Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Nesymetrie uložení kusových zásilek na nákladních vozech

Libor Výmola

Bakalářská práce
2020

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Libor Výmola**
Osobní číslo:	**D17175**
Studijní program:	**B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor:	**Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**
Téma práce:	**Nesymetrie uložení kusových zásilek na nákladních vozech**
Zadávající katedra:	**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Proveďte rozbor vlivu nesymetrie ložení nákladních vozů kusovými zásilkami na změnu nápravového zatížení, resp. statických kolových sil. Při zpracování zohledněte též legislativní požadavky a proveďte jejich výklad. Pro vybraný typ kusových zásilek vytvořte obecný automatizovaný výpočetní postup pro okamžité ověření správnosti uložení nákladu na voze. Vypracujte:

1. Přehled typů nákladních vozů ČD Cargo, a.s. určených pro přepravu kusových zásilek.
2. Legislativní požadavky pro ukládání kusových zásilek na nákladní vozy.
3. Rozbor vlivu nesymetrie uložení nákladu na velikost kolových sil.
4. Zpracování výpočetního postupu pro uložení konkrétního typu nákladu.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ŠREJTR J.: Technická mechanika I. – Statika. Státní nakladatelství technické literatury, Vydání 2., přepracované, 532 s., Praha, 1957.
2. BEER F. P., JOHNSTON E. R., MAZUREK D. F., CORNWELL P. J., EISENBERG E. R.: Vector Mechanics for Engineers – Statics and Dynamics. McGraw-Hill Companies, New York, 2009. ISBN 978-0-07-352940-0.
3. Nakládací směrnice UIC: Kodex pro nakládku a zajištění nákladu na vozidlech v železniční nákladní dopravě, Svazek 1 – Zásady, 3. vydání, Generální ředitelství ČD Cargo, a.s., Mezinárodní železniční unie, 2019.
4. ČSN EN 15528+A1: Železniční aplikace – Trať ové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly, UNMZ, 2013.
5. Technická dokumentace výrobců nákladních vozů.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aleš Hába, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **18. února 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2020**

L.S.

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

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. února 2020

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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Prostějově dne 19. 3. 2020

Libor Výmola

Poděkování

Úvodem bych rád předně poděkoval mému vedoucímu práce panu Ing. Aleši Hábovi, Ph.D., který mi vždy prostřednictvím odborných konzultací poskytl rady a věcné připomínky, které vedly k úspěšnému dokončení této práce. Děkuji také panu Stanislavu Hamouzovi, vedoucímu skupiny přeprav nebezpečných věcí a bezpečného nakládání ČD Cargo, a. s. za poznatky z praxe a za připomínky k práci.

Zároveň bych rád poděkoval panu doc. Ing. Petru Voltrovi, Ph.D., za velmi přínosné hodiny bakalářského semináře.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia a mým studentským kolegům Matějovi Michalcovi a Zdeňkovi Fišrovi za pomoc a rady nejen při tvorbě bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na vyšetřování uložení nákladů na nákladních vozech, které nelze ložit souměrně. Vzniká tak nerovnoměrné zatížení na nápravu a na kola. V práci jsou objasněny pojmy a vztahy z nakládací směrnice UIC a provedeny analýzy extrémů podmínek, které směrnice stanovuje. Dále je popsán způsob, kterým lze z hlediska mechaniky ložení nákladů vyšetřovat a je proveden výpočet konkrétního zadání od ČD Cargo, a. s.

Klíčová slova

nákladní vůz, náklad, nesymetrie, kolové síly, zatížení, nakládací směrnice

Title

Unbalanced loading of piece consignments on cargo wagons

Abstract

The bachelor thesis is focused on the investigation of cost saving on trucks that cannot be loaded symmetrically. This results in uneven axle and wheel loads. The thesis explains the terms and relations of the UIC loading directive and analyzes the extremes of conditions that the directive specifies. The thesis describes the method by which the cost-loading mechanics can be investigated and the calculation of a specific assignment from ČD Cargo, a. s. is executed.

Key words

freight wagon, cargo, asymmetry, wheel forces, load, loading directive

Obsah:

Úvod 10
1 Legislativní požadavky na ložení vozů 11
1.1 Traťové třídy 11
1.2 Ložná hmotnost a rychlost vozu 12
1.3 Rozložení nákladu 13
1.3.1 Nesymetrie ložení na jedné nápravě 13
1.3.2 Nesymetrie ložení mezi podvozky nebo mezi nápravami 17
1.4 Jednotlivá zatížení 17
1.4.1 Náklad ležící na podlaze vozu nebo na čtyřech příčných podložkách 17
1.4.2 Náklad ležící na dvou příčných podložkách 19
1.4.3 Rastry a příklady výpočtu 19
1. příklad výpočtu 20
2. příklad výpočtu 21
3. příklad výpočtu 25
2 Řešení ložení kontislitků na vozech Sggrrs 30
2.1 Výpočet přes staticky určitou úlohu dělením na roviny 31
2.1.1 Dodržení poměru zatížení na podvozek 3:1 31
2.1.2 Analýza extrému podmínky zatížení na podvozek 3:1 33
2.1.3 Dodržení u každé nápravy poměru zatížení na kolo 1:1,25 36
Palety jsou všechny otočeny souhlasně za sebou 37
Palety jsou všechny otočeny střídavě 39
2.1.4 Analýza extrému podmínky zatížení na kolo 1,25:1 42
2.2 Výpočet kolových sil řešením staticky neurčité úlohy 44
2.2.1 Vůz Sggrrs staticky neurčitou metodou při souhlasném otočení palet 47
2.2.2 Vůz Sggrrs staticky neurčitou metodou při střídavém ložení palet 52
2.2.3 Analýza extrému s využitím staticky neurčité úlohy 56
2.2.4 Vyšetření reakcí zjednodušeným statickým výpočtem ve dvou rovinách 62
2.3 Porovnání výsledků v případě podélně souměrného ložení 66
2.3.1 Poměr reakcí (*R1, R2*) ze staticky určité úlohy řešené dělením na roviny 66
2.3.2 Poměr reakcí (*R1, R2*) z výpočtu přes staticky neurčitou úlohu 67
2.3.3 Porovnání poměrů reakcí (*R1, R2*) 70
3 Obecný postup ověřování podmínek Nakládací směrnice UIC při ložení nákladu na vůz 71

4 Aplikace pro výpočet statických kolových sil při ložení kontislitků na voze Sggrrs 73
4.1 Popis aplikace 73
4.2 Možnosti dalšího vývoje aplikace 75
Závěr 76
Seznam literatury 77
Seznam příloh 78

Úvod

Nákladní doprava je nedílnou součástí železnice a má své ekonomické přednosti při přepravě velkých objemů nákladu na velké vzdálenosti [1, s. 27]. Dopravci uzpůsobují svoje flotily železničních vozů požadavkům zákazníků a v posledních letech dokáží po železniční infrastruktuře přepravit prakticky cokoli (sypké materiály, kapaliny, kusové zásilky i celé kamiony s vlastním nákladem). V současnosti je trendem kontejnerová doprava, která se neustále rozvíjí. Existují však případy, kdy jednotlivé kusové zásilky není vhodné přepravovat v kontejnerech a jejich přeprava musí být řešena jinak. Každý dopravce usiluje o co nejvíce efektivní ložení nákladu na své vozy, ale zároveň tak, aby dodržel veškeré podmínky přepravy. Zároveň dopravce urychluje nakládku a vykládku zboží natolik, aby nevznikaly zbytečné prostoje a vozy se mohly účastnit jiného transferu [1, s. 25].

Zadání této práce vychází z podnětu společnosti ČD Cargo, a. s., která řeší, jak efektivně převážet ocelové kontislitky na svých vozech. Kontislitky se převáží na paletách RWP-Steel v různých hmotnostech a různých délkách. Jelikož to jsou kulatiny, představují typický příklad, kdy po nakládce na vůz může vzniknout nesouměrné zatížení jednotlivých částí vozu. Právě nesymetrii ložení nákladu, či nesymetrii zatížení jednotlivých částí vozu je věnován text této bakalářské práce.

Bakalářská práce se zaměřuje na podmínky přepravy, které stanovuje Nakládací směrnice UIC a podrobněji popisuje výpočtové postupy dané směrnicí. Dále práce obsahuje analýzy extrémů, které způsobí nesymetrické ložení nákladů. Veškeré výpočty se následně aplikují na řešení konkrétního zadání ložení kontislitků od společnosti ČD Cargo, a. s. Jako příloha je vytvořena jednoduchá excelovská aplikace, která interaktivně zobrazuje, jak se liší zatížení kol v rámci jedné nápravy při různém ložení ocelových kontislitků. Součástí práce je též přehled nákladních vozů společnosti ČD Cargo, a. s., které umožňují přepravu kusových zásilek.

1 Legislativní požadavky na ložení vozů

Ložení železničních nákladních vozů se řídí podle předpisů, norem a obecných zásad. Nejdůležitější je technická norma ČSN EN 15528 [2] o traťových třídách zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly. Všechna nutná opatření k nakládce a zajištění zboží na železničních vozech pak lze nalézt v Nakládacích směrnicích UIC [3]. Cílem nakládacích směrnic je optimalizace způsobu ložení a zajištění zboží z hlediska hospodárnosti, ale i bezpečnosti. Směrnice zaručují bezzávadnou přepravu zboží a bezpečnost provozu.

Z hlediska analýzy výpočtu uložení nákladu na vozech je nutné popsat, jaké podmínky je potřebné dodržet při ložení železničních vozů. Základním parametrem je hmotnost, jakožto fyzikální veličina vyjadřující míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků hmoty. Znamená to tedy, že je-li náklad o určité hmotnosti naložen na železniční vůz, pak tento náklad působí tíhovou silou ($F_G = m \cdot g$) na vůz a spolu se samotnou tíhou vozu na kolejnicové pásy pod vozem. S ohledem na únosnost koleje je zapotřebí odpovídajícím způsobem hmotnost omezit.

Omezení a úpravy týkající se tohoto tématu zahrnují traťové třídy, nejvýše přípustné ložné hmotnosti a také rozložení nákladu a řešení jednotlivých zatížení uprostřed vozu.

1.1 Traťové třídy

Dle [4] je traťová třída[1] parametrem, který udává schopnost železniční tratě bezpečně nést vozidlo určité hmotnosti na nápravu a hmotnosti připadající na běžný metr délky daného vozidla. Traťové třídy jsou označeny písmeny A až E označujícími zatížení na nápravu a číslicemi 1 až 5 označujícími zatížení na běžný metr vozu. Upřesnění je uvedeno v české technické normě ČSN EN 15528. Traťová třída zatížení tedy reprezentuje schopnost infrastruktury (koleje, kolejového podloží, zemního tělesa a souvisejících staveb) odolat svislému zatížení, kterým vozidla působí na trať nebo na části trati při pravidelném provozu [2, s. 10]. Traťové třídy pak logicky ovlivňují konstrukci železničních vozidel (zejména hnacích) a určení ložné hmotnosti železničních vozů. Mapa traťových tříd České republiky je uvedena v příloze č. 3.

Hmotnost na nápravu ($\boldsymbol{m_N}$) je dána jako podíl celkové hmotnosti vozidla včetně nákladu ($\boldsymbol{m_c}$) a počtu náprav ($\boldsymbol{N}$).

$$m_N = \frac{m_c}{N}; [m_N] = t$$

Hmotnost na jednotku délky ($\boldsymbol{m_L}$) je dána jako podíl celkové hmotnosti vozidla včetně nákladu ($\boldsymbol{m_c}$) a délky vozu přes nárazníky ($\boldsymbol{l_N}$) [5, s. 22].

$$m_L = \frac{m_c}{l_N}; [m_L] = t \cdot m^{-1}$$

Pro určité přepravy, vozy či tratě mohou být sjednány mezi provozovatelem dopravní cesty a dopravcem zvláštní dohody [3, s. 3-1].

[1] viz. Tabulka 1

Tabulka 1 – Traťové třídy [3, s. 3-1]

Traťová třída	nejvýše přípustná hmotnost na nápravu [t]	Nejvýše přípustná hmotnost na běžný metr vozu [t/m]
A	**16**	**5,0**
B_1	**18**	**5,0**
B_2	**18**	**6,4**
C_2	**20**	**6,4**
C_3	**20**	**7,2**
C_4	**20**	**8,0**
D_2	**22,5**	**6,4**
D_3	**22,5**	**7,2**
D_4	**22,5**	**8,0**
E_4	**25**	**8,0**
E_5	**25**	**8,8**

V souladu s TSI WAG [6] a ČSN EN 15528 může být na tratích třídy C u vozů s hmotností na nápravu 20 t tato hodnota překročena až o 0,5 tuny ale jen pro následující dva případy [3, s. 3-1]:

- u dvounápravových nákladních vozů o délce přes nárazníky v rozmezí 14,1 až 15,5 metru, aby jejich potřebné zatížení bylo zvýšeno na 25 t (umožňuje dosáhnout vyšší ložné hmotnosti vozu)
- u nákladních vozů s max. hmotností 22,5 t na nápravu k vyrovnání jejich vyšší vlastní hmotnosti, která vyplývá z konstrukčních změn k dosažení této hmotnosti na nápravu

Za těchto podmínek nesmí být překročena hmotnost na kolo 11,1 t.

V případě nově konstruovaných a schválených vozidel postavených v souladu s TSI WAG je toto nařízení již zohledněno v zátěžové tabulce pro třídu „C“[2] [3, s. 3-1].

1.2 Ložná hmotnost a rychlost vozu

Dle [7] ložná hmotnost představuje největší možnou hmotnost nákladu s ohledem na dodržení hmotností dle traťových tříd a s ohledem na rychlost, kterou může být náklad přepravován. Tato rychlost závisí na konstrukčních parametrech a technických charakteristikách (např. brzda) vozu. Rychlosti se označují písmeny „S“ = 100 km/h a „SS“ = 120 km/h; popřípadě přímo číslicemi. Směrodatné nejvýše přípustné ložné hmotnosti jsou napsány na voze a jsou omezeny nejnižší traťovou třídou na přepravní cestě [3, s. 3-1].

Jsou-li hmotnosti v příslušné rychlostním režimu pro traťové třídy B_1 a B_2 stejně velké je přípustná hmotnost udávána pouze jedním písmenem B. Obdobně tak i v dalších třídách (C a D) [8, s. 35].

[2] konstrukčně je vůz proveden tak, že hmotnost na nápravu je 20,5 t, nicméně popis, který je na skříni vozu je třída „C“

	A	B_1	B_2	C
S	40,5	46,5	48,5	

	A	B	C
S	38,5	46,5	54,5
SS	00,0		

Obr. 1 – Ložné hmotnosti vozu Eas (vlevo) a vozu Roos (vpravo), [9]

Jednotlivé tabulky ložných hmotností se mohou lišit. Zobrazují vždy potřebné údaje pro provoz. Na Obr. 1 jsou zobrazeny dva příklady. Vůz Eas lze provozovat pouze v rychlostním režimu „S" tedy 100 km/h. Naopak vůz Roos je možno přepravovat i v režimu „SS" tedy 120 km/h, ale pouze prázdný.

1.3 Rozložení nákladu

Rozložením nákladu je myšlena poloha nákladu na podlaze vozu. Dle [3, s. 3-2] se náklad na vozech zpravidla nakládá tak, aby síly působící na podvozky či nápravy byly rovnoměrné Musí být taktéž splněna podmínka nepřekročení maximální přípustné hmotnosti na nápravu. Zejména v případě přepravy kusových zásilek se vždy nemusí podařit náklad ložit rovnoměrně. Příkladem jsou ocelové kontislitky, které mají tvar válce a velkou hmotnost. Podmínky rozložení nákladu stanovuje přímo Nakládací směrnice UIC.

1.3.1 Nesymetrie ložení na jedné nápravě

U každé nápravy železničního vozu je dovoleno zatížení na kola maximálně v poměru 1,25:1[3] [3, s. 3-3].

Zavedeno:

$\boldsymbol{F_{R1}, F_{R2}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{F_T}$ – tíhová síla vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{Pa}}$ – tíhová síla ložné jednotky na uvažované nápravě, případně podvozku; [N]
$\boldsymbol{s_T}$ – vzdálenost těžiště ložné jednotky od středu vozu v příčném směru; [m]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol ($\mathbf{1500\ mm}$) pro rozchod koleje 1435 mm

Platí, že jako kolová reakční síla F_{R1} je vždy označena ta síla, která leží blíže k těžišti nákladu. Nakládací směrnice stanovuje, že hodnoty pro rozdíly kol jsou dodrženy, není-li těžiště vychýleno v příčném směru o více než 10 cm při plném vytížení vozu a 15 cm při polovičním vytížení vozu [3, st. 3-3]. To objasňuje kapitola 2.1.4 řešící analýzu extrému.

Veškeré popisované silové působení se odehrává v tíhovém poli Země. Proto lze veškeré síly nahradit součinem hmotnosti m a tíhového zrychlení g a následně zrychlení vykrátit. Následně pak lze počítat pouze s hmotnostmi, což je aplikováno i v Nakládací směrnici UIC.

$\boldsymbol{R_1, R_2}$ – hmotnost na kolo; [kg]
$\boldsymbol{T}$ – vlastní hmotnost vozu; [kg]
$\boldsymbol{P_a}$ – hmotnost ložné jednotky na uvažované nápravě, případně podvozku; [kg]

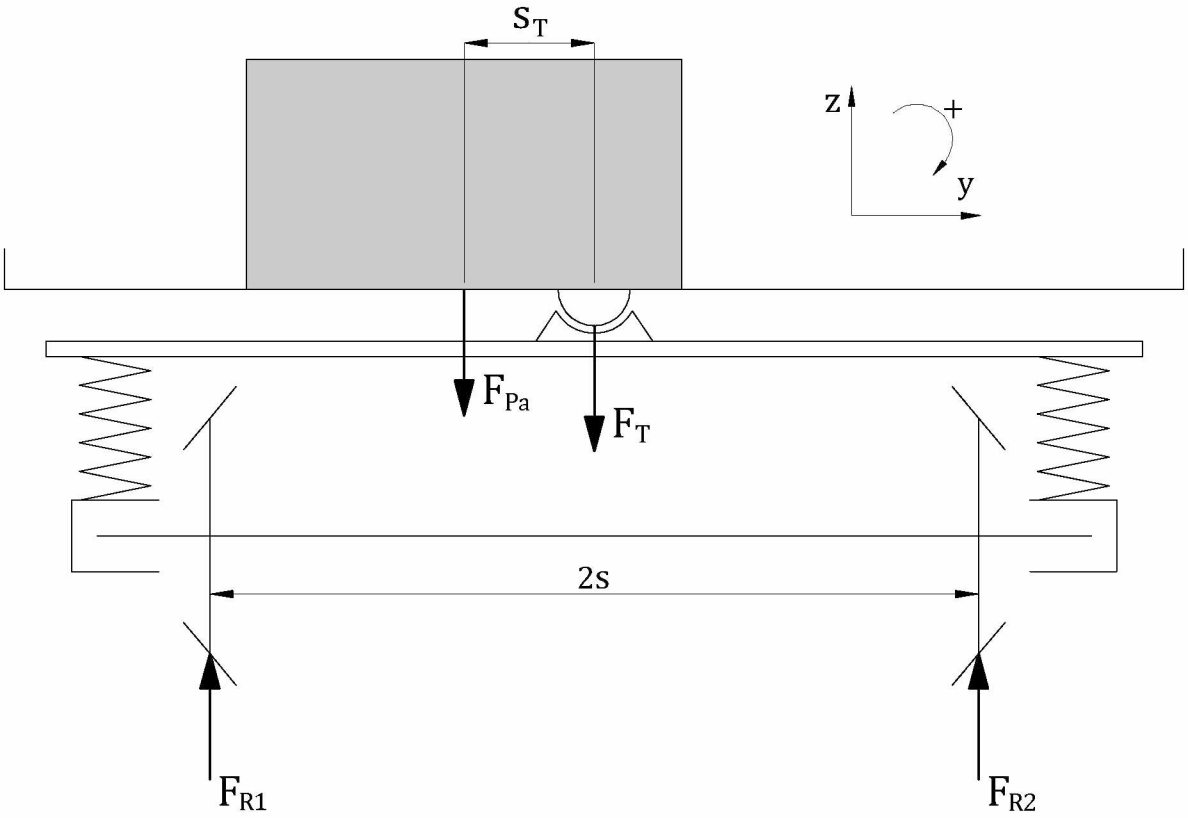
Podmínky dle nakládací směrnice UIC [3, s. 3-4]:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{1{,}25}{1} \qquad \text{(I.)}$$

[3] poměr 1,25:1 hraje roli v určování bezpečnosti proti vykolejení

$$s_T \leq \frac{1}{12} \cdot \left(1 + \frac{T}{2 \cdot P_a}\right) \qquad \text{(II.)}$$

Vztah (II.) je důsledkem vztahu číslo (I.) na základě podmínek statické rovnováhy. Pro výpočet vzdálenosti těžiště s_T ložné jednotky P_a se užijí podmínky statické rovnováhy. Vůz (Obr. 2) si lze představit jako nosník podepřený dvěma podpěrami (kolejnicemi) vzdálenými od sebe o vzdálenost styčných kružnic kol $2s$ (Obr. 3).



Obr. 2 – Příčný pohled na vůz s ložnou jednotkou

Kolové síly (F_{R1}, F_{R2}) se zjišťují tzv. metodou uvolňování. Do rovnic statické rovnováhy vstupují tíhové síly, které musí být v rovnováze s kolovými silami [10]. Platí:

- Algebraický součet všech sil (resp. jejich složek) působící ve směru osy **z** kartézské soustavy souřadnic je roven nule.

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0 \qquad (1)$$

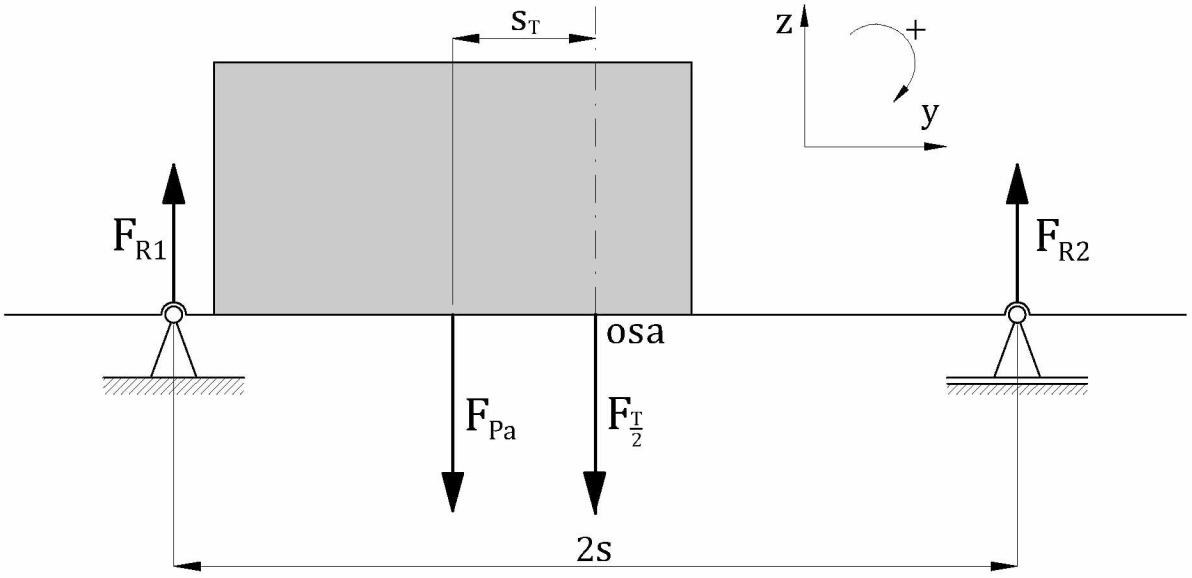
- Algebraický součet všech sil (resp. jejich složek) působící ve směru osy **y** kartézské soustavy souřadnic je roven nule.

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0 \qquad (2)$$

- Algebraický součet všech momentů sil vzhledem k libovolnému bodu roviny je roven nule.

$$\sum_{i=1}^{n} M_i = 0 \qquad (3)$$

Silová rovnice ve směru horizontální osy je identicky splněna, silové působení probíhá pouze ve vertikální ose, kde působí vždy rovnoběžné síly. Vznikají tak dvě rovnice o dvou neznámých, kde jedna z nich je silová rovnice a druhá momentová rovnice, vztažená k vhodně zvolenému bodu.



Obr. 3 – Náhradní nosník nápravy zatížené ložnou jednotkou

Rovnice (1 až 3) podle Obr. 3, který představuje řešený problém:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0 \; ; F_{R1} + F_{R2} - F_{Pa} - F_{\frac{T}{2}} = 0 \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0 \; ; 0 = 0 \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0 \; ; F_{R1} \cdot \frac{2s}{2} - F_{Pa} \cdot s_T - F_{R2} \cdot \frac{2s}{2} = 0 \tag{3}$$

Všechny tři rovnice jsou děleny tíhovým zrychlením g. Tím pádem vznikají rovnice pouze s hmotnostmi a vzdálenostmi. (Tímto způsobem jsou upraveny rovnice i ve výpočtech níže.)

$$R_1 + R_2 - P_a - \frac{T}{2} = 0 \tag{1´}$$

$$R_1 \cdot \frac{2s}{2} - P_a \cdot s_T - R_2 \cdot \frac{2s}{2} = 0 \tag{3´}$$

Následně je z rovnice (1´) vyjádřena reakce R_1:

$$R_1 = P_a + \frac{T}{2} - R_2 \tag{1´´}$$

Rovnice (1´´) je dosazena do rovnice (3´) a je vyjádřena reakce R_2:

$$P_a \cdot \frac{2s}{2} + \frac{T}{2} \cdot \frac{2s}{2} - R_2 \cdot \frac{2s}{2} - P_a \cdot s_T - R_2 \cdot \frac{2s}{2} = 0$$

$$R_2 = \frac{P_a}{2} + \frac{T}{4} - \frac{P_a \cdot s_T}{2s} \tag{4}$$

Obdobně je z rovnice (1´) vyjádřena reakce R_2:

$$R_2 = P_a + \frac{T}{2} - R_1 \tag{1´´´}$$

Následně je rovnice (1´´´) dosazena do rovnice (3´) a následně vyjádřena reakce R_1:

$$R_1 \cdot \frac{2s}{2} - P_a \cdot s_T - P_a \cdot \frac{2s}{2} - \frac{T}{2} \cdot \frac{2s}{2} + R_1 \cdot \frac{2s}{2} = 0$$

$$R_1 = \frac{P_a \cdot s_T}{2s} + \frac{P_a}{2} + \frac{T}{4} \tag{5}$$

Po použití podmínky nakládací směrnice (I.) a dosazení rovnic (4) a (5):

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{1{,}25}{1} \tag{I.}$$

$$\frac{\frac{P_a \cdot s_T}{2s} + \frac{P_a}{2} + \frac{T}{4}}{\frac{P_a}{2} + \frac{T}{4} - \frac{P_a \cdot s_T}{2s}} \leq \frac{1{,}25}{1} \tag{6}$$

A po dosazení „$2s$“ v metrech (1,5 m) a úpravě je vyjádřena vzdálenost těžiště v příčném směru:

$$18 \cdot P_a \cdot s_T \leq 1{,}5 \cdot P_a + \frac{T}{2} \cdot 1{,}5 \tag{6´}$$

$$s_T \leq \frac{1}{12} + \frac{T}{24 \cdot P_a} \tag{6´}$$

$$\boldsymbol{s_T \leq \frac{1}{12} \cdot \left(1 + \frac{T}{2 \cdot P_a}\right)} \tag{6´´}$$

Rovnice (6´´) je vyjádřením míry vzdálenosti těžiště ložné jednotky od středu vozu v příčném směru v metrech a je též součástí Nakládací směrnice UIC [3, s. 3-4] (viz. rovnice II.). Její odvození bylo provedeno výše. Je-li známá hmotnost ložné jednotky na uvažované nápravě a vlastní hmotnost vozu, pak lze vzdálenost těžiště „s_T“ jednoduše dopočítat.

1.3.2 Nesymetrie ložení mezi podvozky nebo mezi nápravami

Nakládací směrnice stanovuje, že u podvozkových vozů je dovolen rozdíl v zatížení podvozků maximálně 3:1. U dvounápravových vozů pak poměr zatížení na nápravu maximálně 2:1[4] [3].

Zavedeno:

$\boldsymbol{F_{E1}, F_{E2}}$ – reakční síly v místě uložení podvozku, nebo na nápravu; [N]
$\boldsymbol{E_1, E_2}$ – hmotnost na podvozek, případně nápravu; [kg]

Při výpočtu poměru zatížení na podvozek, či poměru zatížení na nápravu, tedy silových reakcí F_{E1}, F_{E2} je postupováno obdobně jako při řešení poměru hmotností na kola. Nyní je pouze na vůz nahlíženo podélně a je nahrazen nosníkem právě v tomto pohledu. Hmotnosti na podvozek E_1, E_2 jsou opět zjišťovány tzv. metodou uvolňování. Analýza extrémního zatížení mezi podvozky 3:1 je uvedena v kapitole 2.1.2.

Podmínka dle nakládací směrnice UIC pro podvozkový vůz:

$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{1} \tag{III.}$$

Podmínka dle nakládací směrnice UIC pro dvounápravový vůz:

$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{2}{1} \tag{IV.}$$

1.4 Jednotlivá zatížení

Zatížením je v podstatě myšlena přípustná hmotnost nákladu uprostřed vozu pro rovnoměrně rozložená břemena po význačné úložné délce. Udává maximální hmotnosti v tunách pro jednotlivé těžké náklady naložené uprostřed vozu pro různé délky. [8, s. 37] Případně jsou definovány maximální hmotnosti pro uložení nákladu na dvou podložkách při různých vzdálenostech uložení.

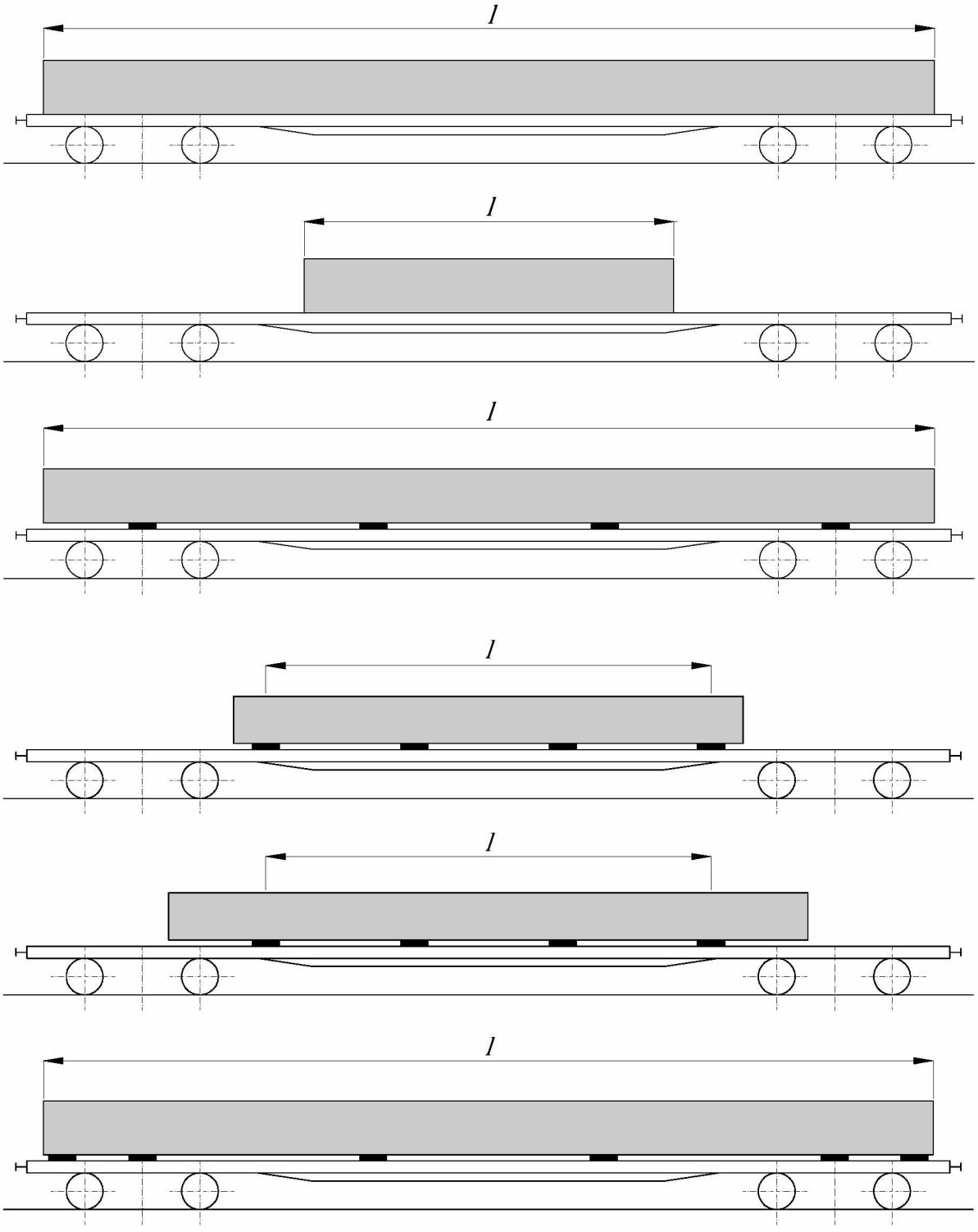
Jestliže při ložení nákladu není využita celá ložná délka a náklad se nachází uprostřed vozu, pak je zapotřebí zajistit, aby namáhání spodku vozu nebylo větší než při využití celé ložné délky. Příklady tohoto omezení jsou uvedeny v části 1.4.3.

Jednotlivá zatížení bývají zaznačena v rastru (Obr. 6, 7) na voze, a to uprostřed podélníku na plošinových vozech nebo uprostřed boční stěny u krytých vozů, případně vpravo poblíž středu boční stěny [8, s. 37].

1.4.1 Náklad ležící na podlaze vozu nebo na čtyřech příčných podložkách

Nakládací směrnice UIC [3, s. 3-5] definuje: Leží-li náklad bezprostředně na podlaze vozu, pak je ložná délka shodná s délkou tohoto nákladu. Nacházejí-li se středy krajních podložek nad nápravami, nad otočnými čepy, nebo vně náprav, či vně otočných čepů, pak se považuje za úložnou délku celková délka nákladu. Maximální zatíženo je uvedeno značkou „▬▬“ oproti odpovídající vzdálenosti. Délka ložení „*l*“ v metrech je uvedena na Obr. 4.

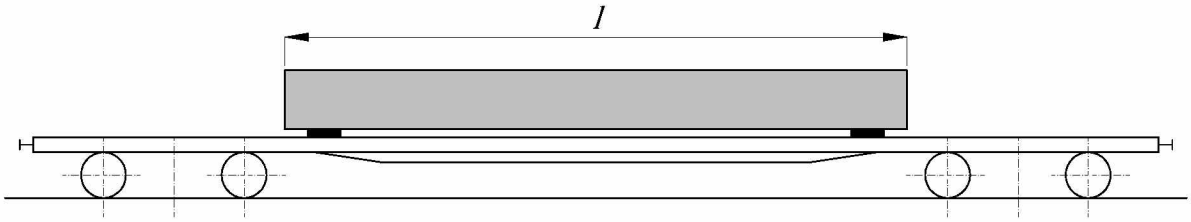
[4] Poměr zatížení mezi podvozky nebo mezi nápravami je větší než poměr mezi koly, jelikož podélný rozdíl v zatížení nehraje tak velkou roli vzhledem k bezpečnosti proti vykolejení



Obr. 4 – Příklady ložné délky I., [3, s. 3-5]

1.4.2 Náklad ležící na dvou příčných podložkách

Maximální uložení je uvedené značkou „ ▬▲▬ “ oproti odpovídající vzdálenosti [3, st. 3-5].



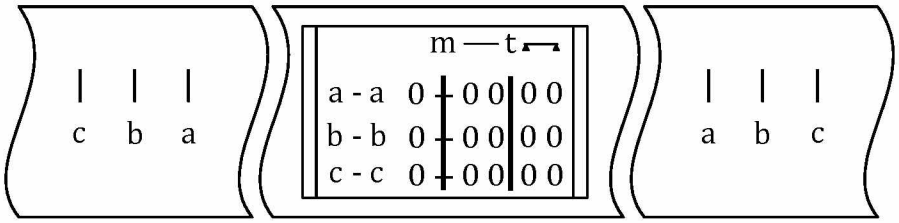
Obr. 5 – Příklad ložné délky II., [3, s. 3-5]

Na Obr. 5 je uvedeno, jak se odečítá ložná délka v tomto případě. Podobná nakládka jako na obrázku je možná i přes vnější nápravy, případně přes otočné čepy, ale jen tehdy, je-li v rastru jednotlivých zatížení uvedena příslušná hodnota. Není-li na voze značka „ ▬▲▬ “, lze přesto náklad uložit na dvě příčné podložky, pokud nebudou překročeny hodnoty udané u značky „ ▬▬ “. Při ložení silničních vícenápravových kolových vozidel[5] je třeba považovat za směrodatnou vzdálenost vždy vzdálenost nejkrajnějších náprav kolového vozidla.

1.4.3 Rastry a příklady výpočtu

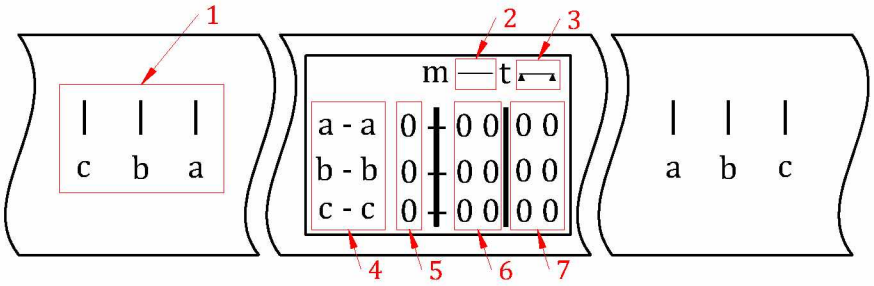
Hodnoty jednotlivých zatížení uvedené v rastru (orámovaný obdélník), který se nachází na podélníku vozu, platí pro následující úložné šířky [3, s. 3-6]:

- minimálně *1,2 metru* při dvojitém orámování rastru:



Obr. 6 – Dvojitě orámovaný rastr, [3, s. 3-6]

- minimálně *2 metry* při jednoduchém orámováním rastru:



Obr. 7 – Jednoduše orámovaný rastr, [3, s. 3-6]

Vysvětlivky k Obr. 7, [8, s. 37]:

(1) – označení úložných délek na podélníku vozu
(2) – značka pro náklad ležící bezprostředně na podlaze vozu po celé délce
(3) – značka pro náklad ležící na dvou podložkách

[5] vícenápravovým kolovým vozidlem je např. myšlen tahač s návěsem

(4) – značky pro úložnou délku, případně pro vzdálenost podložek
(5) – vzdálenost v metrech mezi značkami vyznačující úložnou délku
(6) – nejvyšší přípustná hmotnost v tunách pro náklad(y) rozdělené po celé úložné délce
(7) – nejvyšší přípustná hmotnost v tunách pro náklad ležící na dvou podložkách

Leží-li konce nákladu nebo středová čára vnějších uložení mezi dvěma značkami, může být přípustné zatížení interpolováno dle následujícího postupu [3, s. 3-5 až 3-8]:

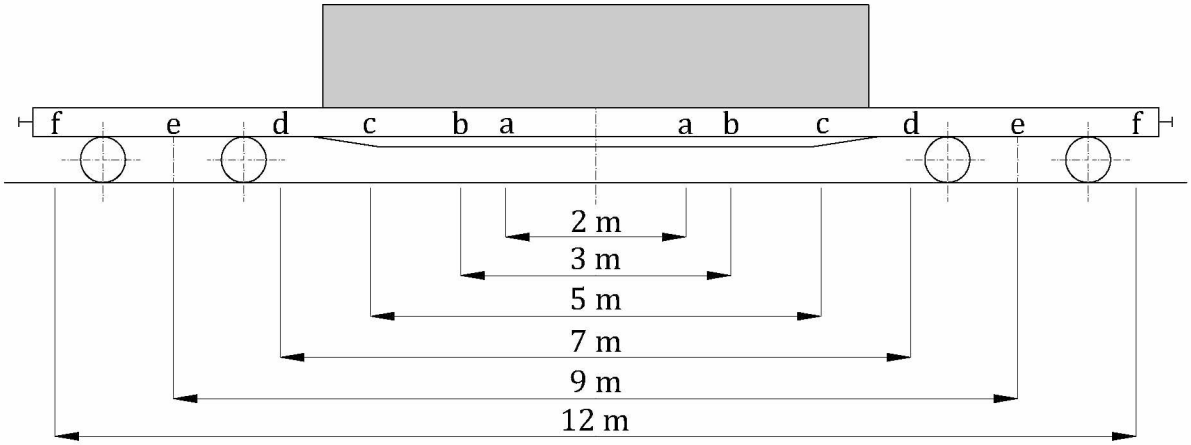
1. příklad výpočtu

Mějme jednoduchý náklad tvaru kvádru, který bude mít ložnou délku podél vozu 6,5 m. Tento náklad ložíme na fiktivní vůz s nejvyššími přípustnými ložnými hmotnostmi pro traťové třídy podle tabulky:

Tabulka 2 – Ložné hmotnosti vozu, [3, s. 3-6]

	A	B_1	B_2	C
S	44	50	52	60

Náklad je ložen na voze dle následujícího obrázku. Na obr. 9 je pak uveden rastr jednotlivých zatížení:



Obr. 8 – Vůz s vyznačenými úložnými délkami pro příklad č. 1, [3, s. 3-6]

	m	t	
a - a	2	35	40
b - b	3	37	47
c - c	5	43	56
d - d	7	51	58
e - e	9	60	60
f - f	12	60	28

Obr. 9 – Rastr zatížení pro příklad č. 1, [3, s. 3-6]

Náklad leží bezprostředně na podlaze, tudíž je užita část z rastru se značkou „ ▬ “. Z Obr. 8 lze vidět, že konce nákladu leží mezi písmeny „c“ a „d“. Podle rastru jednotlivých zatížení písmeno „c“ odpovídá 5 metrům délky a 43 tunám. Písmeno „d“ pak odpovídá 7 metrům délky a 51 tunám.

Rozdíl délek: $\Delta l = 7m - 5m = 2\ m$

Rozdíl hmotností: $\Delta m = 51\ t - 43\ t = 8\ t$
Přesah nákladu přes písmenné označení: $p = 6{,}5\ m\ - 5\ m = 1{,}5\ m$

Náklad překračuje označení „c-c“ o 1,5 metru (přesah), přípustná hmotnost M pro toto zatížení se vypočte jako:

$$M = \frac{\Delta m}{\Delta l} \cdot p = \frac{8\ t}{2\ m} \cdot 1{,}5\ m = 6\ t \tag{7}$$

Jedná se v podstatě o výpočet zatížení na metr délky násobené přesahem.

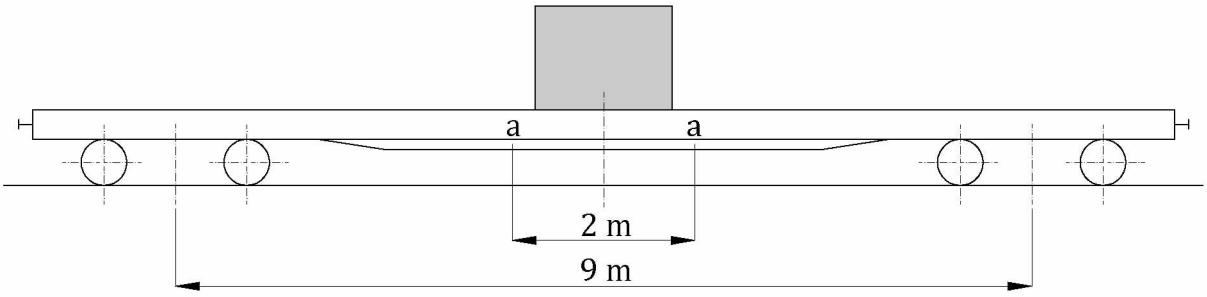
Následně zbývá jen přičíst tuto hmotnost M k hodnotě z rastru, která je v našem případě pro označení „c-c“, neboť rozsah délky „c-c“ náklad zabírá úplně. Konečná hmotnost M_k se vypočítá jako:

$$M_k = M + 43\ t = 6\ t + 43\ t = 49\ t \tag{8}$$

Náklad, který leží bezprostředně na podlaze může mít hmotnost až 49 tun. Dle tabulky traťových tříd se smí pohybovat na tratích třídy B a vyšší (viz. Tabulka 2).

2. příklad výpočtu

Mějme náklad uložený přímo na podlaze vozu, který bude mít ložnou délku podél vozu 1,5 m. Vůz, na který náklad umisťujeme je na Obr. 10. Příslušný rast jednotlivých zatížení je na Obr. 11.



Obr. 10 – Vůz s vyznačenými úložnými délkami pro příklad č. 2, [3, s. 3-7]

	m	t
a - a	2	35 40
b - b	3	37 47
c - c	5	43 56
d - d	7	51 58
e - e	9	60 60
f - f	12	60 28

Obr. 11 – Rastr zatížení pro příklad č. 2, [3, s. 3-7]

Stejně jako v příkladu č. 1 náklad leží bezprostředně na podlaze vozu. To znamená, že v rastru je směrodatná část se značkou „ ▬▬ “. Nyní náklad nepřesahuje první část mezi písmeny „a“. První myšlenkou by tedy bylo, že náklad může mít hmotnost $M_1 = 35\ t$ podle rastru. Nakládací směrnice UIC však tuto hmotnost upravuje, jedná-li se o ložení mezi písmeny „a-a“. Neupravená

ložná hmotnost nákladu mezi písmeny „a-a“ by způsobovala příliš velký průhyb vozu. Úprava hmotnosti je následující:

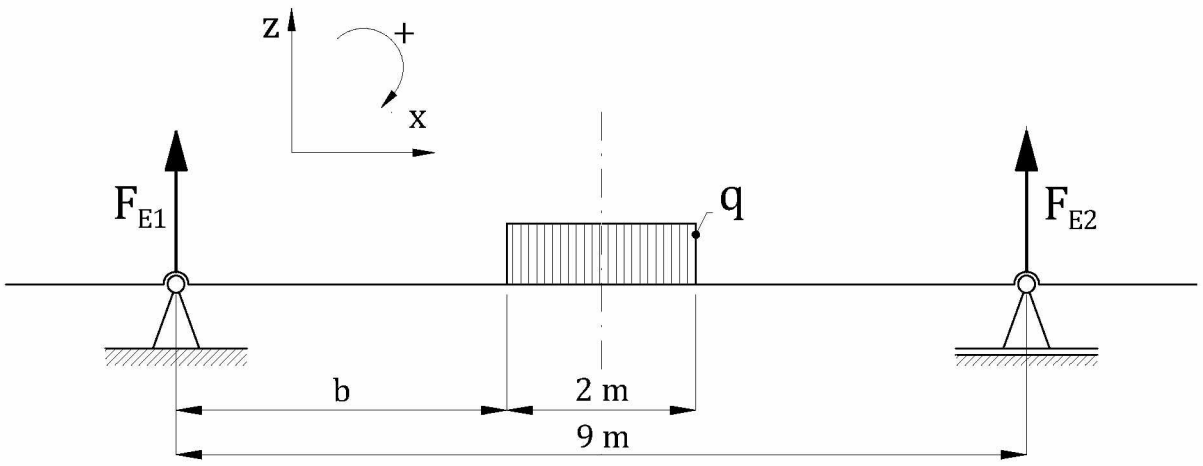
A) Zatížení udané pro vzdálenost „a-a“ je třeba vynásobit součinitelem z následující tabulky 3, která je součástí nakládací směrnice UIC a platí pro ložení nákladu *bezprostředně na podlahu vozu, či na čtyři podložky.* Každému řádku tabulky přísluší jedna vzdálenost „a-a“ v metrech, která se může na různých vozech vyskytovat. Sloupcům pak přísluší vzdálenosti otočných bodů, či středů náprav daných vozů. Součinitelé v tabulce jsou menší, než číslo jedna. Jedná se tak o tabulku, která snižuje hmotnost nákladu a tím pádem snižuje namáhání prostředku vozu. Pro uváděný příklad č. 2 (tedy „a-a“ jsou 2 metry a vzdálenost otočných bodů podvozků je 9 metrů) platí červeně orámovaná hodnota součinitele.

Tabulka 3 – Součinitelé pro ložení bezprostředně na podlaze vozu, [3, st. 3-7]

	Vzdálenost otočných čepů, případně rozvor											
a-a	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m	16 m	17 m
1,5 m	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96
2,0 m	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
2,5 m	0,79	0,82	0,84	0,86	0,86	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
3,0 m	0,75	0,78	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91

Nakládací směrnice UIC uvádí tabulku bez vysvětlení. Součinitelé v tabulce představují poměr mezi osamocenou silou působící uprostřed vozu a náhradní silou odpovídající spojitému zatížení. Spojité zatížení je uvažováno podle rastru uvedeného na voze (Obr. 11). Osamocená síla má pak právě takovou velikost, že maximální ohybový moment, který vyvozuje spojité zatížení a osamocená síla je stejný. Vše je objasněno dále na uvažovaném příkladu. Namáhání je v tomto případě posuzováno prostřednictvím ohybového momentu vznikajícího uprostřed vozu.

Základem, jak již bylo uvedeno, je poznatek, že podle rastru zatížení (Obr. 11) může mít náklad hmotnost M_1 až 35 t (před omezením). Pro takto těžké břemeno je potřeba zjistit velikost ohybového momentu, který vyvozuje uprostřed vozu. Jedná se o náklad ležící přímo na podlaze, takže vytváří spojité zatížení. Náhradní nosník vozu se zatížením je uveden na Obr. 12.



Obr. 12 – Náhradní nosník se spojitým zatížením pro výpočet součinitele k příkladu č. 2

Zavedeno:

$\boldsymbol{a}$	= 9 m – vzdálenost otočných bodů podvozku
$\boldsymbol{b}$	= 3,5 m – vzdálenost začátku nákladu od místa otočného bodu podvozku
$\boldsymbol{q}$	– spojité zatížení na metr délky; [N·m^{-1}]
$\boldsymbol{X}$	= 2 m – vzdálenost mezi označením „a-a“
$\boldsymbol{F_{E1}}$	– reakce v místě otočného bodu podvozku; [N]
$\boldsymbol{F_{E2}}$	– reakce v místě otočného bodu podvozku; [N]

$$q = \frac{M_1 \cdot g}{X} = 171\,675\ N \cdot m^{-1} \tag{9}$$

Rovnice (9) udává velikost spojitého zatížení na metr délky. Ve výpočtu je následně toto zatížení nahrazeno náhradní silou Q, která působí na vůz v polovině délky zatížení.

$$Q = q \cdot X = 343\,350\ N \tag{10}$$

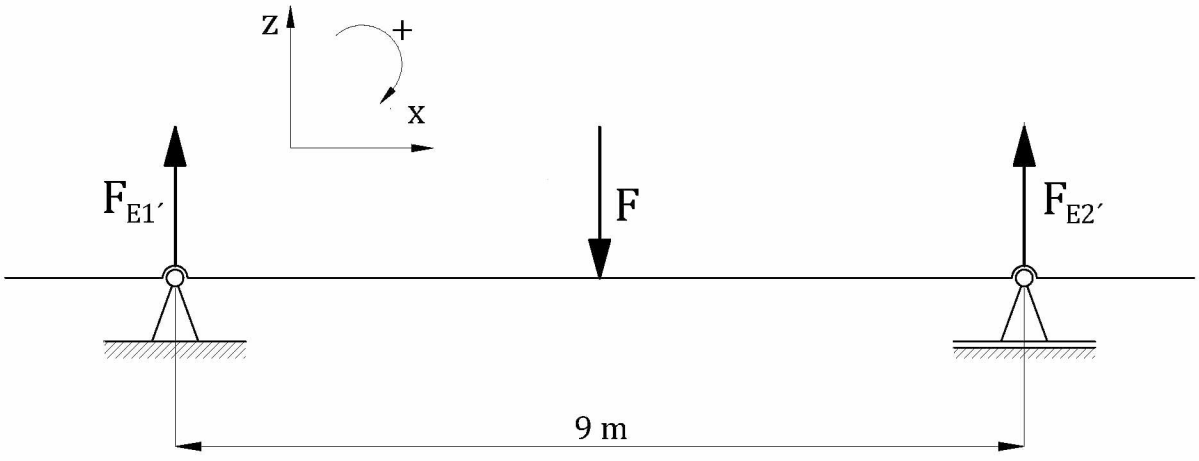
Toto nahrazení silou Q je použito pouze pro určení velikosti reakcí F_{E1} a F_{E2}. Jak je patrné z Obr. 12, tak zatěžování nosníku se odehrává uprostřed vozu, a proto se síla Q dělí rovnoměrně mezi obě reakční síly:

$F_{E1} = 171\,675\ N$
$F_{E2} = 171\,675\ N$

Nyní je vyjádřena velikost ohybového momentu M_x uprostřed vozu podle Obr. 12. S užitím znalostí ze statiky [11], vyjadřováním zleva a s úpravami lze vyjádřit rovnici:

$$M_x = F_{E1} \cdot \frac{a}{2} - q \cdot \frac{\left(\frac{a}{2} - b\right)^2}{2} = 686\,700\ Nm \tag{11}$$

Následně je pro takto velký ohybový moment hledána osamocená síla F, jež by působila uprostřed vozu. Vše je zaznačeno na Obr 13.



Obr. 13 – Náhradní nosník s osamocenou silou pro výpočet součinitele k příkladu č. 2

Opět je použito vyjádření velikosti ohybového momentu M_x uprostřed vozu. Nyní podle Obr. 13. Při postupu zleva a po úpravách vzniká:

$$M_x = F_{E1'} \cdot \frac{a}{2} \tag{12}$$

Z rovnice (12) je vyjádřena reakce $F_{E1'}$ a po dosazení velikosti ohybového momentu z rovnice (11) je vypočtena její velikost:

$$F_{E1'} = \frac{2 \cdot M_x}{a} = 152\,600\ N \tag{12´}$$

Jelikož se zatížení vozu odehrává uprostřed, tak je velikost reakce $F_{E2'}$ totožná jako reakce $F_{E1'}$. Zbývá určit velikost síly F. K tomu je použita silová rovnice ve směru osy z:

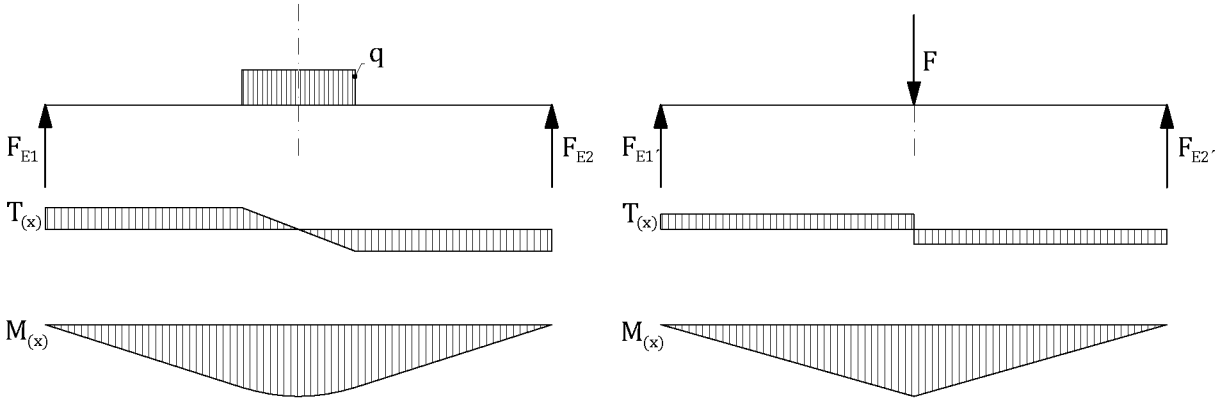
$$F = F_{E1'} + F_{E2'} = 305\,200\ N \tag{13}$$

Poměr mezi osamocenou silou F a silou Q nahrazující spojité zatížení je:

$$\frac{F}{Q} = \frac{305\,200}{343\,500} \cong 0{,}89 \tag{14}$$

Výsledek poměru z rovnice (14) je shodný s červeně orámovaným součinitelem, který se nachází v Tabulce 3. Stejným způsobem lze odvodit všechny ostatní koeficienty.

Je-li tedy hmotnost M_1 násobena součinitelem uvedeným v Tabulce 3, pak je výsledkem hmotnost M_t představující osamocenou sílu uprostřed vozu. Tato síla pak vyvolává stejný ohybový moment M_x jako spojité zatížení vznikající uložením břemena hmotnosti M_1 mezi písmeny „a-a“ (Obr. 14). Hmotnosti z rastru (Obr. 11) pro jednotlivé vzdálenosti mezi písmeny jsou určeny právě tak, aby svým silovým působením vyvolávaly stále stejný ohybový moment. Lze se o tom přesvědčit obdobným postupem jako v rovnicích (9) až (11), jen s užitím patřičné hmotnosti a délky. Směrem od středu vozu se tak logicky povolená hmotnost zvětšuje. Hmotnost M_t je pak navýšena (rovnice 17), a to z toho důvodu, že skutečný náklad nepředstavuje osamocenou sílu, ale má určitou délku (avšak menší než „a-a“) Je tak docíleno toho, že maximální namáhání podélníku vozu bude stejné jako s nákladem o hmotnosti 35 t loženým na vzdálenost „a-a“.



Obr. 14 – Průběhy vnitřních účinků spojitého zatížení a osamocené síly k příkladu č. 2

Teoreticky přípustná hmotnost uprostřed vozu M_t je tedy:

$$M_t = M_1 \cdot 0{,}89 = 35\ t \cdot 0{,}89 = 31{,}15\ t \tag{15}$$

B) Vypočtené zatížení M_t se dále zvýší o hodnotu, která je závislá na vzdálenosti „a-a" a ložné délce nákladu.

Je třeba vypočítat rozdíl hmotností Δm mezi hmotností dle zatížení „a-a" (M_1) a teoreticky přípustnou hmotností M_t:

$$\Delta m = M_1 - M_t = 35\ t - 31{,}15\ t = 3{,}85\ t \tag{16}$$

Pro hmotnost Δm je následně vytvořena obdobně jako v příkladu č. 1 přípustná hmotnost M pro toto zatížení :

$$M = \frac{\Delta m}{\Delta l} \cdot p = \frac{3{,}85\ t}{2\ m} \cdot 1{,}5\ m \cong 2{,}89\ t \tag{17}$$

Změna je zde akorát v tom, že vše je posouzeno ke středu vozu, tedy k nulové délce. Proto rozdíl délek Δl je celá hodnota 2 metry („a-a") a přesah p je celá hodnota ložné délky nákladu 1,5 metru.

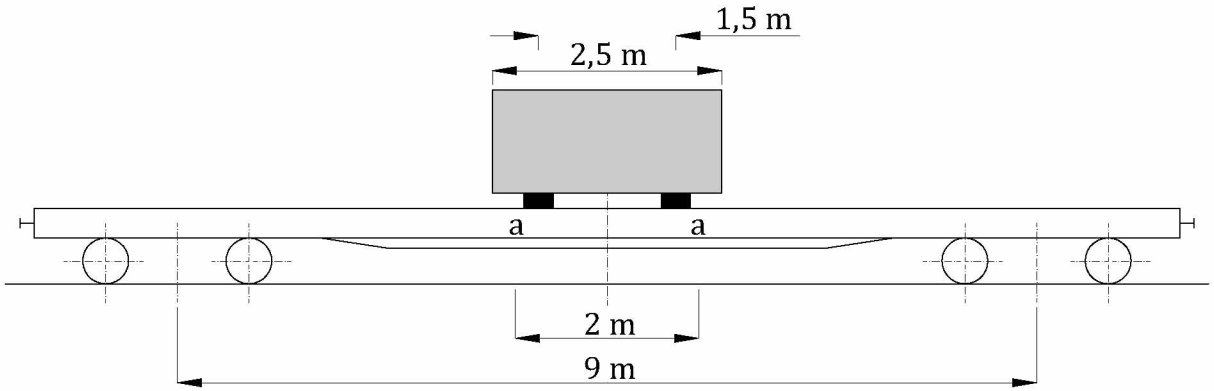
Následně zbývá přičíst přípustnou hmotnost zatížení M k teoreticky přípustné hmotnosti M_t uprostřed vozu. Je tak získána konečná hmotnost M_k nákladu, ležícího bezprostředně na podlaze uprostřed vozu:

$$M_k = M_t + M = 31{,}15\ t + 2{,}89\ t = 34{,}04\ t \tag{18}$$

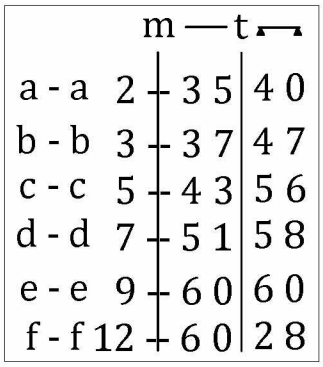
C) V neposlední řadě je nutné konečnou hmotnost porovnat s tabulkou traťových tříd (viz. Tabulka 2). V tomto případě je ložení nákladu bez omezení.

3. příklad výpočtu

Mějme náklad ložený na dvou příčných podložkách. Ložná délka nákladu je 2,5 metru, vzdálenost středů podložek je 1,5 metru. Vůz s nákladem i příslušný rastr vozu jsou na následujících Obr. 15 a 16.



Obr. 15 – Vůz s vyznačenými úložnými délkami pro příklad č. 3, [3, s. 3-8]



Obr. 16 – Rastr zatížení pro příklad č. 3, [3, s. 3-8]

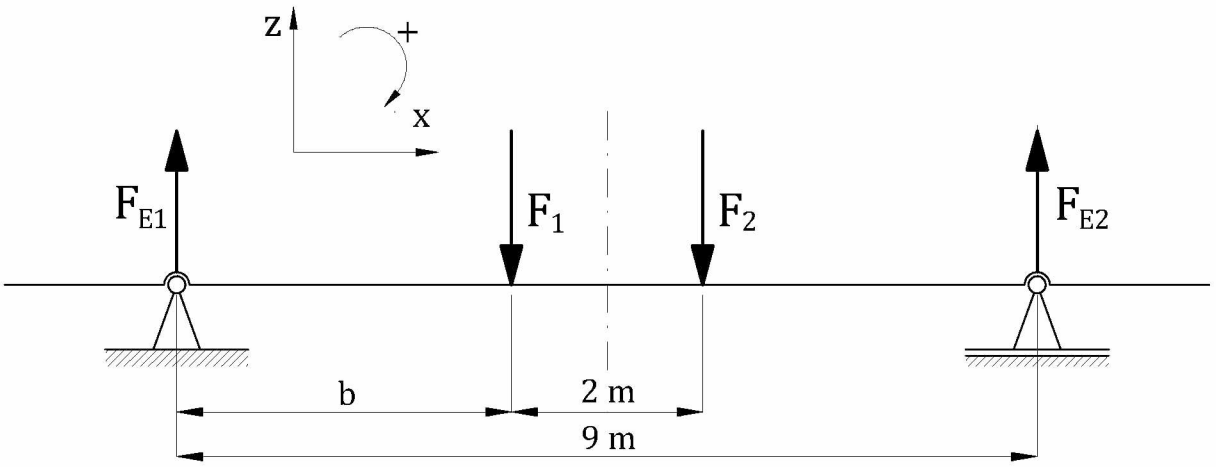
Náklad nyní leží na dvou podložkách. Kvůli tomu je v příslušném rastru směrodatná část s označením „ “. Jako úložná délka platí vzdálenost obou podložek měřená od jejich středu, tedy 1,5 metru. Není tedy důležitá ložná délka nákladu jako taková, ale určující význam ve výpočtech má právě vzdálenost středů podložek! Umístění podložek je mezi písmeny „a-a“ a v rastru je hmotnost $M_1 = 40\ t$, která však bude obdobně jako v příkladu č. 2 upravena, aby nedocházelo k přílišnému zatížení prostředku vozu. Úprava je následující:

A) Zatížení udané pro vzdálenost „a-a“ je třeba vynásobit součinitelem z tabulky níže, která je součástí Nakládací směrnice UIC a platí pro ložení nákladu *na dvě podložky*. Tabulka funguje obdobně jako u příkladu č. 2., jen hodnoty součinitelů jsou jiné, protože se jedná o ložení na dvou podložkách. Pro příklad č. 3, který je řešen je hodnota červeně orámovaná.

Tabulka 4 – Součinitelé pro ložení na dvou podložkách, [3, s. 3-8]

	Vzdálenost otočných čepů, případně rozvor											
a-a	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m	16 m	17 m
1,5 m	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91
2,0 m	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
2,5 m	0,58	0,64	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
3,0 m	0,50	0,57	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82

Význam součinitelů není v Nakládací směrnici UIC uveden. Součinitelé z Tabulky 4 představují (stejně jakou u příkladu č. 2) poměr. Zde se jedná o poměr mezi osamělou silou uprostřed vozu a součtem sil působících na podložky. Odvození součinitele je obdobné jako u předchozího příkladu pouze s tím rozdílem, že nyní podélník vozu není namáhán spojitým zatížením, ale dvěma silami v místech podložek (Obr. 17) Nutno poznamenat, že vzdálenost podložek je směrodatná podle rastru, tedy v tomto případě 2 metry.



Obr. 17 – Náhradní nosník se dvěma silami pro výpočet součinitele k příkladu č. 3

Zavedeno:

$\boldsymbol{F_1, F_2}$ – síly působící na podložku; [N]
$\boldsymbol{a}$ = 9 m – vzdálenost otočných bodů podvozku
$\boldsymbol{b}$ = 3,5 m – vzdálenost síly působící na podložku od místa otočného bodu podvozku
$\boldsymbol{X}$ = 2 m – vzdálenost mezi označením „a-a“
$\boldsymbol{F_{E1}}$ – reakce v místě otočného bodu podvozku; [N]
$\boldsymbol{F_{E2}}$ – reakce v místě otočného bodu podvozku; [N]

$$F_1 = F_2 = \frac{M_1}{2} \cdot g = 196\,200\ N \tag{19}$$

Rovnice (19) udává velikost sil působící na podložku. Jelikož se silové působení odehrává souměrně uprostřed vozu, pak jsou velikosti reakcí F_{E1} a F_{E2} totožné jako velikosti sil působící na podložky. To lze dokázat momentovou rovnicí vztaženou např. k levé podpěře. Následuje vyjádření ohybového momentu uprostřed vozu. Při vyjadřování zleva a po úpravě je to:

$$M_x = F_{E1} \cdot \frac{a}{2} - F_1 \cdot \left(\frac{a}{2} - b\right) = 686\,700\ N \tag{20}$$

Pro tento moment M_x se vypočte obdobně jako v minulém příkladu osamocená síla F, která bude působit přesně uprostřed vozu. Podle Obr. 13 platí:

$$M_x = F_{E1'} \cdot \frac{a}{2} \tag{21}$$

$$F_{E1'} = \frac{2 \cdot M_x}{a} = 152\,600\ N \tag{21´}$$

Jelikož se zatížení vozu odehrává souměrně uprostřed, tak je velikost reakce $F_{E2'}$ totožná jako reakce $F_{E1'}$ Zbývá určit velikost síly F. K tomu je použita silová rovnice ve směru osy z.

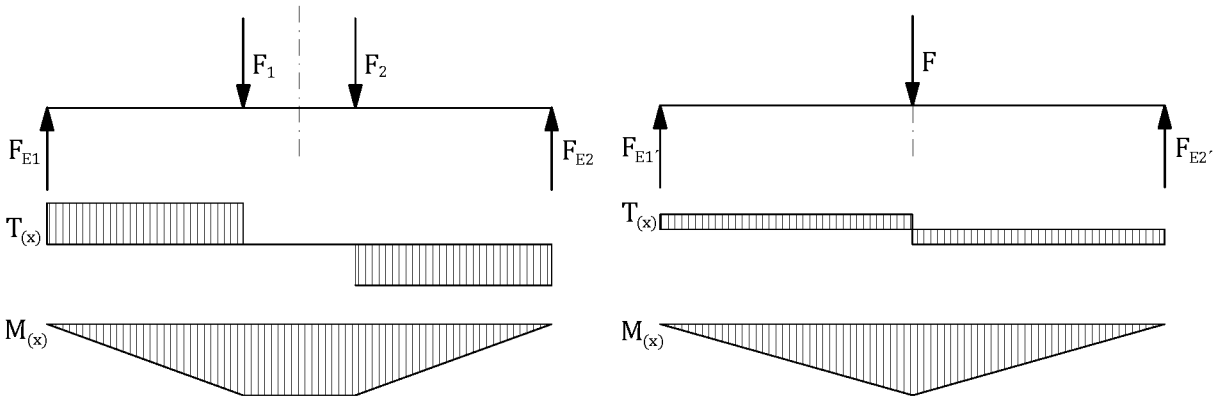
$$F = F_{E1'} + F_{E2'} = 305\,200\ N \tag{22}$$

Poměr mezi osamocenou silou F a součtem sil F_1 a F_2 působící na podložku je:

$$\frac{F}{F_1 + F_2} = \frac{305\,200}{392\,400} \cong 0{,}78 \tag{23}$$

Hodnota poměru souhlasí s červeně orámovaným součinitelem z Tabulky 4. Obdobným postupem jsou vypočteny i ostatní koeficienty.

Jestliže je hmotnost M_1 násobena koeficientem z Tabulky 4, pak je výsledkem hmotnost M_t představující osamělou sílu uprostřed vozu. Tato vyvolává stejný ohybový moment jako dvě síly F_1 a F_2, které vznikají uložením břemena o hmotnosti M_1 na dvě podložky mezi písmeny „a-a“ (Obr. 18). Hmotnost M_t je pak navýšena ze stejného důvodu, jako bylo popsánu u příkladu č. 2.



Obr. 18 – Průběhy vnitřních účinků při zatížení na dvě podložky a osamocenou silou k příkladu č. 3

Teoreticky přípustná hmotnost uprostřed vozu M_t je tedy:

$$M_t = M_1 \cdot 0{,}78 = 40\ t \cdot 0{,}78 = 31{,}2\ t \tag{24}$$

B) Vypočtené zatížení M_t se dále zvýší o hodnotu, která je závislá na vzdálenosti „a-a“ a vzdálenosti podložek.

Je třeba vypočítat rozdíl hmotností Δm mezi hmotností dle zatížení „a-a“ (M_1) a teoreticky přípustnou hmotností (M_t):

$$\Delta m = M_1 - M_t = 40\ t - 31{,}2\ t = 8{,}8\ t \tag{25}$$

Pro hmotnost Δm je následně vytvořena obdobně jako v příkladu č. 1 a 2 přípustná hmotnost pro toto zatížení M:

$$M = \frac{\Delta m}{\Delta l} \cdot p = \frac{8{,}8\ t}{2\ m} \cdot 1{,}5\ m = 6{,}6\ t \tag{26}$$

Opět je ložení nákladu posouzeno ke středu vozu, tedy k nulové délce. Rozdíl délek Δl je opět celá hodnota 2 metry („a-a“). Brát jako přesah ložnou délku nákladu by v tomto případě byla chyba, přesahem p je nyní vzdálenost středů podložek (1,5 m).

Konečná hmotnost M_k nákladu ležícího na dvou podložkách je pak:

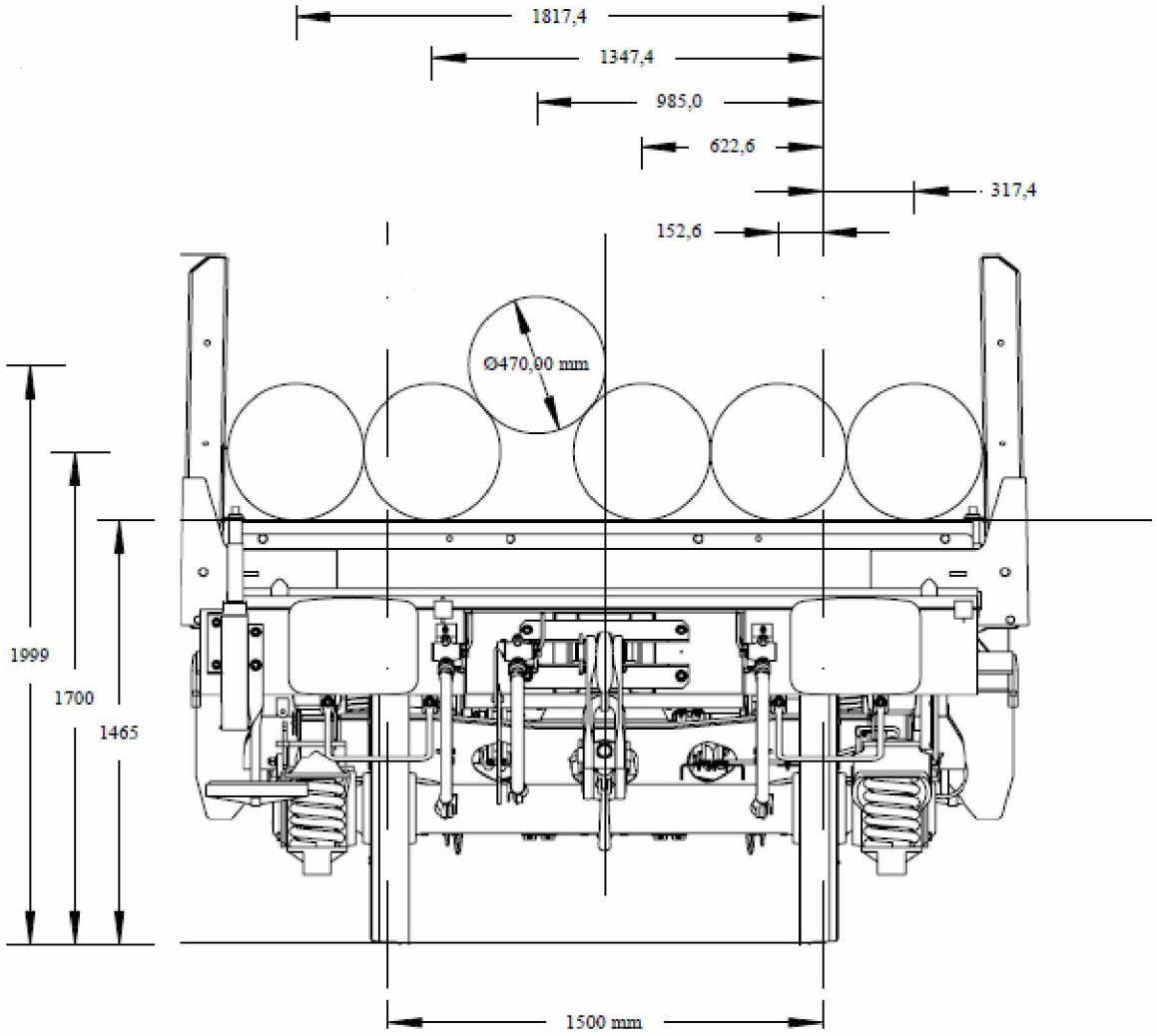
$$M_k = M_t + M = 31{,}2\ t + 6{,}6\ t = 37{,}8\ t \tag{27}$$

C) Porovnání konečné hmotnosti s tabulkou traťových tříd (viz. Tabulka 2). V tomto případě bez omezení.

2 Řešení ložení kontislitků na vozech Sggrrs

V této kapitole jsou objasněny dva způsoby, jak nahlížet na výpočet správnosti ložení ocelových kontislitků. Nakládací směrnice stanovuje legislativní podmínky, které je třeba dodržet. Veškeré podmínky jsou uvedeny v kapitole 1. V následujícím textu je proveden výpočet konkrétního zadání od ČD Cargo, a. s., kdy počet přepravovaných kontislitků neumožňuje provést ložení symetricky. Dle nakládací směrnice UIC je na vůz nahlíženo ve dvou rovinách. Výpočet je prováděn zvlášť pro rovinu souhlasnou s podélným pohledem na vůz a pro rovinu souhlasnou s příčným pohledem na vůz. Jedná se tedy o rozdělení úlohy na dvě části a posuzování těchto částí zvlášť. Z hlediska mechaniky je však správné na vůz nahlížet jako na jedno těleso se šesti stupni volnosti a řešit rovnováhu pro tento model. Vzniká tak staticky neurčitá úloha, k jejíž řešení je nutná deformační podmínka. Dále jsou provedeny obě varianty výpočtu a je posouzeno, zda zjednodušení úlohy, tedy rozdělení výpočtu do dvou rovin je přípustné, či nikoli. Též jsou porovnány výsledky, které jsou získané z obou řešení a je uvedeno, kdy a jakou metodu použít.

Konkrétní zadání od společnosti ČD Cargo, a. s., na kterém je výpočet správnosti ložení objasněn, je na Obr. 19. Jedná se o ložení kontislitků na paletách RWP-Steel na voze Sggrrs. Na jedné paletě je loženo šest kontislitků.



Obr. 19 – Zadání pro výpočet, příčný pohled

Vůz s označením Sggrrs je podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby určený primárně pro přepravu kontejnerů [9], avšak s použitím speciálních palet RWP-Steel na něm lze přepravovat kusové zásilky. Obecně se jedná dvoudílnou jednotku s kloubem, složenou ze dvou čtyřnápravových vozů. Parametry vozu jsou uvedeny v příloze č. 1. Ve výpočtu je zahrnutý pouze jeden díl jednotky před kloubem, a to vůz se čtyřmi nápravami. Hmotnost této části vozu se třemi paletami RWP-Steel je 18 150 kg. V následujících částech textu je tedy vozem Sggrrs myšlen tento díl jednotky před kloubem.

Parametry ložení:

ø kontislitku d = 470 mm
délka kontislitku l = 2 500 mm
hmotnost prázdného vozu Sggrrs (se třemi paletami RWP-Steel) = 18 150 kg
výška klanic palety RWP-Steel = 895 mm
ložná šířka palety RWP-Steel = 2600 mm

Pro provedení výpočtů je nutné znát hmotnost jednoho kontislitku. Ta dopočtena pomocí objemu a tabulkové hustoty oceli ρ=7850 kg·m^{-3} [12].

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cong 0{,}4337\ m^3 \tag{28}$$

$$m = \rho \cdot V \cong 3\ 405\ kg \tag{29}$$

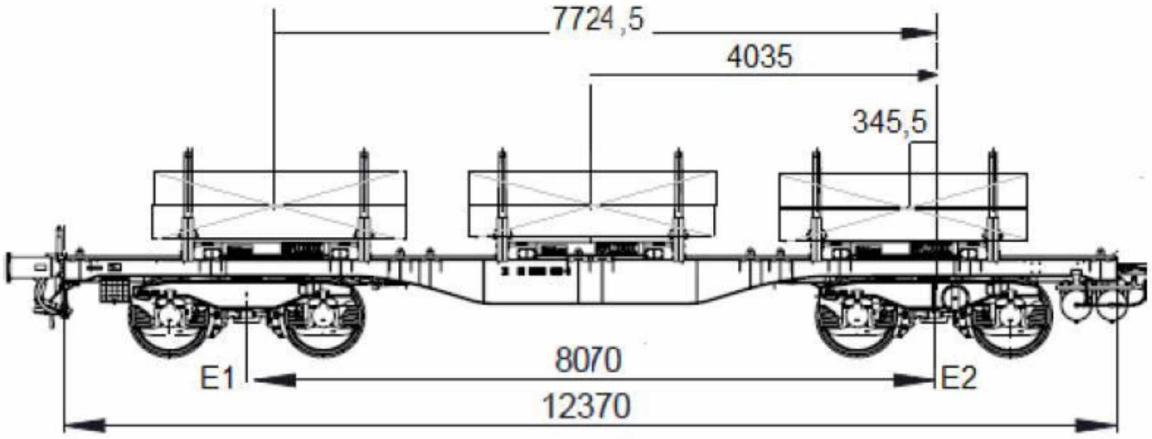
hmotnost 1 ks = 3405 kg
celková hmotnost kontislitků na jedné paletě RWP-Steel: 6 ks = 20 430 kg
celková hmotnost kontislitků na voze: 3 palety = 61 290 kg

2.1 Výpočet přes staticky určitou úlohu dělením na roviny

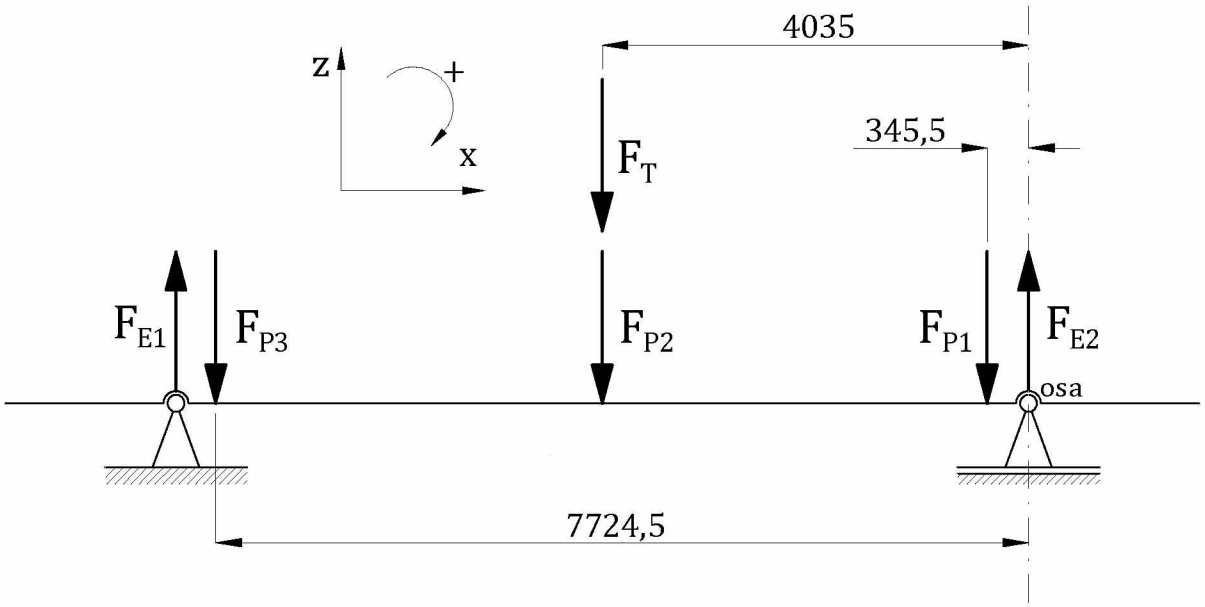
V kapitole 1 je vysvětleno, jakými předpisy a normami je nutné se řídit při ložení nákladních vozů. Pomocí těchto pravidel je v následujícím textu a výpočtech ověřeno, zda ložení kontislitků ze zadání je přípustné, či nikoliv. Taktéž je dodržena norma ČSN EN 15528 popisující traťové třídy.

2.1.1 Dodržení poměru zatížení na podvozek 3:1

Pro provedení výpočtu podélného zatížení na podvozky si vůz představíme jako nosník, který bude podepřený dvěma podpěrami. Místo podepření je tam, kde se nachází otočný bod podvozku. Vzdálenost otočných bodů podvozku je u vozu Sggrrs 8070 mm [9]. Palety s kontislitky jsou na voze tři. Jsou nahrazeny třemi výslednicemi sil, kde každá z nich nahrazuje tíhu jedné palety zahrnující šest kontislitků. U výpočtu je využita silová rovnice rovnováhy a momentová rovnice, které byly vysvětleny v kapitole 1. Na Obr. 20 je vidět reálné ložení na voze dle zadání a na následujícím Obr. 21 je zobrazen náhradní nosník, kterým je nahrazen vůz při výpočtu.



Obr. 20 – Zadání pro výpočet, podélný pohled



Obr. 21 – Náhradní nosník pro výpočet zatížení na podvozky dle zadání

Zavedeno:

$\boldsymbol{F_{P1} = F_{P2} = F_{P3} = F_P}$ – tíhová síla jedné palety se šesti kontislitky; [N]
$\boldsymbol{F_T}$ – tíhová síla vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{E1}, F_{E1}}$ – reakční síly v místě uložení podvozku; [N]

Výpočet:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{ix} = 0 \,;\, 0 = 0 \tag{30}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0 \,;\, F_{E1} + F_{E2} - F_{P1} - F_{P2} - F_{P3} - F_T = 0 \tag{31}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0 \,;\, F_{E1} \cdot 8070 - F_{P3} \cdot 7726{,}5 - F_{P2} \cdot 4035 - F_T \cdot 4035 - F_{P1} \cdot 345{,}5 = 0 \tag{32}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g platí:

$$E_1 + E_2 - P_1 - P_2 - P_3 - T = 0 \quad (31´)$$

$$E_1 \cdot 8\,070 - P_3 \cdot 7\,724{,}5 - P_2 \cdot 4\,035 - T \cdot 4\,035 - P_1 \cdot 345{,}5 = 0 \quad (32´)$$

$\boldsymbol{P_1 = P_2 = P_3 = P}$ – hmotnost ložená na jedné paletě = 20 430 kg
$\boldsymbol{T}$ – hmotnost vozu = 18 150 kg
$\boldsymbol{E_1, E_2}$ – hmotnost na podvozek, případně nápravu; [kg]

Následně jsou z rovnic (31´) a (32´) vypočteny hmotnosti na podvozek E_1 a E_2. V tomto případě je ložení podélně souměrné, takže hmotnosti na podvozek budou mít stejnou velikost. Lze rovnou psát:

$$T + 3 \cdot P = E_1 + E_2 \quad (33)$$

Výsledek:
$E_1 = 39\,720\ kg$
$E_2 = 39\,720\ kg$

Následně je zkontrolována podmínka nakládací směrnice:

$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{1} \quad \text{(III.)}$$

$$\mathbf{1 < 3}$$

Podmínka dodržení poměru zatížení na podvozek maximálně 3:1 je splněna, takže tohle ložení je považováno za provozu schopné. Jelikož jsou palety s kontislitky rozloženy podélně souměrně, tak nevzniká rozdíl v zatížení podvozků. Tento způsob ložení je vůbec nejlepší možný. Souměrnost podélného ložení by měla být (jestli to náklad dovoluje) vždy dodržena [3, s. 3-2]!

2.1.2 Analýza extrému podmínky zatížení na podvozek 3:1

Nakládací směrnice UIC stanovuje, že u podvozkových vozů může být zatížení na podvozek až 3:1[3, s. 3-3]. Tento extrém je popsán v následujícím textu. Na voze Sggrrs bude loženo celistvé břemeno, které bude odpovídat maximálnímu možnému zatížení vozu, ale bude vychýleno tak, že poměr zatížení podvozků (hmotnost na podvozek E_1 a E_2) bude právě 3:1. Podmínka Nakládací směrnice UIC je následující:

$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{1} \quad \text{(III.)}$$

Je nutno podotknout, že vůz Sggrrs je určen pro pohyb na tratích s traťovou třídou D (v ČR), které odpovídá maximální zatížení na nápravu 22,5 t [2]. Nápravy jsou v podvozku dvě, tudíž celkové maximální zatížení na podvozek je 45 t. Stejnou velikost v kilogramech bude mít i hmotnost na podvozek E_1.

$$E_1 = 45\,000\ kg \quad (34)$$

Následně s užitím E_1 je vyjádřena velikost hmotnosti na podvozek E_2 z rovnice (III.) při extrému:

$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{1}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{3}{1}$$

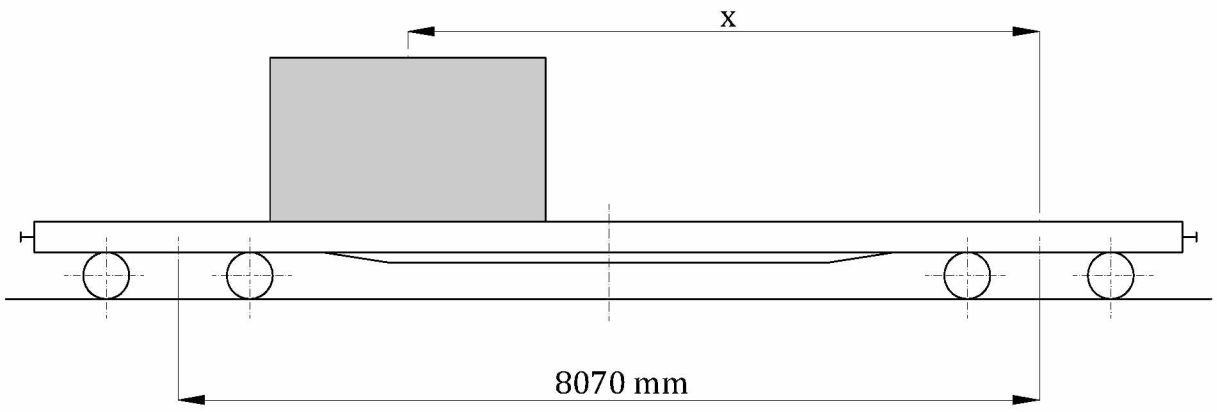
$$E_2 = \frac{45000}{3} = 15\,000\ kg \tag{35}$$

$$E_1 + E_2 = 60\,000\ kg \tag{36}$$

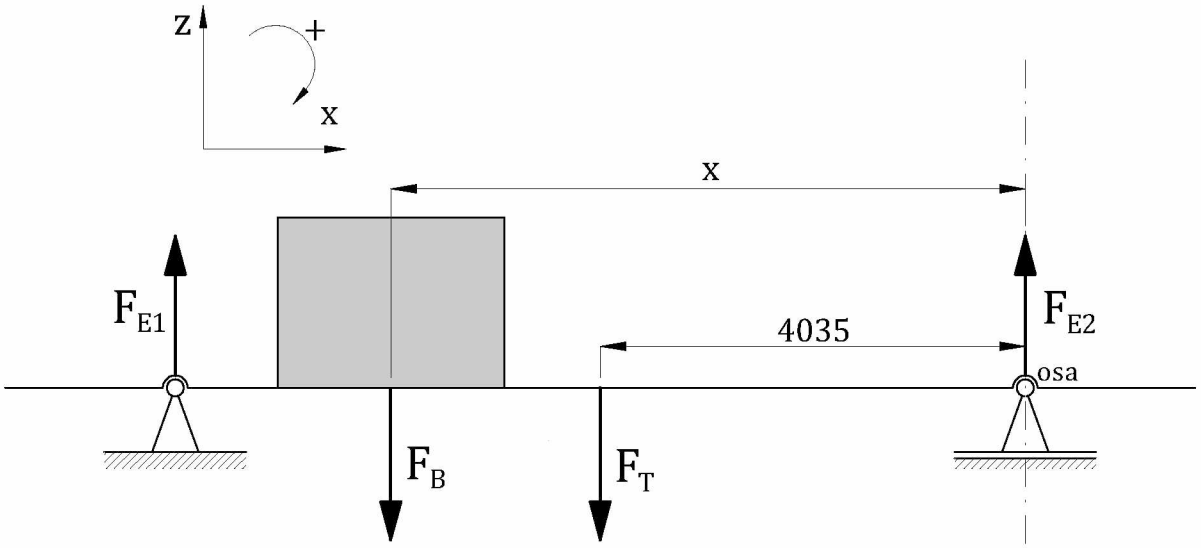
Jsou tak vyjádřeny maximální zatížení na oba podvozky neboli reakce v uložení podvozku a skříně. Rovnice (36) pak vyjadřuje maximální hmotnost, která může působit na podvozky při extrému 3:1. Zbývá vyjádřit hmotnost břemena, které je možno na vůz naložit a následně určit jeho polohu v podélném směru. Hmotnost vozu Sggrrs je pro přehlednost uvažována opět 18 150 kg. Tato hmotnost se rovnoměrně rozkládá mezi oba podvozky a tím pádem je zahrnuta v celkové hmotnosti 60 000 kg. Pro hmotnost B břemena pak platí:

$$B = 60\,000 - 18\,150 = 41\,850\ kg \tag{37}$$

Na voze Sggrrs lze převézt kusový náklad o hmotnosti přes 41 tun při extrémním poměru zatížení na podvozky 3:1. Nyní zbývá pouze určit polohu tíhové síly nákladu v podélném směru. Postup výpočtu je obdobný jako v přechozí části 2.1.1. Vše je zaznačeno na Obr. 22 a 23.



Obr. 22 – Podélný pohled na vůz s vychýleným břemenem



Obr. 23 – Náhradní nosník vozu pro analýzu extrému 3:1

Parametry:

B = 41 850 kg – hmotnost nákladu (břemena)
T = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
$\boldsymbol{E_1}$ = 45 000 kg – reakce, hmotnost na podvozek blíže nákladu
$\boldsymbol{E_2}$ = 15 000 kg – reakce, hmotnost na podvozek dále od nákladu
x – vzdálenost těžiště nákladu od osy; [mm]

Výpočet:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{ix} = 0\,;0 = 0 \tag{38}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0\,;F_{E1} + F_{E2} - F_B - F_T = 0 \tag{39}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0\,;F_{E1} \cdot 8\,070 - F_B \cdot x - F_T \cdot 4\,035 \tag{40}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g lze z rovnice (40) vyjádřit míru x:

$$x = \frac{E_1 \cdot 8\,070 - T \cdot 4\,035}{B} \tag{40´}$$

Po dosazení do rovnice (40´):

$$x = 6\,927{,}473118\,mm \cong 6{,}9\,m \tag{40´´}$$

Lze dopočíst vzdálenost od středu vozu:

$$x´ = x - 4\,035 = 6\,927{,}473118 - 4\,035 = 2\,892{,}473118\,mm \cong 2{,}9\,m \tag{41}$$

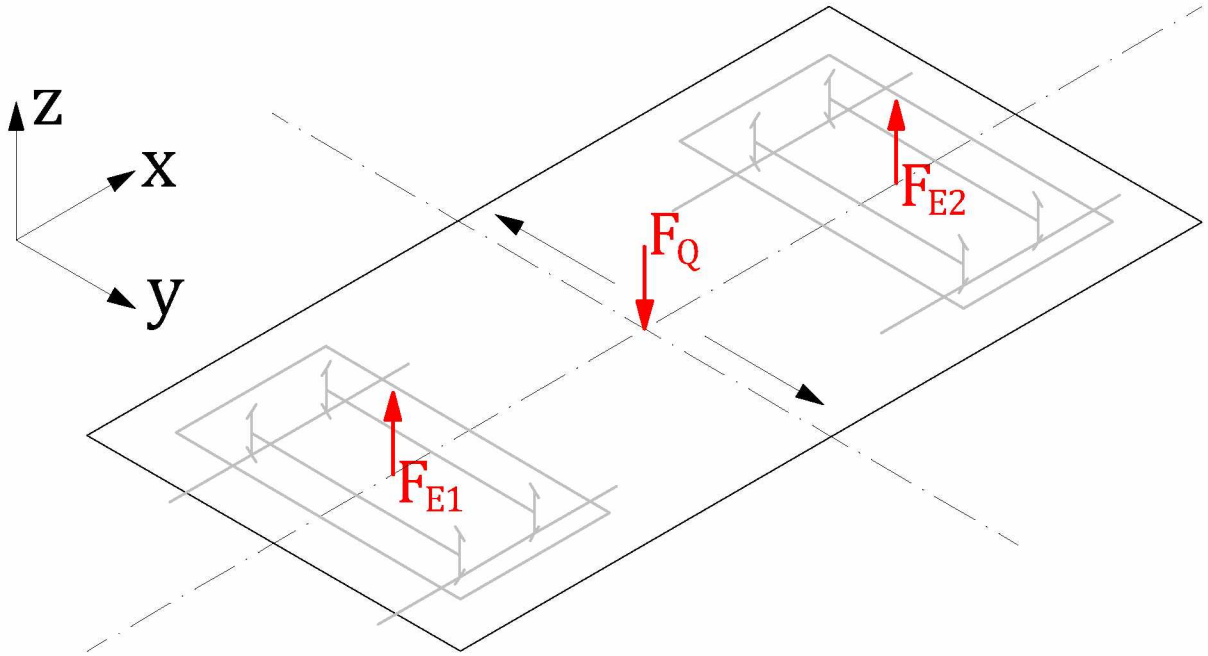
Výpočtem je zjištěno, že při extrému 3:1 zatížení na podvozek lze na voze Sggrrs přepravovat poměrně těžké břemeno o hmotnosti přes 41 t. Tento náklad by měl své těžiště, a tedy i působiště

tíhové síly vychýlené o 2,9 metru od středu vozu, ale i tak by vyhověl podmínce Nakládací směrnice UIC.

Další část textu (kapitola 2.1.3) se zabývá výpočtem ložení kontislitků dle zadání od společnosti ČD Cargo, a. s., kde (jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.1) platí podmínka rovnoměrného rozložení nákladu v podélném směru! Znamená to, že reakce v uložení podvozku E_1 a E_2 jsou si rovny a jejich poměr je roven jedné.

$$\frac{E_1}{E_2} = 1$$

Jestliže je podmínka rovnoměrného rozložení nákladu v podélném směru dodržena, pak se celková výslednice F_Q tíhy nákladu a tíhy vozu vždy nachází v polovině vozu ve směru podélném a pouze se vychyluje ve směru příčném (Obr. 24) podle toho, jak jsou kontislitky, popřípadě jiný náklad, naložen.



Obr. 24 – Výslednice na středu vozu

Výpočet pak může být vztažen přímo k jedné nápravě, jelikož rozdělení hmotnosti nákladu mezi nápravy je též rovnoměrné (kapitola 2.1.3). Nakládací směrnice rovnoměrné rozložení nákladu v podélném směru zmiňuje: *„Výpočet může být proveden k jedné nápravě, neboť náklad je naložen v podélném směru souměrně.“* [3, s. 3-4] Případ, kdy by náklad nebyl podélně souměrně naložen, by se musel počítat jiným způsobem, který je vysvětlen v kapitole 2.2.

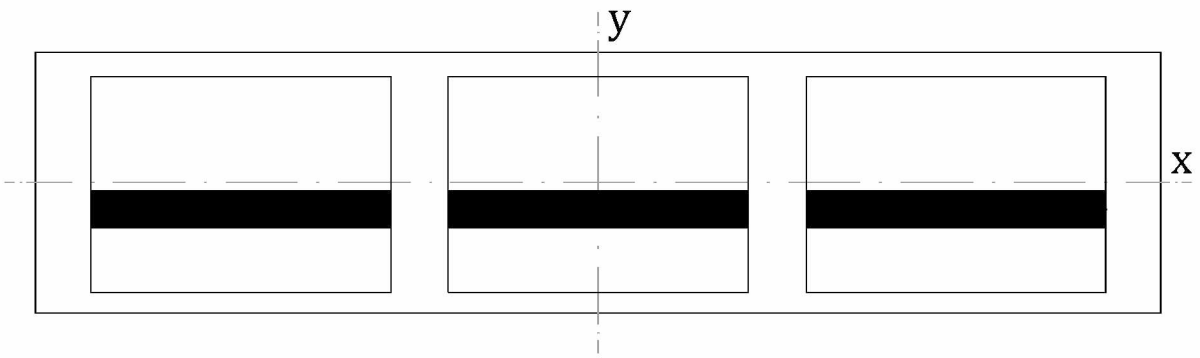
2.1.3 Dodržení u každé nápravy poměru zatížení na kolo 1:1,25

V této části práce je řešeno, jak se liší zatížení na kolo v rámci jedné nápravy při výpočtu zadání od ČD Cargo, a. s. Předpokládáme rovnoměrné rozložení nákladu v podélném směru. Vůz Sggrrs má čtyři nápravy (polovina vozové jednotky), příčný řez zadání ložení je na Obr. 19. Je potřeba vyšetřit, jak velké zatížení působí na jednotlivé kola. Vůz je opět převeden na nosník na dvou podpěrách, které jsou nyní ve vzdálenosti styčných kružnic $2s$ (1500 mm), stejně jako je popsáno v kapitole 1 při obecném vysvětlení. Na nosník působí tíhové síly jednotlivých kontislitků a také

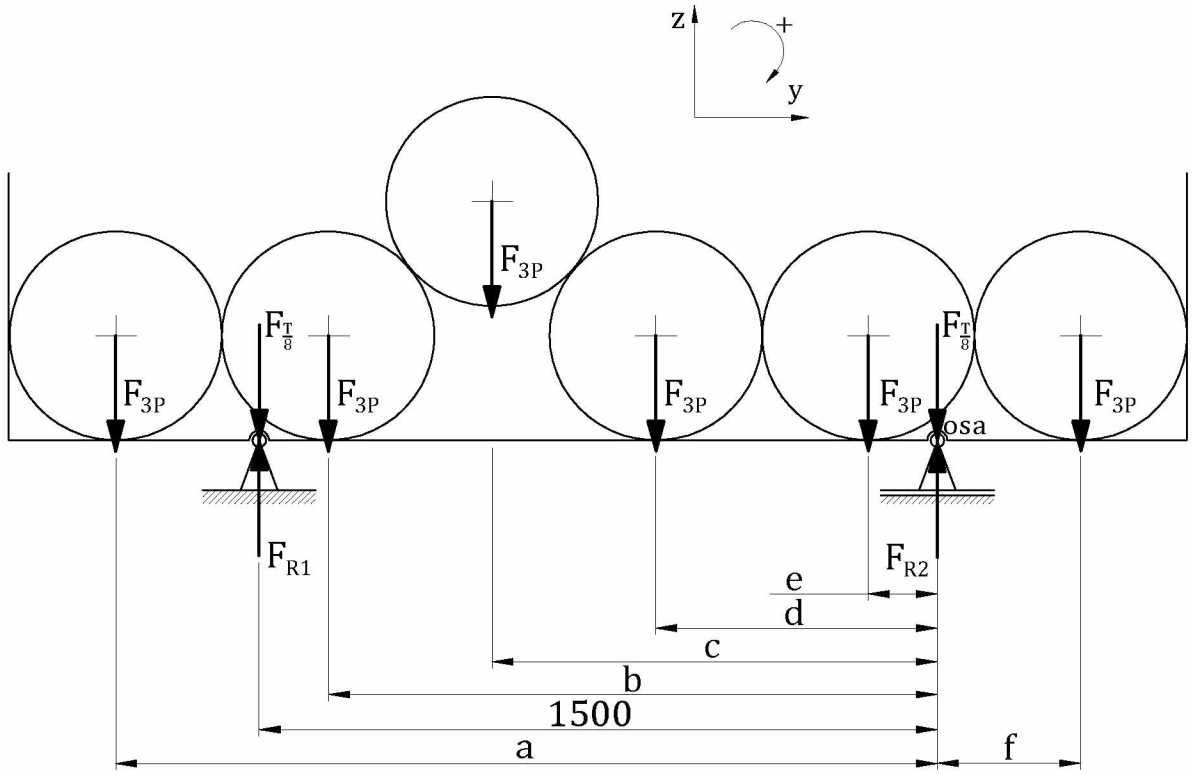
tíha vozu. Nyní je třeba rozlišit, jak jsou palety RWP-Steel na voze otočeny. Existují dva způsoby, jak si dané zadání vyložit:

Palety jsou všechny otočeny souhlasně za sebou

Pak platí, že z příčného pohledu na vůz jednotlivé kontislitky lícují za sebou a tento pohled souhlasí s obrázkem zadání (Obr. 19). Půdorysný pohled na vůz je na Obr. 25, který znázorňuje pouze horní vrstvu kontislitků (černé pruhy). Jednotlivé silové působení je zaznačeno na Obr. 26, který představuje náhradní nosník nápravy.



Obr. 25 – Půdorysný pohled na vůz Sggrrs při souhlasném otočení palet



Obr. 26 – Náhradní nosník nápravy pro výpočet zadání při souhlasném otočení palet

Celý výpočet je vztažen k jedné nápravě. Na Obr. 26 je u každého kontislitku naznačena tíhová síla F_{3P}, která představuje působení tíhových sil třech kontislitků, které jsou v zákrytu za sebou. Celkové tíhové působení kontislitků je rovnoměrně děleno čtyřmi, protože vůz má čtyři nápravy. Taktéž tíhovou sílu vozu F_T je třeba rozložit na jednotlivá kola. Je dělena osmi, jelikož počet kol na voze je osm. Dále jsou na obrázku zaznačeny reakce od podložky F_{R1}, F_{R2} a kóty vzdáleností

k ose, ke které se následně vztahuje momentová rovnice. Osa prochází kolmo na rovinu obrázku a je v místě podpěry u reakce F_{R2}.

Následně je opět užita metoda postupného uvolňování. Je hledána rovnováha mezi zatěžujícími tíhovými silami a kolovými reakčními silami.

Parametry:

$\boldsymbol{F_{3P}}$ – tíhová síla třech kontislitků; [N]
$\boldsymbol{F_{\frac{T}{8}}}$ – tíhová síla vozu dělená mezi osm kol; [N]
$\boldsymbol{F_{R1}, F_{R2}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol (**1 500 mm**) pro rozchod koleje 1 435 mm
$\boldsymbol{a}$ = 1 817,4 mm
$\boldsymbol{b}$ = 1 347,4 mm
$\boldsymbol{c}$ = 985 mm
$\boldsymbol{d}$ = 622,6 mm
$\boldsymbol{e}$ = 152,6 mm
$\boldsymbol{f}$ = 317,4 mm

Výpočet:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0 \,;\, 0 = 0 \tag{42}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0 \,;\, F_{R1} + F_{R2} - 2 \cdot F_{\frac{T}{8}} - \frac{6 \cdot F_{3P}}{4} = 0 \tag{43}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0 \,;\, F_{R1} \cdot 2s - \frac{F_{3P} \cdot (a + b + c + d + e - f)}{4} - F_{\frac{T}{8}} \cdot 2s = 0 \tag{44}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g:

$$R_1 + R_2 - 2 \cdot \frac{T}{8} - \frac{6 \cdot 3P}{4} = 0 \tag{43´}$$

$$R_1 \cdot 2s - \frac{3P \cdot (a + b + c + d + e - f)}{4} - \frac{T}{8} \cdot 2s = 0 \tag{44´}$$

$\boldsymbol{P}$ = 3 405 kg – hmotnost jednoho kontislitku
$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
$\boldsymbol{R_1, R_2}$ – hmotnosti na kolo; [kg]

pozn. násobení třemi u tíhy P je z toho důvodu, že palety jsou na voze tři, dělení čtyřmi kvůli čtyřem nápravám, tíhu T vozu dělíme mezi osm kol

Z rovnice (44´) je vyjádřena reakce R_1:

$$R_1 = \frac{\frac{3P \cdot (a + b + c + d + e - f)}{4}}{2s} + \frac{T}{8} \tag{44´´}$$

Po dosazení:

$$R_1 = 10\,113{,}189 \cong 10\,113\ kg \qquad (44'')$$

Následně z rovnice (43´) je vyjádřena reakce R_2:

$$R_2 = \frac{T}{4} + \frac{6 \cdot 3P}{4} - R_1 \qquad (43'')$$

Po dosazení:

$$R_2 = 9\,746{,}811 \cong 9\,747\ kg \qquad (43'')$$

Dále je zkontrolována podmínka nakládací směrnice:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 1{,}25 \qquad (I.)$$

$$\mathbf{1,04 \leq 1,25}$$

Podmínka dodržení poměru zatížení na kolo maximálně 1,25:1 je splněna, takže tohle ložení je považováno za provozu schopné. Součet čtyřnásobku reakce R_1 a čtyřnásobku reakce R_2 musí být roven celkové hmotnosti G vozu s nákladem. Je zkontrolováno rozložení hmotnosti mezi osm kol vozu.

$$G = 3 \cdot 6 \cdot 3\,405 + 18\,150$$

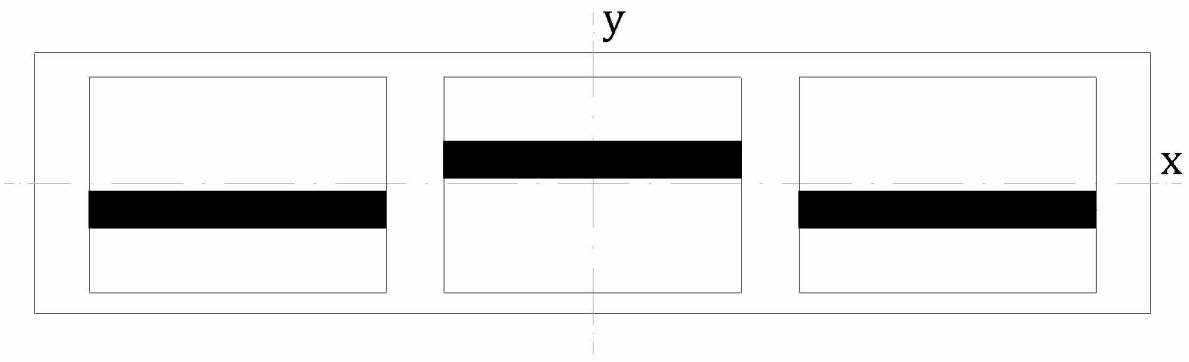
$$G = 79\,440\ kg$$

$$4 \cdot R_1 + 4 \cdot R_2 = 4 \cdot 10\,113{,}189 + 4 \cdot 9\,746{,}811 = 79\,440\ kg$$

$$\boldsymbol{4 \cdot R_1 + 4 \cdot R_2 = G}$$

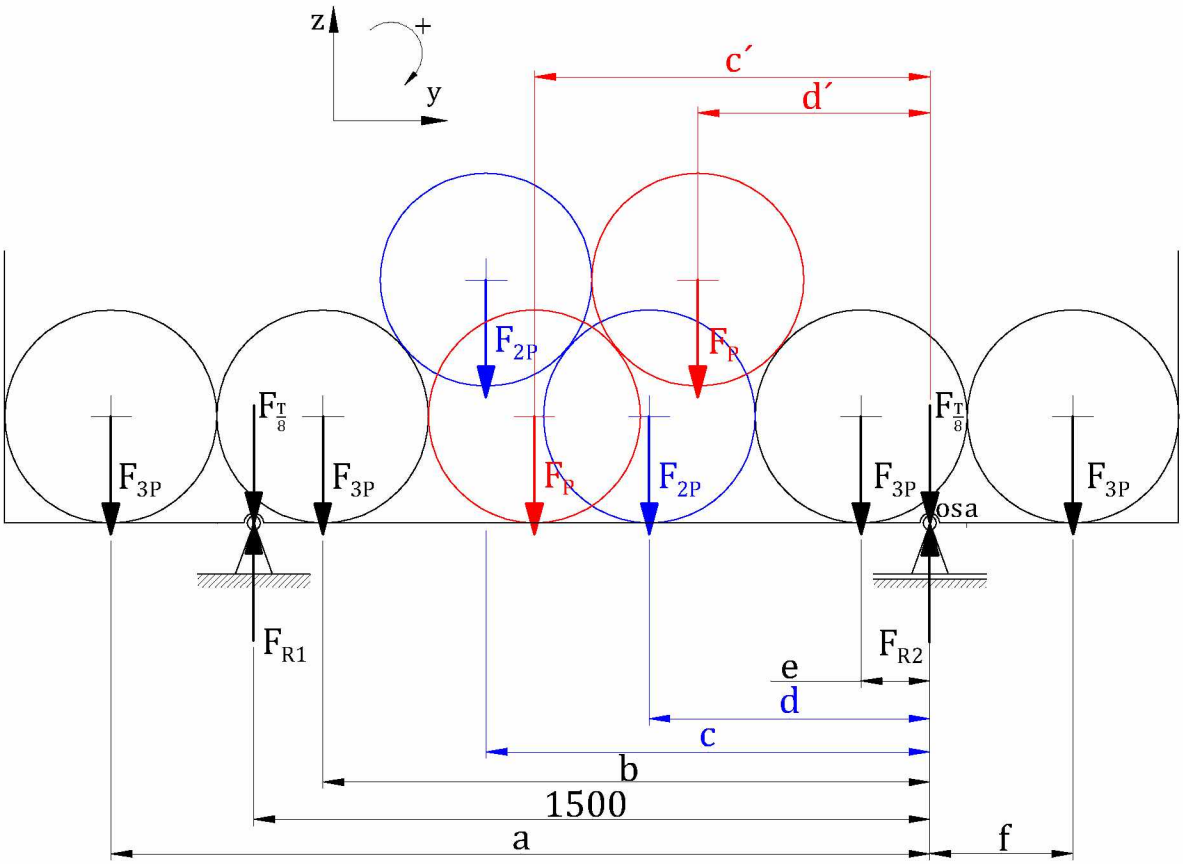
Palety jsou všechny otočeny střídavě

V tomto případě je provedeno ložení kontislitků na paletách RWP-Steel tak, že střední paleta je otočena o 180° vůči paletám krajním. Podle logické úvahy je to efektivnější způsob ložení a zatížení na kola by mělo být více rovnoměrné. Výpočet je proveden obdobně jako výše.



Obr. 27 – Půdorysný pohled na vůz Sggrrs při střídavém otočení palet

Obr. 27 zachycuje půdorysný pohled na vůz Sggrrs shora při ložení palet střídavě. Černé pruhy představují kontislitky ložené v horní vrstvě. Pod nimi se nachází dalších pět kontislitků. Střední paleta je otočena.



Obr. 28– Náhradní nosník nápravy pro výpočet zadání při střídavém otočení palet

Opět je celý výpočet vztažen k jedné nápravě, která je znázorněna na Obr. 28. U kontislitků jsou zaznačeny tíhové síly F_P vždy podle toho, kolik je kontislitků v zákrytu za sebou. Černě jsou vyznačeny tíhové síly F_{3P} od kontislitků, které lícují za sebe v celé délce vozu (krajní palety a třední paleta). Červeně jsou zaznačeny tíhové síly F_P od kontislitků, které se nachází na střední paletě. Modře jsou pak znázorněny tíhové síly F_{2P} kontislitků ležících pouze na dvou krajních paletách. Dále je zaznačena tíhová síla vozu F_T, která se dělí mezi osm kol a reakce od podložky F_{R1}, F_{R2}. Všechny vzdálenosti od osy v místě jedné z podpor jsou patřičně zakótovány. Dále platí, že celkové tíhové působení je ve výpočtu děleno čtyřmi mezi čtyři nápravy.

Metodou postupného uvolňování je hledána rovnováha mezi zatěžujícími tíhovými silami a kolovými reakčními silami.

Parametry:

$\boldsymbol{F_{3P}}$ – tíhová síla třech kontislitků; [N]
$\boldsymbol{F_{2P}}$ – tíhová síla dvou kontislitků; [N]
$\boldsymbol{F_P}$ – tíhová síla jednoho kontislitku; [N]
$\boldsymbol{F_{\frac{T}{8}}}$ – tíhová síla vozu dělená mezi osm kol; [N]
$\boldsymbol{F_{R1}, F_{R2}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol (**1 500 mm**) pro rozchod koleje 1 435 mm
$\boldsymbol{a}$ = 1 817,4 mm; $\boldsymbol{a´}$ = 1 817,4 mm

$\boldsymbol{b}$	= 1 347,4 mm;	$\boldsymbol{b}'$	= 1 347,4 mm
$\boldsymbol{c}$	= 985 mm;	$\boldsymbol{c}'$	= 877,4 mm
$\boldsymbol{d}$	= 622,6 mm;	$\boldsymbol{d}'$	= 515 mm
$\boldsymbol{e}$	= 152,6 mm;	$\boldsymbol{e}'$	= 152,6 mm
$\boldsymbol{f}$	= 317,4 mm	$\boldsymbol{f}'$	= 317,4 mm

pozn. vzdálenosti s čarou platí pro kontislitky na střední paletě.

Výpočet:

Zavedeno:

$A = a + b + c + d + e - f$

$\boldsymbol{A = 4\,607,6\ mm}$

$B = a' + b' + c' + d' + e' - f'$

$\boldsymbol{B = 4\,392,4\ mm}$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0\ ;0 = 0 \tag{45}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0\ ;F_{R1} + F_{R2} - 2 \cdot F_{\frac{T}{8}} - \frac{4 \cdot F_{3P}}{4} - \frac{2 \cdot F_{2P}}{4} - \frac{2 \cdot F_{P}}{4} = 0 \tag{46}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0\ ;F_{R1} \cdot 2s - F_{\frac{T}{8}} \cdot 2s - \frac{2 \cdot F_{P} \cdot A}{4} - \frac{F_{P} \cdot B}{4} = 0 \tag{47}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g:

$$R_1 + R_2 - 2 \cdot \frac{T}{8} - \frac{4 \cdot 3P}{4} - \frac{2 \cdot 2P}{4} - \frac{2 \cdot P}{4} = 0 \tag{46´}$$

$$R_1 \cdot 2s - \frac{T}{8} \cdot 2s - \frac{2 \cdot P \cdot A}{4} - \frac{P \cdot B}{4} = 0 \tag{47´}$$

$\boldsymbol{P}$ = 3 405 kg – hmotnost jednoho kontislitku

$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu

$\boldsymbol{R_1, R_2}$ – hmotnosti na kolo; [kg]

Následně je z rovnice (47´) je vyjádřena reakce R_1:

$$R_1 = \frac{T}{8} + \frac{\frac{2 \cdot P \cdot A}{4}}{2s} + \frac{\frac{P \cdot B}{4}}{2s} \tag{47´´}$$

Po dosazení:

$$R_1 = 9\,991{,}063 \cong 9\,991\ kg \tag{47´´}$$

Z rovnice (46´) je vyjádřena reakce R_2:

$$R_2 = \frac{T}{4} + \frac{4 \cdot 3P}{4} + \frac{2 \cdot 2P}{4} + \frac{2 \cdot P}{4} - R_1 \tag{46´´}$$

Po dosazení:

$$R_2 = 9\,868{,}937 \cong 9\,869\ kg \qquad (46'')$$

Následuje kontrola podmínky nakládací směrnice:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 1{,}25 \qquad (I.)$$

$$\mathbf{1,01 \leq 1,25}$$

Podmínka dodržení poměru zatížení na kolo maximálně 1,25:1 je splněna. Navíc je potvrzeno, že tento způsob ložení (střídavě) je efektivnější, než způsob ložení na palety souhlasně za sebou. Ložení lze považovat za provozu schopné. Následuje kontrola rozložení hmotnosti mezi osm kol.

$$G = 3 \cdot 6 \cdot 3405 + 18\,150$$

$$G = 79\,440\ kg$$

$$4 \cdot R_1 + 4 \cdot R_2 = 4 \cdot 9991{,}063 + 4 \cdot 9868{,}937 = 79440\ kg$$

$$\boldsymbol{4 \cdot R_1 + 4 \cdot R_2 = G}$$

Výpočtem je tedy potvrzeno, že podle Nakládací směrnice UIC zadání splňuje podmínky a celkově je tedy povoleno takto kontislitky přepravovat.

2.1.4 Analýza extrému podmínky zatížení na kolo 1,25:1

Nakládací směrnice UIC stanovuje podmínku:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 1{,}25 \qquad (I.)$$

Platí, že reakce R_1 je v místě styku kola s kolejnicí blíže k vychýlené výslednici tíhové síly nákladu a naopak reakce R_2 je dále od výslednice. Maximální zatížení na nápravu u vozu Sggrrs je 22,5 t. Jestliže se zatížení rozdělí v poměru 1,25:1, pak jsou výsledné hmotnosti na kolo:

$$R_1 = 12\,500\ kg \qquad (48)$$

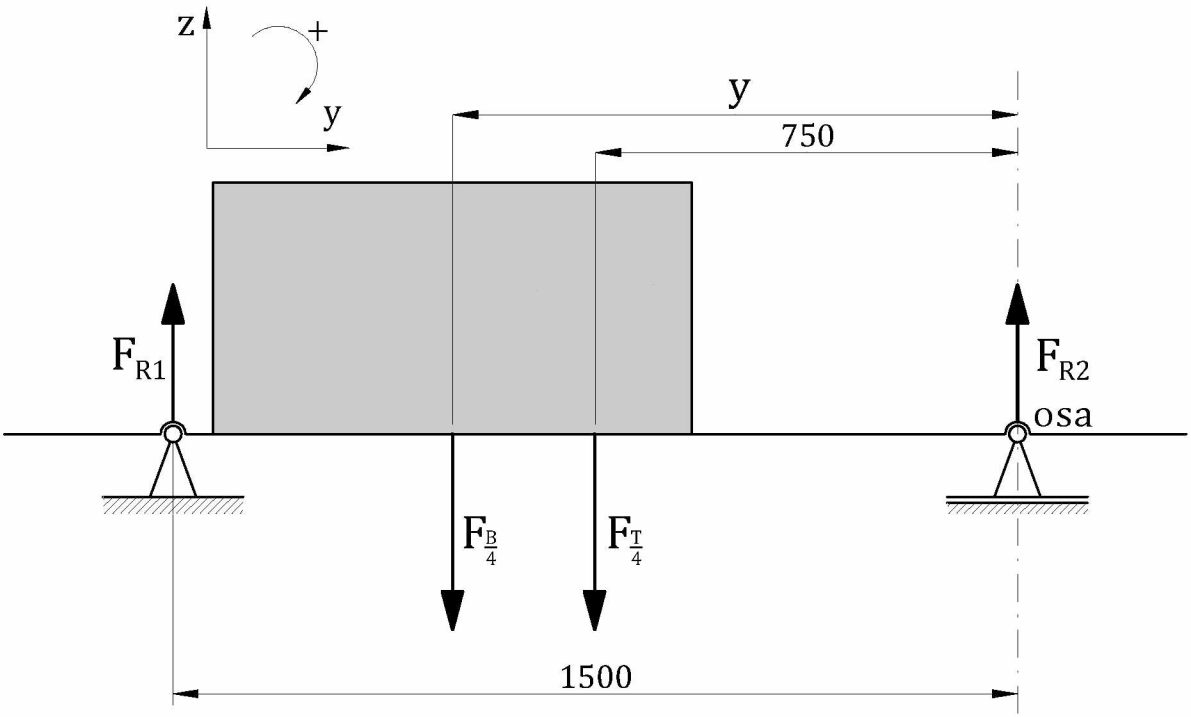
$$R_2 = 10\,000\ kg \qquad (49)$$

Pro výpočet platí, že náklad je na voze podélně rovnoměrně rozložen! Poměr zatížení na podvozek v podélném směru je 1:1! Nesmí tedy nastat situace popisovaná v kapitole 2.1.2. Případ, kdy by náklad v podélném směru rovnoměrně rozložen nebyl, je uveden v kapitole 2.2. Z hlediska posouzení extrému zatížení 1,25:1 je nutné zjistit, jak těžký náklad lze na voze Sggrrs přepravit a jaké poloze se bude nacházet jeho těžiště vzhledem ke středu vozu v příčném pohledu. Výpočet se vztahuje k jedné nápravě, na kterou působí čtvrtina hmotnosti T vozu a taktéž čtvrtina hmotnosti B nákladu (nápravy má vůz čtyři). Pro hmotnost nákladu B platí:

$$B = 4 \cdot \left[(R_1 + R_2) - \frac{T}{4}\right] = 4 \cdot \left[(12\,500 + 10\,000) - \frac{18\,150}{4}\right] = 71\,850\ kg \qquad (50)$$

pozn. rovnice (50) je rovnicí, kde je počítáno pouze s hmotnostmi, ne se silami

Náprava je nahrazena náhradním nosníkem (Obr. 29)



Obr. 29 – Náhradní nosník nápravy pro analýzu extrému 1,25:1

Parametry:

$\boldsymbol{F_{\frac{B}{4}}}$ – tíhová síla břemena (nákladu) dělená mezi čtyři nápravy; [N]
$\boldsymbol{F_{\frac{T}{4}}}$ – tíhová síla vozu dělená mezi čtyři nápravy; [N]
$\boldsymbol{F_{R1}, F_{R2}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol (**1 500 mm**) pro rozchod koleje 1 435 mm
$\boldsymbol{y}$ – vzdálenost těžiště nákladu v příčném pohledu od osy; [mm]

Výpočet vztažený k jedné nápravě:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0\,;0 = 0 \tag{51}$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iz} = 0\,;F_{R1} + F_{R2} - F_{\frac{T}{4}} - F_{\frac{B}{4}} = 0 \tag{52}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0\,;F_{R1} \cdot 1500 - F_{\frac{B}{4}} \cdot y - F_{\frac{T}{4}} \cdot 750 = 0 \tag{53}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g:

$$R_1 + R_2 - \frac{T}{4} - \frac{B}{4} = 0 \tag{52´}$$

$$R_1 \cdot 1500 - \frac{B}{4} \cdot y - \frac{T}{4} \cdot 750 = 0 \qquad (53´)$$

$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
$\boldsymbol{R_1}$ = 12 500 kg – hmotnost na kolo blíže k výslednici tíhové síly nákladu
$\boldsymbol{R_2}$ = 10 000 kg – hmotnost na kolo dále od výslednici tíhové síly nákladu
$\boldsymbol{B}$ = 71 850 kg – hmotnost nákladu, který je podélně souměrně uložený na vůz

Z rovnice (53´) je vyjádřena vzdálenost y:

$$y = \frac{4 \cdot 1500 \cdot R_1 - T \cdot 750}{B} \qquad (53´´)$$

Po dosazení:

$$y = 854{,}38\ mm \qquad (53´´)$$

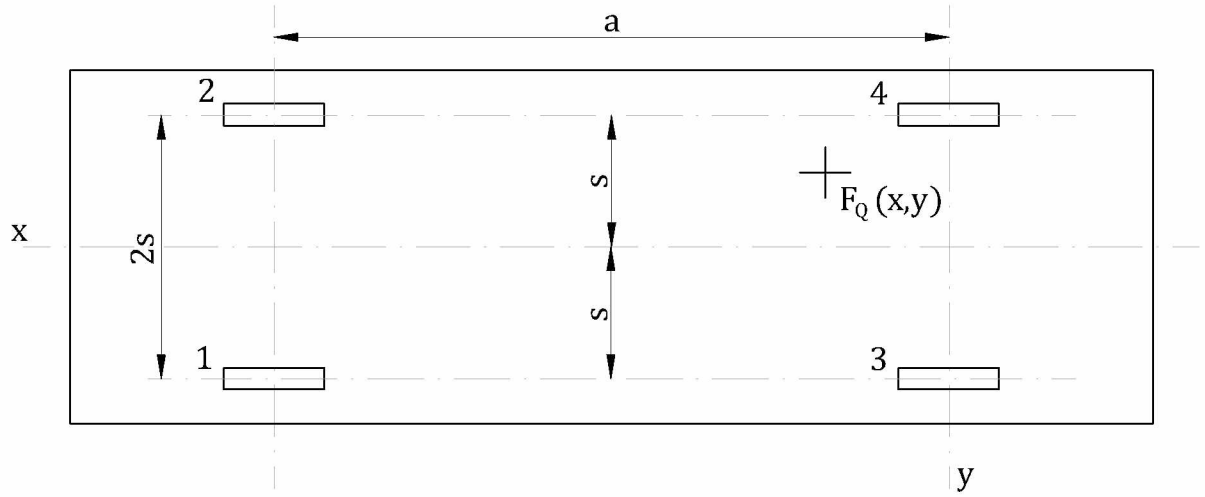
Vzdálenost od středu vozu:

$$y´ = y - 750 = 854{,}38 - 750 = 104{,}38 \cong 0{,}1\ m \qquad (54)$$

Výpočtem je zjištěno, že při extrémním využitím podmínky 1,25:1 lze na voze Sggrrs přepravovat náklad o hmotnosti 71 850 kg, který bude mít vychýlené příčně těžiště až o 10 cm. Ovšem předpokládá se souměrné rozložení nákladu v podélném směru. Fakt, že vyosení těžiště je maximálně 10 cm je zmíněn i v nakládací směrnici UIC: *„Mezní hodnoty pro zatížení kol jsou dodrženy, není-li těžiště nákladu v příčném směru vychýleno více než o 10 cm při plném vytížení vozu.“* [3, s. 3-3] Jestliže byl obdobný výpočet použit pro poloviční vytížení vozu, pak těžiště nákladu bylo vzdáleno necelých 14 cm od středu vozu, což potvrzuje tvrzení Nakládací směrnice UIC.

2.2 Výpočet kolových sil řešením staticky neurčité úlohy

V této části práce je popsán jiný způsob [13, s. 430-431], jak je možno nahlížet na to, zda dané ložení kontislitků na voze vyhovuje, či nevyhovuje normě a podmínkám, které stanovuje Nakládací směrnice UIC. Na vůz Sggrrs je nahlíženo jako na zjednodušený model. Podvozky vozu jsou nahrazeny dvěma nápravami. Z vozu se tak stává dvounápravový vůz, kde styk kol s kolejnicovými pásy je ve čtyřech bodech. Pro tento způsob výpočtu není nutné uvažovat rovnoměrné rozložení nákladu v podélném směru. Půdorys tohoto vozu je na Obr. 30. Na obrázku je též vyznačena vzdálenost středů náprav a a vzdálenost styčných kružnic kol $2s$ náhradního vozu.



Obr. 30 – Půdorys náhradního vozu

Úkolem je zjistit hmotnosti na kola N_1, N_2, N_3, N_4 (reakce) zjednodušeného dvounápravového vozu na tuhé rovinné podložce, kterou představují kolejnicové pásy. Jde tu o úlohu se šesti stupni volnosti. Pro rovnováhu se vnější síly musí dát nahradit výslednicí kolmou k rovině podlahy vozu. Vnějšími silami jsou myšleny tíhové síly od jednotlivých kontislitků (popřípadě jiného nákladu) a také tíha samotného vozu Sggrrs. Výslednice je označena F_Q. Pro obecné vyjáření je použitý obrázek, kde je výslednice F_Q v obecné poloze zaznačené křížkem (Obr. 30). Silové reakce F_{N1} až F_{N4} jsou kolmé na rovinu obrázku v místech dotyku kol s kolejnicí.

Parametry:

$\boldsymbol{F_Q}$ – výslednice tíhových sil působící na podlahu vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{Ni}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{a}$ – vzdálenost středů náprav; [m]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol **(1 500 mm)**

Pro výpočet reakcí je potřeba sestavit momentové rovnice k osám, které tvoří místa styku kol s kolejnicovými pásy:

$$M_{13} = (s + y) \cdot F_Q - 2s \cdot F_{N2} - 2s \cdot F_{N4} = 0 \tag{55}$$

$$M_{24} = (s - y) \cdot F_Q - 2s \cdot F_{N1} - 2s \cdot F_{N3} = 0 \tag{56}$$

$$M_{34} = x \cdot F_Q - a \cdot F_{N1} - a \cdot F_{N2} = 0 \tag{57}$$

A pro úplnost i poslední rovnice k ose 1-2:

$$M_{12} = (a - x) \cdot F_Q - a \cdot F_{N3} - a \cdot F_{N4} = 0 \tag{58}$$

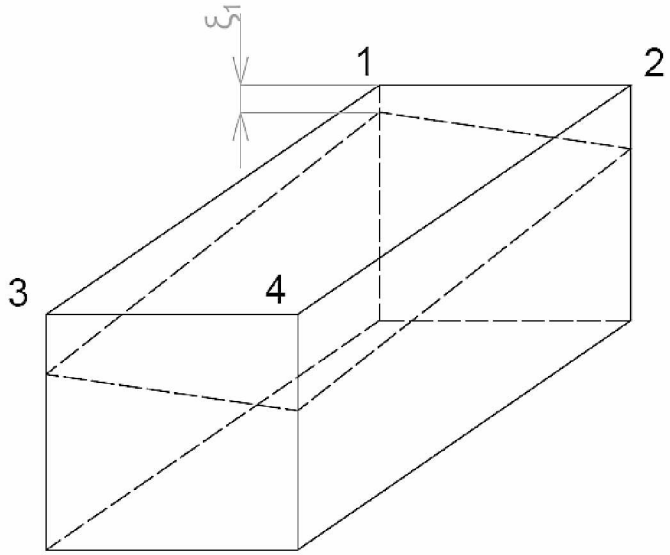
Je třeba vzít v úvahu, že rovnoběžné osy jsou na sobě lineárně závislé. Proto je ve výpočtu nutné použít rovnice pro osy, které jsou na sebe kolmé (tedy například osa 1-3 a 3-4). Taktéž místo kterékoliv z těchto čtyř rovnic lze použít složkovou (silovou) rovnici:

$$F_{N1} + F_{N2} + F_{N3} + F_{N4} - F_Q = 0 \tag{59}$$

Případ je staticky neurčitý, jelikož pro čtyři neznámé (F_{N1} až F_{N4}) existují zatím tři rovnice. Jsou to dvě momentové rovnice k osám, které na sobě nejsou lineárně závislé a jedna složková (silová)

rovnice. To znamená, že k těmto rovnicím je třeba přidat čtvrtou rovnici, aby počet neznámých souhlasil s počtem rovnic. S užitím znalostí z pružnosti a pevnosti a literatury [14] je jako čtvrtá rovnice přidána rovnice deformační, pomocí níž lze s příkladem dále pracovat. Je vytvořena z podmínky, že body rámu (podlahy) vozu v místech spojení s dvojkolím tvoří obdélník a zůstávají stále v téže rovině (Obr. 31). Při zatížení vozu se podlaha vzhledem k podložce sice skloní, ale obdélník zůstane zachován. Nedbáme-li malých postranních vyšinutí těchto bodů, můžou se souřadnice $a, 2s$ považovat za konstantní. Určí se pouze svislá posunutí (deformace) zmíněných bodů. Označíme-li tyto deformace $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$, pak platí se zřetelem na rovnoběžnost protilehlých stran příslušného útvaru rovnice:

$$\xi_2 - \xi_1 = \xi_4 - \xi_3 \tag{60}$$



Obr. 31 – Podlaha vozu, která zůstává v rovině

Rovnici (60) lze považovat za deformační rovnici, která je použita v následujících výpočtech. Nejprve je upravena. Vůz je uložen na šroubovitých pružinách tvořících vypružení. Lze využít znalosti z fyziky. Příčinou harmonického kmitání mechanického oscilátoru (šroubovité pružiny) je síla, která je přímo úměrná výchylce (deformaci) pružiny a také tuhosti pružiny:

$$F = c \cdot \xi \tag{61}$$

$\boldsymbol{F = F_{Ni}}$ – síla rovná kolové reakční síle ; [N]
$\boldsymbol{c}$ – tuhost pružiny; [N·m^{-1}]
$\boldsymbol{\xi}$ – deformace; [m]

Z rovnice (61) je vyjádřena deformace ξ:

$$\xi = \frac{F_N}{c} \tag{62}$$

Následně platí:

$$\xi_1 = \frac{F_{N1}}{c_1} \tag{62´}$$

A při dosazení zpět do rovnice (60):

$$\frac{F_{N1}}{c_1} - \frac{F_{N2}}{c_2} - \frac{F_{N3}}{c_3} + \frac{F_{N4}}{c_4} = 0 \qquad (60´)$$

Tuhost „*c*" šroubových pružin u jednotlivých kol je stejná, rovnici (60´) lze přepsat na:

$$F_{N1} - F_{N2} = F_{N3} - F_{N4} \qquad (60´´)$$

Rovnice (60´´) vyjadřuje zachování roviny podlahy vozu. Ve výpočtu je použita spolu se dvěma momentovými rovnicemi pro dvě na sebe kolmé osy a složkovou (silovou) rovnicí. K výpočtu čtyř neznámých kolových reakčních sil F_{N1} až F_{N4} jsou tedy užity čtyři rovnice. Je tak možné vypočítat staticky neurčitou úlohu, která plyne ze zadání. Navíc pomocí tohoto způsobu výpočtu není nutné uvažovat podélně souměrné rozložení nákladu. Výpočtem přes staticky neurčitou úlohu s využitím deformační rovnice je v dalším textu ověřeno, zda se výsledky výpočtů shodují s výpočty z kapitoly 2.1. a dále je uveden výpočet, kdy by těžiště nákladu neleželo ani na jedné půdorysné ose podlahy vozu (kapitola 2.2.3).

2.2.1 Vůz Sggrrs staticky neurčitou metodou při souhlasném otočení palet

V této části je proveden výpočet, kdy uvažujeme, že je ložení kontislitků na paletách souhlasné. Znamená to, že když bychom se podívali na vůz ze strany, pak kontislitky budou lícovat za sebe.

Pro provedení výpočtu je nejprve nutné určit, kde se nachází výslednice F_Q všech tíhových sil. V předchozí části je zavedeno zjednodušení úlohy a to takové, že vůz má pouze dvě nápravy. Proto je vůz rozdělen na dvě poloviny a vznikají dvě výslednice F_{Q1} a F_{Q2}, kde každá z nich je výslednicí na jedné nápravě. Tyto výslednice jsou následně sečteny v jedinou celkovou výslednici F_Q a je určena její poloha vzhledem k podlaze vozu.

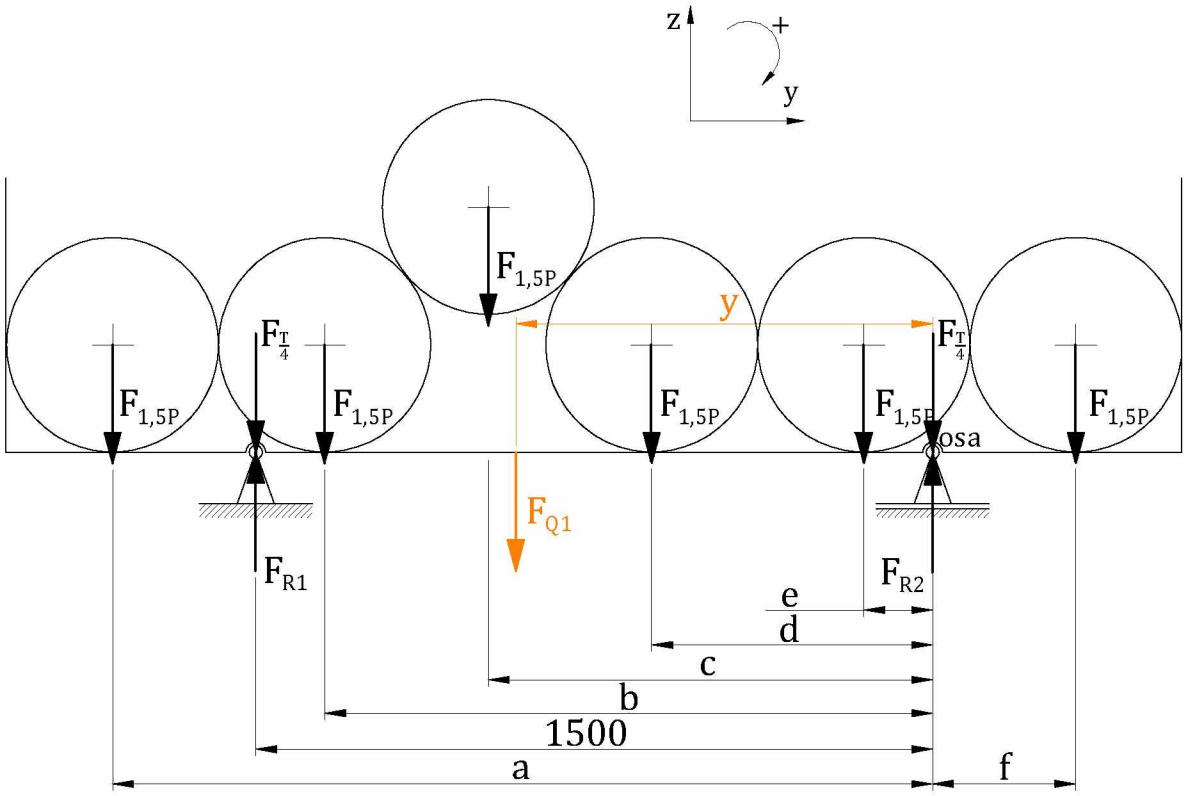
Při výpočtu výslednic F_{Q1} a F_{Q2} je zohledněn fakt, že všechny síly, které budou působit na nápravu, jsou rovnoběžné. Náprava je nahrazena náhradním nosníkem na dvou podporách (Obr. 32) a vyšetřuje se skládání rovnoběžných sil, kde platí [11]:

- Velikost výslednice rovnoběžných sil stejného směru má velikost rovnou součtu velikostí těchto sil.
- Působiště výslednice sil F_{Q1} nebo F_{Q2}, je nalezeno pomocí momentů sil. Moment výslednice vzhledem k určité ose je roven momentu původních sil k téže ose.
- Otáčivé účinky sil se navzájem ruší, mají-li stejnou velikost, ale opačný směr.

Parametry:

$\boldsymbol{F_{1,5P}}$ – tíhová síla jednoho a půl kontislitku působící na polovině vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{Q1}}$ – výslednice tíhových sil působící na jednu nápravu vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{Ni}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{F_{\frac{T}{4}}}$ – tíhová síla vozu dělená mezi čtyři kola; [N]
$\boldsymbol{2s}$ = 1500 mm – vzdálenost styčných kružnic kol
$\boldsymbol{y}$ – vzdálenost výslednice od zavedené osy; [mm]
$\boldsymbol{a}$ = 1817,4 mm;
$\boldsymbol{b}$ = 1347,4 mm;
$\boldsymbol{c}$ = 985 mm;
$\boldsymbol{d}$ = 622,6 mm;

e = 152,6 mm;
f = 317,4 mm



Obr. 32 – Náhradní nosník nápravy pro výpočet působiště výslednice při souhlasném otočení palet

Vše je zaznačeno na Obr. 32, který zobrazuje příčný pohled na vůz. Je potřeba zavést souřadný systém, též pomyslná osa otáčení je zavedena vhodně, například v místě jedné z podpor nosníku neboli v místě budoucí reakce kolové síly. Z obrázku lze vyčíst, že celková tíhová síla vozu F_T se dělí mezi čtyři kola, které nyní uvažujeme, jelikož tíha vozu působí na nápravy rovnoměrně. Na obrázku jsou zaznačeny tíhové síly $F_{1,5P}$, představující vždy tíhové síly kontislitků v zákrytu působící na polovině vozu. Při výpočtu se zjišťuje velikost výslednice F_{Q1} a její působiště (vzdálenost y) zaznačená oranžovou barvou.

Velikost výslednice se vypočte jako:

$$F_{Q1} = 6 \cdot F_{1,5P} + 2 \cdot F_{\frac{T}{4}} \tag{63}$$

Po vydělení rovnice tíhovým zrychlením g platí rovnice pro hmotnost:

$$Q_1 = 6 \cdot 1{,}5P + 2 \cdot \frac{T}{4} = 39\,720\ kg \tag{63´}$$

T = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
P = 3 405 kg – hmotnost jednoho kontislitku

Pro výpočet působiště platí:

$$M_{FQ1} = M_{sil} \tag{64}$$

$$-F_{Q1} \cdot y = -F_{1,5P} \cdot (a + b + c + d + e) - F_{\frac{T}{4}} \cdot 1500 + F_{1,5P} \cdot f \tag{65}$$

Po vydělení celé rovnice tíhovým zrychlením g je vyjádřena vzdálenost y z rovnice (65):

$$y = \frac{-1{,}5P \cdot (a+b+c+d+e) - \frac{T}{4} \cdot 1500 + 1{,}5P \cdot f}{-Q_1} \qquad (65´)$$

Po dosazení:

$$y = \frac{-30\,339\,567}{-39\,720} = 763{,}8360272 \cong 764\,mm \qquad (65´)$$

Jestliže platí, že vzdálenost styčných kružnic $2s$ je 1500 mm, pak polovina z toho je 750 mm. Když je míra 750 mm odečtena od vzdálenosti y, pak je získána vzdálenost $y´$, která představuje vyosení výslednice F_{Q1} od středu vozu v příčném směru (Obr. 33).

$$y´ = y - 750 = 763{,}8360272 - 750 = 13{,}83602719 \cong 14\,mm \qquad (66)$$

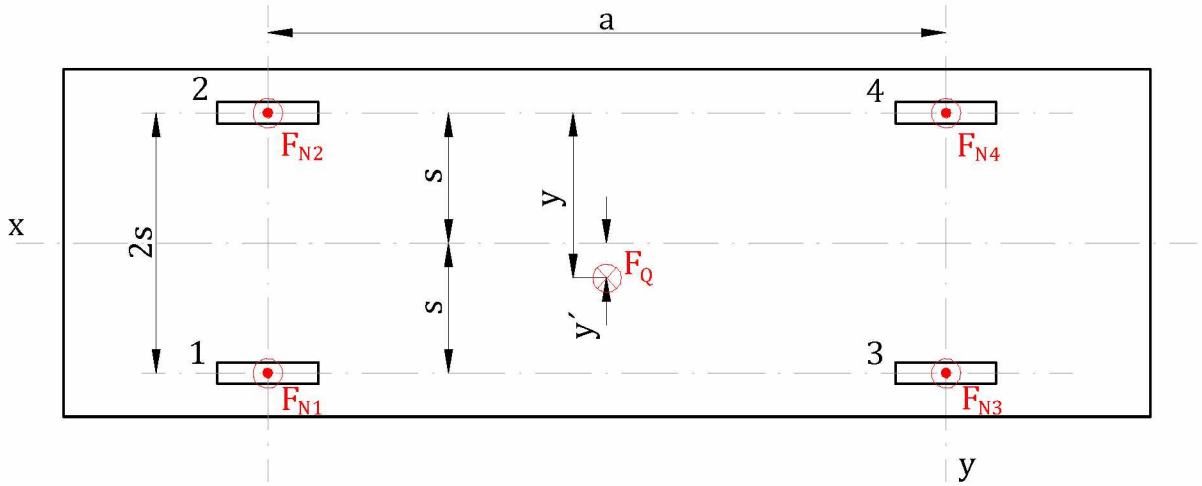
Je tak vypočtena hmotnost Q_1 působící na jednu nápravu a její působiště vzhledem k příčnému pohledu. Nápravy v našem případě jsou uvažovány dvě. S úvahou, že na druhé polovině vozu působení hmotností probíhá obdobně, pak platí:

$$Q_1 = Q_2 = 39\,720\,kg \qquad (67)$$

Celková hmotnost Q je pak dána:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 79\,440\,kg \qquad (68)$$

Působiště této výslednice F_Q bude tedy ve středu vozu ve směru podélném a ve směru příčném dáno velikostí vypočtené vzdálenosti $y´$. (viz. Obr. 33)



Obr. 33 – Půdorys náhradního vozu s vyznačenou výslednicí F_Q a její polohou

Nyní lze přejít k výpočtu pomocí staticky neurčité úlohy. Jak bylo uvedeno dříve, jsou použité čtyři rovnice, jelikož chceme zjistit čtyři neznámé, a to hmotnosti na kola (N_1, N_2, N_3, N_4). Dvě rovnice budou momentové k osám, kde zároveň je dbáno na to, aby byli lineárně nezávislé. Třetí rovnice je složková a čtvrtá vyjadřuje deformační podmínku.

pozn. $\boldsymbol{2s = 1\,500\,mm;\ a = 8\,070mm}$

$$M_{13} = 0; (s - y') \cdot F_Q - 2s \cdot F_{N2} - 2s \cdot F_{N4} = 0 \quad (69)$$

$$M_{34} = 0; \frac{a}{2} \cdot F_Q - a \cdot F_{N1} - a \cdot F_{N2} = 0 \quad (70)$$

$$F_{N1} + F_{N2} + F_{N3} + F_{N4} - F_Q = 0 \quad (71)$$

$$F_{N1} - F_{N2} = F_{N3} - F_{N4} \quad (72)$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g lze počítat pouze s hmotnostmi:

$$(s - y') \cdot Q - 2s \cdot N_2 - 2s \cdot N_4 = 0 \quad (69')$$

$$\frac{a}{2} \cdot Q - a \cdot N_1 - a \cdot N_2 = 0 \quad (70')$$

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - Q = 0 \quad (71')$$

$$N_1 - N_2 = N_3 - N_4 \quad (72')$$

$\boldsymbol{N_i}$ – reakce, hmotnost na kolo; [kg]

Nyní stačí postupně dopočítat všechny reakce. Z rovnice (72´) je vyjádřena reakce N_1:

$$N_1 = N_2 + N_3 - N_4 \quad (72'')$$

Rovnici (72´´) je dosazena do rovnic (70´) a (71´):

$$\frac{a}{2} \cdot Q - a \cdot (N_2 + N_3 - N_4) - a \cdot N_2 = 0 \quad (70'')$$

$$N_2 + N_3 - N_4 + N_2 + N_3 + N_4 - Q = 0 \quad (71'')$$

Po úpravě:

$$\frac{a}{2} \cdot Q - 2 \cdot a \cdot N_2 - a \cdot N_3 + a \cdot N_4 = 0 \quad (70'')$$

$$2 \cdot N_2 + 2 \cdot N_3 - Q = 0 \quad (71'')$$

Dále je z rovnice (69´) vyjádřena reakce N_4 a z rovnice (71´´) vyjádřena reakce N_3:

$$N_4 = \frac{(s - y') \cdot Q}{2s} - N_2 \quad (73)$$

$$N_3 = \frac{Q}{2} - N_2 \quad (74)$$

Rovnice (73) a (74) jsou dosazeny do rovnice (70´´) a po úpravě vzniká:

$$\frac{a}{2} \cdot Q - 2 \cdot a \cdot N_2 - a \cdot \frac{Q}{2} + a \cdot N_2 + a \cdot \frac{(s - y') \cdot Q}{2s} - a \cdot N_2 = 0 \quad (75)$$

Z této rovnice (75) nakonec vyplývá reakce N_2 a po dosazení je výsledek:

$$N_2 = 19\,493{,}622 \cong 19\,494\ kg \tag{75´}$$

Dále jsou dopočteny ostatní reakce:

$$N_3 = \frac{Q}{2} - N_2 = 20\,226{,}378\ \cong 20\,226\ kg \tag{74´}$$

$$N_1 = N_2 + N_3 - N_4 = 20\,226{,}378 \cong 20\,226\ kg \tag{72´´}$$

$$N_4 = \frac{(s - y´) \cdot Q}{2s} - N_2 = 19\,493{,}622\ \cong 19\,494\ kg \tag{73´}$$

Pomocí rovnice (71´) lze ověřit správnost výpočtu:

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - Q = 0$$

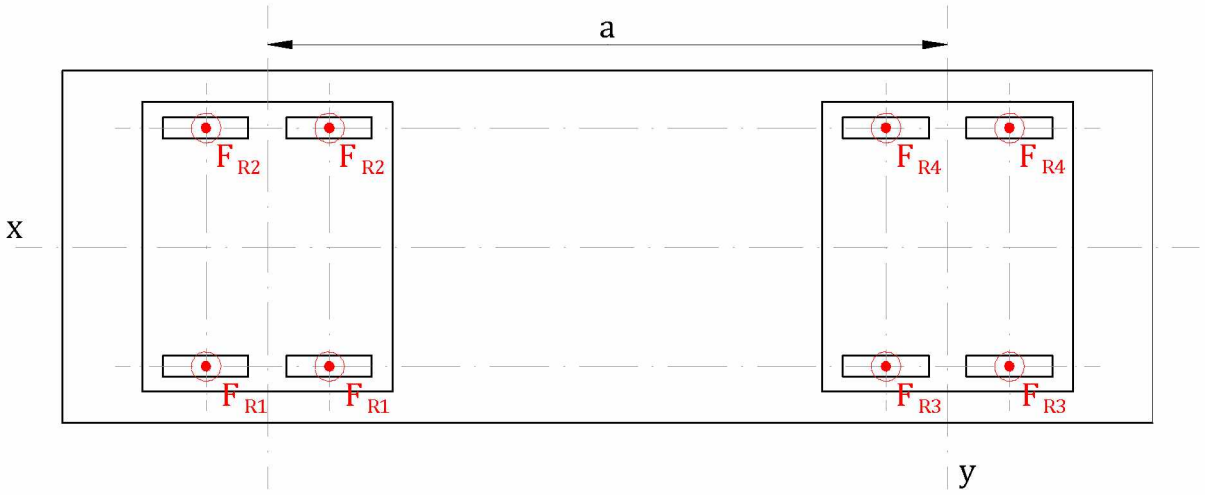
$$20\,226{,}378 + 19\,493{,}622 + 20\,226{,}378 + 19\,493{,}622 - 79\,440 = 0$$

$$\mathbf{0 = 0}$$

Jelikož je vůz zjednodušen na dvounápravový, je potřeba každou reakci N_1, N_2, N_3, N_4 rozdělit mezi dvě kola, jelikož skutečný vůz je čtyřnápravový. Pak jsou výsledky:

$R_1 = 10\,113\ kg$
$R_2 = 9\,747\ kg$
$R_3 = 10\,113\ kg$
$R_4 = 9\,747\ kg$

Vše je zaznačeno na Obr. 34.



Obr. 34 – Půdorys vozu Sggrrs s reakcemi kol

Následně je zkontrolována podmínka nakládací směrnice:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 1{,}25 \tag{I.}$$

$$\mathbf{1,04 \leq 1,25}$$

Podmínka dodržení poměru zatížení na kolo maximálně 1,25:1 je splněna. Výpočet přes staticky neurčitou úlohu tak potvrzuje, že ložení je povoleno.

2.2.2 Vůz Sggrrs staticky neurčitou metodou při střídavém ložení palet

Nyní je proveden výpočet tak, že ložení kontislitků na paletách je střídavě. Stejným stylem, jak je vysvětleno v kapitole 2.1.3. Kotislitky jsou loženy na paletách RWP-Steel tak, že střední paleta je otočena o 180° vůči paletám krajním. Podle logické úvahy by toto ložení mělo být efektivnější a zatížení na kola by mělo být více rovnoměrné. Výpočet přes staticky neurčitou úlohu provedeme obdobně jako v části 2.2.1.

Parametry:

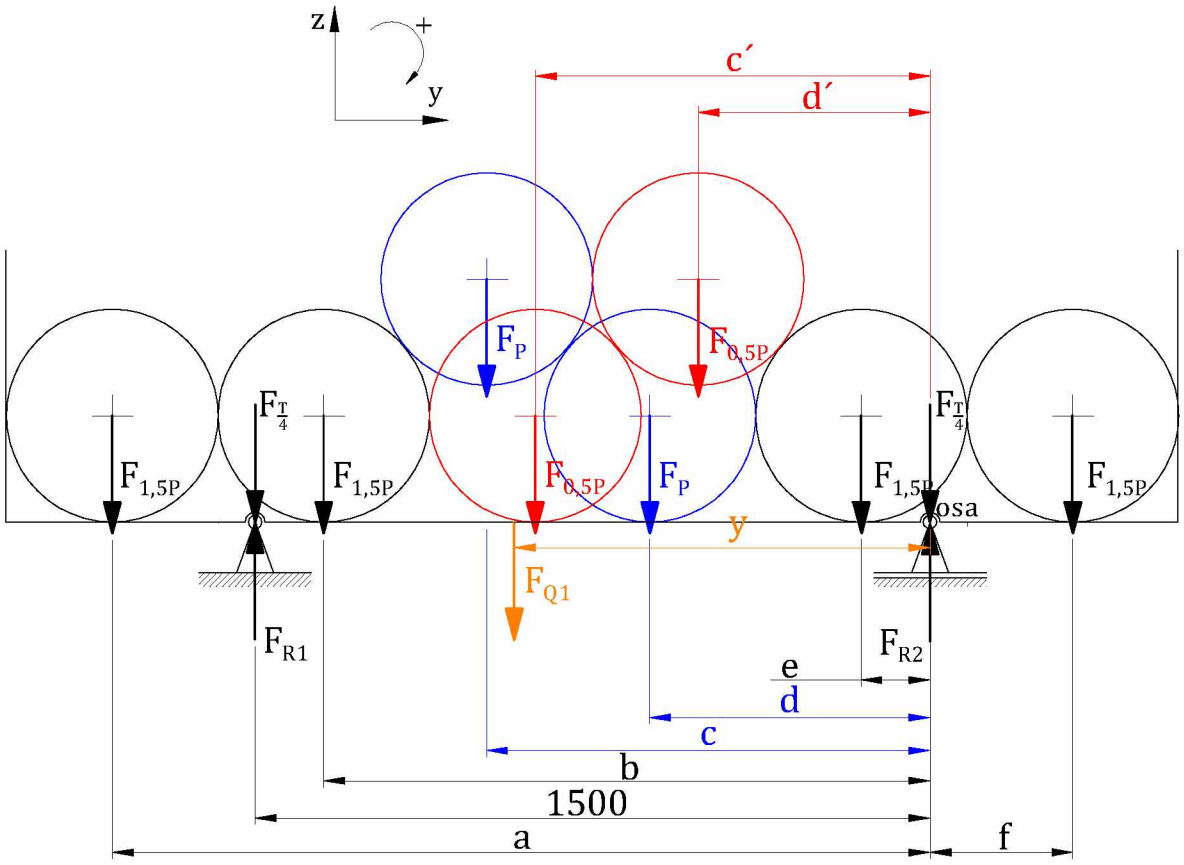
$\boldsymbol{F_{1,5P}}$ – tíhová síla jednoho a půl kontislitku působící na polovině vozu; [N]
$\boldsymbol{F_P}$ – tíhová síla jednoho kontislitku působící na polovině vozu (krajní paleta); [N]
$\boldsymbol{F_{0,5P}}$ – tíhová síla poloviny kontislitku působící na polovině vozu (střední paleta); [N]
$\boldsymbol{F_{Q1}}$ – výslednice tíhových sil působící na jednu nápravu vozu; [N]
$\boldsymbol{F_{Ni}}$ – kolové reakční síly v místě styku s kolejnicí; [N]
$\boldsymbol{F_{\frac{T}{4}}}$ – tíhová síla vozu dělená mezi čtyři kola; [N]
$\boldsymbol{2s}$ = 1500 mm – vzdálenost styčných kružnic kol
$\boldsymbol{y}$ – vzdálenost výslednice od zavedené osy; [mm]

$\boldsymbol{a}$	= 1817,4 mm;	$\boldsymbol{a'}$	= 1817,4 mm
$\boldsymbol{b}$	= 1347,4 mm;	$\boldsymbol{b'}$	= 1347,4 mm
$\boldsymbol{c}$	= 985 mm;	$\boldsymbol{c'}$	= 877,4 mm
$\boldsymbol{d}$	= 622,6 mm;	$\boldsymbol{d'}$	= 515 mm
$\boldsymbol{e}$	= 152,6 mm;	$\boldsymbol{e'}$	= 152,6 mm
$\boldsymbol{f}$	= 317,4 mm	$\boldsymbol{f'}$	= 317,4 mm

Výpočet:

Zavedeno:

$A = a + b + c + d + e$
$\boldsymbol{A = 4925\ mm}$
$B = a' + b' + c' + d' + e'$
$\boldsymbol{B = 4709,8\ mm}$
$\boldsymbol{C = f = f' = 317,4\ mm}$



Obr. 35– Náhradní nosník nápravy pro výpočet působiště výslednice při střídavém otočení palet

Opět je vše posuzováno k polovině vozu, tedy k jedné nápravě. Na Obr. 35 jsou černě zobrazeny kontislitky ležící v zákrytu v celé délce vozu. Ovšem na polovině je tedy jen 1,5 kontislitku. Modře jsou pak zaznačeny kontislitky na krajních paletách a červeně kontislitky na střední paletě.

Velikost výslednice se vypočte jako:

$$F_{Q1} = 4 \cdot F_{1,5P} + 2 \cdot F_P + 2 \cdot F_{0,5P} + 2 \cdot F_{\frac{T}{4}} \tag{76}$$

Po vydělení rovnice tíhovým zrychlením g platí rovnice pro hmotnost:

$$Q_1 = 4 \cdot 1{,}5P + 2 \cdot P + 2 \cdot 0{,}5P + 2 \cdot \frac{T}{4} = 39\,720\ kg \tag{76´}$$

T = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
P = 3 405 kg – hmotnost jednoho kontislitku

Pro výpočet působiště platí:

$$M_{FQ1} = M_{sil} \tag{77}$$

$$-F_{Q1} \cdot y = -F_P \cdot A - F_{\frac{T}{4}} \cdot 1500 - F_{0,5P} \cdot B + F_P \cdot C + F_{0,5P} \cdot C \tag{78}$$

Konstanty A, B, C jsou vzdálenostní konstanty, které jsou zavedeny výše. Osa otáčení je zavedena dle Obr. 35. Výpočet působiště výslednice je nyní složitější. Výpočet je sice opět proveden na polovině vozu, ale bere se v úvahu, že polovina palety na středu vozu je otočena opačně, a proto vzdálenosti od osy otáčení jsou jiné.

Po vydělení celé rovnice tíhovým zrychlením g je vyjádřena vzdálenost y z rovnice (78):

$$y = \frac{-P \cdot A - \frac{T}{4} \cdot 1500 - 0{,}5 \cdot P \cdot B + 1 \cdot P \cdot C + 0{,}5 \cdot P \cdot C}{Q_1} \qquad (78´)$$

Po dosazení:

$$y = \frac{-29\,973\,189}{-39\,720} = 754{,}6120091 \cong 755\ mm \qquad (78´)$$

Od míry y je odečtena vzdálenost 750 mm. Pak získána vzdálenost $y´$ představuje vyosení výslednice F_{Q1} od středu vozu:

$$y´ = y - 750 = 754{,}6120091 - 750 = 4{,}6120091 \cong 5\ mm \qquad (79)$$

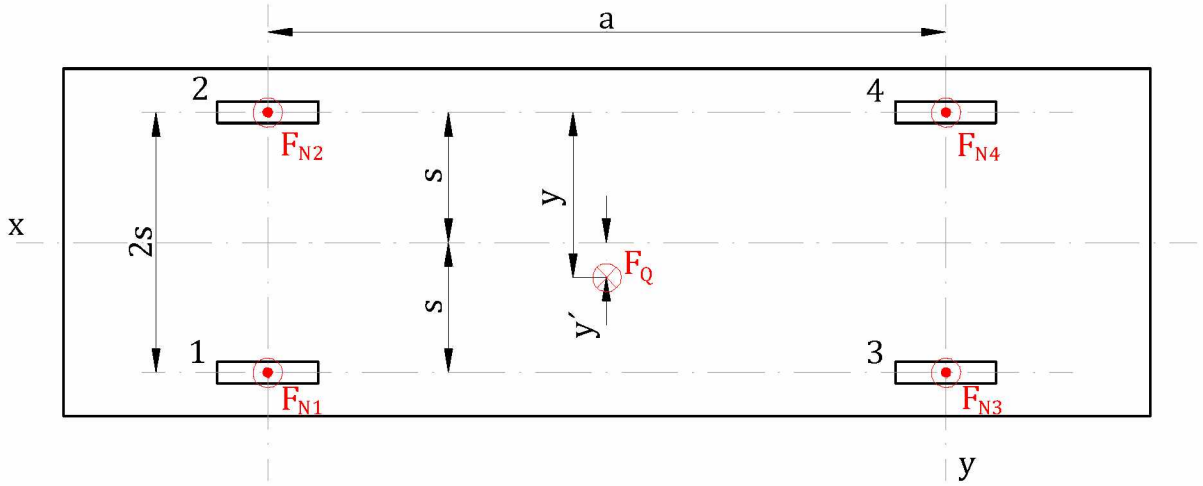
Platí, že na druhé polovině vozu působení hmotností probíhá obdobně, pak rovnou lze psát:

$$Q_1 = Q_2 = 39\,720\ kg \qquad (80)$$

Celková výsledná hmotnost Q je pak dána:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 79\,440\ kg \qquad (81)$$

Působiště této výslednice F_Q bude tedy ve středu vozu ve směru podélném a ve směru příčném dáno velikostí vypočtené vzdálenosti $y´$. (viz. Obr. 36)



Obr. 36 – Půdorys náhradního vozu s vyznačenou výslednicí F_Q a její polohou

Výpočet pomocí staticky neurčité úlohy:

pozn. $\boldsymbol{2s = 1500\ mm;\ a = 8070mm}$

$$M_{13} = 0; (s - y´) \cdot F_Q - 2s \cdot F_{N2} - 2s \cdot F_{N4} = 0 \qquad (82)$$

$$M_{34} = 0; \frac{a}{2} \cdot F_Q - a \cdot F_{N1} - a \cdot F_{N2} = 0 \qquad (83)$$

$$F_{N1} + F_{N2} + F_{N3} + F_{N4} - F_Q = 0 \qquad (84)$$

$$F_{N1} - F_{N2} = F_{N3} - F_{N4} \tag{85}$$

Po vydělení všech rovnic tíhovým zrychlením g lze počítat pouze s hmotnostmi:

$$(s - y') \cdot Q - 2s \cdot N_2 - 2s \cdot N_4 = 0 \tag{82´}$$

$$\frac{a}{2} \cdot Q - a \cdot N_1 - a \cdot N_2 = 0 \tag{83´}$$

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - Q = 0 \tag{84´}$$

$$N_1 - N_2 = N_3 - N_4 \tag{85´}$$

$\boldsymbol{N_i}$ – reakce, hmotnost na kolo; [kg]

Jako při výpočtu ložení palet za sebou výše je obdobně vyjádřena rovnice s kolovou reakcí N_2:

$$\frac{a}{2} \cdot Q - 2 \cdot a \cdot N_2 - a \cdot \frac{Q}{2} + a \cdot N_2 + a \cdot \frac{(s - y') \cdot Q}{2s} - a \cdot N_2 = 0 \tag{86}$$

Z této rovnice (86) je vyjádřena reakce N_2 a po dosazení vychází výsledek:

$$N_2 = 19\,737{,}874 = 19\,738\ kg \tag{86´}$$

Dopočtené ostatní reakce:
$N_1 = 19\,982\ kg$
$N_3 = 19\,982\ kg$
$N_4 = 19\,738\ kg$

Pomocí rovnice (84´) lze ověřit správnost výpočtu:

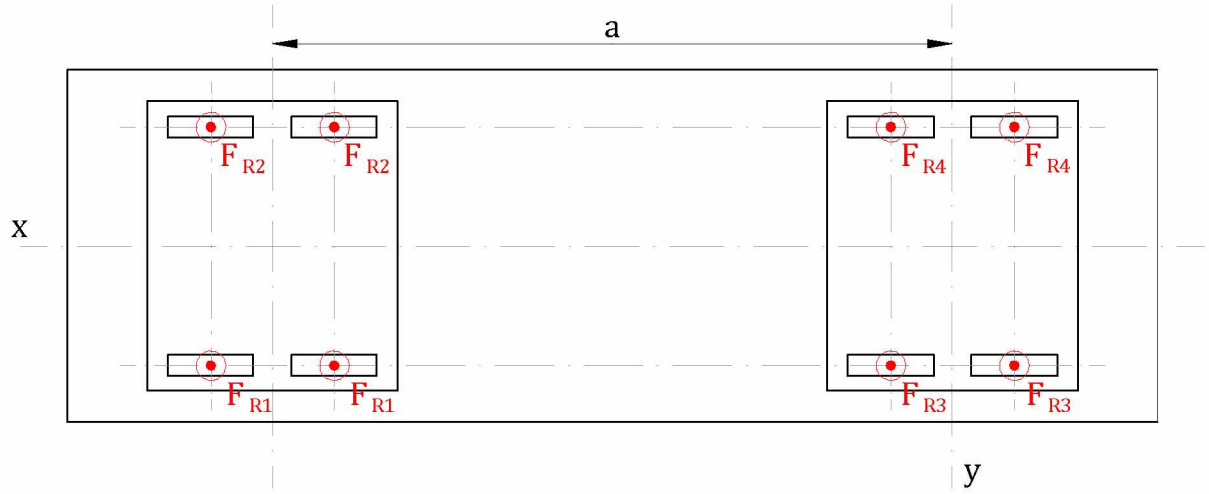
$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - Q = 0$$

$$19\,982{,}126 + 19\,737{,}874 + 19\,982{,}126 + 19\,737{,}874 - 79\,440 = 0$$

$$\mathbf{0 = 0}$$

Jelikož je vůz zjednodušen na dvounápravový, je potřeba každou reakci N_1, N_2, N_3, N_4 rozdělit mezi dvě kola, protože skutečný vůz je čtyřnápravový. Výsledky:
$R_1 = 9\,991\ kg$
$R_2 = 9\,869\ kg$
$R_3 = 9\,991\ kg$
$R_4 = 9\,869\ kg$

Vše je zaznačeno na Obr. 37.



Obr. 37 – Půdorys vozu Sggrrs s reakcemi kol

Následně je zkontrolována podmínka nakládací směrnice:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq 1{,}25 \qquad \text{(I.)}$$

$$\mathbf{1,01 \leq 1,25}$$

Podmínka dodržení poměru zatížení na kolo maximálně 1,25:1 je splněna i v tomto případě. I zde tedy potvrzujeme, že ložení je povoleno, navíc je potvrzeno, že ložení střídavě je z hlediska poměru přívětivější.

2.2.3 Analýza extrému s využitím staticky neurčité úlohy

Výpočet přes staticky neurčitou úlohu s deformační rovnicí umožňuje zahrnout oba extrémy z podmínek Nakládací směrnice UIC dohromady. Jedná se o tyto podmínky:

$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{1{,}25}{1} \qquad \text{(I.)}$$

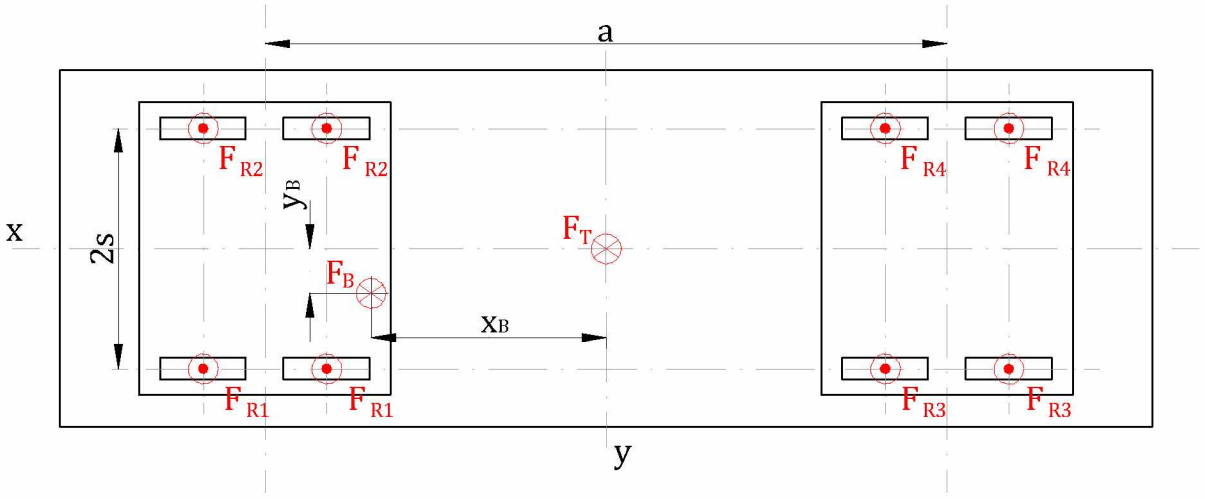
$$\frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{1} \qquad \text{(III.)}$$

V následující analýze bude proveden výpočet pro vůz Sggrrs, na kterém bude naložen náklad tak, že poměr zatížení na podvozky (reakce E_1 a E_2) bude extrémní, tedy 3:1. Zároveň bude poměr zatížení na kola nápravy (reakce R_1 a R_2) též maximální, tedy 1,25:1. K této analýze je nutné využít výpočet přes staticky neurčitou úlohu s deformační rovnicí, neboť náklad podélně rozhodně není naložen souměrně! Analýza extrému zatížení na podvozek je již zmíněna v kapitole 2.1.2, z níž jsou využity parametry:

$\boldsymbol{B}$ = 41 850 kg – maximální hmotnost nákladu (břemena) pro dodržení poměru 3:1
$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
$\boldsymbol{E_1}$ = 45 000 kg – reakce, hmotnost na podvozek blíže nákladu
$\boldsymbol{E_2}$ = 15 000 kg – reakce, hmotnost na podvozek dále od nákladu
$\boldsymbol{x_B}$ – vzdálenost těžiště nákladu B od středu vozu v podélném směru; [mm]
$\boldsymbol{y_B}$ – vzdálenost těžiště nákladu B od středu vozu v příčném směru; [mm]
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol (1 500 mm)

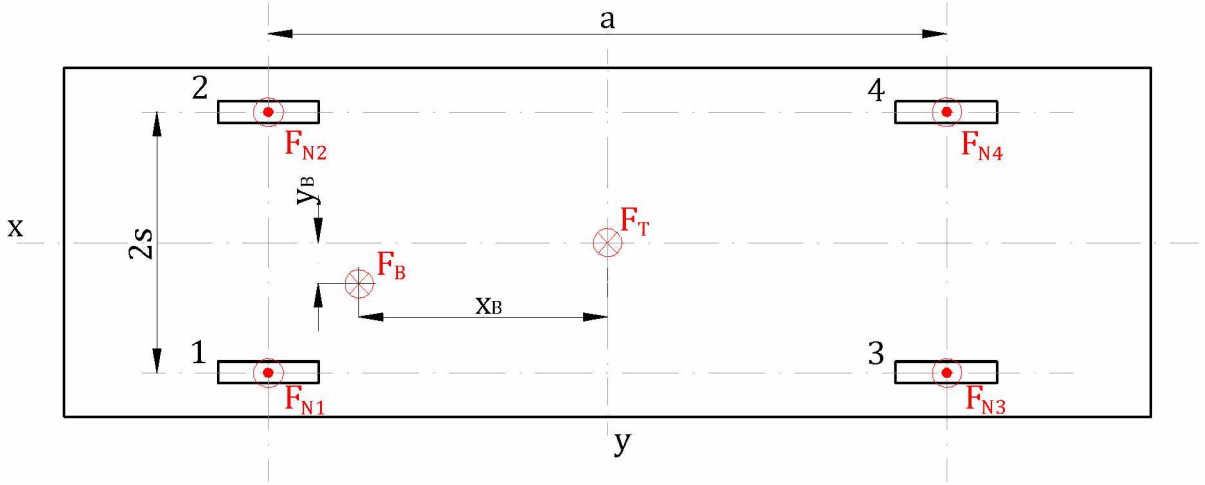
a – vzdálenost středů podvozků (pro Sggrrs = 8 070 mm)

Základním omezením je tedy maximální přípustná hmotnost na nápravu, což je 22,5 t. Jelikož se podvozek skládá ze dvou náprav, pak maximální přípustné zatížení E_1 na podvozek je 45 t. Z extrémního poměru 3:1 vyplývá, že na druhém podvozku bude zatížení 15 t.



Obr. 38 – Půdorys vozu Sggrrs s tíhovou silou břemena a reakcemi kol

Na Obr. 38 je zobrazen půdorysný pohled na vůz Sggrrs. Je vyznačena podélná a příčná poloha tíhové síly F_B vyvozená nákladem a je patřičně zakótována. Na obrázku je též znázorněna tíhová síla F_T vyvozená vlastní hmotností vozu. Zbývá vyšetřit příčnou polohu y_b, podélnou polohu x_b a také velikost kolových reakcí.



Obr. 39 – Půdorys zjednodušeného dvounápravového vozu s tíhou silou břemena a reakcemi kol

Obr. 39 představuje zjednodušení úlohy pouze na dvě nápravy. Platí, že součet sil je roven nule:

$$F_{N1} + F_{N2} + F_{N3} + F_{N4} - F_T - F_B = 0$$

Celou rovnici lze vydělit tíhovým zrychlením g a počítat pouze s hmotnostmi:

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - T - B = 0$$

$\boldsymbol{N_i}$ – reakce, hmotnost na kolo; [kg]

Zavedeno:

$$S = T + B$$

$$S = 60\,000\ kg$$

Velikosti hmotností na kolo N_1, N_2, N_3, N_4 je potřebné dopočítat s pomocí deformační rovnice a následně se dopočte výsledná poloha těžiště nákladu (míry x_B a y_B). Je též třeba zohledňovat obě podmínky.

Výpočet pomocí staticky neurčité úlohy podle Obr. 39:
pozn. $\boldsymbol{2s = 1\,500\ mm;\ a = 8\,070 mm}$

$$M_{13} = 0; (s - y_B) \cdot F_B + s \cdot F_T - 2s \cdot F_{N2} - 2s \cdot F_{N4} = 0 \quad (87)$$

$$M_{34} = 0; \left(\frac{a}{2} + x_B\right) \cdot F_B + \frac{a}{2} \cdot F_T - a \cdot F_{N1} - a \cdot F_{N2} = 0 \quad (88)$$

$$F_{N1} + F_{N2} + F_{N3} + F_{N4} - F_T - F_B = 0 \quad (89)$$

$$F_{N1} - F_{N2} = F_{N3} - F_{N4} \quad (90)$$

$$N_1 + N_2 = 45\,000 \quad (91)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1{,}25}{1} \quad (92)$$

$$\frac{N_1 + N_2}{N_3 + N_4} = \frac{3}{1} \quad (93)$$

Rovnice (87) až (90) jsou následně děleny tíhovým zrychlením g a následně je počítáno jen s hmotnostmi:

$$(s - y_B) \cdot B + s \cdot T - 2s \cdot N_2 - 2s \cdot N_4 = 0 \quad (87')$$

$$\left(\frac{a}{2} + x_B\right) \cdot B + \frac{a}{2} \cdot T - a \cdot N_1 - a \cdot N_2 = 0 \quad (88')$$

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - T - B = 0 \quad (89')$$

$$N_1 - N_2 = N_3 - N_4 \quad (90')$$

Rovnice, které jsou výše uvedeny přidělují pravidlo, že extrém zatížení na kola 1,25:1 bude na podvozku, který je zatížen hmotností 45 t. Z rovnice (92) vyplývá:

$$N_1 = 1{,}25 \cdot N_2 \quad (94)$$

Tato rovnice (94) je dosazena do rovnice (91) a následně vyplývá:

$$1{,}25 \cdot N_2 + N_2 = 45\,000 \quad (91')$$

$$N_2 = 20\,000\ kg \quad (91')$$

$$N_1 = 25\,000\ kg \tag{94´}$$

Z rovnice (93) vyplývá:

$$N_1 + N_2 = 3 \cdot (N_3 + N_4) \tag{93´}$$

$$45\,000 = 3 \cdot (N_3 + N_4) \tag{93´}$$

$$15\,000 = N_3 + N_4 \tag{93´}$$

Následně je třeba užít deformační rovnici (90´) a zároveň upravenou rovnici (93´):

$$N_3 = 15\,000 - N_4 \tag{93´´}$$

Rovnice (93´´) je následně dosazena do rovnice (90´) a s užitím znalostí reakcí N_1 a N_2:

$$5\,000 = 15\,000 - N_4 - N_4 \tag{90´´}$$

$$N_4 = 5\,000\ kg \tag{95}$$

$$N_3 = 10\,000\ kg \tag{96}$$

Nyní tedy uvažujeme, že zatížení mezi podvozky je v poměru 3:1, reakce N_1 a N_2 jsou v poměru 1,25:1. Zbývá zkontrolovat, zda poměr mezi koly s reakcemi N_3 a N_4 splňuje podmínku maximálně 1,25:1.

$$\frac{N_3}{N_4} = \frac{10\,000}{5\,000} = \frac{2}{1} \tag{97}$$

$$\mathbf{2 > 1,25} \tag{98}$$

Z rovnice (98) je patrné, že poměr zatížení mezi koly tři a čtyři je příliš velký a *nebylo by přípustné* náklad bezpečně převážet!

Nastává tak případ, kdy stále bude platit, že poměr zatížení podvozků je 3:1, kde více je zatížen podvozek s koly 1 a 2. Nyní ovšem přidáváme podmínku, že poměr mezi koly 3 a 4 musí též splňovat maximální poměr 1,25:1 (rovnice 105). Stále je uvažováno maximální možné vytížení vozu, tedy na podvozek s koly 1 a 2 připadá hmotnost 45 tun a na podvozek s koly 3 a 4 připadá hmotnost 15 tun.

Výpočet pomocí staticky neurčité úlohy podle Obr. 39, rovnou počítáno s hmotnostmi:
pozn. $\mathbf{2s = 1\,500\ mm;\ a = 8\,070 mm}$

$$(s - y_B) \cdot B + s \cdot T - 2s \cdot N_2 - 2s \cdot N_4 = 0 \tag{99}$$

$$\left(\frac{a}{2} + x_B\right) \cdot B + \frac{a}{2} \cdot T - a \cdot N_1 - a \cdot N_2 = 0 \tag{100}$$

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - T - B = 0 \tag{101}$$

$$N_1 - N_2 = N_3 - N_4 \tag{102}$$

$$N_1 + N_2 = 45\,000 \tag{103}$$

$$N_3 + N_4 = 15\,000 \tag{104}$$

$$\frac{\boldsymbol{N_3}}{\boldsymbol{N_4}} = \frac{\mathbf{1,25}}{\mathbf{1}} \tag{105}$$

Rovnice, které jsou výše uvedeny přidělují pravidlo, že extrém zatížení na kola 1,25:1 bude nyní na podvozku, který je zatížen hmotností 15 tun. Z rovnice (105) vyplývá:

$$N_3 = 1{,}25 \cdot N_4 \tag{106}$$

Tato rovnice (106) je dosazena do rovnice (104) a následně vyplývá:

$$1{,}25 \cdot N_4 + N_4 = 15\,000 \tag{104´}$$

$$N_4 = \frac{20\,000}{3}\ kg = 6\,666{,}\overline{6} \cong 6\,667\ kg \tag{104´}$$

$$N_3 = \frac{25\,000}{3}\ kg = 8\,333{,}\overline{3} \cong 8\,333\ kg \tag{106´}$$

Kontrola podmínky nakládací směrnice pro reakce N_3, N_4:

$$\frac{N_3}{N_4} = \frac{8\,333{,}\overline{3}}{6\,666{,}\overline{6}} = 1{,}25 \tag{107}$$

$$\mathbf{1,25 \leq 1,25} \tag{108}$$

Je ověřeno, že reakce N_3, N_4 jsou v povoleném poměru. Dále je potřeba dopočítat reakce N_1, N_2 pomocí deformační rovnice (102) a upravené rovnice (103).

$$N_2 = 45\,000 - N_1 \tag{103´}$$

Rovnice (103´) je následně dosazena do rovnice (102) a s užitím znalostí reakcí N_3 a N_4:

$$N_1 - (45\,000 - N_1) = \frac{25\,000}{3} - \frac{20\,000}{3} \tag{102´}$$

$$N_1 = \frac{70\,000}{3}\ kg = 23\,333{,}\overline{3} \cong 23\,333\ kg \tag{109}$$

$$N_2 = \frac{65\,000}{3}\ kg = 21\,666{,}\overline{6} \cong 21\,667\ kg \tag{110}$$

Kontrola podmínky nakládací směrnice pro reakce N_1, N_2:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{23\,333{,}\overline{3}}{21\,666{,}\overline{6}} = \frac{14}{13} = 1{,}076923077 \tag{111}$$

$$\mathbf{1,08 \leq 1,25} \tag{112}$$

Reakce N_1, N_2 též splňují podmínku nakládací směrnice. Následně zbývá dopočítat polohu těžiště nákladu. To je provedeno pomocí rovnic (99) a (100), z nichž jsou vyjádřeny míry y_B a x_B:

$$(s - y_B) \cdot B + s \cdot T - 2s \cdot N_2 - 2s \cdot N_4 = 0 \tag{99}$$

$$y_B = \frac{2s \cdot \left(\frac{B}{2} + \frac{T}{2} - N_2 - N_4\right)}{B} \tag{99´}$$

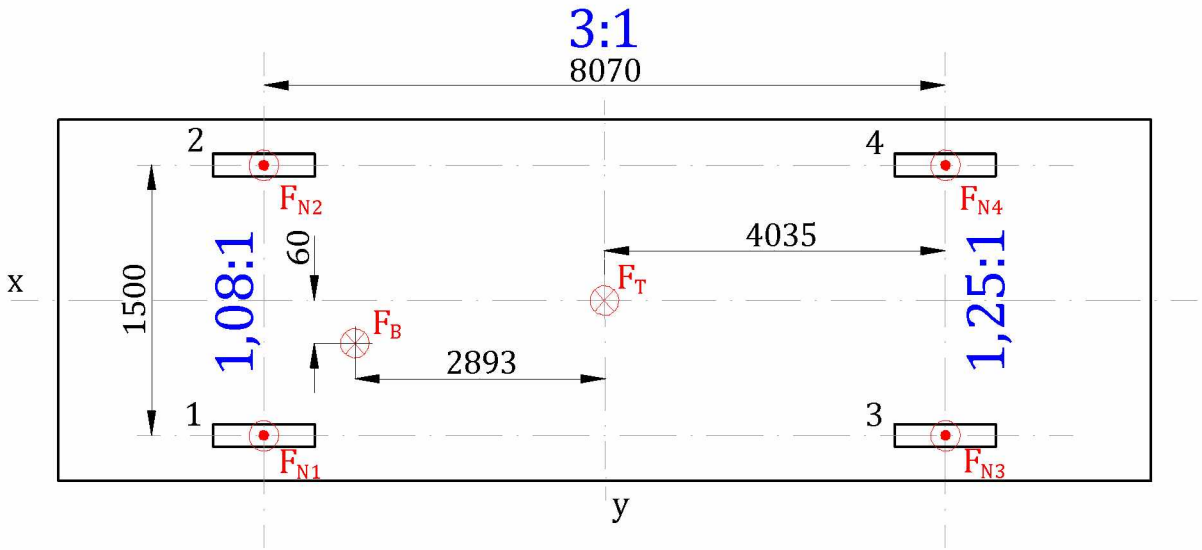
$$y_B = 59{,}73715651\ mm \cong 60\ mm \tag{99´´}$$

$$\left(\frac{a}{2} + x_B\right) \cdot B + \frac{a}{2} \cdot T - a \cdot N_1 - a \cdot N_2 = 0 \tag{100}$$

$$x_B = \frac{a \cdot \left(N_1 + N_2 - \frac{T}{2} - \frac{B}{2}\right)}{B} \tag{100´}$$

$$x_B = 2892{,}473118\ mm \cong 2{,}9\ m \tag{100´}$$

Extrému na voze Sggrrs odpovídá celistvý náklad, který bude mít hmotnost 41 850 kg (vyčerpání maxima podmínky zatížení 3:1 na podvozek). Takto těžký náklad může mít vychýlené těžiště o zhruba 2,9 m od středu vozu v podélném směru. V příčném směru je možné těžiště tohoto nákladu vychýlit o necelých 60 mm. I s tímto nelogicky nesymetricky loženým nákladem jsou veškeré podmínky nakládací směrnice splněny a jsou *využity oba extrémy podmínek*.



Obr. 40 – Půdorys náhradního vozu s vyznačenými extrémy

Na Obr. 40 jsou patrné jednotlivé poměry, které jsou zaznačeny modře. Působiště výslednice F_B tíhové síly nákladu je patřičně zakótováno. Převedení reakcí ze zjednodušeného dvounápravového vozu zpět na čtyřnápravový je jednoduché. Každá reakce (N_1, N_2, N_3, N_4) je dělena dvěma a vznikají reakce (hmotnosti) na kola (R_1, R_2, R_3, R_4), kde každá je zastoupená dvakrát:

$R_1 = 11\,667\ kg$

$R_2 = 10\,833\ kg$
$R_3 = 4\,167\ kg$
$R_4 = 3\,333\ kg$

2.2.4 Vyšetření reakcí zjednodušeným statickým výpočtem ve dvou rovinách

V kapitole 2.2.3 je popsán extrém ložení nákladu na voze Sggrrs. Z výsledků vyplývá, že náklad může mít hmotnost B až 41 850 kg a jeho poloha je dána souřadnicemi (x_B a y_B). V následujícím textu jsou použity tyto souřadnice (x_B a y_B), hmotnost B a jsou vyšetřeny hmotnosti na kolo (N_1, N_2, N_3, N_4) zjednodušeného náhradního dvounápravového vozu metodou rozdělením na dvě roviny. Zadání je tak obdobné, jako při řešení ložení kontislitků. Je známá přesná poloha nákladu i hmotnost a požadavkem je vyšetření kolových sil (reakcí). Změna je zde akorát v tom, že ložení nákladu (tedy působiště výslednice) je nyní nesymetrické v obou rovinách. Postupným výpočtem je dokázáno, že metoda rozdělením na dvě roviny v tomto případě není přípustná, jelikož chybí deformační rovnice, která zaručí zachování podlahy vozu v jedné rovině.

První rovinou je pohled na vůz podélně (z boku, rovina x-z), druhou rovinou je příčný pohled na vůz (od nárazníků, rovina y-z). V rovině podélné není třeba případ řešit. Vše platí jako v kapitole 2.1.2. Hmotnost nákladu se spolu s hmotností vozu rozdělí mezi podvozky 3:1 (tedy 45 000 kg a 15 000 kg).

Výpočet je třeba provést v rovině příčné (y-z) a posoudit velikosti kolových reakcí. Nakládací směrnice uvádí, že: *„Výpočet může být proveden ve vztahu k jedné nápravě, neboť náklad je naložen v podélném směru vozu souměrně.“* [3, s. 3-4] Z Obr. 39 je patrné, že při extrému náklad podélně souměrně rozložen není, a proto výpočet musí být proveden ke každé nápravě zvlášť. Tím pádem se hmotnost nákladu B dělí mezi dvě nápravy poměrem, který je daný polohou tíhové síly F_B.

Zavedeno:

$\boldsymbol{F_{B1}}$ – tíhová síla nákladu působící na nápravu, která je zatížena hmotností 45 000 kg; [N]
$\boldsymbol{F_{B2}}$ – tíhová síla nákladu působící na nápravu, která je zatížena hmotností 15 000 kg; [N]
$\boldsymbol{x_{B1}}$ – vzdálenost nápravy zatížené hmotností 45 000 kg od působiště tíhové síly B; [mm]
$\boldsymbol{x_{B2}}$ – vzdálenost nápravy zatížené hmotností 15 000 kg od působiště tíhové síly B; [mm]
$\boldsymbol{x_B}$ = 2 892,473118 mm – vzdálenost působiště tíhové síly B od středu vozu podélně
$\boldsymbol{y_B}$ = 59,73715651 mm – vzdálenost působiště tíhové síly B od středu vozu příčně
$\boldsymbol{a}$ = 8 070 mm – vzdálenost otočných bodů podvozků vozu Sggrrs

Platí:

$$x_{B1} = 4035 - x_B = 1142{,}526882\ mm \tag{113}$$

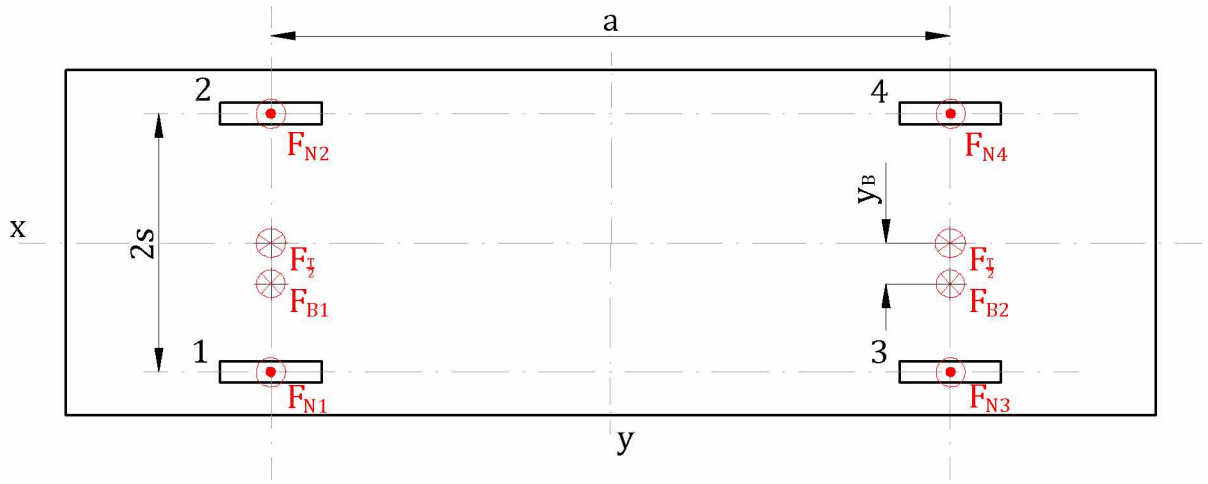
$$x_{B2} = 4035 + x_B = 6927{,}473118\ mm \tag{114}$$

Vzdálenosti x_{B1}a x_{B2} jsou děleny vzdáleností a mezi nápravami a pro síly F_{B1} a F_{B2} platí:

$$F_{B1} = \left(\frac{x_{B2}}{a}\right) \cdot B = (35\,925 \cdot g)\ N \tag{115}$$

$$F_{B2} = \left(\frac{x_{B1}}{a}\right) \cdot B = (5\,925 \cdot g)\ N \tag{116}$$

Tíhová síla vozu F_T se dělí mezi dvě nápravy rovnoměrně a následně pak situace vypadá podle Obr. 41.

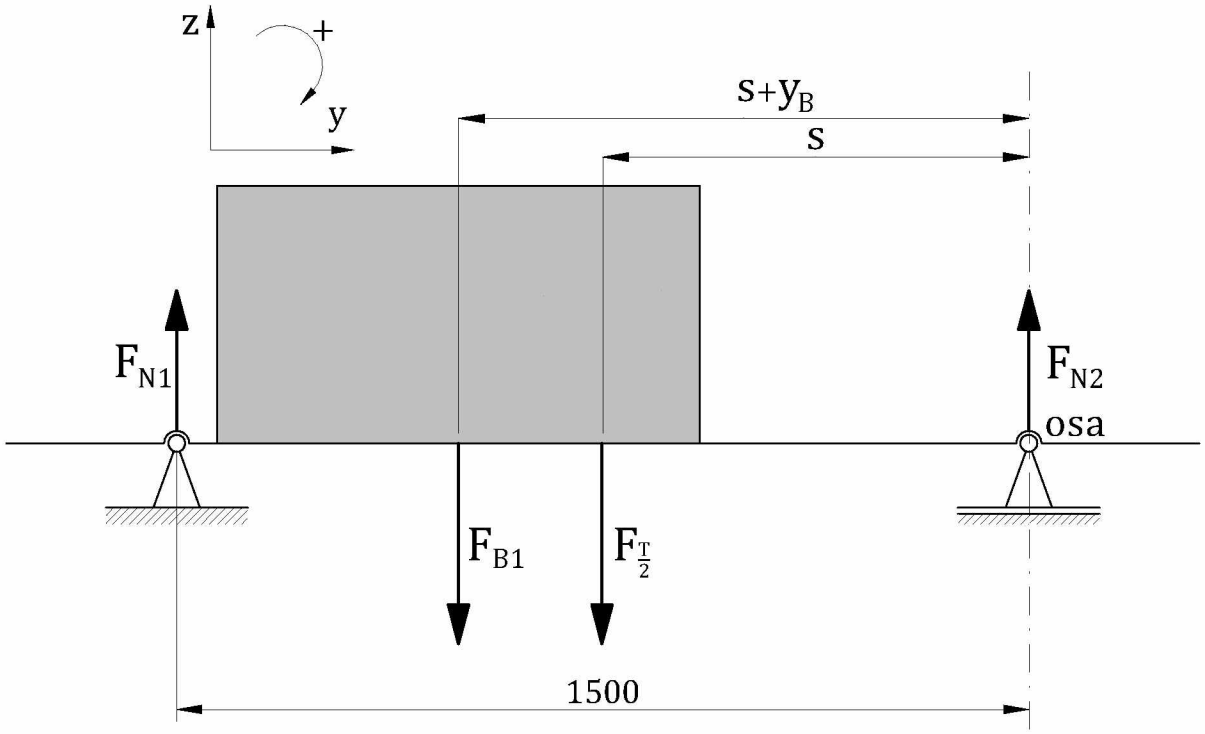


Obr. 41 – Půdorys náhradního vozu se silami přesunutými na nápravy

Po vydělení rovnic (115) a (116) tíhovým zrychlením g platí:

$\boldsymbol{B_1}$ = 35 925 kg – hmotnost působící na nápravu s celkovým zatížením 45 000 kg (s koly 1, 2)
$\boldsymbol{B_2}$ = 5 925 kg – hmotnost působící na nápravu s celkovým zatížením 15 000 kg (s koly 3, 4)
$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu

Následně jsou vypočteny hmotnosti na kolo N_1, N_2, N_3, N_4. Pro každou nápravu je výpočet proveden samostatně.



Obr. 42 – Náhradní nosník nápravy mezi koly 1 a 2

Podle Obr. 42 je sestavena jedna silová a jedna momentová rovnice pro výpočet reakcí N_1 a N_2:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0 \; ; F_{N1} + F_{N2} - F_{\frac{T}{2}} - F_{B1} = 0 \tag{117}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0 \; ; F_{N1} \cdot 2s - F_{B1} \cdot (s + y_B) - F_{\frac{T}{2}} \cdot s = 0 \tag{118}$$

Obě rovnice jsou vyděleny tíhovým zrychlením g a následně je z rovnice (118) vyjádřena reakce N_1:

$$N_1 = \frac{\frac{T}{2} \cdot s + B_1 \cdot (s + y_B)}{2s} \tag{118´}$$

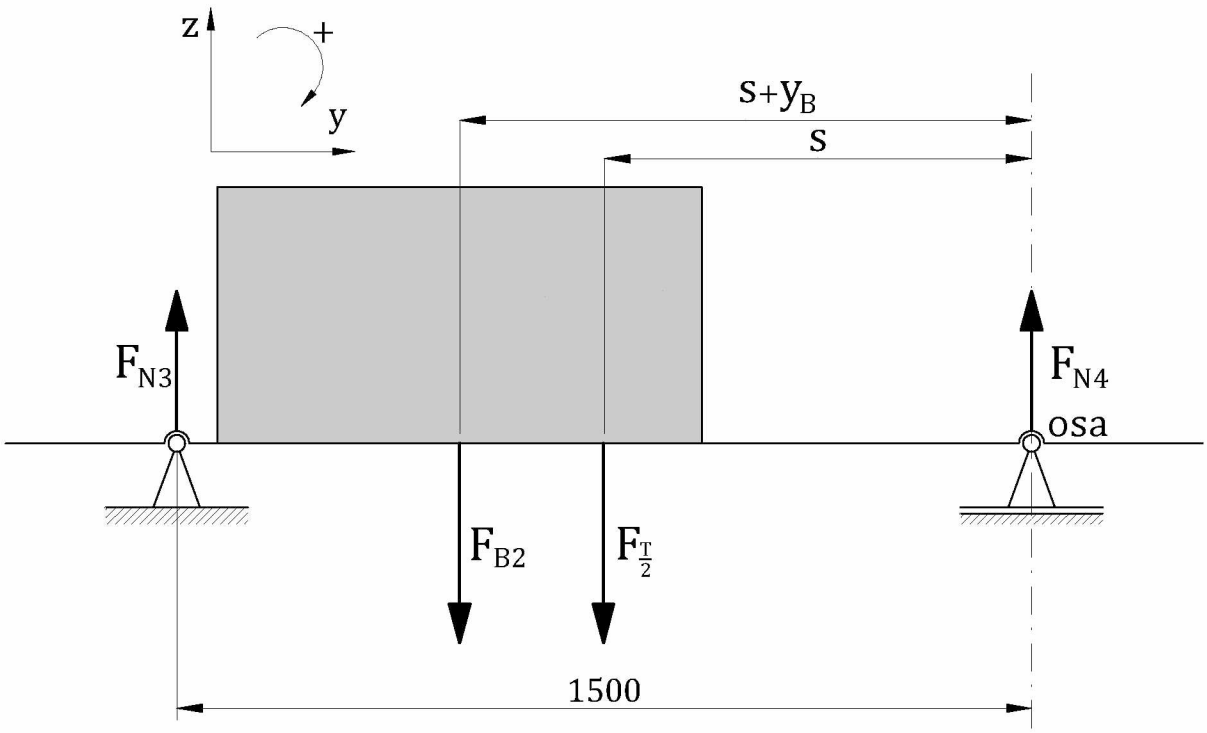
$$N_1 = 23\,930{,}7049 \cong 23\,931\ kg \tag{118´}$$

Dále je z rovnice (117) dopočtena reakce N_2:

$$N_2 = \frac{T}{2} + B_1 - N_1 \tag{117´}$$

$$N_2 = 21\,069{,}2951 \cong 21\,069\ kg \tag{117´}$$

Výpočet je obdobně proveden i pro druhou nápravu, tedy pro stanovení reakcí N_3 a N_4:



Obr. 43 – Náhradní nosník nápravy mezi koly 3 a 4

Podle Obr. 43 je sestavena jedna silová a momentová rovnice pro výpočet reakcí N_3 a N_4:

$$\sum_{i=1}^{n} F_{iy} = 0 \; ; F_{N3} + F_{N4} - F_{\frac{T}{2}} - F_{B2} = 0 \tag{119}$$

$$\sum_{i=1}^{n} M_{iosa} = 0 \; ; F_{N3} \cdot 2s - F_{\frac{T}{2}} \cdot s - F_{B2} \cdot (s + y_B) = 0 \tag{120}$$

Stejným postupem jako u první nápravy jsou dopočteny velikosti reakcí N_3 a N_4:

$N_3 = 7\,735{,}961768 \cong 7\,736\ kg$
$N_4 = 7\,264{,}038233 \cong 7\,264\ kg$

Jestliže jsou nyní porovnány výsledky hmotností na kola N_1, N_2, N_3, N_4 z této kapitoly a z kapitoly 2.2.3 výsledky se liší! Při výpočtu rozdělením na roviny není uvažována deformační podmínka. Není tak zajištěno, že podlaha vozu bude zachovávat stálý dokonale tuhý obdelník (viz. kapitola 2.2), který se by se pouze nakláněl dle zatížení. Jestliže se výše vypočtené hmotnosti na kola N_1 až N_4 z této kapitoly 2.2.4 dosadí do deformační rovnice známé z předchozí analýzy extrému, pak nutně rovnost v této rovnici nebude platit:

$$N_1 - N_2 = N_3 - N_4 \tag{121}$$

$$23\,930{,}7049 - 21\,069{,}2951 \neq 7\,735{,}961768 - 7\,264{,}038233 \tag{121´}$$

$$2861{,}4098 \neq 471{,}923535 \tag{121´}$$

Rovnost deformační rovnice opravdu neplatí, lze tak usoudit, že rozklad na dvě roviny v tomto případě není přípustný a příklad lze počítat pouze pomocí staticky neurčité úlohy.

Je možné porovnat, jak odlišné vychází poměry zatížení na kola v případě výpočtu přes úlohu s deformační rovnicí a přes statický výpočet při rozdělení na dvě roviny.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{23\,930{,}7049}{21\,069{,}2951} = 1{,}14 \tag{122}$$

$$\frac{N_3}{N_4} = \frac{7\,735{,}961768}{7\,264{,}038233} = 1{,}06 \tag{123}$$

Rovnice (122) vyjadřuje poměr mezi koly 1 a 2 při řešení metodou přes staticky určitou úlohu rozdělením na dvě roviny a rovnice (123) vyjadřuje poměr mezi koly 3 a 4 stejným způsobem. Nyní jsou poměry z rovnic (122) a (123) porovnány s poměry uvedenými v předchozí kapitole 2.2.3, tedy s rovnicemi (107) a (111) nebo jsou také zobrazeny na Obr. 40. Lze usoudit, že poměry z rovnic (122) a (123) jsou přívětivější. Nicméně jak již bylo uvedeno dříve, výpočet z této kapitoly je chybný, takže i tyto přívětivější poměry jsou chybou, která není přípustná. Jediný přípustný výpočet při nesymetrickém ložení nákladu v obou rovinách je pouze metodou přes staticky neurčitou úlohu s deformační rovnicí. Nakládací směrnice UIC se případem, kdy by těžiště nákladu neleželo ani na jedné z půdorysných os, nezabývá. Z tohoto důvodu byla analýza provedena a může posloužit jako předloha pro řešení ložení nákladu, jehož rozměry a tvar by neumožňovali souměrné ložení ani v jedné ose.

2.3 Porovnání výsledků v případě podélně souměrného ložení

Výše je proveden výpočet a ověření, zda konkrétní zadání ložení kontislitků na vozech Sggrrs od společnosti ČD Cargo, a. s., vyhovuje či ne. Bylo provedeno ověření, zda poměr zatížení podvozků je maximálně 3:1 a dále bylo vypočteno, zda je poměr zatížení mezi jednotlivými koly maximálně 1:1,25. Výpočet zatížení jednotlivých kol byl proveden jednak rozložením na roviny (kapitola 2.1) a následně pomocí staticky neurčité úlohy (kapitola 2.2). Výsledky jsou hodnotově shodné. To by znamenalo, že zjednodušující výpočet pomocí použití jedné příčné roviny dle nakládací směrnice je přípustný a dostačující a také to, že oběma způsoby vznikají stejné výsledky.

Nejdůležitějším poznatkem zmíněným v kapitole 2.1.3 je, že při výpočtu dodržení podmínky zatížení na kola 1,25:1 platí následující pravidlo. Jestliže je náklad podélně na voze souměrně rozložen, pak lze výpočet kolových reakcí vztahovat k jedné nápravě. Když by ale náklad podélně na voze souměrně ložen nebyl, pak je nutné použít metodu výpočtu pře staticky neurčitou úlohu s deformační rovnicí například tak, jak je uvedeno v kapitole 2.2.3.

Lze říci, že výpočtem přes staticky neurčitou úlohu s tělesem o třech stupních volnosti je ověřena správnost výpočtu podle nakládací směrnice. Důkazem budiž poměr reakcí na kolo R_1 a R_2, který bude níže obecně vyjádřen z obou metod výpočtu ložení kontislitků na vozech Sggrrs. Tento poměr po obecném vyjádření musí být výrazově shodný. Vyjádření poměru reakcí je provedeno z části, kdy předpokládáme, že palety jsou otočeny souhlasně a lícují za sebou.

2.3.1 Poměr reakcí (R_1, R_2) ze staticky určité úlohy řešené dělením na roviny

$$\frac{R_1}{R_2} = ?$$

Parametry (uvedené v kapitole 2.1.3):

$\boldsymbol{A}$ = (a + b + c + d + e - f) = 4 607,6 mm
$\boldsymbol{P}$ = 3 405 kg – vlastní hmotnost kontislitku
$\boldsymbol{R_1}, \boldsymbol{R_2}$ – hmotnost na kolo v tunách
$\boldsymbol{2s}$ – vzdálenost styčných kružnic kol (**1 500 mm**) pro rozchod koleje 1 435 mm
$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu

Pozn. číselné násobky, jsou objasněny v kapitole 2.1.3

Z kapitoly 2.1.3 je:

$$R_1 = \frac{3 \cdot A \cdot P}{4 \cdot 2s} + \frac{T}{8}$$

$$R_2 = \frac{T}{4} + \frac{3 \cdot 6 \cdot P}{4} - R_1$$

po úpravě:

$$R_1 = \frac{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}{8 \cdot 2s} \qquad (124)$$

$$R_2 = \frac{T \cdot 2s + 36 \cdot 2s \cdot P - 6 \cdot A \cdot P}{8 \cdot 2s} \tag{125}$$

konečný poměr rovnic (124) a (125) po úpravě:

$$\frac{\boldsymbol{R_1}}{\boldsymbol{R_2}} = \frac{\boldsymbol{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}}{\boldsymbol{-6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s + 36 \cdot P \cdot 2s}} \tag{126}$$

2.3.2 Poměr reakcí (R_1, R_2) z výpočtu přes staticky neurčitou úlohu

$$\frac{R_1}{R_2} = ?$$

Parametry (uvedené v kapitole 2.2.1):

$\boldsymbol{A}$ = (a + b + c + d + e - f) = 4 607,6 mm
$\boldsymbol{B}$ = (a + b + c + d + e) = 4 925 mm
$\boldsymbol{C}$ = f = 317,4 mm
$\boldsymbol{P}$ = 2 800 kg – vlastní hmotnost kontislitku
$\boldsymbol{R_1}, \boldsymbol{R_2}$ – hmotnost na kolo v tunách
$\boldsymbol{T}$ = 18 150 kg – vlastní hmotnost vozu
$\boldsymbol{Q}$ = 79 440 kg – celková hmotnost loženého vozu třemi paletami s kontislitky
$\boldsymbol{2s}$ = 1 500 mm – vzdálenost styčných kružnic kol
$\boldsymbol{a}$ = 8 070 mm – vzdálenost středů náprav v podélném směru
$\boldsymbol{y'}$ – vyosení výslednice F_Q od středu vozu

pozn. číselné násobky jsou objasněny v kapitole 2.2.1

Následně se vychází ze dvou momentových rovnic, z rovnice složkové (silové) a z deformační rovnice, které jsou uvedeny v kapitole 2.2.1.

Je zavedeno:

$$N_1 = N_3 = 2 \cdot R_1 \tag{127}$$

$$N_2 = N_4 = 2 \cdot R_2 \tag{128}$$

kde reakce N_1, N_2, N_3, N_4 jsou hmotnosti na kolo dvounápravového vozu, kde každá z nich by byla dělena dvěma, pro rozložení hmotností na čtyřnápravový vůz. Potom vznikají reakce R_1, R_2, R_3, R_4, kde každá z nich je zastoupená dvakrát.

Zavedené vyjádření (127) a (128) je rovnou použito v rovnicích, ve kterých je počítáno s hmotnostmi:

$$(s - y') \cdot Q - 2s \cdot 2 \cdot R_2 - 2s \cdot 2 \cdot R_2 = 0 \tag{129}$$

$$\frac{a}{2} \cdot Q - a \cdot 2 \cdot R_1 - a \cdot 2 \cdot R_2 = 0 \tag{130}$$

$$2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 + 2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 - Q = 0 \tag{131}$$

$$2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 = 2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 \tag{132}$$

Následně je použita rovnice (129), ze které je po úpravě vyjádřena reakce R_2.

Před úpravou je však nutné do rovnice (129) dosadit za y'. Vztah pro y' je vyjádřen v kapitole 2.2.1:

$$\left\{s - \left[\left(\frac{-1{,}5 \cdot B \cdot P - \frac{T}{4} \cdot 2s + 1{,}5 \cdot C \cdot P}{-\frac{Q}{2}}\right) - s\right]\right\} \cdot Q - 2s \cdot 2 \cdot R_2 - 2s \cdot 2 \cdot R_2 = 0$$

$$Z \cdot Q - 2s \cdot 2 \cdot R_2 - 2s \cdot 2 \cdot R_2 = 0 \tag{129´}$$

Upravení složené závorky Z před násobením celkovou hmotností Q loženého vozu třemi paletami s kontislitky:

$$Z = \left\{s - \left[\left(\frac{-1{,}5 \cdot B \cdot P - \frac{T}{4} \cdot 2s + 1{,}5 \cdot C \cdot P}{-\frac{Q}{2}}\right) - s\right]\right\} =$$

$$= \left\{s - \left[\left(\frac{1{,}5 \cdot 2 \cdot B \cdot P}{Q} + \frac{2 \cdot T \cdot 2s}{4 \cdot Q} - \frac{1{,}5 \cdot 2 \cdot C \cdot P}{Q}\right) - s\right]\right\} =$$

$$= \left(s - \frac{3 \cdot B \cdot P}{Q} - \frac{T \cdot 2s}{2 \cdot Q} + \frac{3 \cdot C \cdot P}{Q} + s\right) =$$

$$= \left[2s - \frac{3 \cdot P}{Q} \cdot (B - C) - \frac{T \cdot 2s}{2 \cdot Q}\right]$$

Platí:

$$(B - C) = A$$

Pak lze psát:

$$Z = \left(s - \frac{3 \cdot P}{Q} \cdot A - \frac{T \cdot 2s}{2 \cdot Q}\right)$$

Dosazení zpět do rovnice (129´) a vyjádření reakci R_2:

$$0 = \left(2s - \frac{3 \cdot P}{Q} \cdot A - \frac{T \cdot 2s}{2 \cdot Q}\right) \cdot Q - 2s \cdot 2 \cdot R_2 - 2s \cdot 2 \cdot R_2$$

$$0 = 2s \cdot Q - 3 \cdot A \cdot P - \frac{T \cdot 2s}{2} - 2s \cdot 2 \cdot R_2 - 2s \cdot 2 \cdot R_2$$

$$2s \cdot 4 \cdot R_2 = 2s \cdot Q - 3 \cdot A \cdot P - \frac{T \cdot 2s}{2}$$

$$R_2 = \frac{Q}{4} - \frac{3 \cdot A \cdot P}{4 \cdot 2s} - \frac{T}{8} \tag{129´´}$$

Nyní zbývá pouze dosadit do rovnice (129´´) za Q (celková hmotnost loženého vozu třemi paletami s kontislitky). Vyjádření pro Q je v kapitole 2.2.1 a je to:

$$Q = 2 \cdot \left(1{,}5 \cdot 6 \cdot P + 2 \cdot \frac{T}{4}\right)$$

$$Q = 18 \cdot P + T \tag{133}$$

Rovnice (133) je dosazena do rovnice (129´´) a upravena:

$$R_2 = \frac{18 \cdot P}{4} + \frac{T}{4} - \frac{3 \cdot A \cdot P}{4 \cdot 2s} - \frac{T}{8}$$

$$R_2 = \frac{T \cdot 2s + 36 \cdot 2s \cdot P - 6 \cdot A \cdot P}{8 \cdot 2s} \tag{134}$$

Již nyní lze konstatovat, že vztah (134) pro reakci R_2 se shoduje se vztahem (125) pro reakci R_2, který je vyjádřen v kapitole 2.3.1. Lze tak říci, že oběma způsoby, tedy výpočtem rozdělením na roviny a zároveň výpočtem přes staticky neurčitou úlohu docházíme k totožným vztahům.

Vyjádření R_1 je provedeno z rovnice (131):

$$2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 + 2 \cdot R_1 + 2 \cdot R_2 - Q = 0$$

$$4 \cdot R_1 = Q - 4 \cdot R_2 \tag{131´}$$

Do rovnice (131´) jsou dosazeny za Q a za R_2 již vyjádřené vztahy (133) a (134) a po úpravě vzniká:

$$4 \cdot R_1 = 18 \cdot P + T - 4 \cdot \left(\frac{T \cdot 2s + 36 \cdot 2s \cdot P - 6 \cdot A \cdot P}{8 \cdot 2s}\right)$$

$$R_1 = 4{,}5 \cdot P + \frac{T}{4} - \frac{T}{8} - 4{,}5 \cdot P + \frac{3 \cdot A \cdot P}{4 \cdot 2s}$$

$$R_1 = \frac{3 \cdot A \cdot P}{4 \cdot 2s} + \frac{T}{8}$$

$$R_1 = \frac{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}{8 \cdot 2s} \tag{135}$$

Jestliže je nyní srovnán vztah (135) vyjádření reakce R_1 se vztahem (124) z části výpočtu pomocí rozložení na roviny, pak se opět shodují.

Konečný poměr z rovnic (134) a (135) po úpravě:

$$\boldsymbol{\frac{R_1}{R_2} = \frac{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}{-6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s + 36 \cdot P \cdot 2s}} \tag{136}$$

2.3.3 Porovnání poměrů reakcí (R_1, R_2)

Jestliže jsou vztahy (126) a (136) z obou vyjádření v rovnosti, pak platí:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}{-6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s + 36 \cdot P \cdot 2s} = \frac{6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s}{-6 \cdot A \cdot P + T \cdot 2s + 36 \cdot P \cdot 2s}$$

$$1 = 1$$

Výrazy jsou si rovny. Je tak ověřeno, že jsou možné oba způsoby výpočtu v případě podélně souměrného ložení nákladu. Nakládací směrnice UIC tedy popisuje postup výpočtu, který lze v praxi využívat, jelikož je zcela nelogické ložit náklad na vůz podélně nesouměrně. Pravdou však zůstává, že výpočet podle nakládací směrnice UIC neuvažuje naložený vůz jako těleso, ale řeší příklad pouze v jedné rovině jako statickou úlohu. Z hlediska mechaniky, je správný postup řešení přes staticky neurčitou úlohu s deformační podmínkou. Tedy nejprve je třeba určit polohu výslednice tíhových sil vzhledem k podlaze vozu a následně dané těleso se třemi stupni volnosti popsat čtyřmi rovnicemi pro vyjádření čtyř reakcí na kola (momentové, silová, deformační).

3 Obecný postup ověřování podmínek Nakládací směrnice UIC při ložení nákladu na vůz

Pro ověření podmínek Nakládací směrnice UIC byly provedeny výpočty. V následující části textu je shrnuto, jak k problematice přistupovat a jsou uvedeny doporučující rady a poznámky. Na Obr. 44 je vývojový diagram, který popisuje, jak postupovat při ověřování podmínek.

Podmínky:

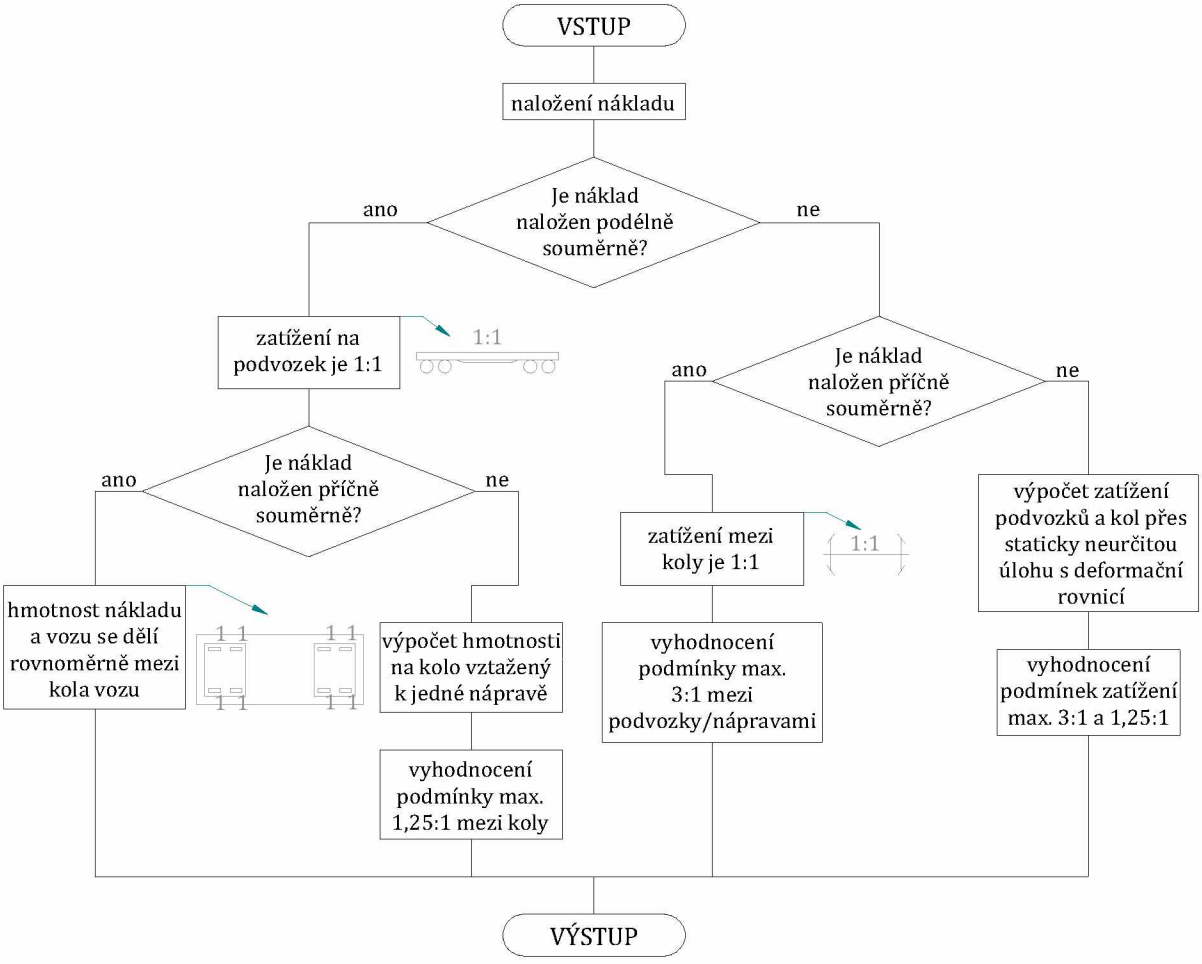
$$\frac{R_1}{R_2} \leq \frac{1{,}25}{1} \qquad \text{(I.)}$$

$$\frac{E_1}{E_2} \leq \frac{3}{1} \qquad \text{(III.)}$$

$$\frac{E_1}{E_2} \leq \frac{2}{1} \qquad \text{(IV.)}$$

$\boldsymbol{R_1, R_2}$ – hmotnosti na kolo; [kg]
$\boldsymbol{E_1, E_2}$ – hmotnosti na podvozek/nápravu; [kg]

Jak bylo zmíněno dříve, platí, že hmotnosti s indexem nižším jsou vždy blíže působišti výslednice tíhové síly nákladu. Vždy tedy platí $R_1 \geq R_2$ a $E_1 \geq E_2$.



Obr. 44 – Vývojový diagram postupu pro ověření správnosti ložení

Dle Obr. 44 je nejlepší případ ložit náklad na vůz souměrně jak podélně, tak i příčně. Hmotnost nákladu se tak rozkládá mezi jednotlivá kola zcela rovnoměrně a výpočet pro ověření podmínek není potřeba. Jestliže tvar, hmotnost či objem nákladu neumožňuje souměrné ložení v obou rovinách, nebo by tímto způsobem nebyla dostatečně využita ložná hmotnost vozu (případ kontislitků) a tedy i efektivita přepravy, pak by se podmínky zatížení měly kontrolovat výpočtem. Je dobré splnit souměrné ložení alespoň v jedné rovině. Častým případem je právě rovina podélná, kdy vznikne rovnoměrné zatížení podvozků (případně náprav) a pouze se liší zatížení mezi koly. V takovém případě lze výpočet vztahovat k jedné nápravě a hmotnost nákladu a vozu dělit podle počtu náprav, případně kol (viz. kapitola 2.1.3). Je to díky tomu, že výslednice tíhových sil působící na podlahu vozu je uprostřed vozu ve směru podélném a je pouze vychýlena ve směru příčném. Kdyby nastal případ, že náklad na voze nelze naložit ani v jednom směru souměrně, pak je nutno přistoupit k řešení pomocí staticky neurčité úlohy s tělesem o šesti stupních volnosti (viz. kapitola 2.2). Ve výpočtu je nutná deformační podmínka zajišťující zachování roviny podlahy.

4 Aplikace pro výpočet statických kolových sil při ložení kontislitků na voze Sggrrs

Na oficiálních webových stránkách společnosti ČD Cargo, a. s., lze v katalogu nákladních vozů [9] nalézt konkrétní informace, technické parametry a typové výkresy vozů, které spadají do flotily tohoto dopravce. Navíc u některých vozů lze přímo ze stránek společnosti ČD Cargo, a. s. stáhnout upravený excelovský soubor, ve kterém lze po zadání parametrů vypočítat jednotlivé zatížení podvozků vozu, a tedy i hmotnost na nápravu. Je tomu tak například i u vozu Sggrrs, jehož výpočet ložení byl předmětem této bakalářské práce. Tato aplikace ale nezohledňuje nesymetrii uložení nákladu v příčném směru, a proto neřeší rozdíl v zatížení jednotlivých kol.

Vůz Sggrrs je intermodální vůz, který je schopen přepravovat náklady různých tvarů a rozměrů. Je tak možné, že na tomto voze bude přepravován náklad, který nebude možné ložit symetricky v příčném směru. Příkladem jsou právě ocelové kontislitky přepravované na paletách RWP-Steel. V rámci bakalářské práce proto byla vytvořena excelovská aplikace (ve verzi MS Office 365), která nově zahrnuje také výpočet hmotností na kolo. Náhled aplikace je uveden v příloze č. 2., samotná excelovská aplikace pak na přiloženém CD. Aplikace řeší rozdíly v zatížení jednotlivých kol při ložení nákladu nesymetricky v příčném směru a kontroluje podmínky Nakládací směrnice UIC. Tato aplikace by mohla sloužit jako interaktivní představa toho, jak na voze probíhá silové působení s důsledkem na výsledné kolové síly. V aplikaci je pracováno s parametry, které jsou uvedeny v předchozích kapitolách této bakalářské práce. Hmotnost jednoho kontislitku je 3405 kg a jeho délka je 2500 mm. Kontislitky se dále loží na palety, které jsou na voze tři (viz. Obr. 20). Aplikace předpokládá rovnoměrné ložení kontislitků na vůz v podélném směru, což je v tomto případě obecně dodrženo. Aplikaci lze spouštět pouze ve verzi MS Excel z balíčku MS Office 365.

4.1 Popis aplikace

V buňkách A3:C7 na listu „Výpočty“ je uživatel seznámen s parametry vozu a nákladu (Obr. 45).

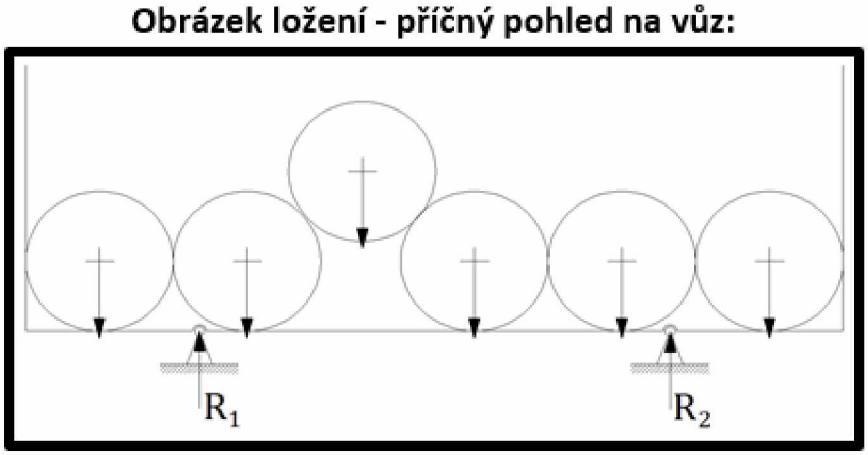
	A	B	C	D
1	Vůz Sggrrs	3 palety na voze		
2				
3	KONTISLITEK a VŮZ			
4	Průměr kontislitku	470	mm	
5	Délka kontislitku	2 500	mm	
6	Hmotnost kontislitku	3 405	kg	
7	Hmotnost vozu	18 150	kg	

Obr. 45 – Tabulka parametrů nákladu a vozu v aplikaci

Dále v buňce B9 uživatel vybírá z rozbalovacího seznamu počet kontislitků (Obr. 46), které chce přepravit na jedné paletě a v buňce B10 způsob ložení kontislitků (systém, jak jsou na paletě poskládány), který se mu zároveň zobrazuje na obrázku (Obr. 47). V buňce B11 uživatel volí traťovou třídu, na které chce vůz přepravovat. Celkový počet kusů kontislitků na voze se zobrazuje v buňce B12.

8	Zadání ložení		
9	Počet kusů na paletě	6	
10	Ložení	1	(typ dle obr.)
11	Traťová třída	D	
12	Počet kusů na vozu	18	ks

Obr. 46 – Příklad výběru počtu kontislitků a typu ložení v aplikaci

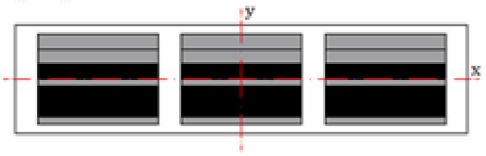


Obr. 47 – Příklad zobrazeného typu ložení dle výběru v aplikaci

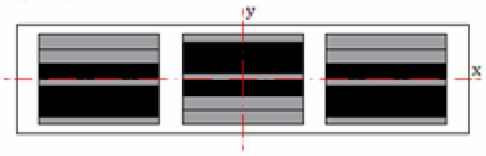
V buňkách F1:L12 (Obr. 48) se zobrazí vypočtené hmotnosti na kolo (R_1 a R_2) a také poměr těchto hmotností. Ten je pak kontrolován s maximem povoleným Nakládací směrnicí UIC (1,25:1). Jestliže je poměr vyhovující (tedy menší něž 1,25:1), pak se pod výpočtem zobrazuje tvrzení „VYHOVUJE“. V opačném případě je pak zobrazeno tvrzení „NEVYHOVUJE“. Jsou zde rozlišeny dva způsoby ložení a to: souhlasné otočení všech palet („ZA SEBOU“), nebo s otočenou střední paletou vůči ostatním („STŘÍDAVĚ“). Rozdíly ve výsledcích jsou ihned patrné a uživatel na první pohled vidí jejich odlišnost. Pod výpočty se zobrazují půdorysné pohledy na vůz podle aktuálního systému ložení kontislitků, který uživatel zvolil.

E	F	G	H	I	J	K	L
	Výpočet	PALETY ZA SEBOU			Výpočet	PALETY STŘÍDAVĚ	
	Hmotonosti na kolo				Hmotnosti na kolo		
	R_1=	14 342	kg		R_1=	13 104	kg
	R_2=	10 626	kg		R_2=	11 864	kg
	R_1/R_2=	1,35			R_1/R_2=	1,10	
		NEVYHOVUJE				VYHOVUJE	

Půdorysný pohled na vůz palety za sebou:



Půdorysný pohled na vůz palety střídavě:



Obr. 48 – Příklad zobrazení výpočtu kolových sil

V neposlední řadě je v buňkách N1:P13 zobrazeno zatížení podvozků (Obr. 49) jednotlivými hmotnostmi (E_1 a E_2) a také výsledná hmotnost na nápravu (N_1 a N_2), ke které aplikace rovnou přiřazuje příslušnou traťovou třídu, na které je možno daný vůz přepravovat (buňka O12).

M	N	O	P
	Výpočet PODÉLNÉHO ZATÍŽENÍ PODVOZKŮ		
	Hmotnost na podvozek		
	E_1=	39720	kg
	E_2=	39720	kg
	E_1/E_2=	1	
		VYHOVUJE	
	Tedy hmotnost na nápravu		
	N_1=	19860	kg
	N_2=	19860	kg
	Ložení odpovídá traťové třídě:	C	
	Ložení vyhovuje zadání:	ANO	

Obr. 49 – Příklad zobrazení výpočtu hmotností na podvozek a nápravy

V buňce O13 se zobrazuje, zda ložení, které uživatel zvolil, je přípustné či ne. Tvrzení „ANO“ je zobrazeno, jestliže jsou splněny podmínky dané Nakládací směrnicí UIC a traťová třída odpovídající ložení je stejná nebo nižší než traťová třída, kterou uživatel určil z rozbalovacího seznamu. Nicméně je důležité řídit se stanoviskem, které uvádí směrnice a to: náklad je vždy třeba ložit tak, aby byl naložen co nejvíce symetricky. Pro uživatele této aplikace to tedy znamená, že má vybrat takový způsob ložení, kdy je poměr $\frac{R_1}{R_2}$ nejmenší a zároveň splňuje ostatní podmínky. Opačné tvrzení, tedy „NE“, se v aplikaci zobrazuje v tom případě, že jedna z podmínek Nakládací směrnice UIC není splněna nebo odpovídající traťová třída ložení je větší, než kterou uživatel určil.

4.2 Možnosti dalšího vývoje aplikace

Vytvořená aplikace zohledňující nesymetrické ložení kontislitků je základní verzí, která se omezuje na stavy, kdy je voleno pouze mezi šesti, sedmi nebo osmi kontislitky, které by byly loženy na dané paletě. Jsou tak uvedeny příklady, kdy ložná hmotnost vozu není plně využita, anebo naopak je hmotnost nákladu tak velká, že ložení neodpovídá traťové třídě, která se nachází na území ČR (třída „E“).

Aplikaci lze dále rozvíjet pro jednotlivé provozní potřeby. Nejčastějším případem je maximální možné využití ložné hmotnosti a splnění všech provozních podmínek, které klade Nakládací směrnice UIC. Mohou však nastat jiné situace. Například by bylo potřeba kontislitky přepravovat pouze po trati s traťovou třídou „C“. Pak by ložení vypadalo jinak a správnou volbu by mohla právě zobrazovat excelovská aplikace. Jiným případem by mohlo být, že si objednatel objednal malé množství kusů kontislitků. Pak by ložení mělo vypadat tak, aby zatížení bylo co nejvíce rovnoměrně rozložené po voze, aby docházelo k co nejmenšímu opotřebení. Správný návrh by opět mohla zobrazit aplikace. Do excelovského souboru lze také zakomponovat výběr průměru kontislitku a délky kontislitku, který by uživatel též volil.

Ve výsledku lze vytvořit komplexní excelovskou aplikaci, která by sloužila jako podpora ke správnému ložení kontislitků na nákladních vozech. Řešila by jak efektivitu ložení, tak splnění provozních podmínek a zároveň nejpříznivější varianty ložení pro rovnoměrné zatěžování kol. Aplikace by byla určena těm, kteří jsou s takovými nakládkami kontislitků v přímém kontaktu.

Závěr

Celá bakalářská práce se věnuje nesymetrii ložení nákladů na nákladních vozech. V první části práce jsou popsány podmínky, které je třeba dodržet při ložení nákladních vozů. Detailně jsou popsány vztahy a metody, které stanovuje Nakládací směrnice UIC tak, aby byly lépe pochopitelné a bylo jasné z čeho jsou odvozeny. Z podmínek jsou nejdůležitější dodržení poměru zatížení na podvozek/nápravu maximálně 3:1 a také dodržení poměru zatížení na kola maximálně 1,25:1.

Následující část práce se zabývá tím, jak správě přistupovat k výpočtům pro ověření jednotlivých podmínek. Nakládací směrnice stanovuje rozdělení úlohy do dvou rovin a výpočty v každé rovině zvlášť. Veškeré výpočty jsou aplikovány na konkrétní zadání ložení ocelových kontislitků od ČD Cargo, a. s. V práci jsou také provedeny analýzy extrémů ložení nákladů.

Největším přínosem této práce je návrh výpočtu pro ověření podmínek zatížení přes staticky neurčitou úlohu. Z hlediska mechaniky se jedná o úlohu, kdy je na železniční vůz nahlíženo jako na celistvé těleso se šesti stupni volnosti. Úloha tak není řešena zvlášť pro dvě oddělené roviny. Aby se tato staticky neurčitá úloha dala řešit, tak je doplněna o deformační rovnici popisující zachování roviny podlahy vozu. Jak je dokázáno v kapitolách 2.2.3 a 2.2.4, tak užití této metody je jediné možné pro správný výpočet zatížení, jestliže je ložení nákladu nesymetrické jak v podélném směru, tak i příčném. Byly porovnány výsledné poměry zatížení na kola při užití metody přes staticky neurčitou úlohu a při užití chybné metody bez deformační rovnice, tedy rozdělením na dvě roviny. Poměry zatížení na kolo vychází na přívětivější straně právě při užití chybné metody s dělením výpočtu na dvě roviny. Bylo by tedy chybou tuto metodu používat. Nakládací směrnice UIC nesymetrické ložení nákladu v příčném a podélném směru zároveň vůbec neuvažuje, jak je uvedeno na konci kapitoly 2.2.4., a proto analýza provedená ve zmíněných kapitolách je důležitou částí této bakalářské práce.

Na konci práce je popsána jednoduchá aplikace v MS Excel, která interaktivně zobrazuje, jak probíhá silové působení na voze s důsledkem na výsledné zatížení kol.

Seznam literatury

[1] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL.: *Kolejová vozidla II.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.

[2] ČSN EN 15528+A1: Železniční aplikace – Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly, UNMZ, 2013

[3] Nakládací směrnice UIC: Kodex pro nakládku a zajištění nákladu na vozidlech v železniční nákladní dopravě, Svazek 1 - Zásady, 3. vydání, Generální ředitelství ČD Cargo, a. s., Mezinárodní železniční unie, 2019.

[4] Traťová třída. *In Wikipedia: the free encyklopedia* [online]. 8. 8. 2019 [cit. 2020-03-25]. URL: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tra%C5%A5ov%C3%A1_t%C5%99%C3%ADda

[5] IZER, Jiří, Jaroslav JANDA, Zdeněk MARUNA a Stanislav ZDRŮBEK.: *Kolejové vozy.* Bratislava: ALFA, 1986.

[6] Nařízení komise (EU) č. 321/2013 ze dne 13. března 2013, o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla – nákladní vozy" železničního systému v Evropské unii a o zrušení rozhodnutí Komise 2006/861/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie.* Brusel, 2013, ročník 2013, L 104. ISSN 1977-0626. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0321&from=CS

[7] ZÍTKO, M.: Železniční vůz. *In VAGONY.CZ* [online]. [cit. 2020-03-25]. URL: https://www.vagony.cz/vagony/vagony.html

[8] ČSN EN 15877-1+A1: Železniční aplikace - Označení železničních vozidel - Část 1: Nákladní vozy, ÚNMZ, 2019

[9] Technické dokumentace nákladních železničních vozů ČD Cargo, a. s., *In cdcargo.cz [online].* URL: https://www.cdcargo.cz/katalog-nakladnich-vozu

[10] Beer F.P., Johnston E.R., Mazurek D.F.,CornwellP.J., Eisenberg E.R.: *VECTOR MECHANICS FOR ENGINEERS – Statics and Dynamics.* McGraw-Hill Companies, New York, 2009. ISBN 978-0-07-352940-0.

[11] STEJSKAL, Vladimír. *Mechanika I.* Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01888-1.

[12] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL.: *Strojnické tabulky pro školu a praxi.* Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.

[13] Šrejtr J.: *Technická MECHANIKA I. – STATIKA.* Státní nakladatelství technické literatury, Vydání 2., přepracované, 532 s., Praha, 1957.

[14] Beer F.P., Johnston E.R., Mazurek D.F., Cornwell P.J.: *MECHANICS OF MATERIALS.* McGraw-Hill Companies, Six edition, New York, 2012. ISBN 978-0-07-338028-5.

[15] Dovolené traťové třídy zatížení - Mapa, *In provoz.szdc.cz [online].* URL: https://provoz.szdc.cz/PORTAL/ViewArticle.aspx?oid=594598

[16] Technická dokumentace výrobců nákladních vozů

Seznam příloh

Příloha č. 1: Přehled nákladních železničních vozů vhodných pro přepravu kusových zásilek, [9]

Příloha č. 2: Aplikace pro výpočet statických kolových sil při ložení kontislitků na voze Sggrrs

Příloha č. 3: Mapa traťových tříd v ČR, [15]

Příloha č. 1: Přehled nákladních železničních vozů vhodných pro přepravu kusových zásilek

PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

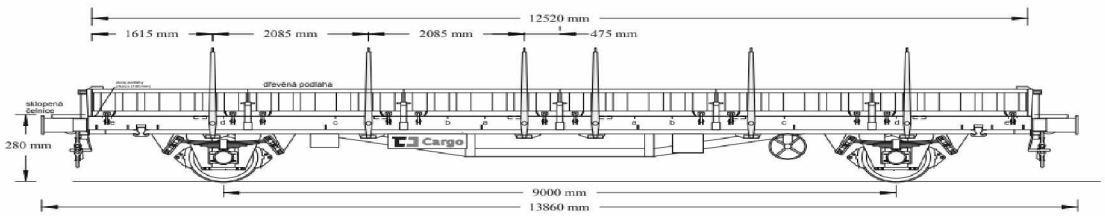
1.1 Kns 13

dvounápravový plošinový vůz se sklopnými nízkými stěnami a klanicemi

K – plošinový vůz dvounápravový běžné stavby se sklopnými nízkými stěnami a krátkými klanicemi
n – dvounápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 30 t
s – způsobilost pro „S“ provoz

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	13860	mm	Ložný objem	130	m^3
Výška	2525	mm	Ložná šířka	2820	mm
Šířka	3040	mm	Ložná délka	12520	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	9000	mm	Ložná plocha	35,3	m^2
Podvozek	-	mm	Ložná hmotnost	30	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	14500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu lehkých objemných zásilek, výrobků hutního, strojního a stavebního průmyslu, dlouhého dříví a řeziva, silničních vozidel a zemědělských strojů, náhradně i pro přepravu kontejnerů.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

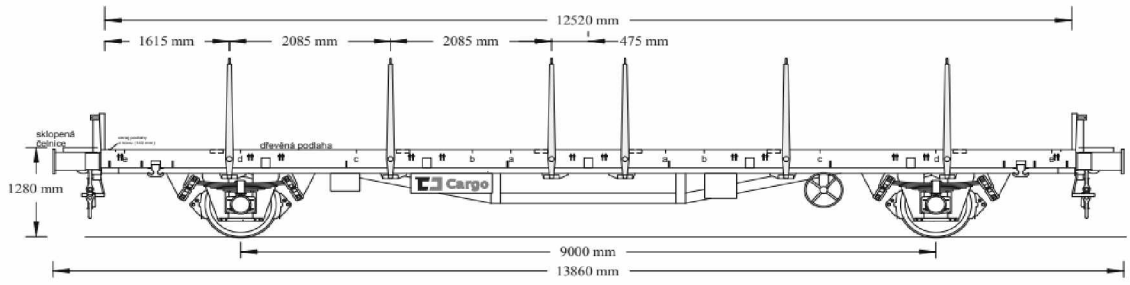
1.2 Knps

dvounápravový plošinový vůz se sklopnými nízkými stěnami a klanicemi

K – plošinový vůz dvounápravový běžné stavby se sklopnými nízkými stěnami a krátkými klanicemi
n – dvounápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 28 t
p – bez nízkých stěn
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	13860	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	2525	mm	Ložná šířka	2890	mm
Šířka	3040	mm	Ložná délka	12520	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	9000	mm	Ložná plocha	36,1	m^2
Podvozek	-	mm	Ložná hmotnost	30	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	12700	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu lehkých objemných zásilek, výrobků hutního, strojního a stavebního průmyslu, dlouhého dříví a řeziva, silničních vozidel a zemědělských strojů, náhradně i pro přepravu kontejnerů.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

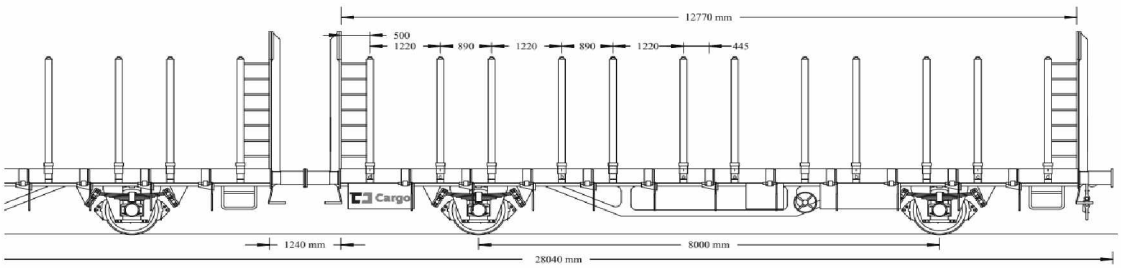
1.3 Laaps 12

čtyřnápravová plošinová vozová jednotka s pevnými čelními stěnami a vysokými klanicemi

L – čtyřnápravová plošinová vozová jednotka s pevnými čelními stěnami a vysokými klanicemi
aa – se čtyřmi samostatnými nápravami
p – bez nízkých klanic
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	28040	mm	Ložný objem	166	m^3
Výška	3905	mm	Ložná šířka	2660	mm
Šířka	2978	mm	Ložná délka	25540	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	22020	mm	Ložná plocha	67	m^2
Podvozek	-	mm	Ložná hmotnost	52	t
Průměr dvojkolí	920	mm	Hmotnost prázdného vozu	28100	kg
Ložná výška	2040	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vozová jednotka je určena pro přepravu kmenového dříví. Ložný prostor je rozdělen do dvou stejných částí.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

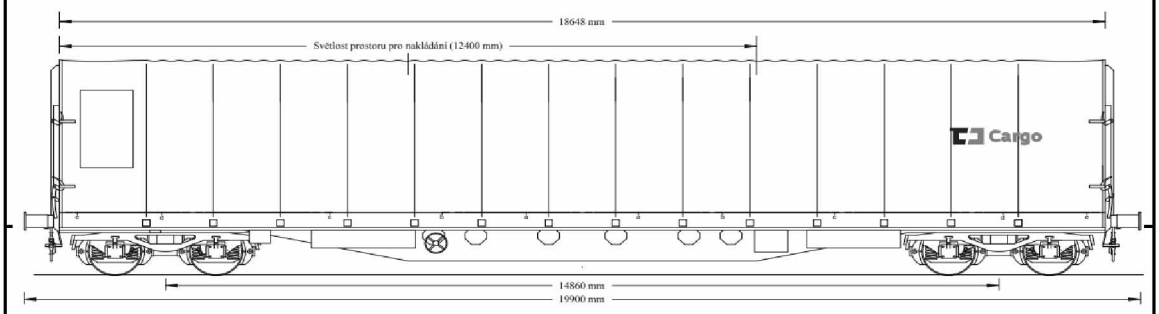
1.4 Rils 51

čtyřnápravový plošinový vůz s pohyblivým plachtovým krytem a pevnými čelními stěnami, bez klanic.

R – podvozkový plošinový vůz běžné stavby s nízkými sklopnými čelními stěnami a klanicemi
i – s pohyblivým krytem a čelními stěnami
l – bez klanic
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	19900	mm	Ložný objem	130	m^3
Výška	2535	mm	Ložná šířka	2660	mm
Šířka	2960	mm	Ložná délka	18528	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	9000	mm	Ložná plocha	51,2	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	55	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	23000	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu dlouhých nákladů, rozměrnějších kusových zásilek, výrobků strojního, hutního a stavebního průmyslu, které při přepravě vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy, případně poškozením.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

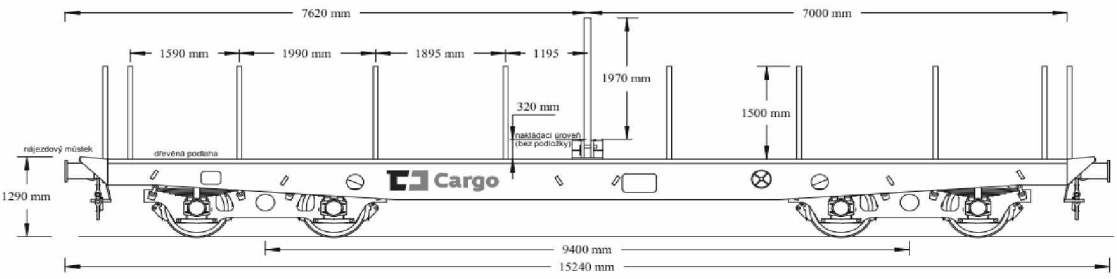
1.5 Scmms 10

čtyřnápravový plošinový vůz zvláštní stavby s oplenem a klanicemi

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
c – s oplenem
mm – se čtyřmi nápravami dl < 15 m
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	15240	mm	Ložný objem	17,3	m^3
Výška	3135	mm	Ložná šířka	3100	mm
Šířka	3100	mm	Ložná délka	14000	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	11400	mm	Ložná plocha	43,4	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	52	t
Rozvor podvozku	2000	mm	Hmotnost prázdného vozu	23700	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu dlouhých nákladů, kmenového dříví, kolejnic, rour, prefabrikátů, příp. jiných kusových zásilek velkých rozměrů.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

1. VOZY PLOŠINOVÉ

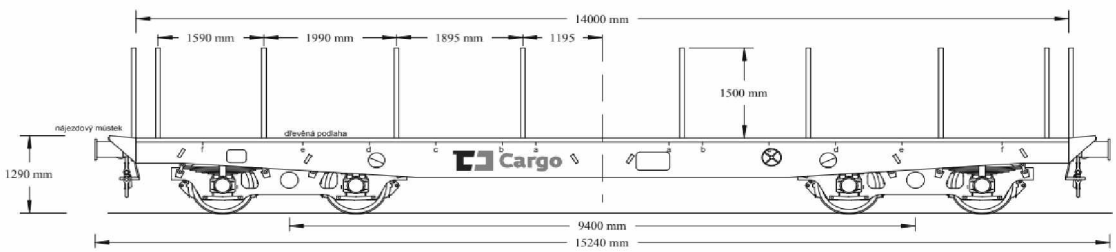
1.6 Smmps 54

čtyřnápravový plošinový vůz s bočními klanicemi

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
mm – se čtyřmi nápravami dl < 15 m
p – bez nízkých stěn
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	15240	mm	Ložný objem	17,3	m^3
Výška	3135	mm	Ložná šířka	3100	mm
Šířka	3100	mm	Ložná délka	14000	mm
Vzdálenost náprav vnějších	11400	mm	Ložná plocha	43,4	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	54	t
Rozvor podvozku	2000	mm	Hmotnost prázdného vozu	21500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu dlouhých nákladů a objemných kusových zásilek.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

2. VOZY NÍZKOSTĚNNÉ

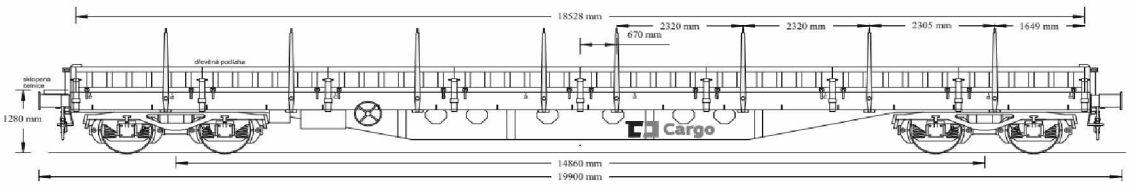
2.1 Res 51

čtyřnápravový nízkostěnný vůz s nízkými sklopnými bočními stěnami a klanicemi

R – podvozkový plošinový vůz běžné stavby s nízkými sklopnými čelními stěnami a klanicemi
e – s nízkými skopnými bočnicemi
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	19900	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	2535	mm	Ložná šířka	2640	mm
Šířka	1960	mm	Ložná délka	18500	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	16660	mm	Ložná plocha	49	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	55	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	22700	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu objemných kusových zásilek, dlouhých nákladů, silničních vozidel a výrobků hutního, strojního a stavebního průmyslu.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

2. VOZY NÍZKOSTĚNNÉ

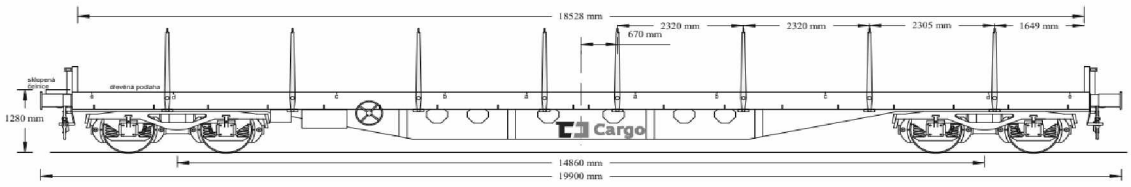
2.2 Rs

čtyřnápravový plošinový vůz s bočními klanicemi

R – podvozkový plošinový vůz běžné stavby s nízkými sklopnými čelními stěnami a klanicemi
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	19900	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	2535	mm	Ložná šířka	2740	mm
Šířka	1960	mm	Ložná délka	18528	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	16660	mm	Ložná plocha	50,8	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	50	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	21100	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu objemných kusových zásilek, dlouhých nákladů, silničních vozidel a výrobků hutního, strojního a stavebního průmyslu.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

3. VOZY VYSOKOSTĚNNÉ

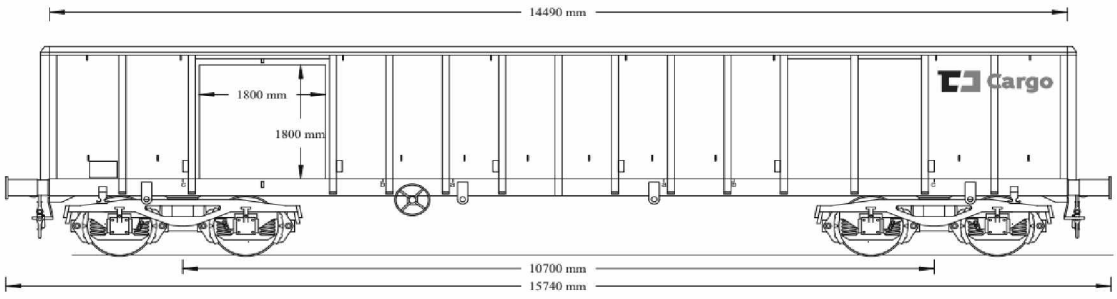
3.1 Eanos

čtyřnápravový vysokostěnný vůz běžné stavby

E – otevřený vůz běžné stavby čelně i bočně výklopný
a – se dvěma dvounápravovými podvozky
n – se čtyřmi nápravami; ložná hmotnost > 60 t
o – čelně nevýklopný
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	15740	mm	Ložný objem	82,5	m^3
Výška	2091	mm	Ložná šířka	2720	mm
Šířka	2720	mm	Ložná délka	14490	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	12500	mm	Ložná plocha	39,4	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost	65,5	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	23300	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu hromadných sypkých substrátů (kromě chemických), kusového a paletizovaného zboží, které při přepravě nevyžaduje krytý ložný prostor.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

3. VOZY VYSOKOSTĚNNÉ

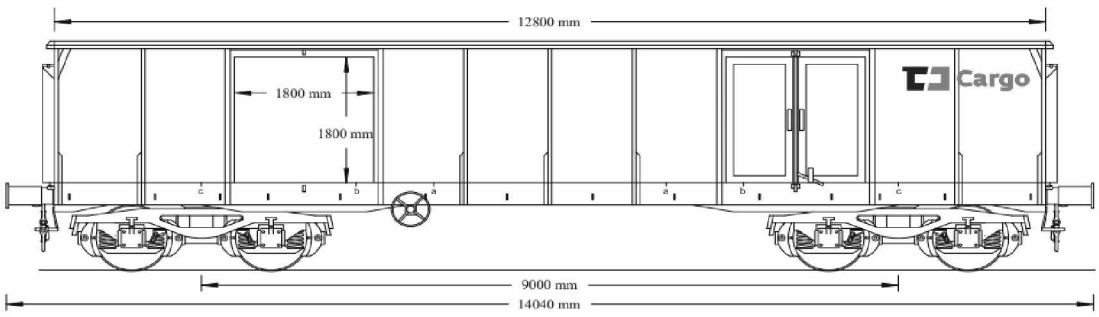
3.2 Eas 51, 54

čtyřnápravový vysokostěnný vůz běžné stavby

E – otevřený vůz běžné stavby čelně i bočně výklopný
a – se dvěma dvounápravovými podvozky
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	14040	mm	Ložný objem	72	m^3
Výška	3275	mm	Ložná šířka	2760	mm
Šířka	3040	mm	Ložná délka	12800	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	10800	mm	Ložná plocha	36	m^2
Podvozek	Y 25		Ložná hmotnost	56	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	21100	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	90/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu hromadných sypkých substrátů (kromě chemických), kusového a paletizovaného zboží, které při přepravě nevyžaduje krytý ložný prostor.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

3. VOZY VYSOKOSTĚNNÉ

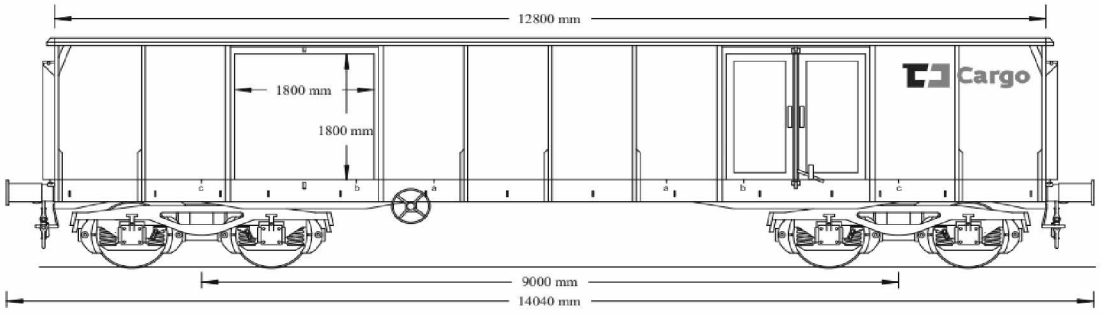
3.3 Eas-u

čtyřnápravový vysokostěnný vůz běžné stavby

E – otevřený vůz běžné stavby čelně i bočně výklopný
a – se dvěma dvounápravovými podvozky
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)
u – kombinovaná podlaha dřevo-kov

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	14040	mm	Ložný objem	72	m^3
Výška	3275	mm	Ložná šířka	2760	mm
Šířka	3040	mm	Ložná délka	12800	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	10800	mm	Ložná plocha	36	m^2
Podvozek	Y 25		Ložná hmotnost	57	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	21000	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu hromadných sypkých substrátů (kromě chemických), kusového a paletizovaného zboží, které při přepravě nevyžaduje krytý ložný prostor.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

3. VOZY VYSOKOSTĚNNÉ

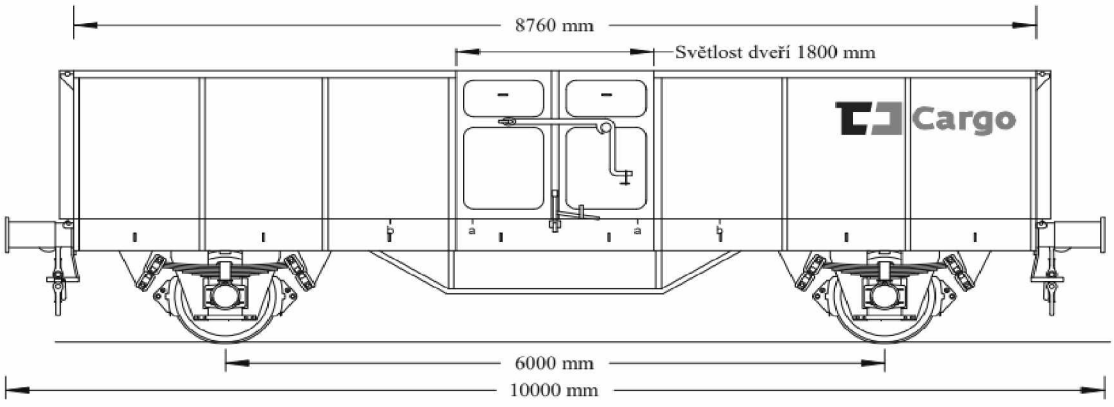
3.4 Es

dvounápravový vysokostěnný vůz běžné stavby

E – otevřený vůz běžné stavby čelně i bočně výklopný
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	10000	mm	Ložný objem	36	m^3
Výška	2742	mm	Ložná šířka	2760	mm
Šířka	3000	mm	Ložná délka	8760	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	6000	mm	Ložná plocha	24	m^2
Podvozek	-		Ložná hmotnost	28	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	12000	kg
Průměr dvojkolí	1000	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu hromadných a sypkých substrátů (kromě chemických), kusového a paletizovaného zboží, které při přepravě nevyžaduje krytý ložný prostor.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

3. VOZY VYSOKOSTĚNNÉ

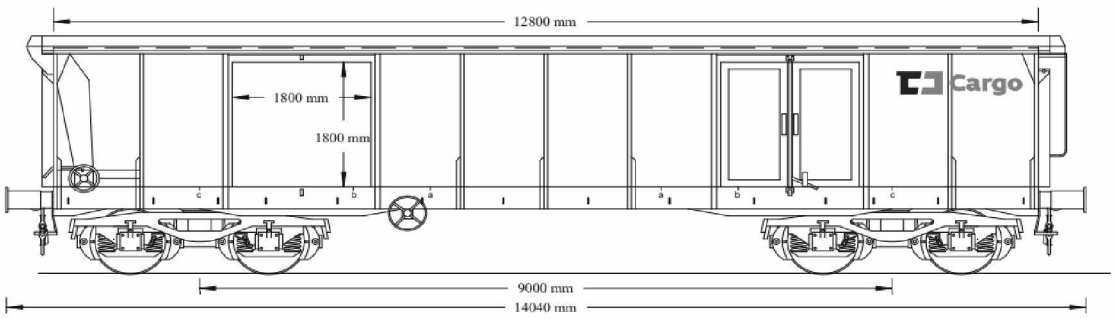
3.5 Tams

čtyřnápravový vysokostěnný vůz s odsuvnou roletovou plastovou střechou

T – vůz s odebíratelnou střechou
a – s dvounápravovými podvozky
m – s podvozky dl < 15 m
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	14040	mm	Ložný objem	72	m^3
Výška	3275	mm	Ložná šířka	2760	mm
Šířka	3040	mm	Ložná délka	12800	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	10800	mm	Ložná plocha	36	m^2
Podvozek	Y 25 Cs		Ložná hmotnost	56	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	22300	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určený pro přepravu výrobků strojního, hutního a stavebního průmyslu, rozměrných kusových zásilek, výjimečně i pro přepravu volně ložených sypkých substrátů, které vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

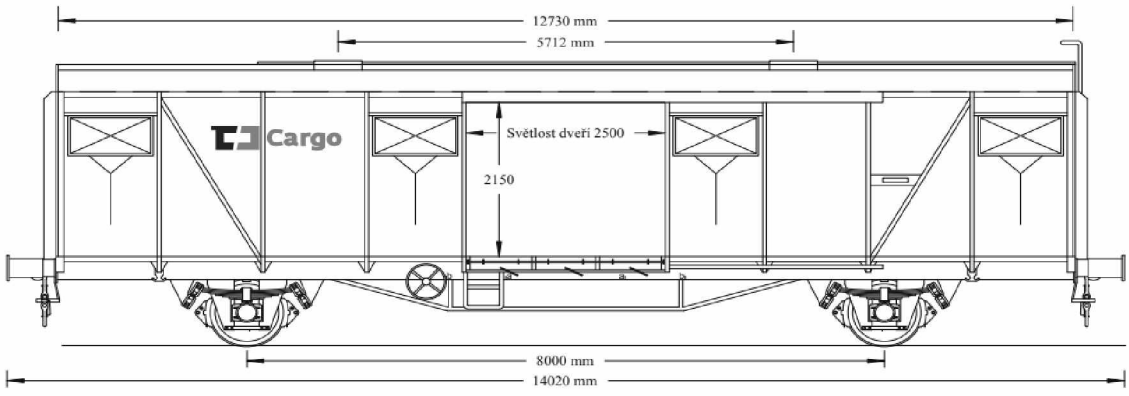
4.1 Gbgkks

dvounápravový krytý vůz běžné stavby

G – krytý vůz běžné stavby
b – velkoprostorový dvounápravový vůz dl > 12 m, ložný prostor > 70 m^3
g – na obilí
kk – dvounápravový 20 t < tun na nápravu < 25 t
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	14020	mm	Ložný objem	88	m^3
Výška	4250	mm	Ložná šířka	2634	mm
Šířka	3128	mm	Ložná délka	12730	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	8000	mm	Ložná plocha	33	m^2
Podvozek	-		Ložná hmotnost	24	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	14300	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/100	km/h

Vůz je určen pro přepravu kusových zásilek a zásilek na paletách, které při přepravě vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

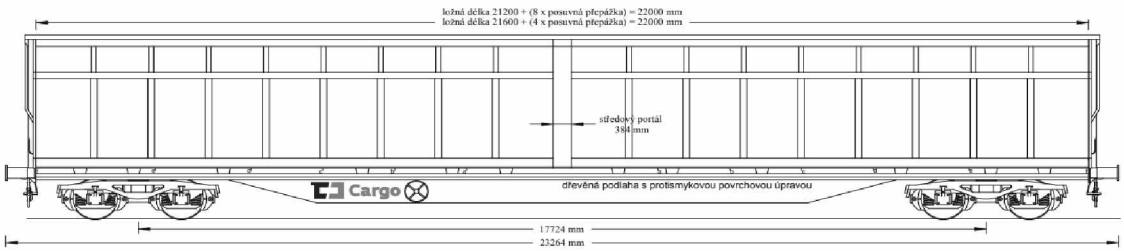
4.2 Habbillnss 55

čtyřnápravový krytý vůz s posuvnými bočními stěnami a přestavitelnými vnitřními dělícími přepážkami

H – krytý vůz zvláštní stavby
a – s dvěma nápravovými podvozky
bb – dvounápravové dl > 14 m
i – s otevíratelnými bočními stěnami
ll – s posuvnými uzamykatelnými a odnímatelnými mezistěnami
n – čtyřnápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 60 t
ss – způsobilost pro „SS“ provoz (max. rychlost 120 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	23264	mm	Ložný objem	161,4	m^3
Výška	3068	mm	Ložná šířka	2840	mm
Šířka	3038	mm	Ložná délka	21200	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	19524	mm	Ložná plocha	60,3	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost	60	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	26500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	120	km/h

Vůz je určen k přepravě nákladů citlivých na povětrnostní vlivy, které při přepravě vyžadují uzavřený prostor bez nároků na větrání, zejména vhodný pro paletizované zboží, objemné a kusové zásilky.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

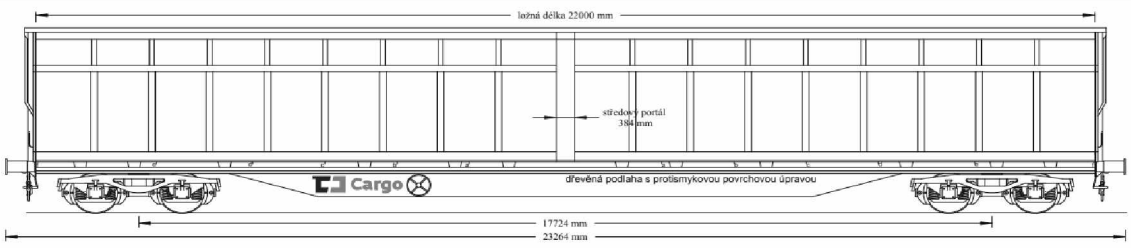
4.3 Habbins

čtyřnápravový krytý vůz s posuvnými bočními stěnami

H – krytý vůz zvláštní stavby
a – s dvěma nápravovými podvozky
bb – dvounápravové dl > 14 m
i – s otevíratelnými bočními stěnami
n – čtyřnápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 60 t
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	23264	mm	Ložný objem	167,4	m^3
Výška	-	mm	Ložná šířka	2840	mm
Šířka	-	mm	Ložná délka	22000	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	19524	mm	Ložná plocha	62,4	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost		t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	26500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen k přepravě nákladů citlivých na povětrnostní vlivy, které při přepravě vyžadují uzavřený prostor bez nároků na větrání, zejména vhodný pro paletizované zboží, objemné a kusové zásilky.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

4.4 Hbbillnss 13

dvounápravový krytý vůz s posuvnými bočními stěnami a přestavitelnými vnitřními dělícími přepážkami

H – krytý vůz zvláštní stavby
bb – dvounápravový dl > 14 m
i – s otevíratelnými bočními stěnami
ll – s posuvnými odnímatelnými a uzamykatelnými mezistěnami
n – dvounápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 28 t
ss – způsobilost pro „SS“ provoz (max. rychlost 120 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	16700	mm	Ložný objem	123,7	m^3
Výška	4265	mm	Ložná šířka	2950	mm
Šířka	3064	mm	Ložná délka	15200	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	10000	mm	Ložná plocha	45,5	m^2
Podvozek	-		Ložná hmotnost	27	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	16050	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	120	km/h

Vůz je určen pro přepravu nákladů citlivých na povětrnostní vlivy, které při přepravě vyžadují uzavřený prostor bez nároků na větrání, zejména vhodný pro paletizované zboží, objemné a kusové zásilky.

PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

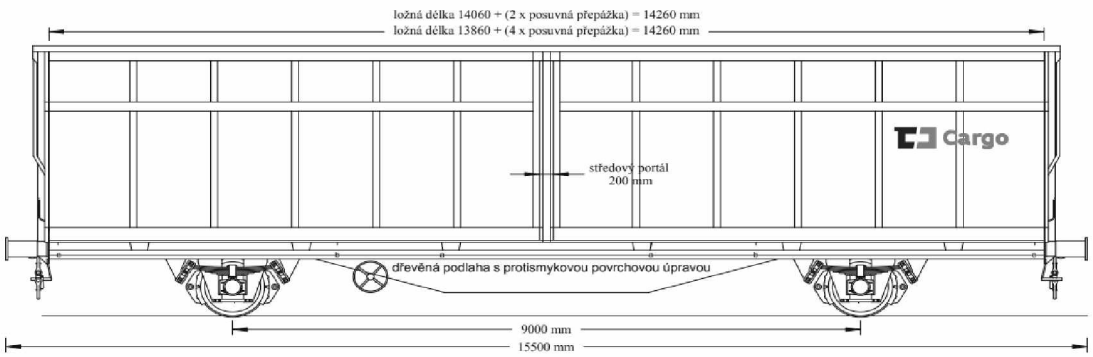
4.5 Hbbillns

dvounápravový krytý vůz s posuvnými bočními stěnami a přestavitelnými vnitřními dělícími přepážkami

H – krytý vůz zvláštní stavby
bb – dvounápravový dl > 14 m
i – s otevíratelnými bočními stěnami
ll – s posuvnými odnímatelnými a uzamykatelnými mezistěnami
n – dvounápravový vůz s ložnou hmotností větší jak 28 t
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	15500	mm	Ložný objem	116	m^3
Výška	2850	mm	Ložná šířka	2942	mm
Šířka	2950	mm	Ložná délka	14060	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	9000	mm	Ložná plocha	40,8	m^2
Podvozek	-		Ložná hmotnost	27	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	15500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu nákladů citlivých na povětrnostní vlivy, které při přepravě vyžadují uzavřený prostor bez nároků na větrání, zejména vhodný pro paletizované zboží, objemné a kusové zásilky.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

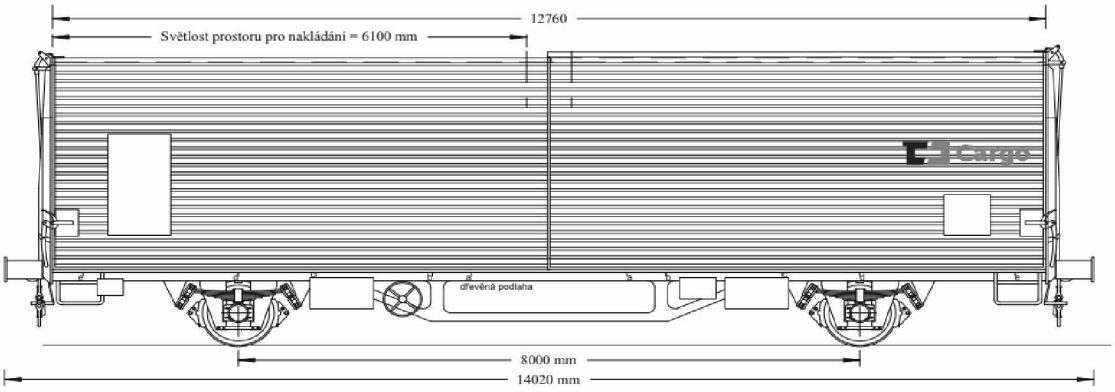
4.6 Kils 12

dvounápravový krytý vůz s pohyblivými kryty a pevnými čelními stěnami, bez klanic

K – plošinový dvounápravový vůz běžné stavby se sklopnými nízkými stěnami a krátkými klanicemi
i – s pohyblivým krytem a pohyblivými čelními stěnami
l – bez klanic
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	14020	mm	Ložný objem	88,8	m^3
Výška	4288	mm	Ložná šířka	2677	mm
Šířka	3130	mm	Ložná délka	12760	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	8000	mm	Ložná plocha	34,2	m^2
Podvozek	-		Ložná hmotnost	25	t
Rozvor podvozku	-	mm	Hmotnost prázdného vozu	14500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu kusových i velkoobjemových balených zásilek nebo zásilek uložených na paletách, které při přepravě vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy bez nároku na větrání ložného prostoru.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

4. VOZY KRYTÉ

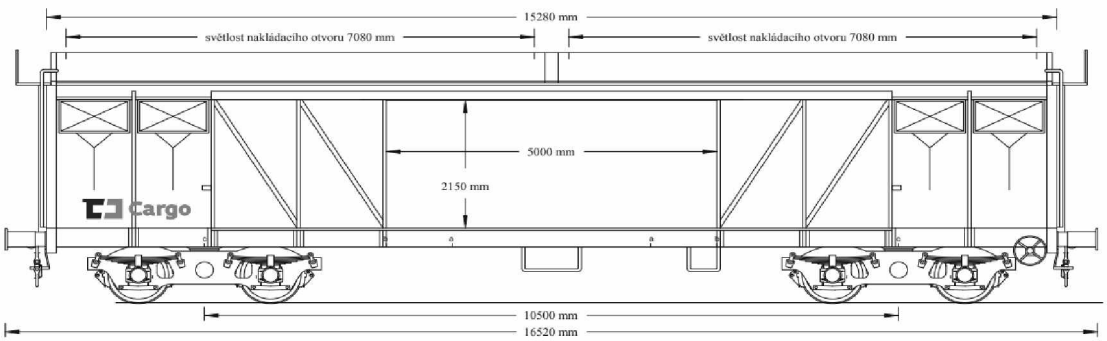
4.7 Taes 10

čtyřnápravový krytý vůz zvláštní stavby s přesuvnou střechou

T – vůz s odebíratelnou střechou
a – s dvounápravovými podvozky
e – se světlou výškou dveřních prostorů nad 1,9 m
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	16250	mm	Ložný objem	95	m^3
Výška	4255	mm	Ložná šířka	2600	mm
Šířka	3044	mm	Ložná délka	15280	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	12500	mm	Ložná plocha	40	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	46	t
Rozvor podvozku	2000	mm	Hmotnost prázdného vozu	22400	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu kusových zásilek a zásilek na paletách, které při přepravě vyžadují ochranu před povětrnostními vlivy.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

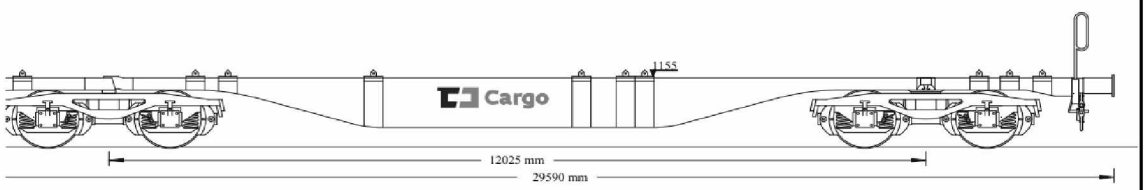
5.1 Sggmrss 55

šestinápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
gg – zařízení pro přepravu kontejnerů délky 80 stop
m – se šesti nápravami 18 m ≤ dl < 22 m
r – článkový vůz
ss – způsobilost pro „SS“ provoz (max. rychlost 120 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	29590	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	-	mm	Ložná šířka	2438	mm
Šířka	-	mm	Ložná délka	2 x 13820	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	25950	mm	Ložná plocha	67,4	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost	107,1	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	29000	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	120	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů (velikosti 20´, 30´, 40´, 45´) a výměnných nástaveb, s jednotným nebo smíšeným uspořádáním nákladu na celé ložné délce vozu. S pomocí RWP Steel palet možnost přepravy kusových zásilek.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

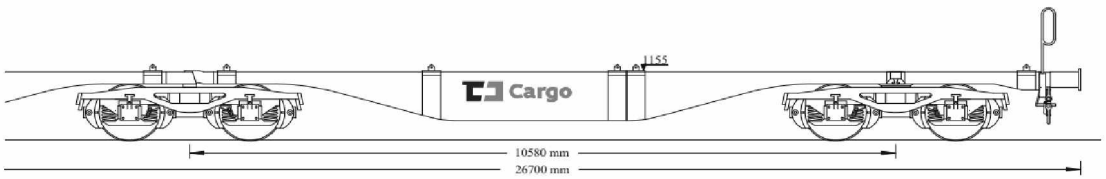
5.2 Sggrss 55

šestinápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
gg – zařízení pro přepravu kontejnerů délky 80 stop
r – článkový vůz
ss – způsobilost pro „SS“ provoz (max. rychlost 120 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	26700	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	-	mm	Ložná šířka	2438	mm
Šířka	-	mm	Ložná délka	2 x 12375	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	22960	mm	Ložná plocha	60,3	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost	108	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	27600	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	120	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů (velikosti 20´, 30´, 40´). S pomocí RWP Steel palet možnost přepravy kusových zásilek.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

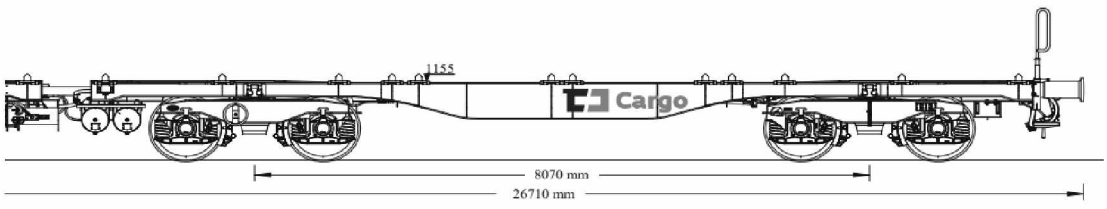
5.3 Sggrrs

osminápravový kloubový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
gg – zařízení pro přepravu kontejnerů délky 80 stop
rr – článkový vůz s čtyřmi podvozky
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	26710	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	-	mm	Ložná šířka	2438	mm
Šířka	-	mm	Ložná délka	2 x 12375	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	22880	mm	Ložná plocha	60,3	m^2
Podvozek	Y 25 Lsi		Ložná hmotnost	137,3	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	36300	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů (velikosti 13´, 20´, 30´, 40´). S pomocí RWP Steel palet možnost přepravy kusových zásilek.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

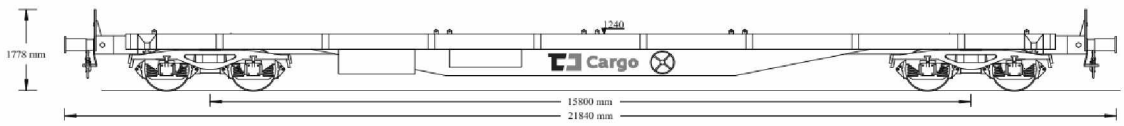
5.4 Sgjs

čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
g – zařízení pro přepravu kontejnerů do délky 60 stop
j – se zařízením tlumícím nárazy
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	21840	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	2525	mm	Ložná šířka	2438	mm
Šířka	2916	mm	Ložná délka	18800	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	17600	mm	Ložná plocha	51,7	m^2
Podvozek	Y 25 Cs		Ložná hmotnost	54	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	22500	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/120	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů, výjimečně pro přepravu silničních vozidel a různých výrobků strojírenského, hutnického a stavebního průmyslu.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

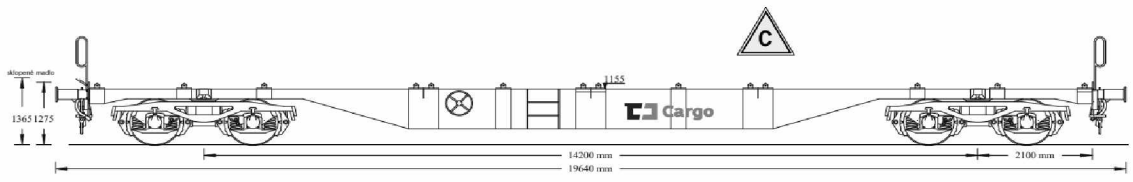
5.5 Sgnss

čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
g – zařízení pro přepravu kontejnerů do délky 60 stop
n – čtyřnápravový vůz s ložnou hmotností větší než 60 t
ss – způsobilost pro „SS“ provoz (max. rychlost 120 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	19640	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	1155	mm	Ložná šířka	2438	mm
Šířka	2346	mm	Ložná délka	18400	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	16000	mm	Ložná plocha	44,9	m^2
Podvozek	Y 25 Ls		Ložná hmotnost	60	t
Rozvor podvozku	1800	mm	Hmotnost prázdného vozu	18800	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	120	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů, výjimečně pro přepravu silničních vozidel a různých výrobků strojírenského, hutnického a stavebního průmyslu.



PŘEHLED NÁKLADNÍCH ŽELEZNIČNÍCH VOZŮ VHODNÝCH PRO PŘEPRAVU KUSOVÝCH ZÁSILEK

5. VOZY INTERMODÁLNÍ

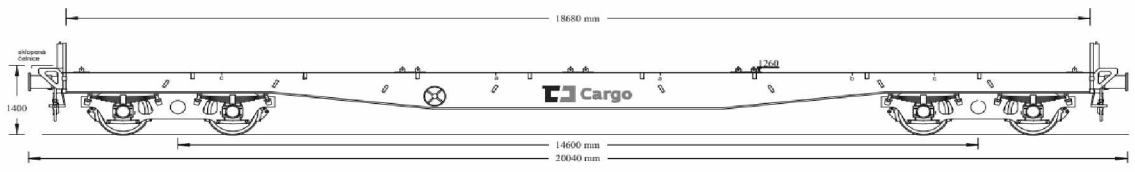
5.6 Sgs 11

čtyřnápravový vůz pro intermodální přepravy

S – podvozkový plošinový vůz zvláštní stavby
g – zařízení pro přepravu kontejnerů do délky 60 stop
s – způsobilost pro „S“ provoz (max. rychlost 100 km/h)

Hlavní technické údaje					
Délka přes nárazníky	20040	mm	Ložný objem	-	m^3
Výška	2680	mm	Ložná šířka	2780	mm
Šířka	2780	mm	Ložná délka	18680	mm
Vzdálenost náprav – vnějších	16600	mm	Ložná plocha	51,9	m^2
Podvozek	Y 25 Rs		Ložná hmotnost	55	t
Rozvor podvozku	2000	mm	Hmotnost prázdného vozu	22600	kg
Průměr dvojkolí	920	mm	Rychlost (ložený/prázdný)	100/100	km/h

Vůz je určen pro přepravu velkých kontejnerů, výjimečně pro přepravu silničních vozidel a různých výrobků strojírenského, hutnického a stavebního průmyslu.



Příloha č. 2: Aplikace pro výpočet statických kolových sil při ložení kontislitků na voze Sggrrs

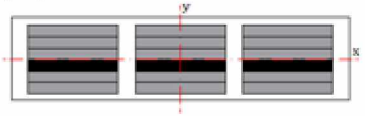
Vůz Sggrrs	3 palety na voze

KONTISLITEK a VŮZ		
Průměr kontislitku	470	mm
Délka kontislitku	2 500	mm
Hmotnost kontislitku	3 405	kg
Hmotnost vozu	18 150	kg

Zadání ložení		
Počet kusů na paletě	6	
Ložení	1	(typ dle obr.)
Traťová třída	E	
Počet kusů na vozu	18	ks

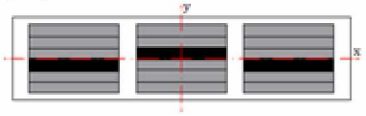
Výpočet	PALETY ZA SEBOU	
Hmotonosti na kolo		
R_1=	10 113	kg
R_2=	9 747	kg
R_1/R_2=	1,04	
	VYHOVUJE	

Půdorysný pohled na vůz palety za sebou:



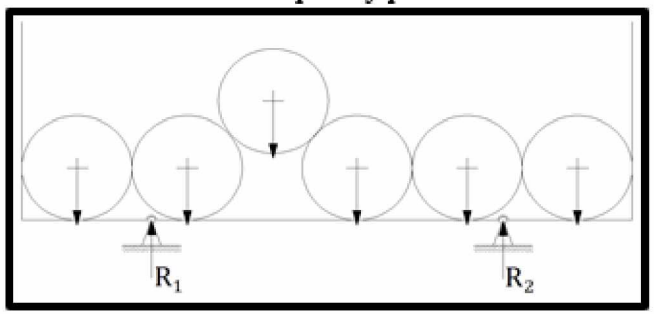
Výpočet	PALETY STŘÍDAVĚ	
Hmotnosti na kolo		
R_1=	9 991	kg
R_2=	9 869	kg
R_1/R_2=	1,01	
	VYHOVUJE	

Půdorysný pohled na vůz palety střídavě:



Výpočet PODÉLNÉHO ZATÍŽENÍ PODVOZKŮ		
Hmotnost na podvozek		
E_1=	39 720	kg
E_2=	39 720	kg
E_1/E_2=	1	
	VYHOVUJE	
Tedy hmotnost na nápravu		
N_1=	19 860	kg
N_2=	19 860	kg
Ložení odpovídá traťové třídě:	C	
Ložení vyhovuje zadání:	ANO	

Obrázek ložení - příčný pohled na vůz:



Traťová třída	nejvýše přípustná hmotnost na nápravu [t]
A	16
B	18
C	20
D	22,5
E	25

Náhled aplikace