# Efektivita úprav rozlehlých křižovatek pomocí analýzy DI parametrů

Publikováno: 31. 5. 2015
CDV

**Úvod**

Úpravy křižovatek jsou součástí rozvoje silniční sítě, kdy dochází ke změně nároků na jejich parametry. Na řadě míst dochází ke změně dopravního režimu v lokalitě v souvislosti s územním rozvojem v okolí. Může se jednat o růst obytných částí měst a obcí, budování nových průmyslových závodů či obchodních center. Úpravy mají vždy dopad na intenzitu dopravy na přilehlé silniční síti. Dalším podnětem proto, proč upravovat křižovatku může být její vnímání veřejností jako nebezpečného místa (subjektivní bezpečnost) nebo se může jednat o nehodovou lokalitu (objektivní bezpečnost).

Objektivní posouzení nehodovosti křižovatky, lze vypočítat dle následujícího vzorce:

$$\frac{\text{Počet nehod}}{\text{Počet let}} > \text{Očekávaný počet nehod} \implies \text{Úprava křižovatky je žádoucí}$$

(1)

Pokud je poměr počtu nehod a délky sledovaného období (počet let) vyšší jak očekávaný počet nehod vyplývající z predikčního modelu nehodovosti křižovatky, tak je vhodné přistoupit k úpravě křižovatky za účelem zvýšení bezpečnosti silničního provozu.

Vyvinutá metodika [1] umožňuje porovnání efektivity investice do úprav úrovňových neřízených křižovatek. Možné je porovnávat varianty spočívající v jednoduché úpravě neřízené křižovatky (např.: dopravních značek, zřízení dělicích ostrůvků, přidání odbočovacích pruhů, …) s přestavbou na okružní křižovatku či na světelně řízenou křižovatku.

**Použité metody hodnocení úprav**

Metody použité pro výpočet efektivity vycházejí z dat dostupných pro danou lokalitu. Nejprve je nutné stanovit úroveň kvality dopravy křižovatky ve stávajícím stavu. V ideálním případě jsou dostupná data ze směrového průzkumu a je možné provést výpočet kapacity dle platných technických podmínek [2]. V řadě případů, kdy bude efektivita stanovována, však nejsou takto podrobné podklady k dispozici. V takovém případě se do výpočtu uvažuje s hodnotami RPDI z aktuálního celostátního sčítání dopravy, které jsou poté porovnávány s orientačními hodnotami uvedenými v ČSN 73 6102 [3]. Kapacitní limity některých typů křižovatek mohou v tomto kroku vést k vyřazení některých typů úprav z dalších výpočtů.

Druhým krokem je zjištění a analýza nehodových dat. Cílem je nalezení převládajících typů nehod v křižovatce stanovením skupin nehod. Pro účely popisované metodiky [1] je skupina nehod definována jako shluk tří a více dopravních nehod stejného typu v průběhu tří let. Tříleté období je zároveň minimální, které může být použito pro zkoumání nehodovosti.

Pokud nehodovost není možné za toto období získat, je možné využít alternativní přístup. Tímto přístupem je predikční model nehodovosti, který byl vytvořen pro stykové a průsečné úrovňové

neřízené křižovatky, které mají neusměrněné vjezdy a nejsou organizovány v okolí křižného bodu křižovatky, proto zde lze provádět nestandardní manévry (např.: řazení vozidel bez vyznačených pruhů, otáčení, najíždění do protisměru, apod.). Anebo se jedná o křižovatky s usměrněnými vjezdy, ale s naddimenzovanými rozměry naprosto neodpovídající kapacitě křižovatky, charakteru a skladbě dopravy [1]. Víceramenné křižovatky nejsou tímto modelem postihnuty.

Model byl tvořen postupem obecně popsaným v Metodice identifikace kritických míst v extravilánu [4]. Výsledná podoba modelu je následující:

$$N = 0{,}0105 \cdot I_{hl}^{0{,}289} \cdot I_{vedl}^{0{,}299} \cdot e^{(-0{,}305 \cdot \alpha + 0{,}592 \cdot \beta - 0{,}348 \cdot \gamma - 0{,}579 \cdot \delta)} \quad (2)$$

Kde:

*N* očekávaný počet nehod za rok [ks]

*Ihl* intenzita vozidel na vjezdu do křižovatky na hlavní komunikaci (součet hodnot na obou vjezdech) vycházejících z RPDI [voz/24h]

*Ivedl* intenzita vozidel na vjezdu do křižovatky na vedlejší komunikaci, v případě průsečné křižovatky součet hodnot na vjezdech vycházejících z RPDI [voz/24h]

*α* úhel křížení komunikací, pro úhel 70-90° má hodnotu 1, jinak 0 [-]

*ß* poloha křižovatky, poloha v extravilánu má hodnotu 1, v intravilánu 0 [-]

*γ* výskyt zalomené přednosti v křižovatce, pokud je přednost zalomená nabývá hodnoty 1, jinak 0 [-]

*δ* počet ramen křižovatky; pro stykovou křižovatku nabývá hodnoty 1, pro průsečnou 0 [-]

V případě, že je použit model, musí být provedeno i sledování dopravních konfliktů. Z tohoto pozorování jsou odvozeny skupiny konfliktů. Za skupinu konfliktů se považuje shluk 3 a více dopravních konfliktů stejného druhu (o závažnosti 1 – 3) v jednom místě za hodinu. Tyto skupiny dopravních konfliktů slouží pro výběr vhodného typu opatření ke snížení rizikovosti křižovatky [1].

**Návrh opatření**

Opatření se navrhují na základě skupin nehod či dopravních konfliktů. Ke každému typu dopravní nehody nebo obdobnému typu dopravního konfliktu dle třídění hlavních příčin nehod užívaného Policií ČR existuje skupina opatření, které snižují riziko daného typu dopravní nehody. Opatření může být zároveň účinné pro více typů dopravních nehod, může ovšem v některých případech způsobit i zvýšení počtu dopravních nehod jiného typu.

Pro každé opatření byla stanovena účinnost. Výsledné hodnoty uvedené v tabulce 1 ukazují účinnost opatření sníženou o možné zvýšení nehodovosti způsobené úpravou lokality (např. zřízením přechodu pro chodce může dojít ke zvýšení počtu nehod vozidel brzdících před přechodem – náraz zezadu). Hodnoty byly získány analýzami dat, jež CDV získalo při řešení projektu EFEKTIV i dřívějších výzkumných projektů a byly také provedeny metaanalýzy zahraničních studií. Úpravy musí reflektovat jednotlivé typy nehod, aby bylo dosaženo optimálního účinku daného opatření.

Opatření mají omezenou životnost a některá musí být v návrhovém období aplikována opakovaně. I tento fakt je v metodice zahrnut. Návrhové období vychází z posouzení kapacity neřízené křižovatky dle ČSN 73 6102 [3].

Tabulka 1 Očekávané snížení počtu dopravních nehod a životnost jednotlivých opatření [1]

| OPATŘENÍ | ÚČINNOST hi [%] | ŽIVOTNOST tzi [ROKY] |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| zřízení nového svislého DZ | 35 – průsečná<br>20 – styková | 5 – 10 |
| obnova svislého DZ | 1 – 5 | 5 – 10 |
| zřízení nového vodorovného DZ | 30 - 35 zřízení | 1 – 5 |
| obnova vodorovného DZ | 10 – 15 obnova | 1 – 5 |
| úprava rozhledových poměrů | 30 | 5 - 10 |
| pruh pro levé odbočení | 30 - intravilán<br>35 - extravilán | 10 |
| pruh pro pravé odbočení | 10 | 1 - 5 |
| prodloužení odbočovacího pruhu | 5 | 1 – 5 |
| zúžení jízdních pruhů | 5 - 10 – fyzické<br>3 – 5 – barvou | 30<br>1 - 5 |
| sjednocení šířek všech vjezdových větví | 20 | 30 |
| zvýšený dělící ostrůvek | 35 – průsečná, na vedl.<br>45 – styková, na vedl.<br>15 – mobilní na hlavní<br>25 - stálý na hlavní | 10 – 20 |
| protismyková povrchová úprava | 35 | 1 – 5 - nátěr<br>5 – 10 nový kryt |
| směrové vychýlení trasy – šikana | 15 | 30 |
| místo pro přecházení | 10 | 10 |
| zkrácení přechodu pro chodce – ochranný ostrůvek | 25 – 40 | 5 – 10 |
| zkrácení přechodu pro chodce – vysazené plochy | 30 – 50 | 10 |
| zvýraznění přechodu | 7 – 10 | 5 |
| přesun přechodu dále od křižovatky | 3 | 20 |
| fyzická zábrana a směrování chodců | 25 - 40 | 10 - 20 |
| přechod pro chodce | 25 - 40 | 10 - 30 |
| přechod na zvýšeném prahu | 40 | 5 - 10 |
| pruh pro cyklisty | 25 - 40 | 10 - 30 |
| přejezd pro cyklisty | 20 - 25 | 10 - 30 |
| zjednosměrnění původně obousměrné větve křižovatky | 25 - 40 | 30 |
| zvýšené prahy | 30 | 30 |
| osvětlení křižovatky/přechodu | 40 - extravilán<br>20 - intravilán | 5 - 10 |
| OK - kompletní přestavba na OK | 70 – extravilán<br>55 - intravilán | 10 - 30 |
| SSZ - světelné signalizační zařízení | 15 – styková<br>30 – průsečná<br>30-45 – nový sig. plán | 10 - 30 |

Téměř vždy je pro úpravu křižovatky aplikováno více opatření. Proto je nutné uvažovat i s jejich kombinací. V této oblasti je ještě velký prostor pro výzkum a ani ve světovém měřítku neexistuje mnoho studií, s jejichž pomocí by bylo možné popsat vztahy mezi opatřeními. Z tohoto důvodu se nejčastěji uvažuje s jednotlivými opatřeními jako s nezávislými proměnnými, i když to přesně nevystihuje skutečnost (Např.: Realizací zvýšeného dělícího ostrůvku dojde k zúžení jízdních pruhů. Tyto úpravy jsou na sobě závislé.)

V této metodice je využita metoda kombinovaného efektu s vlivem účinnosti dominantního opatření [5, 6]. Tento postup se ukázal na datech křižovatek zkoumaných v projektu EFEKTIV jako nespolehlivější.

Pokud jsou aplikována maximálně 4 opatření je vzorec následující:

$$\eta = [1 - (1 - \eta_1)\cdot(1 - \eta_2)\cdot(1 - \eta_3)\cdot(1 - \eta_4)] \quad (3)$$

Pokud je opatření více, použije se tento vzorec:

$$\eta = 1 - [(1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \cdot \ldots \cdot (1 - \eta_k)]^{(1-\eta_{dom})} \quad (4)$$

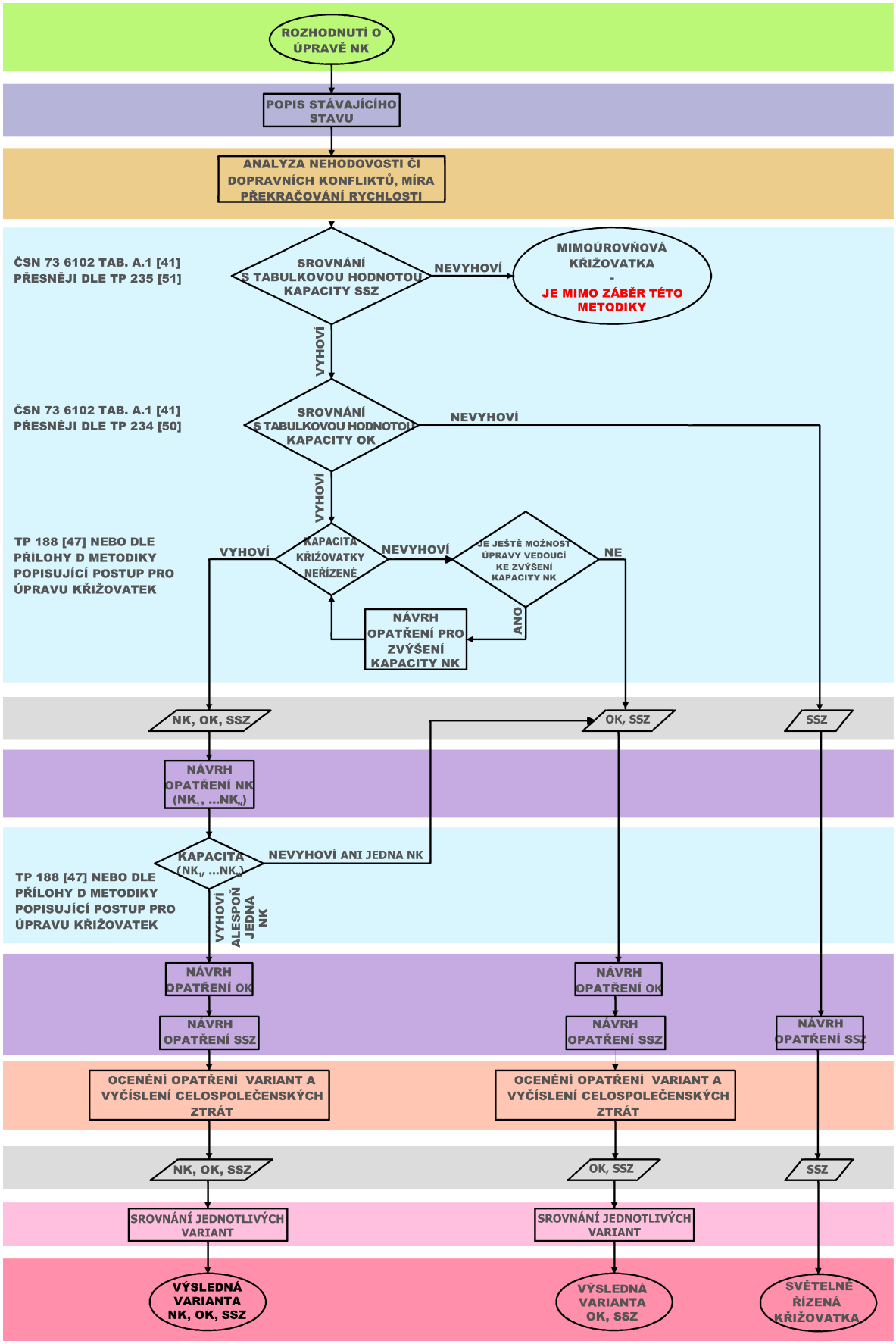
Kde:

$\eta$ odhad účinnosti kombinace [-]

$\eta_1, \eta_2$ účinnost opatření č. 1, 2, … až k [-]

$\eta_{dom}$ účinnost dominantního opatření (opatření s maximální účinností z množiny navrhovaných opatření) [-]

Jednou z posuzovaných variant je doplnění křižovatky s navrženými úpravami světelným signalizačním zařízením. V takovém případě je účinnost SSZ uvažována pouze v době, kdy je SSZ aktivní. V době, kdy je SSZ mimo provoz, je účinnost úprav shodná jako na neřízené křižovatce. Celý výše popsaný postup je přehledně shrnut ve schématu na obrázku 1.




Obrázek 1 Schéma postupu řešení křižovatky [1]

### Výpočet ztrát a efektivity úpravy

Pro ohodnocení ztrát z dopravní nehodovosti jsou využity výsledky vypočítané dle Metodiky výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích [7]. Bohužel nejsou dostupná data o všech

dopravních nehodách, ale pouze o nehodách evidovaných Policií ČR. Z tohoto důvodu vzniká určitá nepřesnost u nehod pouze s hmotnou škodou. Rozhodující vliv však mají nehody s osobními následky, kdy jsou ztráty z nehodovosti řádově vyšší.

V případě dostupných dat je výpočet proveden přímo, kdy jsou jednotlivým nehodám přiřazeny ztráty podle následků nehody. Ztráta se vždy počítá k aktuálnímu roku. Pokud data o nehodovosti dostupná nejsou, použije se odhad počtu dopravních nehod dle predikčního modelu, viz rovnice 2, a vynásobí se průměrnou ztrátou z dopravní nehody. Tato ztráta se vypočítá podle vzorce uvedeného v rovnici 5.

$$EZ = \frac{SZ_{EZ} \cdot \frac{SZ_{počet}^{2}}{DN_{SZ}} + TZ_{EZ} \cdot \frac{TZ_{počet}^{2}}{DN_{TZ}} + LZ_{EZ} \cdot \frac{LZ_{počet}^{2}}{DN_{LZ}} + HŠ_{EZ} \cdot HŠ_{počet}}{DN} \quad (5)$$

Kde:

*EZ* ekonomické (celospolečenské) ztráty z dopravní nehodovosti v aktuálním roce [Kč]

*SZEZ* výše ztráty z úmrtí při dopravní nehodě v aktuálním roce [Kč]

*SZpočet* počet usmrcených osob při dopravních nehodách v aktuálním roce [-]

*DNSZ* počet dopravních nehod s usmrcením v aktuálním roce [-]

*TZEZ* výše ztráty z těžkého zranění při dopravní nehodě v aktuálním roce [Kč]

*TZpočet* počet těžce zraněných při dopravních nehodách v aktuálním roce [-]

*DNTZ* počet dopravních nehod s těžkým zraněním v aktuálním roce [-]

*LZEZ* výše ztráty z lehkého zranění při dopravní nehodě v aktuálním roce [Kč]

*LZpočet* počet lehce zraněných při dopravních nehodách v aktuálním roce [-]

*DNLZ* počet dopravních nehod s lehkým zraněním v aktuálním roce [-]

*HŠEZ* výše ztráty z nehody pouze s hmotnou škodou v aktuálním roce [Kč]

*HŠpočet* počet dopravních nehod pouze s hmotnou škodou v aktuálním roce [-]

*DN* celkový počet dopravních nehod v aktuálním roce [-]

Nejaktuálnější data jsou dostupná pro rok 2012 [8] a průměrná ztráta z dopravní nehody činí 739 305 Kč.

Vlastní ekonomické hodnocení opatření se po vyčíslení ztrát z nehodovosti či očekávaných ztrát z nehodovosti provede pomocí rozdílu úspory snížením nehodovosti a celkových nákladů na úpravu křižovatky (vstupní a provozní náklady včetně jejich obnovy).

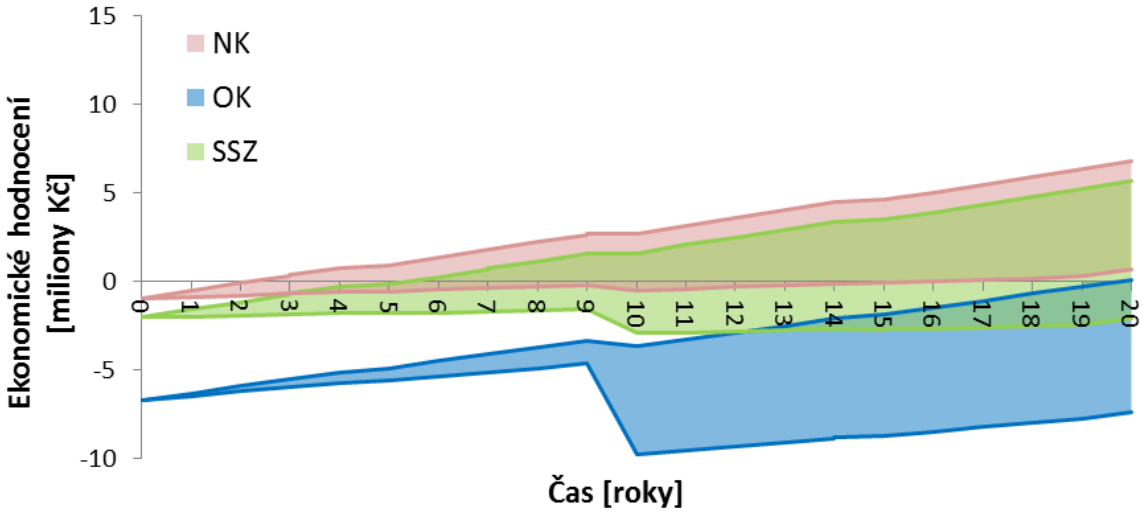
Výsledkem pro každou z hodnocených variant je rozpětí určené vstupními daty (minimální a maximální účinnost, minimální a maximální životnost) a nazývá se pravděpodobný interval ekonomického hodnocení. Intervaly jednotlivých variant se mohou překrývat, a proto vždy nelze jednoznačně určit nejefektivnější variantu úpravy pouze na základě ekonomického hodnocení. V takovém případě je rozhodující vyšší účinnost opatření navržených ke snížení nehodovosti.

Na grafu v obrázku 2 je příklad, kdy byla uvažována úprava neřízené průsečné křižovatky v intravilánu. Kapacita křižovatky nebyla vyčerpána. Docházelo zde k nehodám s chodci na přechodu pro chodce a k nehodám, jejichž hlavní příčinou bylo nedání přednosti v jízdě proti příkazu dopravní značky č. P6 „ Stůj, dej přednost v jízdě“. Navrženy byly dělící ostrůvky na vedlejší komunikaci, ochranné ostrůvky na hlavní komunikaci, protismykový nátěr před přechodem pro chodce a obnova

vodorovných i svislých dopravních značek (NK). Stejné úpravy byly zvoleny i pro variantu světelně řízené křižovatky (SSZ). Třetí alternativní úpravou byla přestavba na okružní křižovatku (OK).

Jak je z grafu na obrázku 2 patrné, přestavba na okružní křižovatku není pro tuto lokalitu vhodná, investice dosáhne své návratnosti téměř až za 20 let při nejvyšší uvažované účinnosti 55 %. Nejvhodnější variantou byla dle metodiky [1] vyhodnocena úprava neřízené křižovatky.

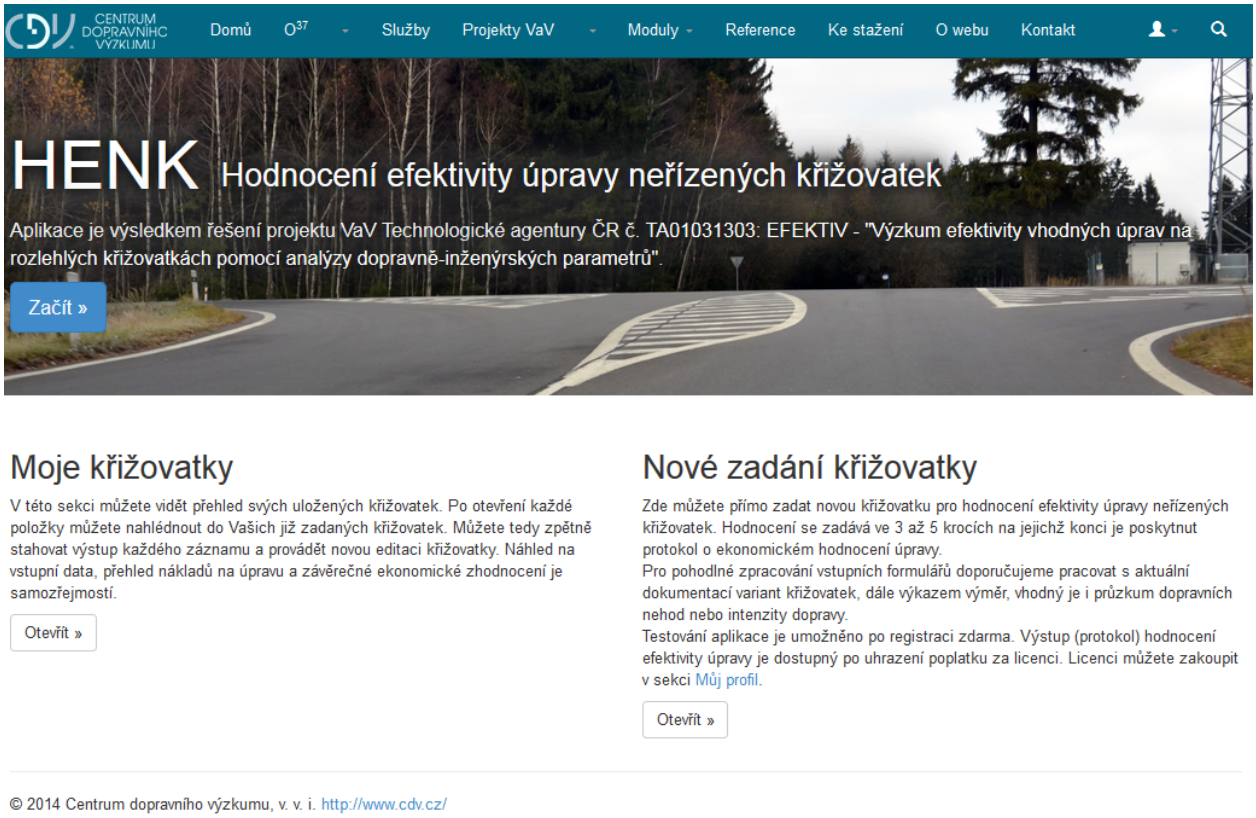
Obrázek 1 Graf ekonomického hodnocení variant [1]




Lomy v grafu na obrázku 2 jsou způsobeny obnovou některých opatření. Nejvýraznější lom je patrný po deseti letech provozu, kdy dochází k výměně vozovkových vrstev (největší skok je patrný v křivce okružní křižovatky, kde je plocha vozovky největší).

Popisovaný postup je náročný na ruční zpracování. Proto byla celá metodika [1] převedena do webové aplikace s názvem **HENK**, která je dostupná na webu oblasti navrhování pozemních komunikací (http://oblast.cdv.cz/cz/O37/) v sekci projekty. Tato aplikace umožňuje uživateli částečnou automatizaci postupu stanovení efektivity úpravy křižovatky. Z původních devíti kroků, které jsou popsány v metodice [1], a které je kompletně nutné zpracovat ručně, aplikace redukuje manuální zpracování uživatelem na tři kroky. Ostatní kroky jsou automatizovány. Aplikaci je vhodné využívat především z důvodu úspory času, ale i správného postupu výpočtu. Jedním z automatických kroků je například: orientační zařazení křižovatky dle dopravního zatížení, vyčíslení celospolečenských ztrát na základě vyhledání dopravních nehod v databázi Policie ČR a aktuální výše celospolečenských ztrát, odhad účinnosti kombinace opatření a samozřejmě vygenerování souhrnného protokolu.

Nástroj je zaměřený na vytvoření podkladu pro stavebníka při vyjednávání o úpravě rozlehlých křižovatek s ostatními dotčenými orgány a úřady, ať už se jedná o správce křížících se komunikací, projektanta, stavební úřad nebo Policii ČR. Na uvedených webových stránkách je také možné uvedenou metodiku [1] stáhnout v elektronické podobě.




Obrázek 3 Titulní stránka aplikace HENK

**Závěr**

Je zřejmé, že výsledky porovnání efektivity investic do přestavby křižovatek, jsou cenným podkladem při rozhodování o jejich úpravě. Vždy je ovšem nutné uvažovat i místní podmínky a návaznost na okolní infrastrukturu. V některých lokalitách může být realizace ekonomicky nejefektivnějšího řešení těžko proveditelná s ohledem na majetkoprávní poměry, inženýrské sítě a okolní zástavbu. V jiných případech by se mohlo jednat o nekoncepční řešení, které může být řešením pro danou křižovatku. Nevyřeší ovšem širší dopravní vztahy a dojde pouze k přenesení dopravních komplikací jinam. Výsledky by tedy měly být zejména argumentem pro správce silniční sítě, projektanty a širší odbornou veřejnost, která umí důsledky jednotlivých úprav hodnotit i v širších souvislostech.

Řešitelský tým předpokládá v budoucnu rozšíření metodiky i o hodnocení vlivu na životní prostředí, čímž by metoda poskytovala opět o něco komplexnější pohled na problematiku a skutečně objektivní multikriteriální hodnocení. CDV plánuje i další výzkum v oblasti hodnocení efektivity jednotlivých opatření úprav křižovatek.

**Poděkování**

Článek byl zpracován za podpory programu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ED2.1.00/03.0064 Dopravní VaV centrum.

**Reference**

[1] Striegler, R., Valentová, V., Vyskočilová, L., Novák, J., Frič, J. *Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013. ISBN 978-80-86502-68-7.

[2] TP 188 *Posuzování kapacity neřízených úrovňových křižovatek*. Plzeň: Edip s.r.o., 2008.

[3] ČSN 73 6102 *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

[4] Striegler, R., Valentová, V., Pokorný, P., Ambros J., Šenk, P., Janoška, Z. *Identifikace kritických*

*míst na pozemních komunikacích v extravilánu: metodika provádění*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2012.

[5] *Guide to road safety, part 8: Treatment of crash locations*, AGRS08/09. Sydney (New South Wales): Austroads, 2009.

[6] Elvik, R., 2009. An exploratory analysis of models of estimating the combined effects of road safety measures. *Accident Analysis and Prevention,* 41 (4), pp. 876 – 880.

[7] Vyskočilová, A., Tecl, J., Valach, O. et al. *Metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013. 38 s.

[8] Vyskočilová, A., Valach, O., Tecl, J., Gogolín, O. *Výše ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích za rok 2012* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013 [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: http://www.czrso.cz/clanky/vyse-ztrat-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-za-rok-2012/