



CTU

CZECH TECHNICAL
UNIVERSITY
IN PRAGUE

**Odraz moderní železnice ve
vzdělávání a výzkumu**

28.05.2025

THE APPLICATION OF AN WHEELSET ACTIVE STEERING SYSTEMS FOR MODERN DESIGN TRAMCARS

Ing. Jan Vrba, Ing. Vojtěch Dybala, PhD.

Motivace

Oblouky malých poloměrů v historických centrech měst a v depech



Vyčerpání příčné vůle dvojkolí v koleji vede ke vzniku velkých skluzových sil v kontaktu kola a kolejnice.



Velké opotřebení kol a kolejnic

- Velké náklady pro správce infrastruktury i provozovatele vozidel
- Reprofilace kol, výměna obručí kol

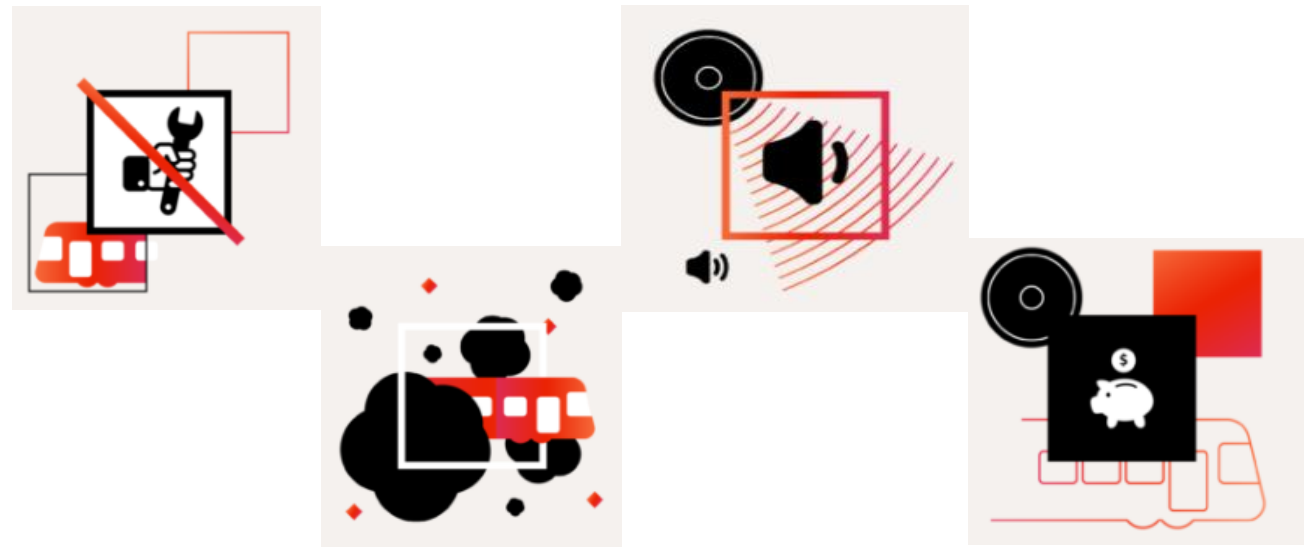
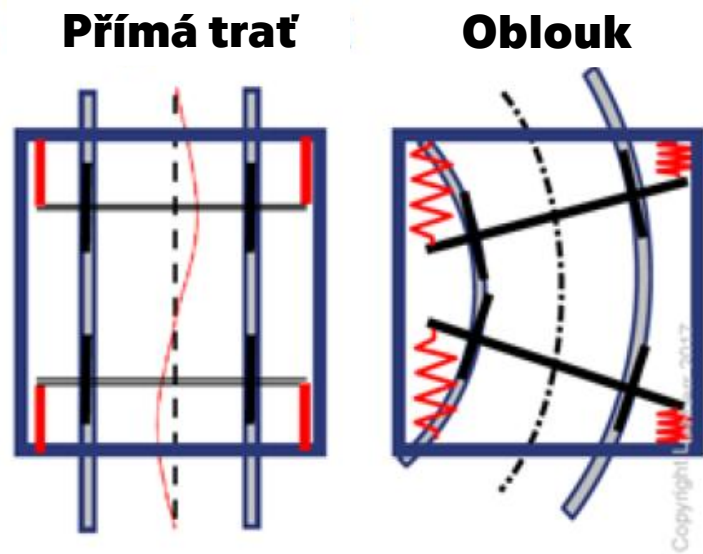
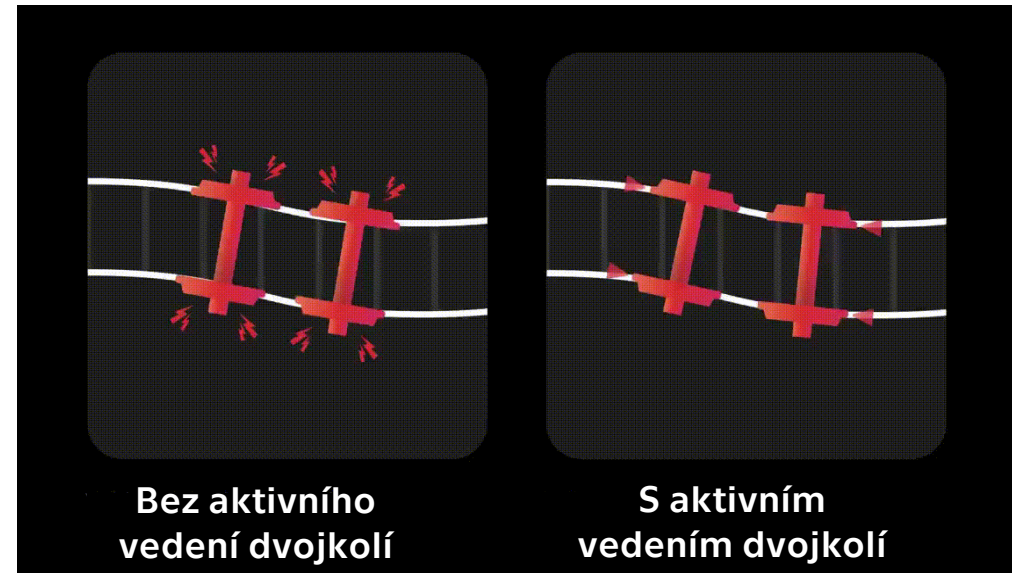
Emise hluku a vibrací

Ztráty energie v kontaktu kola a kolejnice



Aktivní vedení dvojkolí

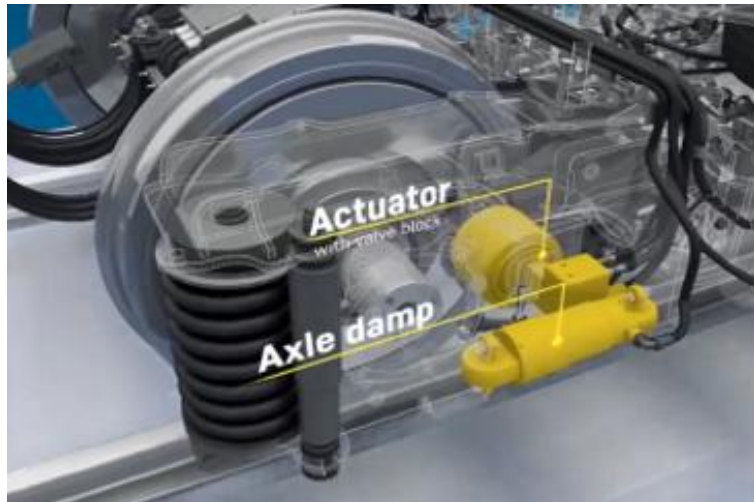
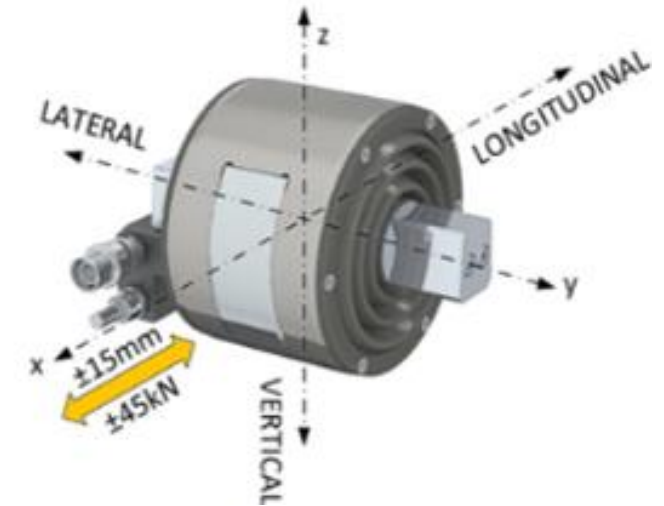
- Dvojkolí je aktivně natáčeno pomocí aktivně řízeného silového prvku (aktuátoru) do oblouku s cílem snížit úhel náběhu dvojkolí



Aktuální stav techniky

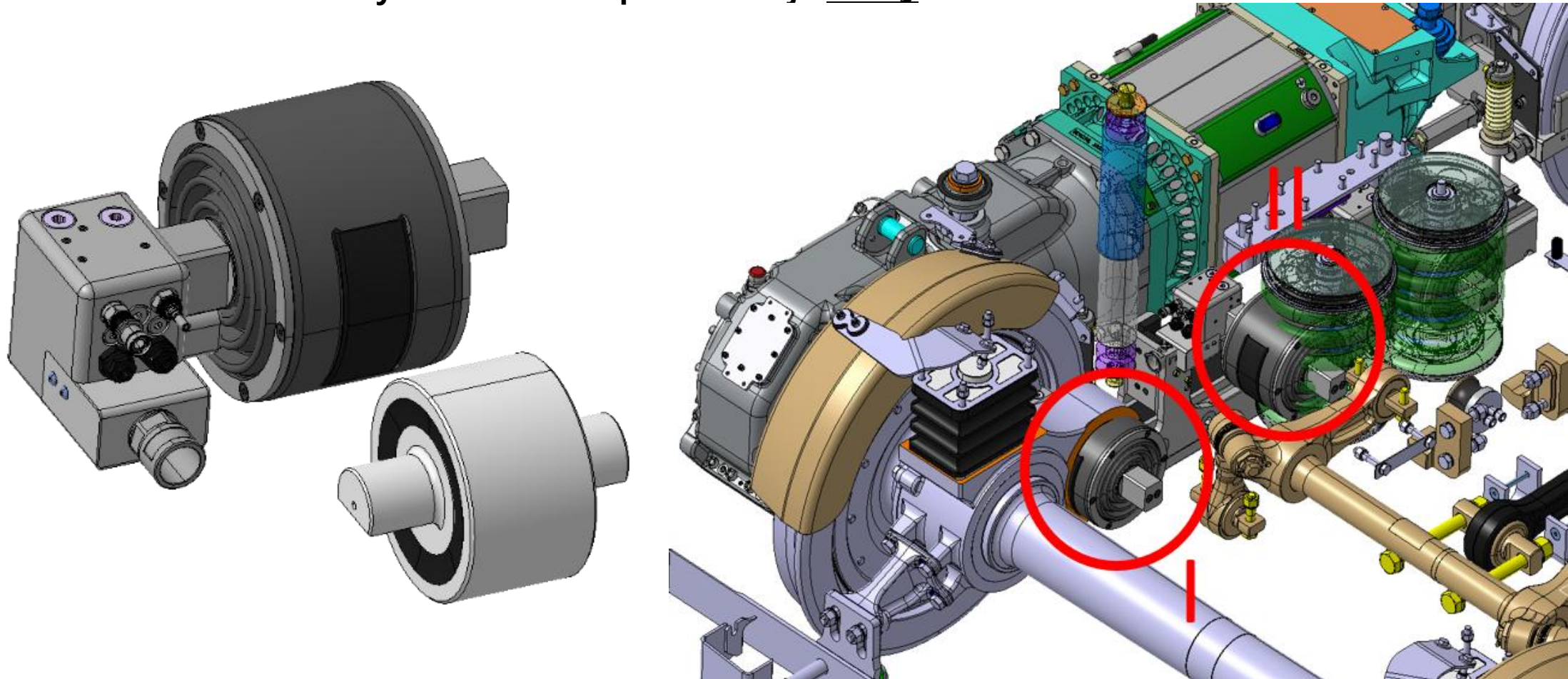
- Liebherr LiCAS – systém aktivního natáčení dvojkolí navržen pro vozidla konvenční železnice
 - Aktuátor pouze na jedné straně podvozku
 - Zpětnovazební řízení na základě pohybů skříně a podvozku
 - Maximální výsuv 15 mm

LiCAS Actuator



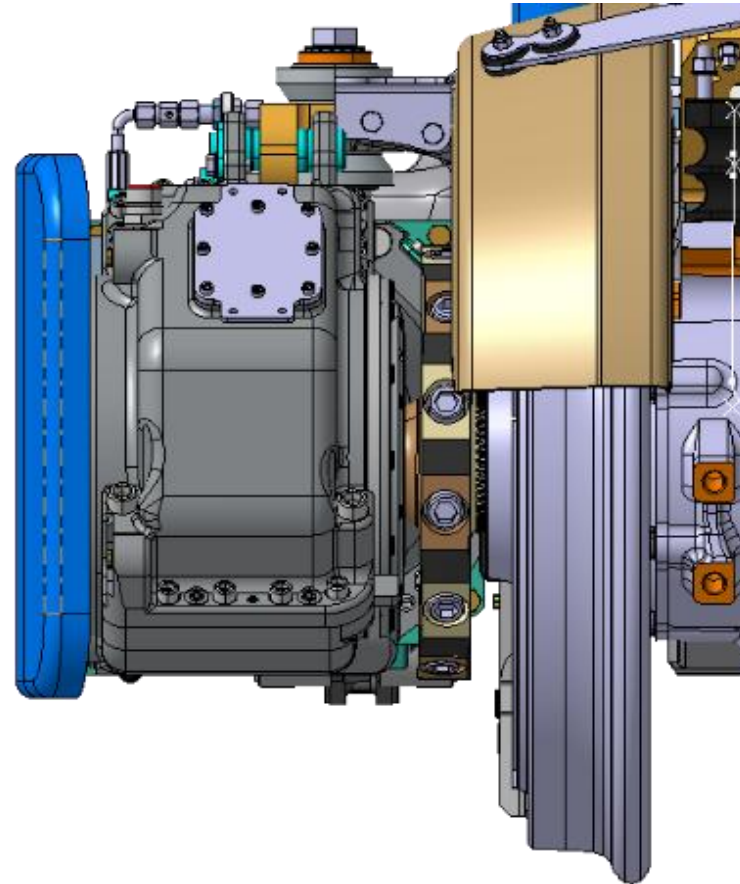
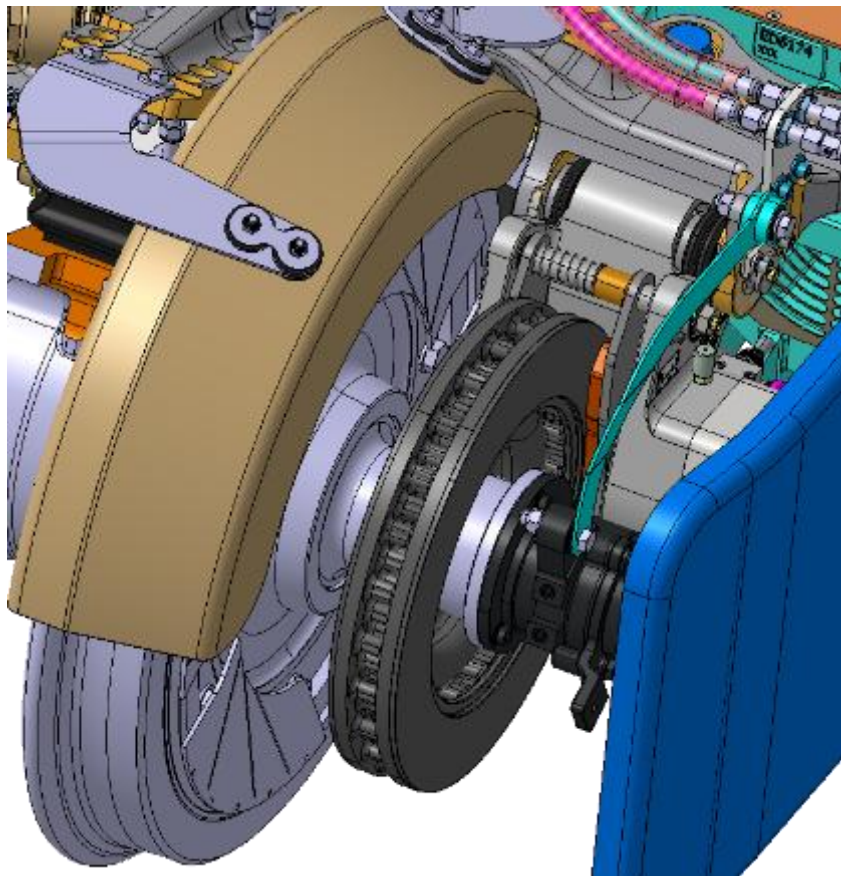
Aplikační možnosti a omezení aktuátoru

- Rozměry aktuátorů
 - LiCAS navržen pro železniční vozidlo
 - V rámci současných konstrukcí podvozků je **velký**



Aplikační možnosti a omezení aktuátoru

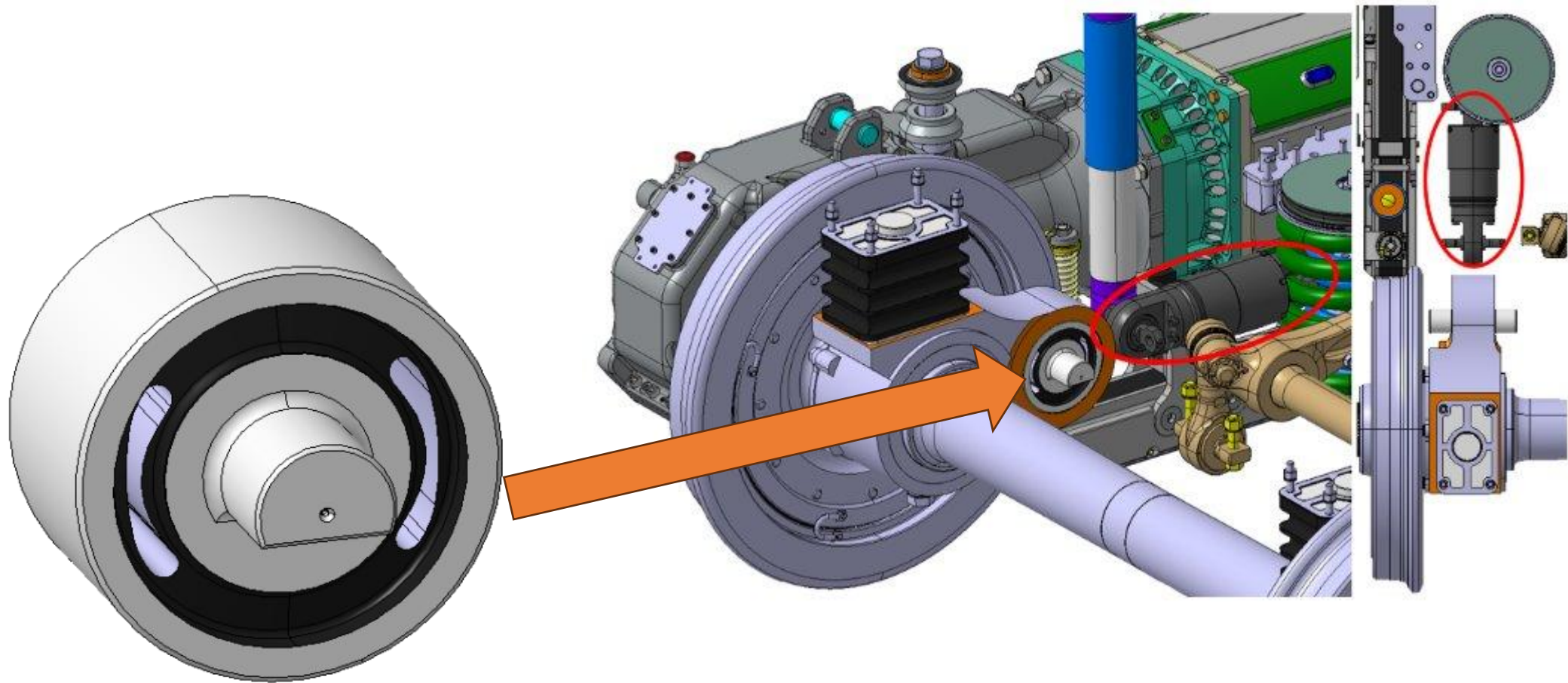
- Funkční potřeby
 - Výsuv aktuátoru ± 15 mm je mimo funkční možnosti některých komponent podvozku (primární pružina, spojky mezi převodovkou a dvojkolím, kotoučová brzda)



Aplikační možnosti a omezení aktuátoru

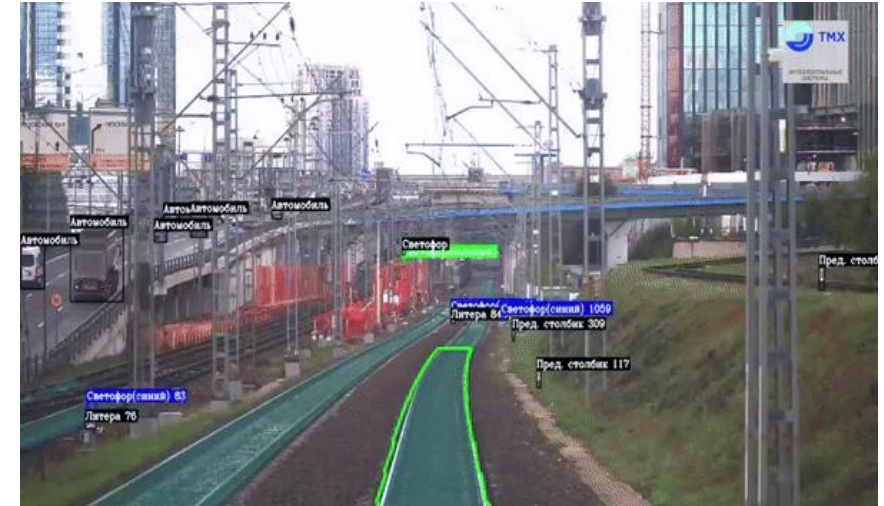
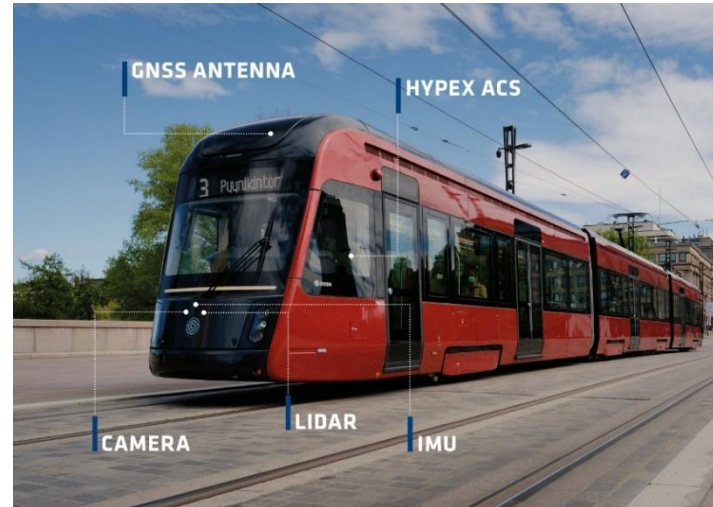
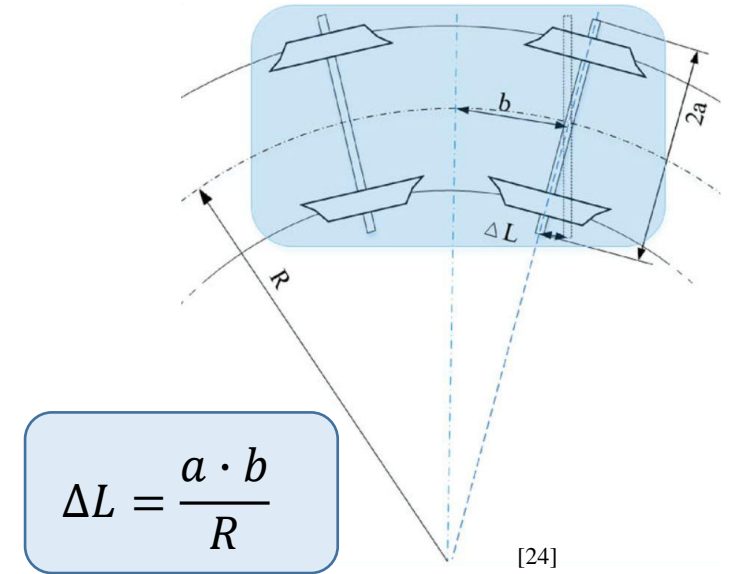
- Funkční potřeby

- Výsuv aktuátoru ± 5 mm zvolen, protože představuje funkční maxima dosažitelná aktuálně vyvinutými a používanými komponentami



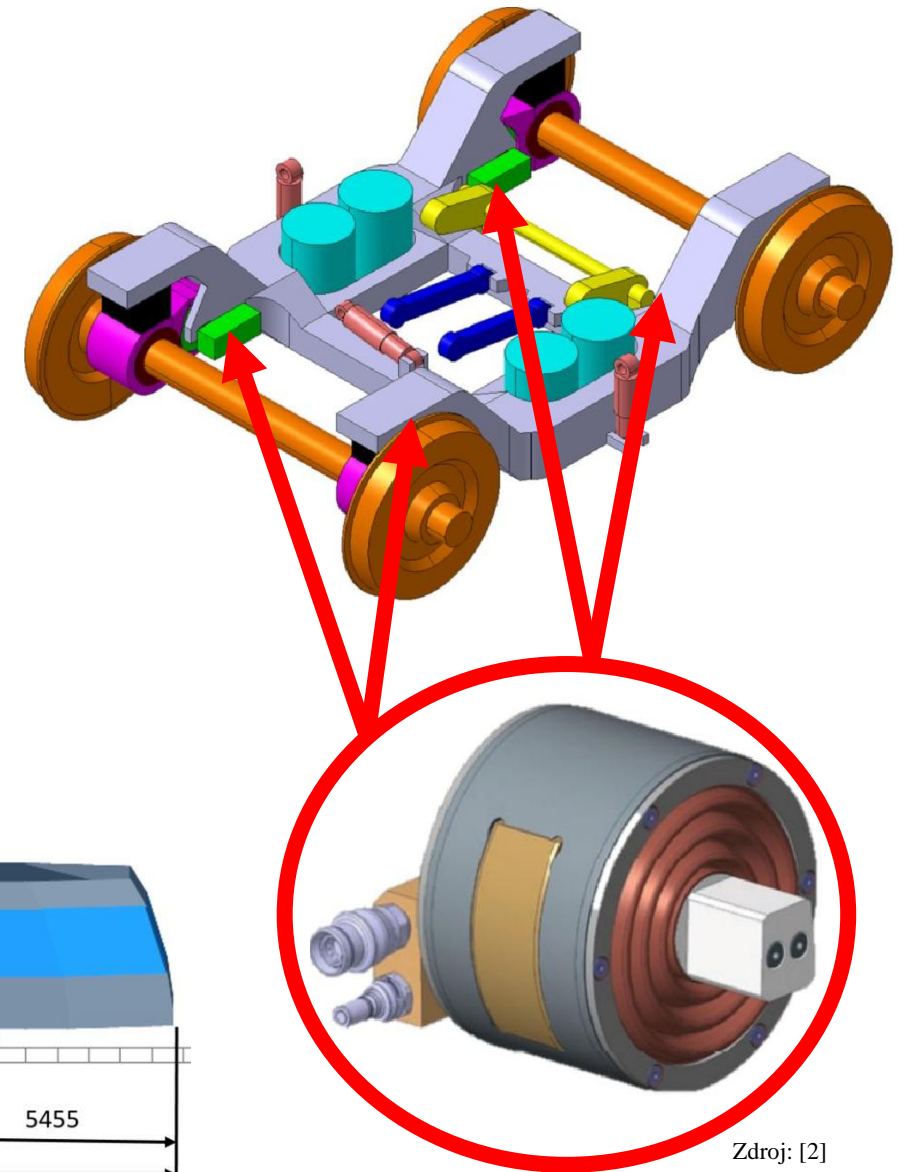
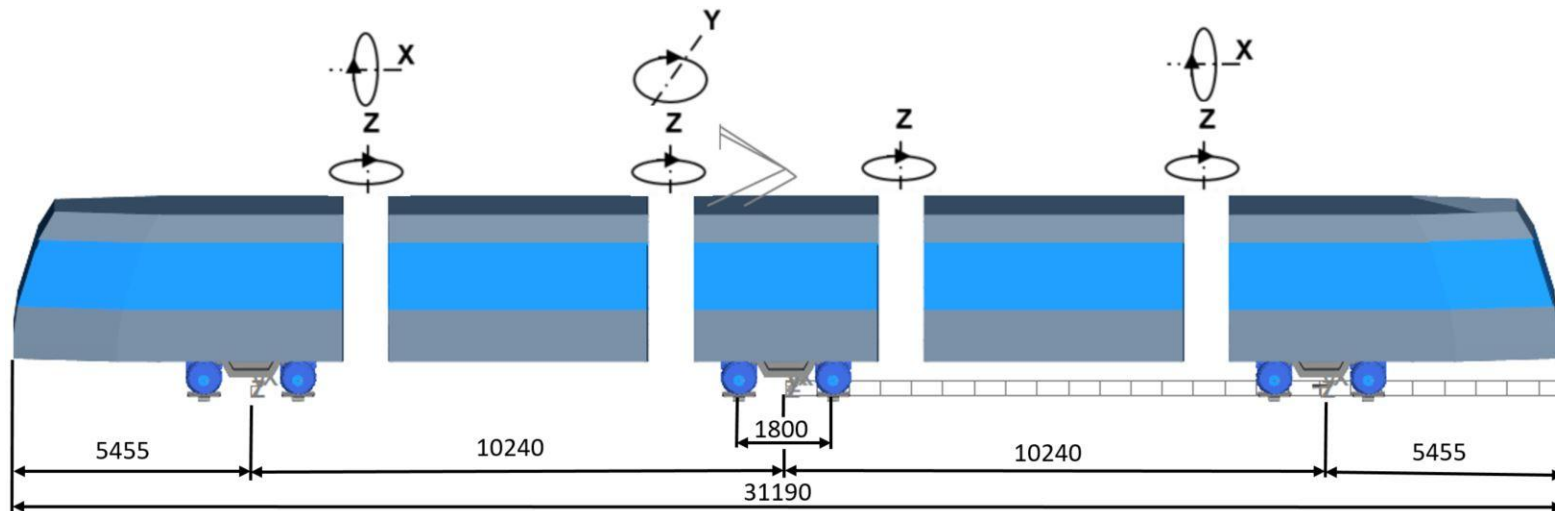
Koncept provozu

- Řízení natáčení dvojkolí probíhá na základě informace o poloměru oblouku získaného z databáze trati na základě polohy vozidla na trati
- Dvojkolí je natáčeno ještě před vjezdem do oblouku
- Pro zajištění bezpečnosti provozu je vstupní veličina ověřována senzorikou na čele vozidla



Vozidlo

- Článeková tramvaj s neotočnými podvozky (koncepte „multigelenk“)
- Dvojkolí je vedeno pomocí kyvného ramena spojeného s rámem podvozku přes „aktivní silentblok“ plnící funkci natáčení dvojkolí
- Řešení je inspirováno řešením aktivního silentbloku Liebherr použitého v systému LiCAS

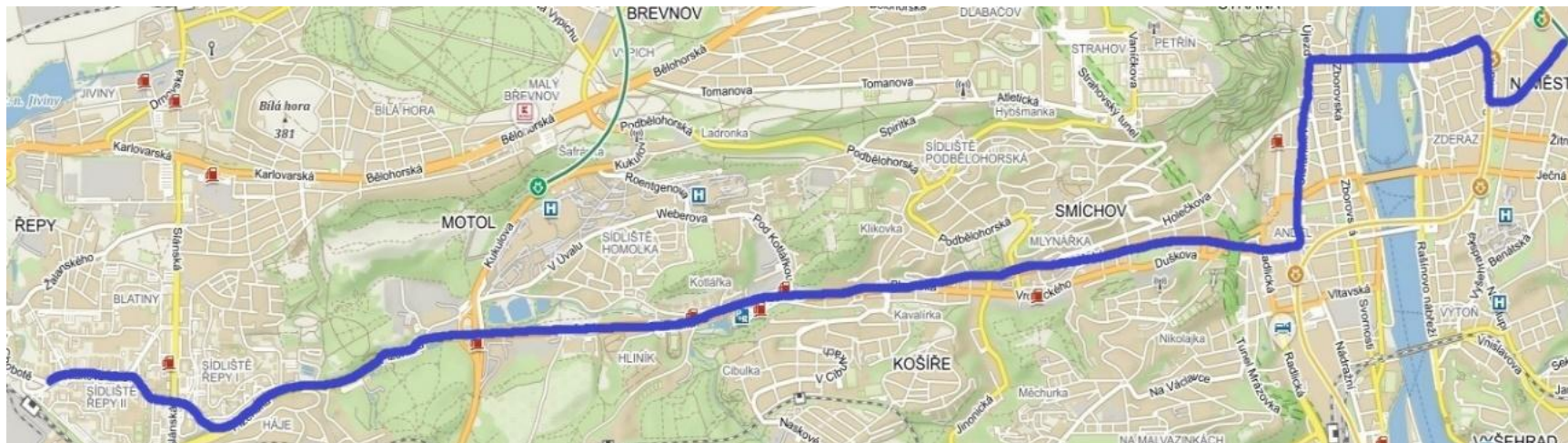


Zdroj: [2]

Trať + výpočtové scénáře

- Václavské náměstí – Národní Divadlo – Újezd – Sídliště Řepy
- Simulace byly prováděny vždy pro 8 různých kombinací okrajových podmínek:
 - Rychlost vozidla 15 km/h a 70 km/hod či $a_n=1 \text{ m/s}^2$
 - Koeficient tření: 0,15 a 0,4
 - Naložení vozidla – prázdné vozidlo a provozně obsazené vozidlo se 4 stojícími cestujícími na m^2

Interval poloměrů [m]	Počet oblouků	Délka oblouků [m]	Délka přechodnic [m]
R20 – R30	4	103	0
R30 – R50	9	67	30
R50 – R80	4	183	53
R80 – R150	8	318	188
R150 – R300	12	798	363
R300 – R600	13	1227	252
R600 – R1000	6	331	92
> R1000	12	590	11
Přímá trať	58	6 035 m	
Celková délka trati		10 641 m	



Zdroj: mapy.cz

MBS výpočty

- Propojení Simpack (MBS výpočty) a Matlab Simulink (řízení aktuátoru)



- Pro vyhodnocení vlivu aktivního vedení dvojkolí použít index opotřebení:

$$W = T_x \cdot v_x + T_y \cdot v_y \quad [N]$$

T_x ... podélná skluzová síla [N]

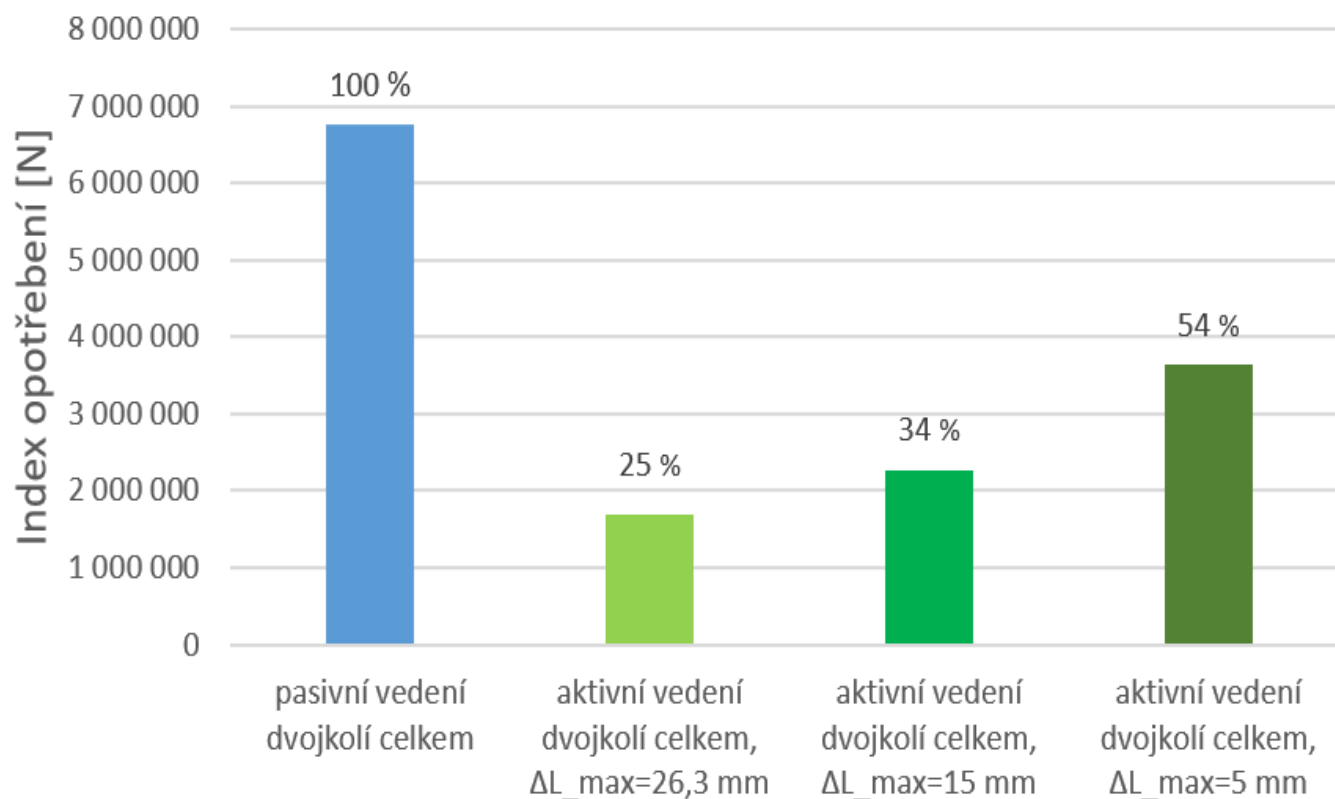
T_y ... příčná skluzová síla [N]

v_x ... podélný poměrný skluz [-]

v_y ... příčný poměrný skluz [-]

Průjezd celou tratí

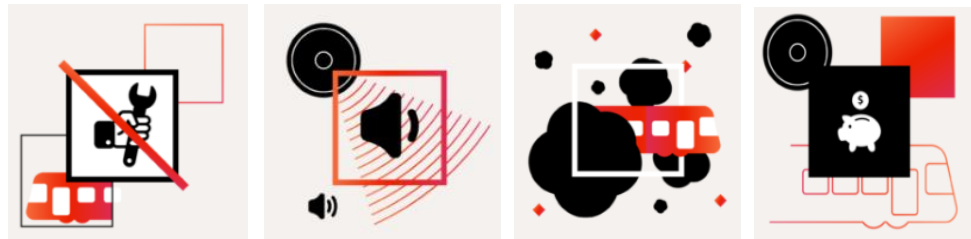
Celkový součet indexu opotřebení při průjezdu tratí za různých okrajových podmínek



- Vždy průměr výsledků z 8 simulací za různých okrajových podmínek
- S aktuálně vyvinutým aktuátorem dosažena úspora 66 %
- S maximálním výsuvem, který umožňuje současná konstrukce podvozků dosaženo snížení indexu opotřebení o 46%

Závěr

- Technologie aktivního silentbloku přináší možnost aplikovat technologii aktivního vedení dvojkolí i do moderních tramvají, pro které je technologie velmi vhodná
- Navržen princip dopředného řízení, který nepřináší další náklady na vybavení vozidla senzorikou a je dostatečně robustní
- Výsledky MBS výpočtů průjezdu článkové moderní tramvaje po reálné trati přinesly výrazné snížení indexu opotřebení či energie disipované v kontaktu kola a kolejnice i při reálně dosažitelném maximálním výsuvu aktuátoru
- Technologie aktivního vedení dvojkolí tak má velký potenciál snížit náklady tramvajové dopravy



- Výzvy k dořešení:
 - Vývoj specifických konstrukčních řešení podvozků, společných uzlů s hrubou stavbou vozidla, aktuátorů pro tramvajové aplikace.

Další práce

- Simulace poruchových stavů aktuátorů a jejich řízení a zhodnocení bezpečnostních rizik
- Validace provedených MBS výpočtů na experimentálním kladkovém stavu ČVUT
- Studie konstrukčních možností umístění aktuátoru do podvozku tramvaje





Odraz moderní železnice ve vzdělávání a výzkumu

28.05.2025

Děkujeme Vám za pozornost

Poděkování: Příspěvek byl vytvořen s finanční podporou Technologické Agentury České republiky, projekt č. TE01020054 "Bozek Vehicle Engineering - National Competence Center".

Ing. Jan Vrba, Ing. Vojtěch Dybala, PhD.



vrba@fs.cvut.cz, vojtech.dybala@fs.cvut.cz

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Fakulta strojní, ČVUT

Technická 4, 160 00 Praha 6, ČR