

# Hodnocení efektivity úprav neřízených křižovatek – HENK

Ing. Jan Novák, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., výzkumník

Ing. Veronika Valentová, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., výzkumník

Ing. Peter Oríšek, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., výzkumník

Ing. Lucie Vyskočilová, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., výzkumník

Ing. Radim Striegler, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., výzkumník

Ing. Jindřich Frič, Ph.D., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., ředitel divize bezpečnosti a dopravního inženýrství

## Anotace

Na silniční síti se vyskytuje celá řada typů křižovatek, které se liší nejen svou geometrií či počtem ramen, ale také svou kapacitou a mírou rizika vzniku dopravní nehody. Tyto dvě vlastnosti mají zásadní význam i v rozhodování o stavebních úpravách křižovatky. Často se nabízí celá řada variant řešení úprav, obnovou dopravního značení a vybudováním ochranných ostrůvků počínaje a kompletní přestavbou na jiný typ křižovatky konče. Porovnání takto odlišných variant v dlouhodobém horizontu je velmi náročné a ručně téměř neproveditelné. V letech 2011–2013 byl Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. (dále jen CDV) ve spolupráci s firmou EDIP s.r.o. řešen výzkumný projekt EFEKTIV (TA01031303), jehož cílem bylo vytvořit metodický postup pro hodnocení úprav křižovatek s ohledem na zajištění funkčnosti křižovatky a bezpečnost účastníků silničního provozu. Na základě certifikované Metodiky popisující postup pro úpravu křižovatek (MD ČR dne 5. prosince 2013, č.j. 109/2013-520-TPV/1) byla v CDV vytvořena webová aplikace, která zpřístupňuje výsledky široké veřejnosti.

## Klíčová slova:

Křižovatka, kapacita křižovatky, bezpečnost silničního provozu, dopravní nehoda, celospolečenské ztráty z dopravní nehodovosti, úprava křižovatky, účinnost opatření.

## Úvod

Vyvinutá Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek [1] umožňuje porovnání efektivity investice do úprav úrovnových neřízených křižovatek. Možné je porovnávat tři varianty úprav spočívající v jednoduché úpravě úrovnové neřízené křižovatky (např.: dopravních značek, zřízení dělicích ostrůvků, přidání odbočovacích pruhů, ...), přestavbu na okružní křižovatku či na světelně řízenou křižovatku.

Úpravy křižovatek jsou součástí údržby a budování silniční sítě. Může se jednat o pouhou údržbu v rámci udržitelnosti provozu na komunikaci nebo k úpravě vlivem růstu obytných částí měst a obcí, budování nových průmyslových závodů či obchodních center. Dalším z podnětů k hodnocení efektivity úpravy křižovatky je její vnímání veřejností jako nebezpečného místa (subjektivní bezpečnost) nebo se může jednat o nehodovou lokalitu (objektivní bezpečnost), nebo také o místo častých dopravních konfliktů.

## Metoda hodnocení úprav křižovatek

V ideálním případě jsou při hodnocení efektivity úpravy dostupná všechna nezbytná data. Realita je však jiná. Při nedostupnosti směrového průzkumu křižovatky je možné uvažovat s hodnotami RPDÍ z aktuálního celostátního sčítání dopravy, které jsou poté porovnávány s orientačními hodnotami uvedenými v ČSN 73 6102 [3]. Tabulová/orientační kapacita vybraných typů křižovatek může v tomto kroku vést k vyřazení některých typů úprav z dalších výpočtů stanovení efektivity úpravy křižovatky.

Druhým krokem je rozbor dat o dopravních nehodách a konfliktech. Účelem je nalezení převládajících typů dopravních nehod v křižovatce stanovením skupin nehod. Skupinou nehod se rozumí shluk tří a více dopravních nehod stejného typu v průběhu tří let. Třileté období je zároveň minimální, které může být použito pro zkoumání nehodovosti.

Pokud není možné získat dat o dopravních nehodách za období tří let, je možné využít alternativní přístup. Tímto přístupem je predikční model nehodovosti, který byl vytvořen pro stykové a průsečné úrovně neřízené křižovatky, které mají neusměrněné vjezdy a nejsou organizovány v okolí křižného bodu křižovatky. Nebo se jedná o křižovatky s naddimenzovanými rozměry neodpovídající dopravnímu zatížení křižovatky, charakteru a skladbě dopravy [1]. Viceramenné křižovatky nejsou tímto modelem postihnuty.

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

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

Popis neznámých ve vzorci (modelu) je následující:

$N$	očekávaný počet nehod za rok [ks]
$I_{hl}$	intenzita vozidel na vjezdu do křižovatky na hlavní komunikaci (součet hodnot na obou vjezdech) vycházejících z RPDI [voz/24h]
$I_{vedl}$	intenzita vozidel na vjezdu do křižovatky na vedlejší komunikaci, v případě průsečné křižovatky součet hodnot na vjezdech vycházejících z RPDI [voz/24h]
$\alpha$	úhel křížení komunikací, pro úhel 70-90° má hodnotu 1, jinak 0 [-]
$\beta$	poloha křižovatky, poloha v extravilánu má hodnotu 1, v intravilánu 0 [-]
$\gamma$	výskyt zalomené přednosti v křižovatce, pokud je přednost zalomená nabývá hodnoty 1, jinak 0 [-]
$\delta$	počet ramen křižovatky; pro stykovou křižovatku nabývá hodnoty 1, pro průsečnou 0 [-]

Užití predikčního modelu musí být doplněno sledováním dopravních konfliktů na jehož základě budou doplněny 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].

## Druhy opatření

Opatření se navrhuje na základě skupin dopravních nehod či dopravních konfliktů. Každý typ dopravní nehody nebo dopravního konfliktu dle třídění hlavních příčin nehod užívaného Policií ČR má svoje opatření, které snižují riziko daného typu. Opatření může být zároveň účinné pro více typů rizik. Jejich kombinace však může v některých případech způsobit i zvýšení počtu dopravních nehod jiného typu viz Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu [9].

Každé opatření má svoji účinnost, kterou jsme schopni kvantifikovat. 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. Navíc každé opatření má svoji životnost. 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]

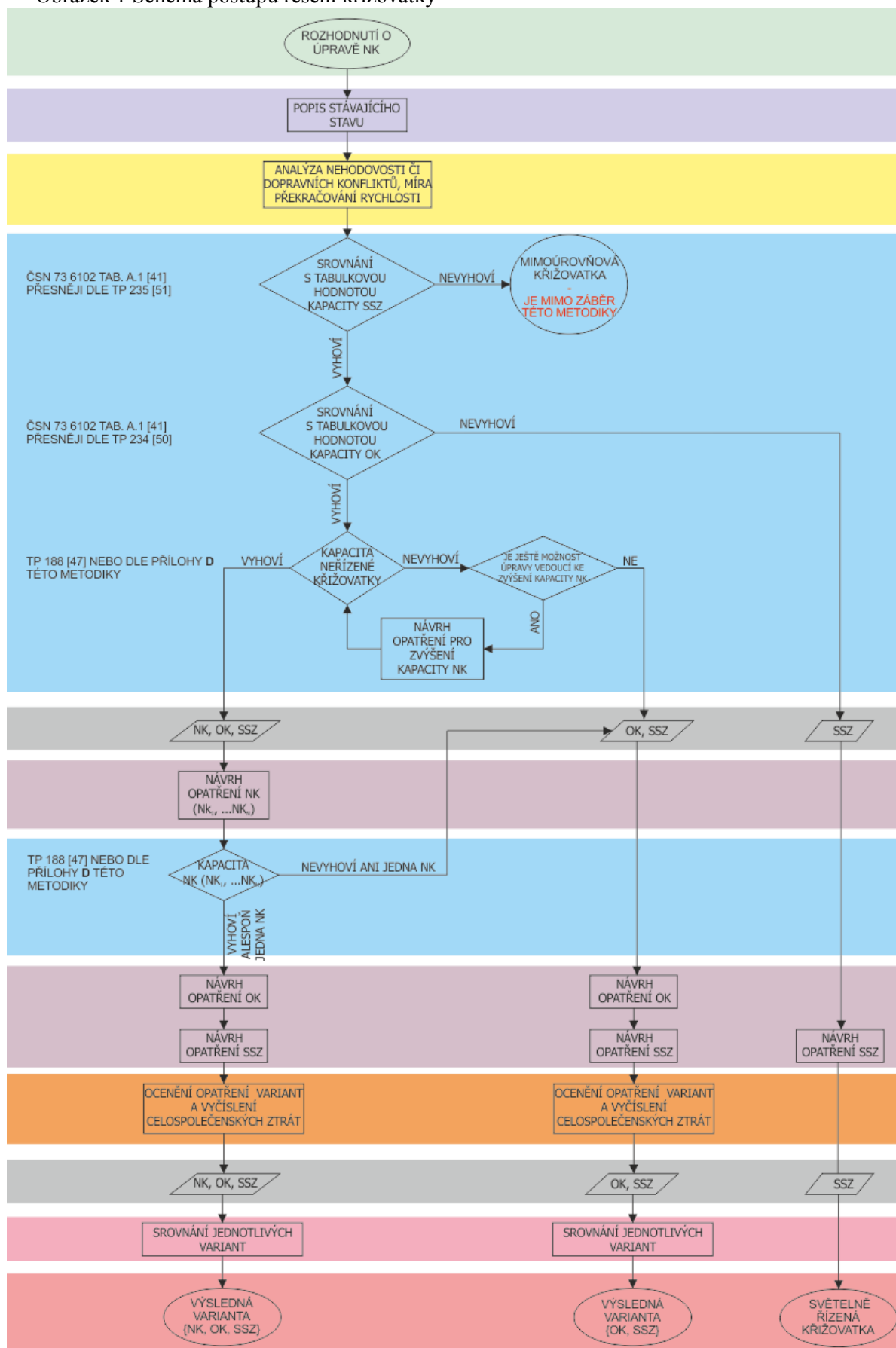
OPATŘENÍ	ÚČINNOST $\eta_i$ [%]	ŽIVOTNOST $t_{zi}$ [ROKY]
zřízení nového svislého DZ	35 – průměrná 20 – styková	5 – 10
obnova svislého DZ	1 – 5	5 – 10
zřízení nového vodorovného DZ	30 - 35 zřízení	1 – 5
obnova vodorovného DZ	10 – 15 obnova	1 – 5
úprava rozhledových poměrů	30	5 - 10
pruh pro levé odbočení	30 - intravilán 35 - extravilán	10
pruh pro pravé odbočení	10	1 - 5
prodloužení odbočovacího pruhu	5	1 – 5
zúžení jízdních pruhů	5 - 10 – fyzické 3 – 5 – barvou	30 1 - 5
sjednání šířek všech vjezdových větví	20	30
zvýšený dělicí ostrůvek	35 – průměrná, na vedl. 45 – styková, na vedl. 15 – mobilní na hlavní 25 - stálý na hlavní	10 – 20
protismyková povrchová úprava	35	1 – 5 - nátěr 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 směřování 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 20 - intravilán	5 - 10
OK - kompletní přestavba na OK	70 – extravilán 55 - intravilán	10 - 30
SSZ - světelné signalizační zařízení	15 – styková 30 – průměrná 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 dělicího ostrůvku dojde k zúžení jízdních pruhů. Tyto úpravy jsou na sobě závislé.) Jako nejspolehlivější se ukázala metoda kombinovaného efektu s vlivem účinnosti dominantního opatření [5, 6].

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 popsáný postup je přehledně shrnut ve schématu na obrázku 1.

Obrázek 1 Schéma postupu řešení křižovatky



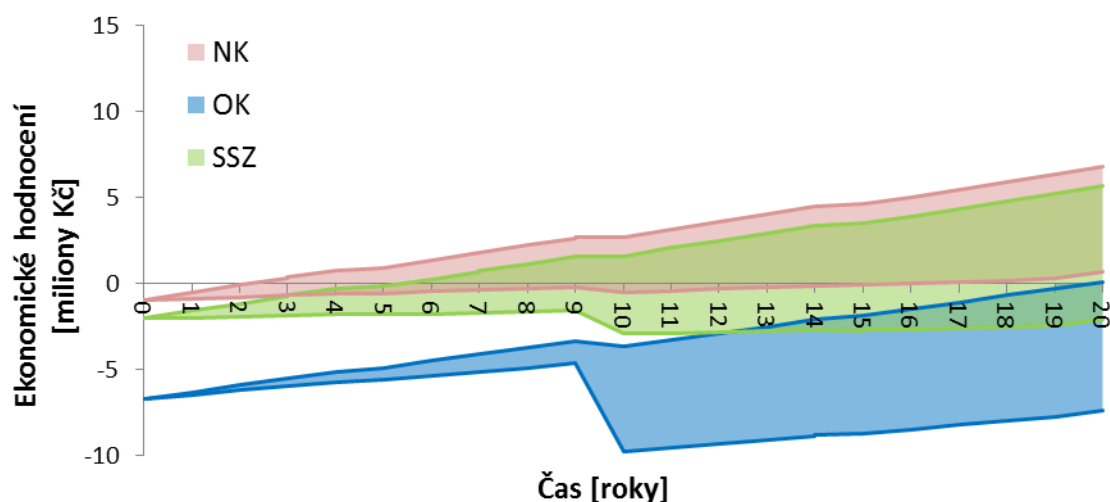
## Výpočet ztrát z dopravní nehodovosti a efektivity úpravy křižovatky

Hodnocení ztrát z dopravní nehodovosti je odvozeno z Metodiky výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích [7]. Rozhodující vliv mají nehody s osobními následky, jelikož nejsou dostupná data o všech dopravních nehodách, ale pouze o nehodách evidovaných Policií ČR. Tak vzniká určitá nepřesnost u nehod pouze s hmotnou škodou. 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. Ztráta se vypočítá dle vzorce uvedeného v metodice [1] v kapitole 6.2.2 Výpočet v případě nedostupných dat je k dispozici zde: <http://oblast.cdv.cz/cz/O37/>.

Vlastní ekonomické hodnocení úpravy se po vyčíslení ztrát z nehodovosti či očekávaných ztrát z nehodovosti (predikční model) 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 parametry 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.

Obrázek 1 Graf ekonomického hodnocení variant [1]



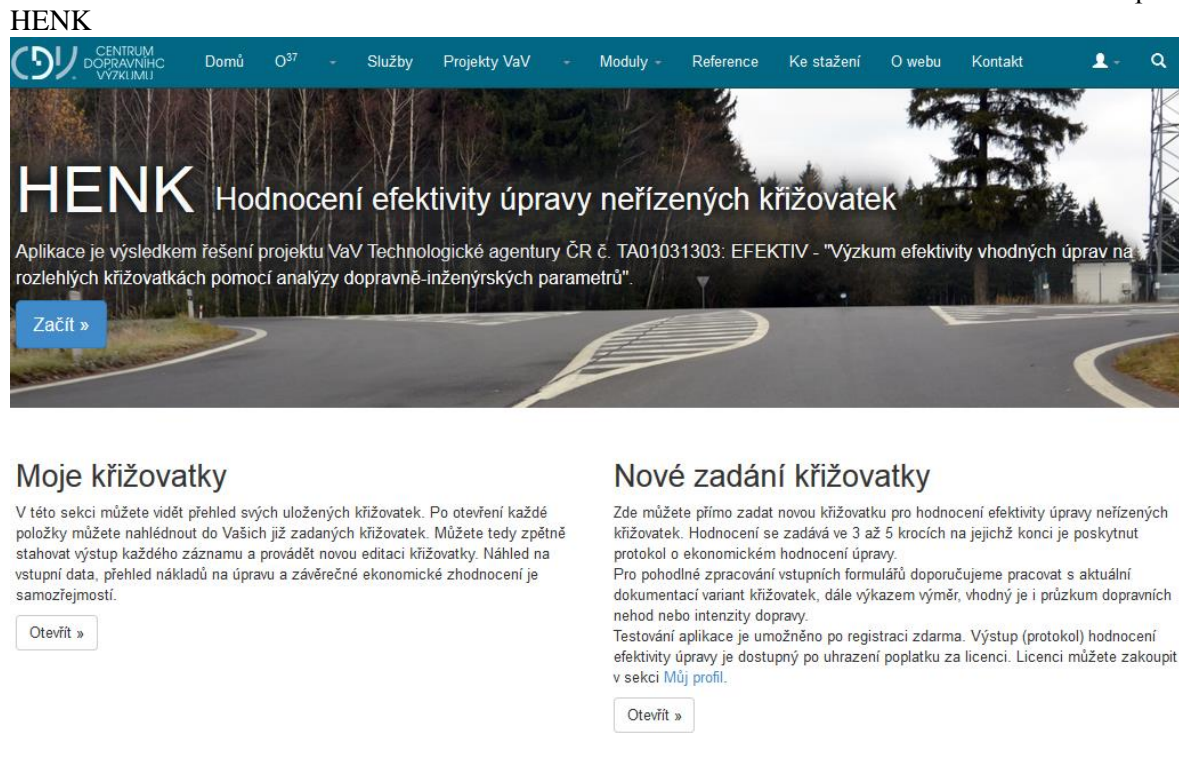
Na grafu v obrázku 2 je zobrazen příklad, kdy byla uvažována úprava neřízené průsečné křižovatky v intravilánu. Kapacita křižovatky nebyla vyčerpána. Docházelo zde k nehodám s chodci na přechodu pro chodce a k nehodám, jejichž hlavní příčinou bylo nedání přednosti v jízdě proti příkazu dopravní značky 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). Stejně 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 na neřízenou křižovatku. 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).

## Nástroj pro zvyšování efektivity vynakládání investic: HENK

Postup popisovaný v předchozích odstavcích je poměrně dost náročný na ruční zpracování. Proto pro zjednodušení práce s návrhem úprav křižovatek byla vyvinuta webová aplikace **HENK - Hodnocení Efektivity úpravy Neřízených Křižovatek**, která slouží jako elektronická podpora metodiky [1].

Obrázek 3 Titulní stránka aplikace



Postup hodnocení úprav křižovatek uvedený v metodice [1] je v aplikaci shrnut do následujících kroků:

1. zadání základních informací o stávajícím stavu křižovatky (lokalita, úhel křížení, dopravní zatížení, nejčastější typy dopravních nehod, atd.)
2. návrh opatření neřízené křižovatky (NZ)
3. návrh opatření okružní křižovatky (OK)
4. návrh světelně řízené křižovatky (SSZ)
5. shrnutí zadaných dat a jejich kontrola
6. ekonomické hodnocení ztrát z dopravní nehodovosti
7. protokol: hodnocení jednotlivých variant

Aplikace je dostupná na webu oblasti navrhování pozemních komunikací (<http://oblast.cdv.cz/cz/O37/>) a 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.



Obrázek 3 Nástroj HENK: Ukázka výstupu ekonomického hodnocení

**Rajhrad K**  
**Rajhrad - II/425, III/41617**  
 Vytvořeno: 13.01.2014



**Hodnocení jednotlivých variant** (Srovnání je zaokrouhleno na celé tisíce směrem nahoru)

Úprava			NK	OK	SSZ
ÚSPORY <sub>ROČNÍ</sub> [KČ/ROK]	U	min	399.000	391.000	442.000
		max	437.000	391.000	472.000
NÁKLADY <sub>VSTUPNÍ</sub> [KČ]	N <sub>v</sub>		963.000	6.690.000	2.035.000
NÁVRATNOST <sub>VSTUPNÍCH NÁKLADŮ</sub> [MĚSÍC]	T	min	26	205	52
		max	29	205	55
ÚSPORY ZA NAVRHOVANÉ OBDOBÍ [KČ]	U <sub>z</sub>	min	7.964.000	7.816.000	8.826.000
		max	8.724.000	7.816.000	9.429.000
NÁKLADY ZA NAVRHOVANÉ OBDOBÍ [KČ]	N <sub>z</sub>	min	1.938.000	7.727.000	3.730.000
		max	7.286.000	15.169.000	10.870.000
NÁVRHOVÉ OBDOBÍ [ROK]	t <sub>z</sub>		20	20	20
EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [KČ]	EH	min	679.000	-7.353.000	-2.044.000
		max	6.786.000	90.000	5.699.000
ODHAD ÚČINNOSTI KOMBINACE [%]	η	min	56	55	62
		max	61	55	66

V tabulce na obrázku 3 jsou znázorněny hodnoty předpokládaného ekonomického hodnocení (vyjádřená v celospolečenských ztrátách) za návrhové období 20 let z úprav NK v rozmezí 1 až 7 milionů Kč, z přestavby na OK se pohybuje v rozmezí -7 – až 0,09 milionů Kč a z přestavby na SSZ v rozmezí -2 až 6 milionů Kč. Intervaly efektivity opatření se překrývají, rozhodne odhad účinnosti kombinace opatření. Odhad účinnosti kombinace dvou nejefektivnějších variant SSZ je 62 - 66% a NK 56 - 61%. Z tohoto srovnání se jeví výhodnější úprava se SSZ, nicméně tato varianta vyžaduje více než dvojnásobnou investici na zřízení a není vyžadována kapacitně. **Ve výsledku lze doporučit aplikování navržených opatření pro neřízenou křižovatku, případně s uložením chrániček pro možnou instalaci SSZ v budoucnu. Varianta okružní křižovatky není pro danou lokalitu vhodná.**

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 křižicích se komunikací, projektanta, stavební úřad nebo Policii ČR. Na uvedených webových stránkách je také možné uvedenou metodiku [1] stáhnout v elektronické podobě.

## 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 úrovnňových 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.czrsr.cz/clanky/vyse-ztrat-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-za-rok-2012/>

[9] Striegler, R., Frič, J., Vyskočilová, L., Valentová, V. a další, *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu*, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013, ISBN 978-80-86502-70-0, dostupná na: <http://oblast.cdv.cz/cz/O37/>