

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Požadavky na konstrukci náprav u vícečlánkových autobusů
Návrh víceprvkové nápravy pro vícečlánkový autobus

Bc. Petr Kotyza

Diplomová práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr KOTYZA**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Návrh víceprvkové nápravy pro vícečlankový autobus**

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

Jako ročníkový projekt vypracujte studii na téma: "Analýza průjezdů vícečlankových souprav a požadavků na řízené nápravy". Ta by měla obsahovat detailní rozbor průjezdů souprav oblouky různých parametrů, a dále návrh přiřizování zadních náprav. Neměl by chybět rozbor nájezdu jednoduchého a dvoučlankového autobusu do oblouku $R=12.5m$. Toto celé pak použijte do své diplomové práce jako podklad pro návrh víceprvkové nápravy.

PODKLAD PRO ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA:	OSOBNÍ ČÍSLO:
KOTYZA Petr, Bc.	Svatohavelská 104; Rychnov nad Kněžnou	D06742

NÁZEV TÉMATU ČESKY:

Návrh víceprvkové nápravy pro vícečlánkový autobus

NÁZEV TÉMATU ANGLICKY:

Concept of the multi-elementar axle for articulated city Bus

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Jan Černý

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Jako ročníkový projekt vypracujte studii na téma: "Analýza průjezdů vícečlánkových souprav a požadavků na řízené nápravy ". Ta by měla obsahovat detailní rozbor průjezdů souprav oblouky různých parametrů, a dále návrh přiřizování zadních náprav. Neměl by chybět rozbor nájezdu jednoduchého a dvoučlánkového autobusu do oblouku $R=12.5m$.

Toto celé pak použijte do své diplomové práce jako podklad pro návrh víceprvkové nápravy.

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

VLK, F:Podvozky motorových vozidel; BRNO,Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000

VLK, F:koncepce motorových vozidel; BRNO,Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000

VLK, F:Stavba Motorových vozidel; BRNO,Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000

PODPIS STUDENTA: _____ **DATUM:** _____

PODPIS VEDOUCÍHO PRÁCE: _____ **DATUM:** _____

Souhrn:

Po úvodní části, kdy je rozebrána stručná historie vývoje vícečlankových autobusů, je v práci řešena problematika průjezdů vícečlankových souprav obloukem. Z této analýzy potom vychází samotné definování konstrukčních požadavků, a návrh základních parametrů natáčecího mechanismu.

Klíčová slova:

vícečlankové autobusy, průjezd obloukem, řízená náprava, konstrukční požadavky

Title:

Concept of the multi-elementar axle for articulated city Bus, requirements for the axle construction

Abstract:

The first section includes history of articulated city Buses. In my diploma thesis there are solved the passage problems of articulated city buses through the curves. In the next section there are included definitions of element construction requirements, and basic parametrs design of steering mechanisms.

Key words:

Articuled city buses, the passage through the curves, steered axe, construction requirements

Poděkování:

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat svým rodičům, jakož i celé rodině, za podporu, kterou mi po celé studium poskytovali. Další dík patří rovněž vedoucímu mé práce panu Ing. Janu Černému za čas, který si pro mě dokázal najít při jednotlivých konzultacích.

1 - ÚVOD	7
1.1 – KONSTRUKČNÍ ODLIŠNOSTI VÍCEČLÁNKOVÝCH AUTOBUSŮ	8
2 - NOVÉ SMĚRY VE VÝVOJI	11
2.1 - MOŽNOSTI DALŠÍHO ZVYŠOVÁNÍ PŘEPRAVNÍ KAPACITY	11
2.2 - POŽADAVKY NA KONSTRUKCI NÁPRAV	14
2.2 - INTELIGENTNÍ RYCHLÉ VYSOKOKAPACITNÍ AUTOBUSOVÉ SYSTÉMY.....	17
2.3 - TROJČLÁNKOVÉ AUTOBUSY VOLVO BRT	20
2.4 - AUTOBUS VAN HOOL AGG300.....	22
2.5 - AUTOBUS MERCEDES-BENZ Citaro, CAPA-CITY	23
2.6 – ELEKTRICKÝ POHON NÁPRAV.....	26
2.6.1 – Neoplan Duo Trolejbus Lausanne	26
2.6.2 - ZF-EE Drive	27
3 – VÝPOČTY JÍZDNÍCH TRAJEKTORIÍ VÍCEČLÁNKOVÝCH SOUPRAV	28
3.1 – POSTUP VÝPOČTU V PROGRAMU MICROSOFT EXCEL.....	29
3.2 - STUDIE JEDNOTLIVÝCH MODELŮ VÍCEČLÁNKOVÝCH SOUPRAV	33
3.2.1 - <i>Varianta 1: Dvoučlanková souprava (L=18750mm); jízda bez přiřizování</i>	<i>35</i>
3.2.2 - <i>Varianta 2: Dvoučl. souprava (L=18750mm); jízda 2.čl. ve stopě 1.čl.</i>	<i>36</i>
3.2.3 - <i>Varianta 3: Dvoučl. prodloužený (L = 22160mm); jízda bez přiřizování</i>	<i>37</i>
3.2.4 - <i>Varianta 4: Dvoučlankový prodlouž. (L = 22160mm); $R_{min} = 5300mm$.</i>	<i>38</i>
3.2.5 - <i>Varianta 5: Dvoučlank. prodlouž. (L=22160mm); Jízda 2.čl. ve stopě 1.čl.</i>	<i>40</i>
3.3 - TROJČLÁNKOVÉ SOUPRAVY.....	42
3.3.1 - <i>Varianta 6: Trojčlanková souprava (L = 25320mm); Jízda bez přiřizování</i>	<i>43</i>
3.3.2 - <i>Varianta 7: 3-čl. souprava(L=25320mm); řiditelná 1,2. náprava, hnaná 3,4.....</i>	<i>45</i>
3.3.3 - <i>Varianta 8: 3-čl.souprava(L = 25320mm); řiditelná 1,3 náprava, hnaná 2,4.....</i>	<i>46</i>
3.3.4 - <i>Varianta 9: 3-čl. souprava(L = 25320mm); řiditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3.....</i>	<i>49</i>
3.3.5 - <i>Varianta 10: 3 čl. souprava prodlouž. (L = 29040mm); jízda bez přiřizování</i>	<i>51</i>
3.3.6 - <i>Varianta 11: 3 čl.prodlouž(L = 29040mm); řiditelná 1,2 náprava; hnaná 3,4.....</i>	<i>53</i>
3.3.7 - <i>Varianta 12: 3 čl.prodloužený(L = 29040); řiditelná 1,3 náprava; hnaná 2,4.....</i>	<i>54</i>
3.3.8 - <i>Varianta 13: 3-čl. prodlouž. (L = 29040); řiditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3.....</i>	<i>56</i>

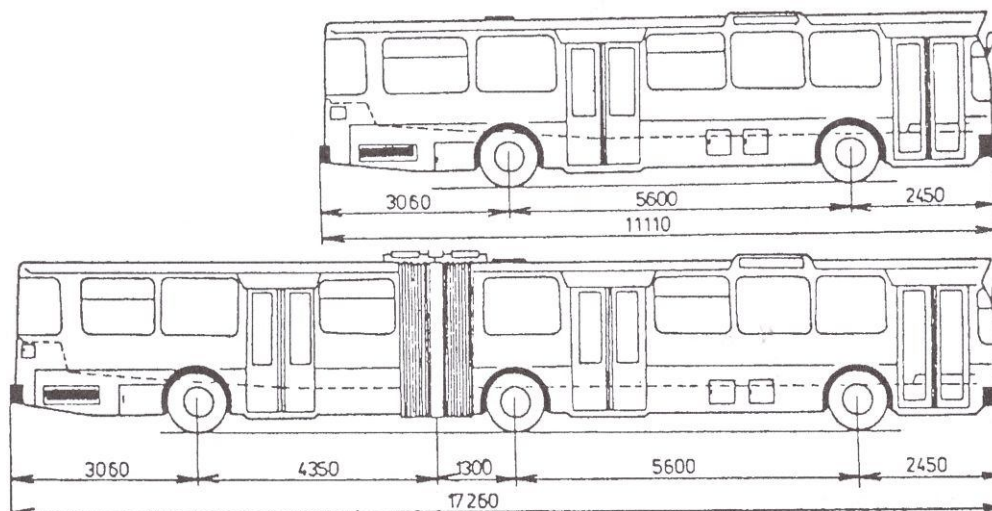
4 – HMOTNOSTNÍ ROZVAHA JEDNOTLIVÝCH SOUPRAV	58
4.1 – DVOUČLÁNKOVÝ PRODLOUŽENÝ AUTOBUS	58
4.2 – TROJČLÁNKOVÝ PRODLOUŽENÝ AUTOBUS	61
5 - NÁVRH KINEMATIKY PŘÍŘIZOVÁNÍ.....	65
5.1 - DVOJČLÁNKOVÁ PRODLOUŽENÁ SOUPRAVA:	65
5.2 - TROJČLÁNKOVÝ PRODLOUŽENÝ:	67
6 - ZÁVĚR	68
7 - POUŽITÉ ZDROJE:	70

1 - Úvod

Kloubové autobusy a trolejbusy patří dnes k nejprogressivnějším prostředkům hromadné dopravy. Požadavky na lepší veřejnou dopravu se v poslední době zvyšují – narůstá počet dopravních kalamit v městských oblastech a narůstá cena přepravy. Zvyšuje se rozdíl mezi velkým a nízkým dopravním zatížením. V dopravní špičce je nutné často mít k dispozici dvojnásobek kapacity, než při malém dopravním zatížení. Při stejném počtu řidičů a téměř se stejnými provozními náklady je možno v porovnání s dvounápravovými autobusy zvýšit kapacitu přepravovaných cestujících osob, při užití vícečlánekových souprav, až o 75 %.

V minulosti měly standardní autobusy motor vpředu. Později uprostřed pod podlahou, nebo v boční části karosérie pod sedadly. Klasické kloubové autobusy vznikly tak, že se ke standardnímu autobusu připojila jednonápravová zadní část. Pohánecí ústrojí se nezměnilo, takže klasický kloubový autobus měl poháněnou prostřední nápravu. Pro zvýšení průjezdnosti zatáčkami se kola poslední nápravy nuceně natáčejí v závislosti na velikosti úhlu zalomení mezi podélnými osami předního a zadního vozu. Kloubový autobus této koncepce je např. Ikarus 284. Klasická koncepce kloubového autobusu s ležatým motorem pod podlahou umožňuje lepší využití podlahové plochy a vhodnější rozmístění dveří než u autobusu s motorem vpředu. Podlaha takového autobusu je však poměrně vysoko, což vede k pomalejšímu nastupování cestujících. Další nevýhodou je, že motor umístěný pod podlahou přenáší do vnitřního prostoru značný hluk a teplo. Dnešní dvounápravové autobusy mají proto motor vzadu, kde je k němu navíc také lepší přístup. Autobusy s motorem vzadu se staly základem ke stavbě kloubových autobusů.

Důvodem pro vznik kloubového autobusu s motorem vzadu nebyla původně jen snaha po unifikaci, tzn. co největší využití dílů z dvounápravového autobusu, ale skutečnost že u této koncepce lze výrazně zmenšit výšku podlahy nad vozovkou, což je důležité pro snadné a rychlé nastupování a vystupování cestujících. Vnitřní prostor kloubového autobusu s motorem vzadu lze také lépe hlukově izolovat. Takovou koncepcí měl poprvé zkušební kloubový autobus postavený v roce 1975 v dílnách Fahrneugwerkstätten Felkenried v Hamburku. V roce 1976 postavila firma Daimler-Benz podle tohoto prototypu kloubový autobus, který se od roku 1977 sériově vyráběl pod označením O 305 G. Od roku 1984 začala tato firma vyrábět modernizovaný typ O 405 G, který má pneumatiky 11/70 R 22,5, čímž došlo k dalšímu snížení výšky podlahy.



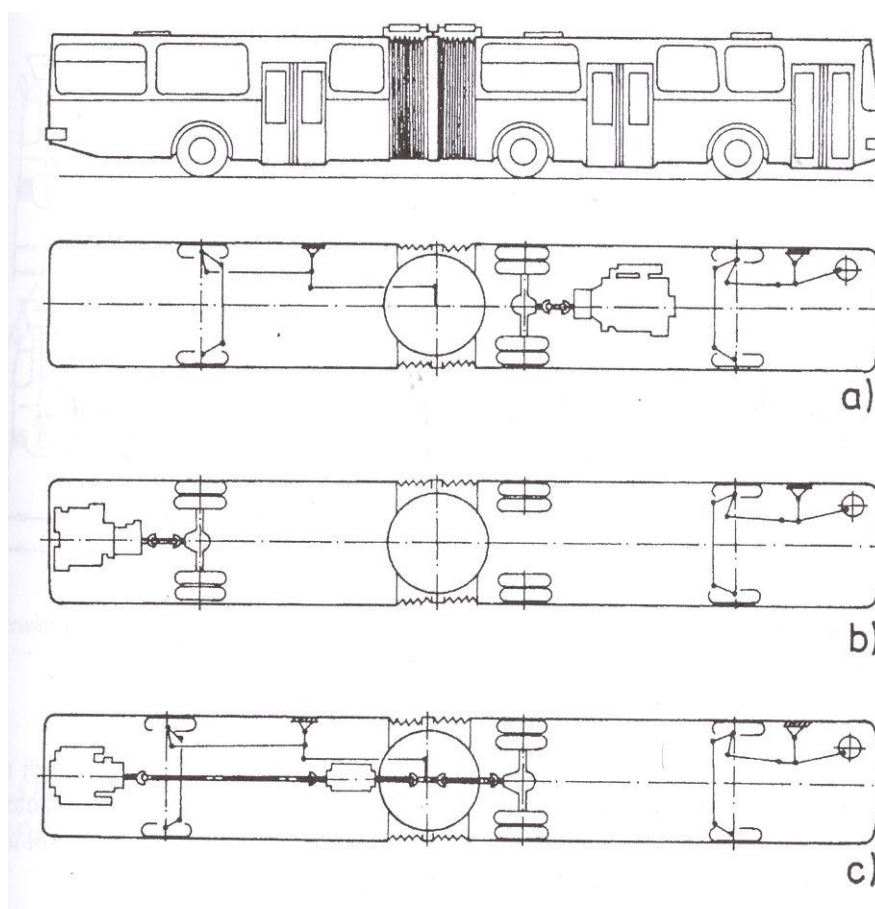
Obrázek 1: Možnost prodloužení jednočlánekového autobusu

1.1 – Konstrukční odlišnosti vícečlánekových autobusů

Dnešní kloubové autobusy mají motor vzadu a poháněnou poslední nápravu. Toto provedení je označováno jako tlačný kloubový autobus.

Kloubový autobus se řízenými zadními koly se při zatáčení méně láme, a proto může být měch mezi přední a zadní čisti menší a jednodušší.

Rozměry tlačného kloubového autobusu s neřízenými zadními koly musí být voleny tak, aby podobně jako jízdní soupravy splňovaly předpis pro zatáčení po 12,5 metrovém poloměru (obr. 7)



Obrázek 2: Možnosti konstrukčního uspořádání dvoučlánekového autobusu (pro klasický pohon)

Výhody umístění motoru vzadu vedly firmu Magirus-Deutz k tomu, že v roce 1977 uplatnila svůj patent z roku 1954 a postavila kloubový autobus typ 260 SH 170 s motorem vzadu a pohonem střední nápravy. O dva roky později představila firma MAN kloubový autobus SG 240 H stejné koncepce s tím rozdílem, že pro dosažení většího zatížení poháněné prostřední nápravy byla převodovka oddělena od motoru a posunuta vpřed.

Tlačný kloubový autobus má dvě nevýhody z hlediska jízdních vlastností. Vzhledem k tomu, že těžiště zadní části leží těsně před poslední nápravou a u prázdného autobusu dokonce za touto nápravou, je tlačný kloubový autobus více náchylný k bočnímu kmitání v rovině vozovky.

Tomuto kmitání zamezují hydraulické tlumiče umístěné mezi přední a zadní částí kloubového autobusu. Další nevýhodou je, že hnací síla poslední nápravy se přenáší do kloubu spojujícího obě části autobusu, a jsou-li tyto navzájem vůči sobě při zatáčení natočeny, pak v kloubu vznikne příčná síla, kterou musí zachytit reakce, tzv. boční vodící síly na kolech střední nápravy.

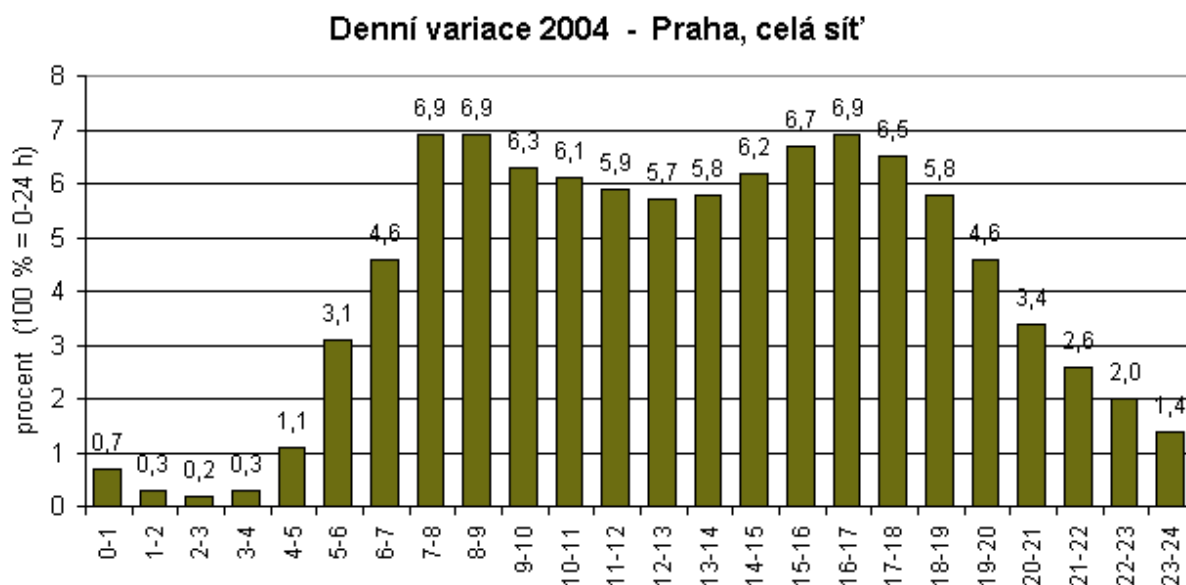
Dále má každý vícečlánekový autobus svoji „kritickou rychlost“. Tj. rychlost, při níž se první a druhý článek autobusu dostane do rezonance, a jejich úhel zalomení se s časem velice silně mění. Samozřejmě jde o velice nestabilní stav, který mají odstranit právě tlumiče umístěné v otočném kloubu (točně).



Obrázek 3: Trojčlánekový autobus Ikarus 284

Nemají – li pneumatiky dostatečnou přilnavost, zejména při náledí, pak příčná síla v kloubu může způsobit, že střední náprava následkem nedostatečného bočního vedení dostane boční smyk a dojde k tzv. zalomení kloubového autobusu.

Aby k tomuto jevu nedocházelo, jsou autobusy vybaveny systémy, jenž kontrolují stáčivé rychlosti, relativní stáčivou rychlosti mezi články, i samotnou geometrii, kdy je porovnáván skutečný úhel zalomení s teoretickým, jež je určen z úhlu natočení volantů.



Obrázek 5: Rozložení četnosti dopravy v Praze ze 24 hodin

Ad 2):

Zde narážíme na možnosti vozového parku a řidičů vůbec. Kvůli několika málo hodinám, kdy je potřeba zvýšit přepravní kapacitu např. o 30 % se dopravním podnikům nevyplatí udržovat v provozu o 30% více vozů a zaměstnávat o 30 % více řidičů.

Ad 3):

Tato možnost zvýšení přepravní kapacity se z dnešního pohledu jeví jako nejvíce reálná. Pouhým prodloužením jízdní soupravy (rozšířit ji vzhledem k dnešním platným předpisům nelze...) je možné kapacitu, oproti sólo vozům, navýšit hned několikanásobně. Uvažujeme – li průměrnou maximální obsaditelnost

10 osob/1 metr délky autobusu,

vychází nám, že se kapacita vozů s narůstající délkou zvyšuje lineárně (viz.

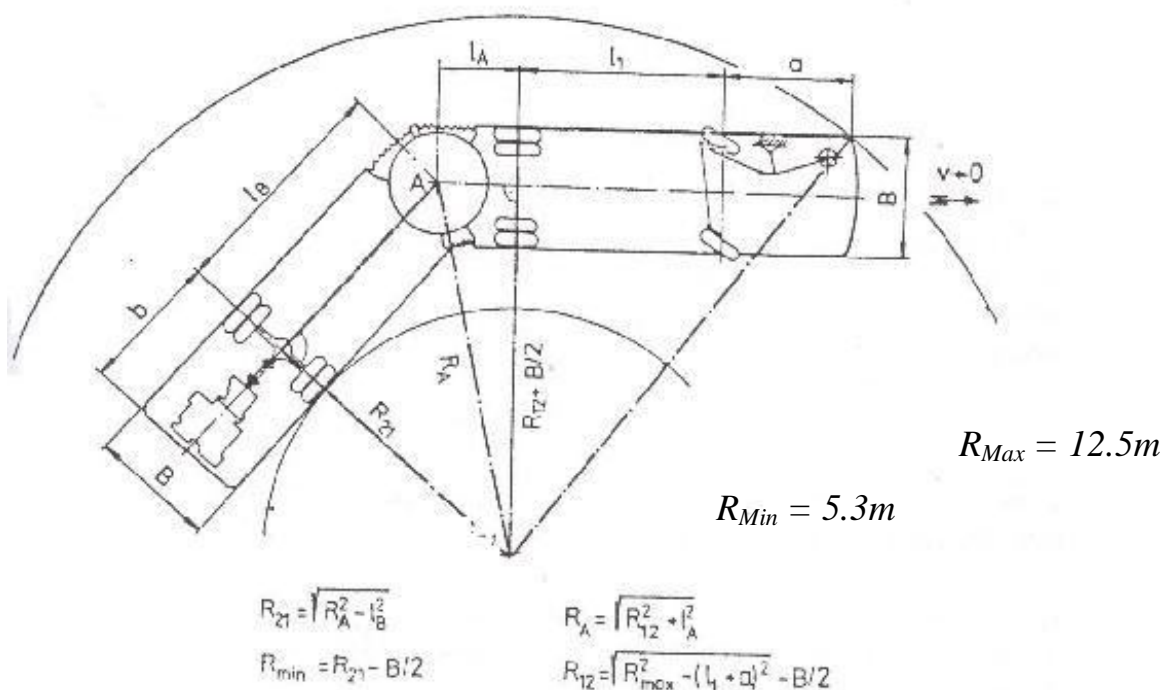
Obrázek)



Obrázek 6: Vyjádření možnosti zvyšování přepravní kapacity

Dále je možné si povšimnout alespoň orientačních hranic, které vymezují délkové oblasti pro užití sólo vozů, dvoučlankových a tříčlankových vozů.

Nicméně je důležité si uvědomit, že prodlužování jízdních souprav má za následek zhoršení manévrovacích schopností souprav, z čehož bych nejvíce vyzdvihl zmenšování nejmenších jízdních poloměrů se stoupající délkou a počtem článků a z toho vyplývající rozšiřování jízdních pruhů.



Obrázek 7: Průjezd zatáčkou dvoučlankové soupravy dle předpisu EHK 107

Celá souprava je tedy při homologaci zkoušena, zda vyhovuje dané podmínce průjezdu zatáčkou. Jak je patrné z obrázku, vnější bod přední části karoserie se pohybuje po kružnici o poloměru $R_{\text{Min}}=12,5\text{m}$, přičemž nejmenší stopový poloměr celé soupravy nesmí být menší než $R_{\text{Min}}=5,3\text{m}$. Maximální povolená šířka jízdního pruhu je tedy 7,2m.

Tento předpis je závazný pro všechna vozidla, a tedy i pro nejdelší tříčlánkové soupravy.

Z geometrie průjezdů takovýchto souprav danými podmínkami vyplývá, že není možné takové podmínky splnit, a proto je nutné užít nucené natáčení alespoň jednoho páru kol na vhodné nápravě.

Rozbor jednotlivých studií je proveden v kapitole 3.

2.2 - Požadavky na konstrukci náprav

Vlastní náprava slouží především k:

- Přenosu hnacích a brzdných sil mezi soustavami vozidlo/vozovka
- Přesnému vedení vozu (u neřízených)
- K bezpečnému zatočení vozidla do požadovaného směru (u řízených)
- K zachycení radiálních reakcí od vozovky vzniklých:
 - 1) Vlastní vahou vozu
 - 2) Nerovnostmi vozovky
 - 3) Přetížením vozu od odstředivé síly
- K zachycení příčných reakcí (Boční vítr, odstředivá síla)

Vlastní požadavky na konstrukci se mohou v drobnostech lišit, a to vlivem použití (vozidla terénní, nákladní, silniční, autobusy...)

Požadavky, které by měla náprava pro městský autobus splňovat, jsou ale následující:

- a) - Minimální hmotnost
- b) - Možnost aktivního ovlivnění výšky nástupního prostoru
- c) - Dostatečná tuhost
- d) - Minimální zástavbový prostor
- e) - Kvalitní provedení, dobře zvládnutá povrch. Ochrana
- d)- Kvalitní odpružení (dnes již standardně vzduchové) ⇒ Stále se zvyšující komfort jízdy.
- f) – nezávislé zavěšení přední nápravy – dnes již standard

a)

Tato skutečnost vyplývá z požadavku co nejmenšího zrychlení a_O na odpružené hmoty (rám, karoserie, cestující...). Ty jsou vybudeny nerovnostmi vozovky, a jsou přenášena přes neodpružené hmoty (kolo, nápravy). Zrychlení na odpružené hmoty je tedy dáno:

- Velikostí silového impulsu na neodpružené hmoty (zrychlení)... a_N
- Hmotnostním poměrem odpružených a neodpružených hmot... M_N, M_O

Tedy :

$$a_O = a_n * \frac{M_N}{M_O + M_O} (kg * m / s^2)$$

b)

Dnešním trendem je uspokojení potřeb co největšího počtu zákazníků. Tedy i seniorů, maminek s kočárky, lidí na invalidním vozíku.

Aby pro ně byl jejich nástup do vozidla co nejméně náročný, stavějí se na jedné straně vyvýšené nástupní ostrůvky. Na druhé straně je nutné stavět nízkopodlažní autobusy (hlavně v nástupní části), jejichž nástupní výška se dá za klidu autobusu (v zastávce) dodatečně snížit např. upuštěním tlakového vzduchu z vzduchových pružin.

c)

Tuhost celé nápravy je základním předpokladem pro kvalitní vedení autobusu za všech jízdních situací. V dnešní době je možné provádět analýzy - metodami konečných prvků - jednotlivých dílů zavěšení, a to jak z hlediska napětí, tak deformací, a tím v konečném důsledku snižovat hmotnost celé nápravy, aniž by došlo k výraznému poklesu tuhosti.

d)

Tento aspekt je důležitý pro zachování co největší místo pro cestující. Jsou nicméně meze, za které při zmenšování, při užití dnešní koncepce, jít nelze. Řešením by bylo zvolení jiné koncepce pohonu, než klasické (motor, převodovka, spoj. hřídele, diferenciál).

Takovými možnostmi se ve výhledu jeví koncepce tzv. motorkola. Jedná se o el.motor, jež je integrován ve společném celku spolu s planetovým soukolím a nábojem kola. El.energie je dodávána z motor – generátoru. Přebytečná el.energie je ukládána v akumulátorech.

e)

Jestliže spolehlivost můžeme rozdělit na tu, která se dá ovlivnit v:

- Návrhu konstrukce
- Výrobě
- Provozu

Dobrý návrh a kvalitní dílenské provedení, spolu s kvalitní povrchovou ochranou dává dobrý předpoklad, aby jednotlivé celky nápravy obstály bez vážnější poruchy v náročném městském provozu po celou dobu své životnosti.

2.2 - Inteligentní rychlé vysokokapacitní autobusové systémy

Často používaný termín pro tento systém přepravy - BRT systém (Bus Rapid Transit) vznikl v souvislosti se značkou Volvo. Setkáváme se i s označením jako silniční tramvaj, street car, autobusové metro či „metro chudých“, přestože je kromě Latinské Ameriky provozováno i v Severní Americe, ve Švédsku, Francii, Británii, Nizozemí i jinde v západní Evropě.

V oddělených jízdnicích jsou provozovány vysokokapacitní vícečlánkové autobusy i trolejbusy s optickými i elektrickými naváděcími systémy a v poslední době i silniční vozidla s vodící kolejí. Nedílnou součástí systému jsou zastávky a odbavovací systémy koncipované tak, aby výměna cestujících i jejich odbavení byly maximálně rychlé.

Důvody pro úspěch BRT jsou zejména ekonomické. Často je BRT alternativou metra - investiční náklady jsou 20x nižší a provozní poloviční. Kapacita a často i rychlost jsou srovnatelné. Výhodou je hustší síť zastávek a terminálů pro přestupy.



Obrázek 8: Trojčlánkový autobus Volvo BRT - dnešní stav

Pro správné rozhodnutí při volbě vhodné veřejné dopravy je nutné porovnání mezi systémy BRT a kolejovými systémy. Při dopravní konferenci v Bogotě byla uvedena porovnávací studie. Porovnávanými faktory byly rychlost, kapacita cestujících a náklady. Při porovnání běžné autobusové linky s kolejovou dopravou a metrem měly autobusy nižší pořizovací náklady, ale nižší rychlost i kapacitu cestujících. U vyšší úrovně autobusové dopravy BRT, přestože pořizovací náklady jsou vyšší, stále jsou značně nižší než u kolejové přepravy, kapacita cestujících je vyšší než u lehké kolejové dopravy a dokonce porovnatelná s metrem a rychlost je podstatně vyšší než u běžné autobusové dopravy.

Průměrná rychlost BRT a lehké železnice (tramvaje)						
	Dallas	Denver	Los Angeles	Pittsburgh	San Diego	San Jose
lehká železnice v mil/h	16	11	23	14	21	16
BRT v mil/h	56	35	17	29	24	32

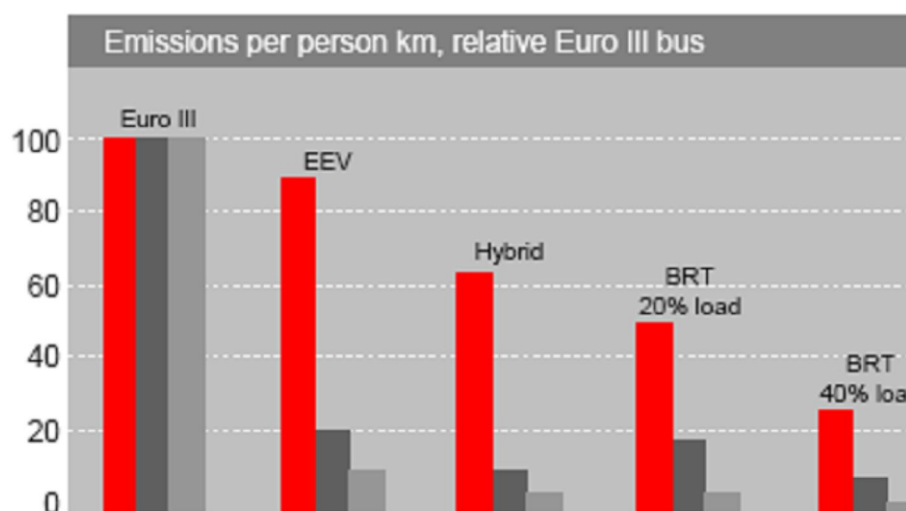
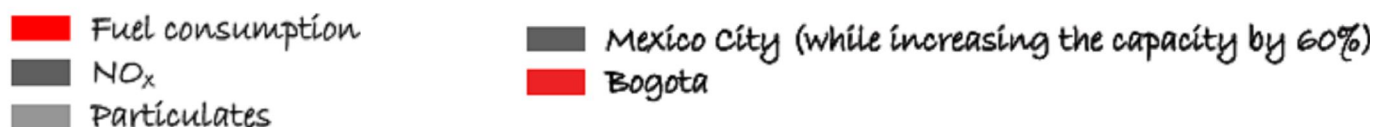
Tabulka 1: Průměrné rychlosti přeprav ve vybraných městech

Systém BRT je tedy schopen poskytnout maximální hodnotu s nejnižšími náklady po dobu životnosti. Pro BRT hovoří také krátká doba implementace a vhodnější využití místní kapacity dopravců. Je ekonomičtější v investicích i v provozních nákladech na kilometr i na cestujícího. Při použití vozidel s nejpřísnějšími emisními limity, jak s dieselovými motory, tak s pohonem na ethanol, CNG, či vodík, s hybridním pohonem, s trolejovým vedením nebo s nabíjením superkapacitorů je tato doprava také maximálně šetrná k životnímu prostředí.

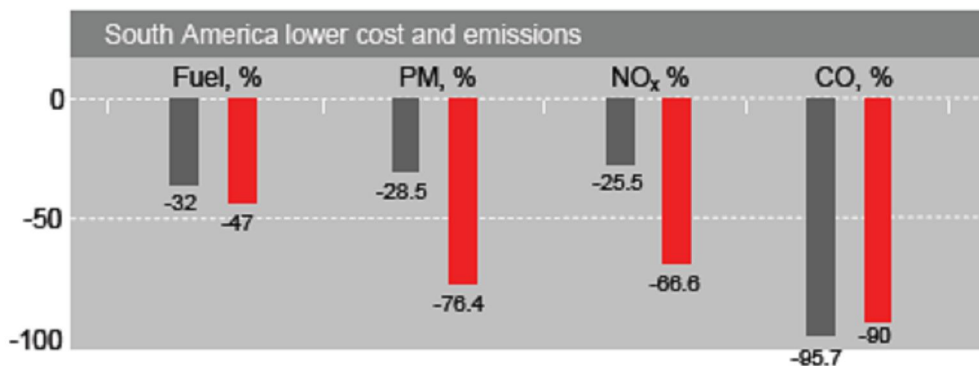
	BRT	Metro
Investment in infrastructure per km	1–5M€	50–150M€
Investment in vehicles per pass. capacity	2,000€	6,000€
Capacity (1,000 pass./h)	15–40	30–40
Average speed (km/h)	20–30	25–35
Relative investment per capacity	1	10–20
Completion of one line (year)	1–2	3–5
Operational costs	Low	High

Tabulka 2: Porovnání nákladů mezi přepravou BRT a metrem

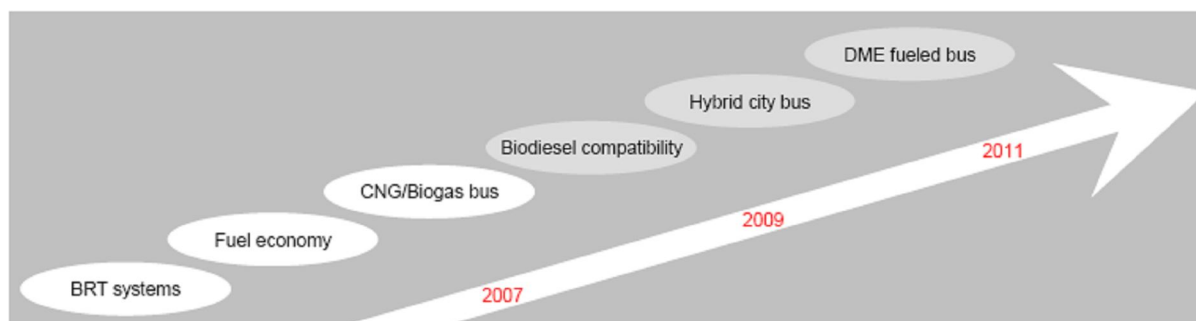
Tyto systémy bývají často spojovány s Latinskou Amerikou. Je pravda, že v jihoamerických a středoamerických velkoměstech zažívá tento způsob dopravy obrovský rozvoj a získává si popularitu. Nahrazuje velmi rychle zdejší naprosto chaotické dopravní „nesystémy“ se snesitelnými náklady. Pro hovoří také zdejší neklidné seizmické podmínky a dostatek prostoru. Stále častěji se tyto systémy objevují v Západní Evropě i v Severní Americe. Zajímavá řešení s vodící koleji se realizují ve Francii a Itálii.



Obrázek 9: Relativní porovnání emisí u jednotlivých pohonů



Obrázek 10: Úspory jednotlivých položek a emisí v Bogotě a MexicoCity



Obrázek 11: Očekávaný vývoj u systémů pohonu

2.3 - Trojčlankové autobusy Volvo BRT

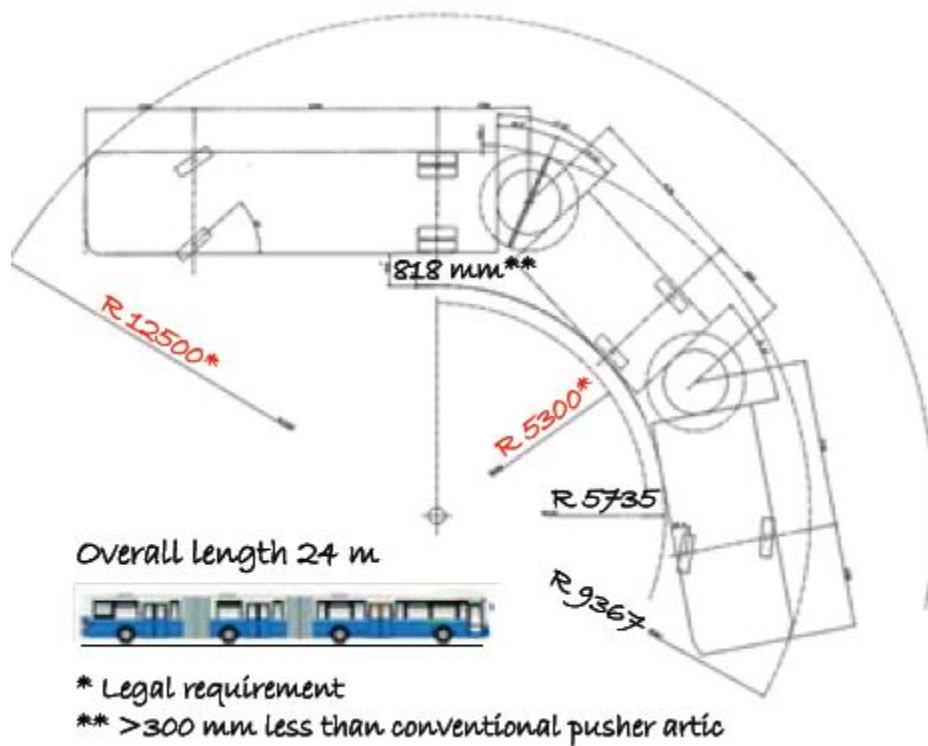
Tento autobus je navržen pro speciální autobusové linky, které jsou nákladově efektivnější alternativou k podzemní dráze - metru.

Tyto autobusy, určené převážně pro jihoamerické trhy, mají podvozky B12M postavené na platformě TX, a jsou dostupné jako jedno i vícečlankové autobusy různých délek, nejdelší 26.8 m. Každý z nich je osazen horizontálním 12 litrovým motorem 340 Hp, jež je umístěn mezi dvěma předními nápravami a splňuje normu EURO 3.



Obrázek 12: Trojčlánkový autobus Volvo BRT

Trojčlánkové autobusy jsou vytvořeny připojením 3 článku k soupravě, jenž je shodný s druhým článkem. Celková délka pak činí 24 m.



Obrázek 13: Skutečné průjezdové poloměry pro soupravu Volvo BRT

2.4 - Autobus Van Hool AGG300

Rozměry:

Celková délka.....24785mm

Šířka.....2550mm

Nejmenší poloměr zatáčení při průjezdu oblouku $R=12.5m$5790mm

Kapacita: - sedících osob.....60

- stojících osob150

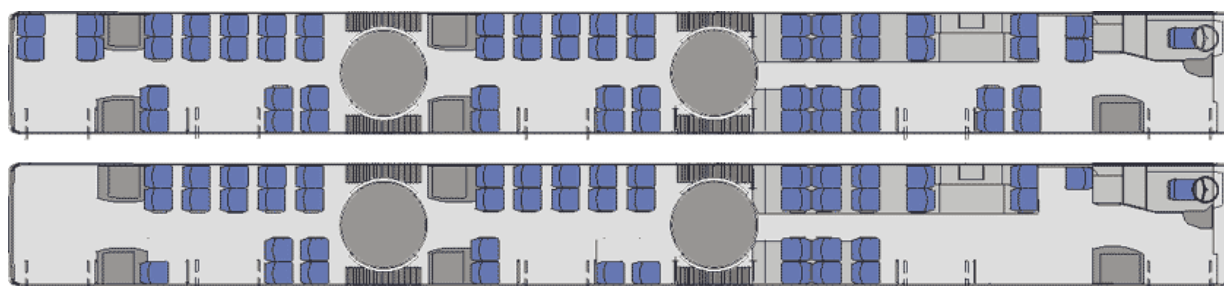
Motor: MAN LOH 360 Hp

DAF PE 360 Hp

Převodovka: ZF ECOMAT II nebo VOITH se zabudovaným retardérem



Obrázek 14: Autobus Van Hool AG300 v praxi



Obrázek 15: Uspořádání sedadel v autobuse Van Holl AG300

2.5 - Autobus Mercedes-Benz Citaro, Capa-City

Základem dnešního moderního kloubového autobusu Mercedes-Benz Capa-City je jeho předchůdce Citaro, jehož výroba v loňském roce slavila 10-leté jubileum.



Obrázek 16: Autobus Mercedes-Benz Capa-City 19.5m

Rozměry:

Délka19540mm

Šířka2550mm

Výška.....3080mm

Nájezdový úhel.....7°

Min. poloměr zatáčení.....6026mm

Nástupní výška.....320/340 mm

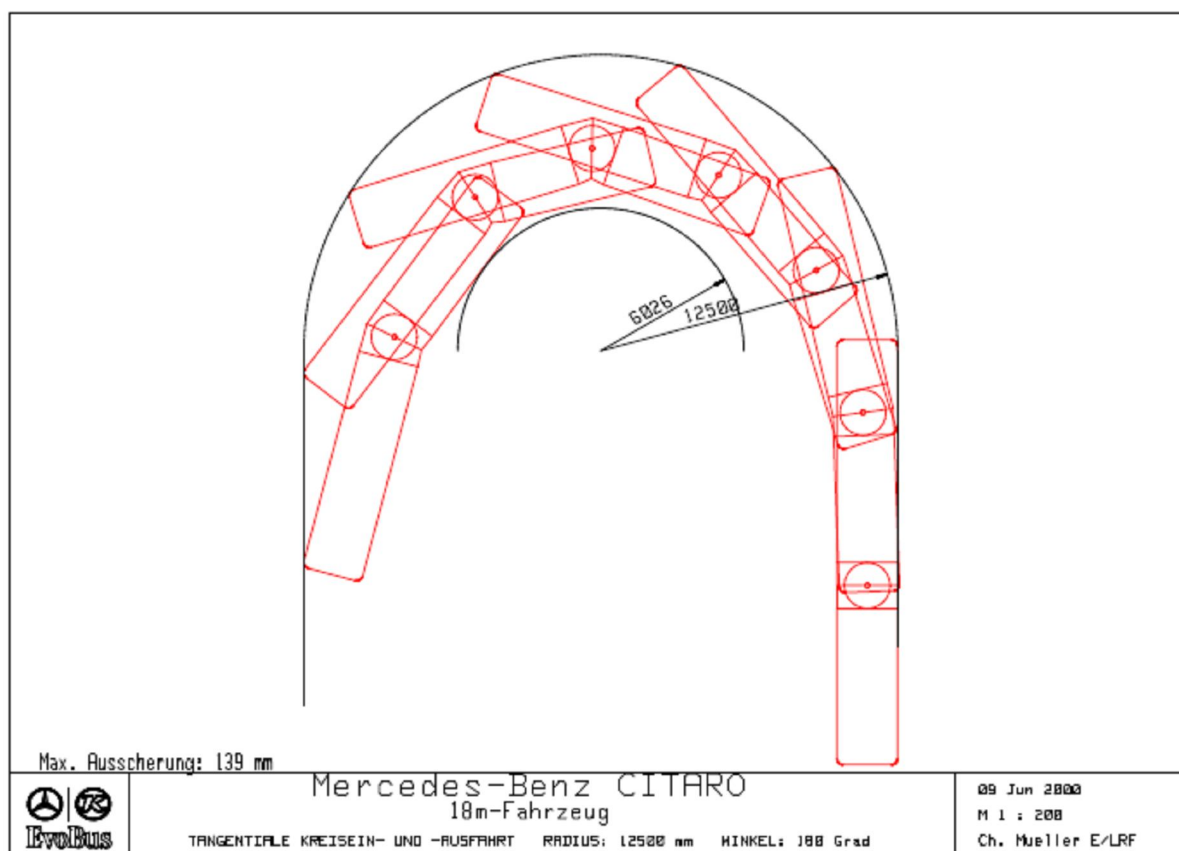
Šířka dveří.....1100mm

Pohon autobusu

U starších vozidel (autobus Citaro LE Ú) zajišťuje pohon ležatý vestavěný sériový šestiválcový motor OM 457 hLA s výkonem 220 kW (299 HP) a s automatickou převodovkou s hydrodynamickým měničem ZF.

Autobusy odpovídají emisním limitům výfukových plynů Euro 4 platným od podzimu loňského roku. Ve stejném okamžiku již Mercedes-Benz expedoval

autobus Citaro s dieslovým motorem splňujícím emisní limity výfukových plynů Euro 5. Ty vstoupí v platnost teprve v letech 2008/2009. Citaro je kromě toho již nyní k dodání se širokou řadou modelů podle nepovinného, ještě mnohem přísnějšího limitu EEV (Enhanced Environmental friendly Vehicle, zvláště ekologické vozidlo).



Obrázek 17: Průjezd Autobusu Mercedes-Benz Capa-City obloukem $R=12.5m$

Diesel-elektrickým hybridní pohon

Už v loňském roce Mercedes-Benz široké veřejnosti představil první prototyp autobusu Citaro s diesel-elektrickým hybridním pohonem. Vývojáři si vytkli ambiciózní cíle: jedná se o technologicky obzvláště náročný, diesel-elektrický sériový hybridní pohon. Toto vozidlo má být sériově vyráběno už v roce 2009. Umožní jízdní cesty bez výfukových plynů v čistém bateriovém provozu.

Na vysoké úrovni je rovněž konfigurace pohonu: je montován do kloubového autobusu Citaro G a Capa - City. Čtyři el.motory pohání přímo náboje kol na střední a zadní nápravě.

Díky této kombinaci je Citaro Hybrid v současnosti naprosto jedinečný.

Diesellový motor již nepracuje v sériovém autobuse Citaro Hybrid jako stálý hnací agregát, ale slouží k pohonu generátoru pro potřebu výroby proudu. Diesellový motor proto upouští od mechanického spojení s hnacími nápravami, což je charakteristickým znakem hybridního pohonu. Tak vzniká nový stupeň volnosti při uspořádání vnitřního prostoru.

Vyrobený proud akumulují bezúdržbové lithium-iontové baterie montované na střeše autobusu Citaro. Ty nejsou napájeny pouze diesellovým generátorem, ale také energií, která vzniká při brzdění, tak zvanou rekuperací.



Obrázek 18: Kloubový hybridní autobus Mercedes-Benz

El. pohon 2 náprav

Vlastní pohon kol přebírají u autobusu Citaro Hybrid a Capa–City čtyři elektrické motory pohánějící přímo náboj kola na střední a zadní nápravě autobusu. U verze Capa-City je hnaná 3.náprava, 4.náprava je říditelná. El.motory Poskytují vždy 80 kW a jsou chlazeny kapalinou. Celkový výkon motorů pohánějících přímo náboj kola ve výši 320 kW je pro kloubový autobus i při těžkých podmínkách nasazení dimenzován velkoryse.

Pohon dvou náprav umožňuje silnější akceleraci. Použití čtyř motorů pohánějících přímo náboj kola otevírá kromě toho možnost užití elektronických bezpečnostních systémů.

Vysokonapěťový obvod s napětím 650V zajišťuje napájení elektrickým proudem mezi generátorem, baterií a motory pohánějícími přímo náboj kola. Mechanické oddělení dieselového motoru od pohonu stejně jako rekuperace umožňují s ohledem na emise nové řídicí strategie. Tak se energie získaná během příjezdu na zastávku nebo k semaforům využívá jak k napájení vozidla během stání stejně jako při rozjezdu.

2.6 – Elektrický pohon náprav

Jak již bylo naznačeno, velikou budoucnost mají pohonné systémy, kde je přenos energie mezi motorem a koly zajištěn pomocí el. Energie.

Mezi jejich výhody nesporně patří:

- + Eliminování většiny mechanických ztrát
- + Celkové zjednodušení přenosu (odpadají hnací hřídele, převodovka....)
- + Celková šetrnost k životnímu prostředí

Mají však i řadu nevýhod, jako např.:

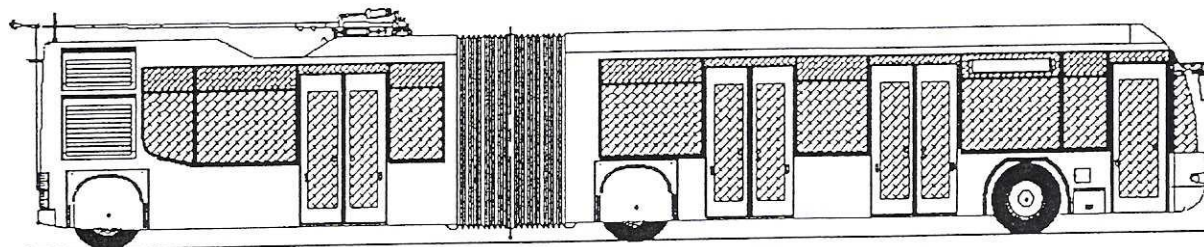
- Použitím el.motorů na nápravách se zvyšuje neodpružená hmota autobusu
- Vzhledem k ceně jednotlivých komponentů se zvyšuje i cena autobusu.

V současné době se řešením této problematiky věnuje několik firem. Pro příklad uvedu některé z nich.

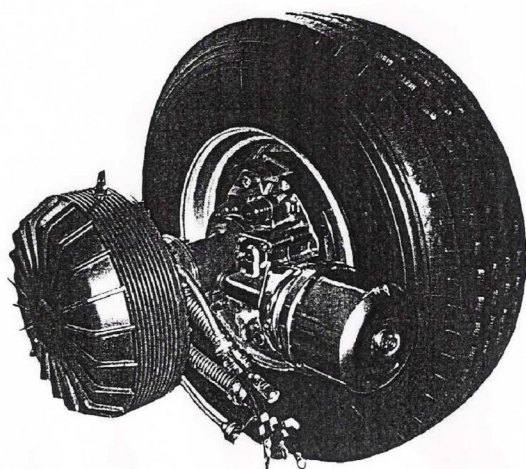
2.6.1 – Neoplan Duo Trolejbus Lausanne

Tento trolejbus, představený v roce 1999, je vybaven vedle sběračů el.proudu z trolejového vedení, také dieselovým motorem a generátorem, jež je využíván v době, kdy se vozidlo dostane mimo zasíťované městské části. Motory jsou umístěny v kolech 2. a 3. nápravy. Třetí náprava je navíc ještě říditelná.

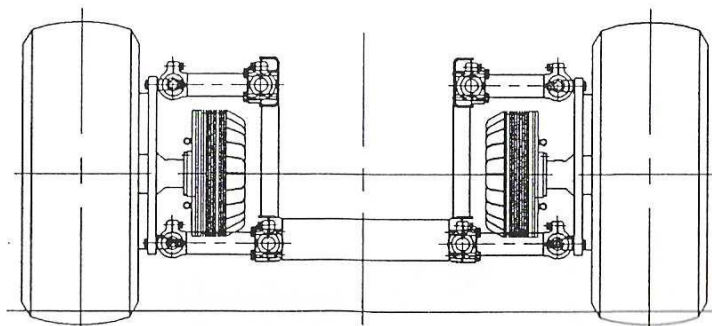
Výsledkem je velice kompaktní koncepce, jež umožňuje provoz buď na el.proud, nebo hybridní provoz.



Obrázek 19: Duo trolejbus Lausanne



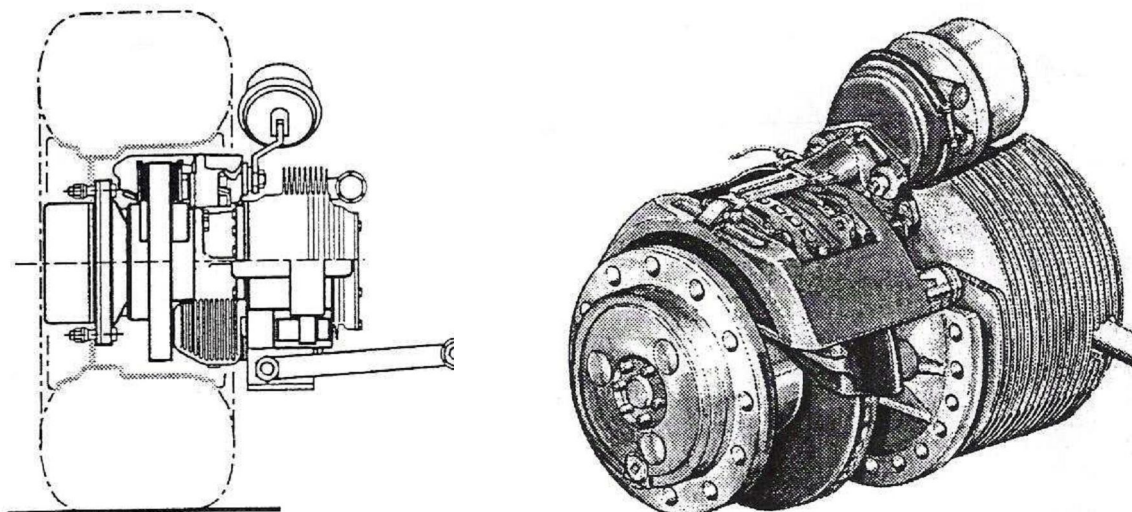
Obrázek 20: Motokolo použité v trolejbusu Lausanne



Obrázek 21: Schéma zástavby motokola do nápravy

2.6.2 - ZF-EE Drive

Také firma ZF, jedna z největších na trhu s automobilovými prvky v oblasti přenosu výkonů, zkoumá možnosti těchto systémů. Podařilo se jí vyvinout Asynchronní motor ($P=75\text{Kw}$) s planetovou redukcí, integrovaný přímo do náboje kola. Jak je z dalších obrázků patrné, toto uspořádání přímo vybízí k použití v nízkopodlažních autobusech, jelikož zástavbový prostor je minimální. Tento pohon bude zřejmě velice perspektivní u vícečlánkových kloubových autobusů s nejméně dvěma hnacími nápravami.



Obrázek 22: Pohled na motokolo ZZ-EE Drive

3 – Výpočty jízdních trajektorií vícečlánekových souprav

Při řešení problému průjezdů vícečlánekových souprav obloukem v ustálených podmínkách lze z výhodou užít grafické řešení, kdy se počítá s jízdou soupravy po kruhové dráze, přičemž se každý bod soupravy pohybuje kolem společného bodu zatáčení.

Je však ještě nutné vyřešit problém nájezdů soupravy do oblouku. Jednak z důvodů ověření výsledků kinematických výpočtů, jednak z důvodu odhalení jevů, jež nájezd do oblouku provázejí.

Jsou jimi např. vybočení vnější části karoserie s max. jízdního poloměru, dále rozkmitání celé soupravy kolem osy lámání mezi články...

Celá problematika je řešena proto, aby mohly být nakonec určeny požadavky na velikosti úhlů přiřizování říditelných náprav.

Programu Microsoft Excel jsem dal přednost před jinými (např. ProEngineer, Adams, MatLab) hlavně z důvodu jednoduchosti a přehlednosti výpočtů a výsledků.

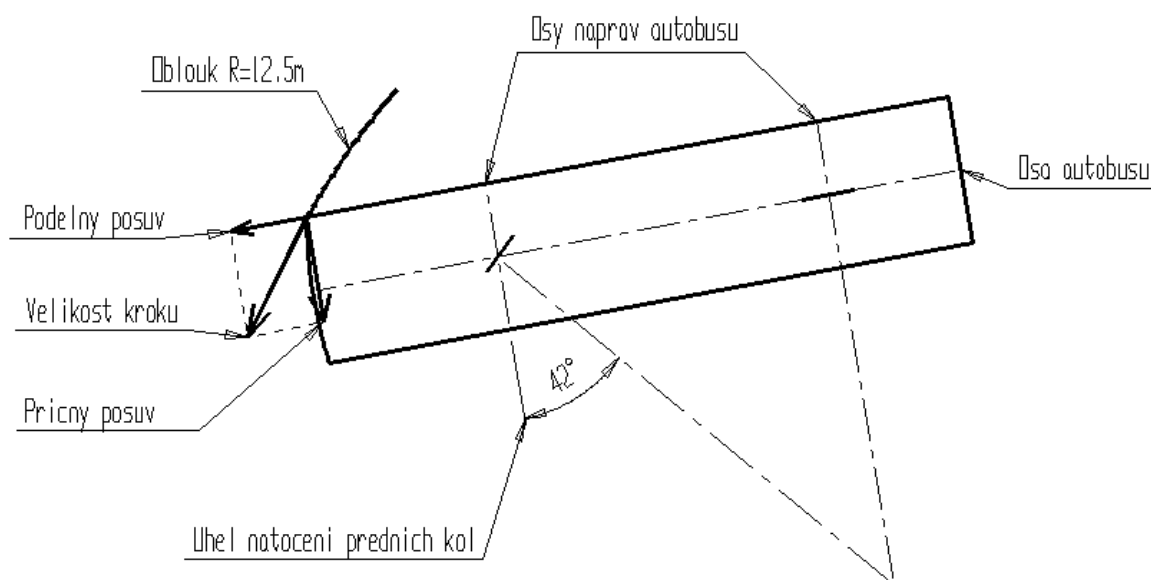
Nedají se v něm sice simulovat složité jevy jako např. přetížení vnějších kol náprav vlivem odstředivé síly, jejich směrové úchytky, ale to není podstatné, předpokládám-li pomalou jízdu (maximální konstrukční rychlosti městských autobusů se pohybují kolem 70-80km/h)

3.1 – Postup výpočtu v programu Microsoft Excel

Jako základní vodící bod jsem si určil přední vnější roh karoserie, u kterého jsem předpokládal pohyb po kruhu o poloměru 12500mm. Jako základní krok jsem si určil 0.5° . Jedná se o dostatečnou přesnost, kdy se dá (v rámci tak malého kroku) jízda po kruhové dráze nahradit jízdou po přímce, jež tuto část oblouku (mezi počátečním a koncovým bodem) nahrazuje.

Celkový pohyb článku se skládá z pohybu posuvného, a rotačního. Abych tyto pohyby od sebe oddělil, musel jsem rozlišit celkový posuv „ vodícího bodu “ na posuvy, jež způsobují jednotlivé dílčí pohyby.

Jak už jsem naznačil, celý výpočet je založen na náhradě vodící kruhové trajektorie v rámci kroku na přímku.



Obrázek 23: Schéma rozkladu pohybu do elementárních složek

Ta je dále rozložena jednak do směru rovnoběžného se směrem prvního článku (v posledním kroku) a dále do směru kolmého k této ose (viz obr.23)

Předpokládám pak, že posuv ve směru rovnoběžném způsobí jen posuv ve směru osy, zatímco posuv ve směru kolmém k ose pohybu jen rotaci článku

Ve skutečnosti to tak není – příčný posuv způsobí nejen rotaci, ale taky posuv ve směru osy – ten však je v rámci malého kroku zanedbatelný. Úhel natočení osy získám jednoduše – pomocí goniometrické funkce \arctg (natočení osy v kroku/nejmenší vzdálenost vodící bod-osa nápravy)

V závěru rozkladu tak získám : - Posuv ve směru osy v jednotlivém kroku
- Natočení osy článku v jednotlivém kroku

Sečtením jednotlivých „krokových“ natočení tak získávám celkové natočení osy článku v posledním kroku, sečtením posuvů osy (vztahených na osu nápravy) polohu osy kol v posledním kroku.

Vodící bod 1. článku		Poloha bodu					
poč.úhel (°)	poč.úhel (rad)	Počátek kroku		Konec kroku		ΔX	ΔY
		A_x	A_y	A'_x	A'_y		
0	0	0	12500	-109,0817	12499,52	-109,0817	-0,475962
0,5	0,008726646	-109,082	12499,52	-218,1551	12498,1	-109,0734	-1,427849
1	0,017453293	-218,155	12498,1	-327,2119	12495,72	-109,0568	-2,379627

Tabulka 3: výřez z tabulky výpočtů – vodící bod karoserie 1. článku

Body „počátek kroku“ a „konec kroku“ jsou určovány podle vztahů:

$$A_x = 12500 * \sin("poč.úhel") \quad (1)$$

$$A_y = 12500 * \cos("poč.úhel") \quad (2)$$

$$A'_x = 12500 * \sin("poč.úhel_nasl.kroku") \quad (3)$$

$$A'_y = 12500 * \cos("poč.úhel_nasl.kroku") \quad (4)$$

Hodnoty rozdílů posuvů (ΔX , ΔY) podle...

$$\Delta X = A'_x - A_x \quad (5)$$

$$\Delta Y = A'_y - A_y \quad (6)$$

Výpočet dále pokračuje...

Náhrad.úhel (rad)	Úhel natočení osy v minulém kroku	rozdíl.úhel
0,004363323	0	0,004363323
0,013089969	5,50245E-05	0,013034945

Tabulka 4:výřez z tabulky výpočtů – náhradní úhel

Náhradní úhel - Úhel vodící přímky, jež nahrazuje vodící oblouk

$$\text{Náhrad.úhel} = \arctg(\Delta Y / \Delta X) \quad (7)$$

Úhel natočení osy v minulém kroku - součet jednotlivých „krokových“ natočení

Rozdílový úhel - Úhel, jenž vznikne rozdílem „ Náhradního úhlu “ a „ Úhlem natočení osy v min. kroku “ (užití při rozkladu základního pohybu do normálové a tečné složky)

velikost kroku (abs. hodnota)	delta Po	delta Př	Delta T(X)	Dleta T(Y)
109,0827321	0,4759617	109	-109,0816937	1,33641E-14
109,0827321	1,42184714	109	-109,073465	-0,00600171

Tabulka 5:výřez z tabulky výpočtů – rozklad pohybu do jednotlivých složek pohybu

Velikost kroku – Absolutní velikost posuvu vodícího bodu (viz.obr. 22)

$$\text{Velikost.kroku} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (8)$$

Delta Př – Velikost příčné složky posunutí

$$\text{DeltaPř} = \text{Velikost.kroku} * \sin(\text{rozdílový.úhel}) \quad (9)$$

Delta Po – Velikost podélné složky posunutí

$$\Delta Po = \text{Velikost .kroku} * \cos(\text{rozdílový .úhel}) \quad (10)$$

Základní výpočet končí určením polohy osy kol a „krokovým natočením“

Poloha osy kol		
X	Y	delta Natočení osy
8540,918	11225	5,50245E-05
8431,845	11224,99	0,000164375

Tabulka 6:výřez z tabulky výpočtů – výpočet polohy osy kol, úhel natočení osy

Poloha osy kol (středu osy nápravy) – Ta je určována přičtením posuvu ($\Delta T(x)$, $\Delta T(y)$) v každém kroku k poloze tohoto bodu v kroku minulém.

Delta natočení osy článku – natočení článku v jednotlivém kroku

$$\text{Natočení Osy} = \arctg(\Delta(N)/M) \quad (11)$$

Kde M ... Nejmenší vzdálenost „Vodícího bodu“ a osy nápravy

Další části výpočtu zahrnují už pouze výpočet polohy jednotlivých bodů na karoserii, za účelem zjištění trajektorie jejich pohybu, nebo určení max. šířky jízdního pruhu.

Takovými body mohou být:

- Zadní vnější roh karoserie (max. poloměr)
- Osa kol (min. poloměr - u nepřizované nápravy)
- Koncový bod na ose článku („vodící“ bod článku následujícího)

Celý výpočet je pak cyklicky opakován po jednotlivém kroku 0.5° , od 0° do 360° tak, že je názorný nájezd vozidla (soupravy) do oblouku a jeho celkový průjezd s tím, že např. dvoučlávkových souprav se dá podle vztahu

Úhel zalomení = úhel natočení osy 1. článku – úhel natočení osy 2. článku (12)

Určit úhel zalomení. Podle obdobného vztahu je rovněž počítán úhel zalomení mezi 2. a 3. článkem.

Jestliže jsou známy z požadavků průjezdů obloukem geometrie souprav (úhel zalomení článků, úhel přiřazení kol náprav), je možné dále navrhnout jednoduchý natáčecí mechanismus, jež bude natáčení zajišťovat.

Představa natáčení pomocí mech. převodu je sice jednoduchá, však dnes se toto natáčení zajišťuje pomocí hydraulických prvků, které je možno řídit el.ventily. Nabízí se možnost řízení natáčení v závislosti na rychlosti vozidla, a módu, který je zvolen.

Já ve své práci budu věnovat návrhu Jednoduchého natáčecího pákového mechanismu, jež bude natáčení zajišťovat.

Při předpokladu lineární závislosti mezi úhlem zalomení a úhlem natočení je do výpočtu dosazen vztah, který počítá v každém kroku velikost přiřazení, a o tuto hodnotu upravuje velikost rozdílového úhlu – mění se velikost normálového a tečného posuvu.

3.2 - Studie jednotlivých modelů vícečlánekových souprav

V této části budou rozpracovány jednotlivé možnosti koncepcí vícečlánekových autobusů se zaměřením na pohon 2 náprav, jak to je vyřešeno u autobusů Mercedes-Benz Citaro, Capa-City. Rozměrové podklady jednotlivých souprav byly zadány vedoucím moji práce – panem Ing. Černým. Ve výpočtech jsou, kvůli zjednodušení, soupravy nahrazeny jednostopými modely.

Omezujícími podmínkami jsou:

- Rozměry max. jízdního pruhu
- Podmínka max. úhlu zalomení v čepu mezi články (točně)...52°

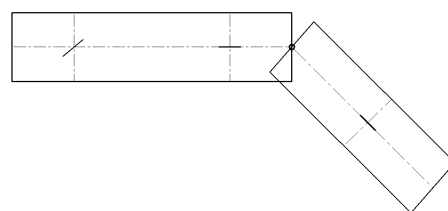
Ta je dána konstrukcí sériově vyráběných točen, jejichž max. úhel zalomení je

$$\beta = +/- 52^\circ$$

- Max. šířka jízdního pruhu $S=7200\text{mm}$
- Max. natočení řídicích kol $\alpha = 40^\circ$ (pro střední osu autobusu)

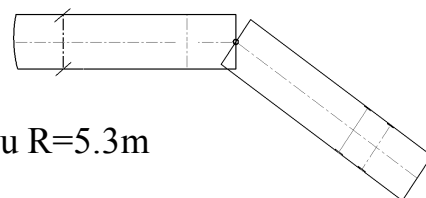
DVOUČLÁNKOVÁ SOUPRAVA (L=18750mm)

- Varianta 1: - Jízda bez přiřizování
- Varianta 2: - Jízda 2.článku ve stopě 1.článku



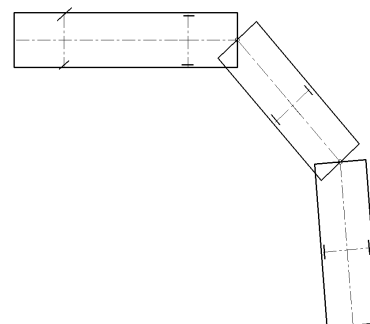
DVOUČLÁNKOVÁ SOUPRAVA PRODLOUŽENÁ (L=22160mm)

- Varianta 3: - Jízda bez přiřizování
- Varianta 4: - Jízda 2.článku po nejmenším poloměru R=5.3m
- Varianta 5: - Jízda 2.článku ve stopě 1.článku



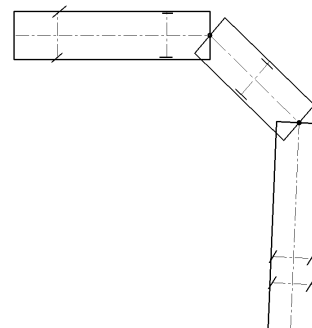
TROJČLÁNKOVÁ SOUPRAVA (L=25320mm)

- Varianta 6: - Jízda bez přiřizování
- Varianta 7: - Řiditelná 1,2 náprava; hnaná 3,4 náprava
- Varianta 8: - Řiditelná 1,3 náprava; hnaná 2,4 náprava
- Varianta 9: - Řiditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3 náprava



TROJČLÁNKOVÁ SOUPRAVA PRODLOUŽENÁ (L=29040mm)

- Varianta 10: - Jízda bez přiřizování
- Varianta 11: - Řiditelná 1,2 náprava; hnaná 3,4 náprava
- Varianta 12: - Řiditelná 1,3 náprava; hnaná 2,4 náprava
- Varianta 13: - Řiditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3 náprava



3.2.1 - Varianta 1: Dvoučláková souprava (L=18750mm); jízda bez přiřizování

Rozměry soupravy (z výkresové dokumentace):

$$L1 = 2470\text{mm}$$

$$L2 = 6180\text{mm}$$

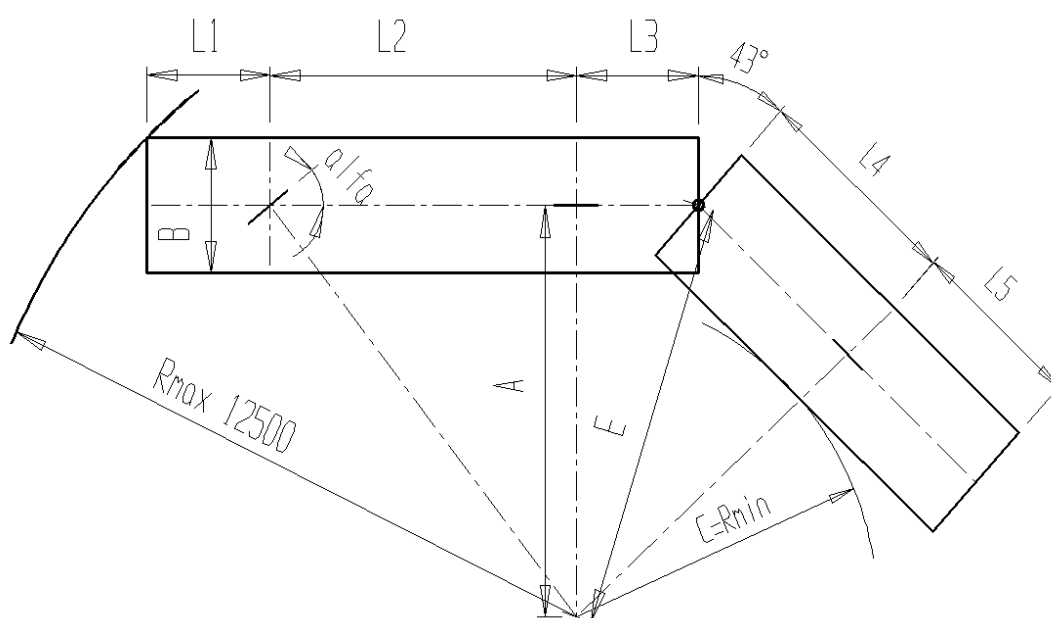
$$L3 = 2450\text{mm}$$

$$L4 = 4120\text{mm}$$

$$L5 = 3530\text{mm}$$

$$B = 2550\text{mm}$$

$$C = R_{\min} = ?$$



Obrázek 24: Obecná poloha 2 - článkové soupravy v oblouku

$$A = \sqrt{12500^2 - (L1 + L2)^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{12500^2 - 8650^2} - 1275 = 7749\text{mm}$$

$$E = \sqrt{A^2 + L3^2} = \sqrt{7749^2 + 2450^2} = 8127\text{mm}$$

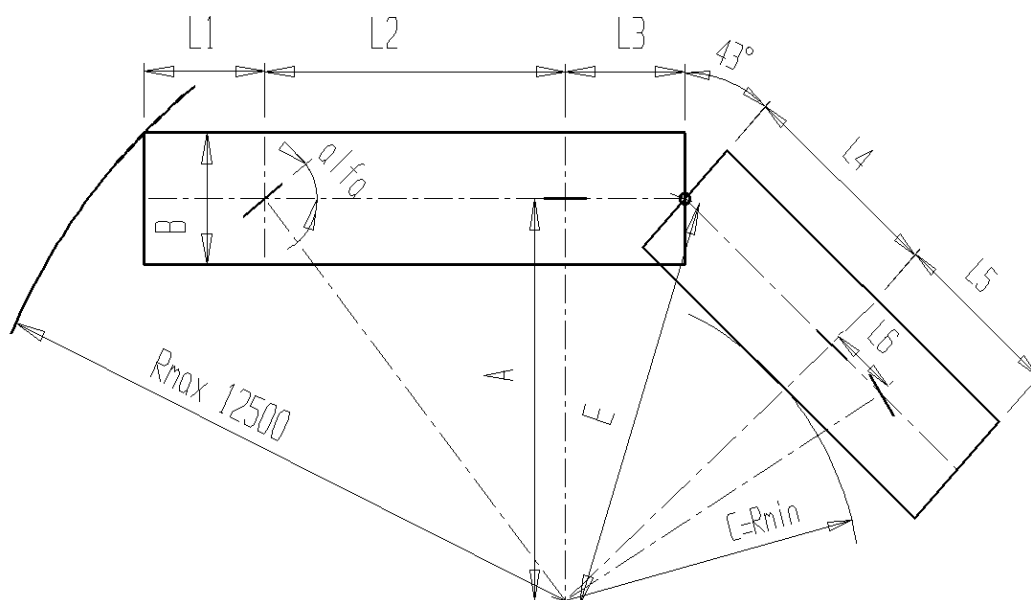
$$C = \sqrt{B^2 - L4^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{8127^2 - 4120^2} - 1275 = 5730\text{mm} = R_{\min}$$

$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{\text{Max}} - R_{\min} = 12500 - 5730 = 6770\text{mm} \leq 7300\text{mm}$$

$$\text{Úhel natočení předních kol} = \arctg\left(\frac{L2}{A}\right) = \left(\frac{6180}{7749}\right) = 39^\circ \leq 40^\circ$$

Tato varianta splňuje zadané podmínky, a tudíž by její konstrukce byla možná.

Varianta 1a:



Obrázek 25: Úprava varianty 3.2.1

Doplněním čtvrté, hydraulicky přiřizované, nápravy do druhého článku dojde ke zvýšení celkového možného zatížení. Šířka jízdního pruhu však zůstane shodná s případem rozebraným v kapitole 3.2.1. Tato varianta je reálná, a dnes mnohými výrobci standardně využívána.

3.2.2 - Varianta 2: Dvoučl. souprava (L=18750mm); jízda 2.čl. ve stopě 1.čl.

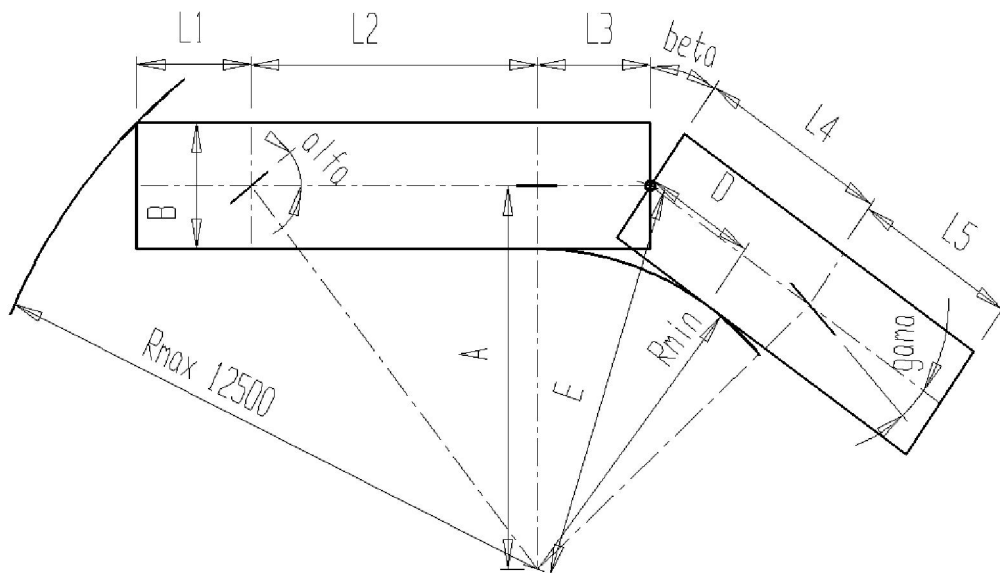
V tomto případě platí:

$$R_{MIN} = A - \frac{B}{2} = 7749 - 1275 = 6474mm \geq 5300mm$$

Z geometrie soustavy usuzují, že: $L3 = D = 2450mm$;

$$\text{Úhel zalomení beta} = 2 * \arctg\left(\frac{L3}{A}\right) = 2 * \arctg\left(\frac{2450}{7749}\right) = 35^\circ \leq 52^\circ$$

$$\text{Úhel natočení kol 1.nápravy: } \alpha = \arctg\left(\frac{L2}{A}\right) = \arctg\left(\frac{6180}{7749}\right) = 39^\circ \leq 40^\circ$$



Obrázek 26: Poloha soupravy při ustálené jízdě obloukem

$$\text{Úhel přiřazení kol 3. nápravy} = \arctg \left(\frac{L4 - D}{R_{MIN} + \frac{B}{2}} \right) = \arctg \frac{1670}{6474} = 13^\circ$$

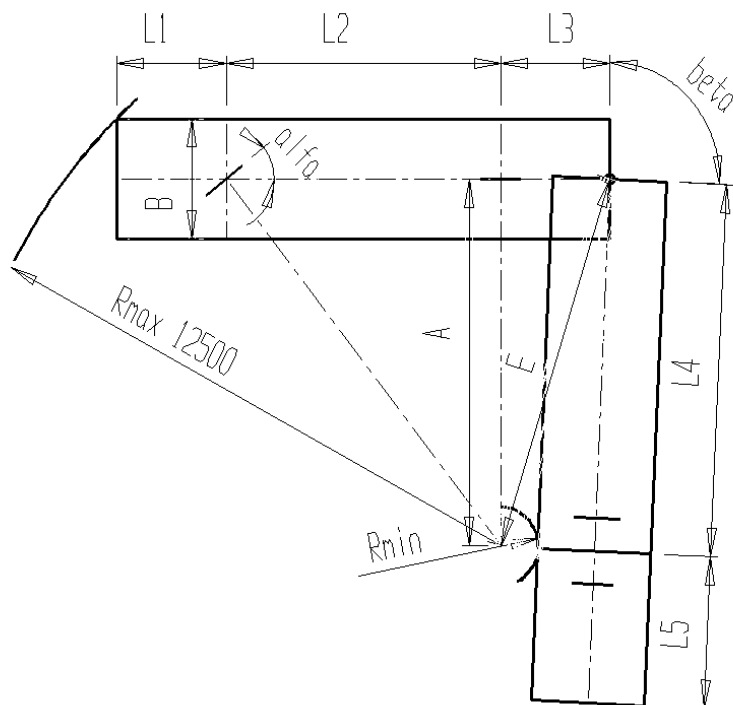
$$\text{Šířka jízdního pásu} = R_{MAX} - R_{MIN} = 12500 - 6474 = 6006 \text{ mm}$$

Oproti minulé situaci došlo k zavedení přiřazení 3. nápravy o 13° . Tím se snížila šířka jízdního pruhu o 767 mm. I tato varianta je konstrukčně možná.

3.2.3 - Varianta 3: Dvoučl. prodloužený ($L = 22160 \text{ mm}$); jízda bez přiřizování

V tomto případě dochází pouze ke změnám hodnot $L4$, $L5$. Ostatní zůstávají stejné jako v minulém případě. Druhé články v případech 3.2.3 - 3.2.5 jsou řešeny kvůli zjednodušení jako jednonápravové (osa náhrad. nápravy je umístěna v polovině délky mezi skutečnými nápravami)

$$\begin{aligned} \text{Nové rozměry:} \quad & L4 = 7870 \text{ mm} \\ & L5 = 3200 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obrázek 27: Poloha dvojčlankové prodlouž. soupravy v oblouku $R_{\min}=752\text{mm}$

$$\text{Nejmenší poloměr } R_{\min} = \sqrt{B^2 - L4^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{8127^2 - 7870^2} - 1275 = 752\text{mm} \leq 5300\text{mm}$$

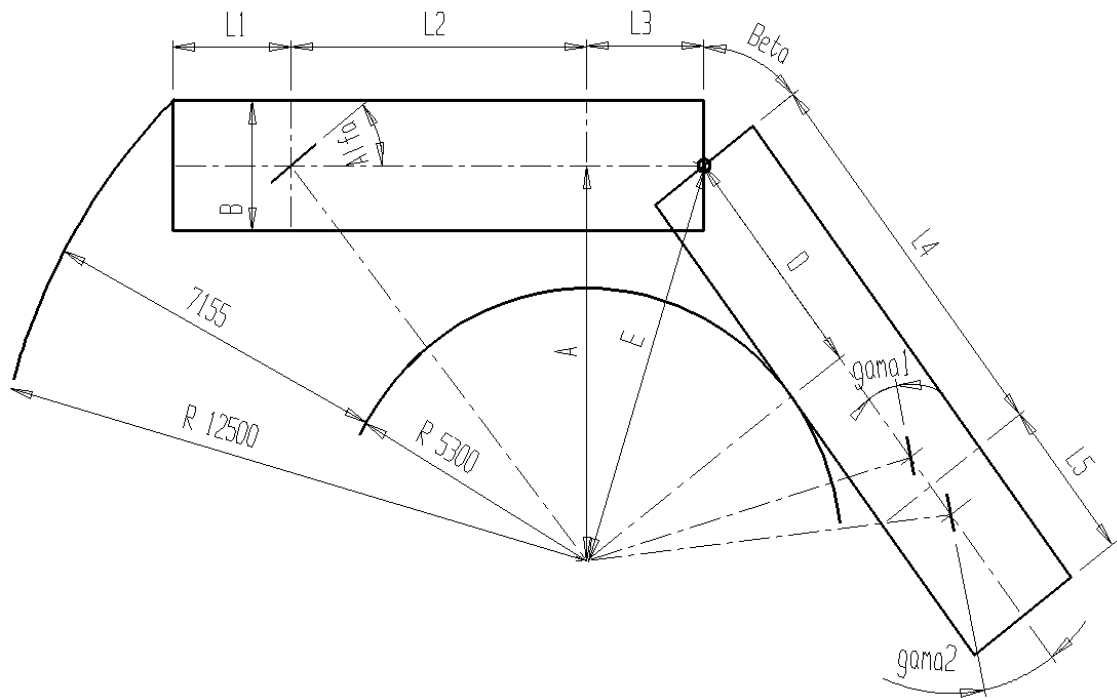
$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{\max} - R_{\min} = 12500 - 752 = 11748\text{mm}$$

$$\text{Úhel zalomení} = \arctg\left(\frac{L3}{A}\right) + \arcsin\left(\frac{L4}{E}\right) = \arctg\left(\frac{2450}{7749}\right) + \arcsin\left(\frac{7870}{8127}\right) = 93^\circ \geq 52^\circ$$

Takový nejmenší poloměr v žádném případě nevyhovuje podmínce dané předpisem, dle kterého je nejmenší min. poloměr zatáčení 5300mm. I teoretický úhel zalomení je přinejmenším nevhodný. Proto je nutné kola vhodným způsobem přiřídít, aby souprava daným poloměrem projela. Tato koncepce proto nedává řešení ke konstrukci.

3.2.4 - Varianta 4: Dvoučlankový prodlouž.($L = 22160\text{mm}$); $R_{\min} = 5300\text{mm}$

Pro průjezd soupravy po min. poloměru je nutné přiřídít zadní úhel o úhel gama. Dochází ke změně vzdálenosti tečného bodu ze hodnoty L4 na hodnotu D.



Obrázek 28: Jízda soupravy po nejmenším poloměru R=5300mm

$$D = \sqrt{E^2 - \left(R_{\min} + \frac{B}{2}\right)^2} = \sqrt{8127^2 - (5300 + 1275)^2} = 4714\text{mm}$$

úhel zalomení ze změny z 93° na

$$\beta = \arctg\left(\frac{L3}{A}\right) + \arctg\left(\frac{D}{R_{\min} + \frac{B}{2}}\right) = \arctg\left(\frac{2450}{7749}\right) + \arctg\left(\frac{4714}{6575}\right) = 53^\circ \geq 52^\circ$$

Potřebný úhel přiřazení kol zadních náprav (průměrná hodnota z γ_1 a γ_2)

$$\gamma = \arctg\left(\frac{L4}{R_{\min} + \frac{B}{2}}\right) = \arctg\left(\frac{3156}{6575}\right) = 25^\circ \leq 52^\circ$$

I tento stav nevyhovuje požadavkům zadání, tj. maximální úhel zalomení točny 52° .

Úprava přiřazení zadních kol tak, aby výše uvedená podmínka byla splněna:

$$D' = \sin\left(52^\circ - \arctg\left(\frac{L3}{A}\right)\right) * E = \sin\left(52^\circ - \arctg\left(\frac{2450}{7749}\right)\right) * 8127 = 4598\text{mm}$$

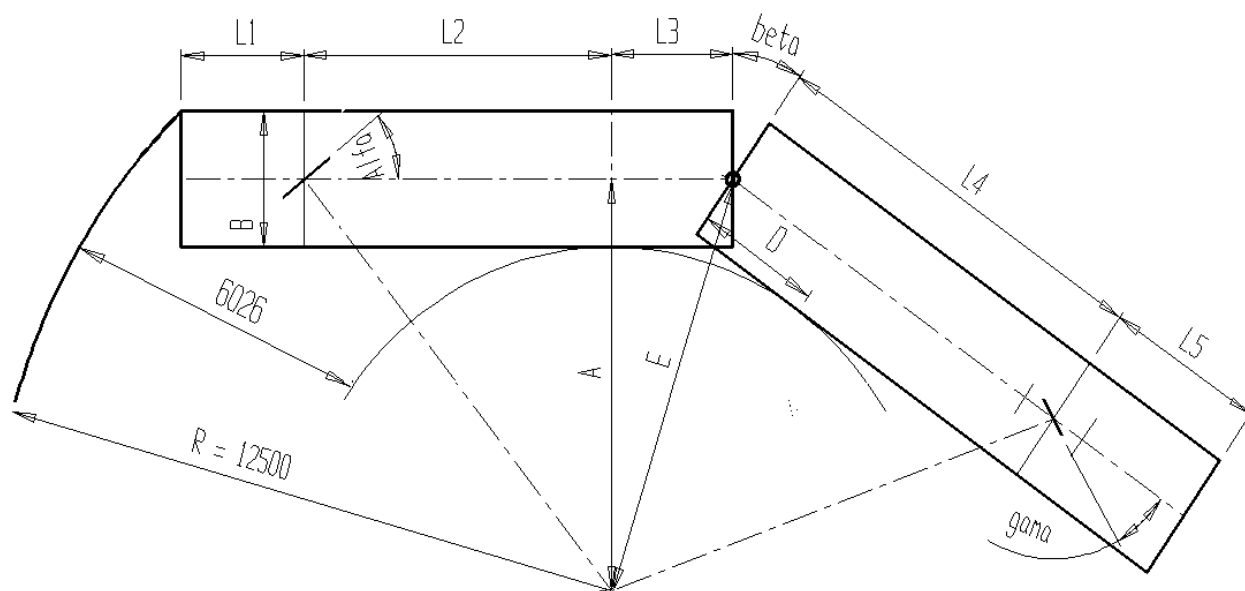
$$R_{Min} = \sqrt{E^2 - D^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{8127^2 - 4598^2} - \frac{2550}{2} = 5426mm$$

$$gama = \arctg\left(\frac{L4 - D}{R_{Min} + \frac{B}{2}}\right) = \arctg\left(\frac{7870 - 4598}{5426 + 1275}\right) = 26^\circ$$

Šířka jízdního pruhu = $R_{MAX} - R_{MIN} = 12500 - 5426 = 7074mm$

V tomto případě drobnou úpravou maximálního přiřazení zadní nápravy (1°) pro průjezd obloukem $R=12500mm$ dosáhneme splnění požadavku na max. úhel zalomení v kloubu. Mimo jiné se také nepatrně zvětší nejmenší poloměr zatáčení 2.článku.

3.2.5 - Varianta 5: Dvoučlank. prodlouž.($L=22160mm$); Jízda 2.čl. ve stopě 1.čl.



Obrázek 29 :Dvojčl. souprava prodloužená - jízda 2. článku ve stopě 1. článku

I v tomto případě platí, že:

$$L3 = D = 2450mm$$

$$\text{Úhel zalomení beta} = \arctg\left(\frac{L4 - D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{7870 - 2450}{7749}\right) = 35^\circ \leq 52^\circ$$

Nejmenší poloměr

$$R_{Min} = R1 = R2 = 6474mm$$

Potřebný úhel natočení kol 3. nápravy gama (stejně jako ve var.3.2.4 – průměrná hodnota mezi gama1 a gama2)

$$gama = \arctg \left(\frac{L4 - D}{R_{MIN} + \frac{B}{2}} \right) = \arctg \left(\frac{7870 - 2450}{7749} \right) = 35^\circ \leq 52^\circ$$

$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{MAX} - R_{MIN} = 12500 - 6474 = 6026mm \leq 7300$$

Okolnost, že úhel zalomení v tomto případě a potřebný úhel natočení zadní nápravy se shodují, je dána rozměry soupravy.

Tato koncepce uspořádání počítá pouze s 1. hnací nápravou, a její použití bude tedy omezené.

Zhodnocení:

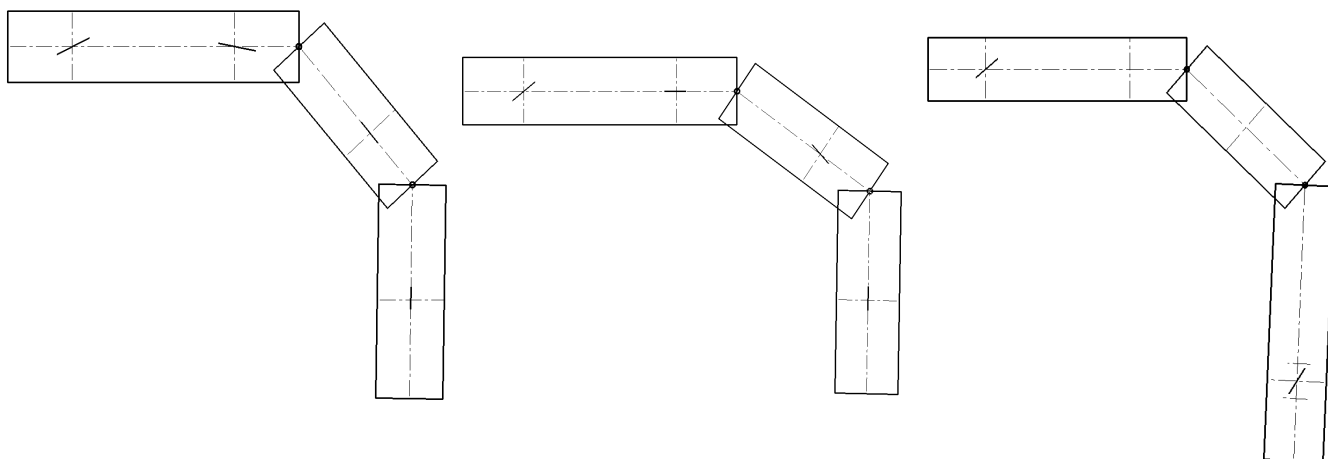
Jak se vyvíjely jednotlivé parametry soustavy je patrné z následující tabulky:

	Úhel zalomení	Nejmenší poloměr	Šířka jízdního pruhu	Úhel přiřazení nápravy
Varianta 1(L=18.75m)	48°	5730mm	6770mm	-
Varianta 2(L=18.75m)	35°	6474mm	6006mm	13°
Varianta 3(L=20.16m)	93°	752mm	11748mm	-
Varianta 4(L=20.16m)	53°	5300mm	7200mm	25°
Varianta 4'(L=20.16m)	52°	5426mm	7074mm	26°
Varianta 5(L=20.16m)	35°	6474mm	6026mm	35°

Tabulka 7: Zhodnocení geometrických parametrů dvoučlankových souprav

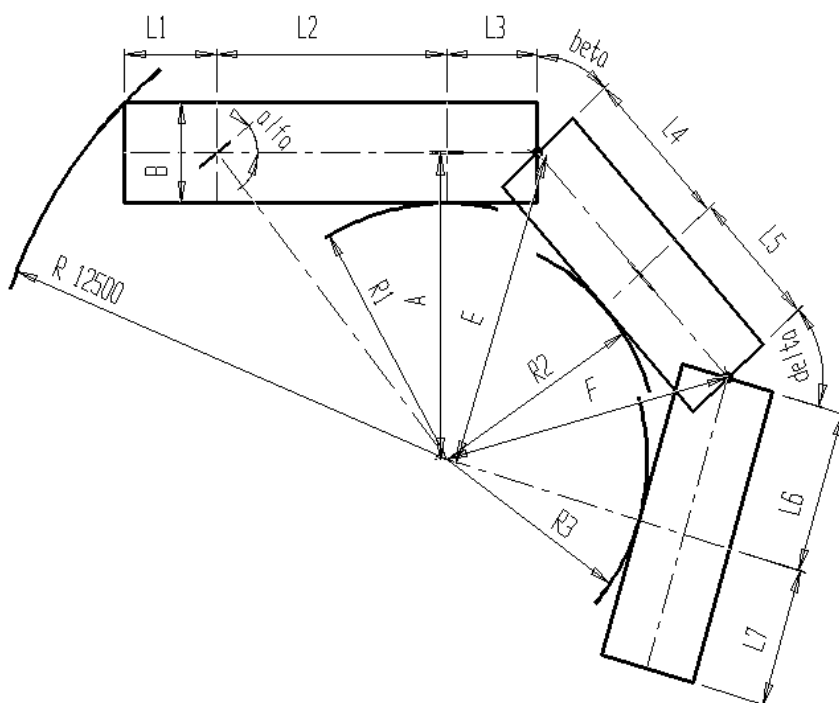
číslo nápravy	1	2	3	4
Možnost 1:	Ř	Ř	H	H
Možnost 2:	Ř	H	Ř	H
Možnost 3:	Ř	H	H	Ř

Tabulka 8: Možnosti kombinací uspořádání trojčlánkových souprav



Obrázek 30: Možnosti kombinací pohonů u 3-článkových souprav

3.3.1 - Varianta 6: Trojčlánková souprava (L = 25320mm); Jízda bez přiřizování



Obrázek 31: Uspořádání 3-článkové soupravy při jízdě obloukem

Rozměry soupravy:

$$L1 = 2470\text{mm}$$

$$L2 = 6180\text{mm}$$

$$L3 = 2450\text{mm}$$

$$L4 = 4120\text{mm}$$

$$L5 = 2450\text{mm}$$

$$L6 = 4120\text{mm}$$

$$L7 = 3560\text{mm}$$

$$B = 2550\text{mm}$$

Protože v této soupravě dochází oproti 2. článkovému autobusu pouze k připojení 3. článku, jsou geometrické hodnoty shodné s touto sestavou tj.

$$A = 7749\text{mm}$$

$$E = 8127\text{mm}$$

$$R1 = A - B/2 = 6474\text{mm}$$

$$R2 = 5730\text{mm}$$

$$\text{Alfa} = 48^\circ$$

$$\text{Beta} = 39^\circ$$

Pak

$$F = \sqrt{\left(R2 + \frac{B}{2}\right)^2 + L5^2} = 7421\text{mm}$$

$$R3 = \sqrt{F^2 - L6^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{7421^2 - 4120^2} - 1275 = 4897\text{mm}$$

$$\text{Úhel zalomení delta} = \arcsin\left(\frac{L5}{F}\right) + \arcsin\left(\frac{L6}{F}\right) = \arcsin\left(\frac{2450}{7421}\right) + \arcsin\left(\frac{4120}{7421}\right) = 53^\circ \geq 52^\circ$$

$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{MAX} - R_3 = 12500 - 4897 = 7603\text{mm} \geq 7200$$

Takto široký jízdní pruh nevyhovuje zadaným požadavkům.

Tato varianta je pouze teoretická – v praxi se s ní vzhledem k velice širokému jízdnímu pruhu, a nadměrnému úhlu zalomení mezi 2. a 3. článkem, nesetkáme.

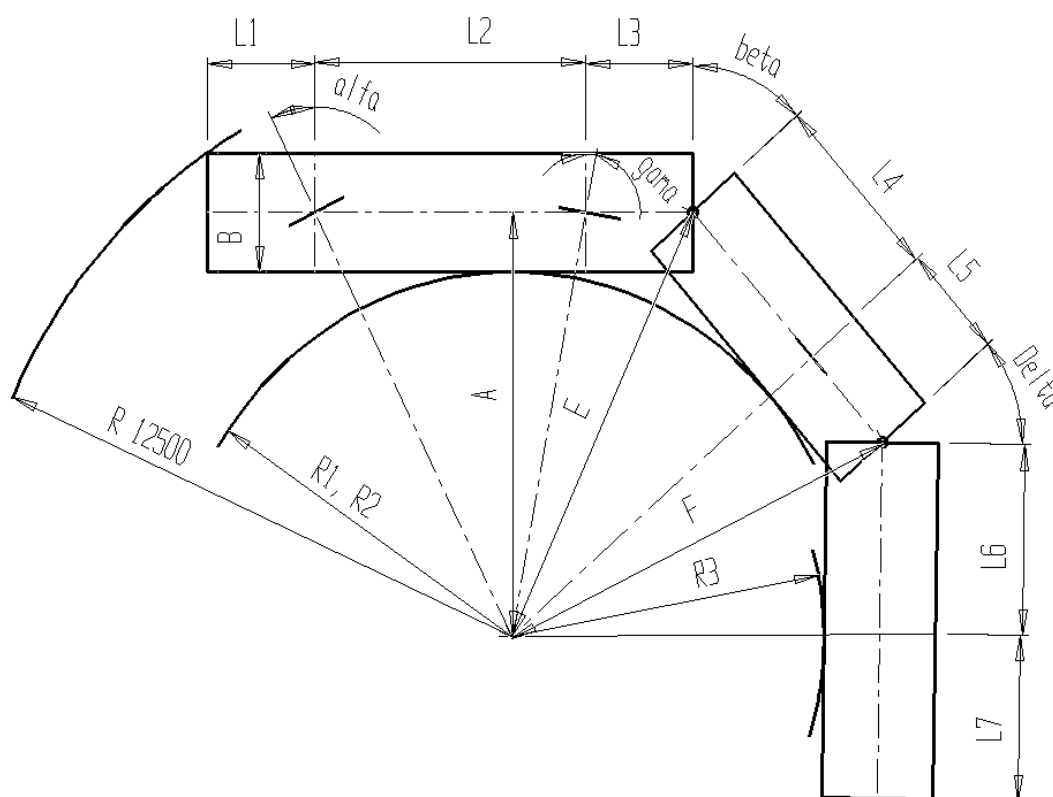
3.3.2 - Varianta 7: 3-čl. souprava(L=25320mm); říditelná 1,2. náprava, hnaná 3,4

Délkové rozměry se v tomto případě neliší od stavu minulého, mění se jen geometrické podmínky:

Uvažuji průjezd ve společné stopě 1. a 2. článku. 3. článek bude mít poloměr zatáčení menší než nejmenší poloměr 1.článku a 2.článku

Platí tedy, že: $R1 = R2$

$$L4 = L3 + D \Rightarrow D = L4 - L3 = 4120 - 2450 = 1670mm$$



Obrázek 32: Znárodnění průjezdu 3-článkové soupravy obloukem

$$R1 = R2 = \sqrt{12500^2 - (L1 + L2 - D)^2} - B = \sqrt{12500^2 - 6980^2} - 2500 = 7839mm \geq 5200mm$$

$$A = R1 + \frac{B}{2} = 7839 + 1275 = 9114$$

$$E = \sqrt{A^2 + (L3 + D)^2} = \sqrt{9114^2 + (2450 + 1670)^2} = 10013mm$$

$$F = \sqrt{A^2 + L5^2} = \sqrt{9114^2 + 2450^2} = 9450mm$$

$$R3 = \sqrt{F^2 - L6^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{9450^2 - 4120^2} - 1275 = 7140mm$$

Šířka jízdního pruhu $= R_{MAX} - R3 = 12500 - 7140 = 5360\text{mm} \leq 7200\text{mm}$

V tomto případě se povedlo zredukovat šířku jízdního pruhu z maximálně povolených 7200mm na 5360mm

Úhel natočení kol první nápravy...

$$\alpha = \arctg\left(\frac{L2 - D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{6180 - 1670}{9114}\right) = 26^\circ \leq 40^\circ$$

Úhel natočení kol druhé náprav

$$\gamma = \arctg\left(\frac{D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{1670}{9114}\right) = 11^\circ \leq 40^\circ$$

Úhel zalomení mezi 1.článkem a 2.článkem (vzhledem k souměrnosti)

$$\beta = 2 * \arctg\left(\frac{D + L3}{A}\right) = 2 * \arctg\left(\frac{1670}{9114}\right) = 49^\circ \leq 52^\circ$$

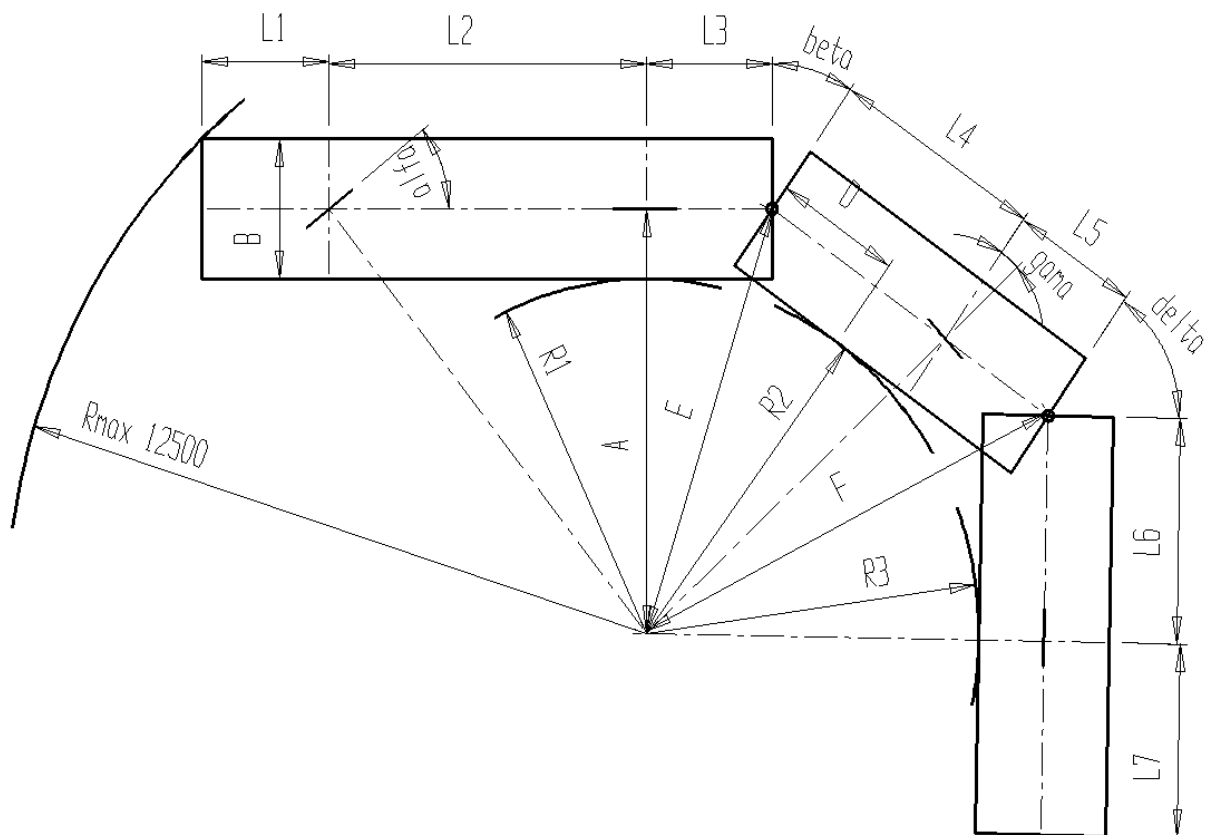
Úhel zalomení mezi 2.článkem a 3.článkem

$$\delta = \arctg\left(\frac{L5}{A}\right) + \arctg\left(\frac{L6}{R3 + \frac{B}{2}}\right) = \arctg\left(\frac{2450}{9114}\right) + \arctg\left(\frac{4120}{7140 + 1275}\right) = 42^\circ \leq 52^\circ$$

Tato konstrukční varianta vyhovuje požadavku na max. zalomení v kloubu (max.52°) a zároveň na šířku jízdního pruhu (max.7200mm). Byla by tedy v praxi použitelná.

3.3.3 - Varianta 8: 3-čl.souprava(L = 25320mm); říditelná 1,3 náprava, hnaná 2,4

V této úloze se dosáhne vlivem šťastného návrhu rozměrů zajímavé situace. Přirazením kol jen u 2.článku se celá souprava bude obloukem pohybovat po nejmenším stopovém poloměru 1.článku \Rightarrow Nejmenší možný jízdní pruh.



Obrázek 33: Znáornění situace průjezdu 3 - člankové soupravy (2.článek ve stopě 1.článku)

Předpoklady:

- Přiřizovaná náprava 2.článku
- 2.článek se pohybuje ve stopě 1.článku ($D = L3$)
- Konstrukční omezení úhlu zalomení mezi články ... 52°

Délkové rozměry celé soupravy opět zůstávají stejné

$L1 = 2470\text{mm}$

$L2 = 6180\text{mm}$

$L3 = 2450\text{mm}$

$L4 = 4120\text{mm}$

$L5 = 2450\text{mm}$

$L6 = 4120\text{mm}$

$L7 = 3560\text{mm}$

$B = 2550\text{mm}$

$R1 = 6474\text{mm}$

$A = 7749\text{mm}$

$R2 = 6474\text{mm}$

$E = 8127\text{mm}$

$D = 2450\text{mm}$

Úhel zalomení mezi 1. a 2. článkem

$$\beta = 2 * \arctg\left(\frac{L3}{A}\right) = 2 * \arctg\left(\frac{2450}{7749}\right) = 35^\circ \leq 52$$

Nutný úhel přiřazení kol 3.nápravy

$$\gamma = \arctg\left(\frac{L4 - D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{4120 - 2450}{7749}\right) = 12^\circ \leq 52^\circ$$

$$F = \sqrt{(A^2 + (L4 + L5 - D)^2)} = \sqrt{7749^2 + (4120 + 2450 - 2450)^2} = 8777 \text{ mm}$$

$$R3 = \sqrt{(F^2 - L6^2)} - \frac{B}{2} = \sqrt{8777^2 - 4120^2} - 1275 = 6474 \text{ mm}$$

Šířka jízdního pásu $= R_{MAX} - R_{MIN} = 12500 - 6474 = 6026 \text{ mm} \leq 7200 \text{ mm}$

Stopové poloměry 2.článku a 3. článku jsou opravdu stejné, jedná se tedy o symetrickou úlohu

Úhel zalomení mezi 2.článkem a 3. článkem...

$$\delta = 2 * \arctg\left(\frac{L6}{A}\right) = \arctg\left(\frac{4120}{7749}\right) = 56^\circ \geq 52^\circ$$

Ačkoli se jedná o velice jednoduché vyřešení průjezdu oblouku v jednom stopovém průměru přiřazením pouze jedné nápravy, tak není splněna podmínka, aby úhel zalomení v točně byl menší jak 52° .

Aby i hodnota zalomení mezi 2.a 3. článkem byla splněna bez nutnosti jiného přiřazení, muselo by dojít ke změně poměru délek L6 a L7

Návrh úprav délek:

Musí platit, že:

$$R3' = \sqrt{F^2 - (L6')^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{8777^2 - 3570^2} - 1275 = 6743 \text{ mm}$$

$$\arcsin\left(\frac{L4 + L5 - D}{F}\right) + \arcsin\left(\frac{L6}{F}\right) \leq 52^\circ$$

$$\Rightarrow L6' = F * \sin\left(52^\circ - \arcsin\left(\frac{L4 + L5 - D}{F}\right)\right) = 8777 * \sin\left(52^\circ - \arcsin\frac{4120 + 2450 - 2450}{8777}\right) = 3570mm$$

$$\Rightarrow L7' = L6 + L7 - L6' = 4110mm$$

Tato změna délek není zase tak výrazná, aby ovlivnila chování celé soupravy, umožní ale užití na trhu dostupných točen. Protože se R2 nemění, zůstává zachována i šíře jízdního pruhu.

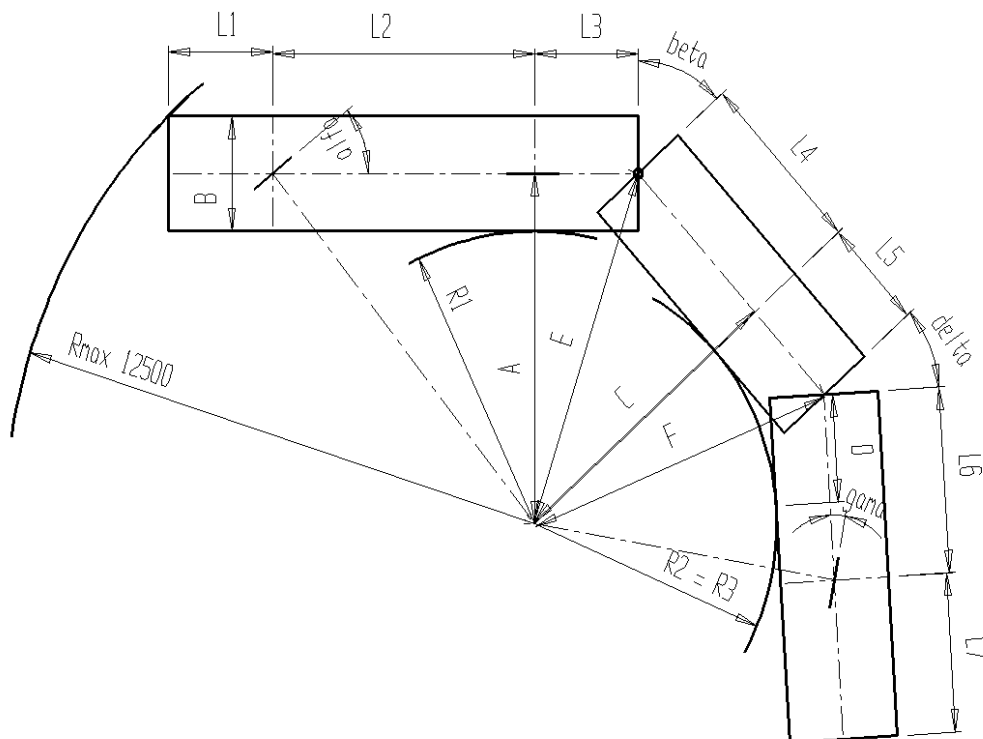
3.3.4 - Varianta 9: 3-čl. souprava(L = 25320mm); říditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3

- Zadané podmínky:
- 1. a 4. náprava říditelná
 - 3.článek jede ve stopě 2.čláku
 - max. úhel zalomení = 52°

Výpočet geometrických hodnot:

$$D = L5 = 2450mm$$

$$C = \sqrt{(E^2 - L4^2)} = \sqrt{8127^2 - 4120^2} = 7005mm$$



Obrázek 34: Poloha 3 čl. soupravy v oblouku, jízda 3.čl. ve stopě 2.čl.

$$R_2 = R_3 = C - \frac{B}{2} = 7005 - 1275 = 5730\text{mm} \geq 5300\text{mm}$$

$$F = \sqrt{(C^2 - L_5^2)} = \sqrt{7005^2 - 2450^2} = 6563\text{mm}$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{L_3}{E}\right) + \arcsin\left(\frac{L_4}{E}\right) = \arcsin\left(\frac{2450}{8127}\right) + \arcsin\left(\frac{4120}{8127}\right) = 48^\circ \leq 52^\circ$$

$$\delta = 2 * \arcsin\left(\frac{L_5}{C}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{2450}{7005}\right) = 38^\circ \leq 52^\circ$$

Úhel natočení zadních kol

$$\gamma = \arctg\left(\frac{L_6 - D}{C}\right) = \arctg\left(\frac{1670}{7005}\right) = 13^\circ \leq 40^\circ$$

Šíře jízdního pruhu = $R_{MAX} - R_{2,3} = 12500 - 5730 = 6770\text{mm} \leq 7300\text{mm}$

Tato varianta ve všech geometrických parametrech vyhovuje zadaným geometrickým požadavkům, byla by tedy konstrukčně možná.

Obdobnými výpočty dojde k průjezdu obloukem trojčlankové prodloužené soupravy.

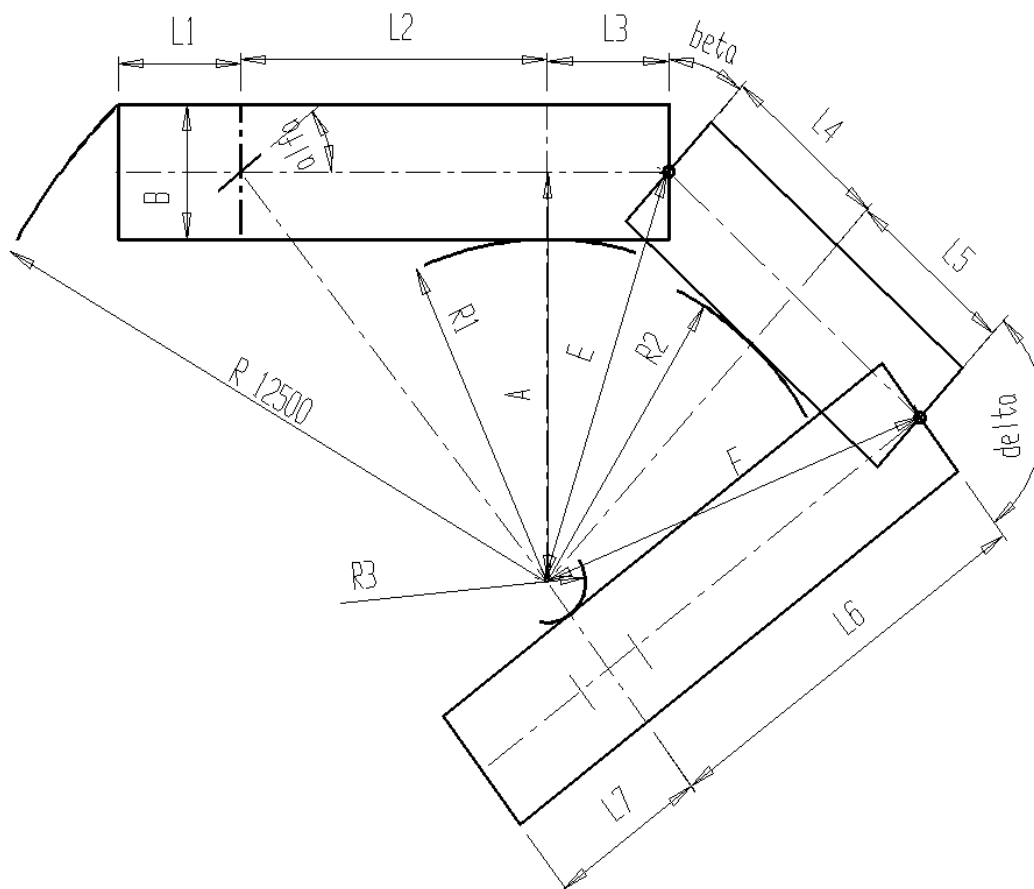
	Úhel zalomení mezi 1.a 2. článkem	Úhel zalomení mezi 2.a 3. článkem	Nejmenší poloměr (R_{min})	Šířka jízdního pruhu	Úhel přiřazení (gama)
Varianta 6(L=25.32m)	39°	53°	4897mm	7603mm	-
Varianta 7(L=25.32m)	49°	42°	7140mm	5360mm	11°
Varianta 8(L=25.32m)	35°	56°	6474mm	6026mm	12°
Varianta 8'(L=25.32m)	35°	52°	6474mm	6026mm	12°
Varianta 9(L=25.32m)	48°	38°	5730mm	6770mm	13°

Tabulka 9: Tabulka geometrických hodnot pro varianty 6-9

Jak je vidět, tak se zvyšujícími se nároky na šířku jízdního pruhu (zvýšení průjezdnosti) stoupá požadavek na velikost úhlu přířizení daných náprav.

Tříčlánkové prodloužené soupravy

3.3.5 - Varianta 10: 3 čl. souprava prodlouž.(L = 29040mm); jízda bez přířizování



Obrázek 35: Jízda 3-článkové prodloužené soupravy bez přířizování

Jak je podle obrázku patrné, toto uspořádání by v žádném případě nevyhovovalo daným předpisům.

Uspořádání je detailně rozebráno pro ukázkou, jak by stav vypadal, kdyby se minimálně kola třetího článku nepřizovala.

Rozměry 1.článku zůstávají beze změny, změna nastává u délkových rozměrů 2. a 3.článku.

$$L1 = 2470\text{mm}$$

$$L2 = 6180\text{mm}$$

$$L3 = 2450\text{mm}$$

$$L4 = 3430\text{mm}$$

$$L5 = 3440\text{mm}$$

$$L6 = 7870\text{mm}$$

$$L7=3200\text{mm}$$

$$B = 2550\text{mm}$$

$$R1 = 6474\text{mm}$$

$$A = 7749\text{mm}$$

$$E = 8127\text{mm}$$

$$R2 = \sqrt{(E^2 - L4^2)} - \frac{B}{2} = \sqrt{8127^2 - 3440^2} - 1275 = 6093\text{mm} \geq 5300\text{mm}$$

$$F = \sqrt{\left(R2 + \frac{B}{2}\right)^2 + L5^2} = \sqrt{7368^2 + 1275^2} = 8131\text{mm}$$

$$R3 = \sqrt{(F^2 - L6^2)} - \frac{B}{2} = \sqrt{8131^2 - 7870^2} - 1275 = 769\text{mm} \leq 5300\text{mm}$$

Úhly zalomení :

- Mezi 1. a 2. článkem

$$beta = \arcsin\left(\frac{L3}{E}\right) + \arcsin\left(\frac{L4}{E}\right) = \arcsin\left(\frac{2450}{8127}\right) + \arcsin\left(\frac{3430}{8127}\right) = 43^\circ \leq 52^\circ$$

- Mezi 2. a 3. článkem

$$delta = \arcsin\left(\frac{L5}{F}\right) + \arcsin\left(\frac{L6}{F}\right) = \arcsin\left(\frac{3440}{8131}\right) + \arcsin\left(\frac{7870}{8131}\right) = 100^\circ \geq 52^\circ$$

$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{\max} - R3 = 12500 - 769 = 11731\text{mm} \geq 7300\text{mm}$$

Jak je vidět, takový záběrný pás je zcela nevyhovující, navíc by převládalo smýkání pneumatik 3.článku před ideálním valením.

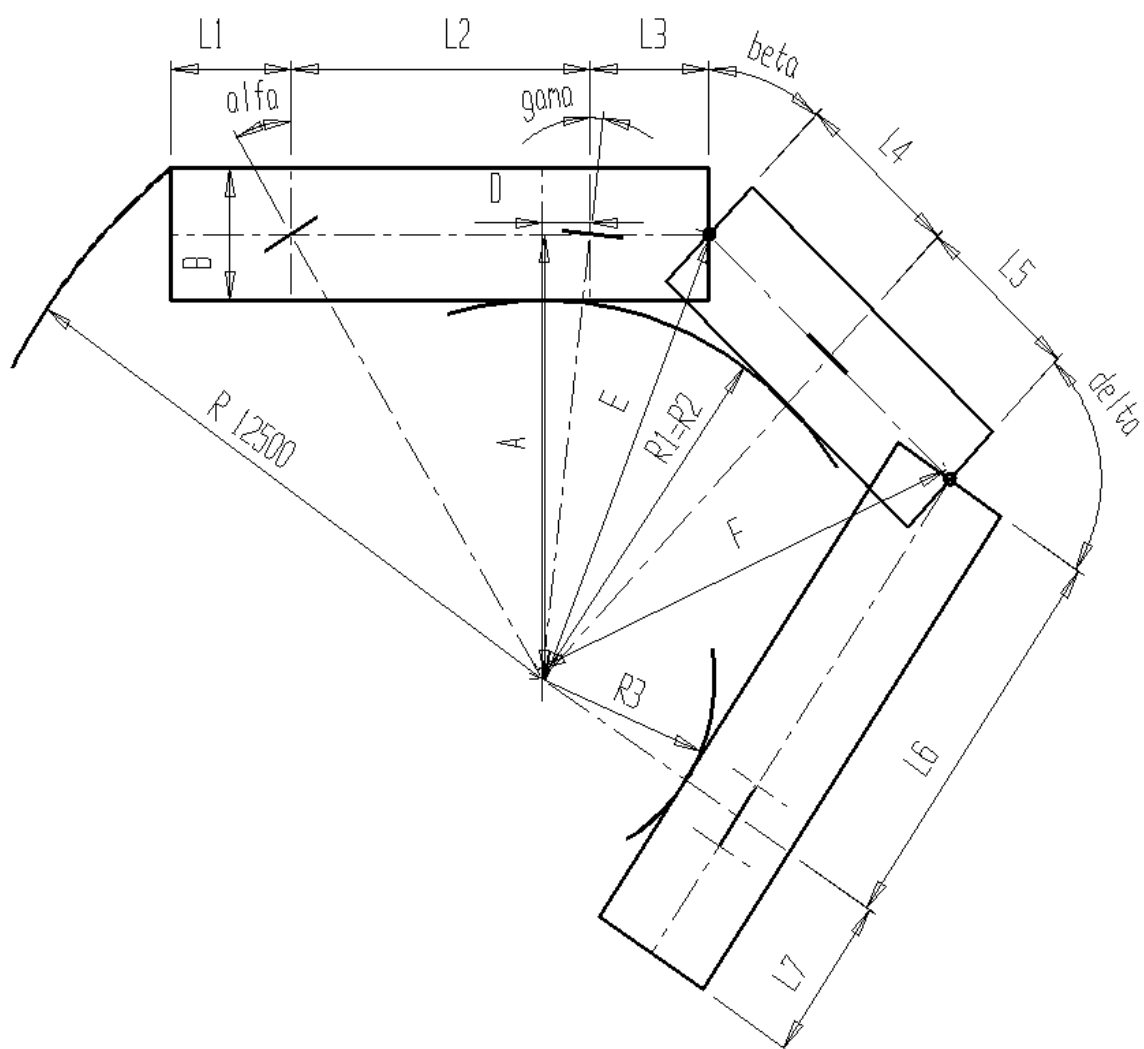
3.3.6 - Varianta 11:3 čl.prodlouž(L = 29040mm); říditelná 1,2 náprava; hnaná 3,4

Změna podmínek průjezdu:

$$R1 = R2 = ?$$

$$L4 = L3 + D \Rightarrow D = L4 - L3 = 3430 - 2450;$$

$$D = 980\text{mm}$$



Obrázek 36: Stav soupravy při jízdě po min.poloměru (1,2 náprava hnaná; 3,4 říditelná)

$$A = \sqrt{12500^2 - (L1 + L2 - D)^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{12500^2 - 7670^2} - 1275 = 8603\text{mm}$$

$$R1 = R2 = A - \frac{B}{2} = 8603 - 1275 = 7328\text{mm} \geq 5300\text{mm}$$

$$E = \sqrt{A^2 + (L3 + D)^2} = \sqrt{8603^2 + 3430^2} = 9266\text{mm}$$

$$F = \sqrt{A^2 + (A + L5)^2} = \sqrt{8603^2 + 3440^2} = 9270\text{mm}$$

$$R3 = \sqrt{F^2 - L6^2} = \sqrt{9270^2 - 7870^2} = 3549\text{mm} \leq 5300$$

Velikosti úhlů natočení:

$$\text{Kol 1. nápravy} \quad \alpha = \arctg\left(\frac{L2 - D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{6180 - 980}{8603}\right) = 31^\circ \leq 40^\circ$$

$$\text{Kol 2. nápravy} \quad \beta = \arctg\left(\frac{D}{A}\right) = \arctg\left(\frac{980}{8603}\right) = 7^\circ \leq 40^\circ$$

Úhel zalomení mezi 1. a 2. článkem

$$\beta = \arcsin\left(\frac{L3 + D}{E}\right) + \arcsin\left(\frac{L4}{E}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{3430}{9266}\right) = 44^\circ \leq 52^\circ$$

Úhel zalomení mezi 2. a 3. článkem

$$\delta = \arcsin\left(\frac{L5}{F}\right) + \arcsin\left(\frac{L6}{E}\right) = \arcsin\left(\frac{3430}{9270}\right) + \arcsin\left(\frac{7870}{9270}\right) = 80^\circ \geq 52^\circ$$

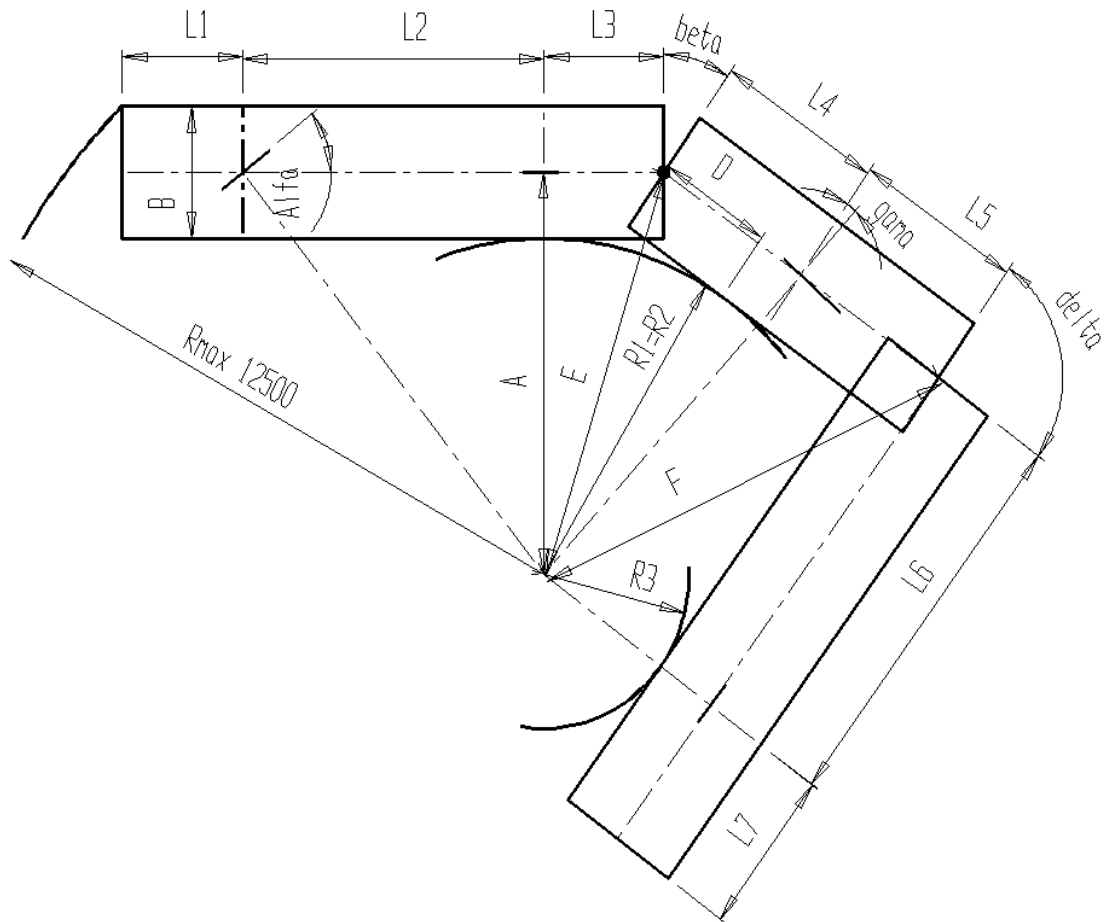
$$\text{Šířka jízdního pruhu} = R_{MAX} - R3 = 12500 - 3549 = 8951\text{mm} \leq 7300\text{mm}$$

Je patrné, že ani tento stav ideálně neodpovídá průjezdu soupravy po alespoň stejných poloměrech. Navíc úhel zalomení mezi 2. a 3. článkem je mimo rozsah technických možností natáčecího zařízení. Takový návrh nevyhovuje zadaným požadavkům.

3.3.7 - Varianta 12: 3 čl.prodloužený(L = 29040); říditelná 1,3 náprava; hnaná 2,4

V tomto případě se přiřizují kola 2.článku tak, aby se dostala do stejného poloměru zatáčení jako 1.článek. Jeho rozměry jsou totožné jako v minulých případech.

Platí, že: $L3 = D$
 $R1 = R2 = 6474\text{mm}$
 $A = 7749\text{mm}$
 $E = 8127\text{mm}$



Obrázek 37: Stav soupravy při jízdě po min.poloměru (1,3 náprava hnaná; 2,4 říditelná)

$$R3 = \sqrt{F^2 - L6^2} - \frac{B}{2} = \sqrt{8921^2 - 7870^2} - 1275 = 2964\text{mm} \leq 5300\text{mm}$$

Vzhledem k symetrii zalomení 1.článku a 2.článku platí, že:

$$\beta = 2 * \arcsin\left(\frac{L3}{E}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{2450}{8127}\right) = 35^\circ \leq 52^\circ$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{L5 + L4 - D}{F}\right) + \arcsin\left(\frac{L6}{F}\right) = \arcsin\left(\frac{4420}{8921}\right) + \arcsin\left(\frac{7870}{8921}\right) = 91^\circ \leq 52^\circ$$

$$F = \sqrt{A^2 + (L4 + L5 - D)^2} = \sqrt{7749^2 + (3440 + 3430 - 2450)^2} = 8921 \text{ mm}$$

Úhel přiřazení kol 3.nápravy

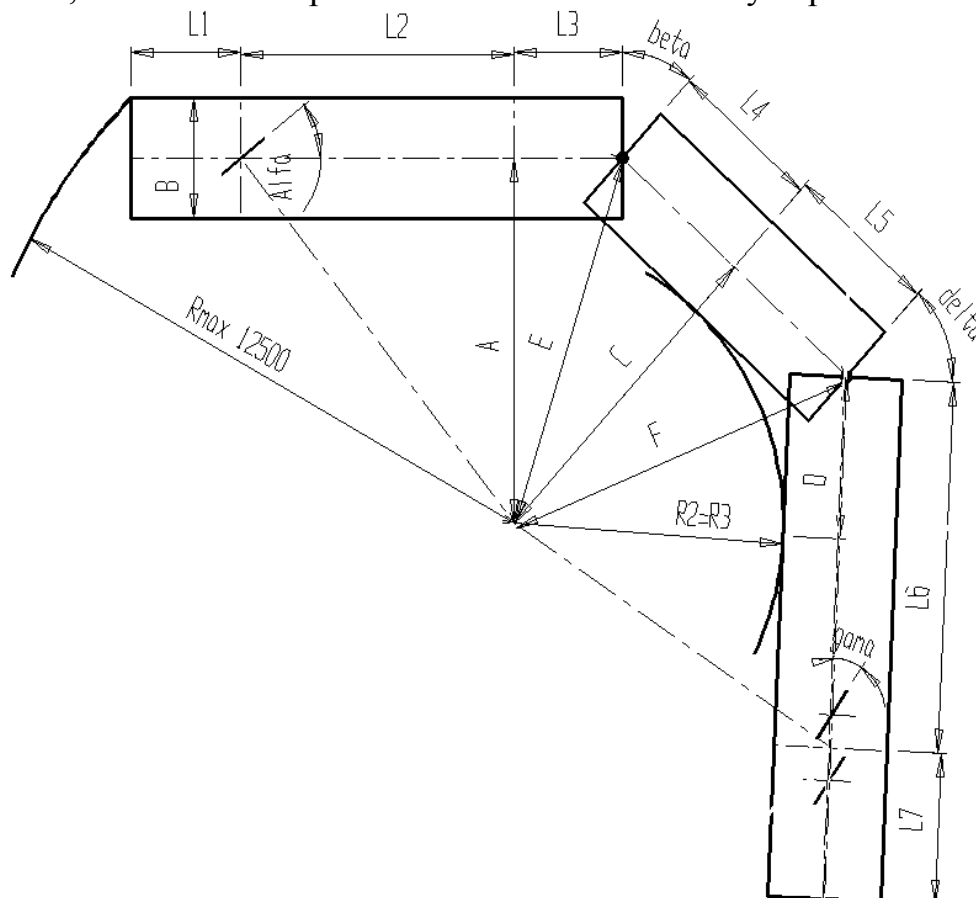
$$\text{gama} = \text{arctg}\left(\frac{L4 - D}{A}\right) = \text{arctg}\left(\frac{980}{7749}\right) = 7^\circ \leq 40^\circ$$

Šířka jízdního pruhu $= R_{MAX} - R3 = 12500 - 2964 = 9536\text{mm} \leq 7300\text{mm}$

Ani toto uspořádání není vhodné ke konstrukci – šířka jízdního pruhu se oproti minulému případu dokonce ještě zvětšila.

3.3.8 - Varianta 13: 3-čl. prodlouž.(L = 29040); řiditelná 1,4 náprava; hnaná 2,3

V tomto případě je u přiřizování dvojnápravy 3. článku počítáno průměrné přiřazení, vztahené mezi polovinu vzdálenosti mezi osy náprav.



Obrázek 38: Stav soupravy při jízdě po min.poloměru (1,4 náprava hnaná; 2,3 řiditelná)

Výpočet hodnot C, D, F, R2, R3, beta, gama, delta :

$$D = L5 = 3440mm$$

$$C = \sqrt{E^2 - L4^2} = \sqrt{8127^2 - 3430^2} = 7368mm$$

$$F = \sqrt{C^2 + L5^2} = \sqrt{7368^2 - 3440^2} = 8131mm$$

$$R2 = R3 = C - \frac{B}{2} = 7368 - 1275 = 6093$$

$$beta = \arcsin\left(\frac{L3}{E}\right) + \arcsin\left(\frac{L4}{E}\right) = \arcsin\left(\frac{2450}{8127}\right) + \arcsin\left(\frac{3430}{8127}\right) = 43^\circ$$

$$delta = 2 * \arcsin\left(\frac{L5}{F}\right) = 2 * \arcsin\left(\frac{3440}{8131}\right) = 50^\circ$$

Nutný úhel přiřazení zadních kol

$$gama = \arctg\left(\frac{L6 - D}{C}\right) = \arctg\left(\frac{4430}{7368}\right) = 31^\circ$$

$$\text{Šířka jízdního pásu} = R_{\max} - R2 = 12500 - 6093 = 6407mm \leq 7300mm$$

Tato poslední koncepce je už výrazně lepší než předchozí. Úhly zalomení mezi články jsou menší než 52° , což vyhovuje konstrukčním možnostem. I nejmenší poloměr vyhovuje předpisům. Jízdní pruh je široký 6407, což je o více než 3m více než v předchozím případě.

Tato koncepce z hlediska rozměrů a úhlů natočení kol 4. dává řešení na rozdíl od všech předchozích.

	Úhel zalomení mezi 1. a 2. článkem	Úhel zalomení mezi 2. a 3. článkem	Nejmenší poloměr	Šířka jízdního pruhu	Úhel přířezí
Varianta 10 (L=29.04m)	43°	100°	769mm	11731mm	-
Varianta 11 (L=29.04m)	44°	88°	3549mm	8951mm	7°
Varianta 12 (L=29.04m)	35°	91°	2964mm	9536mm	7°
Varianta 13 (L=29.04m)	43°	50°	6093mm	6407mm	31°

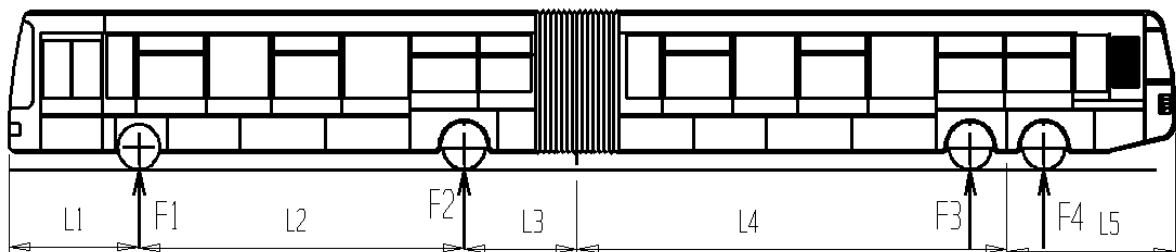
Tabulka 10: Geometrické hodnoty pro varianty 10-13

4 – Hmotnostní rozvaha jednotlivých souprav

Aby bylo možné zabývat se vůbec návrhu náprav, bude v následující části proveden rozbor zatížení náprav u varianty dvoučlánekového prodlouženého autobusu a tříčlánekového prodlouženého.

4.1 – Dvoučlánekový prodloužený autobus

Obsaditelnost autobusu 210 osob. (L1=2470mm, L2=6180mm, L3=2450mm, L4=7870,3200mm)



Obrázek 39: Hmotnostní rozvaha dvoučlánekového prodlouženého autobusu

Průměrná hmotnost cestujícího (muži, ženy, děti...)

$$M_{PC} = 68 \text{Kg}$$

Spojité zatížení od cestujících vychází tedy:

$$q = \frac{M_{PC} * \text{Obsaditelnost}}{L1 + L2 + L3 + L4} = \frac{68 \text{Kg} * 210}{22,16 \text{m}} = 634 \text{Kg} / \text{m}$$

Zatěžující síla F se vypočítá z hmotností cestujících dle vztahu

$$F = M * g; \text{ kde}$$

M ...Hmotnost cestujících v daném délkovém úseku (Kg)

gGravitační zrychlení ($\text{Kg} * \text{m} * \text{s}^{-2}$) $g = 10 \text{kg} * \text{m} * \text{s}^{-2}$

$$M_{c1} = L1 * q = 2,47 \text{m} * 634 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1566 \text{kg} \Rightarrow F_{c1} = 15660 \text{N}$$

$$M_{c2} = L2 * q = 6,18 \text{m} * 634 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 3918 \text{kg} \Rightarrow F_{c2} = 39180 \text{N}$$

$$M_{c3} = L3 * q = 2,45 \text{m} * 634 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1553 \text{kg} \Rightarrow F_{c3} = 15530 \text{N}$$

$$M_{c4} = L4 * q = 7,87 \text{m} * 634 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 4990 \text{kg} \Rightarrow F_{c4} = 49900 \text{N}$$

$$M_{c5} = L5 * q = 3,2 \text{m} * 634 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 2029 \text{kg} \Rightarrow F_{c5} = 20290 \text{N}$$

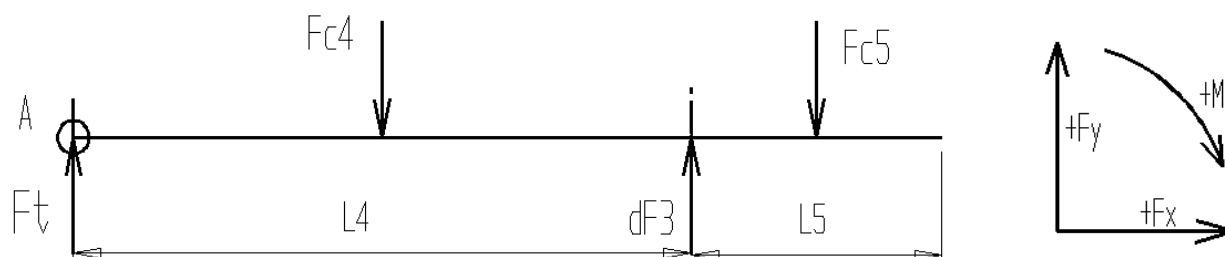
Celou úlohu rozdělím na 2:

1) Vyřešení zatížení a reakcí 2. článku

2) Vyřešení zatížení a reakcí 1. článku

1) - Zatížení 2.článku

Jedná se o staticky určitou úlohu, musí tedy platit rovnice rovnováhy sil



Obrázek 40: Silové zatížení 2.článku

$$\sum F_y = 0$$

$$F_t + dF_3 - FC_3 - FC_4 = 0$$

A dále rovnice rovnováhy momentů (k bodu A)

$$\sum M(A) = 0$$

$$FC_4 * \left(\frac{L_4}{2}\right) - dF_3 * L_4 + FC_5 * \left(L_4 + \frac{L_5}{2}\right) = 0$$

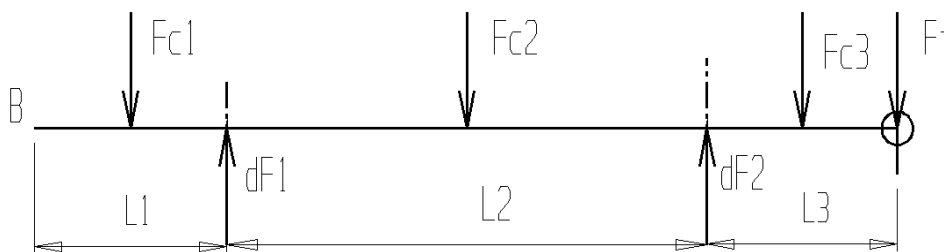
Vyřešením této úlohy dostaneme :

Přítížení zadní dvojnápravy $dF_3 = 49360\text{N}$ (24680N na jednu nápravu)

Síla v čepu točny $F_t = 20823\text{N}$

Touto silou (ale opačného směru) zatížím 1. článek....

Řešení 1. článku:



Obrázek 41: Hmotnostní zatížení 1. článku

Opět musí platit rovnice rovnováhy sil a momentů ...

$$\sum F_y = 0$$

$$dF_1 + dF_2 - F_{c1} - F_{c2} - F_{c3} - F_t = 0$$

$$\sum M(B) = 0$$

$$F_{c1} * \frac{L_1}{2} + F_{c2} * \left(L_1 + \frac{L_2}{2}\right) + F_{c3} * \left(L_1 + L_2 + \frac{L_3}{2}\right) + F_t * (L_1 + L_2 + L_3) - dF_1 * L_1 - dF_2 * L_3 = 0$$

Po vyřešení dostáváme výsledky...

$$dF_1 = 26212\text{N}$$

$$dF_2 = 67090\text{N}$$

číslo nápravy	Zatížení náprav osobami	Navrhované nosnosti náprav	% z celk.hmotnosti na nápravě
1.	26212N	60000N	17
2.	67086N	105000N	31
3.	24680N	90000N	26
4.	24680N	90000N	26

Po zavedení součinitele adheze,

$$\varphi = \frac{M_H}{M_C}$$

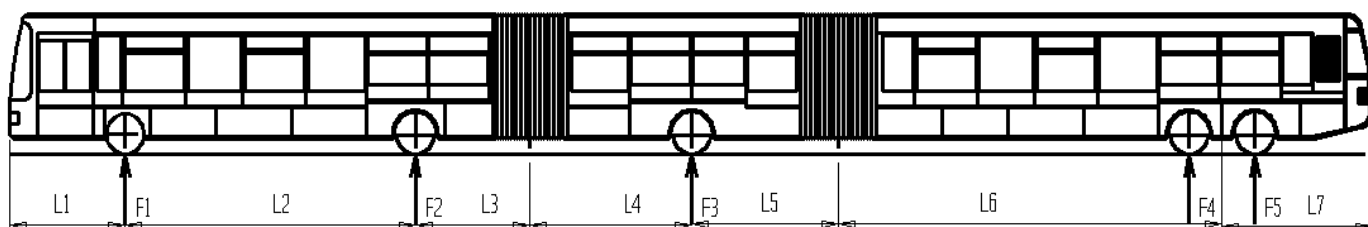
který udává, jaký podíl z celkové hmotnosti autobusu připadá na hnací nápravy.

Kde M_H – celková hmotnost připadající na hnací nápravy
 M_C – celková hmotnost autobusu

Dostáváme, že je přímo úměrný zatížení náprav. V tomto případě se jedná o hodnotu

$$\varphi = 0,31$$

4.2 – Trojčlankový prodloužený autobus



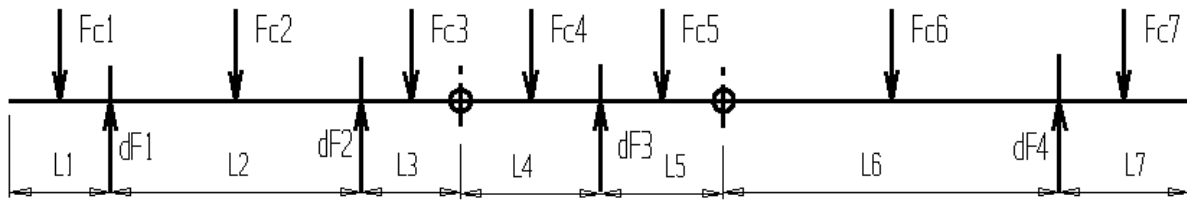
Obrázek 42: Hmotnostní rozvaha trojčlankového prodlouženého autobusu

Rozměrové hodnoty:

$L_1=2470\text{mm}$, $L_2=6180\text{mm}$, $L_3=2450\text{mm}$, $L_4=3440\text{mm}$, $L_5=3150\text{mm}$,
 $L_6=8170\text{mm}$, $L_7=3200\text{mm}$;

Autobus zatížený cestujícími (obdobně jako 4.1):

Uvažuji spojité zatížení ($q=634\text{Kg/m}$), jež je ve výpočtu nahrazeno osamělými silami mezi jednotlivými nápravami, točnami.



Obrázek 43: Náhradní schéma zatížení trojčlankového prodlouženého autobusu

Hodnoty zatěžujících sil F_{c1} - F_{c7} :

$$F_{c1} = q * L1 * g = 634 * 2,47 * 10 = 15660N$$

$$F_{c2} = q * L2 * g = 634 * 6,18 * 10 = 39180N$$

$$F_{c3} = q * L3 * g = 634 * 2,45 * 10 = 15533N$$

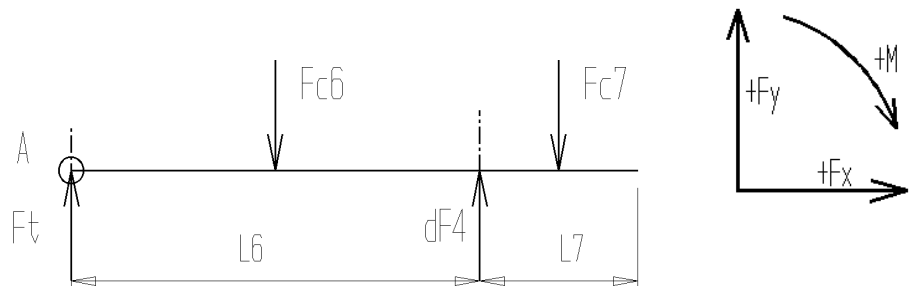
$$F_{c4} = q * L4 * g = 634 * 3,44 * 10 = 21810N$$

$$F_{c5} = q * L5 * g = 634 * 3,15 * 10 = 19971N$$

$$F_{c6} = q * L6 * g = 634 * 8,17 * 10 = 51797N$$

$$F_{c7} = q * L7 * g = 634 * 2,47 * 10 = 15342N$$

Řešení 3. článku:



Obrázek 44: Řešení 3. článku

Musí platit, že:

$$\sum F_y = 0$$

Rovnice rovnováhy momentů (k bodu A)

$$\sum M(A) = 0$$

$$F_t + dF4 - F_{c6} - F_{c7} = 0$$

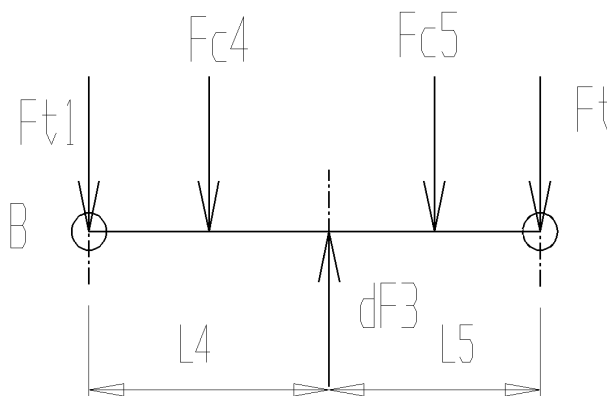
$$F_{c6} * \left(\frac{L6}{2}\right) - dF4 * L6 + F_{c7} * \left(L6 + \frac{L7}{2}\right) = 0$$

Řešením této staticky určité úlohy jsou výsledky zatížení:

$$dF4 = 44624\text{N} \text{ (22312N na jednu nápravu)}$$

$$F_t = 24140\text{N}$$

Řešení 2. článku:



Obrázek 45: Řešení 2. článku

Podmínka rovnováhy sil v ose y

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{t1} - F_{c4} - F_{c5} - F_t + dF3 = 0$$

Rovnice rovnováhy momentů (k bodu B)

$$\sum M(B) = 0$$

$$F_{c4} * \left(\frac{L4}{2}\right) - dF3 * L4 + F_{c5} * \left(L4 + \frac{L5}{2}\right) + F_t * (L4 + L5) = 0$$

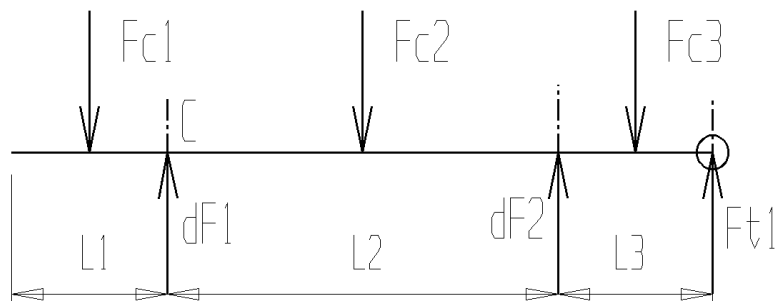
Výsledkem této soustavy 2 rovnic o 2 neznámých (F_{t1} , $dF3$) jsou hodnoty:

$$dF3 = 87444\text{N}$$

$$F_{t1} = 20170\text{N}$$

Řešení 1. článku

Opět se jedná o staticky určitou úlohu, kde jsou hledanými parametry velikosti reakcí $dF1$, $dF2$



Obrázek 46: Řešení 1. článku

Podmínky rovnováhy:

$$\sum F_y = 0$$

$$- F_{c1} + dF1 - F_{c2} + dF2 - F_{c3} + Ft1$$

Rovnice rovnováhy momentů (k bodu C)

$$\sum M(C) = 0$$

$$- F_{c1} * \left(\frac{L1}{2}\right) + F_{c2} * \left(\frac{L2}{2}\right) - dF2 * L2 + F_{c3} * \left(L2 + \frac{L3}{2}\right) - Ft1 * (L2 + L3) = 0$$

Po vyřešení této soustavy dostáváme výsledky:

$$dF1 = 43292N$$

$$dF2 = 54682N$$

číslo nápravy	Zatížení náprav osobami	Navrhované nosnosti náprav	% z celk.hmotnosti na nápravě
1.	43295N	60000N	13
2.	54682N	105000N	23
3.	87444N	105000N	23
4.	22312N	90000N	20
5.	22312N	90000N	20

V tomto případě budou poháněny nápravy číslo 2 a 3. Adhezní součinitel bude tedy

$$\varphi = \frac{M_2 + M_3}{M_C} = \frac{10500Kg + 10500 \cdot Kg}{45000Kg} = 0,46$$

Dojde tedy pravděpodobně oproti minulému případu k mírnému zlepšení trakčních vlastností.

5 - Návrh kinematiky přiřizování

5.1 - Dvojčláková prodloužená souprava:

Jaká by byla trajektorie soupravy při jízdě po kruhovém oblouku bez přiřizování je znázorněno v příložených grafech. Aby byly splněny podmínky dané předpisem EHK 107 (min. poloměr 5,3m), však v lepším případě jízda 2. článku ve stopě 1. článku, je nutné kola 2. článku přiřizovat.

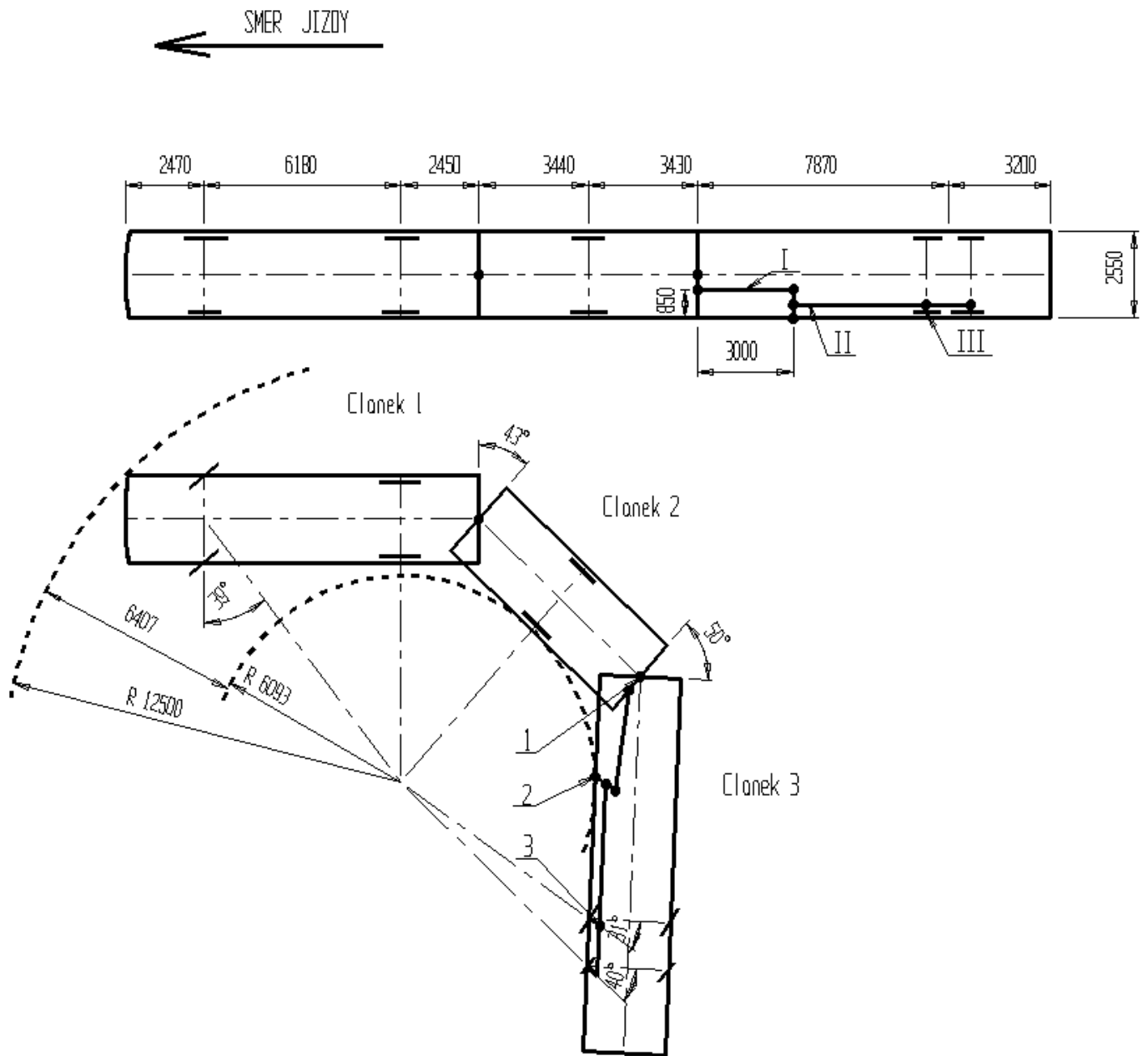
V kapitole 3.2.5 je tento úhel odvozen. Kinematika natáčení by se dala realizovat nejjednodušeji pomocí pevného převodu pomocí mech.táhel, jež by převáděl relativní úhel natočení mezi články na otočný pohyb kol na alespoň jedné ze dvou na druhém článku.

Příčemž:

- Spojovací tyč I je otočně spojena v čepu 1 s článkem 1
- Spojovací tyč II je v čepu 2 otočně spojena s článkem 2
- Spojovací tyč III je v čepu 3 spojena s pákou řízení říditelné nápravy

Spojovací tyč I je v základní poloze rovnoběžná s osou 2. článku (tyč II je k ní kolmá) aby byl zajištěn stejný průběh natáčení kol nápravy při průjezdu „pravé“ a „levé“ zatáčky

5.2 - Trojčlánkový prodloužený:



Obrázek 48: Návrh mechanického přířizování 4.nápravy u 3-článk. prodlouženého autobusu

6 - Závěr

Průběhy nájezdů jednotlivých souprav do zatáček, a jejich jízda v nich znázorňují grafy v příloze 1. a 2. Navrhované přiřizování dovolí průjezd obloukem $R=12,5m$ oběma navrhovaným soupravám.

a) - navrhovanému dvojčládkovému prodlouženému ($L = 22,16m$)

b) - trojčládkovému prodlouženému autobusu ($L = 29,04m$)

Nápravy jsem vybíral od výrobce součástí pro užitková vozidla Voith, jehož nápravy firma SOR ve svých autobusech používá, a je s nimi spokojena.

a)

Oproti konkurenčním vozům (např. Mercedes-Benz Capa-City, $L=19,54m$), jehož minimální poloměr zatáčení činí $22,85m$ dojde ke snížení na $12,5m$.

	Mercedes-Benz Capa-City	Navrhovaná souprava
Délka	19,54m	22,16m
Min. poloměr zatáčení	22,85m	6,474m
Obsaditelnost (osoby)	195	220

Tabulka 12: Porovnání dvojčládkových souprav

Rozložení náprav u navrhované soupravy by bylo následující:

Náprava číslo	Provedení
1.	Řiditelná Voith 6t
2.	Hnaná Voith 11t
3.	Řiditelná Voith 9,6t
4.	Řiditelná Voith 9,6t

Tabulka 13: Navrhované osazení náprav u dvojčládkové soupravy

b)

Jako konkurenční typ bych vybral vůz Van Hool AGG300 (viz kapitola 2.4), jehož rozměrové parametry jsou s navrhovanou soupravou srovnatelné.

	Van Hool AGG300	Navrhovaná souprava
Délka	24,785m	29,04m
Min. poloměr zatáčení	15,79m	6,093m
Obsaditelnost (osoby)	210	270

Tabulka 14: Porovnání trojčlankových souprav

Navrhované rozložení náprav:

Náprava číslo	Provedení
1.	Říditelná Voith 6t
2.	Hnaná Voith 11t
3.	Hnaná Voith 11t
4.	Říditelná Voith 9.6t
5.	Říditelná Voith 9.6t

Tabulka 15: Navrhované uspořádání náprav na trojčlankové soupravě

V obou případech dochází tedy oproti konkurenčním vozům ke zmenšení šířky jízdního pruhu, a zvýšení obsaditelnosti.

Práce se zabývala možnostmi zvýšení obsaditelnosti cestou prodloužení posledních článků vícečlankových autobusů. Vhodnou volbou rozměrů lze tedy zvýšit jejich kapacitu při dodržení předepsaných jízdních pruhů při použití na trhu standardně dostupných řízených náprav.

7 - Použité zdroje:

VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 392 s. ISBN 80-238-5274-4 .

VLK, F. *Koncepce motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.

VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003. 499 s. ISBN 80-238-8757-2

Dostupné z www:

<http://technik.ihned.cz/c4-10015280-22571470-800000_d-brt-aneb-metrobus-trochu-jina-mhd>

<http://ekonomika.idnes.cz/autbus-s-privesem-se-vraci-df9-/ekonomika.asp?c=A071107_854024_ekonomika_spi>

<<http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=4124>>

<<http://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=3955>>

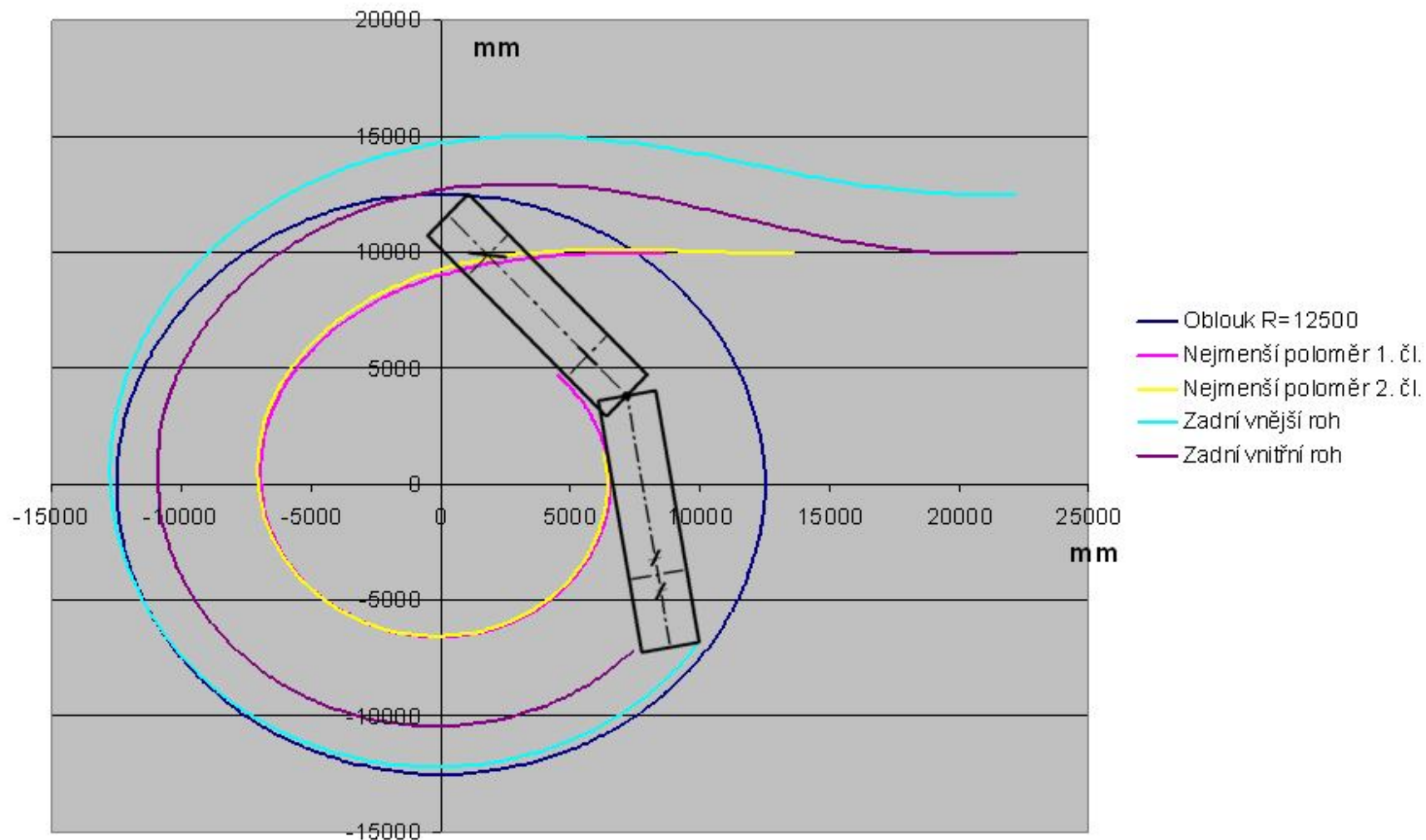
<<http://www.aps-phileas.com/>>

<<http://www.vdlbuscoach.nl/index2.php?pageid=43>>

<<http://www.nabiusa.com>>

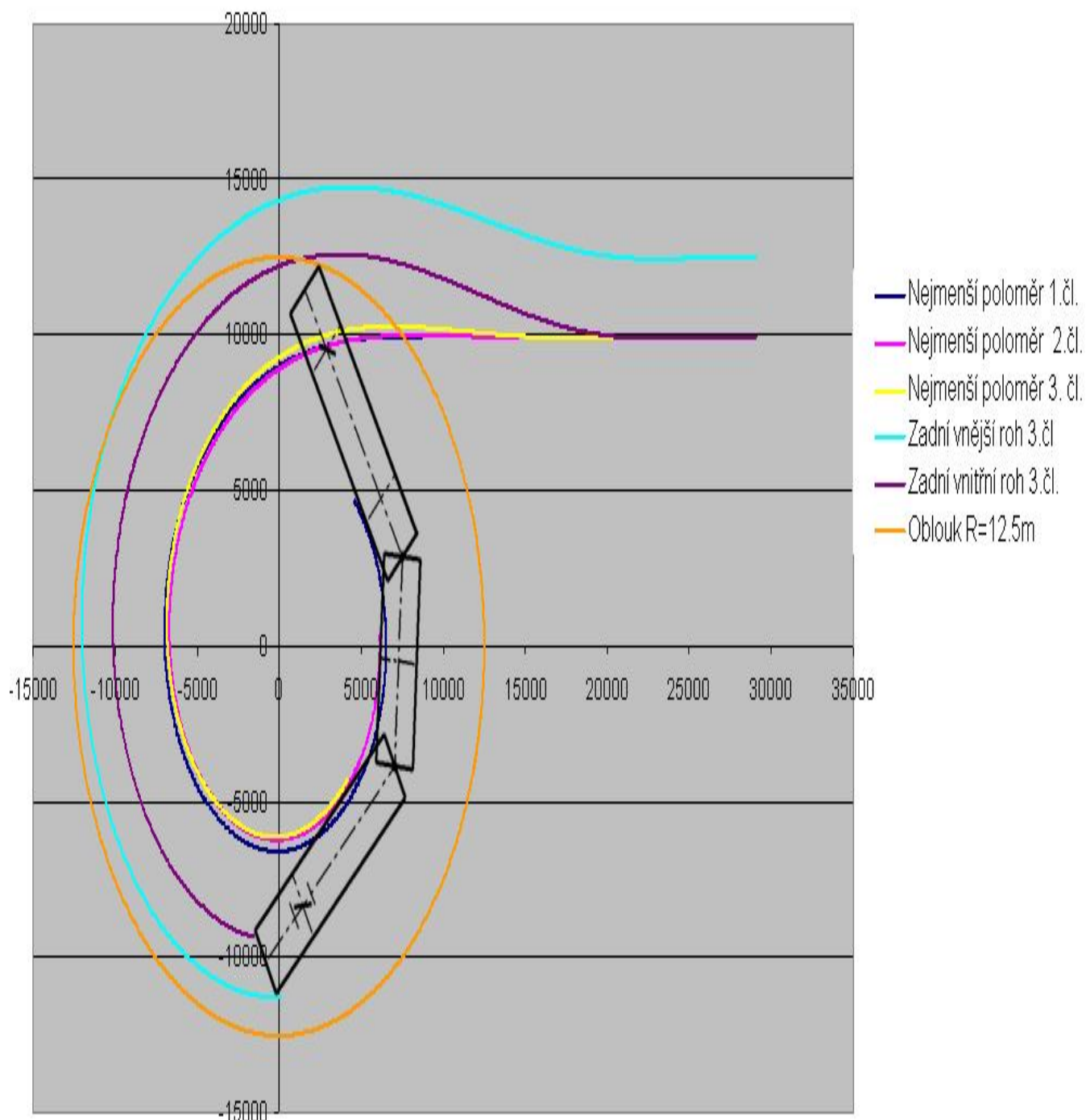
<<http://www.udipraha.cz/rocenky/rocenka04/texty/dtc02.htm>>

Příloha 1: Nájezd a jízda 2-čl. prodloužené soupravy zatačkou, přiřizovaná 3. náprava



Maximální odchylka jízdní stopy od počáteční pozice O = 15000-12500=2500mm

Příloha 2: Nájezd a jízda 3-čl. prodlouž. Soupravy zatačkou, přiřizovaná 4.náprava



Maximální odchylka jízdní stopy od počáteční pozice O = 14950mm – 12500mm = 2450mm

LICENČNÍ SMLOUVA č.

Pan/paní

jméno a příjmení:

Petr Kotyza

bytem:

Svatohavelská 104, Rychnov nad Kněžnou, 516 01

narozen/a (datum a místo): 4.1.1984 Rychnov nad kněžnou

(dále jen autor)

a

Univerzita Pardubice

se sídlem Studentská 95, 532 10 Pardubice

IČO 00216275

(dále jen „nabyvatel“)

jejímž jménem jedná:

uzavírají

Licenční smlouvu o užití školního díla

podle ustanovení § 46 a násl. 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, za následujících podmínek ohledně užití:
diplomové práce

s názvem:

Návrh víceprvkové nápravy pro vícečlánkový autobus

Jejímž vedoucím/školitelem je

Ing. Jan Černý

na fakultě/vysokoškolském ústavu

Katedra dopravních prostředků

kteřou odevzdal nabyvateli ve formě elektronické a tištěné

1. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností školní dílo (dále jen „dílo“) shora uvedené a že dílo je původní.
2. Dílo je chráněno jako dílo podle autorského zákona.
3. Účelem licenční smlouvy je zajištění nerušeného nevýdělečného užití školních děl nabyvatelem v souladu s posláním a zájmy nabyvatele jako vysoké školy.
4. Autor tímto poskytuje nabyvateli oprávnění k výkonu práva dílo nevýdělečně užit těmito způsoby:
 - a) zpřístupněním v Digitální knihovně Univerzity Pardubice; rozsah zpřístupnění je uveden na formuláři, který je nedílnou součástí licenční smlouvy,

- b) půjčováním rozmnoženin díla, které odevzdal nabyvateli, třetím osobám k jejich
dočasné potřebě,
- c) užitím díla pro potřebu nabyvatele, zejména jako studijní a výukový i
výzkumný
materiál využívaný pracovníky a studenty v rámci plnění úkolů.
5. Licence je poskytována na území celého světa a na celou dobu trvání autorských majetkových práv k dílu. Množstevní rozsah licence je neomezený.
 6. Dílo nebude z důvodu utajení v něm obsažených informací zpřístupňováno po dobu 20 let po uzavření této smlouvy.
 7. Licence je poskytována jako nevýhradní. Nabyvatel není povinen dílo užít.
 8. Nabyvatel je oprávněn udělovat podlicence a poskytovat rozmnoženiny díla, které autor odevzdal nabyvateli, jiným osobám v rámci meziknihovní výpůjční služby v České republice i v zahraničí k účelu půjčování rozmnoženin díla těmito osobami dalším osobám k jejich dočasné potřebě. Nabyvatel je oprávněn dílo při užití spojovat s jinými díly i zařadit dílo do díla souborného. Nabyvatel není oprávněn postoupit tuto licenci třetí osobě.
 9. Smluvní strany se dohodly, že autor souhlasí spolu s odevzdáním díla v elektronické podobě také s případným předáním díla v tištěné formě. Dále autor svoluje, že nabyvatel může po uplynutí doby stanovené předpisy o archivnictví hmotné rozmnoženiny díla, které mu autor odevzdal, skartovat a uchovávat dílo dále jen v elektronické podobě.
 10. Smluvní strany se dohodly, že vzhledem k nevýdělečnosti užití autor licenci poskytuje nabyvateli bezúplatně.
 11. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, z toho nabyvatel obdrží dvě vyhotovení a autor obdrží jedno vyhotovení smlouvy.
 12. Vztahy mezi stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, případně občanským zákoníkem a dalšími právními předpisy. Na nakládání s rozmnoženinami díla se vztahují právní předpisy o knihovnictví a o archivnictví.
 13. Smlouva byla uzavřena podle svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
 14. Smlouva se uzavírá na dobu 20 let po uzavření této smlouvy.
 15. Pokud autor díla s uzavřením licenční smlouvy ani po úpravě nesouhlasí, vyplní tuto část slovy „Nesouhlasím s poskytnutím licence“, nebo tato slova napíše přes celý předtištěný text formuláře a podepíše se:.....

V Pardubicích dne

V Pardubicích dne

.....
nabývatel

.....
autor

*) nehodící se škrtněte a správný text vyplňte, resp. doplňte

Příloha licenční smlouvy č.

DIGITÁLNÍ KNIHOVNA UNIVERZITY PARDUBICE

Stanovení rozsahu zpřístupnění závěrečné práce

Autor	Petr Kotyza
Název závěrečné	<i>Návrh víceprvkové nápravy pro vícečlankový autobus</i>
Název souboru (souborů)	<i>KotyzaP_Navrh_viceprvkove_JC.pdf</i>
Stanovené datum	
Označení rozsahu zpřístupnění	Souhlasím se zpřístupněním souboru (souborů) <i>KotyzaP_Navrh_viceprvkove_JC.pdf</i> prostřednictvím informačního systému Univerzity Pardubice pro definované skupiny uživatelů

*) název souboru (souborů) doplňte.

V Pardubicích dne

Podpis autora: