



Druh dokumentu

Certifikovaná metodika

Číslo vydání

1

Číslo

14-F 06

Ze dne

2014-07-21

Strana

1 z 9

Název

Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou**Obsah**

	Strana
1 Úvod	2
2 Cíl metodiky.....	3
3 Pojmy a zkratky.....	3
4 Popis metodiky.....	3
4.1 Jízdní simulace.....	3
4.1.1 Vstupní údaje.....	3
4.1.2 Validace výpočtového modelu.....	4
4.1.3 Provedení simulačního výpočtu.....	4
4.1.4 Výstup simulačního výpočtu.....	5
4.2 Zjištění geometrické obálky poloh vozidla.....	5
4.2.1 Přímá trať a oblouky stálého poloměru.....	5
4.2.2 Zvláštní traťové situace.....	6
4.3 Porovnání výsledků s obrysem pro vozidla, resp. s průjezdnými průřezy tratí.....	8
5 Srovnání novosti postupů proti původní metodice.....	8
6 Popis uplatnění certifikované metodiky.....	9
7 Ekonomické aspekty.....	9
8 Seznam použité související literatury.....	9
9 Seznam publikací, které předcházely metodice.....	9
10 Jména oponentů.....	9

Činnost	Titul, jméno a příjmení	Útvar	Datum	Podpis
Vypracoval	Ing. Miloš Zelingr	2200	2014-07-21	
Uvolnil	Ing. Miroslav Bakeš	1010	2014-07-21	
Schválil	Ing. Stanislav Švéd	2000	2014-07-21	
Rozdělovník	Ministerstvo dopravy, VÚKV a.s., oponenti			



Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
Číslo	14-F 06	Ze dne	2014-07-21
Název	Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou	Strana	2 z 9

1 Úvod

Jedním ze základních úkolů při návrhu nového tramvajového vozidla je stanovení jeho vnějších rozměrů. Aby se vyloučila kolize jakékoli části vozidla s infrastrukturou nebo navzájem s druhým vozidlem, je třeba respektovat pravidla pro stanovení vnějších rozměrů vozidla, platná u daného provozovatele, resp. v dané infrastruktuře.

Mezní hranice pro rozměry příčného řezu vozidlem se nazývá „obrys pro vozidla“.

Postup výpočtu obrysu tramvajových vozidel se u různých provozovatelů liší, v České republice tento postup popisuje norma ČSN 28 0337 – Obrysy pro tramvajová vozidla (z ní terminologicky vychází tato metodika). Výpočtové vztahy, které jsou v normě ČSN 28 0337 uvedeny, lze aplikovat na čtyřnápravová tramvajová vozidla s jednoduchou skříní, nebo na články takových článkových vozidel, které mají dva otočné podvozky. U tramvajových vozidel jiných koncepcí nelze výpočtové vztahy uvedené v této normě použít a je nutné je stanovit zvlášť pro každé konkrétní vozidlo.

Obecně jsou výpočty obrysu (tzn. výpočty vybočení vozidel z jeho ideální polohy v ose koleje a srovnání tohoto vybočení se stanoveným obrysem pro vozidla) prováděny jednou z následujících metod:

Výpočet statickou metodou:

Jedná se o metodu, která při výpočtu vybočení vozidla respektuje pouze statické svislé výchylky a příčné posuvy rovnoběžné s rovinou TK. Takto vypočtené vybočení je porovnáváno s obrysem pro vozidla. Dále se předpokládá, že dynamické výchylky vozidla nebudou větší než je rozdíl mezi obrysem pro vozidlo a průjezdným průřezem tramvajové trati (tj. hranicí, do které nemohou zasahovat stavby v okolí trati).

Výpočet kinematickou metodou:

Metoda, která při výpočtu vybočení respektuje ve svislém směru statické i dynamické výchylky a v příčném směru zahrnuje posuvy rovnoběžné s rovinou TK i vliv kvazistatického naklonění skříně vozidla a rámu podvozku. Tyto posuvy a náklon se započítávají v určité smluvně dané velikosti. Stanovený průjezdný průřez trati musí mít i v tomto případě rezervu vůči stanovenému obrysu pro vozidla.

Výpočet dynamickou metodou:

Metoda je založena na výpočtu obálky vozidla definující maximální prostor, který vozidlo zaujímá. Dynamická metoda se uplatňuje ve dvou variantách, a to jako absolutní nebo porovnávací.

V případě uplatnění absolutní metody musí obálka poloh vozidla zůstat uvnitř vztažného dynamického obrysu na tratích, kde bude vozidlo provozováno.

V případě uplatnění porovnávací metody se obálka poloh ověřovaného vozidla porovnává s obálkou poloh vozidla referenčního. Obálka poloh ověřovaného vozidla musí zůstat uvnitř obálky poloh vozidla referenčního.

Výpočet obálky poloh vozidla musí být proveden pomocí jízdní simulace.

Dynamická metoda potom dává nejreálnější hodnoty vybočení vozidla a eliminuje nutnost provádět kontrolu i pro provozně nelogické polohy vozidla (např. pro vozidlo přimknuté k vnitřnímu kolejnicovému pásu v oblouku). Při použití reálného geometrického vedení trati použité v simulačním výpočtu se minimalizuje nutnost připočítávání větší rezervy maximálního vybočení vozidla od průjezdného průřezu trati.

Tato metodika je výstupem řešení projektu TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“.

2 Cíl metodiky

Tato metodika má za cíl stanovit postup při kontrole obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou při využití simulačního výpočtu jízdních vlastností vozidel a konstrukčního 3D CAD softwaru.

Metodika stanoví základní postup kontroly obrysu, vstupy a výstupy výpočtů, resp. simulací, a podmínky nutné pro dosažení reálných výsledků.

3 Pojmy a zkratky

Pojmy:

Jsou vysvětleny dále v textu této zkušební metodiky.

Zkratky:

EN	evropská norma
TK	temeno kolejnice
CAD	Computer aided design – počítačové projektování, počítačem podporované navrhování
3D	trojrozměrný, prostorový
MBS	Multi body system
GPK	geometrické parametry koleje

4 Popis metodiky

Kontrola obrysu tramvajového vozidla podle této metodiky sestává ze tří kroků:

1. Jízdní simulace provedená v softwaru MBS.
2. Zjištění geometrické obálky poloh vozidla na základě výsledků jízdní simulace a jeho skutečných rozměrů ve 3D CAD softwaru.
3. Porovnání výsledků s obrysem pro vozidla, resp. s průjezdnými průřezy tratí.

4.1 Jízdní simulace

Pro zjištění skutečného dynamického chování vozidla v koleji se provede jízdní simulace v softwaru MBS. Pro potřeby výpočtové simulace musí být vytvořen model vozidla a model referenční tratě.

4.1.1 Vstupní údaje

Pro vytvoření modelu vozidla jsou nezbytné tyto údaje o vozidle – dodá výrobce vozidla, případně projekční firma:

- uspořádání a hlavní rozměry vozidla,
- údaje o hmotnosti jednotlivých částí vozidla:
 - hmotnosti, polohy těžiště a momenty setrvačnosti kolem jednotlivých os skříně (skříní) vozidla při různém stupni obsazení,
 - hmotnosti, polohy těžiště a momenty setrvačnosti kolem jednotlivých os neodpružených hmot podvozků,
 - hmotnosti, polohy těžiště a momenty setrvačnosti kolem jednotlivých os jednou odpružených hmot podvozků,
 - hmotnosti, polohy těžiště a momenty setrvačnosti kolem jednotlivých os dvakrát odpružených hmot podvozků,
- tuhosti a hodnoty tlumení v prvním stupni vypružení,

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	14-F 06	Ze dne	2014-07-21
	Název	Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou	Strana	4 z 9

- tuhosti a hodnoty tlumení ve druhém stupni vypružení,
- velikost rotujících hmot,
- rozchod dvojkolí a jeho tolerance,
- jízdní profil kol a jeho mezní rozměry.

Pro vytvoření modelu tratě jsou nezbytné tyto údaje o trati – dodá provozovatel vozidla:

- rozchod koleje (přímá trať, oblouky, křížení) a jeho odchylky (u nové trati, za provozu),
- sklonové a směrové poměry v kolejové síti (poloměry oblouků a jejich kombinace, převýšení, parametry přechodnic a vzestupnic, spády a stoupání, poloměry zaoblení lomů sklonu),
- údaje o reálných geometrických parametrech koleje (GPK) tzn. reálné vedení kolejnicových pásů, ze kterého jsou patrné výškové a směrové geometrické odchylky od projektované polohy koleje – dále uváděno jako „referenční trať“); tyto údaje dodá provozovatel pro přímou trať i pro oblouk (oblouky), případně pro různé druhy kolejového svršku – délka traťového úseku, pro který bude předána reálná geometrická podoba koleje, bude určena po dohodě s provozovatelem jako minimálně „x“ násobek vzdálenosti prvního a posledního dvojkolí (páru kol) kontrolovaného vozidla.

Pro provedení simulačních výpočtů jsou nezbytné tyto údaje o provozních podmínkách – dodá provozovatel:

- výpočtové provozní rychlosti pro různé traťové úseky (přímá trať, oblouky různých poloměrů, křížení),
- případně další závažné provozní podmínky.

4.1.2 Validace výpočtového modelu

Výpočtový model musí být před použitím k výpočtům obálky poloh vozidla validován.

4.1.3 Provedení simulačního výpočtu

Simulační výpočet bude po dohodě s provozovatelem proveden pro referenční trať, která musí obsahovat minimálně následující prvky, resp. provozní stavy:

- přímá trať,
- oblouky různých poloměrů,
- zvláštní traťové situace, zejména:
 - vjezd vozidla do směrového oblouku (s přechodnicí nebo bez přechodnice),
 - kombinace směrových oblouků – oblouky stejného směru o různých poloměrech, protisměrné oblouky s vloženým přímým úsekem nebo bez vloženého přímého úseku,
 - průjezd zaoblením lomu sklonu, případně v kombinaci se směrovým obloukem,
- místa na trati zvláštní nikoliv z pohledu vedení trati, ale např. kvůli stavbám v okolí trati, zasahujícím do průjezdného průřezu (např. u tratí vedených historickou zástavbou, kde nelze dodržet platný průjezdný průřez).

Pro simulace jízdy v přímé trati a v oblouku (v obloucích) bude použita geometrická podoba referenční tratě, případně s rozchodem koleje zvětšeným na největší přípustnou hodnotu.

Při simulaci průjezdů zvláštními traťovými situacemi bude po dohodě s provozovatelem proveden simulační výpočet pro několik výpočtových situací, kdy bude zvláštní traťová situace (např. rozhraní přímá trať – oblouk) umístěna do různých míst vzorové tratě tak, aby se např. výrazná směrová nebo výšková nerovnost koleje ocitla na různých místech vůči sledované zvláštní traťové situaci.

Dále mohou být po dohodě s provozovatelem simulační výpočty provedeny pro různé provozní podmínky (různé obsazení vozidla, maximální provozní rychlost, běžná provozní rychlost atd.).

4.1.4 Výstup simulačního výpočtu

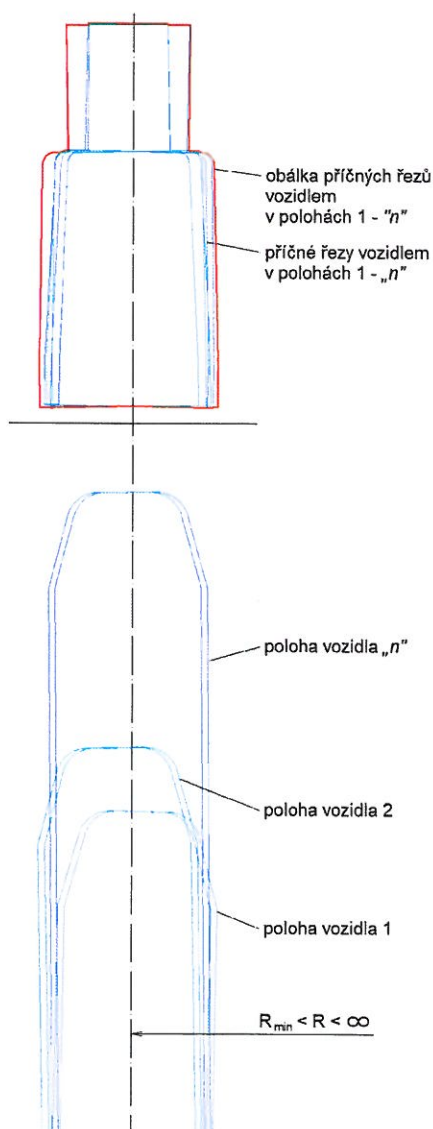
Výstupem simulačního výpočtu jsou údaje o geometrické poloze jednotlivých skříní vozidla vůči ose koleje - poloha těžiště jednotlivých skříní v osách x, y, z a natočení skříní kolem těchto os. Tyto výsledky jsou následně načteny do 3D CAD softwaru.

4.2 Zjištění geometrické obálky poloh vozidla

Údaje o geometrické poloze jednotlivých skříní vozidla vůči ose koleje jsou načteny do 3D CAD softwaru, kde je pomocí zpracování těchto dat určena geometrická poloha jednotlivých článků skříně vozidla i podvozků vůči ose koleje.

4.2.1 Přímá trať a oblouky stálého poloměru

Polohy vozidla vůči ose koleje jsou v případě jízdy v přímé trati nebo ve směrovém oblouku zaznamenány v četnosti odsouhlasené s provozovatelem (např. vždy po ujetí 1 m dráhy) po celé délce zvoleného traťového úseku. Z takto zjištěných poloh vozidla (obecně se jedná o „n“ kontrolovaných poloh vozidla) jsou sestaveny obálky příčných řezů vozidlem (tzn. sjednocení všech příčných řezů) pro přímou trať a jednotlivé kontrolované poloměry směrových oblouků (obr. 1).



Obr. 1 Vytvoření obálek příčných řezů vozidlem v přímé trati a v oblouku

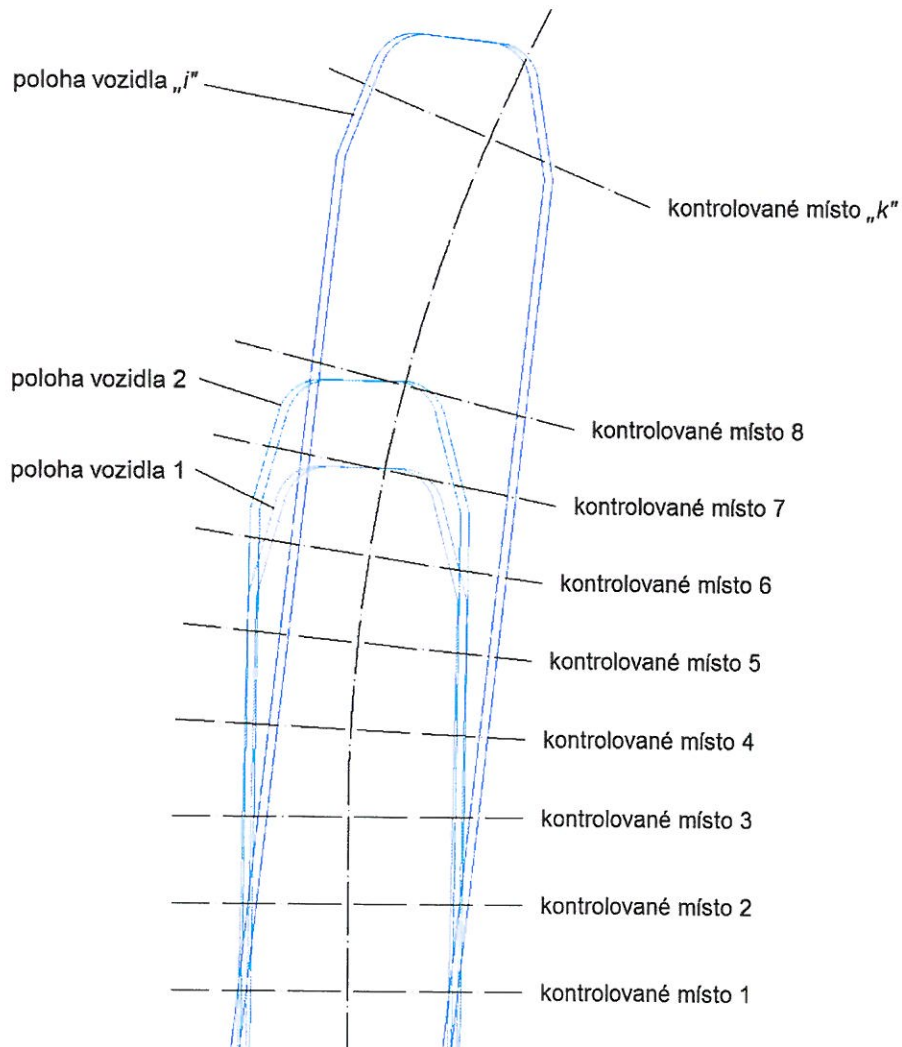
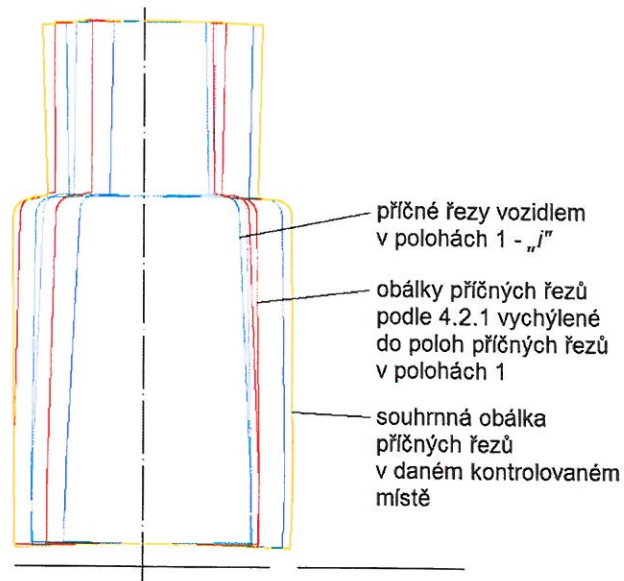
	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	14-F 06	Ze dne	2014-07-21
	Název	Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou	Strana	6 z 9

4.2.2 Zvláštní traťové situace

Pro zvláštní traťové situace jsou obálky vozidla pro jednotlivá místa trati (opět v kroku odsouhlaseném s provozovatelem) stanoveny sjednocením jeho příčných řezů v těchto místech, a to následujícím způsobem (obr. 2):

1. pro polohy vozidla 1 až „i“ se stanoví polohy jeho příčných řezů v jednotlivých kontrolovaných místech 1 až „k“ pro průjezd po ideální koleji (toto postihne pouze čistý vliv trasování koleje – vliv oblouku, převýšení apod.),
2. obálka příčných řezů zjištěná podle odstavce 4.2.1 pro příslušný poloměr oblouku nebo přímou trať se pro každé kontrolované místo 1 až „k“ vychýlí do všech poloh příčných řezů vozidla 1 až „i“,
3. sjednocením 1 až „i“ obálek příčných řezů v kontrolovaných místech 1 až „k“ vzniknou souhrnné obálky příčných řezů pro jednotlivá kontrolovaná místa.

pro každé kontrované místo



Obr. 2 Vytvoření souhrnných obálek vozidla ve zvláštních traťových situacích

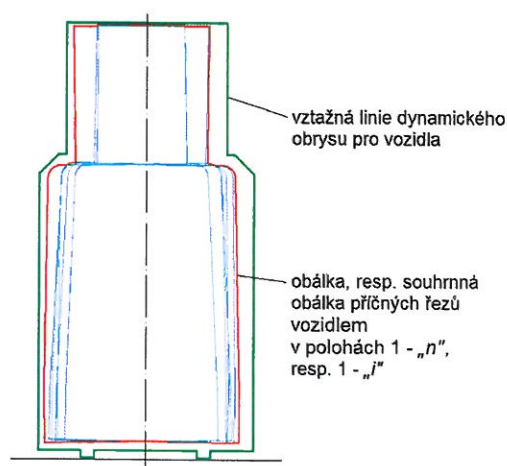
Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
Číslo	14-F 06	Ze dne	2014-07-21
Název	Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou	Strana	8 z 9

4.3 Porovnání výsledků s obrysem pro vozidla, resp. s průjezdnými průřezy tratí

Obálky příčných řezů vozidlem, vytvořené podle odst. 4.2.1, jsou následně porovnány se stanoveným obrysem pro vozidla, příp. s průjezdným průřezem trati.

Pro zvláštní traťové situace jsou souhrnné obálky vozidla zjištěné podle bodu 4.2.2 pro jednotlivá kontrolovaná místa trati srovnávány se stanoveným obrysem pro vozidla, příp. s průjezdným průřezem trati v daném místě.

Jestliže má provozovatel vozidla stanovený dynamický obrys pro vozidla, provede se kontrola - srovnání zjištěného vybočení vozidla (tzn. obálek příčných řezů) se vztažnou linií příslušného dynamického obrysu pro přímou trať a jednotlivé kontrolované poloměry směrových oblouků. Totéž se provede ve zvláštních traťových situacích pro jednotlivá konkrétní místa tratě – zde se srovná obálka příčných řezů a vztažná linie dynamického obrysu pro vozidla v jednotlivých místech trati.




Obr. 3 Porovnání obálek příčných řezů vozidlem s obrysem pro vozidla

Jestliže provozovatel má stanovený (obdobně jako to stanoví platné české normy ČSN 28 0337 a ČSN 28 0318) pouze statický obrys pro vozidla a průjezdný průřez tratě, je nutné stanovit mezní dynamický obrys po dohodě s provozovatelem na základě těchto nebo obdobných norem.

5 Srovnání novosti postupů proti původní metodice

Proti původní metodice kontroly obrysu tramvajových vozidel, používané v souladu s normou ČSN 28 0337, je v této metodice použitý simulační výpočet pro zjištění reálných dynamických výchylek vozidla z jeho jmenovité (osové) polohy v koleji, a to při simulaci jízdy na referenční trati stanovené provozovatelem vozidla nebo po dohodě s ním. Výsledkem jsou potom vypočtené dynamické polohy vozidla vůči koleji, které je potom nutné srovnat se vztažnou linií dynamického obrysu pro vozidla, kterou v současnosti v České republice může být statický obrys pro vozidla podle ČSN 28 0337 nebo průjezdný průřez tramvajové trati podle ČSN 28 0318. Výpočet není omezen na vozidla určité koncepce, ale je použitelný univerzálně.

Metodika podle ČSN 28 0337 hledá pouze maximálně nepříznivé statické polohy vozidla vůči koleji (a z pohledu reálného provozu i polohy nelogické – např. jízda obloukem se všemi koly přimknutými k vnitřnímu kolejnicovému pasu) a srovnává je se statickým obrysem pro vozidla. Výsledky kontroly obrysu podle ČSN 28 0337 potom vykazují nevyrovnanou míru věrohodnosti – například hodnoty vnitřního vybočení v oblouku jsou velmi konzervativní, hodnoty vnějšího vybočení jsou realističtější. Dynamická vybočení by se musela dopočítat s pomocí známých rozměrů vozidla a parametrů jeho vypružení, věrohodnost výsledků by bez znalosti reálného chování vozidla v koleji byla opět problematická.

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	14-F 06	Ze dne	2014-07-21
	Název	Kontrola obrysu tramvajových vozidel dynamickou metodou	Strana	9 z 9

6 Popis uplatnění certifikované metodiky

Tato certifikovaná metodika se uplatní v případech, kdy bude požadována kontrola obrysu tramvajového vozidla dynamickou metodou. Poskytne reálné hodnoty o vybočení vozidla a využití daného obrysu pro vozidla, resp. průjezdného průřezu tramvajové trati.

7 Ekonomické aspekty

Náklady plynoucí ze zavedení postupů uvedených v této metodice spočívají zejména v nákladech na pořízení konstrukčního a výpočtového software, které se pohybují kolem 100 tis. Kč (CAD) a 500 tis. Kč (MBS). Tímto softwarem jsou však projekční kanceláře běžně vybaveny, jelikož je využíván i pro jiné typy nezbytných výpočtů tramvajových vozidel (např. výpočet jízdních vlastností). Prakticky tak není nutné kvůli kontrole obrysu dynamickou metodou software pořizovat a náklady jsou tak nulové.

Ekonomický přínos této metodiky nespočívá ve snížení nákladů na provedení kontroly obrysu tramvajových vozidel, ale ve zvýšení věrohodnosti a reálnosti zjištěných výsledků, které následně umožní zabránit kolizním situacím vozidel s infrastrukturou nebo jiným vozidlem (jedná se předcházení škodám v hodnotách řádově až 1 mil. Kč). Podle této metodiky je možné predikovat vybočení vozidla v reálných provozních podmínkách a tedy navrhnout vozidlo s optimálním a bezpečným využitím daného obrysu pro vozidla, resp. průjezdného průřezu tramvajové trati.

8 Seznam použité související literatury

ČSN 28 0337 Obrisy pro tramvajová vozidla, leden 2011.

ČSN 28 0318 Průjezdné průřezy tramvajových tratí, květen 1994.

9 Seznam publikací, které předcházely metodice

Čapek, J.: Výpočtové simulace jízdních vlastností tramvaje, porovnání výsledků z programů MSC.Adams a Simpack. Zpráva VÚKV č. 09-C 113. VÚKV a.s., Praha 2009.

Heptner, T.: Dynamická metoda výpočtu obrysu. Zpráva VÚKV č. 10-C 149. VÚKV a.s., Praha 2010.

Heptner, T., Phamová, L.: Aplikace dynamické metody výpočtu obrysu. Zpráva VÚKV č. 11-C 131. VÚKV a.s., Praha 2011.

10 Jména oponentů

1. Ing. Jan Kadlec, Dopravní podnik hlavního města Prahy, akciová společnost, kadlecj@dpp.cz
2. Ing. Jan Kalivoda, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, jan.kalivoda@fs.cvut.cz