

# VÝZKUM VHODNÝCH ÚPRAV KŘIŽOVATEK VE VZTAHU KE KAPACITĚ A ENVIRONMENTÁLNÍM DOPADŮM

Eva Kvašňovská, Petr Neuwirth, Radim Striegler, Leoš Pelikán, Eva Havlíčková

*Výzkum se zaměřuje na potenciální využití nekonvenčních úprav křižovatek, které vedou ke zvýšení jejich kapacity, snížení doby zdržení při průjezdu křižovatkou, a tím i snížení emisí škodlivin produkovaných silniční dopravou v jejich prostoru i okolí. Cílem výzkumu je ověřit aplikaci těchto nepoužívaných alternativních úprav na křižovatkách v ČR za účelem trvalého zvyšování efektivity dopravního systému při snižování negativních účinků na životní prostředí, veřejné zdraví a klimatickou změnu při zachování konkurenceschopnosti dopravy. V rámci řešení byly vytipovány v ČR lokality pro realizaci a vyhodnocení průzkumů na kapacitně nevyhovujících křižovatkách, pro které se navrhlá úprava bez rozšiřování stavebního záboru křižovatky v rámci zastavěného území, tj. s využitím stávajícího prostoru, nebo jen s minimálním dílčím rozšířením tak, aby se zvýšila jejich propustnost, a tím se snížila produkce emisí. Pro celkové posouzení kapacity a efektivity stávajícího stavu a nekonvenčních úprav bylo využito mikrosimulačního nástroje PTV Vissim. Pro výpočet emisí ze silniční dopravy byl použit software pro emisní modelování MEFA 13, schválený legislativou ČR. Výsledky poslouží k vytvoření kvalitních podkladů pro možnost realizace nekonvenčních úprav křižovatek a jejich adaptace na konkrétní typy konvenčních křižovatek v podmínkách ČR. Výzkum byl realizován v rámci programu DOPRAVA 2020+ financovaného se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR.*

## ÚVOD

Neustálý nárůst intenzit dopravy způsobuje dopravní komplikace zejména ve městech, kde vznikají častěji kongesce a rostou doby zdržení. S tím souvisí i větší produkce emisí škodlivých látek z motorových vozidel a v neposlední řadě se zvyšuje podíl zbytné dopravy na nežádoucích objízdných trasách, které často vedou místními obslužnými, nebo zklidněnými komunikacemi, např. zónou 30. Zejména městské komunikace jsou velmi omezené prostorem, a proto jediným vhodným řešením je často jen velmi nákladná stavba úplně nové komunikace v nové stopě, na území města často zahloubená do tunelů nebo vedená na mostech. Případně lze jít cestou rozšiřování stávajících komunikací a křižovatek, což ale představuje často nutné demolice budov kvůli velmi omezenému prostoru. Alternativním a levnějším řešením může být využití nekonvenčních prvků křižovatek, pomocí kterých lze často efektivně využít stavební zábor stávající křižovatky, nebo jen s mírným rozšířením. Křižovatka pak může dosahovat obdobné kapacity jako výrazně rozšířená křižovatka s konvenčním uspořádáním, a to jak úrovně, tak i mimoúrovňová. V zahraničí byly vyvinuty nové netradiční typy křižovatek, které řeší situaci nedostatečné kapacity v částech měst, kde hustá zá-

stavba znemožňuje rozšíření křižovatek, nebo v případech problematického levého odbočení s omezenými stavebními možnostmi. S novými typy netradičních úprav, jako jsou vysazená levá odbočení před nebo za křižovatkou nebo kosodélná křižovatka s dvojitým křížením, jsme se zatím na silnicích v ČR nesetkali. V USA bylo řešeno několik projektů zabývajících se kapacitou nekonvenčních křižovatek, definicí podmínek pro jejich realizaci, porovnáním stávajících a alternativních křižovatek v praxi. Všechny projekty byly řešeny v USA se zaměřením na tamní podmínky, které jsou natolik odlišné od českých, případně evropských, že nelze výsledky přebrat. I když některé nekonvenční uspořádání křižovatek je schematicky zaneseno v normě ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na místních komunikacích, není však nijak řešena jejich kapacita. Nejsou uvedeny žádné další zásady či doporučení pro jejich navrhování v podmínkách ČR. Autorům není známo, že by takové křižovatky byly v ČR realizovány, a proto není možné prakticky ověřit jejich funkčnost. Většina z těchto typů nekonvenčních křižovatek vychází z Highway Capacity Manual (HCM), Chapter 23 – Ramp Terminals and Alternative Intersections [TRB, 2022]. Některé nekonvenční křižovatky uvedené v HCM jsou uzpůsobené převážně na podmínky v USA, a to zejména z hlediska staveb-

ního a šířkového uspořádání, které je poměrně prostorově velkorysé, a nelze je tak aplikovat na často stísněné prostorové podmínky v ČR. Zlepšení propustností městských uzlů může mít pozitivní vliv nejen na dopravu, ale i životní prostředí v zastavěném území. V několika studiích v zahraničí [Hadidi et al., 2022, Shokry et al., 2019] již bylo prokázáno, že zvýšením kapacity křižovatky se také sníží emise v důsledku snížení počtu vozidel stojících v koloně s nastartovaným motorem. Podle S. Boubakera [2016] ovlivňuje geometrie křižovatek a světelná signalizace nejen plynulost dopravy, ale také časté zastavování na červenou před křižovatkou nebo v koloně, kdy řidiči nechávají nastartovaný motor, a tím se zvyšuje produkce emisí v okolí křižovatky. U nových nekonvenčních typů křižovatek s optimalizovaným signálním plánem pro zvýšení propustnosti, bezpečnosti a zlepšení celkové dopravní situace v jejím okolí, je možné předpokládat také zlepšení podmínek v ovzduší, zejména v zastavěných městských částech, kde jsou znečištěním dopravou vystavováni chodci i příroda.

Cílem této studie je upozornit na vybrané křižovatky v České republice, které mají již v současnosti kapacitní problémy zejména ve špičkových hodinách, pro které jsou navrženy nové alternativy aplikací nekonvenčních úprav. Vý-

sledky projektu poslouží k vytvoření kvalitních podkladů pro možnost realizace nekonvenčních úprav křižovatek a jejich adaptace na podmínky v ČR, které by umožnily efektivně zvýšit kapacitu a propustnost vybraných problematických přetížených dopravních uzlů v současnosti řešených běžným konvenčním způsobem. Návrhy nekonvenčních křižovatek budou aplikovány na prostorové podmínky běžné v České republice na konkrétních případech a budou tak vytvořeny podklady pro jejich reálné použití. Obdobný projekt zabývající se kapacitou nekonvenčních křižovatek, který zahrnuje i vyhodnocení environmentálních dopadů (emise škodlivin produkovaných motorovou dopravou) doposud řešen nebyl. K posouzení kapacity neexistujících křižovatek byl použit mikrosimulační software PTV Vissim, který po správné kalibraci napodobuje skutečnou situaci na křižovatce a lze jej tedy použít k posouzení různých úprav křižovatek před jejich aplikací v praxi. Dopravní charakteristiky zjištěné z mikrosimulací byly následně použity pro výpočet produkce emisí současného stavu a alternativních návrhů křižovatek v emisním modelu MEFA 13 [ATEM, 2013].

## METODIKA

Úpravy křižovatek mohou být různě rozsáhlé a vycházejí ze samotného stávajícího stavu křižovatky a jejich nedostatků. Prvotním impulzem pro rozhodování o úpravě křižovatky by měl být její nevyhovující stav. Jedná se zejména o nedostatečnou kapacitu v čase dopravní špičky, její špatný stavebně-technický stav nebo samotná bezpečnost křižovatky s ohledem na charakter a počet dopravních nehod v posledních třech letech. Někdy jako řešení problému mohou pomoci nízkonákladová opatření, která vedou ke zvýšení přehlednosti lokality, usměrnění jednotlivých dopravních proudů apod. V mnoha případech je ovšem nutné přistoupit k větším investičním nákladům a provést rozsáhlé úpravy nebo úplnou přestavbu křižovatky na jiný typ. V rámci řešení projektu bylo potřebné vybrat také křižovatky, pro které by byla jediným řešením nedostatků a nevyhovujícího stavu právě kompletní přestavba.

## Výběr lokalit

Při výběru lokalit jsme se zaměřili zejména na křižovatky v městské zástavbě, kde je největším problémem zastavěné území. V takovém případě není možnost širokého záběru přestavby a křižovatky si vyžadují alternativní řešení, například pomocí nekonvenčních úprav, které se používají zejména v zahraničí, ale v ČR s nimi není moc zkušeností.

Typické příčiny, jež vedou k rozhodování o úpravě křižovatek, jsou uvedeny v následujících odrážkách:

- význam komunikace,
- nevyhovující kapacita, a to buď všechna ramena křižovatky v čase špičky, nebo jen některá,
- převládá významně jeden směr jízdy (přímý směr, levé odbočení, kombinace),
- vznik kolon na ramenech křižovatky,
- nepřehlednost křižovatky (rozlehlá, zalomená hlavní komunikace nebo v obloku apod.),
- kapacitně nevyhovující navazující křižovatky v blízké vzdálenosti,
- vysoký počet dopravních nehod daného typu v posledních třech letech,
- kolize s nemotorovými účastníky dopravy, jejich vysoké intenzity,
- environmentální dopady dopravy (nadměrné imise, hluk).

Tyto příčiny slouží také jako okrajové podmínky pro výběr vhodných lokalit. Dle zvolené metodiky studie staví na aplikaci nekonvenčních úprav na vybraných křižovatkách, které v současnosti kapacitně nevyhovují a jsou situovány v zastavěných částech měst, kde jsou účinky emisí z dopravy vozidel stojících v koloně vystavování zejména obyvatelé měst.

## Tvorba mikrosimulačních modelů pro stanovení kapacity a výpočet emisí

S rostoucí závažností problémů životního prostředí souvisejících s dopravou je kombinování modelů mikrosimulace dopravy a emisních modelů primární metodou používanou k odhadu množství emisí z dopravy. Základem této kombinace je, že model mikrosimulace dopravy může reprodukovat detailní jízdní chování reálných zkoumaných objektů s definováním dopravních charakteristik, ze kterých lze následně stanovit produkci emisí vybra-

ných látek. Pro tvorbu dopravních modelů křižovatek v rámci výzkumné úlohy byl vybrán software PTV Vissim, který je jedním z celosvětově nejrozšířenějších softwarů pro tvorbu dopravních mikrosimulací, protože dokáže přesně simulovat jak městský provoz včetně cyklistů a pěších, tak úseky dálnic včetně rozsáhlých mimoúrovňových křižovatek. Vissim je používán k analýze sítí všech velikostí, od jednotlivých křižovatek až k rozsáhlým metropolitním oblastem. V těchto dopravních sítích je schopný modelovat všechny funkční kategorie pozemních komunikací. Šíře uplatnění zahrnuje také hromadnou dopravu či komunikace pro cyklisty a chodce a interakci mezi jednotlivými módy dopravy. Možná je simulace řady běžných, ale i unikátních geometrických a provozních podmínek, které se vyskytují v dopravní síti. Schopnost definovat neomezené množství typů vozidel umožňuje uživateli plný rozsah multimodálních provozů.

V rámci studie jako podklad pro modelování dopravní sítě (jízdní pruhy, umístění světelného signalizačního zařízení (SSZ), vodorovné značení – stopčáry, přechody pro chodce, řadičí pruhy, přerušované a plné čáry) byla použita ortofoto mapa řešené oblasti v odpovídajícím měřítku. Signální plán (délky zelených, fázové přechody, délky cyklu) pro řízení pomocí SSZ byl nastaven dle reálných hodnot, které byly získány ze speciálního videozáznamu pořízeného během dopravního průzkumu. V dopravním modelu se rozlišují následující kategorie vozidel: osobní automobily, lehká nákladní vozidla (dodávky) do 3,5 t, střední nákladní vozidla bez přívěsu, kamiony (návěsové soupravy, nákladní vozidla s přívěsem), autobusy a motocykly. V případě vyššího počtu cyklistů přímo v hlavním dopravním proudu byli cyklisté rovněž zahrnuti do modelu. V případě větší kolize chodců a jejich vyššího počtu v okolí křižovatky byli simulováni také chodci na přechodech, zejména pak pokud byli součástí nekonvenčního návrhu. Kalibrace modelu na skutečný stav probíhala zejména sjednocením počtu projíždějících vozidel za dobu zeleného signálu v modelu a ve skutečnosti na kriticky zatížených ramenech (saturovaný dopravní proud po celou dobu signálu volno).

Pro výpočet emisí u motorových vozidel byl použit výpočetní program MEFA 13

[ATEM, 2013], software pro emisní modelování, který je doporučený v metodickém pokynu Odboru ochrany ovzduší MŽP pro vypracování rozptylových studií a je modifikován pro podmínky v ČR na základě reálných měření emisí vozidel typických pro české podmínky. Umožňuje výpočet emisí a víceemisí z liniových zdrojů (z databáze), výpočet víceemisí (1 úsek), výpočet emisí z průjezdu křižovatkou, výpočet emisí z průjezdu křižovatkami (z databáze), editaci vstupních dat (mvd a mcd soubory), výpočet emisí pro jednotlivá vozidla, editaci vozového parku a prohlížení výsledků. Uživatel má ve výpočtu možnost zvolit typ vozidla, pohon vozidla, směrově nedělené i směrově dělené komunikace, celkové emise i emise dělené podle kategorie vozidel a emisní faktory pro jednotlivá vozidla. Dále obsahuje samostatný modul pro určení emise z průjezdu vozidel křižovatkou – zohledňují se nestandardní jízdní režimy: decelerace před křižovatkou, kombinace popojíždění a volnoběhu při stání ve frontě (režim stop + go) a akcelerace při opuštění křižovatkou. Program MEFA umožňuje výpočet emisí NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, uhlovodíky (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), polyaromáty (PAH), methan, propan, 1,3- butadien, benzen, toluen, styren, formaldehyd, acetaldehyd, benzo[a]pyren a suspendované částice PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>. Hlavní funkcí tohoto programu je výpočet emisí pro libovolný počet z liniových zdrojů (úseků komunikací) s rozlišením na osobní, lehké nákladní, těžké nákladní automobily a autobusy. Vstupem do MEFA jsou údaje o počtu vozidel, délce úseku komunikace, sklonu vozovky, rychlosti a plynulosti dopravního proudu. Výstupem jsou emise v g/s. Další funkcí programu je výpočet emisí z průjezdu vozidel křižovatkou. Tato funkce slouží jako nástavba k liniovým zdrojům, kdy se vypočítají víceemise z projetí vozidel křižovatkou. Do výpočtu vstupují data s počtem vozidel, sklonem vozovky, rychlosti dopravního proudu před a za křižovatkou, doba stání a délka fronty. Výstupem jsou emise v gramech za daný čas provozu. Program MEFA vychází ze středoevropských průměrných hodnot emisních faktorů motorových vozidel, programové databáze modelu HBEFA a dalších zahraničních metodik (např. CORINAIR, COPERT) a zohledňuje národně specifické podmínky ČR pro modelování emisí z dopravy. Pro emisní modelování v rámci výzkum-

né úlohy byly vybrány škodliviny produkované silniční dopravou, které mají jasný negativní dopad na lidské zdraví a ekosystémy, zároveň se jedná o limitované škodliviny z hlediska zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, B[a]P a CO. Vstupem do výpočetního programu MEFA byly údaje poskytnuté z mikrosimulací provedených v programu PTV Vissim modelovaných lokalit křižovatek. Nejprve se vyčlenilo shodné území modelovaných lokalit, aby bylo možné porovnání mezi současným a návrhovým stavem. Dále byla rozčleněna dopravní síť na jednotlivá ramena s údaji o počtech vozidel, směru jízdy, rychlosti, kapacity aj. Byly provedeny výpočty emisí modelovaných látek z plynulého provozu dopravního proudu (liniový zdroj) a výpočty víceemisí z průjezdu vozidel křižovatkou pro současný a návrhový stav křižovatkou, které zohledňují plynulost provozu, změnu rychlosti i zdržení v koloně v oblasti křižovatkou. Výstupem byla emisní produkce škodlivin na území křižovatkou ze špičkové hodiny intenzity dopravy ze současného a návrhového stavu modelovaných lokalit křižovatek.

#### **Aplikace nekonvenčních úprav křižovatek**

Dle metodického postupu bylo v rámci České republiky vybráno 6 křižovatek situovaných v 5 městech (Brno, České Budějovice, Litomyšl, Havlíčkův Brod a Olomouc). Na těchto křižovatkách se vykonaly podrobné dopravní průzkumy pořízením videozáznamu z kamery na stativu ve výšce 7 metrů tak, aby byl zachycen celý prostor křižovatkou. Kromě toho se počítala vozidla stojící v koloně před křižovatkou na nejvíce zatížených ramenech křižovatek a časy průjezdů křižovatkou vybraných vozidel vjíždějících do kolony. Na křižovatkách řízených světelnou signalizací byl zjištěn signální plán. Z údajů z průzkumů se posoudil současný stav kapacity křižovatek a kalibroval se mikrosimulační model současného stavu. Dle výsledků kapacitního posouzení se navrhla nekonvenční úprava s ohledem na okolní zástavbu a pro 6 křižovatek se navrhlo 9 alternativních úprav. Ze známých alternativních přestaveb se na vybraných křižovatkách zčásti nebo

úplně aplikovaly a modelovaly tyto nekonvenční úpravy:

- a) Vysazené levé odbočení před křižovatkou, známé v zahraničí jako Continuous Flow, je založené na odstranění levých odbočení z hlavního uzlu, čímž vzniká možnost prodloužení zelené pro přímý směr. Tato úprava představuje výhodnější alternativu pro křižovatkou s vysokou intenzitou na hlavní komunikaci se silným levým odbočením, kde je jediným řešením situace nutná přestavba. I když si vysazené levé odbočení vyžaduje menší stavební zábor v bezprostřední blízkosti křižovatkou, ve srovnání s mimoúrovňovým křížením jsou tyto požadavky násobně menší a levnější. Tuto úpravu lze aplikovat na všechna ramena křižovatkou, kdy se hovoří o úplném vysazení levých odbočení před křižovatkou, nebo lze aplikovat úpravu zčásti na nevyhovujících ramenech, tak jak jsme ji aplikovali pro vybranou křižovatkou v Olomouci v rámci této studie (viz obr. 1). V tomto případě hovoříme o částečném vysazení levých odbočení před křižovatkou, v zahraničí označováno jako Partial Continuous Flow.
- b) Vysazené levé odbočení za křižovatkou, nazývané také Parallel Flow, funguje obdobně jako předcházející typ nekonvenční úpravy vysazením před křižovatkou a aplikuje se v případech, kdy na daném rameni nejsou stavební podmínky pro vysazení před křižovatkou, ale na sousedícím rameni ano. Používá se stejně jako Continuous Flow v případech nutné přestavby při kombinaci silných intenzit přímých směrů a levých odbočení. Stejně tak se dá aplikovat na všech nebo jen na vybraných nevyhovujících ramenech křižovatkou jako úprava známá v zahraničí pod názvem Partial Parallel Flow. Částečné vysazení levých odbočení na ramenech hlavní komunikace bylo aplikováno a modelováno na vybraných křižovatkách v Olomouci a Havlíčkově Brodě, jak je znázorněno na obrázku 2.
- c) Vysazené větve pro levé odbočení, nazývané také Jughandle, je další alternativa pro silné intenzity vlevo odbočujících vozidel, od kterých je potřeba odlehčit nevyhovující uzel. Dle typu úpravy může vycházet ze stávající zástavby tak, jak to bylo aplikováno v předkládané studii na křižo-



vatce v Litomyšli (viz obr. 3), nebo se vybuduje samostatná rampa pro vyvedení levého odbočení, což vyžaduje vyšší nároky na území pro výstavbu. Benefitem této úpravy je zejména zvýšení bezpečnosti snížením kolizí s vlevo odbočujícími vozidly a snížení času přechodu chodců přes hlavní proud z důvodu nižšího počtu jízdních pruhů.

- d) Křižovatku s dvojitým křížením dopravních proudů na hlavní komunikaci známe také jako křižovatku s dvojitým křížením, z anglického překladu Diamond Diverging Intersection (DDI). Toto nekonvenční provedení lze aplikovat na izolovanou křižovatku nebo na soubor dvou průsečných křižovatek ve vzájemné blízkosti (cca do 200 m) s kapacitním problémem, tak jak je znázorněno na obr. 4 aplikací na křižovatce v Brně. Tento typ křižovatky zvyšuje kapacitu levého odbočení bez nutnosti přidání extra pruhů a také umožňuje lepší synchronizaci světelných signalizačních zařízení dvou blízkých křižovatek, které se vzájemně ovlivňují. Nekonenční křižovatka má předcházet odbočování doleva přes protijedoucí pruh a současně tak zvyšovat bezpečnost a plynulost provozu tím, že snižuje riziko chyb nedáním přednosti v jízdě nebo nesprávného řazení snížením počtu kolizních bodů, u kterých také zvětšuje jejich vzájemné vzdálenosti. Kromě toho poskytuje menší vzdálenost pro přechody, čímž se zvyšuje bezpečnost také pro chodce. První křižovatky tohoto typu měly vznikat ve Francii v sedmdesátých letech minulého století, ale až na jednu přestavbu se na křižovatky zapomnělo. Na přelomu tisíciletí však jejich základní koncept upravil americký student Gilbert Chlewicki a od roku 2009 se dostává do praxe zejména v Americe, kde bychom v současnosti našli přes 100 funkčních křižovatek typu DDI. Jejich funkčnost navíc potvrzují i studie, podle kterých se na místech s křižovatkou typu DDI podařilo snížit počet smrtelných nehod o 60 % a celkový počet nehod o 33 %.

- e) Křižovatka s přejezdy středního dělicího pásu pro otáčení a odbočování vpravo a/nebo usměrnění levých odbočení. V zahraničí je koncept této



Zdroj: vlastní návrh, podklad www.geoportat.gov.cz

**Obr. 1: Příklad návrhu nekonvenční přestavby dvou průsečné křižovatky v Olomouci na ulicích Velkomoravská a Schweitzerova (shora: alt.1 Continuous Flow, alt.2 Superstreet)**



Zdroj: vlastní návrh, podklad www.geoportat.gov.cz

**Obr. 2: Příklad návrhu nekonvenční přestavby Parallel Flow na průsečné křižovatce v Havlíčkově Brodě na ulicích Masarykova, Humpolecká, Lidická a Dolní**



Zdroj: vlastní návrh, podklad www.geoportat.gov.cz

**Obr. 3: Příklad návrhu nekonvenční přestavby dvou průsečné křižovatky v Litomyšli na ulicích Moravská, Mařákova a Kpt. Jaroše (zleva: alt.1 Jughandle, alt.2 Bowtie)**

úpravy aplikován v různých podobách a u nás se můžeme setkat se základním typem zvaným Median U-Turn (MUT). Navrhovaly se zejména v Michiganu, proto je někdy název těchto kři-

žovatek označován jako Michigan U-Turn. Je to typ křižovatky, kde je levé odbočení odvedené nepřímo přes pravé odbočení pomocí středního dělicího pásu. Provedení tohoto nekon-



venčního typu křižovatky se navrhuje s doplněním o SSZ pro levé odbočení řešené jako nepřímé. Koncept křižovatek snižuje počet kolizních bodů a dá se aplikovat také pro mimoúrovňové křížení. Tento nekonvenční typ křižovatky se může navrhnout dvěma způsoby, a to s omezením přímých levých odbočení ze všech vjezdů nebo jen z hlavních vjezdů. Úpravou MUT o usměrnění levých odbočení na hlavní vzniká modifikovaný koncept známý v zahraničí jako Superstreet Intersection. Tento typ byl v rámci studie aplikován a modelován na křižovatce v Olomouci (viz obr. 1). Aplikací MUT na mimoúrovňové kosodélné křižovatce vzniká další nekonvenční alternativa křižovatky, se kterou se setkáváme pouze v zahraničí a označuje se jako Michigan Urban Diamond Interchange. Levé odbočení se vyloučí z hlavní silnice a je provedeno pravým odbočením po samostatné větvi, ale už ne přes střední dělicí pás, tak jak je to na úrovňové křižovatce, ale propojením dvou souběžných ramp kosodélné mimoúrovňové křižovatky, jak je znázorněno na obr. 4 na křižovatce v Brně.

f) Koncept párování úrovňových křižovatek lze aplikovat využitím stávající infrastruktury navazujících křižovatek nebo jejich dostavbou pro úplnou nebo částečnou eliminaci levých odbočení a zvýhodnění přímého směru na problémové křižovatce. V rámci studie se koncept této nekonvenční úpravy aplikoval na křižovatce v Litomyšli, kde se využilo blízké okružní křižovatky navazující ze západního ramene problémového uzlu a na východním rameni se navrhla přestavba na další okružní křižovatku v místě původní stykové křižovatky tak, aby vznikl koncept zvaný v zahraničí Bowtie Intersection (viz obr. 3). Tato úprava zvyšuje kapacitu na hlavní křižovatce, snižuje počet kolizních bodů a potenciálních kolizí a aplikuje se zejména při křižovatkách s vysokými intenzitami v přímém směru, které trpí v důsledku levých odbočení i při jejich nízkých intenzitách. Levé odbočení je provedeno nepřímě navedením na vedlejší rameno, kde se vozidla v navazující okružní křižovatce otočí a vjíždějí před křižovatkou ze sousedícího ramene.



Zdroj: vlastní návrh, podklad www.geoportál.gov.cz

**Obr. 4:** Příklad návrhu nekonvenční přestavby dvou alternativ průsečné křižovatky v Brně na ulicích Ostravská, Černovická a Otakara Ševčíka (shora: alt.1 Diamond Diverging Interchange, alt.2 Michigan Urban Interchange)

## PLÁNOVANÉ VÝSTUPY VÝZKUMU

Výsledky výzkumné činnosti v rámci předkládané studie budou použity pro tvorbu Metodického doporučení (12/2023) a Podkladu pro úpravu normy (12/2023). Některé nekonvenční uspořádání křižovatek je schematicky zaneseno již v normě ČSN 73 6102 (2007) Projektování křižovatek na místních komunikacích, není však nijak řešena jejich kapacita nebo stavební podmínky. Podklad pro úpravu normy a technických podmínek bude zaměřen na stavební uspořádání zkoumaných úrovňových i mimoúrovňových nekonvenčních křižovatek. Budou uvedeny minimální a doporučené rozměry jednotlivých typů a prvků zkoumaných nekonvenčních křižovatek. Řešení projektu umožní představení reálných návrhů na konkrétních křižovatkách v ČR využitím různých typů nekonvenčních úprav křižovatek s definováním jejich okrajových podmínek, jejichž realizace by zvýšila kapacitu současné křižovatky, což by vedlo ke snížení doby zdržení vozidel, zkrácení dopravních kongescí, a s tím plynoucí

snížení emisí škodlivých látek produkovaných silniční dopravou. Metodické doporučení bude komplexní příručka, která bude obsahovat specifikace jednotlivých alternativních nekonvenčních křižovatek. U jednotlivých typů křižovatek bude definováno, za jakých podmínek je vhodné realizovat nové typy křižovatek, bude specifikováno stavební uspořádání křižovatky, porovnání s ekvivalentní konvenční křižovatkou, porovnání kapacit křižovatek dle různých scénářů intenzit dopravy a porovnání produkce emisí škodlivin produkovaných motorovou dopravou. Kromě těchto dvou výsledků jsou výsledky dosažené v rámci tohoto projektu prezentovány formou odborných příspěvků do renomovaných časopisů i formou prezentace na konferenci v ČR i v zahraničí.

*Tento projekt je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR v rámci programu DOPRAVA 2020+.*

## Použité zdroje:

- ATEM (2013). *MEFA 13 – Uživatelská příručka*. ATEM, s. r. o. Praha. 51 s.
- BOUBAKER, S., REHIMI, F., KALBOUSSI, A. (2016). Impact of intersection type and a vehicular fleet's hybridization level on energy consumption and emissions. In: *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 253–261.
- ČSN 73 6102 (2007). *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích, změna Z1*. 2009.
- HADID, T., NAGHAWI, H., JADAAN, K. (2022). Unconventional Intersection Designs for Improving Traffic Operation Along Arterial Roads. In: *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 50(1), 58–68.
- KAREL, J. et al. (2016). *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku v roce 2015*. Prognóza skladby vozového parku do roku 2040. ATEM, s. r. o. Praha. 211 s.
- KAREL, J. et al. (2017). *Předběžné stanovisko k předpokládaným dopadům k zavedení nízkemisní zóny na emisní a imisní situaci na území hl. m. Prahy*. ATEM, s. r. o. Praha. 18 s.
- MÁČA, V. et al. (2014). *Metodika pro hodnocení emisí zdravotně rizikových látek ze silniční dopravy a externích nákladů v důsledku jejich působení na lidské zdraví*. TA ČR, COŽP UK.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2012). *Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší pro vypracování rozptylových studií podle § 32 odst. 1 písm. e) zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší*. MŽP. Praha. 11 s.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší*. [on-line]. [cit. 12. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>.
- PVT GROUP. [on-line]. [cit. 12. 1. 2023]. Dostupné z: <https://company.ptvgroup.com/en/>.
- SHOKRY, S., TANAKA, S., NAKAMURA, F., ARIYOSHI, R., MIURA, S. (2020). Operational performance comparison between conventional intersections and two unconventional alternative intersection designs (UAIDs) under heterogeneous traffic conditions in Cairo, Egypt. In: *Transportation Research Procedia*. 48 923-938.
- TRB – Transportation Research Board (2022). *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Transportation Research Board. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, D. C. DOI: 10.17226/26432.

Ing. Eva Kvašňovská, PhD.

Ing. Petr Neuwirth

Ing. Radim Striegler

RNDr. Leoš Pelikán, Ph.D.

Ing. Eva Havlíčková

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

## ENGLISH ABSTRACT

**Research into suitable modifications of intersections in relation to capacity and environmental impacts**, by Eva Kvašňovská, Petr Neuwirth, Radim Striegler, Leoš Pelikán, Eva Havlíčková

The research focuses on the potential use of unconventional intersection modifications that lead to an increase in their capacity, a reduction in the delay time when passing through the intersection, and thus a reduction in emissions of pollutants produced by road traffic in their place and surroundings. The aim of the research is to test the application of these unused alternative modifications at intersections in the Czech Republic in order to permanently increase the efficiency of the transportation system while reducing the negative effects on the environment, public health and climate change while maintaining transport competitiveness. The solution identified locations in the Czech Republic for the implementation and assessment of surveys at capacitively inadequate intersections, for which modifications were proposed without expanding the construction occupation of the intersection within the built-up area, i.e. using the existing space, or with only minimal partial expansion to increase their permeability and thus reduce emissions. The PTV Vissim microsimulation tool was used to assess the overall capacity and efficiency of the existing condition and unconventional modifications. The MEFA 13 emission modelling software, approved by the legislation of the Czech Republic, was used to calculate emissions from road transport. The results will serve to create a good basis for the possibility of implementing unconventional modifications of intersections and their adaptation to specific types of conventional intersections in the conditions of the Czech Republic. The research was carried out within the framework of the DOPRAVA 2020+ programme funded by the state subsidy of the Technology Agency of the Czech Republic and the Ministry of Transport of the Czech Republic.