



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

**OPOTŘEBENÍ KOLEJNIC V ÚSECÍCH
SE SMĚROVÝMI OBLOUKY MALÉHO POLOMĚRU**

RAIL WEAR IN TRACK CURVES OF SMALL RADII

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Schneider

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. OTTO PLÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2022

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav železničních konstrukcí a staveb
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	
Student	Bc. Martin Schneider
Název	Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru
Vedoucí práce	doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022
V Brně dne 31. 3. 2021	

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

ESVELD, C., Modern Railway Track. Second Edition. Delft, MRT – Production, 2001, 2nd ed. 654 p. ISBN 90-800324-3-3

LICHTBERGER, B. Handbuch gleis: Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit. Hamburg: Tetzlaff, 2003. ISBN 38-781-4803-8

Funke, Heinz. Broušení kolejnic. Praha: Elka Press. 1992. 122 str.

PLÁŠEK, O., ZVĚŘINA, P., SVOBODA, R., MOCKOVČIAK, M.: Železniční stavby.

Železniční spodek a svršek. 1. vyd., Brno: CERM, 2004. 291 str. ISBN 80-214-2621-7

Předpis SŽDC S3 Železniční svršek

Správa železnic, státní organizace: údaje o ojetí kolejnic ve vybraných úsecích, výstupy měření z diagnostického vozu.

Zásady pro vypracování

Diplomová práce je zaměřená na opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru v závislosti na zátěži, poloze hnacích vozů či náprav, sklonu trati, poloměrech atd. Cílem práce je vyhodnotit, jak se vyvíjelo ojetí kolejnic v úseku Brno Česká Třebová v souvislosti s nasazením souprav Railjet do provozu, a to se zahrnutím vlivu způsobu brzdění vlaků a rekuperace na různých sklonech koleje. Podrobně budou rozebrány změny ojetí kolejnic v jednom oblouku/poloměru se změnou sklonu, pro stejné sklony a různé poloměry (v úseku Skalice - Svitavy) v obou traťových kolejích.

Diplomová práce bude obsahovat:

- přehled současného stavu v oblasti ojíždění kolejnic v obloucích malého poloměru;
- zpracování výstupů měření diagnostického vozu ve zvoleném časovém období;
- porovnání vývoje ojetí kolejnic ve vybraných úsecích;
- závěrečné zhodnocení.

Struktura diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá ojetím kolejnic v obloucích malých poloměrů ($R < 500$ m) na celostátní koridorové trati v úseku mezi stanicemi Blansko a Svitavy. Řeší vliv podélného sklonu trati, směrových poměrů trati a skladby dopravy, zejména směru jízdy, na velikost bočního a svislého ojetí kolejnic. V práci je dále diskutován vliv kolejnicové oceli na výše zmíněné.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železniční stavby, opotřebení kolejnic, ojetí kolejnic, železniční svršek, kolejnice

ABSTRACT

The diploma thesis deals with a rail wear in curves with a small radius ($R < 500$ m), in the national corridor railway, between stations Blansko and Svitavy. The diploma thesis deals with the impact of the track gradient, the horizontal layout of the track, traffic composition, and direction of travel on the size of the horizontal and vertical rail wear. Also, the influence of rail steel grade is discussed in the diploma thesis.

KEYWORDS

Railway structures, rail wear, railway superstructure, rails

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Martin Schneider *Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru*. Brno, 2021. 137 s., 9 ks příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Bruntále dne 14. 1. 2022

Bc. Martin Schneider
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Opotřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Bruntále dne 14.1. 2022

Bc. Martin Schneider
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych touto cestou poděkovat především panu doc. Ing. Otto Pláškoví, Ph.D. za odborné vedení práce. Dále panu Ing. Stanislavu Schollemu, CSc. ze Správy železnic, státní organizace za pomoc při poskytnutí dat. Děkuji také dalším vyučujícím z Ústavu železničních konstrukcí a staveb za cenné rady, které mi pomohly tuto práci zpracovat, a za seznámení se zajímavým oborem.

Obsah

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE	12
1.1	DŮVOD ZKOUMÁNÍ OJETÍ KOLEJNIC.....	12
1.2	POPIS ZKOUMANÉHO ÚSEKU ŽELEZNIČNÍ TRATI	12
1.3	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	14
2.1	MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK.....	14
2.1.1	Ukázka dat: (179_0_178_0_19_1)	15
2.1.2	MĚŘÍCÍ SYSTÉM PŘÍČNÉHO PROFILU KOLEJNIC	15
2.2	OPOTŘEBENÍ KOLEJNIC	16
2.2.1	Ojetí	16
2.2.2	Materiál a tvar kolejnic.....	17
2.3	TEORETICKÝ POPIS INTERAKCE VOZIDLO - KOLEJ	17
2.3.1	Řídící síla	17
2.3.2	Vogelova metoda – vyšetření polohy podvozku (vozu) v oblouku	18
2.3.3	Heumannova metoda – velikost řídící síly.....	19
2.3.4	Síla od nevyrovnaného bočního zrychlení.....	20
2.3.5	Boční síla na podvozek vlivem tažení / sunutí.....	20
3	VOZIDLA A SKLADBA DOPRAVY	22
3.1	SKLADBA DOPRAVY	22
3.2	PROJETÁ ZÁTĚŽ.....	24
3.2.1	Projetá zátěž – vývoj v letech 2011 až 2020.....	24
3.2.2	Projetá zátěž – kumulativně (od r. 2011)	25
3.3	SOUPRAVY RAILJET.....	26
4	ZKOUMANÉ ÚSEKY	27
4.1	ÚSEK Č. 1 – KM 162,9.....	29
4.1.1	Popis úseku	29
4.1.2	Teoretický výpočet.....	30
4.1.3	Vyhodnocení ojetí.....	30
4.2	ÚSEK Č. 2 – KM 168,9.....	44
4.2.1	Popis úseku	44
4.2.2	Teoretický výpočet.....	44
4.2.3	Vyhodnocení ojetí.....	45
4.3	ÚSEK Č. 3 – KM 178,4.....	53
4.3.1	Popis úsek	53

4.3.2	Teoretický výpočet.....	53
4.3.3	Vyhodnocení ojetí.....	54
4.4	ÚSEK Č. 4 – KM 190,8: SLOŽENÝ OBLOUK	62
4.4.1	Popis úseku.....	62
4.4.2	Teoretický výpočet.....	63
4.4.3	Vyhodnocení ojetí.....	64
4.5	ÚSEK Č. 5 – KM 193,0.....	73
4.5.1	Popis úseku.....	73
4.5.2	Teoretický výpočet.....	73
4.5.3	Vyhodnocení ojetí.....	74
4.6	ÚSEK Č. 6 – KM 202,9.....	82
4.6.1	Popis úseku.....	82
4.6.2	Teoretický výpočet.....	82
4.6.3	Vyhodnocení ojetí.....	83
4.7	ÚSEK Č. 7 – KM 214,7.....	90
4.7.1	Popis úseku.....	91
4.7.2	Teoretický výpočet.....	91
4.7.3	Vyhodnocení ojetí.....	92
4.8	ÚSEK Č. 8 – KM 217,2.....	101
4.8.1	Popis úseku.....	101
4.8.2	Teoretický výpočet.....	102
4.8.3	Vyhodnocení ojetí.....	103
4.9	ÚSEK Č. 9 – KM 217,8.....	111
4.9.1	Popis úseku.....	111
4.9.2	Teoretický výpočet.....	111
4.9.3	Vyhodnocení ojetí.....	112
4.10	ÚSEK Č. 10 – KM 220,1.....	120
4.10.1	Popis úseku.....	120
4.10.2	Teoretický výpočet.....	120
4.10.3	Vyhodnocení ojetí.....	121
5	SROVNANÉ OJETÍ.....	127
5.1	Úsek č. 1.....	127
5.1.1	Kolej č. 1.....	127
5.1.2	Kolej č. 2.....	127
5.2	Úsek č. 2.....	127

5.2.1	Kolej č. 1	127
5.2.2	Kolej č. 2	128
5.3	Úsek č. 3.....	128
5.3.1	Kolej č. 1	128
5.3.2	Kolej č. 2	128
5.4	Úsek č. 4.....	129
5.4.1	Kolej č. 1	129
5.4.2	Kolej č. 2	129
5.5	Úsek č. 5.....	129
5.5.1	Kolej č. 1	129
5.5.2	Kolej č. 2	130
5.6	Úsek č. 6.....	130
5.6.1	Kolej č. 1	130
5.6.2	Kolej č. 2	130
5.7	Úsek č. 7.....	130
5.7.1	Kolej č. 1	130
5.7.2	Kolej č. 2	130
5.8	Úsek č. 8.....	131
5.8.1	Kolej č. 1	131
5.8.2	Kolej č. 2	131
5.9	Úsek č. 9.....	131
5.9.1	Kolej č. 1	131
5.9.2	Kolej č. 2	131
5.10	Úsek č. 10.....	131
5.10.1	Kolej č. 1	131
5.10.2	Kolej č. 2	132
5.11	Shrnutí	132
6	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ – BOČNÍ OJETÍ VNĚJŠÍHO KOLEJNICOVÉHO PÁSU.....	133
7	ZÁVĚR.....	136
7.1	Nárůst ojetí po délce kružnicové části oblouku	137
7.2	Predikce bočního ojetí vnějších kolejnicových pásů	137
7.3	Doporučení.....	137
8	POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA	138
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	138
10	SEZNAM TABULEK.....	139

11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	140
---	-----

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 DŮVOD ZKOUMÁNÍ OJETÍ KOLEJNIC

K výrobě odlišných typů kolejnic se v současné době používají oceli různé kvality. Aby nedocházelo ke zbytečnému plýtvání veřejnými i přírodními zdroji, je potřeba zkoumat jejich opotřebovávání (v našem případě ojíždění). Na základě zjištěných skutečností je nutné navrhnout adekvátní konstrukci železničního svršku, případně správné časy jeho údržby, tj. časy broušení, či frézování kolejnic.



Obrázek 1-1: R19-Svitava, Brno hl. n. - Praha-Smíchov. Vlak projíždějící řešenými úseky právě odjíždějící ze stanice Brno hl. n..

1.2 POPIS ZKOUMANÉHO ÚSEKU ŽELEZNIČNÍ TRATI

Řešené úseky se nacházejí na 1. tranzitním železničním koridoru, který je hlavním železničním tahem mezi Děčínem a Břeclaví.



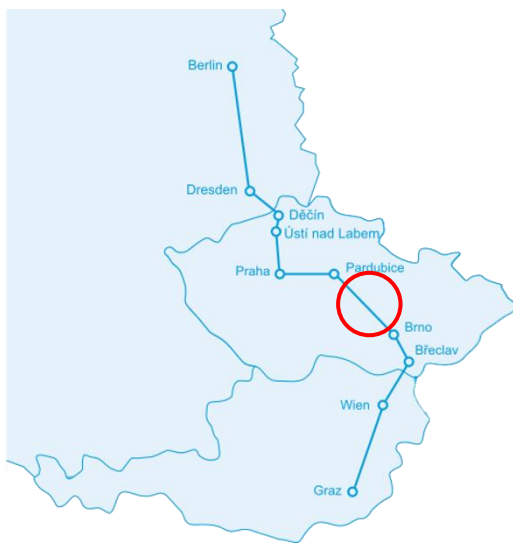
Obrázek 1-2: První železniční koridor; kružnice značí oblast zájmu; zdroj: wiki

Konkrétně byl vybrán úsek mezi Brnem a Českou Třebovou. Hlavním důvodem výběru byla jeho velká vytíženost a skutečnost, že se na něm nachází velké množství oblouků s malými poloměry ($R < 500$ m).

Typická skladba železničního svršku je ve sledovaném úseku následující:

- betonový pražec B 91 S; rozdělení pražců „u“
- kolejnice UIC 60 z roku 1998, pravděpodobně v průběhu let přebroušené z profilu 60 E1 na profil 60 E2, případně po výměně.

Výše uvedená skladba neplatí ve všech případech. Ve zkoumaných úsecích se nachází i výjimky. Minimálně v jednom úseku se nachází pražce SB8, v některých úsecích či kolejích se nachází kolejnice 49 E1.



Obrázek 1-3: Schématická trasa souprav Railjet; červená kružnice vyznačuje oblast zájmu; zdroj [3]

V úseku se od r. 2015 pohybují soupravy Railjet, které směrem do Brna jezdí v režimu tažení a směrem do Pardubic v režimu sunutí. Tato skutečnost problematiku ojetí kolejnic komplikuje.

1.3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo prověřit:

- zda existuje souvislost mezi opotřebením (ojetím) kolejnic v obloucích malých poloměrů a podélným sklonem trati;
- vliv poloměru směrového oblouku koleje a jeho příp. změny ve složeném oblouku na velikost a způsob ojetí;
- vliv použité kolejnicové oceli na velikost a způsob ojetí;
- vliv sunutí a tažení souprav na velikost a způsob ojetí.

Na závěr je navržena hrubá predikce bočního ojíždění kolejnic v analyzovaných obloucích.

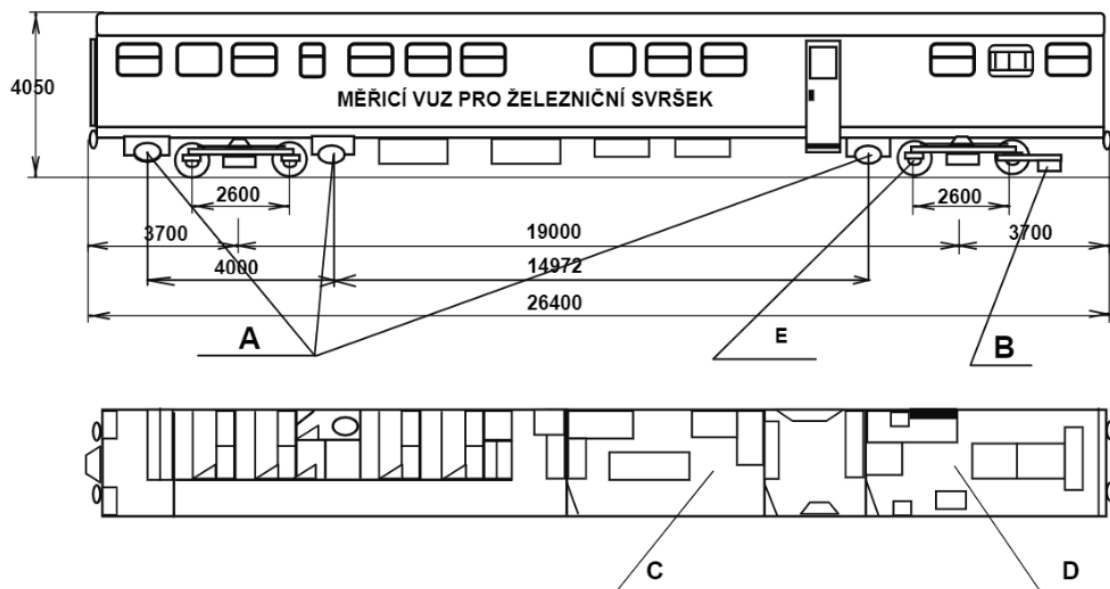
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK

Centrum telematiky a diagnostiky Správy železnic, státní organizace používá pro měření parametrů konstrukčního a geometrického uspořádání koleje (GPK) měřicí vůz pro železniční svršek.

Měřicí vůz měří:

- rozchod koleje;
- křivost koleje;
- směr koleje;
- převýšení koleje;
- zborcení koleje;
- podélnou výšku koleje;
- mikrogeometrii povrchu hlavy kolejnic – vlnkovitost;
- **ojetí kolejnic**, zásadní pro tuto diplomovou práci;
- hodnocení odezvy vozidla (vra).



Obrázek 2-1: Schéma MV pro železniční svršek; **B** značí umístění zařízení pro snímání příčného profilu kolejnic; zdroj [13]



Obrázek 2-2: Měřicí vůz pro železniční svršek; zdroj: wiki

Celostátní koridorová trať se měří 3krát ročně. SŽ, s. o. byla poskytnuta data k oběma kolejím vždy z prvního měření od roku 2011, ve formátu .txt.

V případě, že nebylo ojetí při 1. měření změřeno, byla poskytnuta data z 2. měření.

2.1.1 Ukázka dat: (179_0_178_0_19_1)

Data z r. 2019; km178,416 až km178,415; 1. měření.

_KM.M__	V_MP	RK_CEL	KK_KS	PK_CEL	WRL_H	WRL_V	WRR_H	WRR_V
178.416	19.00	12.05	37.74	133.33	0.04	-7.36	-3.60	-3.28
178.41575	19.00	12.00	37.73	133.41	0.04	-7.44	-3.56	-3.28
178.41550	19.00	11.97	37.72	133.47	0.04	-7.44	-3.56	-3.28
178.41525	19.00	12.00	37.72	133.49	0.04	-7.44	-3.56	-3.28
178.415	19.00	12.08	37.71	133.51	0.04	-7.44	-3.56	-3.28

ZKRATKY V ZÁHLAVÍ:

KM.M – staničení

V_MP – rychlost jízdy měřicího vozu

RK_CEL – rozchod koleje

KK_KS – kvazistatická křivost

PK_CEL – převýšení koleje

WRL_H – „wear of rail, left, horizontal“ = boční ojetí levého kolejnicového pásu

WRL_V – „wear of rail, left, vertical“ = svislé ojetí levého kolejnicového pásu

WRR_H – „wear of rail, right, vertical“ = boční ojetí pravého kolejnicového pásu

WRR_V – „wear of rail, right, vertical“ = svislé ojetí pravého kolejnicového pásu

2.1.2 MĚŘICÍ SYSTÉM PŘÍČNÉHO PROFILU KOLEJNIC

Měřicí systém příčného profilu kolejnic umožňuje měření pojížděné části příčného profilu obou kolejnicových pásů. Pro tato měření jsou využity zadní snímací jednotky těživového systému *GPK*. Kamery těchto jednotek snímají obraz příčného

profilu vytvořený laserovým paprskem. Následně je obraz porovnán se vzorovým tvarem kolejnice, který je automaticky detekován. Zjištěné odchylky určují míru ojetí kolejnic.

Systém pro svoji činnost využívá vestavěného zdroje světla (laserového), kterým je kolejnice osvětlena. Pomocí digitální kamery je pak snímán a zaznamenán obraz. Následně je provedena analýza obrazu a jsou vypočteny příslušné parametry kolejnice. *Zdroj [13]*

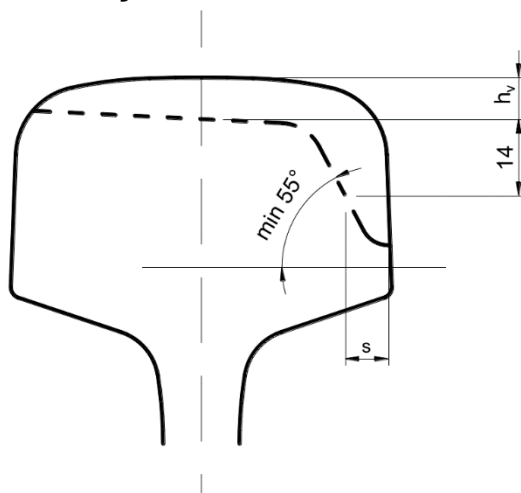
Měřící vůz vyhodnocuje ojetí ve vzdálenostech 0,25 m (v předpise je uvedeno 1 m).

2.2 OPOTŘEBENÍ KOLEJNIC

Kolejnice se opotřebovávají korozí a ojetím. Práce se zaměřuje pouze na ojetí, neboť je pro tuto práci klíčové. Tvar a míra ojetí závisí na konstrukčním a geometrickém uspořádání koleje, velikosti projeté zátěže [hrt/rok], rychlosti souprav, kvalitě oceli kolejnic, na tvaru kolejnic (kdy např. 60 E1 se ojíždí rychleji než 60 E2) a na jízdním obrysu kol, resp. stavu jejich opotřebení. V současné době se nová dvojkolí vybavují jízdním obrysem UIC ORE. Míra ojetí závisí také na poměru tvrdosti mezi materiálem obruče kol železničních vozidel a materiálem kolejnice. Zde se udává za optimální poměr 1,2. $\frac{\text{Tvrdost kola}}{\text{Tvrdost kolejnice}} = 1,2$

Zdroj [2]

2.2.1 Ojetí



Obrázek 2-3: Ojetí hlavy kolejnice; zdroj [2]

Ojetí se měří 14 mm pod spojnicí temen kolejnic (TK). Může nabývat i kladných hodnot – jedná se o vznik převalků, které vznikají při roztlačení hlavy kolejnice do stran při průjezdu vlaků s přebytkem převýšení. Ojetí lze popsat a srovnávat pomocí tzv. srovnaného ojetí h . [2]

$$h = h_v + 0,5 * s$$

rovnice č. 1

h_v vertikální (svislé) ojetí měřené 14 mm pod spojnicí TK
 s boční ojetí měřené 14 mm pod spojnicí TK

2.2.2 Materiál a tvar kolejnic

Ve sledovaném úseku se nachází kolejnice tvaru UIC 60, který je v současné době označován jako 60 E1. Používá se pro hlavní koleje zatížených tratí, někdy i pro první předjízdne koleje provozně zatížených železničních stanic.

V úsecích se nachází kolejnice z kolejnicových ocelí R260 a R350HT. Ocel R260 je nejběžněji používaná ocel na našich tratích. Jedná se o uhlíkatou, perlitickou ocel bez tepelného zpracování či legování. Kolejnice z oceli R350HT mají tepelně opracovanou hlavu.

Pozorování naznačují minimálně 2x vyšší otěruvzdornost a odolnost vůči kontaktně únavovým vadám u kolejnic z oceli R350HT než u kolejnic z oceli R260. Kolejnice z této kolejnicové oceli (R350HT) je vhodné použít do oblouků malých poloměrů na silně vytižených tratích, aby se minimalizovaly náklady na jejich výměnu.

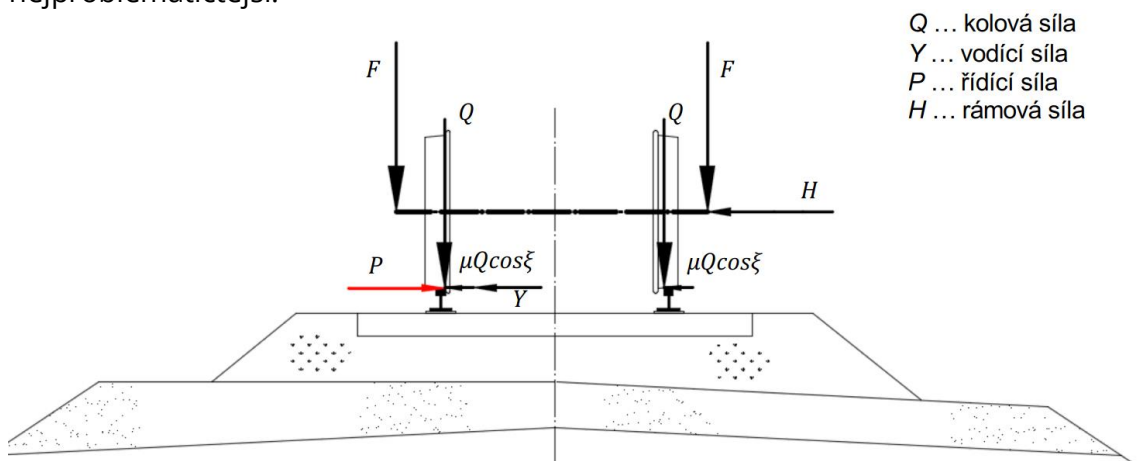
Informace získány z literatury [12].

2.3 TEORETICKÝ POPIS INTERAKCE VOZIDLO - KOLEJ

Mezi vozidlem a kolejnicemi vznikají při průjezdu obloukem příčné síly. Velikost těchto sil je ovlivňována celou řadou faktorů – rychlostí vozidla V , hmotností vozidla m , poloměrem oblouku R , převýšením koleje D , rozvorem podvozku či vozu d , součinitelem tření na kontaktu kolo – kolejnice f , rozchodem koleje u , či jeho rozšířením rozchodu koleje Δu , rozchodem dvojkolí a tuhostí kolejnic, či tuhostí konstrukce vozidla.

2.3.1 Řídící síla

Řídící síla je síla, která působí na vnější kolo 1. nabíhajícího dvojkolí. Její velikost souvisí s velikostí vodící síly Y . Velikost vodící síly souvisí s bočním ojížděním vnějšího kolejnicového pásu, které je v obloucích malých poloměrů nejproblematictější.



Obrázek 2-4: Síly působící na 1. nabíhající dvojkolí. μ značí součinitel tření, ξ je úhel z obr. 2-6, F je síla od hmotnosti vozu či HV. Zdroj [15]

Vozidlo zaujme v oblouku takovou polohu, při které je řídící síla P_1 minimální.

Pokud je poloměr oblouku R malý a rozvor podvozku d malý, může nastat vzpříčená poloha, při které působí nepravá řídící síla. Ta bočně ojíždí vnitřní

kolejnicový pás. Vzpříčená poloha se dá částečně eliminovat pomocí rozšíření rozchodu koleje Δu .

2.3.2 Vogelova metoda – vyšetření polohy podvozku (vozu) v oblouku

Podvozek (vůz) může při průjezdu obloukem zaujmout jednu ze tří stabilních poloh: vzpříčenou, statickou nebo těťivovou (viz. obr. 2-5.). Vlivem dynamických jevů může podvozek dočasně zaujmout také další polohy mezi výše uvedenými, vždy se ale po chvíli ustálí v jedné z poloh stabilních.

Polohu podvozku nebo vozu určíme pomocí úhlu náběhu α .

$$\alpha = \frac{x}{r}; \alpha_1 = \frac{d}{2r}; \alpha_2 = \frac{2a_p}{d}$$

rovnice č. 2

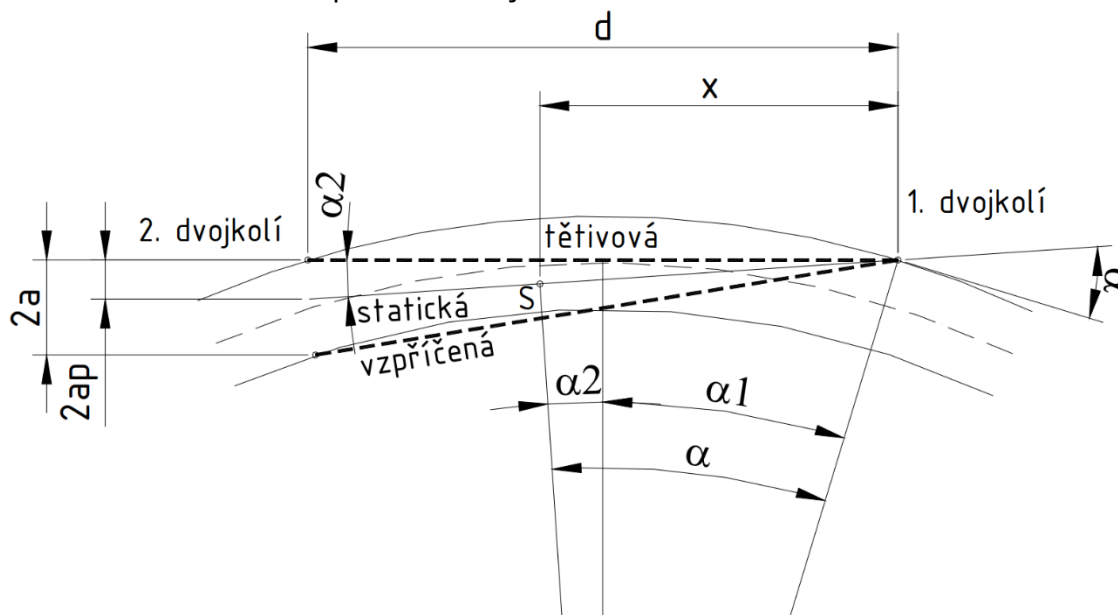
Po dosazení:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2; \frac{x}{r} = \frac{2a_p}{d} + \frac{d}{2r}; 2a_p = \frac{x * d}{r} - \frac{d^2}{2r}$$

rovnice č. 3

kde:

- α ...úhel náběhu
- α_1 ...úhel náběhu odpovídající těťivové poloze
- α_2 ...úhel mezi těťivovou a statickou polohou
- $2a_p$...příčná vůle posledního dvojkolí od vnější kolejnice ve statické poloze [m]
- x ...vzdálenost prvního dvojkolí od středu otáčení S [m]



Obrázek 2-5: Grafické znázornění Vogelovy metody; zdroj [1].

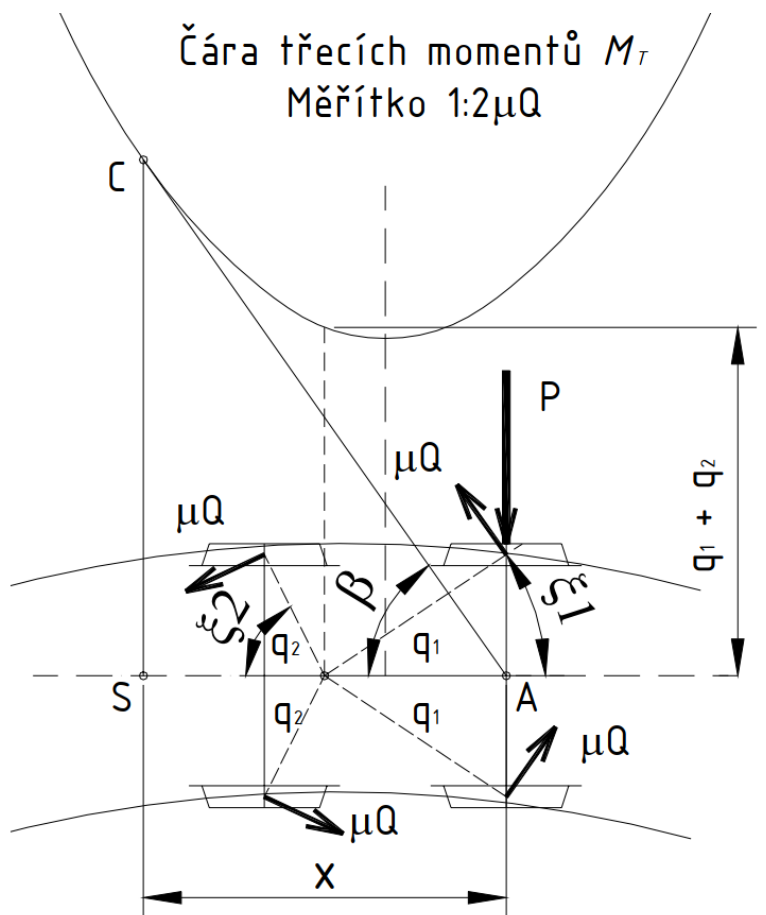
Informace získány z literatury [1].

2.3.3 Heumannova metoda – velikost řídicí síly

Jedná se o grafickou metodu, která vyšetřuje momentovou rovnováhu momentu adhezních sil a momentu řídicí síly.

Postup:

1. Podvozek – vykreslí se podvozek, osová vzdálenost kol = vzdálenost styčných kružnic 1 500 mm.
2. Sestrojení čáry třecích momentů – zvolí se libovolný střed otáčení a vynesou se průvodiče q_1 a q_2 . Průvodiče se potom vynesou nad sebe (viz obr. níže) a dostane se první bod čáry třecích momentů. Tento postup se opakuje, dokud není sestrojena celá čára třecích momentů.
3. Sestrojení tečny z bodu A, čímž se získá bod C
4. Skutečný střed otáčení S – z bodu C se spustí kolmice na osu podvozku a získá se skutečný střed otáčení S.



Obrázek 2-6: Výpočet řídicí síly Heumannovou metodou (grafické znázornění); zdroj [1]

5. Řídicí síla P – velikost řídicí síly P se pak spočítá podle vztahu:

$$P = \frac{2\mu Q(q_1 + q_2)}{x}$$

rovnice č. 4

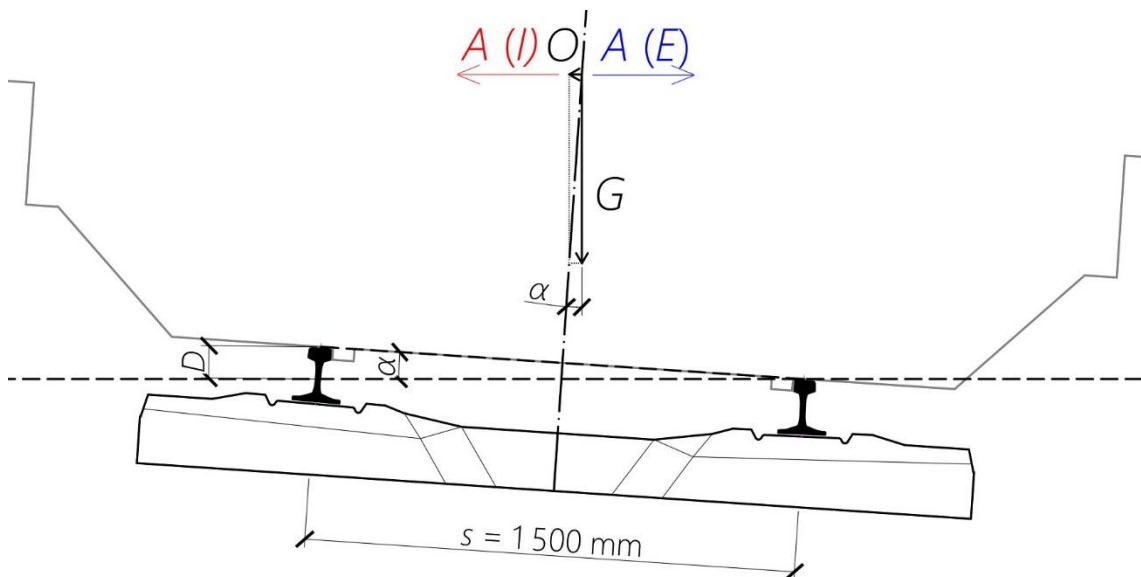
kde:

- μ ...součinitel tření [-]
- Q ...kolová síla [N]
- q_1, q_2 ...průvodiče ke středu otáčení [m]
- x ...vzdálenost od skutečného středu otáčení S po 1. dvojkolí

Informace získány z literatury [1].

2.3.4 Síla od nevyrovnaného bočního zrychlení

Síla od nevyrovnaného bočního zrychlení je síla, která vzniká při průjezdu vozidla obloukem s nedostatkem (síla působí vně oblouku), nebo s přebytkem převýšení (síla působí dovnitř oblouku).



Obrázek 2-7: Síla od nevyrovnaného bočního zrychlení A .

$$A = \frac{4Q * I}{s}$$

rovnice č. 5

V případě přebytku převýšení:

$$A = \frac{4Q * E}{s}$$

rovnice č. 6

kde:

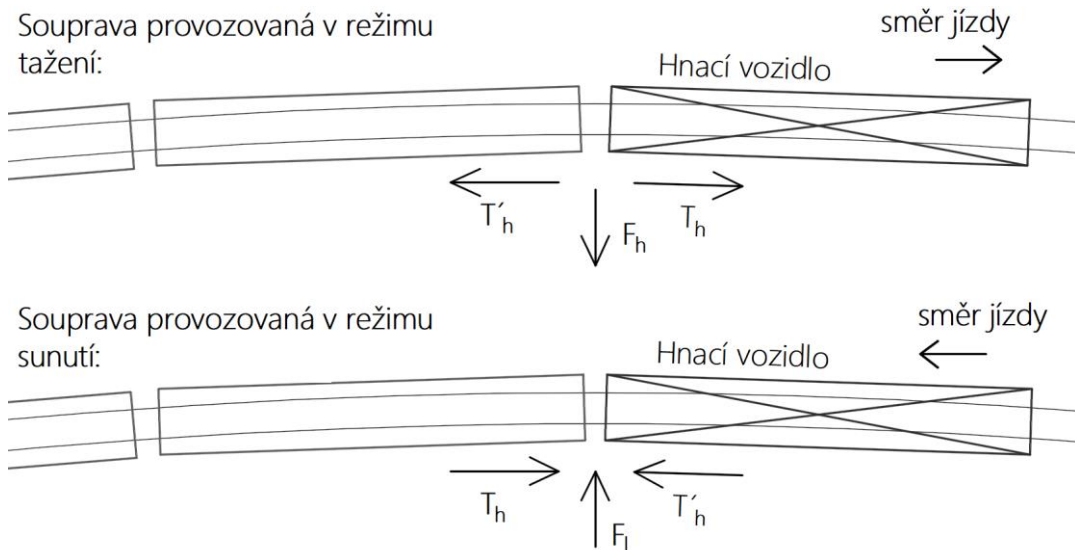
- A ...síla od nevyrovnaného bočního zrychlení [N]
- I ...nedostatek převýšení [mm]
- E ...přebytek převýšení [mm]
- s ...vzdálenost styčných kružnic =1,5 m
- Q ...kolová síla [N] ($4Q$ je tíha podvozku)

Informace získány z literatury [4].

2.3.5 Boční síla na podvozek vlivem tažení / sunutí

Boční síla se přičítá (resp. odečítá) k řídicí síle a k síle od nevyrovnaného příčného zrychlení. Směr boční síly je jiný pro tažené soupravy a tlačené soupravy, viz obr.2-

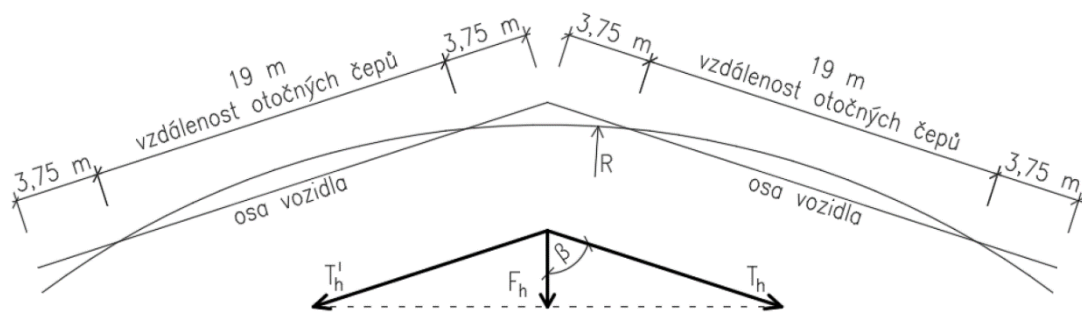
7, níže. Soupravy osobních vlaků Railjet měly na velikost ojetí v uplynulých letech nezanedbatelný vliv. Tyto soupravy jsou směrem z České Třebové do Brna (kolej č. 1(A)) hnacím vozidlem taženy a z Brna do České Třebové (kolej č. 2(B)) sunuty.



Obrázek 2-8: Směr boční síly vlivem tažení či sunutí

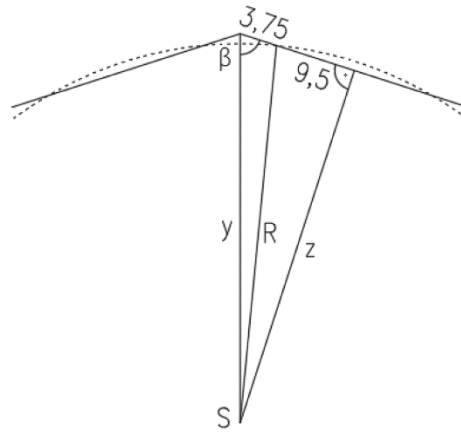
T_h , T_l ...tažná, respektive tlačná síla: Síla, která je potřeba k tomu, aby se souprava pohybovala ustálenou rychlostí. Její velikost závisí na traťových a jízdních odporech.

Na obrázku níže rozklad boční síly na podvozek u vozů soupravy Railjet.



Obrázek 2-9: Rozklad boční síly na podvozek pro vozy Railjet; zdroj [4]

hel β je v každém případě jiný, protože závisí na poloměru oblouku R , viz obrázek 2-10 na další straně.

Obrázek 2-10: Výpočet úhlu β (pomocí Pythagorovy věty); zdroj [4]

Z obrázku výše pak:

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\sqrt{R^2 - 9,5^2}}{9,5 + 3,75}\right)$$

rovnice č. 7

$$F_h = \cos\left(\frac{\beta}{T_h}\right)$$

rovnice č. 8

uvažujeme: $T_h = T'_h$

rovnice č. 9

Informace získány z literatury [4].

3 VOZIDLA A SKLADBA DOPRAVY

3.1 SKLADBA DOPRAVY

Na trati projíždí pravidelně **45** párů osobních vlaků za den (viz tab. 3.1.1 na další straně).

Data byla sestavena na základě volně dostupných jízdních řádů (www.spravazeleznic.cz, www.idos.cz).

Údaje o vozidlech byly sestaveny na základě informací z volně dostupných zdrojů (www.cd.cz; www.zelpage.cz; www.wiki.cz; www.sledovani.55p.cz) a pomocí katalogů výrobců.

Na trati projíždí cca **20** párů nákladních vlaků za den.

Průměrný nákladní vlak projíždějící úsekem má délku 314 m, 64 náprav, 16 vozů, váží 785 t a projíždí rychlostí 94 km/h. Data z r. 2021. zdroj: SŽ, s. o.

tab: TYPICKÁ SKLADBA DOPRAVY: r.2021; všední den; pouze vlaky osobní dopravy

Název vlaku v JŘ	Tovární označení	Označení dle UIC (ČR)	Obchodní název	Párů vlaků/den
Os 1140X; *Os 477X/ Os471X	EMV25; *RegioShuttle RS1, 810	Elektrická jednotka řady 560; *Motorový vůz řady 841, motorový vůz řady 810	*regioSpider, regioMouse	6
Sp 175X	69Er + 2? x Bdmtee ²⁷⁵	Elektrická lokomotiva řady 362 + vagóny Bdmtee ²⁷⁵		3
R 87X Svitava / R86X Svitava	Škoda 7Ev, 14Ev, 15Ev, 16Ev, 18Ev, 19Ev, 20Ev a 21Ev	elektrická jednotka řady 440, 530, 550, 640, 650	RegioPanter	9
rj 57X / rj7X	Siemens ES64U4 + 7 x vůz Siemens	<i>loko nenalezeno</i> + 7x CZČD Bmpz ^{89X}	Railjet	7
RJ 10XX RegioJet	Elektrická lokomotiva řady 193 + 5x vůz řady Bmpz a Abmz	Elektrická lokomotiva + 5x vůz řady Bmpz a Abmz	RegioJet	10
Ec	Škoda 109E1 + 10x vůz řady B...	Elektrická lokomotiva řady 380 + vozy řady B**	Metropolitan	6
IC	Škoda 109E1 + 8x vůz řady B...	Elektrická lokomotiva řady 380 + vozy řady B**	Metropol	1
IC 571	Škoda 109E1 + 8x vůz řady B...	Elektrická lokomotiva řady 380 + vozy řady B**	Jiří Bouda	1
LE	Stadler FLIRT InterCity	Elektrická jednotka řady 480	Leoexpress	2

*elektrická jednotka řady 560 ve stanici Letovice končí a dále pokračuje jako RegioMouse (RegioSpider) celkem: **45**

Skladba dopravy získána z volně dostupných jízdních řádů (www.idos.cz, <https://www.spravazeleznic.cz/cestujici/jizdni-rad>).

Údaje o vozidlech a soupravách získány z volně dostupných zdrojů na internetu (oficiální stránky českých drah, katalogy výrobců, wiki).

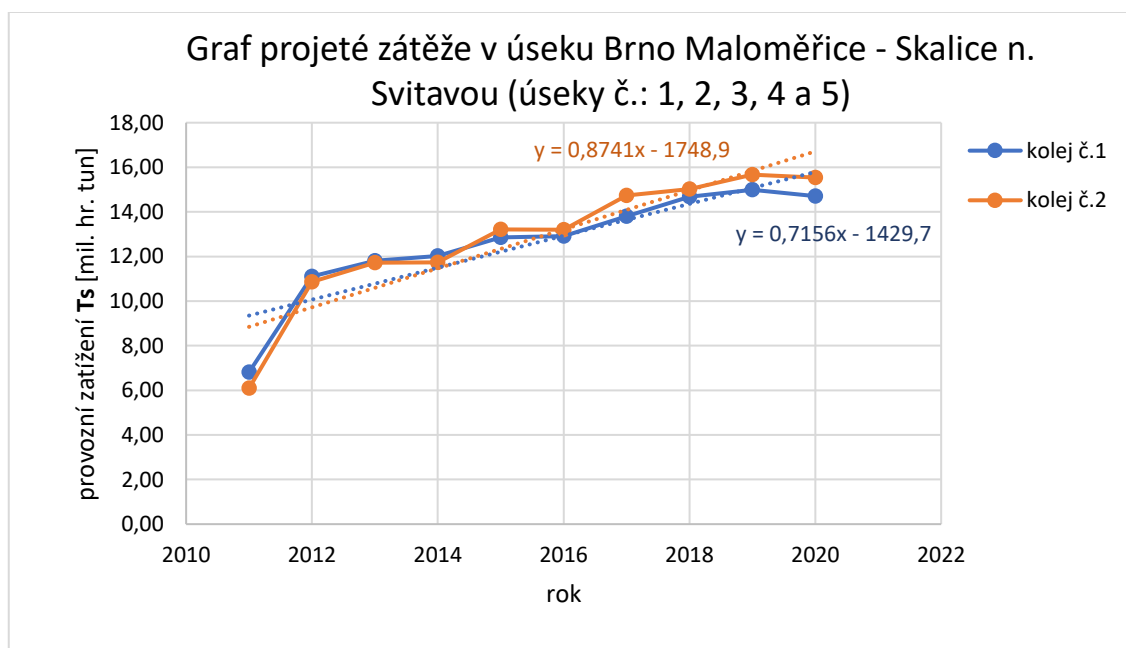
** "B**" značí klasický rychlíkový vůz, přesný typ vozu není pro tuto diplomovou práci podstatný. (např. Bmz 232)

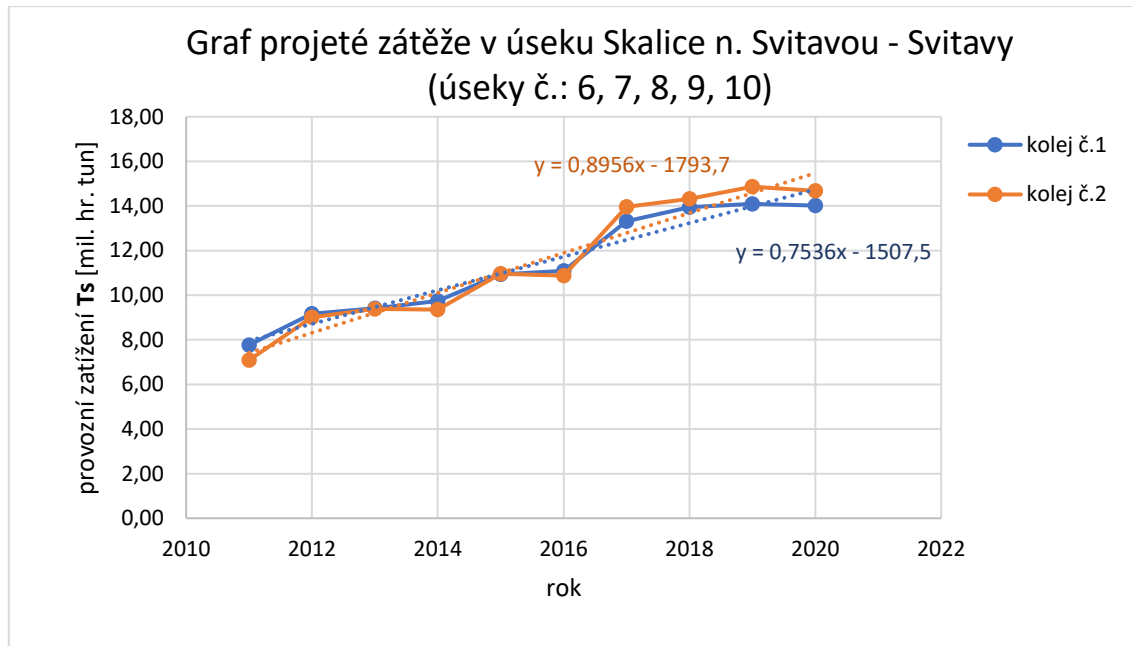
3.2 PROJETÁ ZÁTĚŽ

Pro účely této diplomové práce byla projetá zátěž rozdělena do dvou oblastí: Brno Maloměřice – Skalice nad Svitavou a Skalice nad Svitavou – Svitavy.
Data poskytla SŽ, s. o.

3.2.1 Projetá zátěž – vývoj v letech 2011 až 2020

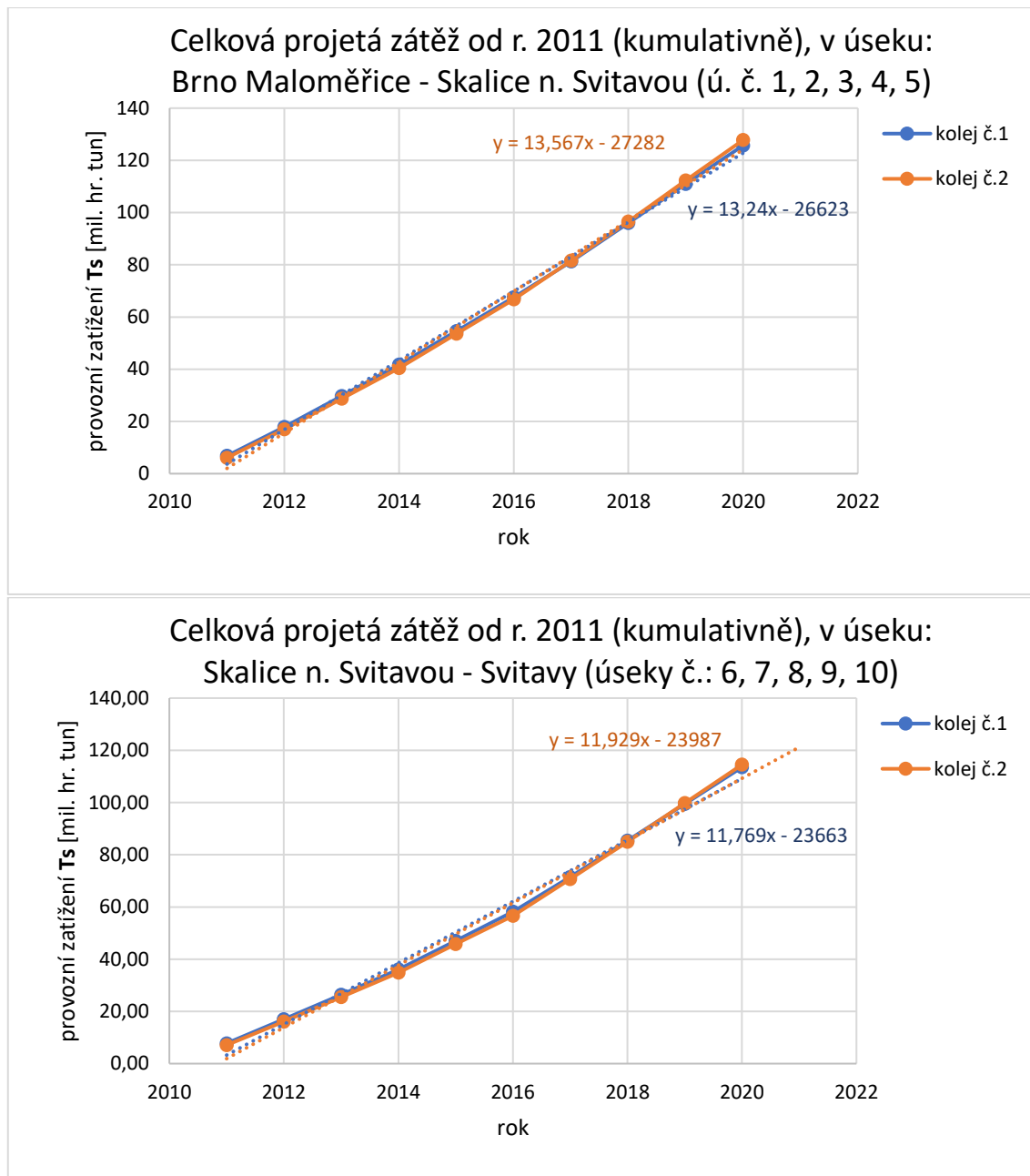
Projetá zátěž (nákl. vlaky, os. vlaky; vč. hmotnosti HV)				
Ts	Skalice nad Svitavou - Brno Maloměřice (K1)	Brno Maloměřice - Skalice nad Svitavou (K2)	Svitavy - Skalice nad Svitavou (K1)	Skalice n. Svitavou - Svitavy (K2)
2011	6,81	6,09	7,77	7,09
2012	11,11	10,87	9,17	9,01
2013	11,81	11,72	9,41	9,38
2014	12,02	11,73	9,75	9,35
2015	12,85	13,21	10,93	10,96
2016	12,92	13,20	11,09	10,88
2017	13,81	14,74	13,32	13,96
2018	14,68	15,03	13,95	14,32
2019	14,99	15,67	14,10	14,87
2020	14,71	15,54	14,02	14,68
2021				





3.2.2 Projeté zátěž – kumulativně (od r. 2011)

Projeté zátěž (nákl. vlaky, os. vlaky; vč. hmotnosti HV) KUMULATIVNĚ				
Ts (kumul.)	Skalice nad Svitavou - Brno Maloměřice (K1)	Brno Maloměřice - Skalice nad Svitavou (K2)	Svitavy - Skalice nad Svitavou (K1)	Skalice n. Svitavou - Svitavy (K2)
2011	6,81	6,09	7,77	7,09
2012	17,92	16,96	16,94	16,10
2013	29,73	28,68	26,35	25,48
2014	41,75	40,41	36,10	34,83
2015	54,60	53,62	47,03	45,79
2016	67,52	66,82	58,12	56,67
2017	81,33	81,56	71,44	70,63
2018	96,01	96,59	85,39	84,95
2019	111,00	112,26	99,49	99,81
2020	125,71	127,80	113,51	114,49



3.3 SOUPRAVY RAILJET

Pro predikci míry ojetí byla jako referenční vlaková souprava zvolena souprava Railjet a bylo počítáno s jejími parametry. Důvodem pro výběr soupravy Railjet je skutečnost, že se jako jediná v úseku pohybuje v režimu tažení i sunutí.

Soupravu Railjet standardně tvoří lokomotiva Taurus (ES64E4) a 7 vozů, z nichž poslední vůz je vůz řídicí. Technické informace, důležité pro tuto diplomovou práci (převzaté z katalogu společnosti Siemens) [6]:

- provozní hmotnost: 87 t;
- délka přes nárazníky 19 580 mm;
- vzdálenost otočných čepů 9 900 mm.

Kolová síla Q je pak: $Q = \frac{m \cdot g}{n_k}$; kde n_k je počet kol lokomotivy.

Vůz CZ-ČD Bmpz⁸⁹¹:

- hmotnost prázdného vozu: 50 t;
- hmotnost obsazeného vozu: 56 t;
- délka vozu přes nárazníky: 26 500 mm;
- vzdálenost otočných čepů: 19 000 mm; zdroj [7]
- Kolová síla Q je pak: $Q = \frac{m \cdot g}{n_k}$; kde n_k je počet kol vozu.



Obrázek 3-1: Souprava Railjet v barvách rakouských ÖBB; zdroj [3]



Obrázek 3-2: Railjet v barvách ČD, pohled na řídicí vůz; zdroj [3]

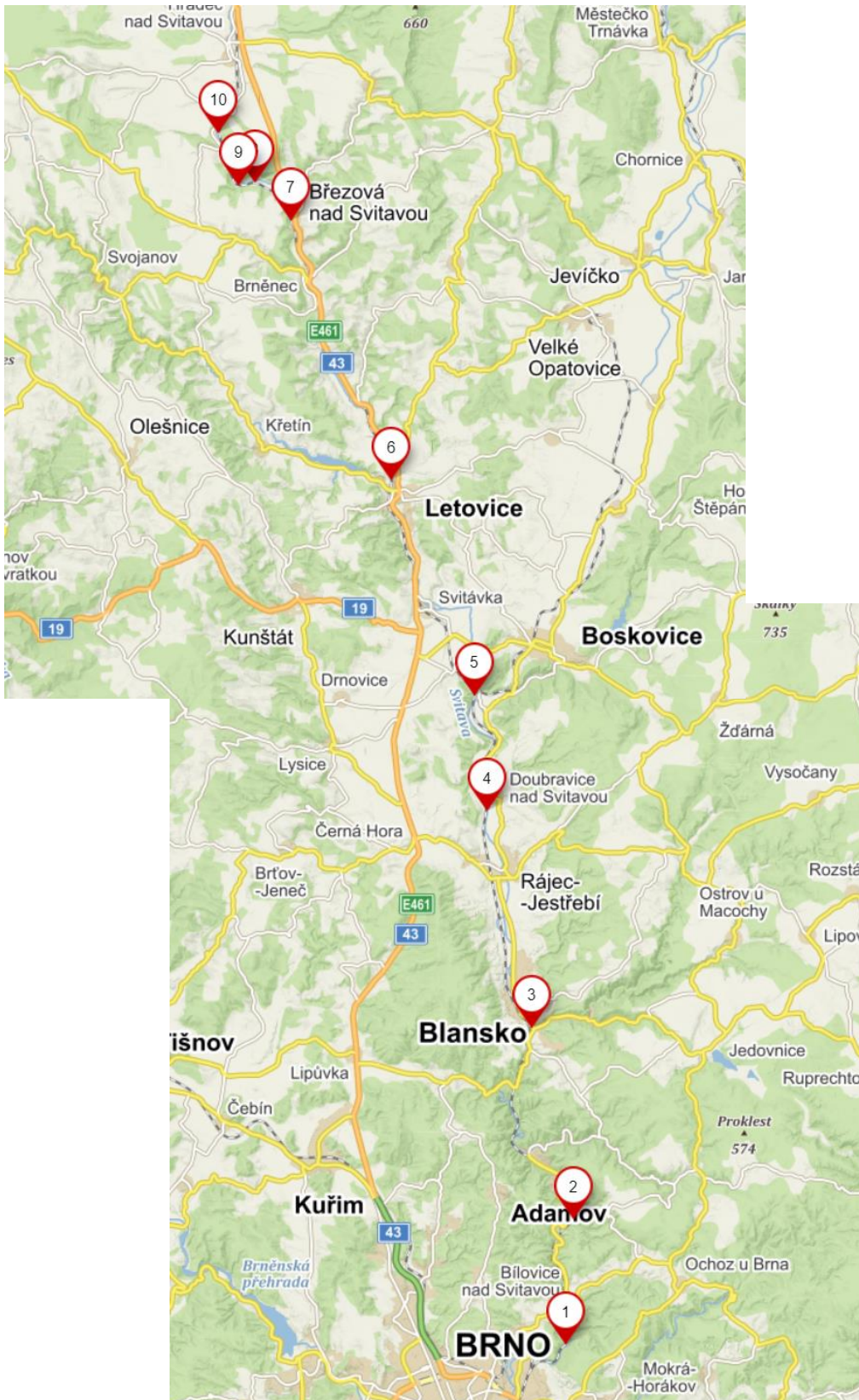
4 ZKOUMANÉ ÚSEKY

Z množství oblouků mezi Brnem a Českou Třebovou bylo vybráno 10 úseků splňující následující požadavky:

- $R < 500$ m;
- Lom sklonu (LN) v kružnicové části oblouku, přičemž minimální délka kružnicové části před a za lomem sklonu je 10 m.
- Rozdíl sklonů ve stoupání či klesání je před a za lomem sklonu min. o 10 %.

Protože analyzovaná trať je v celém úseku dvoukolejná, jedná se celkem o 40 různých situací.

Z cca 25 úseků, které splňovaly výše zmíněné, bylo vybráno následujících 10:

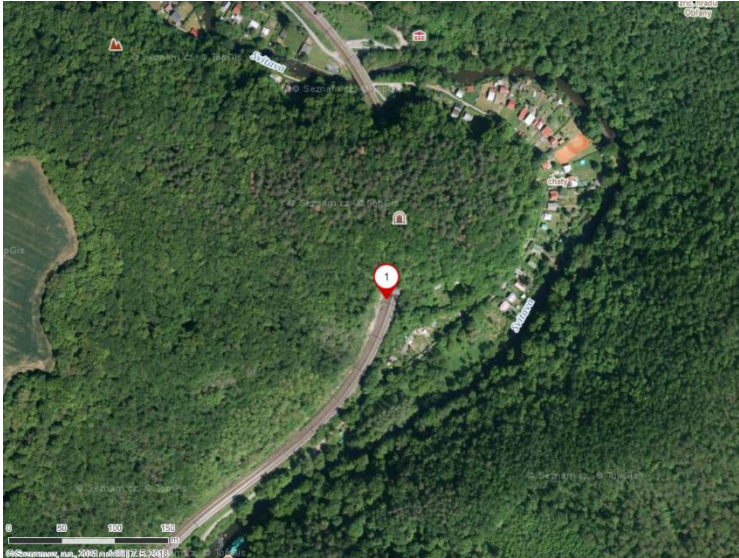


Obrázek 4-1: Úsek mezi Brnem a Svitavami (Hradec nad Svitavou) s přibližně zaznačenými úseky. (čísla bodů odpovídají číslování úseků v diplomové práci); zdroj [5]

4.1 ÚSEK Č. 1 – KM 162,9

4.1.1 Popis úseku

Úsek č. 1 se nachází v širé trati v levostranném oblouku, složeného ze 2 poloměrů ($R=261\text{ m}$ a $R=297\text{ m}$). V každém z oblouků se nachází také lom sklonu. Pro tuto práci je ale zajímavý a podstatný první poloměr a první lom sklonu. Úsek č. 1 se nachází v těsné blízkosti Blanenského tunelu č. 2 (ev. č. 206).



Obrázek 4.1.-1: Ortofoto úseku č. 1. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; Zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lom sklonu LN [km]	Poloměr oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
1	A (1)	162,863	261	L	123	+2,06	+3,85	70
	B (2)	162,864	265	L	121	+2,06	+3,79	70

Tabulka 4.1.-1: Údaje o úseku č. 1

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V^{130} [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevnění	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
1	A (1)	75	60E2	R350HT	2015	W14	B91S	u	1996
	B (2)	75	60E2	R350HT	1997	W14	B91S	u	1996

Tabulka 4.1.-2: Údaje o úseku č. 1 - pokračování

Pozn. Maximální rychlosti pro jednotky s naklápěcími skříněmi V^k v tabulkách uvedeny nejsou, protože na trati takové jednotky nejsou a nebyly provozovány.

4.1.2 Teoretický výpočet

Úsek č.1

Řídící síla P_1 [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	76,616	76,616
Kolej č. 2 (B)	77,930	77,935

Úsek č.1

Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	52,529	52,533
Kolej č. 2 (B)	53,852	53,857

4.1.2.1 Dodatek ke kapitolám „Teoretický výpočet“

V této kapitole jsou vždy uvedeny teoreticky spočítané řídící a vodící síly. Výpočty byly provedeny Heumannovou metodou a bylo počítáno s fyzikálními parametry soupravy Railjet.

4.1.3 Vyhodnocení ojetí

4.1.3.1 Úvod k vyhodnocení ojetí

V kapitole „Vyhodnocení ojetí“ se vždy nachází grafické výstupy z měřicího vozu. Řešený úsek vždy začíná a končí alespoň 15 m v přímé koleji. Výjimku tvoří úsek č. 2, na který navazuje inflexní oblouk. Dále je zde uveden graf křivosti se zjednodušeným znázorněním sklonových poměrů.

Grafické výstupy obsahují data 8 až 10 let nazpět. Některé ročníky nebyly dodány nebo nejsou kompletní. To ale nevádí, protože pro naše účely postačuje analyzovat každý druhý ročník.

Záporné hodnoty (mínus) značí úbytek materiálu. Jedná se o námi hledané hodnoty. Kladné hodnoty značí přebytek materiálu. Může se jednat o převalky způsobené nákladní dopravou nebo nános cizích vrstev, např. námrazu, listí, bahno, případně svary.

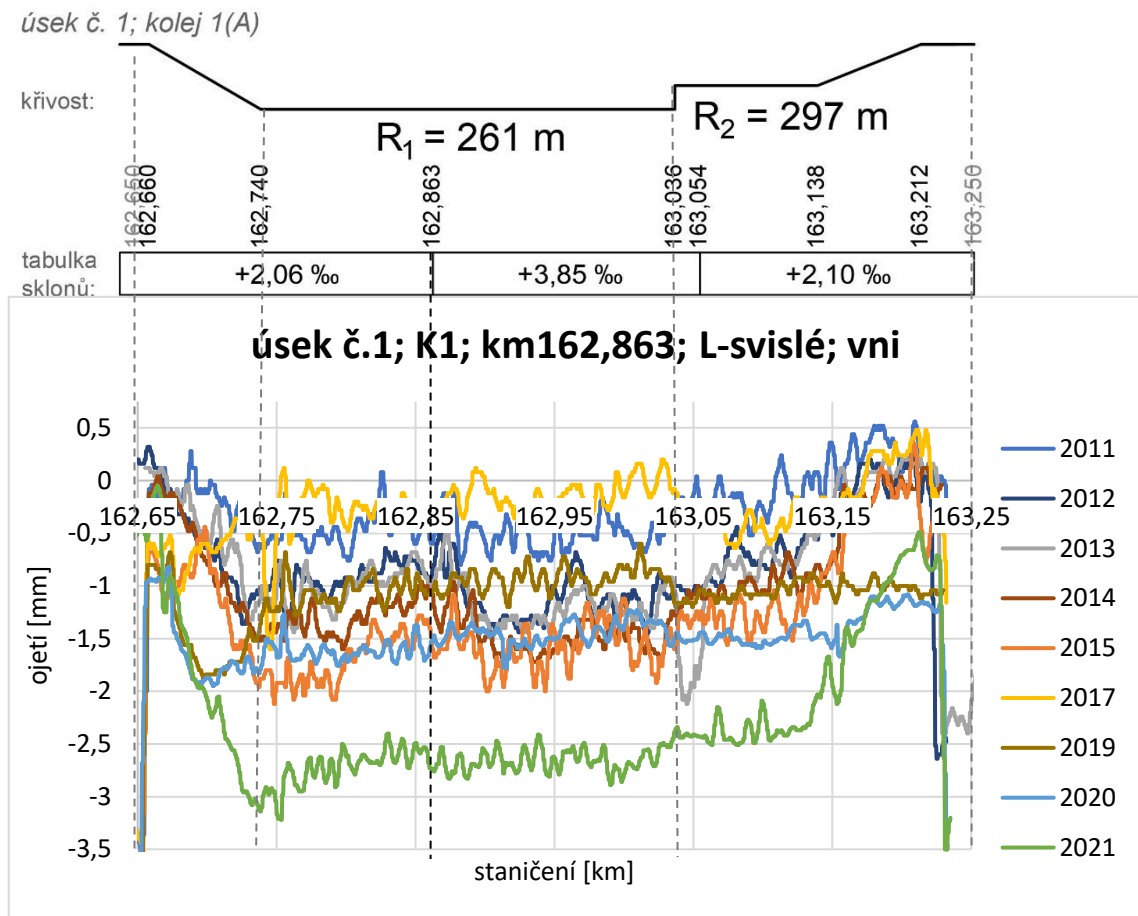
V některých úsecích bylo z důvodu množství dat a časové náročnosti zpracování přikročeno k analýze pouze lichých, či sudých ročníků.

Pro všechny průměry v této diplomové práci je použit aritmetický průměr.

Vysvětlivky k popiskům v kapitolách vyhodnocení ojetí:

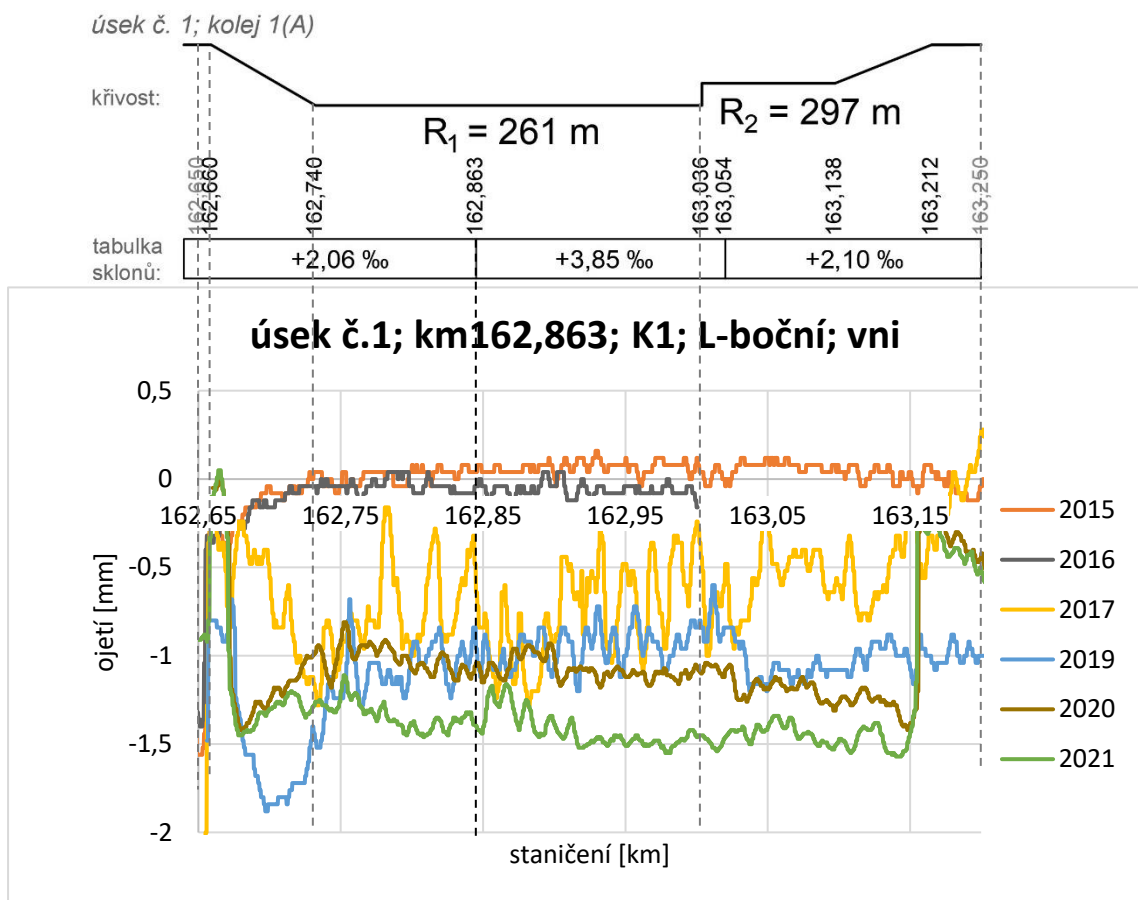
K1	kolej č. 1 (A)
K2	kolej č. 2 (B)
L-svislé	svislé ojetí levého kolejnicového pásu
L-boční (vodorovné)	boční ojetí levého kolejnicového pásu
P-svislé	...pravého kolejnicového pásu
P-boční (vodorovné)	...pravého kolejnicového pásu
ú. č.	úsek číslo
vnější / vně	vnější kolejnicový pás
vnitřní / vni	vnitřní kolejnicový pás

4.1.3.2 Kolej č. 1



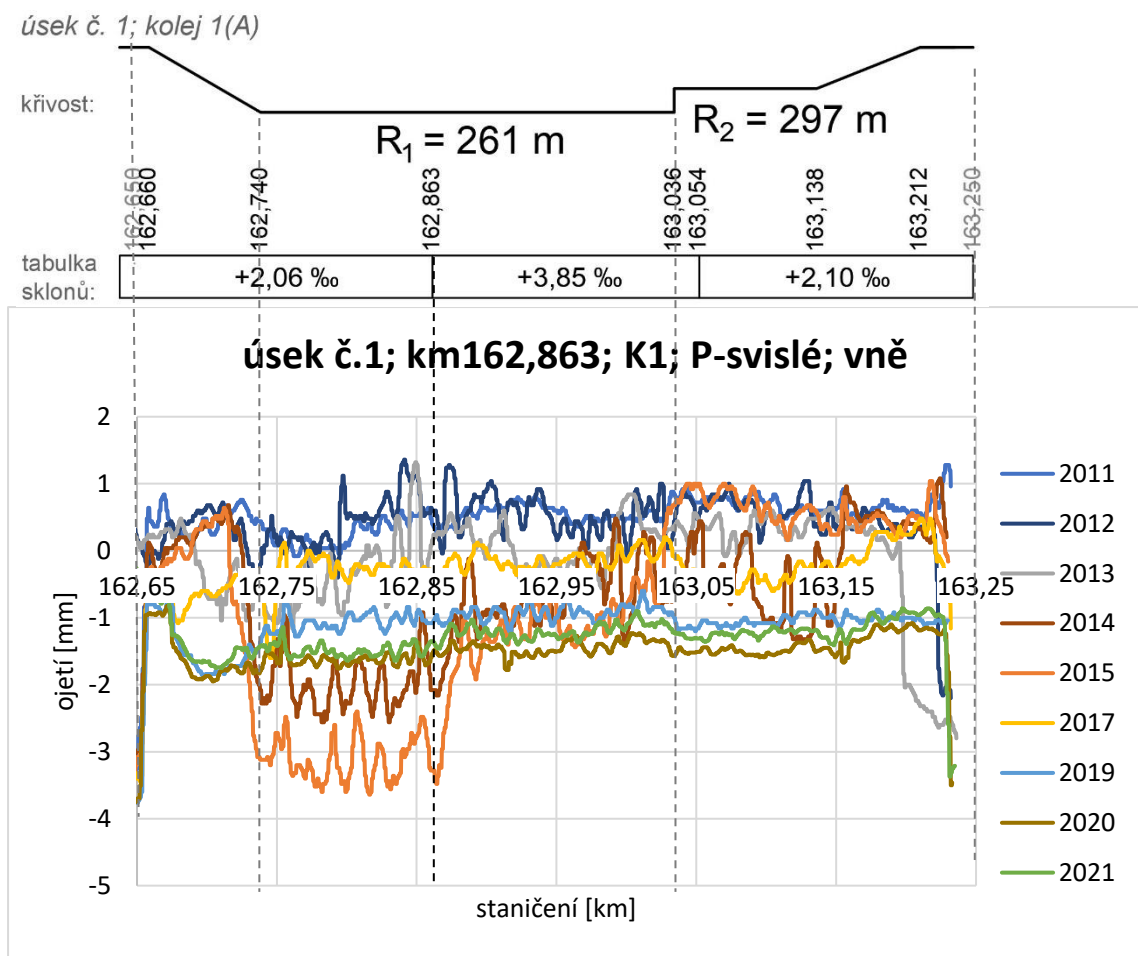
Výše je graf svislého ojetí levého kolejnicového pásu. Dají se v něm vypořadovat určité souvislosti mezi křivostí koleje a ojetím, resp. podélným sklonem a ojetím.

Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.



Boční ojetí vnitřního kolejnicového pásu dosahuje výrazně nižších hodnot než u vnějšího kolejnicového pásu, což se dá předpokládat. Hodnoty ojetí okolo km 162,6 až 162,65 jsou způsobeny protisměrným obloukem, který řešenému úseku předchází.

Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

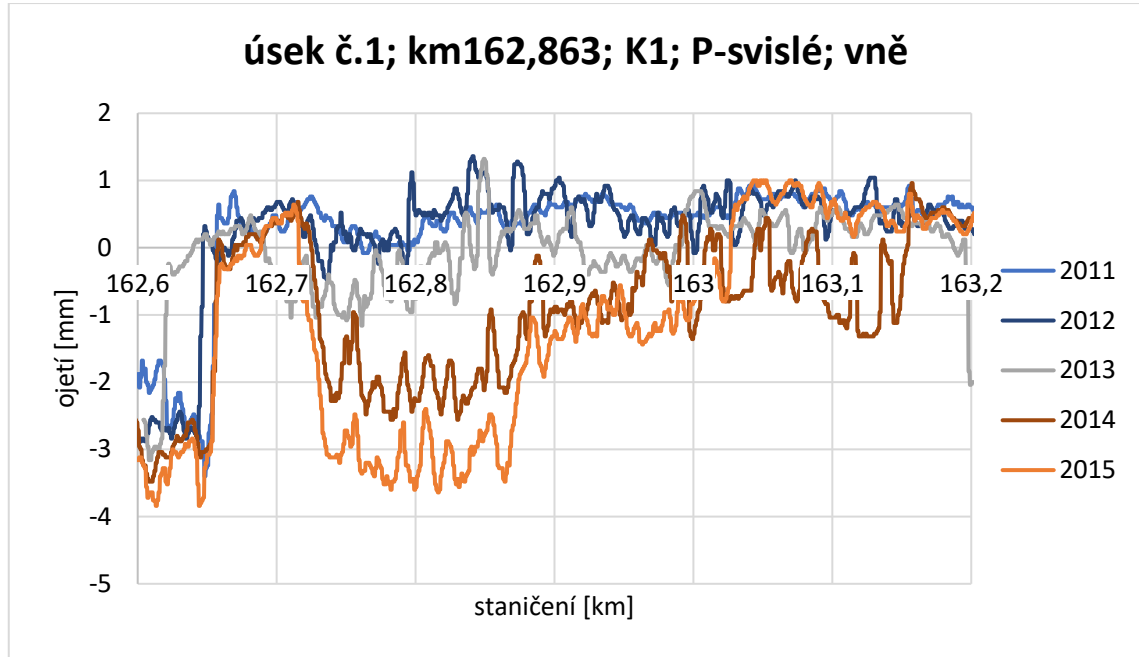


Vydeme-li z předpokladu, že při průjezdu vozidla obloukem je svisle zatížen vnitřní kolejnicový pás více než vnější, mělo by ojetí P-svislé (nad textem) dosahovat vyšších hodnot než ojetí L-svislé.

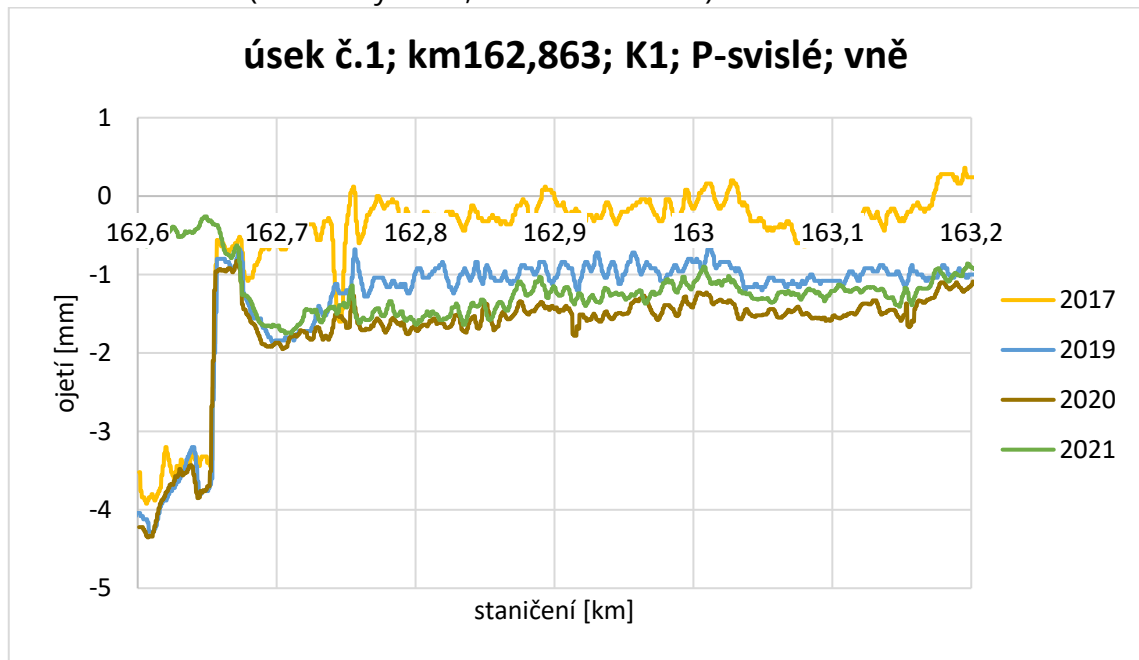
Svislé ojetí pravého kolejnicového pásu opravdu dosahuje o něco málo větších hodnot než ojetí L-svislé. Je to patrné po roce 2015, kdy proběhla výměna kolejnic. Pro lepší názornost je ojetí L-svislé rozpracováno na samostatných grafech. (viz další strana)

Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

rok 2011 až 2015:



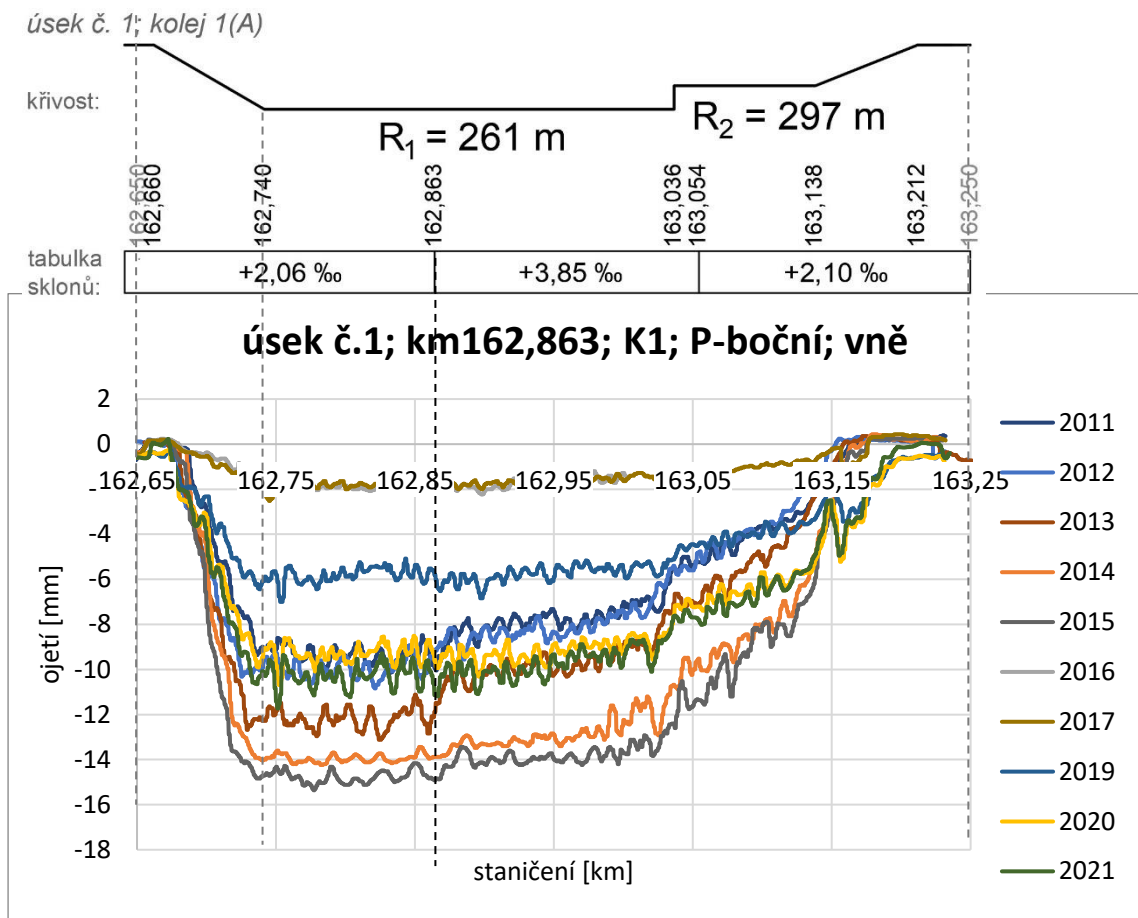
rok 2017 až 2021 (r. 2016 vyřazen, r. 2018 nedodán):



Rok 2020 má celkově větší hodnoty pro P-svislé ojetí než r. 2021. To bude pravděpodobně způsobeno chybou, se kterou měří měřicí vůz (až 1 mm).

Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Boční ojetí pravého (vnějšího) kolejnicového pásu:



Boční ojetí pravého kolejnicového pásu koleje 1(A) dosahuje nejvyšších hodnot v r. 2015, kdy proběhla výměna kolejnic 60 E1 za 60 E2 (dle nákrešného přehledu trati).

Poté v letech 2016, 2017 dosahuje míra ojetí nejnižších hodnot cca 2 mm. Data z r. 2016 jsou ale nedůvěryhodná. Nejsou kompletní, měření zde bylo přerušeno pravděpodobně kvůli závadě na měřícím voze.

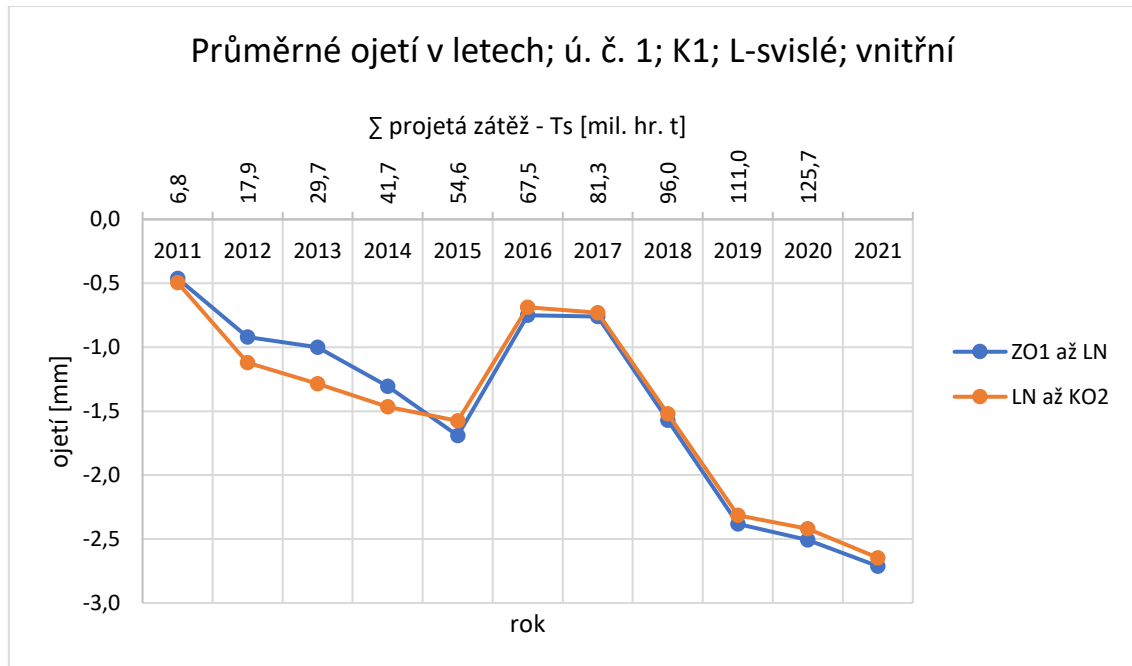
Data z r. 2018 v balíčku dat ze Správy železnic, státní organizace, chyběla. Předpokládá se však plynulý nárůst.

Boční ojetí dosahuje nejvyšších hodnot ze všech čtyř měřených ojetí. Odpovídá to i úvaze, že při traťové rychlosti 70 km/h, kterou bez problému dosáhnou i vlaky nákladní, a poloměru oblouku 261 m, projíždí všechny vlaky úsekem s nedostatkem převýšení a ojíždějí vnější kolejnicový pás.

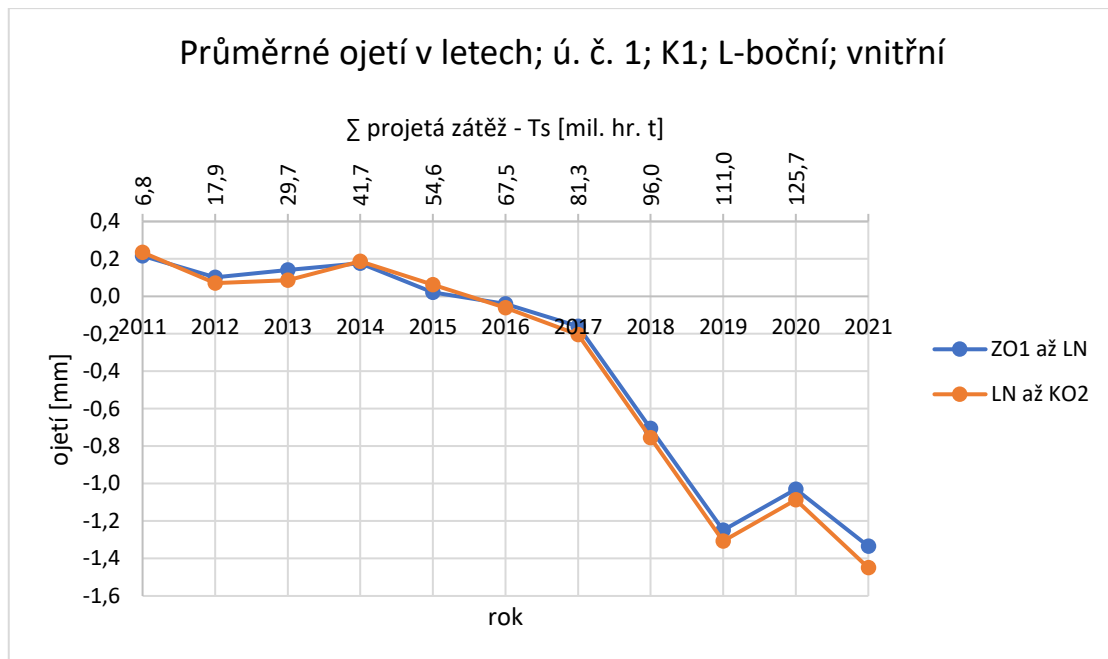
Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

NUMERICKÉ VYHODNOCENÍ OJETÍ:

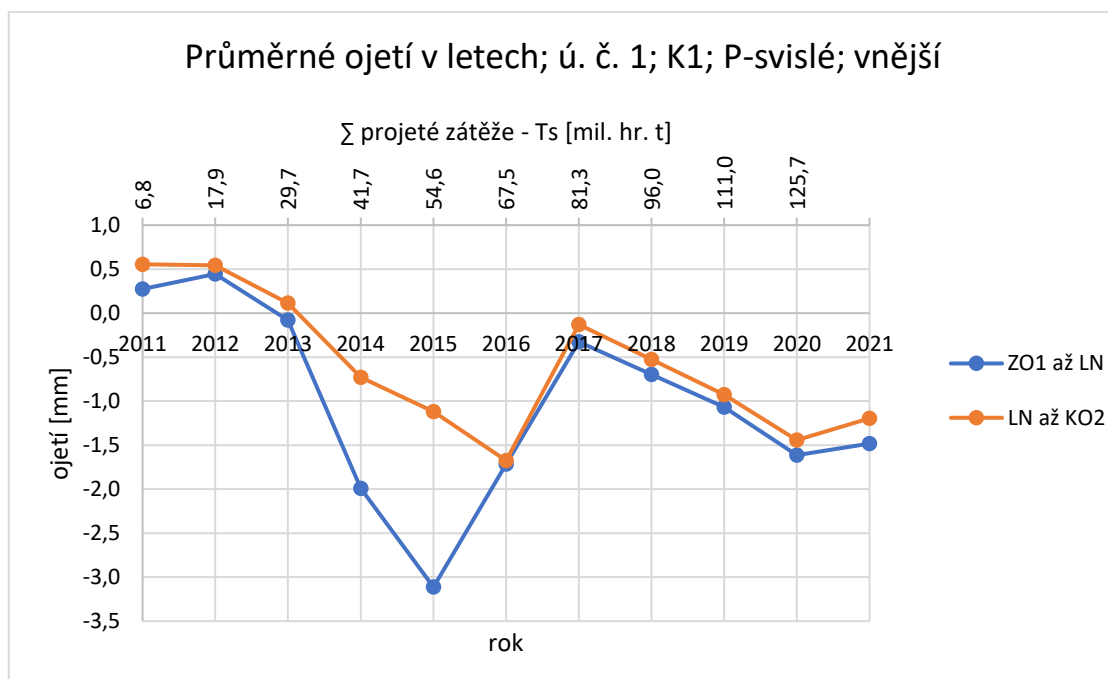
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ZO1 km 162,740; R261; +2,06	-0,5	-0,9	-1,0	-1,3	-1,7	-0,7	-0,8	-1,6	-2,4	-2,5	-2,7
LN km162,863; R261; +3,865	-0,5	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	-0,7	-0,7	-1,5	-2,3	-2,4	-2,6
KO1 163,036											
Σ projeté zátěže - Ts [mil. hr. t]	6,8	17,9	29,7	41,7	54,6	67,5	81,3	96,0	111,0	125,7	



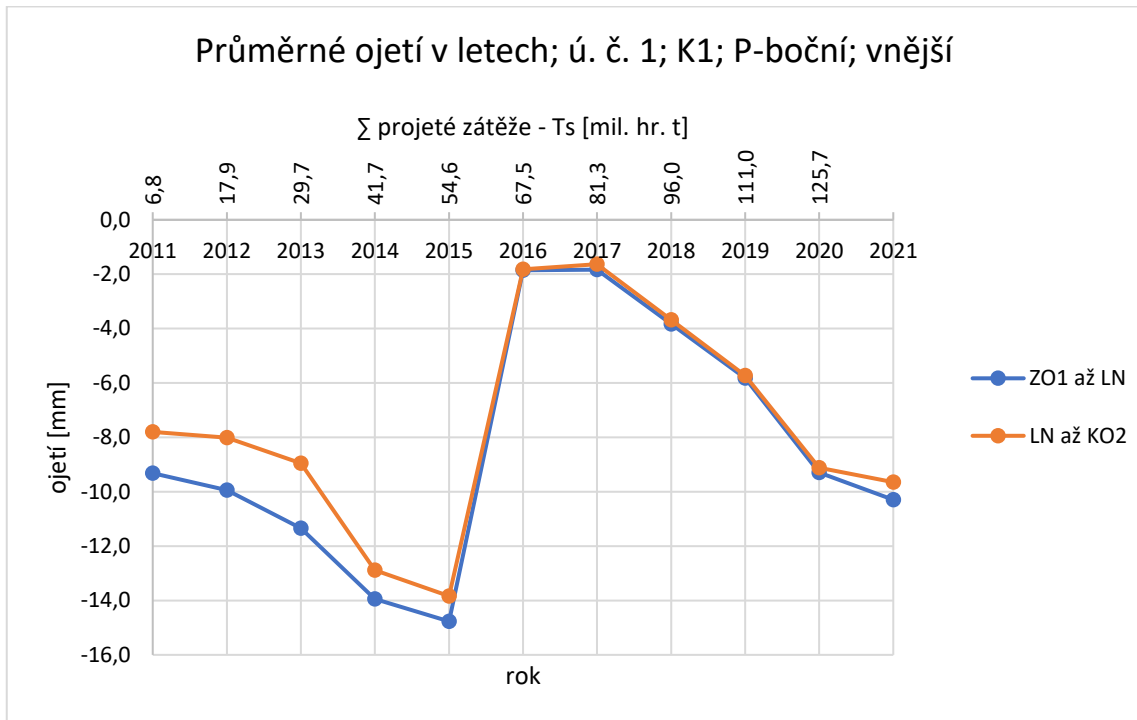
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ZO1 km 162,740; R261; +2,06	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,7	-1,2	-1,0	-1,3
LN km162,863; R261; +3,865	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,8	-1,3	-1,1	-1,4
KO1 km163,036											



PRŮMĚRNÉ OJETÍ		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
P-svislé [mm]												
ZO1 km 162,740; R261; +2,06		0,3	0,4	-0,1	-2,0	-3,1	-1,7	-0,3	-0,7	-1,1	-1,6	-1,5
LN km162,863; R261; +3,85		0,6	0,5	0,1	-0,7	-1,1	-1,7	-0,1	-0,5	-0,9	-1,4	-1,2
KO1 163,036												
Σ projeté zátěže - Ts [mil. hr. t]		6,8	17,9	29,7	41,7	54,6	67,5	81,3	96,0	111,0	125,7	

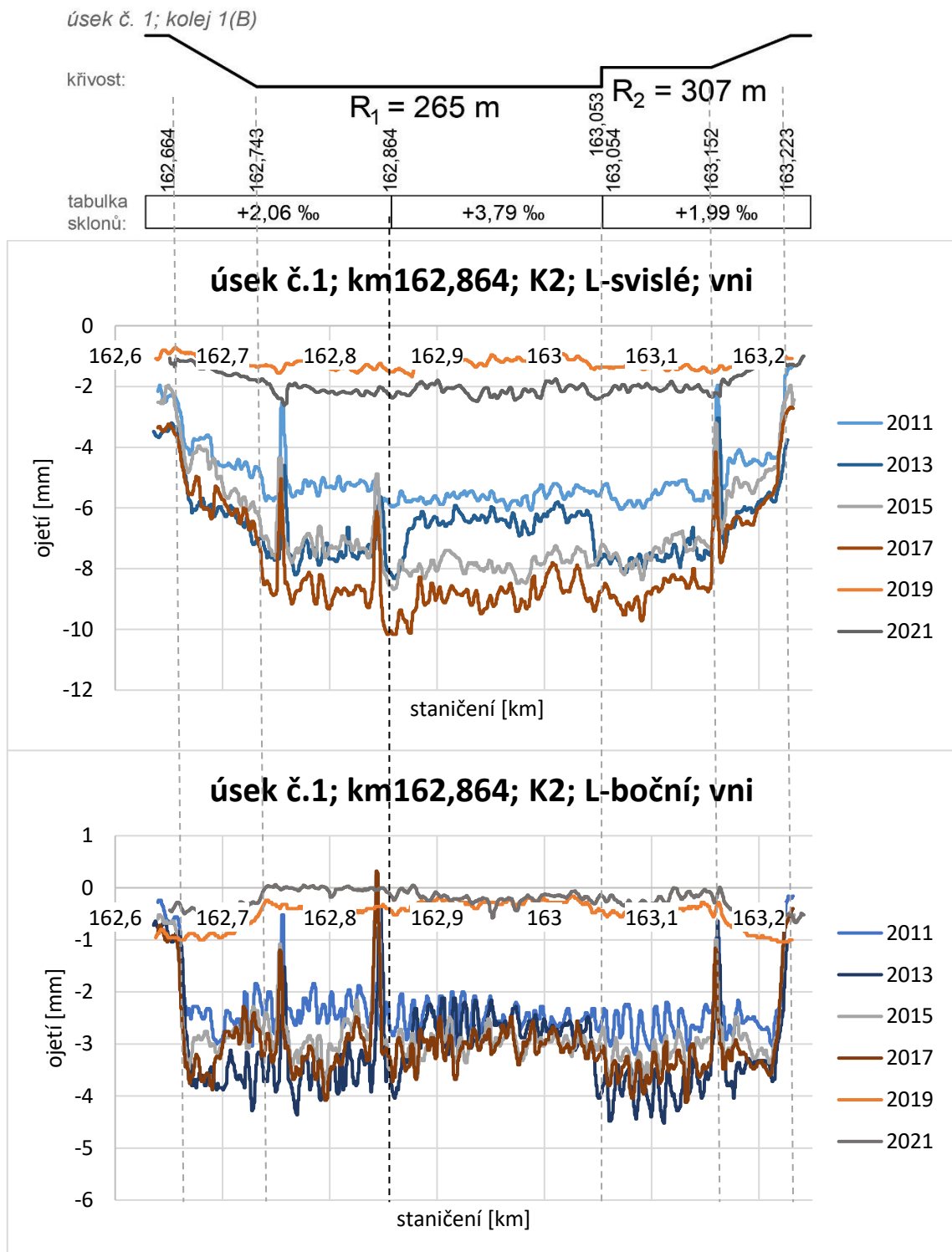


PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ZO1 km 162,740; R261; +2,06	-9,3	-9,9	11,3	13,9	14,8	-1,9	-1,8	-3,8	-5,8	-9,3	10,3
LN km162,863; R261; +3,85	-7,8	-8,0	-8,9	12,9	13,8	-1,8	-1,6	-3,7	-5,7	-9,1	-9,6
KO1 163,036											

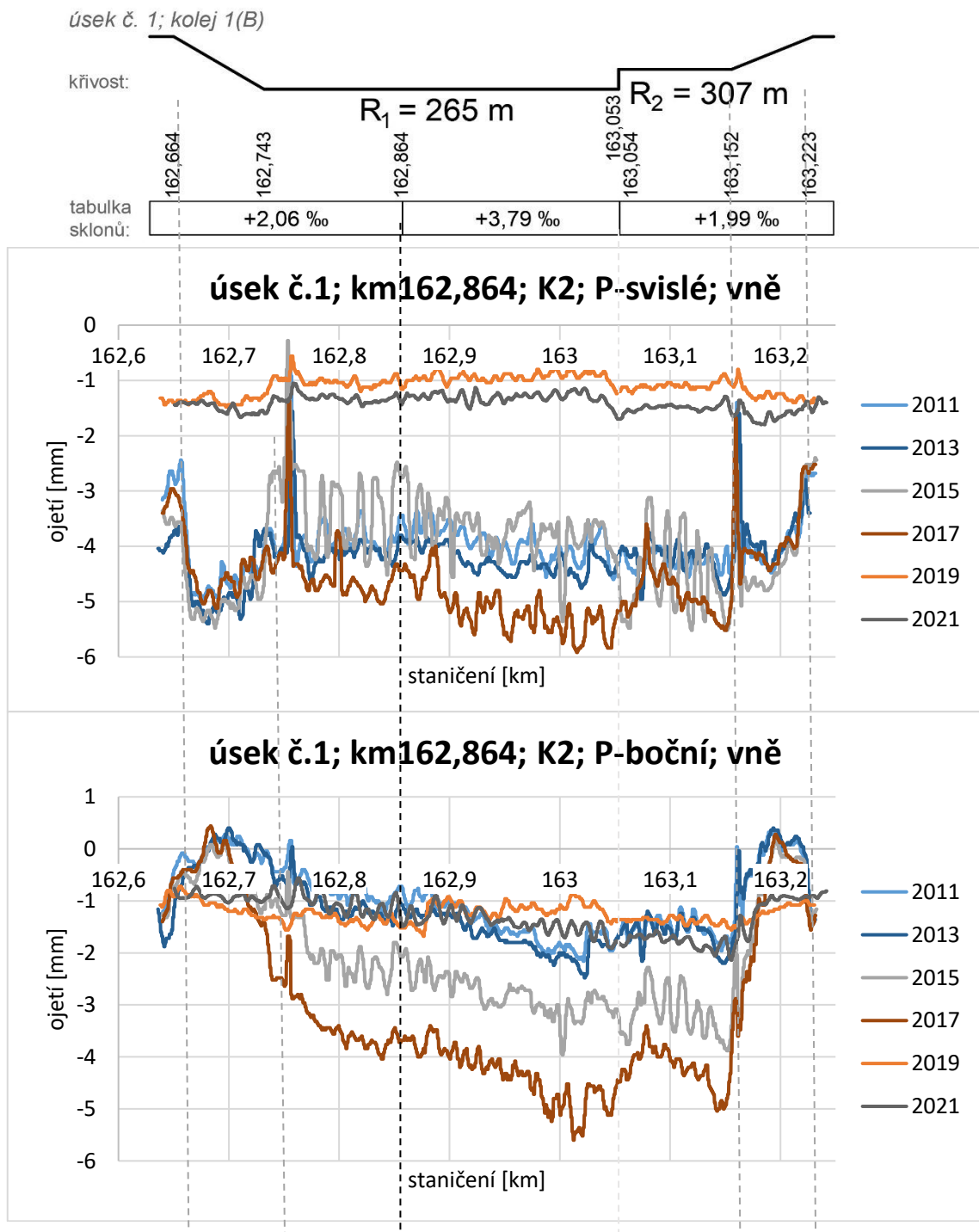


4.1.3.3 Kolej č. 2

Soupravy Railjet jsou po této koleji sunuty hnacím vozidlem. Vlaky jezdí po směru staničení.



Svislé ojetí nabývá citelně vyšších hodnot než ojetí boční. Mezi léty 2017 až 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení. Lokální extrémy v grafech, kde se kolej neobjíždí (např. okolo km 162,85), znamenají jiné vlivy, např. umístění kolejnicových svarů. Tyto vlivy by bylo nutné prozkoumat podrobně včetně vykonání místní prohlídky.



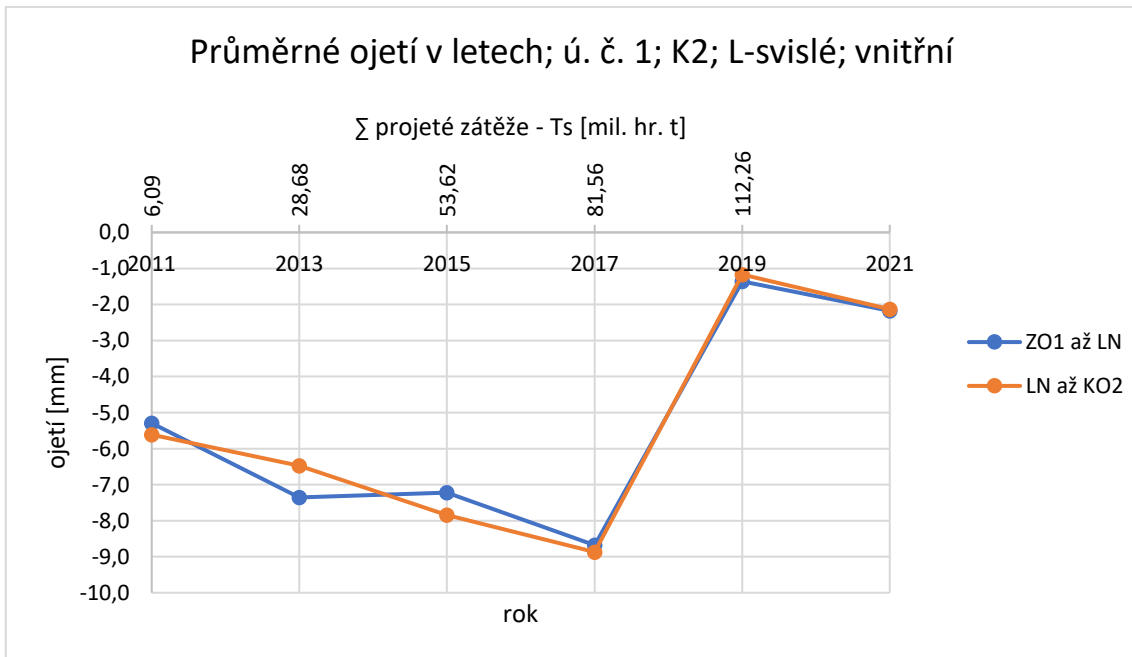
Zajímavé je, že svislé ojetí dosahuje větších hodnot než ojetí vodorovné. Na rozdíl od koleje č. 1, kde to bylo přesně naopak. Mezi léty 2017 a 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení kolejnic.

Opět lze vyzorovat, že průměrné ojetí před lomem sklonu v km 162,864 je menší než za LN.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

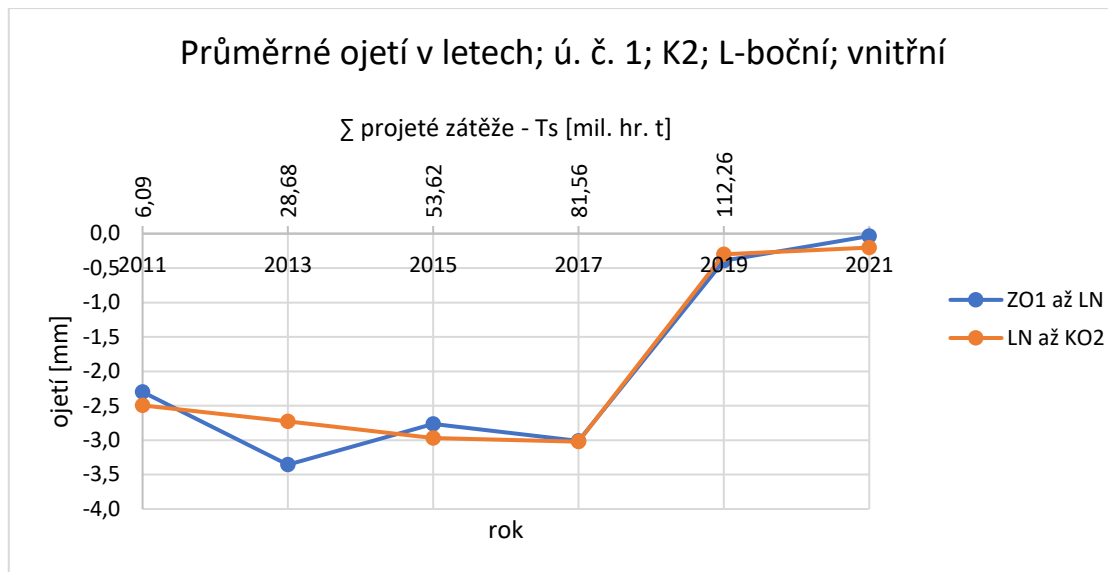
NUMERICKÁ ANALÝZA:

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 162,743	-5,3	-7,4	-7,2	-8,7	-1,4	-2,2
LN km 162,864	-5,6	-6,5	-7,8	-8,9	-1,2	-2,1
KO1 km 163,053						
Σ projeté zátěže - Ts [mil. hr. t]	6,09	28,68	53,62	81,56	112,26	



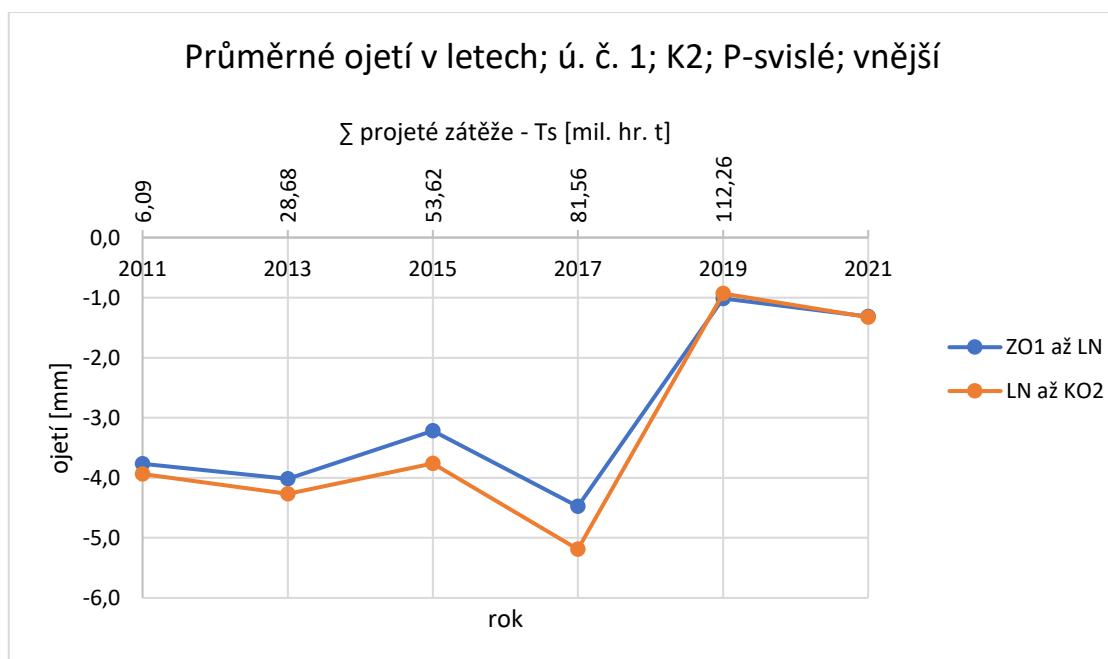
Mezi léty 2017 a 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení kolejnic.

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 162,743	-2,3	-3,4	-2,8	-3,0	-0,4	0,0
LN km 162,864	-2,5	-2,7	-3,0	-3,0	-0,3	-0,2
KO1 km 163,053						



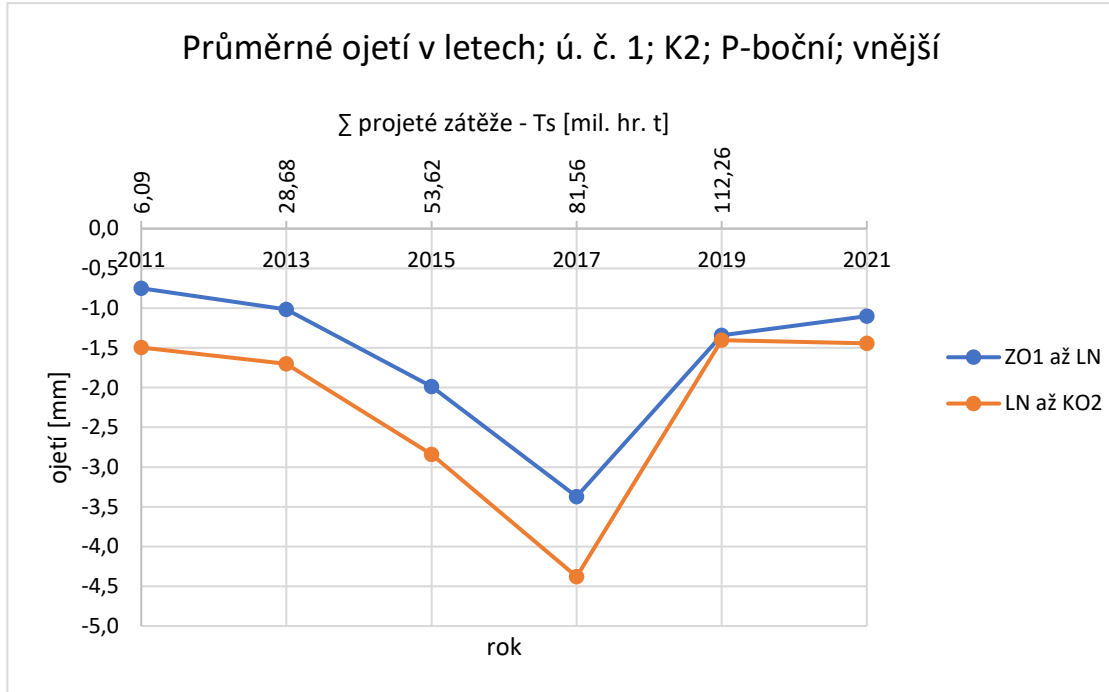
Mezi léty 2017 a 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení kolejnic.

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 162,743	-3,8	-4,0	-3,2	-4,5	-1,0	-1,3
LN km 162,864	-3,9	-4,3	-3,8	-5,2	-0,9	-1,3
KO1 km 163,053						



Mezi léty 2017 a 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení kolejnic.

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 162,743	-0,8	-1,0	-2,0	-3,4	-1,3	-1,1
LN km 162,864	-1,5	-1,7	-2,8	-4,4	-1,4	-1,4
KO1 km 163,053						

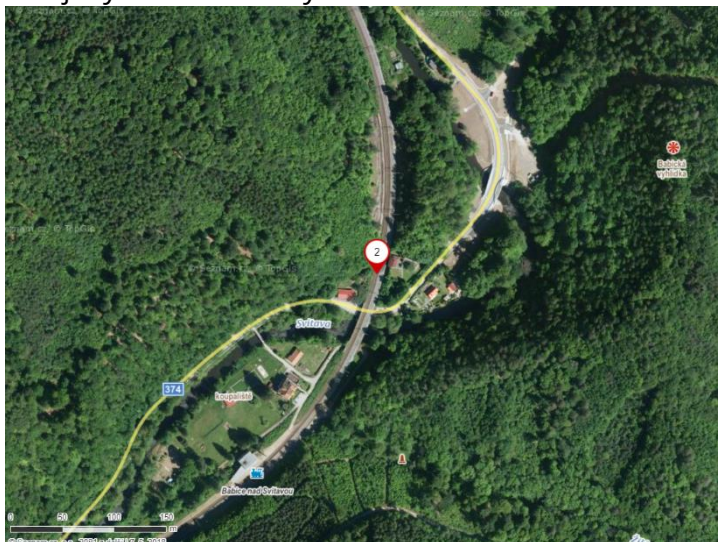


Mezi léty 2017 a 2019 bylo pravděpodobně provedeno broušení kolejnic.

4.2 ÚSEK Č. 2 – KM 168,9

4.2.1 Popis úseku

Úsek č. 2 se nachází v levostranném složeném oblouku kousek za zastávkou Babice nad Svitavou a zasahuje do přechodové oblasti mostu (ev. č. 825) s průběžným kolejovým ložem. Tyto dvě skutečnosti ovlivnily data z vyhodnocení ojetí.



Obrázek 4.2.-1: Ortofoto úseku č. 2. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; Zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Polo- měr oblouku R [m]	Smysl oblou- ku	Převý- šení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rych- lost V [km/h]
2	A (1)	168,869	375	L	140	+4,60	+1,00	80
	B (2)	168,877	379	L	140	+4,56	+0,99	80

Tabulka 4.2.-1: Údaje o úseku č. 2

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rych- lost V ¹³⁰ [km/h]	Tvar kolej- nic	Mate- riál kolejnic	Rok vlození kolejnic	Upev- nění	Pražce	Rozdě- lení pražců	Rok vlození pražců
1	A (1)	-	60E2	R350HT	2016	W14	B91S	u	1996
	B (2)	-	60E2	R350HT	2018	W14	B91S	u	1996

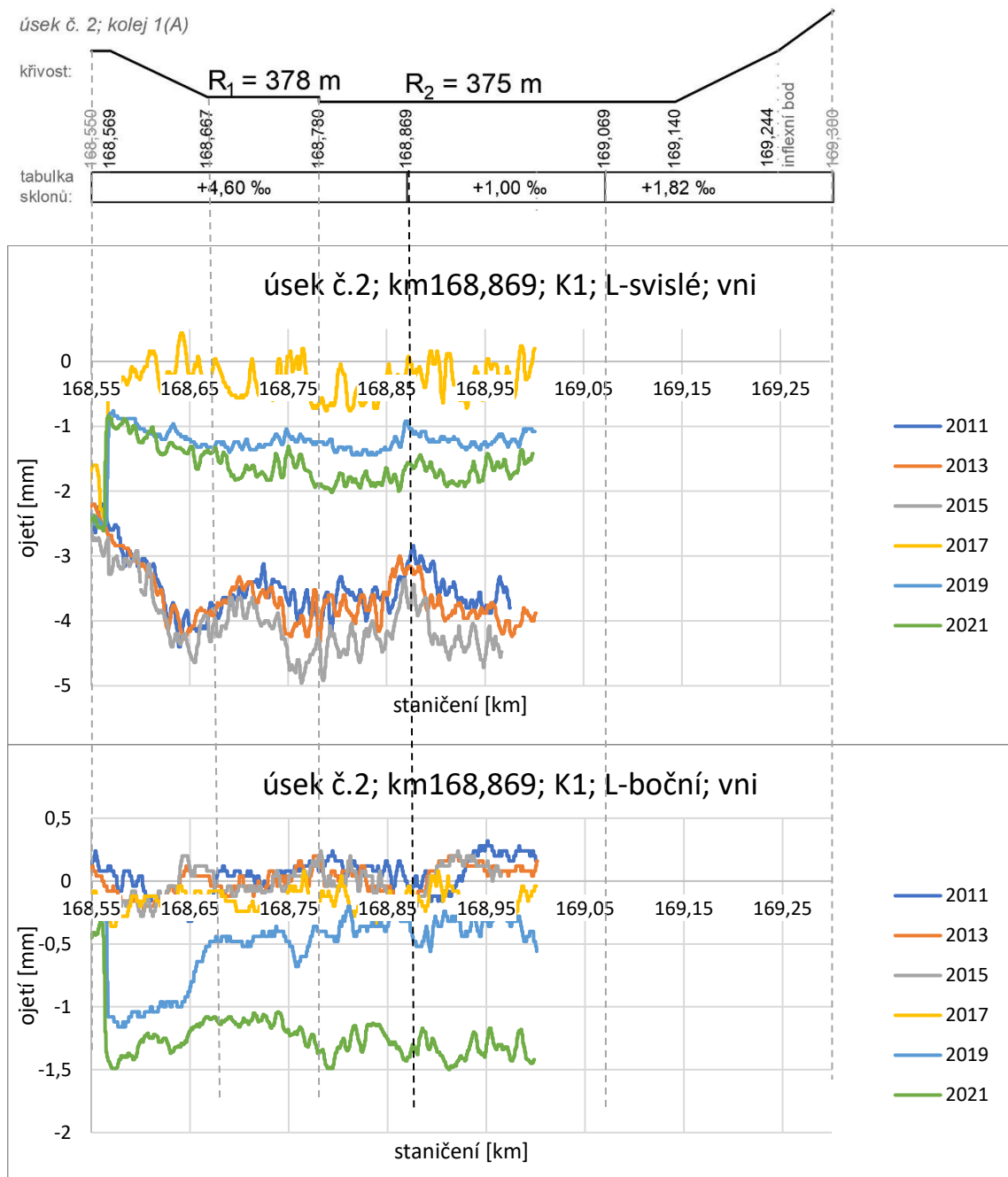
Tabulka 4.2.-2: Údaje o úseku č. 2 – pokračování

4.2.2 Teoretický výpočet

úsek č. 2			úsek č. 2		
Řídící síla P ₁ [kN]	před LN	za LN	Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	63,302	63,247	Kolej č. 1 (A)	39,499	39,444
Kolej č. 2 (B)	64,569	64,562	Kolej č. 2 (B)	40,795	40,787

4.2.3 Vyhodnocení ojetí

4.2.3.1 Kolej č. 1

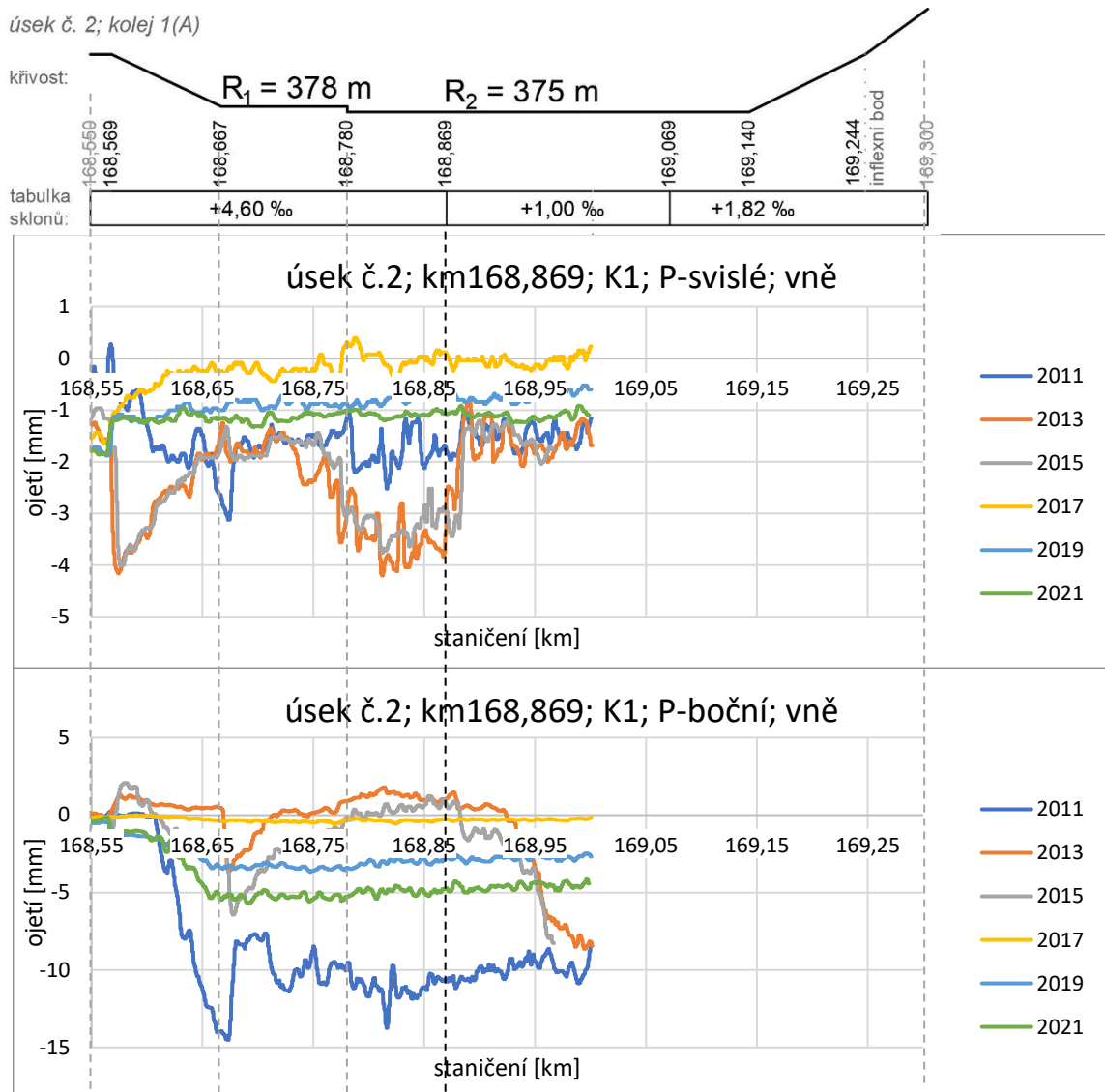


Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Data pro tento úsek jsou k dispozici pouze po km 169,000, což ale ničemu nevadí, protože 31 m délky za lomem sklonu je pro kvantitativní analýzu zcela dostačující.

Výše je grafické vyhodnocení ojetí levého kolejnicového pásu. Svislé ojetí dosahuje vyšších hodnot než ojetí boční, což se u levostranného oblouku dalo předpokládat. Svislé ojetí narůstá do r. 2015. V roce 2016 byla provedena výměna kolejnic. Pak opět od r. 2017 narůstá.

Boční ojetí narůstá celou dobu jako kdyby žádná výměna kolejnic neproběhla, což ale může být způsobeno chybou měření měřícího vozu, protože se pohybujeme ve velmi malých číslech (0 až 1,5 mm).

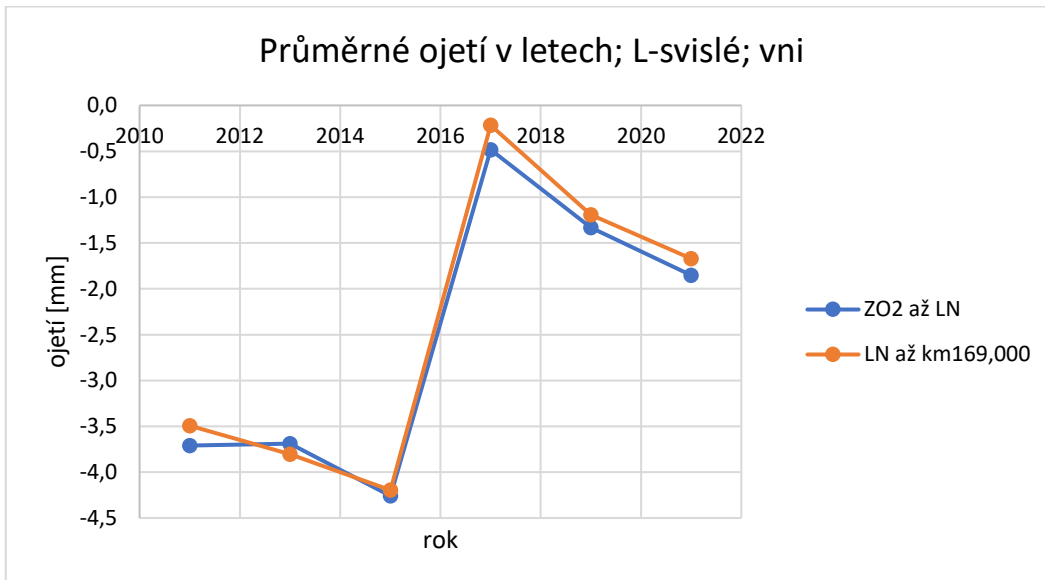


Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Na této stránce je ojetí pravého kolejnicového pásu. Boční ojetí dosahuje nejvyšších hodnot, což se u levostranného oblouku dalo předpokládat. Po roce 2011 bylo pravděpodobně provedeno broušení, v roce 2016 výměna. Lokální extrém okolo km 168,65 bude pravděpodobně mít příčinu v tom, že okolo km 168,65 se nachází zastávka Babice nad Svitavou.

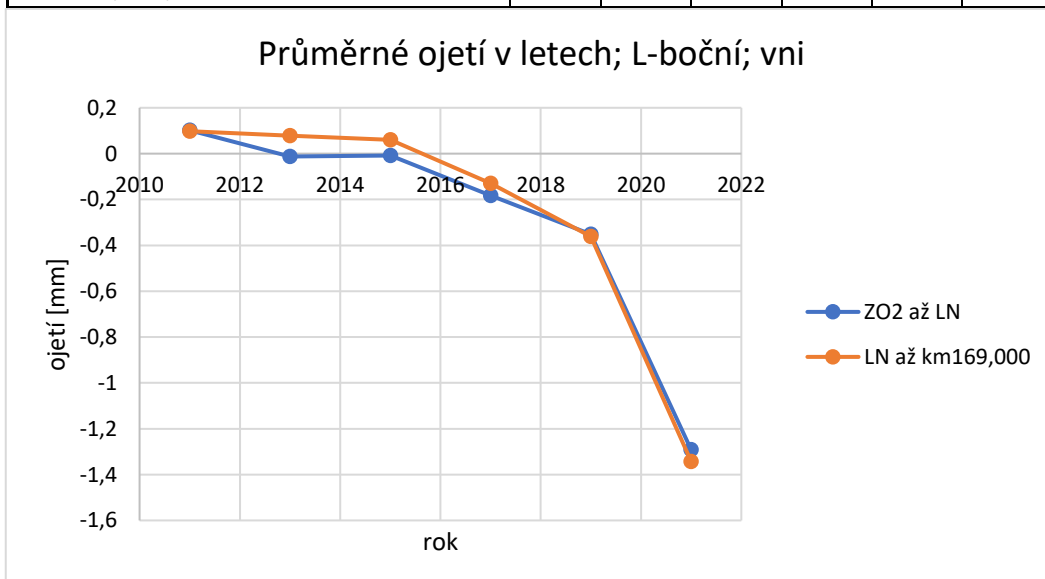
NUMERICKÁ ANALÝZA:

ú. č. 2; km 168,869; K1						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 168,780; R375; +4,60 ‰	-3,7	-3,7	-4,3	-0,5	-1,3	-1,9
LN1 168,869; R375; +1,00 ‰	-3,5	-3,8	-4,2	-0,2	-1,2	-1,7
LN2 169,000; konec dat						



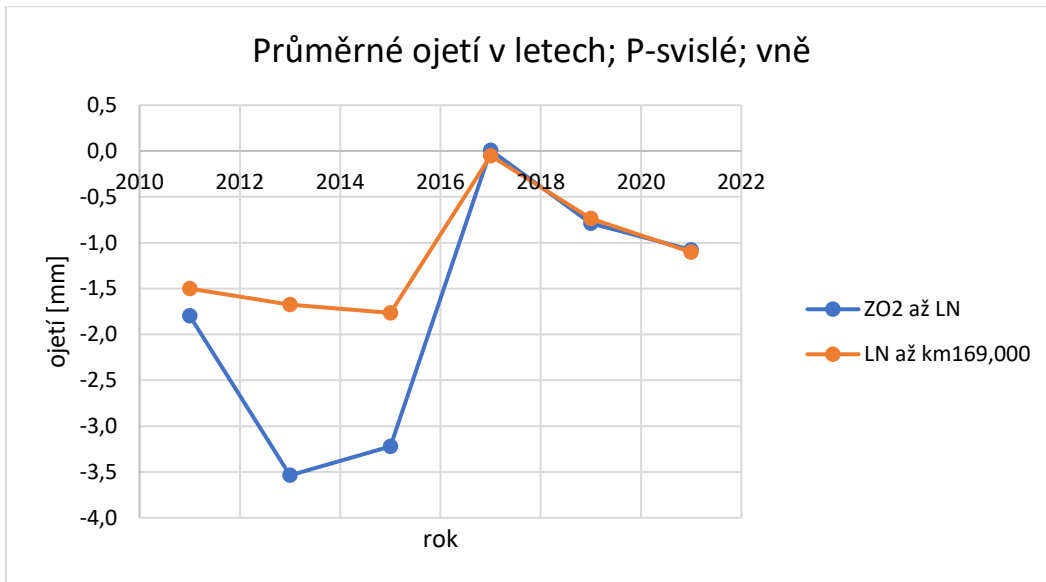
V roce 2016 proběhla výměna kolejnic.

ú. č. 2; km 168,869; K1						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 168,780; R375; +4,60 ‰	0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,4	-1,3
LN1 168,869; R375; +1,00 ‰	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,4	-1,3
LN2 169,000; konec dat						

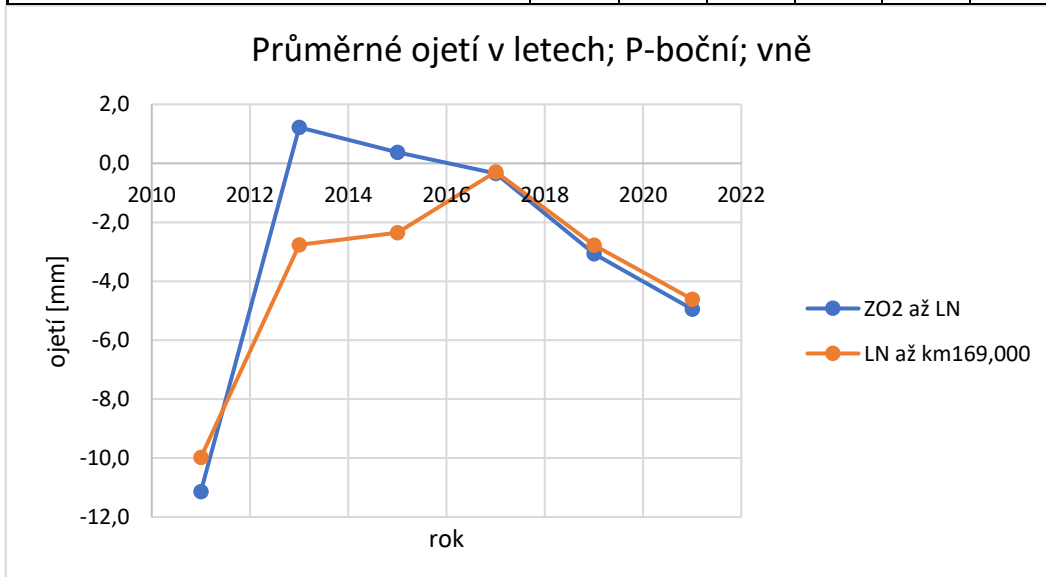


V roce 2016 proběhla výměna kolejnic.

ú. č. 2; km 168,869; K1						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 168,780; R375; +4,60 ‰	-1,8	-3,5	-3,2	0,0	-0,8	-1,1
LN1 168,869; R375; +1,00 ‰	-1,5	-1,7	-1,8	-0,1	-0,7	-1,1
LN2 169,000; konec dat						



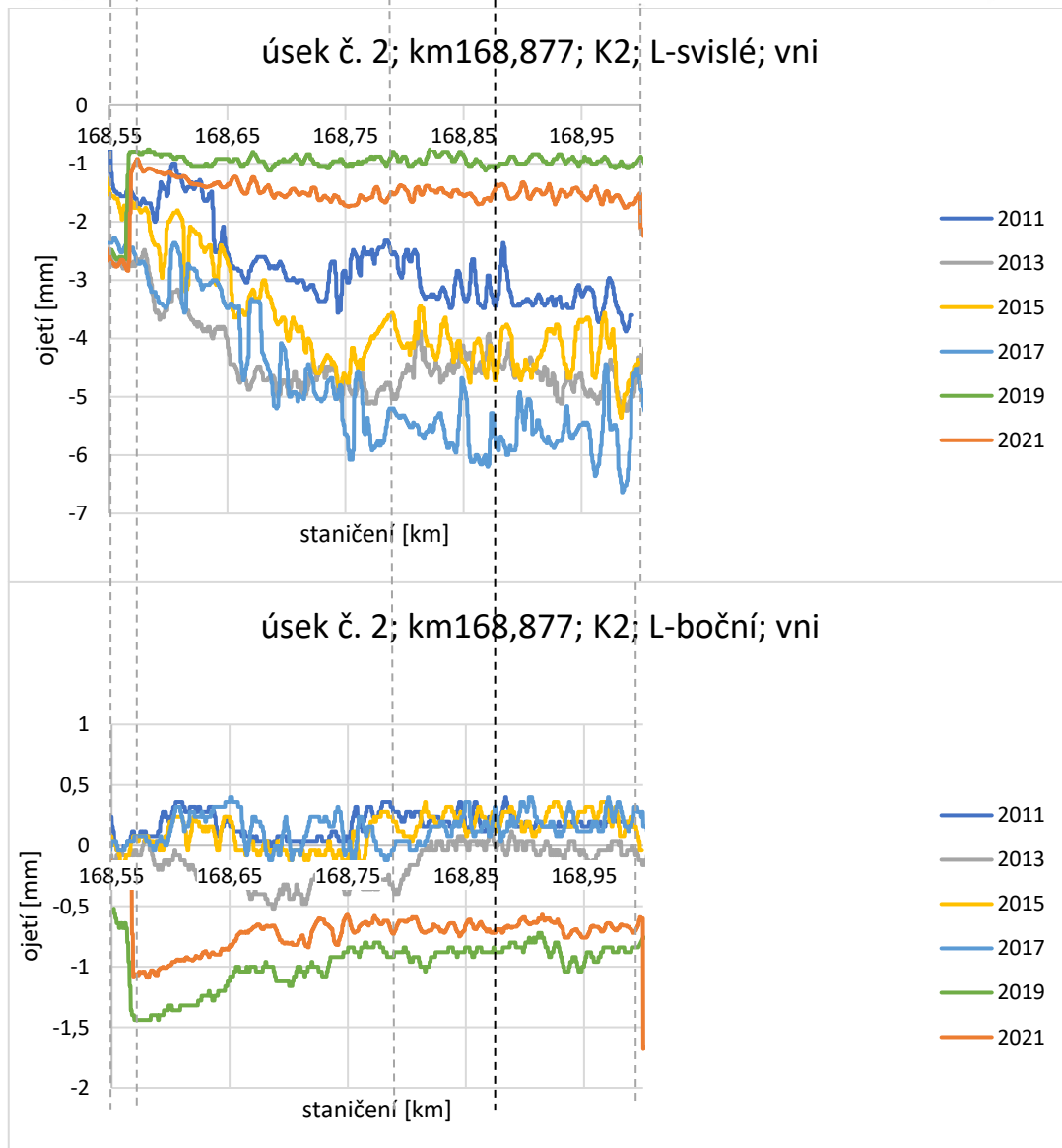
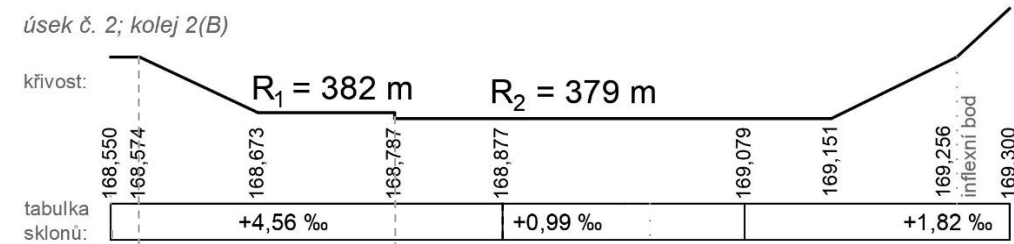
ú. č. 2; km 168,869; K1						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 168,780; R375; +4,60 ‰	-11,1	1,2	0,4	-0,3	-3,1	-4,9
LN1 168,869; R375; +1,00 ‰	-10,0	-2,8	-2,4	-0,3	-2,8	-4,6
LN2 169,000; konec dat						



V r. 2013 pravděpodobně vznikly převalky. V roce 2016 proběhla výměna kolejnic.

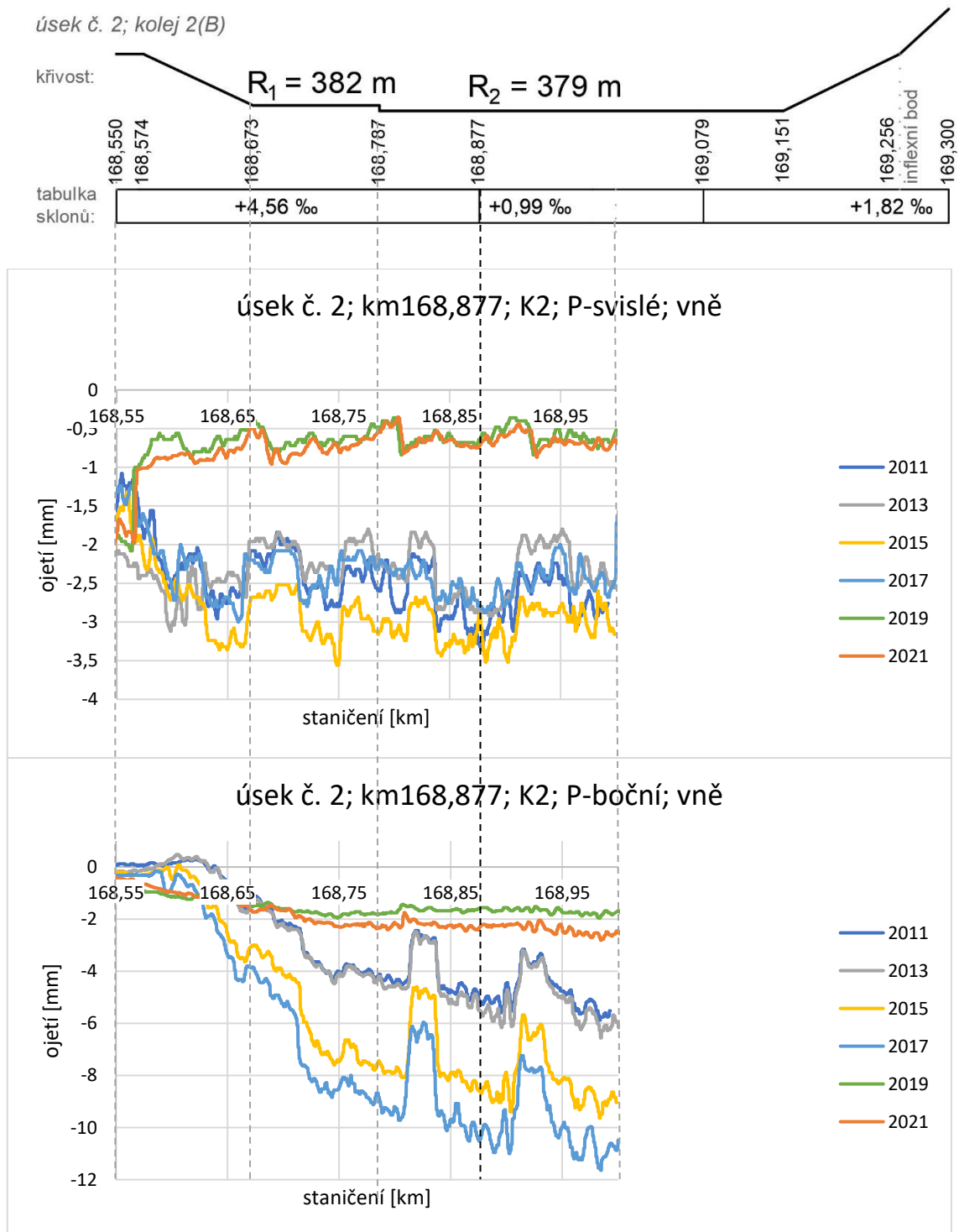
4.2.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 2; kolej 2(B)



Na grafech výše je ojetí levého kolejnicového pásu. Svislé ojetí dosahuje o dost vyšších hodnot než boční, což se u levostranného oblouku dá předpokládat. Ojetí roste relativně plynule do r. 2017, kdy proběhla výměna kolejnic. (dle nákr. přehledu trati v r. 2018). Pak opět roste. U bočního ojetí, jsou hodnoty r. 2019 a 2021 vyšší, což nelze očekávat. Může to být způsobeno odchylkou měření (až 1 mm) nebo nečistotami na kolejnici.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.



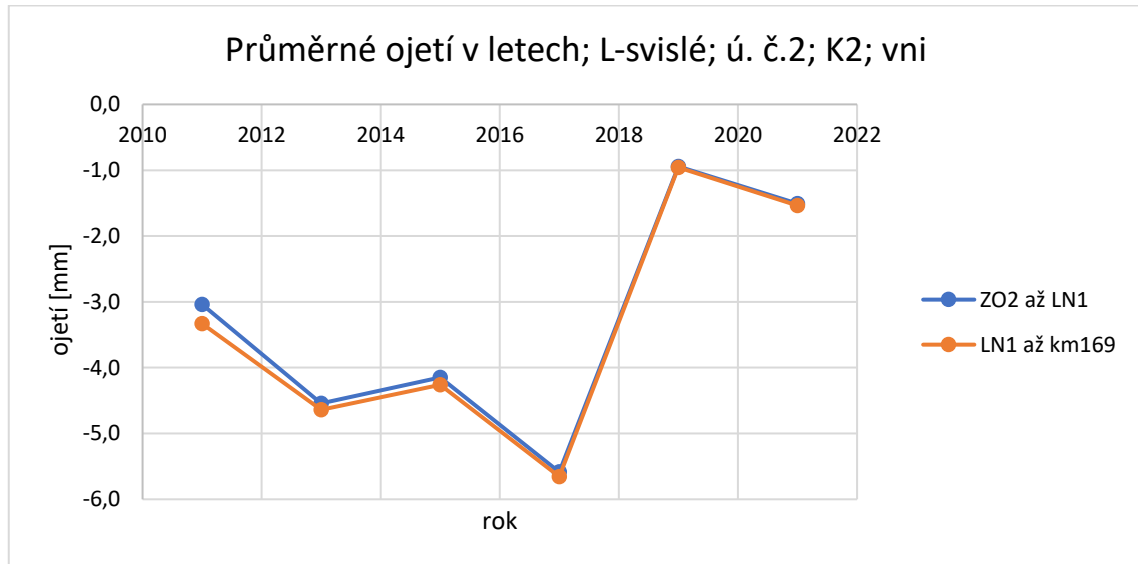
Na této straně je ojetí pravého kolejnicového pásu. Svislé ojetí je nejednoznačné, ale více méně má narůstající tendenci. V r. 2018 proběhla výměna kolejnic. Boční ojetí pravého kolejnicového pásu, dosahuje nejvyšších hodnot ze všech ojetí v této koleji a úseku. V r. 2018, kdy dosáhlo pravděpodobně místy přes 12 mm, proběhla výměna. Lokální extrémů okolo km168,825 jsou zřejmě způsobeny mostem v km168,825 (ev. č. 825). Lokální extrémů okolo km 168,890 ponechávám bez vysvětlení.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

NUMERICKÉ VYHODNOCENÍ:

úsek č. 2; km168,877; K2

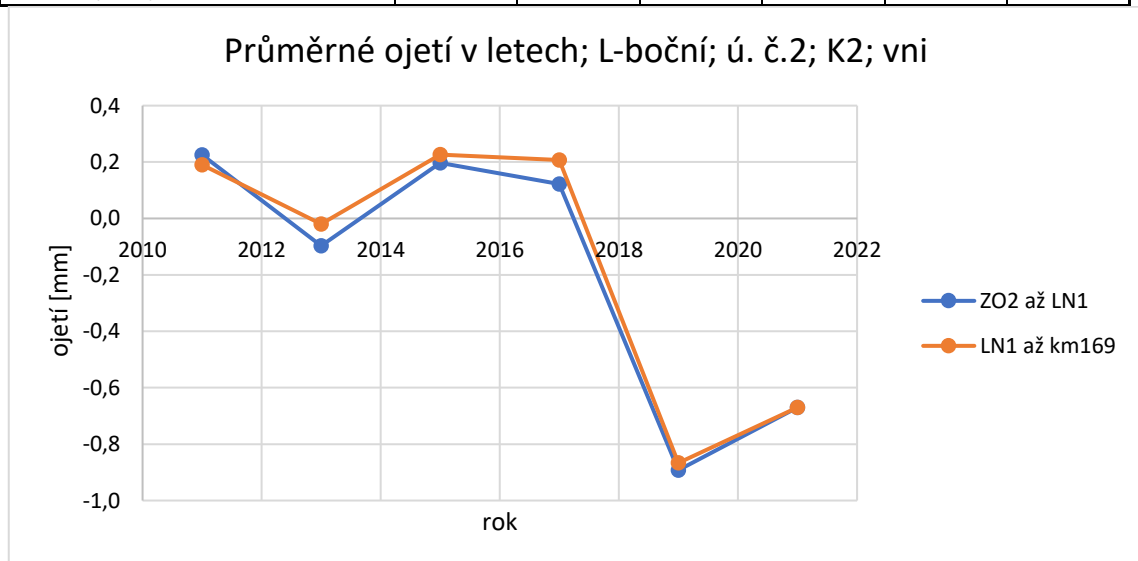
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 km 168,787	-3,0	-4,5	-4,1	-5,6	-0,9	-1,5
LN1 km 168,877	-3,3	-4,6	-4,3	-5,7	-1,0	-1,5
km 169,000; konec dat						



Lokální extrém v r.2015 bude pravděpodobně způsoben odchylkou se kterou měří měřící vůz (až 1 mm). V roce 2018 proběhla výměna kolejnic.

úsek č. 2; km168,877; K2

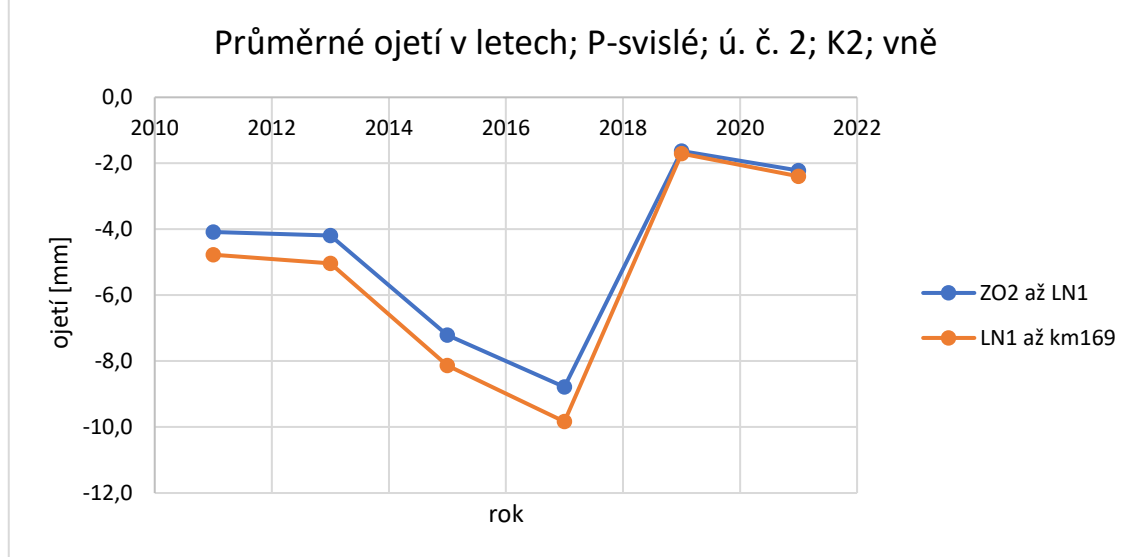
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 km 168,787	0,2	-0,1	0,2	0,1	-0,9	-0,7
LN1 km 168,877	0,2	0,0	0,2	0,2	-0,9	-0,7
km 169,000; konec dat						



Ojetí konverguje okolo 0. Náhlá změna v r. 2017 bude pravděpodobně způsobena tím, že v r. 2015 a 2017 byla kolejnice zanešena nečistotami, či je to odchylka měření. Stejně tak r. 2017 a 2021.

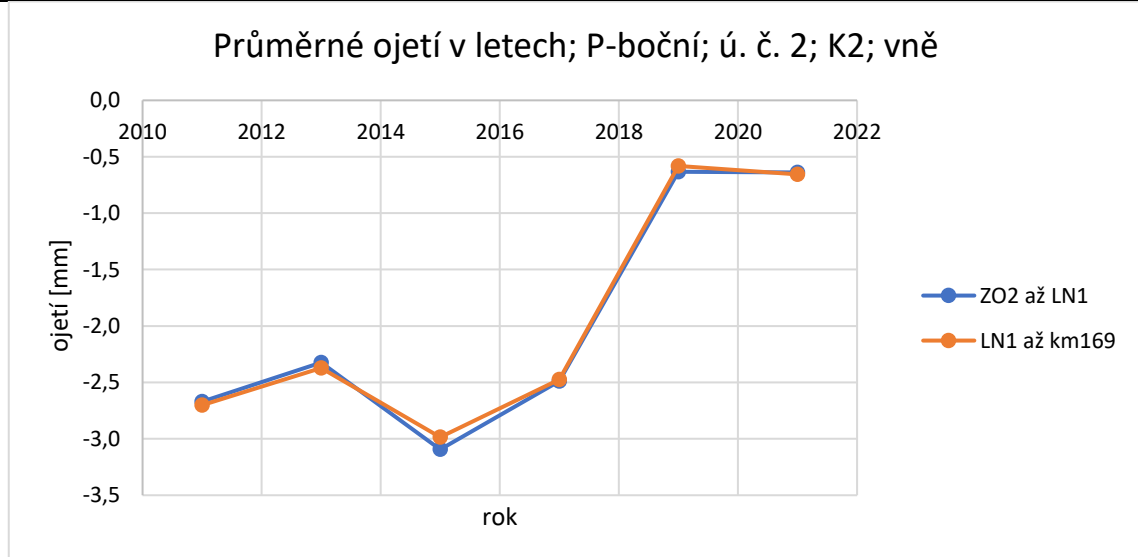
úsek č. 2; km168,877; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 km 168,787	-4,1	-4,2	-7,2	-8,8	-1,6	-2,2
LN1 km 168,877	-4,8	-5,0	-8,1	-9,8	-1,7	-2,4
km 169,000; konec dat						



úsek č. 2; km168,877; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO2 km 168,787	-2,7	-2,3	-3,1	-2,5	-0,6	-0,6
LN1 km 168,877	-2,7	-2,4	-3,0	-2,5	-0,6	-0,7
km 169,000; konec dat						



Boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu K2 nenabývá tak velkých hodnot jako v jiných úsecích, což bude pravděpodobně způsobeno tím, že data z konce oblouku, kde bývá boční ojetí největší (viz kap. 7.1), nejsou k dispozici.

4.3 ÚSEK Č. 3 – KM 178,4

4.3.1 Popis úsek

Úsek č. 3 se nachází před žst. Blansko v levostranném oblouku. Zajímavé na tomhle úseku je, že má v koleji č. 2 pražce SB 8.



Obrázek 4-2: Ortofoto úseku č. 3. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Položka oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
3	A (1)	178,416	265	L	120	+4,62	+1,87	70
	B (2)	178,432	271	L	128	+4,52	+2,28	70

Obrázek 4-3: Údaje o úseku č. 3

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V ¹³⁰ [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
3	A (1)	70	60E2	R350HT	1997	W14	B91S	u	1997
	B (2)	70	49E1	R350HT	2014	S 4 pl	SB8	d	1993

Obrázek 4-4: Údaje o úseku č. 3 – pokračování

4.3.2 Teoretický výpočet

úsek č. 3

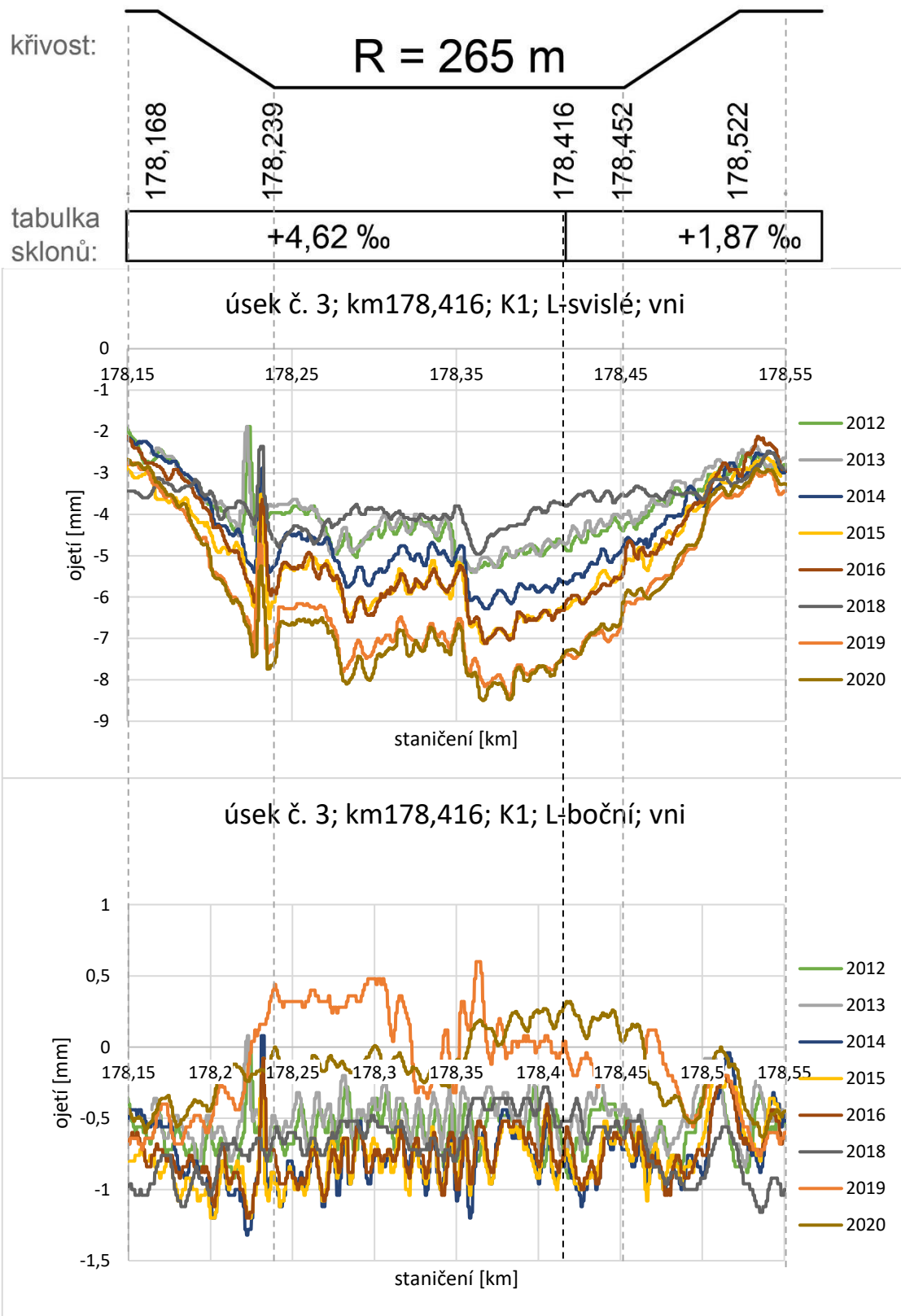
úsek č. 3

Řídící síla P ₁ [kN]	před LN	za LN	Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	76,707	76,668	Kolej č. 1 (A)	52,604	52,542
Kolej č. 2 (B)	76,197	76,152	Kolej č. 2 (B)	52,128	52,099

4.3.3 Vyhodnocení ojetí

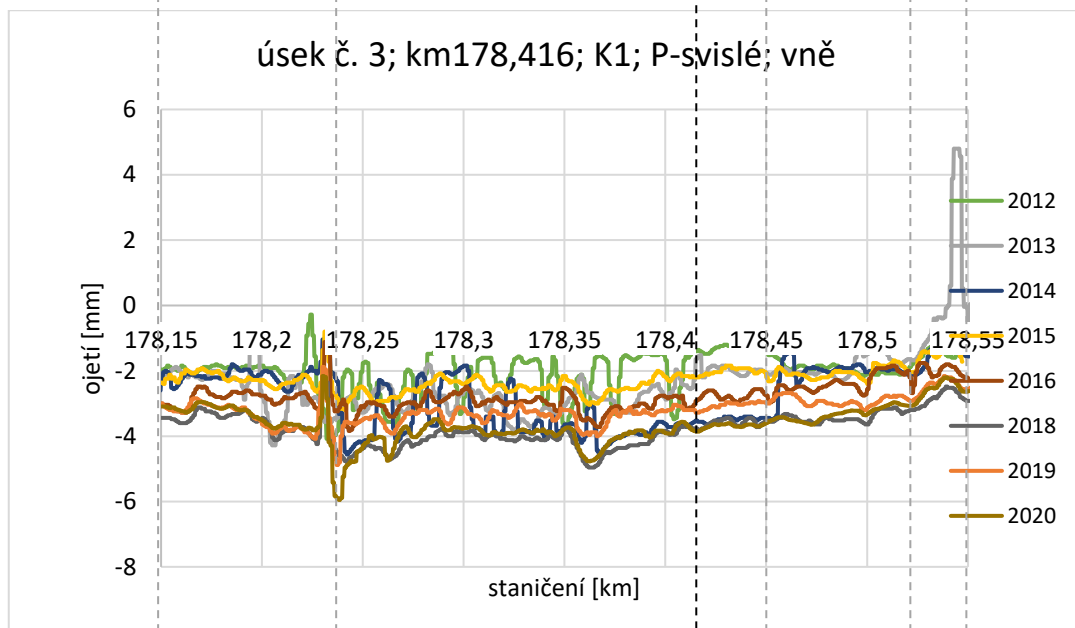
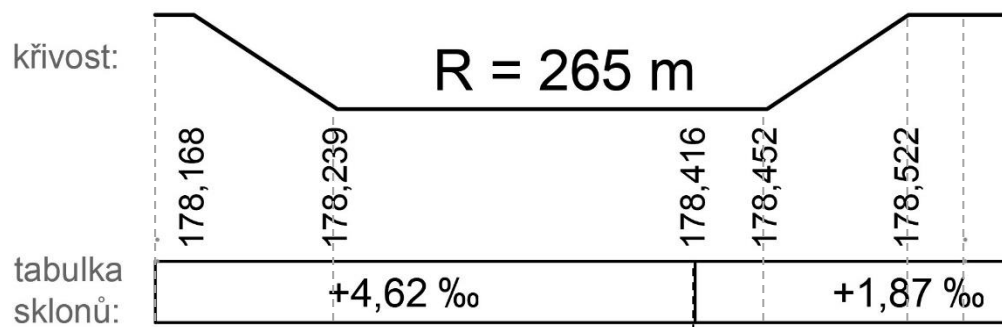
4.3.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 3; kolej 1(A)

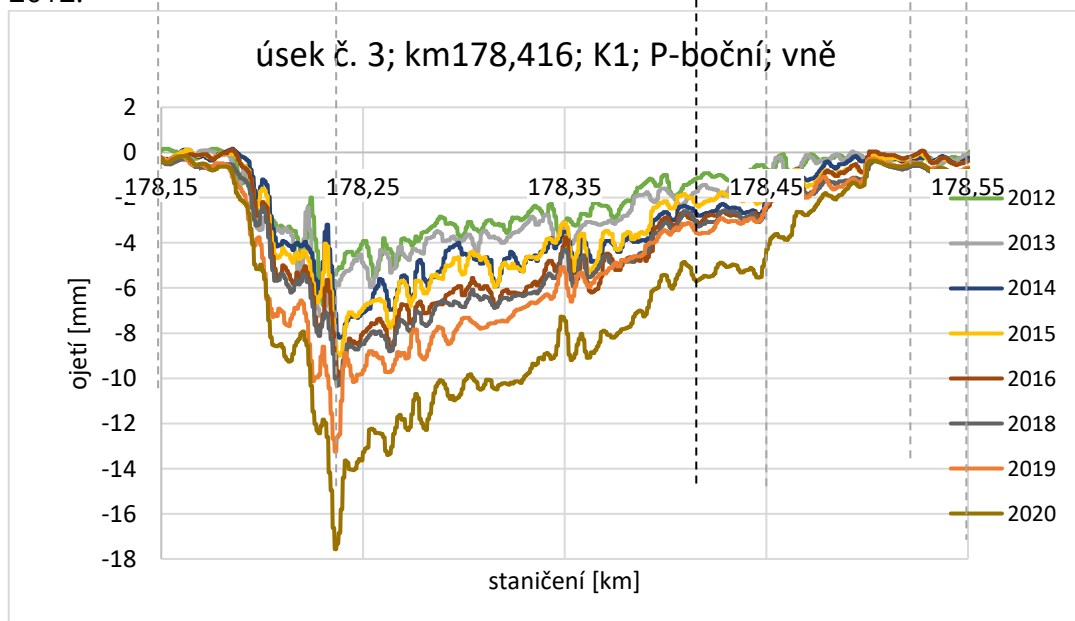


Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

úsek č. 3; kolej 1(A)



Svislé ojetí se překrývá, ale nejvyšších hodnot dosahuje v r. 2020 a nejnižších v r. 2012.



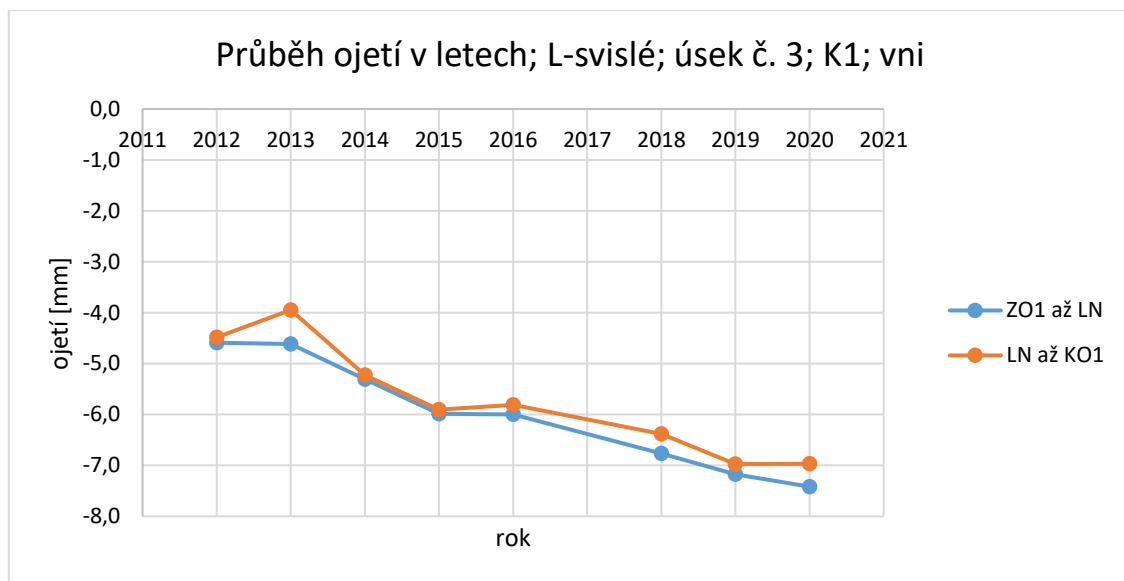
Soupravy Railjet jsou v úseku hnacím vozidlem taženy a vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Boční ojetí vykazuje přibližně lineární nárůst a po délce oblouku

narůstá, neboť vlaky jezdí po koleji č. 1 **proti** směru staničení. Lokální extrém nastává v místě ZO(KP), které bylo pravděpodobně léty zdeformováno.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 3; km178,416; K1

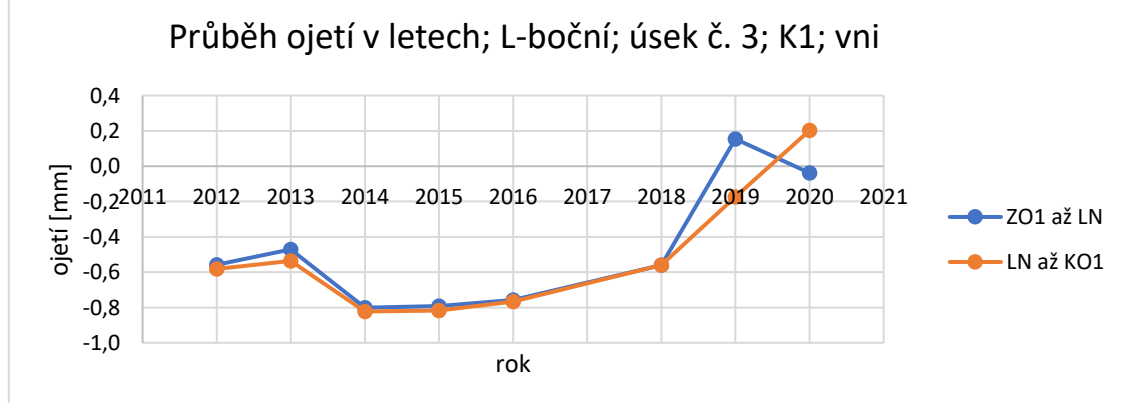
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2020
ZO1 km 178,239	-4,6	-4,6	-5,3	-6,0	-6,0	-6,8	-7,2	-7,4
LN km 178,416	-4,5	-3,9	-5,2	-5,9	-5,8	-6,4	-7,0	-7,0
KO1 km 178,452								



Lokální extrém v r. 2013 je pravděpodobně způsoben chybou, se kterou měří měřicí vůz.

úsek č. 3; km178,416; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2020
ZO1 km 178,239	-0,6	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	0,2	0,0
LN km 178,416	-0,6	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,2	0,2
KO1 km 178,452								

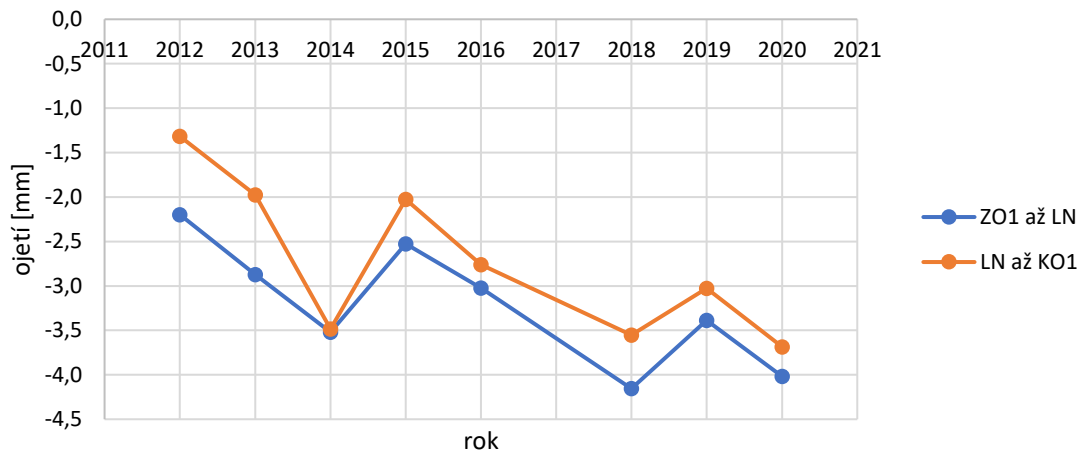


Ojetí se pohybuje okolo 0. Na první pohled nesmyslná data budou pravděpodobně způsobena přesností, se kterou měří měřicí vůz.

úsek č. 3; km178,416; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2020
ZO1 km 178,239	-2,2	-2,9	-3,5	-2,5	-3,0	-4,2	-3,4	-4,0
LN km 178,416	-1,3	-2,0	-3,5	-2,0	-2,8	-3,6	-3,0	-3,7
KO1 km 178,452								

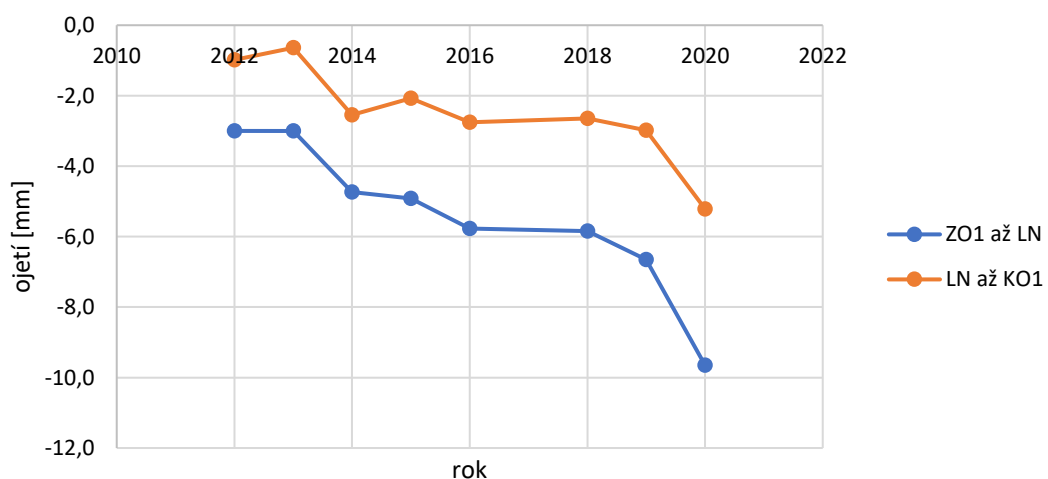
Průměrné ojetí v letech; P-svislé; úsek č. 3; K1; vně



úsek č. 3; km178,416; K1

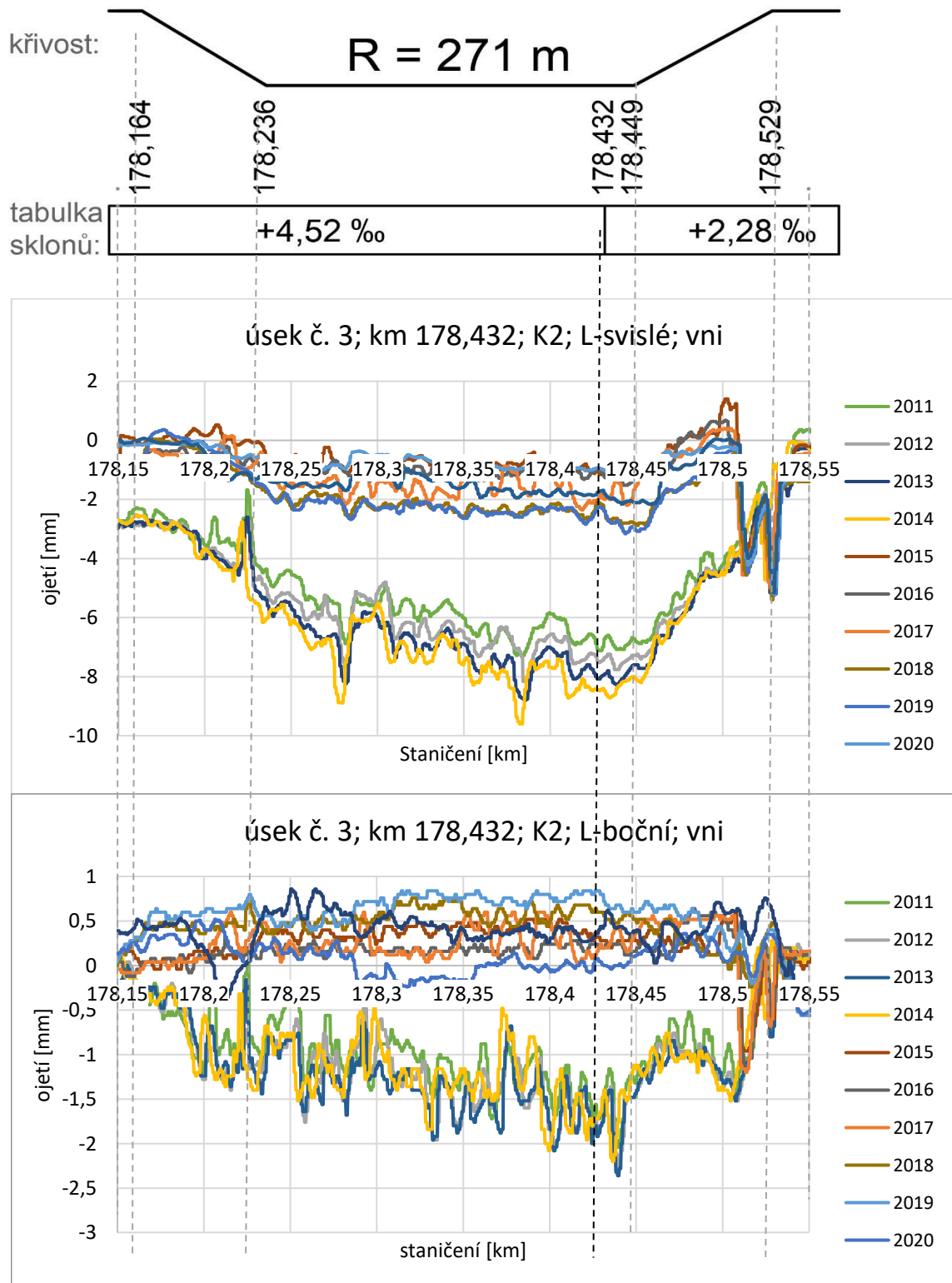
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2020
ZO1 km 178,239	-3,0	-3,0	-4,7	-4,9	-5,8	-5,8	-6,7	-9,7
LN km 178,416	-1,0	-0,6	-2,5	-2,1	-2,8	-2,6	-3,0	-5,2
KO1 km 178,452								

Průběh ojetí v letech; P-boční; úsek č. 3; K1; vně



4.3.3.2 Kolej č. 2

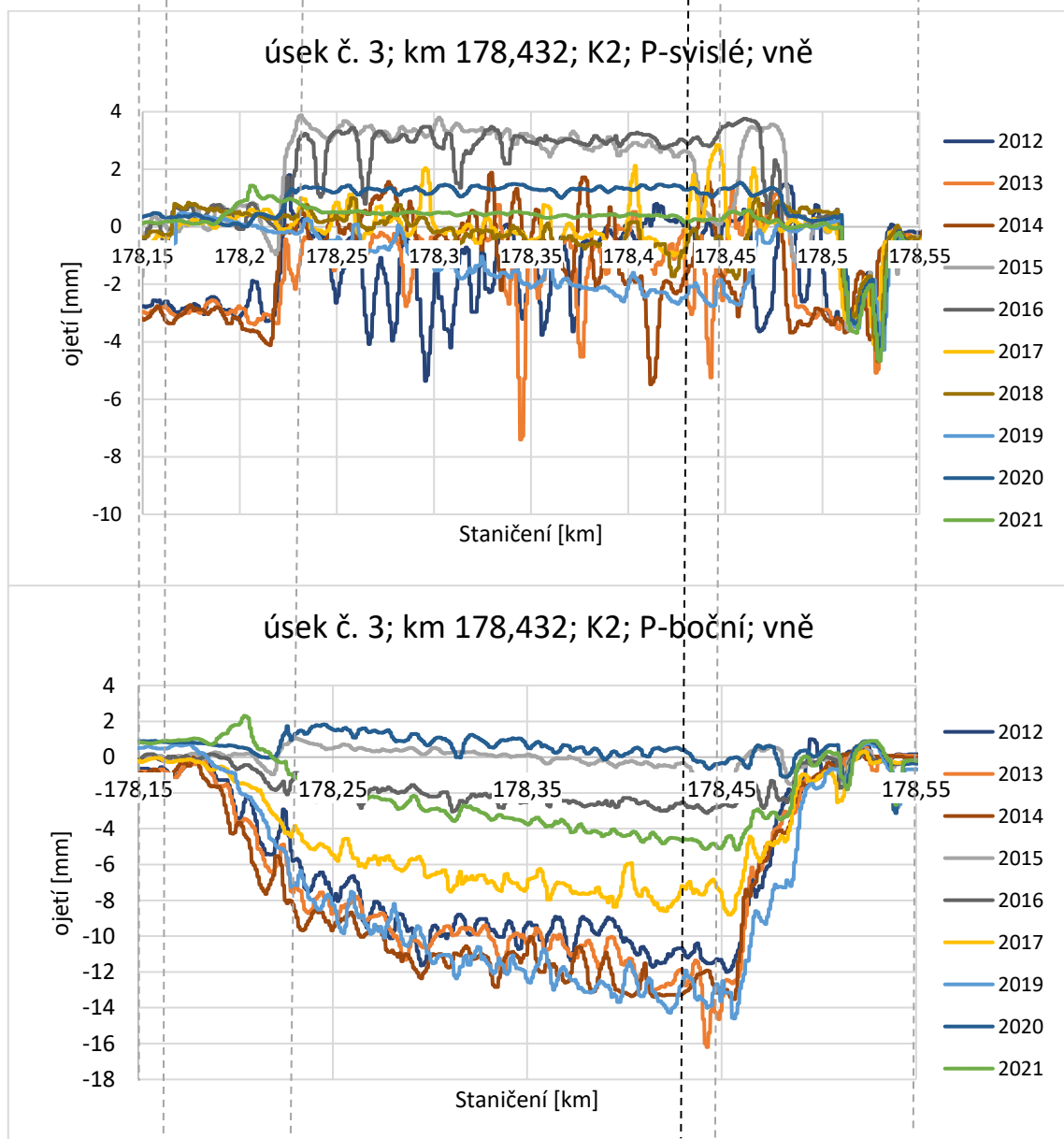
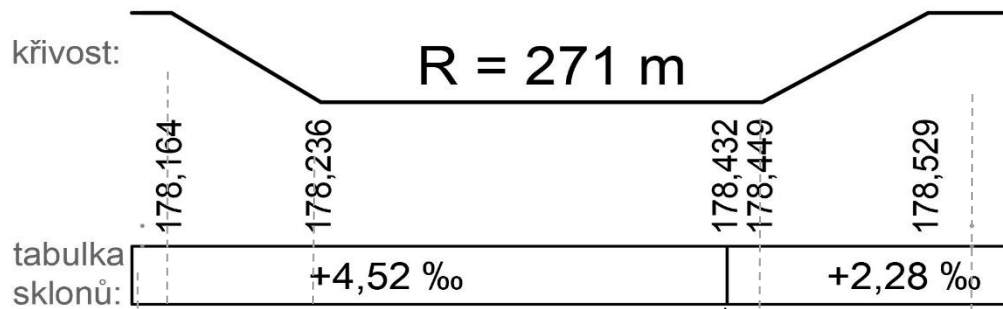
úsek č. 3; kolej 2(B)



Levá kolejnice vykazuje větší ojetí ve svislém směru než v bočním ojetí.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

úsek č. 3; kolej 2(B)



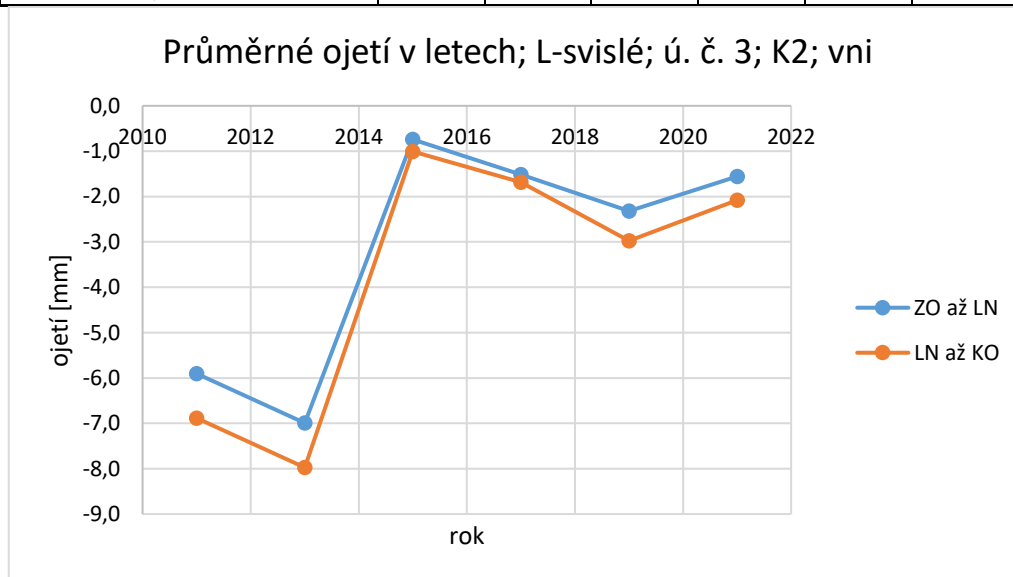
Boční ojetí pravého kolejnicového pásu dosahuje největších hodnot ze všech ojetí v koleji (až 16 mm), což se u vnějšího kolejnicového pásu dalo předpokládat. Lze přehledně vidět, jak ojetí postupně narůstá od r. 2011 do r. 2014. V r. 2015 proběhla výměna kolejnic (za 49 E1), poté dochází k rychlejšímu nárůstu (s exponenciální tendencí). Z toho lze usoudit, že kolejnice tvaru 49 E1 se ojíždí

rychleji. Před měřením v r. 2012 opět proběhlo broušení. Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty. I zde je pozorovatelný malý nárůst ojetí po délce kružnicové části oblouku.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 3; km178,432; K2

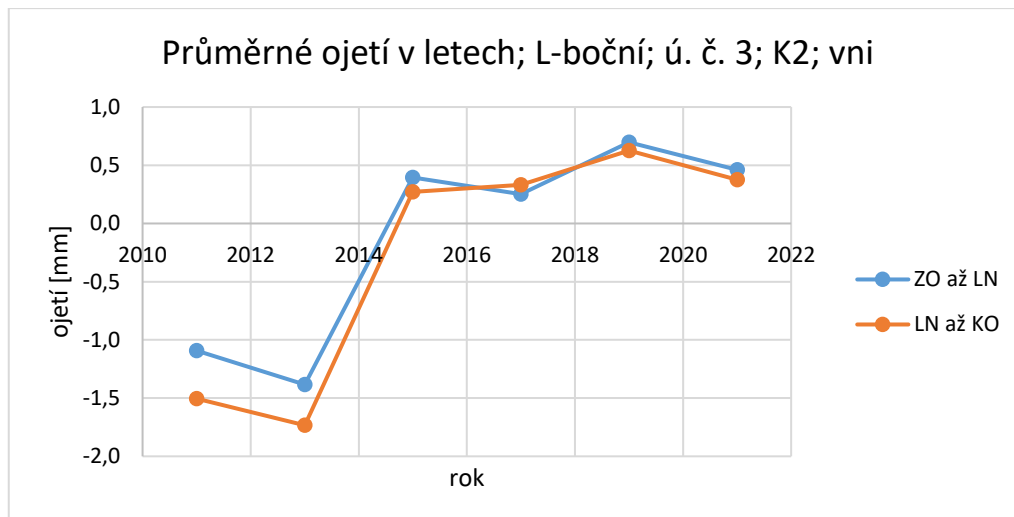
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 178,239	-5,9	-7,0	-0,7	-1,5	-2,3	-1,6
LN km 178,416	-6,9	-8,0	-1,0	-1,7	-3,0	-2,1
KO1 km 178,452						



V r. 2014 proběhla výměna kolejnic.

úsek č. 3; km178,432; K2

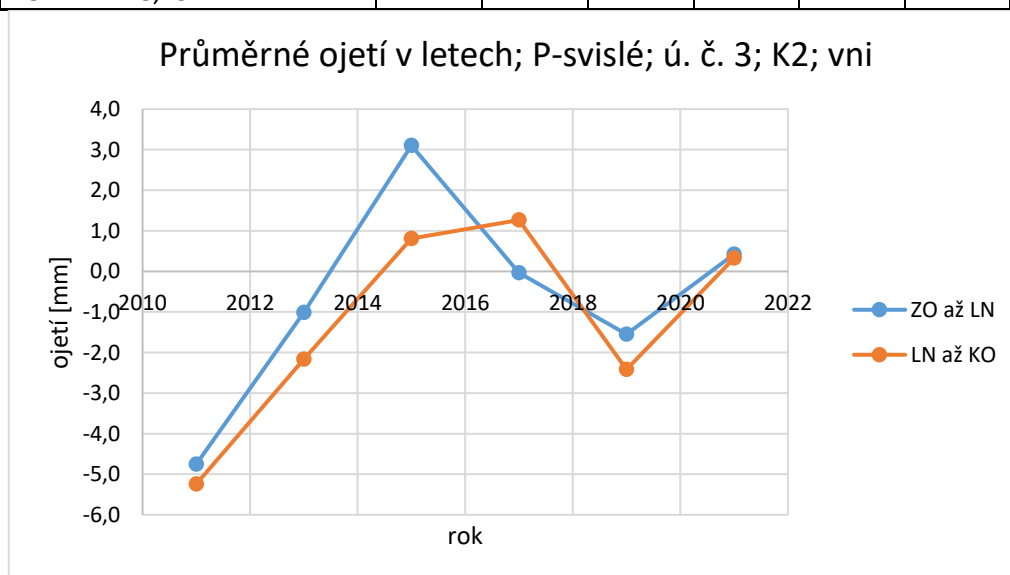
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 178,239	-1,1	-1,4	0,4	0,3	0,7	0,5
LN km 178,416	-1,5	-1,7	0,3	0,3	0,6	0,4
KO1 km 178,452						



V r. 2014 proběhla výměna kolejnic.

úsek č. 3; km178,432; K2

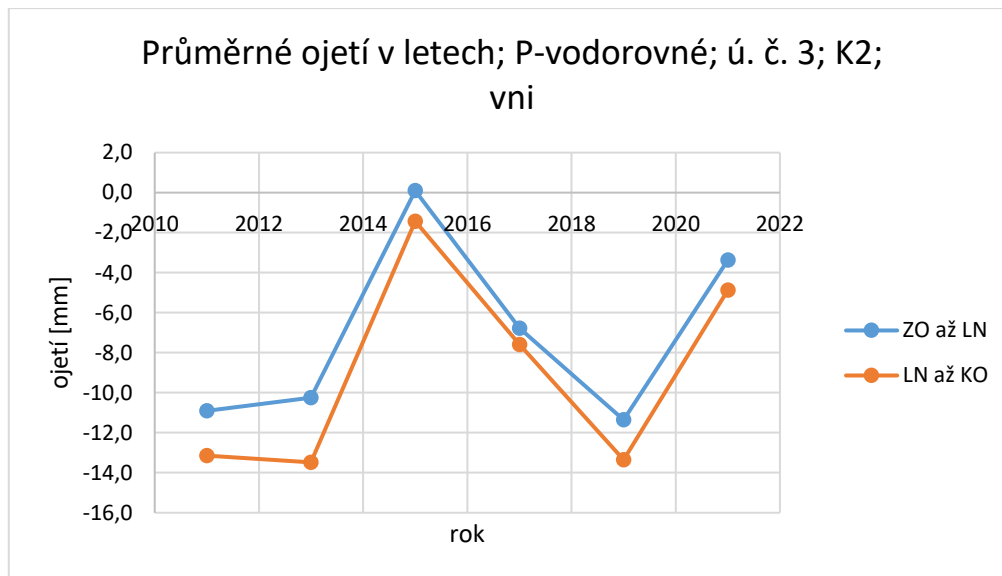
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 178,239	-4,7	-1,0	3,1	0,0	-1,5	0,4
LN km 178,416	-5,2	-2,2	0,8	1,3	-2,4	0,3
KO1 km 178,452						



Strmý úbytek ojetí v letech 2011 až 2013, bez vysvětlení.

úsek č. 3; km178,432; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-vodorovné [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km 178,239	-10,9	-10,3	0,1	-6,8	-11,4	-3,4
LN km 178,416	-13,1	-13,5	-1,4	-7,6	-13,3	-4,9
KO1 km 178,452						

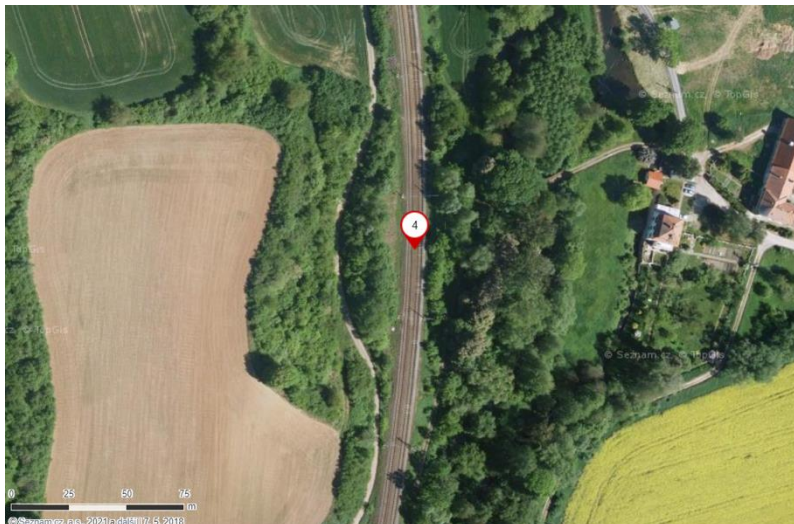


V r. 2015 proběhla výměna za kolejnice 49 E1. V roce 2019 se uskutečnilo broušení kolejnic. Strmý nárůst ojetí po roce 2015 je pravděpodobně způsoben výměnou kolejnic za 49 E1. V roce 2019 proběhlo broušení.

4.4 ÚSEK Č. 4 – KM 190,8: SLOŽENÝ OBLOUK

4.4.1 Popis úseku

Úsek č. 4 se nachází v širé trati cca 250 m před žel. zast. Babice nad Svitavou. Jedná se o složený oblouk ze tří poloměrů. Pro numerickou analýzu byl prostřední (největší) poloměr vyřazen.



Obrázek 4-5: Ortofoto úseku č. 4. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Polo-měr oblouku 1 R_1 [m]	Polo-měr oblouku 2 R_2 [m]	Smysl oblouků	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [‰] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [‰] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
4	A (1)	190,758	360	366	L	137	+3,21	-1,06	85
	B (2)	190,757	364	370	L	128	+3,15	-0,98	85

Tabulka 4-3: Údaje o úseku č. 4

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V^{130} [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňování	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
4	A (1)	90	UIC60	R260	1996	W14	B91S	u	1997
	B (2)	90	UIC60	R260	1996	W14	B91S	u	1996

Tabulka 4-4: Údaje o úseku č. 4

4.4.2 Teoretický výpočet

úsek č. 4

Řídicí síla P_1 [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	73,622	73,603
Kolej č. 2 (B)	75,782	75,782

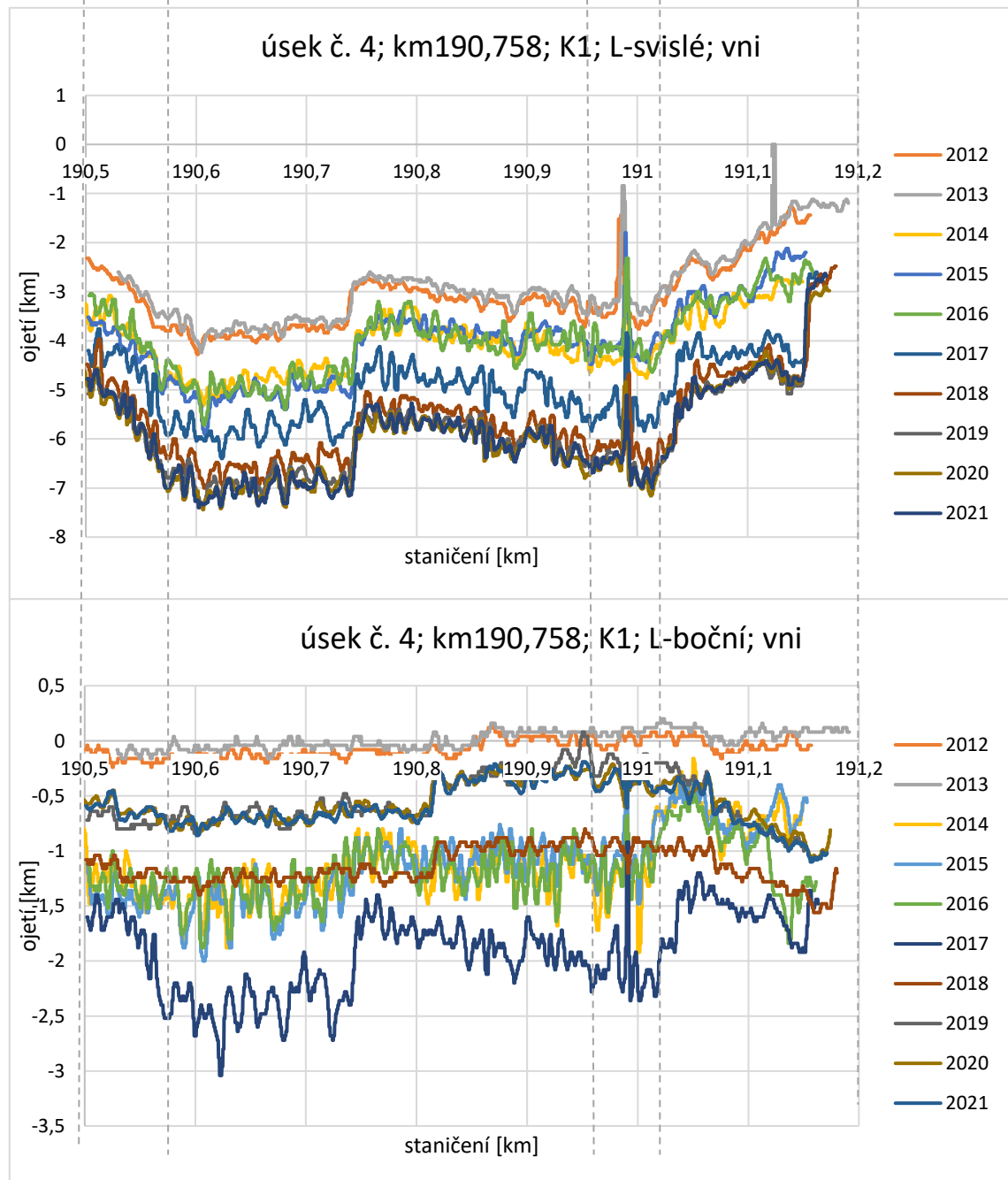
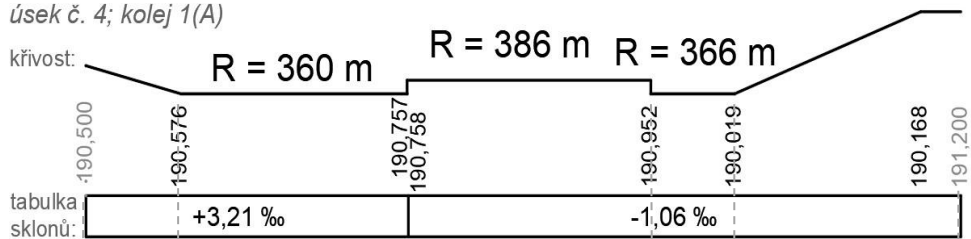
úsek č. 4

Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	50,644	50,624
Kolej č. 2 (B)	52,912	52,907

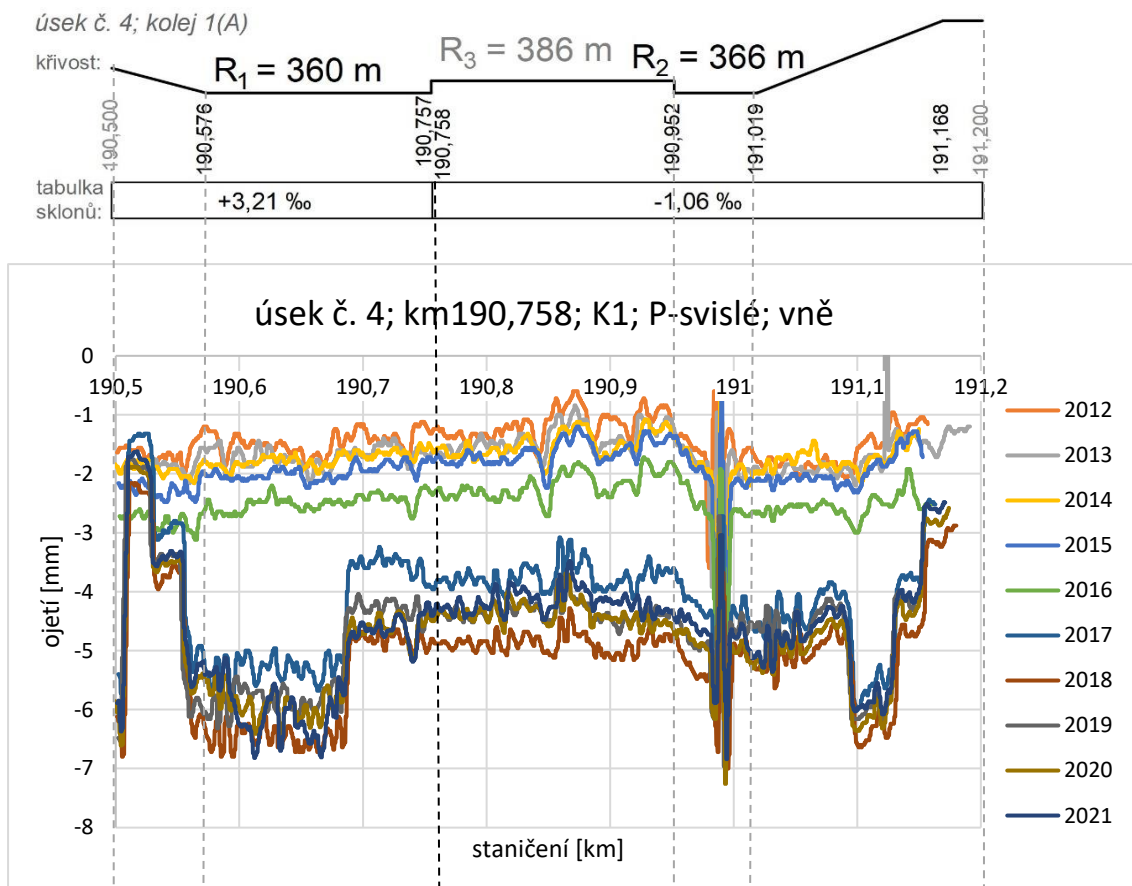
4.4.3 Vyhodnocení ojetí

4.4.3.1 Kolej č. 1

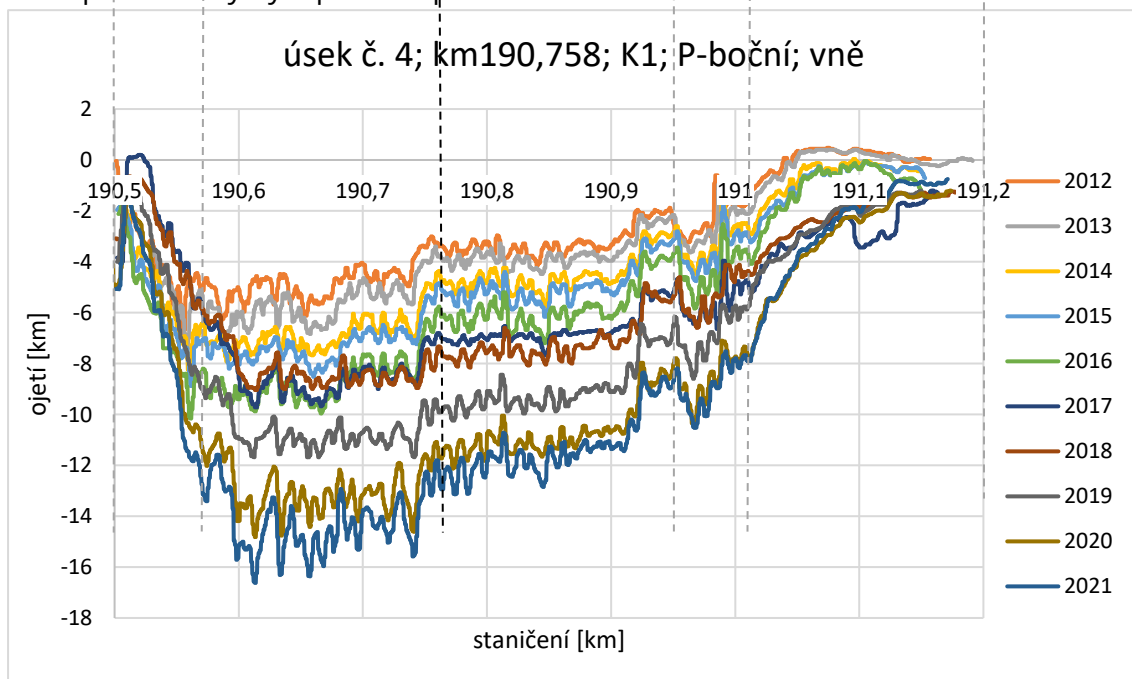
úsek č. 4; kolej 1(A)



Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.



Extrém okolo km191,0 je zřejmě způsoben umístěním kolejnicového svaru či styku. Pro upřesnění by bylo potřeba provést místní šetření.



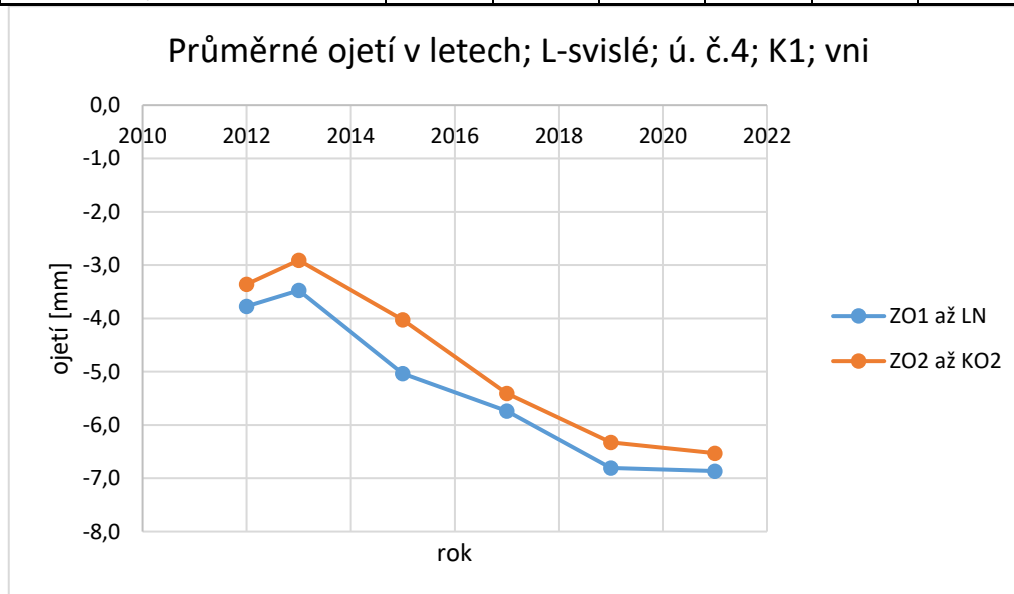
Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Boční ojetí narůstá postupně. Případné nuance jsou v rámci přesnosti, se kterou měří *MV*. Velikost ojetí se mění v závislosti na změně křivosti koleje. Klesá po délce, protože vlaky jezdí proti směru staničení. Nastává efekt „nárůst ojetí po délce“ (viz. kap. 7.1).

NUMERICKÁ ALNALÝZA:

úsek č. 4; km190,758; K1

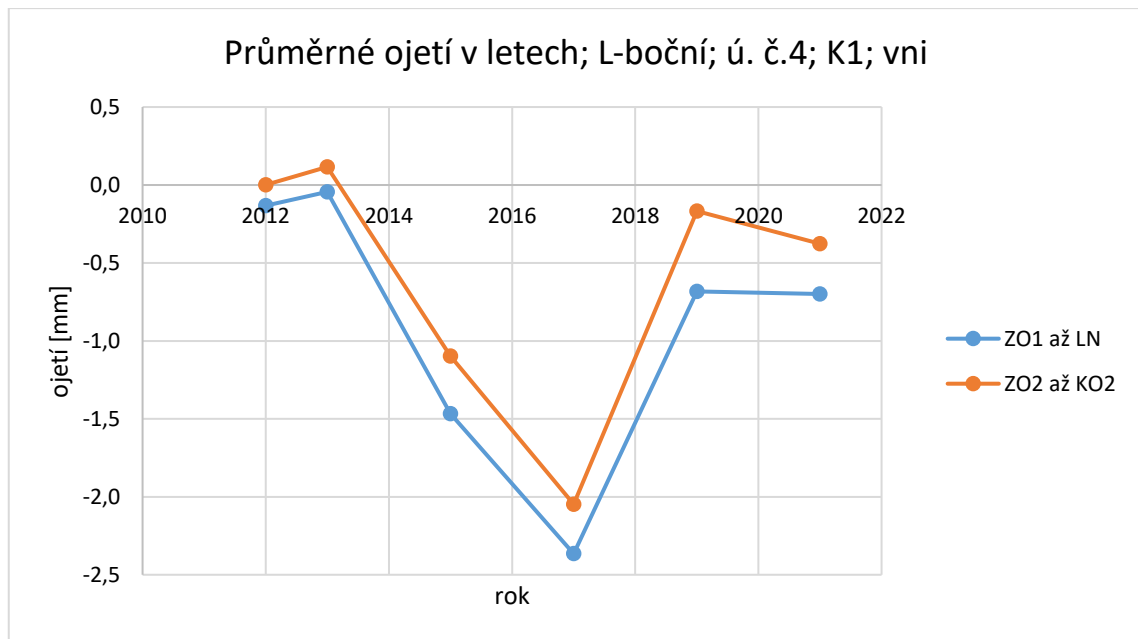
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2012	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km190,576	-3,8	-3,5	-5,0	-5,7	-6,8	-6,9
LN km190,757						
ZO2 km190,952	-3,4	-2,9	-4,0	-5,4	-6,3	-6,5
KO2 km191,019						



R. 2013 je v rámci přesnosti měření.

úsek č. 4; km190,758; K1

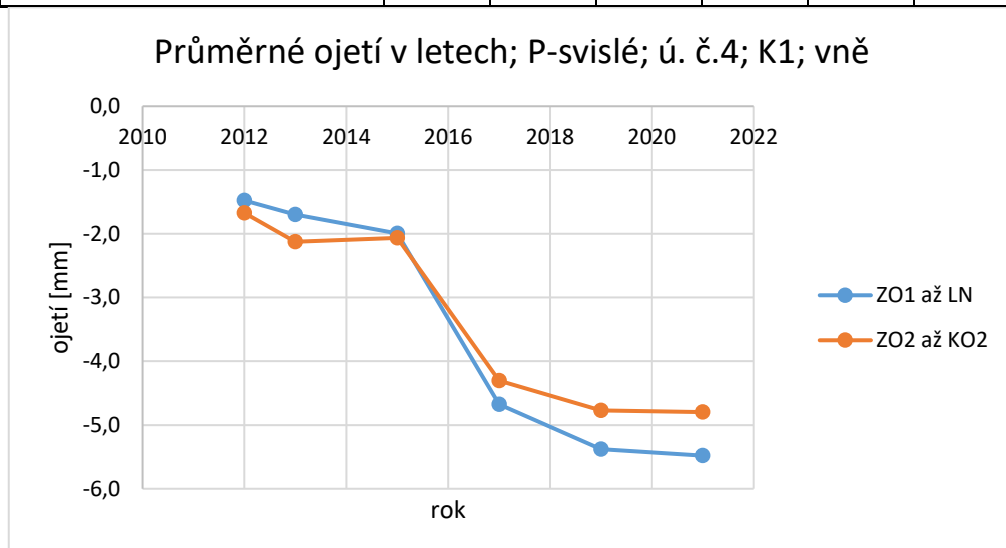
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2012	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km190,576	-0,1	0,0	-1,5	-2,4	-0,7	-0,7
LN km190,757						
ZO2 km190,952	0,0	0,1	-1,1	-2,0	-0,2	-0,4
KO2 km191,019						



R. 2019 a 2021 je bez vysvětlení.

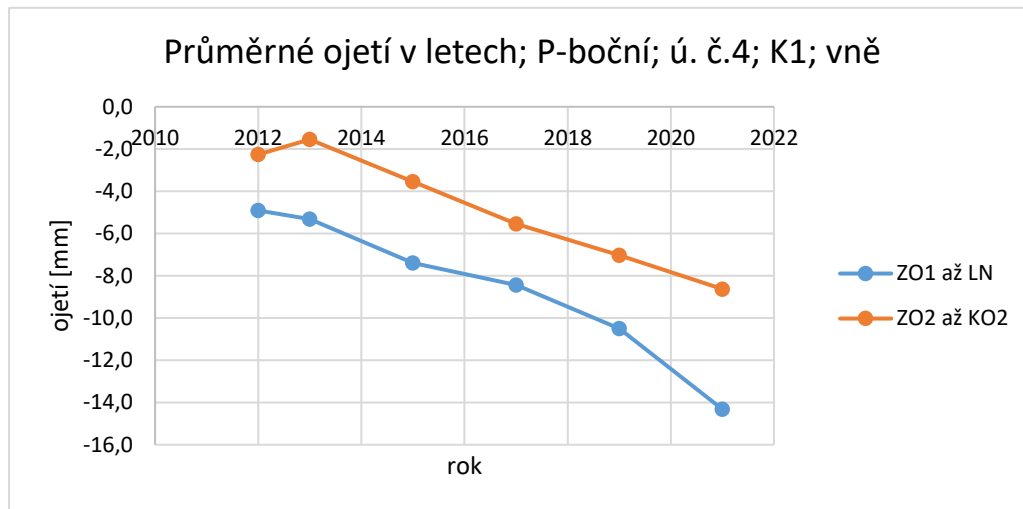
úsek č. 4; km190,758; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2012	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km190,576	-1,5	-1,7	-2,0	-4,7	-5,4	-5,5
LN km190,757						
ZO2 km190,952	-1,7	-2,1	-2,1	-4,3	-4,8	-4,8
KO2 km191,019						



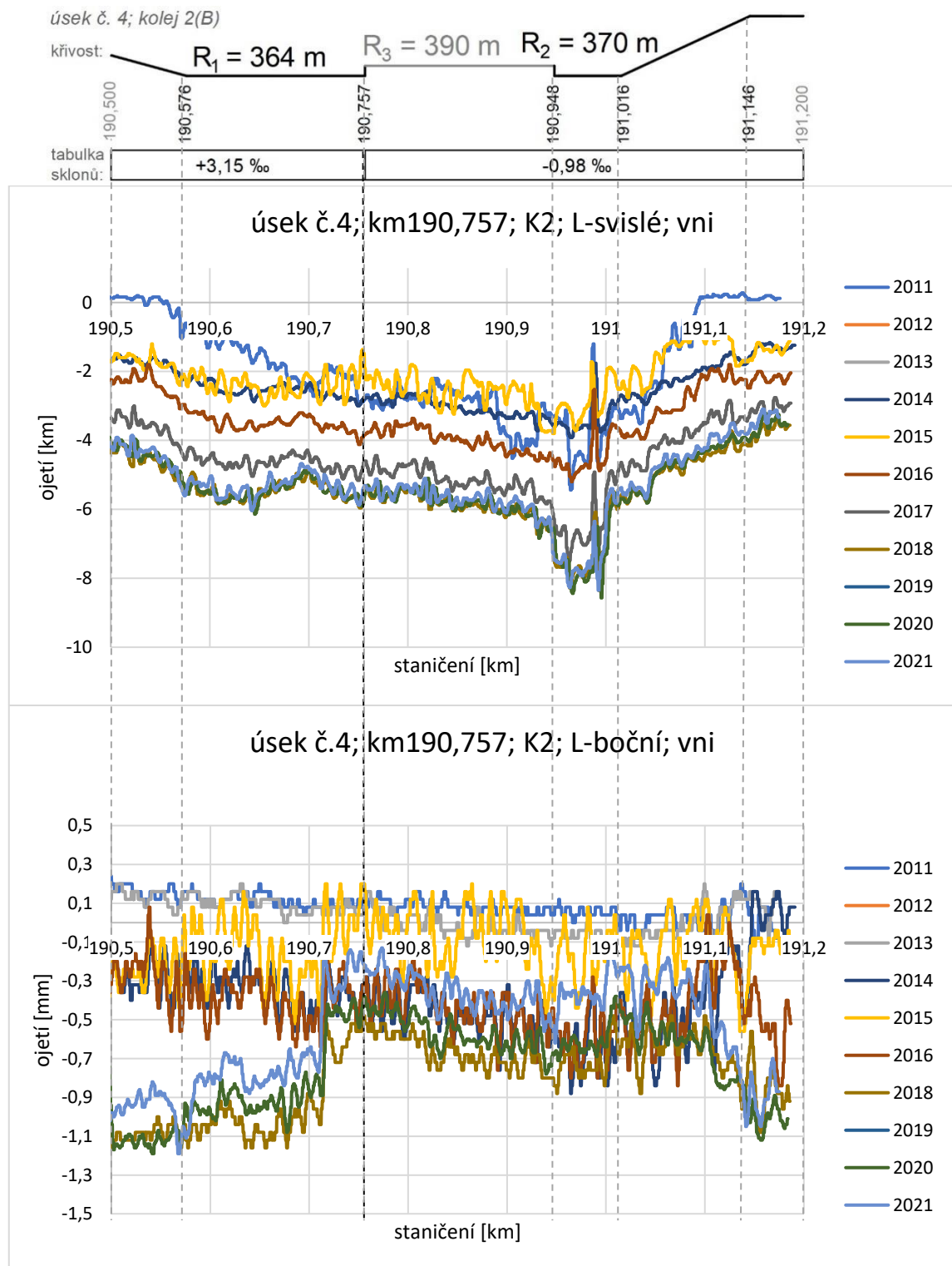
úsek č. 4; km190,758; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2012	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km190,576	-4,9	-5,3	-7,4	-8,4	-10,5	-14,3
LN km190,757						
ZO2 km190,952	-2,3	-1,5	-3,5	-5,5	-7,0	-8,6
KO2 km191,019						

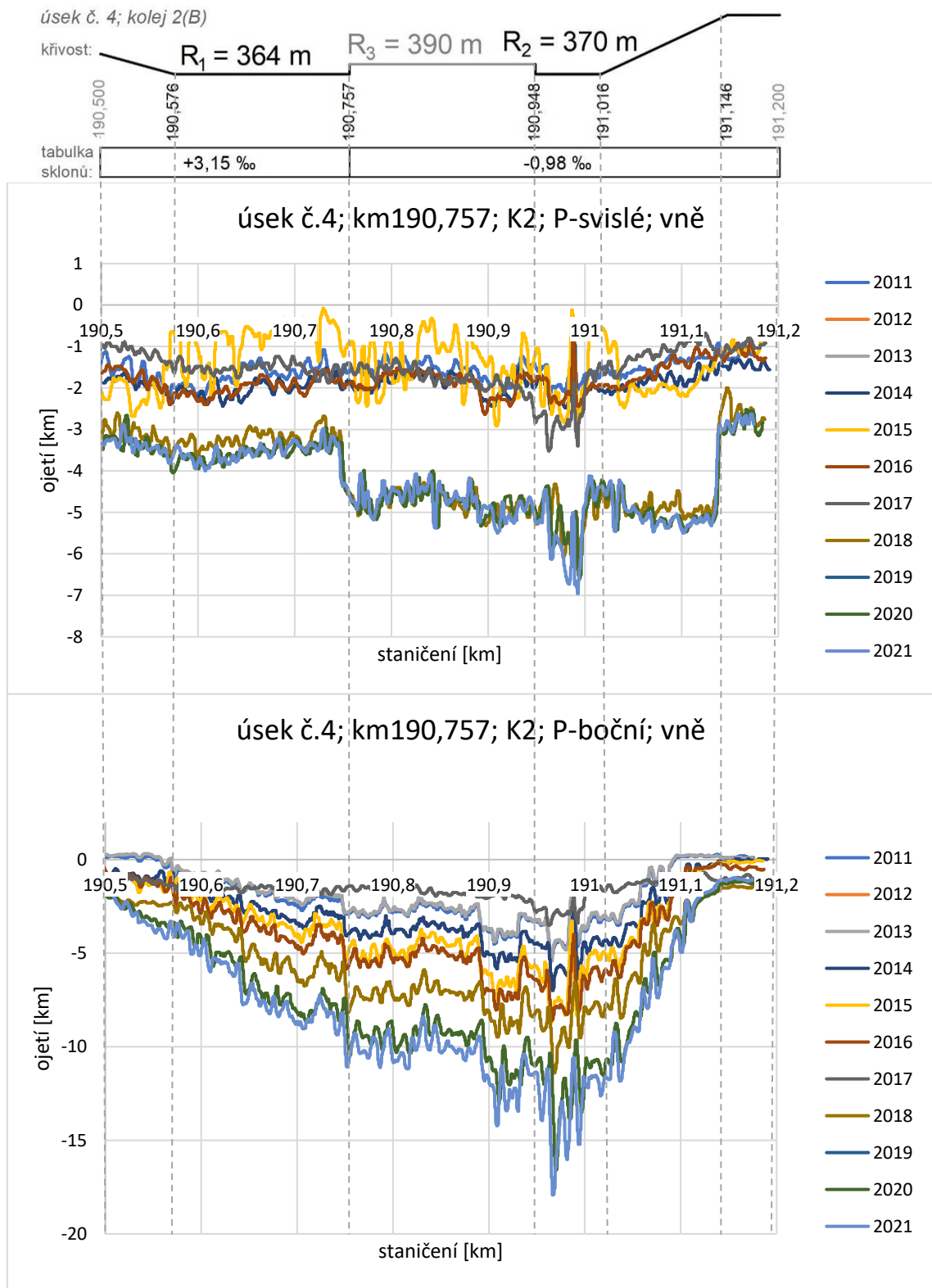


Průměrné ojetí je zkresleno efektem popsáním v kap. 7.1.

4.4.3.2 Kolej č. 2



Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.



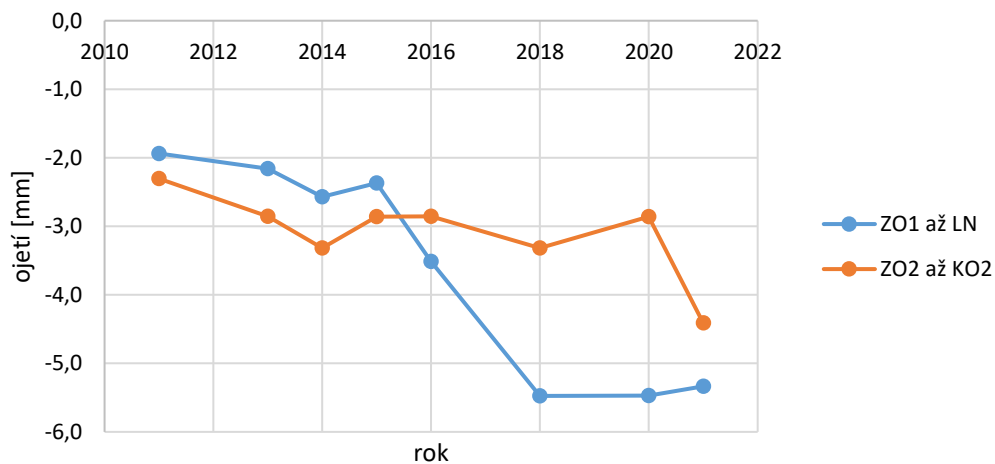
Ze všech čtyř sledovaných a analyzovaných ojetí nabývá největších hodnot (až 17 mm) ojetí P-boční. Jedná se o vnější ojetí, u levostranného oblouku těchto parametrů se to dalo očekávat. Nejmenších ojetí nabývá boční ojetí levé kolejnice (L-boční; vni), které téměř nepřibývá. Svisle jsou obě kolejnice opotřebovávány rovnoměrně (maxima jsou 6 a 8 mm).

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 4; km190,757; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2018	2020	2021
ZO1 km190,576	-1,9	-2,2	-2,6	-2,4	-3,5	-5,5	-5,5	-5,3
LN km190,757								
ZO2 km190,948	-2,3	-2,9	-3,3	-2,9	-4,4	-7,2	-5,6	-5,4
KO2 km191,016								

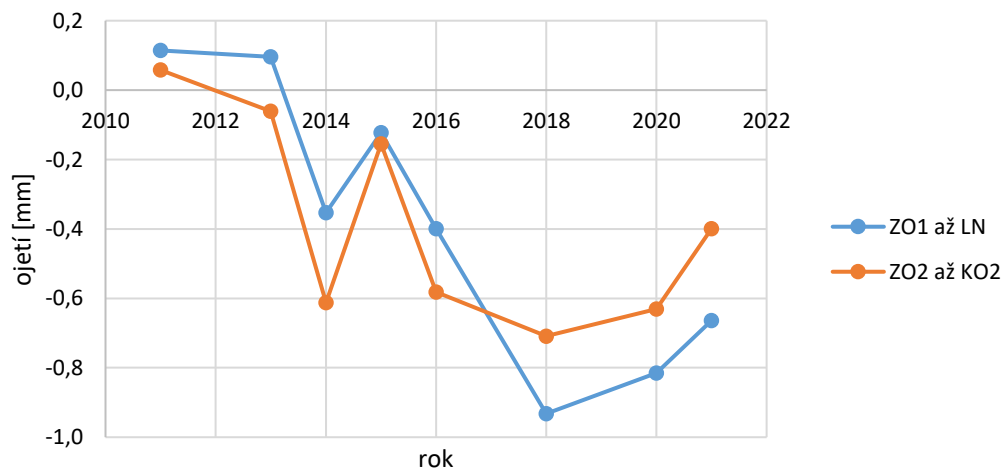
Průměrné ojetí v letech; L-svislé; ú. č. 4; K2; vni



úsek č. 4; km190,757; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2018	2020	2021
ZO1 km190,576	0,1	0,1	-0,4	-0,1	-0,4	-0,9	-0,8	-0,7
LN km190,757								
ZO2 km190,948	0,1	-0,1	-0,6	-0,2	-0,6	-0,7	-0,6	-0,4
KO2 km191,016								

Průměrné ojetí v letech; L-boční; ú. č. 4; K2; vni

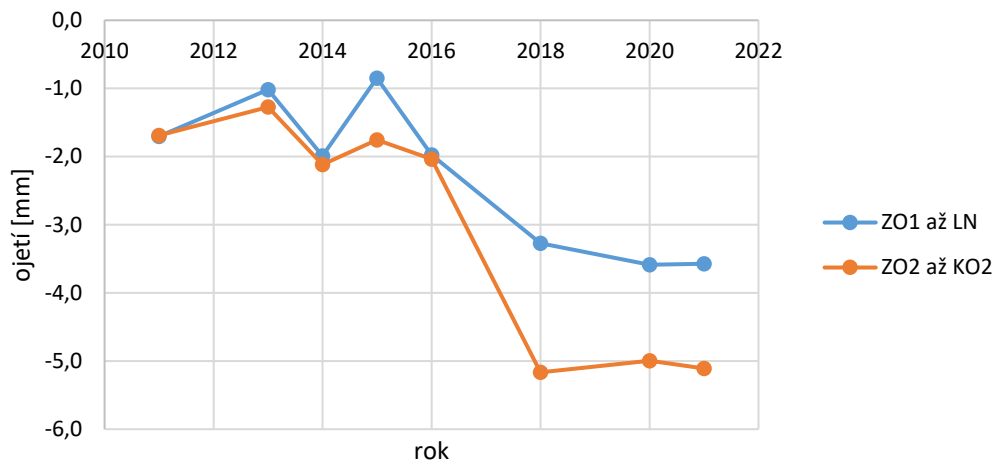


Pozn. V grafu se pohybujeme ve velmi malých číslech.

úsek č. 4; km190,757; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2018	2020	2021
ZO1 km190,576	-1,7	-1,0	-2,0	-0,8	-2,0	-3,3	-3,6	-3,6
LN km190,757								
ZO2 km190,948	-1,7	-1,3	-2,1	-1,8	-2,0	-5,2	-5,0	-5,1
KO2 km191,016								

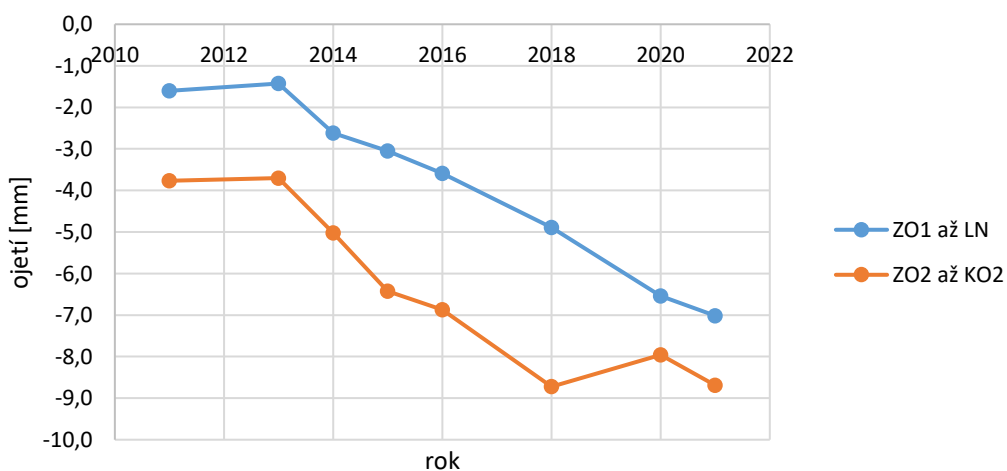
Průměrné ojetí v letech; P-svislé; ú. č. 4; K2; vně



úsek č. 4; km190,757; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2018	2020	2021
ZO1 km190,576	-1,6	-1,4	-2,6	-3,0	-3,6	-4,9	-6,5	-7,0
LN km190,757								
ZO2 km190,948	-3,8	-3,7	-5,0	-6,4	-6,9	-8,7	-8,0	-8,7
KO2 km191,016								

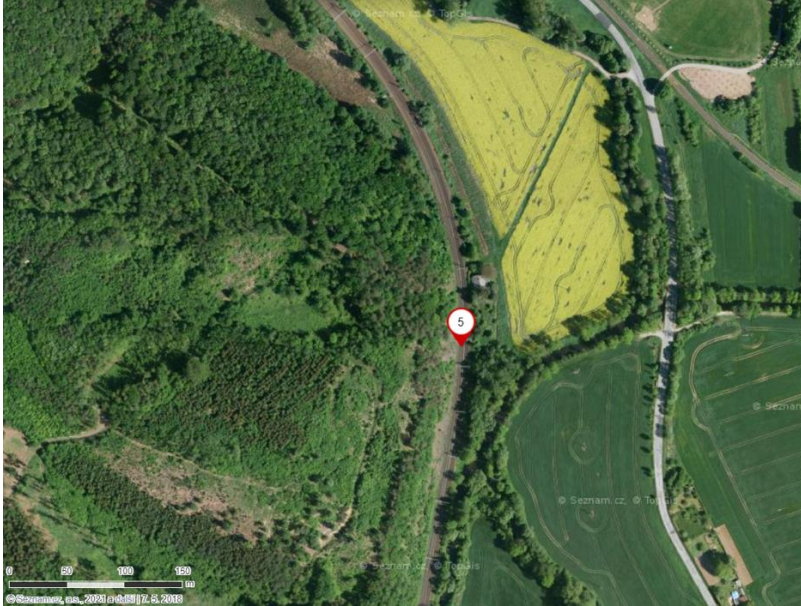
Průměrné ojetí v letech; P-boční; ú. č. 4; K2; vně



4.5 ÚSEK Č. 5 – KM 193,0

4.5.1 Popis úseku

Úsek se nachází v širé trati asi 50 m před žst. Skalice nad Svitavou. Je zde výrazná změna sklonů Δs (cca 300%).



Obrázek 4-6: Ortofoto úseku č. 5. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Položka oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN , ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN , ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
5	A (1)	193,034	395	L	142	+4,62	+1,87	90
	B (2)	193,025	399	L	140	+4,52	+2,28	90

Tabulka 4-5: Údaje o úseku č. 5

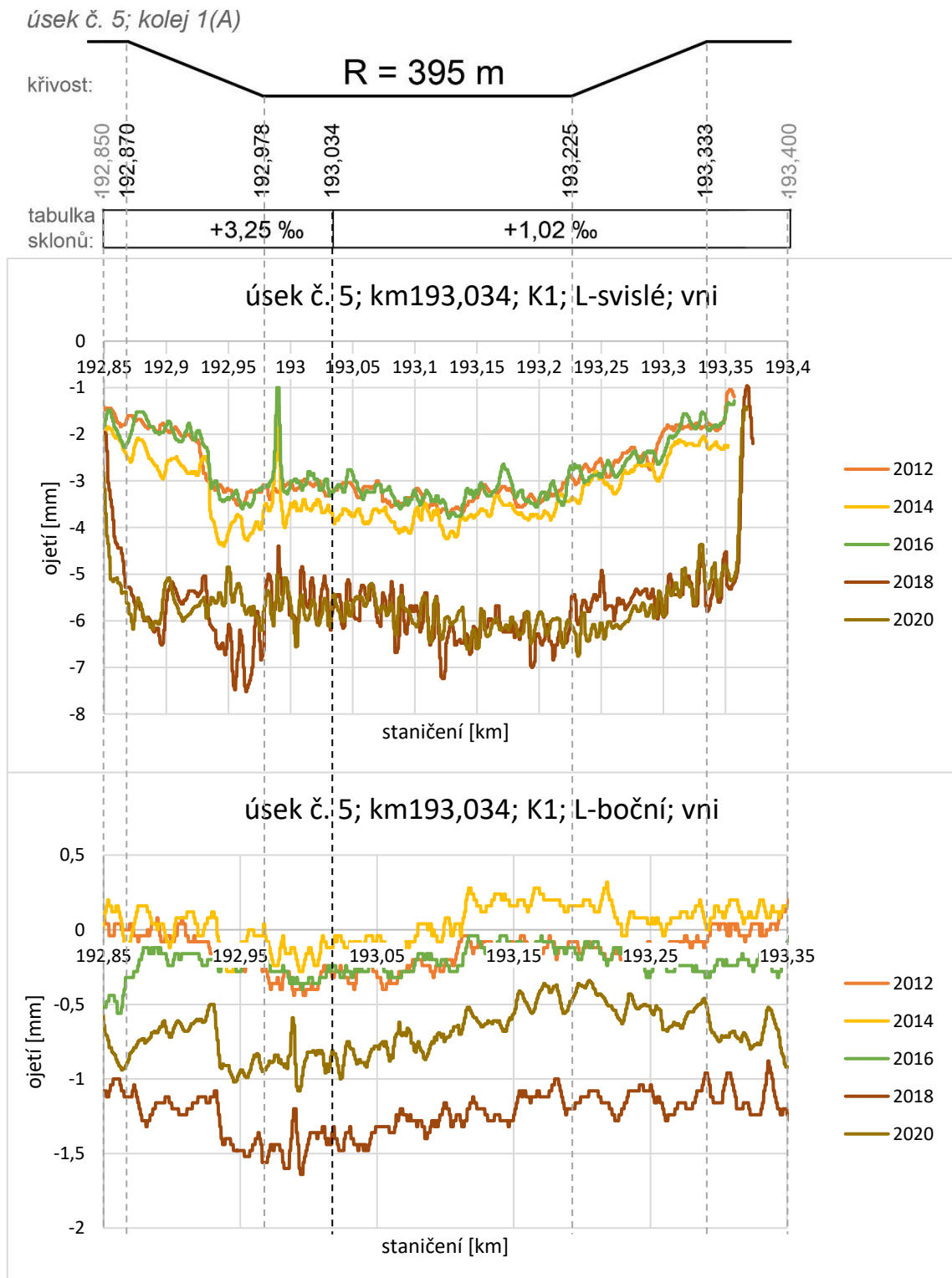
Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V^{130} [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
5	A (1)	95	UIC60	R260	1996	W14	B91S	u	1996
	B (2)	95	UIC60	R260	1996	W14	B91S	u	1996

Tabulka 4-6: Údaje o úseku č. 5 – pokračování

4.5.2 Teoretický výpočet

úsek č. 5			úsek č. 5		
Řídící síla P_1 [kN]	před LN	za LN	Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	69,621	69,621	Kolej č. 1 (A)	46,831	46,822
Kolej č. 2 (B)	70,967	69,621	Kolej č. 2 (B)	48,247	46,808

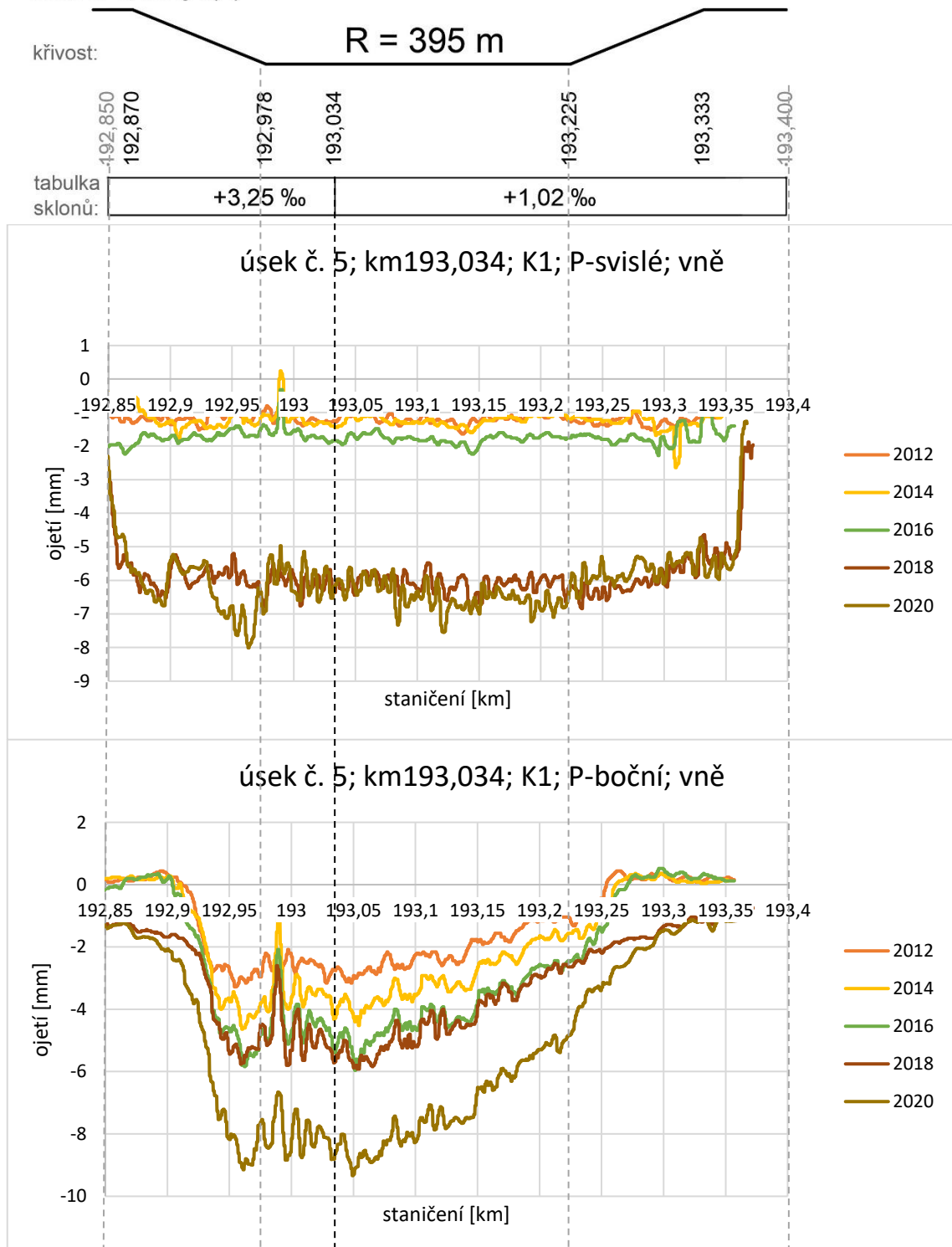
4.5.3 Vyhodnocení ojetí



Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

4.5.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 5; kolej 1(A)

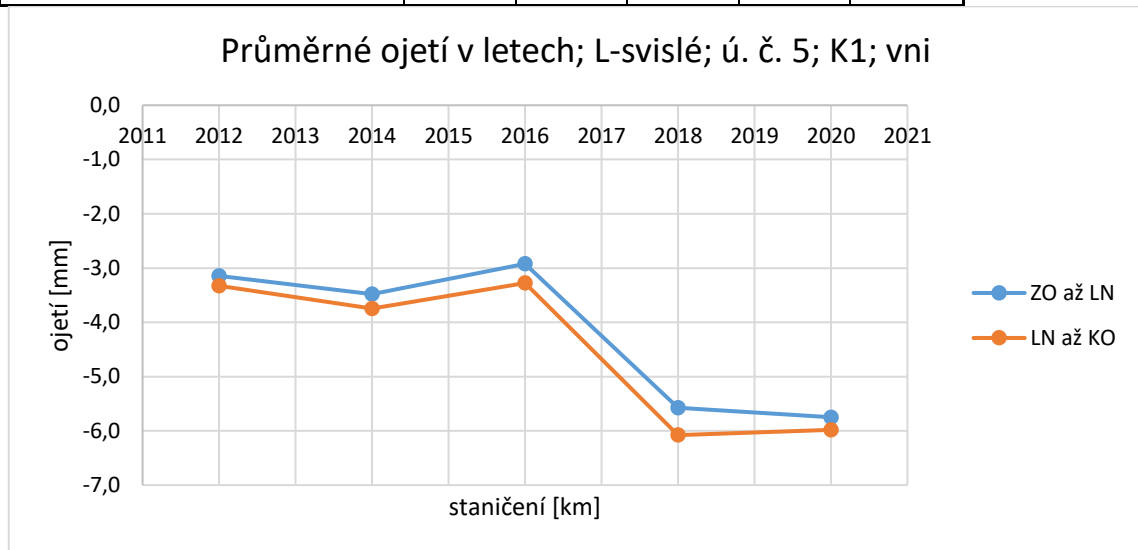


Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy. Ojetí v úseku relativně plynule přibývá. Největších hodnot dosahuje boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu, u něhož dochází současně k efektu, který je popsán v kap.7.1 (nárůst ojetí po délce kružnicové části oblouku). Z grafu je totiž patrné, že míra ojetí před LN je nižší, přestože v průměrném porovnání (P-boční) vychází přesný opak (viz graf P-boční; vně, níže).

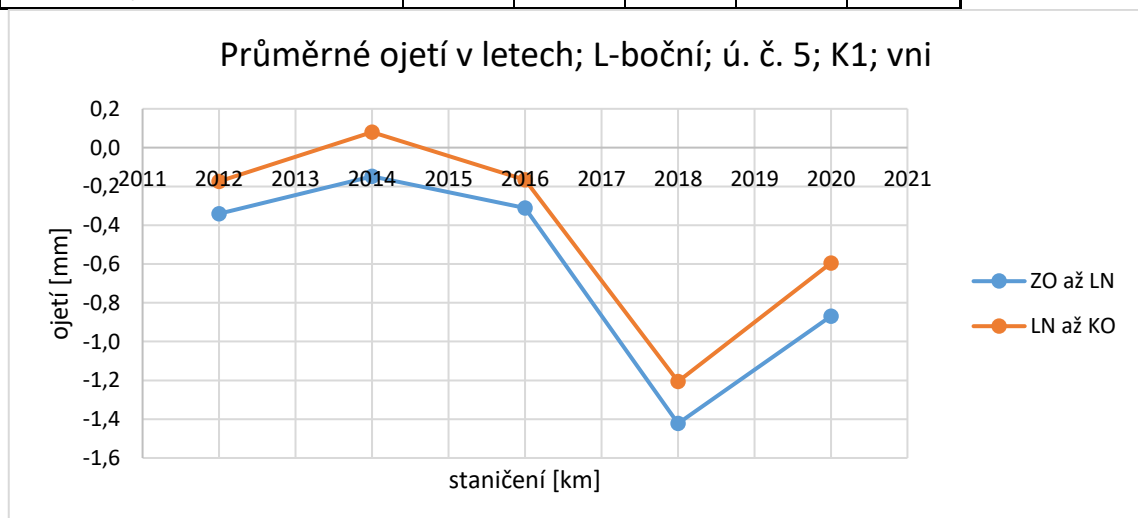
Zatížení je mezi kolejnice rozděleno rovnoměrně, protože svise se oba kolejnicové pásy ojíždějí podobně.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

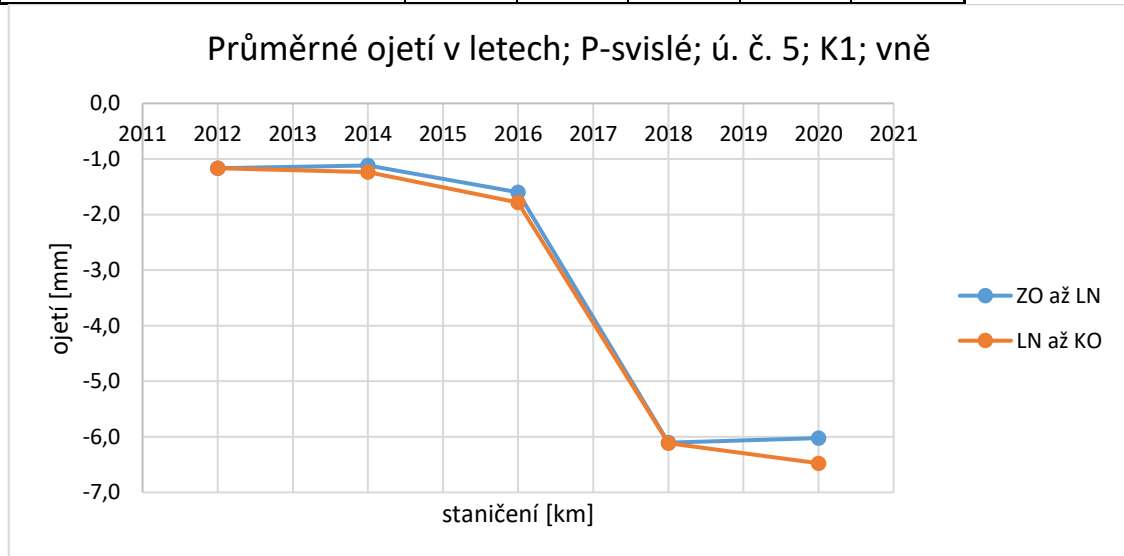
úsek č. 5; km193,034; K1					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2012	2014	2016	2018	2020
ZO km192,978	-3,1	-3,5	-2,9	-5,6	-5,7
LN km 193,034	-3,3	-3,7	-3,3	-6,1	-6,0
KO km193,225					



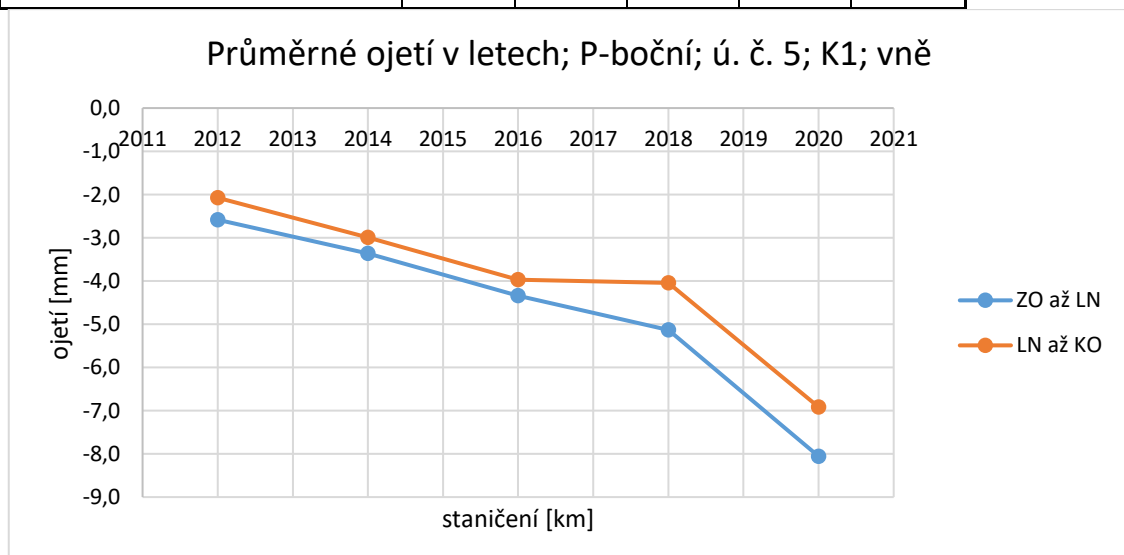
úsek č. 5; km 193,034; K1					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2012	2014	2016	2018	2020
ZO km192,978	-0,3	-0,1	-0,3	-1,4	-0,9
LN km 193,034	-0,2	0,1	-0,2	-1,2	-0,6
KO km193,225					



úsek č. 5; km193,034; K1					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2012	2014	2016	2018	2020
ZO km192,978	-1,2	-1,1	-1,6	-6,1	-6,0
LN km 193,034	-1,2	-1,2	-1,8	-6,1	-6,5
KO km193,225					



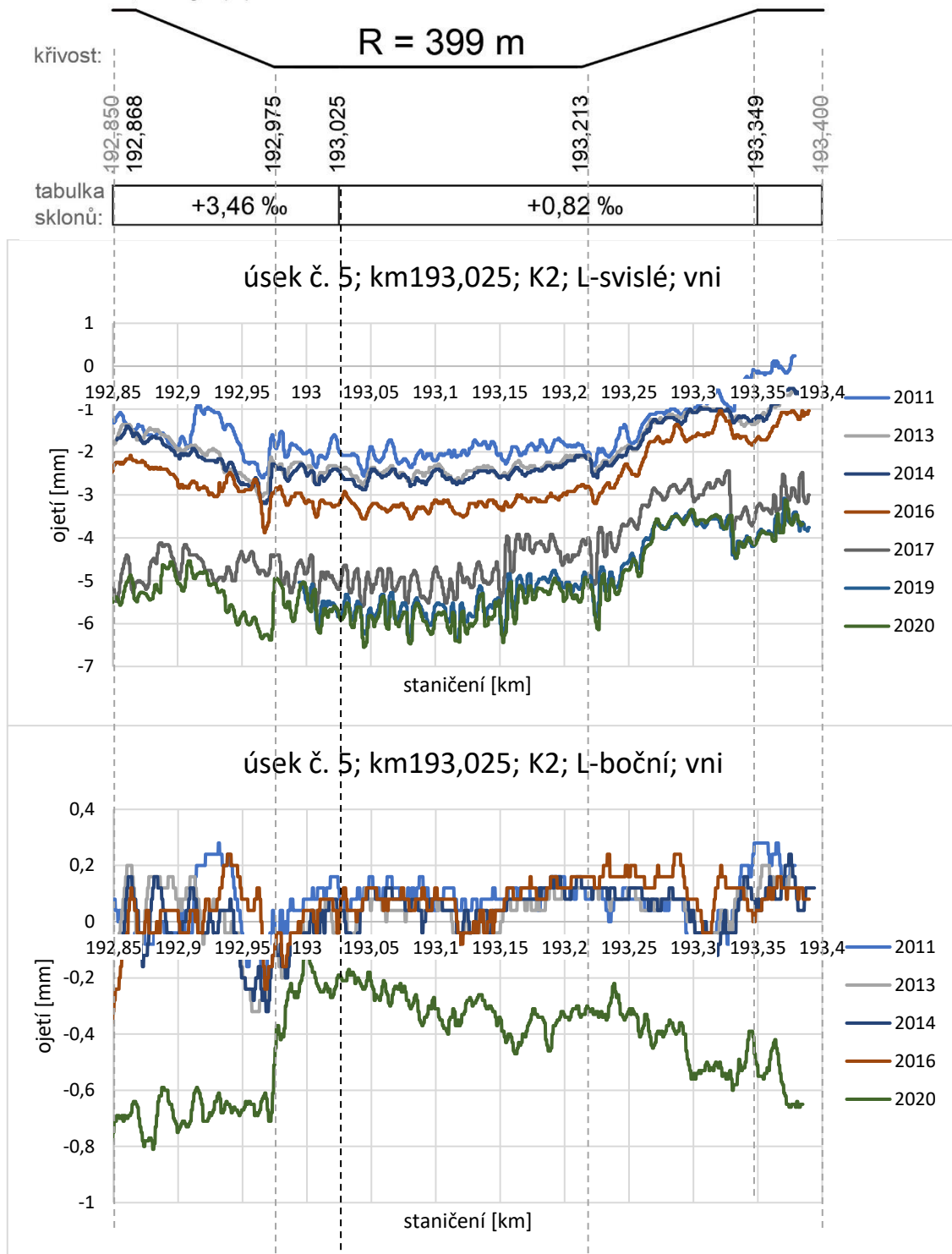
úsek č. 5; km193,034; K1					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2012	2014	2016	2018	2020
ZO km192,978	-2,6	-3,4	-4,3	-5,1	-8,1
LN km 193,034	-2,1	-3,0	-4,0	-4,0	-6,9
KO km193,225					



Boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu dosahuje největších hodnot ze všech zkoumaných ojetí. Podélný sklon je před LN menší, než za LN, avšak převažuje efekt „nárůstu ojetí po délce oblouku“ (viz. kap. 7.1).

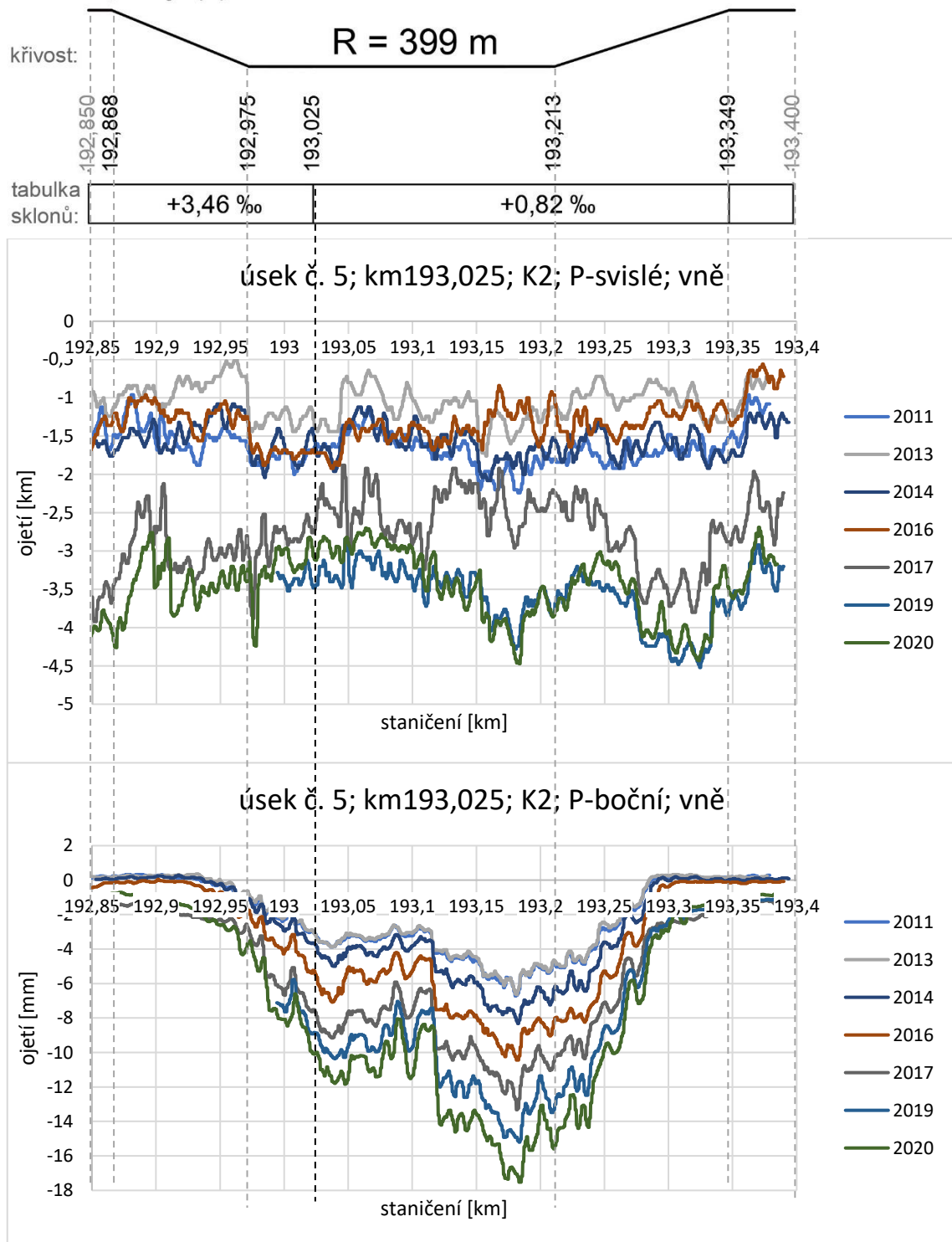
4.5.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 5; kolej 2(B)



Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

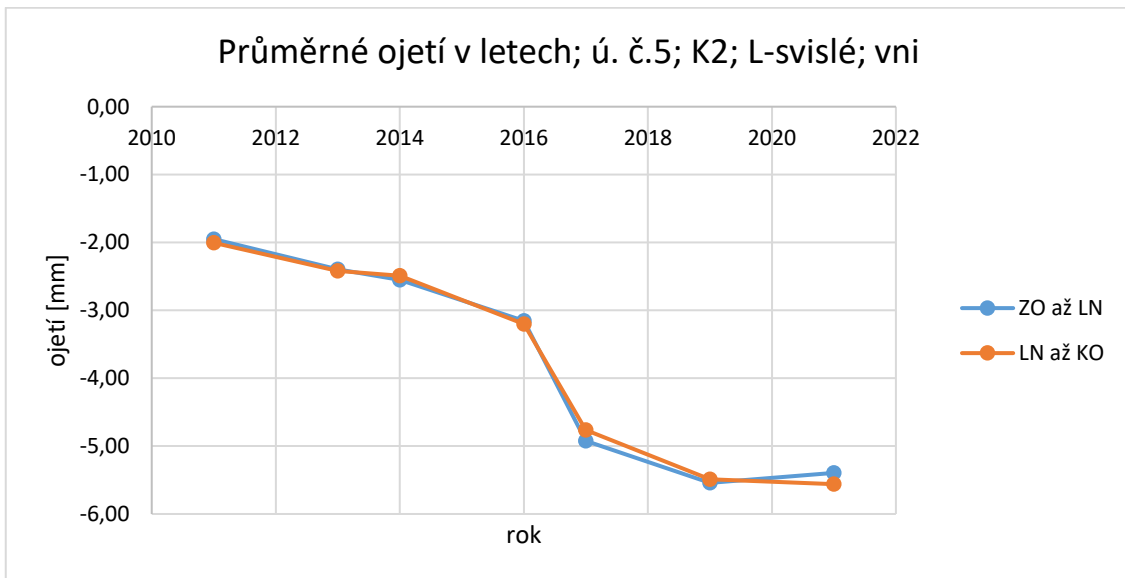
úsek č. 5; kolej 2(B)



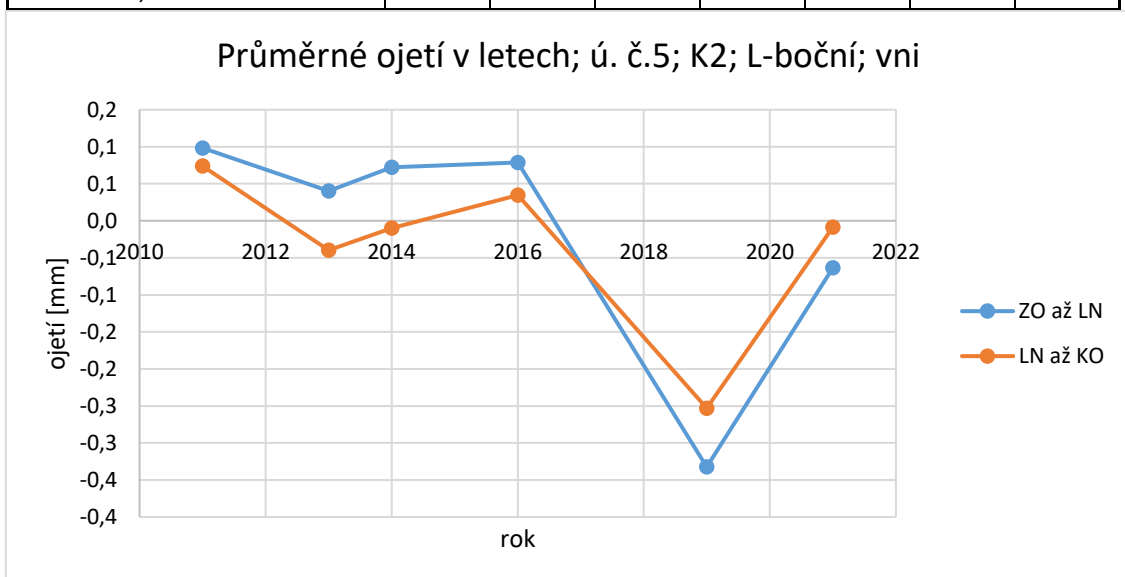
Opotřebení K2 v ú. č. 5 plynule přibývá. Případné překrývání v grafech je způsobeno chybou, se kterou měří MV. Je zvláštní, že průběh ojetí odpovídá spíše složenému oblouku s náhlou změnou křivosti v km 193,12. Vlaky jezdí po směru staničení a nárůst ojetí po délce zde příliš patrný není. Vlaky stoupají a soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 5; km193,025; K2							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO km192,975	-2,01	-2,42	-2,49	-3,20	-4,8	-5,49	-5,56
LN km193,025	-1,95	-2,39	-2,55	-3,15	-4,9	-5,54	-5,40
KO km193,213							

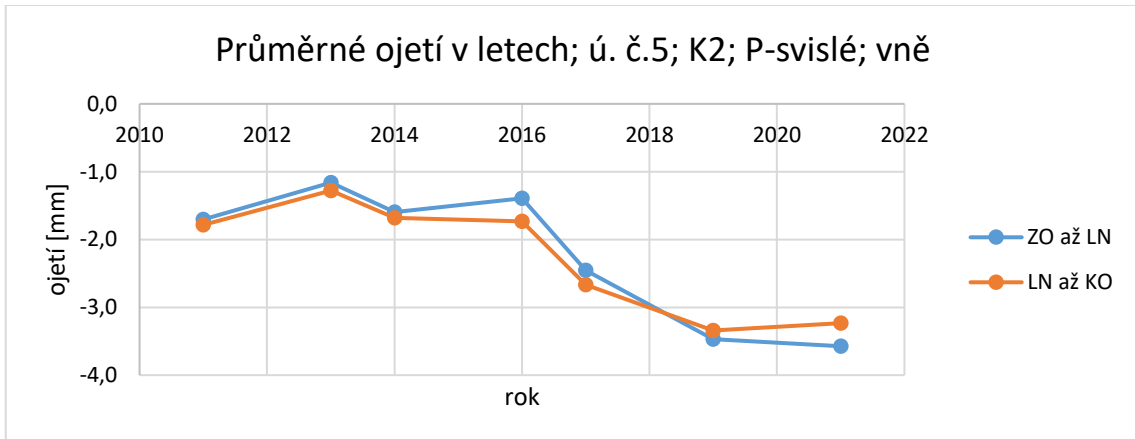


úsek č. 5; km193,025; K2							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO km192,975	0,1	0,0	0,1	0,1	-1,1	-0,3	-0,1
LN km193,025	0,1	0,0	0,0	0,0	-1,3	-0,3	0,0
KO km193,213							

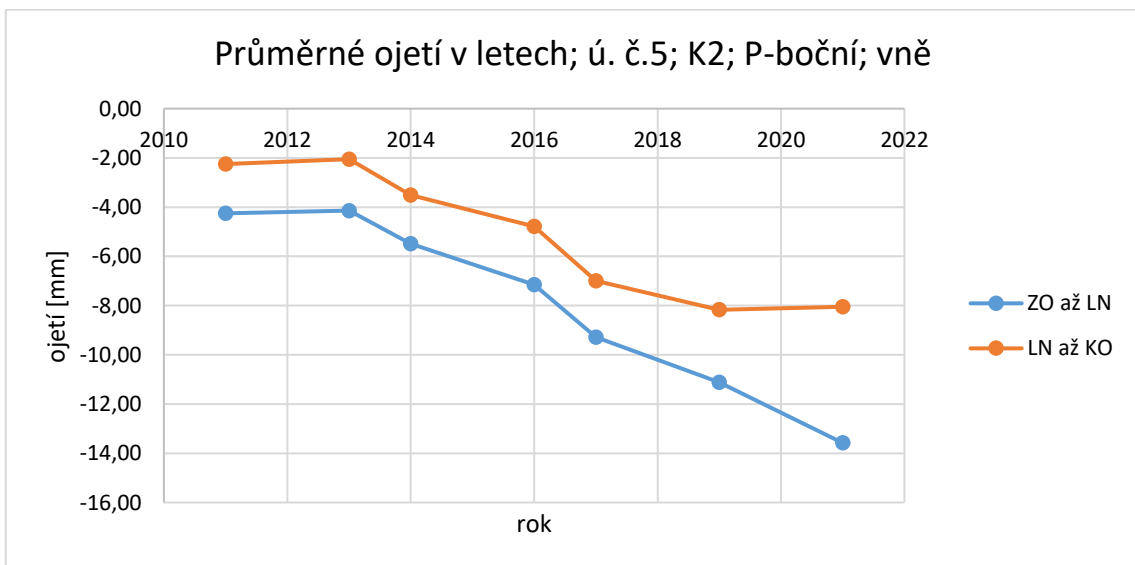


Extrém v r. 2019 je v rámci přesnosti měření MV.

úsek č. 5; km193,025; K2							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO km192,975	-1,7	-1,2	-1,6	-1,4	-2,5	-3,5	-3,6
LN km193,025	-1,8	-1,3	-1,7	-1,7	-2,7	-3,3	-3,2
KO km193,213							



úsek č. 5; km193,025; K2							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO km192,975	-4,26	-4,14	-5,49	-7,16	-9,3	-11,12	-13,58
LN km193,025	-2,25	-2,05	-3,51	-4,79	-7,0	-8,17	-8,05
KO km193,213							

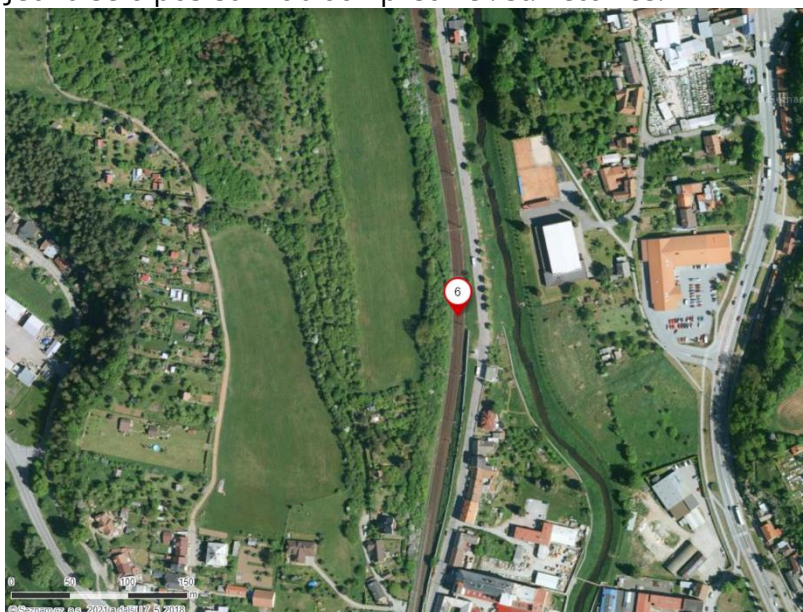


Z grafů vyplývá, že se všechna ojetí víceméně zvětšují. Zvláštní je, že s lety a se vzrůstající projetou zátěží za rok nevykazují průměrná ojetí v letech exponenciální, nebo alespoň přibližně lineární nárůst. Nárůst ale postupně klesá.

4.6 ÚSEK Č. 6 – KM 202,9

4.6.1 Popis úseku

Jedná se o oblouk s krátkou kružnicovou částí, který i přes svou malou velikost splňuje požadavek na 20 m souvislé kružnicové části před a za lomem sklonu. Daný úsek má oblouk s největším poloměrem ze všech zpracovávaných úseků. Jedná se o poslední oblouk před žel. st. Letovice.



Obrázek 4-7: Ortofoto úseku č. 6. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Poloměr oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
6	A (1)	202,944	491	L	141	+6,06	+3,54	100
	B (2)	202,942	490	L	119	+6,02	+3,54	100

Tabulka 4-7: Údaje o úseku č. 6

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V ¹³⁰ [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
6	A (1)	105	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998
	B (2)	105	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998

Tabulka 4-8: Údaje o úseku č. 6 – pokračování

4.6.2 Teoretický výpočet

úsek č. 6

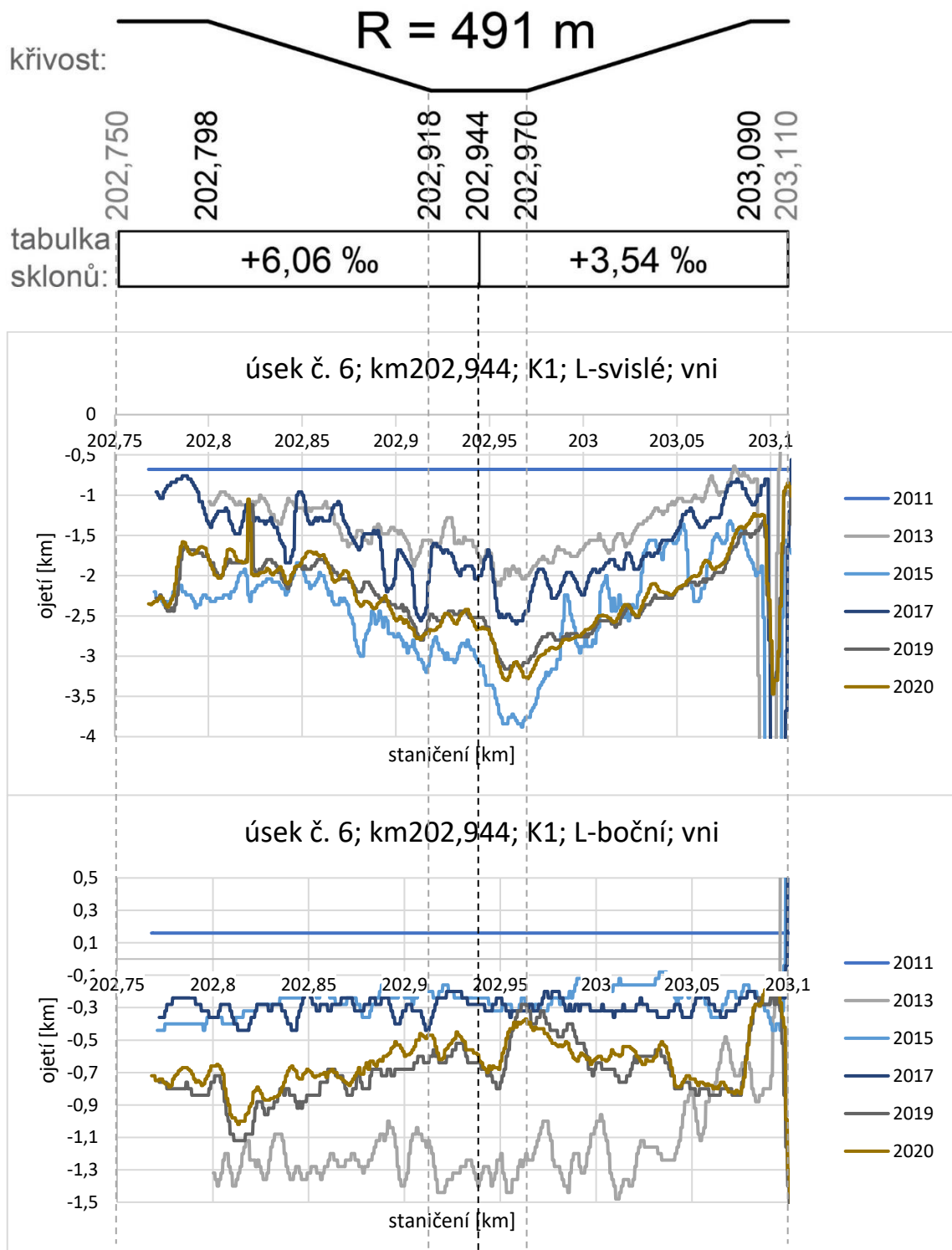
úsek č. 6

Řídící síla P ₁ [kN]	před LN	za LN	Řídící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	68,498	68,477	Kolej č. 1 (A)	47,558	47,533
Kolej č. 2 (B)	72,151	72,153	Kolej č. 2 (B)	51,594	51,594

4.6.3 Vyhodnocení ojetí

4.6.3.1 Kolej č. 1

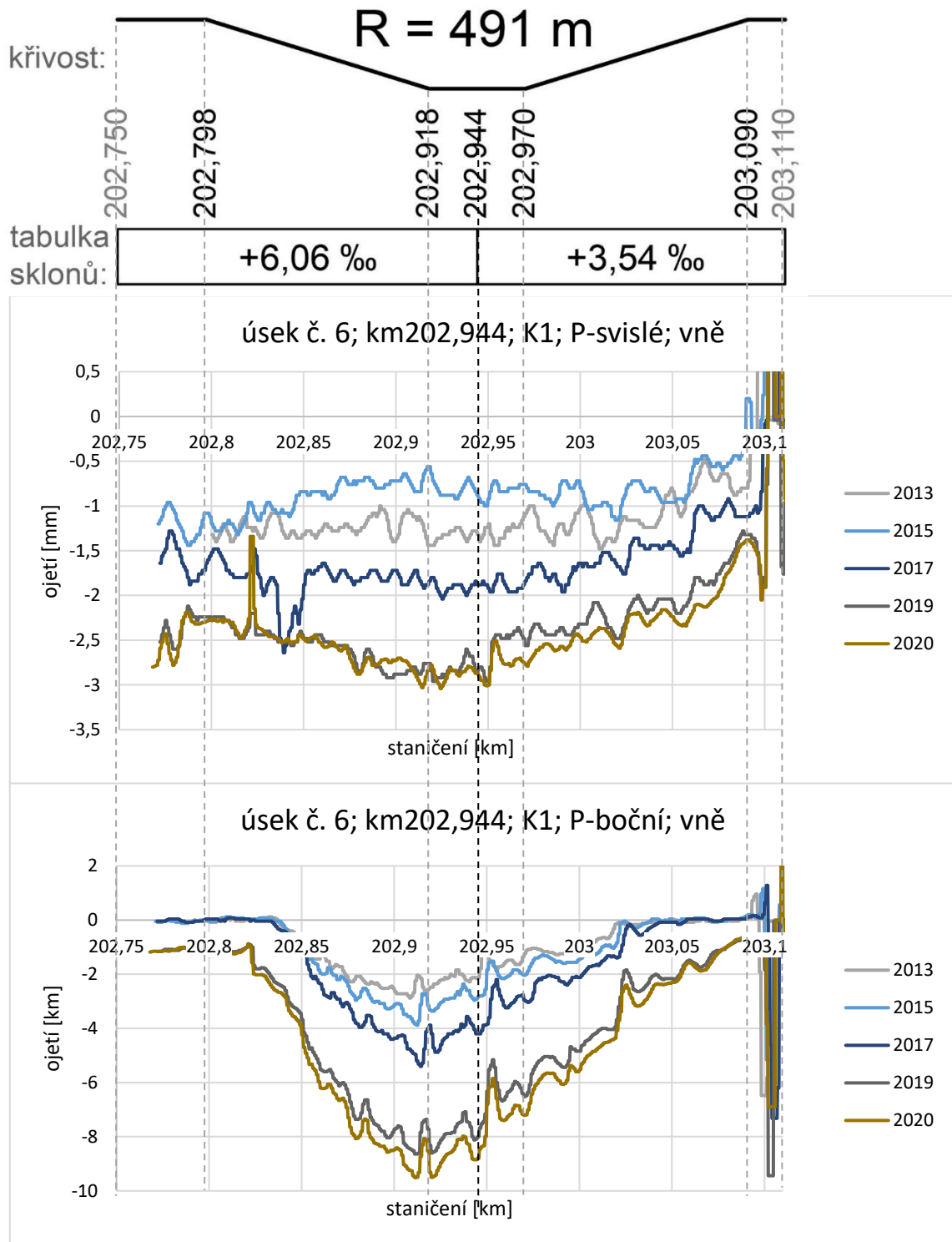
úsek č. 6; kolej 1(A)



Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Z grafů výše vyplývá, že LN má zřejmě vliv na velikost ojetí (viz svislé ojetí). Extrémy okolo km 203,1 jsou způsobeny průjezdem MV výhybkou.

úsek č. 6; kolej 1(A)



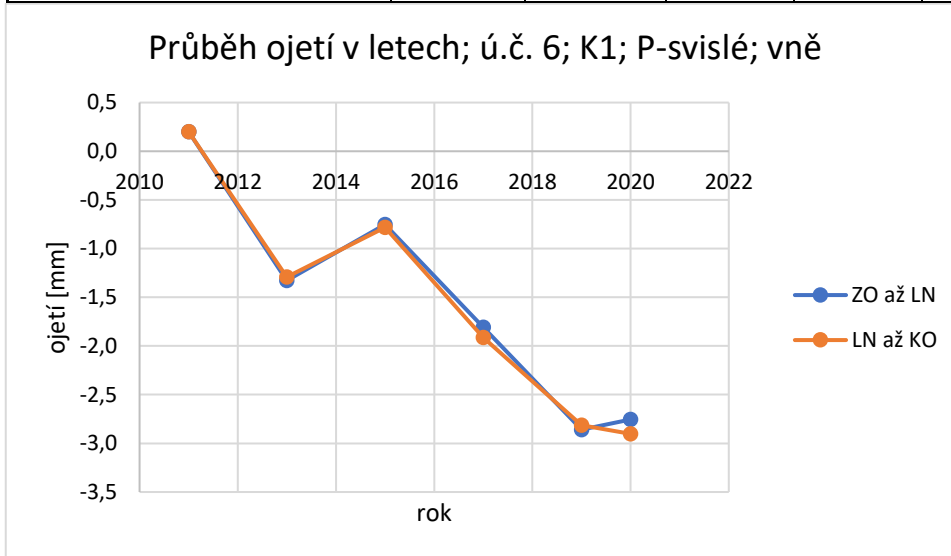
Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Jak se dalo předpokládat, největšího ojetí dosahuje ojetí P-boční; vně. Z grafů výše vyplývá, že *LN* zřejmě vliv na velikost ojetí má.

Je také možné, že skutečný *LN* je oproti nákrešnému přehledu trati mírně posunut proti směru staničení.

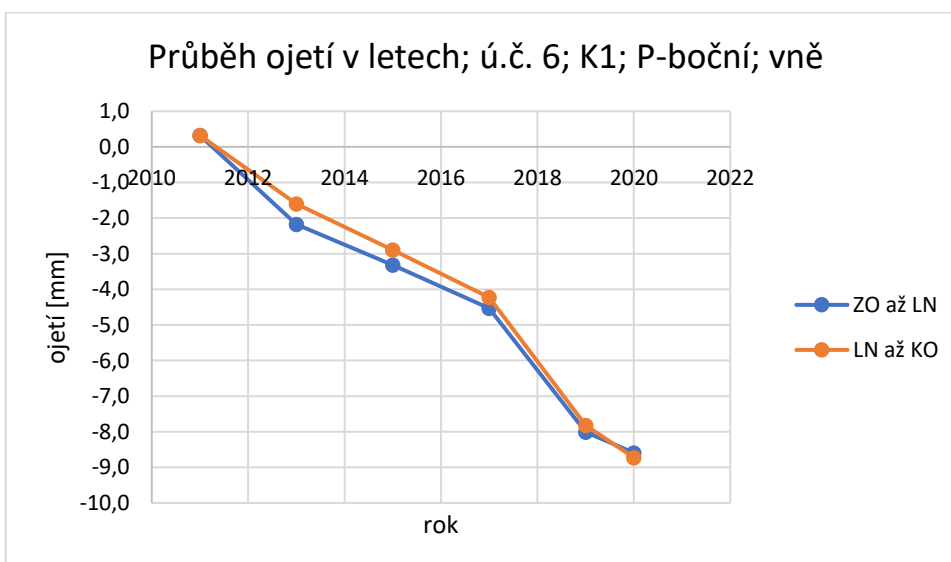
NUMERICKÁ ANALÝZA:

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2020
ZO km 202,918; R491; 6,06‰	0,2	-1,3	-0,8	-1,8	-2,9	-2,8
LN km 202,944; R491; 3,54‰	0,2	-1,3	-0,8	-1,9	-2,8	-2,9
KO km 202,970						

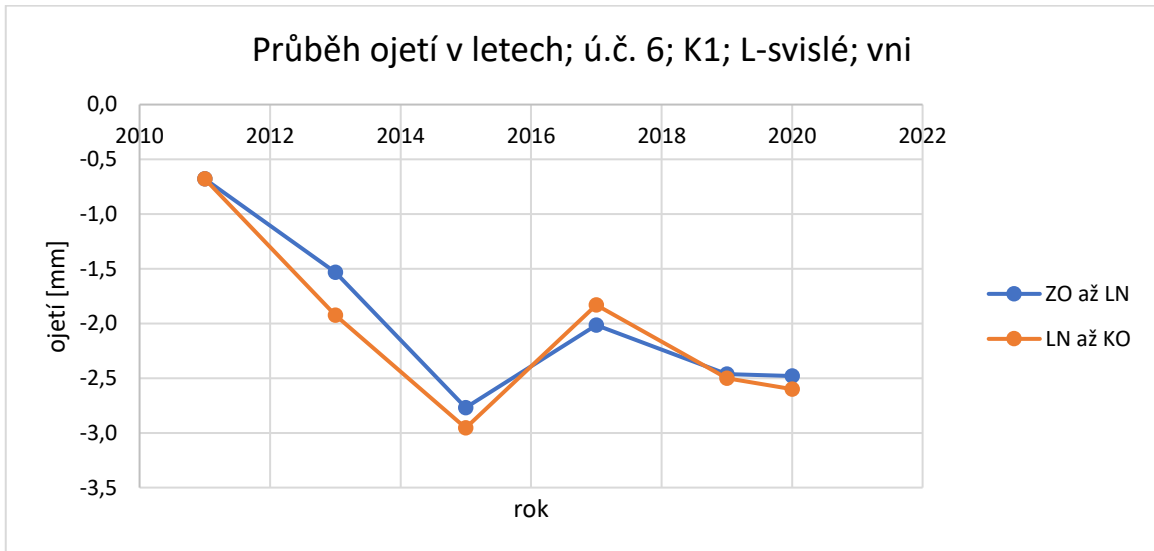


Skok v r. 2015 je pravděpodobně způsoben tím, že v letech 2013 a 2014 byly zaváděny nové metody měření ojetí kolejnic. [14]

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2020
ZO km 202,918; R491; 6,06‰	0,3	-2,2	-3,3	-4,5	-8,0	-8,6
LN km 202,944; R491; 3,54‰	0,3	-1,6	-2,9	-4,2	-7,8	-8,7
KO km 202,970						

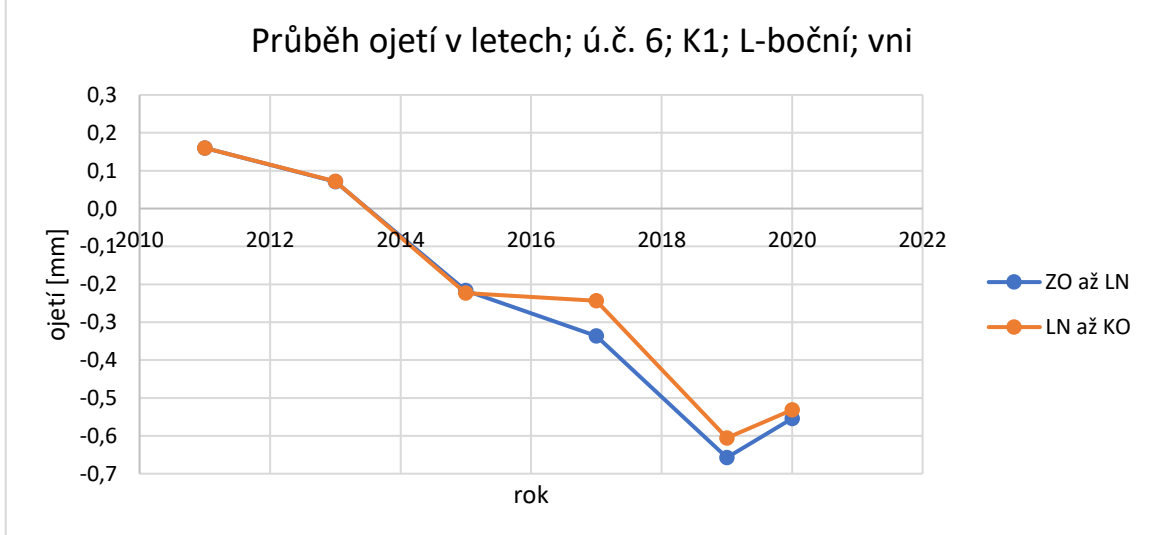


PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé	2011	2013	2015	2017	2019	2020
ZO km 202,918; R491; 6,06‰	-0,7	-1,5	-2,8	-2,0	-2,5	-2,5
LN km 202,944; R491; 3,54‰	-0,7	-1,9	-3,0	-1,8	-2,5	-2,6
KO km 202,970						



Propad v r. 2015 v rámci chyby měření, nebo bez vysvětlení.

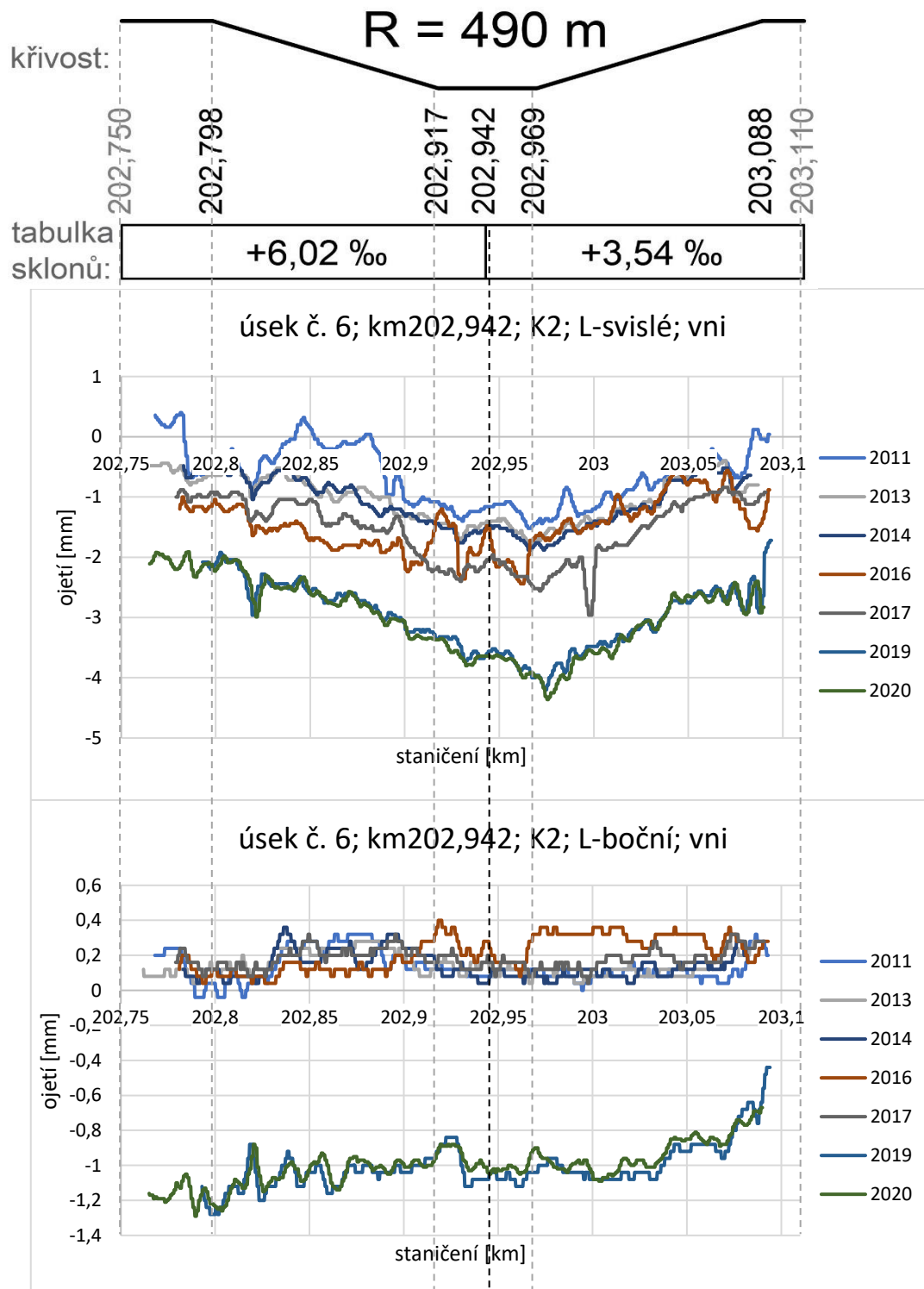
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční	2011	2013	2015	2017	2019	2020
ZO km 202,918; R491; 6,06‰	0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,7	-0,6
LN km 202,944; R491; 3,54‰	0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,6	-0,5
KO km 202,970						



Pozn. Z grafu vyplývá, že vnitřní kolejnicový pás se téměř neojíždí. Zobáček na konci je v rámci přesnosti měření MV.

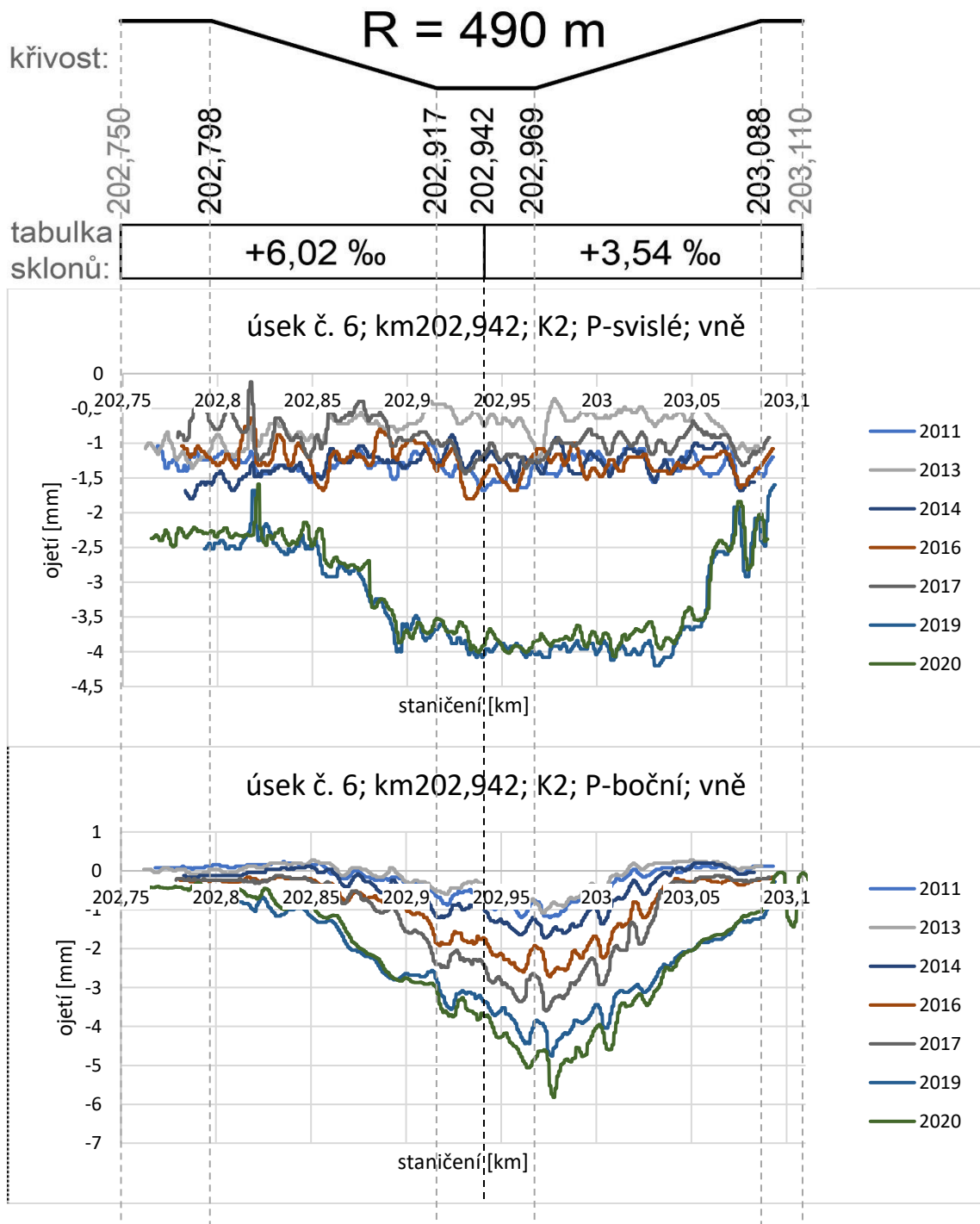
4.6.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 6; kolej 2(B)



Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

úsek č. 6; kolej 2(B)



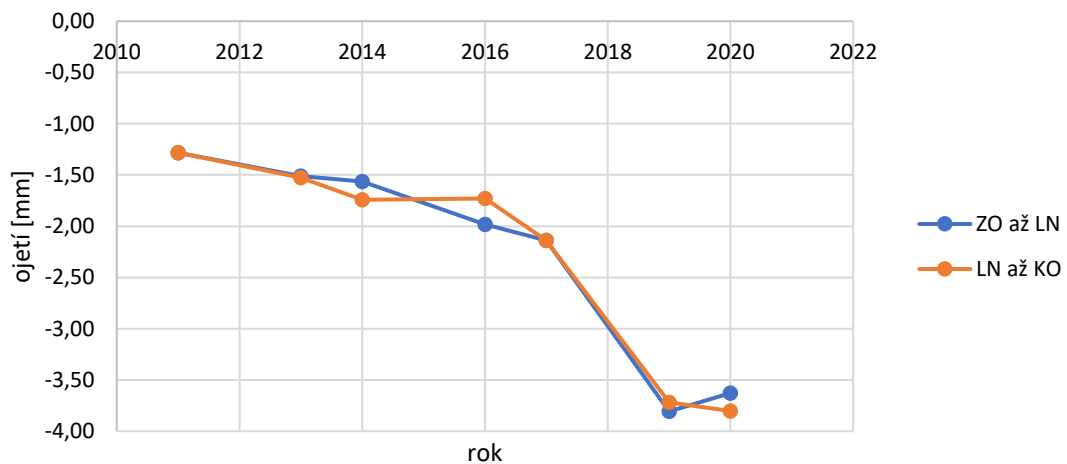
Ojetí P-boční; vykazuje postupný nárůst. Zbylá ojetí v této koleji: skok mezi léty 2017 a 2019 způsobila možná výměna podložek pod patu kolejnice, či změna měřících metod, která ale připadá na rok 2014 [14], či přesnost měření *MV*.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 6; km 202,942							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2020
ZO km202,917; +6,02 ‰	-1,28	-1,51	-1,56	-1,98	-2,14	-3,81	-3,63
LN 202,942; +3,54 ‰	-1,28	-1,53	-1,74	-1,73	-2,14	-3,72	-3,80
KO 202,969							

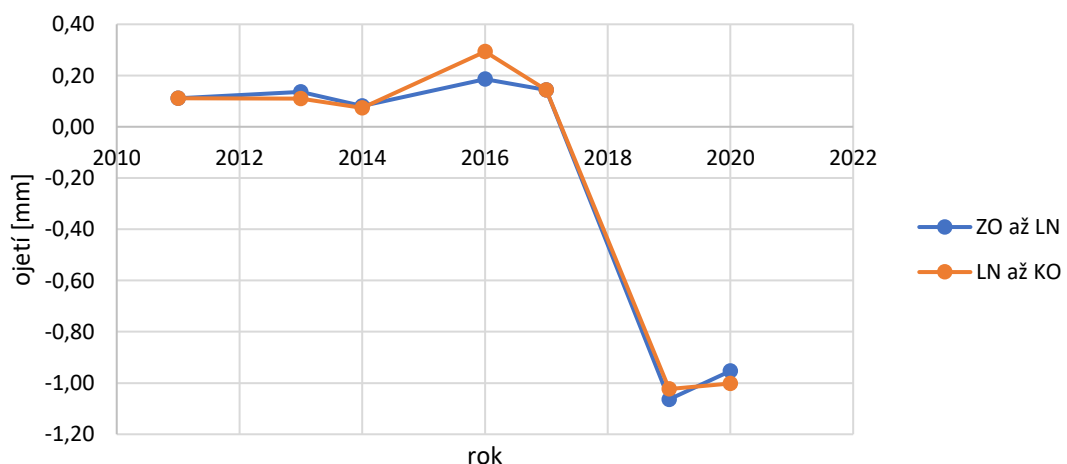
Průběh ojetí v letech; ú. č. 6; km202,942 ; L-svislé; vni



Rok 2019 je v rámci přesnosti měření MV.

úsek č. 6; km 202,942							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2020
ZO km202,917; +6,02 ‰	0,11	0,14	0,08	0,19	0,14	-1,06	-0,95
LN 202,942; +3,54 ‰	0,11	0,11	0,07	0,29	0,14	-1,02	-1,00
KO 202,969							

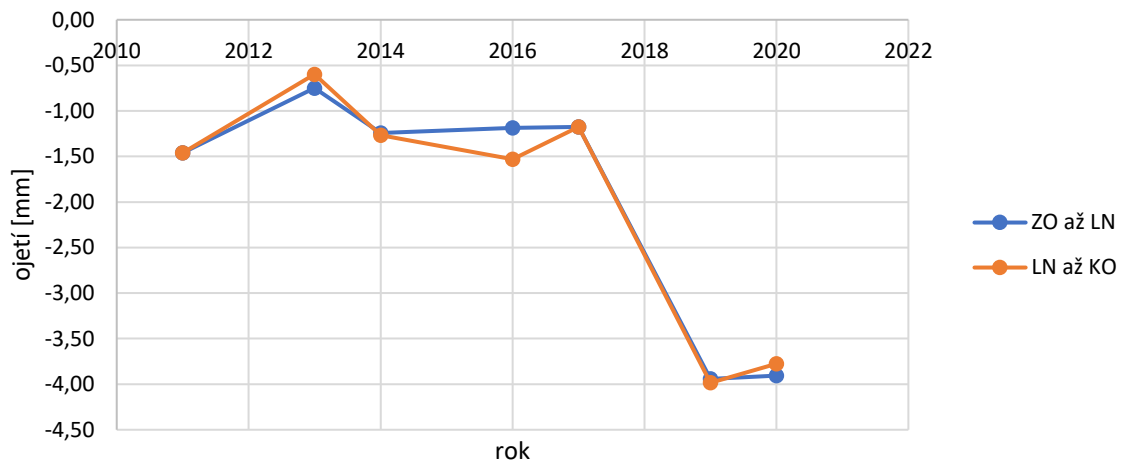
Průběh ojetí v letech; ú. č. 6; km202,942 ; L-boční; vni



Nárůst ojetí mezi r. 2017 a 2019 způsobila pravděpodobně výměna podložek pod patu kolejnice, změna měřících metod, která ale připadá už na rok 2014 [14], nebo přesnost měření MV.

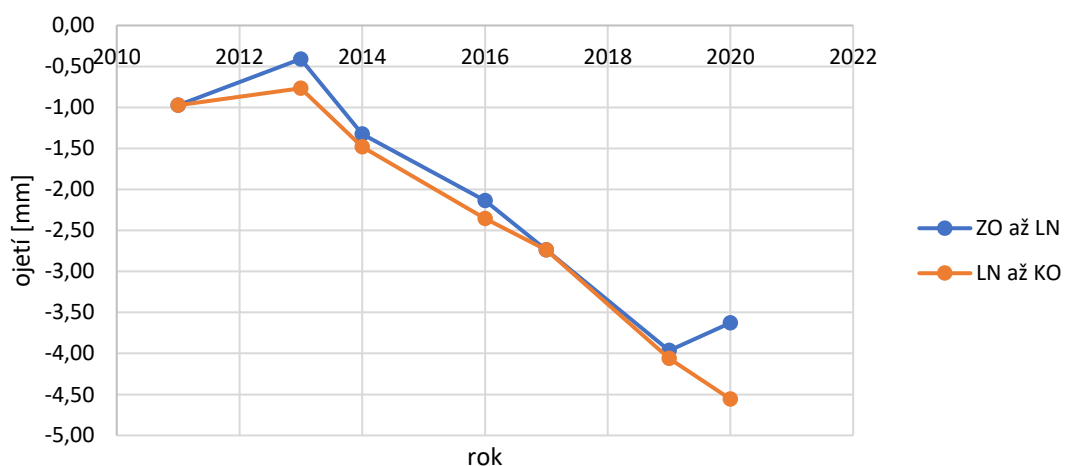
úsek č. 6; km 202,942							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2020
ZO km202,917; +6,02 ‰	-1,46	-0,60	-1,27	-1,53	-1,18	-3,98	-3,78
LN 202,942; +3,54 ‰	-1,46	-0,75	-1,24	-1,19	-1,18	-3,94	-3,90
KO 202,969							

Průběh ojetí v letech; ú. č. 6; km202,942 ; P-svislé; vně



úsek č. 6; km 202,942							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2020
ZO km202,917; +6,02 ‰	-0,97	-0,41	-1,32	-2,14	-2,74	-3,96	-3,63
LN 202,942; +3,54 ‰	-0,97	-0,77	-1,48	-2,36	-2,74	-4,06	-4,56
KO 202,969							

Průběh ojetí v letech; ú. č. 6; km202,942; P-boční; vně



Boční ojetí plynule narůstá na rozdíl od ostatních ojetí, u kterých je výše zmiňovaný skok. Ojetí ZO až LN v r. 2020 je v rámci přesnosti měření.

4.7 ÚSEK Č. 7 – KM 214,7

4.7.1 Popis úseku

Jedná se o pravostranný oblouk, který se nachází v širé trati mezi žel. st. Březová nad Svitavou a zast. Březová nad Svitavou – Dlouhá. Přesně v místě údajného lomu sklonu se nachází trubní propust (km 214,710).



Obrázek 4-8: Ortofoto úseku č. 7. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lomu sklonu LN [km]	Polo- měr oblouku R [m]	Smysl oblou- ku	Převý- šení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rych- lost V [km/h]
7	A (1)	214,710	376	P	130	+6,44	+5,06	85
	B (2)	214,711	372	P	130	+6,47	+5,10	85

Tabulka 4-9: Údaje o úseku č. 7

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rych- lost V ¹³⁰ [km/h]	Tvar kolej- nic	Mate- riál kolej- nic	Rok vložení kolejnic	Upev- ňo- vadla	Pražce	Rozdě- lení pražců	Rok vložení pražců
7	A (1)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998
	B (2)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998

Tabulka 4-10: Údaje o úseku č. 7 – pokračování

4.7.2 Teoretický výpočet

úsek č. 7

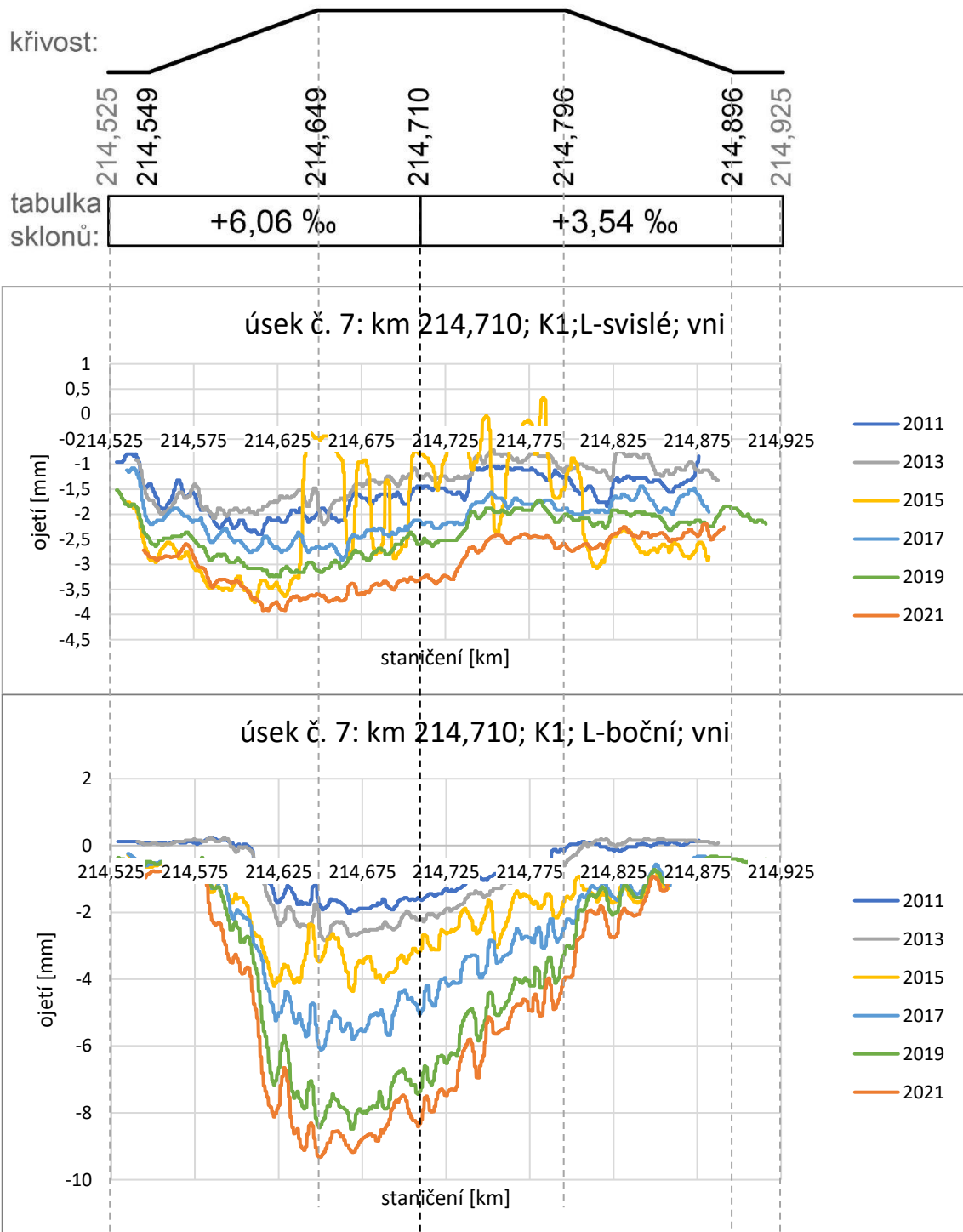
úsek č. 7

Řídící síla P ₁ [kN]	před LN	za LN	Řídící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	73,486	73,486	Kolej č. 1 (A)	50,641	50,513
Kolej č. 2 (B)	75,041	75,039	Kolej č. 2 (B)	52,174	52,173

4.7.3 Vyhodnocení ojetí

4.7.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 7; kolej 1(A) $R = 376 \text{ m}$

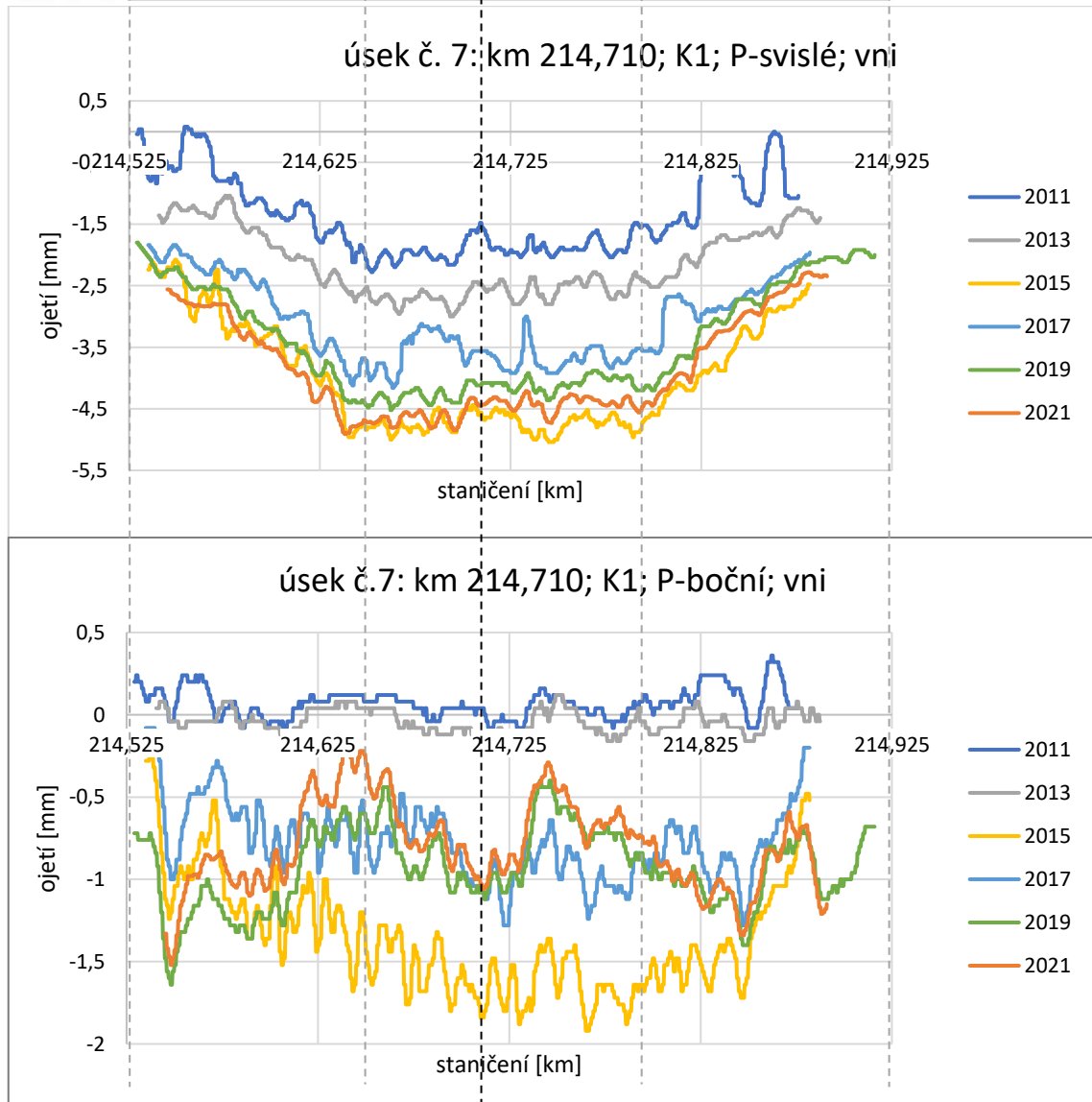
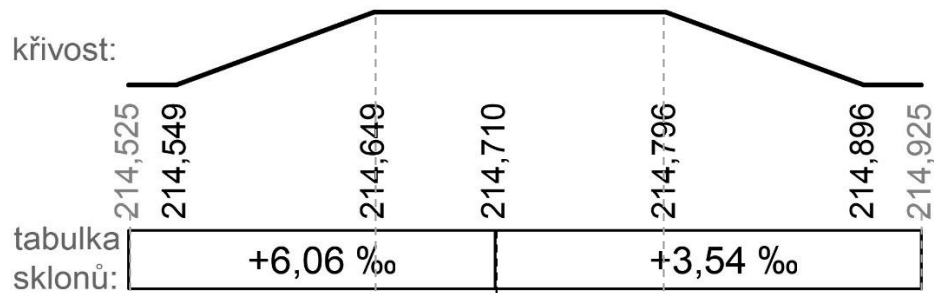


Ojetí roste po délce oblouku. Tento jev je pozorovatelný u bočního i u svislého ojetí.

Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

úsek č. 7; kolej 1(A) $R = 376 \text{ m}$

křivost:



U pravého vnitřního kolejnicového pásu narůstá boční ojetí minimálně. Svislé ojetí dosahuje podobných hodnot jako u vnější kolejnice – zatížení je mezi kolejnicové pásy rozneseno dobře. V roce 2015 zřejmě proběhlo broušení kolejnic, nebo měření s chybou.

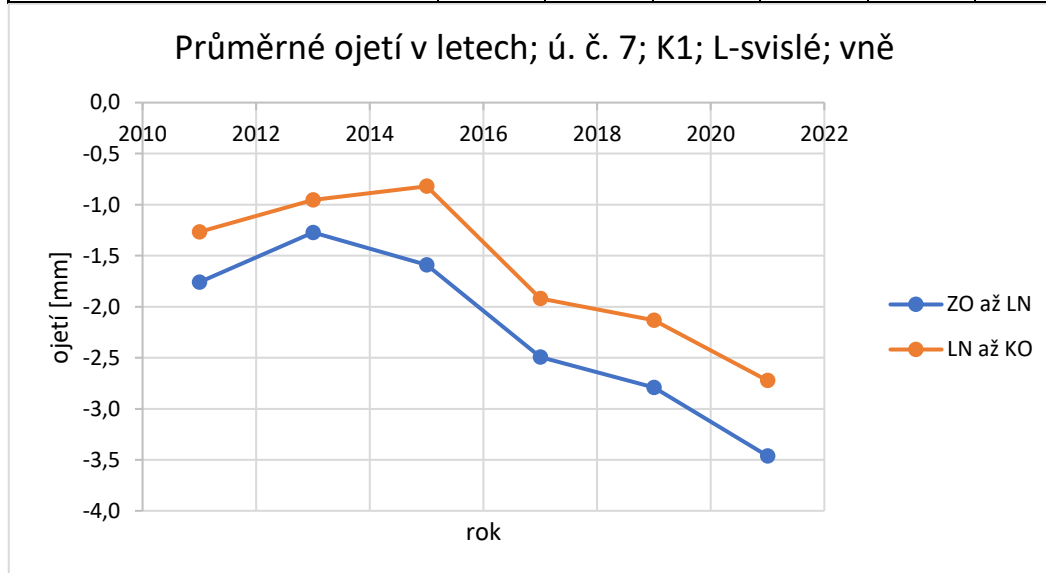
Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

Ojetí roste po délce oblouku. Tento jev je pozorovatelný u bočního i u svislého ojetí.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č.7; K1

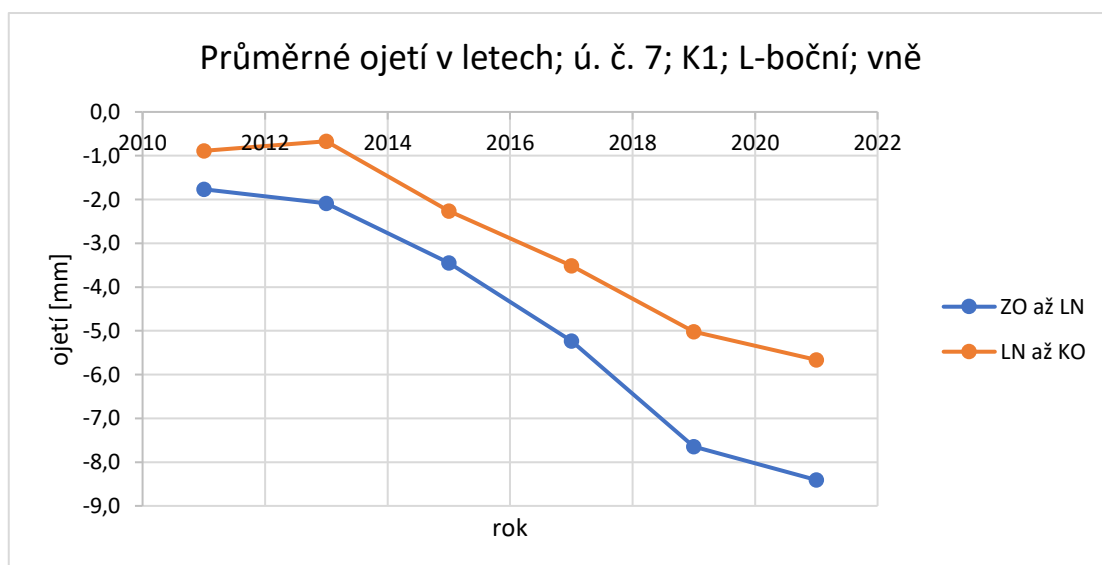
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km 214,649	-1,8	-1,3	-1,6	-2,5	-2,8	-3,5
LN km 214,710	-1,3	-1,0	-0,8	-1,9	-2,1	-2,7
KO km 214,796						



R. 2011, 2013 a 2015 je zřejmě v rámci přesnosti měření MV.

úsek č.7; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km 214,649	-1,8	-2,1	-3,4	-5,2	-7,6	-8,4
LN km 214,710	-0,9	-0,7	-2,3	-3,5	-5,0	-5,7
KO km 214,796						

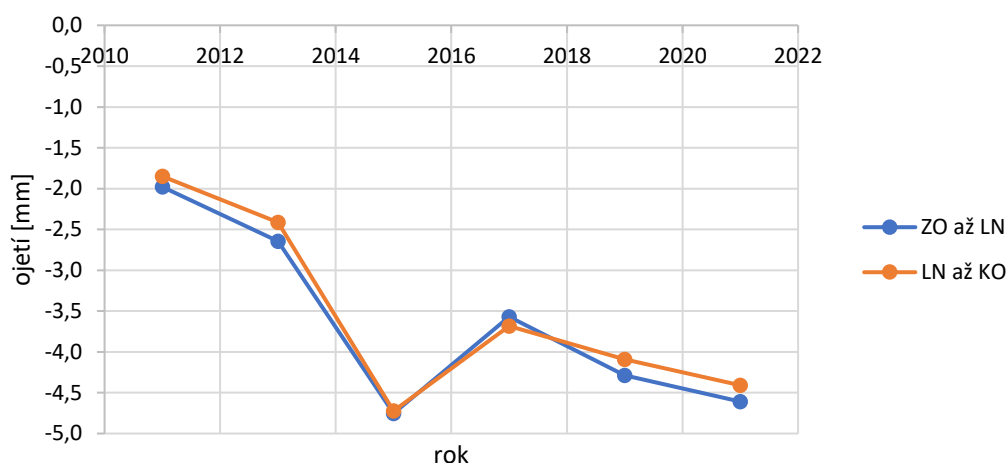


L-boční narůstá plynule.

úsek č.7; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km 214,649	-2,0	-2,6	-4,8	-3,6	-4,3	-4,6
LN km 214,710	-1,8	-2,4	-4,7	-3,7	-4,1	-4,4
KO km 214,796						

Průměrné ojetí v letech; ú. č. 7; K1; P-svislé; vni

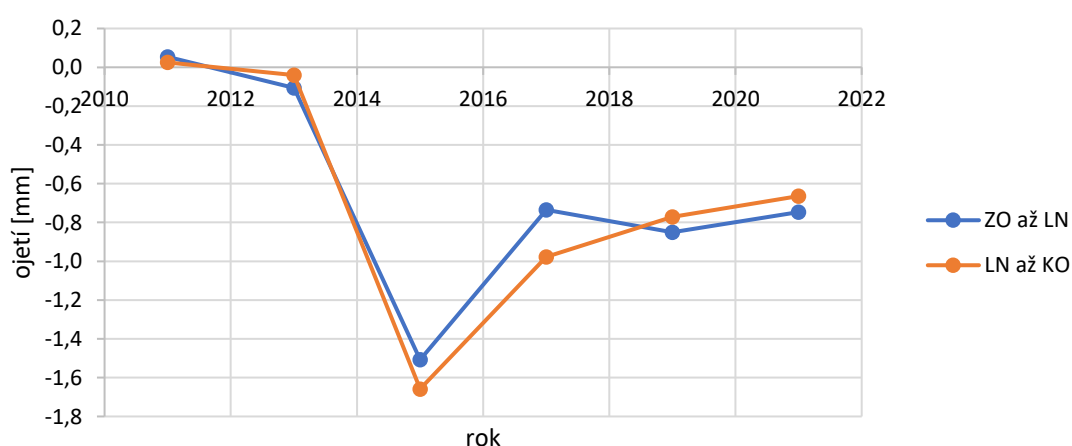


V r. 2015 proběhlo broušení kolejnic nebo měření s chybou.

úsek č.7; K1

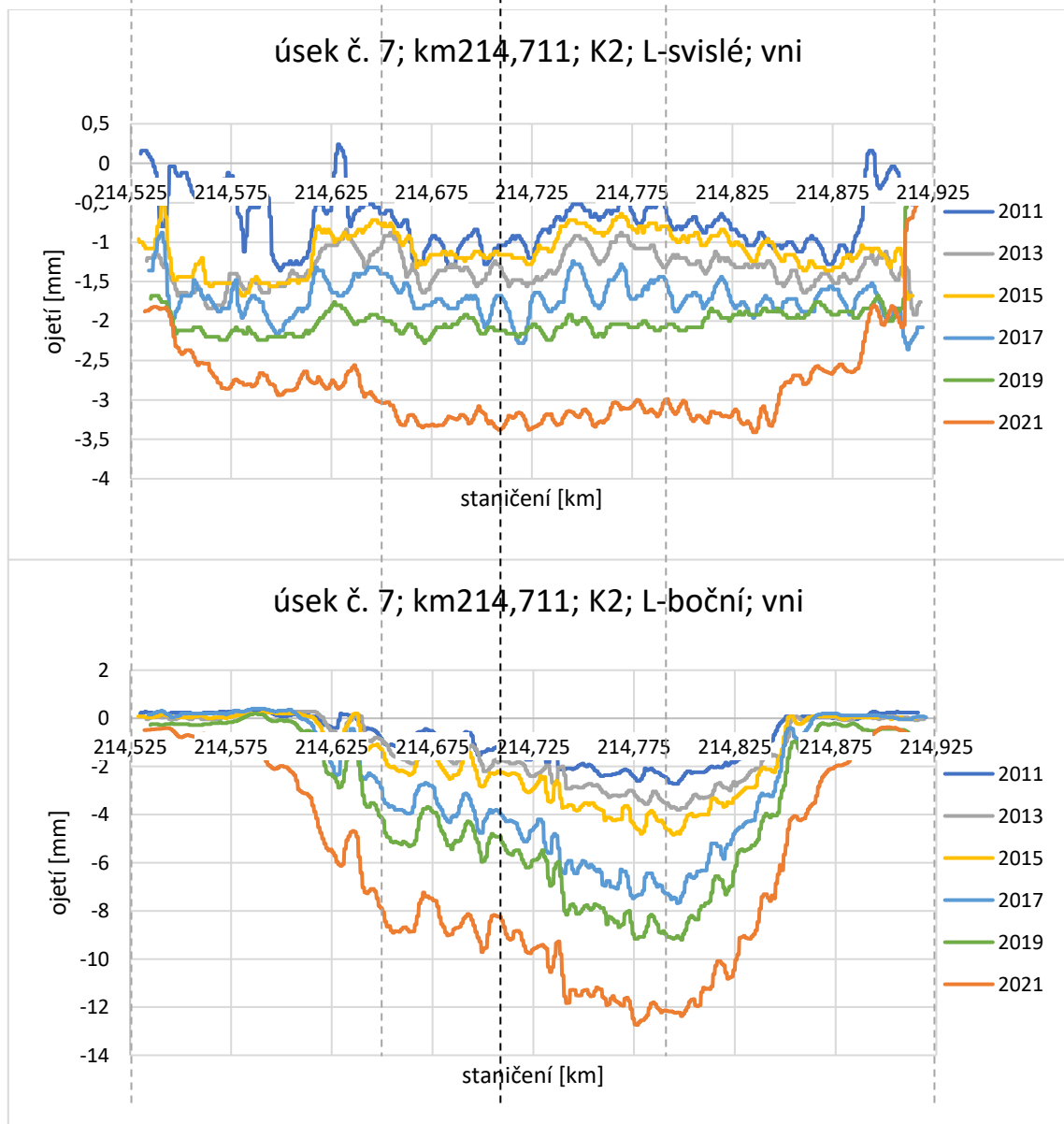
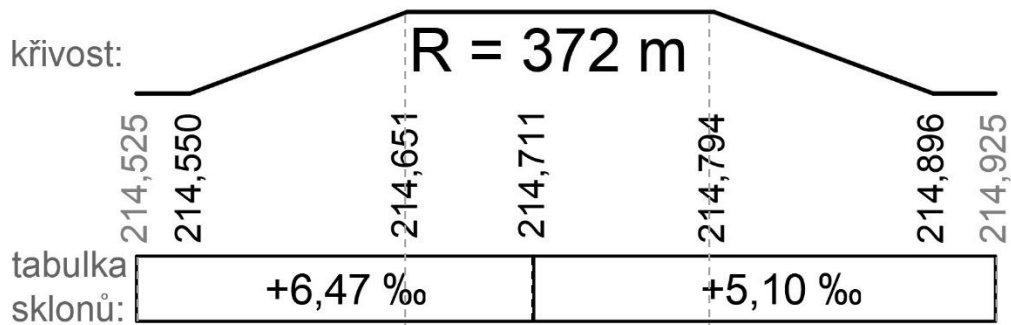
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km 214,649	0,1	-0,1	-1,5	-0,7	-0,9	-0,7
LN km 214,710	0,0	0,0	-1,7	-1,0	-0,8	-0,7
KO km 214,796						

Průměrné ojetí v letech; ú. č. 7; K1; P-boční; vni



Pravé ojetí vnitřního kolejnicového pásu nabývá nejmenších hodnot. V roce 2014 proběhlo zřejmě broušení kolejnic.

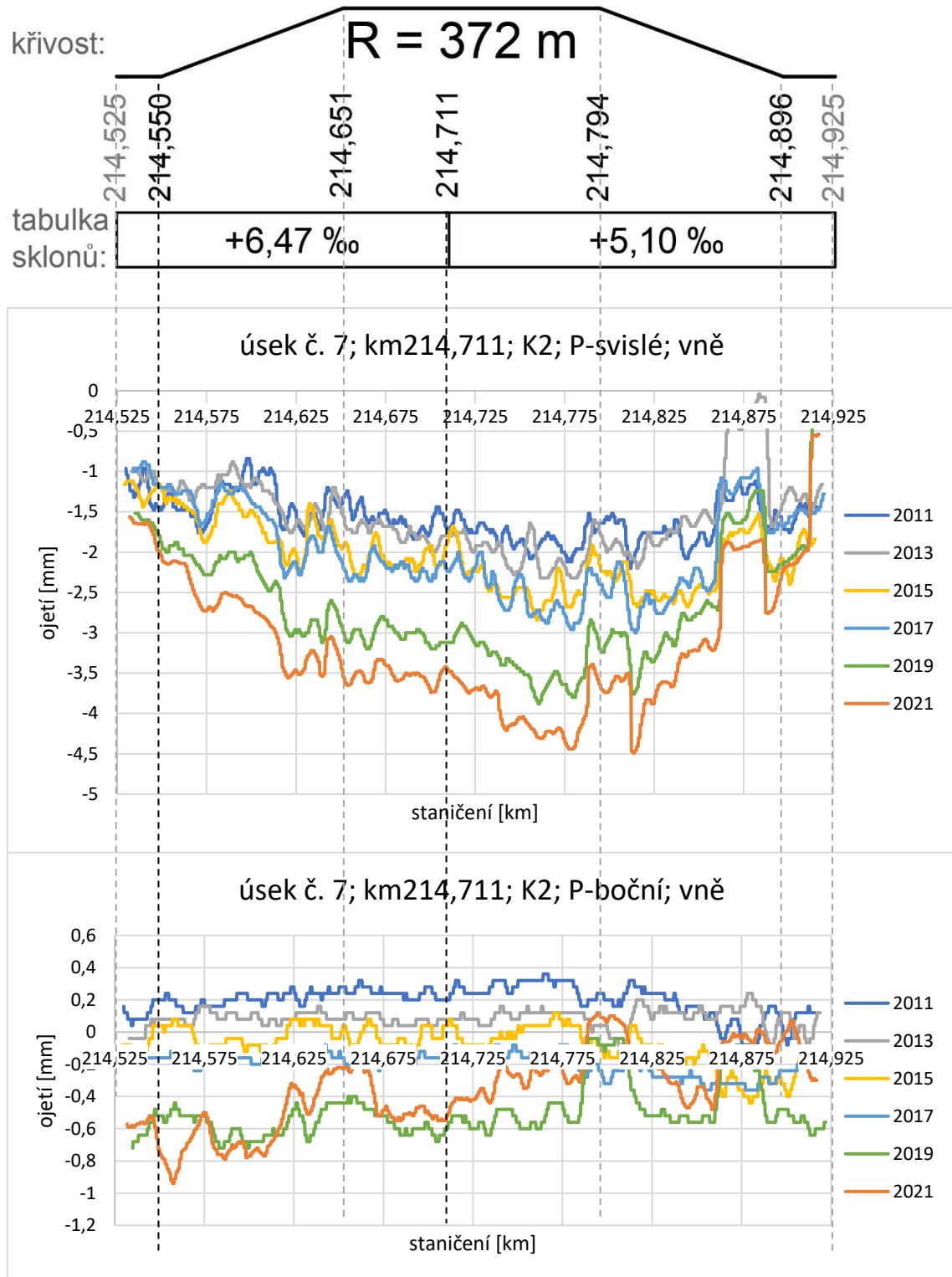
4.7.3.2 Kolej č. 2 úsek č. 7; kolej 2(B)



Přestože boční ojetí narůstá po délce oblouku, změna podélného sklonu na velikost bočního ojetí má zřejmě vliv také. Skutečný lom sklonu se pravděpodobně nachází o kousek dál, a to v km 214,735. Boční ojetí narůstá po délce oblouku jako

u většiny úseků. Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

úsek č. 7; kolej 2(B)



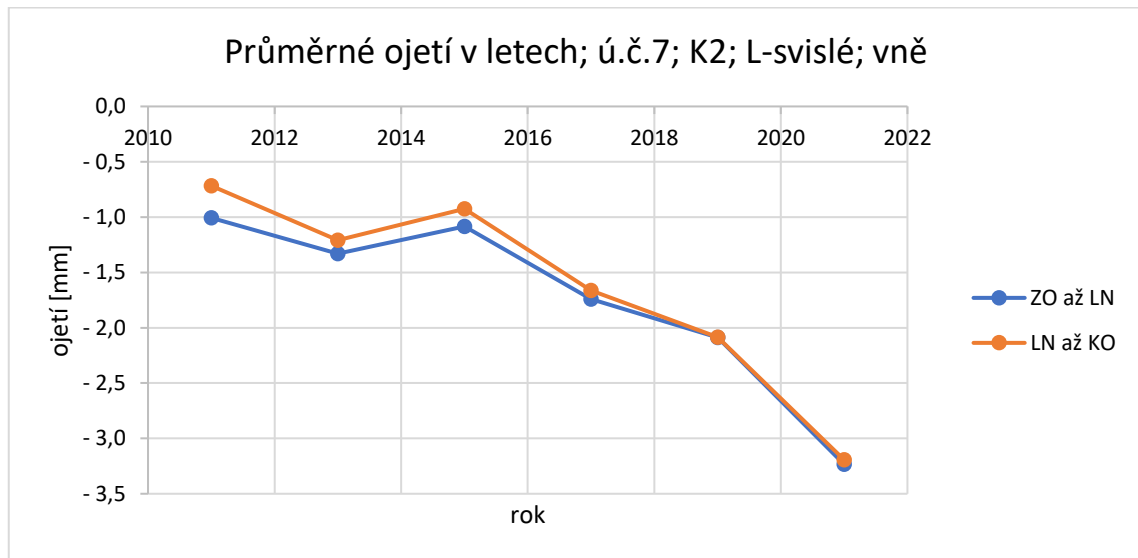
Pravá kolejnice se svisle ojíždí o něco více než levá, bočně se téměř neojíždí (necelý 1 mm úbytek materiálu za 10 let). Nuance jsou v rámci chyby *MV*.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou hnacím vozidlem sunuty.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

úsek č. 7; K2

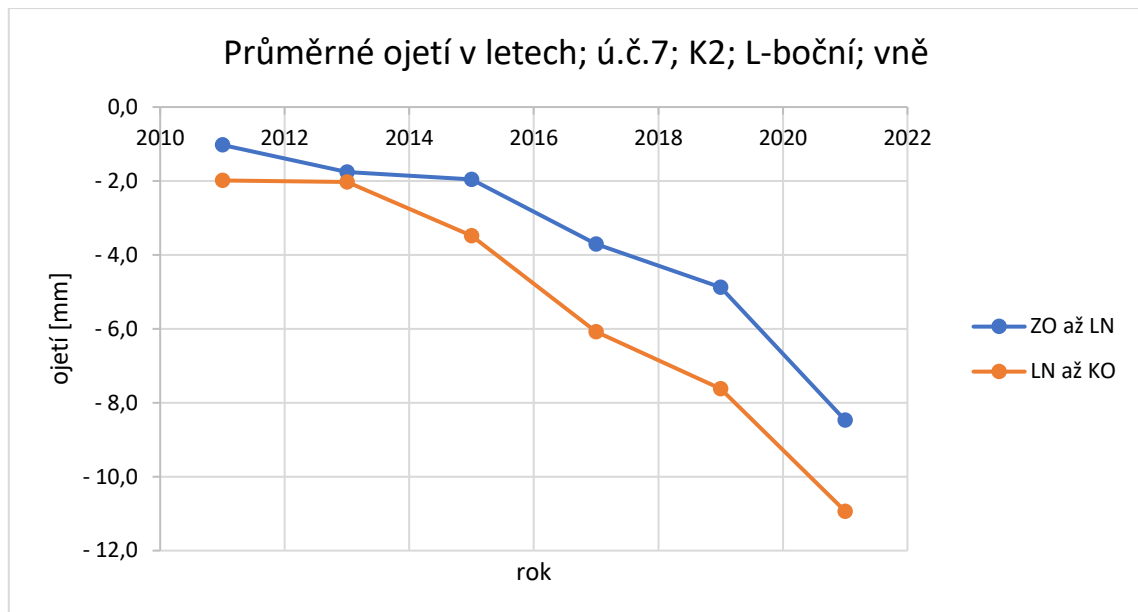
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km214,651; +6,47 ‰	-1,0	-1,3	-1,1	-1,7	-2,1	-3,2
LN km214,711; +5,10 ‰	-0,7	-1,2	-0,9	-1,7	-2,1	-3,2
KO km214,794						



r. 2013 v rámci chyby měření MV.

úsek č. 7; K2

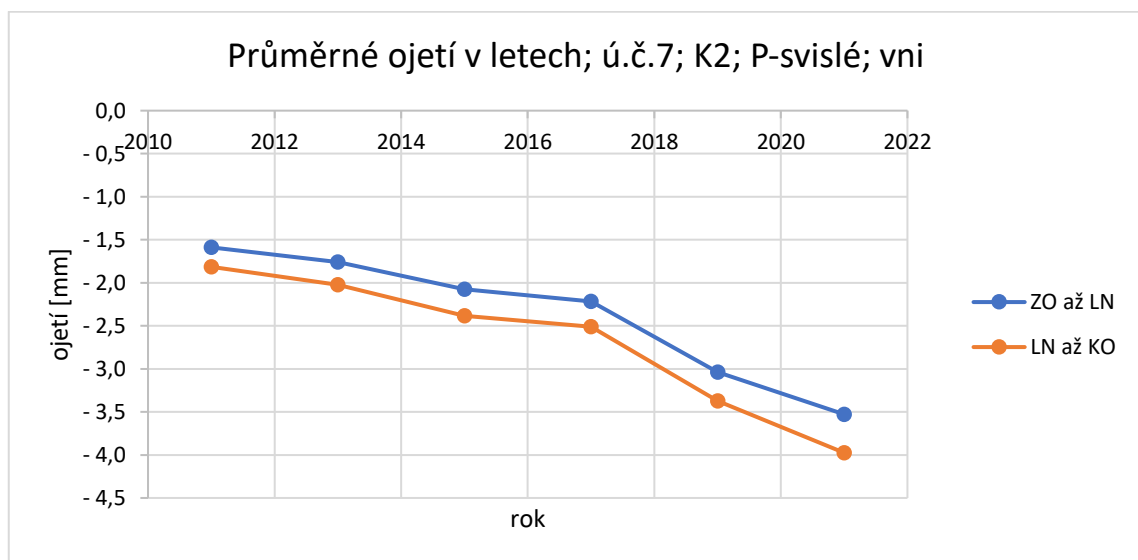
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km214,651; +6,47 ‰	-1,0	-1,8	-2,0	-3,7	-4,9	-8,5
LN km214,711; +5,10 ‰	-2,0	-2,0	-3,5	-6,1	-7,6	-10,9
KO km214,794						



Ojetí od r. 2011 narůstá, a dokonce vykazuje exponenciální tendenci jak se zvětšovala projatá zátěž, a jak se snižovala tvrdost kolejnice.

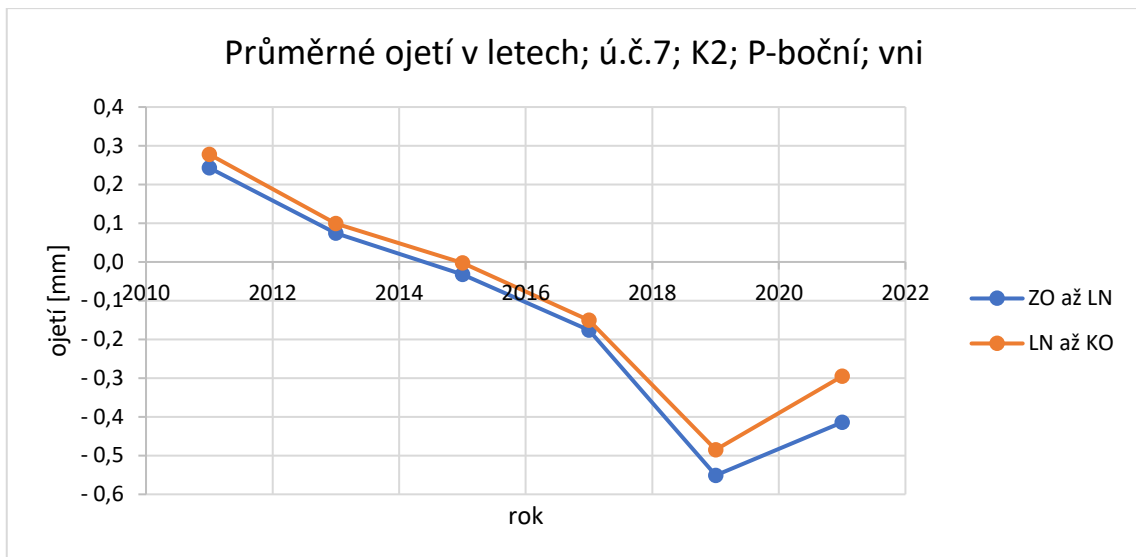
úsek č. 7; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km214,651; +6,47 ‰	-1,6	-1,8	-2,1	-2,2	-3,0	-3,5
LN km214,711; +5,10 ‰	-1,8	-2,0	-2,4	-2,5	-3,4	-4,0
KO km214,794						



úsek č. 7; K2

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO km214,651; +6,47 ‰	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,6	-0,4
LN km214,711; +5,10 ‰	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,3
KO km214,794						



Rok 2021 je v rámci přesnosti měření MV.

4.8 ÚSEK Č. 8 – KM 217,2

4.8.1 Popis úseku

Úsek č. 8 se nachází v širé trati. Délka jednotné kružnicové části za lomem sklonu je relativně malá (20 m). Požadavek na minimální délku koleje konstantní křivosti za LN (10 m), stanovený na začátku práce, je však splněn. Jedná se o oblouk složený ze dvou poloměrů, přičemž numerické analýze byl podroben pouze větší z nich, protože se v něm nachází lom sklonu.



Obrázek 4-9: Ortofoto úseku č. 8. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staničenní lomu sklonu LN [km]	Poloměr oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
8	A (1)	217,169	370	L	144	+4,44	0,00	85
	B (2)	217,174	374	L	144	+4,39	0,00	85

Tabulka 4-11: Údaje o úseku č. 8

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V^{130} [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
8	A (1)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998
	B (2)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998

Tabulka 4-12: Údaje o úseku č. 8 – pokračování

4.8.2 Teoretický výpočet

úsek č. 8

Řídící síla P_1 [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	71,779	71,779
Kolej č. 2 (B)	72,772	72,764

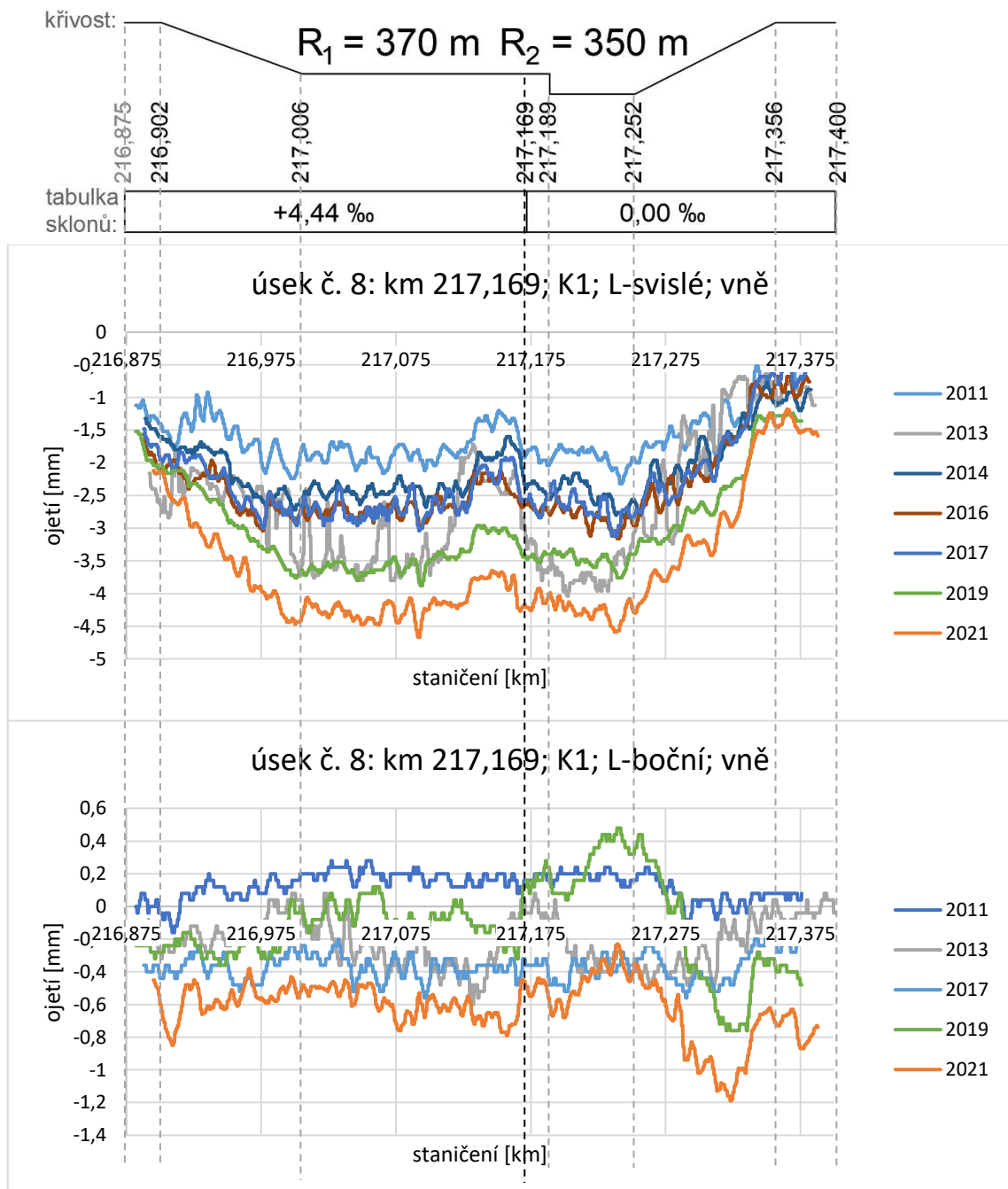
úsek č. 8

Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	48,872	48,872
Kolej č. 2 (B)	49,947	49,939

4.8.3 Vyhodnocení ojetí

4.8.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 8; kolej č. 1(A)

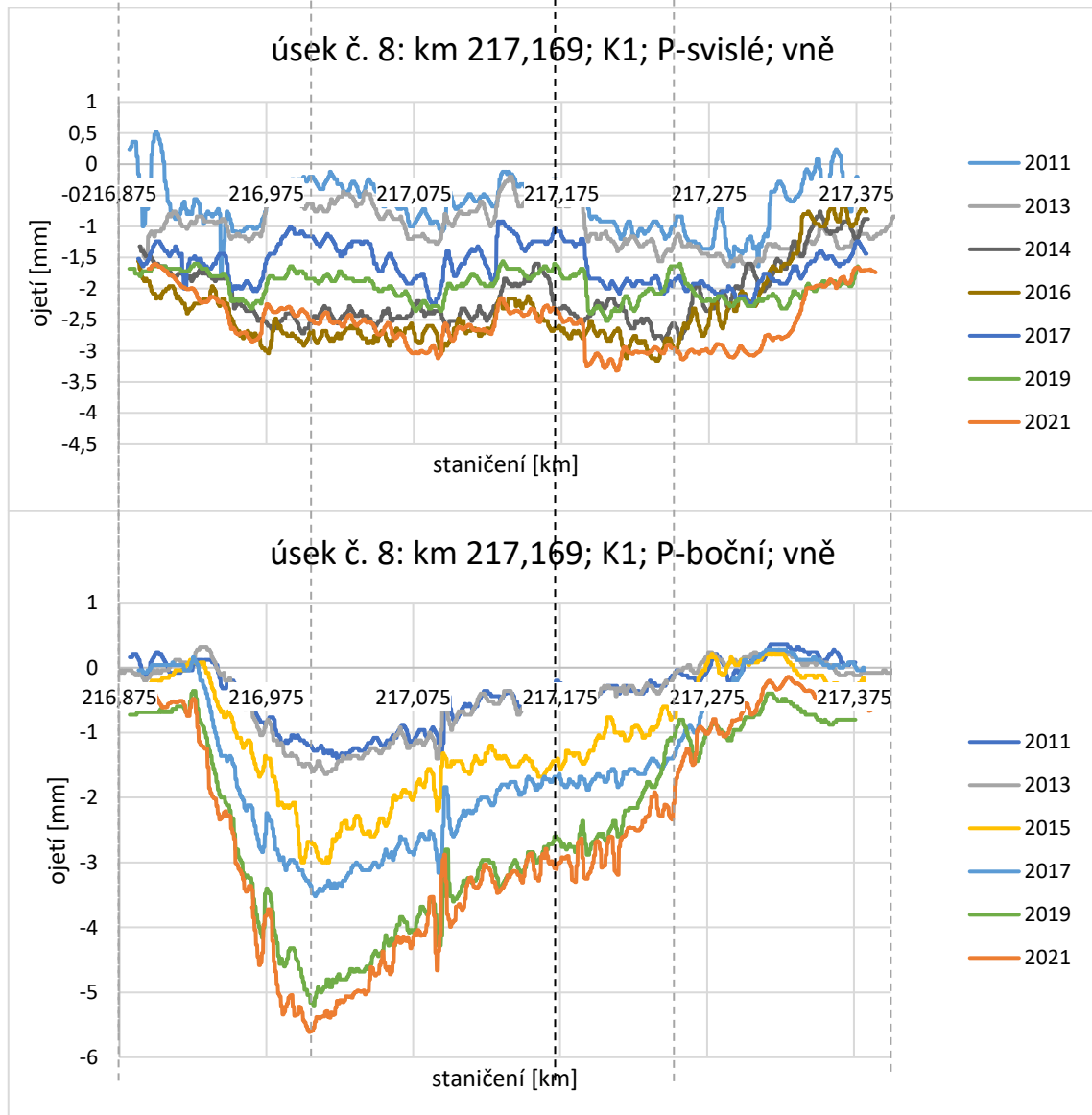
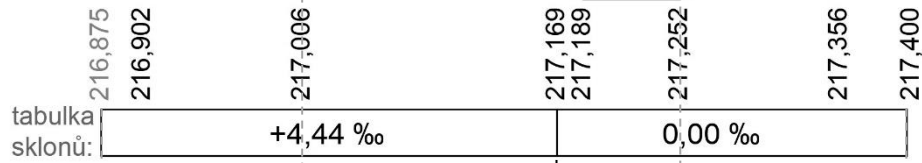


Vlaky jezdí proti směru staničení a klesají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem taženy.

úsek č. 8; kolej č. 1(A)

křivost:

$$R_1 = 370 \text{ m} \quad R_2 = 350 \text{ m}$$

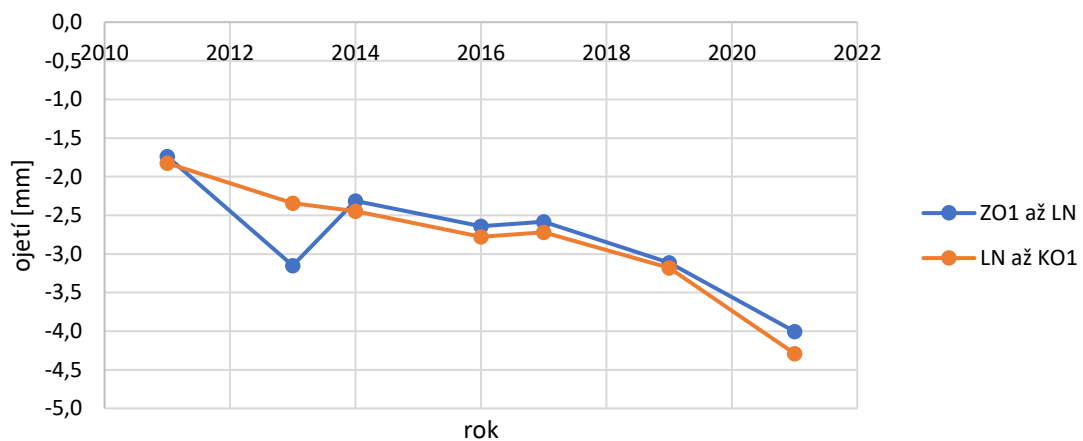


Levá kolejnice se ojíždí o něco málo víc svisle než pravá. Nejvyšších hodnot dosahuje boční ojetí vnější kolejnice. Nuance jsou v rámci přesnosti měření MV či změnou metod měření. [14] Boční ojetí narůstá po délce oblouku tak jak u většiny úseků. Vlaky jezdí proti směru staničení. Soupravy Railjet jsou hnacím vozidlem taženy.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

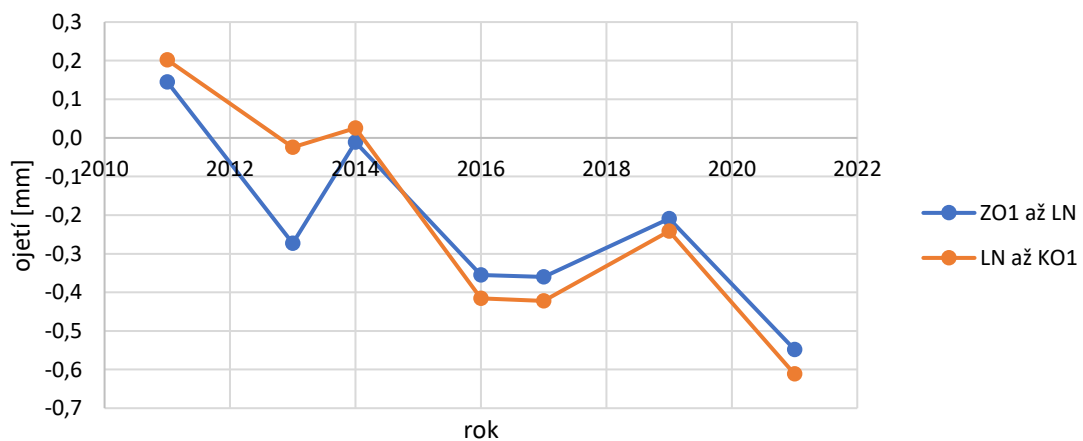
ú. č. 8; K1							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R370; +4,44 ‰	-1,7	-3,2	-2,3	-2,6	-2,6	-3,1	-4,0
LN km217,169; R370; 0,00 ‰	-1,8	-2,3	-2,4	-2,8	-2,7	-3,2	-4,3
KO1 km217,189							

Průměrné ojetí v letech; L-svislé; vni



ú. č. 8; K1							
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2014	2016	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R370; +4,44 ‰	0,1	-0,3	0,0	-0,4	-0,4	-0,2	-0,5
LN km217,169; R370; 0,00 ‰	0,2	0,0	0,0	-0,4	-0,4	-0,2	-0,6
KO1 km217,189							

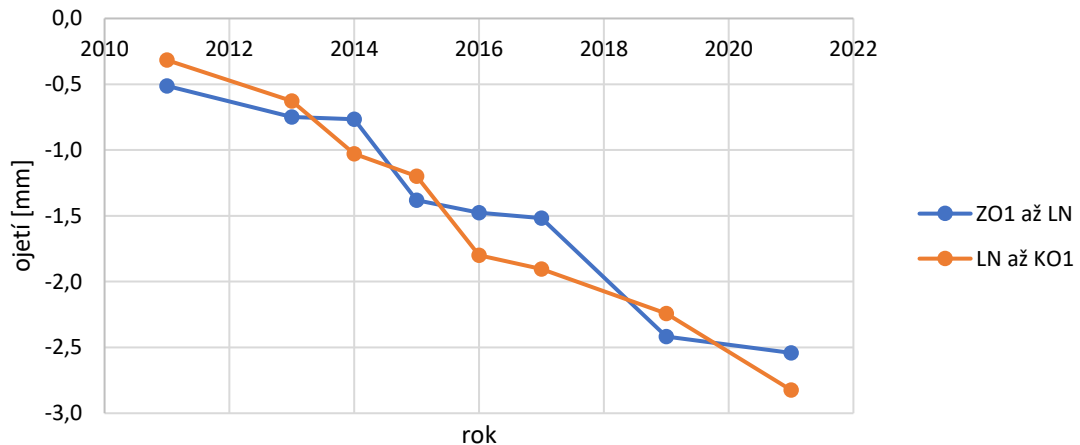
Průměrné ojetí v letech; L-boční; vni



Nuance jsou v rámci přesnosti měření MV, či změnou metod měření.

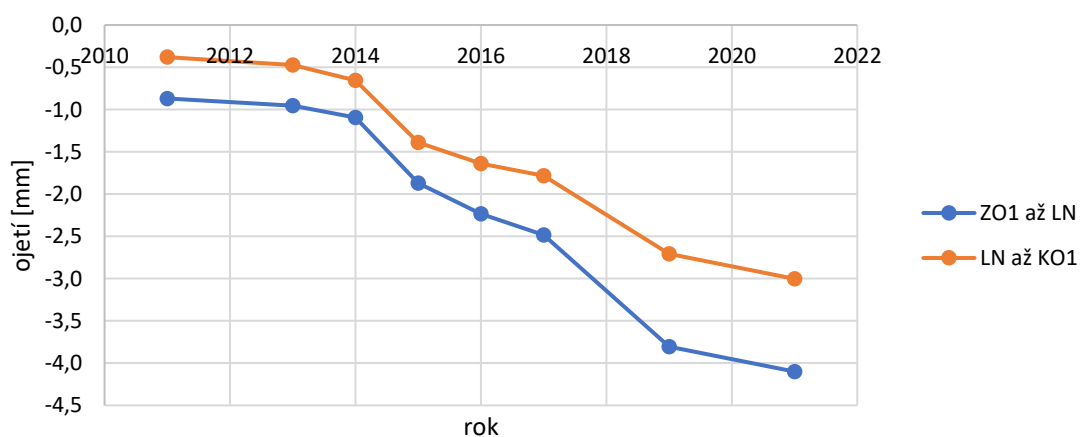
ú. č. 8; K1								
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R370; +4,44 ‰	-0,5	-0,7	-0,8	-1,4	-1,5	-1,5	-2,4	-2,5
LN km217,169	-0,3	-0,6	-1,0	-1,2	-1,8	-1,9	-2,2	-2,8
KO1 km217,189								

Průměrné ojetí v letech; P-svislé, vně



ú. č. 8; K1								
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R370; +4,44 ‰	-0,9	-1,0	-1,1	-1,9	-2,2	-2,5	-3,8	-4,1
LN km217,169; R370; 0,00 ‰	-0,4	-0,5	-0,7	-1,4	-1,6	-1,8	-2,7	-3,0
KO1 km217,189								

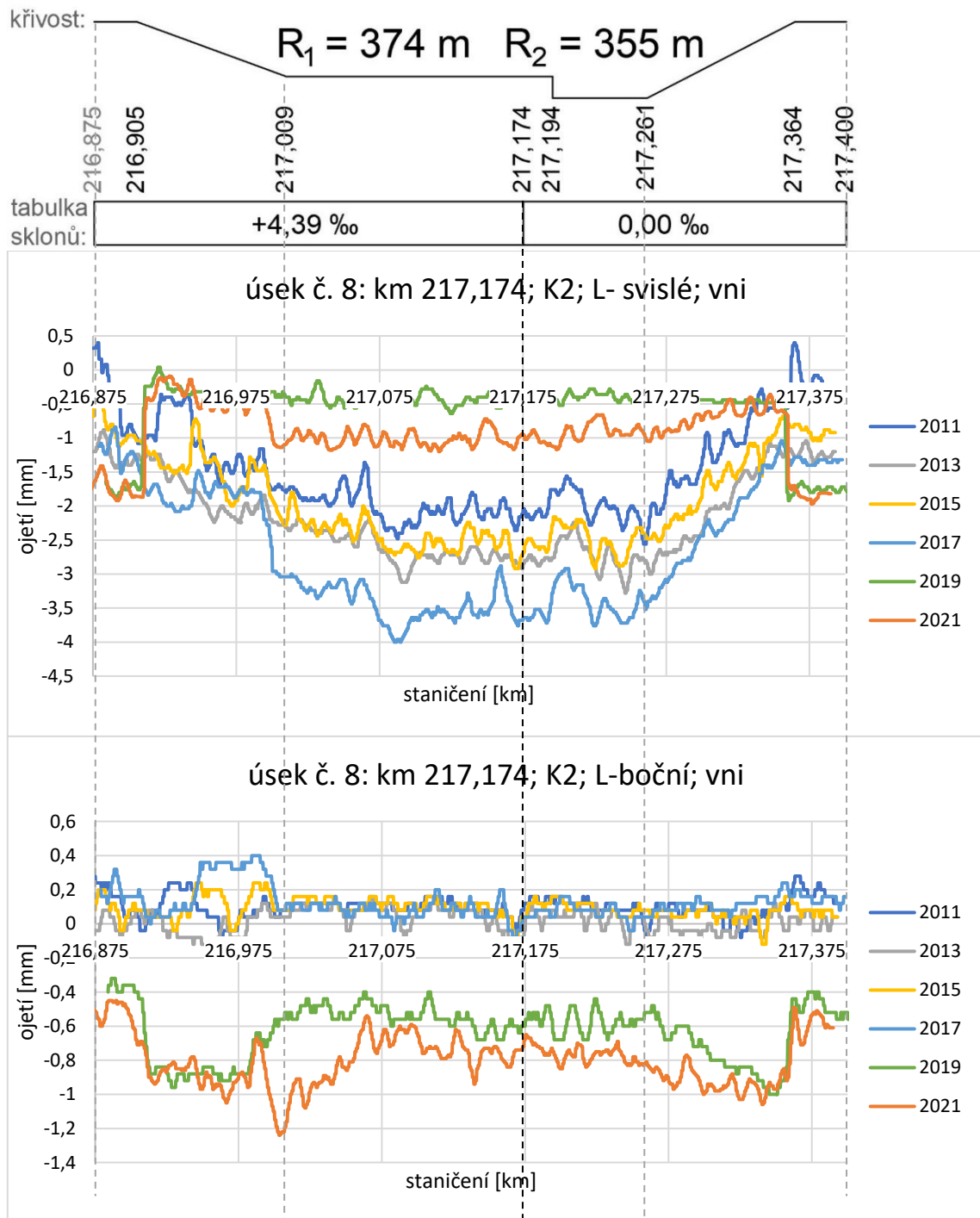
Průběh ojetí v letech; P-boční; vně



P-boční plynule narůstá. Za LN dosahuje výrazně nižších hodnot než před LN. Data jsou však ovlivněná efektem nárůstu ojetí po délce.

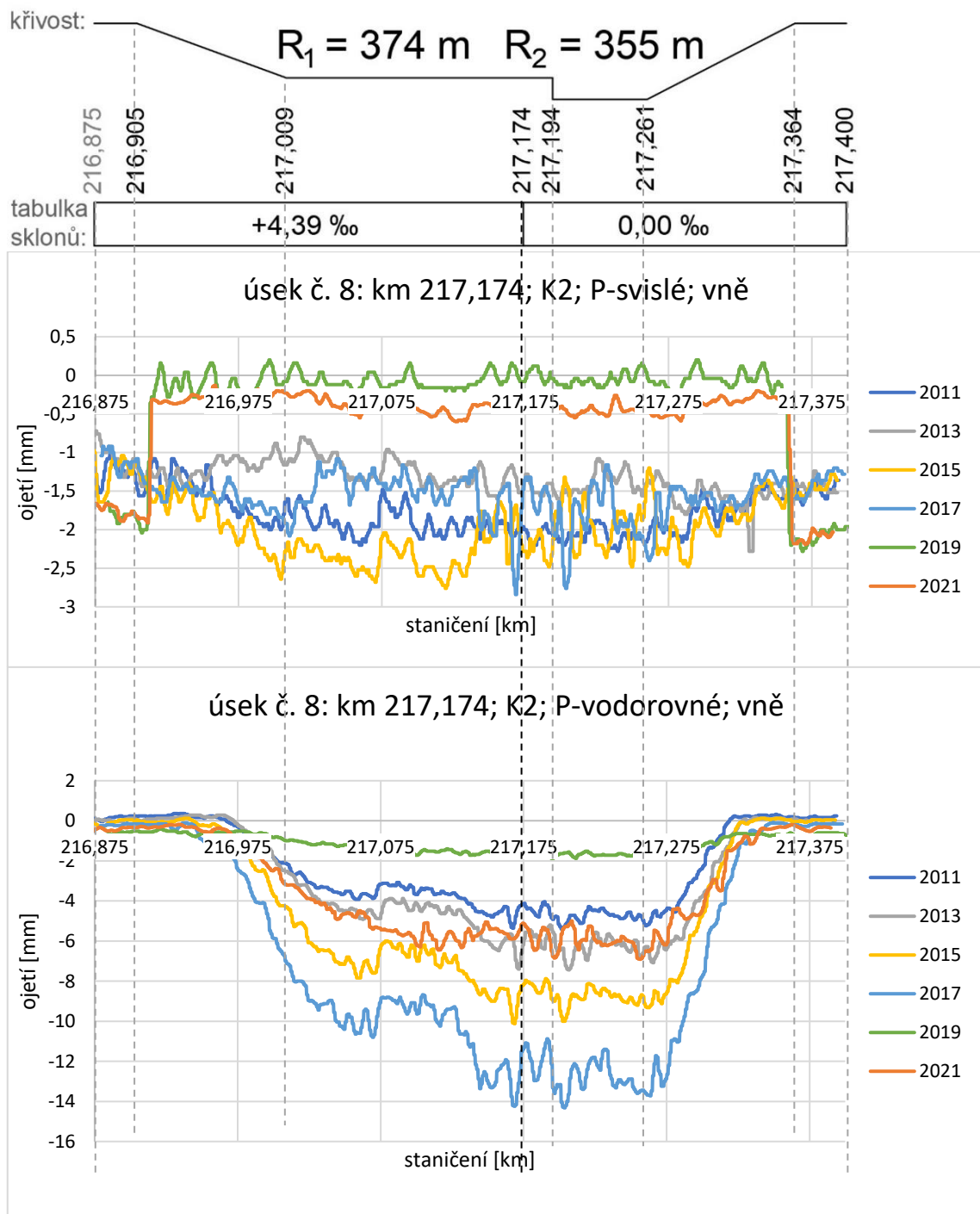
4.8.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 8; kolej č. 2(B)



Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

úsek č. 8; kolej č. 2(B)



Ojetí narůstají plynule. Mezi léty 2017 a 2019 zřejmě provedeno broušení kolejnic. Boční ojetí narůstá po délce oblouku jako u většiny úseků. I když zde tento jev není tak markantní, protože se jedná o složený oblouk s velmi výraznou změnou podélného sklonu trati, která tento efekt částečně vyvažuje.

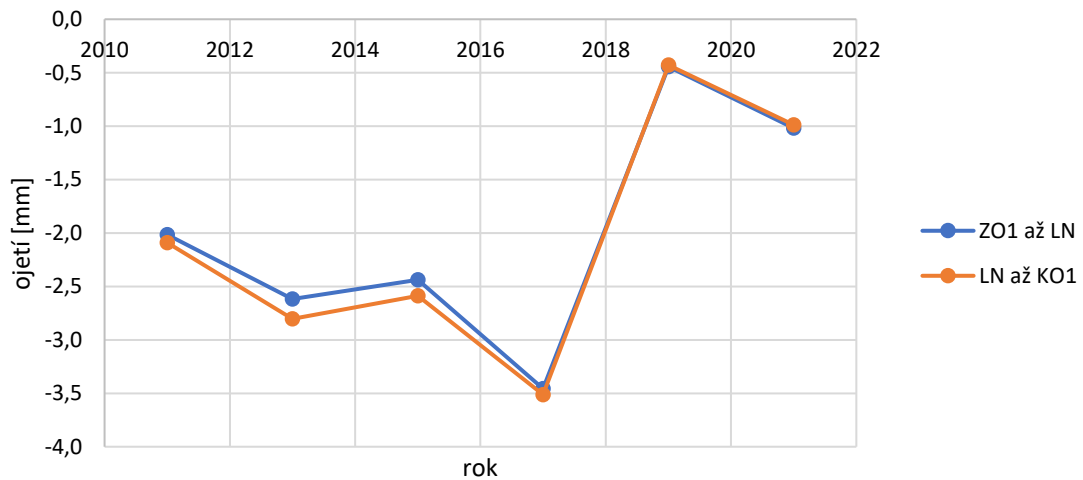
Pokles ojetí okolo km 217,1 nelze bez místní prohlídky a podrobnějšího zkoumání vysvětlit.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

ú. č. 8; K2						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R374; +4,39 ‰	-2,0	-2,6	-2,4	-3,5	-0,4	-1,0
LN km217,169; R355; 0,00 ‰	-2,1	-2,8	-2,6	-3,5	-0,4	-1,0
KO1 km217,189						

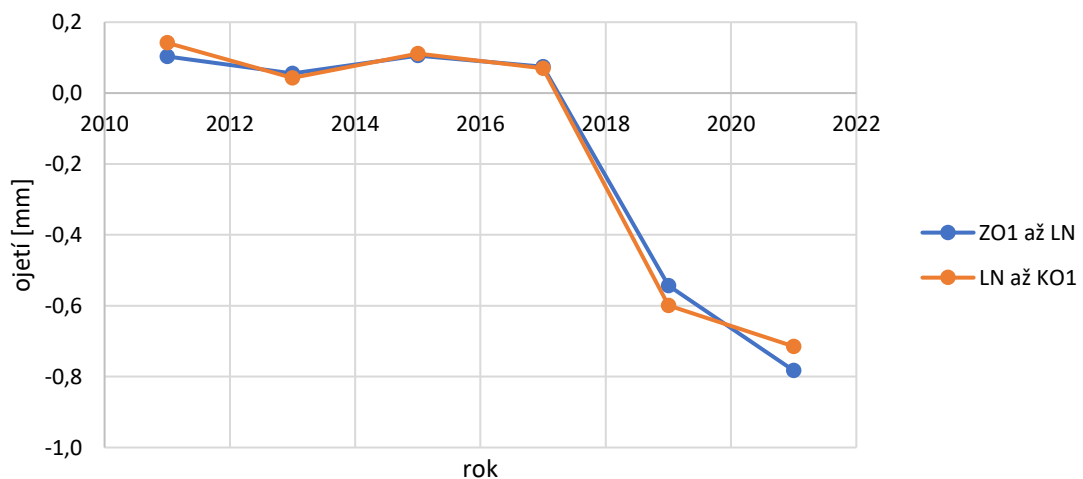
Průměrné ojetí v letech; L-svislé; vni



V r. 2018 proběhlo broušení.

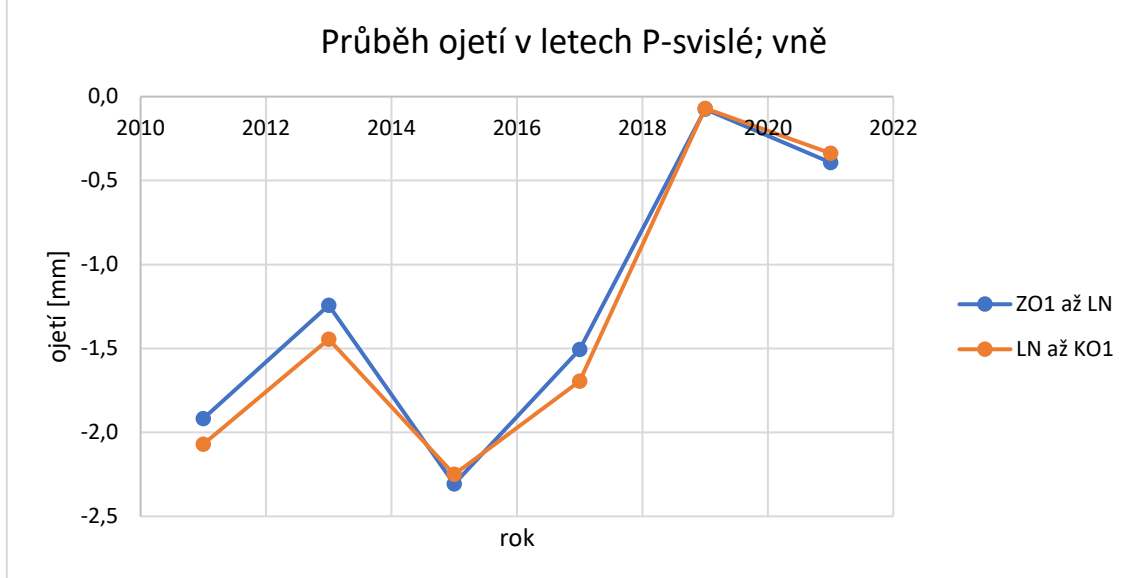
ú. č. 8; K2						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-vodorovné [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R374; +4,39 ‰	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,5	-0,8
LN km217,169; R355; 0,00 ‰	0,1	0,0	0,1	0,1	-0,6	-0,7
KO1 km217,189						

Průměrné ojetí v letech L-boční; vni



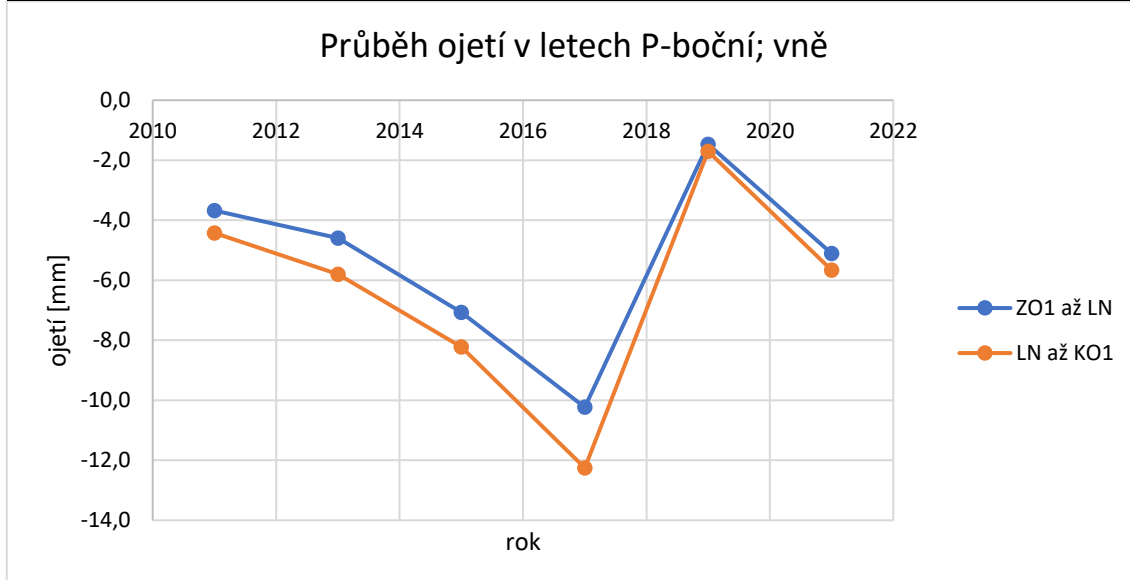
Vnitřní kolejnice se bočně téměř neojíždí (v r. 2018 proběhlo broušení).

ú. č. 8; K2						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R374; +4,39 ‰	-1,9	-1,2	-2,3	-1,5	-0,1	-0,4
LN km217,169; R355; 0,00 ‰	-2,1	-1,4	-2,3	-1,7	-0,1	-0,3
KO1 km217,189						



Nuance jsou v rámci přesnosti měření MV, či znečištění kolejnice (bahno, listí, sníh, led). Mezi léty 2017 a 2019 broušení.

ú. č. 8; K2						
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019	2021
ZO1 km217,006; R374; +4,39 ‰	-3,7	-4,6	-7,1	-10,2	-1,5	-5,1
LN km217,169; R355; 0,00 ‰	-4,4	-5,8	-8,2	-12,3	-1,7	-5,7
KO1 km217,189						



Exponenciální nárůst. Mezi léty 2016 a 2018 broušení.

4.9 ÚSEK Č. 9 – KM 217,8

4.9.1 Popis úseku

Oblouk se nachází v širé trati. Jedná se o úsek s největší změnou sklonů s ze všech zkoumaných úseků 0,00 ‰ a + 6,69 ‰ (6,77 ‰ pro kolej č. 2).



Obrázek 4-10: Ortofoto úseku č. 9. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; Na obrázku jde vidět i úsek č. 8 (vpravo), který mu předchází; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staničení lomu sklonu LN [km]	Položka oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
9	A (1)	217,833	377	P	144	0,00	+6,69	85
	B (2)	217,837	374	P	144	0,00	+6,77	85

Tabulka 4-13: Údaje o úseku č. 9

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V ¹³⁰ [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací vada	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
9	A (1)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998
	B (2)	90	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998

Tabulka 4-14: Údaje o úseku č. 9 – pokračování

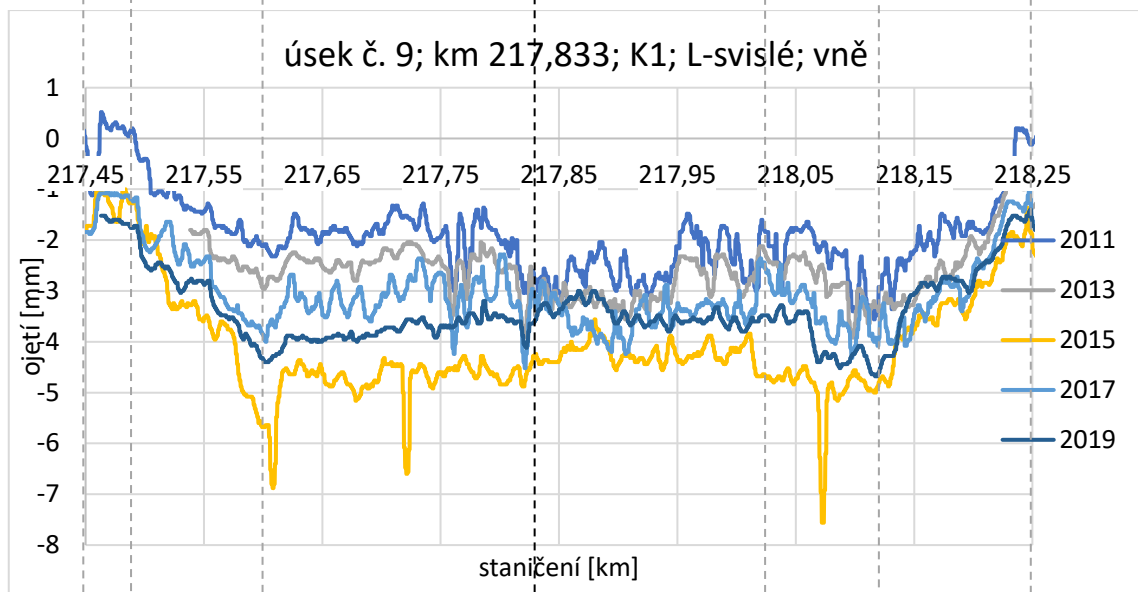
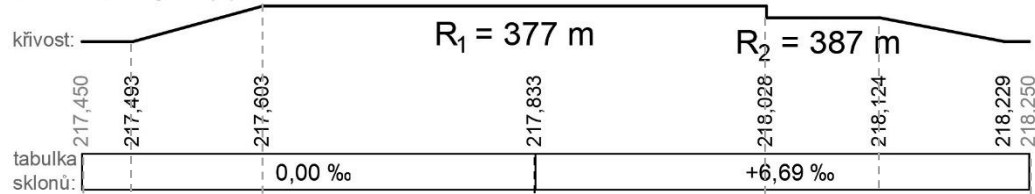
4.9.2 Teoretický výpočet

úsek č. 9			úsek č. 9		
Řídící síla P ₁ [kN]	před LN	za LN	Řídící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	71,009	71,331	Kolej č. 1 (A)	48,144	48,435
Kolej č. 2 (B)	72,835	72,835	Kolej č. 2 (B)	49,968	49,973

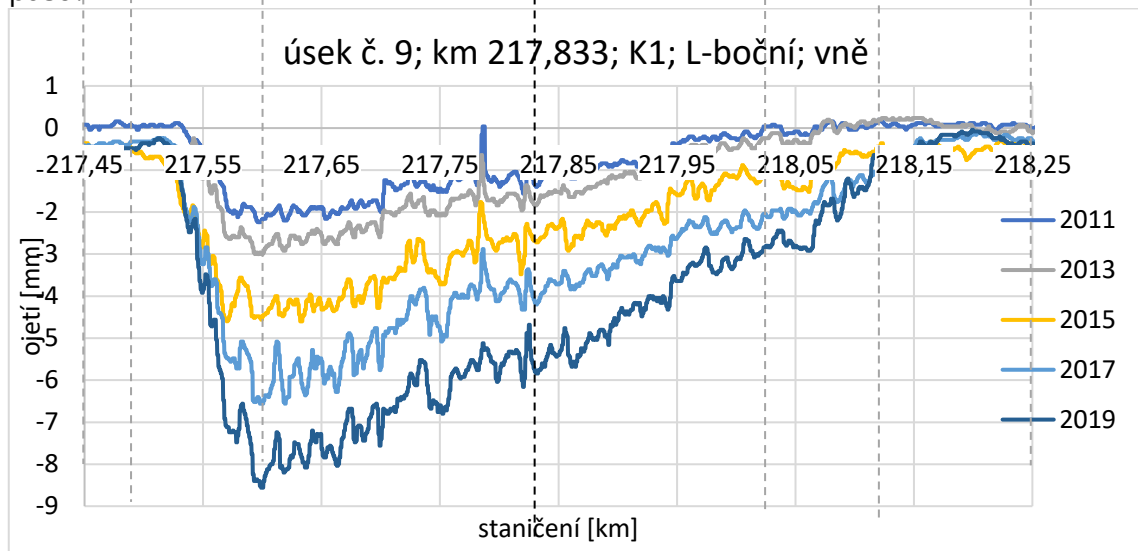
4.9.3 Vyhodnocení ojetí

4.9.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 9; kolej č. 1(A)

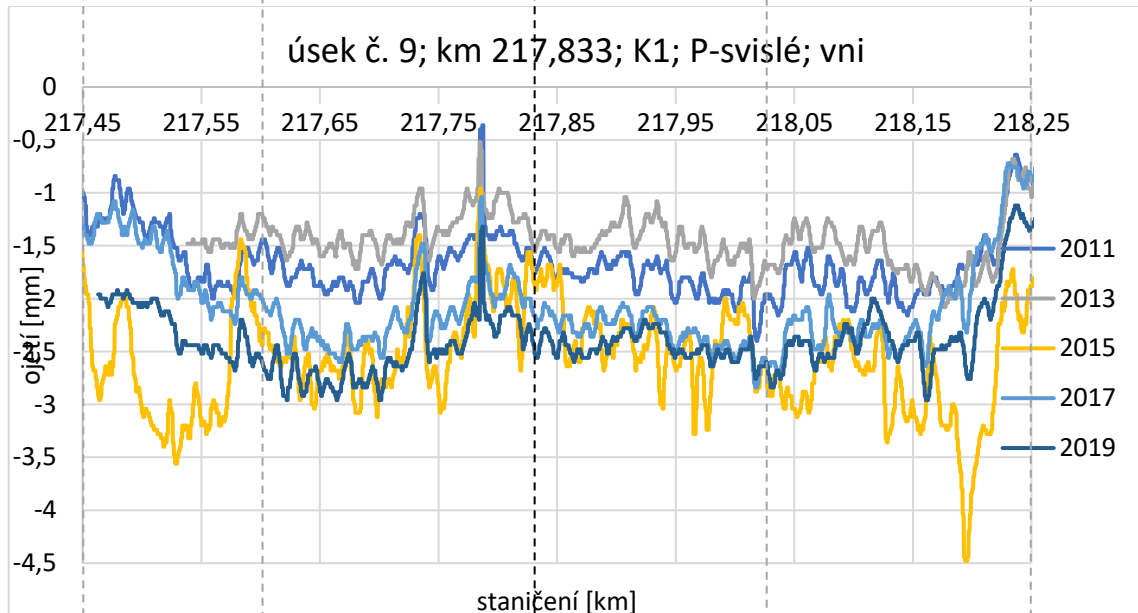
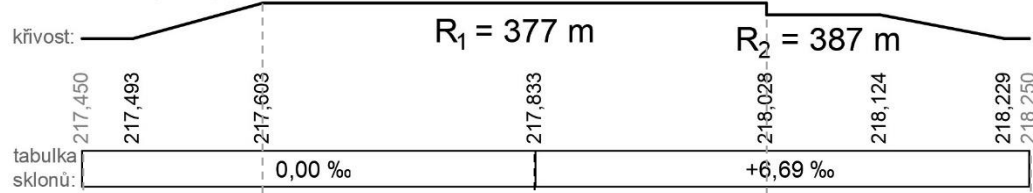


Svislé ojetí nabývá o něco větších hodnot než u pravého (vnitřního) kolejnicového pásu.

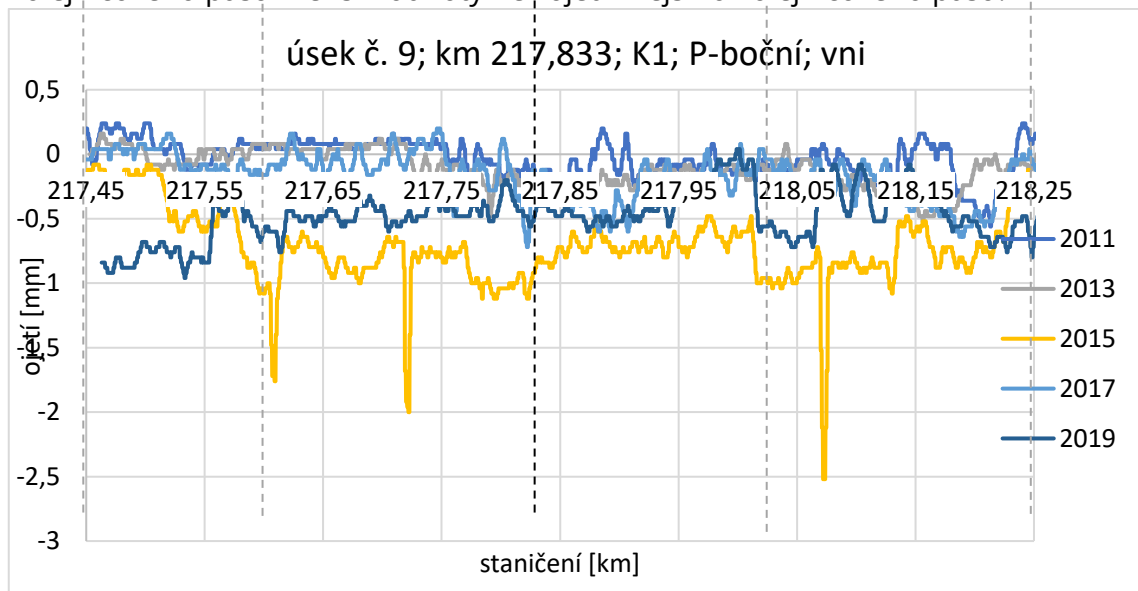


Svislé ojetí nabývá o něco větších hodnot než u pravého (vnitřního) kolejnicového pásu.

úsek č. 9; kolej č. 1(A)



Jako u jednoho z mála zkoumaných úseků vykazuje svislé ojetí vnitřního kolejnicového pásu menší hodnoty než ojetí vnějšího kolejnicového pásu.

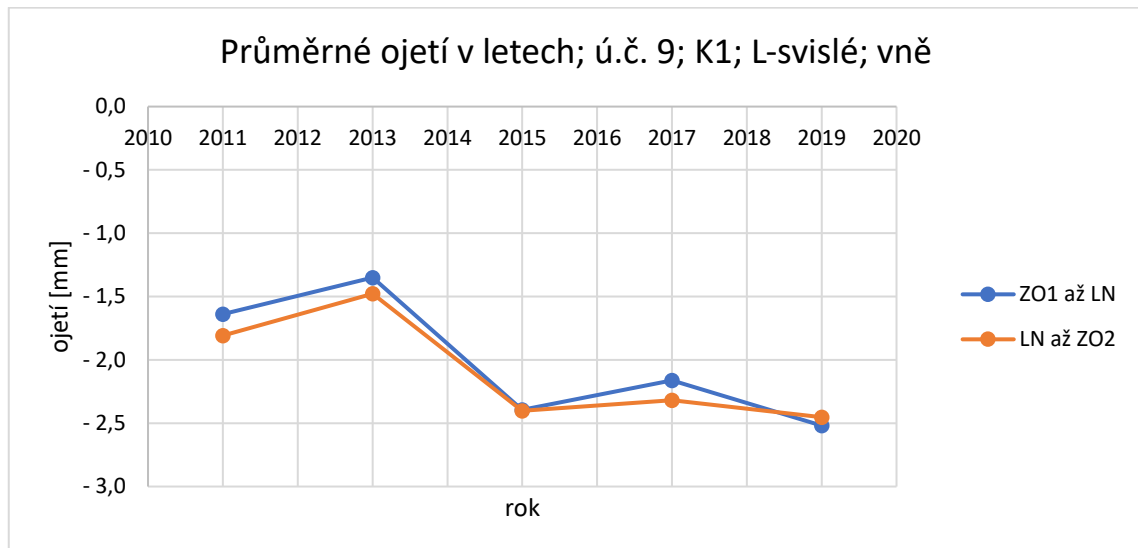


Čím jsou způsobeny lokální extrémny v r. 2015 nebylo zjištěno.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

ú. č. 9;
K1

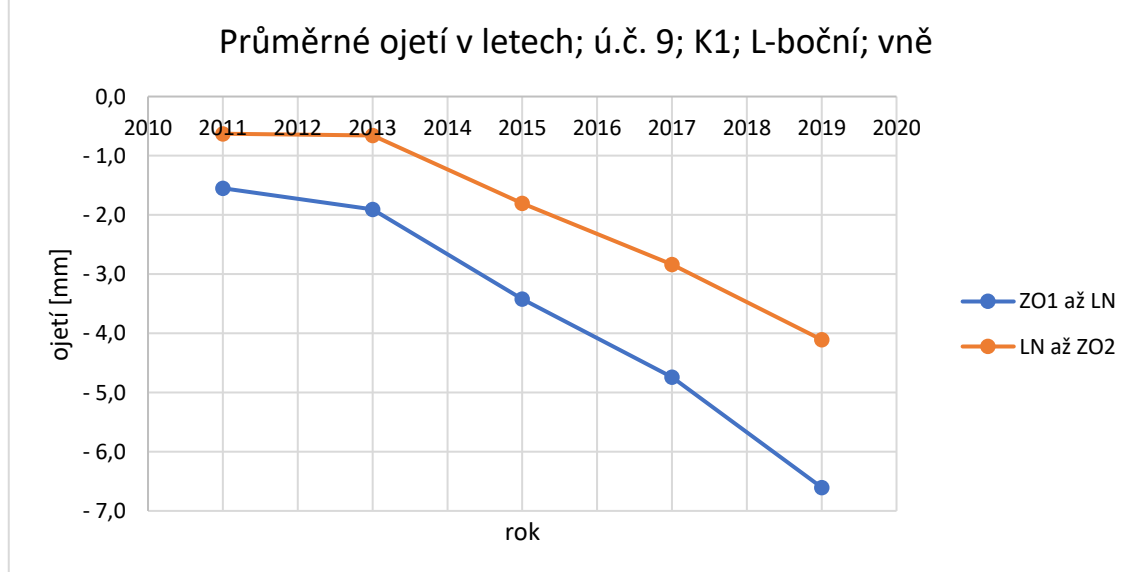
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km 217,603; R377; 0,00	-1,6	-1,4	-2,4	-2,2	-2,5
LN km 217,833; R377; +6,69	-1,8	-1,5	-2,4	-2,3	-2,5
ZO2 km 218,028					



Rok 2015 je v rámci přesnosti měření MV (či závada na MV).

ú. č. 9; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km 217,603; R377; 0,00	-1,5	-1,9	-3,4	-4,7	-6,6
LN km 217,833; R377; +6,69	-0,6	-0,7	-1,8	-2,8	-4,1
ZO2 km 218,028					

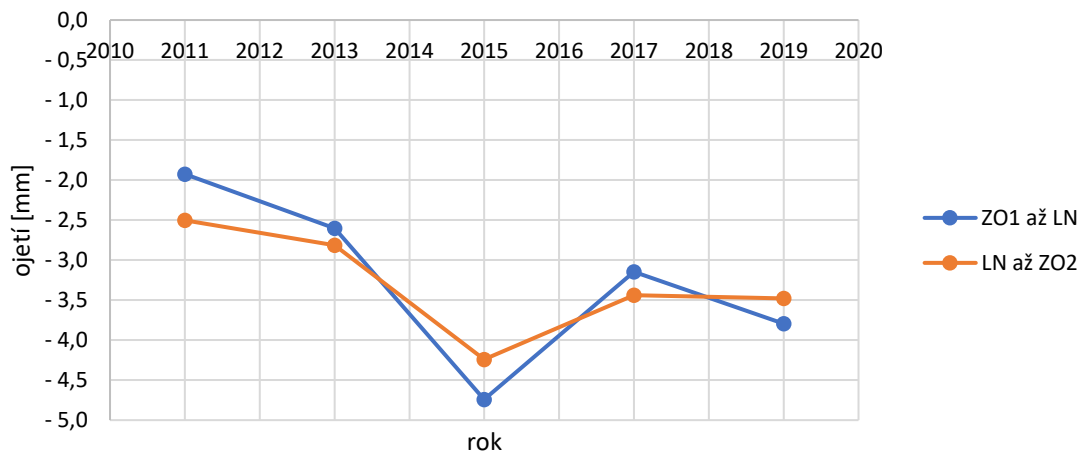


Postupný nárůst. Průměry jsou zkreslené „nárůstem ojetí po délce“ viz kap. 7.1.

ú. č. 9; K1

PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km 217,603; R377; 0,00	-1,9	-2,6	-4,7	-3,1	-3,8
LN km 217,833; R377; +6,69	-2,5	-2,8	-4,2	-3,4	-3,5
ZO2 km 218,028					

Průměrné ojetí v letech; ú.č. 9; K1; P-svislé

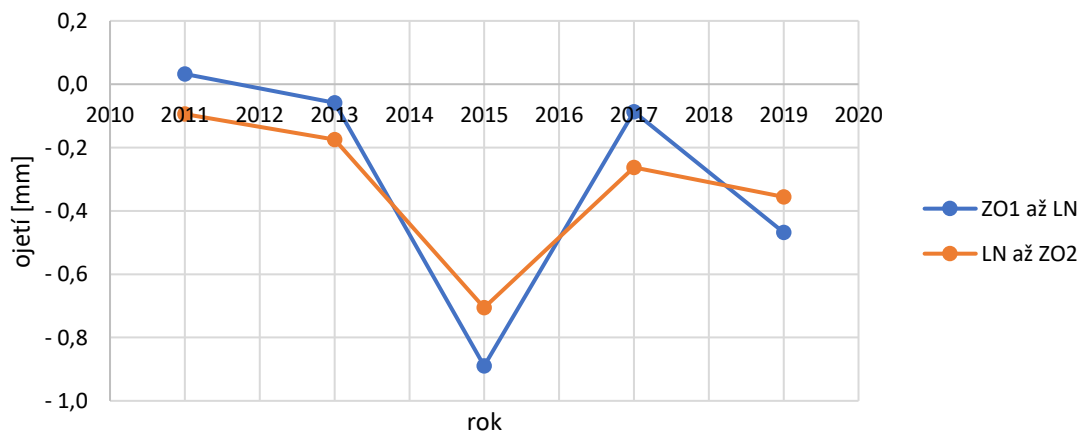


Rok 2015 je v rámci přesnosti měření (či závada na MV).

ú. č. 9; K1

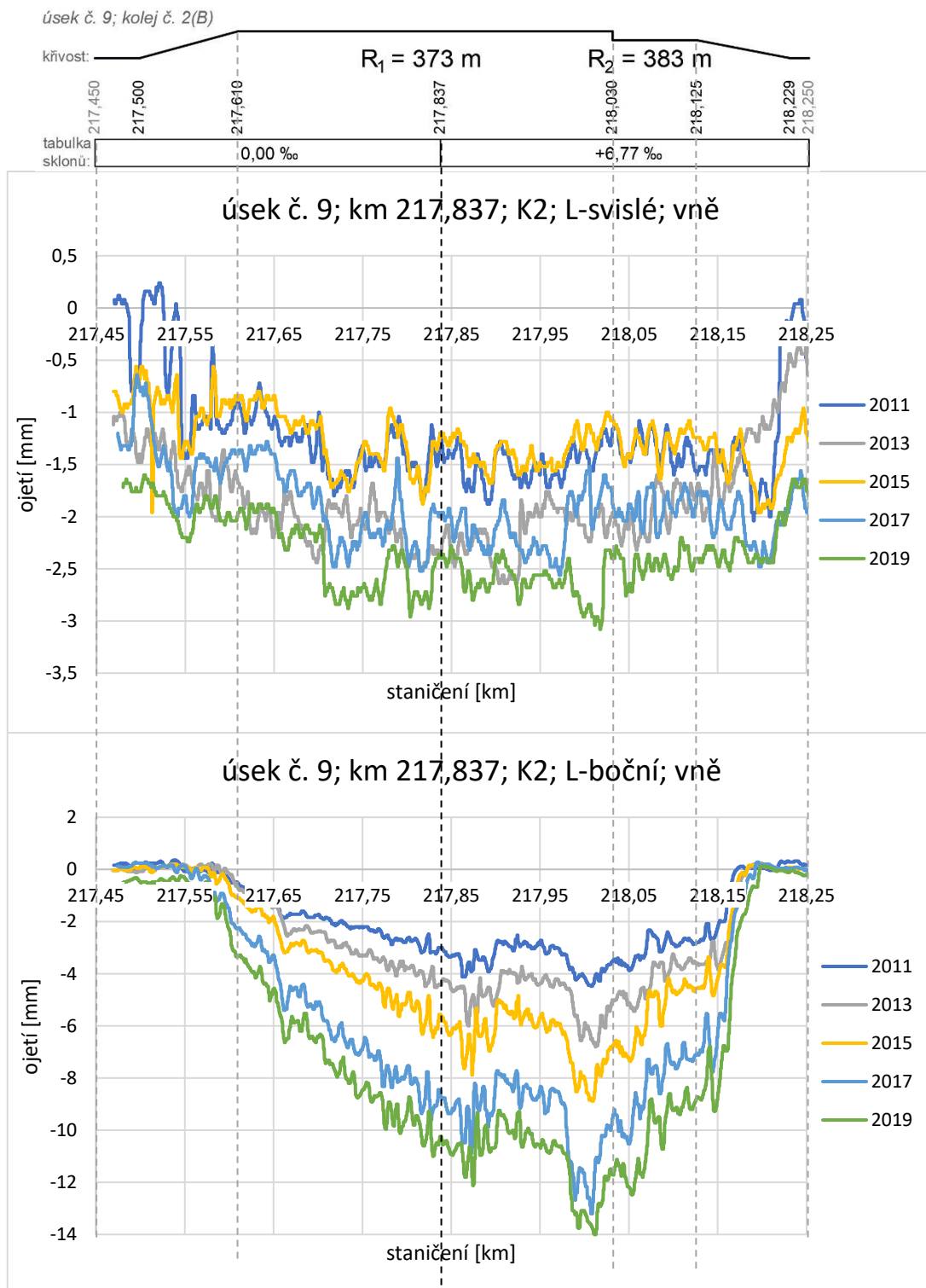
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km 217,603; R377; 0,00	0,0	-0,1	-0,9	-0,1	-0,5
LN km 217,833; R377; +6,69	-0,1	-0,2	-0,7	-0,3	-0,4
ZO2 km 218,028					

Průměrné ojetí v letech; ú.č. 9; K1; P-boční



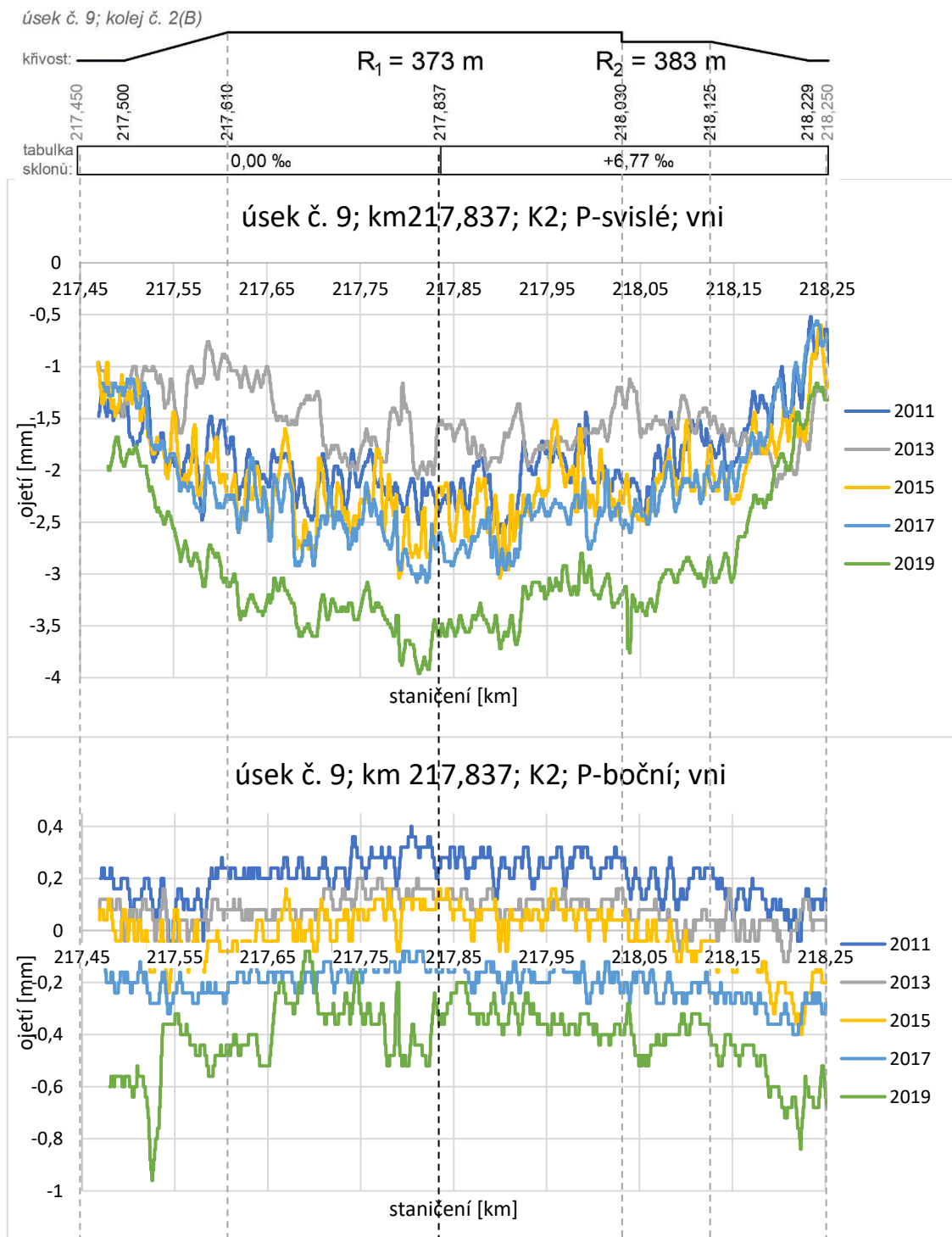
Rok 2015 je v rámci přesnosti měření (či závada na MV).

4.9.3.2 Kolej č. 2



Boční ojetí vnější kolejnice dosahuje nejvyšších hodnot ze všech ojetí. Narůstá po délce oblouku. Proč je okolo km 217,950 pokles ojetí nelze vysvětlit bez podrobnějšího zkoumání.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

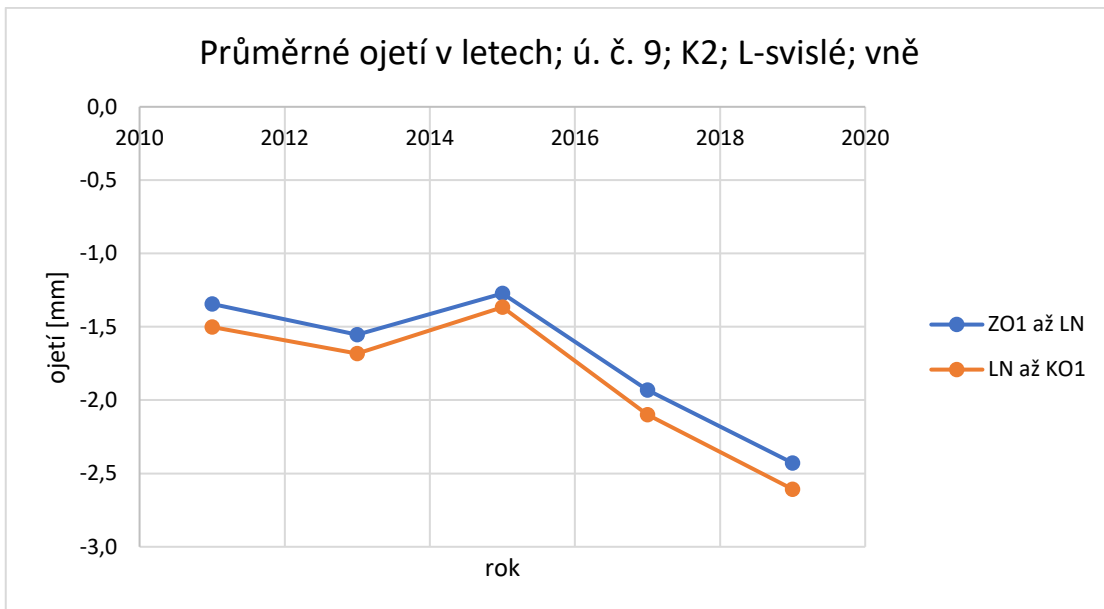


Svislé ojetí boční kolejnice dosahuje podobných hodnot jako ojetí vnější kolejnice. Bočně se vnitřní kolejnice téměř neojíždí.

Vlaky jezdí po směru staničení a stoupají. Soupravy Railjet jsou po této koleji hnacím vozidlem sunuty.

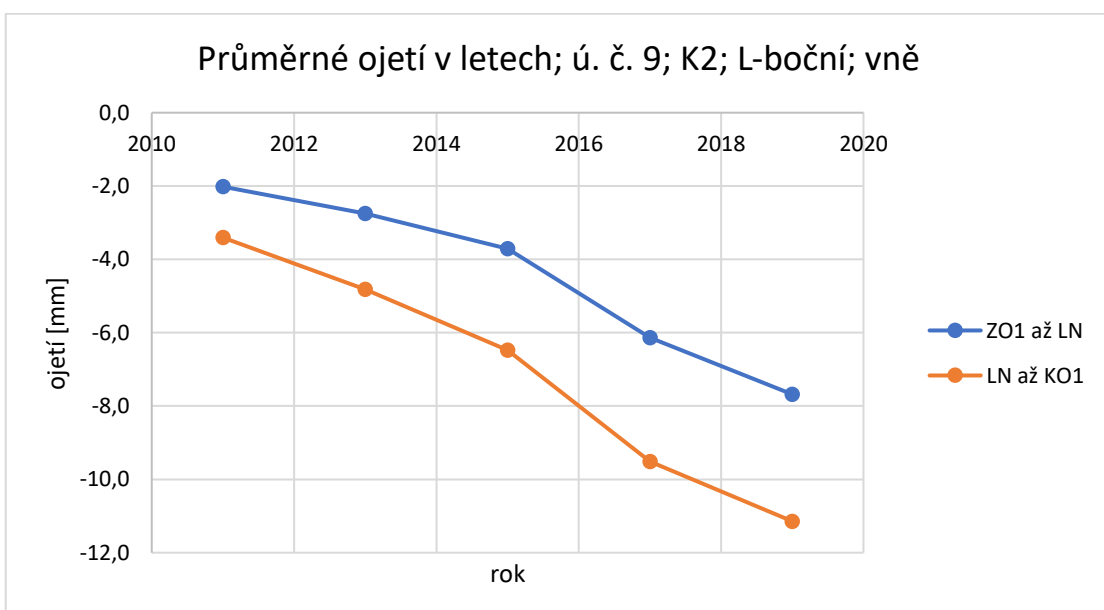
NUMERICKÁ ANALÝZA:

ú. č. 9; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km217,610; R373; 0,00	-1,3	-1,6	-1,3	-1,9	-2,4
LN km217,837; R373; +6,77	-1,5	-1,7	-1,4	-2,1	-2,6
KO1 km218,030					



Rok 2015 je v rámci přesnosti měření MV.

ú. č. 9; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L - boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km217,610; R373; 0,00	-2,0	-2,7	-3,7	-6,1	-7,7
LN km217,837; R373; +6,77	-3,4	-4,8	-6,5	-9,5	-11,1
KO1 km218,030					

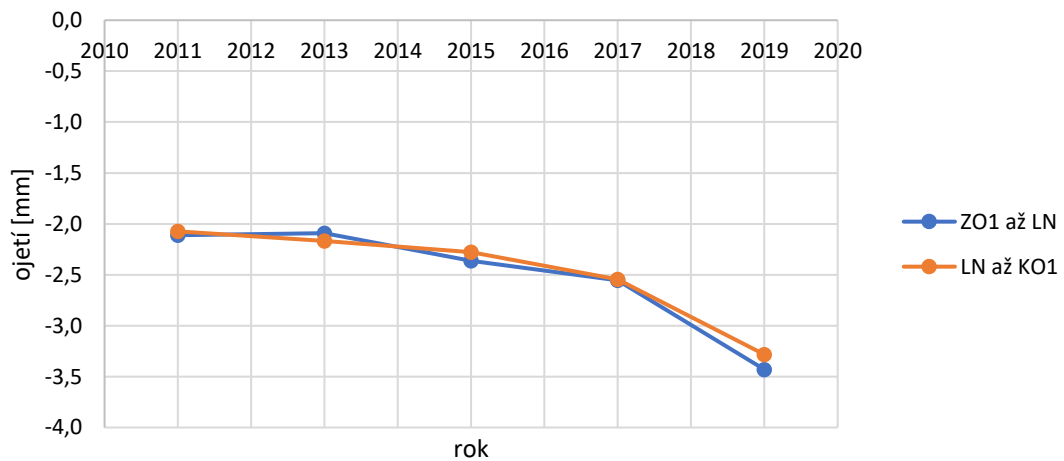


Nelineární nárůst, postupně se zrychlující.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

ú. č. 9; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km217,610; R373; 0,00	-2,1	-2,1	-2,4	-2,6	-3,4
LN km217,837; R373; +6,77	-2,1	-2,2	-2,3	-2,5	-3,3
KO1 km218,030					

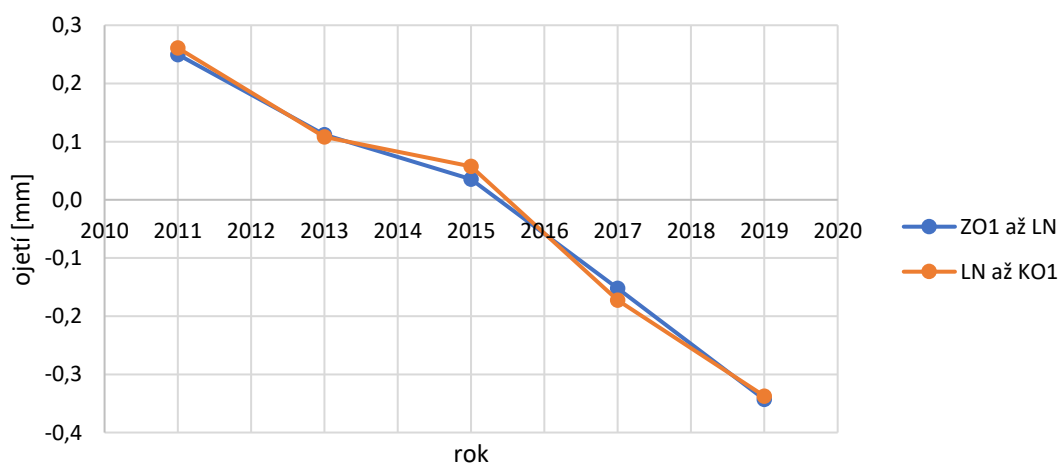
Průměrné ojetí v letech; ú. č. 9; K2; P-svislé; vni



Postupný nárůst s exponenciální tendencí.

ú. č. 9; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2011	2013	2015	2017	2019
ZO1 km217,610; R373; 0,00	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,3
LN km217,837; R373; +6,77	0,3	0,1	0,1	-0,2	-0,3
KO1 km218,030					

Průměrné ojetí v letech; ú. č. 9; K2; P-boční; vni

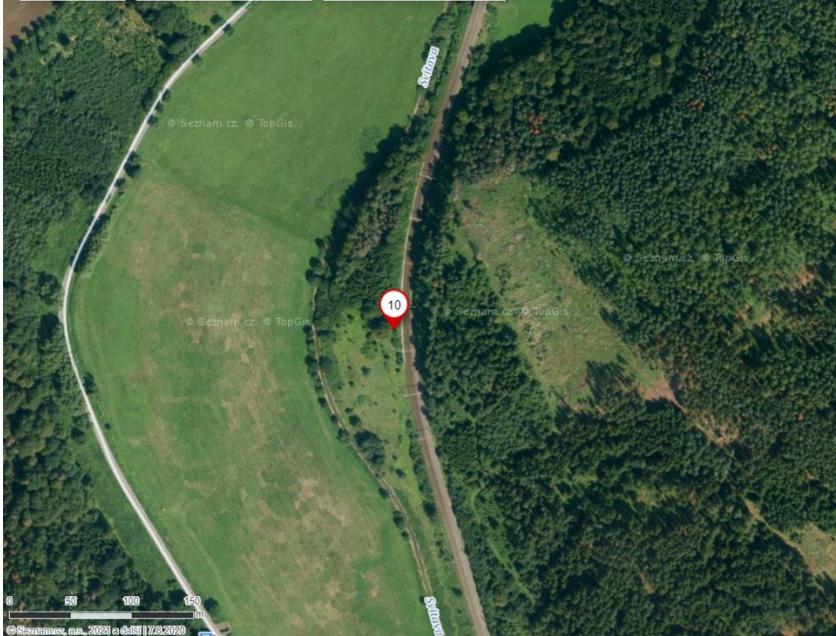


Boční ojetí vykazuje postupný nárůst, avšak čísla, ve kterých se pohybujeme, jsou velmi malá.

4.10 ÚSEK Č. 10 – KM 220,1

4.10.1 Popis úseku

Úsek se nachází v širé trati. Lom sklonu leží přesně uprostřed kružnicové části oblouku. V úseku je relativně velká změna sklonu s .



Obrázek 4-11: Ortofoto úseku č. 10. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Staniční lom sklonu LN [km]	Položka oblouku R [m]	Smysl oblouku	Převýšení D [mm]	Podélný sklon s [%] před LN, ve směru staničení	Podélný sklon s [%] za LN, ve směru staničení	Rychlost V [km/h]
10	A (1)	220,141	390	P	145	+6,72	+1,39	90
	B (2)	220,140	384	P	150	+6,72	+1,45	90

Tabulka 4-15: Údaje o úseku č. 10

Číslo úseku	Ozn. (číslo) koleje	Rychlost V^{130} [km/h]	Tvar kolejnic	Materiál kolejnic	Rok vložení kolejnic	Upevňovací	Pražce	Rozdělení pražců	Rok vložení pražců
10	A (1)	95	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998
	B (2)	95	UIC60	R260	1998	W14	B91S	u	1998

Tabulka 4-16: Údaje o úseku č. 10 – pokračování

4.10.2 Teoretický výpočet

úsek č. 10

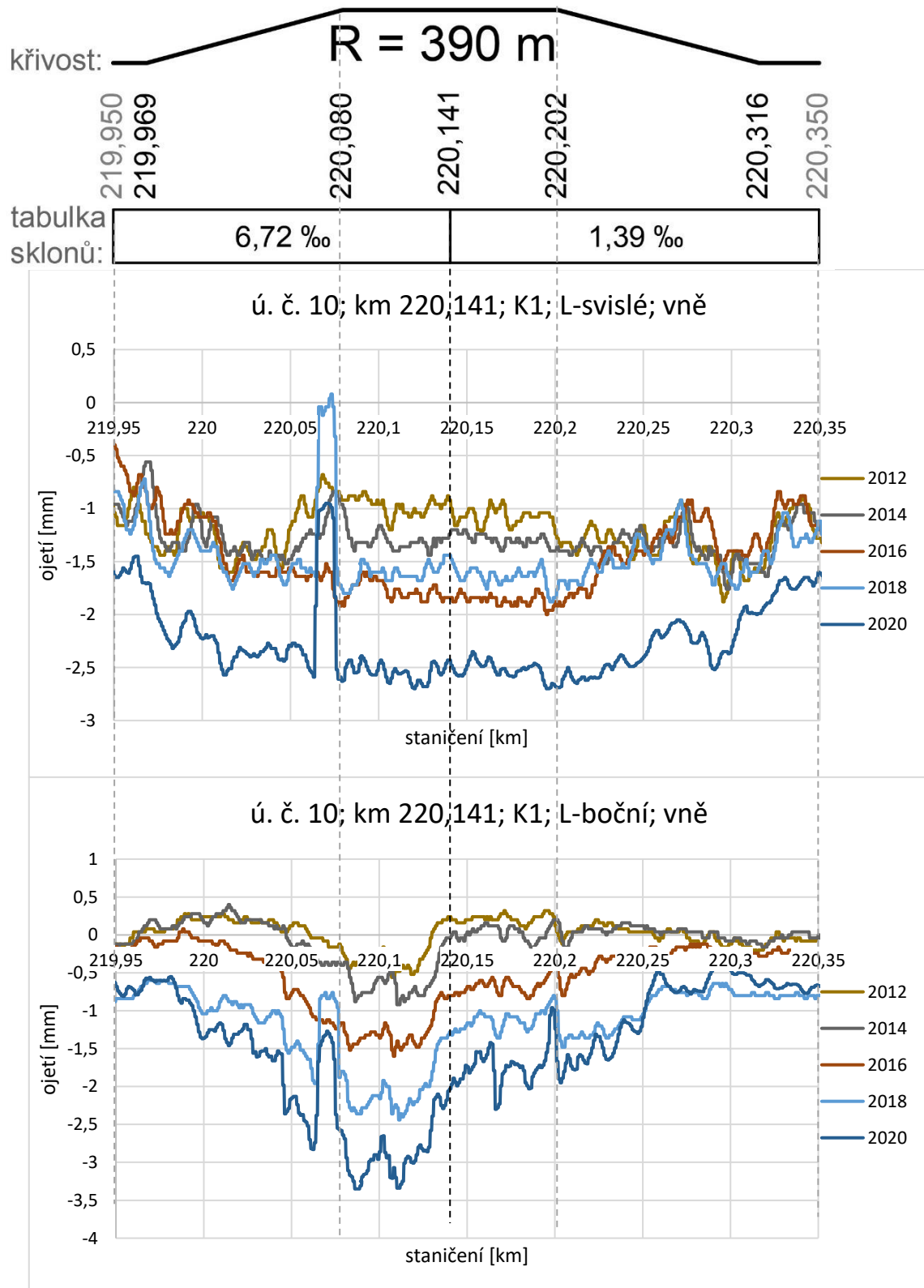
úsek č. 10

Řídící síla P_1 [kN]	před LN	za LN	Vodící síla Y [kN]	před LN	za LN
Kolej č. 1 (A)	72,717	72,717	Kolej č. 1 (A)	50,238	50,197
Kolej č. 2 (B)	74,169	74,169	Kolej č. 2 (B)	51,620	51,620

4.10.3 Vyhodnocení ojetí

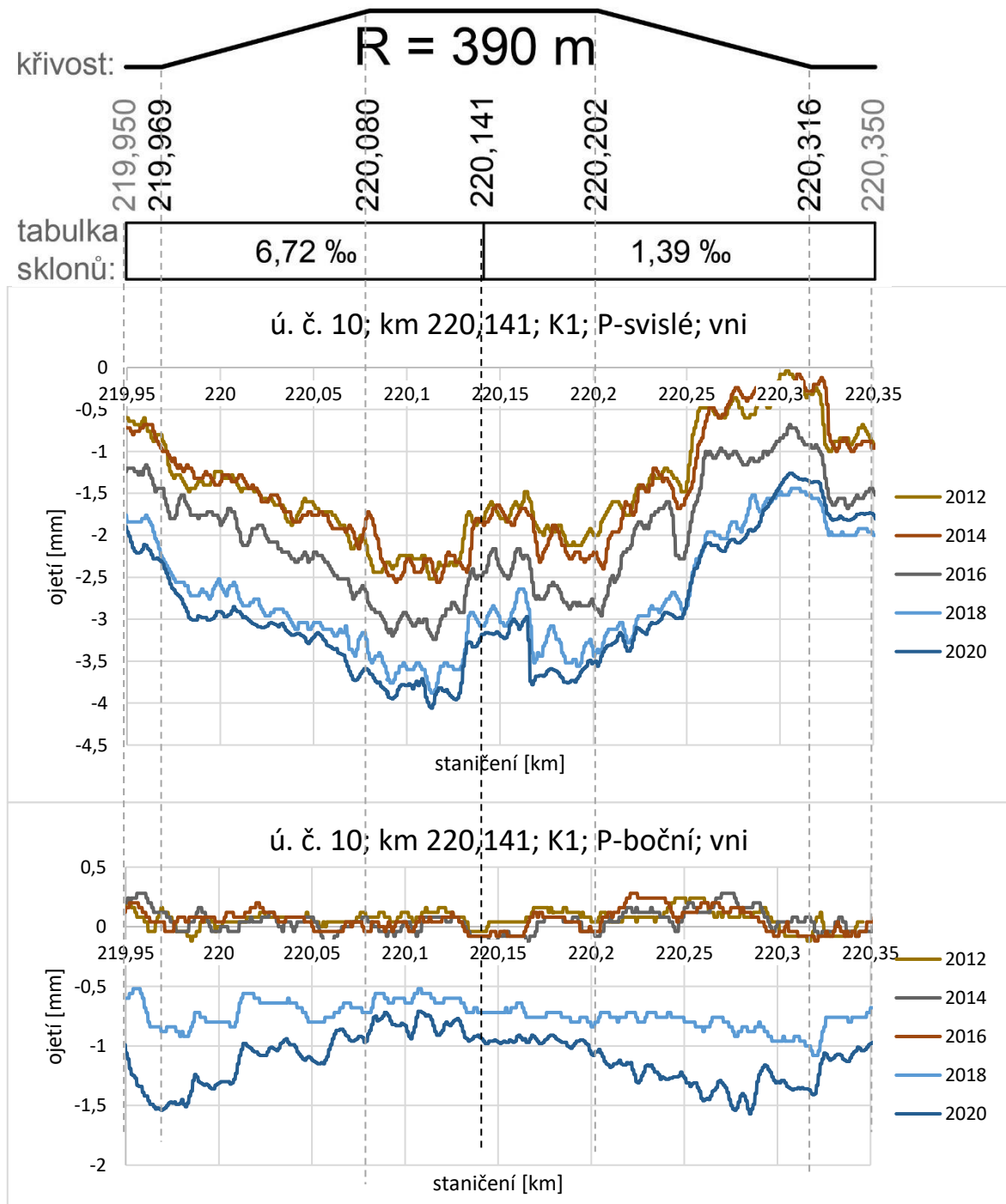
4.10.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 10; kolej č. 1(A)



Příčina náhlého poklesu okolo km 220,075 by vyžadovala podrobnější zkoumání. Soupravy jezdí proti směru staničení, Railjety jsou v úseku hnacím vozidlem taženy.

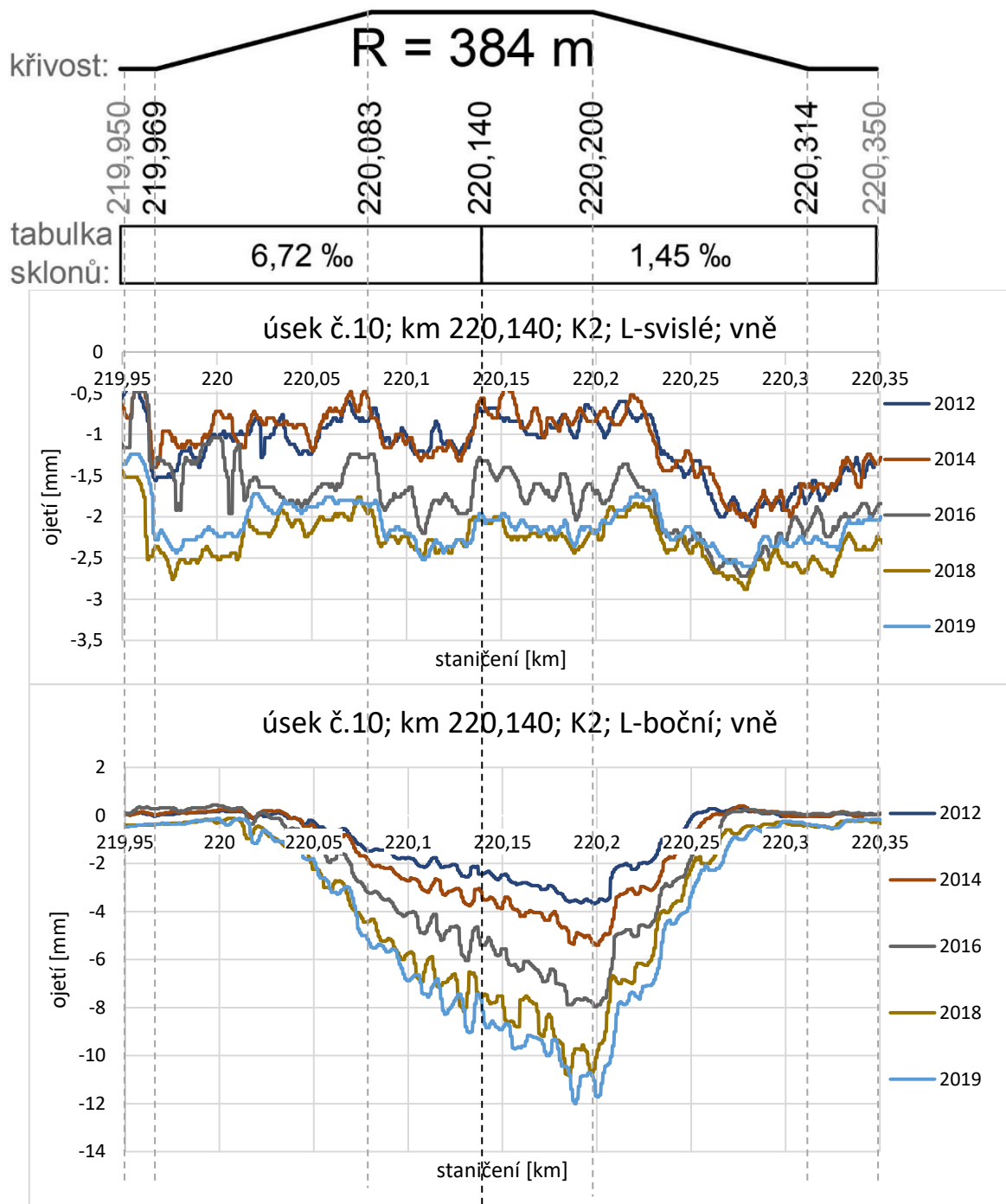
úsek č. 10; kolej č. 1(A)



Jedná se o jediný úsek, u kterého boční ojetí dosahuje menších hodnot, než u svislého ojetí. Pravděpodobně to souvisí s poloměrem $R=390 \text{ m}$, který je třetí největší ze všech zkoumaných, a také s použitím otěruodolnější oceli R350HT. Dalším faktorem je relativně velké převýšení D .

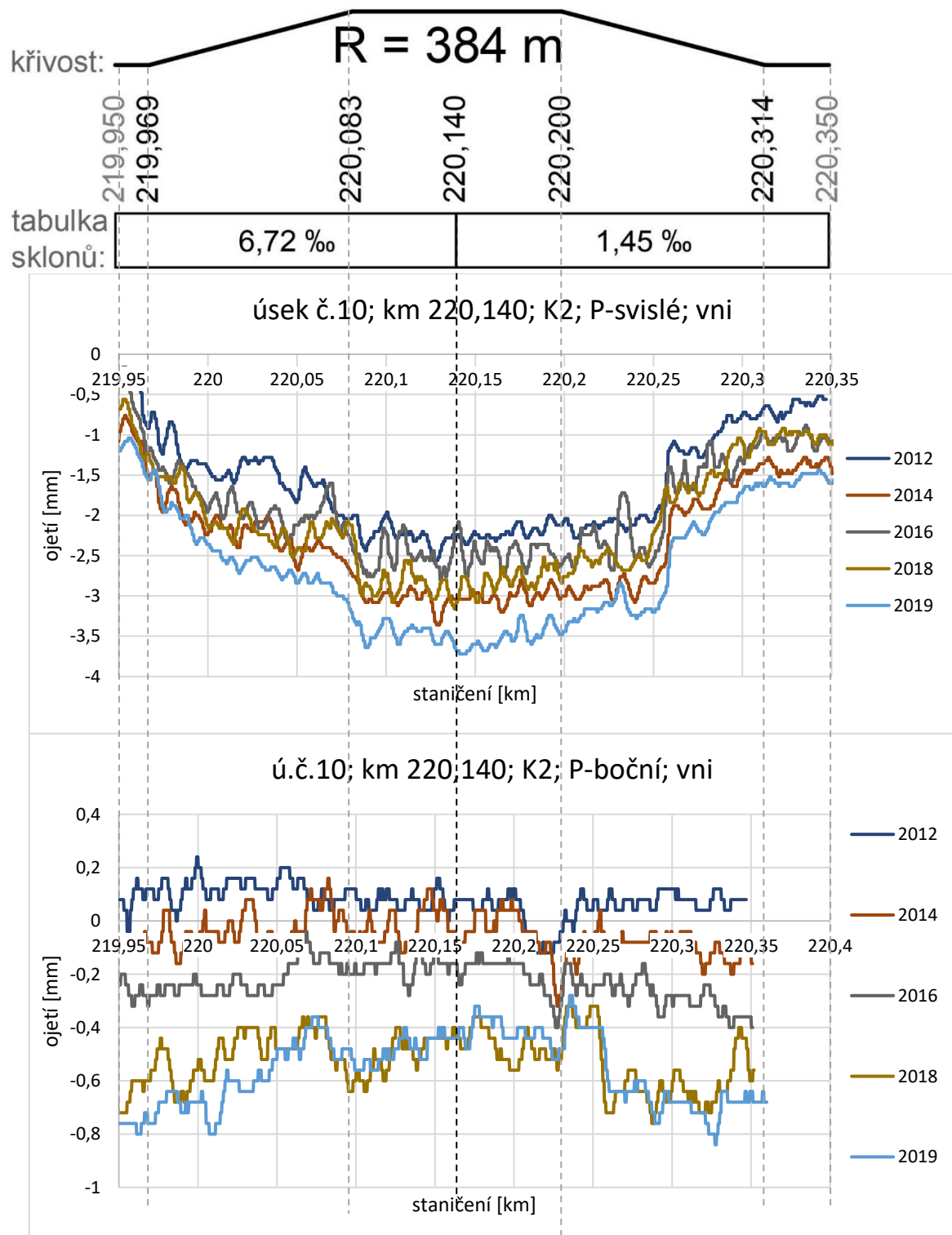
4.10.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 10; kolej č. 2(B)



V koleji č. 2 již dosahuje nejvyšších hodnot boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu, tak jako u všech ostatních úseků. Narůstá po délce jako u ostatních úseků.

úsek č. 10; kolej č. 2(B)



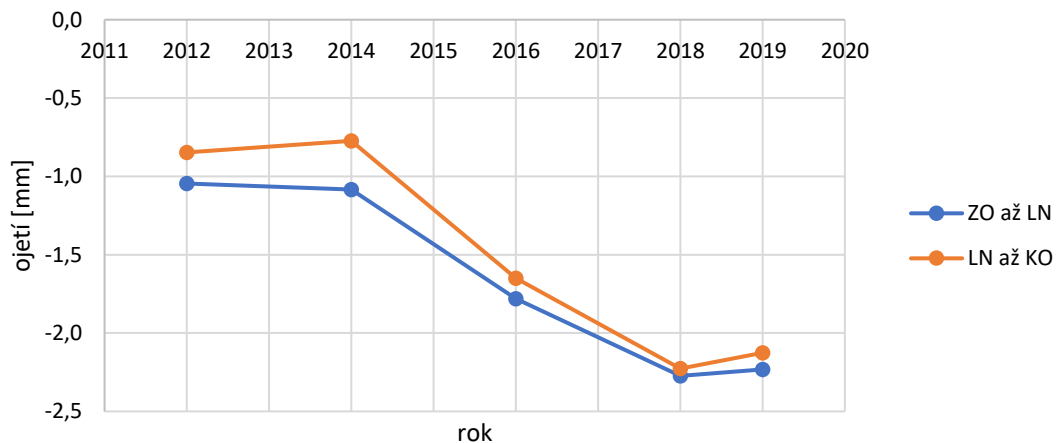
Svislé ojetí vnitřního kolejnicového pásu nabývá o něco vyšších hodnot než svislé ojetí levé kolejnice. Ta se však více ojíždí bočně. Zatížení je mezi kolejnicové pásy rozneseno rovnoměrně.

NUMERICKÁ ANALÝZA:

Nuance jsou v rámci přesnosti měření MV.

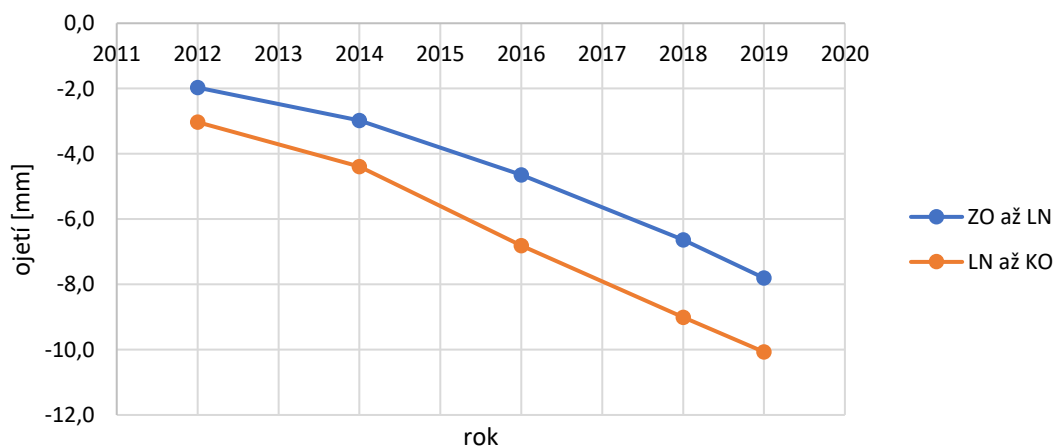
ú. č. 10; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-svislé [mm]	2012	2014	2016	2018	2019
ZO1 km220,083; R384; +6,72	-1,0	-1,1	-1,8	-2,3	-2,2
LN km220,140; R384; +1,45	-0,8	-0,8	-1,6	-2,2	-2,1
KO1 km220,200					

Průměrné ojetí v letech; ú. č. 10; K2; L-svislé; vně



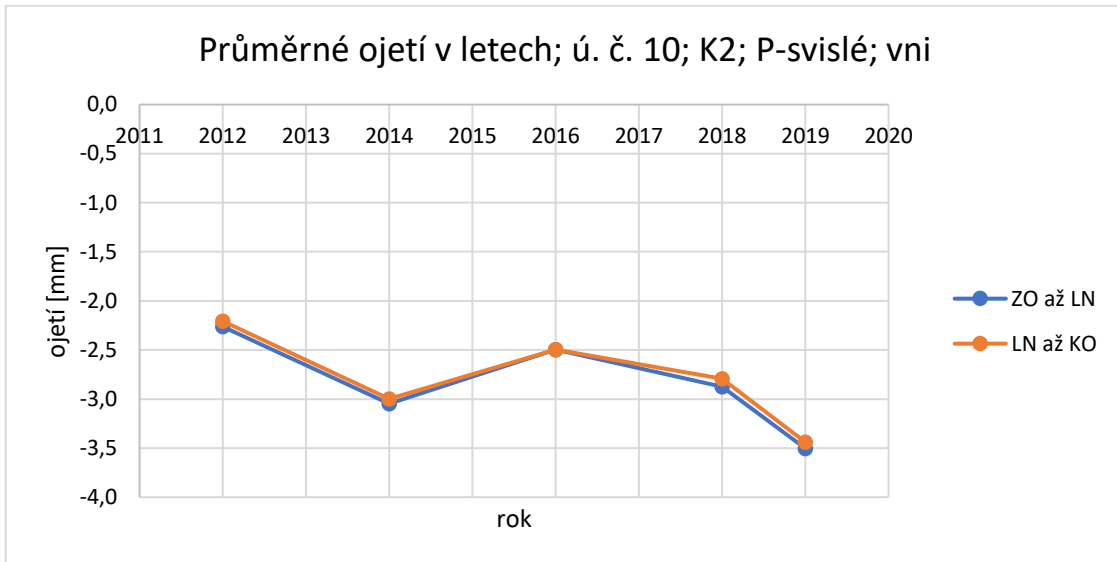
ú. č. 10; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ L-boční [mm]	2012	2014	2016	2018	2019
ZO1 km220,083; R384; +6,72	-2,0	-3,0	-4,6	-6,6	-7,8
LN km220,140; R384; +1,45	-3,0	-4,4	-6,8	-9,0	-10,1
KO1 km220,200					

Průměrné ojetí v letech; ú. č. 10; K2; L-boční; vně



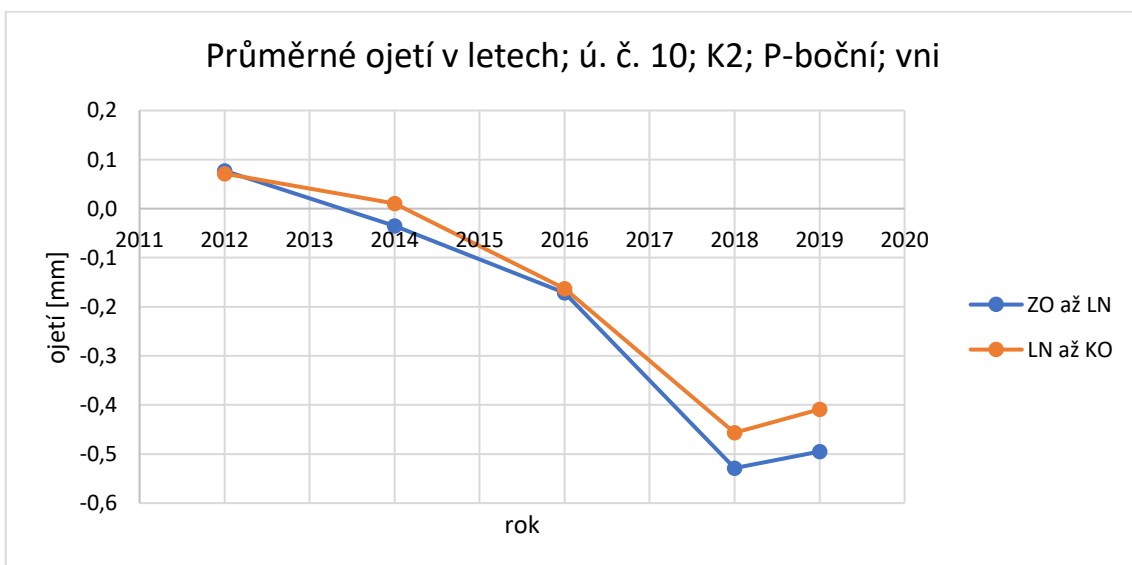
Před LN dosahuje ojetí kolejnic výrazně nižších hodnot, což je ale ovlivněno efektem popsaným v kap. 7.1 (nárůst ojetí po délce oblouku).

ú. č. 10; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-svislé [mm]	2012	2014	2016	2018	2019
ZO1 km220,083; R384; +6,72	-2,3	-3,0	-2,5	-2,9	-3,5
LN km220,140; R384; +1,45	-2,2	-3,0	-2,5	-2,8	-3,4
KO1 km220,200					



2014 je v rámci přesnosti měření MV.

ú. č. 10; K2					
PRŮMĚRNÉ OJETÍ P-boční [mm]	2012	2014	2016	2018	2019
ZO1 km220,083; R384; +6,72	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,5
LN km220,140; R384; +1,45	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,4
KO1 km220,200					



2019 je v rámci přesnosti měření MV.

5 SROVNANÉ OJETÍ

Kapitola obsahuje analýzu ojetí dle rovnice č. 1 (kap. 2.2.1). Pro zajímavost je vždy vpravo doplněna procentuální složka vodící síly.

5.1 Úsek č. 1

5.1.1 Kolej č. 1

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; +2,06	-1,5	-0,4	-1,0	-8,4	-1,6	-5,2	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +3,85	-1,5	-0,4	-0,6	-7,6	-1,7	-4,4	102 %	84 %	100,01

U srovnaného ojetí vnějšího kolejnicového pásu lze vyčíst, že kolejnice se před LN opotřebovávají více (100 % vs 84 %).

5.1.2 Kolej č. 2

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; +2,06	-5,3	-2,0	-3,0	-1,6	-6,3	-3,8	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +3,85	-5,3	-2,0	-3,2	-2,2	-6,3	-4,3	100 %	115 %	100,01

U koleje č. 2 je trend opačný. Kolejnice se za LN opotřebovávají více (115,2 % opotřebení před LN). Možná je to způsobeno tím, že vlaky po koleji č. 2 za LN stoupají do většího stoupání a kolejnice musí přenášet větší síly na kontaktu kolo - kolejnice, čímž se více otírají. Tomu odpovídá i fakt, že v K2 dosahuje větších hodnot svislé ojetí.

Do průměrů v tabulkách vstupuje efekt popsany v kapitole 7.1.

5.2 Úsek č. 2

5.2.1 Kolej č. 1

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; +4,60 ‰	-2,6	-0,3	-1,7	-3,0	-	-	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +1,00 ‰	-2,4	-0,3	-1,1	-3,8	-	-	95 %	94 %	99,86

Ojetí před LN je o cca 5 až 6 % vyšší než za LN. Zatížení je však mezi jednotlivé kolejnicové pásy rozděleno dobře. Railjety po této koleji táhnou, vlaky jezdí proti směru staničení a klesají, což je zvláštní a odporuje to hypotéze z kapitoly 5.1.1.

5.2.2 Kolej č. 2

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
[mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,60 ‰	-3,3	-0,2	-4,7	-2,0	-3,4	-5,7	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +1,00 ‰	-3,4	-0,2	-5,3	-2,0	-3,5	-6,3	103 %	111 %	100,01

Ojetí za LN je vyšší, vlaky stoupají. Předpoklad, že za LN, kde je s menší, bude i menší ojetí, se nepotvrdil.

5.3 Úsek č. 3

5.3.1 Kolej č. 1

úsek č. 3; km178,416; K1

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,62 ‰	-6,0	-0,5	-3,2	-5,4	-6,2	-5,9	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +1,87 ‰	-5,7	-0,5	-2,7	-2,5	-6,0	-4,0	96 %	67 %	99,88

Srovnané ojetí za LN dosahuje citelně menších hodnot než před LN. Tato skutečnost je jistě ovlivněna faktem, že část „ZA LN“ je dlouhá pouze cca 36 m zatím co část „před LN“ cca 200 m.

Největší rozdíl je u ojetí vnějšího kolejnicového pásu, kde ojetí dosahuje větších hodnot.

5.3.2 Kolej č. 2

úsek č. 3; km178,432; K2

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Vodící síla
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,62 ‰	-3,2	-0,1	-0,6	-7,1	-3,2	-4,2	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +1,87 ‰	-3,8	-0,3	-1,2	-9,0	-3,9	-5,7	121 %	137 %	99,94

Srovnané ojetí za LN nabývá výrazně vyšších hodnot než před LN, což je přesně naopak než u koleje č.1. Je zde podobná situace jako u K1, kdy část před LN je několikanásobně delší než část za LN.

5.4 Úsek č. 4

5.4.1 Kolej č. 1

úsek č. 4; km190,758; K1

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí h				vodící síla Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN	-5,3	-0,9	-3,5	-8,5	-5,7	-7,7	100 %	100 %	100,00
ZA LN	-4,8	-0,6	-3,3	-4,8	-5,1	-5,7	88 %	74 %	99,96

Srovnávaná oblast „před LN“ a „za LN“ má různé poloměry ($R = 360$ m a $R = 366$ m). Proto bylo procentuální srovnané ojetí „za LN“ vynásobeno součinitelem „vlivu různých poloměrů“ 0,984 ($1/366 \cdot 360 \cong 0,984$).

5.4.2 Kolej č. 2

úsek č. 4; km190,757; K2

Ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí h				Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,52 ‰; $R = 364$ m	-3,6	-0,4	-2,2	-3,8	-	-	100 %	100 %	100,00 %
ZA LN; +2,28 ‰; $R = 370$ m	-4,2	-0,4	-3,0	-6,4	-	-	117 %	149 %	99,99 %
Vynásobeno součinitelem vlivu různých poloměrů 1,016:							119 %	151 %	

$1/364 \cdot 370 \cong 1,016$

5.5 Úsek č. 5

5.5.1 Kolej č. 1

úsek č. 5; km 193,034; K1

ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí h				Y [%]
	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +3,25 ‰	-4,2	-0,6	-3,2	-4,7	-4,5	-5,5	100 %	100 %	100,00 %
ZA LN; +1,02 ‰	-4,5	-0,4	-3,4	-4,0	-4,7	-5,4	105 %	96 %*	99,98 %

* V tomto případě se rozdíl v ojetí neprojevil tak markantně, protože v části „Před LN“ je zřejmě svar, který srovnané ojetí h snižuje.

5.5.2 Kolej č. 2

úsek č. 5; km193,025; K2									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Y [%]
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	P
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; +3,25 ‰	-3,7	-0,2	-7,9	-2,2	-	-	100	100	100,00
ZA LN; +1,02 ‰	-3,7	-0,2	-5,1	-2,2	3,8	9,0	%	%	%

5.6 Úsek č. 6

5.6.1 Kolej č. 1

úsek č. 6; km 202,944; K1									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Y [%]
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	P
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +6,06 ‰	-2,0	-0,3	-1,6	-4,4	-2,1	-3,7	100%	100%	100,00
ZA LN; +3,54 ‰	-2,1	-0,2	-1,6	-4,2	-2,2	-3,7	104%	98%	99,95

5.6.2 Kolej č. 2

úsek č. 6; km 202,942; K2									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Y [%]
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	P
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +6,02 ‰	-2,3	-0,2	-2,0	-2,2	-2,4	-3,1	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +3,54 ‰	-2,3	-0,2	-2,0	-2,4	-2,4	-3,2	104 %	98 %	100,00

5.7 Úsek č. 7

5.7.1 Kolej č. 1

úsek č. 7; km 214,710; K1									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Y [%]
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	P
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +6,44 ‰	-2,2	-4,8	-3,6	-0,6	-4,6	-4,0	100 %	100 %	100
ZA LN; +5,06 ‰	-1,6	-3,0	-3,5	-0,7	-3,1	-3,9	68 %	98 %	99,75

5.7.2 Kolej č. 2

úsek č. 7; km 214,711; K2									
Ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				Y [%]
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	P
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +6,47 ‰	-1,7	-3,6	-2,4	-0,1	-3,6	-2,4	100 %	100 %	100,00
ZA LN; +5,10 ‰	-1,6	-5,4	-2,7	-0,1	-4,3	-2,7	121 %	112 %	100,00

5.8 Úsek č. 8

5.8.1 Kolej č. 1

úsek č. 8; km 217,169; K1									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,44 ‰	-1,4	-2,2	-2,8	-0,2	-2,5	-2,9	100 %	100 %	100,00
ZA LN; 0,00 ‰	-1,5	-1,5	-2,8	-0,2	-2,2	-2,9	89 %	100 %	99,75

5.8.2 Kolej č. 2

úsek č. 8; km 217,174; K2									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; +4,39 ‰	-2,0	-0,2	-1,2	-5,4	-2,1	-3,9	100 %	100 %	100,00
ZA LN; 0,00 ‰	-2,1	-0,2	-1,3	-6,3	-2,1	-4,5	103 %	114 %	100,00

5.9 Úsek č. 9

5.9.1 Kolej č. 1

úsek č. 9; km 217,833; K1									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	Y [%]
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	P
PŘED LN; 0,00 ‰	-2,0	-3,6	-3,2	-0,3	-3,8	-3,4	100 %	100 %	
ZA LN; +6,69 ‰	-2,1	-2,0	-3,3	-0,3	-3,1	-3,5	81 %	102 %	

5.9.2 Kolej č. 2

úsek č. 9; km 217,837; K2									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; 0,00 ‰	-1,7	-4,5	-2,5	0,0	-3,9	-2,5	100 %	100 %	
ZA LN; +6,77 ‰	-1,9	-7,1	-2,5	0,0	-5,4	-2,5	137 %	98 %	

5.10 Úsek č. 10

5.10.1 Kolej č. 1

úsek č. 10; km 220,141; K1									
ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí <i>h</i>				
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně	
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P	
PŘED LN; +6,72 ‰	-1,6	-1,4	-2,9	-0,3	-2,3	-3,1	100 %	100 %	
ZA LN; +1,39 ‰	-1,7	-0,7	-2,6	-0,3	-2,0	-2,8	86 %	90 %	

5.10.2 Kolej č. 2

úsek č. 10; km 220,140; K2								
Ojetí	průměrné ojetí				srovnané ojetí h			
vnitřní/vnější kolejnice	vnitřní		vnější		vni	vně	vni	vně
Průměrné ojetí [mm]	L-svis.	L-boč.	P-svis.	P-boč.	L	P	L	P
PŘED LN; +6,72 ‰	-1,7	-4,8	-2,8	-0,2	-4,1	-3,0	100 %	100 %
ZA LN; +1,45 ‰	-1,5	-6,7	-2,8	-0,2	-4,9	-2,9	119 %	98 %

5.11 Shrnutí

Ze srovnaného ojetí h lze usoudit, že soupravy opotřebovávají kolejnice jinak před lomem sklonu a jinak za lomem sklonu. Je to způsobeno následujícími vlivy (mimo vlivy náhodné):

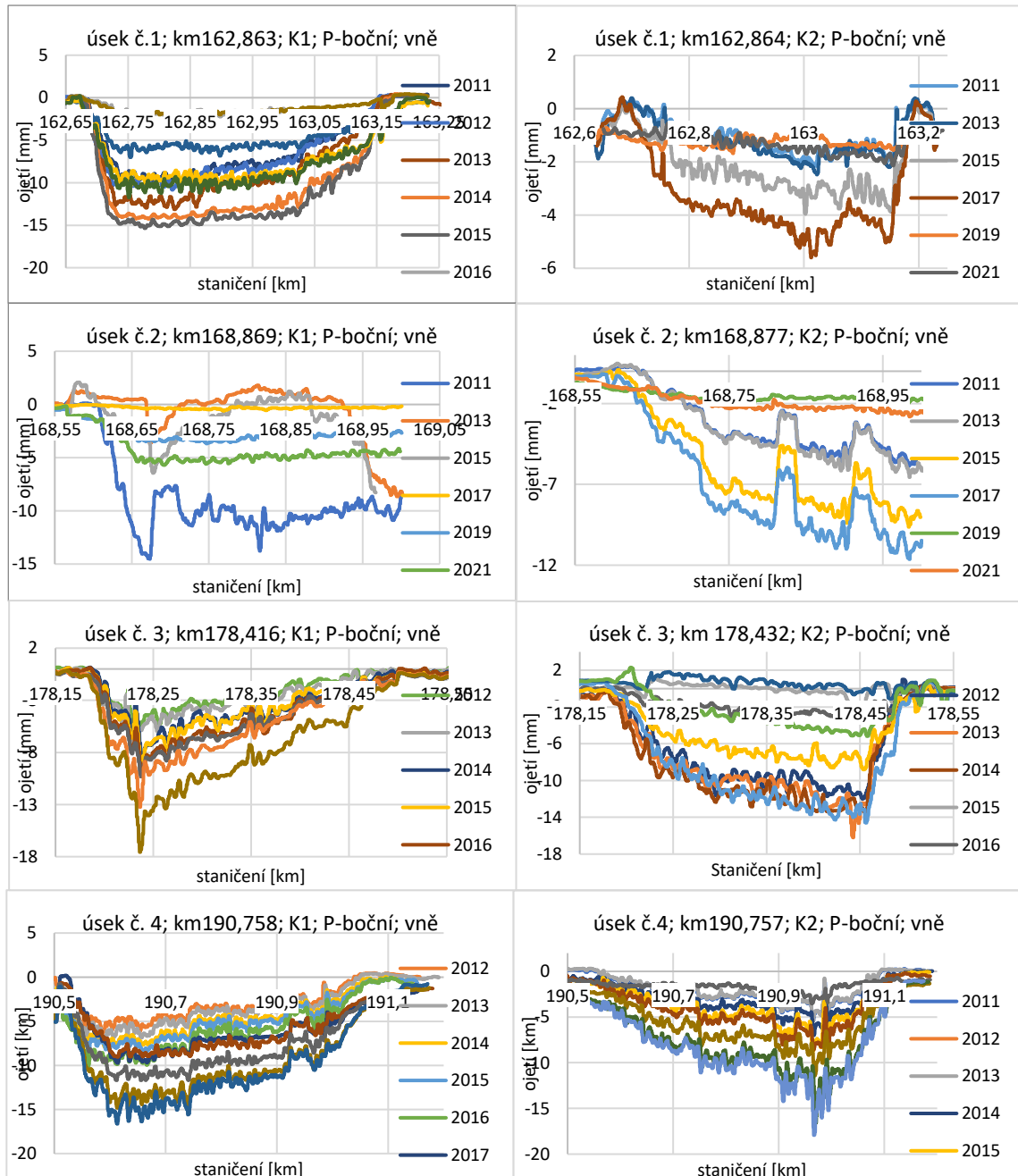
- Sklon trati s , resp. traťové a jízdní odpory. Pokud soupravy překonávají větší odpor, je kontakt kolo kolejnice více namáhán a dochází k rychlejšímu opotřebování materiálu. V případě klesání ve směru jízdy dochází vlivem nutnosti brždění souprav k efektu, který nastává při provozu souprav v režimu sunutí.
- Vliv sunutí či tažení Railjetů. Railjety se pohybují po K2 v režimu sunutí a síla vlivem sunutí přitěžuje vnější kolejnicový pás. Síla to ale bude zřejmě zanedbatelná, protože boční ojetí nabývá u vnějšího a vnitřního pásu podobných hodnot.
- Vliv nárůstu ojetí po délce oblouku. Tento jev je blíže popsán v kapitole 7.1.

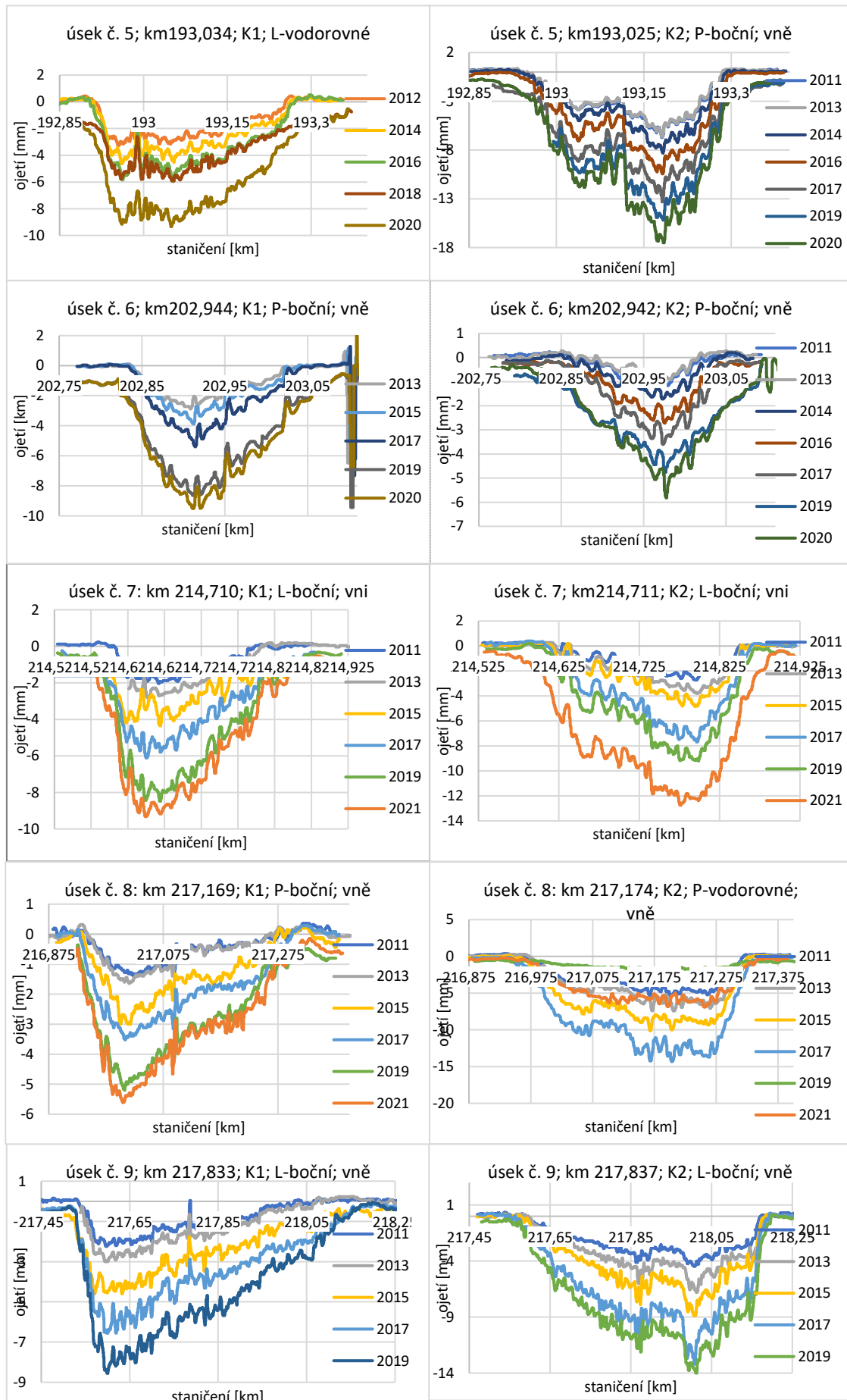
Jaká je velikost jednotlivých vlivů na celkové srovnané ojetí h před/za LN by bylo předmětem podrobnější analýzy. Kvalitativní odhad je následující (řazeno sestupně):

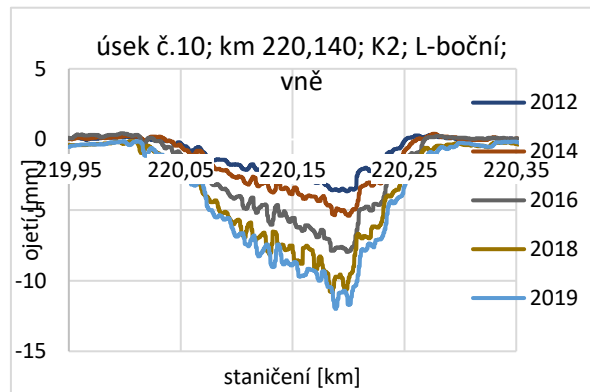
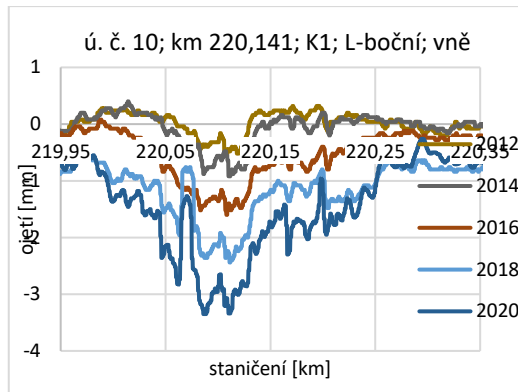
1. Vliv nárůstu ojetí po délce oblouku
2. Sklon trati s
3. Režim sunutí či tažení souprav Railjet

6 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ – BOČNÍ OJETÍ VNĚJŠÍHO KOLEJNICOVÉHO PÁSU

Protože bylo až na 1 výjimku zjištěno, že největších hodnot vždy nabývá boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu, jsou zde ještě jednou tato ojetí graficky srovnána. Vlevo K1, vpravo K2.







7 ZÁVĚR

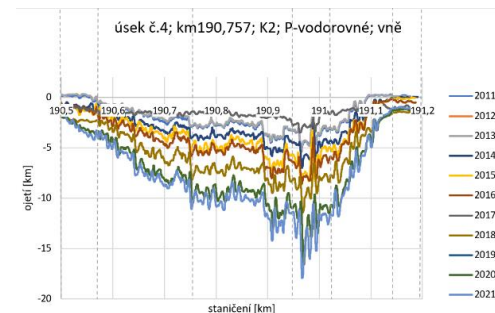
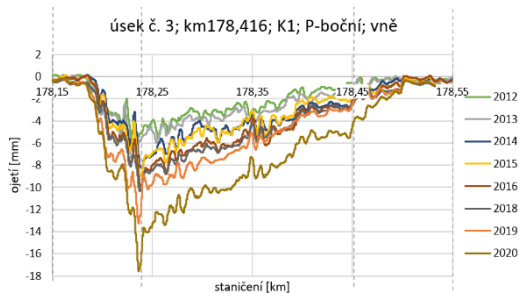
V diplomové práci byla provedena analýza opotřebení kolejnic v úsecích malých poloměrů mezi stanicemi Brno hl. n. a Česká Třebová. Byly vyvozeny následující závěry:

- Kolejnice se ojíždějí více v obloucích než v přímých, a to i svisle. Velikost poloměru úzce souvisí s velikostí ojetí, zejména bočního. Přímá úměra by ale zřejmě prokázána nebyla, protože na velikost ojetí má také nezanedbatelný vliv typ kolejnicové oceli, tvar kolejnic a délka kružnicové části oblouku, resp. vliv popsany níže, v kapitole 7.1.
- Z hlediska ojetí je nejvíce kritické boční ojetí vnějšího kolejnicového pásu, které často dosahovalo i více jak 10 mm.
- Úseky, ve kterých je použita kvalitnější ocel R350HT, nevykazují menší ojetí než úseky s ocelí R260. V těchto úsecích se však obecně nachází o něco menší poloměry oblouků a také projetá zátěž je v těchto úsecích o něco málo vyšší. (Např. 15 mil hr. t/rok vs 14 mil hr. t/rok; K1; r. 2019, více v kap. 3.2). Pro vyslovení závěru, že ocel R350HT nevykazuje větší otěruvzdornost než ocel R260, by bylo potřeba analyzovat větší počet úseků a podrobněji vyčíslit projetou zátěž.
- Provoz souprav v režimu sunutí má na boční ojíždění kolejnic zanedbatelný vliv. U K1, kde jsou soupravy Railjet provozovány v režimu tažení, dosahují boční ojetí podobných hodnot jako u K2, kde jsou soupravy Railjet sunuty.
- Ojetí se mění po délce oblouku. Plynule narůstá nebo se snižuje po délce přechodnice, v kružnicové části oblouku narůstá ve směru jízdy (viz kap. 7.1).
- Lom sklonu, resp. podélný profil trati v obloucích, má vliv na velikost (srovnaného) ojetí. Tento vliv je ale pravděpodobně menší než vliv popsany níže, v kapitole 7.1.

Byly spočítány vodící síly pomocí Heumannovi metody. Dále byla provedena rešerše a teoretický popis interakce vozidlo-kolej.

7.1 Nárůst ojetí po délce kružnicové části oblouku

V diplomové práci bylo zpozorováno, že velikost bočního ojetí se mění po délce oblouku, a nejvyšších hodnot dosahuje vždy u konce kružnicové části oblouku ve směru jízdy.



Pozn.: Po koleji č. 1 jezdí vlaky proti směru staničení.

Tento jev byl jasně detekován u 8 úseků ze všech 10ti zpracovaných (vyjma ú. č. 2 a 6). Avšak vyhodnocení úseku č. 2 a 6 je zkresleno skutečností, že v úseku č. 2 se nachází zastávka Babice n. Svitavou a oblouk v úseku č. 6 je ze všech zkoumaných oblouků nejkratší (dl. kružnicové části cca 50 m).

Ze znalostí kinematiky pohybu vozidla vyplývá, že boční ojetí by u konce kružnicové části oblouku ve směru jízdy souprav mělo nabývat spíše nižších hodnot a svého maxima by ojetí mělo nabývat zhruba uprostřed. Prokázat, čím je tento jev způsoben, si vyžádá další podrobnou analýzu kinematiky jízdy vlakové soupravy obloukem.

7.2 Predikce bočního ojetí vnějších kolejnicových pásů

Nárůst bočního ojetí se v řešených úsecích, v uplynulých letech pohyboval od 0,6 až 1 mm / rok. Mez zásahu (IL) je pro rozchod koleje (RK) pro RP2, do kterého spadá většina řešených úseků, 28 mm. Z toho vyplývá, že maximální životnost kolejnic v koleji je 28 až 46 let. Je však třeba počítat i s bočním ojetím vnitřního kolejnicového pásu, které v tomto časovém horizontu není zanedbatelné a s vůlí v upevnění.

Z toho lze odhadnout průměrnou životnost kolejnice v koleji v daném úseku na 16 až 27 let. Vzhledem k tomu, že v řadě úseků jsou stále kolejnice z r. 1996, předpokládá se jejich brzká výměna.

7.3 Doporučení

S ohledem na boční ojíždění navrhuji zvážit zvýšení projektovaných hodnot převýšení D o 10 %, avšak maximálně do limitní hodnoty $D_{lim} = 150 \text{ mm}$ (dle ČSN 73 6360; hlavní traťové koleje; do projeté zátěže 20 mil hr. t / rok). Tím by se o něco málo snížilo boční ojetí vnějších kolejnicových pásů v úseku a bezpečnost provozu by měla zůstat zachována.

Bylo by však potřeba zvážit zda zvýšení projektovaných hodnot převýšení D , které by vedlo ke zvýšení přebytku převýšení E , nevedlo k neúměrnému rozvoji skluzových vln.

8 POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA

- [1] PLÁŠEK, O. Železniční konstrukce I: modul 1, interakce vozidla a kolejové jízdni dráhy. Brno, 2007
- [2] PLÁŠEK, O., ZVĚŘINA, P., SVOBODA, S., LANGER, V. Železniční stavby II: modul 3, železniční svršek - kolejnice. Brno, 2006
- [3] Railjet. Cd.cz [online]. česká republika: České dráhy, 2016 [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: <https://www.cd.cz/nase-vlakly/railjet/railjet/-25858/>
- [4] CHUDĚJOVÁ, Ludmila. *Opatřebení kolejnic v úsecích se směrovými oblouky malého poloměru*. Brno, 2021. Diplomová práce. VUT v Brně, FAST.
- [5] *Základní Mapa* [online]. online: ©seznam.cz, a.s. a ©OpenStreetMap, 2021 [cit. 2021-9-17]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [6] ES64U4: Vysoce výkonná vícesystémová lokomotiva. *Siemens.cz* [online]. Praha: siemens, 20??n. l. [cit. 2021-09-30]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/download.php?fid=6158D>
- [7] *Atlas vozů - želpage* [online]. Dittrichova 328/19, 120 00 Praha 2, Nové Město: Spolek ŽelPage, 2021 [cit. 2021-10-15]. Dostupné z: <http://www.atlasvozu.cz/rada/cd/231-Bmpz891.html>
- [8] Služební rukověť SŽDC SR103/4 (S) - Využívání měř.vozů pro žel.svršek s kontinuál.měřením tratě pod zatížením - (včetně desek) 5; *platné od 1.12.2014*
- [9] ESVELD, C., *Modern Railway Track*. Second Edition. Delft, MRT – Production, 2001, 2nd ed. 654 p. ISBN 90-800324-3-3
- [10] Předpis SŽDC S3 Železniční svršek
- [11] Správa železnic, státní organizace: údaje o ojetí kolejnic ve vybraných úsecích, výstupy měření z diagnostického vozu.
- [12] TÁBORSKÝ, Martin; Ing. OPATŘENÍ SNIŽUJÍCÍ OJÍŽDĚNÍ KOLEJNIC. In: *OPATŘENÍ SNIŽUJÍCÍ OJÍŽDĚNÍ KOLEJNIC* [online]. Praha: SŽDC, s.o., Ředitelství, Odbor traťového hospodářství, 2010, s. 5 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50159407/09sb.pdf>
- [13] SŽDC SR103/4(S) – Účinnost od 1. srpna
- [14] SYCHROVSKÝ, Petr. *NOVÉ SYSTÉMY PRO DIAGNOSTIKU ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU*. 18. KONFERENCE ŽELEZNIČNÍ DOPRAVNÍ CESTA - ČESKÉ BUDĚJOVICE. SŽDC, Technická ústředna dopravní cesty, Praha, 2014.
- [15] Prezentace pro studijní účely studentů 1. ročníku magisterského studia oboru „Konstrukce a dopravní stavby“ na Fakultě stavební VUT v Brně

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1-1: R19-Svitava, Brno hl. n. - Praha-Smíchov. Vlak projíždějící řešenými úseky právě odjíždějící ze stanice Brno hl. n..... 12
- Obrázek 1-2: První železniční koridor; kružnice značí oblast zájmu; zdroj: wiki 12
- Obrázek 1-3: Schématická trasa souprav Railjet; červená kružnice vyznačuje oblast zájmu; zdroj [3] 13
- Obrázek 2-1: Schéma MV pro železniční svršek; **B** značí umístění zařízení pro snímání příčného profilu kolejnic; zdroj [13] 14
- Obrázek 2-2: Měřicí vůz pro železniční svršek; zdroj: wiki 15

Obrázek 2-3: Ojetí hlavy kolejnice; zdroj [2].....	16
Obrázek 2-4: Síly působící na 1. nabíhající dvojkolí. μ značí součinitel tření, ξ je úhel z obr. 2-6, F je síla od hmotnosti vozu či HV. Zdroj [15]	17
Obrázek 2-5: Grafické znázornění Vogelovy metody; zdroj [1].	18
Obrázek 2-6: Výpočet řídicí síly Heumannovou metodou (grafické znázornění); zdroj [1]	19
Obrázek 2-7: Síla od nevyrovnaného bočního zrychlení A	20
Obrázek 2-8: Směr boční síly vlivem tažení či sunutí; zdroj [4]	21
Obrázek 2-9: Rozklad boční síly na podvozek pro vozy Railjet	21
Obrázek 2-10: Výpočet úhlu β (pomocí Pythagorovy věty); zdroj [4]	22
Obrázek 3-1: Souprava Railjet v barvách rakouských ÖBB; zdroj [3]	27
Obrázek 3-2: Railjet v barvách ČD, pohled na řídicí vůz; zdroj [3]	27
Obrázek 4-1: Úsek mezi Brnem a Svitavami (Hradec nad Svitavou) s přibližně zaznačenými úseky. (čísla bodů odpovídají číslování úseků v diplomové práci); zdroj [5]	28
Obrázek 4-2: Ortofoto úseku č. 3. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	53
Obrázek 4-3: Údaje o úseku č. 3	53
Obrázek 4-4: Údaje o úseku č. 3 – pokračování	53
Obrázek 4-5: Ortofoto úseku č. 4. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	62
Obrázek 4-6: Ortofoto úseku č. 5. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	73
Obrázek 4-7: Ortofoto úseku č. 6. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	82
Obrázek 4-8: Ortofoto úseku č. 7. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	91
Obrázek 4-9: Ortofoto úseku č. 8. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	101
Obrázek 4-10: Ortofoto úseku č. 9. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; Na obrázku jde vidět i úsek č. 8 (vpravo), který mu předchází; zdroj [5]	111
Obrázek 4-11: Ortofoto úseku č. 10. „Bublina“ značí přibližnou polohu lomu sklonu; zdroj [5]	120

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1.-1: Údaje o úseku č. 1	29
Tabulka 4.1.-2: Údaje o úseku č. 1 - pokračování.....	29
Tabulka 4-3: Údaje o úseku č. 4.....	63
Tabulka 4-4: Údaje o úseku č. 4.....	63
Tabulka 4-5: Údaje o úseku č. 5.....	73
Tabulka 4-6: Údaje o úseku č. 5 – pokračování	73
Tabulka 4-7: Údaje o úseku č. 6.....	82
Tabulka 4-8: Údaje o úseku č. 6 – pokračování	82
Tabulka 4-9: Údaje o úseku č. 7	91
Tabulka 4-10: Údaje o úseku č. 7 – pokračování	91
Tabulka 4-11: Údaje o úseku č. 8.....	101

Tabulka 4-12: Údaje o úseku č. 8 – pokračování.....	101
Tabulka 4-13: Údaje o úseku č. 9.....	111
Tabulka 4-14: Údaje o úseku č. 9 – pokračování.....	111
Tabulka 4-15: Údaje o úseku č. 10.....	120
Tabulka 4-16: Údaje o úseku č. 10 – pokračování.....	120

11 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>D</i>	převýšení
<i>K1</i>	kolej 1
<i>K2</i>	kolej 2
<i>KO</i>	konec oblouku
<i>KP</i>	konec přechodnice
<i>LN</i>	lom sklonu
<i>L</i>	levý (např. kolejnicový pás)
<i>MV</i>	měřící vůz
<i>P</i>	pravý (např. kolejnicový pás)
<i>P₁</i>	řídící síla
<i>s</i>	podélný sklon
<i>R</i>	poloměr oblouku
<i>TK</i>	temeno kolejnice
ú. č.	úsek číslo
<i>ZO</i>	začátek oblouku