

Metodika návrhu čela tramvaje pro snížení následků nehod na osobní automobily

Studijní program: Strojní inženýrství
Specializace: Dopravní stroje a zařízení
Akademický rok: 2023/2024
Školitel: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.
Klíčová slova: ČSN EN 15227, kompatibilita vozidel, osobní automobil, nehoda, tramvaj.

Anotace

V posledních letech dochází k velkému nárůstu osobní i hromadné dopravy ve městech. Zvýšení dopravního toku má za následek zvyšující se riziko vzniku dopravních nehod. Na výrobce i provozovatele tramvají jsou kladeny čím dál tím vyšší požadavky na zajištění bezpečnosti vozidel při nehodě.

V současnosti se při návrhu silničních vozidel prosazuje princip tzv. partnerské ochrany, kdy vozidlo svými bezpečnostními prvky nechrání pouze cestující uvnitř vozidla, ale i cestující v kolizním vozidle. Následky nehod tramvají se silničními motorovými vozidly z uplynulých let však jednoznačně naznačují, že je nutné tento princip začít řešit také při nehodách tramvají s osobními auty. Tato disertační práce je věnována problematice následků nehod tramvají s auty a návrhem metodiky konstrukce čel tramvají s ohledem na snížení následků nehod na autech.

Motivace

Každá dopravní nehoda tramvají je velký zásah do plynulosti přepravy cestujících. Následkem nehody dojde k dočasnému lokálnímu ochromení tramvajového systému dokud nedojde k odklizení následků nehod. U nehod se závažnými následky může odklizení trvat 2 až 3 hodiny.

Dopravní nehody jsou nejčastěji způsobeny lidskou chybou. Bohužel v silniční dopravě je často za tyto chyby placeno cenou nejvyšší, a to zdravím nebo životem účastníků nehod. Návrh nových vozidel proto musí být prováděn s vědomím, že lidé dělají chyby a i přes zavedení dokonalejších prvků aktivní bezpečnosti nelze s absolutní jistotou zabránit vzniku dopravních nehod, ale vhodnou konstrukcí vozidel je možné snížit následky vzniklých nehod.



Obr. 1: Kampaň proti nehodovosti tramvají s auty.



Obr. 2: Nehoda tramvaje s autem.



Obr. 3: Následek nehody tramvaje s autem.

Cíle disertační práce

S ohledem na souhrn současného stavu problematiky byly stanoveny tyto cíle disertační práce:

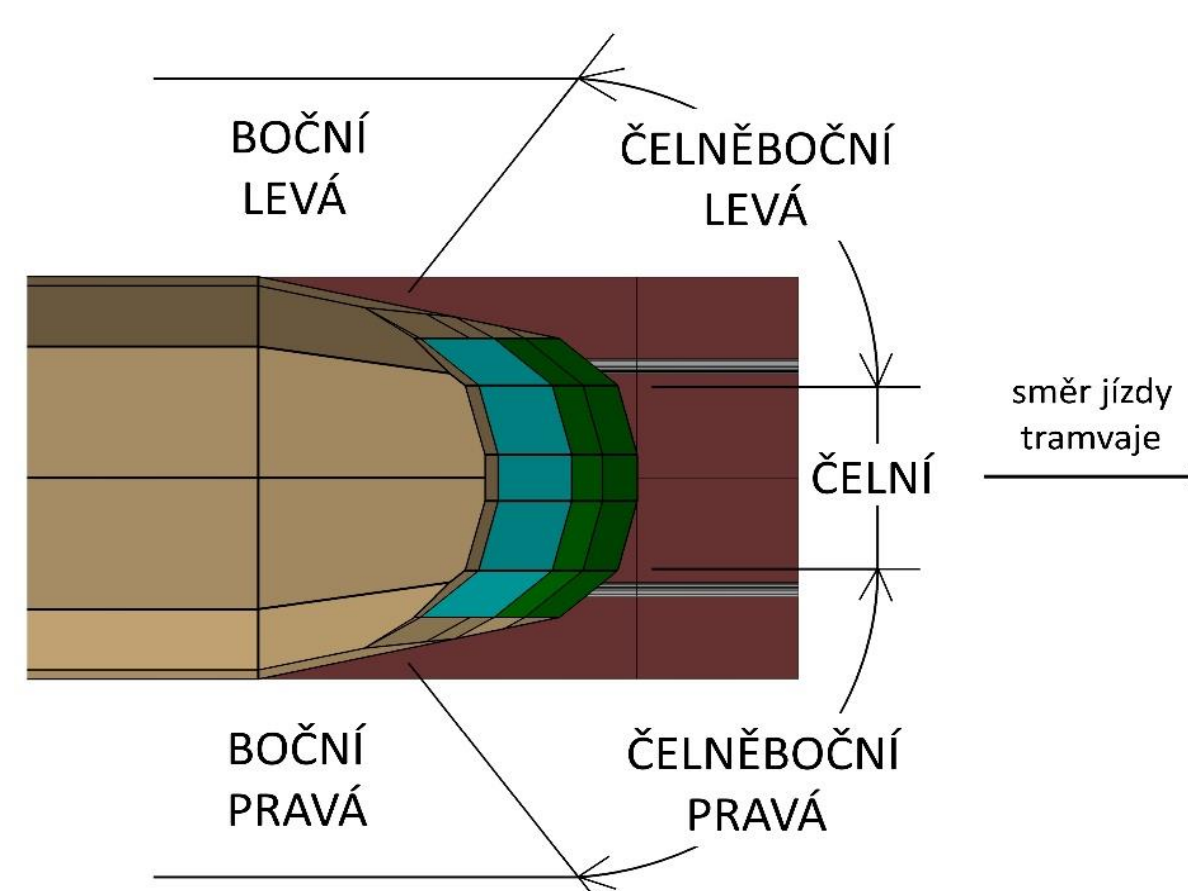
- Analýza statistiky nehodovosti tramvají na území České republiky.
- Definování výpočtového scénáře nehody tramvaje s autem.
- Vytvoření zjednodušených simulačních modelů nehody tramvaje s auty.
- Vytvoření detailního simulačního modelu tramvaje.
- Provedení analýzy vlivu parametrů deformačních prvků tramvaje na následky nehod na autech.

Statistika nehodovosti

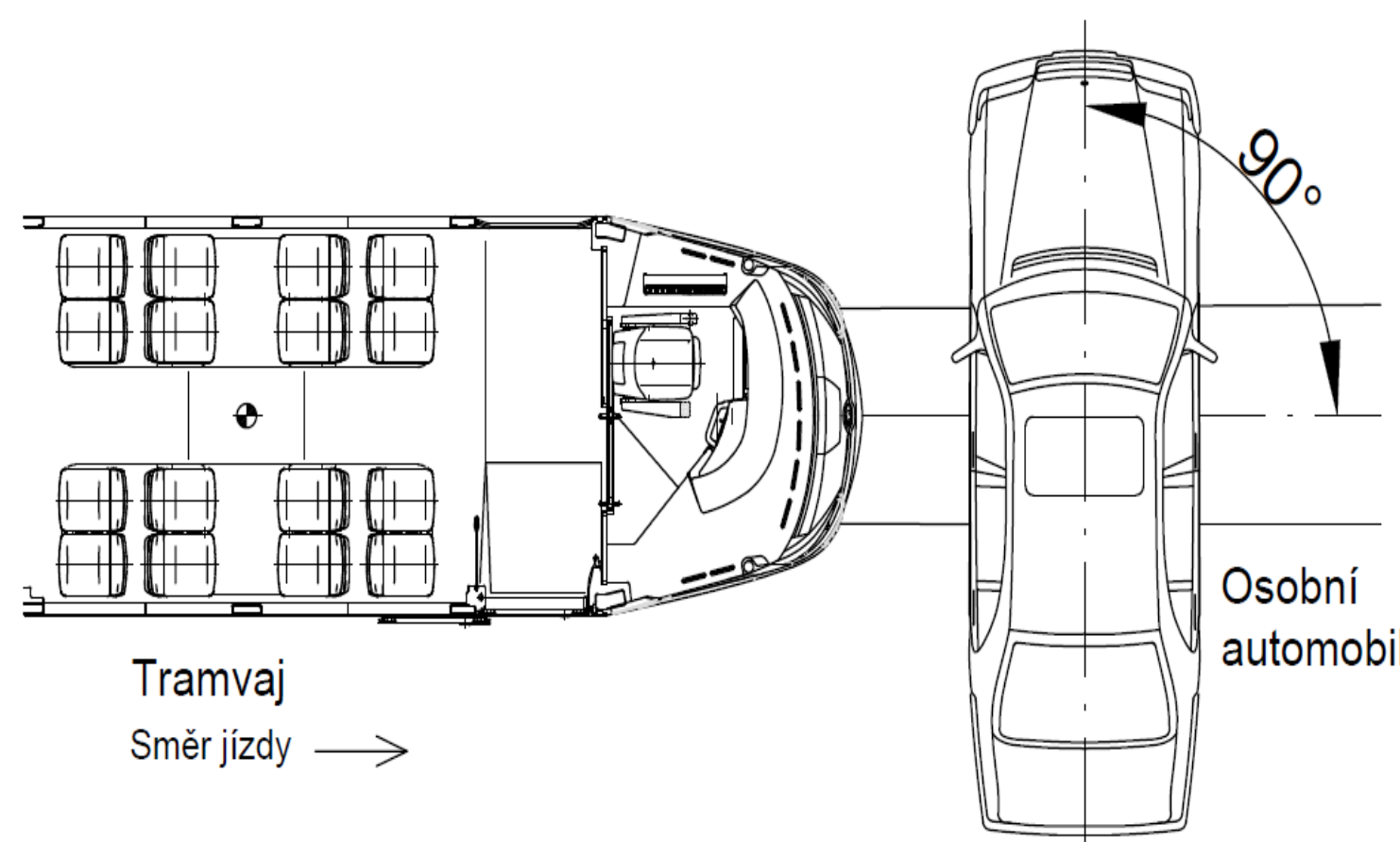
Za zkoumané období 2016 až 2018 bylo na území České republiky celkem zaznamenáno 5 046 nehod tramvají s auty.

Nehody byly vyhodnoceny podle kolizního směru nehody a následků na zdraví cestujících v autech.

Ke zranění cestujících došlo při každé sedmé čelní nehodě. To je vyšší četnost než při nehodách silničních vozidel v Praze. Společnost není ochotna akceptovat závažné následky nehod silničních vozidel. Stejně tak by neměla akceptovat závažné následky nehod tramvají s auty a měla by vynaložit obdobné úsilí pro snížení následků tohoto typu nehod.



Obr. 4: Kolizní směry nehod.

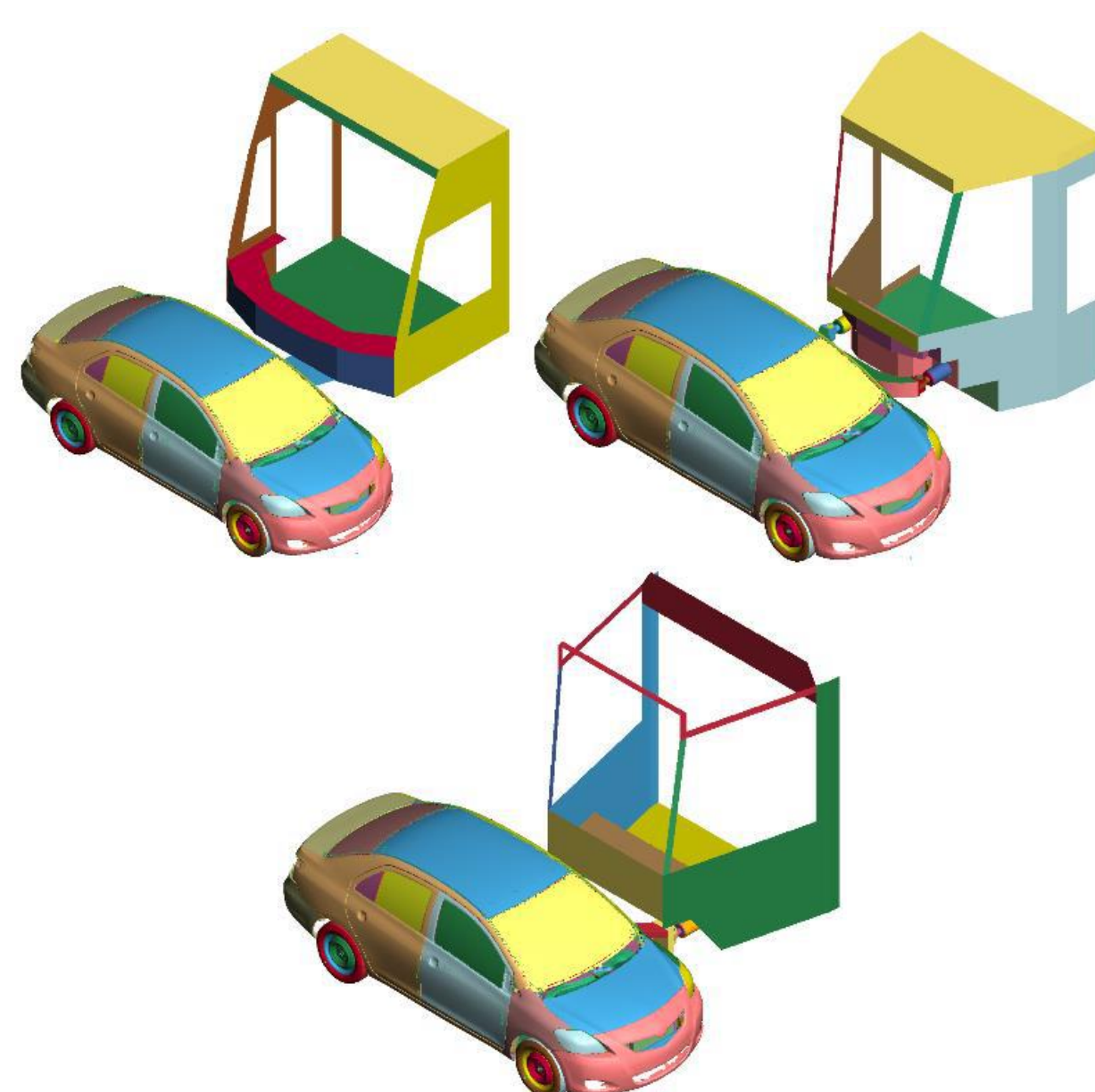


Obr. 5: Schéma výpočtového scénáře nehody.

Výpočtový scénář nehody

Výpočtový scénář nehody byl definován tak, aby reprezentoval čelní náraz tramvaje do dveří auta, které stojí kolmo přes tramvajový pás. Tedy typ nehody, při kterém dochází k nejzávažnějším následkům nehod.

Autu byla definována nulová počáteční rychlost a dovoleny všechny pohyby i rotace.



Obr. 6: Simulační modely tramvají typu A, B a C (zleva doprava).

Výzkum na zjednodušených simulačních modelech

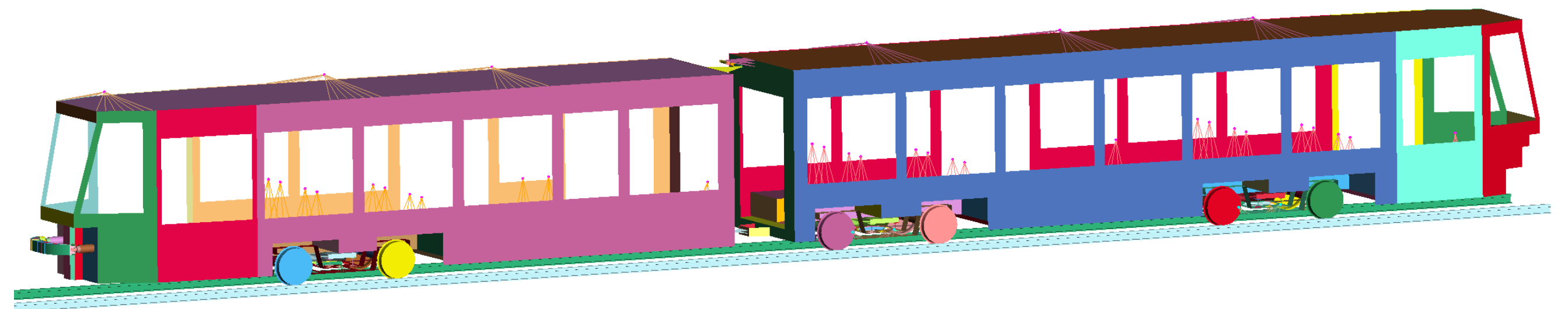
Byly vytvořeny tři simulační modely tramvají provozovaných na území ČR, které mají rozdílnou konstrukci čel podle požadavků normy EN 15227.

Simulační modely byly složeny ze submodelů: tramvaje, auta a řidiče.

Nejhorších výsledků bylo dosaženo u tramvaje typu B. K úmrtí řidiče došlo při rychlosti tramvaje „pouhých“ 25 km/h. Z výsledků byl stanoven závěr, že požadavky normy EN 15227 vedou ke zvýšené ochraně cestujících uvnitř tramvají, ale mohou vést ke zhoršení následků nehod na kolizních vozidlech. Tato skutečnost jde proti smyslu programu Vize 0 a potvrdil nutnost dalšího výzkumu snížení následků nehod tramvají s auty.

Vytvoření detailního simulačního modelu

V rámci dalšího výzkumu byl vytvořen komplexní simulační model tramvaje typu B, který byl vytvořen s ohledem na co největší přesnost reálné tramvaje. Model byl složen ze submodelů: článků, elektrické výstroje, podvozků a cestujících. Jednotlivé submodely byly mezi sebou propojeny silovými prvky, aby byla co nejméně reprezentována konstrukce a pohyby tramvaje při nehodě.

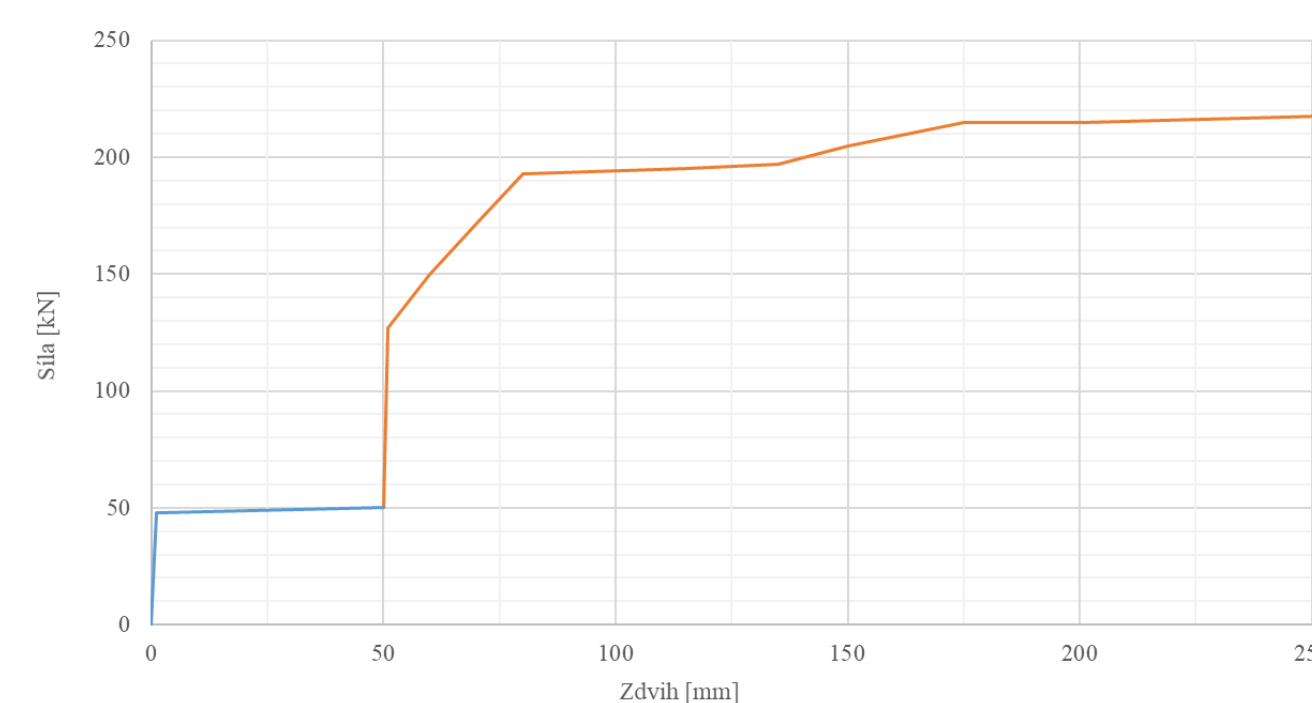


Obr. 7: Simulační model tramvaje typu B.

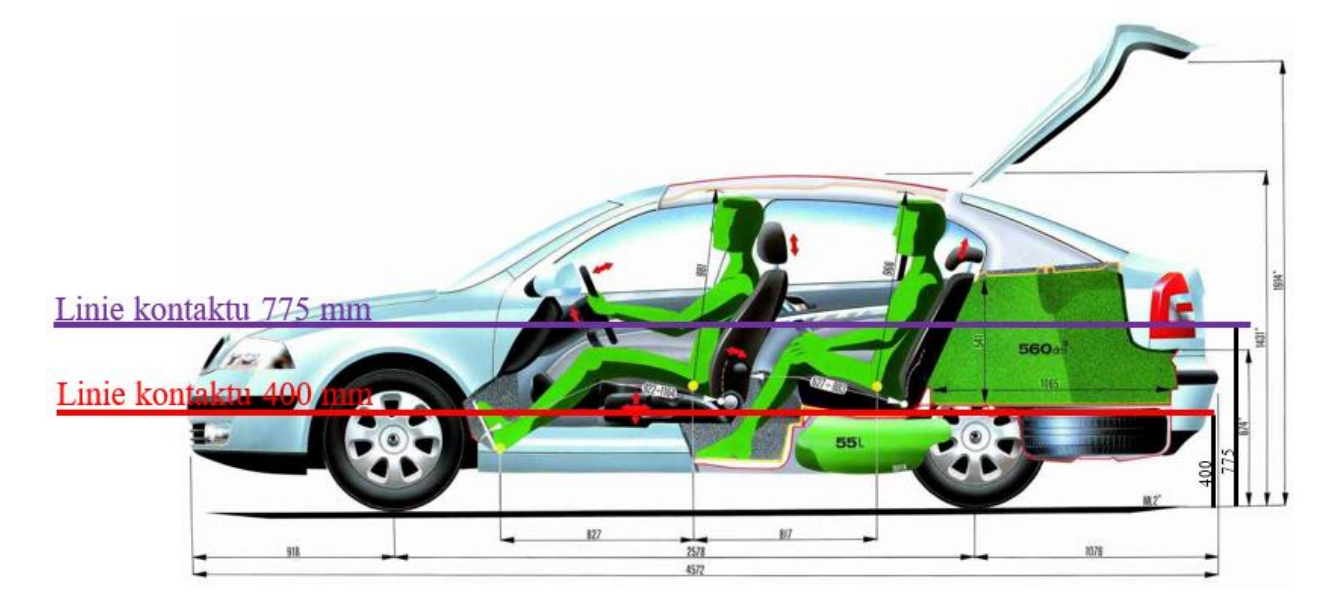
Analýza vlivu parametrů deformačních prvků na následky nehod na autech

V rámci výzkumu byly celkem porovnány vlivy čtyř parametrů deformačních prvků na následky nehod tramvají s auty, a to: výšková poloha, tuhost, šířka a výška kontaktní plochy. Vliv jednotlivých parametrů byly vyhodnocovány podle biomechanického kritéria člověka 3 ms. Výsledky byly porovnány vůči původní konstrukci tramvaje typu B.

- Výšková poloha: umístěním deformačních prvků do výšky 400 mm nad TK došlo ke zmenšení hodnoty biomechanického kritéria o 60%.
- Tuhost: změkčením počáteční části charakteristiky na tuhost 37,5 kN/mm až 50 kN/mm došlo ke zmenšení hodnoty biomechanického kritéria o 25%.
- Šířka kontaktní plochy: při šířce kontaktní plochy nad 800 mm došlo ke zmenšení hodnoty biomechanického kritéria o 40%.
- Výška kontaktní plochy: změna výšky kontaktní plochy neměla na následky nehod vliv.



Obr. 8: Analyzovaná zatěžující charakteristika deformačních prvků. (oranžová – původní, modrá – změkčená část)



Obr. 9: Výšková pozice kontaktního bodu.

Pro možnost posouzení ovlivnění jednotlivých parametrů mezi sebou byly v rámci dalšího výzkumu definovány tři různé kombinace analyzovaných úprav. Všechny tři uvažované kombinace dosáhly prakticky stejných výsledků. K překročení limitních hodnot biomechanického kritéria člověka došlo až při rychlosti 40 km/h (nárůst o 15 km/h oproti původní konstrukci tramvaje typu B).

Pro aplikaci do praxe a pro další výzkum je nevhodnější kombinace parametrů 1, jelikož její aplikace bude mít nejmenší vliv na nárůst ceny a hmotnosti nově konstruovaných tramvají.

Tab. 1: Uvažované kombinace parametrů.

Parametr	Tuhost deformačních prvků [kN/mm]	Výšková poloha [mm]	Šířka kontaktní plochy [mm]
Kombinace 0	125,0	775	300
Kombinace 1	125,0	400	300
Kombinace 2	125,0	400	1 000
Kombinace 3	50,0	400	300

Tab. 2: Vyhodnocení uvažovaných kombinací.

Rychlost tramvaje [km/h]	Kombinace 0	Kombinace 1	Kombinace 2	Kombinace 3
25	108,6/6,1	49,3/0,0	47,5/0,0	41,5/0,0
30	-	64,8/0,0	62,7/0,0	59,3/0,0
35	-	77,9/1,5	77,3/1,5	71,9/0,0
40	-	95,1/4,1	94,8/3,9	91,1/3,8

Závěr

Veškeré stanovené cíle disertační práce byly splněny.

Výzkum jednoznačně prokázal, že optimalizací parametrů deformačních prvků tramvají lze výrazně ovlivnit následky nehod tramvají s auty a tím snížit riziko vzniku zranění cestujících v autech.

Optimalizací čela tramvaje došlo k nárůstu kritické rychlosti nárazu tramvaje do auta, při které hrozí závažné zranění řidiče v autě, z 25 km/h na 40 km/h.

Výzkum byl čistě teoretické povahy. V rámci dalšího výzkumu bude nutné provést ověření výsledků pomocí reálného testu.

Vybrané publikace autora

- Vojtěch Zelený; Jakub Seidl. *Vliv statistiky nehodovosti na konstrukční prvky čel tramvajových a železničních vozidel*. XXIV. Mezinárodní konference: Súčasný problémy v kol'ajových vozidlech, s. 339-348, ISBN 978-80-89276-59-2, VTS při ŽU, Žilina, Slovenská republika, 2019.
- Jakub Seidl. *Nehodovost tramvají s osobními automobily v Praze za roky 2016 až 2018*. XIII. ročník odborné konference doktorského studia, s. 60-65, ISBN 978-80-214-5963-2, Ústav soudního inženýrství VUT, Brno, Česká republika, 2021.
- Jakub Seidl; Josef Kocourek, Roman Vávra. *Identifikování míst častých dopravních nehod tramvají v Praze*. Časopis Silniční obzor, číslo 6-7, s. 168-173, ISSN 0322-7154, Praha, Česká republika, 2021.
- Jakub Seidl. *Výzkum snížení následků nehod tramvají s auty*. XXVI. Mezinárodní konference: Súčasný problémy v kol'ajových vozidlech, s. 235-242, ISBN 978-80-89276-61-5, VTS při ŽU, Žilina, Slovenská republika, 2023.
- Jakub Seidl. *Analýza parametrů deformačních prvků tramvají na následky nehod s auty*. Sborník studentské konference ŽELVA 2023, ISBN 978-80-01-07244-8. Fakulta stavební ČVUT, Praha, Česká republika, 2023.