Optimalizace směrových návrhových prvků pozemních komunikací: úvod do problematiky a příprava pilotní studie

Ing. Jiří Ambros, Ing. Veronika Valentová (Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., jiri.ambros@cdv.cz, veronika.valentova@cdv.cz)

Podle statistiky dopravní policie na českých silnicích dlouhodobě platí, že na největším počtu usmrcených při dopravních nehodách se podílí nepřiměřená rychlost. Vysoký podíl připadá na silnice I. a II. třídy v extravilánu ve směrových obloucích a jejich blízkosti. Dále platí, že počet i závažnost nehod ve směrových obloucích je vyšší než na přímých úsecích. Jedním z řešení tohoto problému je tzv. konzistentní návrh pozemní komunikace, který by měl řidičům umožnit jízdu relativně stálou rychlostí, odpovídající jejich očekávání. Článek podává úvod do problematiky kvantifikace konzistentního návrhu (samovysvětlitelnosti), přehled stavu ve světě a v ČR a cíle pilotního projektu Centra dopravního výzkumu, v.v.i. (CDV).

According to traffic police statistics, the highest number of fatalities on Czech roads has been caused by inadequate speed. High portion of them happen on the undivided rural roads of the first and second class, in curves and their vicinity. Also the number and severity of accidents is higher compared to straight segments. One solution of this issue is consistent road design, which should allow driving with relatively constant speed corresponding to their expectations. The paper includes introduction to the quantification of a consistent design, an overview of the state of the art as well as Czech state and objectives of the pilot project.

Úvod

Směrové návrhové prvky mají významný vliv na bezpečnost provozu na pozemních komunikacích, vyjadřovanou počtem dopravních nehod. Podle syntézy Světové silniční asociace PIARC [17] je nehodovost ve směrových obloucích 1,5 až 4x vyšší než na přímých úsecích. K nehodám dochází převážně na začátku a konci směrových oblouků a to zejména v místech, kde jsou řidiči nuceni výrazně snížit rychlost jízdy.

I na českých silnicích již dlouhodobě platí, že u největšího počtu usmrcených při nehodách je spolupůsobícím faktorem nepřiměřená rychlost: v roce 2011 se podle policejních statistik [7] jednalo o téměř 44 % ze všech registrovaných nehod. Z počtu všech registrovaných nehod jich bylo 28 % v extravilánu; na tyto nehody připadá 64 % z celkového počtu usmrcených osob. Přitom 42 % z celkového počtu usmrcených osob připadá na nehody na silnicích I. třídy a 22 % na silnice II. třídy, celkem tedy 64 %.

Policejní statistika uvádí mj. směrové poměry v místech dopravních nehod: statistika počtu usmrcených z roku 2010 [19] takto uvádí 21 % v zatáčce a 14 % v přímém úseku po zatáčce. Celkem je tedy se směrovými oblouky spojeno 35 % z celkového počtu usmrcených při dopravních nehodách. U nadpoloviční většiny těchto nehod byla hlavním faktorem nepřiměřená rychlost jízdy (53 % nehod a 60 % z počtu usmrcených ze všech typů nehod v zatáčkách, 59 % nehod a 70 % z počtu usmrcených z nehod v přímých úsecích po zatáčce).

Z těchto faktů vyplývá, že nepřiměřená rychlost ve směrových obloucích a jejich bezprostředním okolí je faktorem usnadňujícím vznik výrazného množství dopravních nehod a následných úmrtí na českých silnicích. Tato situace je kritická především na silnicích I. a II. třídy v extravilánu.

Stav ve světě

Směrové vedení trasy se skládá z přímých úseků a oblouků. Tradičně jsou tyto prvky při návrhu posuzovány samostatně. V praxi se však může stát, že ačkoli jednotlivé prvky mohou požadavkům bezpečnosti vyhovět, trasa jako celek může být z hlediska bezpečnosti navržena nesprávně. Proto je důležité sledovat sled jednotlivých prvků, tj. plynulost trasy.

Problematika směrových návrhových prvků a jejich vztahu k bezpečnosti dopravy bývá označována jako *design consistency, alignment consistency, relation design* atp. Výsledkem plynulého neboli „konzistentního" (homogenního, harmonického) návrhu je taková komunikace, kde se očekávání řidiče shoduje se skutečným stavem. Konzistence se posuzuje prostřednictvím rozdílů rychlosti na navazujících úsecích; nemělo by docházet k náhlým změnám. Aplikace tohoto konceptu bývá označována za jeden z nejslibnějších přístupů navrhování bezpečných pozemních komunikací [4]. Úpravy směrového vedení mají zároveň příznivý poměr výnosů a nákladů. [3]

Trend vyššího počtu nehod v obloucích a jejich těsném okolí vedl již před desítkami let k zavádění různých omezení délek přímých a poloměrů oblouků a to nejčastěji stanovením poměrů v závislosti na délce předchozí přímé. Později začaly být sledovány vztahy v širším rozsahu.

Vhodnou veličinou k posouzení konzistence návrhu se ukázala být křivolakost (součet úhlových změn směrového vedení vztažený na délku komunikace). Např. v Německu byla křivolakost a její souvislost s rychlostí studována již od 70. let a později se promítla do příslušných norem. Návazně navrhli prof. Lamm a kol. [10, 12] postup hodnocení konzistence pomocí rozdílů rychlosti na navazujících úsecích. Pomocí jejich postupu lze hodnotit kvalitu stávající komunikace; mezi kritériem a nehodovostí existuje prověřená závislost a je tudíž validním ukazatelem bezpečnosti.

Lamm a kol. uvádí tři kritéria hodnocení:

1. konzistence návrhu plánovaných komunikací (srovnání souladu směrodatné a návrhové rychlosti)
2. konzistence stávajících komunikací (srovnání směrodatné rychlosti na navazujících úsecích)
3. konzistence jízdní dynamiky (hodnocení příčného tření)

Všechny tři části spolu souvisí a každá komunikace by měla vyhovět na všechny z nich.

V rámci představované studie CDV je pozornost věnována druhému kritériu, jehož stanovení je zásadní pro zlepšení stavu stávající silniční sítě a pro nalezení optimálních návrhových rychlostí pro první kritérium. Princip je následující:

1. Komunikace se rozdělí na úseky, přičemž každý úsek může obsahovat několik směrových prvků, pokud mají podobné parametry.
2. Pro každý úsek se stanoví křivolakost a z ní podle rychlostního modelu i směrodatná rychlost v úseku.
3. Podle rozdílů křivolakosti a směrodatné rychlosti lze klasifikovat úroveň konzistence (viz Tab. 1).

Autoři uvádí i rychlostní modely, s jejichž pomocí lze kvantifikovat

úroveň 1: vhodná	úroveň 2: uspokojivá	úroveň 3: nevyhovující
$\lvert\Delta CCR_5\rvert \leq 180$ $\lvert\Delta V_{85}\rvert \leq 10$	$180 < \lvert\Delta CCR_5\rvert \leq 360$ $10 < \lvert\Delta V_{85}\rvert \leq 20$	$\lvert\Delta CCR_5\rvert > 360$ $\lvert\Delta V_{85}\rvert > 20$
$\lvert\Delta CCR_5\rvert$ – rozdíl křivolakosti na navazujících úsecích [gon/km] $\lvert\Delta V_{85}\rvert$ – rozdíl směrodatné rychlosti na navazujících úsecích [km/h]		

Tabulka 1: Klasifikace úrovně konzistence podle vlivu na bezpečnost provozu (podle [10, 12])

bezpečnost komunikace již ve fázi návrhu (ať už nové komunikace nebo při návrhu přestavby stávající komunikace). Na tomto principu funguje i americký software Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), konkrétně jeho modul Design Consistency (DCM) [6]. Jak ukazuje Obr. 1, pro každou zemi se rychlostní model pro stanovení limitních křivostí a příslušných rychlostních rozdílů (10 km/h, 20 km/h) liší. Je stanoven i všeobecný model použitelný v zemích, kde chybí studie stanovení směrodatné rychlosti, ale jeho přesnost může být poměrně malá.

Princip změny rychlosti v navazujících úsecích je implementován i do řady zahraničních předpisů týkajících se návrhu komunikací a jejich rekonstrukcí. Např. ve Velké Británii se uvádí, že nárůst křivolakosti trasy o 1°/km je spojený s nárůstem počtu nehod o 1 % [16]. V Austrálii je problematika vyjádřena mj. pomocí grafu akcelerace vozidel na přímých úsecích v závislosti na druhu území (rovinaté, pahorkovité, horské) – viz Obr. 2.

Na vodorovné ose je rychlost na začátku přímého úseku, na svislé ose je rychlost na konci přímého úseku. Postup je v grafu naznačen pomocí šipek: podle počáteční rychlosti a délky přímého úseku lze odečíst koncovou rychlost.

Při posuzování stávajících komunikací se u nevyhovujících úseků obecně doporučuje přestavba. Tam, kde to není možné, se doporučuje zvýraznění oblouků pomocí vodicích tabulí.

Stav v ČR

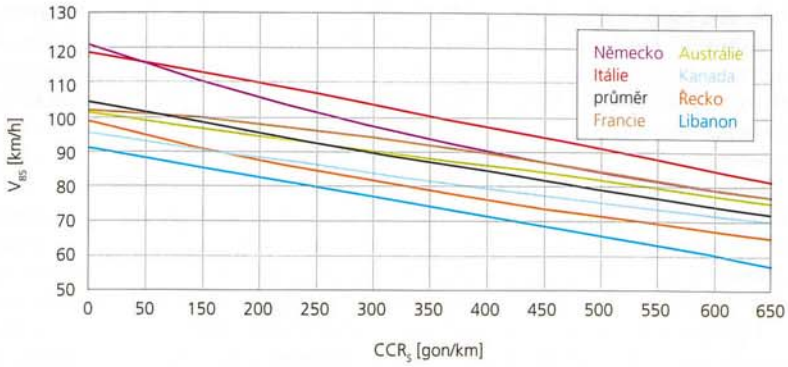
V českých podmínkách stanovuje návrh komunikace v extravilánu norma ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic. Norma z hlediska bezpečnosti uvádí, že návrhová rychlost má být zajištěna na ucelených silničních tazích. Změna návrhové rychlosti se má provádět s ohledem na zachování podmínek bezpečnosti a plynulosti jízdy na vhodném místě (např. křižovatce nebo okraji obce) např. změnou počtu jízdních pruhů.

Komunikace I. a II. třídy navržené na návrhovou rychlost se posuzují pomocí směrodatné rychlosti, která je stanovena tabulkou. Silnice kategorie S7,5 a nižší, silnice III. tříd a točky se směrodatnou rychlostí neposuzují. Posuzují se pouze prvky silnice se základním vlivem na bezpečnost provozu. Sem patří dostředný sklon, poloměry směrových oblouků se základním příčným sklonem, délky rozhledu a poloměry výškových oblouků. Nepřímo se tímto přístupem hodnotí i jednotlivé směrové oblouky, jejichž minimální návrhové hodnoty zpravidla závisí na rozhledových poměrech. Podobně se posuzují i směrově rozdělené komunikace, které však nejsou předmětem popisované studie.

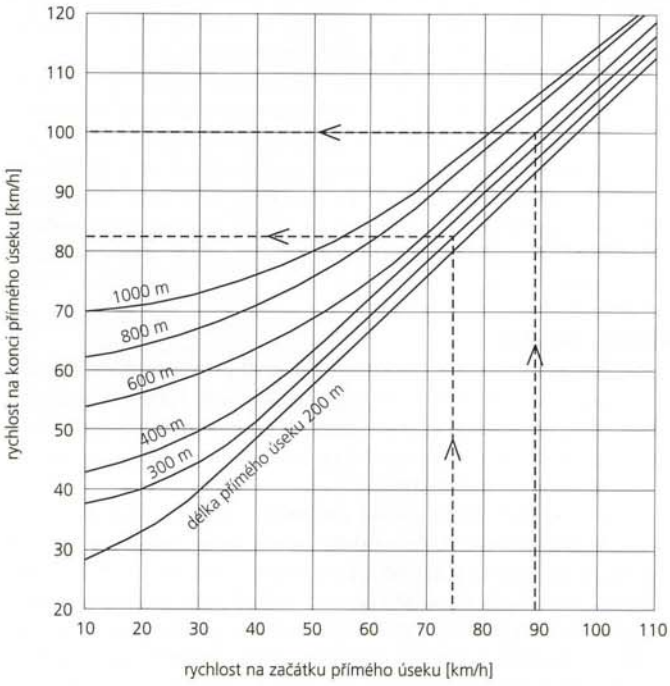
Norma ČSN 73 6101 obsahuje pouze obecná doporučení pro zajištění bezpečnosti a stanovuje hraniční hodnoty jednotlivých parametrů komunikace (minimální poloměry, maximální sklony, apod.). Z hlediska návaznosti prvků směrového řešení je zde uveden obecný poměr mezi poloměry oblouků $\frac{R_2}{R_1} \leq 2$ a poměr parametrů klotoidických přechodnic $\frac{A_2}{A_1} \leq 1{,}5$ u protisměrných oblouků s přechodnicemi. U oblouků bez přechodnic je potom stanovena minimální mezipřímá protisměrných oblouků v délce rovné dvojnásobku návrhové rychlosti. Stejně se vypočtou délky mezipřímé u stejnosměrných oblouků bez přechodnic, jinak se mezipřímá vyloučí.

Hodnocení návaznosti jednotlivých prvků není dále podrobněji řešeno s výjimkou vhodnosti poloměru směrového oblouku v závislosti na délce předcházející přímé (Obr. 3). Jak ovšem ukazují zahraniční výzkumy, i toto pojetí je velmi zjednodušující, protože je závislé např. na délce oblouku.

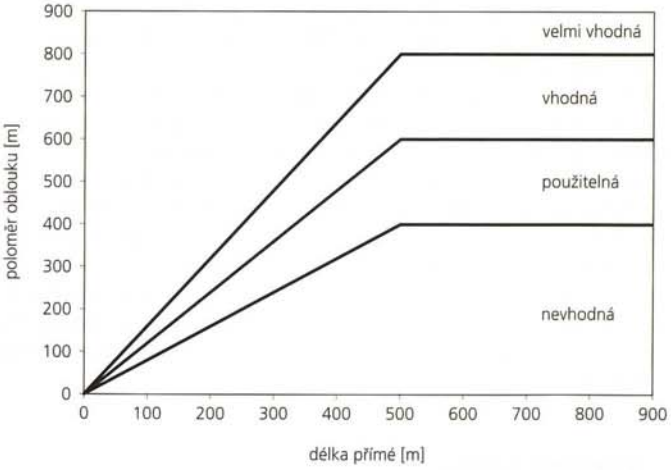
Návrh dle českých norem tedy závisí na subjektivním pohledu projektanta, jeho znalostech a zkušenostech. Navíc ani normy samotné, pomineme-li otázku jejich subjektivity nebo objektivity, nemohou být jediným vodítkem pro bezpečné navrhování komunikací. Skutečnost, že splnění požadavků normy nezaručuje automaticky bezpečné, je dlouhodobě známá (viz např. [5]) a byla mj. jedním z motivů vzniku



Obrázek 1: Směrodatná rychlost V_{85} na dvoupruhových silnicích v různých zemích v závislosti na křivolakosti (CCR_5) pro podélný sklon do 6 % [11]



Obrázek 2: Akcelerace v přímé (pahorkovité a horské území) podle australského předpisu [21]



Obrázek 3: Velikost poloměru směrového oblouku v závislosti na délce předcházející přímé (ČSN 73 6101)

bezpečnostního auditu.

Jak uvádí Ing. Müller [15], zavedením směrodatné rychlosti k posouzení návrhu základních bezpečnostních parametrů došlo k pokroku v zajištění vyšší bezpečnosti směrově nerozdělených komunikací vyšších tříd. Do posouzení ovšem nezapadají silnice kategorie S7,5 a silnice III. tříd, které tvoří výraznou část silniční sítě. Přitom za poslední 3 roky došlo na silnicích III. tříd k více než 28 tisícům nehod registrovaných Policií ČR (tj. cca 13 % z celkového počtu), při kterých

bylo 400 osob usmrceno (cca 17 %) [7, 19].

Autoři TP 131 [13] uvádí vysokou směrovou křivolakost trasy jako jednu ze závad v prostorovém uspořádání komunikace. Zároveň uvádí souvislost mezi křivolakostí a nemožností předjíždění. Je zmíněno, že nepřiměřená křivolakost má vliv na nehomogenitu trasy, avšak bez uvedení konkrétních hodnot. Norma ČSN 73 6101 z roku 2004 zmiňovala křivolakost, pomocí které se stanovovala směrodatná rychlost. Tato úprava byla zrušena změnou normy z ledna 2009; [9] uvádí, že závislost směrodatné rychlosti na křivolakosti byla v českých podmínkách obtížně použitelná, proto byla nahrazena přímou závislostí na návrhové rychlosti, třídě komunikace a dalších podmínkách.

Národní zkušenosti [16] tak dokládají, že křivolakost, jakožto klíčová veličina ve zmiňovaných analýzách, se v naší praxi doposud běžně nepoužívá. I další zdroje (např. [8]) uvádí, že vliv jednotlivých geometrických prvků trasy na rychlost vozidel se sledoval pouze parciálně. Autoři také potvrzují, že u nás doposud nebyly vytvořeny potřebné rychlostní modely. Výše zmíněné modely, vyvinuté v určitých podmínkách a čase (viz Obr. 1), nelze v ČR jednoduše aplikovat.

„Konzistentní design" jako jeden ze způsobů moderního utváření pozemních komunikací spolu se samovysvětlujícími a odpouštějícími komunikacemi uvádí i Metodika bezpečnostní inspekce [14]. Z přehledu je však zřejmé, že popisovaná problematika se v potřebném rozsahu, v jakém byla studována v zahraničí, v ČR zatím neobjevila. Dílčí části byly řešeny prostřednictvím CDV v evropských projektech SAFESTAR [22], RIPCORD-ISEREST [20] a SPACE [23], dále v národním VaV projektu OPTIMA [2].

Pilotní studie

Jak bylo konstatováno, ke komplexní aplikaci řešení v českém prostředí doposud nedošlo. CDV je proto aktuálně řešitelem projektu, jehož cílem je prověření proveditelnosti studie směřující k optimalizaci směrových návrhových prvků pozemních komunikací na základě kritérií konzistentního návrhu.

Prvním krokem bude určení průběžné rychlosti vozidla pomocí běžně dostupného GPS modulu umístěného ve vybraném vozidle, které pravidelně jezdí po známé trase s významnou křivolakostí. Výběr trasy bude proveden pomocí nehodovosti v extravilánových úsecích. Prostřednictvím modulu bude zaznamenána poloha vozidla v čase, která bude případně upřesněna vůči trase pomocí GIS nástrojů. Z těchto dat bude dopočtena rychlost vozidla po délce trasy.

Na rozdíl od bodově zjištěné rychlosti, která se většinou v praxi k odhadu V_{85} používá, má průběžná rychlost větší vypovídací schopnost. Údaje dále vystihují rychlostní chování na celé trase, navíc získané z množství průjezdů. Tento způsob získání dat je zároveň ekonomičtější než řada izolovaných rychlostních studií ve vybraných místech trasy.

Data budou vstupem do analýz, spočívajících v hledání závislosti mezi křivolakostí a rychlostí. Pro zjednodušení v rámci pilotní studie bude použit některý z univerzálních rychlostních modelů ze zahraničí.

Pokud bude proveditelnost potvrzena, bude projekt dále pokračovat. Cílem je využití reprezentativní flotily vozidel na větším rozsahu silniční sítě. Bude analyzován vztah mezi křivolakostí vybraných kritických úseků silnic I. a II. třídy v extravilánu, směrodatnou rychlostí jízdy vozidel a bezpečností. Z této analýzy bude vytvořen rychlostní model pro ČR. Hlavním výstupem by měla být metodika aplikace na ostatní komunikace, dále doporučení pro úpravu příslušných pasáží normy ČSN 73 6101.

Přínos pro praxi

Aplikace popisovaného projektu je navržena na síti směrově nerozdělených silnic v extravilánu, kde dochází k významnému počtu smrtelných dopravních nehod.

Potenciální aplikací může být provádění měření a vyhodnocení dat pro správce komunikací všech tříd před prováděním rekonstrukcí – návrh, které prvky komunikací a jak je vhodné upravit pro zvýšení bezpečnosti. Cílem nebude kompletní přestavba komunikace, ale pouze taková úprava, která povede ke konzistenci návrhu potažmo rychlosti vozidel, např. přestavba některých směrových oblouků nebo osazení vodicích tabulí Z03.

Tímto způsobem lze zefektivnit alokaci omezených finančních zdrojů. Výsledky tak budou mít pozitivní dopad nejen na bezpečnost silničního provozu ale i na hospodárnost výstavby (především rekonstrukcí silničních staveb).

Závěr

Kvalitně provedený směrový návrh pozemní komunikace by měl řidičům umožnit jízdu relativně stálou rychlostí, která odpovídá jejich očekáváním. Zkušenosti ze světa jen potvrzují uvedená východiska nutnosti „konzistentního designu". Konzistentní design je také jednou z cest k naplnění principu samovysvětlitelných pozemních komunikací. Analýza vztahu křivolakosti a rychlosti a tedy bezpečnosti je cestou ke kvantifikaci konzistence návrhu a tím míry samovysvětlitelnosti.

Jak uvádí autorův článek [1], sledování přímých a nepřímých ukazatelů bezpečnosti silničního provozu představuje dva základní směry měření bezpečnosti. Každý z těchto směrů má svá omezení a žádný z nich není úplně soběstačný; potenciál tedy může být v jejich vhodné kombinaci. Pokud se prokáže vhodnost křivolakosti jakožto nepřímého ukazatele bezpečnosti, bude ji možno použít pro modelování bezpečnosti. Toto téma bylo v CDV nastartováno v projektu VEOBEZ, kde byla modelována nehodovost na okružních křižovatkách [24] a dále pokračuje např. v nedávno představeném projektu IDEKO [18]. Podle prof. Hauera slouží očekávaný počet nehod zjištěný modelem nehodovosti k určení „věcné" (substantivní) bezpečnosti. Tu lze postavit do protikladu k „formální" (nominální) bezpečnosti, která je definována souladem s normami a de facto pouze „určuje mantinely" [5].

Cíle projektu jsou v souladu s Národní strategií bezpečnosti silničního provozu 2011 – 2020, konkrétně s bodem F: Vytváření bezpečného dopravního prostoru. Cílem strategie je postupná přestavba silniční sítě na principech samovysvětlující a odpouštějící komunikace.

Výsledky budou uplatnitelné jak při hodnocení stávajících komunikací, tak při projektování nových komunikací nebo rekonstrukcí. K tomu napomůže i plánovaná metodika, která bude podána k certifikaci Ministerstvem dopravy. Zároveň budou připravena doporučení pro úpravy příslušných částí normy ČSN 73 6101.

Uživatelem výsledků v tomto smyslu budou subjekty zabývající se bezpečností silničního provozu, akademická a vědecká obec, především však projektanti silničních staveb.

Článek byl zpracován za podpory programu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy „Institucionální podpora na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2012."

Seznam odborné literatury, ze které je v článku čerpáno, je možné vyžádat u autora.

Komentář lektora

Článek *Optimalizace směrových návrhových prvků pozemních komunikací: úvod do problematiky a příprava pilotní studie* slouží k prezentaci projektu, který aktuálně zpracovává CDV. Článek je napsán s velkou znalostí dané problematiky, která je doložena vhodnými citacemi relevantní literatury. Otázkou pro mě spíše je zaměření výstupů projektu, které budou sice vědecky podložené, ale přece jenom asi v mnoha případech obtížně implementovatelné. V projektu obdobného typu a to především se zvážením, že výsledky mají sloužit ke zvýšení bezpečnosti převážně silnic III. třídy, bych očekával i druhý výstup, a to doporučení pro stanovení nejvyšší dovolené rychlosti pro daný úsek komunikace v závislosti na jeho aktuálně zjištěných parametrech. V některých zemích, na které se odvolává autor v prezentovaném článku (např. Nizozemí, Norsko), byl tento postup již ve velkém rozsahu uplatněn, právě proto, že i relativně malé a tedy levné stavební úpravy neprokázaly svoji efektivnost vzhledem k převáděným intenzitám dopravy v dané lokalitě.

Ing. Jaroslav Heinrich
Vedoucí ateliéru ADIAS, HBH Projekt