Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Systém pro měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle

Mikuláš Samko

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Mikuláš Samko**
Osobní číslo:	**D14239**
Studijní program:	**B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor:	**Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**
Název tématu:	**Systém pro měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle**
Zadávající katedra:	**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování:

Zpracovat problematiku měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle během zkoušení vozidel i v provozních podmínkách.
Vypracujte:
1) Analýza možností měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle.
2) Definice požadavků na měřicí systém a výběr vhodných snímačů.
3) Porovnání jednotlivých variant řešení.
4) Návrh konstrukčního řešení zástavby měřicího systému na vybrané vozidlo.

Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího BP**

Rozsah pracovní zprávy: **40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T.: Teorie vozidel. Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-652-3.
[2] IZER, J. a kol.: Kolejové vozy. 1. vydání. Bratislava: ALFA, 1986. 380 s.
[3] JENČÍK, J., VOLF, J. a kol.: Technická měření. Praha: ČVUT v Praze, 2000. ISBN 80-01-02138-6.
[4] ČSN EN 15273-2:2016. Železniční aplikace - Průjezdné průřezy tratí a obrysy vozidla. Část 2: Obrysy vozidla. Praha: ÚNMZ, 2016.
[5] Firemní materiály výrobců měřicí techniky.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Kohout, Ph.D.**
Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 19. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 4. 2018

Mikuláš Samko

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kohoutovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a velkou ochotu při vypracování této bakalářské práce.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům za jejich morální podporu, trpělivost a možnost studia na této univerzitě.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá způsobem měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle. Je provedena analýza požadavků na měřící rozsah a citlivost snímače i analýza umístění snímačů. Dále je proveden návrh měřící soustavy, který je zastavěn na podvozek Y25.

KLÍČOVÁ SLOVA

úhel náběhu dvojkolí, měření na vozidle, podvozek Y25

TITLE

The system of measuring the angle of attack of the wheelset on the board.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with measurement method angle of attack on board. An analysis of requirement measuring range and sensitivity and an analysis of sensor location is performed. Next, the design measurement system built on bogie Y25 is performed.

KEY WORDS

angle of attack of the wheelset, measuring on the board, bogie Y25

Obsah

1. Úvod 12

2. Úhel náběhu dvojkolí 13

2.1 Definice úhlu náběhu [1] 13

2.2 Vlivy na velikost úhlu náběhu 14

2.3 Metody měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle 15

2.3.1 Snímače uchycené k ložiskové skříni [2] 16

2.3.2 Snímače na podvozku [5] 22

3. Požadavky na měřící systém 26

3.1 Vibrace 26

3.2 Tuhost nosného rámu 26

3.3 Obrys pro vozidlo [6] 26

4. Způsoby měření 29

4.1 Bezkontaktní měření se snímači na ložiskové skříni 29

4.2 Bezkontaktní měření se snímači na rámu podvozku 34

4.3 Kontaktní měření se snímači na ložiskové skříni 36

5. Snímače [8] 40

5.1 Optický snímač 40

5.1.1 Bodový optický snímač 40

5.1.2 Profilový optický snímač 41

5.2 Další typy snímačů pro měření vzdálenosti 42

5.2.1 Snímač na principu vířivých proudů 42

5.2.2 Odporové 43

5.2.3 Induktivní (LVDT) 43

5.3 Rolna 44

6. Porovnání jednotlivých způsobů měření 45

7. Závěr 46

Literatura 48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Postavení podvozku v koleji – tětivová poloha.

Obr. 2 Postavení podvozku v koleji – vzpříčená poloha.

Obr. 3 Snímače uchycené na ložiskové skříni.

Obr. 4 Geometrická konstrukce z obr. 3 k určení úhlu náběhu dvojkolí.

Obr. 5 Možná poloha snímačů vůči koleji (vyšrafované obdélníky).

Obr. 6 Závislost úhlu náběhu dvojkolí α na poloměru oblouku R pro podvozek v tětivové poloze.

Obr. 7 Závislost úhlu náběhu dvojkolí α na poloměru oblouku R pro podvozky v obou polohách.

Obr. 8 Závislost rozdílu příčných vzdáleností Δy snímačů na poloměru oblouku (xS = 1000 mm).

Obr. 9 Grafické znázornění požadovaných vzdáleností při měření s různě umístěnými snímači.

Obr. 10 Závislost přesnosti měření na vzájemné vzdálenosti snímačů.

Obr. 11 Přesnost měření příčných vzdáleností e v souvislosti s přesností stanovení úhlu náběhu $\Delta\alpha$.

Obr. 12 Nepřímá metoda měření s vyznačenými úhly potřebnými pro výpočet úhlu náběhu jednotlivých dvojkolí.

Obr. 13 Umístění snímačů při nepřímé metodě měření úhlu náběhu na podvozku.

Obr. 14 Závislost rozdílu příčných vzdáleností Δy na poloměru oblouku pro rozchod podvozku $2a = 1800\ mm$ v poloze tětivové a vzpříčené, když vzdálenost snímačů xSP je 3000 mm nebo 4000 mm.

Obr. 15 Závislost přesnosti měření příčných vzdáleností e na vzdálenosti snímače xSP. Jsou zvoleny různé přesnosti určení úhlu náběhu.

Obr. 16 Statický (modře) a kinematický (červeně) jízdní obrys GI1.

Obr. 17 Kinematický jízdní obrys GI1 (červeně), GI2 (modře) a GI3 (zeleně).

Obr. 18 Spodní část kinematického obrysu pro vozidlo GI1 s důležitými rozměry.

Obr. 19 Bezkontaktní metoda měření se snímači pod ložiskovou skříní zastavěná na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.

Obr. 20 Měření na vnější straně kolejnice s nenulovým úhlem sklonu měřící roviny a při uvažování opotřebení kolejnice.

Obr. 21 Závislost možného příčného posuvu snímače y na úhlu sklonu měřící roviny β od vodorovné roviny.

Obr. 22 Bezkontaktní metoda měření se snímači mezi koly dvojkolí zastavena na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.

Obr. 23 Bezkontaktní metoda měření se snímači uchycenými k rámu podvozku Y25.

Obr. 24 Geometrická konstrukce pro výpočet poloměru oblouku R.

Obr. 25 Kontaktní metoda měření zastavěná na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.

Obr. 26 Řez A-A z obr. 25.

Obr. 27 Poloha ramene při vycentrované poloze dvojkolí a poloha ramene při maximálním natočení.

Obr. 28 Závislost podélné složky pohybu rolny f na délce ramene l při maximálním natočení ramene o úhel $\Delta\gamma$.

Obr. 29 Optický bodový snímač – princip triangulace.

Obr. 30 Profilový optický snímač.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled vhodných bodových optických snímačů.

Tab. 2 Přehled vhodných profilových optických snímačů.

Tab. 3 Příklady vhodných snímačů pracujících na principu vířivých proudů.

Tab. 4 Příklady vhodných lankových odporových snímačů.

Tab. 5 Příklady vhodných induktivních snímačů.

Tab. 6 Příklad rolny.

Tab. 7 Porovnání jednotlivých způsobů měření.

SEZNAM VELIČIN

$2a$	[mm]	rozvor podvozku
α	[°]	úhel náběhu dvojkolí
α_A, α_B	[°]	úhel náběhu prvního, druhého dvojkolí
α_S	[°]	úhel náběhu dvojkolí při statické poloze podvozku
α_{TE}	[°]	úhel náběhu dvojkolí při tětivové poloze podvozku
α_{VZ}	[°]	úhel náběhu dvojkolí při vzpříčené poloze podvozku
β	[°]	úhel sklonu měřící roviny od vodorovné roviny
γ	[°]	počáteční úhel ramene
$\Delta\gamma$	[°]	rozsah natočení ramene
φ_1	[°]	úhel natočení podvozku
2σ	[mm]	volný kanál koleje
ψ_A, ψ_B	[°]	úhel natočení prvního, druhého dvojkolí vůči rámu podvozku
e	[mm]	přesnost měření příčných vzdáleností
f	[mm]	podélná složka pohybu rolny
h	[mm]	vzepětí nad tětivou
i	[-]	převod
m_{MAX}	[mm]	maximální měřící vzdálenost
m_{MIN}	[mm]	minimální měřící vzdálenost
m_R	[mm]	měřící rozsah
R	[m]	poloměr oblouku
x_S	[mm]	vzdálenost snímačů na ložiskové skříni
x_{SP}	[mm]	vzdálenost snímačů na rámu podvozku
y	[mm]	možný příčný posun snímače vůči koleji

Δy	[mm]	rozdíl naměřených vzdáleností
$y_1,\ y_2, y_3$	[mm]	naměřené vzdálenosti

SEZNAM ZKRATEK

TK	temeno kolejnice
DKV	depo kolejových vozidel
CCD	Charge Coupled Device
RP0	rychlostní pásmo do 60 km/h
IAL	Immediate Action Limit (mez bezodkladného zásahu)
S	střed křivosti oblouku
t	tečna

1. Úvod

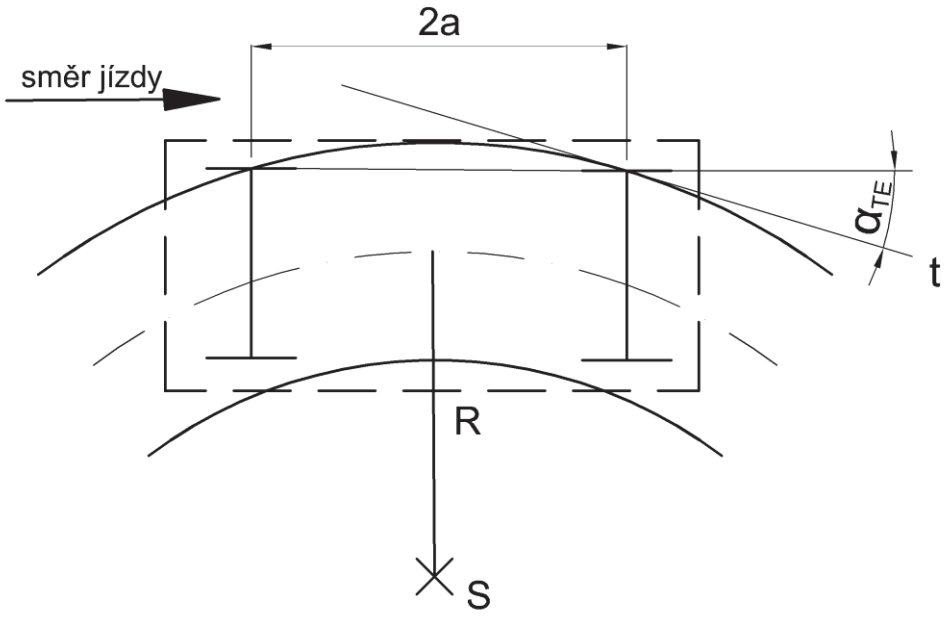
Tato práce se zabývá problematikou měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle. Úhel náběhu ovlivňuje nejen opotřebení kola i kolejnice při průjezdu obloukem, ale také velikost vozidlového odporu. Důležitým faktorem, který nelze opominout je bezpečnost proti vykolejení. Úhel náběhu se zjišťuje při zkušební nebo výzkumné činnosti. Jedním z důvodů je optimalizace nastavení křížové vazby mezi dvojkolími ve společném podvozku nebo validace simulačních modelů.

2. Úhel náběhu dvojkolí

2.1 Definice úhlu náběhu [1]

Je předpokládaná pevná vazba mezi dvojkolím a rámem podvozku. Při uvažování pevného vedení dvojkolí jsou úhly náběhu pro obě dvojkolí stejné. Volný kanál koleje omezuje pozici podvozku v koleji. Postavení podvozku, resp. vozidla může být ve třech polohách. Jsou to:

- **Tětivová poloha —** vnější kola obou dvojkolí v podvozku naléhají na vnější kolejnici. Úhel náběhu dvojkolí je nejmenší (obr. 1). Jelikož úhel náběhu dvojkolí (1) nabývá malých hodnot, lze funkci sinus linearizovat,



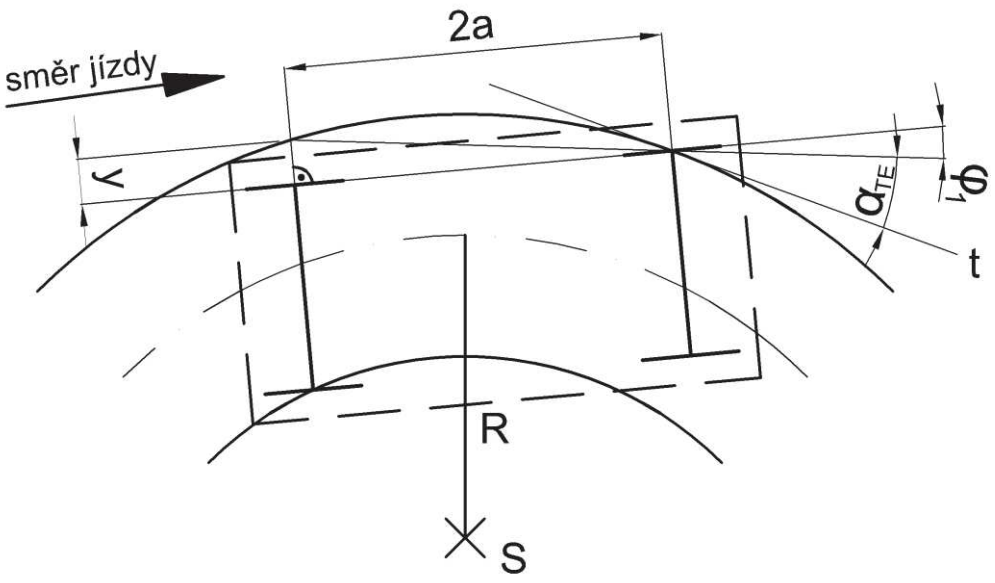
Obr. 1 Postavení podvozku v koleji – tětivová poloha.

$$\sin \alpha_{TE} = \frac{2a}{2 \cdot R} \approx \alpha_{TE} \tag{1}$$

- **vzpříčená poloha —** vnější kolo prvního dvojkolí ve směru jízdy naléhá na vnější kolejnici a zároveň vnitřní kolo druhého dvojkolí naléhá na vnitřní kolejnici (obr. 2).

$$\tan \varphi_1 = \frac{y}{2a} \approx \varphi_1, \tag{2}$$

Za y dosadíme hodnotu volného kanálu 2σ (2). I zde úhel φ_1 nabývá malých hodnot, tedy funkci tangens linearizujeme. Úhel φ_1 je úhel, který charakterizuje natočení podvozku vůči koleji. Úhel náběhu dvojkolí je součet úhlu náběhu dvojkolí v tětivové poloze a úhlu natočení podvozku vůči koleji (3).



Obr. 2 Postavení podvozku v koleji – vzpříčená poloha.

$$\boldsymbol{\alpha_{VZ} = \alpha_{TE} + \varphi_1}, \tag{3}$$

- **statická poloha** α_S**,** je poloha podvozku v koleji, která se nachází obecně mezi dvěma krajními polohami. Platí stejný vzorec (3) jako pro vzpříčenou polohu. Velikost hodnoty y závisí na aktuální poloze podvozku, resp. druhého dvojkolí ve směru jízdy v koleji. Podvozek není při průjezdu oblouku zpravidla postaven v krajních polohách. Velikost úhlu náběhu dvojkolí při statické poloze α_S nabývá hodnot uvedeném ve vzorci (4).

$$\alpha_{TE} < \alpha_S < \alpha_{VZ} \tag{4}$$

2.2 Vlivy na velikost úhlu náběhu

Velikost úhlu náběhu ovlivňují některé faktory, které jsou:

- **poloměr oblouku**,

- **rozvor podvozku**,
- **volný kanál koleje**. Je dán rozdílem veličin, které jsou:
  - **rozchod koleje**, jehož mezní hodnoty jsou $1426 \div 1470$ mm na tratích při bezodkladném zásahu IAL pro RP0 (rychlost do 60 km/h) dle lit. [3]
  - **rozchod dvojkolí**, který nabývá hodnot $1410 \div 1426$ mm.

Budeme uvažovat největší možnou velikost volného kanálu koleje, který je dán rozdílem největší hodnoty rozchodu koleje a nejmenší hodnoty rozchodu dvojkolí. Tedy velikost volného kanálu koleje bude 2σ = 60 mm.

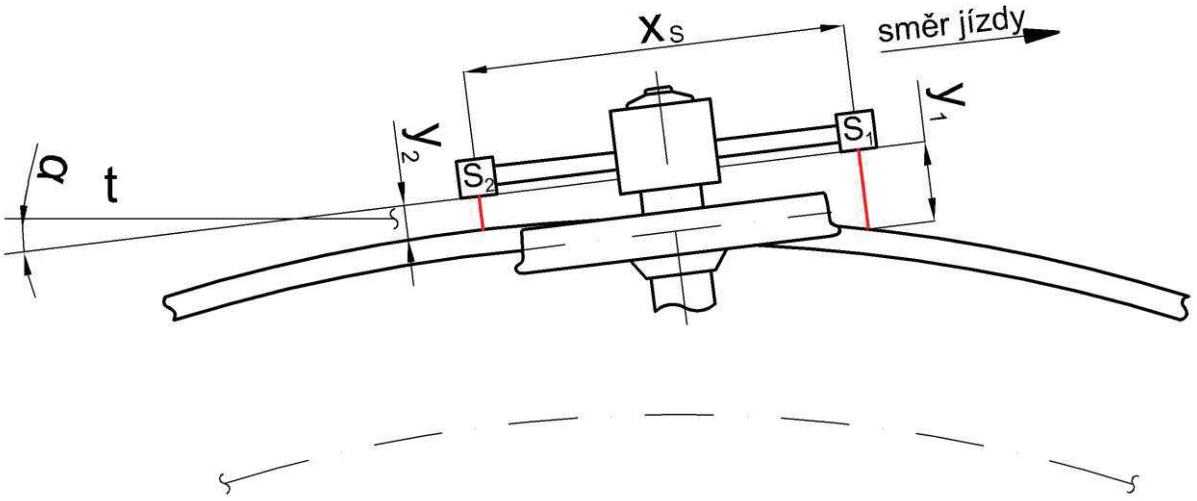
2.3 Metody měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle

Určení velikosti úhlu náběhu dvojkolí, úhlu natočení podvozku vůči koleji nebo natočení dvojkolí vůči rámu podvozku je založeno na měření příčné vzdálenosti kolejnice od snímače. Úhel náběhu lze určit:

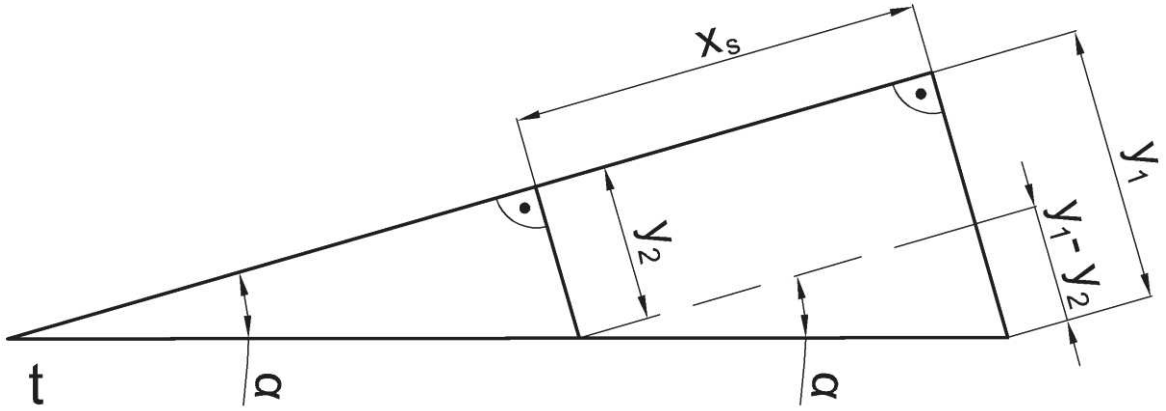
a. Přímo z příčných vzdáleností mezi kolejnicí a snímačem, kdy snímač je uchycen k ložiskové skříni.
b. Nepřímo pomocí úhlu natočení podvozku vůči koleji, který získáme z příčných vzdáleností mezi kolejnicí a snímačem umístěném na rámu podvozku, a deformace vedení dvojkolí v podélném směru.

Pro ilustraci použijeme měření úhlu náběhu dvojkolí se snímači na ložiskové skříni (obr. 3). Při výpočtu úhlu náběhu dvojkolí α použijeme pravoúhlý trojúhelník (obr. 4), kde velikosti jeho odvěsen jsou dány vzdáleností snímačů x_S a rozdílem naměřených vzdáleností Δy, jak je uvedeno ve vzorci (5). Rozdíl příčných vzdáleností $\Delta y = y_1 - y_2$.

$$\tan \alpha = \left(\frac{y_1 - y_2}{x_S}\right), \tag{5}$$



Obr. 3 Snímače uchycené na ložiskové skříni.

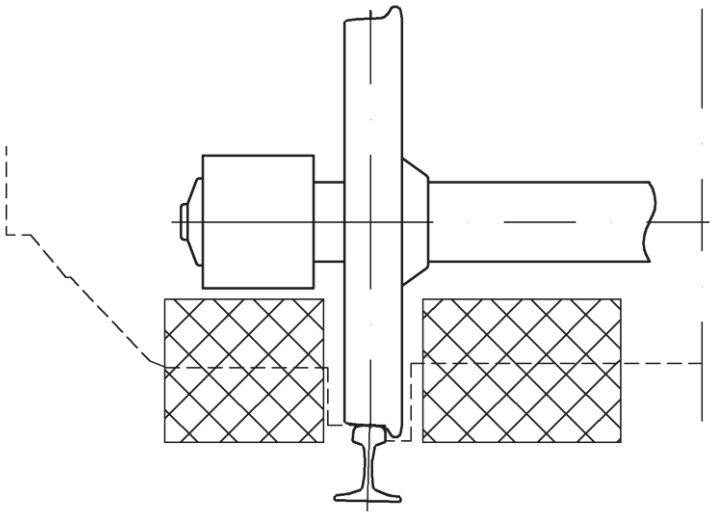


Obr. 4 Geometrická konstrukce z obr. 3 k určení úhlu náběhu dvojkolí.

Naměřené vzdálenosti y_1 a y_2 mohou být určeny pomocí kontaktního nebo bezkontaktního způsobu měření.

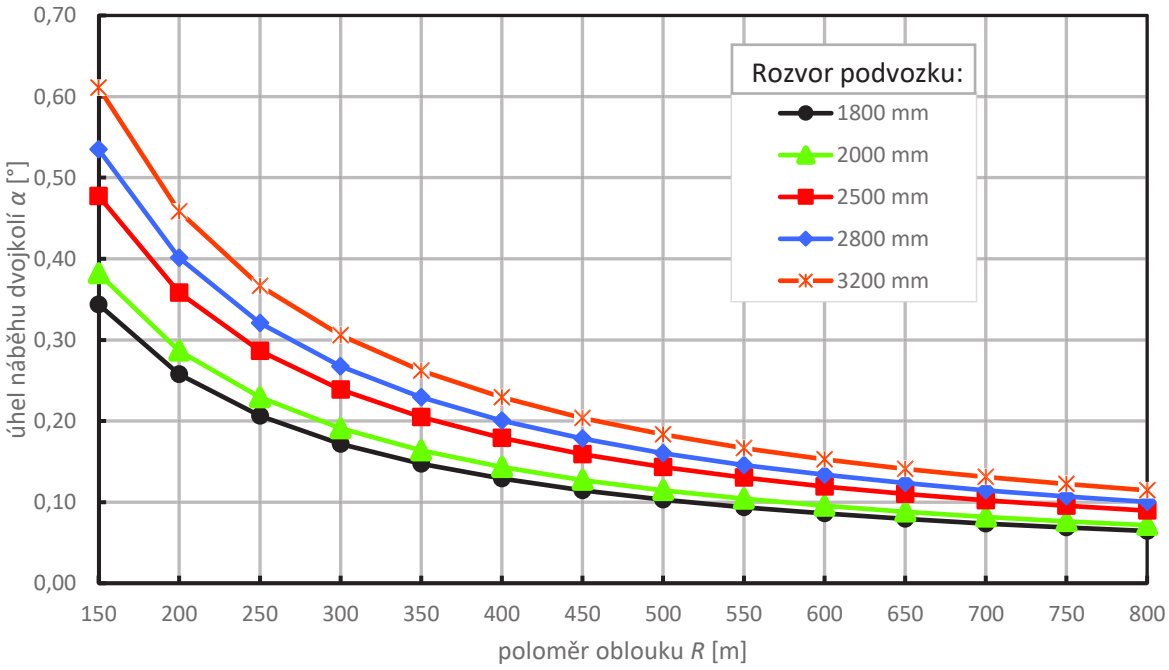
2.3.1 Snímače uchycené k ložiskové skříni [2]

Umístění snímačů vůči koleji může být v místech přímé viditelnosti koleje. Na obr. 5 jsou možné oblasti umístění snímačů znázorněny vyšrafovanými obdélníky. Pro příklad je tento obrázek doplněn o spodní část kinematického obrysu pro vozidlo GI1.



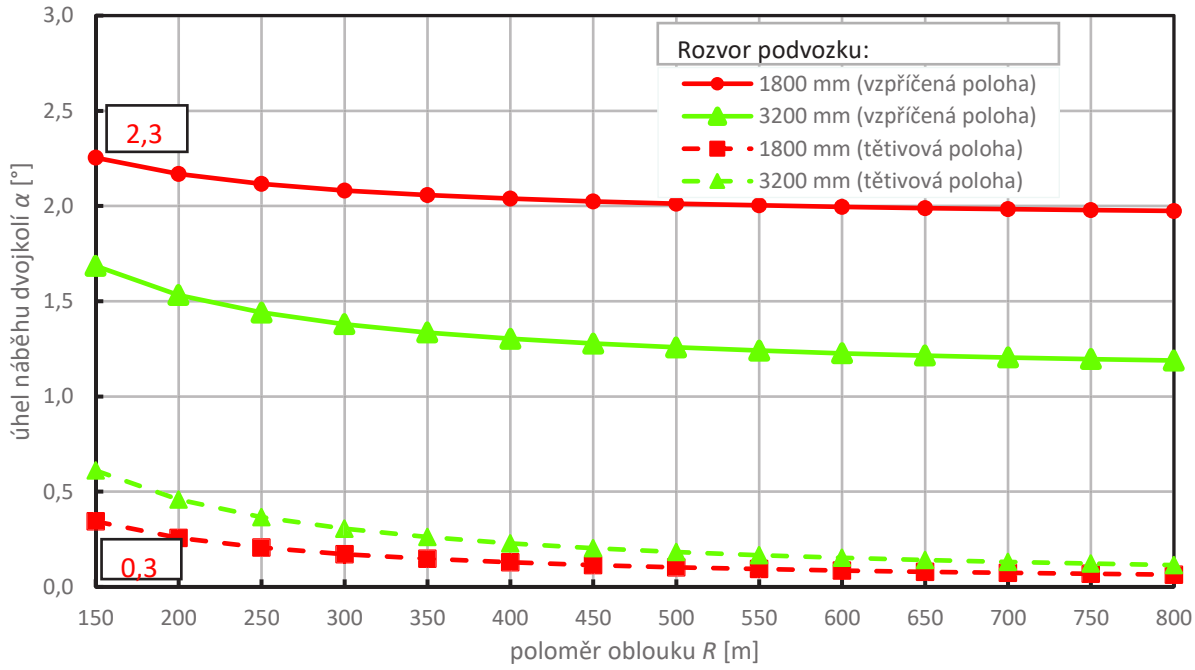
Obr. 5 Možná poloha snímačů vůči koleji (vyšrafované obdélníky).

Rozvor podvozku byl volen v intervalu 1,8 ÷ 3,2 m. Nejmenší zvolený rozvor podvozku se vyskytuje u velmi rozšířeného nákladního podvozku Y25, největší zvolený rozvor podvozku je typický pro lokomotivy Škoda 2. generace. Na celostátní dráze může být minimální poloměr koleje v oblouku $R = 190$ m např. v odbočné větvi výhybky umístěné v oblouku [4]. Koleje, které se nacházejí např. v DKV, mohou mít oblouky poloměr $R = 150$ m. Protože velikost úhlu náběhu je největší právě v obloucích s malým poloměrem, budeme nejmenší poloměr oblouku uvažovat právě 150 m.



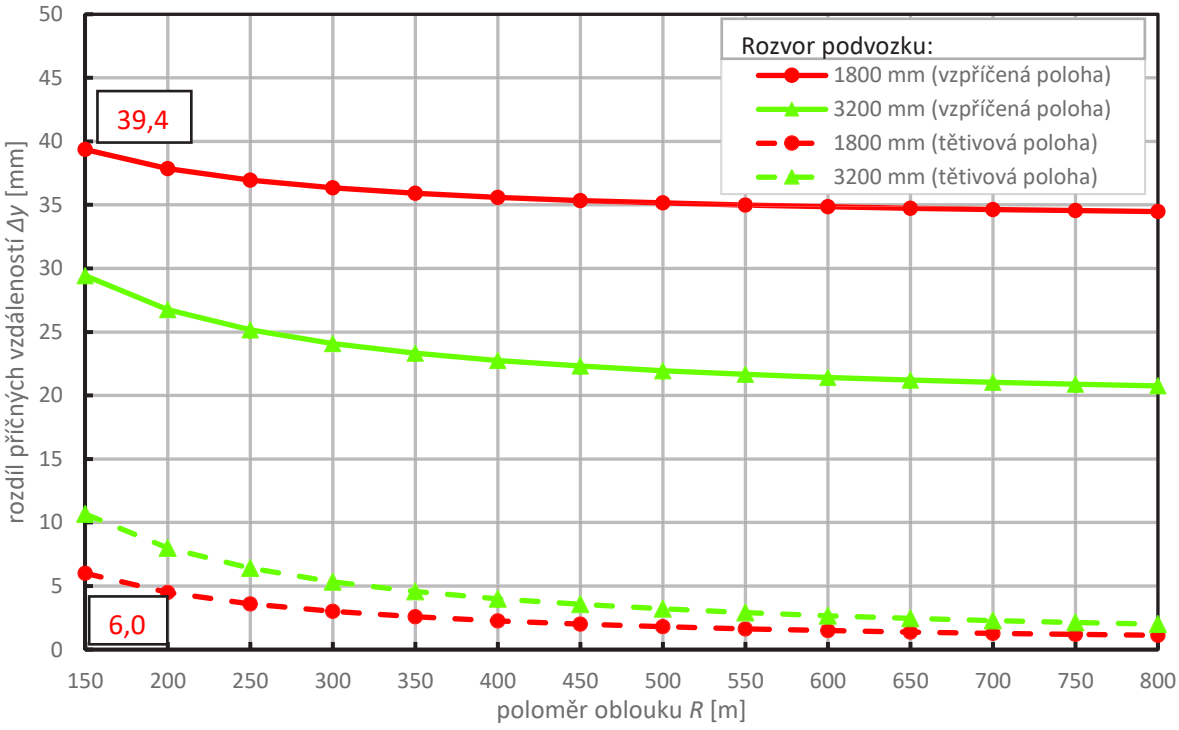
Obr. 6 Závislost úhlu náběhu dvojkolí α na poloměru oblouku R pro podvozek v tětivové poloze.

Porovnání úhlu náběhu dvojkolí pro vybrané velikosti rozvorů podvozků je uvedeno na obr. 6.



Obr. 7 Závislost úhlu náběhu dvojkolí α na poloměru oblouku R pro podvozky v obou polohách.

Porovnání závislosti úhlu náběhu na poloměru oblouku pro obě polohy podvozku v koleji (tětivová a vzpříčená) můžete vidět na obr. 7.



Obr. 8 Závislost rozdílu příčných vzdáleností Δy snímačů na poloměru oblouku (x_S = 1000 mm).

Požadavky na měřící rozsah snímače jsou patrné z obr. 8. Velikost měřícího rozsahu je ± 40 mm, při vzájemné vzdálenosti snímačů $x_S = 1000$ mm.

Ze vztahu (5) je zřejmé, že rozdíl naměřených vzdáleností Δy je nepřímo úměrná k vzdálenosti snímačů x_S. Zástavbové možnosti (špalíková brzda) a průměr kola ovlivňují velikost vzdálenosti snímačů x_S. Pokud bude použito dvojkolí s větším průměrem kola, bude nutné zvětšit vzdálenost snímačů x_S. Avšak při zvětšení velikosti vzdálenosti snímačů dojde ke zvětšení rozdílu naměřených hodnot Δy, resp. zvětšení přesnosti měření úhlu náběhu $\Delta\alpha$, což je výhodné.

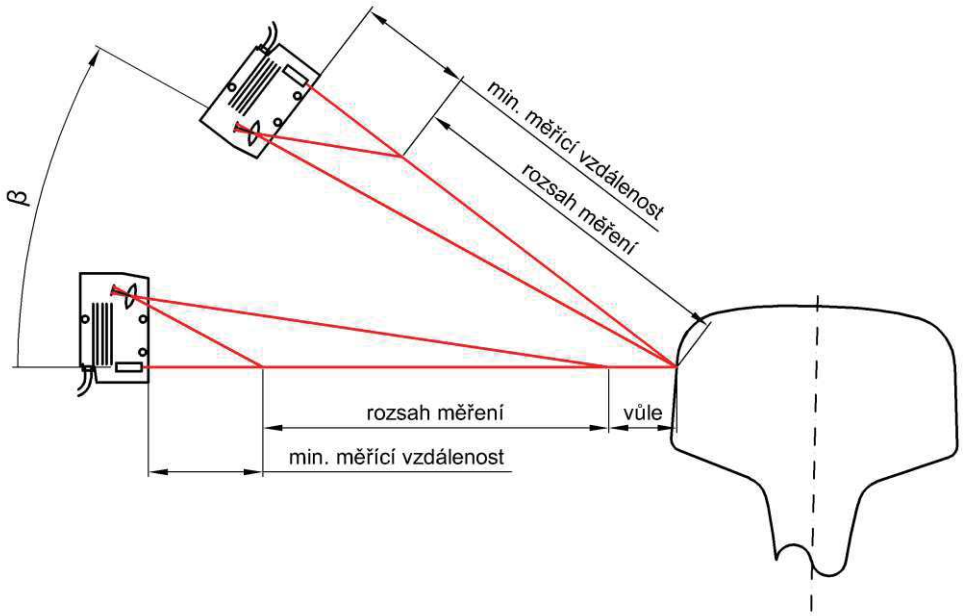
Ve vycentrované poloze dvojkolí v koleji je vlivem volného kanálu koleje (2σ = 60 mm) možný příčný pohyb dvojkolí ± 30 mm. Rozsah měření m_R bude záviset na volném kanálu koleje 2σ a rozdílu příčných vzdáleností Δy (6).

$$m_R = 2\sigma + 2 \cdot \Delta y \tag{6}$$

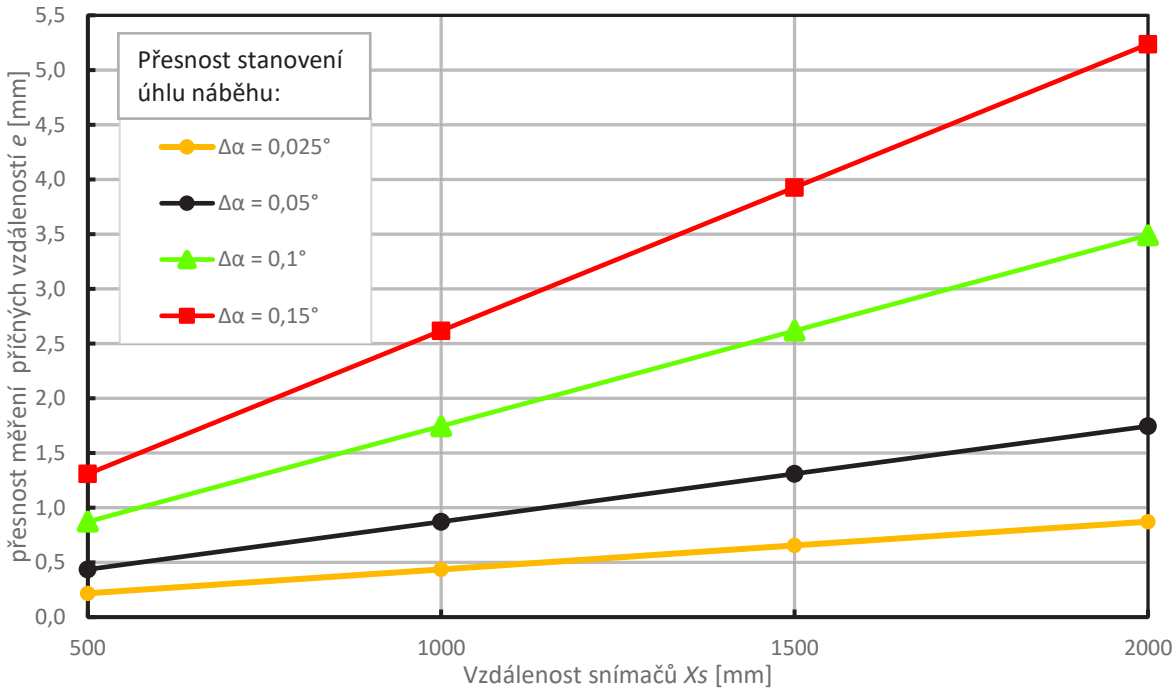
Pokud je maximální hodnota úhlu náběhu dvojkolí 2,3°, jenž odpovídá rozdílu příčných vzdáleností $\Delta y = 40$ mm, bude rozsah měření $m_R = 140$mm. Maximální měřící vzdálenost bude záviset na velikosti rozsahu měření m_R, velikosti minimální měřící vzdálenosti m_{MIN} a na velikosti vůle (7).

$$m_{MAX} = m_R + m_{MIN} + v\mathring{u}le \tag{7}$$

Minimální měřící vzdálenost je dána snímačem. Pokud bude minimální měřící vzdálenost $m_{MIN} = 0$ mm a snímač je umístěn pod TK, je nutné uvažovat vůli. Nesmí dojít ke kontaktu mezi snímačem a kolejnicí (obr. 9). Pro kontaktní snímače nemůže být vůle z principu měření uvažována.



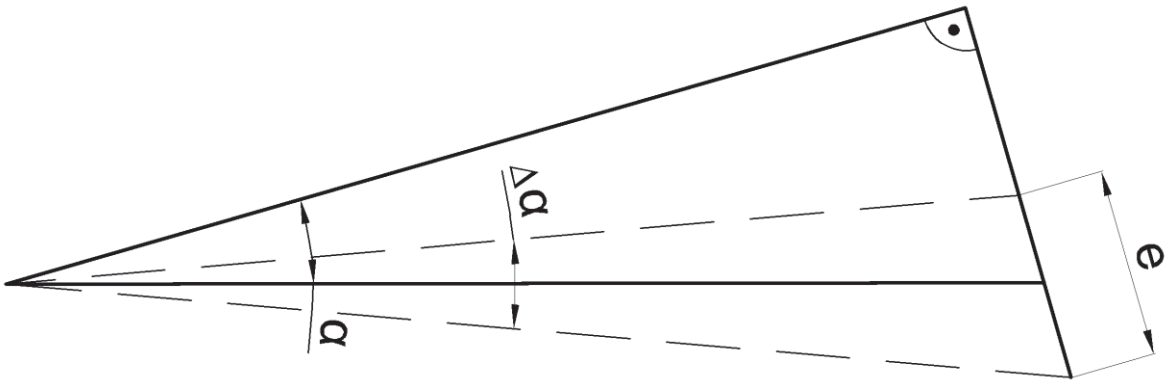
Obr. 9 Grafické znázornění požadovaných vzdáleností při měření s různě umístěnými snímači.



Obr. 10 Závislost přesnosti měření na vzájemné vzdálenosti snímačů.

Na obr. 10 je znázorněna závislost přesnosti měření příčných vzdáleností e na vzdálenosti snímačů x_S. Pokud uvažujeme vzdálenost snímačů $x_S = 1000$ mm a přesnost stanovení úhlu náběhu dvojkolí $\Delta\alpha = 0{,}05°$, bude přesnost měření příčných vzdáleností $e = 0{,}88$ mm. Když je maximální úhel náběhu dvojkolí je 2,3° (obr. 7), budeme schopni

stanovit úhel náběhu dvojkolí ve 92 krocích (46 kroků na jeden směr). Zvolená přesnost stanovení úhlu náběhu dvojkolí je dostatečně přesná a zároveň málo náročná na snímač.



Obr. 11 Přesnost měření příčných vzdáleností *e* v souvislosti s přesností stanovení úhlu náběhu *Δα*.

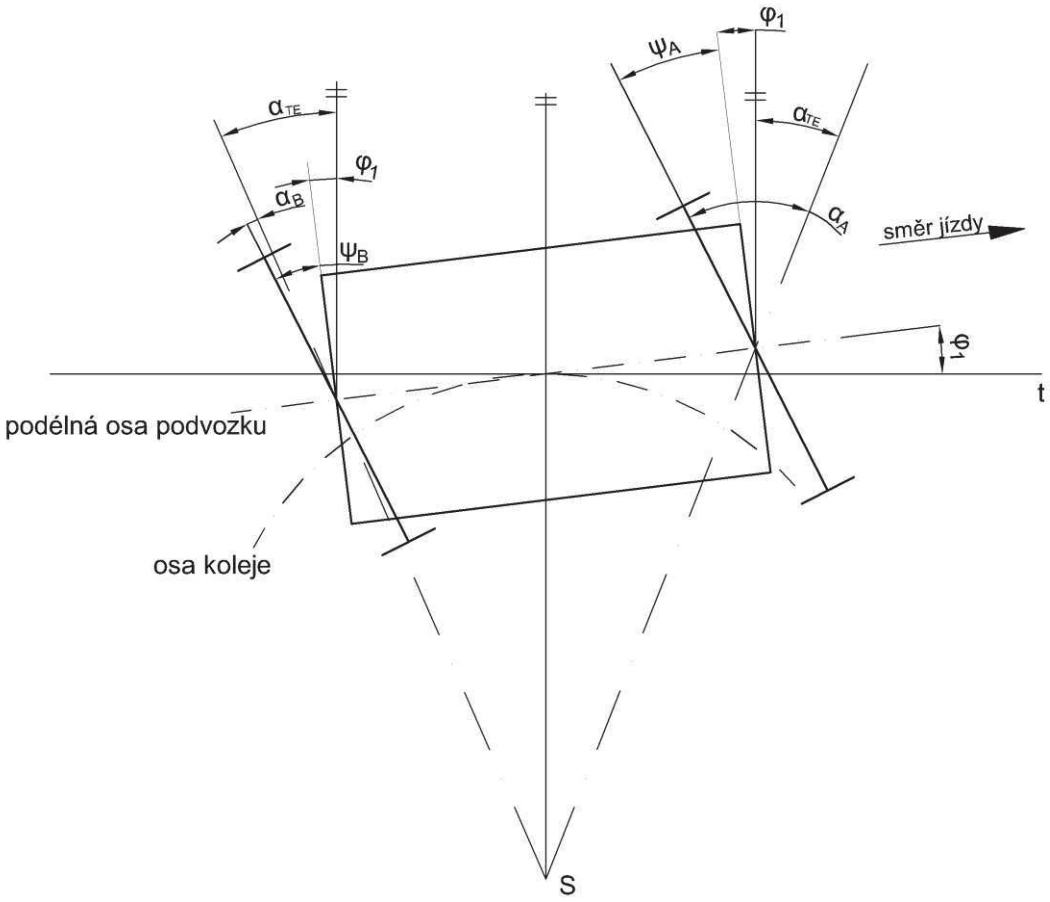
Na obr. 11 je graficky znázorněna přesnost měření *e*.

2.3.2 Snímače na podvozku [5]

V případě měření natočení podvozku vůči ose koleje neměříme úhel náběhu přímo na dvojkolí, ale zvlášť úhel natočení podvozku vůči ose koleje a úhel natočení dvojkolí vůči rámu podvozku (obr. 12).

Úhly náběhu dvojkolí α_A, α_B můžeme dopočítat na základě naměřených úhlů natočení podvozku vůči koleji φ_1, úhlu natočení dvojkolí vůči rámu podvozku ψ_A, ψ_B a úhlu náběhu dvojkolí v podvozku postaveném v tětivové poloze α_{TE} (8),(9).

Úhel náběhu dvojkolí bude nulový, když je dvojkolí postaveno v radiální poloze. Při radiální poloze dvojkolí příčná osa souměrnosti dvojkolí prochází středem křivosti oblouku S (obr. 12). Úhel náběhu dvojkolí je tedy úhel mezi radiální polohou dvojkolí a skutečnou polohou dvojkolí.



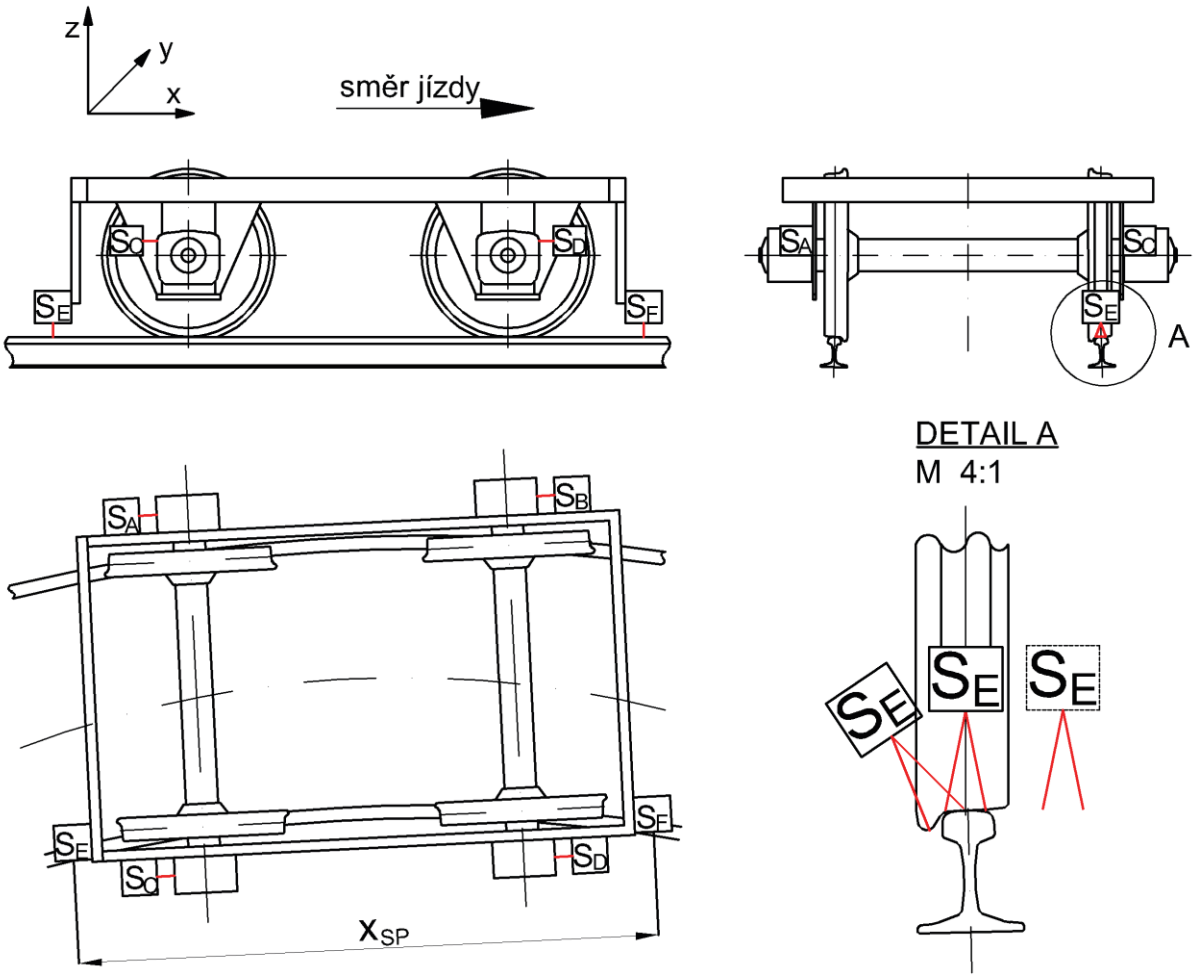
Obr. 12 Nepřímá metoda měření s vyznačenými úhly potřebnými pro výpočet úhlu náběhu jednotlivých dvojkolí.

Úhel natočení podvozku φ_1, je dán velikostí natočení podvozku dovoleným volným kanálem koleje (2). Pokud bude podvozek v oblouku postaven v tětivové poloze, bude rozdíl příčných vzdáleností $\Delta y = 0$ mm, a tedy bude úhel natočení podvozku $\varphi_1 = 0°$. Je

tedy nutné znát poloměr oblouku k vypočtu úhlu náběhu dvojkolí v tětivové poloze α_{TE}, který je uveden v kap. 2.1 rovnice (1), kdy je předpokládaná tuhá vazba dvojkolí k rámu podvozku.

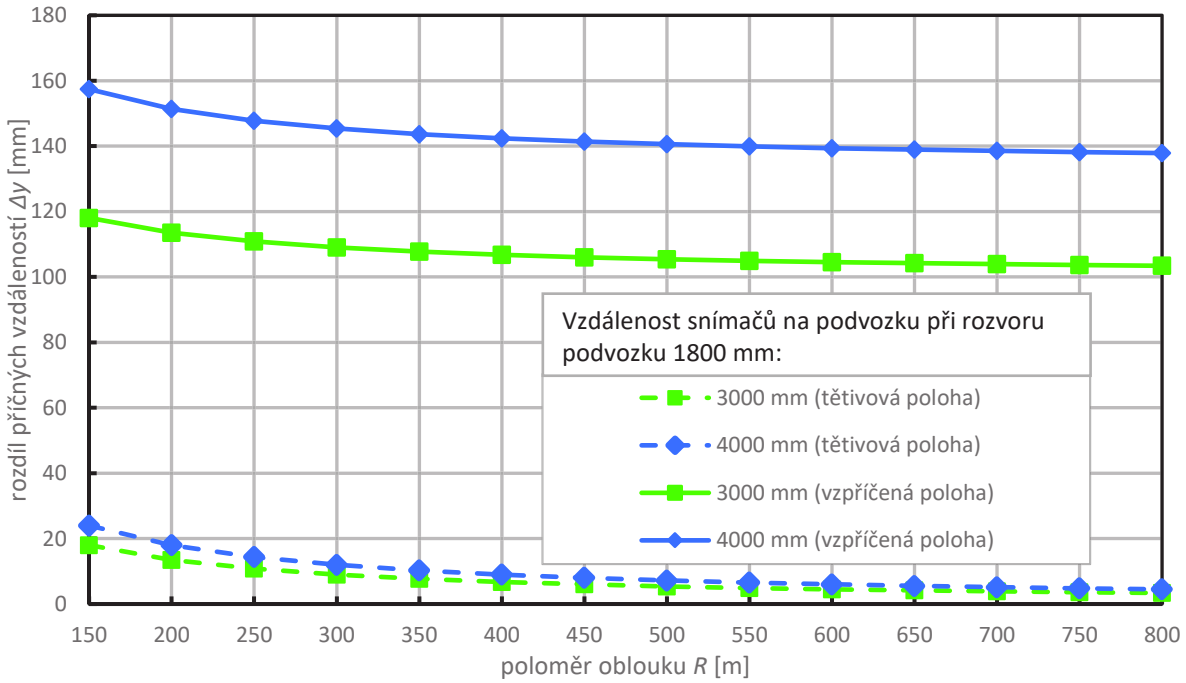
$$\alpha_A = \psi_A + \varphi_1 + \alpha_{TE} \tag{8}$$

$$\alpha_B = \psi_B + \varphi_1 - \alpha_{TE} \tag{9}$$



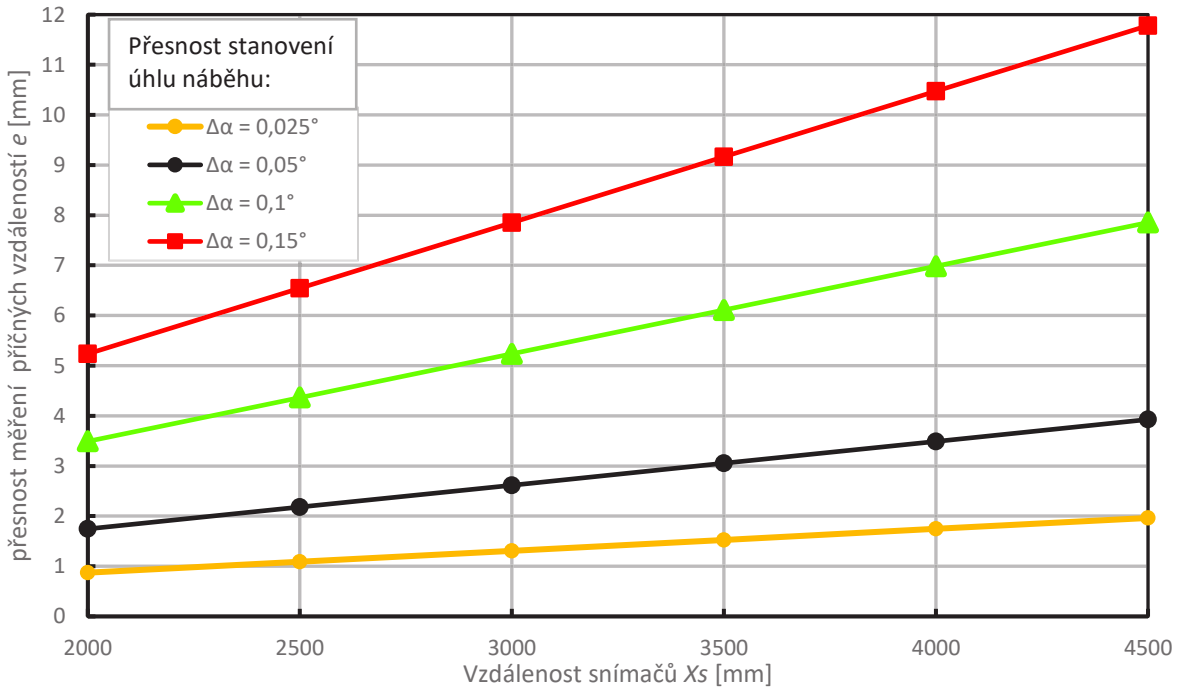
Obr. 13 Umístění snímačů při nepřímé metodě měření úhlu náběhu na podvozku.

Na obr. 13 je znázorněna zástavba snímačů na podvozek. Snímače S_E, S_F musí být umístěn co nejblíže kolu, aby se v oblouku vlivem natáčení podvozku nedostal částečně nebo zcela mimo kolejnici, jak je možné vidět na obr. 13, detail A. Dále jsou na tomto detailu ukázány možnosti umístění snímače, kdy umístění snímače bude mít zásadní vliv na schopnost určit z naměřených dat příčný posun snímače vůči kolejnici. Výpočet úhlu natočení podvozku je obdobný jako pro úhel náběhu dvojkolí se snímači na ložiskové skříni (5).



Obr. 14 Závislost rozdílu příčných vzdáleností Δy na poloměru oblouku pro rozchod podvozku $2a = 1800\ mm$ v poloze tětivové a vzpříčené, když vzdálenost snímačů x_{SP} je 3000 mm nebo 4000 mm.

V obr. 14 je rozdíl příčných vzdáleností vypočítán pro rozvor podvozku $2a = 1800\ mm$.



Obr. 15 Závislost přesnosti měření příčných vzdáleností e na vzdálenosti snímače x_{SP}. Jsou zvoleny různé přesnosti určení úhlu náběhu.

Uvažujeme stejné varianty rozvorů podvozků, a tedy i interval hodnot úhlu náběhu dvojkolí je stejný. Proto je zvolena stejná přesnost stanovení úhlu natočení podvozku jako u úhlu náběhu dvojkolí viz obr. 10.

Na snímač pro měření úhlu natočení podvozku nemusíme mít tak velké nároky z důvodu, že vzdálenost snímačů může být trojnásobná (obr. 15).

3. Požadavky na měřící systém

Vlastnosti, které má daný měřící systém splňovat, budou záviset na podmínkách při měření.

3.1 Vibrace

V případě snímače uchyceného k ložiskové skříni, který je součástí nevypružené hmoty, jsou veškeré rázy vzniklé mezi kolem a kolejnicí přenášeny na snímač. Mechanické i optické snímače mají omezení dané maximálním zrychlením snímače, kdy je ještě možné měřit, a popřípadě maximální dovolené zrychlení, které snímač vydrží bez poškození, ale při kterém není schopen měřit. Dle skutečně naměřených hodnot zrychlení je nutné řešit vypružení snímačů.

V případě snímačů uchycených k rámu podvozku, jsou snímače odpruženy. Při stejně velkých rázech mezi kolem a kolejnicí působí na snímače uchycených na podvozku mnohem menší zrychlení než na snímače uchyceným k ložiskové skříni.

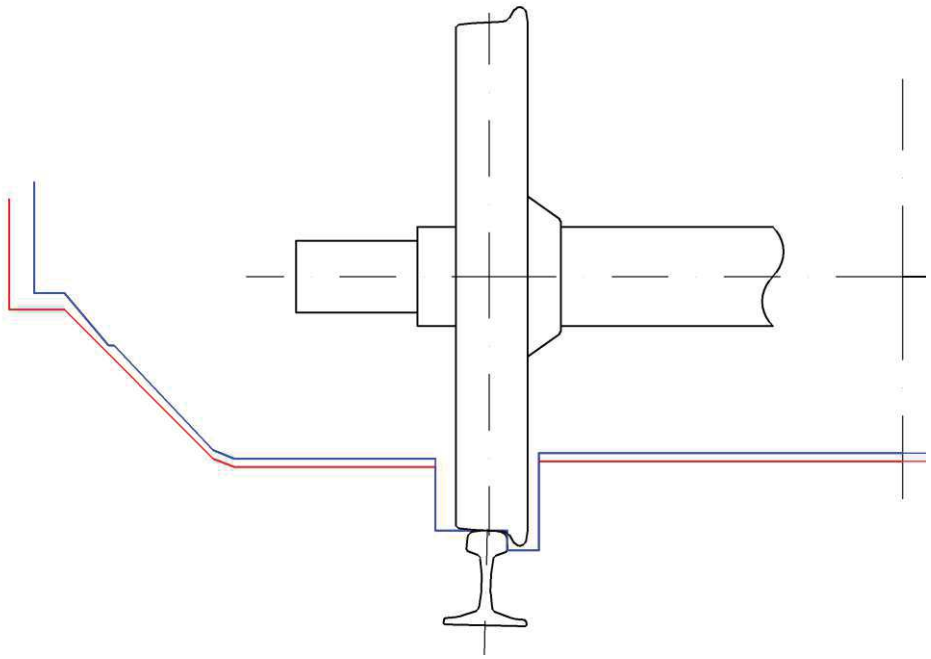
3.2 Tuhost nosného rámu

Nosný rám, který je uchycen k ložiskové skříni a nese snímače musí být dostatečně tuhý, pevný a lehký. Deformace mají vliv na velikost chyby měření.

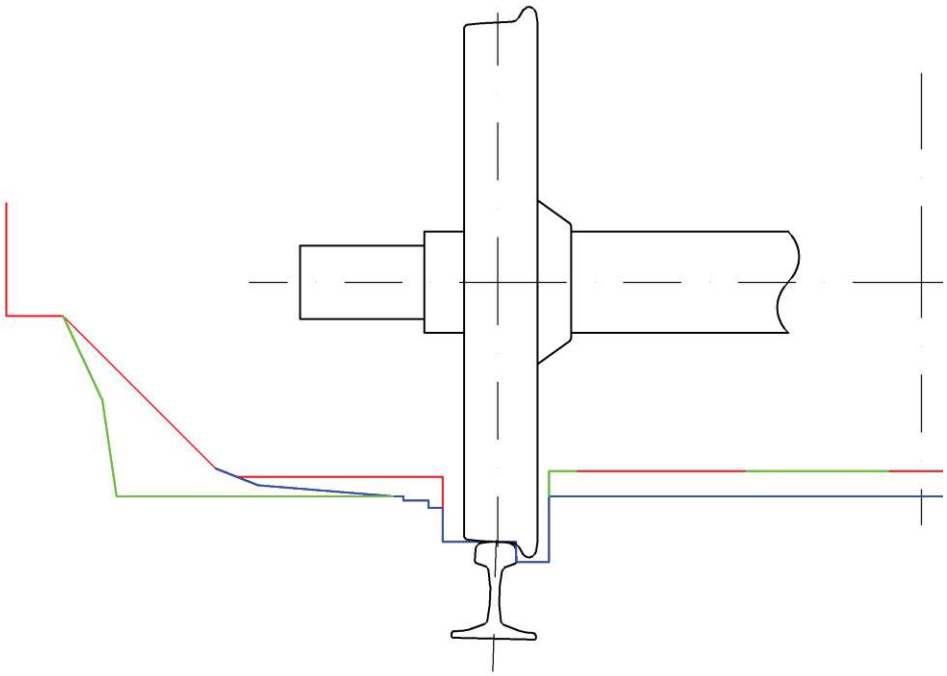
3.3 Obrys pro vozidlo [6]

Obrys pro vozidlo je definován v rovině kolmé na podélnou osu koleje. Existuje několik druhů obrysů pro vozidlo. A také více přístupů k určení využitelného prostoru, které jsou: statický a kinematický. U kinematického obrysu je zohledněn i náklon skříně. Výpočet využitelného prostoru je přesnější a rozměry nemusí být tolik zmenšeny o bezpečnostní rezervy. Tedy kinematický obrys umožňuje využít větší prostor pro zástavbu měřící soustavy. Z důvodu umístění snímače nás zajímá pouze spodní část obrysu pro vozidlo, jak je znázorněno na obr. 16.

Jestliže bude měření prováděno na uzavřeném traťovém úseku, je možné umístit snímač až pod úroveň TK. Opakem je měření v běžném provozu, kdy měřící systém musí splňovat všechny požadované vlastnosti, především obrys pro vozidlo. Na obr. 17 je porovnání více kinematických obrysů pro vozidlo. Při umisťování snímačů budeme uvažovat kinematický obrys pro vozidlo GI1.

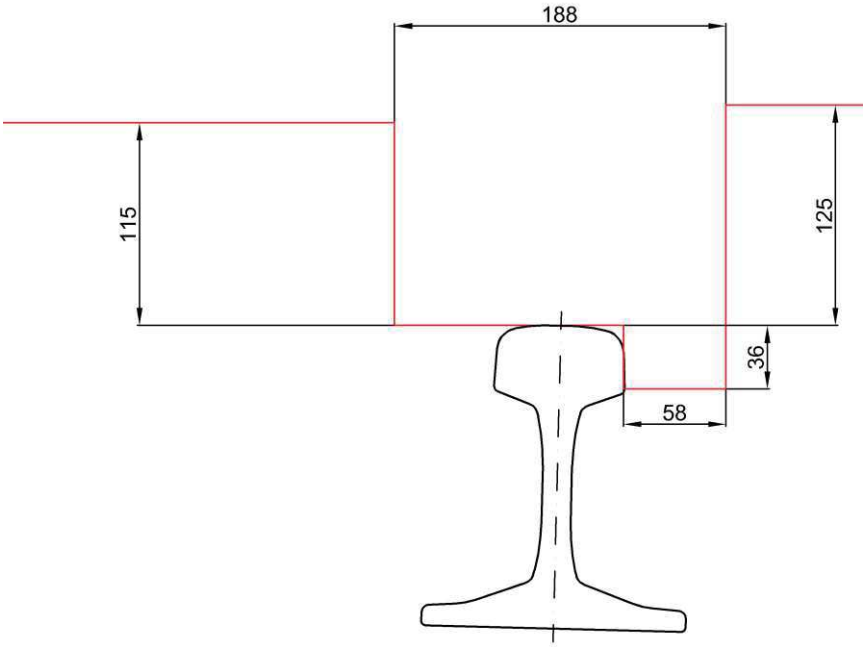


Obr. 16 Statický (modře) a kinematický (červeně) jízdní obrys GI1.



Obr. 17 Kinematický jízdní obrys GI1 (červeně), GI2 (modře) a GI3 (zeleně).

Dané hodnoty na obr. 18 platí, pokud na trati nebudou instalovány kolejové brzdy.



Obr. 18 Spodní část kinematického obrysu pro vozidlo GI1 s důležitými rozměry.

4. Způsoby měření

Jednotlivé způsoby měření budou vycházet z principů uvedených v kapitole 2.3. Pro zástavbu měřícího systému je zvolen nákladní podvozek Y25. Nákres podvozku Y25 byl proveden s použitím lit. [7].

Protože jsme uvažovali různé velikosti rozvorů podvozku, musí uvažovat také různé průměry kol. Při volbě vzdáleností snímačů x_S jsme omezeni minimální vzdáleností pro dosažení potřebné přesnosti měření a zástavbovým prostorem, zejména průměrem kola.

4.1 Bezkontaktní měření se snímači na ložiskové skříni

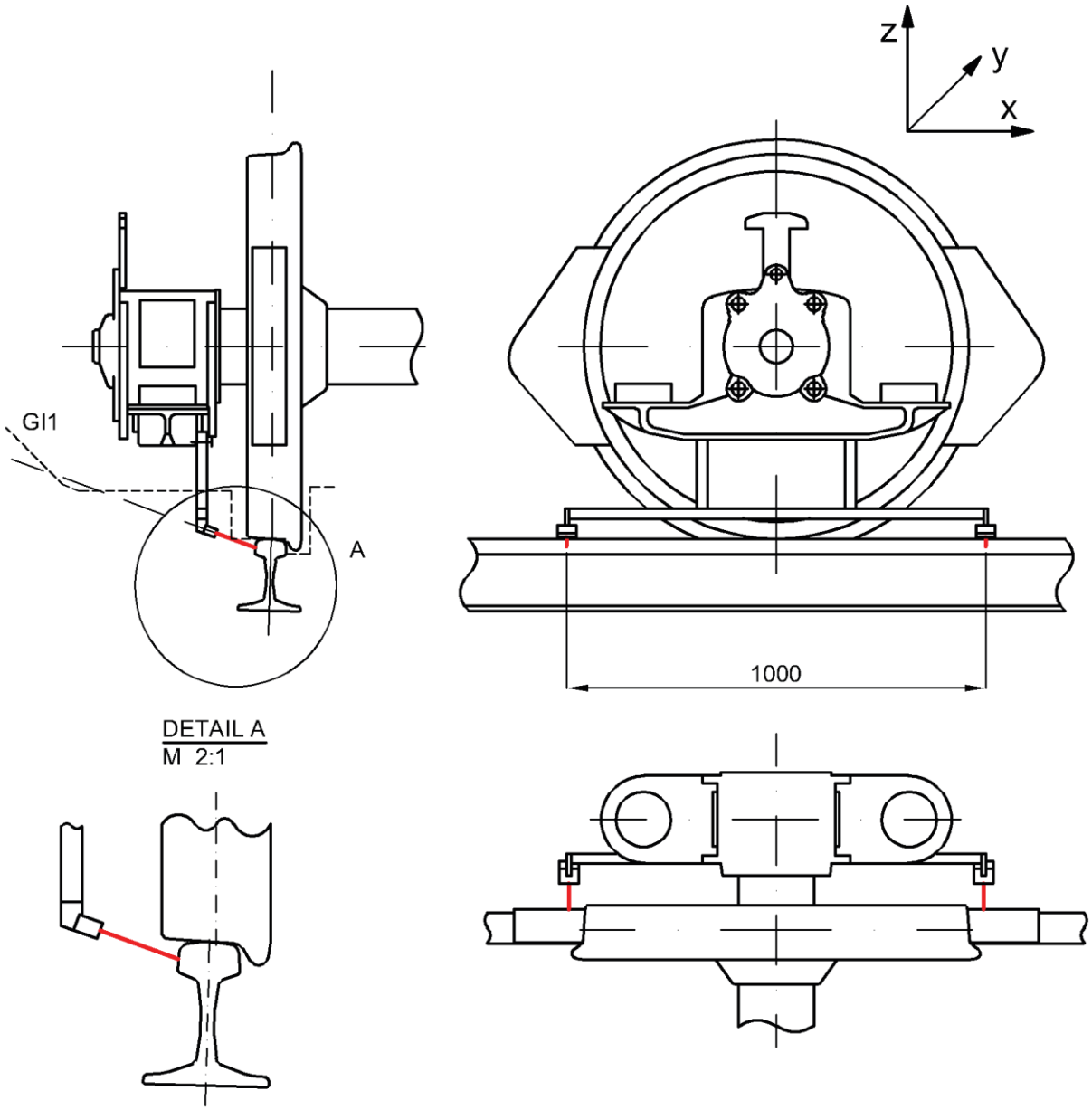
Senzory jsou umístěny na rámu, který je uchycen k ložiskové skříni železničního vozu. Tento způsob měření můžeme rozdělit na dvě varianty, které mají více společných vlastností. Varianty měření jsou:

- měření se snímači vně dvojkolí,
- měření se snímači mezi koly dvojkolí.

První variantou jsou snímače umístěné na rám, kde snímače jsou na vnější straně pod ložiskovou skříní a místem měření je vnější část boku hlavy kolejnice (obr. 19). Pokud budou snímače na obou stranách dvojkolí uchycena k ložiskové skříni, budeme schopni měřit nejen úhel náběhu ale i polohu dvojkolí vůči koleji.

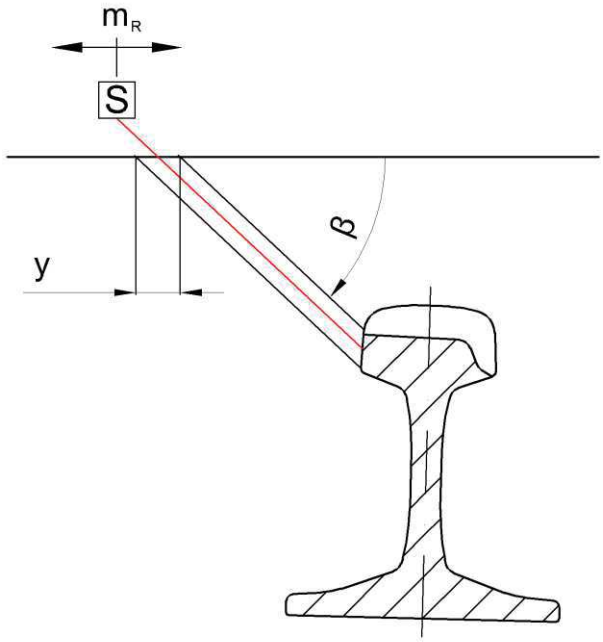
Musíme uvažovat různé průměry kol, což bude ovlivňovat velikost nosného rámu, aby snímače nebyli v kontaktu s koly nebo dalšími součástmi podvozku, např. se špalíkovými brzdami. Je také potřeba uvažovat rozdíl v průměru kola vlivem opotřebení, který bude ovlivňovat výšku snímače nad TK.

Na obr. 19 je částečně naznačen spodní obrys pro vozidla GI1 a také je protáhnuta čára naznačující směr měření (čárkovaná čára navazující na červenou čára). Obě čáry se protínají, ale není možné umístit snímač, aby splňoval obrys pro vozidlo. Protože snímač se může příčně pohybovat.



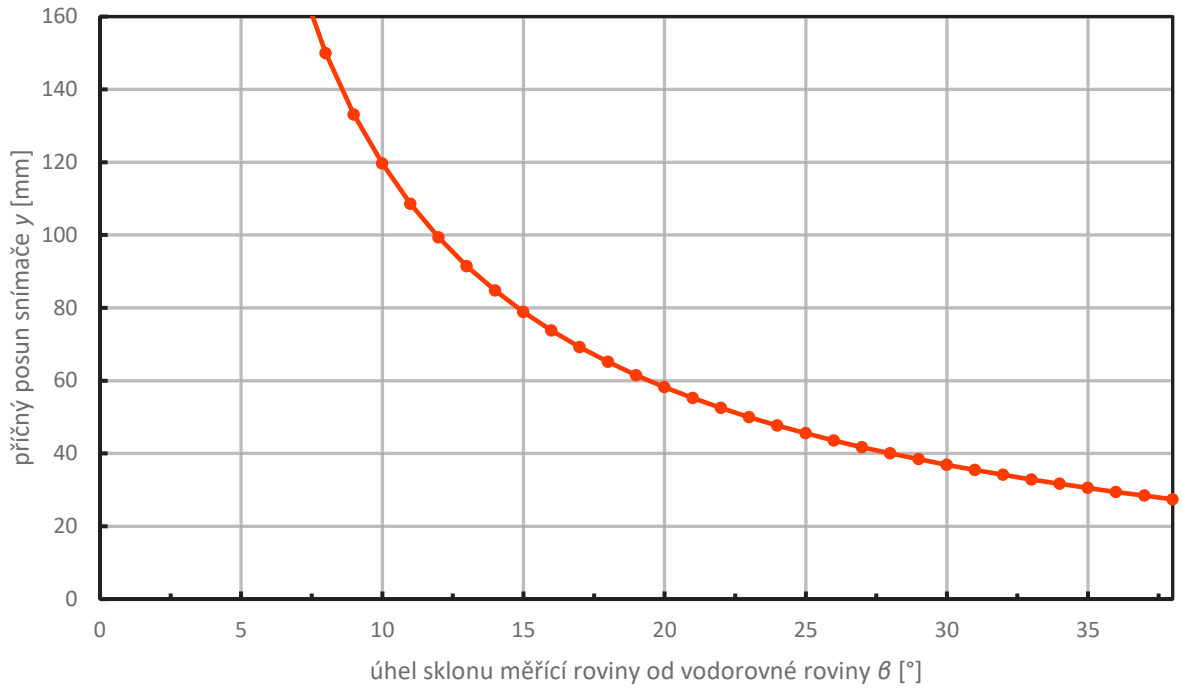
Obr. 19 Bezkontaktní metoda měření se snímači pod ložiskovou skříní zastavěná na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.

Pokud vyžadujeme schopnost průjezdu výhybkou, železničním přejezdem apod., musí být snímač umístěn nad TK, tedy bude nenulový sklon měřícího paprsku od vodorovné roviny. Měřený bod na boku hlavy kolejnice při nenulovém úhlu β se vlivem příčného pohybu dvojkolí vůči koleji bude pohybovat svisle. Výška hlavy kolejnice UIC 60 je 37,5 mm, a pokud vyloučíme zaoblené části boku hlavy, je k dispozici 21 mm. Měříme od vnější strany kolejnice, která je uložena v koleji s úklonem 1:40. Sečtením úklonu kolejnice a sklonu boku hlavy kolejnice od svislé roviny dostaneme celkový sklon boku hlavy kolejnice 4,3°.



Obr. 20 Měření na vnější straně kolejnice s nenulovým úhlem sklonu měřící roviny a při uvažování opotřebení kolejnice.

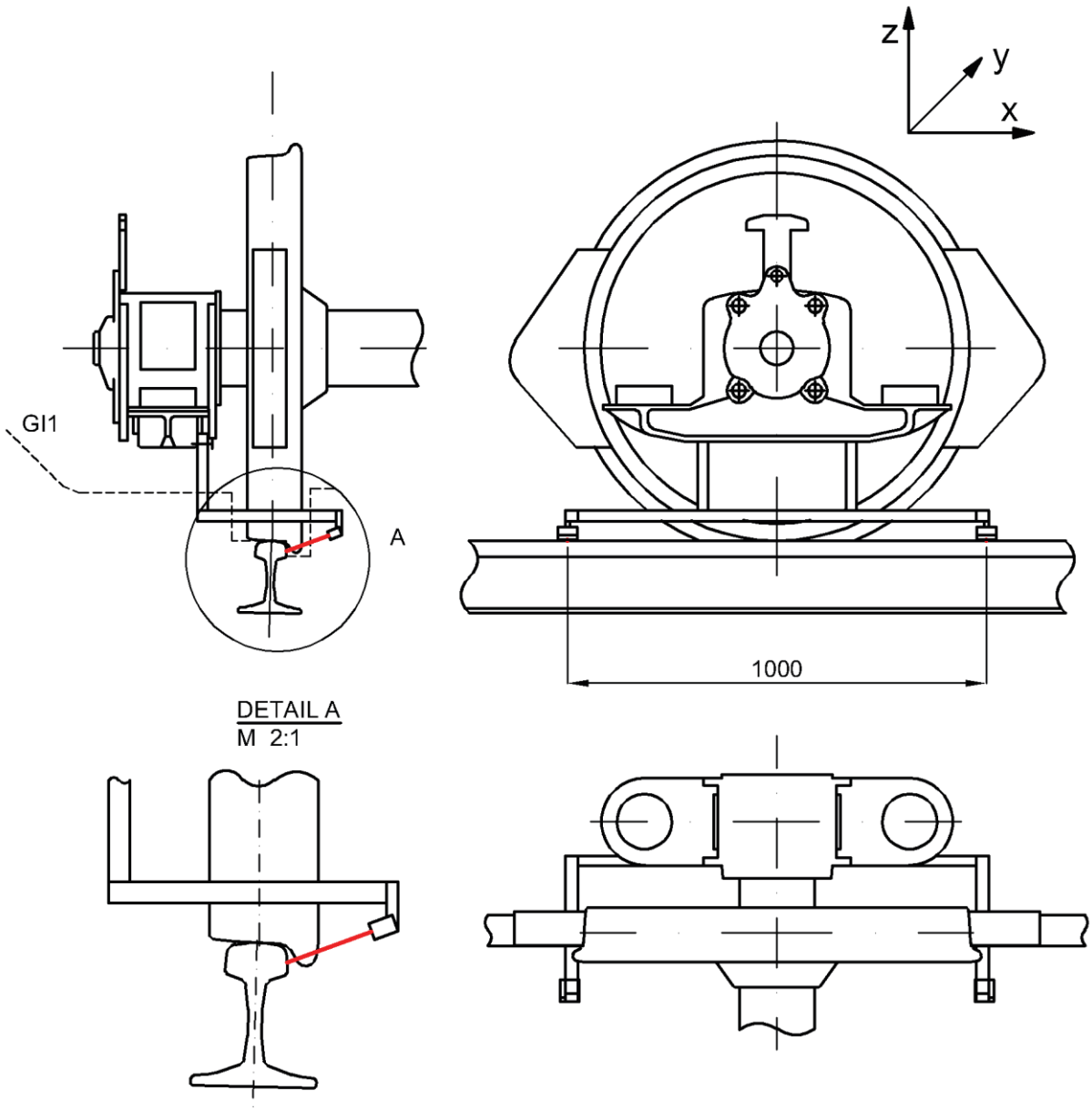
Pokud bude úhel $\beta = 0°$, možný příčný posun dvojkolí vůči koleji nebude omezovat měření. Pokud bude úhel sklonu měřící roviny β velmi malý, možný příčný rozsah měření y, který je omezen výškou hlavy kolejnice, bude větší než potřebný příčný posun snímače, který je dán velikostí měřícího rozsahu $m_R = 140$ mm (6). Z obr. 21 je patrné, že maximální sklon měřící roviny může být $\beta = 8{,}6°$. Opotřebovaná kolejnice snižuje schopnost měření. Zmenšuje se možný úhel sklonu měřící roviny β (obr. 20).



Obr. 21 Závislost možného příčného posuvu snímače *y* na úhlu sklonu měřící roviny *β* od vodorovné roviny.

Je zřejmé, že nastavení polohy snímačů musí být na nosném rámu umožněno ve větším rozsahu. Velikost rozdílu nového a zcela opotřebovaného kola je větší než výška hlavy kolejnice vhodná pro měření.

Při měření optickým snímačem je důležité mít správně nastavenou polohu snímače vůči povrchu měřeného objektu. Ideální poloha měřeného objektu je kolmá k laserovému paprsku. Čím větší bude úhel sklonu snímače, a tedy i paprsku od kolmé roviny na měřenou plochu objektu, tím bude intenzita odraženého paprsku menší a pravděpodobnost schopnosti měřit se zmenšuje.



Obr. 22 Bezkontaktní metoda měření se snímači mezi koly dvojkolí zastavena na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.

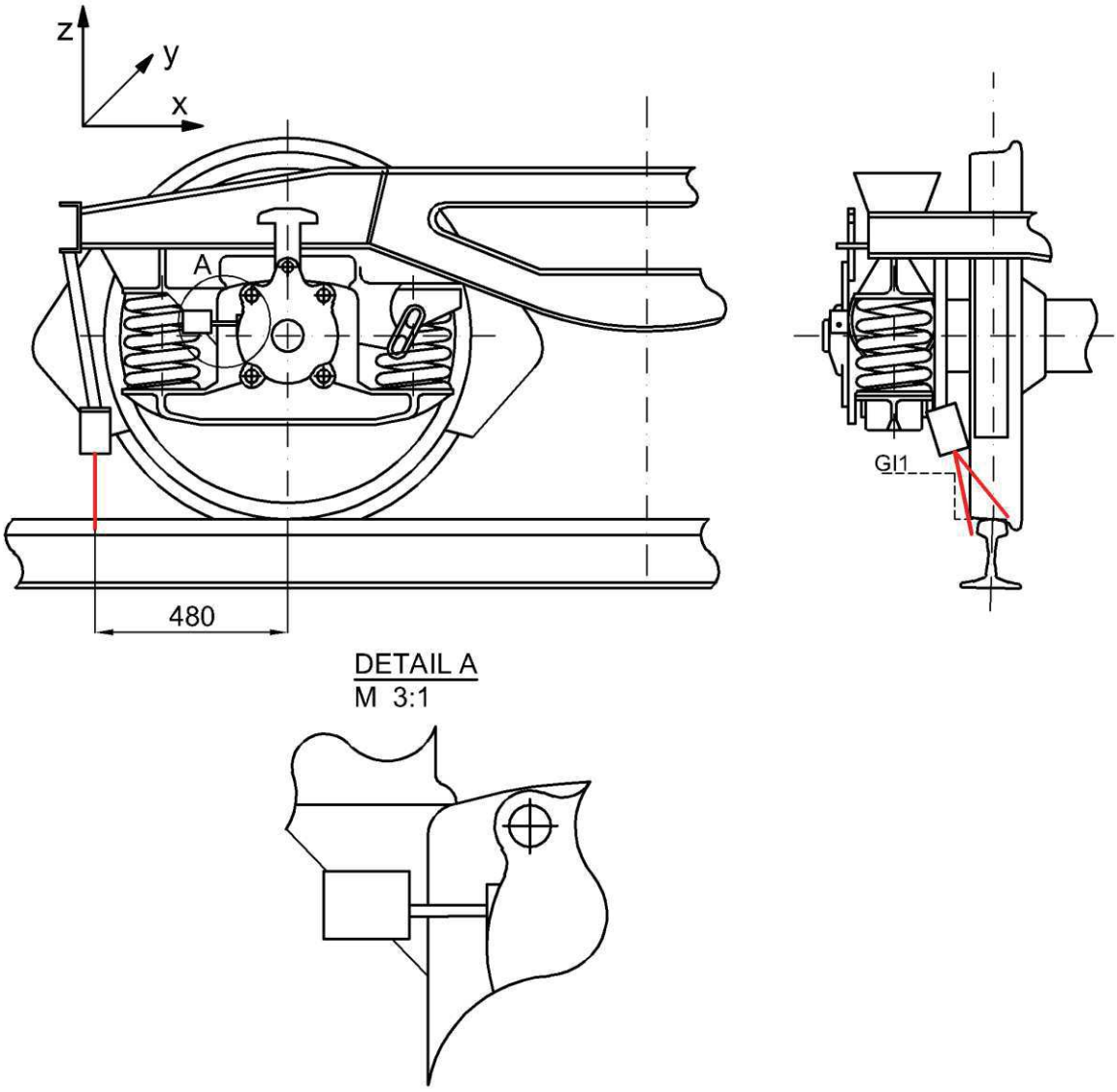
Je také možné umístit snímač mezi kola dvojkolí, aby byl měřeným místem vnitřní bok hlavy kolejnice (obr. 22). Výhodné je to z důvodu měření, kdy vnitřní bok hlavy kolejnice je díky kontaktu s okolkem udržován v obloucích s lesklým povrchem a bez koroze. Tedy je větší intenzita odraženého paprsku, jenž není rozptýlen do různých směrů jako při odrazu paprsku u nerovného povrchu.

Opět úhel sklonu měřící roviny β bude omezen. Úhel sklonu boku hlavy kolejnice od svislé roviny je menší, protože vlivem úklonu kolejnice se sklon zmenší. Tedy celkový sklon vnitřního boku kolejnice při úklonu 1:40 je 1,4°. Rozdíl oproti umístění snímačů na

vnějšku dvojkolí je zanedbatelný, konkrétně úhel sklonu měřící roviny se zmenší o 0,04° na hodnotu $\beta = 8{,}56°$.

4.2 Bezkontaktní měření se snímači na rámu podvozku

Snímače jsou umístěny na rámu podvozku (obr. 23). Pokud rám podvozku není vůči dvojkolí vypružen (např. nákladní podvozek Diamond), lze použít metoda měření příčných vzdáleností od boku hlavy kolejnice. Pro podvozky s primárním vypružením je nutné použít jinou metodu měření. Lze použít metodu měření, kdy je profilový optický snímač umístěn nad kolejnicí viz obr. 13. Bude však obtížnější zjistit rozdíl příčných vzdáleností z naměřených dat.

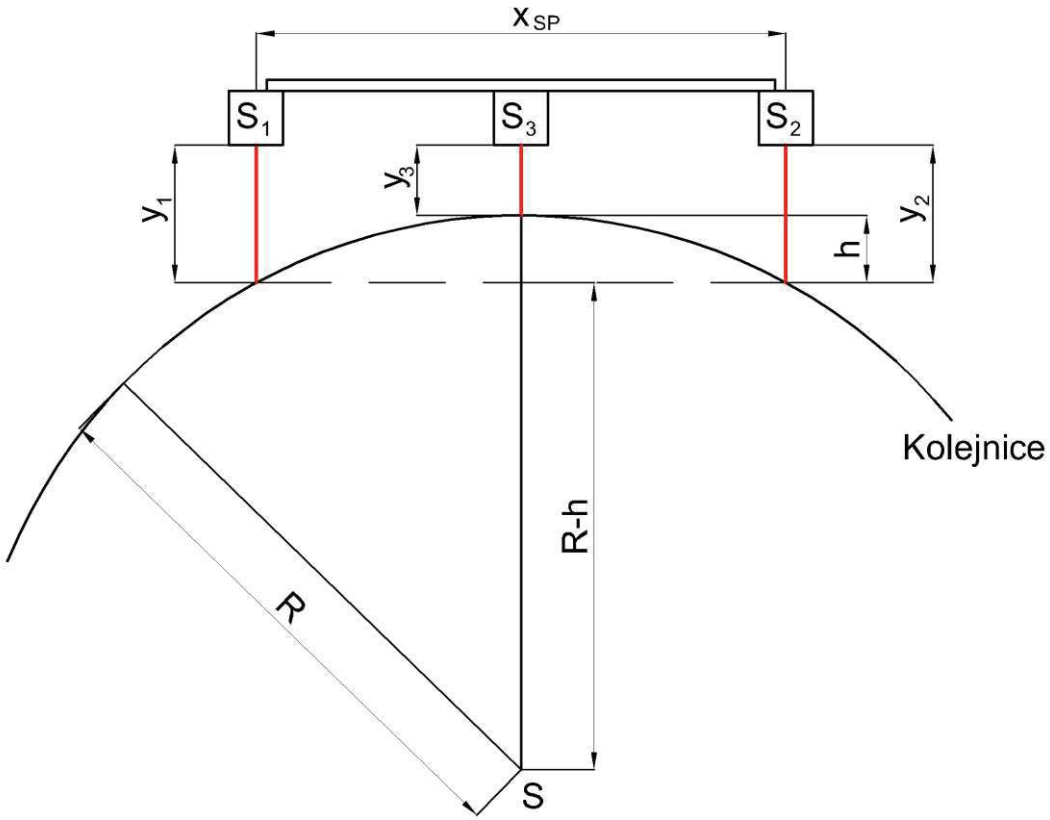


Obr. 23 Bezkontaktní metoda měření se snímači uchycenými k rámu podvozku Y25.

Snímač musí být umístěn co nejblíže kolu, aby se v oblouku vlivem natáčení podvozku nedostal částečně nebo zcela mimo kolejnici, jako je zobrazeno na obr. 13, konktrétně snímače označené jako S_E a S_F. A zároveň nesmí dojít ke kontaktu s kolejnicí vlivem deformace primárního vypružení.

Z naměřených hodnot určit příčný posun podvozku vůči koleji pravděpodobně nebude možné na základě posunu temena kolejnice. Zaoblení vrchní části hlavy kolejnice UIC 60 je $R = 300\ mm$ a také je tato plocha opotřebovávána. Při umístění snímače šikmo k ose kolejnice ($\beta \leq 90°$) je možné z naměřených dat obou snímačů určit maximální hodnotu ve svislé rovině a následně určit souřadnice na vhodném místě na boku hlavy kolejnice. Optický snímač měří diskrétně, nelze najít souřadnice bodu v naměřených datech. Vhodnou matematickou operací lze odvodit souřadnice bodu. Porovnávání naměřených dat bude zhoršovat primární vypružení, kdy snímače nebudou ve stejné výšce nad TK.

Další možností je umístit snímač v ose kolejnice ($\beta = 90°$), kdy budeme měřit šířku hlavy kolejnice a také budeme schopni určit příčný posun kolejnice vůči snímači. Problém bude hrana hlavy kolejnice, která je zaoblená. Určení velikosti šířky hlavy kolejnice bude pro optický snímač obtížné. Od zaoblené části povrchu je menší pravděpodobnost odrazu paprsek zpět do snímače.



Obr. 24 Geometrická konstrukce pro výpočet poloměru oblouku *R*.

V kapitole 4.2 je uvedeno, že pro určení úhlu náběhu dvojkolí je potřeba znát poloměr oblouku. Je možné poloměr oblouku měřit. Lze využit snímačů, které měří natočení podvozku vůči ose koleje, a doplnit snímačem umístěným uprostřed rámu. Pro určení poloměru oblouku je potřeba zjistit velikost vzepětí nad tětivou h (obr. 24). Následně poloměr určíme ze vzorce (10).

$$R = \frac{\left(\frac{x_{SP}}{2}\right)^2 + h^2}{2h} \tag{10}$$

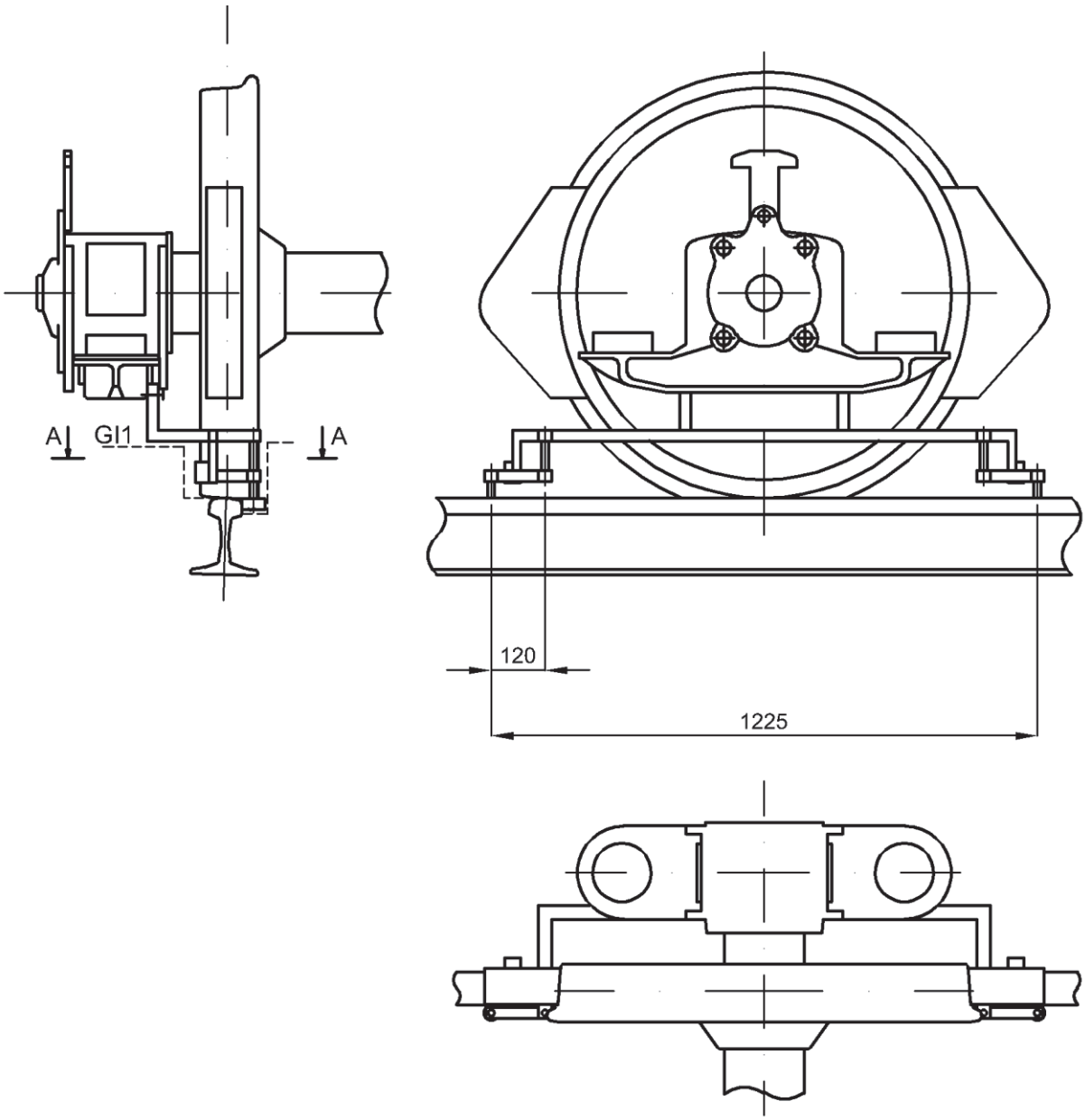
Na obr. 24 je patrné, že velikost vzdálenosti y_3 měřené snímačem umístěným uprostřed rámu podvozku bude záviset na velikosti naměřených vzdáleností y_1 a y_2. Způsobem výpočtu vzepětí nad tětivou h z naměřených vzdáleností y_1, y_2 a y_3 se tato práce nevěnuje.

4.3 Kontaktní měření se snímači na ložiskové skříni

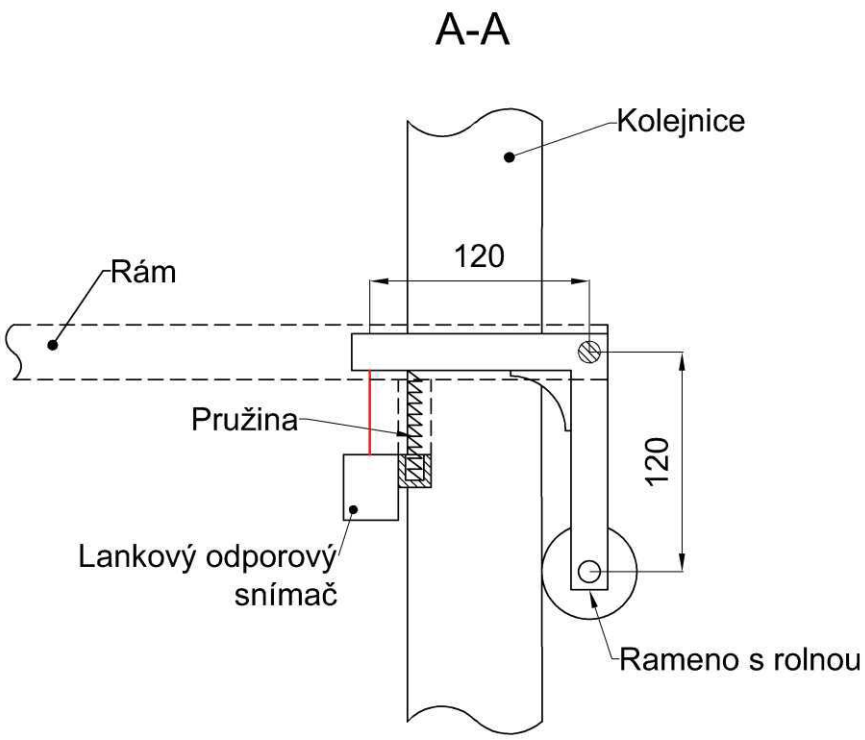
Pro získaní příčných vzdáleností je použita rolna s ložiskem, která bude v kontaktu s bokem hlavy kolejnice. Měří se vychýlení ramene vůči nosnému rámu.

Je více způsobů, jak měřit příčný pohyb dvojkolí vůči koleji a také více konstrukcí k uchycení rolny k ložiskové skříni. Je nutné zvolit konstrukci, která bude odolná vůči dynamickým účinkům vzniklých mezi rolnou a kolejnicí a také mezi kolem a kolejnicí.

Jako vhodná varianta konstrukce může být vodorovné rameno s rolnou, které se otáčí ve vodorovné rovině (obr. 25 a obr. 26). Taková konstrukce bude tuhá při podélných rázech, které mohou vznikat např. při průjezdu stykem.

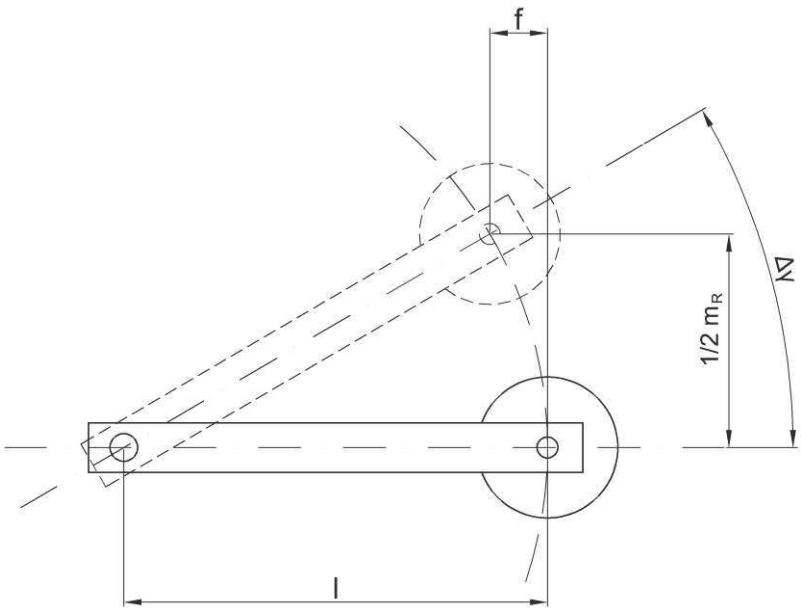


Obr. 25 Kontaktní metoda měření zastavěná na ložiskovou skříň podvozku Y25 s kolem o průměru 920 mm.



Obr. 26 Řez A-A z obr. 25.

Protože je rolna vázána k ramenu, které vykonává rotační pohyb, bude se i rolna pohybovat po kružnici. Úhel γ a délka ramene l bude ovlivňovat citlivost měření. V příčném řezu bude dotyk rolny s kolejnicí 14 mm pod TK, kde se také měří rozchod koleje. Pokud bude úhel $\gamma = 90°$ dojde k zablokování pohybu ramene v příčném směru, a tedy k neschopnosti měřit příčný pohyb.



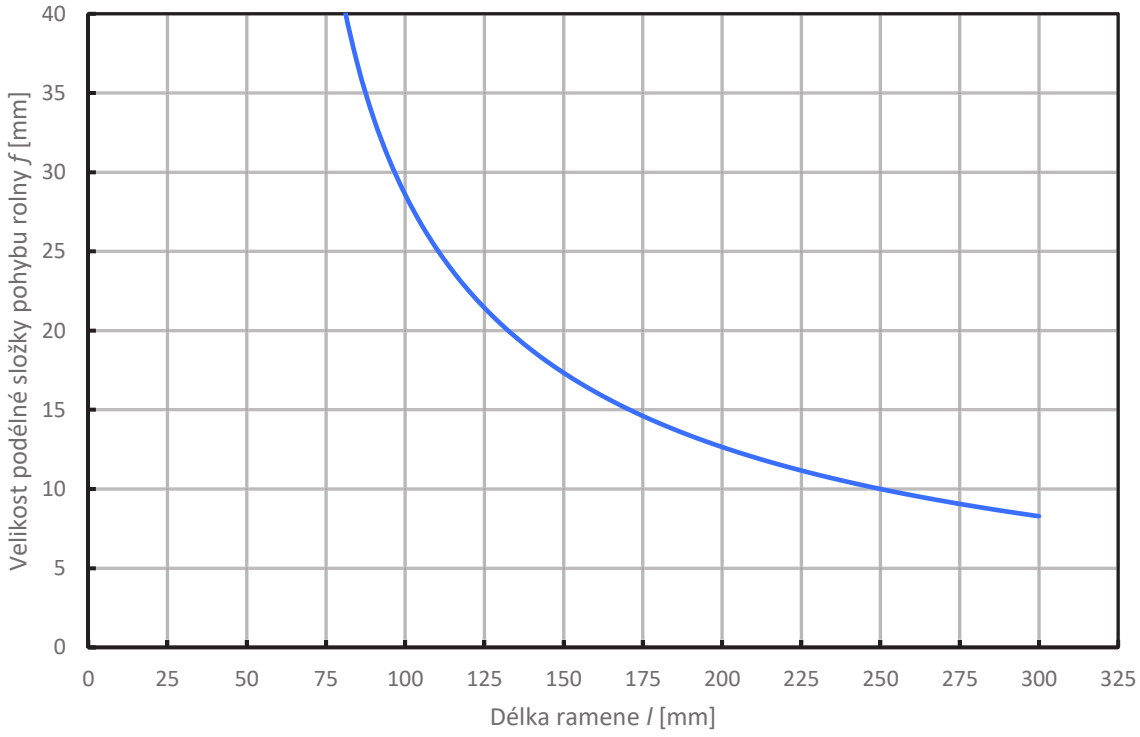
Obr. 27 Poloha ramene při vycentrované poloze dvojkolí a poloha ramene při maximálním natočení.

Délka ramene bude mít vliv na celkovou hmotnost a celkové rozměry soustavy. Tedy je nutné volit délku co nejmenší, ale zároveň dostatečně dlouhou k získání potřebné linearity měření.

Chceme měřit vzdálenost v příčném směru, ale rolna se vlivem rotačního pohybu ramene bude pohybovat po kruhové dráze. Pohyb rolny bude současně v příčném i v podélném směru (obr. 27). Pro velikost podélné složky pohybu rolny *f* při natáčení ramena bude platit vztah (11).

$$f = l - \sqrt{l^2 - \left(\frac{m_R}{2}\right)^2} \tag{11}$$

Z obr. 28 je patrno, že délka ramene by měla být alespoň 100 mm. Ale je lepší volit větší délku, aby byla podélná složka pohybu rolny *f* malá. Je zvolena délka ramene $l = 120$ mm, pro kterou je velikost podélné složky pohybu rolny $f = 22{,}5$ mm. Na obr. 26 můžete vidět rameno ve tvaru „L“. Převod je dán poměrem vzdáleností mezi osou otáčení ramene a osu otáčení rolny a vzdáleností mezi osou otáčení ramene a bodem měření na rameni. Pokud chceme zachovat alespoň převod *i* = 1, musí být velikosti jednotlivých částí ramene stejné. Část ramene, na které se nachází měří bod, je velikostně omezena obrysem pro vozidlo.



Obr. 28 Závislost podélné složky pohybu rolny *f* na délce ramene *l* při maximálním natočení ramene o úhel *Δγ*.

5. Snímače [8]

Požadavky na snímače vyplývají z kapitoly 2. Potřebný rozsah měření, který musí být minimálně 80 mm při vzdálenosti snímačů 1000 mm. Minimální vzdálenost snímače od kolejnice při vycentrované pozici podvozku v koleji musí být součet alespoň poloviny volného kanálu koleje a měřícího rozsahu, tedy min. 110 mm, aby nedošlo ke kontaktu mezi kolejnicí a bezkontaktním snímačem.

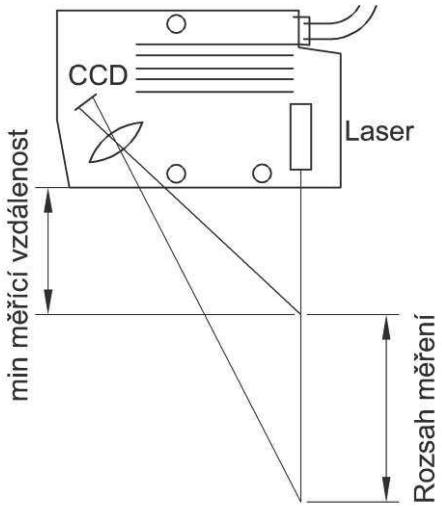
U kontaktního měření jsou nároky stejné, ale musíme přihlédnout ke konstrukci ramene. Tedy můžeme min. měřící vzdálenost zmenšit až na 0 mm. Potřebný rozsah měření bude ovlivňovat převod.

5.1 Optický snímač

Bezkontaktní měření na principu triangulace, kdy se laserový paprsek odráží od měřeného povrchu. Na citlivém prvku se mění poloha bodu dopadu paprsku v závislost na vzdálenosti snímače od měřeného povrchu. Při výběru snímače musíme brát ohled na omezení vyplývající z měřeného objektu. Pokud budeme chtít měřit vzdálenost od boku kolejnice, musíme uvažovat zaoblení hlavy kolejnice, drsnost povrchu nebo korozi pro vhodný výběr snímače. Optické snímače rozlišujeme podle metody měření na: bodový a profilový.

5.1.1 Bodový optický snímač

Místem měření na měřeném objektu je bod. Laser emituje paprsek světla, který se odrazí od měřeného povrchu a senzor CCD spolu s čočkou přijímají odražený laserový paprsek, jak je znázorněno na obr. 29. V tab. 1 jsou uvedeny bodové optické snímače, které jsou dostupné na trhu.



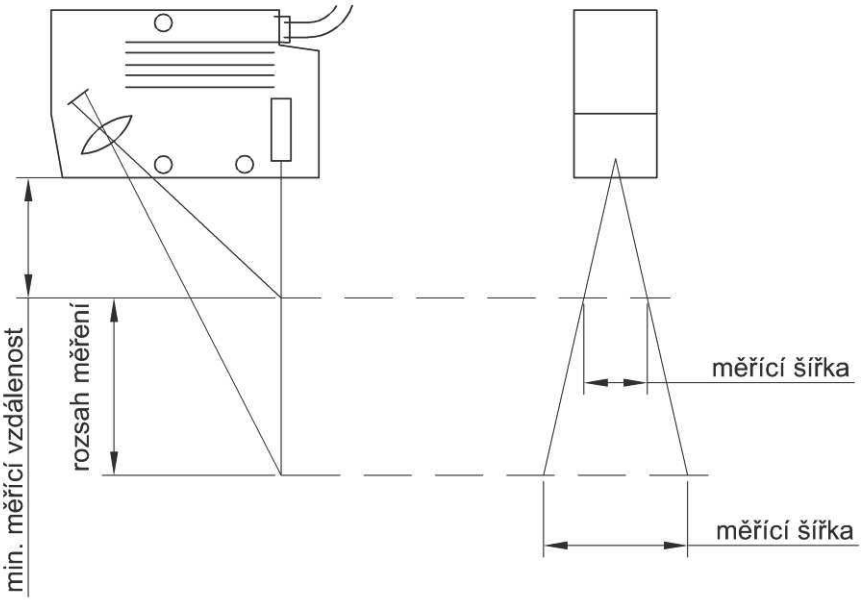
Obr. 29 Optický bodový snímač – princip triangulace.

Tab. 1 Přehled vhodných bodových optických snímačů.

Výrobce	Micro - epsilon	Pepperl - Fuchs	Sick	Omron
Produkt	ILD 1420-200	OMT100-R100-2EP-IO-V31-L	OD5-350W100	ZX1-LD300 A61
Min. měřící vzdálenost [mm]	60	80	250	150
Rozsah měření [mm]	200	300	200	300
Rozlišení [μm]	120	100	160	70
Max. dynamické zatížení [$m \cdot s^{-2}$]	15g	10g	50g	50g
Výška × Šířka × Délka [mm]	30×20×46	50×17×50	78×27×76	52,5×24,1×47
Cena [Kč]	10 000,-	7 600,-	6 800,-	18 000,-

5.1.2 Profilový optický snímač

Zdroj světla optického snímače produkuje laserové paprsky uspořádány v rovině (obr. 30). Šířka měření se s rostoucí vzdáleností od snímače zvětšuje. Také rozlišení je závislé na vzdálenosti měření od snímače. V tab. 2 jsou uvedeny vhodné profilové optické snímače. Snímač výrobce Omron v tab. 2 nesplňuje požadavek na měřící rozsah, ale může být použit pro měření poloměru oblouku.



Obr. 30 Profilový optický snímač.

Tab. 2 Přehled vhodných profilových optických snímačů.

Výrobce	Micro-epsilon	Omron	Leuze
Model	LLT 2600-100	ZG2-wDS70 0.6M	LPS 36
Min. měřící vzdálenost [mm]	125	162	200
Měřící rozsah [mm]	140	96	400
Rozlišení [µm]	12	6	100
Max. dynamické zatížení $[m \cdot s^{-2}]$	15g	15g	-
Min. příčný měřící rozsah [mm]	83,1	44	70
Max. příčný měřící rozsah [mm]	120,8	70	140
Výška × Šířka × Délka [mm]	98×33×85	115×38×75	160×56×74
Cena [Kč]	-	100 000,-	35 000,-

5.2 Další typy snímačů pro měření vzdálenosti

Při kontaktní měření vzdálenosti je potřeba snímač, který dokáže měřit příčný pohyb ramene. Není zapotřebí drahé a velmi přesné optické snímače. Pro měření vzdálenosti mezi dvojkolím a rámem podvozku je také vhodnější volit jiné typy snímačů než optické.

5.2.1 Snímač na principu vířivých proudů

Bezkontaktní způsob měření vzdálenosti. Oscilační obvod snímače vytváří v cívce magnetické pole. Jestliže se k cívce přiblíží objekt z elektricky vodivého materiálu dochází ke změně magnetického pole. V měřeném objektu se indukují vířivé proudy, které

prostřednictvím změny magnetického pole cívky změní impedanci cívky. Velikost impedance cívky ovlivňuje napětí oscilačního obvodu. Prach, vlhkost ani olej neovlivňují měření. Naopak snímač není odolný proti elektromagnetickému poli. Rozsah měření je omezený pouze na malé výchylky pohybu měřeného objektu v blízkosti snímače.

Měřená plocha musí být větší, než je průměr senzoru. Tato měřená plocha by měla být rovná a kolmá na směr měření, aby bylo dosáhnuto přesnosti měření.

Tab. 3 Příklady vhodných snímačů pracujících na principu vířivých proudů.

Výrobce	Micro-epsilon	Turck
Model	NCDT 3010 U15	BI15-M30-LI
Min. měřící vzdálenost [mm]	1,5	2
Měřící rozsah [mm]	15	8
Rozlišení [µm]	0,75	5
Průměr × Délka [mm]	Ø37×85	Ø30×60
Cena [Kč]	5 000,-	2 000,-

5.2.2 Odporové

Odporový snímač (tab. 4) je citlivý na elektromagnetické pole a teplotu. Je možné volit snímač s bubnem, na které se navíjí lanko. Konec lanka musí být připevněn k měřenému objektu. Nebo je možné zvolit snímač s posuvným hrotem.

Tab. 4 Příklady vhodných lankových odporových snímačů.

Výrobce	Micro-epsilon	Siko	Megatron
Model	WPS-150-MK30	SG5	MMR10
typ	lankový	lankový	posuvný
Min. měřící vzdálenost [mm]	0	0	8
Měřící rozsah [mm]	150	600	7
Rozlišení [µm]	100	300	100
Výška × Šířka × Délka [mm]	46×30×36	29×33×41	7,3×8,2×37
Cena [Kč]	3 000,-	5 000,-	-

5.2.3 Induktivní (LVDT)

Snímač obsahuje 2 cívky, skrz které prochází pohyblivé feromagnetické jádro. Snímač je uspořádán diferenciálně. Díky tomu se statická převodní charakteristika ve většině měřícího rozsahu vyznačuje konstantní citlivostí. Ve výchozí pozici jádro ovlivňuje obě cívky stejně, ale při vychýlení jádra se vzájemná indukčnost změní, a změní se tedy i výstupní napětí. Tento způsob měření umožňuje rozpoznat i směr vychýlení jádra. Tab. 5 porovnává vhodné induktivní snímače.

Tab. 5 Příklady vhodných induktivních snímačů.

Výrobce	Micro-epsilon	RDP
Model	DTA 10D	ACT 500
Měřící rozsah [mm]	±10	±12,5
Rozlišení [μm]	100	60
Průměr × Délka [mm]	Ø10×135	29×33×41
Cena [Kč]	3 000,-	6 000,-

5.3 Rolna

Měřící vlastnosti celé soustavy také ovlivňuje rolna. Rolna je umístěna na vnitřní straně boku hlavy kolejnice v místě určeném pro okolek. Podle obrysu pro vozidlo je šířka dovoleného prostoru pro okolek 58 mm, což může být maximální průměr rolny (obr. 18).

Tab. 6 Příklad rolny.

Výrobce	Matis
Ložisko	jehličkové
Max. rychlost [km/h]	23,5
Max. přítlačná síla [N]	21 100
Průměr × Výška [mm]	Ø52×24

6. Porovnání jednotlivých způsobů měření

Jednotlivé varianty měření úhlu náběhu dvojkolí se od sebe liší ve více vlastnostech, než je v této práci uvedeno. Např. odolnost vůči povětrnostním vlivům nebo náročnost na hardware a software. Není provedena pevnostní kontrola rámu, únosnost spoje mezi rámem a ložiskovou skříní, ani únosnost pohyblivého spoje mezi rámem a ramenem. Další vlastnosti jednotlivých způsobů měření, které je důležité uvést, jsou:

- U přímé metody bezkontaktního způsobu měření není ověřeno, pro jaké úhly sklonu měření β od vodorovné roviny bude snímač schopen měřit. Snímače musejí být umístěny mimo obrys pro vozidlo. Snímače jsou součástí neodpružené hmoty, na které působí vibrace. Velikost vibrací je úměrná k rychlosti jízdy vozidla. Tedy i pro tuto metodu bude platit omezení rychlosti jízdy. Vybrané snímače dokáží měřit přesněji, než je požadovaná přesnost. Lze tedy předpokládat přesnější výpočet úhlu náběhu dvojkolí. Tento způsob měření byl využit při měření úhlu náběhu dvojkolí v obloucích o poloměru $R = 300 \div 500$ m při rychlostech jízdy $v = 10 \div 30$ km/h, jak je uvedeno v lit. [2].
- Pro nepřímou metodu bezkontaktního způsobu měření je nutné ověřit a dále dopracovat metodu měření natočení podvozku vůči ose koleje. Rychlost měření je neomezená. Tento způsob měření byl využit při měření úhlu náběhu dvojkolí v oblouku o poloměru R = 400 m při rychlosti v = 110 km/h, jak je uvedeno v lit. [5].
- U kontaktního způsobu měření je výhodou možnost zvýšení citlivosti měření převodem, relativně jednoduchá montáž, jednoduché ověření správnosti měření, cena a dodržení obrysu pro vozidlo. Není řešena pružina, která bude přitlačovat rolnu k boku hlavy kolejnice. Je zapotřebí zvolit vhodný typ, tuhost a rozměry pružiny. Maximální rychlost 23,5 km/h je dána maximálními otáčkami rolny (tab. 6).

Tab. 7 Porovnání jednotlivých způsobů měření.

Způsob měření	metoda	omezení	Cena [Kč]	rychlost jízdy
Bezkontaktní	přímá	neodpružené hmoty, nesplnění obrysu pro vozidlo	80 000,-	neomezena
	nepřímá	menší přesnost	210 000,-	neomezena
Kontaktní		neodpružené hmoty, vibrace	40 000,-	omezena max. otáčkami rolny

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnou systém pro měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle. V teoretické části této práce jsou uvedeny faktory, které ovlivňují velikost úhlu náběhu dvojkolí.

Pokud se bude měření provádět na trati s vyšší dovolenou rychlostí než 60 km/h, bude úhel náběhu dvojkolí menší vlivem menšího volného kanálu koleje. Pro poloviční volný kanál koleje ($2\sigma = 30$ mm) bude úhel náběhu dvojkolí poloviční ($\alpha_{VZ} = 1{,}3°$) při rozvoru podvozku $2a = 1800$ mm a poloměru oblouku $R = 150$ m. Nároky na měřící rozsah snímače rapidně klesají.

Zvolil jsem přesnost měření úhlu náběhu $\Delta\alpha = 0{,}05°$, kdy tato přesnost měření je dostatečná a zároveň méně náročná na přesnost měření snímače. Při vzdálenosti snímačů $x_S = 1000$ mm je požadovaná přesnost měření příčných vzdáleností $e = 0{,}88$ mm viz obr. 10.

Dále byla provedena analýza možností měření úhlu náběhu dvojkolí na vozidle. Pro měření úhlu náběhu dvojkolí jsem vybral metody měření, kde jsou snímače uchyceny k ložiskové skříni nebo k rámu podvozku. Metodu měření se snímači uchycenými k ložiskové skříni jsem vybral z důvodu jednoduchého výpočet úhlu náběhu dvojkolí z naměřených hodnot. Metoda měření se snímači uchycenými na rámu podvozku jsem vybral z důvodu možnosti měření při vysokých rychlostech.

Definice požadavků na měřící systém je proveden v kapitole 3. Doporučuji provést měření zrychlení na ložiskové skříni pro návrh vypružení snímačů. Snímač nesmí být vystaven zrychlení, které způsobí jeho destrukci.

Jednotlivé způsoby měření úhlu náběhu dvojkolí jsou uvedeny v kapitole 4. Jsou rozděleny na dvě skupiny: kontaktní a bezkontaktní způsob měření. Vybral jsem vhodné snímače pro měření kontaktním i bezkontaktním způsobem. Pro výběr nejvhodnějšího snímače doporučuji konzultaci s výrobci snímačů. Obzvláště u optických snímačů, kde existuje více provedení. Porovnání jednotlivých způsobů měření úhlu náběhu je uvedeno v kapitole 6.

U bezkontaktního způsobu měření se snímači uchycenými na ložiskovou skříň doporučuji provést experiment měření s různými polohami snímačů vůči koleji. Je potřebné ověřit schopnost měření optických snímačů při různých úhlech sklonu měřící roviny β.

Nejvhodnější způsob měření úhlu náběhu dvojkolí pro vysoké rychlosti je měření se snímači uchycenými na rámu podvozku. Snímače jsou vypruženy a dle lit. [5] byla rychlost jízdy při měření 110km/h [5]. Doporučuji ověřit schopnost určit příčné vzdálenosti z naměřených dat. Dále doporučuji provést výpočet vzepětí nad tětivou s použitím dat z měření úhlu natočení rámu podvozku vůči ose koleje, pokud bude nutné měřit poloměr oblouku.

Návrh konstrukčního řešení zástavby měřícího systému na nákladní podvozek Y25 je uveden v kapitole 4.

Doporučuji provést pevnostní kontrolu nosného rámu, ověření pevnosti pohyblivého spoje mezi rámem a ramenem a návrh spojení rámu s ložiskovou skříní. Dále návrh pružiny a popřípadě návrh rolny. Pokud zvýšíme dovolené otáčky rolny, zvýšíme i rychlost jízdy při měření.

Práce neuvádí způsob optimalizace polohy snímačů a ověření správného měření měřící soustavy. Dále práce neuvádí související HW, SW a validaci vypočítaných výsledků porovnáním vypočteného a skutečného úhlu náběhu dvojkolí.

Literatura

[1] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T. *Teorie vozidel: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, dislokované pracoviště Česká Třebová, 2013. ISBN 978-80-7395-652-3.

[2] DOI K.: JR EAST Technical Review No.19-Winter 2011 [online]. 2011 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: https://www.jreast.co.jp/e/development/tech/pdf_19/Tec-19-46-49eng.pdf

[3] ČSN 73 6360-2, 2009. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. Praha: ÚNMZ.

[4] ČSN 73 6360-1, 2008. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování. Praha: Český normalizační institut.

[5] MIYAMOTO, M., FUJIMOTO, H., OKABE, T., SATO, E.: *New Measuring Methods for Wheelset Angle of Attack of Railway Vehicleon Curve*, JSME International Journal, Vol. 37, pp. 292-299, 1994.

[6] ČSN EN 15273-2 +A1, 2017. Železniční aplikace – Průjezdné průřezy tratí a obrysy vozidla – Část 2: Obrysy vozidla. Praha: ÚNMZ.

[7] IZER, J. a kol.: *Kolejové vozy*. 1. vydání. Bratislava: ALFA, 1986. 380 s..

[8] JENČÍK, J., VOLF, J. a kol.: *Technická měření*. Praha: ČVUT v Praze, 2000. ISBN 80-01-02138-6.

[9] Produkty. Pepperl+Fuchs [online]. Praha: Pepperl+Fuchs, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.pepperl-fuchs.com/czech_republic/cs/21.htm

[10] Produktové portfolio. Sick [online]. Praha: Sick, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/c/PRODUCT_ROOT

[11] Produkty. Omron [online]. Praha: Omron, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/products

[12] Senzory, snímače. Micro-Epsilon [online]. Praha: Micro-Epsilon, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.micro-epsilon.cz/

[13] Products. Leuze [online]. Owen: Leuze, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://leuze.com/en/deutschland/produkte/index.php

[14] Product groups. Truck [online]. Hradec Králové: Hans Truck, c1999-2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/

[15] PositionLine: Position Indicators. *Siko* [online]. Buchenbach: Siko, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.siko-global.com/en-de/products

[16] Katalog produktů. *Megatron* [online]. Praha: Megatron, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.megatron.cz/katalog-produktu

[17] Menu of Displacement Transducers. *Rdpe* [online]. Wolverhampton: RDP Electronics, 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.rdpe.com/uk/men-disp.htm

[18] Produkty. *Matis* [online]. Brno: matis, c2018 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: http://www.matis.cz/cs/info/produkty