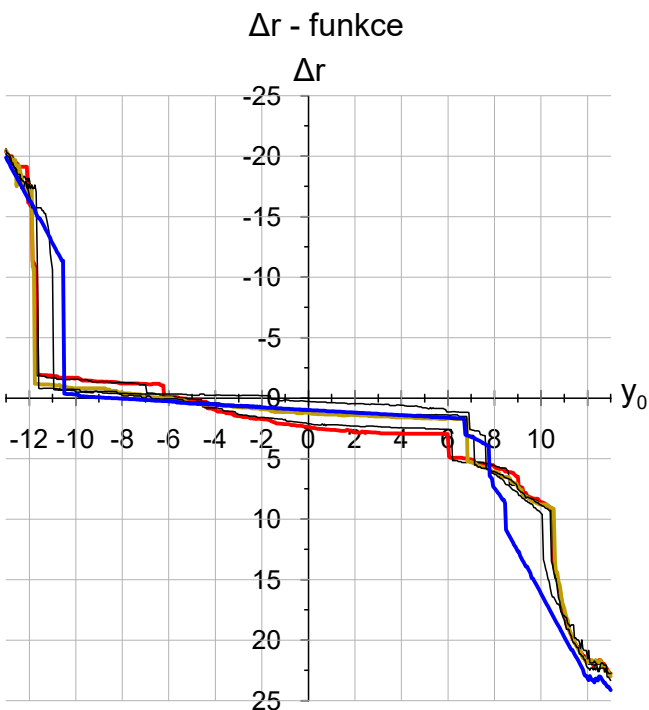
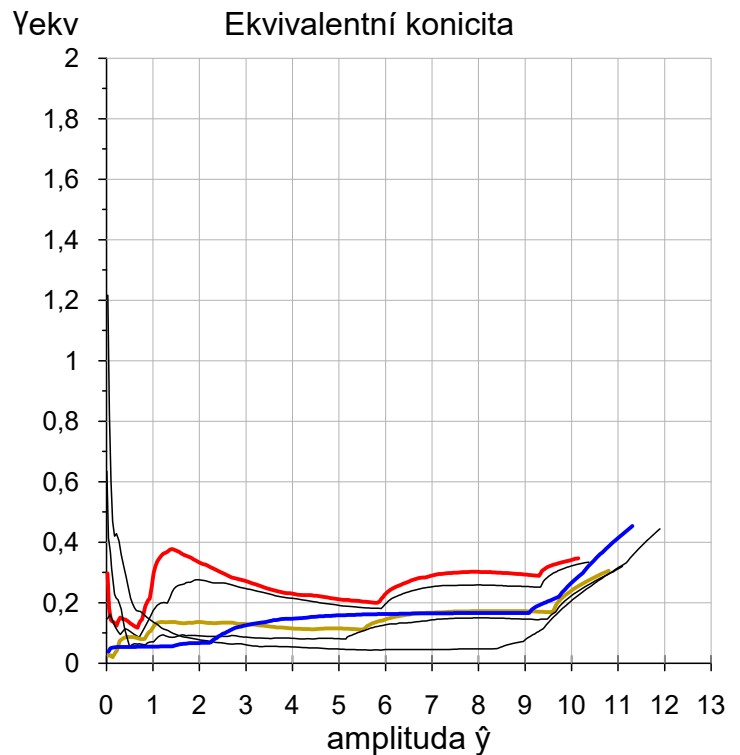


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Radlická - Jinonice
 Km : 10,6
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1443,5 mm
 Teoretický předstih: 8,5 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 4.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,125
16 052 km	1 506 km	0,061
69 000 km	7 831 km	0,086
	16 052 km	0,129
	58 405 km	0,247
	69 000 km	0,271

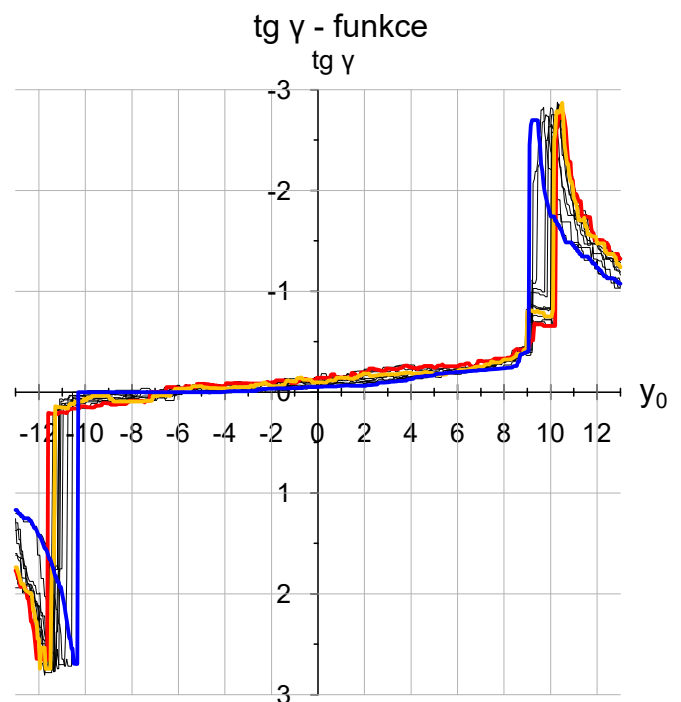
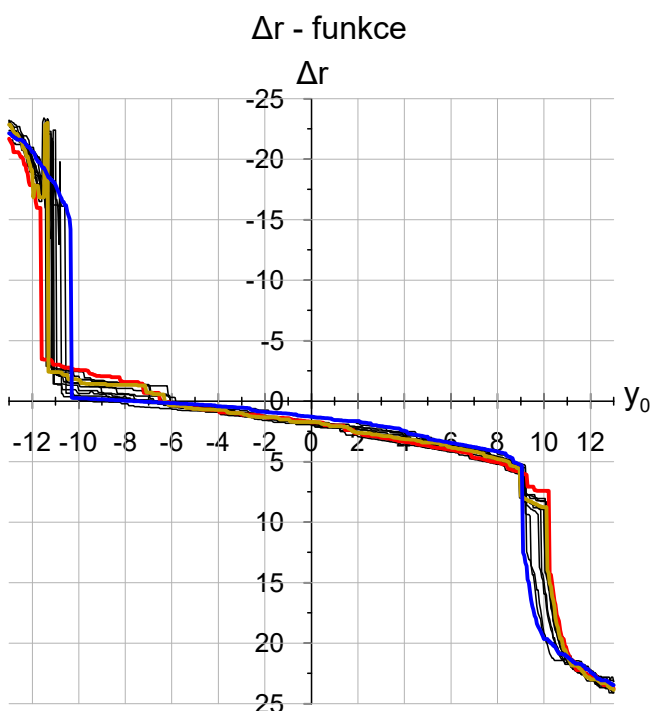
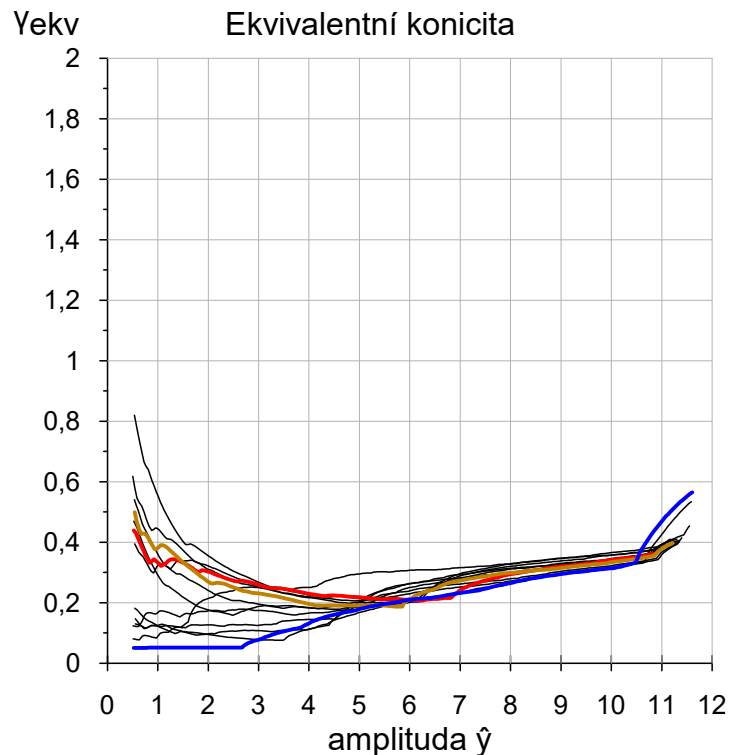


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 14 mm

Jednotka: 3289
 Náprava: 1.
 Obrys : K2A

γ_e pro $\hat{\gamma} = 3$ mm	
Teor	0,078
5000 km	0,077
11 000 km	0,250
15 000 km	0,108
22 000 km	0,125
27 200 km	0,174
35 000 km	0,195
40 500 km	0,188
45 000 km	0,231
55 000 km	0,252
67 000 km	0,256
75 000 km	0,268
96 000 km	0,259

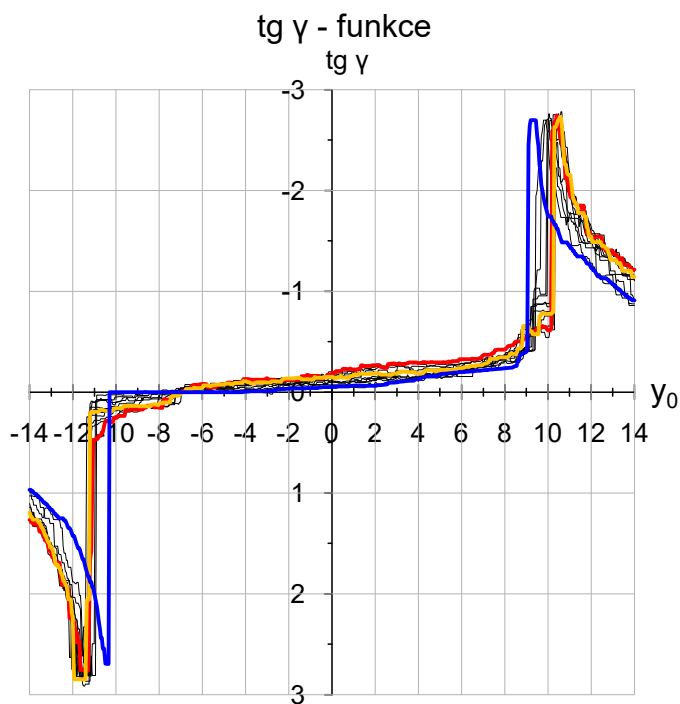
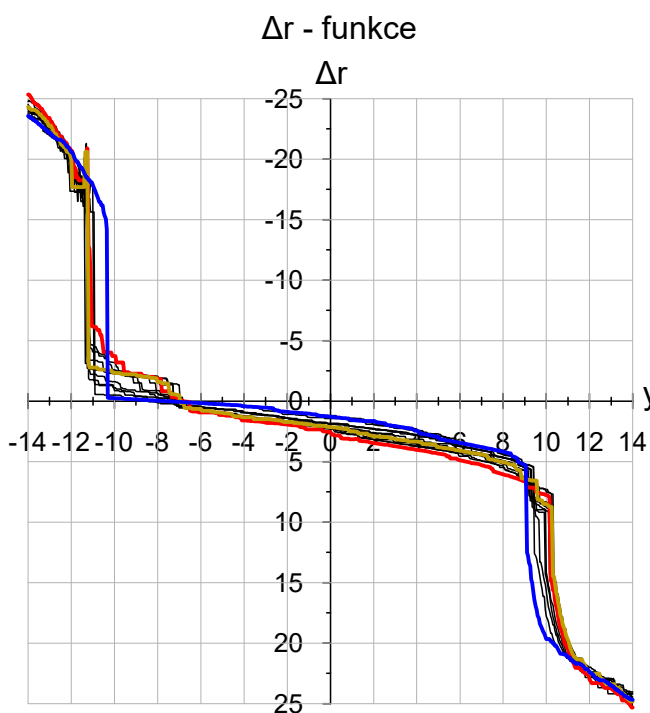
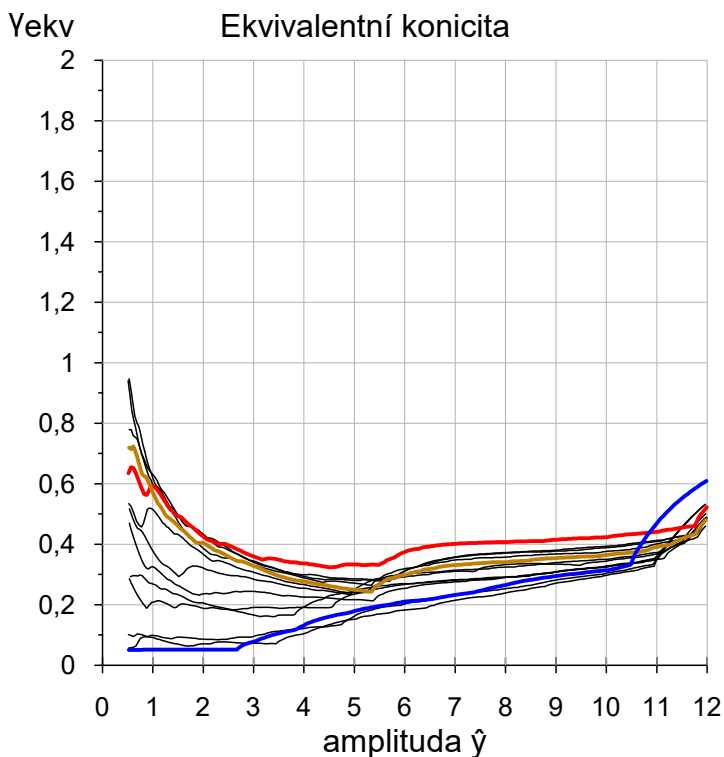


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 14 mm

Jednotka: 3289
 Náprava: 2.
 Obrys : K2A

<ul style="list-style-type: none"> — Teoretická — 45000 km — 96000 km 	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
		Teor	0,078
	5000 km	0,072
	11 000 km	0,095
	15 000 km	0,166
	22 000 km	0,191
	27 200 km	0,244
	35 000 km	0,285
	40 500 km	0,307
	45 000 km	0,329
	55 000 km	0,330
	67 000 km	0,344
	75 000 km	0,341
	96 000 km	0,360

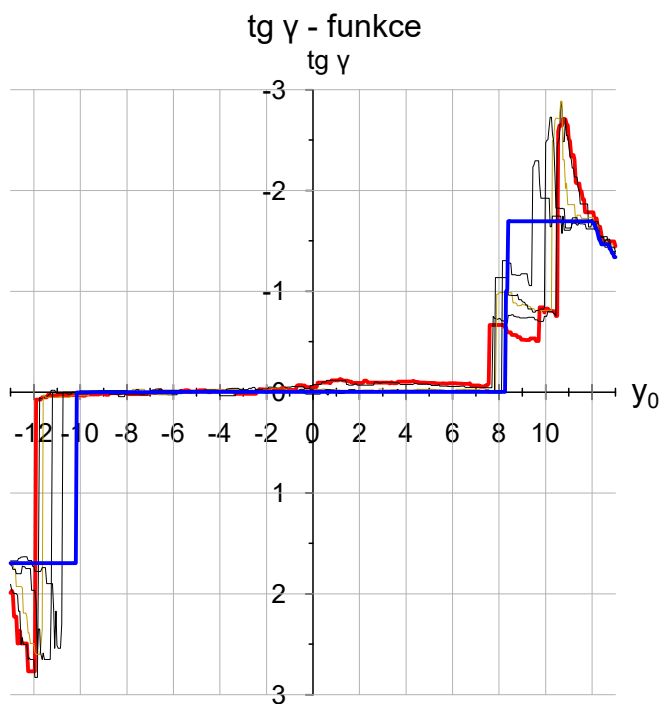
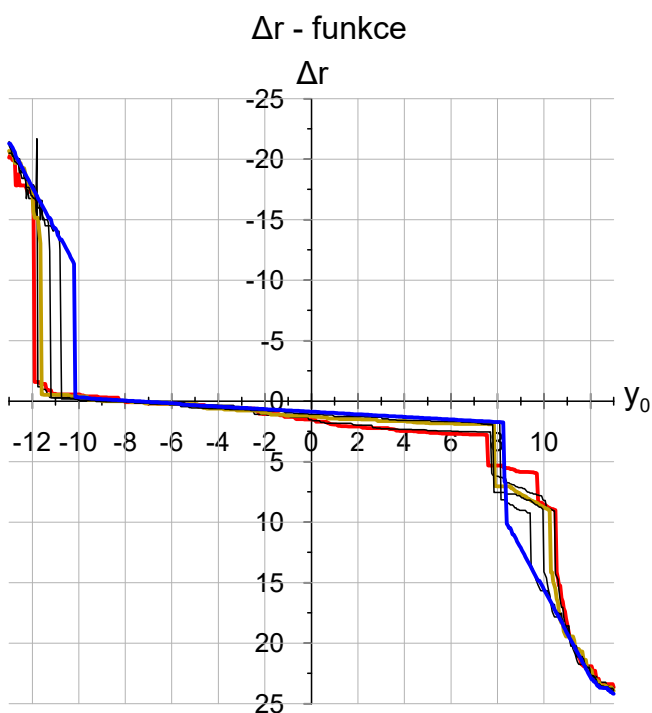
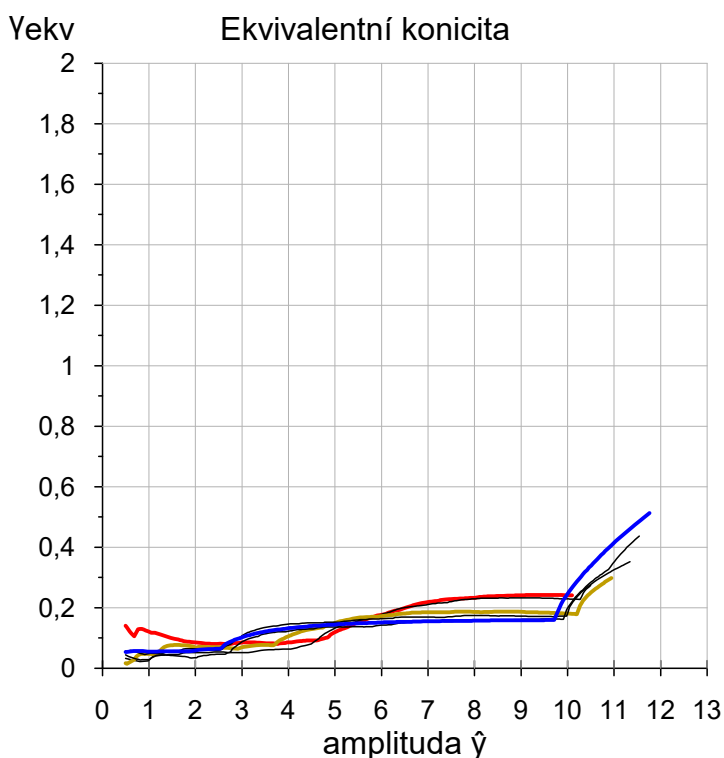


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 8,35 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 1.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,102
16 052 km	1 506 km	0,087
69 000 km	7 831 km	0,107
	16 052 km	0,070
	58 405 km	0,052
	69 000 km	0,085

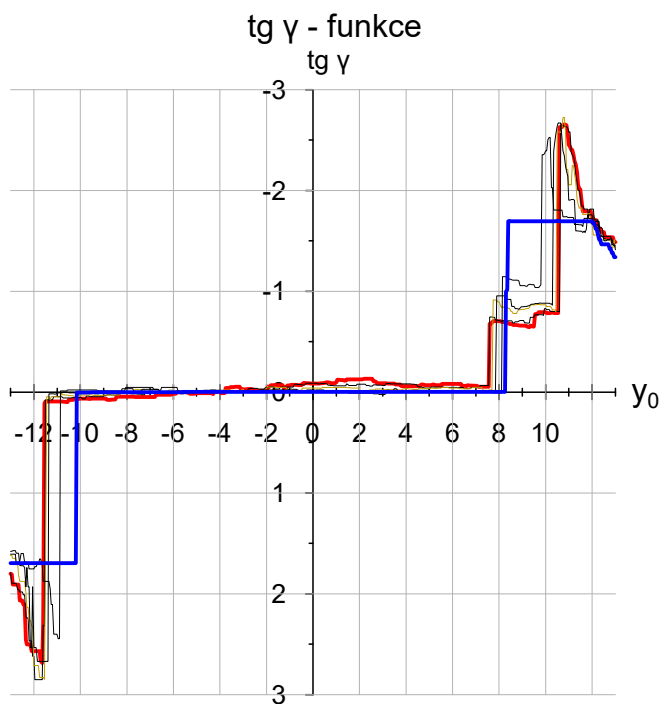
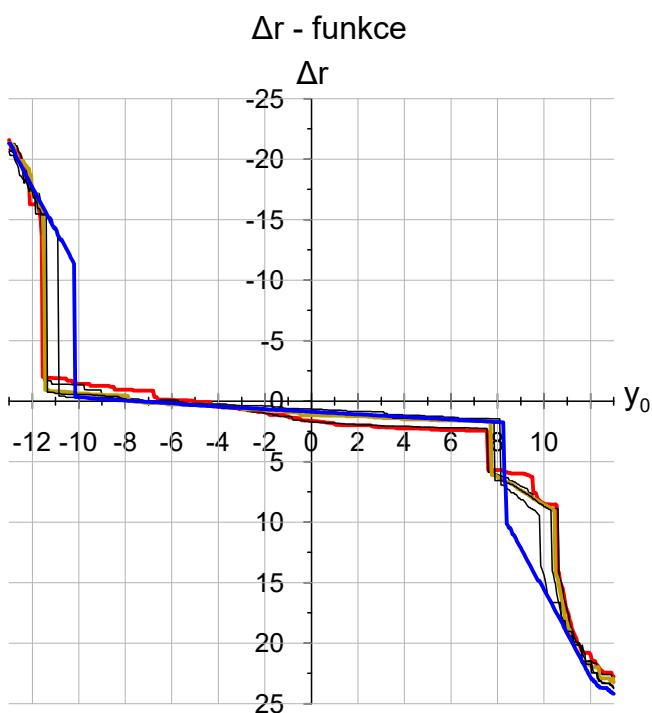
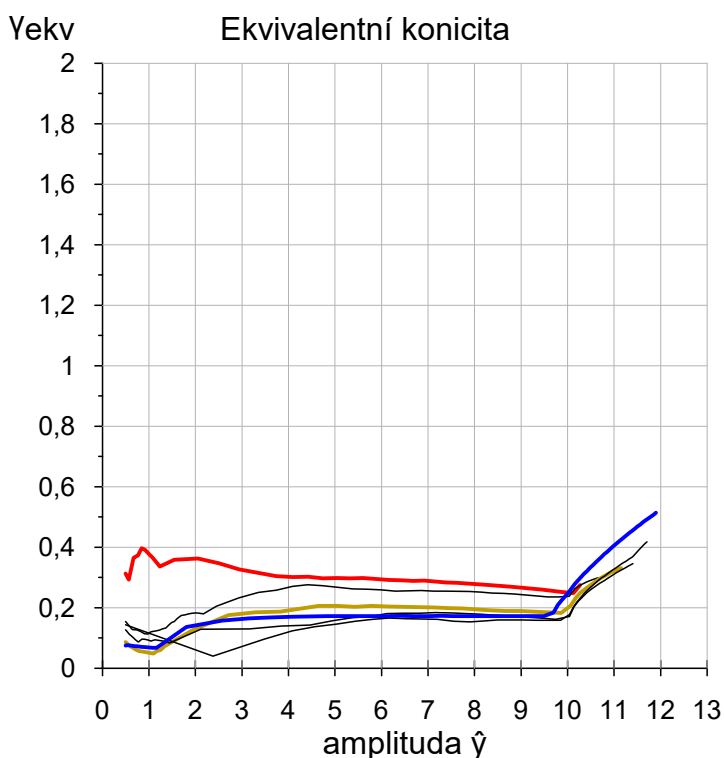


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 8,35 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 2.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,102
16 052 km	1 506 km	0,051
69 000 km	7 831 km	0,087
	16 052 km	0,085
	58 405 km	0,115
	69 000 km	0,159

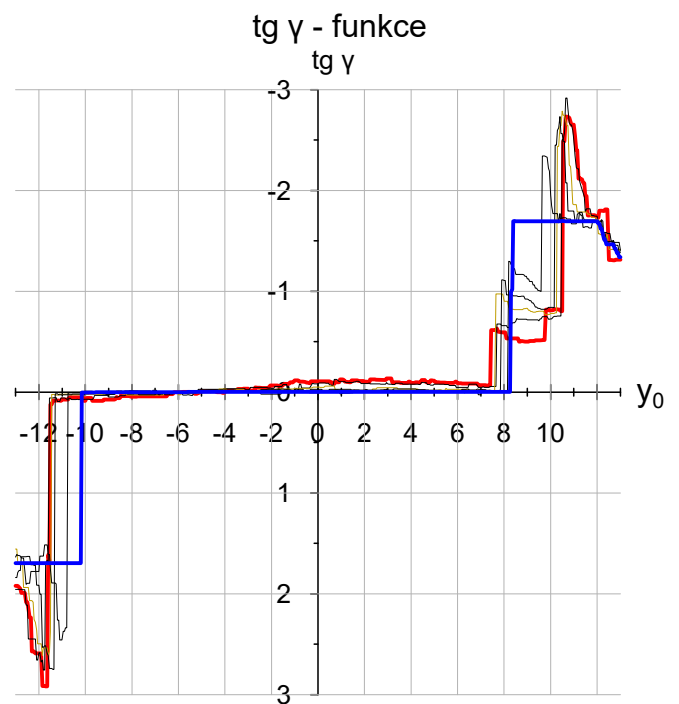
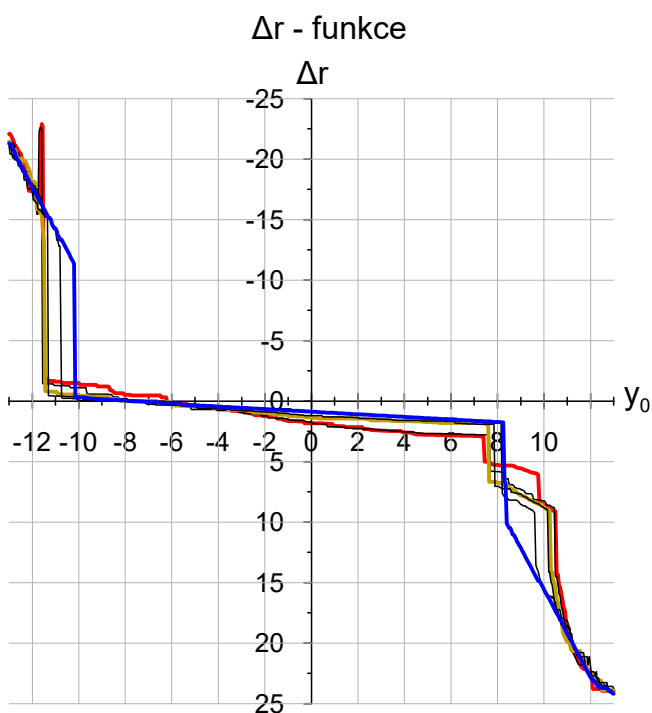
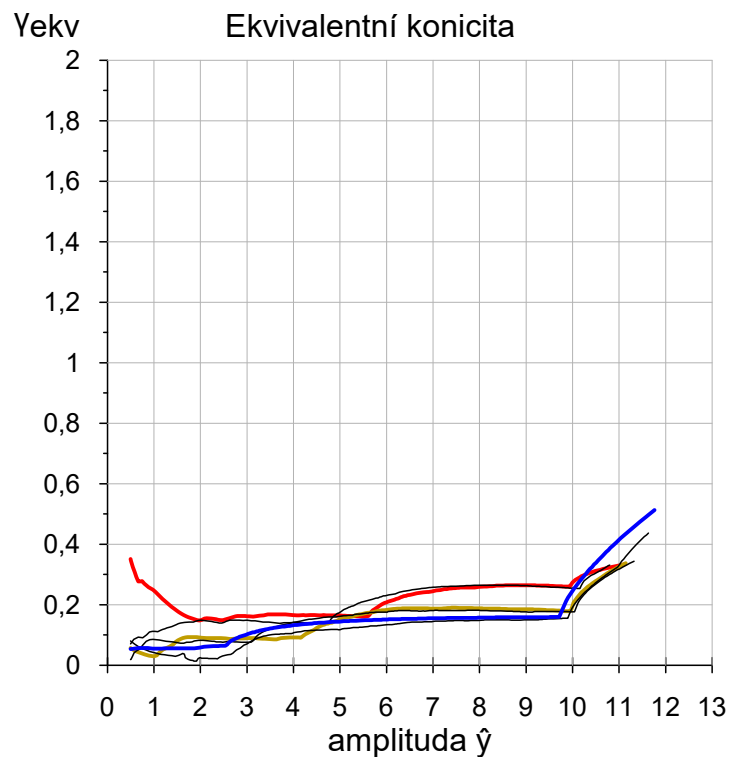


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 8,35 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 3.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,102
16 052 km	1 506 km	0,071
69 000 km	7 831 km	0,076
	16 052 km	0,089
	58 405 km	0,148
	69 000 km	0,162

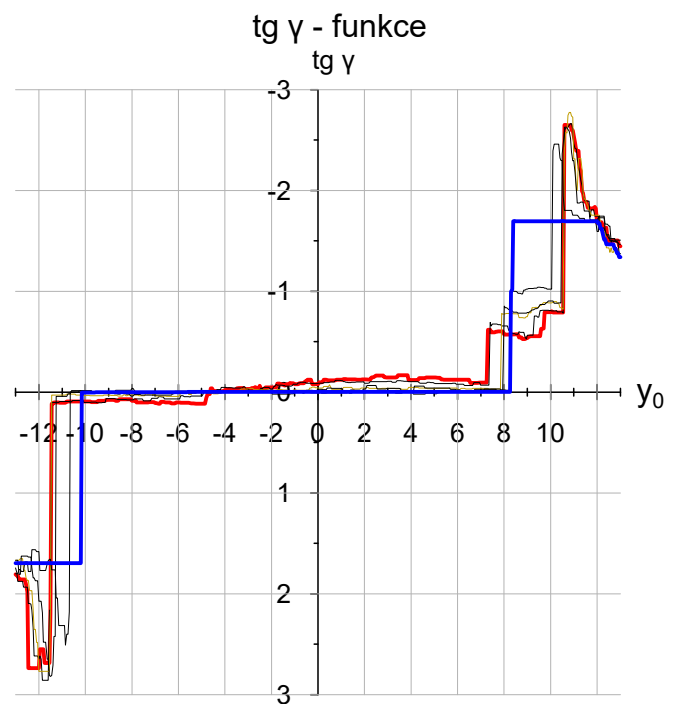
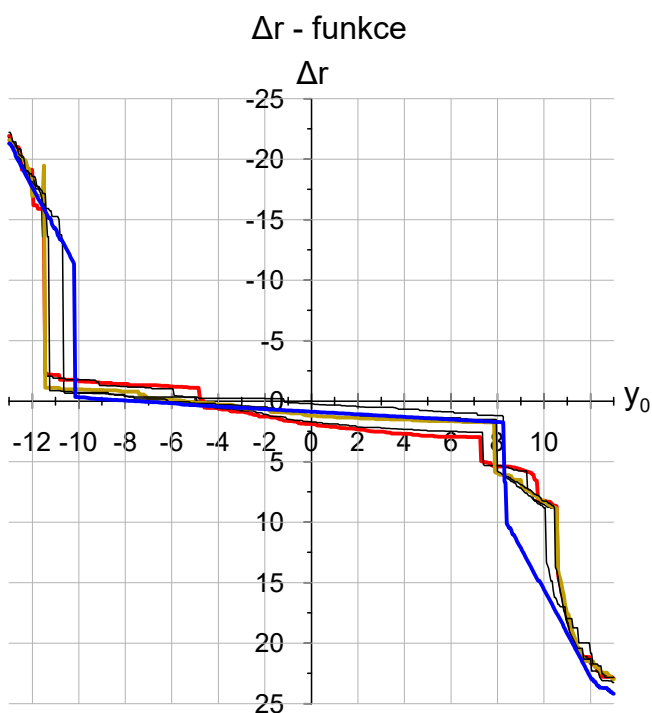
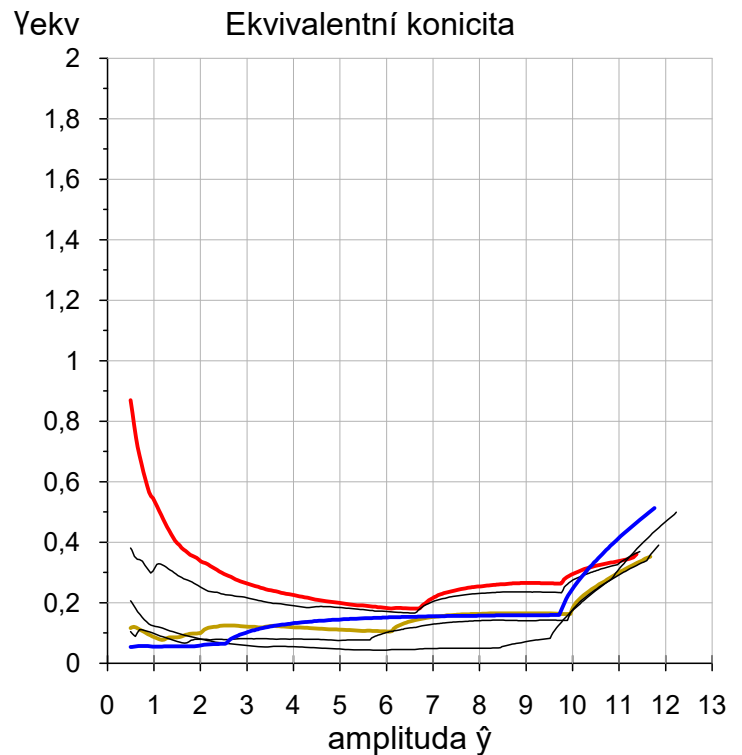


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 17,1
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,8 mm
 Teoretický předstih: 8,35 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 4.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,102
16 052 km	1 506 km	0,059
	7 831 km	0,081
	16 052 km	0,121
	58 405 km	0,216
	69 000 km	0,264

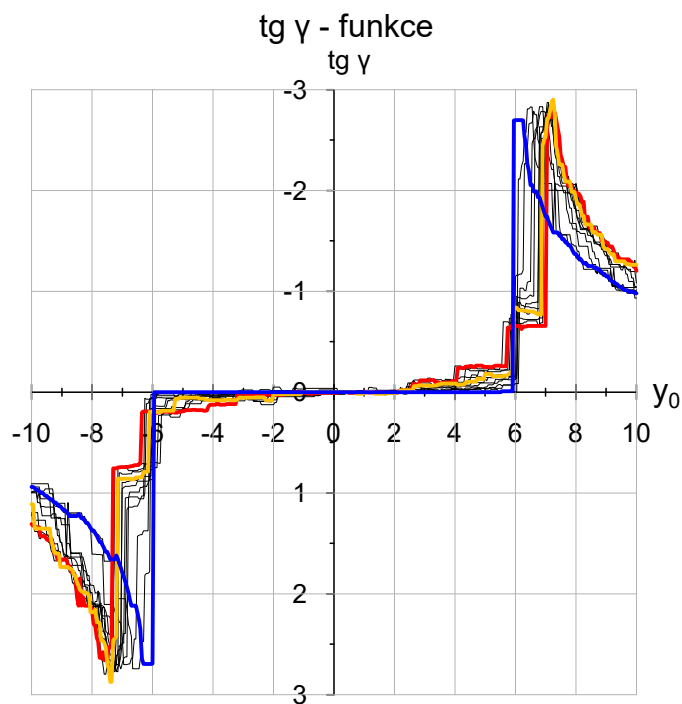
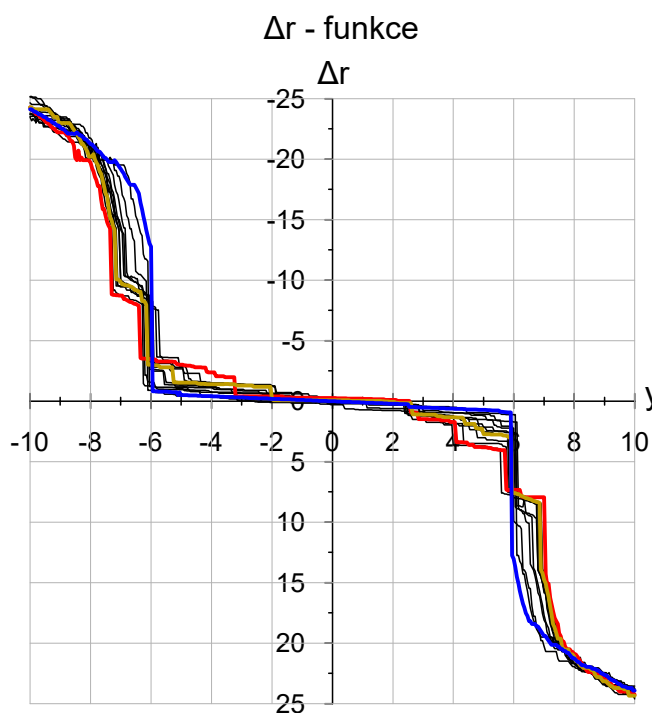
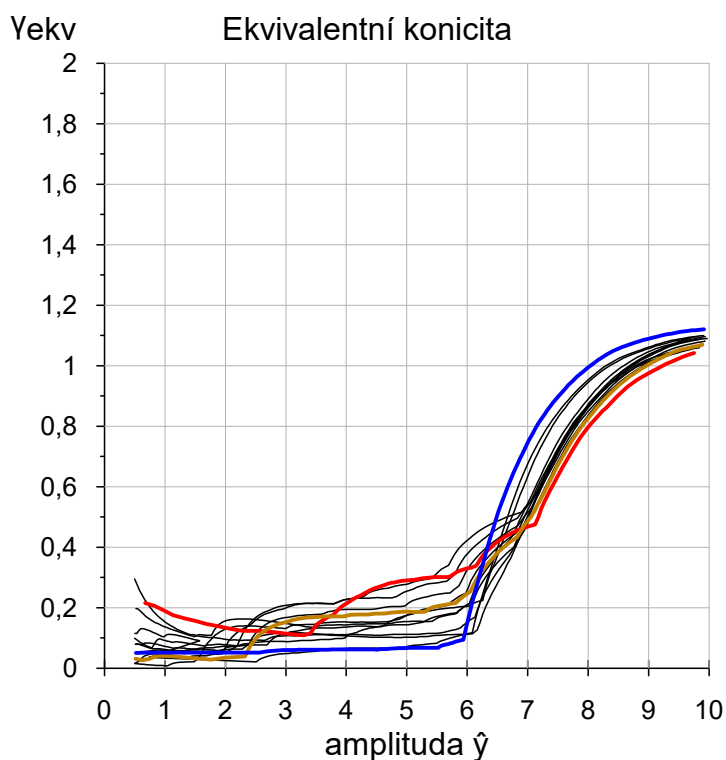


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3289
 Náprava: 1.
 Obrys : K2A

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
— Teoretická		0,060
— 45000 km	5000 km	0,049
— 96000 km	11 000 km	0,088
	15 000 km	0,107
	22 000 km	0,117
	27 200 km	0,148
	35 000 km	0,116
	40 500 km	0,132
	45 000 km	0,153
	55 000 km	0,168
	67 000 km	0,200
	75 000 km	0,208
	96 000 km	0,115

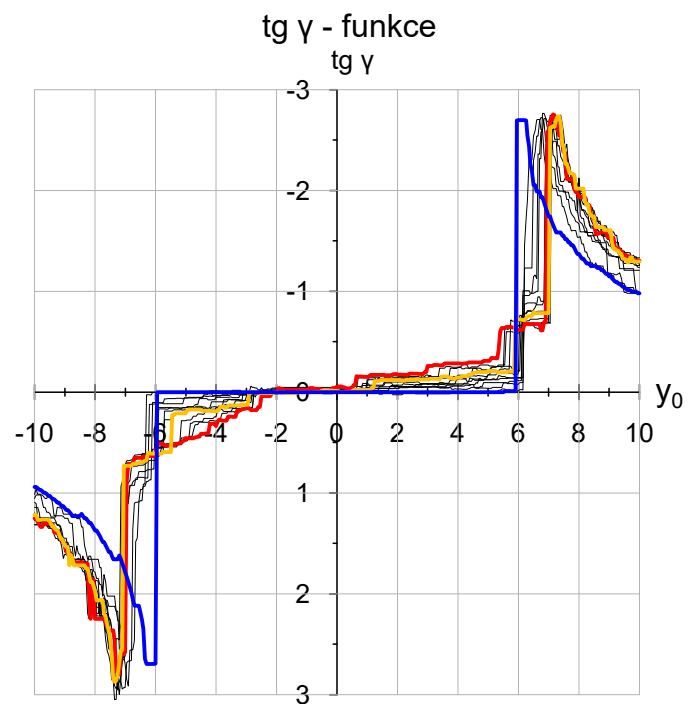
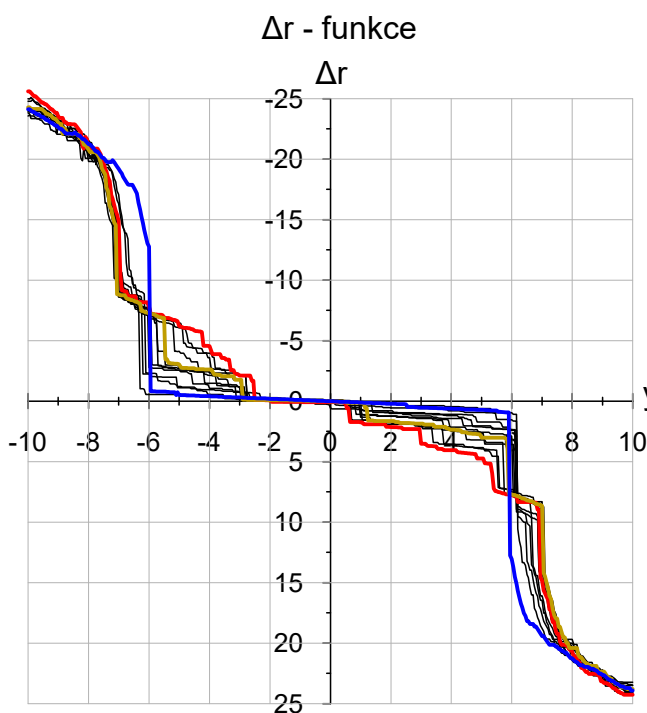
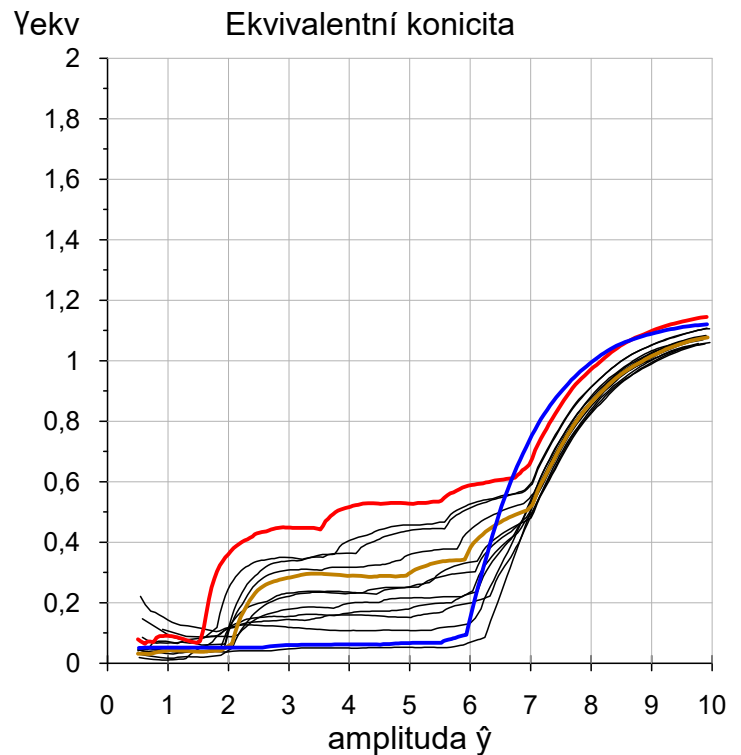


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3289
 Náprava: 2.
 Obrys : K2A

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
— Teoretická		0,060
— 45000 km	5000 km	0,047
— 96000 km	11 000 km	0,119
	15 000 km	0,144
	22 000 km	0,155
	27 200 km	0,179
	35 000 km	0,232
	40 500 km	0,221
	45 000 km	0,283
	55 000 km	0,308
	67 000 km	0,350
	75 000 km	0,338
	96 000 km	0,448

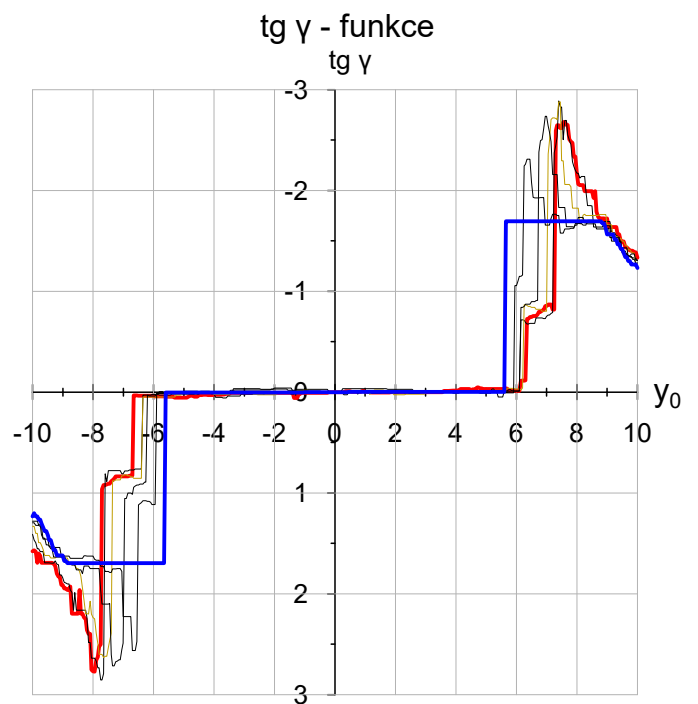
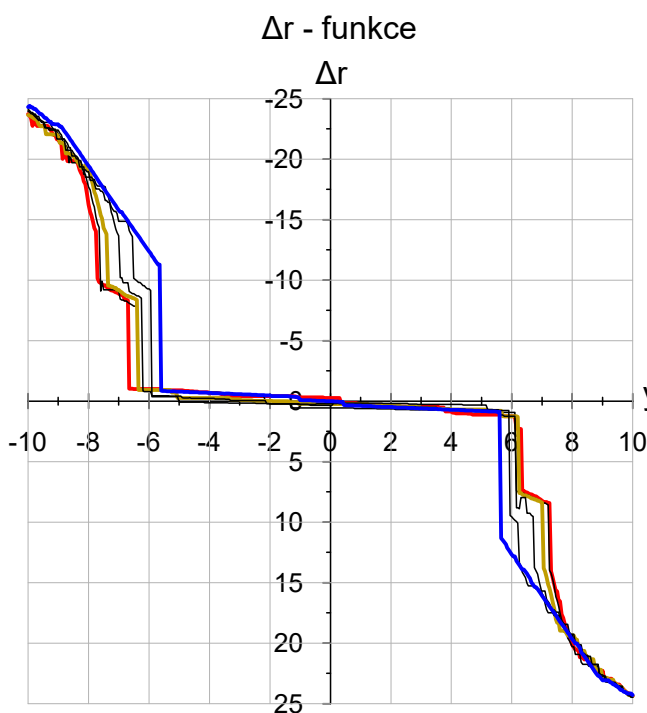
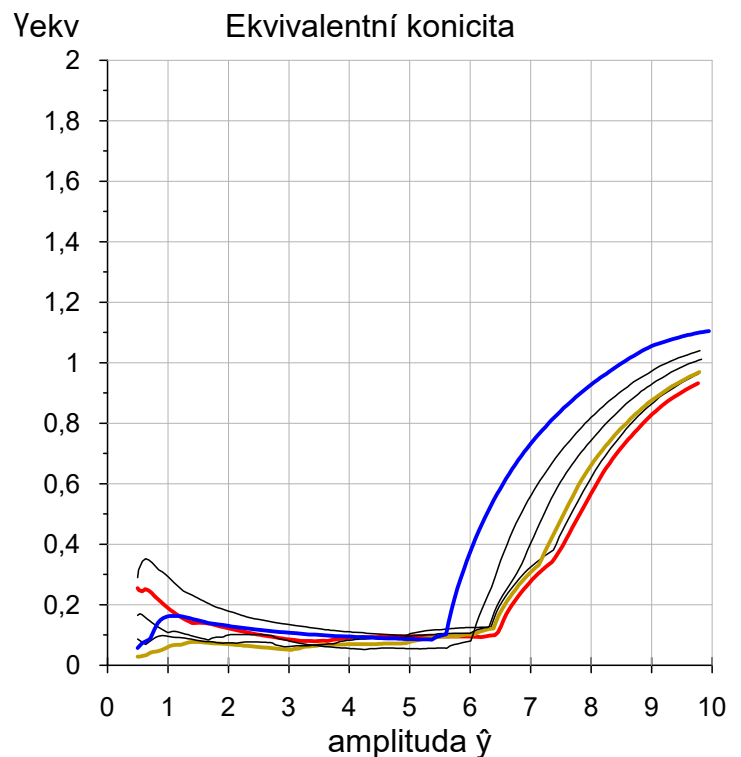


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3336
 Náprava: 1.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,107
16 052 km	1 506 km	0,080
	7 831 km	0,061
	16 052 km	0,052
	58 405 km	0,135
	69 000 km	0,086

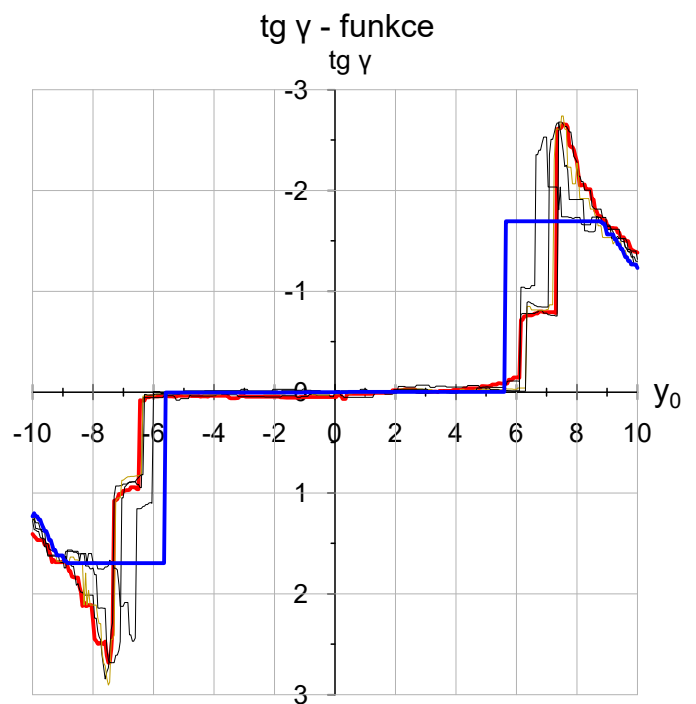
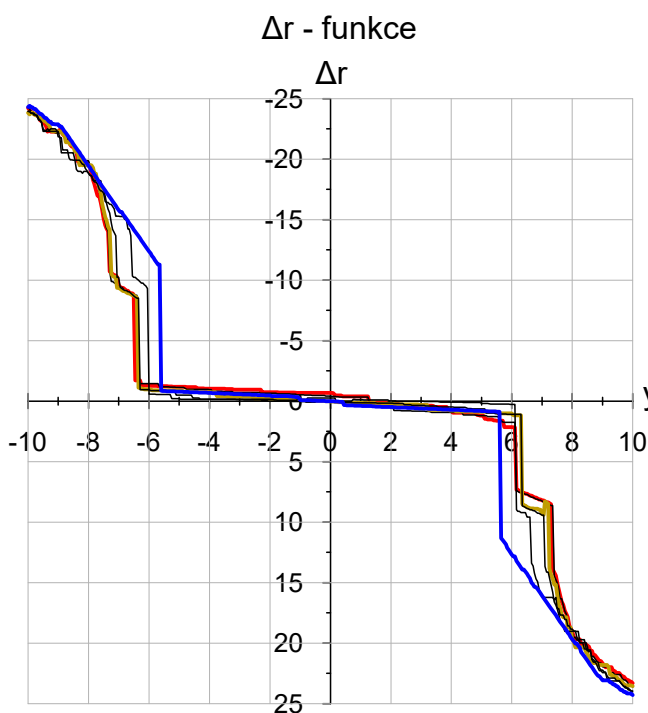
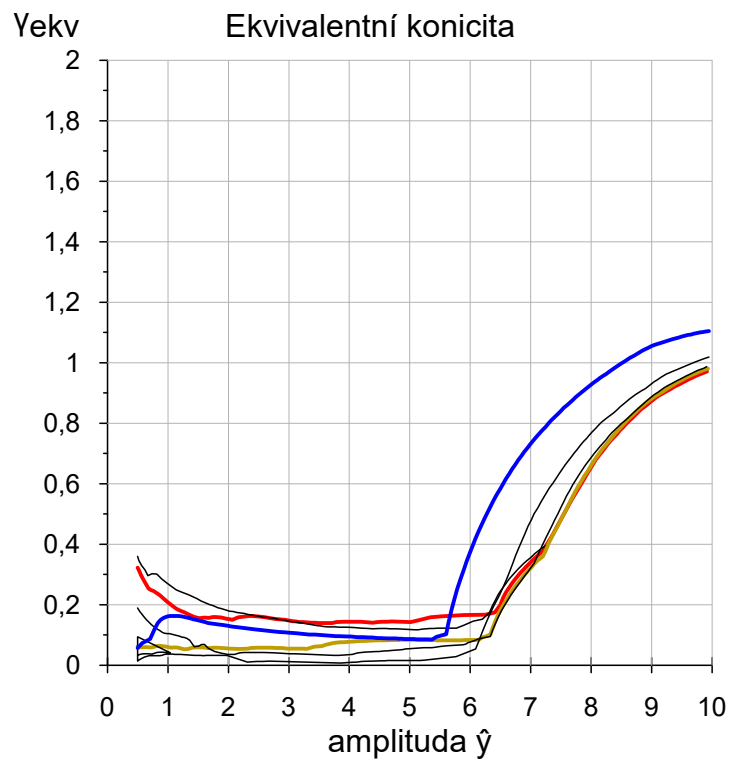


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3336
 Náprava: 2.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,107
16 052 km	1 506 km	0,012
69 000 km	7 831 km	0,038
	16 052 km	0,055
	58 405 km	0,146
	69 000 km	0,148

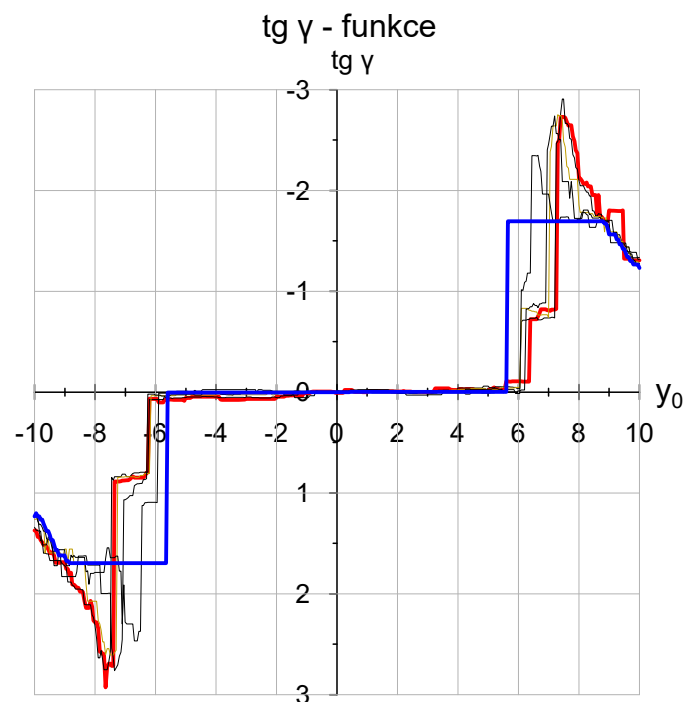
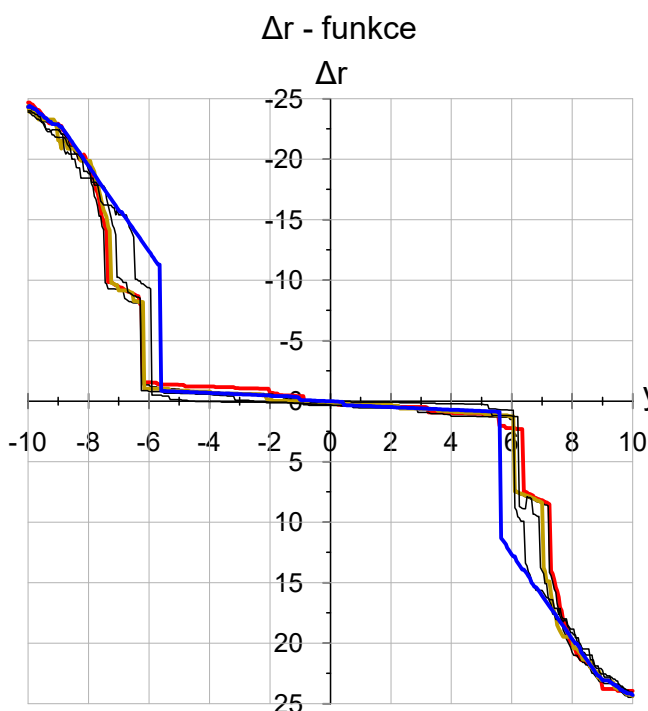
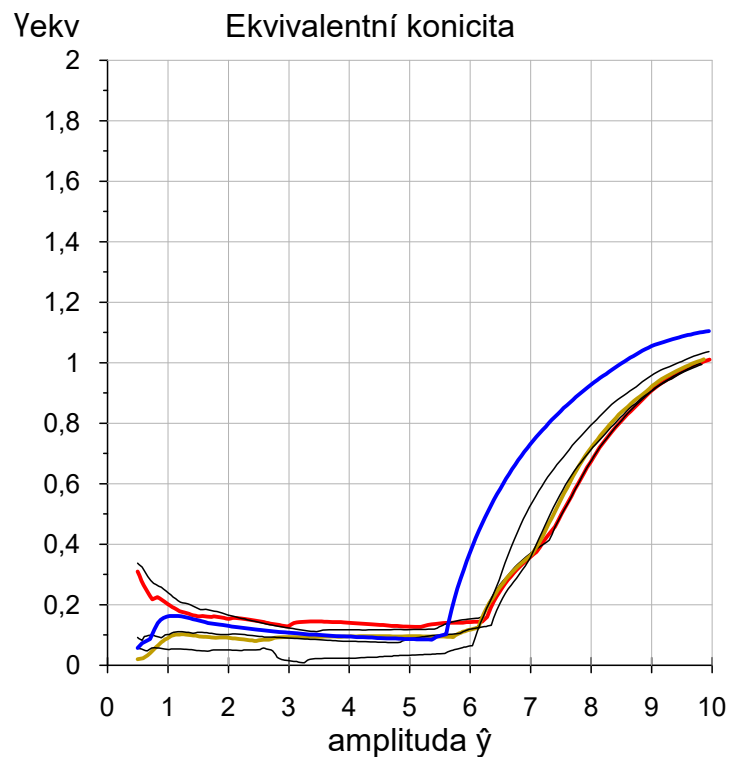


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3336
 Náprava: 3.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,107
16 052 km	1 506 km	0,015
	7 831 km	0,090
	16 052 km	0,094
	58 405 km	0,123
	69 000 km	0,130

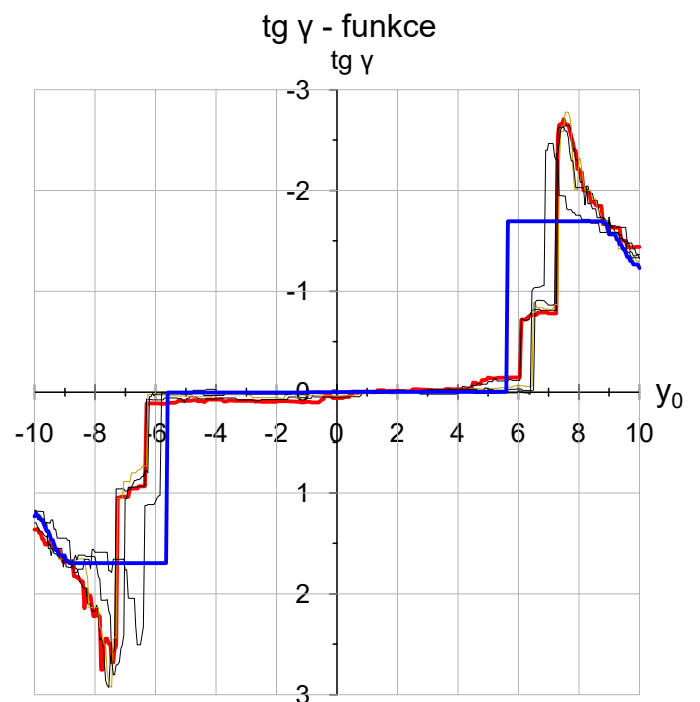
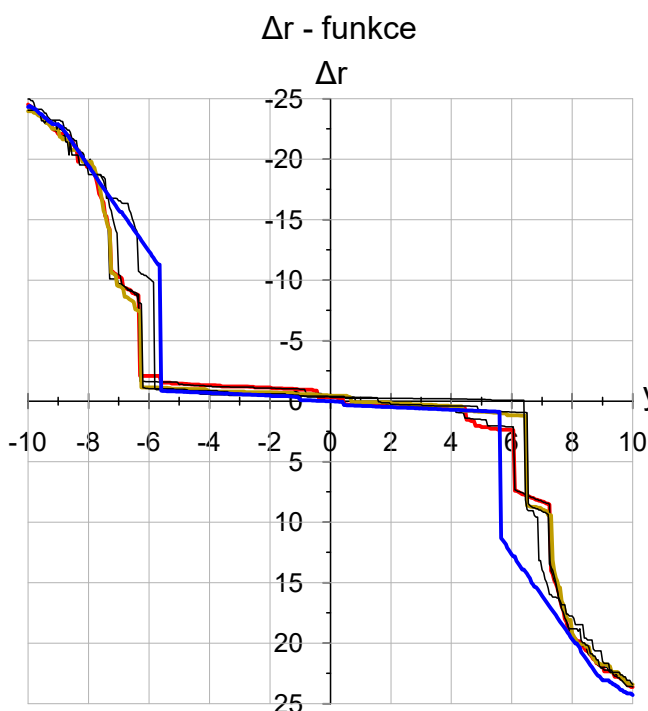
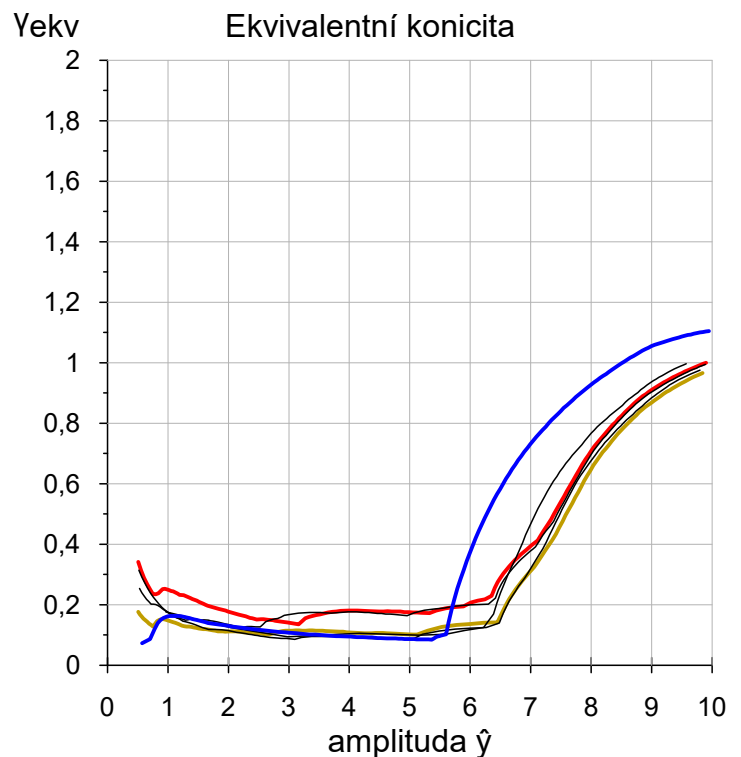


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,9
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1434,5 mm
 Teoretický předstih: (přímá kolej)

Jednotka: 3336
 Náprava: 4.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,107
16 052 km	1 506 km	0,094
	7 831 km	0,088
	16 052 km	0,114
	58 405 km	0,168
	69 000 km	0,140



Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky

Km : 16,7

Obrys Kolejnice: S49

Úklon Kolejnice: 1:20

Rozchod kolejí: 1442,5 mm

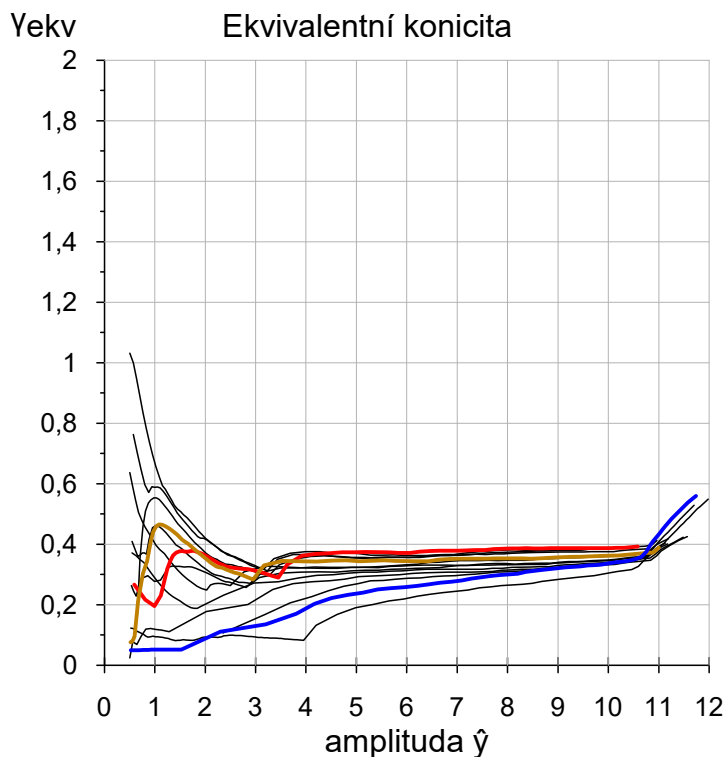
Teoretický předstih: 13,9 mm

Jednotka: 3289

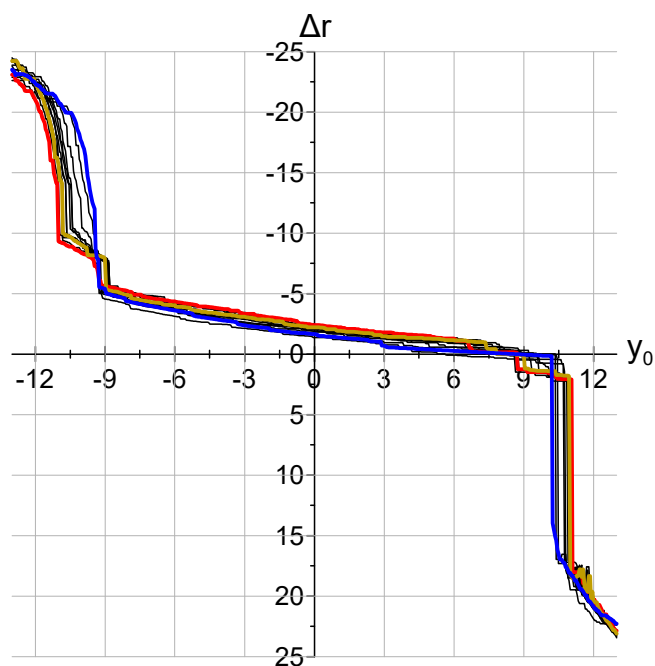
Náprava: 1.

Obrys : K2A

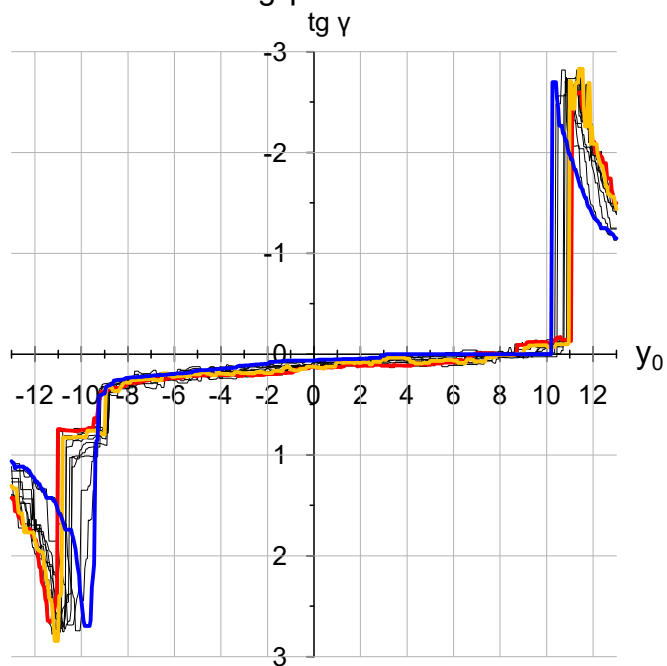
	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
— Teoretická		0,130
— 45000 km	5000 km	0,154
— 96000 km	11 000 km	0,093
	15 000 km	0,216
	22 000 km	0,272
	27 200 km	0,319
	35 000 km	0,281
	40 500 km	0,287
	45 000 km	0,295
	55 000 km	0,308
	67 000 km	0,324
	75 000 km	0,328
	96 000 km	0,312



Δr - funkce



tg γ - funkce

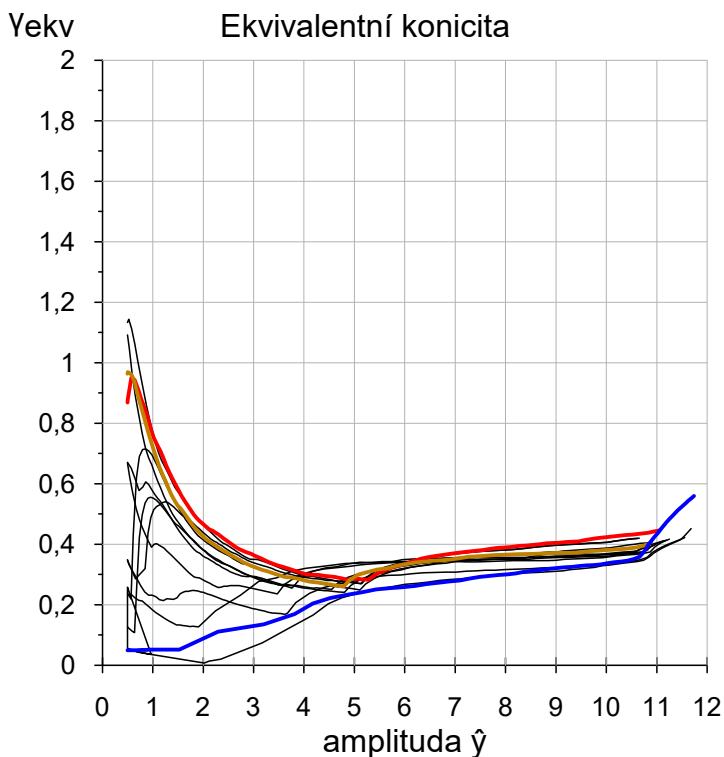


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

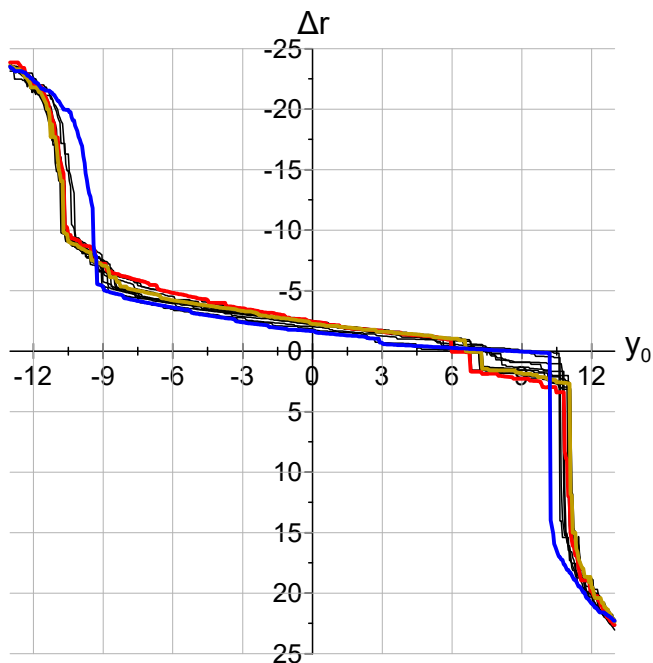
Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,7
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,5 mm
 Teoretický předstih: 13,9 mm

Jednotka: 3289
 Náprava: 2.
 Obrys : K2A

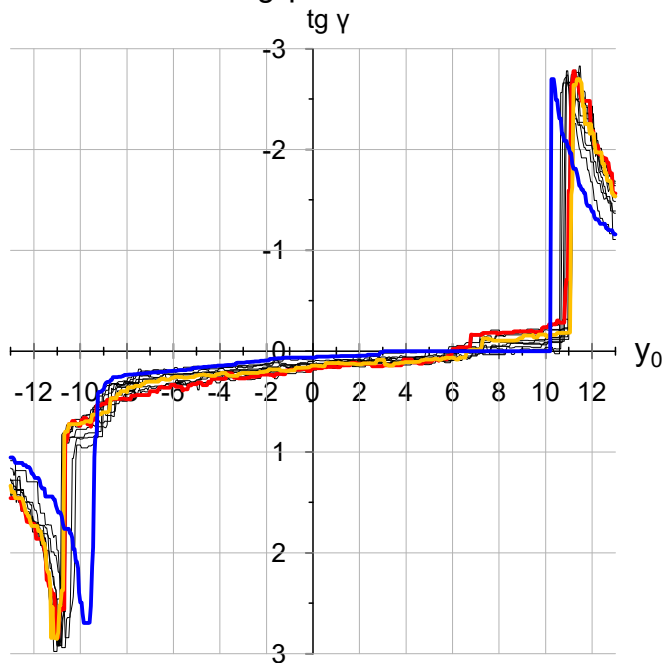
	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor	
— Teoretická		0,130
— 45000 km	5000 km	0,062
— 96000 km	11 000 km	0,264
	15 000 km	0,187
	22 000 km	0,253
	27 200 km	0,294
	35 000 km	0,291
	40 500 km	0,290
	45 000 km	0,326
	55 000 km	0,328
	67 000 km	0,350
	75 000 km	0,338
	96 000 km	0,364



Δr - funkce



tg γ - funkce

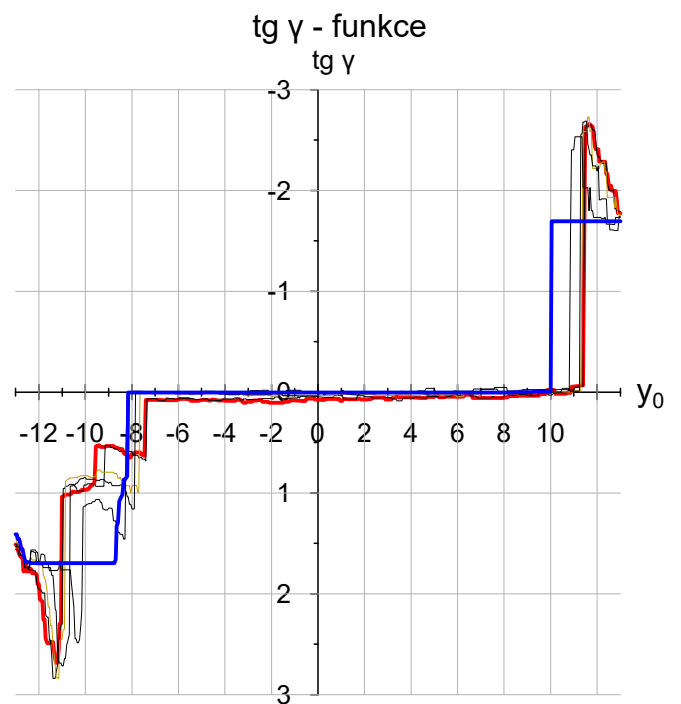
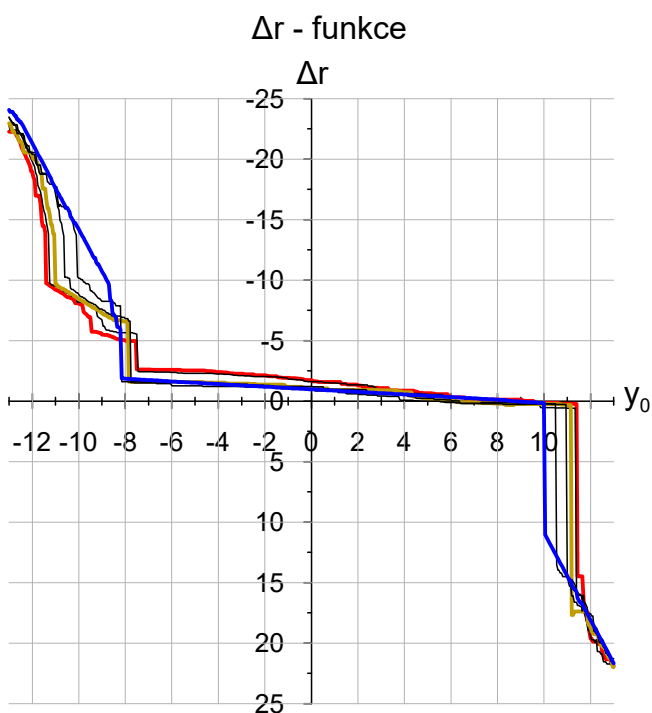
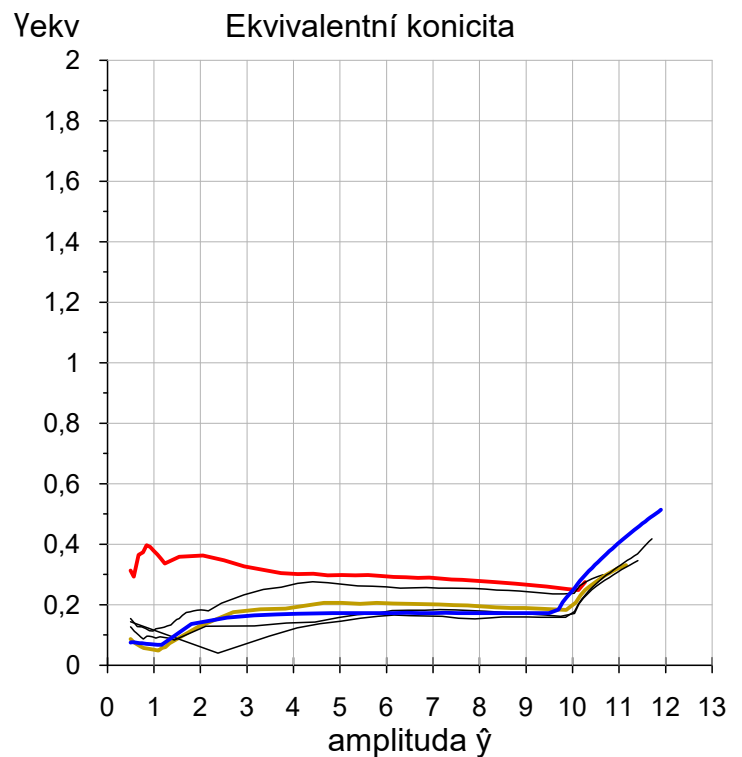


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,7
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,5 mm
 Teoretický předstih: 8,29 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 1.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,163
16 052 km	1 506 km	0,042
69 000 km	7 831 km	0,066
	16 052 km	0,070
	58 405 km	0,100
	69 000 km	0,120

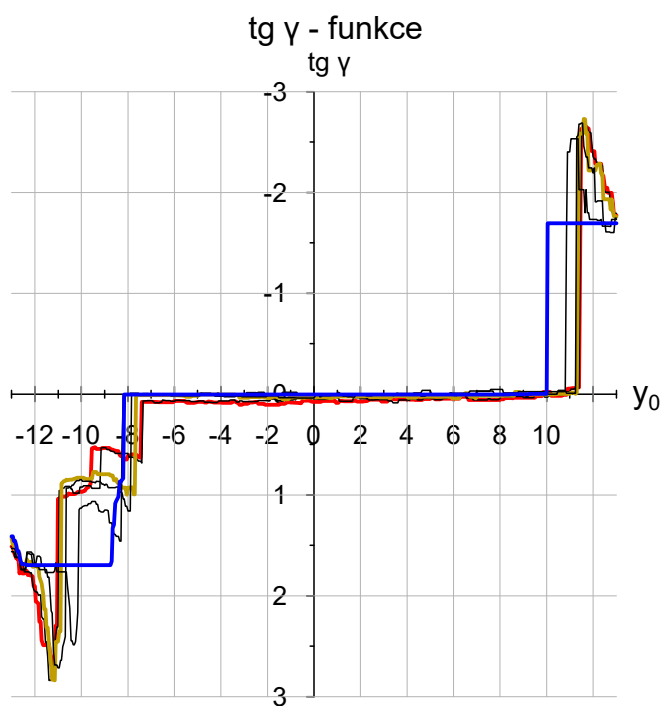
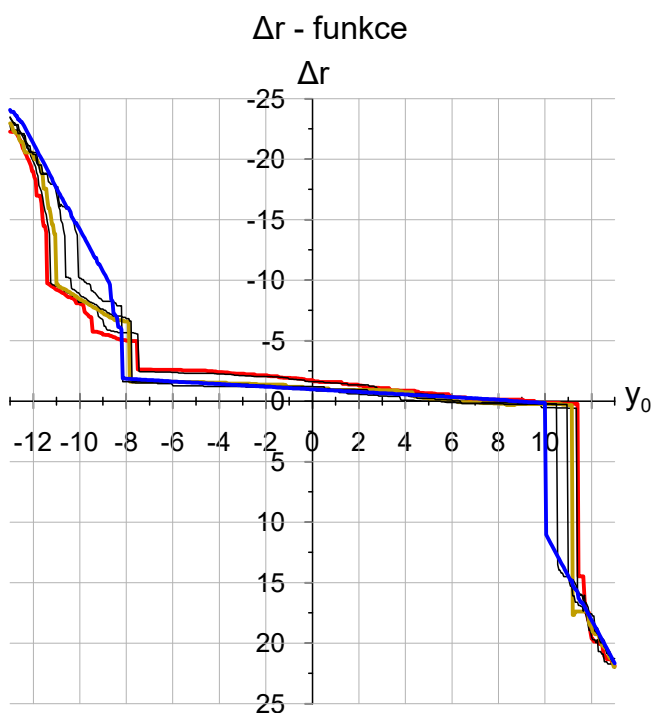
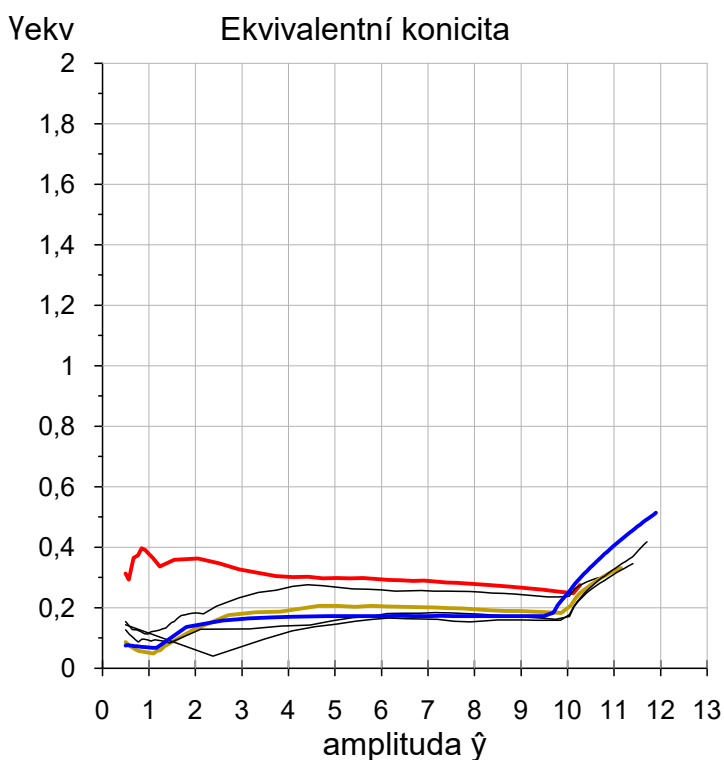


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,7
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,5 mm
 Teoretický předstih: 8,29 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 2.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,163
16 052 km	1 506 km	0,072
	7 831 km	0,129
	16 052 km	0,180
	58 405 km	0,235
	69 000 km	0,325

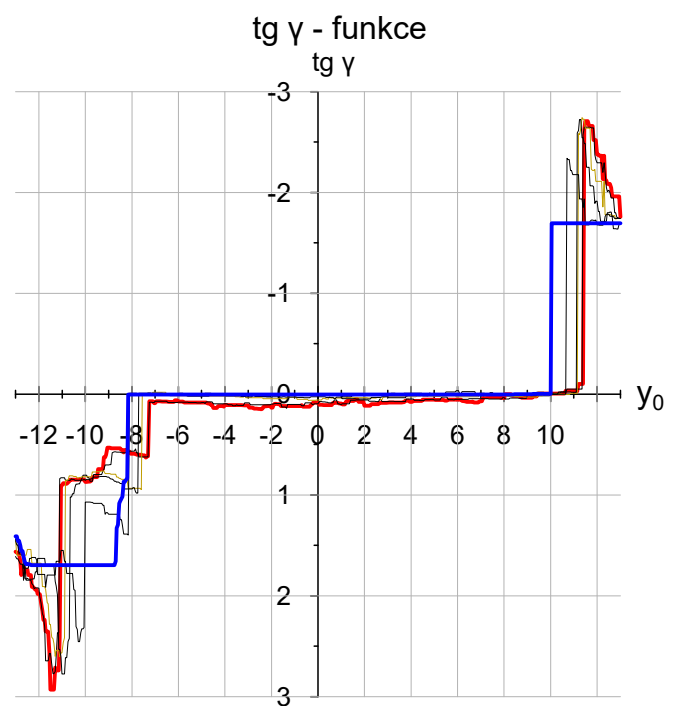
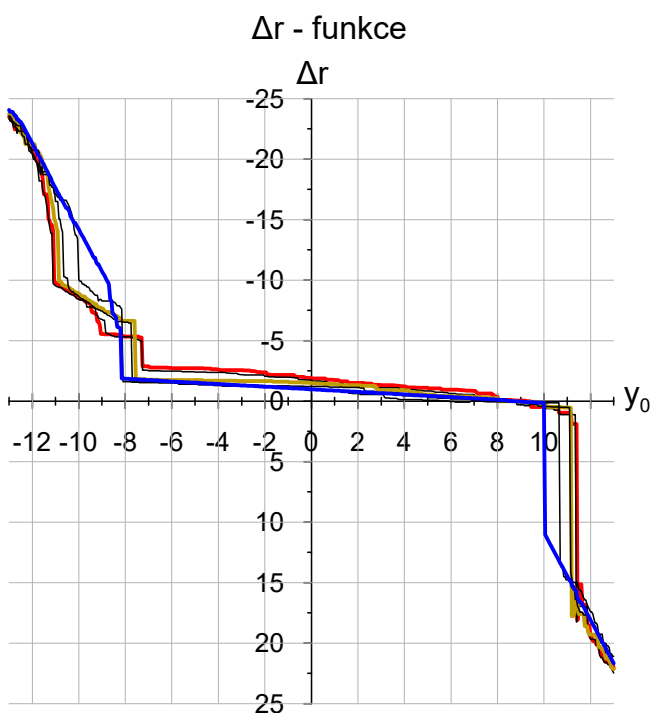
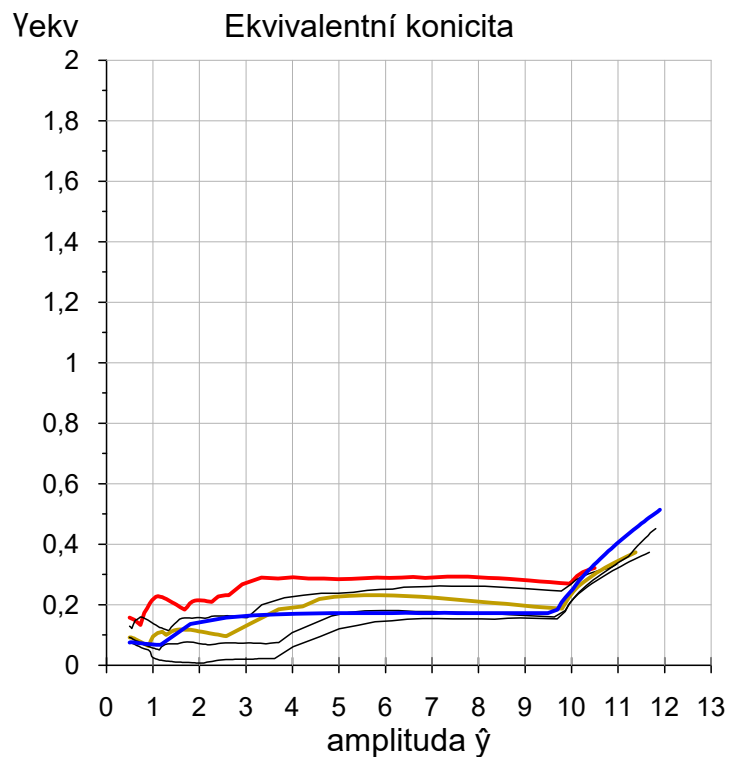


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trať : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,7
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,5 mm
 Teoretický předstih: 8,29 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 3.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,163
16 052 km	1 506 km	0,020
	7 831 km	0,073
	16 052 km	0,130
	58 405 km	0,157
	69 000 km	0,272

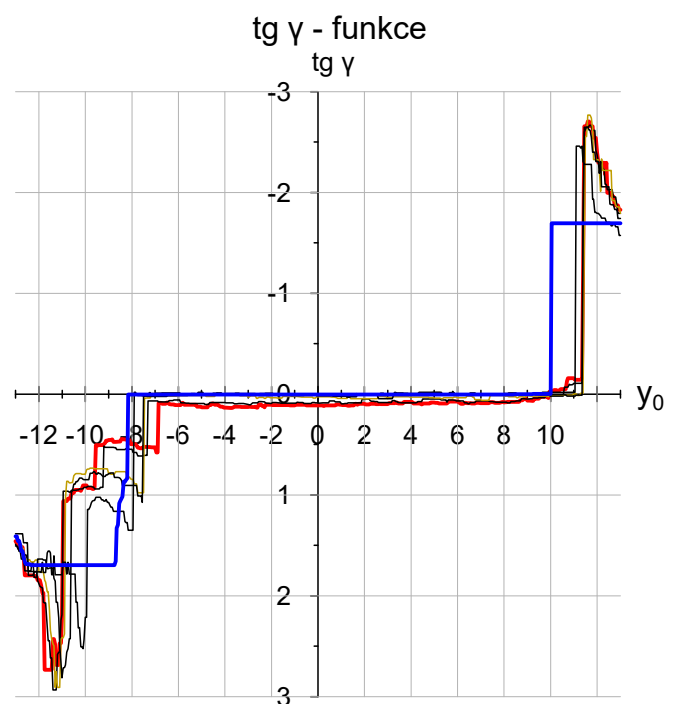
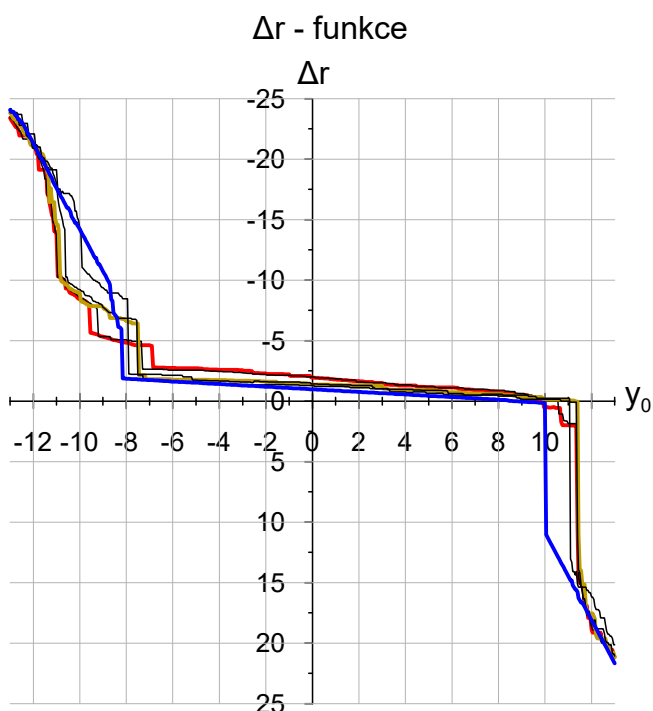
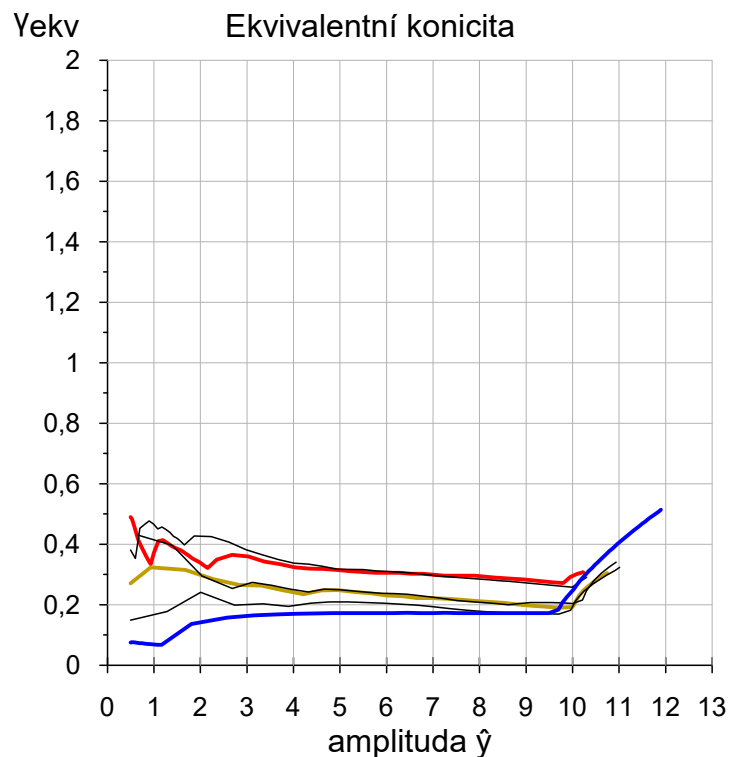


Vývoj kontaktní geometrie na základě průběžného měření změny tvaru obrysu kola

Trat' : Můstek - Náměstí Republiky
 Km : 16,7
 Obrys Kolejnice: S49
 Úklon Kolejnice: 1:20
 Rozchod kolejí: 1442,5 mm
 Teoretický předstih: 8,29 mm

Jednotka: 3336
 Náprava: 4.
 Obrys : Kužel

	γ_e pro $\hat{y} = 3$ mm	
	Teor.	
Teoretická		0,163
16 052 km	1 506 km	0,269
69 000 km	7 831 km	0,200
	16 052 km	0,264
	58 405 km	0,380
	69 000 km	0,360

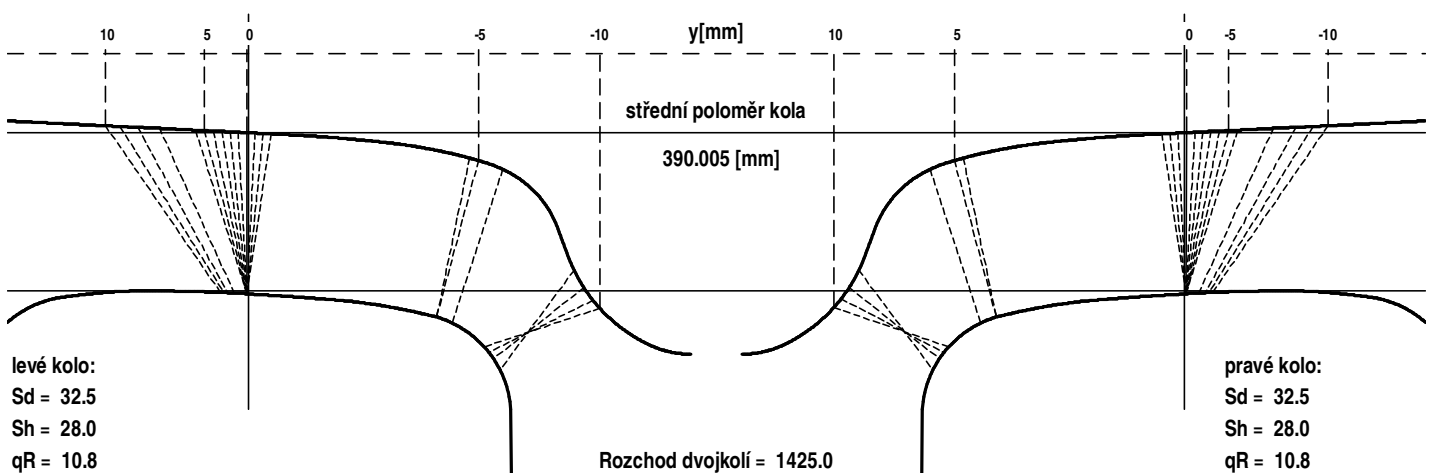
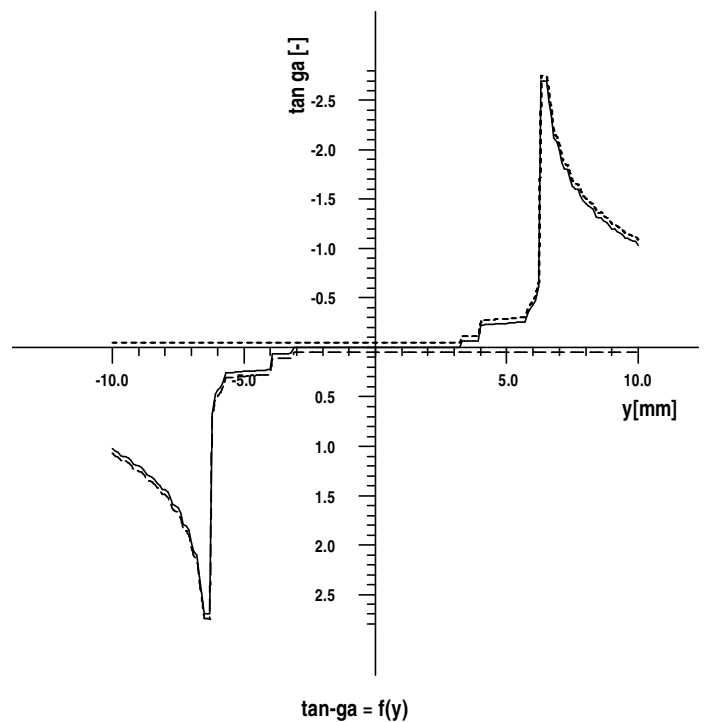
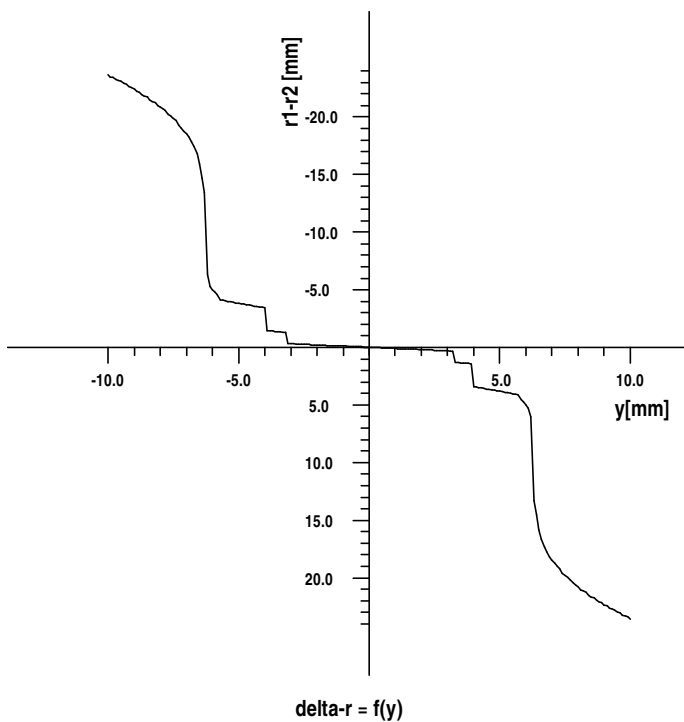
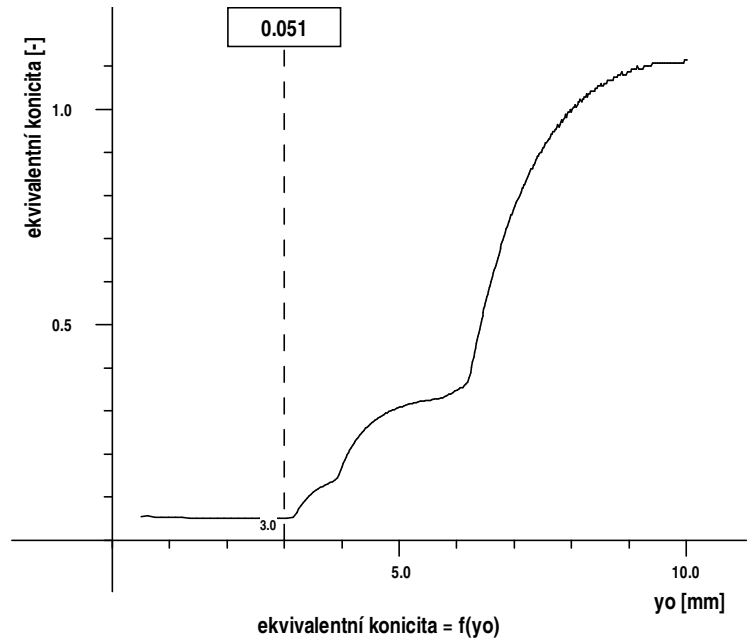


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 22:49:53

Jízdní obrys: K2A Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 780.00 mm
 průměr levého kola 780.02 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: S49 - Teoretická
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1435 mm

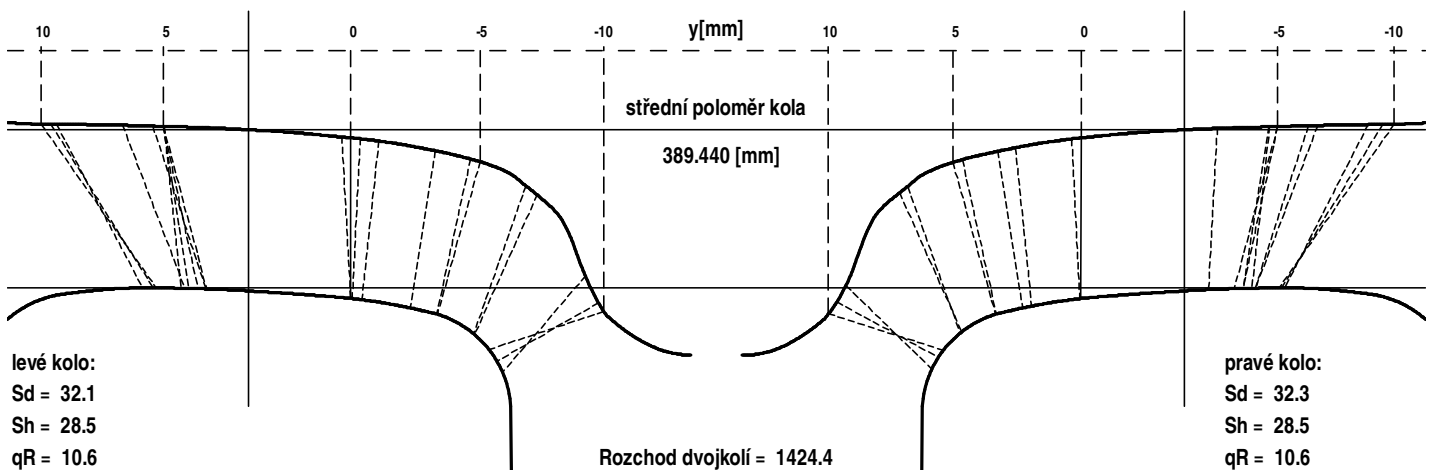
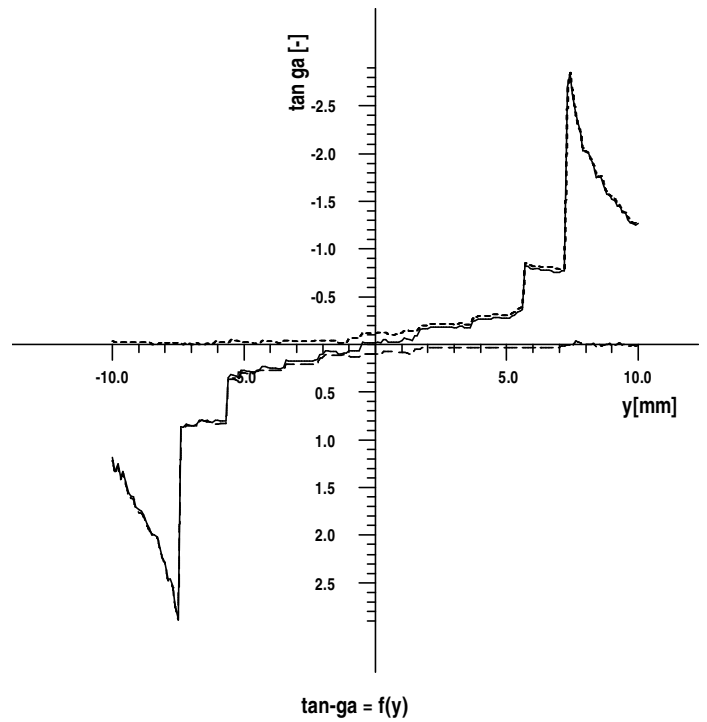
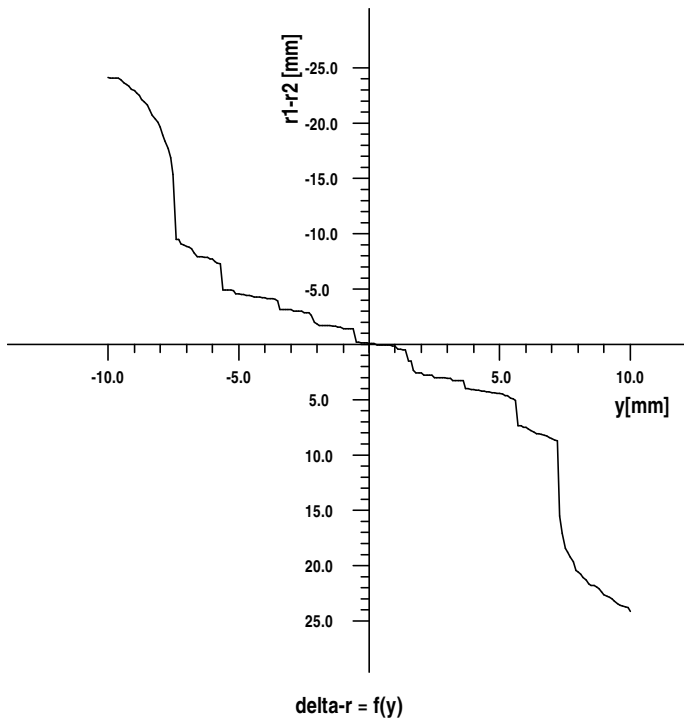
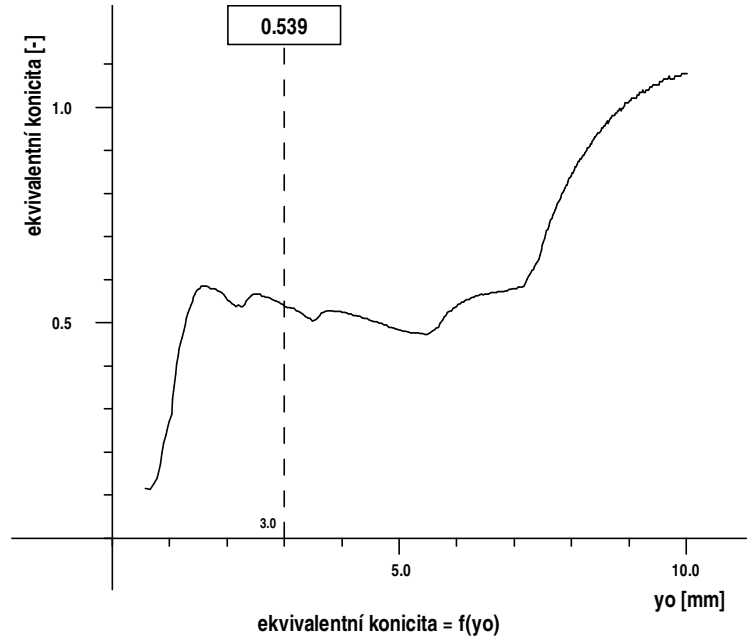


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 0:31:48

Jízdní obrys: K2A 3289 45 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 778.78 mm
 průměr levého kola 778.98 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: S49 - Teoretická
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1435 mm

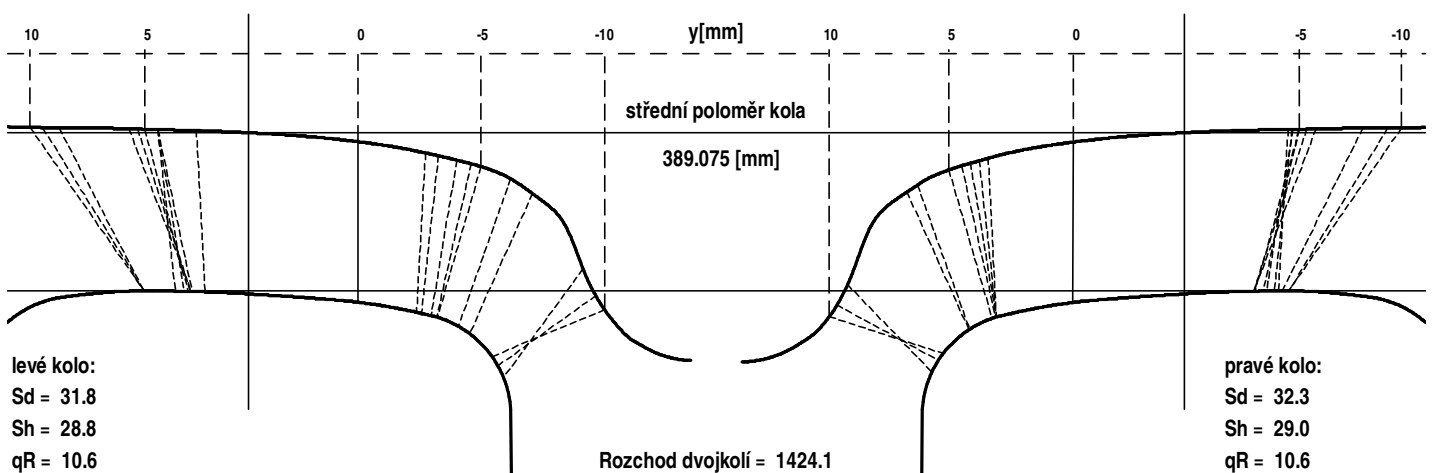
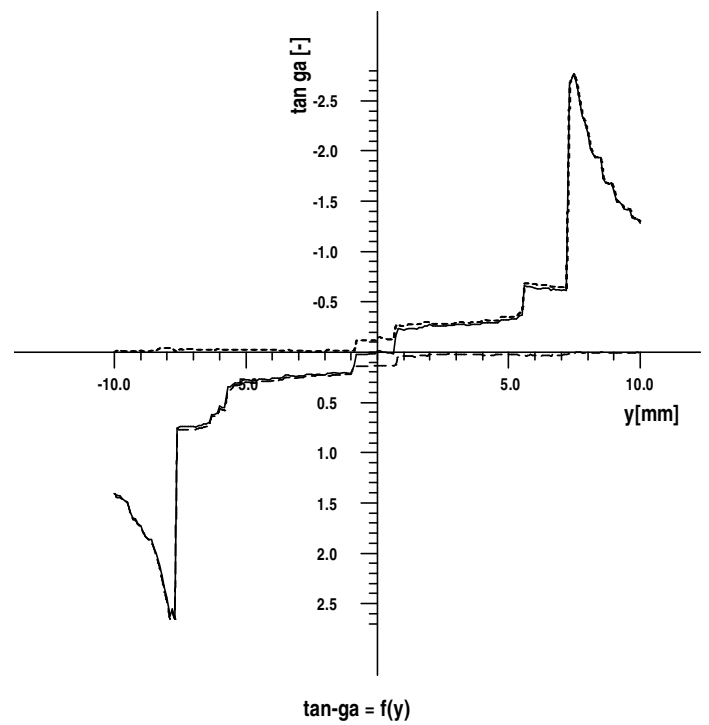
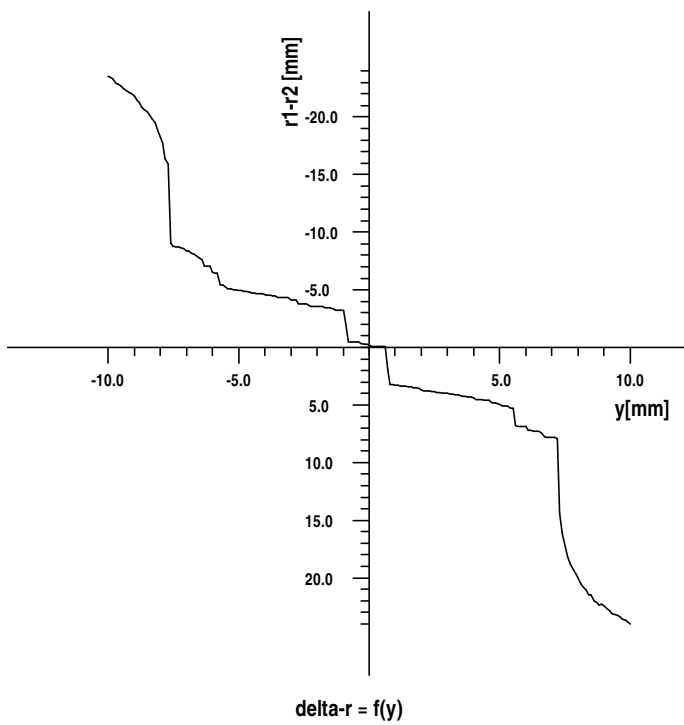
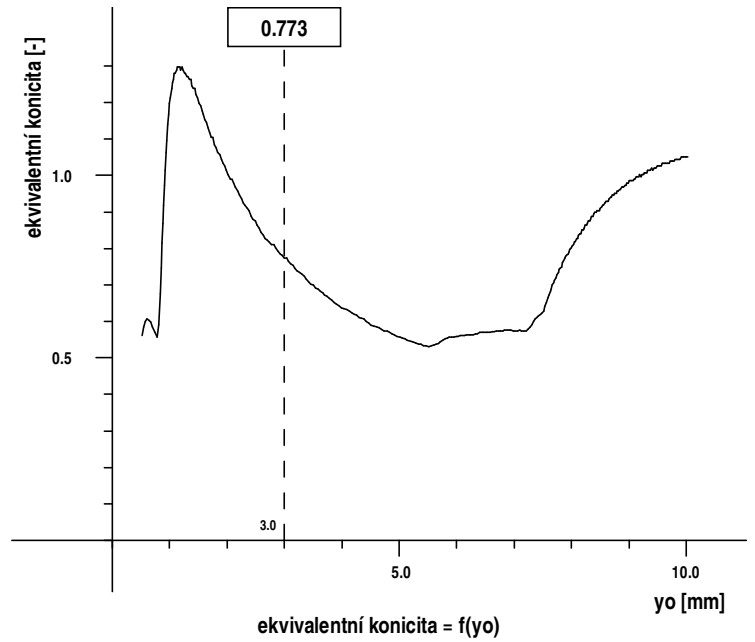


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 20:02:05

Jízdní obrys: K2A 3289 96 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 777.92 mm
 průměr levého kola 778.38 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: S49 - Teoretická
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1435 mm



Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 22:41:11

Jízdní obrys:
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola
 průměr levého kola
 rozkolí dvojkolí

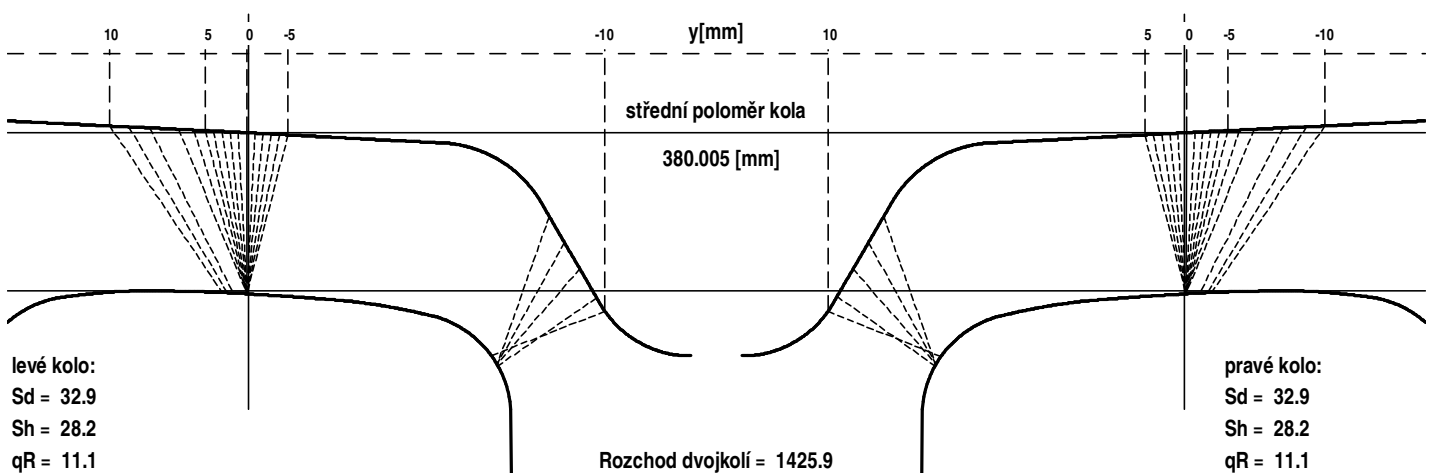
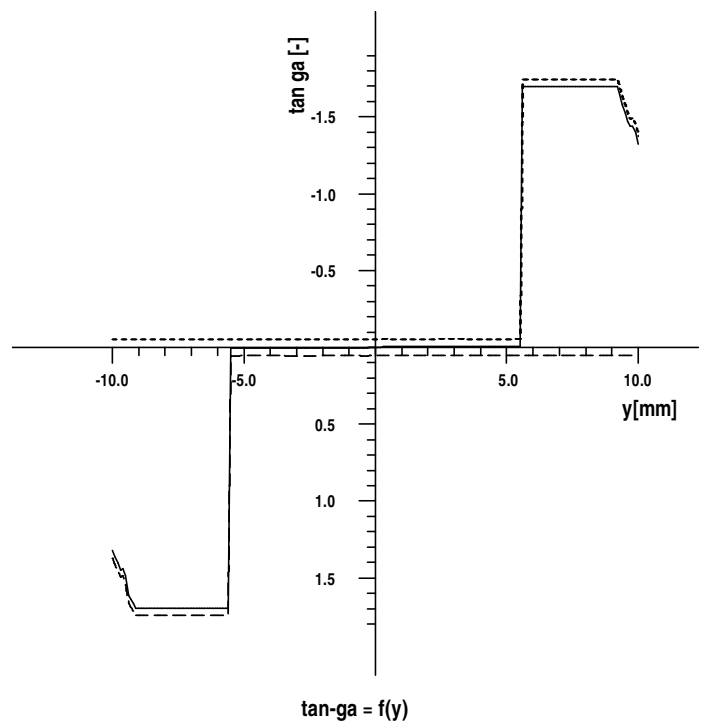
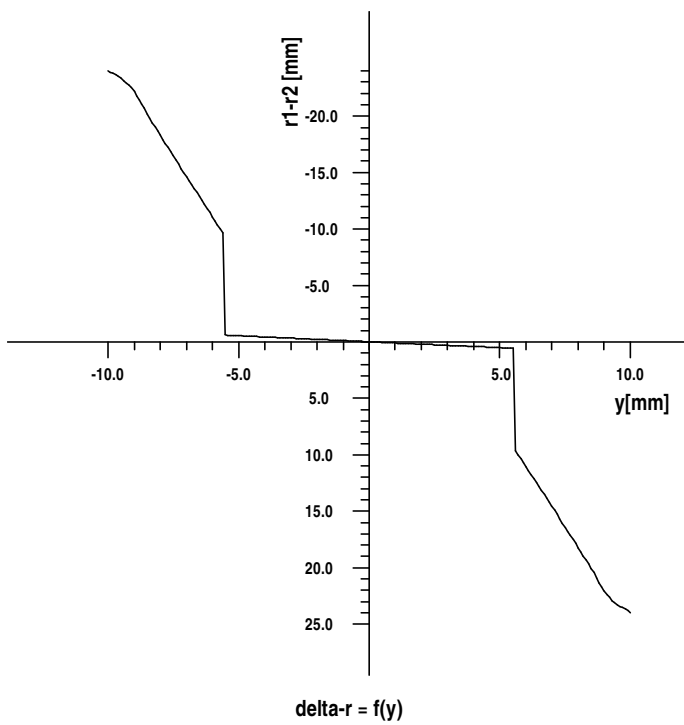
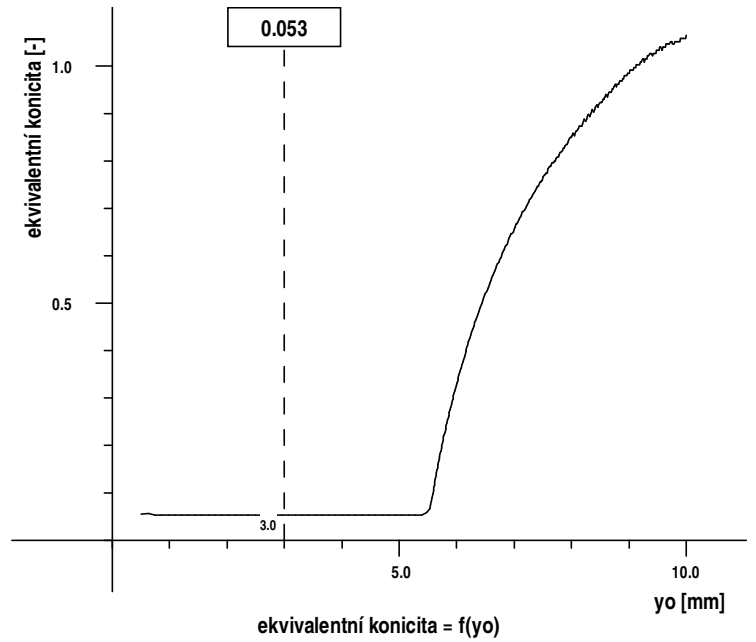
Kuž Teor

 760.00 mm
 760.02 mm
 1360.0 mm

Kolejnice:
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic
 rozchod koleje

S49 - Teoretická

 1:20
 1435 mm

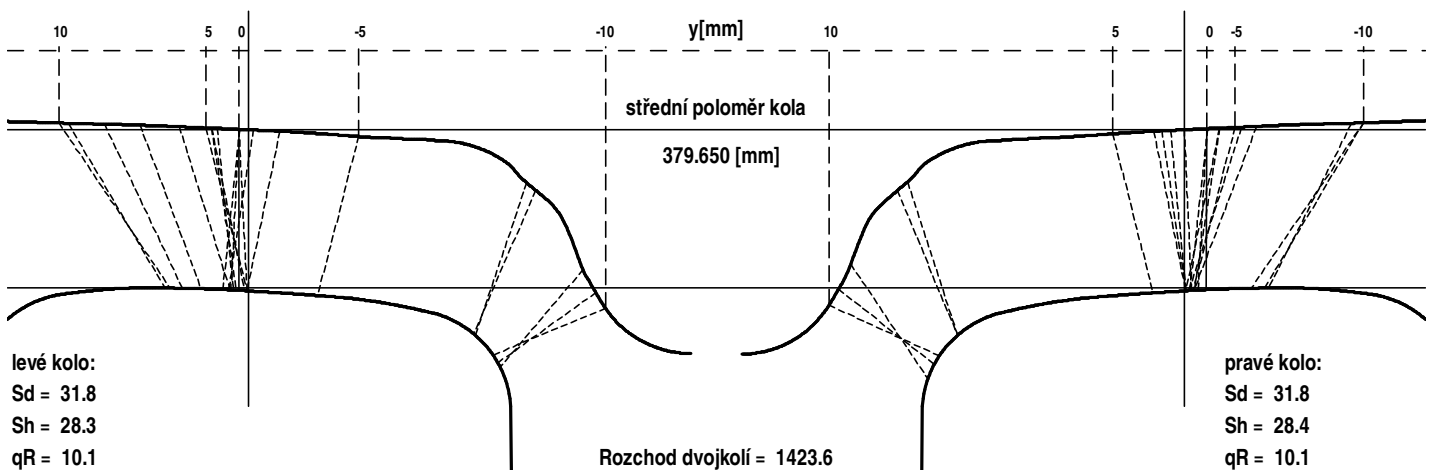
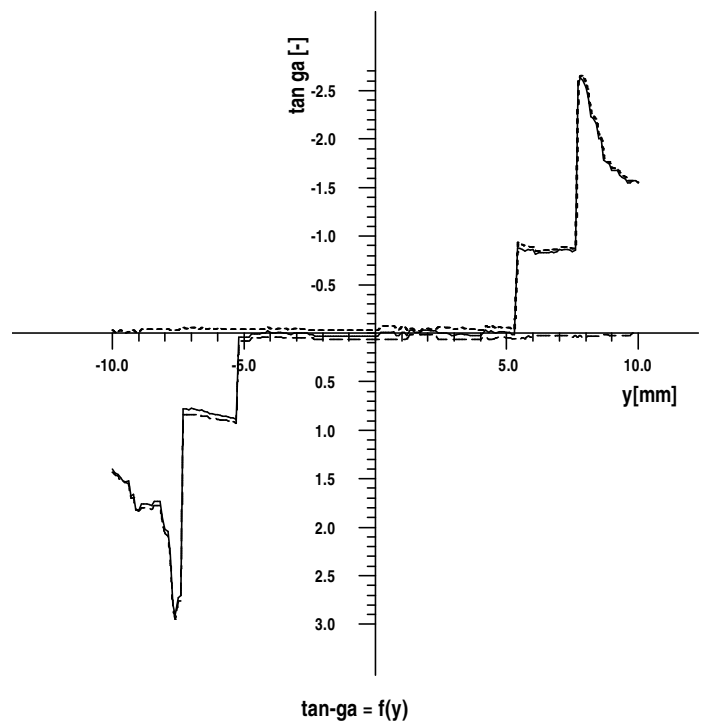
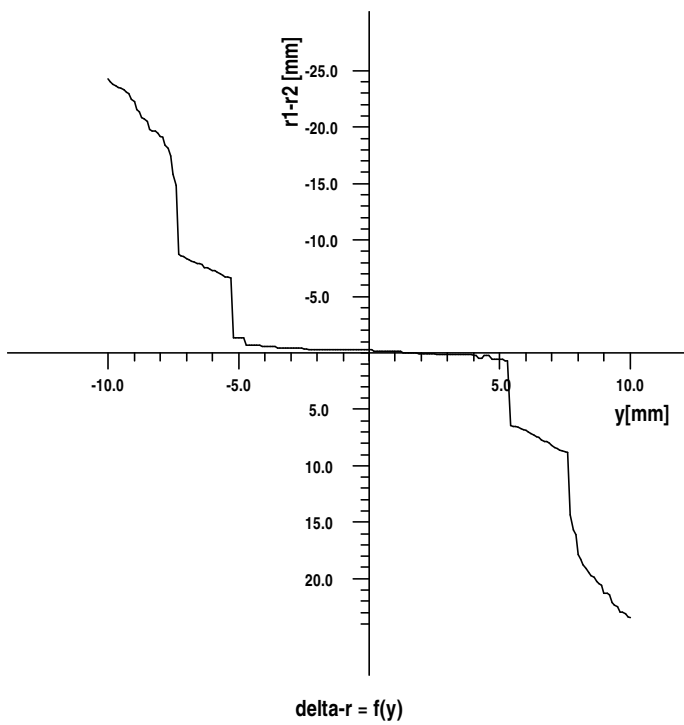
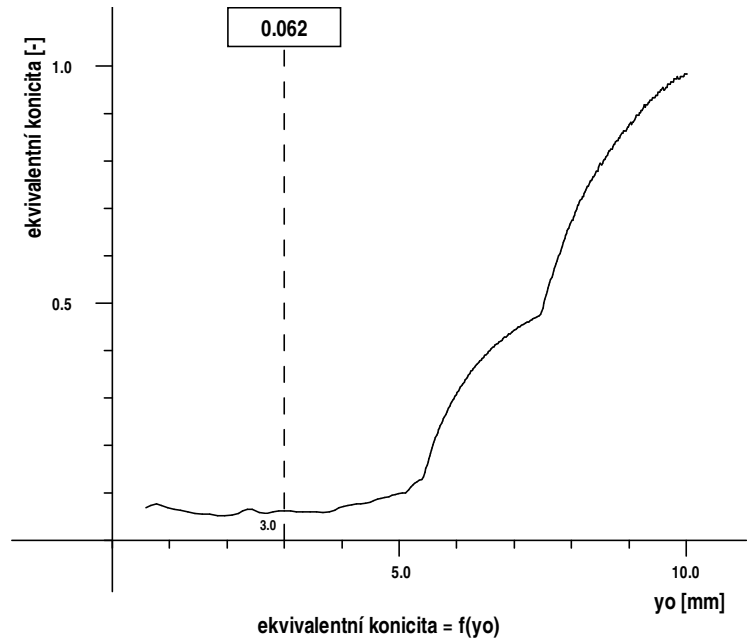


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 22:45:18

Jízdní obrys: Kužel 3336 16 508 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 759.10 mm
 průměr levého kola 759.50 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: S49 - Teoretická
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1435 mm

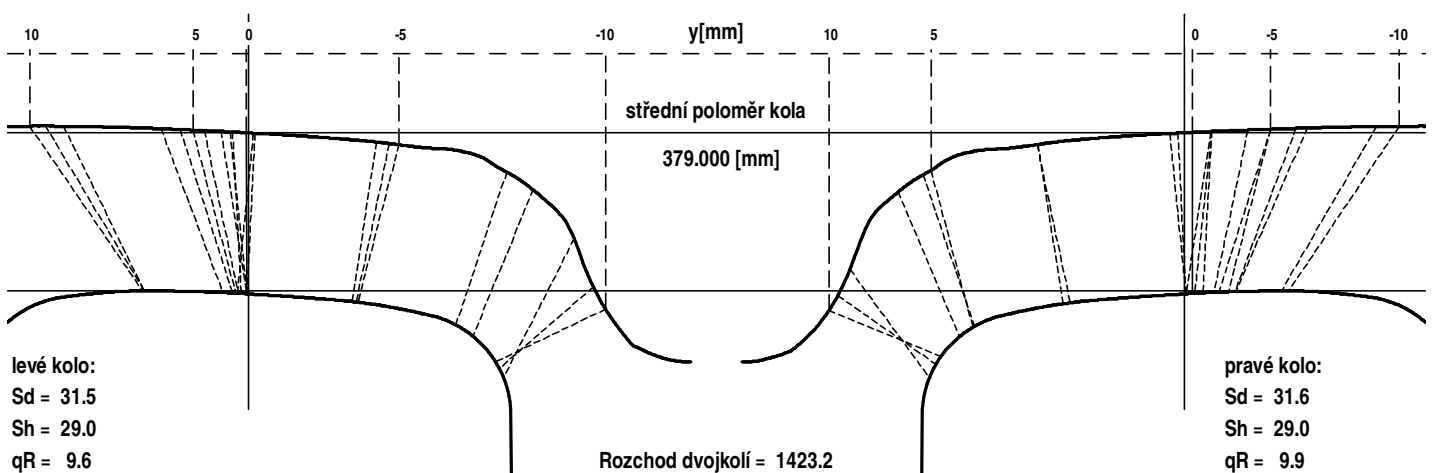
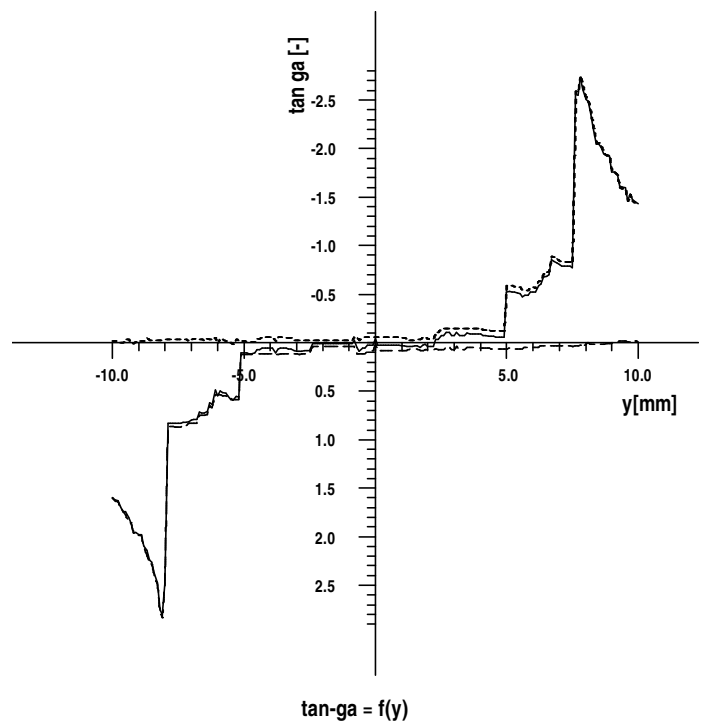
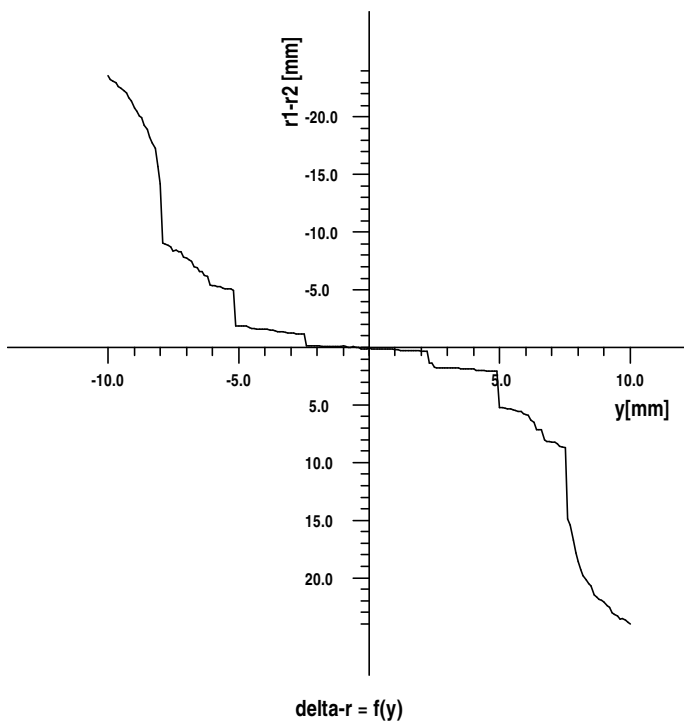
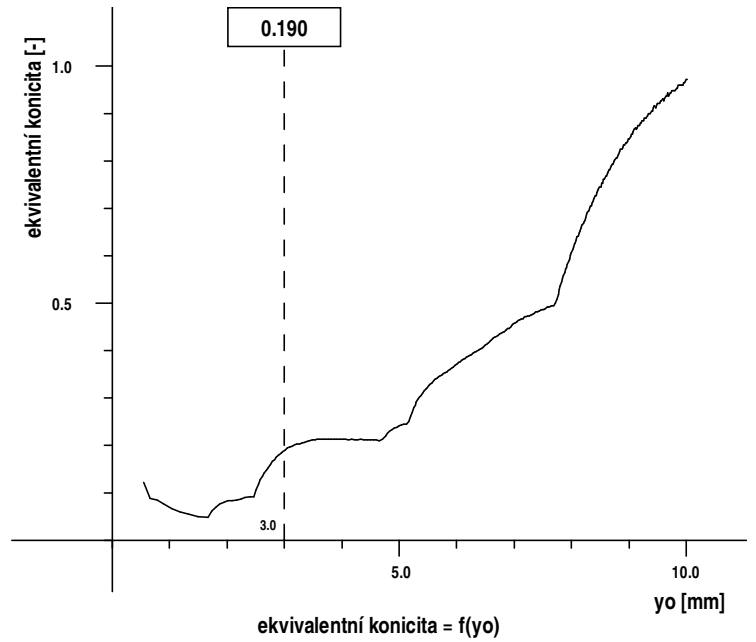


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 22:47:58

Jízdní obrys: Kužel 3336 69 000 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 758.10 mm
 průměr levého kola 757.90 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: S49 - Teoretická
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1435 mm

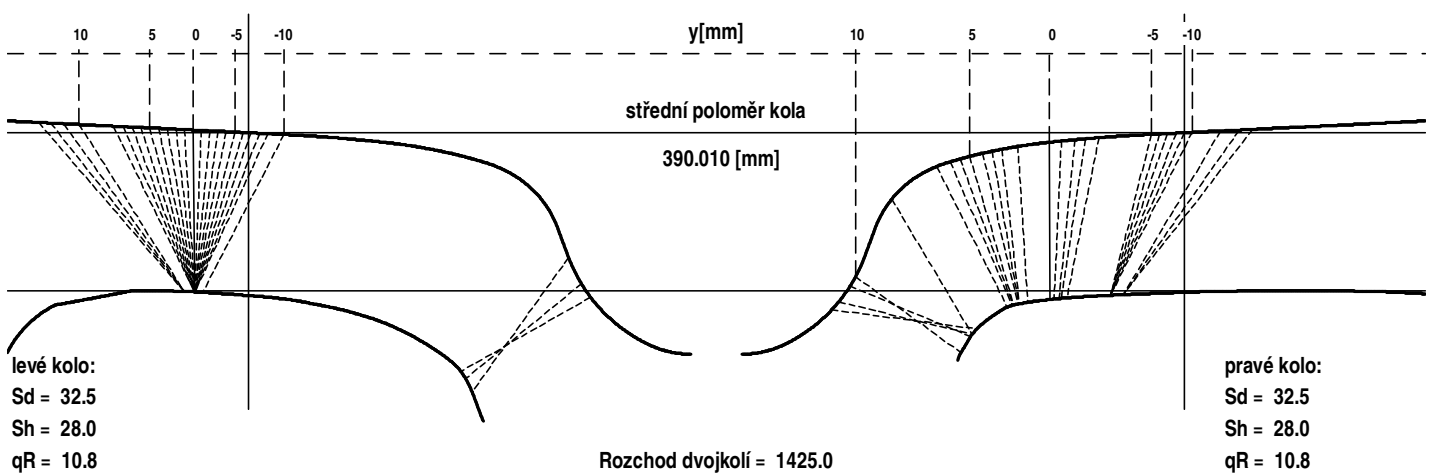
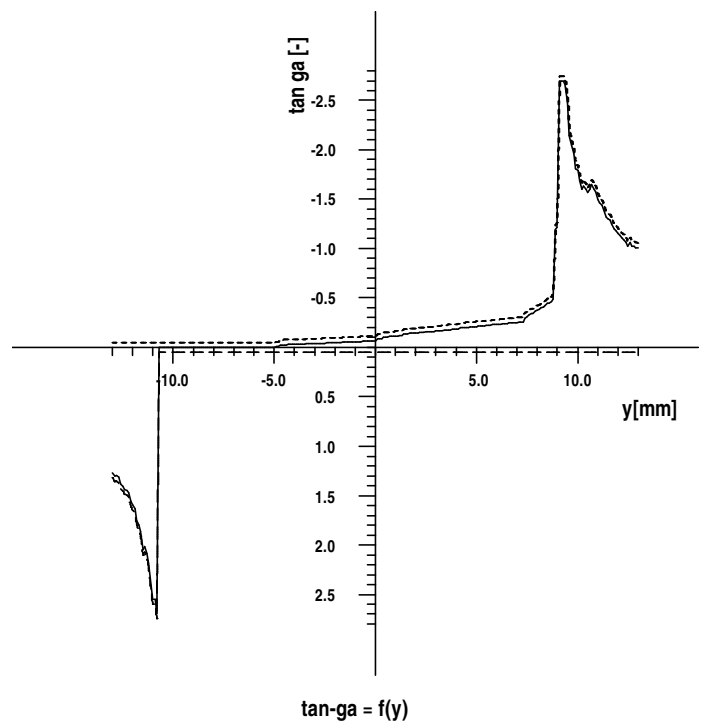
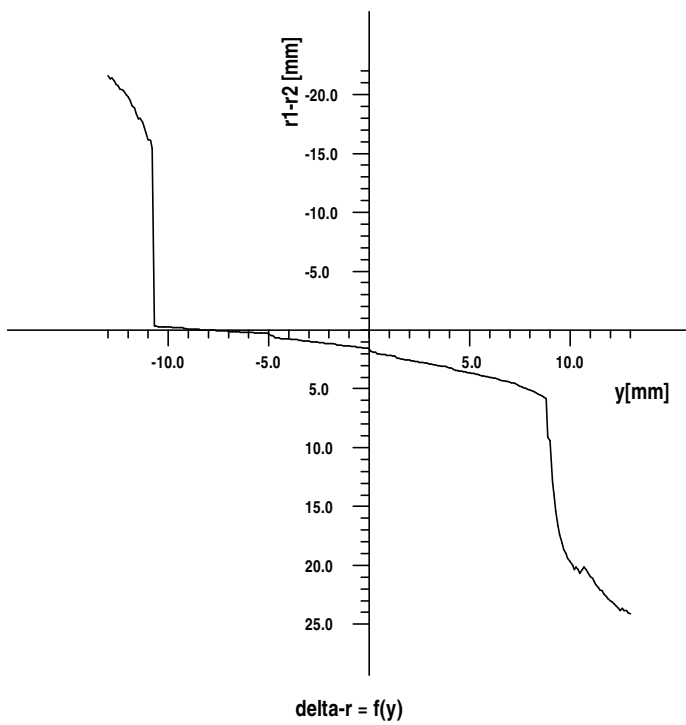
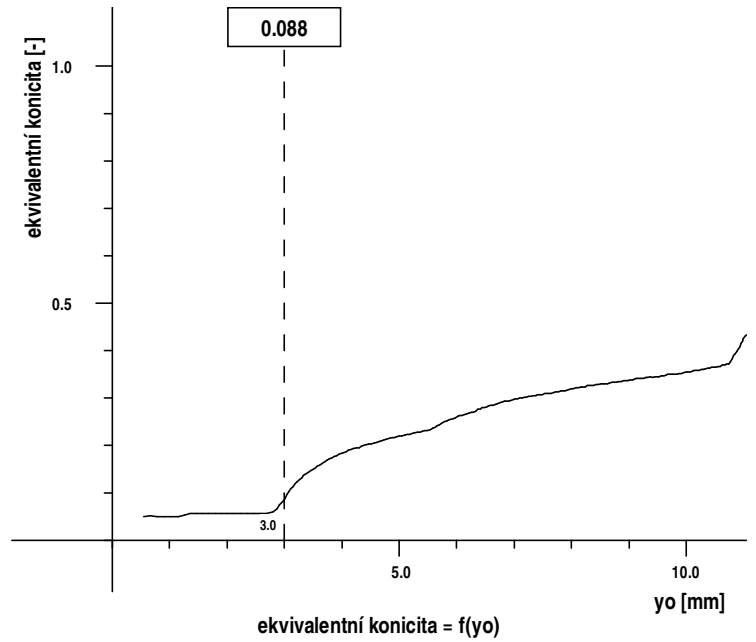


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 23:07:31

Jízdní obrys: K2A Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 780.04 mm
 průměr levého kola 780.00 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Radlická - Jinonice
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5

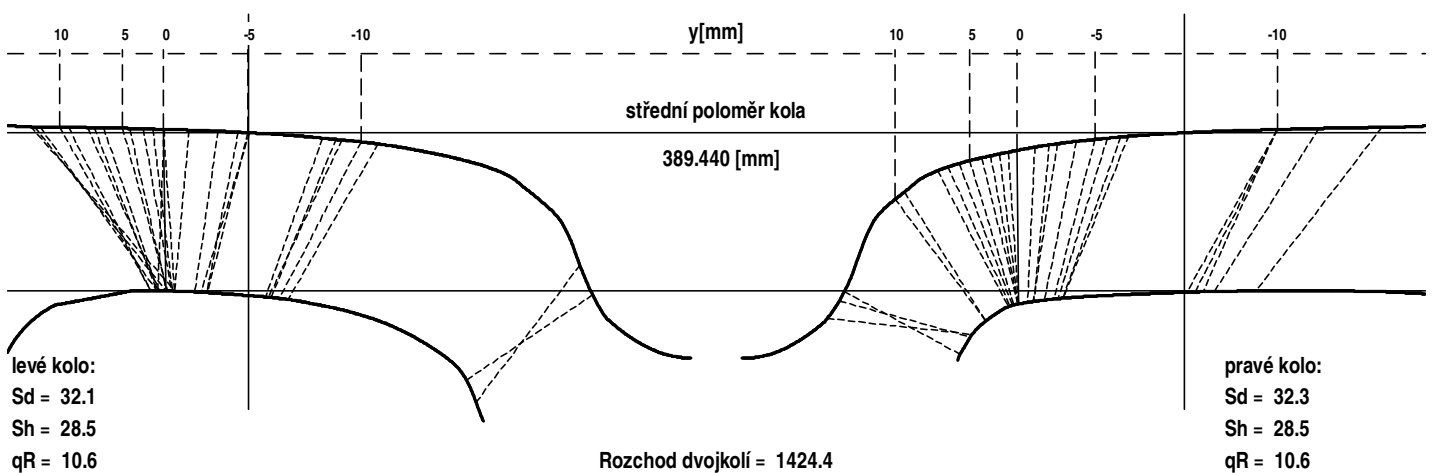
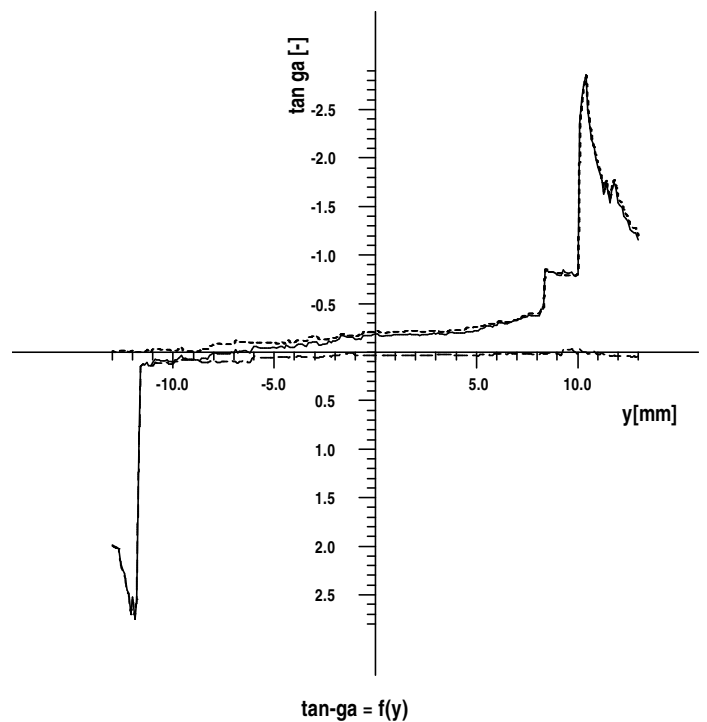
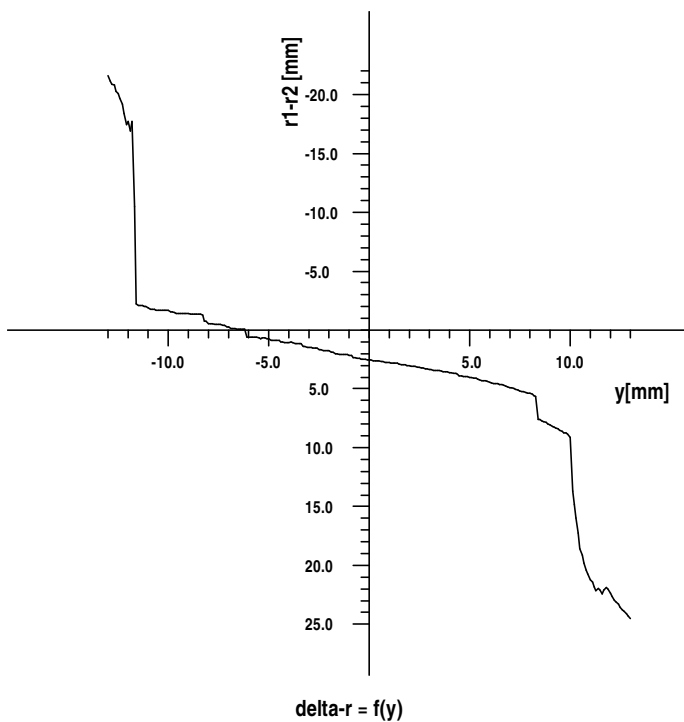
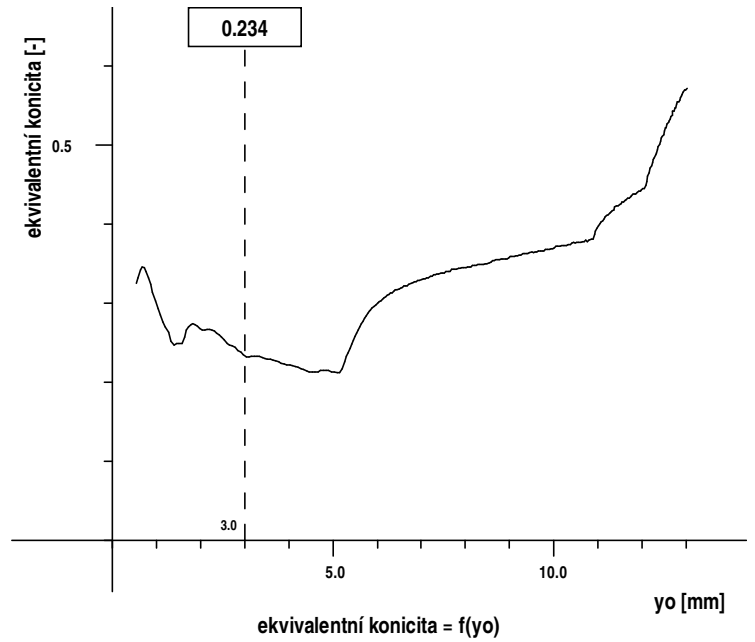


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 6:22:32

Jízdní obrys: **K2A 3289 45 000km**
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola **778.78 mm**
 průměr levého kola **778.98 mm**
 rozkolí dvojkolí **1360.0 mm**

Kolejnice: **Radlická - Jinonice**
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic **1:20**
 rozchod koleje **1442,5**

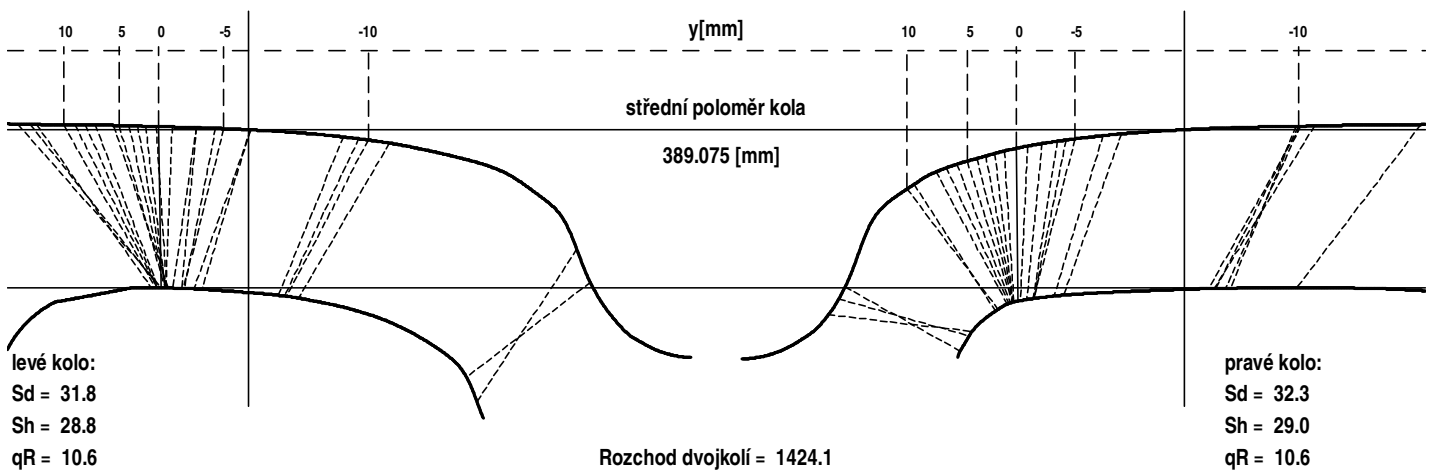
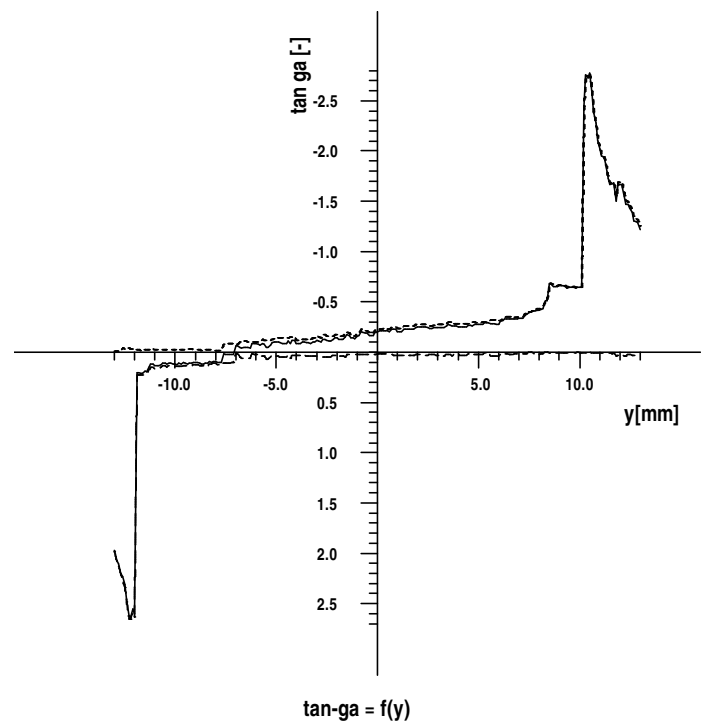
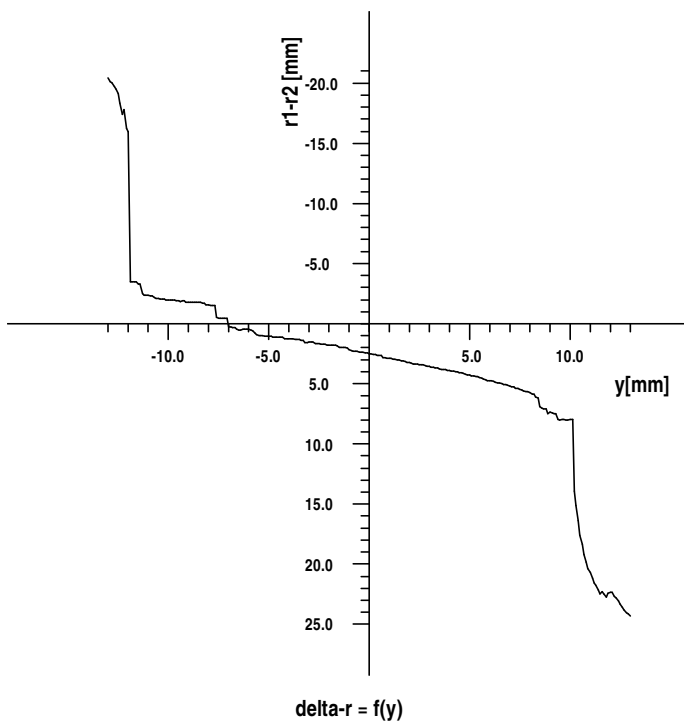
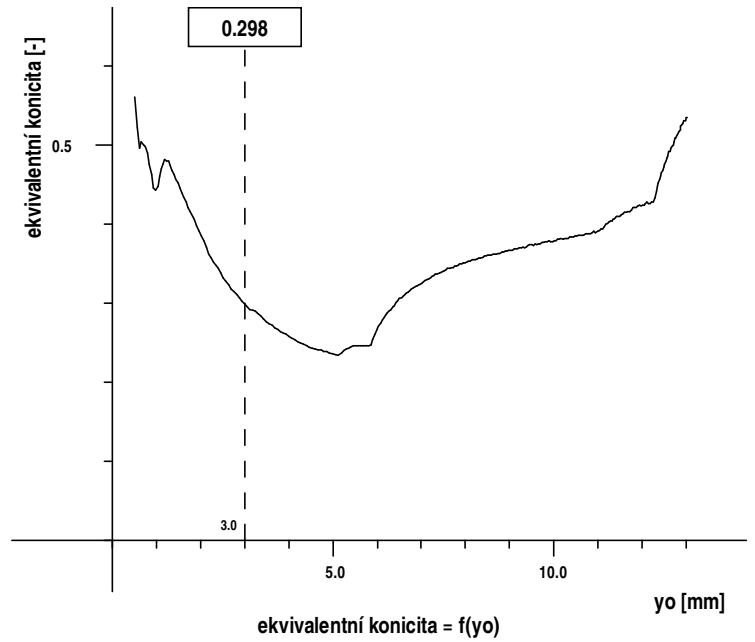


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
20:03:59

Jízdní obrys: K2A 3289 96 000km
pravé kolo
levé kolo
průměr pravého kola 777.92 mm
průměr levého kola 778.38 mm
rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Radlická - Jinonice
pravá kolejnice
levá kolejnice
úklon kolejnic 1:20
rozchod koleje 1442,5

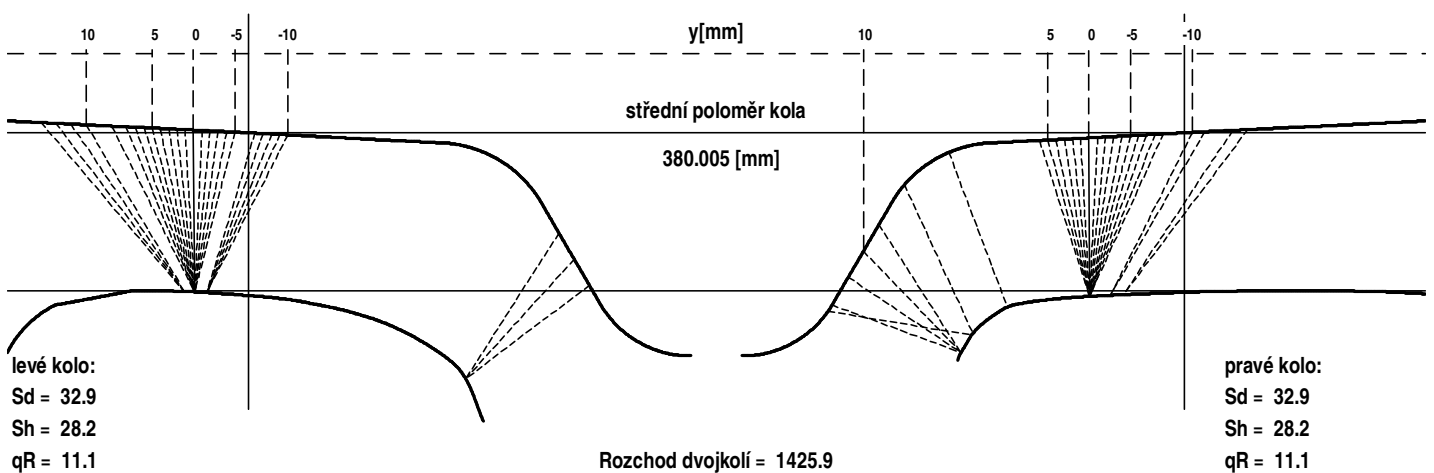
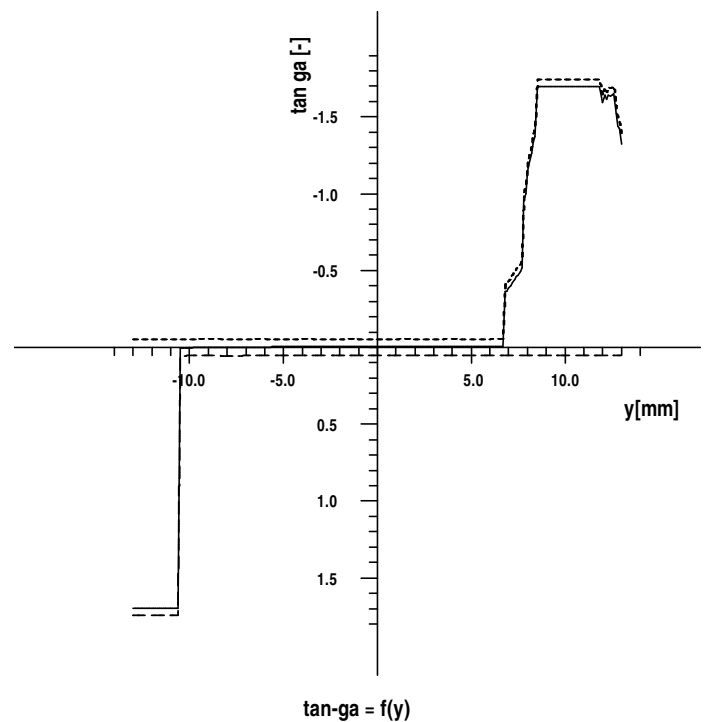
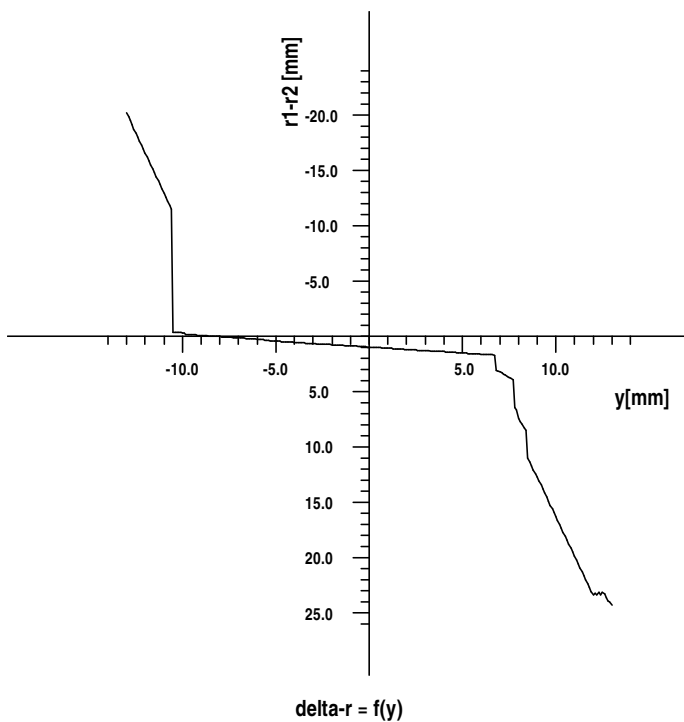
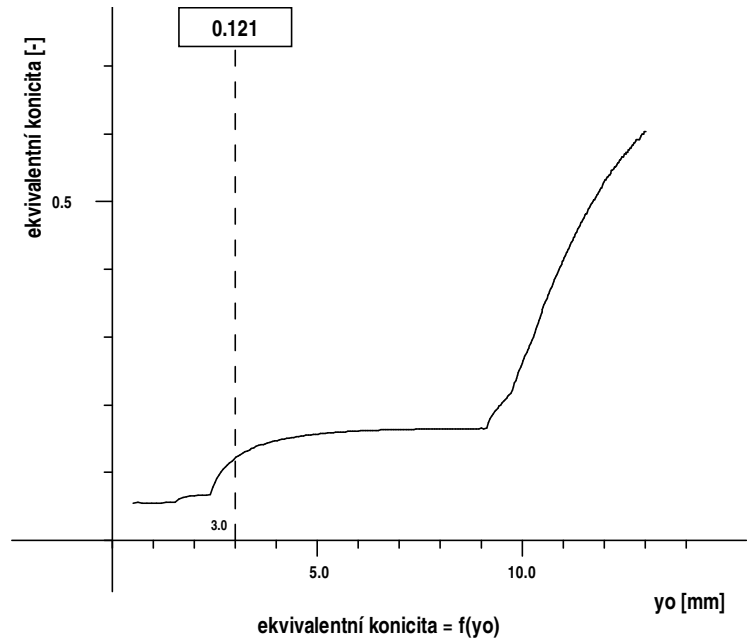


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 22:56:26

Jízdní obrys: Kuž Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 760.00 mm
 průměr levého kola 760.02 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Radlická - Jinonice
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5

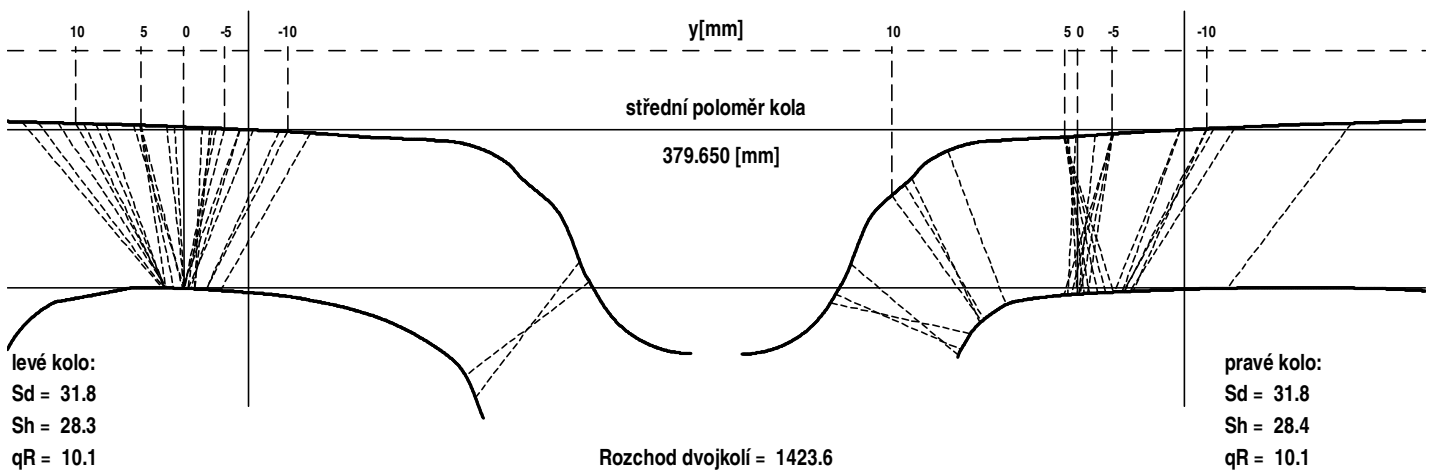
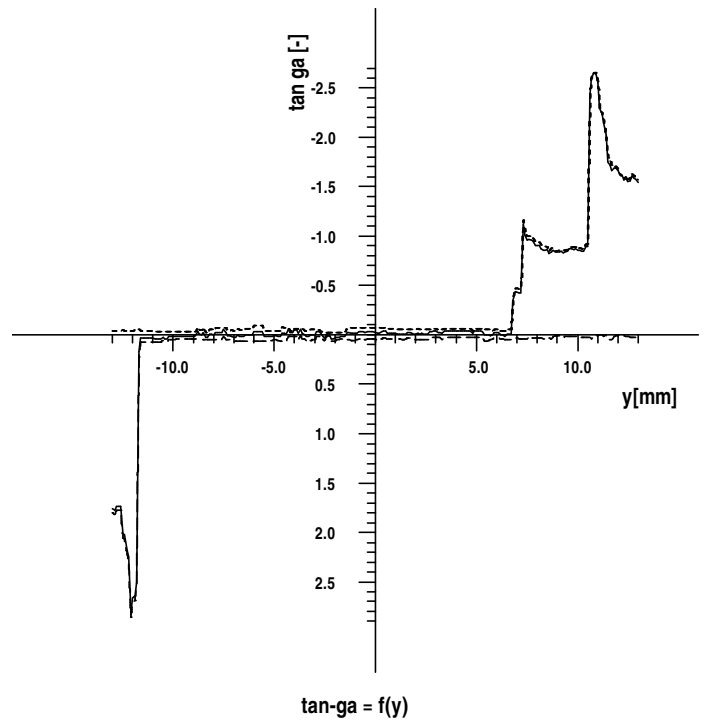
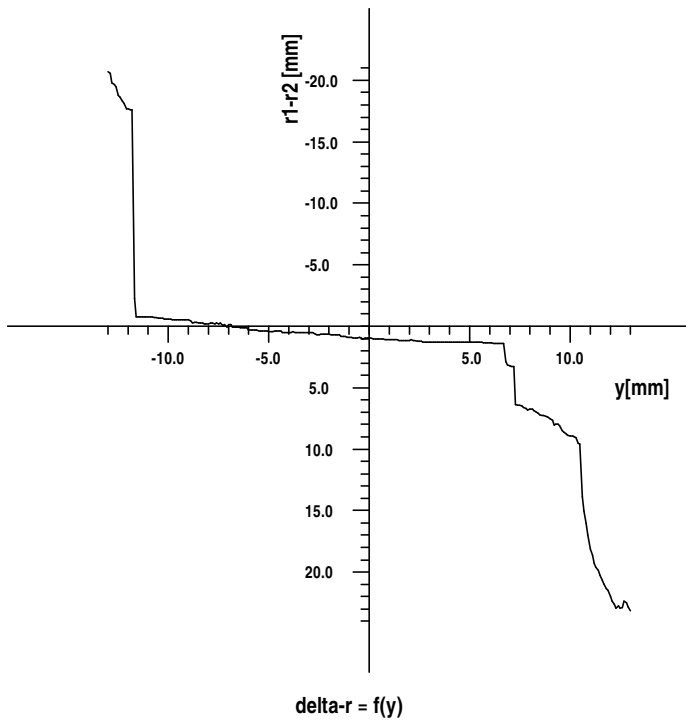
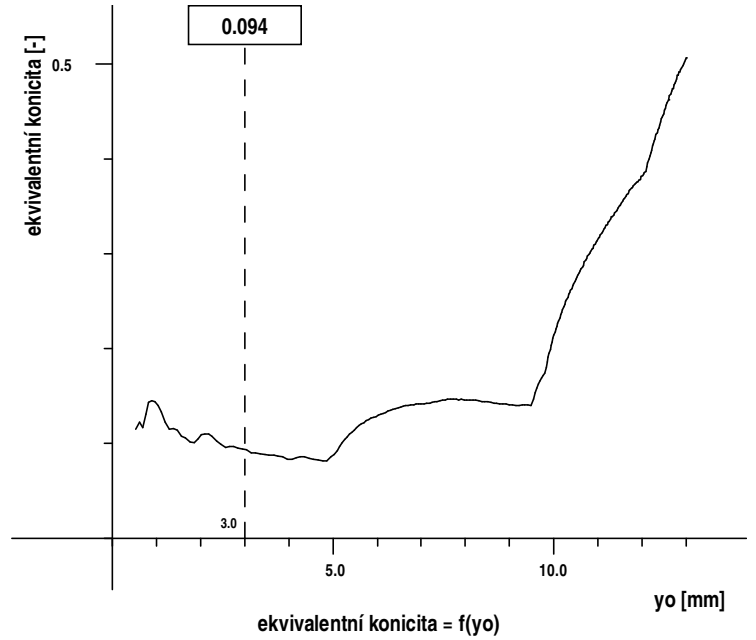


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

10. 3. 2016
 23:01:29

Jízdní obrys: Kužel 3336 16 508 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 759.10 mm
 průměr levého kola 759.50 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Radlická - Jinonice
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5



Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

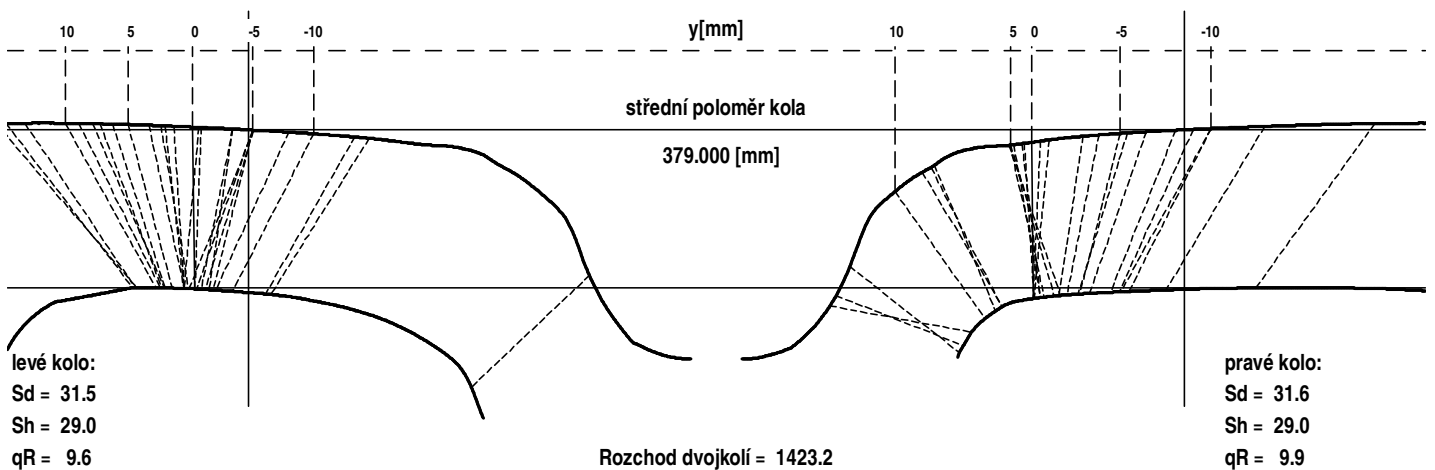
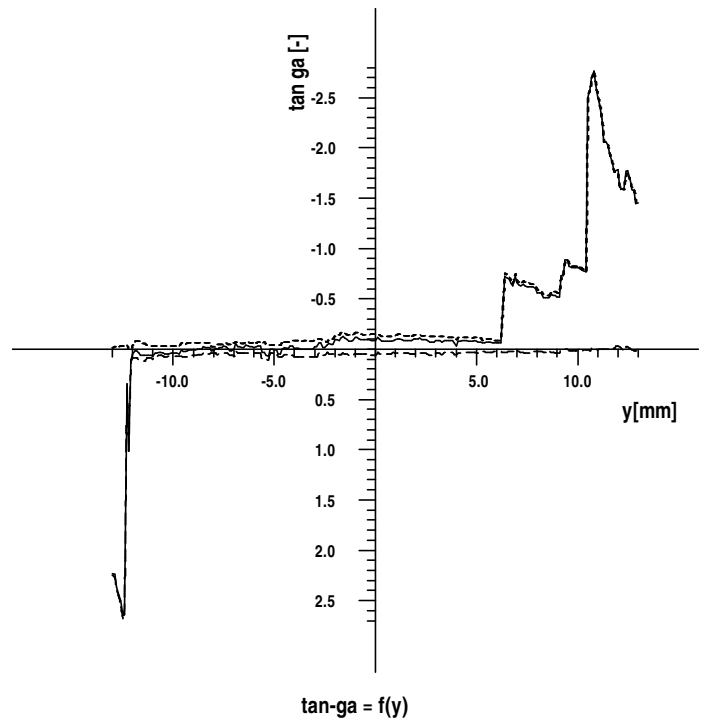
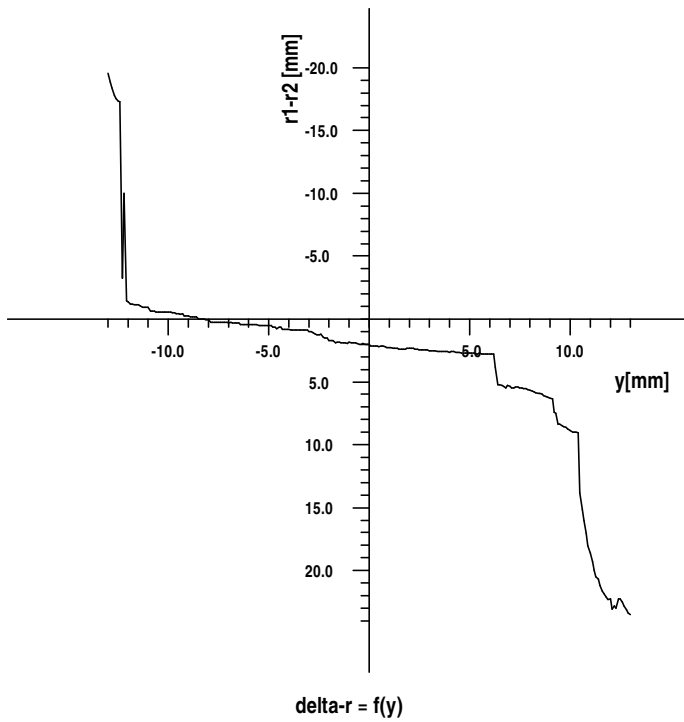
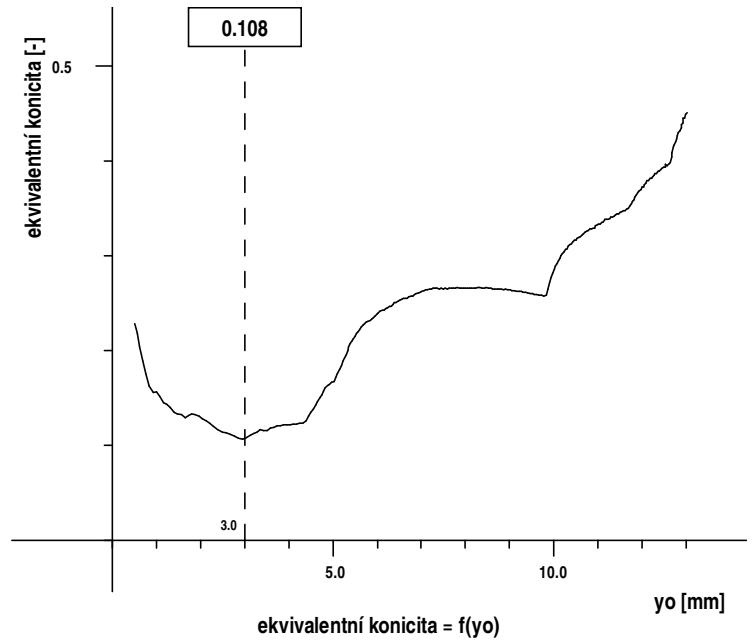
10. 3. 2016
23:05:04

Jízdní obrys:
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola
 průměr levého kola
 rozkolí dvojkolí

Kolejnice:
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic
 rozchod koleje

Kužel 3336 69 000 km
 758.10 mm
 757.90 mm
 1360.0 mm

Radlická - Jinonice
 1:20
 1442,5

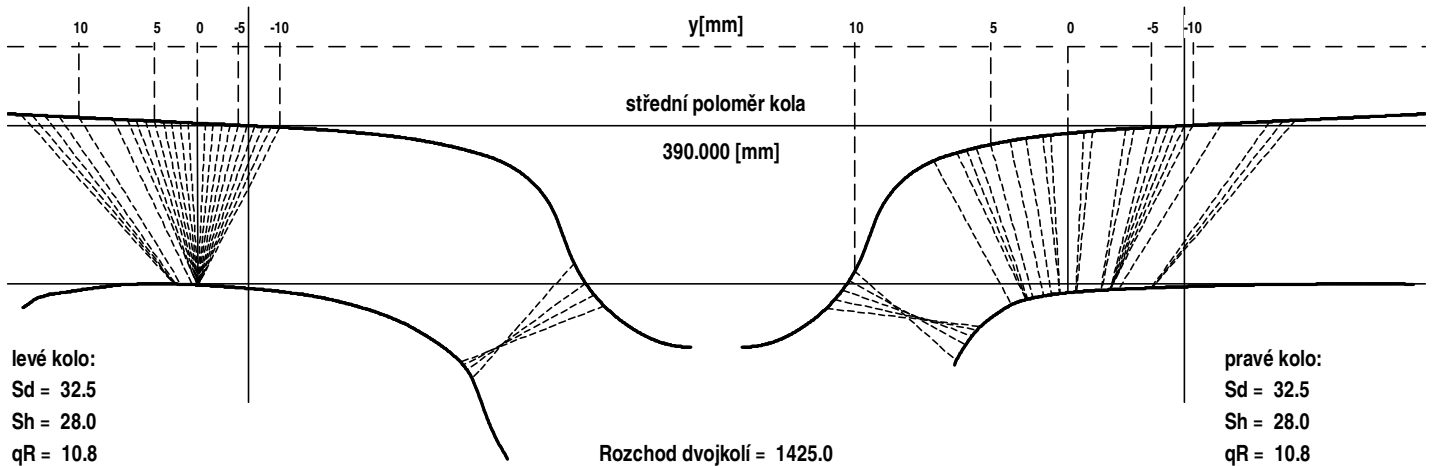
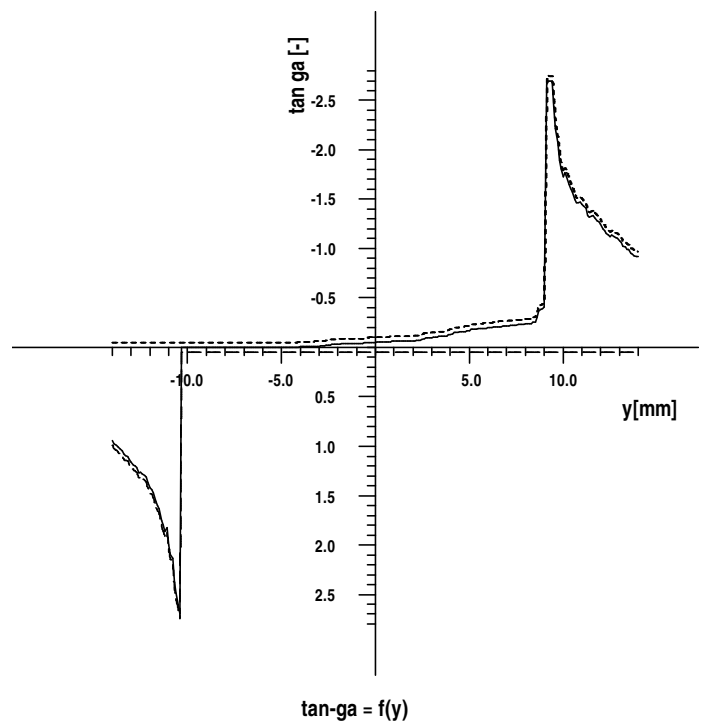
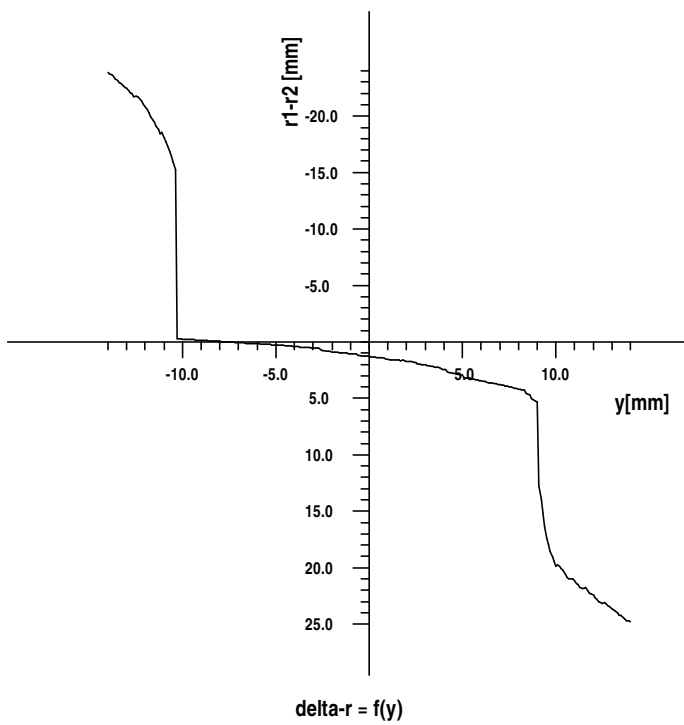
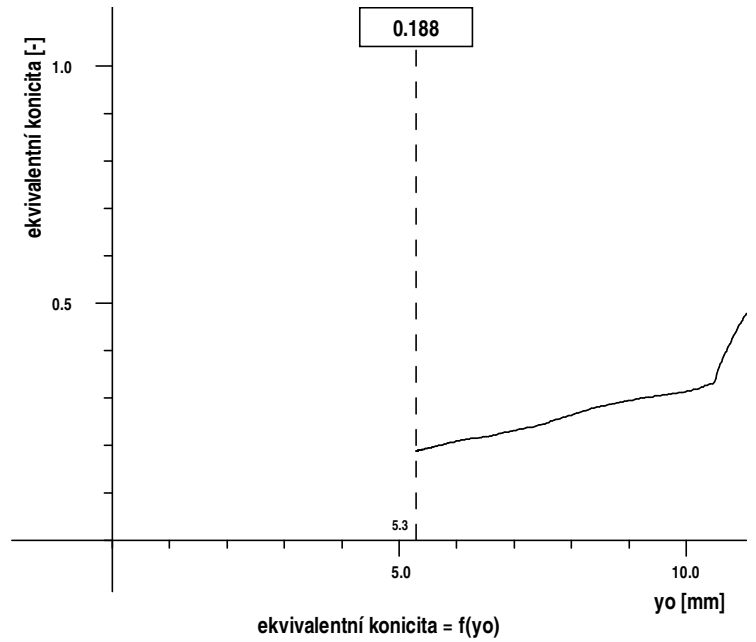


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 23:13:08

Jízdní obrys: K2A Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 780.00 mm
 průměr levého kola 780.00 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 17,1
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8



levé kolo:
 Sd = 32.5
 Sh = 28.0
 qR = 10.8

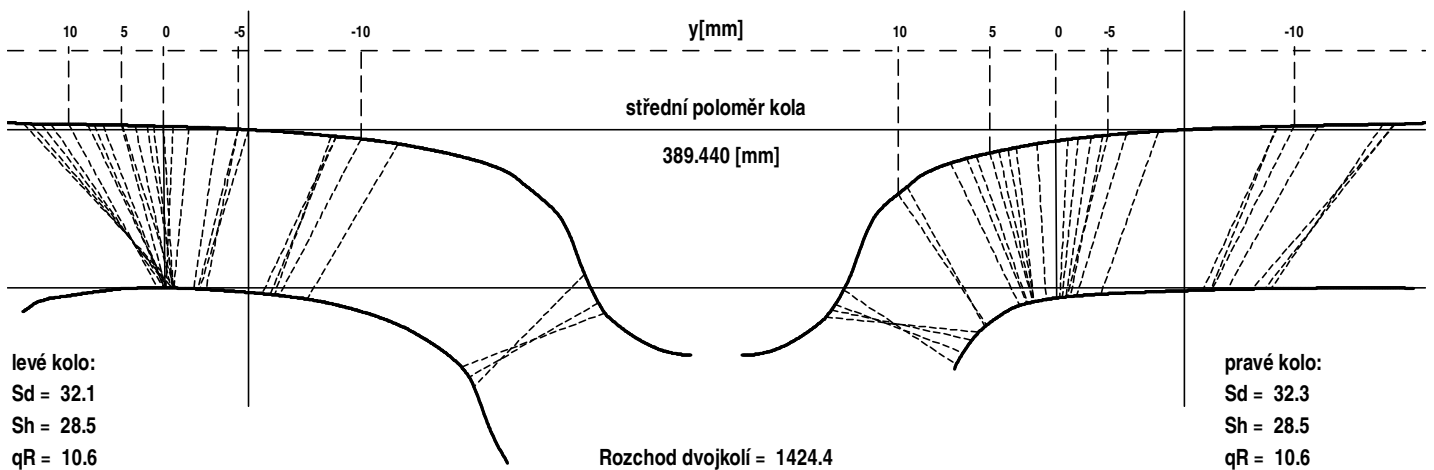
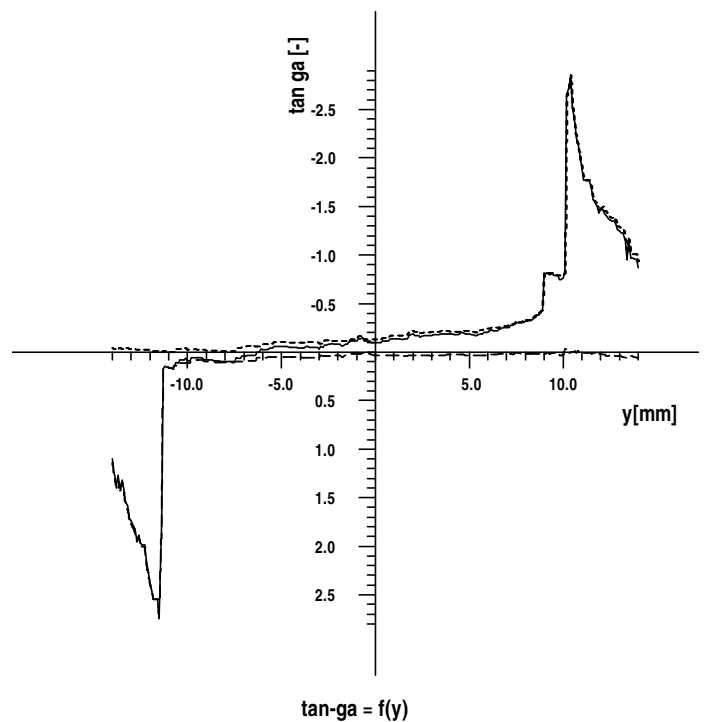
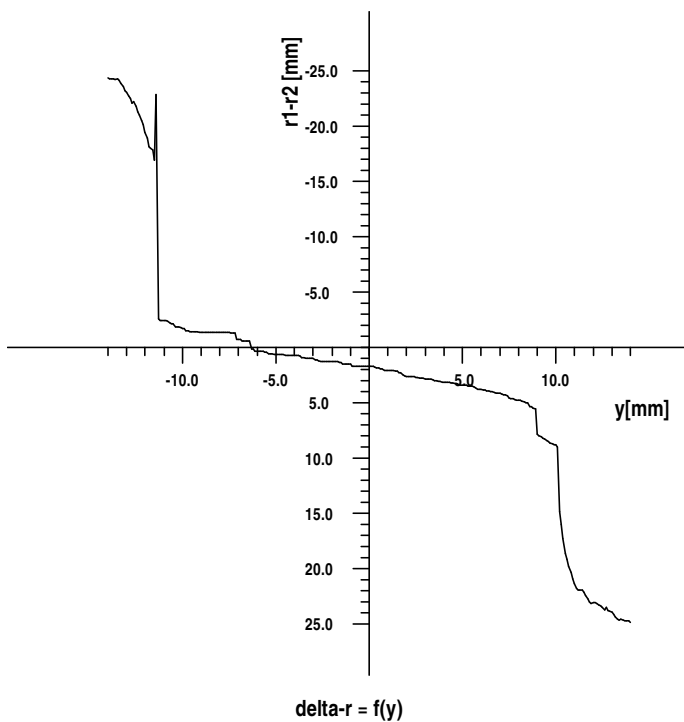
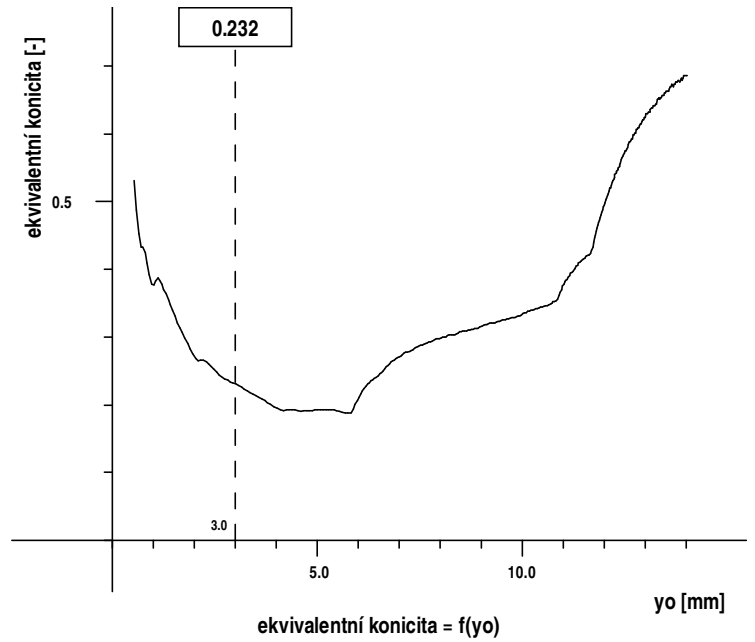
pravé kolo:
 Sd = 32.5
 Sh = 28.0
 qR = 10.8

Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 23:25:29

Jízdní obrys: K2A 3289 45 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 778.78 mm
 průměr levého kola 778.98 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 17,1
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8

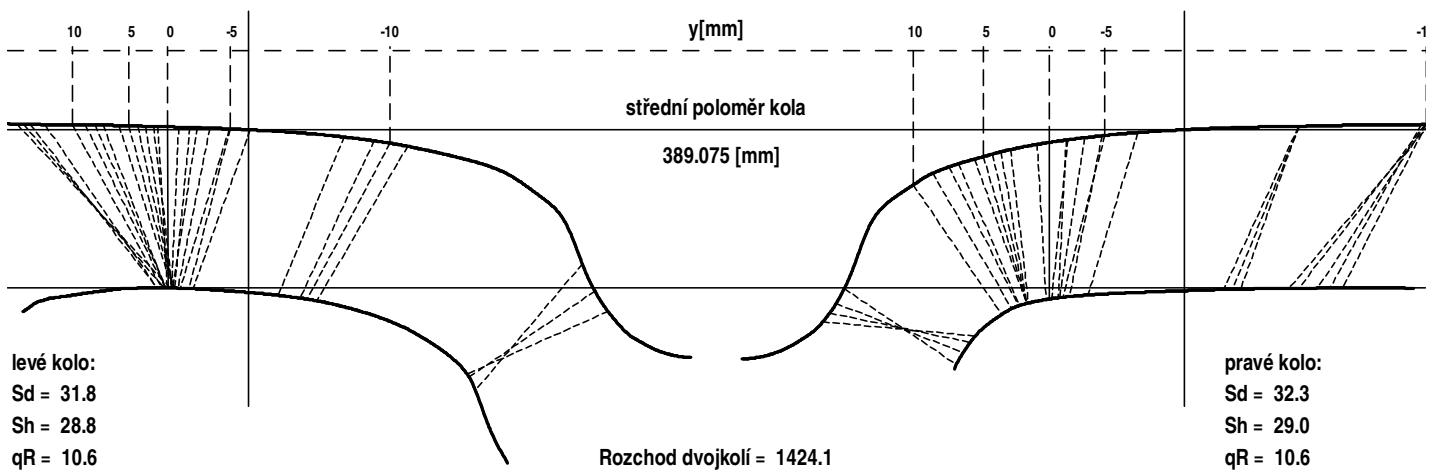
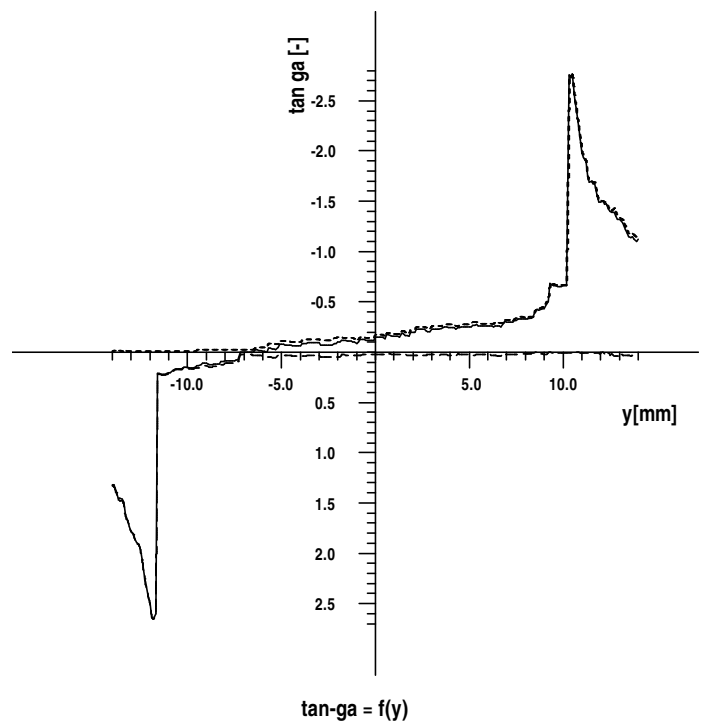
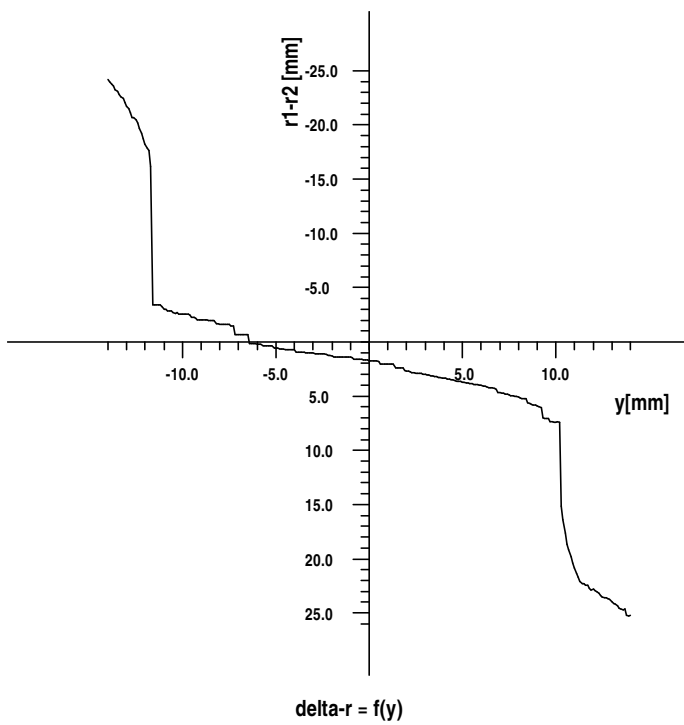
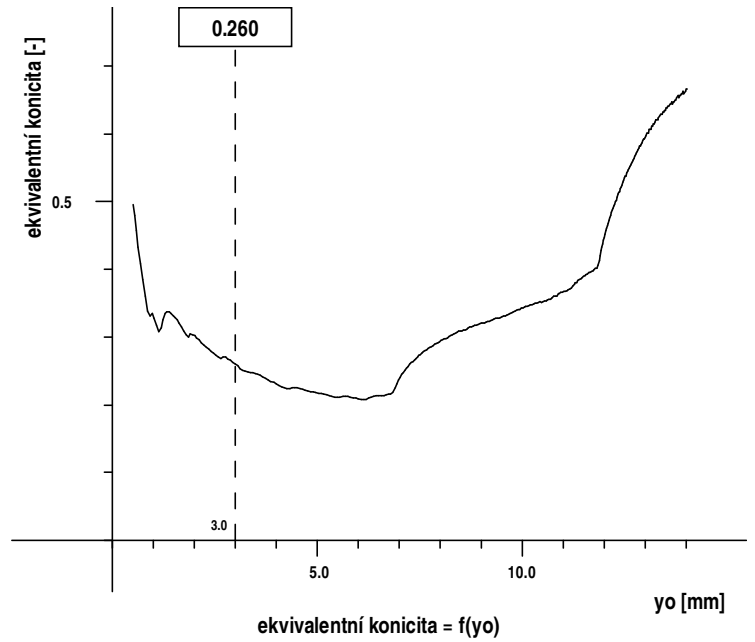


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 23:27:25

Jízdní obrys: K2A 3289 96 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 777.92 mm
 průměr levého kola 778.38 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 17,1
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8

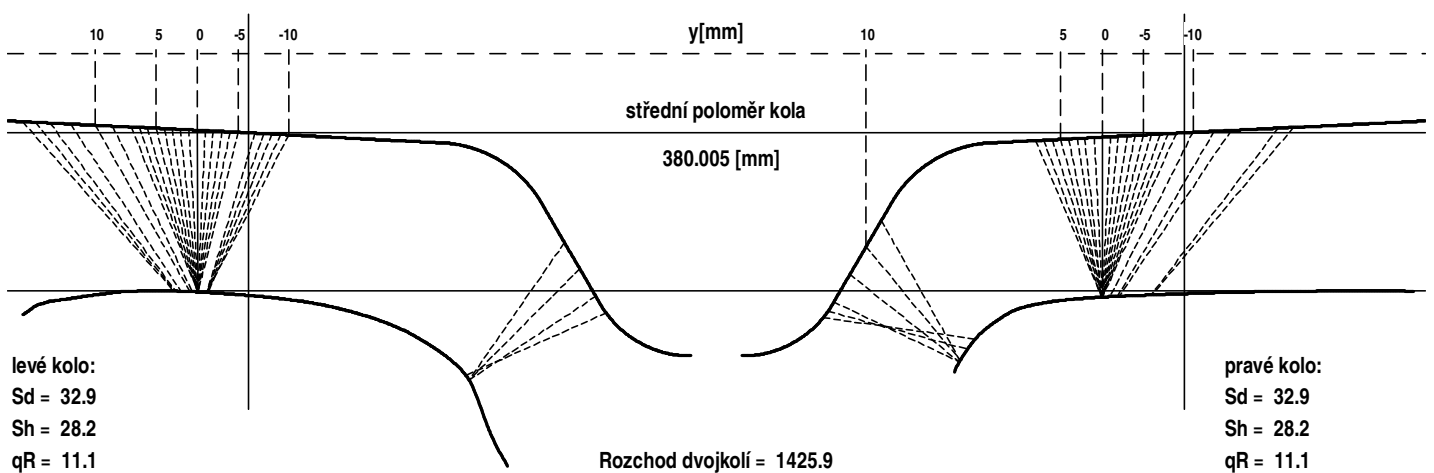
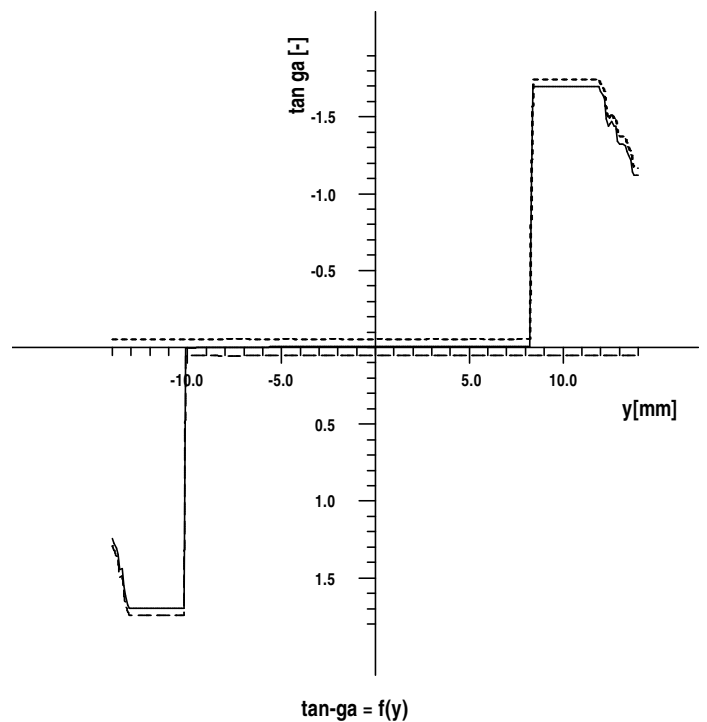
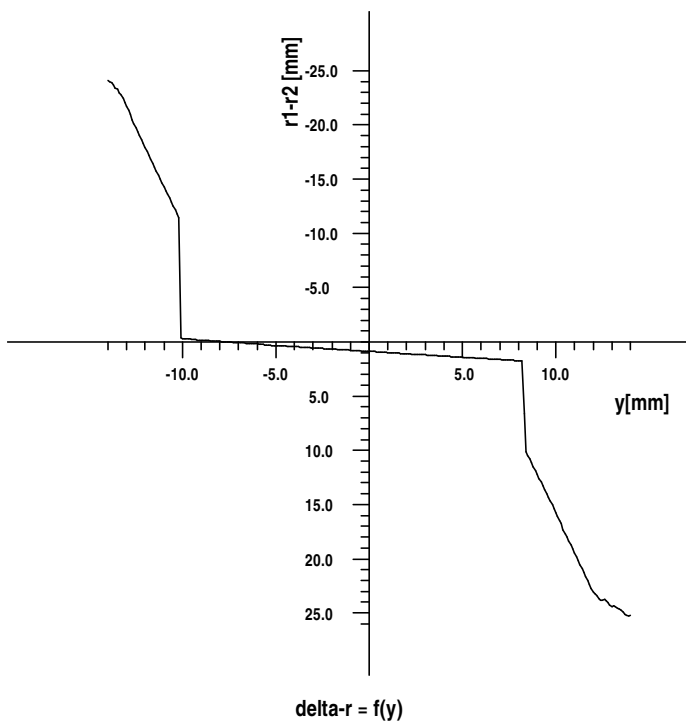
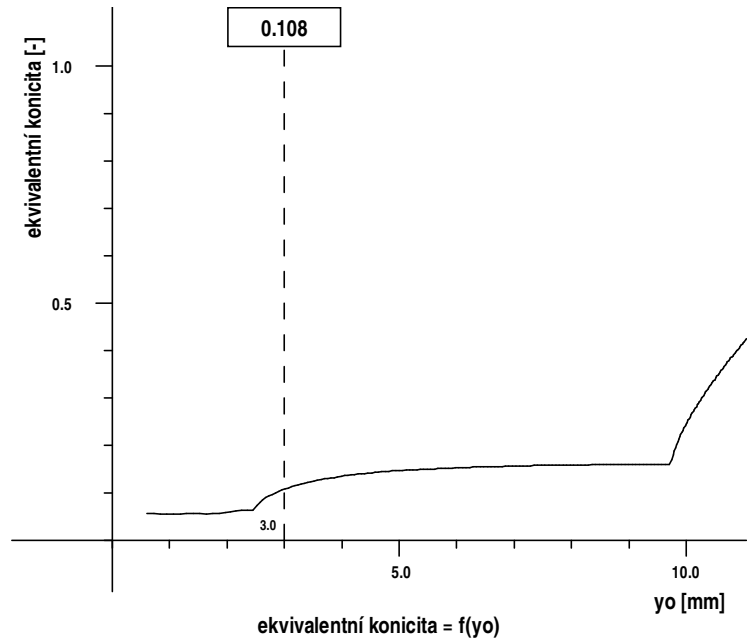


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 23:07:33

Jízdní obrys: Kuž Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 760.02 mm
 průměr levého kola 760.00 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 17,1
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8

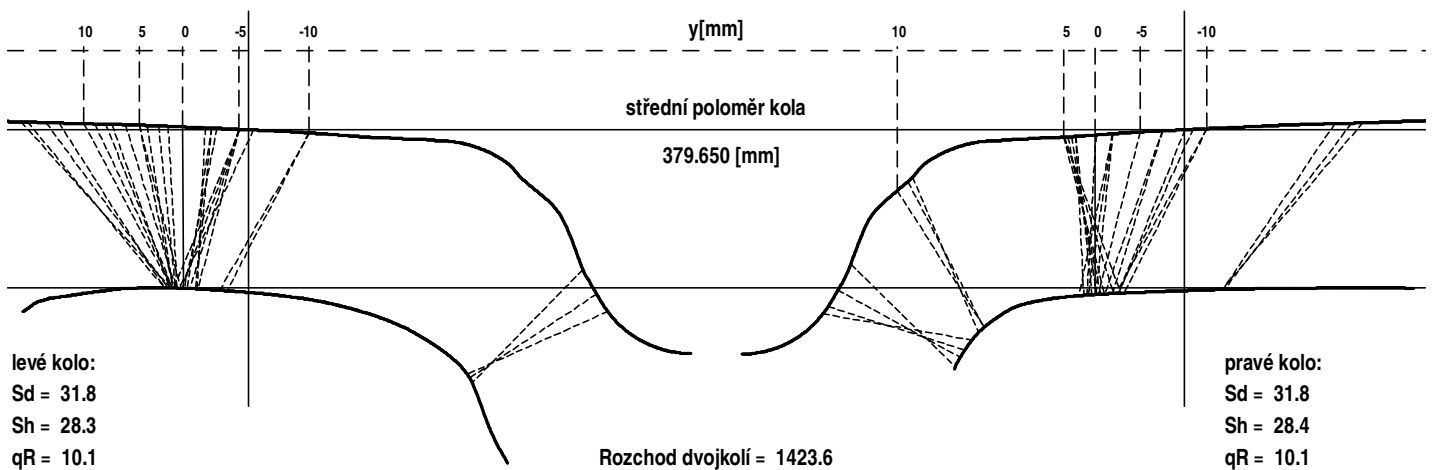
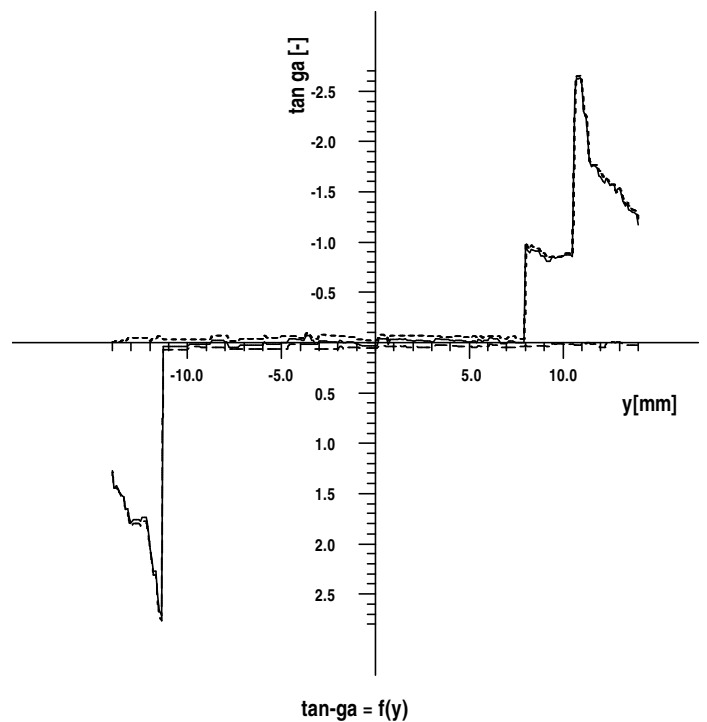
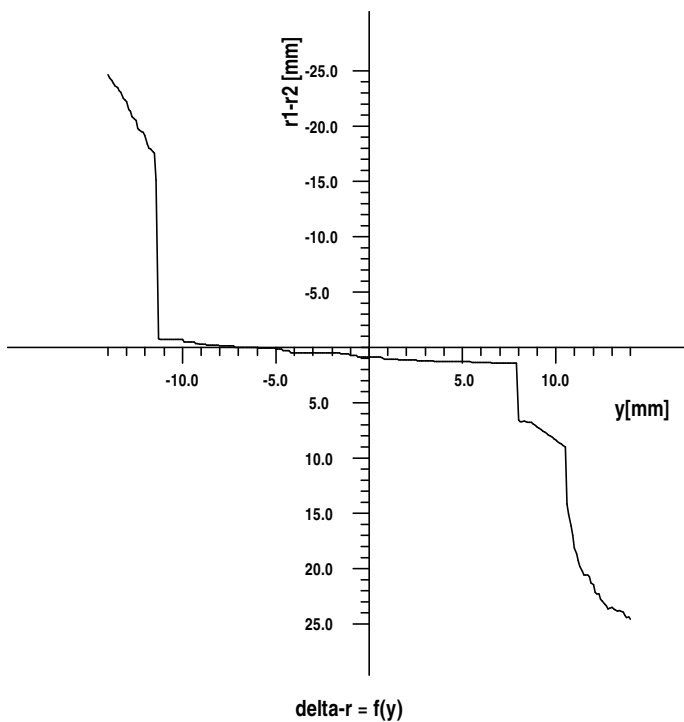
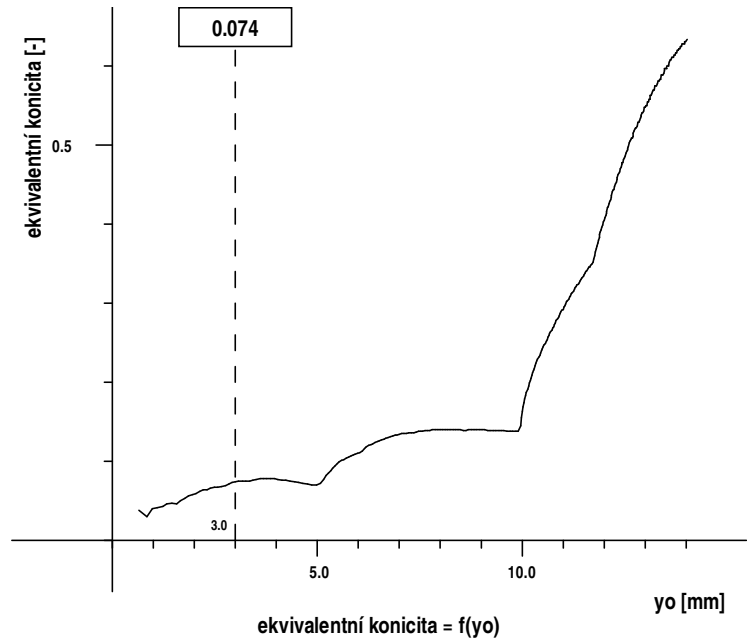


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 23:20:26

Jízdní obrys: Kužel 3336 16 508 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 759.10 mm
 průměr levého kola 759.50 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 17,1
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8

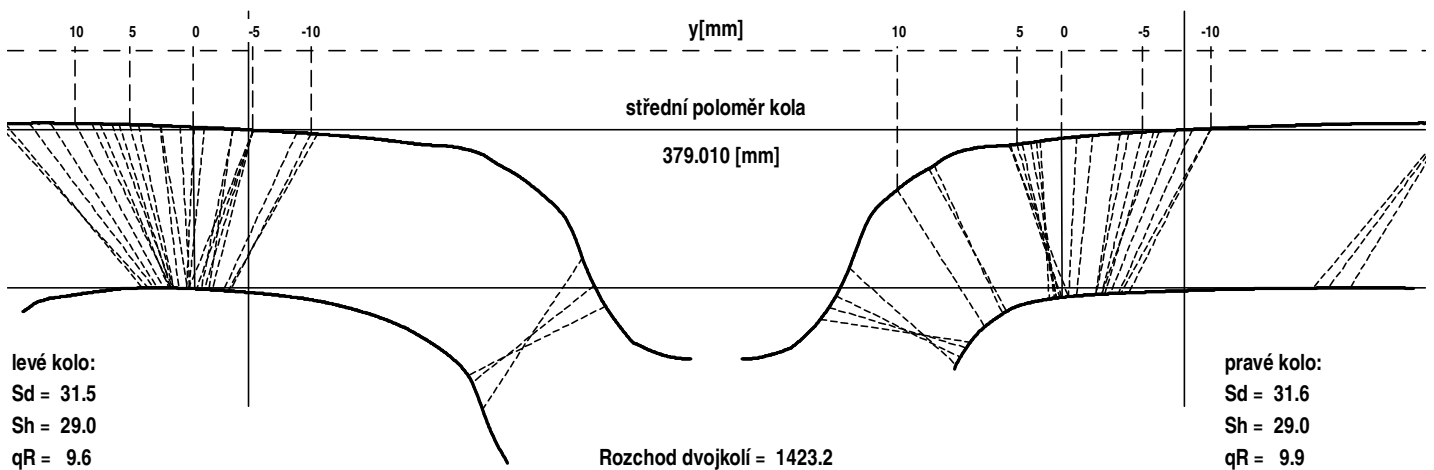
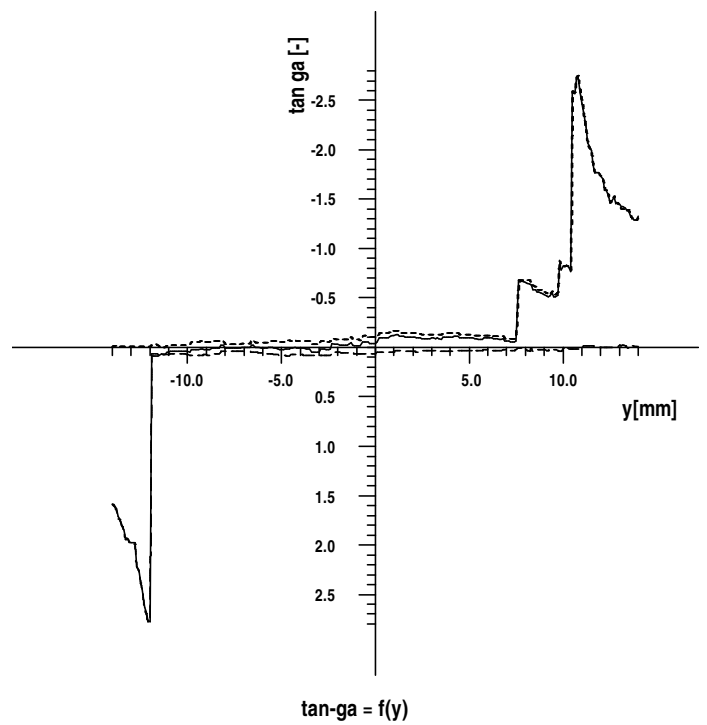
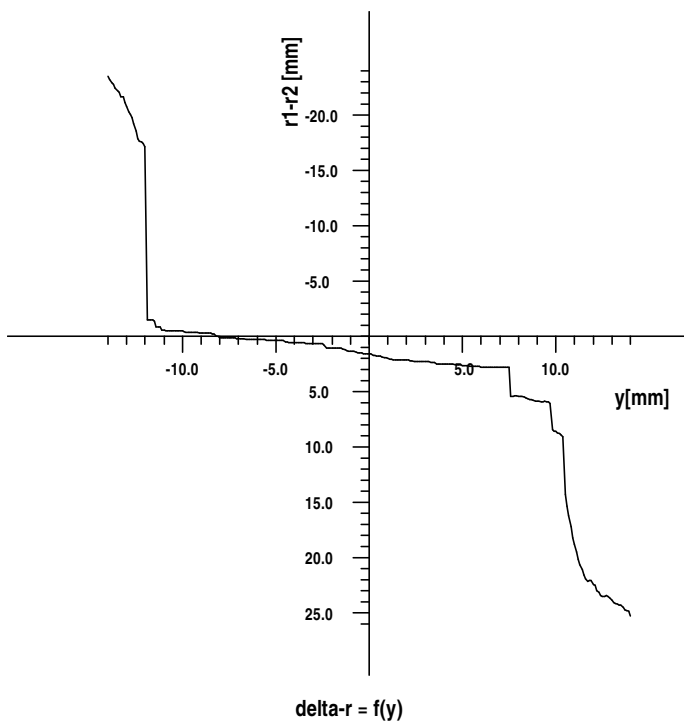
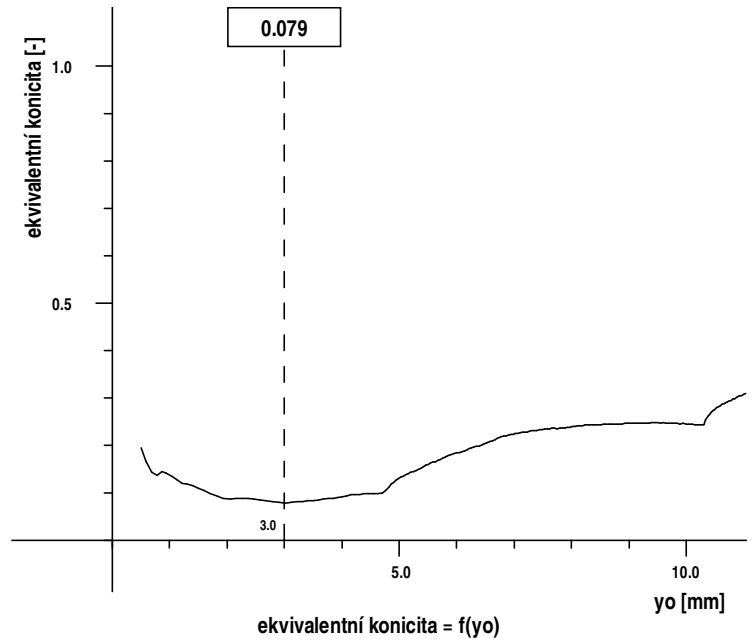


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
23:22:27

Jízdní obrys:
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 758.14 mm
 průměr levého kola 757.90 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice:
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,8

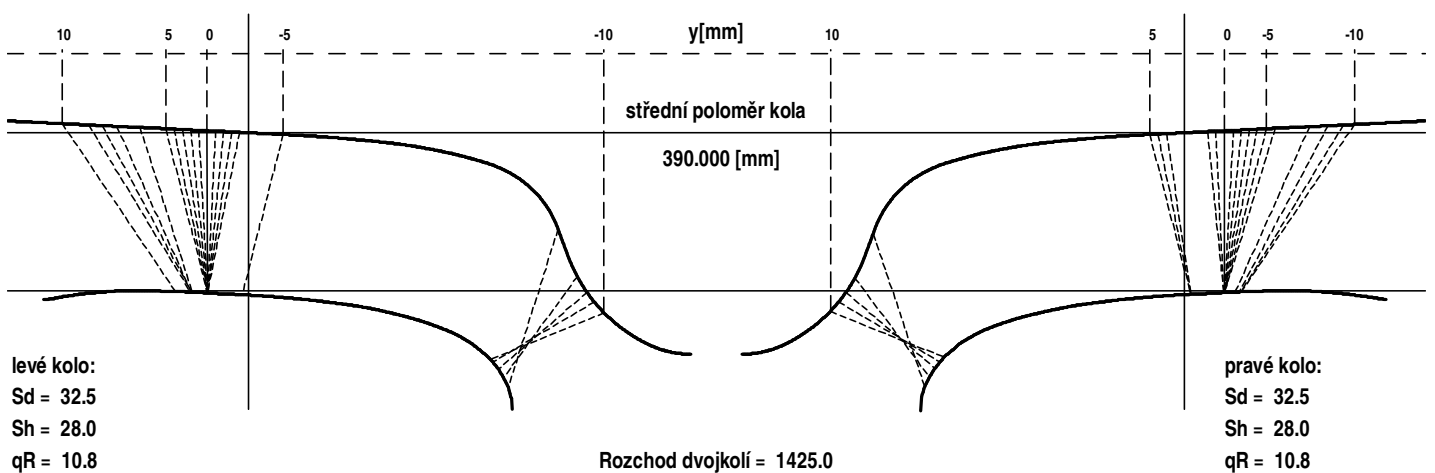
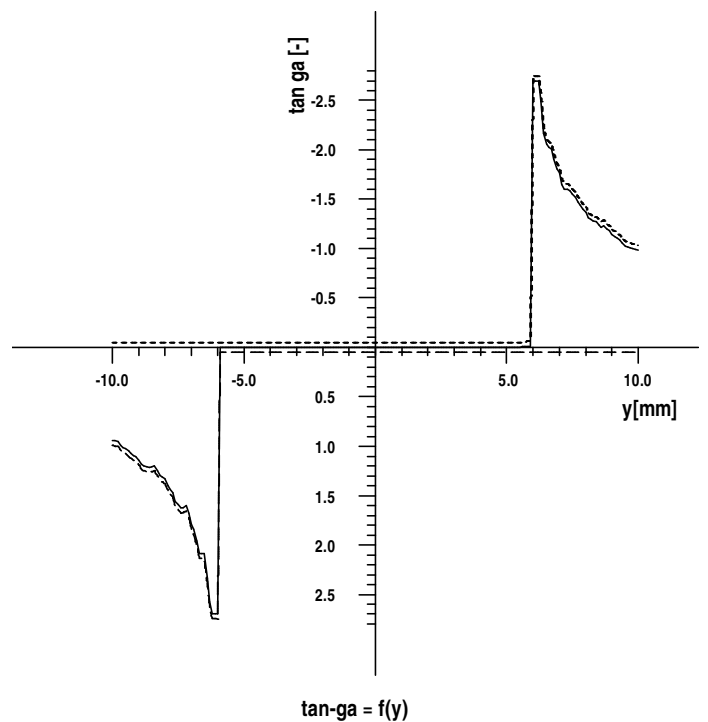
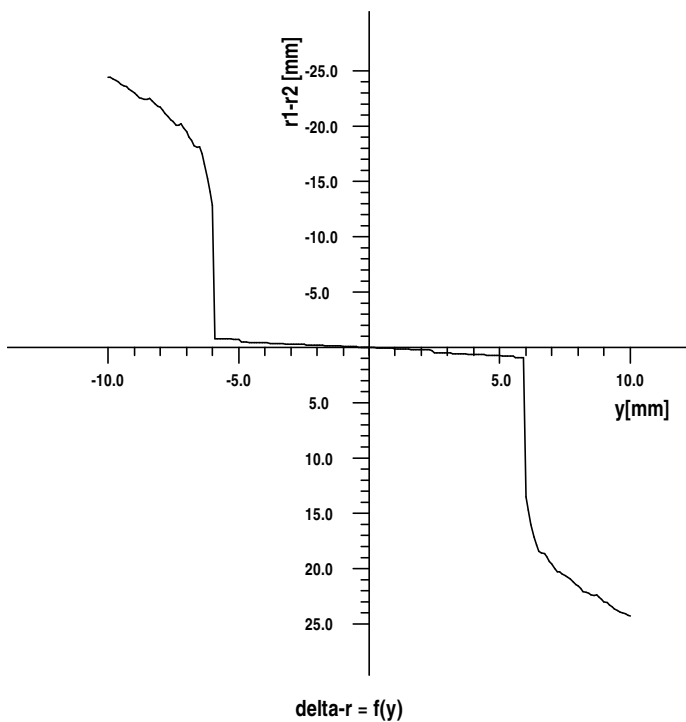
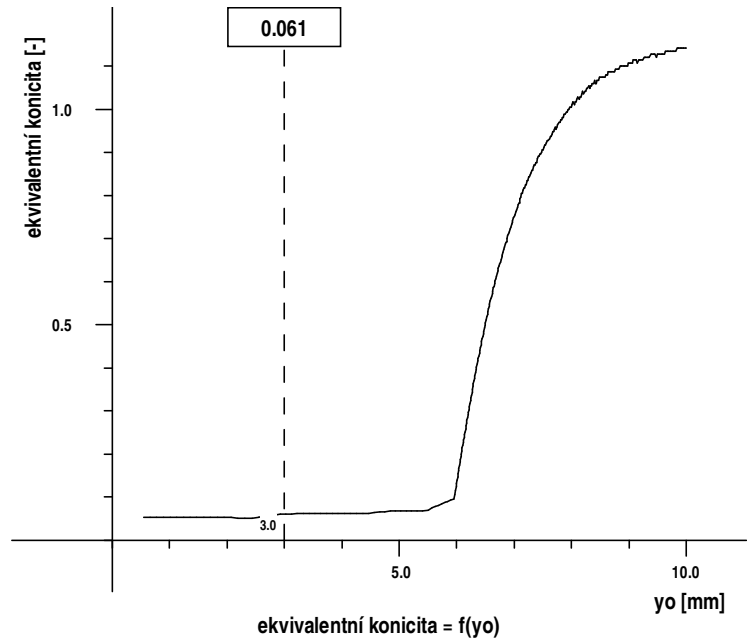


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
5:43:14

Jízdní obrys: K2A Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 780.00 mm
 průměr levého kola 780.00 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

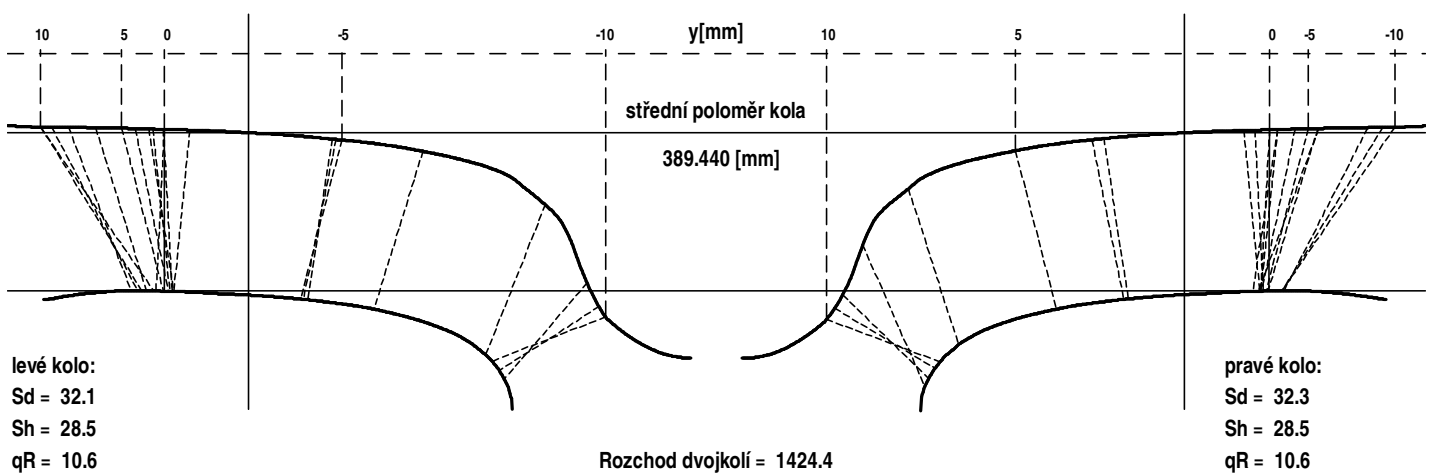
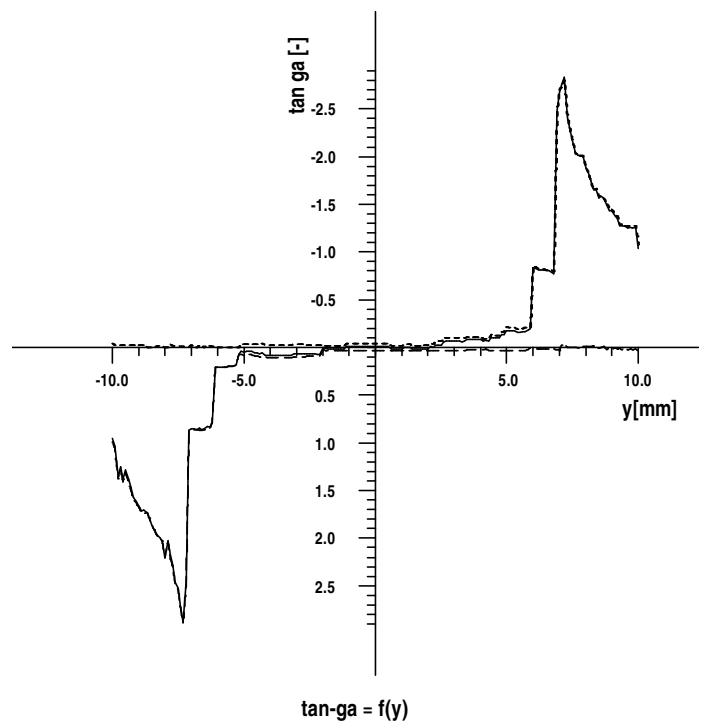
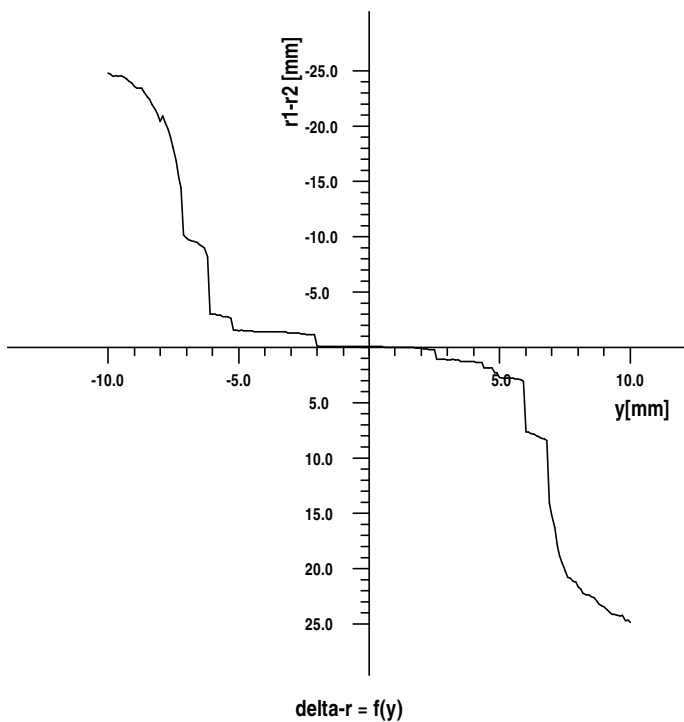
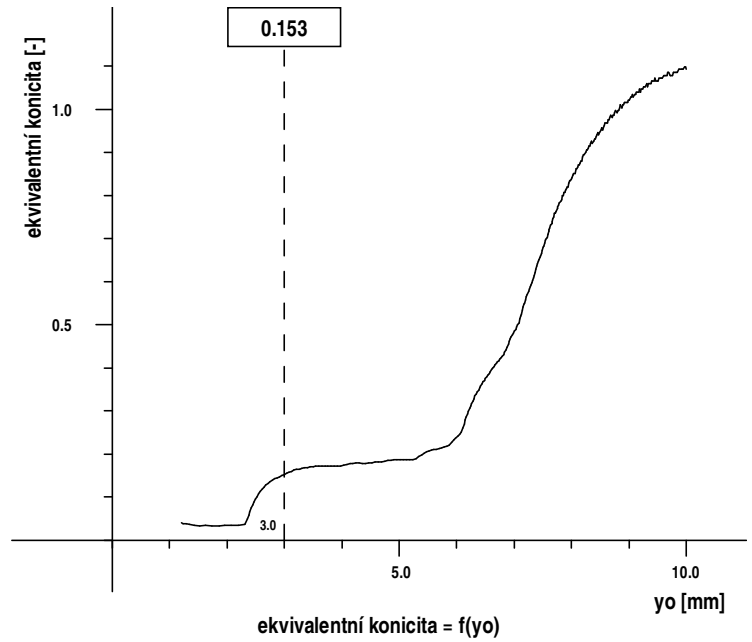


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 5:46:04

Jízdní obrys: K2A 3289 45 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 778.78 mm
 průměr levého kola 778.98 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

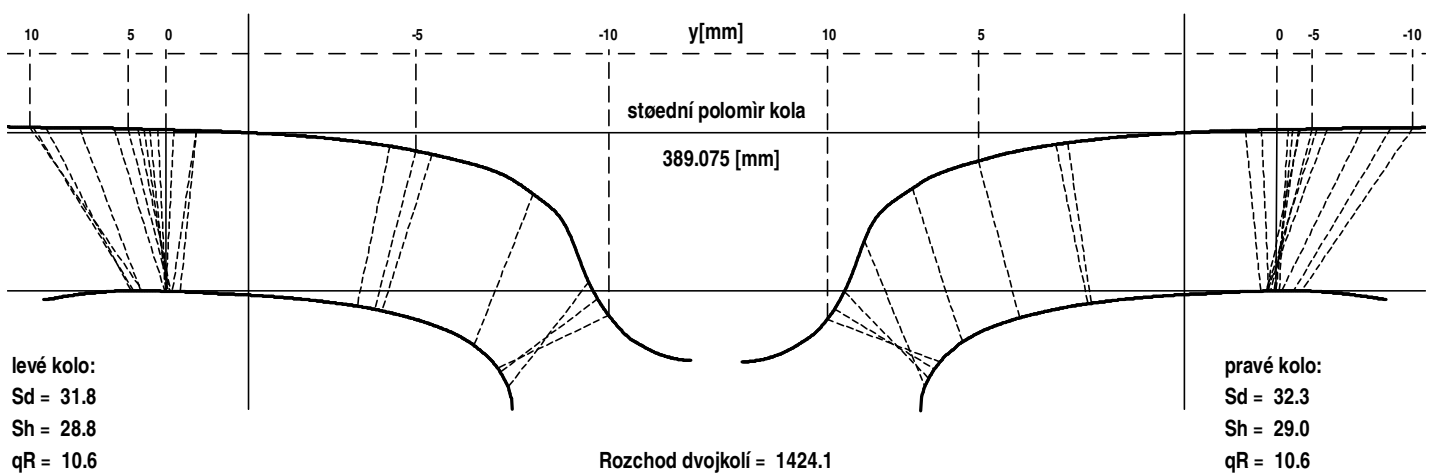
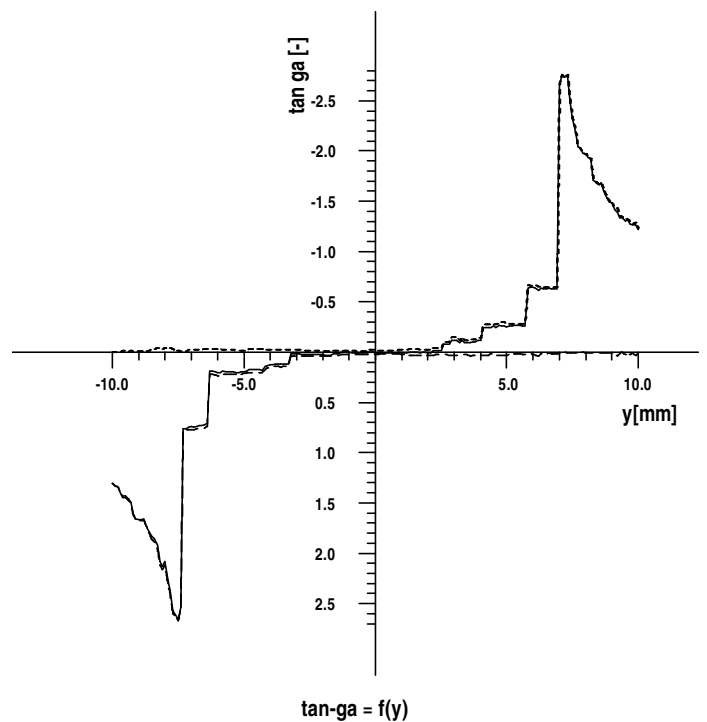
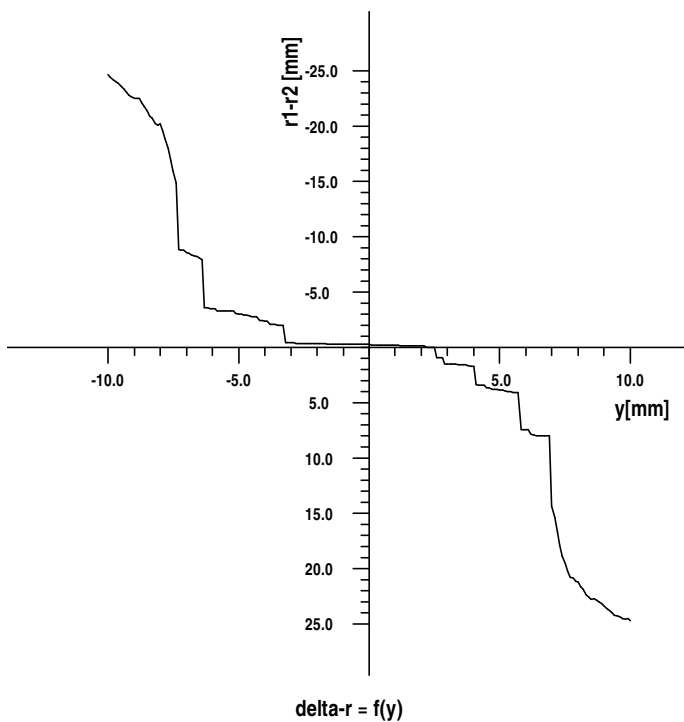
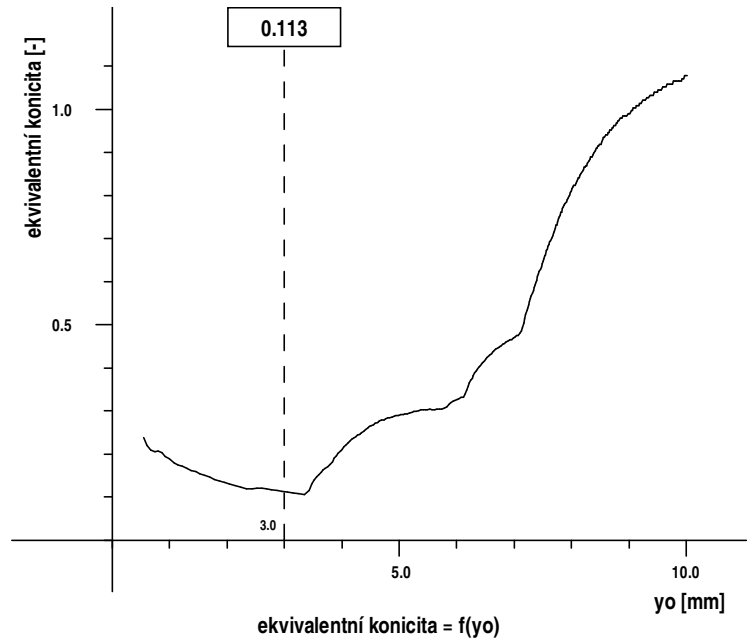


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 20:08:13

Jízdní obrys: K2A 3289 96 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průmír pravého kola 777.92 mm
 průmír levého kola 778.38 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

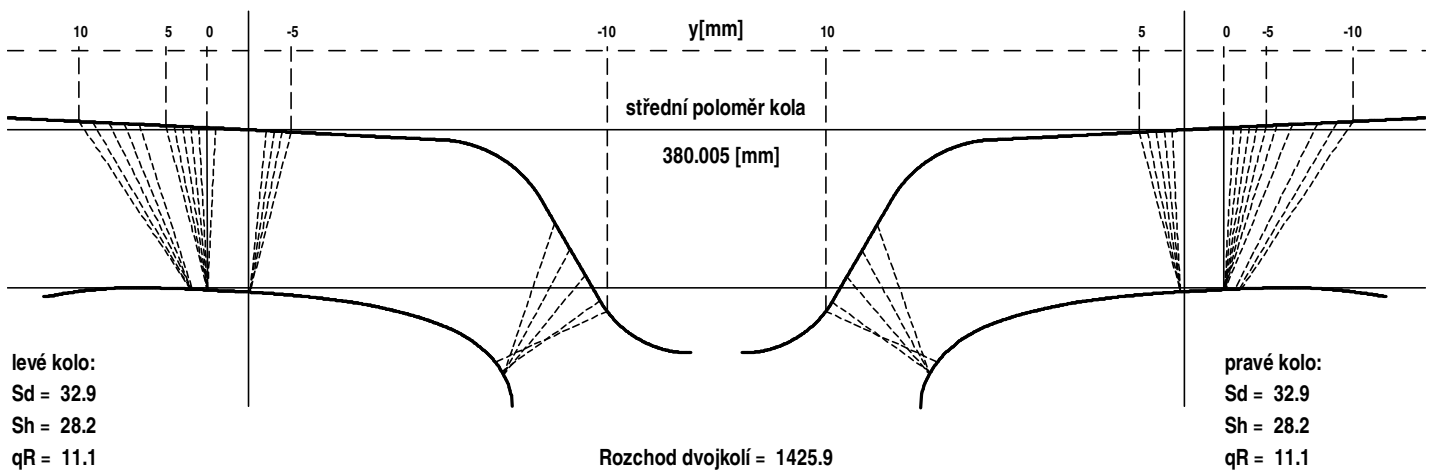
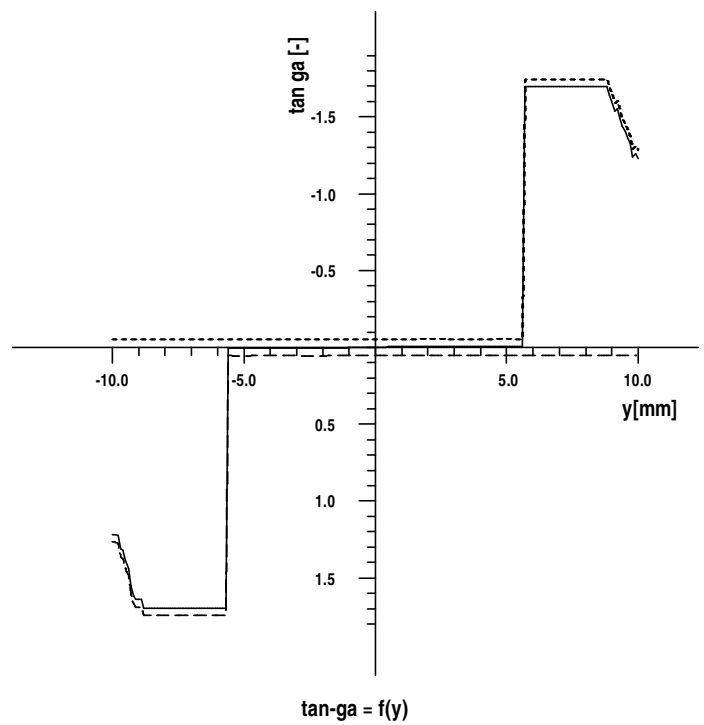
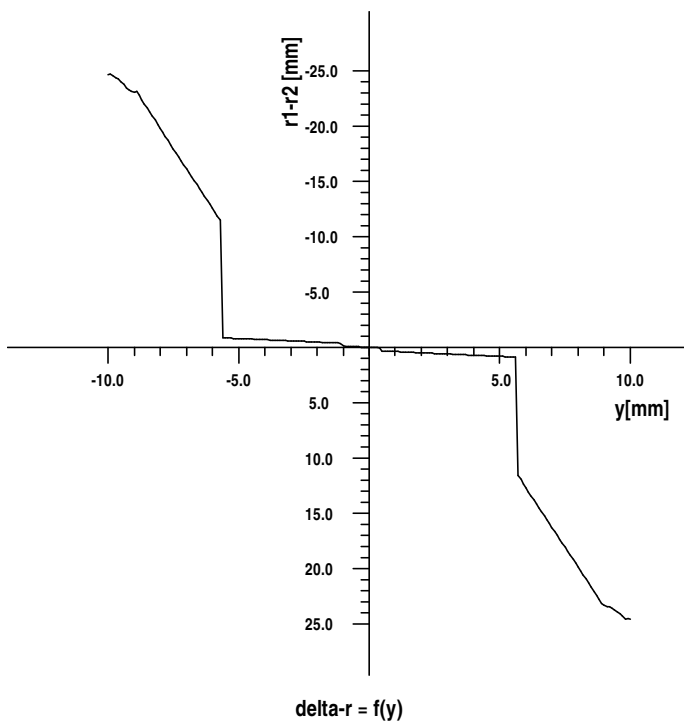
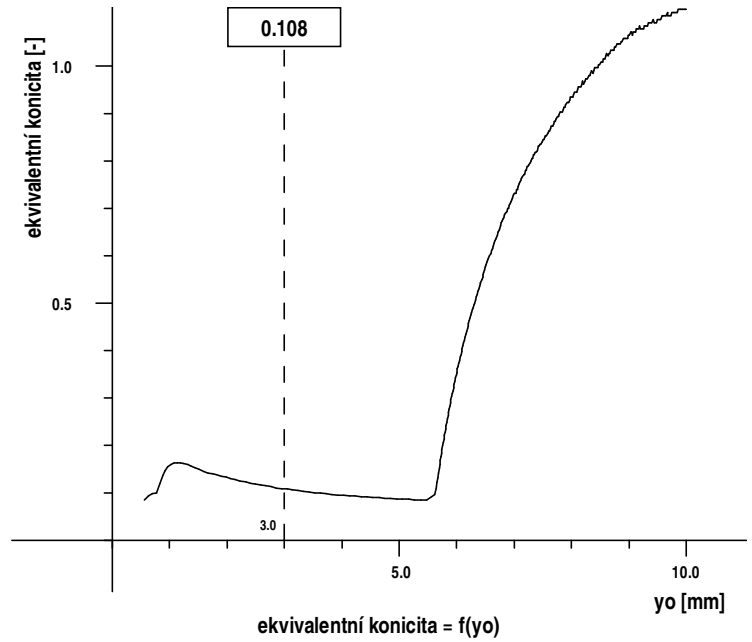


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
5:36:28

Jízdní obrys: Kuž Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 760.00 mm
 průměr levého kola 760.02 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

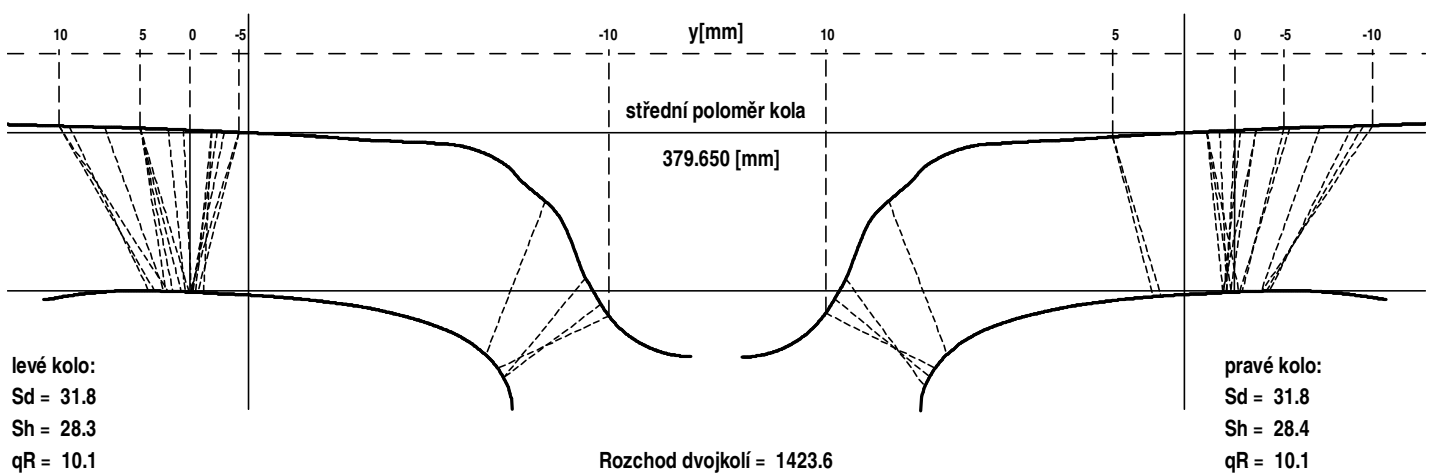
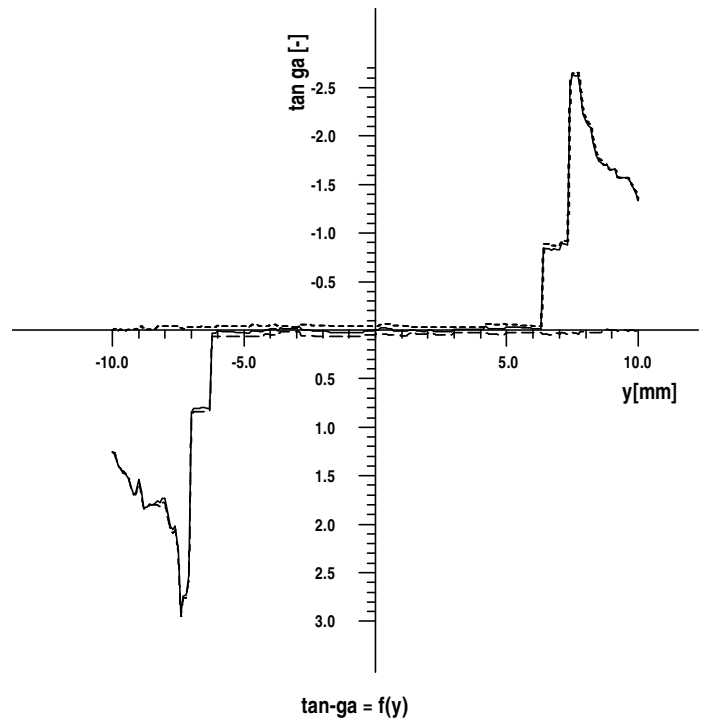
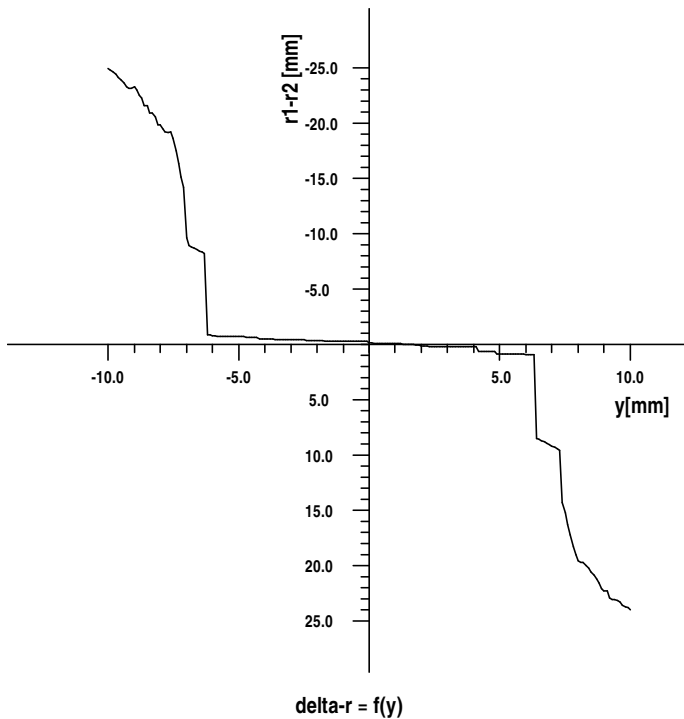
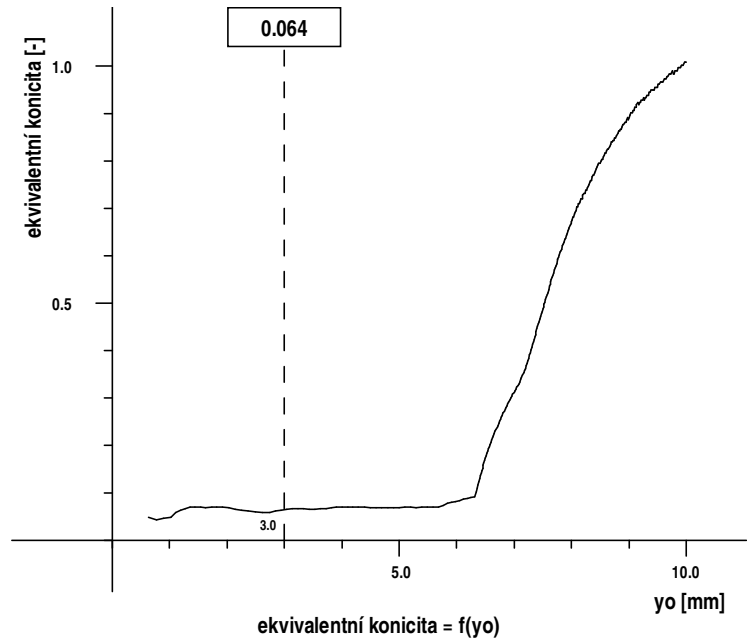


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
5:39:15

Jízdní obrys: Kužel 3336 16 508 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 759.10 mm
 průměr levého kola 759.50 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

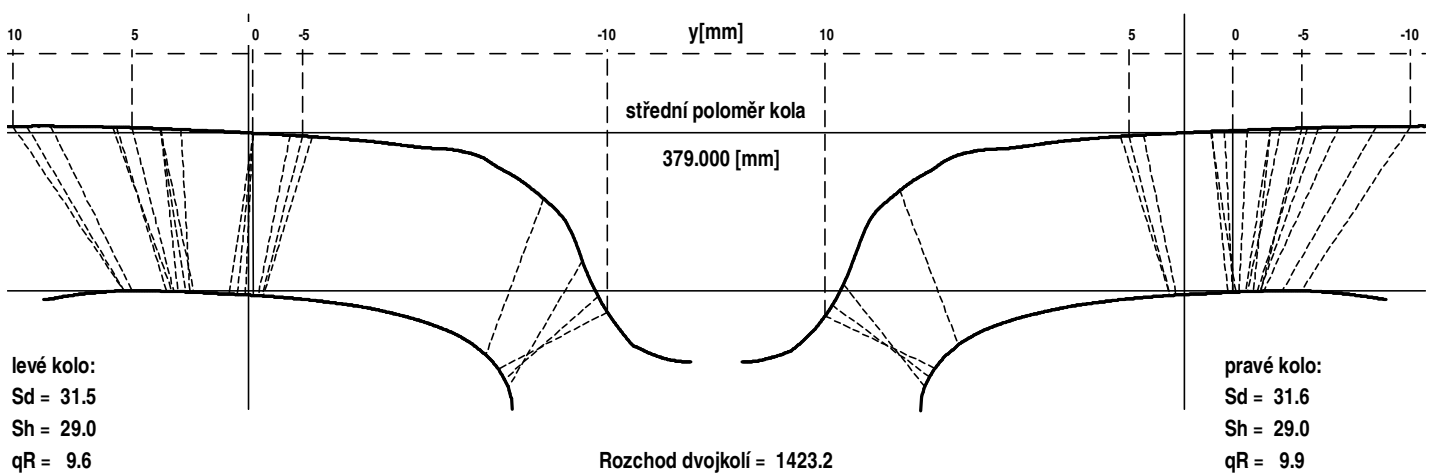
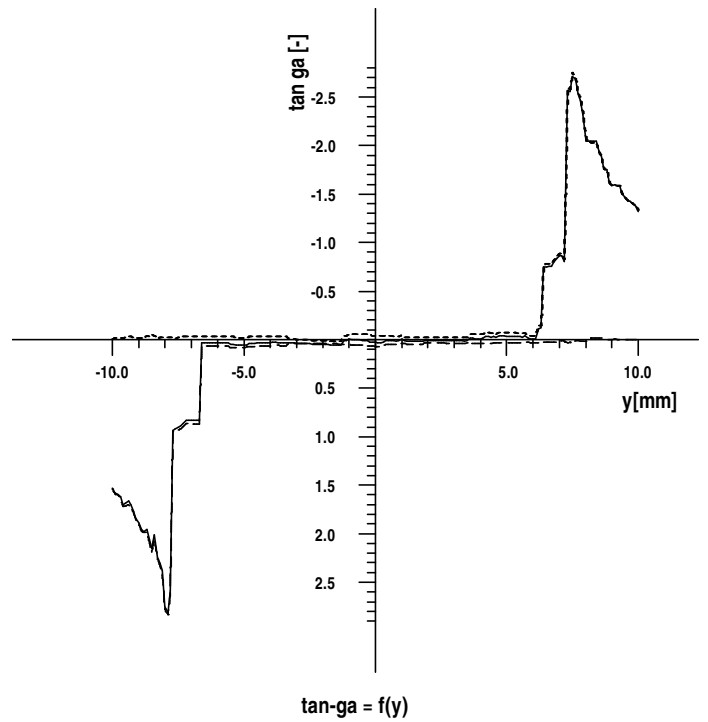
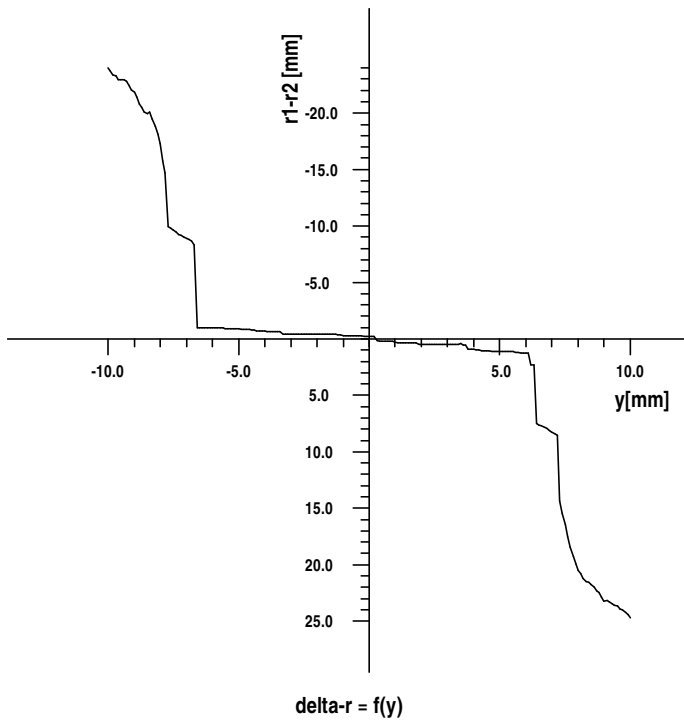
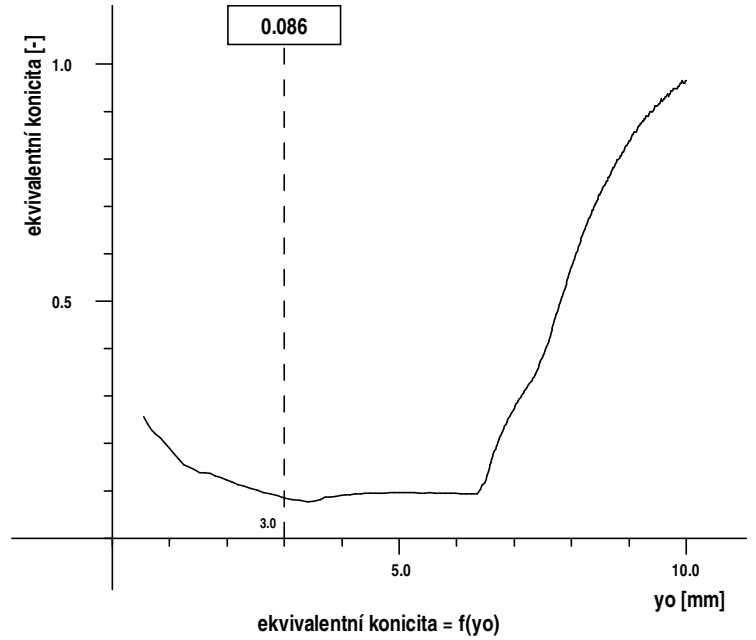


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 5:41:12

Jízdní obrys: Kužel 3336 69 000 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 758.10 mm
 průměr levého kola 757.90 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

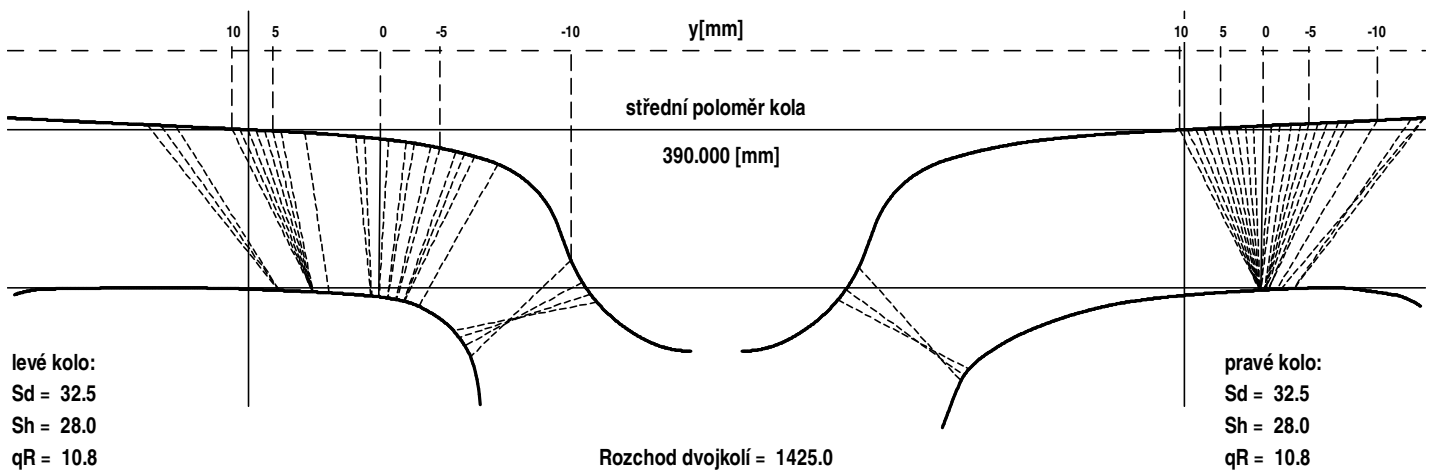
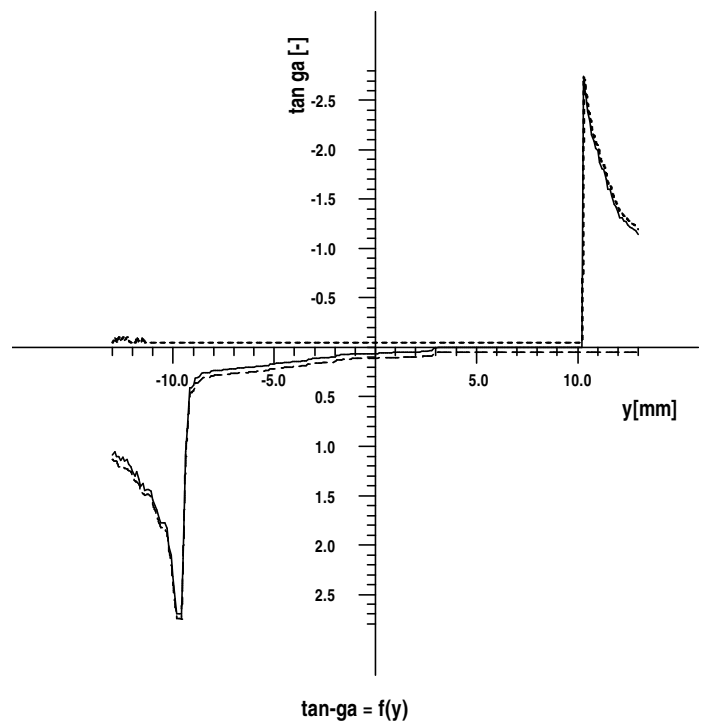
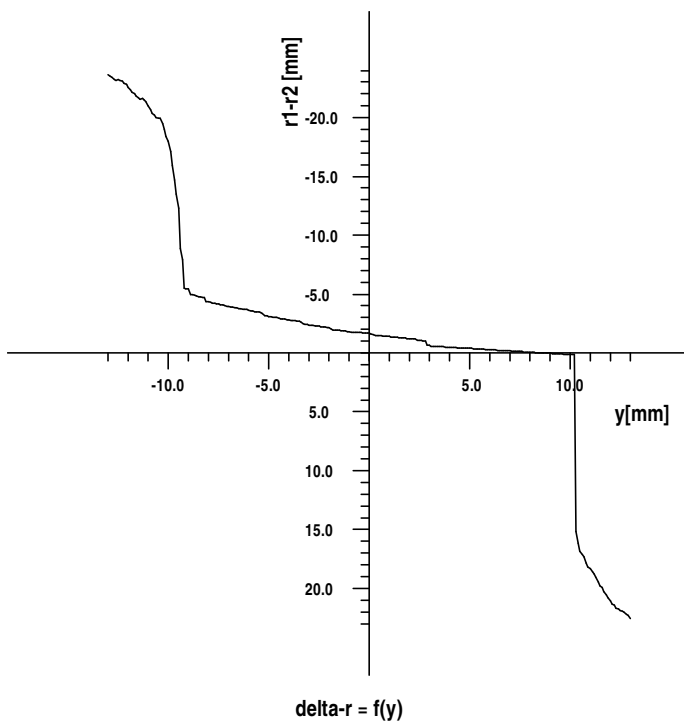
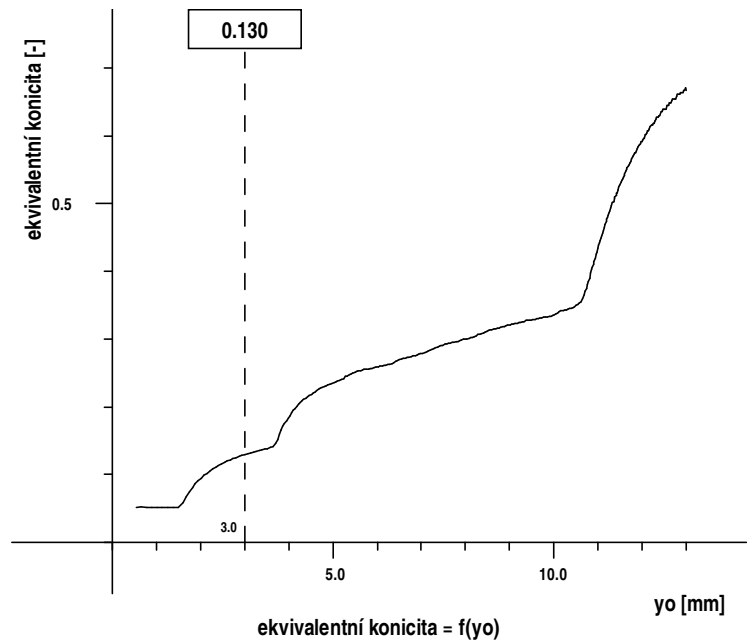


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
5:59:30

Jízdní obrys: **K2A Teor**
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola **780.00 mm**
 průměr levého kola **780.00 mm**
 rozkolí dvojkolí **1360.0 mm**

Kolejnice: **Mustek - N. Rep. km 16,7**
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic **1:20**
 rozchod koleje **1442,5**

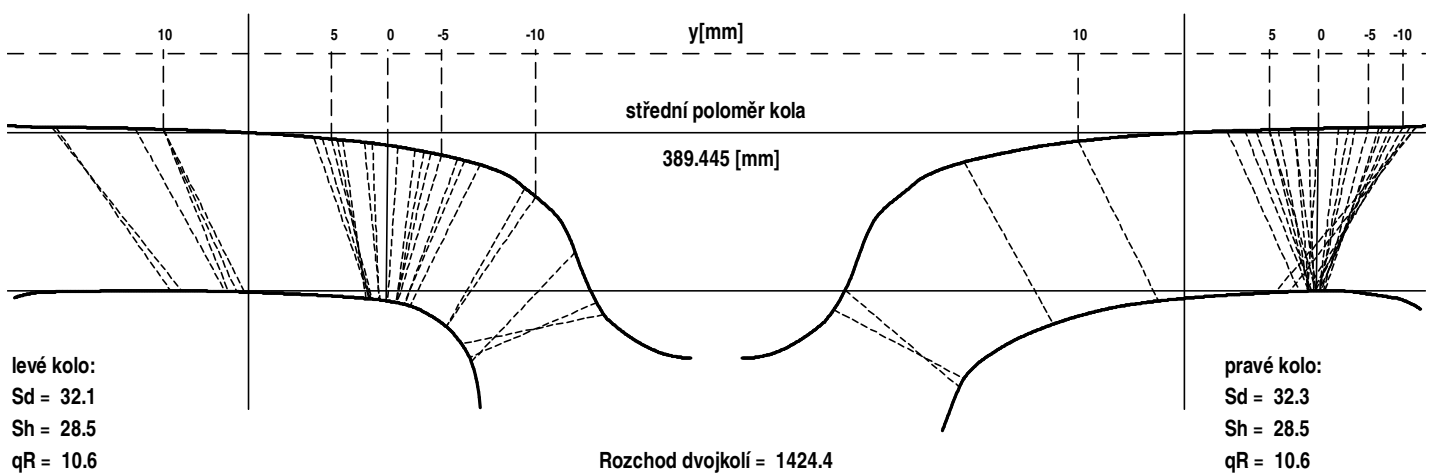
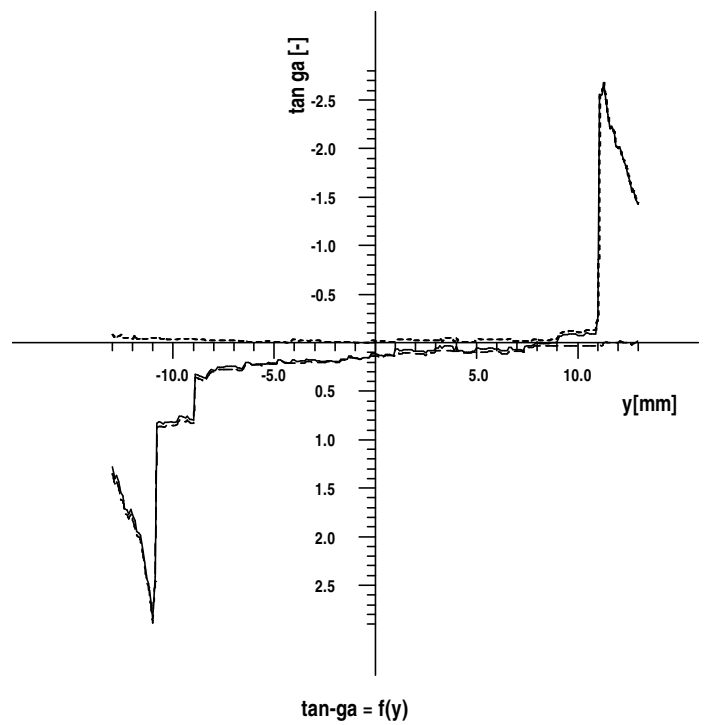
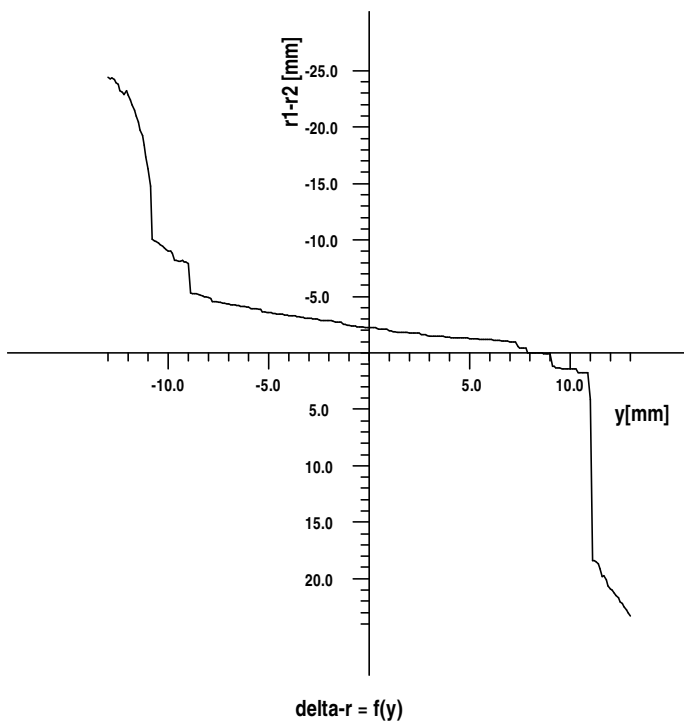
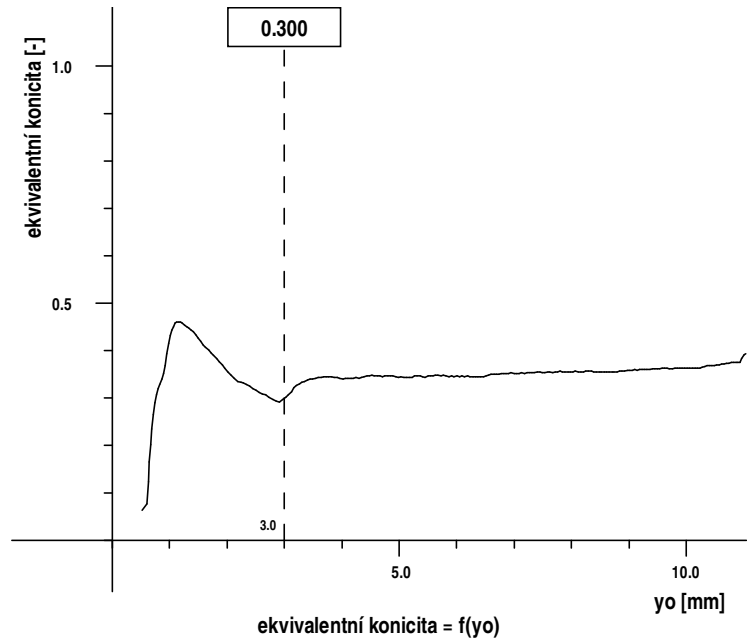


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
6:02:09

Jízdní obrys: **K2A 3289 45 000km**
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola **778.78 mm**
 průměr levého kola **779.00 mm**
 rozkolí dvojkolí **1360.0 mm**

Kolejnice: **Mustek - N. Rep. km 16,7**
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic **1:20**
 rozchod koleje **1442,5**

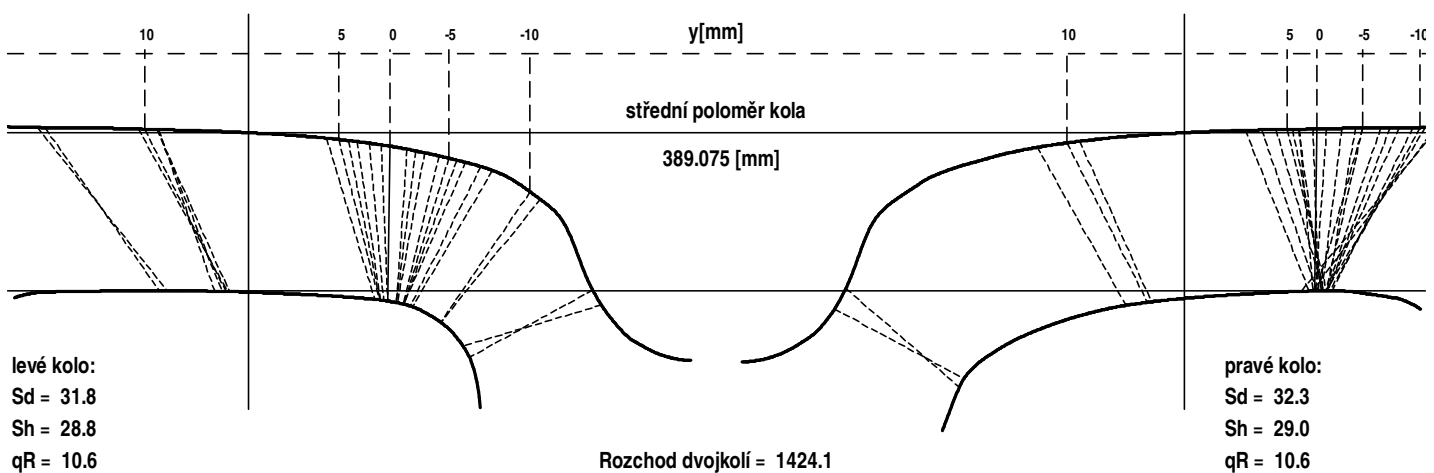
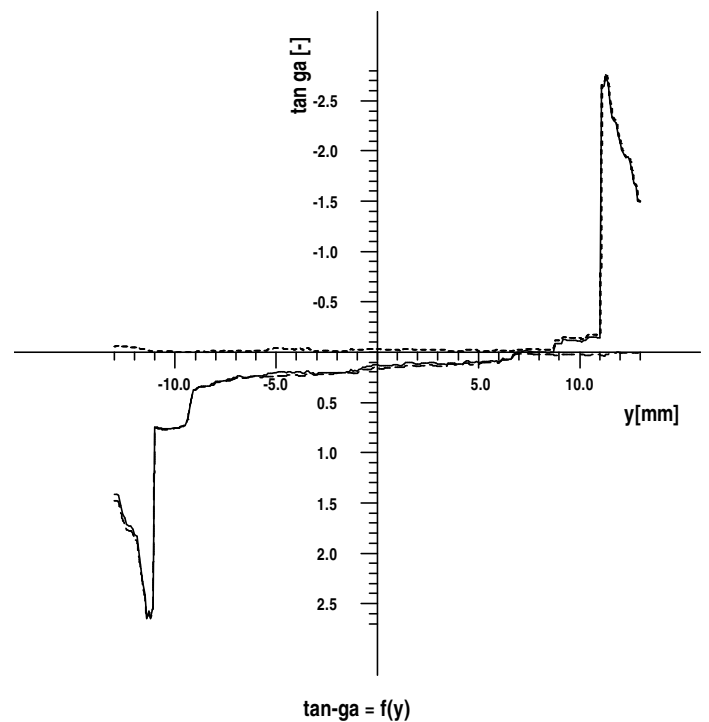
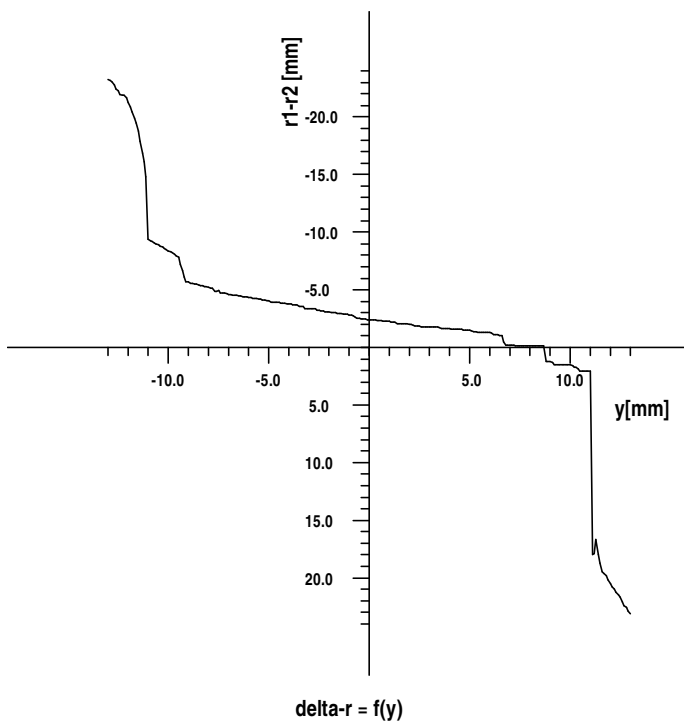
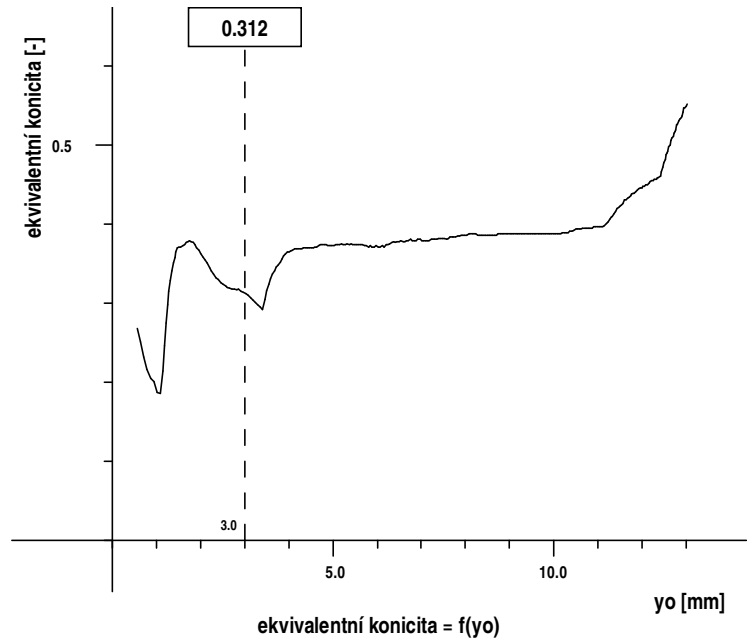


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

28. 5. 2016
 20:09:56

Jízdní obrys: K2A 3289 96 000km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 777.92 mm
 průměr levého kola 778.38 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,7
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5

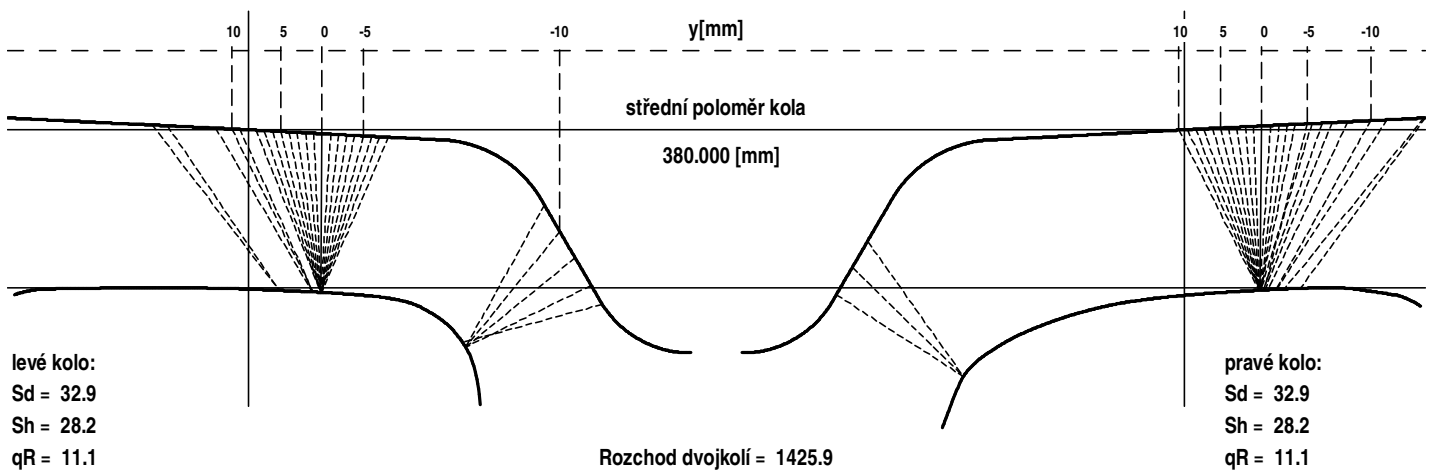
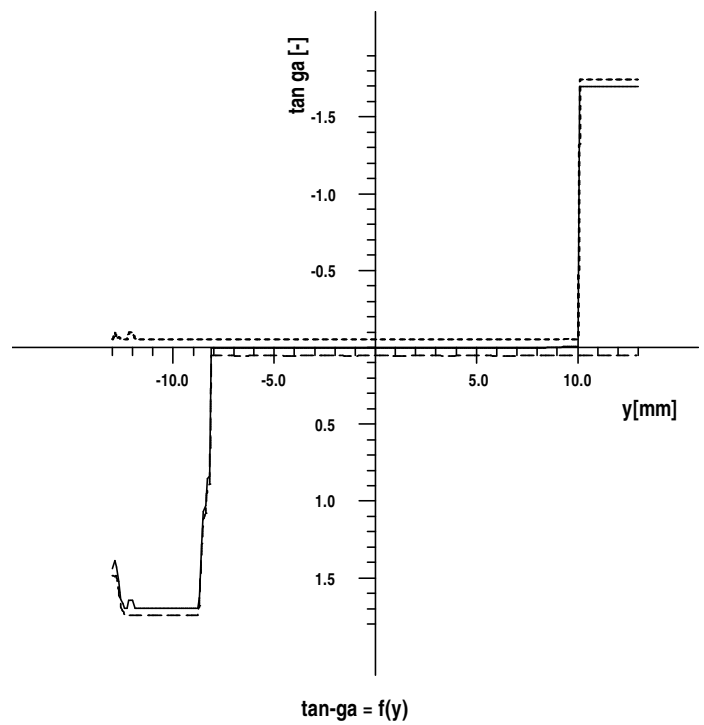
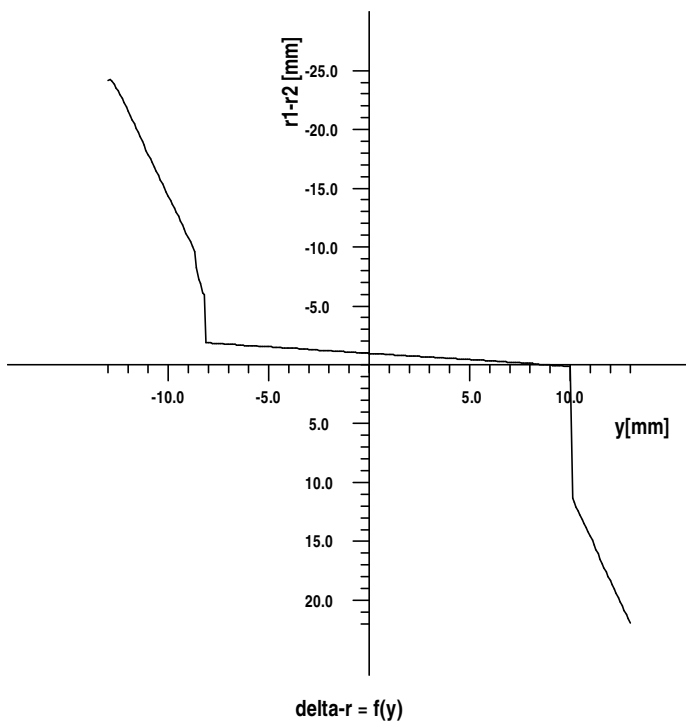
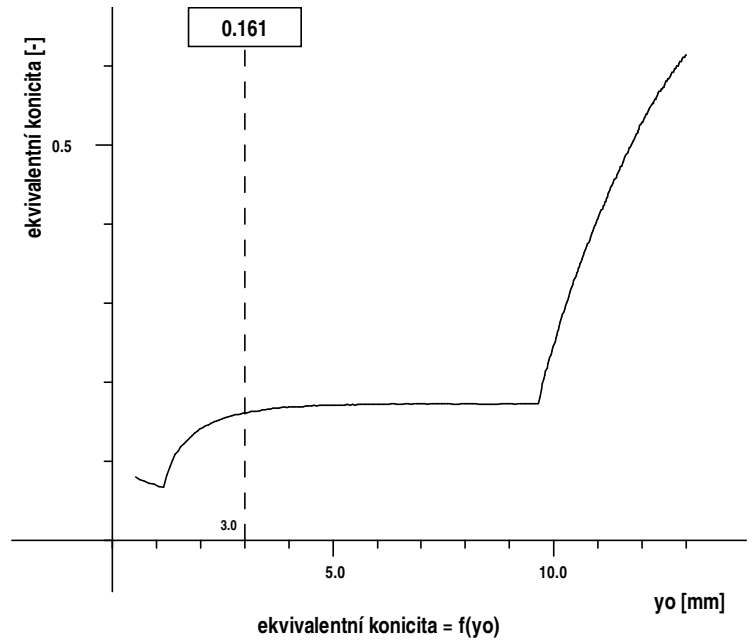


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 5:49:54

Jízdní obrys: Kuž Teor
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 760.00 mm
 průměr levého kola 760.00 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,7
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5

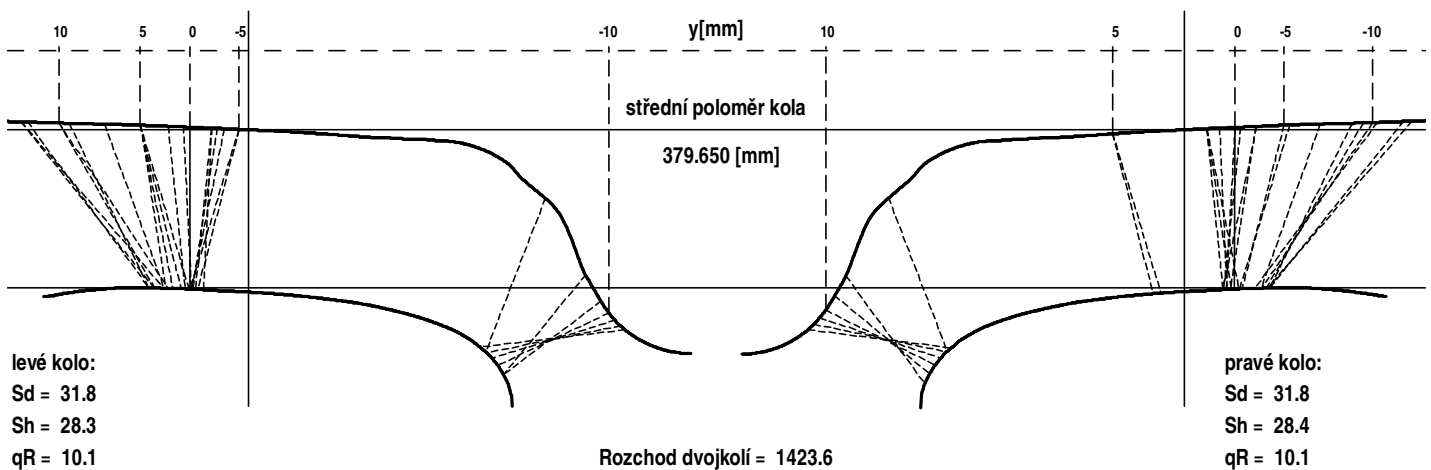
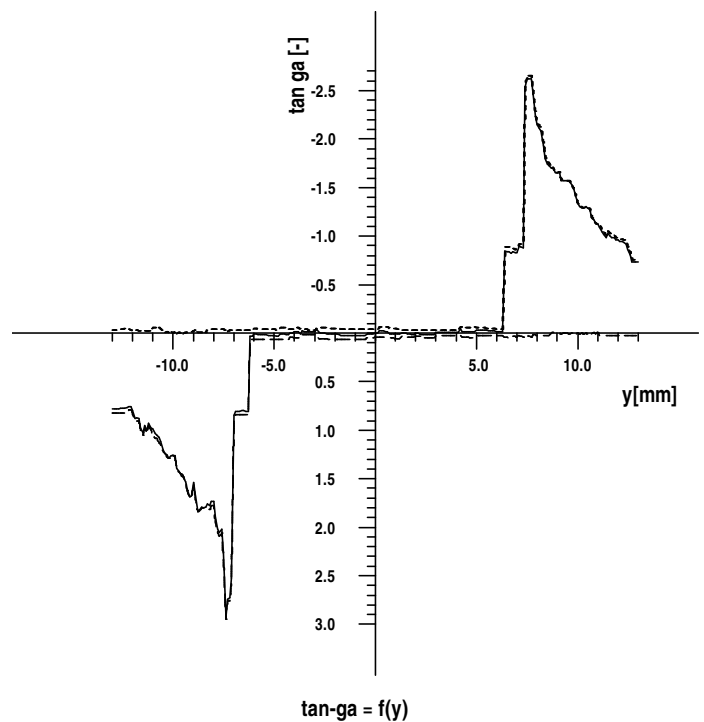
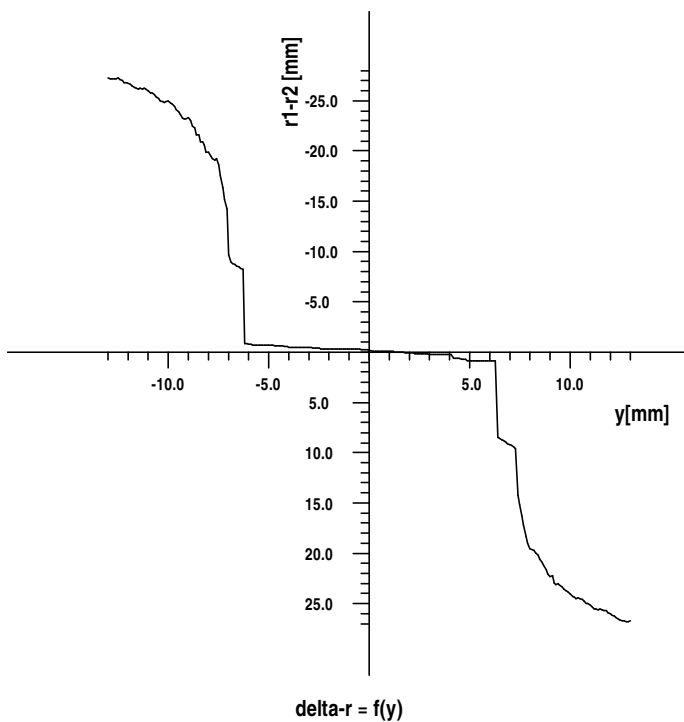
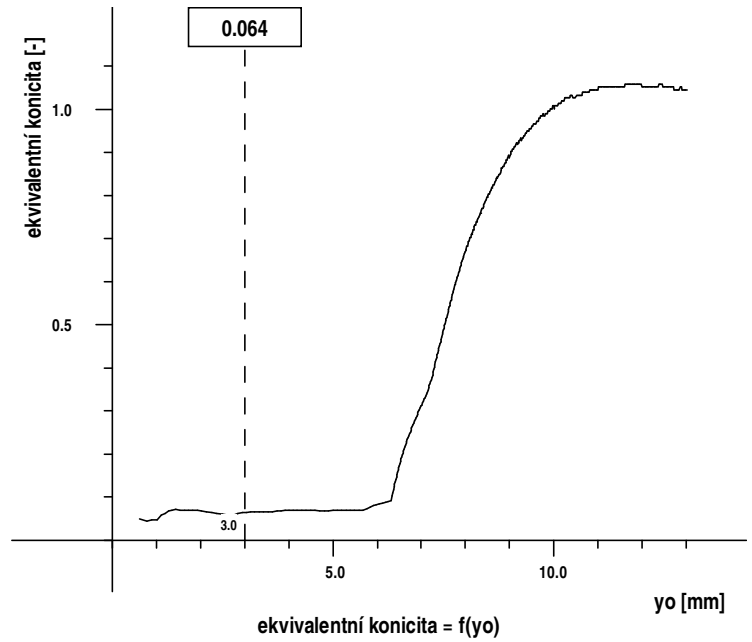


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

11. 3. 2016
 5:52:54

Jízdní obrys: Kužel 3336 16 508 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 759.10 mm
 průměr levého kola 759.50 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,9
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1434,5

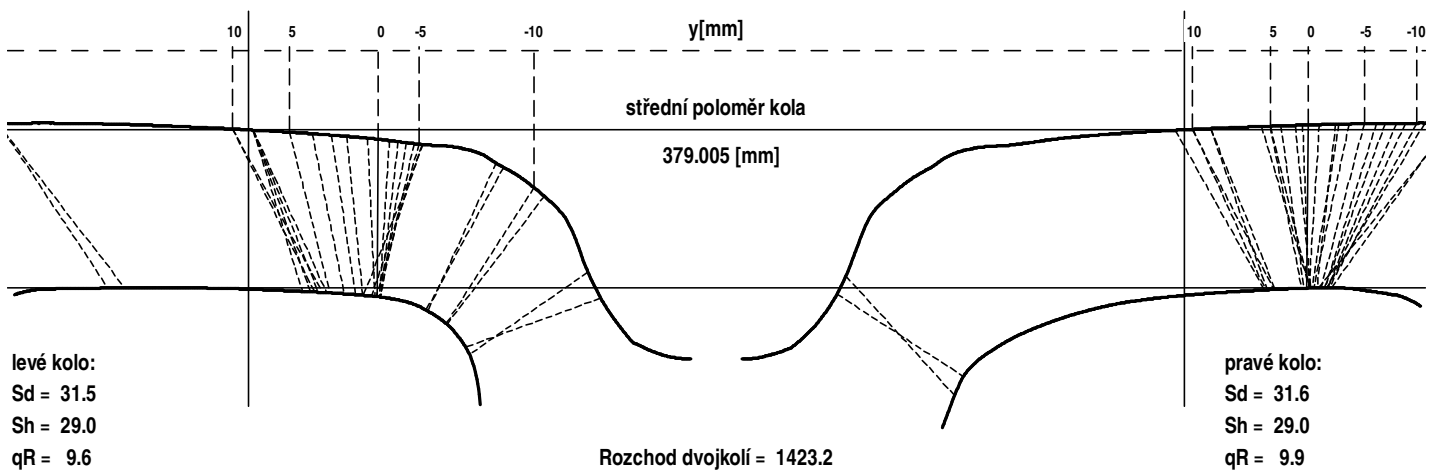
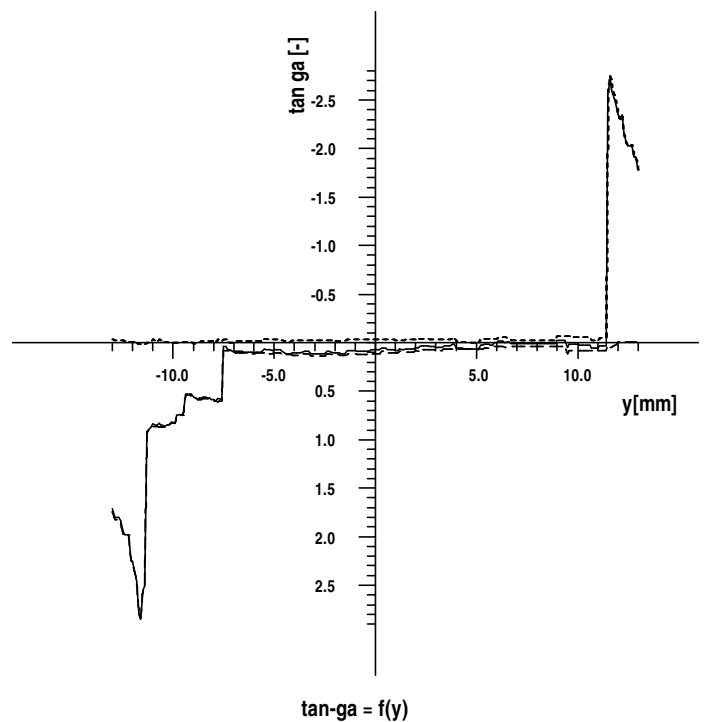
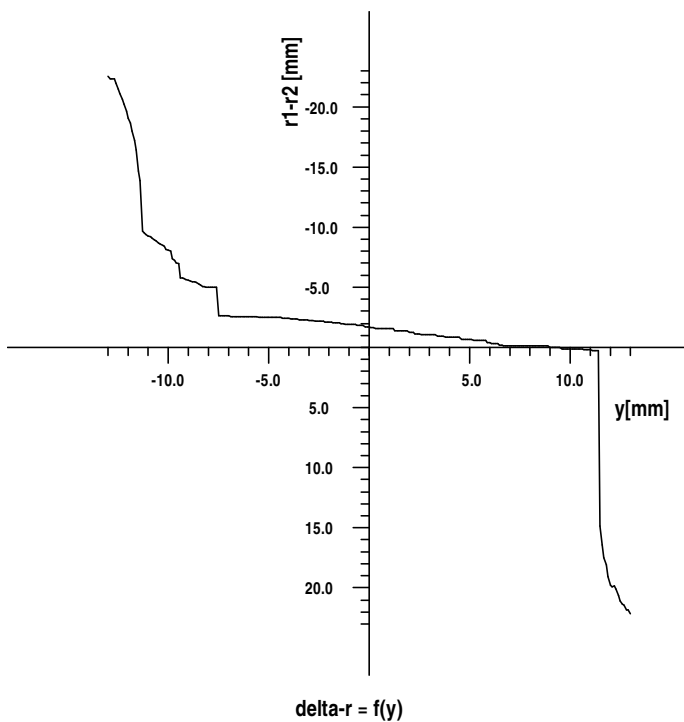
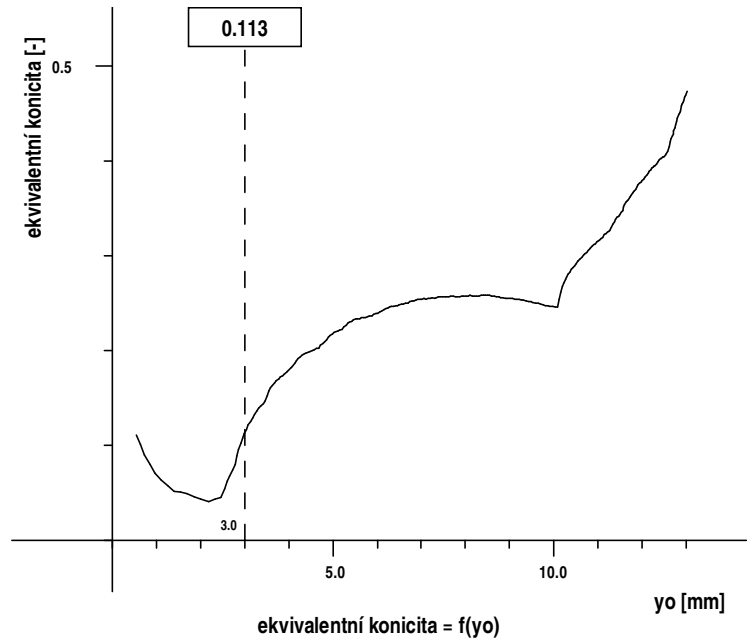


Výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

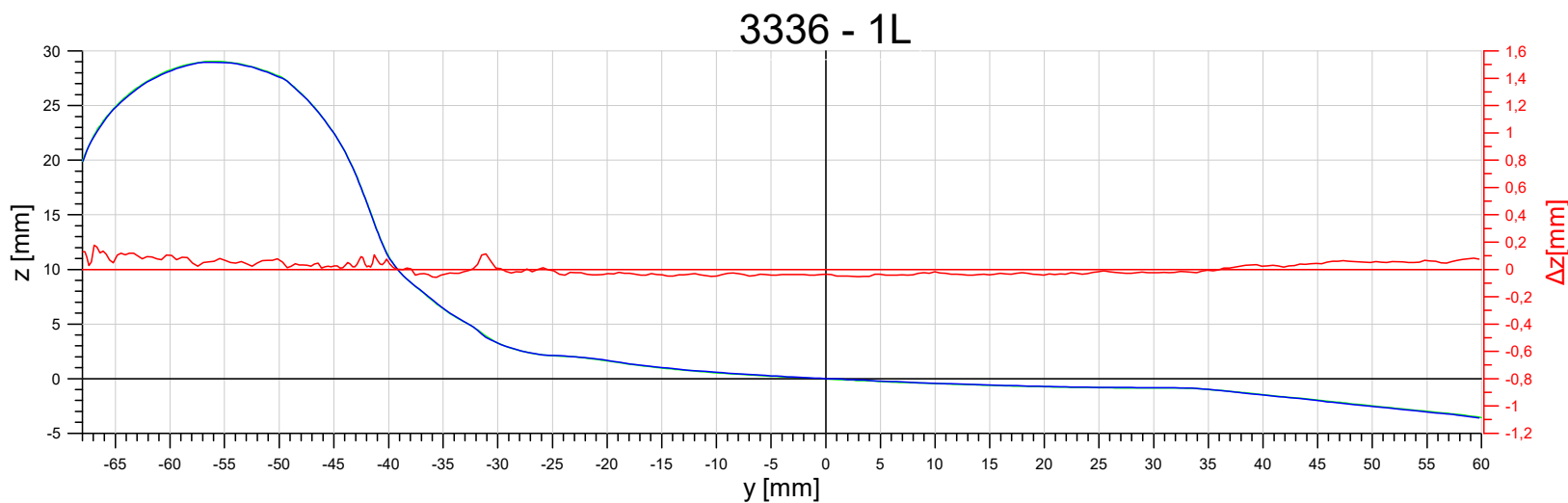
11. 3. 2016
 5:55:19

Jízdní obrys: Kužel 3336 69 000 km
 pravé kolo
 levé kolo
 průměr pravého kola 758.10 mm
 průměr levého kola 757.92 mm
 rozkolí dvojkolí 1360.0 mm

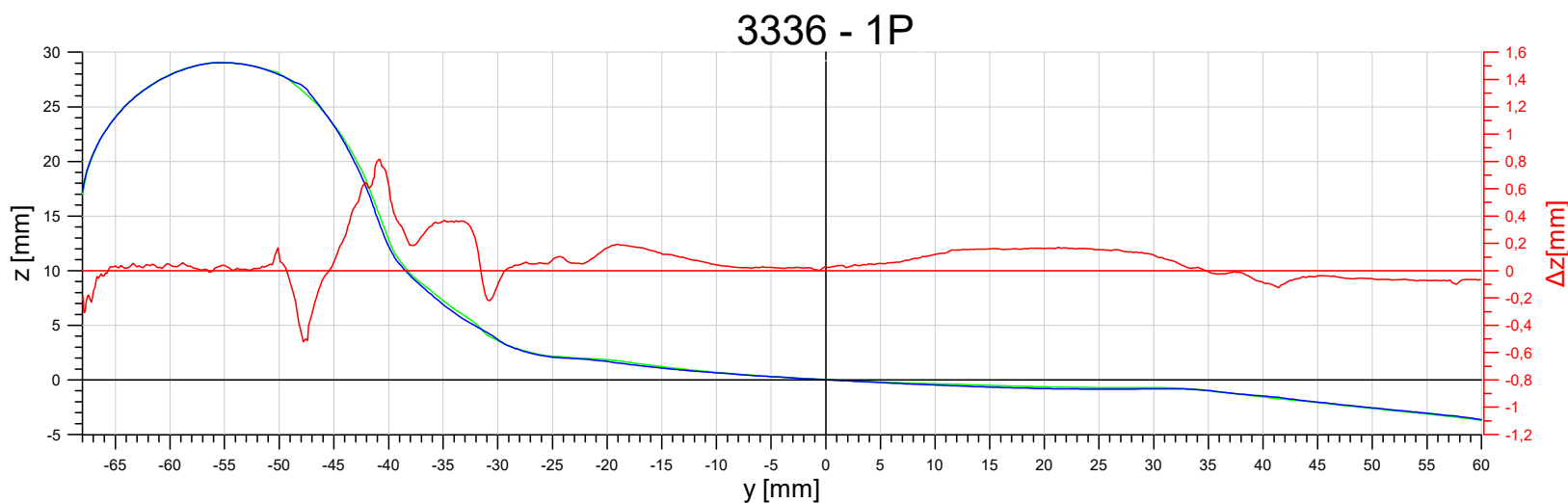
Kolejnice: Mustek - N. Rep. km 16,7
 pravá kolejnice
 levá kolejnice
 úklon kolejnic 1:20
 rozchod koleje 1442,5



Porovnání měření Calipri a MiniProof na měření vozu metra 3336 - 1L a 1P



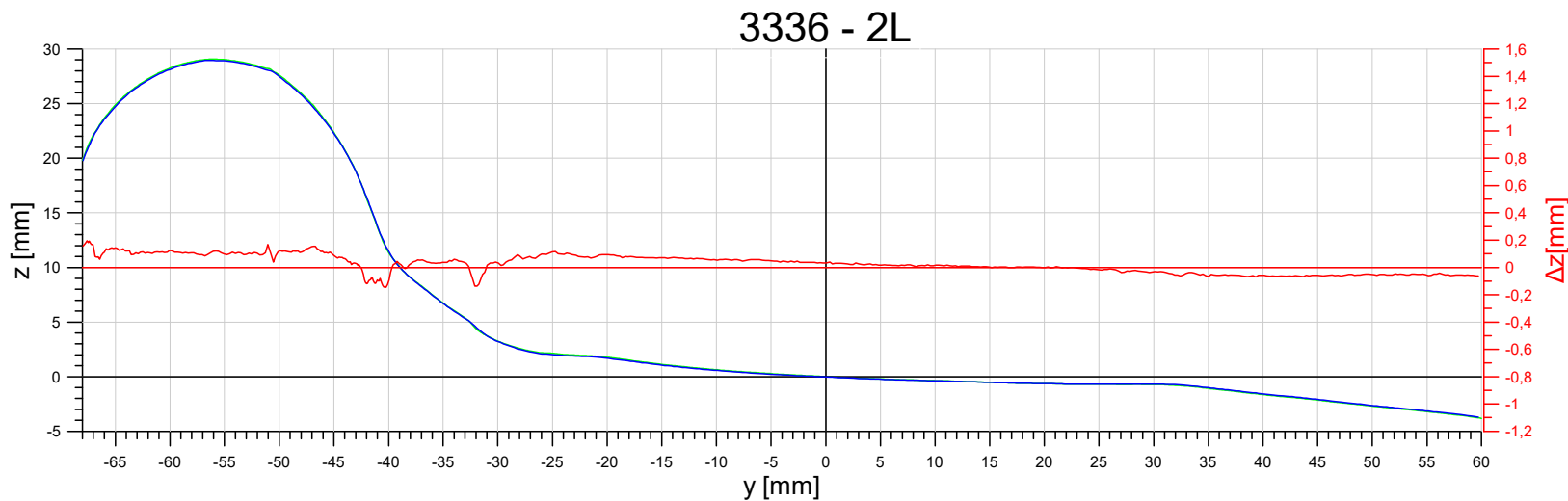
Stř. hodnota	0,011
Chyba stř. hodnoty	0,003
Medián	0,002
Směr. odchylka	0,050
Rozptyl výběru	0,002
Minimum	-0,058
Maximum	0,177



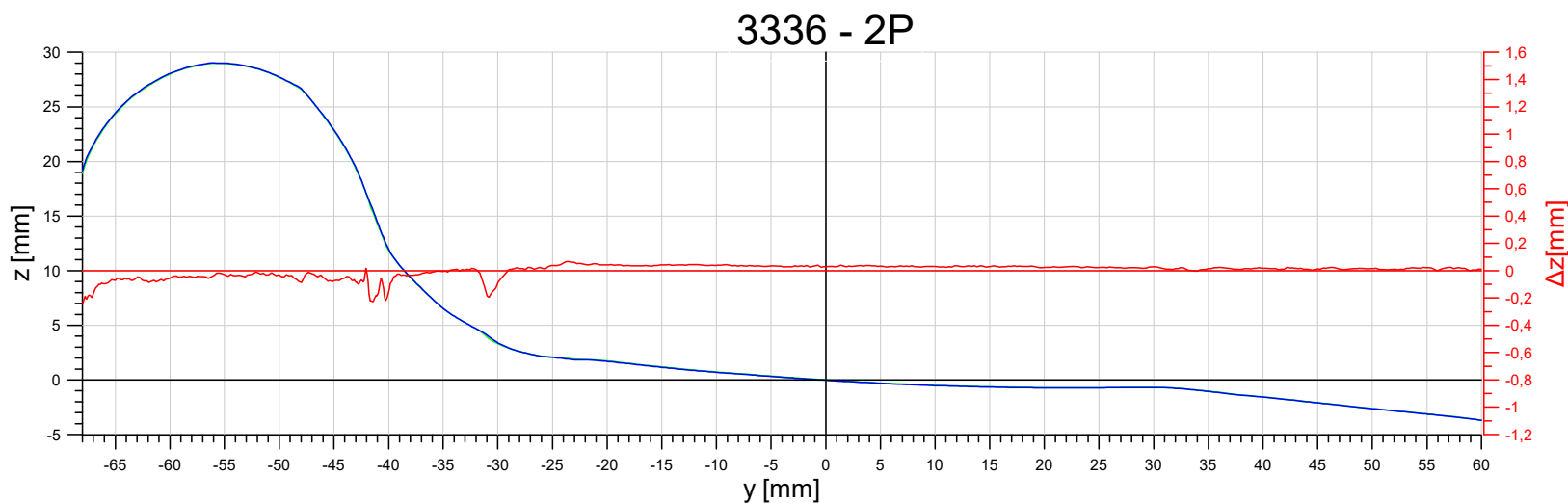
Stř. hodnota	0,084
Chyba stř. hodnoty	0,008
Medián	0,042
Směr. odchylka	0,200
Rozptyl výběru	0,040
Minimum	-0,520
Maximum	0,815

Legenda	
	MiniProof
	Calipri
	Rozdíl (Calipri - MiniProof)

Porovnání měření Calipri a MiniProof na měření vozu metra 3336 - 2L a 2P



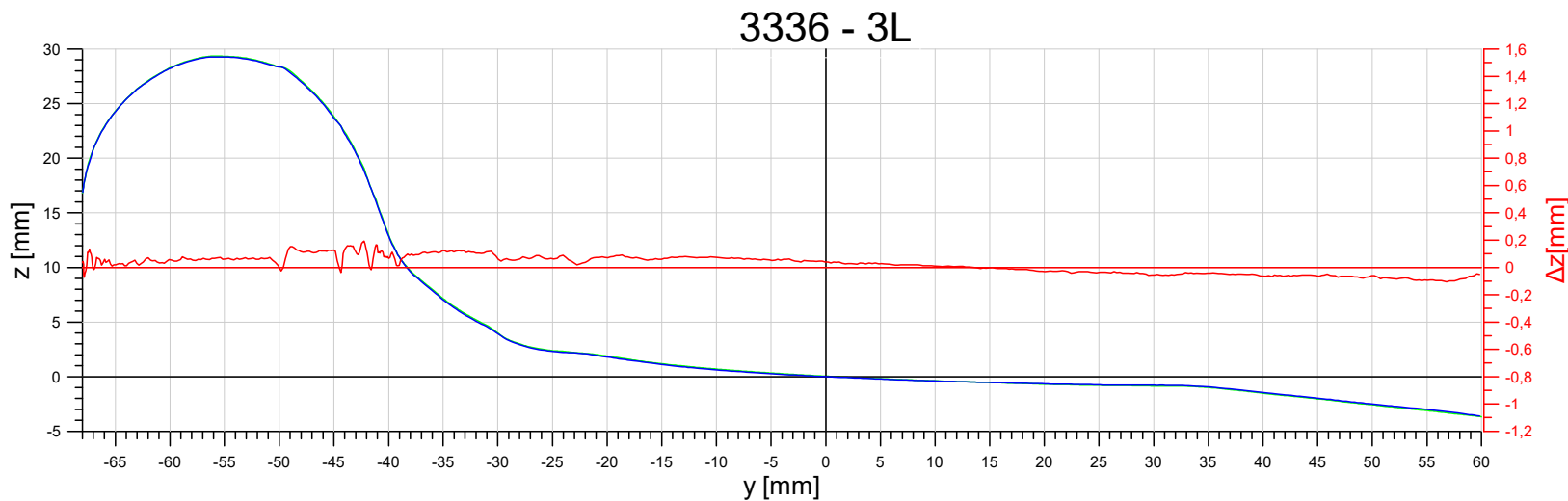
Stř. hodnota	0,025
Chyba stř. hodnoty	0,003
Medián	0,028
Směr. odchylka	0,070
Rozptyl výběru	0,005
Minimum	-0,147
Maximum	0,195



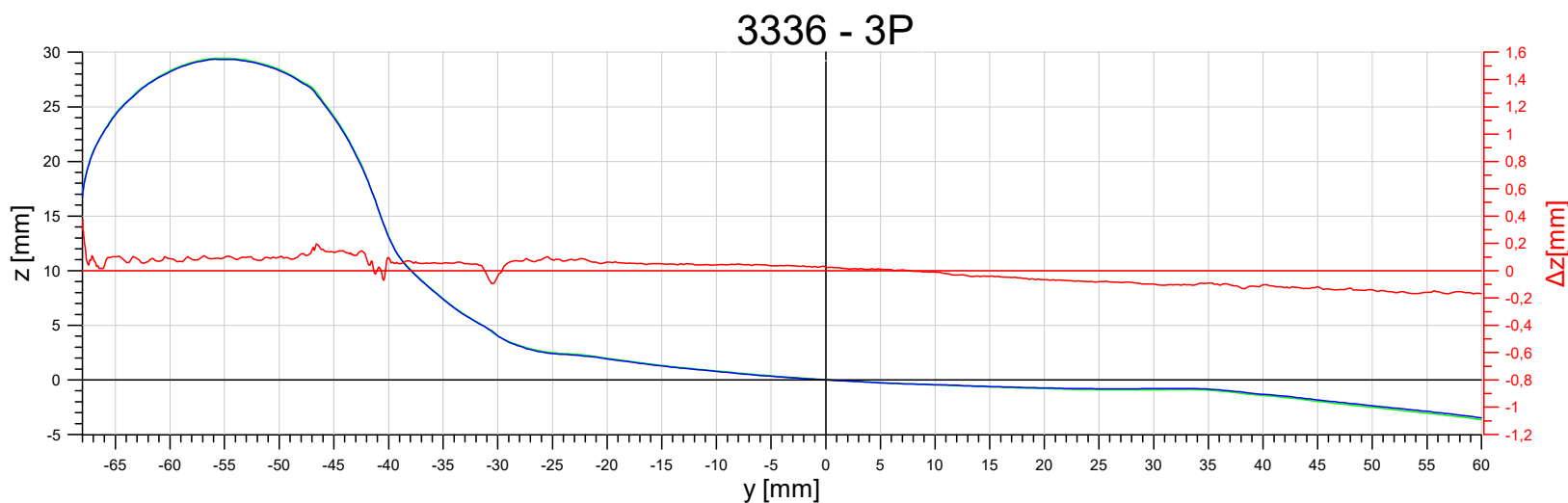
Stř. hodnota	-0,010
Chyba stř. hodnoty	0,003
Medián	0,016
Směr. odchylka	0,060
Rozptyl výběru	0,004
Minimum	-0,240
Maximum	0,068

Legenda	
	MiniProof
	Calipri
	Rozdíl (Calipri - MiniProof)

Porovnání měření Calipri a MiniProof na měření vozu metra 3336 - 3L a 3P



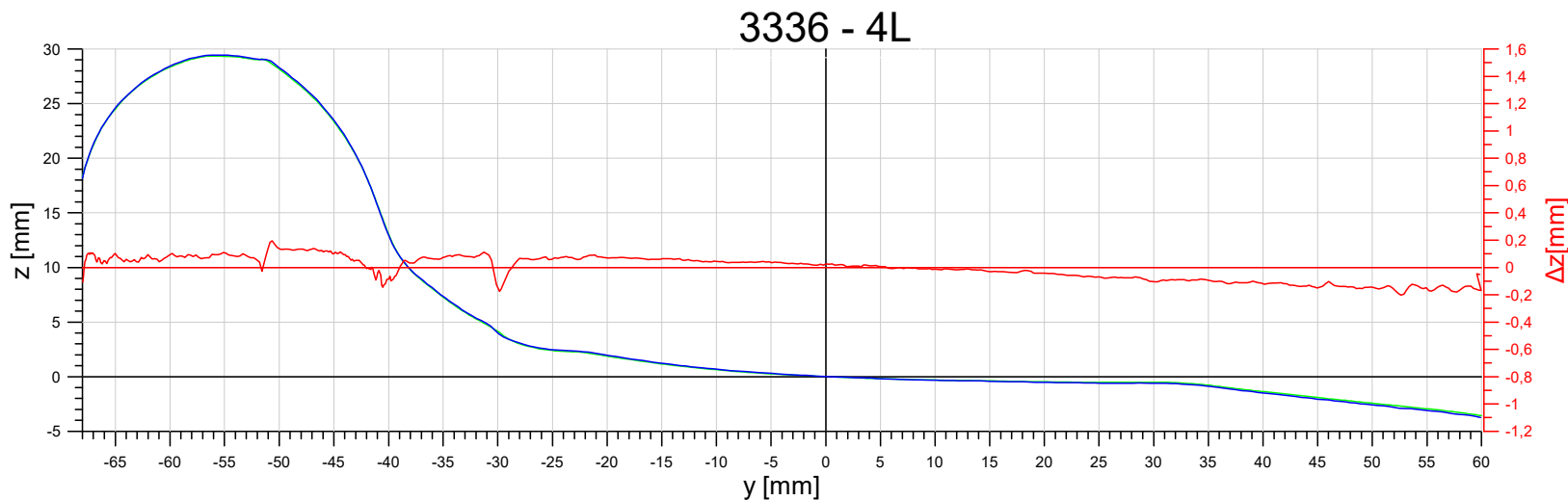
Stř. hodnota	0,028
Chyba stř. hodnoty	0,003
Medián	0,039
Směr. odchylka	0,066
Rozptyl výběru	0,004
Minimum	-0,105
Maximum	0,193



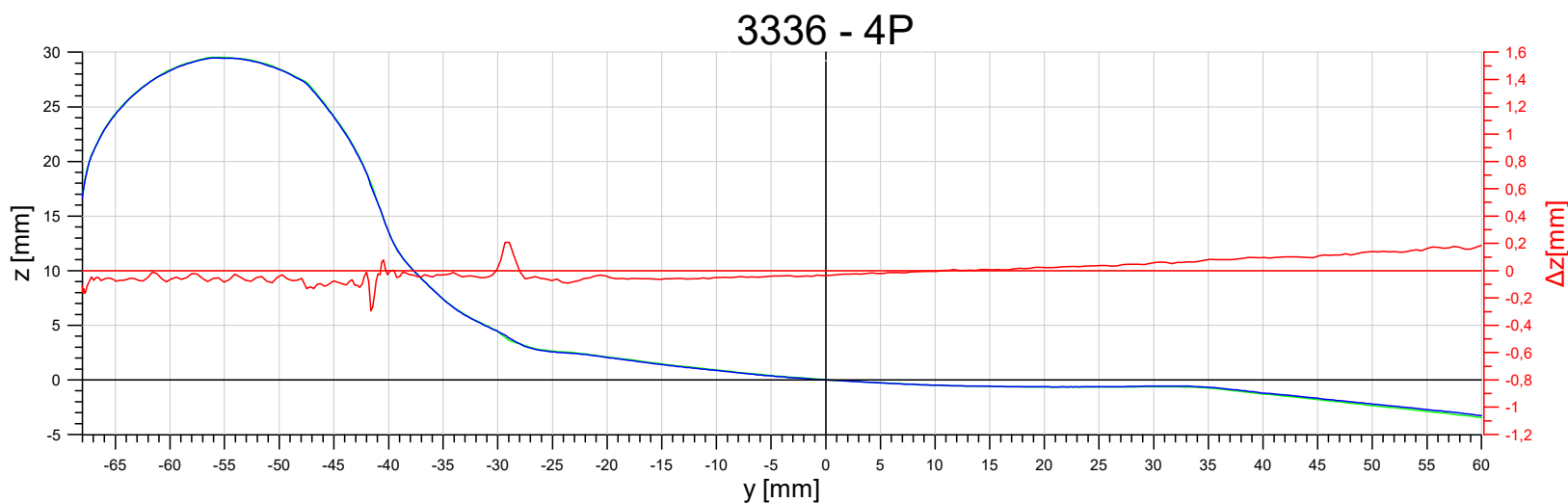
Stř. hodnota	0,008
Chyba stř. hodnoty	0,004
Medián	0,039
Směr. odchylka	0,094
Rozptyl výběru	0,009
Minimum	-0,170
Maximum	0,375

Legenda	
	MiniProof
	Calipri
	Rozdíl (Calipri - MiniProof)

Porovnání měření Calipri a MiniProof na měření vozu metra 3336 - 4L a 4P



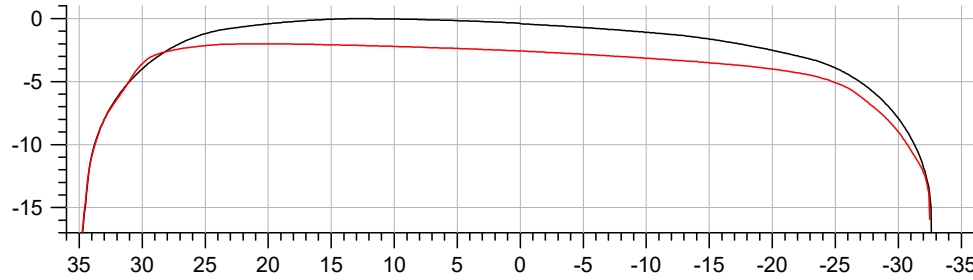
Stř. hodnota	-0,002
Chyba stř. hodnoty	0,004
Medián	0,022
Směr. odchylka	0,088
Rozptyl výběru	0,008
Minimum	-0,202
Maximum	0,194



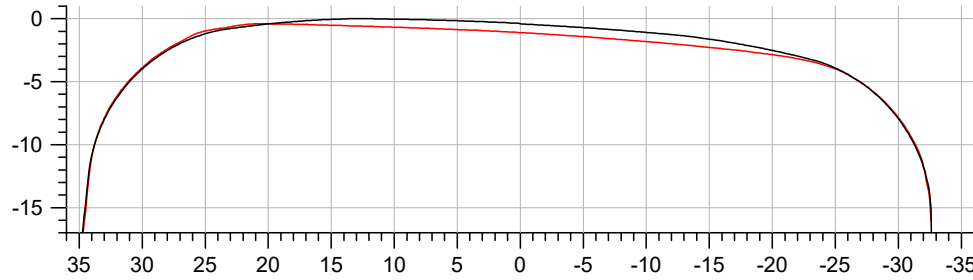
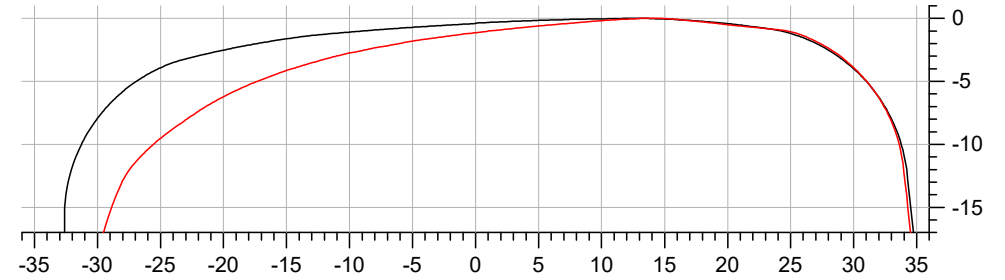
Stř. hodnota	-0,008
Chyba stř. hodnoty	0,005
Medián	-0,030
Směr. odchylka	0,080
Rozptyl výběru	0,006
Minimum	-0,295
Maximum	0,208

Legenda	
	MiniProof
	Calipri
	Rozdíl (Calipri - MiniProof)

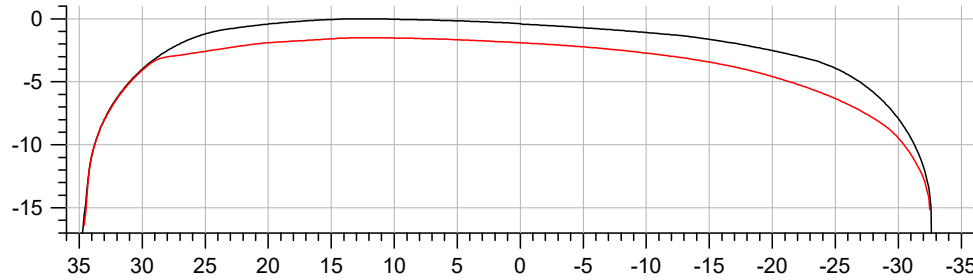
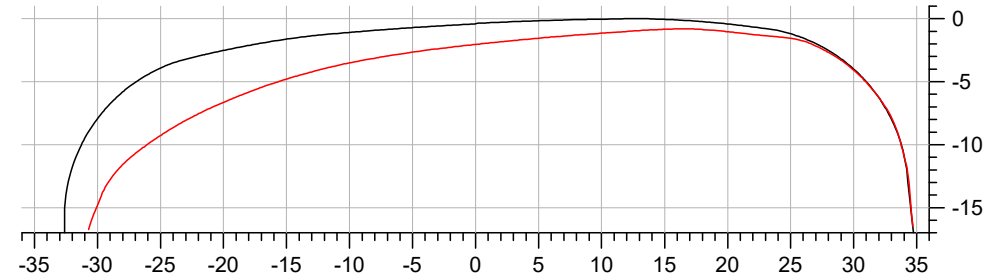
Měřené kolejnice pomocí Calipri



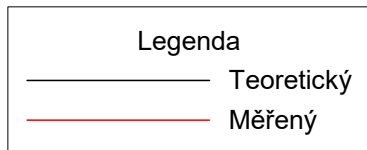
Můstek - Náměstí Republiky km 17,1 (rozchod neměřen)



Můstek - Náměstí Republiky km.16,7 (rozchod neměřen)

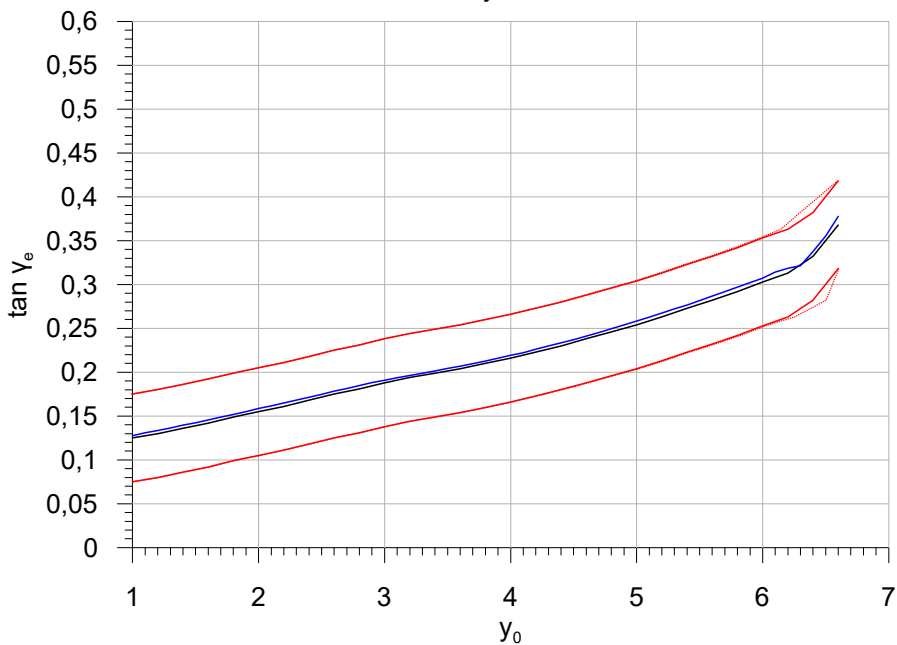


Můstek - Náměstí Republiky km 16,9 (rozchod neměřen)

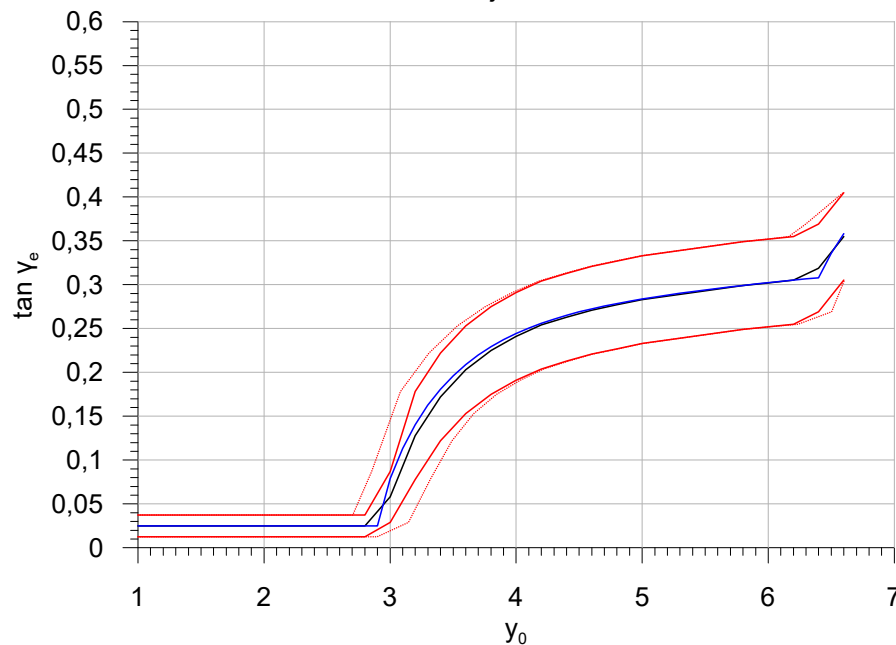


Validace softwaru Diana dne normy ČSN EN 15302

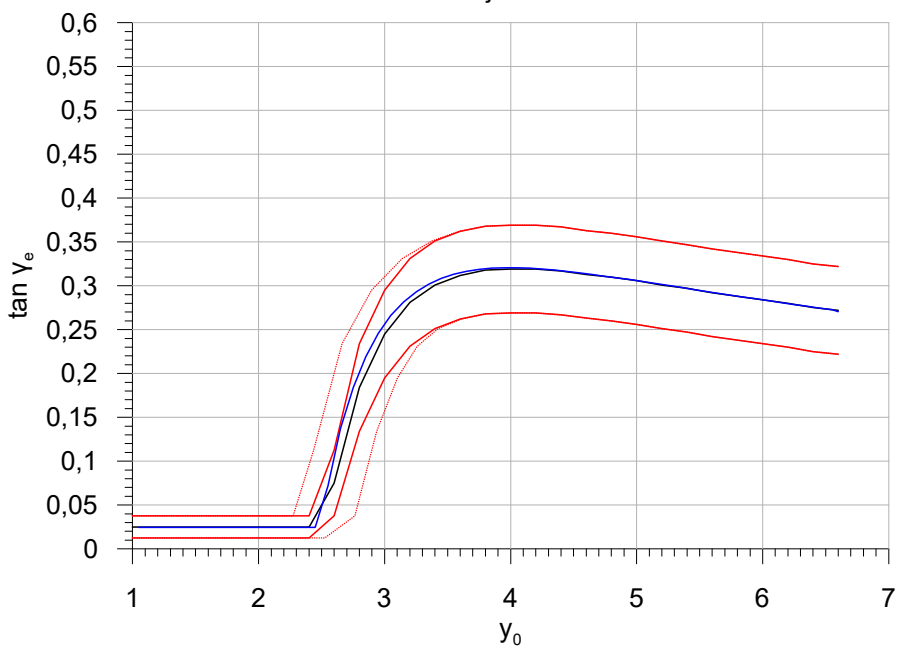
Kola A - Kolejnice A



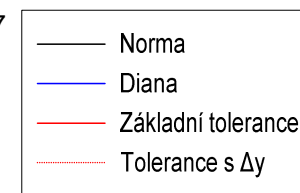
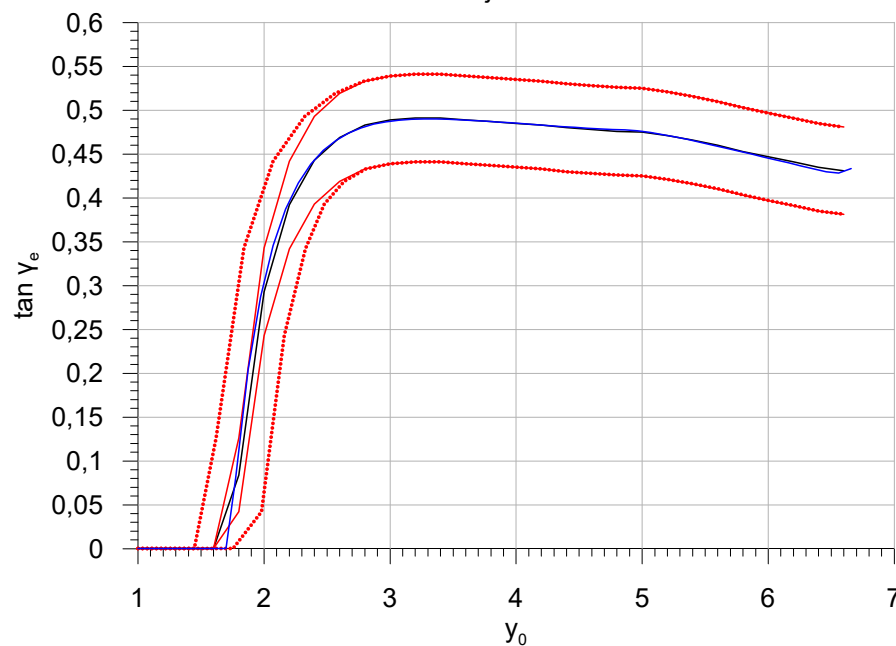
Kola B - Kolejnice A



Kola H - Kolejnice A

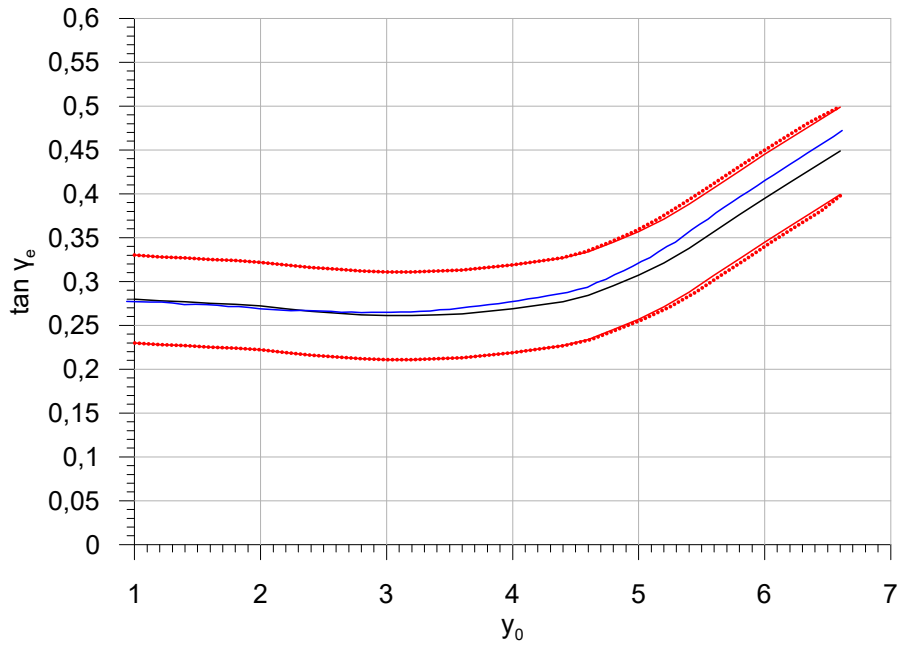


Kola I - Kolejnice A

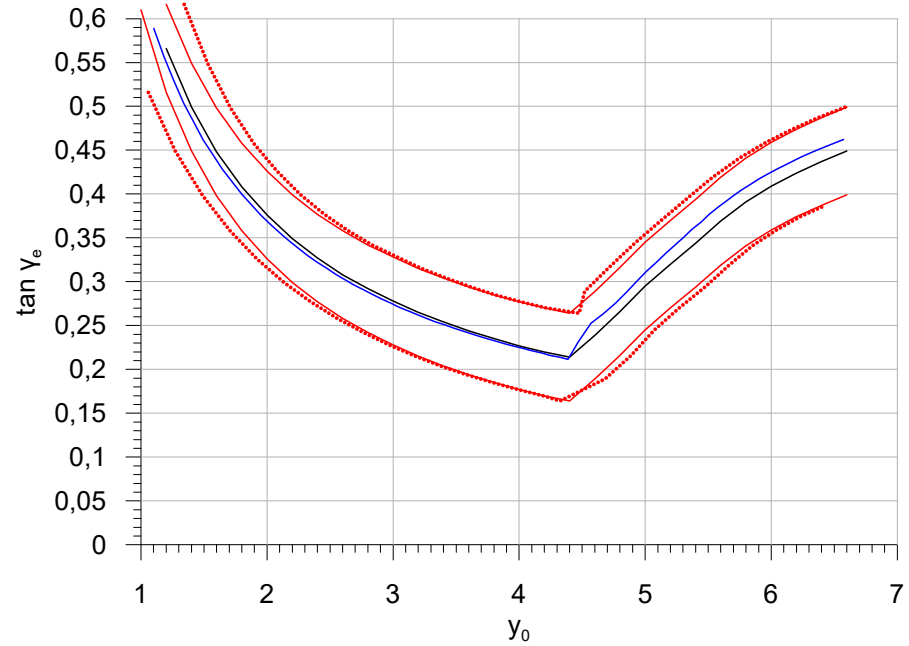


Validace softwaru Diana dne normy ČSN EN 15302

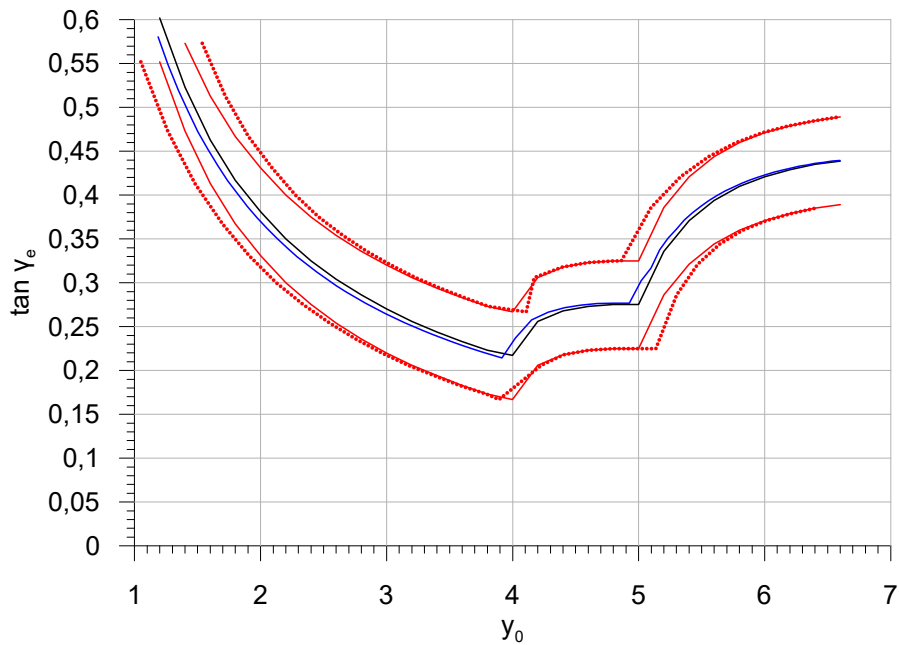
Kola A (- 2 mm na levém kole) - Kolejnice A



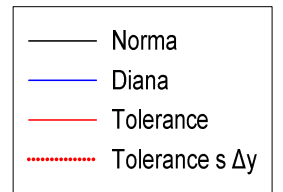
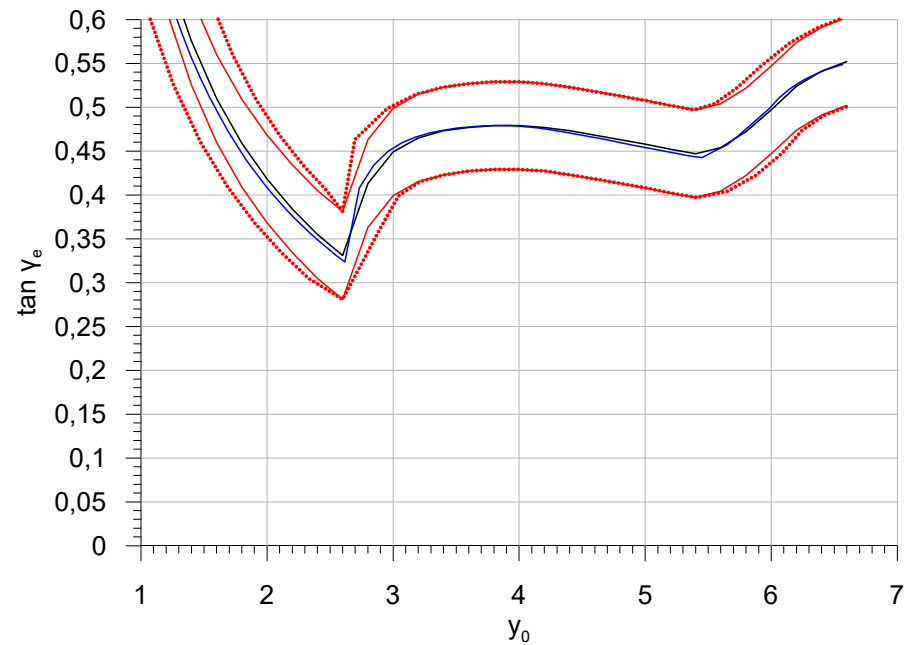
Kola B (- 2 mm na levém kole) - Kolejnice A



Kola H (- 2 mm na levém kole) - Kolejnice A

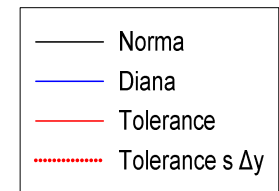
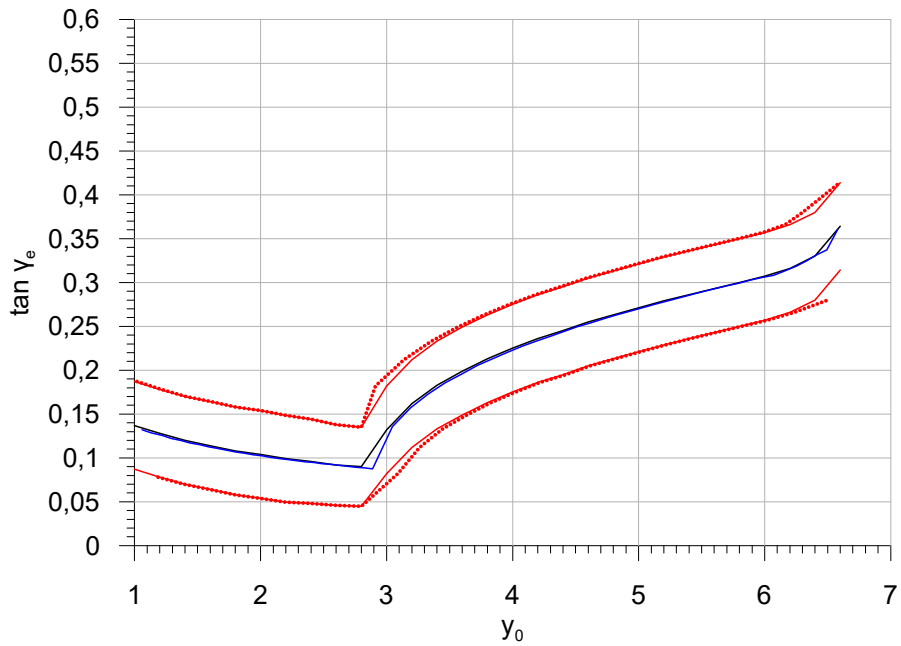


Kola I (- 2 mm na levém kole) - Kolejnice A

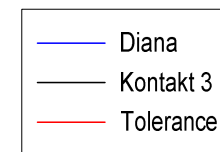
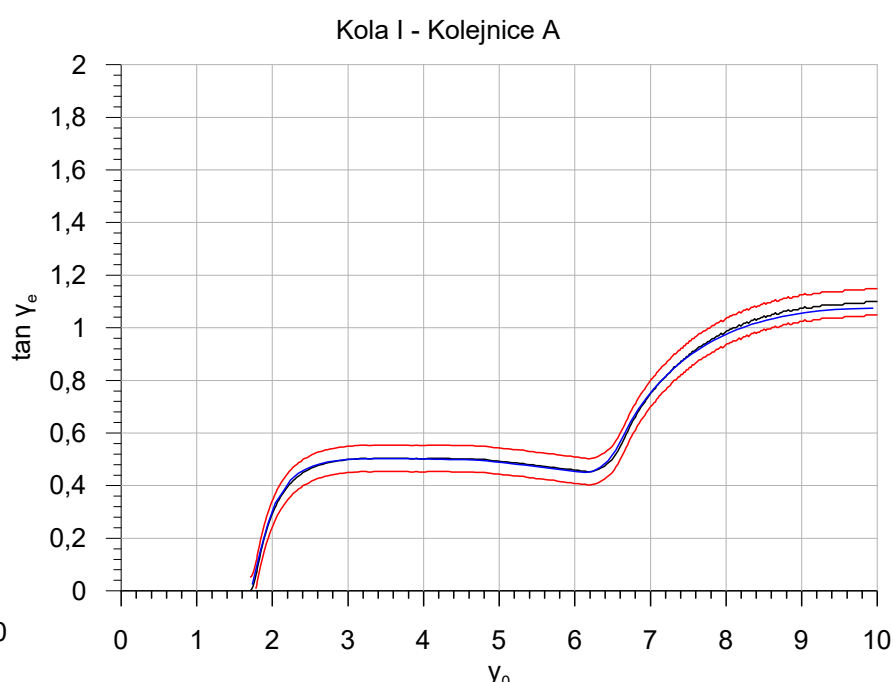
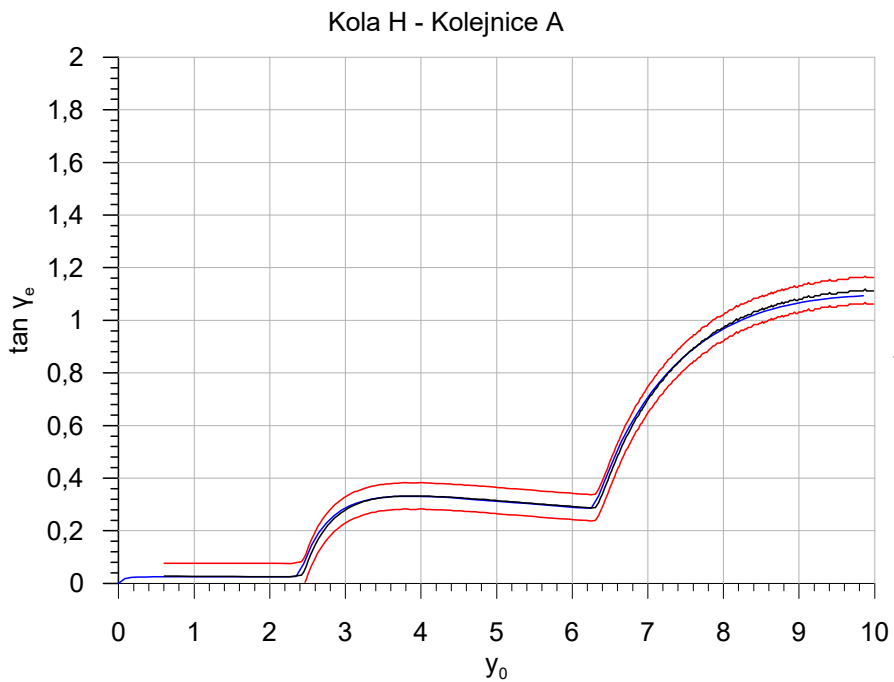
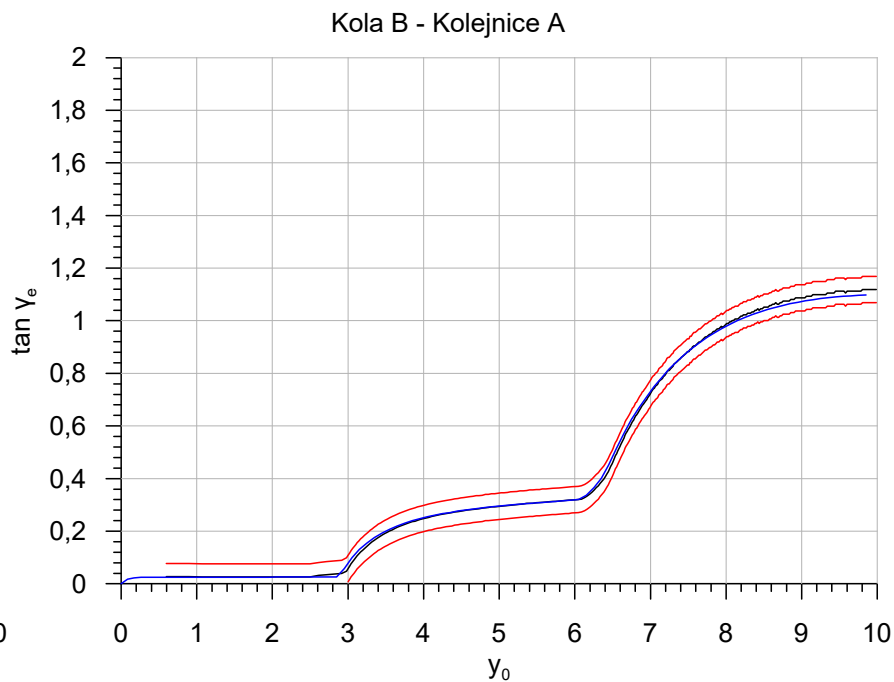
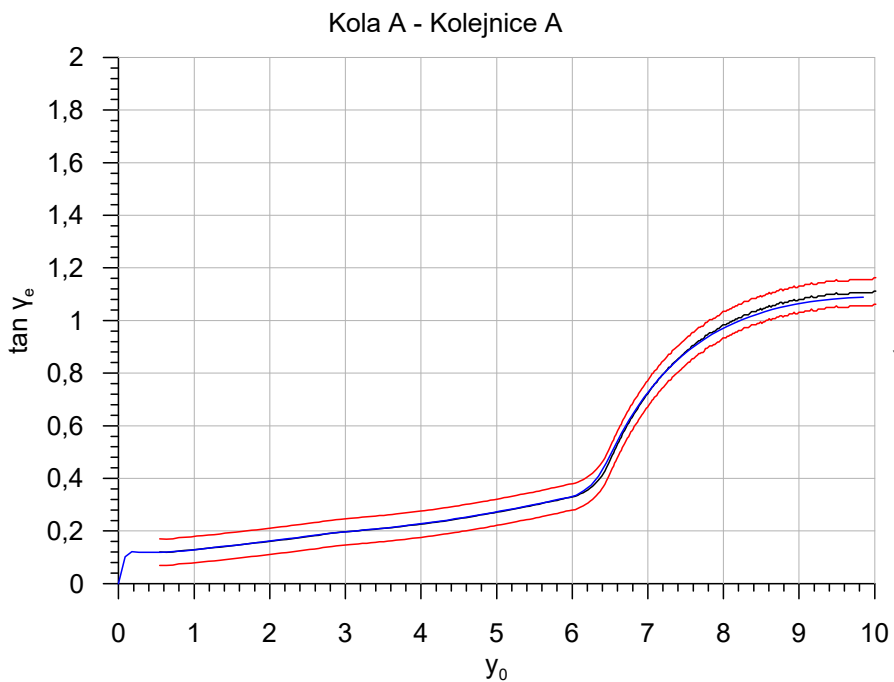


Validace softwaru Diana dne normy ČSN EN 15302

Kolo B (levé) + Kolo A (pravé) - Kolejnice A

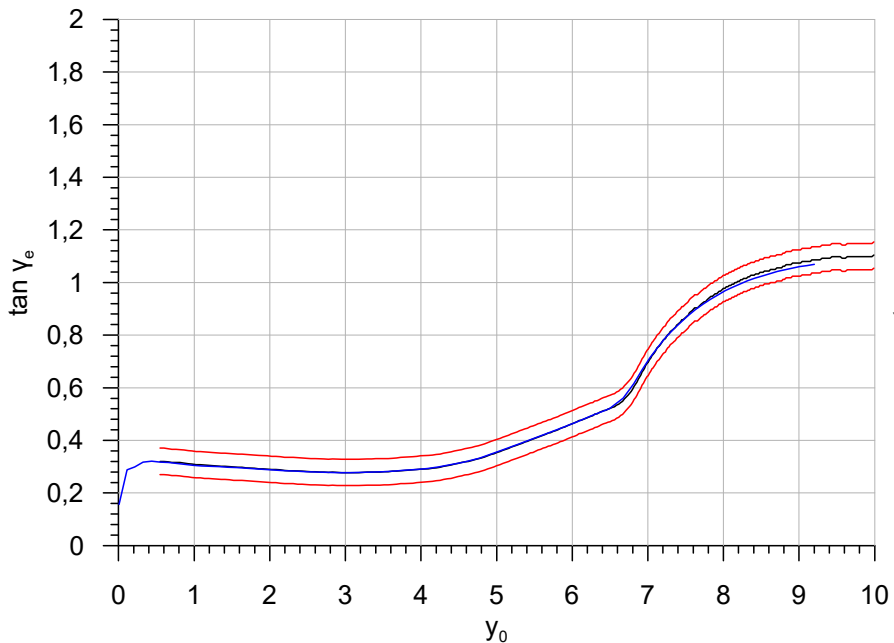


Validace softwaru Diana - porovnání s programem Kontakt 3 ve stylu normy ČSN 15 302

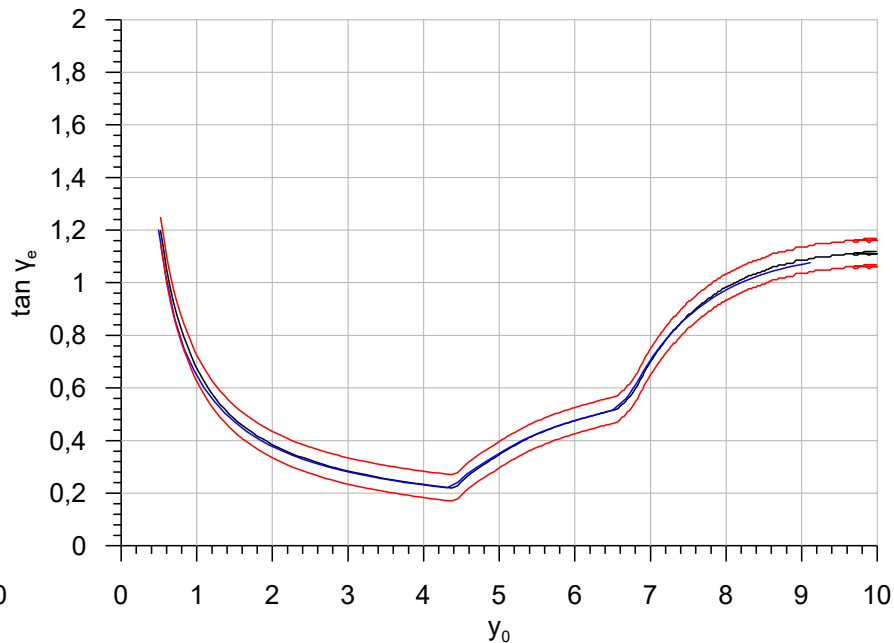


Validace softwaru Diana - porovnání s programem Kontakt 3 ve stylu normy ČSN 15 302

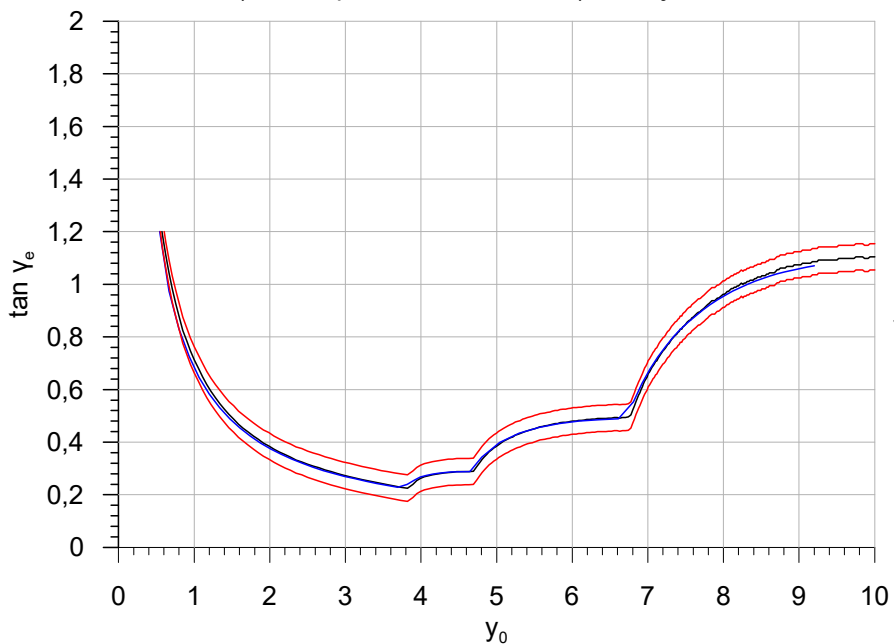
Kola A (- 2 mm průměru levého kola) - Kolejnice A



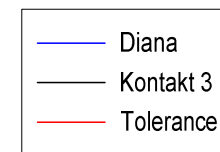
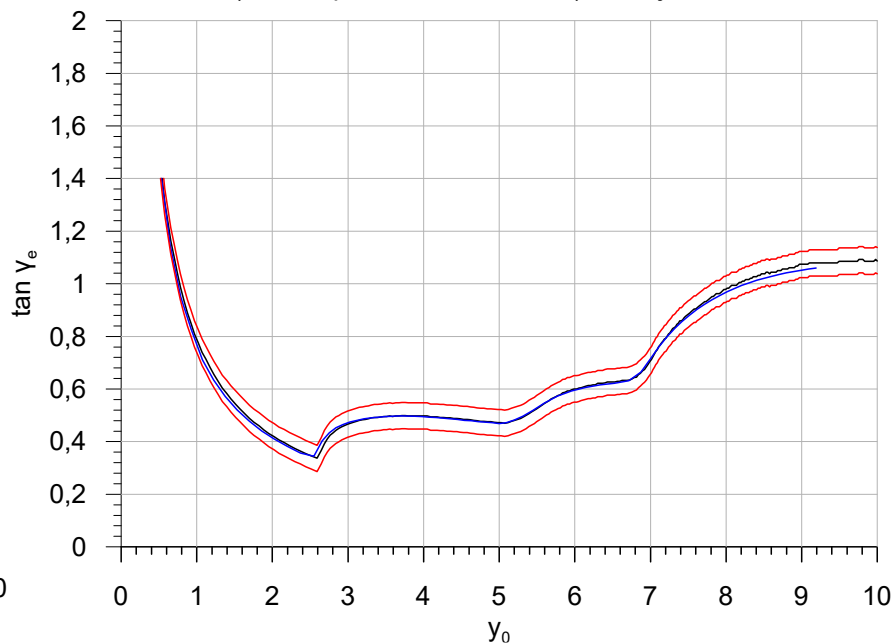
Kola B (- 2 mm průměru levého kola) - Kolejnice A



Kola H (- 2 mm průměru levého kola) - Kolejnice A



Kola I (- 2 mm průměru levého kola) - Kolejnice A



Validace softwaru Diana - porovnání s programem Kontakt 3 ve stylu normy ČSN 15 302

Kolo B (pevé) + Kolo A(pravé) - Kolejnice A

