



## VÝVOJ NÁSTROJE PRO POSUZOVÁNÍ RECYKLAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ASFALTOVÝCH VOZOVEK S DŮRAZEM NA UHLÍKOVOU STOPU

Zpracovali: Ing. Václav Snížek, Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Jan Hradil, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Recyklace vozovek dnes představují nezbytnou součást procesu obnovy či oprav. V tomto kontextu je vedle technického aspektu jednotlivých technologických řešení třeba pozornost věnovat i hlediskům, která souvisejí s dopady na životní prostředí či se zohledněním životního cyklu. V souvislosti s tím vznikla v posledním desetiletí řada kalkulátorů, které lze více či méně úspěšně aplikovat, přičemž existující nástroje se zaměřují pouze na aspekty využívání R-materiálu v asfaltových směsích nebo kombinacím, kdy volíme odfrézování části konstrukčních vrstev s následným zesilováním celkové konstrukce vozovky. V malé míře je podrobněji sledován potenciál technologií recyklace za studena. Ty přitom jako jedna z metod rekonstrukce asfaltových vozovek na místě patří mezi nejšetnější technická řešení k životnímu prostředí. Navzdory vysoké technologické účinnosti přispívá nicméně i tato metoda k produkci skleníkových plynů a má své limity z hlediska životního cyklu. Vývoj nástroje výpočtu produkce emisí skleníkových plynů při výrobě, následném zabudování materiálů a provozu stavebních strojů u technologií recyklace za studena, a to v porovnání s tradičním procesem obnovy frézování a pokládky nové asfaltové směsi, se proto stal hlavním předmětem řešení v letech 2014-15. V rámci vývoje tohoto nástroje bylo zapotřebí vytvořit vhodnou databázi strojů s relevantními daty, definovat možné varianty recyklace za studena a nastavit výpočtové algoritmy, jejichž výsledkem bude údaj o celkové produkci CO<sub>2</sub> vztažené k rekonstruované jednotce (plocha, tuna apod.). Současně s tím byl formulován v obdobném rozsahu výpočtový model pro častější způsob řešení opravy s využitím odfrézování asfaltových vrstev a pokládkou nové asfaltové směsi. Řešení bylo doplněno o shrnující analýzu existujících zahraničních nástrojů, a to včetně odůvodnění, proč nebylo možné v jednoduché míře navázat právě na tyto nástroje.

### Oblast použití

Problematika uhlíkové stopy je v současnosti v ČR stále ještě upozaděním tématem, které se nikterak nevyužívá při porovnávání technologií nebo dokonce porovnávání variant řešení stavebních projektů výstavby či rekonstrukce dopravních staveb. Přitom jsou principy a pravidla zadávání veřejných zakázek s důrazem i na environmentální aspekty v Evropě diskutovány a rozvíjeny již několik let (tzv. green public procurement) a v obdobné míře se věnuje velká pozornost aspektům životního cyklu – jeho řízení a posuzování.

Zpracovaný nástroj v současné době má využití jak na straně zadavatelů silničních staveb, tak na straně zhotovitelů. Pro zadavatele může být nástrojem rychlého porovnání vhodné technologie recyklace vozovky, pokud se například rozhoduje mezi více variantami provedení recyklace za studena nebo dokonce chce porovnat recyklaci za studena s tradičním postupem odfrézování asfaltového souvrství a pokládky nové asfaltové vrstvy. V případě zhotovitelů nástroj může poskytnout cennou informaci při porovnávání řešení recyklace za studena, a to například ve vazbě na volbu nejvhodnějšího postupu. Současně dává informaci z hlediska volby strojní sestavy a může tak ukázat existující rozdíly mezi stavebními stroji různé generace, přičemž nadále platí, že z hlediska recyklace za studena na uhlíkovou stopu mnohem zásadnější vliv má materiálová složka a způsob jejího zpracování. V neposlední řadě používání vyvinutého nástroje v praxi umožní potřebný sběr poznatků a dat, jakož i další verifikaci vlastního nástroje, díky které bude možné provádět průběžný vývoj vylepšených verzí software OptiRec.

### Metodika a postup řešení

Z hlediska vlastního principu řešení byla na počátku provedena obsáhlá analýza existujících nástrojů využívaných pro stanovení uhlíkové stopy v silničním stavitelství s důrazem na asfaltové technologie. Pro tento dílčí krok byla zpracována shrnutí k zvoleným více jak devíti nástrojům, a to včetně vymezení výhod i hlavních nedostatků

jednotlivých nástrojů. Z těchto poznatků byly čerpány klíčové aspekty, které se jeví jako důležité pro zapracování do nástroje nového – k tomu orientovaného především na problematiku recyklace, kde obecně znalostí a především takto zaměřené nástroje jsou jen v omezené míře.

V dalším kroku byla navržena vlastní architektura softwarového nástroje a současně probíhal sběr potřebných dat a vytváření databáze technických údajů zejména o strojích, které se v souvislosti s některou z forem recyklace dnes využívají. V těchto datech bylo snahou mít zahrnuty i údaje o spotřebách a charakteristikách motorů z hlediska výkonu a jejich práce v různých režimech. Obdobně byly identifikovány vhodné báze dat uhlíkové stopy používaných materiálů tak, aby se do konečného výpočtu vždy zahrnul i podíl uhlíkové stopy, který s sebou nese např. asfaltové pojivo nebo cement. Na základě této skutečnosti bylo provedeno vlastní naformulování početních algoritmů a vznikla výchozí podoba početního nástroje zpracovaná v excelu s využitím logicky provázaných vzorců, a to ve vazbě na parametry rekonstruované stavby a na možnost volby některé s dostupných recyklačních technik (v tomto ohledu zatím zpracována není problematika recyklace za horka na místě, která představuje i z hlediska strojního vybavení specifickou skupinu recyklačních technologií). Vlastní nástroj byl výpočtově verifikován a kalibrován na vybraných typech a příkladech projektů, kde se recyklační technologie uplatnila. Současně bylo snahou ověřit správnost dat a nastavených algoritmů z hlediska spotřeb jednotlivých strojů i režimů, ve kterých standardně během pracovní směny pracují.

## Výsledky

Jako původně nejvhodnější kandidát vhodného komplexního nástroje výpočtu uhlíkové stopy se jevil očekávaný výstup celoevropského projektu CEREAL. Cílem aktivity projektu byl právě jednotlivý nástroj pro porovnávání uhlíkové stopy a zjednodušené analýzy životního cyklu pro variantní technologická řešení v oblasti výstavby pozemních vozovek. Bohužel se ukázalo, že rozvíjený nástroj v nedostatečné míře umí zohlednit aspekty recyklačních technologií a navíc díky řadě vývojovým problémům dosud nebyl poskytnut k širšímu využití. Proto byla provedena další analýza a to nakonec celkově 16 výpočtových nástrojů (tj. softwarů), kdy devět z nich bylo podrobeno podrobnějším rozborům. Jako velmi nadějný se jevil a nadále jeví britský výpočtový nástroj asPECT, který má velmi dobře zpracovanou celkovou problematiku výroby a zpracování asfaltových

směsí, nevěnuje se však – bohužel – za studena prováděným recyklačním technologiím.

Po vyhodnocení stávajících nástrojů, které se dnes mohou v Evropě využívat, bylo možné konstatovat následující:

- Stávající softwarové aplikace jsou většinou uzavřené (tj. neprůhledné z hlediska výpočtového principu a možnosti vkládání dalších dat).
- Stávající softwarové aplikace vyžadují velké množství dat a jsou poměrně komplexní.
- Stávající softwarové aplikace se většinou zaměřují na novostavby a nezohledňují v celé šíři údržbu a obnovu vozovek.
- Evropské modely mají obecně problém s prezentací stručných jednoznačných výsledků, US modely jsou v tomto ohledu vstřícnější.
- Evropské modely obsahují značné množství užitečných dat, které však v současnosti neumíme účinně využít.
- Jednotlivé aplikace jsou specifické z hlediska jejich původu. Např. nástroj DuboCalc obsahuje detailní informace o situaci v Dánsku, nástroj asPECT a ROAD RES obsahují detailní informace o situaci v UK a skandinávských zemích atd.

Nově vyvíjený nástroj OptiRec založený na aplikaci v MS Excel provádí výpočty odhadovaných nákladů zvoleného typu technologie obnovy vozovky a zejména pak uhlíkové stopy. Výstupy provedených výpočtů lze využít pro volbu nejvíce přijatelného řešení recyklace za studena z hlediska vlivu na životní prostředí. Tento přístup může být důležitý pro správce silniční sítě, místní samosprávy nebo příslušná ministerstva dopravy. Výsledky aktuální verze jednoduchého kalkulátoru by měly podpořit další rozvoj vhodného komplexního nástroje, který by byl plně využitelný v oblasti silničního stavitelství všemi účastníky.

Pro tento účel byly postupně definovány používané stavební stroje, charakteristiky denní obvyklé denní směny jakož i technické varianty provádění recyklačních technologií.

Jakmile došlo k vzájemnému odsouhlasení výpočtových předpokladů mezi (zejména ověření správnosti dat výrobcem stavebních strojů – využita podpora skupiny Wirtgen) bylo možné dokončit celkovou architekturu výpočtového nástroje. Dále uvedené obrázky znázorňují některá ze základních uživatelských oken v původním zobrazení s požadavky na vstupní informace a možnostmi různých voleb. V okamžiku, kdy uživatel vloží základní specifikační údaje o obnovované pozemní komunikaci a provede výběr preferovaného způsobu rekonstrukce nebo opravy, může v dalším kroku přistoupit k výběru strojní sestavy. I zde jsou některé

kombinace předdefinované, nicméně princip výpočtového nástroje je v tomto ohledu natolik otevřený, že lze provést vlastní skladbu strojové sestavy a dokonce je umožněno vkládat data o typech strojů, které v databázi výpočtového nástroje nejsou k dispozici.

Obr. 1 Vkládání základní specifikace stavby a výběr metody recyklace.

Jakmile dojde k výběru metody obnovy vozovky, lze v dalším kroku přistoupit k výběru vhodné strojové sestavy, která se na dané stavbě použije. Stroje lze s veškerými potřebnými údaji volit z databáze, která je v rámci výpočtového nástroje vytvořena.

Po provedení výběru strojní sestavy využitelné pro konkrétní typ recyklační technologie provede výpočtový nástroj celkové propočty a vygeneruje konečnou tabulku s předdefinovanými ekonomickými a environmentálními parametry. Tento výsledek lze následně vzájemně porovnávat pro různé varianty, přičemž minimální rozsah dat, která lze v tabulce nalézt, zahrnuje: celkové náklady, NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub> a polévatý prach (PM).

OPTIMAL WAY							
No.	Way of rehabilitation	Machinery	Price	↓NO <sub>x</sub>	↓HC+NO <sub>x</sub>	↓CO	↓PM ↓Energy
1.	Cold recycling - asphalt foam	Wirtgen xx	350 000 €				
2.	Cold recycling - emulsion	Wirtgen xx	370 000 €				
3.	Traditional way.	Wirtgen xx	400 000 €				

Obr. 2 Souhrnná tabulka pro rychlé porovnání technologických variant opravy vozovky s hodnocenými parametry.

Recyklace za studena na místě je prováděna sestavou strojů složenou převážně ze standardních strojů používaných v dopravním stavitelství (válece, gradery, distributor cementu, cisterny na vodu a asfalt atd.). Mimo standardní stavební stroje jsou součástí sestavy i speciální stroje, zejména recyklér a míchačka cementové suspenze. Do sestavy je možné rovněž zapojit některé speciálně vybavené typy silničních fréz, jimiž můžeme recyklér při některých projektech nahradit. Množství CO<sub>2</sub>

vyprodukovaného na 1m<sup>2</sup> plochy hypotetického projektu (demonstrace) je vázáno primárně na spotřebu paliva, v tomto případě nafty. Pro vzorový projekt jsou potom hodnoty uvedeny v další tabulce, a to ve vazbě na zvolenou strojní sestavu.

Tab. 1 Celkové vyprodukované CO<sub>2</sub> a spotřebované palivo na vzorový projekt.

Stavební stroj	Spotřeba (l)	Vyprodukované CO <sub>2</sub> (t)
Zařízení na rozprostření cementu	12.69	0.0371
Cisterna s vodou	26.48	0.0773
Cisterna s asfaltovým pojivem	29.69	0.0867
Recyklér (WR 240i)	449.37	1.3121
Válec ježkový	44.44	0.1298
Válec hladký	44.44	0.1298
Grader	62.56	0.1827
Silniční válec	44.44	0.1298
Válec s pogum. běhouny	40.44	0.1181
<b>CELKEM</b>	<b>755</b>	<b>2.20</b>

Tab. 2 Vliv typu použitého recykléru.

Typ recykléru	Spotřeba paliva	Produkce CO <sub>2</sub>
	průměrná (l/h)	průměrná (t/h)
Recyklér (WR 200, 3rd)	50	0,151
Recyklér (WR 200i, 4th)	47	0,142
Recyklér (WR 2400, 1st)	67	0,202
Recyklér (WR 2500S, 2nd)	70	0,213

Níže uvedená tabulka pak obsahuje celkový přehled použitelných technologických variant se zaměřením na produkci CO<sub>2</sub>. Tabulka obsahuje rovněž předpokládané vyprodukované množství na 1 m<sup>2</sup> hypotetického projektu o délce 1 km a šířce 7,5 m realizovaném danou technologií.

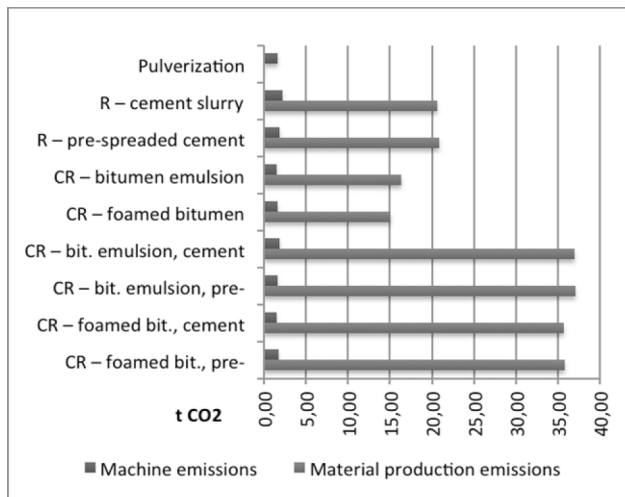
Tab. 3 Technologické varianty se zaměřením na produkci CO<sub>2</sub>.

Technologie obnovy/opravy	CO <sub>2</sub> (t) (kg/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> (t) celkem
1 CR – zpeňený asfalt, předdávkový cement	6,60	37,63
2 CR – zpeňený asfalt, cementová suspenze	6,53	37,24
3 CR – asfaltová emulze, předdávkový cement	6,80	38,78
4 CR – asfaltová emulze, předdávkový cement	6,82	38,87
5 CR – zpeňený asfalt	2,93	16,68
6 CR – asfaltová emulze	3,13	17,82
7 R – předdávkový cement	3,98	22,66
8 R – cementová suspenze	4,01	22,87
9 – rozrušení bez další úpravy ("pulverizace")	0,28	1,60

Zdroj dat: Aplikace OptiRec (výpočty vycházejí z dat výrobců strojů a z evropských emisních standardů).

Závěrečná část provedených výpočtů a porovnání je věnována prokázání minimálního podílu produkce CO<sub>2</sub> stavebními mechanismy, podílejícími se na rekonstrukci pozemní komunikace. Na základě souhrnných výsledků uvedených na obrázku 3 je patrný rozdíl emisního příspěvku obou sledovaných skupin. Emise CO<sub>2</sub> vyprodukované stroji jsou

řádově mezi 10-20 % celkového ekvivalentu emisí CO<sub>2</sub>. Zbylé majoritní množství je vyprodukováno při výrobě a zpracování zabudovaných materiálů. Tuto skutečnost lze současně považovat za jednu z hlavních předností za studena prováděných technologií, kdy není při recyklaci potřebné provádět přehřev konstrukce vozovky nebo naopak ohřívat získaný R-materiál.



Obr. 3 Technologické varianty provádění recyklace za studena a zdroje ekvivalentu CO<sub>2</sub> emisí.

## Závěr

V otázce vlivu stavebních mechanismů na emise CO<sub>2</sub> při recyklaci za studena je recyklér klíčovým producentem emisí. Jelikož recyklace za studena na místě probíhá průjezdem kompletní recyklační sestavy (i více jak 5 strojů), hraje důležitou roli šířka záběru recykléru ve vztahu k šířce rekonstruované komunikace. Je-li to možné, je vhodné volit recyklér s takovou šíří záběru, aby počet průjezdů sestavy po rekonstruované vozovce byl co nejmenší a záběr recykléru se v maximální míře využil. Tímto způsobem budou emisní i ekonomické vlivy stojů minimalizovány.

Představený výpočtový nástroj pro porovnávání recyklačních technologií z ekonomického a především pak emisního hlediska nabízí srozumitelnou a rychlou podporu při rozhodování o možných variantách řešení volby vhodného přístupu k obnově/recyklaci vozovky. Jedná se přitom o první generaci takového nástroje, který do blízké budoucnosti vyžaduje další rozvoj, a to zejména z hlediska propojení různých variant využitelných při obnově vozovek, a to včetně širší vazby na výpočty nákladů životního cyklu různých variant a strategií obnovy konstrukcí vozovek. Postupné praktické využívání obdobných nástrojů v procesu přípravy či výstavby umožní jednak provádět další technickou optimalizaci volených řešení a současně je vhodnou přípravou na vícekritériální zadávání veřejných

zakázek s důrazem na aspekty ochrany životního prostředí (tzv. green public procurement).

V navazujícím období bude jednak dokončena práce na dalších modelech technologických variant recyklace vozovek (zejména recyklace za horka), současně je softwarová aplikace z hlediska použitých technik převedena do lepšího prostředí s použitím jiného programovacího jazyka. V neposlední řadě je nezbytné provádět kontinuální verifikace vlastních nástrojů a v nich obsažených algoritmů.

## Literatura

- [1] Valentin, J. (2009). Problematika výběru funkčních charakteristik směsí recyklace za studena. Disertační práce, FSv ČVUT v Praze.
- [2] Snížek, V., Strnad, J., Měšťanová, D., Macek, D., (2012). Roads, Related Constructions and Means of Their Management, ISBN 978-80-01-04 996-9, FSv ČVUT v Praze.
- [3] Kawakami, A.; Nitta, H.; Kanou, T.; Kubo, K. (2012). Study on CO2 Emissions of Pavement Recycling Methods, 1-6 Minamihara, Tsukubashi, Ibaraki, Japan.
- [4] Chehovits, J., Galehouse, L., (2012). Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements, National Center for Pavement Preservation, Okemos, Michigan, United States.