



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

Hodnocení technologických přístupů k rekonstrukci asfaltových vozovek z hlediska vlivu na životní prostředí a nákladů životního cyklu

Assessment of technological approaches to the rehabilitation of asphalt pavement in terms of their impact on the environment and life cycle costs

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Václav Snížek

Doktorský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Stavební management a inženýring

Školitel: doc. Ing. Daniel Macek, Ph.D.

Praha, 2018

PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Václav Snížek

Název disertační práce: Hodnocení technologických přístupů k rekonstrukci asfaltových vozovek z hlediska vlivu na životní prostředí a nákladů životního cyklu

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele doc. Ing. Daniel Macek, Ph.D.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 28.1.2018

Ing. Václav Snížek

Anotace

Náklady na údržbu a rekonstrukci pozemních komunikací jsou významnou součástí nákladů životního cyklu dopravních staveb. Provozovatelé a správci dopravní sítě se snaží prostředky vydávané na údržbu a obnovu minimalizovat. Zároveň je však potřeba respektovat požadované normy, nařízení a standard stavu pozemní komunikace. Ty je potřeba udržovat nad státem stanovenou minimální hranicí, která je dána typem a nároky na užívání pozemní komunikace. Dle současného západoevropského trendu, rovněž emisní zátěž životního prostředí může být při volbě technologie rekonstrukce vozovky významným kritériem.

Na trhu existují nástroje z oblasti kalkulací a facility managementu, které se problematikou stanovení plánu údržby a rekonstrukcí silnic zabývají. Slabinou uváděných softwarových systémů je absence propracovaného modelu vzniku škodlivých emisí při výrobě a zabudování materiálů. Z toho plyne chybějící možnost volby kritérií, týkajících se právě vlivu rekonstrukce na životní prostředí. Díky tomu vznikají nepřesné výstupy na úrovni technických i ekonomických sestav, jež slouží jako podklad pro rozhodování správce, jakou technologií vozovku rekonstruovat.

Cílem této disertační práce je nalézt prostor v procesech a nových přístupech pro rekonstrukci asfaltových vozovek z pohledu celkových nákladů životního cyklu a vlivu na životní prostředí. Následně navrhnout metodiku, kterou bude možno zastřešit softwarovým nástrojem. Teoretické základy deterministického modelu budou vycházet z nejnovějších technickoekonomických poznatků a vlastních inovačních myšlenek, opírajících se o praktické seznámení s problematikou. Cílem disertační práce není tvorba SW nástroje.

Model a softwarový nástroj bude muset být na takové úrovni, aby uživatel, znalý problematiky, byl schopen jej použít, aniž by dostal zkrácené nebo zavádějící výsledky. Dalším cílem je vytvořit takové prostředí, v němž uživatel může zasahovat do primárních vstupů modelu. Nástroj bude umožňovat získání výsledku v krátkém časovém horizontu. Uživatel si sám volí úroveň jeho zásahu do kalkulace.

Model je postaven na principu jednotlivých modulů, což znamená, že lze přidávat rozšiřující moduly, které umožní zpracování dalších oblastí, jenž na danou problematiku navazují. Vyvinutým softwarovým modelem je *OptiVote* a jeho tři kalkulační moduly *OptiRec*, pro jednotlivé metody rekonstrukce asfaltové vozovky.

Annotation

Maintenance and rehabilitation costs of roads represent an important part of the life cycle costs of transportation constructions. Technical administrators and asset managers try to minimise the resources earmarked for the maintenance and rehabilitation. At the same time, it is necessary to respect required standards, regulations and level of road conditions. It is necessary to maintain road network above the state minimum quality threshold, which is given by the type and demands for the use of the road. According to the current trends in the Western Europe, the produced greenhouse gas emissions can also play an important role when choosing road rehabilitation technology.

There are several tools in the field of calculations and facility management on the market that deal with the problem of planning road maintenance and road rehabilitation. The weakness of the reported software systems is the absence of a sophisticated model of harmful emissions in the fabrication and incorporation of materials. This leads to the lack of choice of criteria relating to the impact of road rehabilitation in the environment. This results in an occurrence of inaccurate outputs at the level of both technical and economic assemblies, which works as a basis for decision-makers to decide which technology to use for the road rehabilitation.

The aim of this dissertation thesis is to find a gap or opportunity in processes and new approaches for rehabilitation of asphalt pavements in terms of life cycle costs and impact on the environment. Consequently design a methodology that can be covered by a software tool. The theoretical basis of the deterministic model will be based on the latest technical and economic knowledge and our own innovative ideas based on the practical problems we had to deal with. The aim of the dissertation is not the creation of software tool.

The model and software tool will have to be in such a level that a knowledgeable user will have to be able to use it without getting to distorted or misleading results. Another goal is to create an environment where the user can interfere with the model's primary inputs. The tool will allow users to get results in a short time period. The user selects himself the level of his intervention in the calculation.

The model is built on the principle of the individual modules, which means that there could be added couple of extending modules that allow the processing of other now uncovered areas. The developed software model is called *OptiVote*. Together with its three *OptiRec* calculation modules, it is made for calculation and evaluation of individual methods of asphalt pavement rehabilitation.

Seznam použitých zkratek

CEREAL	Mezinárodní evropský grantový program
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
CR	Recyklace za studena
ČSN	Česká technická norma
FM	Facility management
HC	Uhlovodíky
HFC	Fluorované uhlovodíky
HCFC	Hydrochlorofluoruhlovodíky
HR	Recyklace za horka
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
IS	Informační systém
IT	Informační technologie
KSÚS	Krajská správa a údržba silnic
LC	Životní cyklus
LCA	Analýza životního cyklu
LCC	Celkové náklady životního cyklu
MF	Tradiční metoda rekonstrukce asfaltové vozovky (Mill&Fill)
MSC	Klasifikační schéma
MS Excel	Microsoft Excel
NO _x	Oxidy dusíku
OTSKP	Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PM	Polétavý prach
R	Recyklace
RAP	Vyfrézovaný asfaltový materiál
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SGS	Studentská grantová soutěž
Stage	Evropské emisní normy
SW	Software
Tier	Emisní normy v USA

Obsah

1. ÚVOD	13
1.1. PODĚKOVÁNÍ	14
2. CÍLE A METODY DISERTAČNÍ PRÁCE	16
2.1. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	16
2.2. METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	18
3. REŠERŠE ODBORNÉ LITERATURY U NÁS A VE SVĚTE	19
3.1. HISTORIE RESTRIKČÍ EMISÍ	19
3.2. PRODUKCE EMISÍ	20
3.3. EMISNÍ NORMY	23
3.4. NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCC)	27
3.5. ANALÝZA ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCA)	28
4. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	29
4.1. OBECNÉ ČLENĚNÍ SOFTWAREVÝCH NÁSTROJŮ LCA	29
4.2. APLIKAČNÍ SOFTWAREVÉ NÁSTROJE	30
5. ZÁKLADNÍ PRINCIPY MODELU LCA	33
6. SCHÉMA PRO ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH ÚDAJŮ	34
7. REFERENČNÍ DATABÁZE	36
7.1. MODEL POSTAVENÝ NA BÁZI MĚRNÝCH JEDNOTEK	37
8. NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU KONSTRUKCE	38
9. ŽIVOTNÍ CYKLUS KONSTRUKCE	41
10. PRINCIP NAVRHOVÁNÍ REKONSTRUKCE VOZOVKY	43
11. PRINCIP VÝPOČTU DOBY REKONSTRUKCE	44
11.1. KLÍČOVÉ STROJE	44
11.2. SESTAVENÍ ČASOVÉHO SNÍMKU	45
12. ANALÝZA ŽIVOTNÍHO CYKLU KONSTRUKCE	49
13. EMISE PŘI REKONSTRUKCI VOZOVKY	50
14. PRINCIP VÝPOČTU EMISÍ PŘI REKONSTRUKCI VOZOVKY	51
15. POŘIZOVACÍ NÁKLADY KONSTRUKCE	55
16. PRINCIP VÝPOČTU POŘIZOVACÍCH NÁKLADŮ KONSTRUKCE	55
17. APLIKACE OPTIVOTE	59

17.1.	SCHÉMA ROZHRANÍ NÁSTROJE	59
17.2.	VSTUPNÍ DATA PROJEKTU	61
17.3.	HODNOTÍCÍ KRITÉRIA A VÁHY	62
17.4.	VYHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ	63
18.	OPTIREC CR - RECYKLACE ZA STUDENA	66
18.1.	SPECIFIKACE ROZMĚRŮ	66
18.2.	SPECIFIKACE KONSTRUKCE	67
18.3.	SPECIFIKACE MEZD A STROJŮ	69
18.4.	SESTAVA STROJŮ	70
18.5.	CELKOVÁ KALKULACE PROJEKTU	71
19.	OPTIREC TM - FRÉZOVÁNÍ A POKLÁDKA	73
19.1.	SPECIFIKACE ROZMĚRŮ	73
19.2.	SPECIFIKACE KONSTRUKCE	74
19.3.	SPECIFIKACE OBALOVNY	76
19.4.	SPECIFIKACE MEZD A STROJŮ	77
19.5.	SESTAVA STROJŮ	78
19.6.	CELKOVÁ KALKULACE PROJEKTU	80
20.	OPTIREC HR	81
20.1.	SPECIFIKACE ROZMĚRŮ	82
20.2.	SPECIFIKACE KONSTRUKCE	82
20.3.	SPECIFIKACE OBALOVNY	85
20.4.	SPECIFIKACE MEZD A STROJŮ	85
20.5.	SESTAVA STROJŮ	86
20.6.	CELKOVÁ KALKULACE PROJEKTU	86
21.	VÝSTUPNÍ SESTAVY	88
22.	ZÁVĚRY	89
22.1.	PRACOVNÍ OTÁZKY	90
22.2.	VĚDECKÝ PŘÍNOS PRÁCE	92
22.3.	PŘÍNOS PRÁCE PRO PRAXI	92
	SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	95
	SEZNAM OBRÁZKŮ	99
	SEZNAM TABULEK	100
	SEZNAM PŘÍLOH	101

1. Úvod

Podobně jako budovy, i liniové stavby vyžadují pravidelnou údržbu v podobě prováděných činností a investovaných financí. Životní cyklus vozovky začíná její realizací, pokračuje údržbou a několikačetnou obnovou, až po případnou likvidaci. Životní cyklus stavby tak vyžaduje nejen investiční náklady, ale i náklady na údržbu a rekonstrukce. Investované náklady je nutné plánovat a investovat efektivně. Pravidelná údržba činí v případě pozemních staveb ročně 0,2 % až 4 - 6 % investičních nákladů (Bull, 1993).

Realizaci pozemních komunikací je možné posuzovat i z hlediska vlivu na životní prostředí, konkrétně vyprodukovaného množství emisí při výrobě a zabudování materiálů. Množství produkovaných emisí stavebními stroji upravují evropské Stage a americké Tier normy, jak popisuje Snížek (2014). V průběhu životního cyklu pak lze asfaltové vozovky rekonstruovat různými metodami a jejich technologickými variantami.

Z toho plyne důležitost správného rozhodnutí správce komunikace např. prostřednictvím multikriteriálního nástroje, jenž by umožnil ekonomicko-technologicky vyhodnotit možné způsoby rekonstrukce vozovky.

Disertační práce je výsledkem několikaletého výzkumu problematiky výpočtu emisí a nákladů obnovy a údržby pozemních komunikací. V roce 2011 byl představen projekt OptiRoad (Snížek, 2011), který umožnil vytvořit SW aplikaci pro snadnou a přehlednou kalkulaci pořizovacích nákladů a nákladů životního cyklu analyzované vozovky. Úspěch OptiRoad zajistil podporu dalšího rozvoje podobného SW nástroje předním světovým výrobcem silničních stavebních a recyklačních strojů. Firma WIRTGEN GmbH a její dceřiné společnosti vyrábí jak recykléry, asfaltové finišery, válce, tak i ostatní stroje pro výstavbu a rekonstrukci pozemních komunikací.

První verze aplikace OptiRec, řešící rekonstrukci vozovky recyklací za studena. Vznikla za podpory SGS č.10-810140. V průběhu dalších let byl projekt podpořen i katedrou silničních staveb ČVUT a výzkumnými záměry COREPASOL a CESTI.

V roce 2014 podpořil rozvoj nového modulu OptiRec rakouský grantový program AKTION.

Výsledkem několikaletého vývoje je zastřešující multikriteriální nástroj OptiVote, který pracuje s jednotlivými moduly aplikace OptiRec.

Vývoj a zdokonalování aplikace OptiVote a jejích modulů probíhá pod záštitou výzkumných projektů na domácí katedře dodnes. Jde především o rozšíření v oblasti nákladů životního cyklu a aktualizaci cenové databáze. Zároveň se připravuje rozšíření databáze konstrukčních prvků. Plánované je i přeprogramování aplikace do prostředí webového a usnadnit tak veřejnou dostupnost systému.

Autor se v rámci práce zaměřil na zodpovězení konkrétních otázek, které nejsou mezi odborníky (resp. v dostupné literatuře) dosud přesvědčivě vyjasněny:

VO1: Je možné využít metodiku založenou na hodnocení nákladů životního cyklu pro hodnocení vlivu na životní prostředí rekonstruované vozovky?

VO2: Je možné využít komplexní hodnocení technologických přístupů rekonstrukce vozovky jako nástroj pro snížení celkových nákladů životního cyklu?

VO3: Je možné na každou rekonstrukci asfaltové vozovky aplikovat metodiku tradičního způsobu rekonstrukce?

VO4: Jakým způsobem ovlivní emisní normy celkové náklady a analýzu životního cyklu?

VO5: Je nově vytvořený multikriteriální hodnotící nástroj vhodným doplněním rozhodovacího procesu technologického přístupu rekonstrukce pozemní komunikace?

1.1. Poděkování

Poděkování patří především Katedře ekonomiky a řízení ve stavebnictví (K126) a Katedře silničních staveb (K136), ČVUT v Praze, na kterých mi byly vytvořeny vhodné pracovní a výzkumné podmínky. Jmenovitě se jedná o doc. Ing. Daniela Macka, Ph.D., doc. Ing. Danu Měšťanovou, CSc. a doc. Ing. Renátu Schneiderovou Heralovou, Ph.D.

Za úzkou spolupráci, odborné konzultace a zajištění finanční podpory projektu je potřeba zvlášť poděkovat Ing. Janu Valentinovi, Ph.D..

Poděkování též patří všem spolupracovníkům, kteří se do mého výzkumu v průběhu studia jakkoliv zapojili.

Na vytvoření SW nástrojů OptiVote, jeho modulů OptiRec a užití na projektech v praxi se podíleli následující pracovníci: Ing. Václav Snížek (vedoucí projektu, tvorba algoritmicke, systémy modelů, programátorské zpracování), Ing. Jan Valentin, Ph.D. (odborný konzultant pro LCC pozemních komunikací), Dr.-Ing. Michael Engels (odborný konzultant pro emise při realizaci pozemních komunikací, užití speciální

stavební stroje a mechanizaci, recyklaci za studena, recyklaci za horka), Ing. Dalibor Cvach (odborný konzultant pro procesy při výstavbě a rekonstrukci na stavbě), Daniel Škach (odborný konzultant pro procesy na obalovně asfaltových směsí), Miloš Nemanský (odborný konzultant pro emise při výrobě asfaltových směsí) a doc. Ing. Daniel Macek, Ph.D. (konzultant modelových systémů a algoritmů).

V neposlední řadě patří poděkování doc. Ing. Petru Dlaskovi, Ph.D. a Prof. Ing. Milíku Tichému, DrSc. (resp. oponentům v prvním kole předání DP), odborné a jazykové připomínky k disertační práci.

2. Cíle a metody disertační práce

2.1. Cíle disertační práce

V oblasti navrhování rekonstrukce a obnovy liniových staveb existuje řada podpůrných nástrojů, které problematiku řeší a posuzují z různých úhlů pohledu. V současnosti užívané softwarové nástroje vyhodnocují především jednotlivá kritéria nezávisle na sobě. Kalkulace množství vyprodukovaných emisí pro rekonstrukci komunikace je schopna řešit jen minorita dostupných nástrojů. Chybí metodika a nástroj, který je schopen technicko-ekonomicky vyhodnocovat projekty a respektovat kritéria, jak vlivu na životní prostředí, tak ekonomické požadavky.

Disertační práce má za cíl nalézt prostor v procesech a nových přístupech pro rekonstrukci asfaltových vozovek právě z pohledu celkových nákladů životního cyklu a vlivu na životní prostředí. Následně identifikovat metodiku, kterou bude možno zastřešit softwarovým nástrojem. Disertační práce bude popisovat vývoj a perspektivy takového nástroje. Teoretické základy deterministického modelu vycházejí z nejnovějších technicko-ekonomických poznatků a vlastních inovačních myšlenek, opírajících se o praktické seznámení s problematikou.

Bude vytvořeno takové řešení, které bude schopno technicko-ekonomicky vyhodnotit dostupné metody rekonstrukce a jejich technologické varianty. Nutným předpokladem je uživatelská přívětivost a dobré zpracování nástroje.

Z věcného hlediska jde o:

- zadání základních parametrů řešené vozovky,
- volbu a váhu hodnotících kritérií,
- vyhodnocení technologických variant,
- individuální volbu metody rekonstrukce a její technologické varianty,
- individuální volbu sestavy strojů a materiálů pro realizaci rekonstrukce,
- vyčíslení časové náročnosti rekonstrukce,
- vyčíslení investičních nákladů,
- vyčíslení nákladů údržby v jednotlivých letech,
- vyčíslení emisní zátěže na ŽP při výrobě a zabudování materiálů.

Z uživatelského hlediska se zaměřit na následující okruhy:

- práce s daty – jejich zadávání uživateli,

- předdefinovaná data / hodnoty,
- možnost zohlednění časové náročnosti pro zpracování výstupů z modelu.

Výše uvedené body definují kostru SW aplikace a její základní obsah. Klíčové je správné zadání vstupních hodnot, na které jsou navázány veškeré další výpočty. Uživatel nástroje musí být znalý problematiky výstavby a rekonstrukce pozemních komunikací. Pouze tak bude schopen vyhodnotit vhodnost užití doporučených metod technologických variant. Varianty mohou být rovněž vázány na klimatické, geologické či jiné podmínky, které je nutné brát v potaz. Podpůrné databáze, na kterých aplikace stojí, musí být precizně zpracovány a data musí mít velkou odbornou hodnotu, aby modelové výpočty vycházely ze správných veličin.

Uživatel může s aplikací a jejími moduly pracovat v různém druhu podrobnosti, přičemž volba specifikace detailu je na uživateli. Menší podrobnost projektu zajistí uživateli rychlé výsledky bez nutnosti detailní znalosti projektu, avšak za cenu méně přesného výsledku. Oproti tomu, detailní specifikace projektu, materiálů, případně i mechanizace zajistí přesnější výsledky.

Uživatelské přístupy podrobnosti:

- práce se základními parametry vozovky a volba hodnotících kritérií (pouze SW OptiVote),
- práce se základními parametry vozovky, se současným s cílovým stavem konstrukce, materiály, mechanizací pro rekonstrukci vozovky, volba hodnotících kritérií (SW OptiVote a moduly OptiRec).

V průběhu vývoje byla aplikace a její moduly průběžně testovány a kalibrovány, aby výstupní data co nejvíce odpovídaly reálně očekávaným hodnotám a datům. Příkladem je kalibrace s irským projektem N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo (Irsko), kde byla prováděna recyklace za studena – viz příloha disertační práce.

Pro stanovení vlivu projektu na životní prostředí v podobě vyprodukovaných emisí je nutno vytvořit řešení na úrovni jednotlivých konstrukčních prvků / vrstev, nikoliv technologie jako celku. Je potřeba matematicky popsat závislosti mezi konstrukčními prvky a aktivitami, které souvisí se zabudováním a transportem jednotlivých materiálů. Následně bude potřeba stanovit algoritmus získání emisní náročnosti rekonstrukce a obnovy vozovky jako celku.

Pro stanovení investičních a celkových nákladů životního cyklu je potřeba nastavit předpokládaný plán nákladů obnov a rekonstrukcí. Plán bude individuální pro jednotlivé technologické varianty v průběhu životního cyklu.

Mimo nákladů na rekonstrukci a obnovu, je třeba sledovat i výnosy, které se ke stavebnímu objektu výjimečně váží (např. prodej vytěženého recyklátu).

2.2. Metody zpracování disertační práce

Prvotní impuls práce vychází z obecně platné skutečnosti, kdy hlavním kritériem volby technologie výstavby či rekonstrukce vozovky je pořizovací cena. Zejména vyhodnocení na bázi LCC, případně emisní vliv na ŽP mezi hodnotícími kritérii často z různých důvodů chybí.

Významným impulsem bylo rovněž oslovení společností WIRTGEN GmbH, světovým výrobcem speciálních stavebních strojů. Požadavkem bylo vytvoření nástroje právě k vyhodnocení emisního vlivu jednotlivých technologických variant recyklace konstrukce vozovky za studena, později i tradičního způsobu rekonstrukce.

Současné poznatky vycházejí z literatury (Bull, 1993), (Snížek 2013, 2014), (CEREAL, 2014), (Ministerstvo dopravy ČR, 2004), (Macek, 2009), (Wirtgen GmbH, 2013b), (Kawakami, 2012) a mezinárodních výzkumných projektů, konferencí, odborných seminářů a evropských Stage a amerických Tier norem.

Teoretické základy byly rozšířeny o nové myšlenky, pramenící z praktických zkušeností a požadavků norem, resp. výrobců silniční stavební mechanizace. Jde především o analýzu dat, získaných při vyhodnocení emisního vlivu skleníkových plynů vyprodukovaných při výrobě a zabudování materiálů, během rekonstrukce komunikace. Dále se jedná o informace, týkající se životního cyklu jednotlivých technologií rekonstrukce.

Získaná data ze základní analýzy je potřeba upřesnit a doplnit o informace z odborných zdrojů, dostupných měření a již realizovaných projektů.

Základním principem je prvotního vygenerování modelu, založeném na tzv. referenčním principu, podobného tomu, kterým se již dříve zabýval Strádal (1968). Uživatel zadá základní parametry objektu a na základě jednoduchého výběru specifikuje hodnotící kritéria a jejich váhy. Následně se vygenerují předpřipravené technologické modely pro jednotlivé varianty rekonstrukce vozovky.

Pro potřeby výpočtu emisního zatížení byla vytvořena struktura vazeb mezi jednotlivými sekvencemi prací stavebních strojů na projektu. Jedná se o matematický algoritmus, který popisuje *denní časový snímek* stavebního stroje.

Aplikace byla zpracována v prostředí tabulkového procesoru MS Excel for Mac. Jeho jednotlivé moduly a uživatelské rozhraní jsou navzájem propojeny.

V průběhu vývoje, testování a ladění participovalo na projektu značné množství odborných poradců a testerů. Použity byly metody deduktivní, induktivní, analýza, syntéza a statistika. Jednotlivé připomínky byly a budou validovány a zapracovány při aktualizaci v nové vývojové verzi SW nástroje.

3. Rešerše odborné literatury u nás a ve světě

Disertační práce se zabývá problematikou, která zařazením spadá do oblasti *rekonstrukce asfaltových vozovek*, konkrétně *produkce emisí a náklady životního cyklu*. Problematika souvisí s navrhováním pozemních komunikací, kterou řeší zejména TP 170 (Ministerstvo dopravy ČR, 2004).

Emisemi při výrobě a zabudování materiálů se zabývají evropské emisní normy Stage (Dieselnet, 2017a) a americké normy Tier (Dieselnet, 2017b). Normy regulují maximální hodnoty vybraných skleníkových plynů, produkované stavebními stroji s naftovými motory.

Celkovými náklady životního cyklu pozemních komunikací se zabýval i Snížek (2011), díky čemuž vznikla i SW aplikace OptiRec. Životnosti jednotlivých technologií rekonstrukce krytu vozovky řeší rovněž Chehovits (2012).

Analýza a výpočet nákladů životního cyklu je často spojován zejména s pozemními stavbami a oblastní *facility managementu*. Ten je definovaný jako metoda efektivní správy nemovitosti, která se může týkat i dopravních staveb.

3.1. Historie restrikcí emisí

V roce 2001 se i Česká republika, jako většina vyspělých zemí světa připojila ke Kjótskému protokolu, čímž se zavázala ke strategii snižování emisí skleníkových plynů. Vstupem České republiky do Evropské unie pak v roce 2004 vznikl závazek k plnění evropských směrnic, nařízení a norem. V kontextu s mechanizací pro výstavbu pozemních komunikací se jedná zejména o normy Stage, upravující emisní limity stavebních strojů. Norma prošla od svého vzniku množstvím novelizací, přičemž aktuální je Stage IV. Od roku 2019 resp. 2020 pak budou pro výrobce

stavební mechanizace se spalovacími motory závazné zpřísněné normy Stage V (Dieselnet, 2017a).

Nástrojů pro kalkulaci pouze uhlíkové stopy při výrobě, zpracování, likvidaci materiálů a provozu stavebních strojů je relativně velké množství. Přesto efektivní softwarový nástroj pro detailní kalkulaci emisí jednotlivých skleníkových plynů nebyl dosud v rámci Evropy identifikován. Skutečnost potvrzuje i nedávno ukončený evropský výzkumný kooperační projekt Corepasol (Cereal, 2014), které vyústil ve vývoj vlastní softwarové aplikace s názvem OptiRec (Snížek, 2015a).

Podobně jako Evropa disponuje emisní normou Stage, které podléhá produkce a provoz speciálních staveních strojů, USA a Kanada disponuje emisní normou s názvem Tier. Obě normy jsou závazné a ukládají výrobcům povinnost vybavit své stroje motory a spalovacími systémy tak, aby splňovaly standardy platné v době produkce a prodeje stroje (Dieselnet, 2017b).

3.2. Produkce emisí

Významným negativním vlivem pozemních komunikací jak při výstavbě, tak i provozu jsou exhalace, neboli plynné odpadní látky emitovány do okolí. V této souvislosti můžeme hovořit o emisích, čili uvolňování polutantů (výfukové plyny, popílký, oxidy uhlíku atd.). Emise vznikají nejčastěji nedokonalým spalováním fosilních paliv ve spalovacích nebo zážehových motorech. V momentě, kdy se emise dostane do kontaktu s životním prostředím, nazýváme tyto látky imisemi. Tyto jedovaté látky se v přírodě a organismech kumulují. Jedná se např. o těžké kovy a jiné škodlivé látky, které se vyskytují v bezprostřední blízkosti silnic. Mezi imise patří i polétavý prach – pevné mikročástice (Wikipedia, 2014a, 2014b, 2014c).

V souvislosti s disertační prací jsou řešeny zejména emise produkované při výrobě později zabudovávaných materiálů a činnosti stavební mechanizace při realizaci nebo rekonstrukci krytu pozemní komunikace.

Uhlíková stopa a emise znečišťující ovzduší

Jednou z hlavních příčin nevyhnutelné změny klimatu na Zemi je zvyšování koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Tyto plyny, z nichž nejvýznamnější je CO₂ (oxid uhličitý), CH₄ (metan), N₂O (oxid dusný), SF₆ (fluorid sírový) a freony, zapříčiňují v důsledku tzv. skleníkového efektu zvyšování teploty zemského povrchu.

Skleníkové plyny vznikají primárně při těžbě a výrobě energie z fosilních paliv, průmyslu, dopravě, nakládání s odpady a v zemědělství.

V této souvislosti mluvíme o tzv. uhlíkové stopě, jež vyjadřuje množství uvolněného oxidu uhličitého a ostatních skleníkových plynů během životního cyklu produktu či služby do ovzduší. Uhlíkovou stopu dále rozdělujeme na přímou / primární a nepřímou / sekundární. Zatímco primární vzniká bezprostředně během některé naší činnosti okamžitým uvolněním skleníkových plynů – např. jízda autem, let letadlem, vaření, topení, spotřeba elektrické energie, tak sekundární uhlíková stopa naopak vyjadřuje množství CO₂ uvolněné během celého životního cyklu výrobku. Zahrnuje tedy emise spojené s výrobou, zpracováním, přípravou, přepravou i likvidací výrobku (IRZ, 2015a).

CO₂ – Oxid uhličitý

Jedná se o prvek v atmosféře hojně zastoupený, avšak jeho přirozená rovnováha byla antropogenním vlivem narušena a jeho koncentrace v atmosféře stále stoupá. Je hlavním plynem přispívajícím ke skleníkovému efektu a následnému oteplování planety. Vzniká spalováním uhlíkatých fosilních paliv – ropných produktů, zemního plynu, uhlí, koksu a paliv biologického původu (biomasa, dřevo, bioplyn, bionafta) dle IRZ (2015a).

NO_x – Oxidy dusíku

Jedná se rovněž o biogenní prvky, převážně však z antropogenních zdrojů. Vznik těchto oxidů je spojován hlavně se spalováním klasických i ušlechtilých paliv – plynu, nafty, benzínu, biomasy. Primárním zdrojem emisí oxidů dusíku jsou i přes použití katalyzátorů motorová vozidla (55%); dále průmysl, obchod a sídla (22%); služby (22%). Významným antropogenním zdrojem jsou rovněž chemické procesy v průmyslu, kde jsou dusíkaté oxidy přítomny. Přírodním zdrojem jsou biologické procesy v půdách. Přítomnost oxidů dusíku a oxidů síry v atmosféře zapříčiňuje vznik kyselých dešťů a následný negativní vliv na vegetaci, vodní toky, stavby a globální ekosystém. Rovněž vysoká koncentrace NO₂ (oxid dusičitý) je jednou z příčin tvorby fotochemického smogu ve formě přízemního ozónu (IRZ, 2015b).

HC – Uhlovodíky

Označení HC představuje skupinu těkavých organických sloučenin – uhlovodíky. Jedná se především o Fluorované uhlovodíky (HFC), Hydrochlorofluoruhlovodíky (HCFC) a Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Zatímco Fluorované uhlovodíky jsou naprosto antropogenní a používají se jako chladící média do lednic, mrazáků a klimatizací, Hydrochlorofluoruhlovodíky se používají ještě jako hnací plyny v aerosolech, k vyfukování pěn při stavebních pracích, při balení zboží a jsou součástí některých hasících prostředků. Naproti tomu, polycyklické aromatické uhlovodíky vznikají při spalování téměř všech uhlíkatých paliv, zpracování ropy a výrobě hliníku. Pro většinu živých organismů jsou toxické a karcinogenní. Rozpustné jsou v tucích a olejích, ve vodě jen málo dle IRZ (2015c, 2015e).

CO – Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je hořlavý a prudce jedovatý plyn, jež je hlavním produktem nedokonalého spalování materiálu s obsahem uhlíku. Příčinou vzniku může být i konstrukční chyba či závada na spalovacím systému. Největší zdrojem emisí ve městě je motor s vnitřním spalováním (až 95% emisí CO), a to hlavně v místech intenzivní dopravy, zejména při volnoběhu. Dalším zdrojem emisí jsou spalovací zařízení jako pece, kotle, kamna a sporáky. Oxid uhelnatý se podílí na tvorbě fotochemického smogu a po samovolné přeměně (36-110 dní) na oxid uhličitý je součástí skleníkových plynů (IRZ, 2015f).

PM – Polétavý prach

Atmosférický aerosol může být přirozeného či antropogenního původu. Vzniká jako negativní produkt lidské činnosti. Nejvýznamnější antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy v elektrárnách, pecích, při svařování a v automobilových motorech. Příkladem přírodního zdroje emisí je výbuch sopky, lesní požár a prach unášený větrem. Jedná-li se o prach či částice odnesené ze staveníšť, rozrušených zemědělských, těžebních a jiných ploch, pak je tento aerosol považován rovněž za antropogenní. S velikostí unášených částic souvisí i doba jejich setrvání v atmosféře před sedimentací zpět na zemský povrch (nejmenší částice sedimentují až několik týdnů). Pevné částice v atmosféře rozptylují sluneční záření zpět do prostoru a ovlivňují tak energetickou bilanci Země (IRZ, 2015g).

3.3. Emisní normy

Norma Stage

Emisní normy Stage jsou dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 97/68/ES závazné pro nesilniční pojízdné stroje vybavené naftovými motory. Od roku 2002 bylo postupně přijato již pět nařízení (Stage I až Stage IV) postupně zpřísňující emisní nároky na naftové motory. V rámci jednoho z posledních nařízení (2905) byly stanoveny rovněž maximální emisní parametry pro malé zážehové motory nesilničních pojízdných strojů.

Právě stavební mechanizace užívaná při výstavbě a rekonstrukci pozemní komunikace se řadí do zmíněné kategorie a normám tak podléhá.

V současné době jsou platná nařízení Stage III A, IIIB a od roku 2014 rovněž Stage IV – viz tabulka 1.

Tabulka 1. Normy Stage III A, III B (Dieselnet, 2017a)

Kategorie	Netto výkon	Datum †	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
	<i>kW</i>		<i>g/kWh</i>				
Stage III A							
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	-	4.0	-	0.2
I	75 ≤ P < 130	2007.01	5.0	-	4.0	-	0.3
J	37 ≤ P < 75	2008.01	5.0	-	4.7	-	0.4
K	19 ≤ P < 37	2007.01	5.5	-	7.5	-	0.6
Stage III B							
L	130 ≤ P ≤ 560	2011.01	3.5	0.19	-	2.0	0.025
M	75 ≤ P < 130	2012.01	5.0	0.19	-	3.3	0.025
N	56 ≤ P < 75	2012.01	5.0	0.19	-	3.3	0.025
P	37 ≤ P < 56	2013.01	5.0	-	4.7	-	0.025
† Termíny pro motory s konstantními otáčkami jsou: 2011.01 pro kategorie H, I a K; 2012.01 pro kategorii J							

Stage IV emisní norma pro naftové motory nesilničních pojízdných strojů - viz tabulka 2.

Tabulka 2. Norma Stage IV (Dieselnet, 2017a)

Kategorie	Netto výkon	Datum	CO	HC	NO _x	PM
	kW		g/kWh			
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5.0	0.19	0.4	0.025

Zavedení normy Stage V je plánováno v průběhu let 2019-20. Zpřísněná norma zavádí nově tzv. počet částic (PN v l/kWh). Dále norma zpřísnuje hodnoty polévatého prachu (PM) a NO_x - viz tabulka 3.

Tabulka 3. Norma Stage V – návrh (Dieselnet, 2017a)

Kategorie	Ign.	Netto výkon	Datum	CO	HC	NO _x	PM	PN
		kW		g/kWh				1/kWh
NRE-v/c-1	CI	P < 8	2019	8.00	7.50 ^{a,c}		0.40 ^b	-
NRE-v/c-2	CI	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 ^{a,c}		0.40	-
NRE-v/c-3	CI	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-4	CI	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 ^{a,c}		0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-5	All	56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-6	All	130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19 ^c	0.40	0.015	1×10 ¹²
NRE-v/c-7	All	P > 560	2019	3.50	0.19 ^d	3.50	0.045	-

^a HC+NO_x
^b 0.60 pro motory s ručním startováním, motory vzduchem chlazené s přímým vstřikováním
^c A = 1.10 pro benzínové motory
^d A = 6.00 pro benzínové motory

Norma Tier

Norma Tier 1 pro nesilniční dieselové motory byla přijata v roce 1994 pro 37 kW (50 hp). Motory byly postupně zaváděny od roku 1996 do 2000. V roce 1996 bylo v Kalifornii podepsáno s předními výrobci naftových motorů prohlášení o zásadách. Mezi podepisujícími byli Caterpillar, Cummins, Deere, Detroit Diesel, Deutz, Isuzu, Komatsu, Kubota, Mitsubishi, Navistar, New Holland, Wis-Con, and Yanmar.

Norma Tier 1 byla následně zavedena od roku 1998 pro stroje s výkonem pod 27 kW (50 hp). Mezi lety 2000 až 2008 byly ve fázích zaváděny Tier 2 a 3.

Standardy Tier 1 až 3 jsou splněny díky pokročilé konstrukci motoru, nebo pouze se základním zpracování výfukových plynů pomocí oxidačních katalyzátorů. Normy úrovně 3 pro NO_x + HC jsou podobně přísné normám z roku 2004 pro silniční motory. Normy Tier 3 pro polétavý prach (PM) nebyly nikdy přijaty, jak je uvedeno na Dieselnet (2017b). Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4. Normy Tier 1 až Tier 3 (Dieselnet, 2017b)

Netto výkon	Norma	Rok	CO	HC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
kW < 8 (hp < 11)	Tier 1	2000	8.0 (6.0)	-	10.5 (7.8)	-	1.0 (0.75)
	Tier 2	2005	8.0 (6.0)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
8 ≤ kW < 19 (11 ≤ hp < 25)	Tier 1	2000	6.6 (4.9)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
	Tier 2	2005	6.6 (4.9)	-	7.5 (5.6)	-	0.8 (0.6)
19 ≤ kW < 37 (25 ≤ hp < 50)	Tier 1	1999	5.5 (4.1)	-	9.5 (7.1)	-	0.8 (0.6)
	Tier 2	2004	5.5 (4.1)	-	7.5 (5.6)	-	0.6 (0.45)
37 ≤ kW < 75 (50 ≤ hp < 100)	Tier 1	1998	-	-	-	9.2 (6.9)	-
	Tier 2	2004	5.0 (3.7)	-	7.5 (5.6)	-	0.4 (0.3)
	Tier 3	2008	5.0 (3.7)	-	4.7 (3.5)	-	-†
75 ≤ kW < 130 (100 ≤ hp < 175)	Tier 1	1997	-	-	-	9.2 (6.9)	-
	Tier 2	2003	5.0 (3.7)	-	6.6 (4.9)	-	0.3 (0.22)
	Tier 3	2007	5.0 (3.7)	-	4.0 (3.0)	-	-†
130 ≤ kW < 225 (175 ≤ hp < 300)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2003	3.5 (2.6)	-	6.6 (4.9)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
225 ≤ kW < 450 (300 ≤ hp < 600)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2001	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)

Netto výkon	Norma	Rok	CO	HC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
450 ≤ kW < 560 (600 ≤ hp < 750)	Tier 1	1996	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2002	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)
	Tier 3	2006	3.5 (2.6)	-	4.0 (3.0)	-	-†
kW ≥ 560 (hp ≥ 750)	Tier 1	2000	11.4 (8.5)	1.3 (1.0)	-	9.2 (6.9)	0.54 (0.4)
	Tier 2	2006	3.5 (2.6)	-	6.4 (4.8)	-	0.2 (0.15)

† Nebylo přijato, motory musí plnit normy Tier 2 pro polétavý prach (PM).

Emisní normy Tier 4 jsou fázově zaváděny od roku 2008 do 2015 – viz tabulka 5. Představují podstatné snížení NO_x (u motorů nad 56 kW) a PM (nad 19 kW), stejně jako přísnější limity HC. Limity emisí CO zůstávají nezměněny ve fázi stupně 2 až 3. Motory do výkonu 560 kW. Emisní normy úrovně 4 pro motory do 560 kW jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5. Normy Tier 4 - Motory do 560 kW, g/kWh (g/bhp-hr) (Dieselnet, 2017b)

Netto výkon	Rok	CO	NMHC	NMHC+NO _x	NO _x	PM
kW < 8	2008	8.0	-	7.5 (5.6)	-	0.4 ^a (0.3)
8 ≤ kW < 19	2008	6.6	-	7.5 (5.6)	-	0.4 (0.3)
19 ≤ kW < 37 (25 ≤ hp < 50)	2008	5.5	-	7.5 (5.6)	-	0.3 (0.22)
	2013	5.5	-	4.7 (3.5)	-	0.03 (0.022)
37 ≤ kW < 56 (50 ≤ hp < 75)	2008	5.0	-	4.7 (3.5)	-	0.3 ^b (0.22)
	2013	5.0	-	4.7 (3.5)	-	0.03 (0.022)
56 ≤ kW < 130	2012-	5.0	0.19	-	0.40	0.02 (0.015)
130 ≤ kW ≤ 560	2011-	3.5	0.19	-	0.40	0.02 (0.015)

- a – ručně startovatelné, vzduchem chlazené, dieselové motory mohou být certifikovány dle Tier 2 z roku 2009 a volitelně splňovat normy pro polévatý prach (PM) 0.6 g/kWh od roku 2010
- b - 0.4 g/kWh (Tier 2) pokud výrobce splňuje 0.03 g/kWh dle norem z roku 2012
- c - PM/CO: dodržení dle 2012; NOx/HC: Možnost 1 (když budou dodrženy hodnoty Tier 2) - 50% motorů musí splňovat v letech 2012-2013; Možnost 2 (když budou dodrženy hodnoty Tier 2) - 25% motorů musí splňovat v letech 2012-2014, dodržování pro všechny od 31.12.2014
- d - PM/CO: dodržování pro všechny od 2011; NOx/HC: 50% motorů musí splňovat v letech 2011-2013

3.4. Náklady životního cyklu (LCC)

Volba technologické varianty rekonstrukce vozovky souvisí i s ekonomickou náročností projektu. Ta může být chápána v podobě investičních nákladů při realizaci projektu (jednorázová investice), nebo z pohledu celkových nákladů životního cyklu (jednorázová investice a následná průběžná investice do obnovy a údržby).

Náklady životního cyklu představují celkové náklady související s výstavbou, údržbou, provozem a demolicí stavebního objektu. Zejména provozní náklady přímo souvisí s technickými parametry objektu.

Náklady životního cyklu pozemních staveb:

- pořízení (investiční náklady),
- provozní (jednotlivých funkčních částí stavby),
 - údržba, opravy, rekonstrukce,
 - správa budovy, úklid,
 - energie,
 - daně, pojištění atp.,
- ekologická likvidace (je-li předpokládána).

Problematika u dopravních staveb

Dopravní stavby vykazují oproti pozemním stavbám značná specifika. Pozemní stavby se až na výjimky vyskytují na specifickém místě v dané lokalitě. Oproti tomu, dopravní a inženýrské stavby, bývají téměř vždy liniového charakteru (silnice, železnice, cyklostezka, atd.). Z hlediska nákladů životního cyklu hraje roli, zda se jedná ryze o dopravní stavbu či pozemní stavbu jenž je doplňujícím prvkem stavby dopravní (velín tunelu, řízení provozu, zázemí pro údržbu silnic atd.)

Mezi náklady životního cyklu dopravních staveb tak patří:

- pořízení (investiční náklady),

- provozní (jednotlivých funkčních částí stavby),
 - údržba, opravy, rekonstrukce,
 - úklid (zahrnut v pravidelné údržbě),
 - pojištění a odškodné za poškození auta (výtluky),
- ekologická likvidace (je-li předpokládána).

3.5. Analýza životního cyklu (LCA)

Hodnocení životního cyklu je standardní metoda, která se často užívá ke komplexnímu posouzení možného dopadu produktu nebo skupiny produktů na životní prostředí. Zohledněny jsou všechny environmentální aspekty životního cyklu výrobku (emise do ovzduší, vody a půdy, odpad, využití surovin a přírody). Tento komplexní přístup zabraňuje špatnému rozložení vlivů na životní prostředí a poskytuje přehled možného snížení dopadu. Tak jak je metoda LCA popsána v mezinárodních normách ISO 14040 a 14044 (International Organization for Standardization, 2017).

Cílem analýzy, neboli posouzení životního cyklu (*Life Cycle Assessment*) je vyhodnotit projekt, v našem případě rekonstrukci pozemní komunikace z ekonomického a environmentálního hlediska (emisí skleníkových plynů). Toto vyhodnocení následně může pomáhat v rozhodování při volbě technologické varianty rekonstrukce.

Multikriteriálním hodnotícím nástrojem je možné doporučit uživateli nejvhodnější technologickou variantu, právě na základě zvolených kritérií a výsledků LCA pro jednotlivé technologie.

Životní cyklus zabudovávaných materiálů

Každý, ze zpracovávaných stavebních materiálů má svůj životní cyklus. Ten je v rámci LCA vybrané technologie rekonstrukce vozovky vyhodnocován. Příkladem je podrobný životní cyklus asfaltové směsi - Tabulka 6. Technologie jsou vyhodnocovány jak z ekonomického, tak z environmentálního hlediska.

Tabulka 6. Deset kroků životního cyklu asfaltové směsi (Schvallinger, 2011)

	Fáze životního cyklu	Popis
1	Získávání surovin	Získání surovin z přírodního prostředí za použití energie
2	Transport surovin	Převoz získaných surovin na zpracování

3	Zpracování surovin	Rafinace ropy, drcení a třídění hornin, přepracování recyklovaného a sekundárního materiálu
4	Transport zpracovaných surovin	Převoz zpracovaných surovin na místo výroby asfaltových směsí
5	Výroba materiálu	Výroba asfaltových směsí
6	Transport materiálu	Převoz asfaltových směsí na staveniště
7	Zabudování materiálu	Pokládka/zabudování směsí na staveništi, využití mechanizace a práce
8	Specifické materiály / práce	Zabudovávání dalších specifikovaných materiálů přímo na místě
9	Rekonstrukce / obnova	Činnosti související s obnovou a údržbou: nová obrusná vrstva, ošetření povrchu, záplatování a další opravy
10	Likvidace	Odstranění materiálu vozovky, nakládání s odpadem, využití mechanizace a práce

4. Současný stav řešené problematiky

4.1. Obecné členění softwarových nástrojů LCA

LCA, neboli vyhodnocení životního cyklu technologií rekonstrukce vozovky, je komplexní analýza, a proto je nutné prozkoumat a identifikovat všechna relevantní data a informace, které jsou v rozumné míře a podrobnosti dostupná. Autoři v publikacích Cereal (2014), Milachowski (2001), Schvallinger (2011), Horvath (2004) a Leest (2011) uvádějí různé přístupy k datům, informacím a dostupným SW aplikacím. Vyhodnocení variant pozemních komunikací je oproti navrhování, rozpočtování a nebo statickému posuzování dopravních staveb nejméně řešeným tématem. Přesto i pro výpočet LCA pozemních komunikací existuje řada SW nástrojů, s různou mírou dostupnosti a podrobnosti. Velké množství nástrojů je příliš komplexních a často je tak obtížně využitelné. Jiné obsahují databáze a principy, typické pro trh USA, bez možnosti snadných změn. Základní přehled SW nástrojů z oblasti LCA pozemních komunikací lze čerpat z publikace CEREAL - DHV B.V. – (2004). Vrcholem dostupných nástrojů je spojení LCA a multikriteriálního hodnotícího SW nástroje, s kvalitní a alespoň částečně otevřenou informační databází. Dostupné nástroje nejsou většinou napojeny na žádné informační systémy uživatele či majitele, ale jsou samostatné a spustitelné na standardním PC.

Rozdělení SW produktů

LCC Tools (Life Cycle Costs) jsou SW nástroje či aplikace, umožňující kalkulaci ekonomické náročnosti projektu v průběhu životního cyklu. To znamená od získávání surovin po likvidaci projektu. Nástroje se zaměřují především na ekonomický impakt projektu v podobě estimace nákladů.

LCA Tools (Life Cycle Assessment) jsou SW nástroje, které oproti LCC řeší nejen ekonomický, ale i environmentální vliv projektu. Jak říká norma ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2017), kalkulováno je opět s produkty a jejich systémy v za celý životní cyklus, tj. od získávání surovin, přes zpracování, dopravu, zabudování až po likvidaci, což potvrzuje i Milachowski (2001). SW nástroje přistupují k životnímu cyklu individuálním způsobem a jednotlivé fáze řeší s různou důležitostí, případně neřeší vůbec.

Multikriteriální hodnotící nástroje jsou nejnovějším trendem těchto systémů. Ideální je proto jejich integrace do kalkulačního nástroje, nebo vzájemné propojení kalkulačních nástrojů v rámci systému.

4.2. Aplikační softwarové nástroje

V této podkapitole je uveden přehled vybraných nástrojů, související s výpočtem celkových nákladů životního cyklu (LCC), vyhodnocení životního cyklu (LCA) a multikriteriálním hodnocení projektu.

SW nástroje pro výpočet LCA

V kontextu s řešeným tématem bylo identifikováno celkem devět softwarových aplikací, zaměřující se na výpočet emisí při rekonstrukci vozovky. Jejich výsledky však byly převážně omezeny pouze na výpočet CO₂ či ekvivalent CO₂, nikoliv na jednotlivé skleníkové plyny a motory emitované pevné částice, jak bylo požadováno.

asPECT (Velká Británie)

Asphalt Pavement Embodied Carbon Tool (asPECT), jak již název napovídá, zabývá se kalkulací ekvivalentu CO₂ při výstavbě a údržbě pozemní komunikace. Nástroj řeší problematiku velice komplexně, a to od fáze získávání surovin, přes ukládku směsí, pravidelnou údržbu až po konečnou likvidaci konstrukce. Nástroj řeší vznik emisí při využívání energie, spalovacích procesech, chemických reakcích i poskytování služeb a dodávek.

Výsledný protokol prezentuje emise ve formě ekvivalentu CO₂, který je definován jako koncentrace CO₂, která by způsobila stejnou úroveň radiace jako daný typ a koncentrace skleníkových plynů. Příkladem takových skleníkových plynů jsou metan, perfluorované uhlovodíky a oxid dusný.

Výhodou nástroje je transparentní a detailní kalkulace pro jednotlivé fáze výroby, výstavby či provozu. Nevýhodou práce s nástrojem je velké množství potřebných vstupních informací, jak uvedeno od ERANET v Cereal (2014) a TRL Limited (2017)

AfwegingsModel Wegen (AMW 1.1) (Holandsko)

Tvůrcem nástroje je neziskové holandské výzkumné centrum CROW. Slouží pro státní správu, dodavatele a poradenské firmy. Aplikace AMW 1.1 poskytuje transparentní objektivní model, kde si uživatel může vybírat mezi několika typy konstrukce vozovky – asfaltová, betonová či dlážděná. Cílem nástroje je poskytnout uživateli výběr mezi dostupnými technologiemi a jejich údržbou, právě na základě vlivu na životní prostředí a finanční náročnost.

Výhodou nástroje je možnost posuzovat i cemento-betonové vozovky a dlažby. Další výhodou je možnost nastavení cyklické a lokální údržby. Oproti tomu, nevýhodou nástroje je nemožnost úpravy či přidání svého prvku do databáze a nepřiliš velká uživatelská přívětivost pracovního prostředí, jak uvádí Cereal (2014) a Crow (2017a).

AggRegain CO₂e emissions estimator tool (Velká Británie)

Nástroj AggRegain se zaměřuje rovněž na kalkulaci ekvivalentu CO₂ a zejména jeho změně při výběru alternativní technologie rekonstrukce / výstavby vozovky. Nástroj řeší rovněž recyklace a opětovné užitých dříve zabudovaných materiálů. Nástroj byl vyvinut britskou TRL (Transport Research Laboratory) ve spolupráci se WRAP (Waste & Resources Action Program).

Nevýhodou nástroje je velké množství vstupních dat, které je potřeba zadat. Výhodou nástroje je přístupná databáze, kterou je možno částečně editovat. Nástroj řeší jak asfaltové tak betonové vozovky povrchy, jak uvádí v Cereal (2014) a Crow (2017b).

ROAD-RES (Dánsko)

Dánský nástroj slouží ke dvěma hlavním účelům. Jedná se o vyhodnocení vlivu na životní prostředí a spotřebu zdrojů v jednotlivých fázích životního cyklu. Vyhodnocováno je užití nových materiálů, oproti variantě s užitím odpadních materiálů. Druhým účelem je porovnání dvou metod likvidace odpadu ze spalování. Možnými variantami je skládkování nebo zpracování do konstrukce silničního tělesa. Nástroj Road-Res byl vytvořen Dánskou technickou univerzitou, ve spolupráci s Dánským ředitelstvím silnic, dvěma spalovnami a dodavatelem stavebních prací. Výchozí metodikou hodnocení vlivu na životní prostředí je EDIP97.

Výhodou nástroje je možnost rozšíření nástroje o další metody posuzování dopadu na životní cyklus. Díky tomu je vyžadováno propojení na jiný, robustní LCA vyhodnocovací nástroj. Nástroj detailně řeší likvidaci konstrukce vozovky.

Nevýhodou nástroje pro konečného uživatele je prostředí C++ a databáze Paradox, ve které nástroj pracuje, jak zmíněno v Cereal (2014).

DuboCalc (Holandsko)

Cílem nástroje DuboCalc je optimalizovat návrh konstrukce pozemní komunikace dle dopadu na životní prostředí (původní účel). V Holandsku se DuboCalc využívá jako nástroj pro výběr dodavatele, kdy většinou zakázku získává dodavatel s nejšetrnějším řešením pro životní prostředí. DuboCalc byl vyvinut a financován holandským Ředitelstvím silnic (RWS).

Z důvodu užívání nástroje při zadávání zakázek je nástroj uzavřen. Nelze proto přidávat žádná data ani ovlivňovat životní cyklus. DuboCalc neposkytuje příliš transparentní model výpočtu dat. Nástroj neřeší údržbu a obsahuje pevný předdefinovaný životní cyklus, založen na nizozemském systému, jak uvedeno v Cereal (2014).

JouleSave (Evropa)

Jedná se o specifický softwarový produkt, vytvořený v rámci staršího evropského programu. JouleSave je doplňkový modul k softwaru MX, který používají někteří dopravní inženýři. Modul je jen málo rozšířený, jelikož jeho tvůrci se domnívají, že CO₂ není stěžejním kritériem pro navrhovanou technologii rekonstrukce. Klíčové jsou dle tvůrce SW funkční požadavky a cena.

Pro práci se SW je potřeba znát vysokou podrobnost projektu. Podobně, možná až zbytečně detailní jsou i výstupy. Práce s nástrojem tak není jednoduchá, jak uvedeno v Cereal (2014).

GreenDOT (USA)

Účelem kalkulátoru skleníkových plynů pro státní dopravní správu (GreenDOT) je vypočet emisí oxidu uhličitého z provozních, konstrukčních a údržbářských činností. Společnost GreenDOT byla založena sdružením společností ICF International a Venner Consulting, jako součást Národního dálničního výzkumného programu (NCHRP) projektu 25-25.

Výhodou SW aplikace je přehledné uživatelské rozhraní a strukturovanost. Pro práci s nástrojem je potřeba řada detailních vstupních údajů, nicméně nástroj poskytuje i alternativní možnosti získání vstupních parametrů.

Nevýhodou je specializace na materiály a principy užívané v USA, jak se uvádí v Cereal (2014).

PaLATE (USA)

Cílem nástroje je tvorba analýzy životního cyklu (LCA) vozovek a silnic po ekologické a ekonomické stránce. Program byl vyvinut konsorciem pro ekologický design a výrobu, University of California, Berkeley, a byl financován centrem pro recyklované materiály a zdroje v New Hampshire a Centrem pro výzkum dopravy v Kalifornii.

PaLATE je užitečný nástroj, jelikož má velmi jednoduchou, přehlednou strukturu a uživatelské prostředí. Nevýhodou je opět specifický obsah a materiály pro americký trh, jak uvedeno v Cereal (2014).

GIZ Multi Criteria Analysis Template IMACC 2012 (Německo)

Jednoduchá multi-kriteriální hodnotící SW aplikace. Umožňuje obecné použití, úpravu kritérií a editaci obsahu pro vlastní použití, jak uvedeno v GIZ (2012).

5. Základní principy modelu LCA

Předkládaný model technicko-ekonomické analýzy (dále *T-E analýza*) je založen na principu pevného algoritmu zpracování vstupních údajů pomocí referenčních databází stavební produkce. Detailní principy fungování deterministického modelu jsou představeny v publikacích Snížek (2014, 2016a).

Model umožňuje již se znalostí základních, nebo neúplných údajů řešené pozemní komunikace, doporučit nejvhodnější technologickou variantu rekonstrukce. Děje se tak na základě uživatelem zvolených hodnotících kritérií a vah.

Model je použitelný pro každý projekt rekonstrukce asfaltové vozovky v extravilánu, k němuž lze získat všechny povinné vstupní údaje. Zadáním *povinných údajů*, získá zadavatel základní analýzu, jejíž výhodou je rychlé a snadné získání výstupních informací. Ostatní údaje, které jsou pro zpracování analýzy potřebné, jsou automaticky přiřazovány z vnitřních databází modelu.

Při zadávání podrobnějších a přesnějších informací o rekonstruované komunikaci, dostane zadavatel přesnější a relevantnější výstupy.

Základními výstupy jsou čtyři bloky informací:

- ekologická náročnost projektu,
- ekonomická náročnost projektu,
- časová náročnost projektu,
- doporučení optimální technologické varianty rekonstrukce.

6. Schéma pro zadávání vstupních údajů

Principem modelu *T-E analýzy* je uspořádání všech relevantních údajů o technickém a ekonomickém stavu analyzovaného stavebního objektu do jednotného schématu vstupních údajů.

Základními funkcemi schématu jsou:

- zajistit, aby do zpracování byly vloženy všechny údaje ovlivňující kvalitu výstupu,
- eliminovat informace, které jsou pro zpracování analýzy nepodstatné, nebo nesplňují potřebná kritéria,
- umožnit kontrolu a změny všech zadávaných údajů v celém průběhu analýzy,
- umožnit porovnání výsledných hodnot, zpracovaných pro různé metody a technologické varianty,
- umožnit zpracování analýzy ve zvolené úrovni přesnosti.

Do příslušných formulářů schématu jsou podle stanoveného protokolu (princip pevného algoritmu) zadány konkrétní informace o technickém stavu pozemní

komunikace a jejích konstrukčních prvcích. Základní *povinné údaje* musejí být uživatelem vždy vyplněny.

Nepovinné údaje, které pořizovatel analýzy do systému nezadá, nejsou nutné a nebudou v kalkulaci zohledněny. Tyto hodnoty jsou obsahem vnitřních databází *T-E modelu*.

Identifikační údaje

Část identifikačních údajů pro projekt je nepovinná a nijak neovlivňuje výsledky vytvořené analýzy. Slouží pouze uživateli, pro jednoznačnou identifikaci řešené pozemní komunikace (objektu). Obsahuje následující údaje: lokalita vozovky (kontinent), lokalita vozovky (stát), kategorie pozemní komunikace, materiál konstrukce vozovky.

Popisné údaje

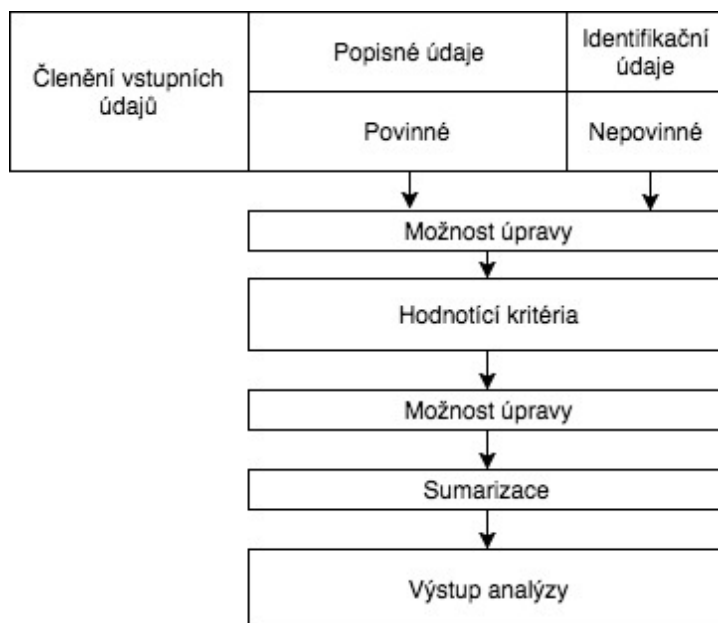
Údaje a parametry v této části jsou povinné. Údaje jsou technického i ekonomického charakteru. Popisují rozměry řešené vozovky, konstrukční skladbu, použitou stavební mechanizaci, materiály, náklady na mzdy a pohonné hmoty. Kvalita zadaných výsledků přímo ovlivňuje přesnost výsledků analýzy.

Hodnotící kritéria

Pro doporučení optimální technologie rekonstrukce vozovky je nutné, aby pořizovatel analýzy zvolil hodnotící kritéria, a to včetně jejich váhy. V souvislosti s hodnotícími kritérii volí uživatel i délku sledovaného období pro výpočet analýzy a průměrnou hodnotu roční inflace.

Zadání dat

Provádí se dvěma způsoby, a to vložením konkrétní hodnoty k požadované veličině, nebo výběrem položky z nabízených variant.



Obrázek 1. Schéma průběhu *T-E analýzy* (zdroj: autor)

Vkládání hodnot je prováděno přímým zápisem číselné hodnoty do příslušného pole pro údaj, se kterým hodnota souvisí (délka, šířka, roky, počet, váha, cena, procento hmotnosti). Zadání konkrétní hodnoty je zřejmé a jednoznačné.

Pole s výběrem hodnot nabízí tvůrci analýzy dostupné možnosti výběru. Jedná se o pole s výběrem technologické varianty, charakter a konkrétní silniční stavební stroj, počet vrstev a hodnotící kritérium. Nabízené hodnoty se odkazují na referenční vzor v databázi technologií, konstrukčních prvků a strojů.

Je nutné zadat všechny *povinné* (popisné) vstupní údaje. Není-li požadovaná volba v nabízených možnostech obsažena, vybere zadavatel tu, která nejlépe odpovídá požadovanému výběru. Zadání *nepovinných* (identifikačních) údajů už je na rozhodnutí tvůrce analýzy.

Číselné hodnoty je nutné zadávat v požadovaném tvaru. Jsou zpracovávány výpočetním softwarem a chyba v zadání by vedla ke zkreslení nebo znehodnocení výsledků.

Sled činností pro zadávací protokol je graficky znázorněn na obrázku 1.

7. Referenční databáze

Pro správné a bezproblémové využití modelu na principu *T-E analýzy*, je nutné jednoznačně definovat formu a množství vstupních údajů, které budou součástí výsledků analýzy. Ke zvoleným údajům jsou před závěrečným vyhodnocením

automaticky přiřazeny potřebné údaje, nutné pro zpracování analýzy. Zdrojem pro tyto doplňující údaje jsou tři vnitřní databáze:

- databáze technologických variant rekonstrukce asfaltové vozovky,
- databáze konstrukčních materiálů / prvků,
- databáze stavebních strojů pro výstavbu silnic.

Sestavením výpočtového modelu na základě databází, byl vytvořen systém, jenž umožňuje tvůrci analýzy snadno a rychle získat relevantní a prakticky použitelné výsledky.

Databáze obsahují řadu referenčních vzorků, přičemž nebylo cíleno na množství prvků v databázi, ale na kvalitu vzorků. Jedním z důvodů byl i velice nízký počet výrobců speciální stavební mechanizace, která se pro recyklaci a pokládku netuhých vozovek používá.

Počet, členění a popis jednotlivých prvků databáze *T-E modelu* vychází z praktických zkušeností autora – viz tabulka 7.

Tabulka 7. Počet prvků v databázích (Snížek, 2015a, 2015b, 2016b)

Prvky databáze / Technologie	Technologické varianty	Mechanizace	Materiály
Tradiční metoda	1	11	23
Recyklace za studena	9	26	5
Recyklace za horka	2	12	6
<i>Celkem</i>	<i>12</i>	<i>49</i>	<i>34</i>

Kromě naplnění všech tří databází potřebným počtem prvků, bylo pro praktické využití modelu *T-E analýzy* nutné určit závislosti mezi jednotlivými prvky.

7.1. Model postavený na bázi měrných jednotek

Po zadání *základních rozměrových parametrů* (šířka, délka) rekonstruované vozovky, délky sledovaného období a inflačního indexu, jsou k řešenému objektu (vozovce) navázány jednotlivé dostupné technologie rekonstrukce. Prostřednictvím technologií jsou k vozovce přiřazeny i jednotlivé stavební materiály / konstrukční prvky a stavební mechanizace. Přiřazení je uskutečněno na základě matice převodních vzorců, která existuje ke všem zpracovaným technologiím. Součástí převodních vzorců jsou charakteristické rozměrové parametry, analyzovaného objektu a empiricky stanovený převodní koeficient, z nichž je odvozeno množství materiálu či konstrukčního dílu v technologické variantě. Výsledkem hodnot je

imaginární vozovka, velice podobná reálně vyhodnocovanému objektu. Předpokládá se, že imaginární pozemní komunikace se liší od reálného pouze v mezích přípustné tolerance.

Pro účely *T-E analýzy* jsou technologie rekonstrukce asfaltové vozovky rozděleny na 3 hlavní metody, kdy každá metoda má ještě podrobně definované technologické pod varianty. Databáze obsahuje celkem 12 reprezentantů stavebních technologií. Každá technologie je charakterizována skupinou stavebních strojů a materiálů, jimiž je realizována. Databáze obsahuje celkem 49 reprezentantů stavební mechanizace a 34 reprezentantů stavebních materiálů, viz příloha 1.

Základním požadavkem pro tuto databázi, je definovat potřebné materiály / konstrukční prvky a stavební stroje, které se při rekonstrukci vozovky užívají. Pro materiály či konstrukce je klíčové definovat jejich životnost.

Pro lepší přehlednost a rozšiřitelnost databáze, jsou reprezentanti databáze stavebních strojů označeny většinou dvoupísmenným kódem, označující kategorii stavebních strojů, jak je uvedeno v příloze 1.

8. Náklady životního cyklu konstrukce

V souvislosti s volbou technologické varianty rekonstrukce vozovky nastává i otázka celkových nákladů životního cyklu, neboli *Life Cycle Costs (LCC)*.

Jedná se o náklady, související s realizací, užíváním a likvidací stavebního objektu. Jak uvádí Macek (2009a), životnost stavby je limitována nejen její technickou, ale i ekonomickou životností. U technické životnosti je kladen důraz na materiálovou charakteristiku a životnost stavby. Životnost je závislá především na kvalitě provedení stavebních prvků dlouhodobé životnosti. Jedná se o ty konstrukce stavby, které mají z hlediska technické životnosti zásadní význam, protože při jejich poškození (ztrátě plnění jejich funkce) je stavba nefunkční a hrozí její zřícení. Případné opravy jsou mimořádně technicky i ekonomicky náročné.

V případě pozemních i dopravních staveb nastává situace, kdy je efektivnější stavbu kompletně odstranit a postavit novou. V případě pozemních staveb k tomu může docházet díky končící ekonomické životnosti objektu. Ekonomická životnost je definována jako období, ve kterém je možné objekt hospodárně užívat.

U dopravních staveb, konkrétně pozemních komunikací je tomu podobně, nicméně ekonomickou životnost lze vypočítat obtížně. Nelze zde hovořit např. o

trvalé ztrátě čistých výnosů vzhledem k nepřiměřeně vysokým provozním nákladům, jako u pozemních staveb. Ekonomická životnost bývá většinou kratší než technická.

Analýza *LCC* definuje předmětné náklady spojené s realizací a užíváním konstrukcí a jejich prvků za sledované období. V případě pozemních komunikací může být analýza nákladů životního cyklu užitečná jak správci komunikace (většinou ŘSD ČR či KSÚS), tak i projektantům. Analýza může být přínosná i v otázce volby metody a technologie rekonstrukce vozovky.

Jak píše Macek (2009a), *LCC* v případě pozemních staveb, rozděluje Čápová (2005) do třech základních skupin:

1) Náklady přímo související s technickými parametry stavby:

– investiční náklady, náklady na opravy a udržování budovy, rekonstrukci, modernizaci a likvidaci budovy.

2) Provozní náklady budovy:

– náklady na energie, úklid, odpisy apod.

3) Administrativní náklady spojené se správou nemovitosti:

– daně, pojištění, správa budovy atd.

Pro výpočet *LCC* pozemních komunikací nelze spolehlivě všechny náklady ze třech výše uvedených skupin zajistit. Proto pro účel deterministického modelu budeme počítat pouze s následujícími náklady.

1) Náklady přímo související s technickými parametry stavby:

– investiční náklady, náklady na opravy, rekonstrukci a modernizaci pozemní komunikace (*PK*),

– k úplné likvidaci komunikací dochází velice zřídka, nebudeme proto tyto náklad do *LCC* zahrnovat.

Náklady související s provozem, správou a administrativou pozemní komunikace nebudou v modelu vzhledem k nejednoznačnosti a obtížnosti získání dat zohledněny.

Základní vztah pro stanovení nákladů životního cyklu (*LCC*) pozemní komunikace lze stanovit následovně, jak uvádí Macek (2009a):

$$LCC = \sum_{n=0}^{t_D} \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (8.1)$$

Kde: C_n je náklad v roce n ,
 i je diskontní sazba (časová hodnota peněz),
 t_D je délka hodnoceného období (životnost PK).

Řešíme-li celkové náklady životního cyklu pro asfaltové vozovky, pro zjednodušení nebudeme započítávat náklady související provozem, správou a administrativou. Bude se tedy jednat pouze o náklady související s technickými parametry stavby, které je možno zapsat následovně:

$$LCC = C_T \quad (8.2)$$

Kde: C_T náklady související s technickými parametry stavby.

Náklady související s technickými parametry stavby (C_T) lze zapsat dle Macka (2009) i následujícím vztahem:

$$C_T = \sum_{n=0}^t \frac{\sum_{j=0}^p C_{T_j}}{(1+i)^n} \quad (8.3)$$

Kde: T_j výše j -té kategorie nákladů souvisejících s technickými parametry PK,
 n rok hodnocení,
 t délka životního cyklu stavebního objektu (životnost),
 p počet kategorií nákladů souvisejících s technickými parametry PK,
 i diskontní sazba.

Náklady životního cyklu můžeme rozdělit rovněž dle fází projektu, kdy nastanou:

1) Investiční (realizační) fáze:

- investiční náklady (pořizovací).

2) Fáze užívání:

- náklady na opravy a údržbu,
- náklady na modernizaci,
- náklady na rekonstrukci.

2) Fáze likvidace:

- náklady na likvidaci a demontáž komunikace.

9. Životní cyklus konstrukce

Reprezentuje jednotlivé aktivity v podobě výstavby, údržby, obnovy, modernizace a likvidace, související s materiály a konstrukčními prvky stavebního objektu (vozovky) v čase. Aktivity spojené s životním cyklem konstrukce vznikají při realizaci, provozu a likvidaci konstrukčního prvku.

Životní cyklus vyjadřuje pro jednotlivé konstrukční prvky doporučený plán obnovy. Pro stanovení nákladů životního cyklu je potřeba aktivity ohodnotit, čímž získáme výši odhadovaných investic. Plán obnovy / údržby konstrukčních prvků je vytvořen s cílem zajistit kvalitativní standard a potenciál užívání stavebního objektu. Termíny obnovy / rekonstrukcí konstrukčních prvků mohou být zřejmé z tzv. křivky opotřebení konstrukčního prvku, jak uvádí Macek (2009a).

Problematika je zpracována na základě SW aplikace Buildpass (Macek, 2009a, 2009b) a principu *dynamického harmonogramu*, který je výsledkem výzkumu týmu Beran, Macek, Heralová, Dlask a Tománková z katedry K126.

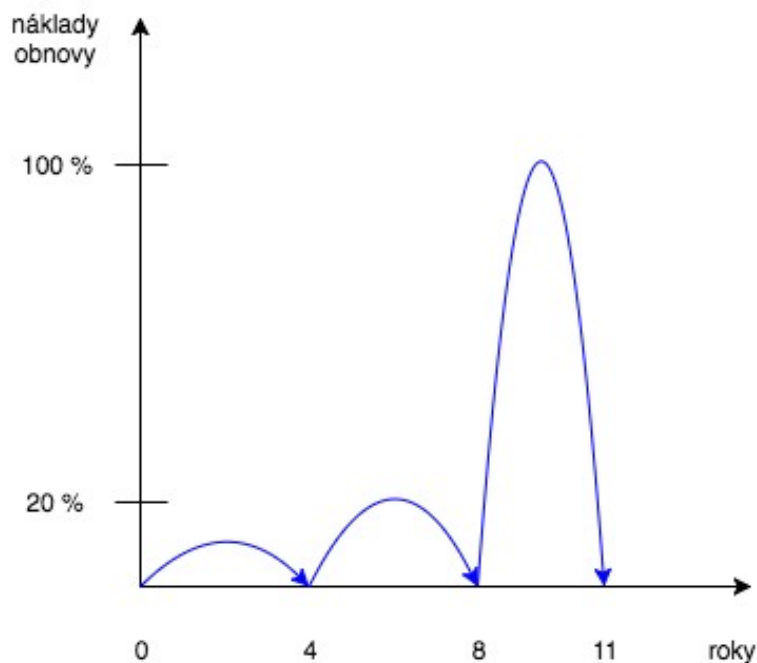
K obnově konstrukce můžeme přistupovat několika způsoby:

- 1) po uplynutí technické životnosti konstrukce bude nahrazena konstrukcí novou,
- 2) v průběhu životnosti konstrukce je prováděna periodická údržba, obnova a rekonstrukce. Systém je založený na popisu životního cyklu prvku pomocí matice. Tento přístup více popisuje realitu, proto bude zvolen.

Dle Macka (2009), tato matice vyjadřuje popis životnosti prvku tak, že řeší problém popisu cyklů, kde není periodicitu jednoho kroku při doporučeném obnovování prvků. Výsledkem je, že příslušná matice reprezentuje jeden periodický krok, který lze popsat libovolným neperiodickým cyklem.

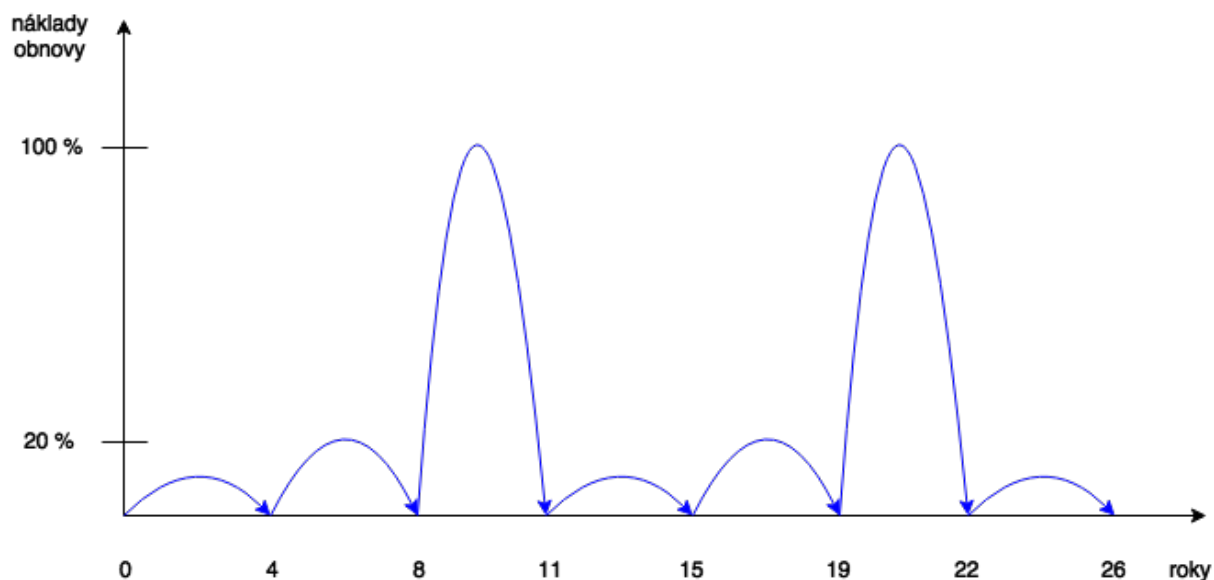
Variabilita není umožněna jen v délkách jednotlivých neperiodických cyklů, ale také v jejich výškách. Výškou se rozumí procento nákladů, které se musí na danou obnovu konstrukce vynaložit.

Jako příklad lze uvést technologii recyklace za studena s použitím pěnoasfaltu, kdy obnova probíhá po 11 letech, ale pravidelně se střídá náklad obnovy v rozsahu 10 %, 20 % konstrukce a kompletní rekonstrukce. V tomto případě se do matice obnovy zavede krok délky 4 let s výškou 10 %, druhý krok se stejnou délkou, ale s výškou 20 % a třetí krok s výškou 100 %, jak znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2. Schéma matice obnovy – příklad (zdroj: autor)

V průběhu životního cyklu se aktivity obnovy opakují, a proto se i matice životnosti cyklicky opakuje. Obrázek 3 zobrazuje periodicky se opakující životní cyklus asfaltové vozovky, rekonstruované technologií recyklace za studena s použitím pěnoasfaltu.



Obrázek 3. Schéma obnovy konstrukce vyjádřené periodicitou matice obnovy (zdroj: autor)

Tabulky v příloze č. 2 zobrazují cykly obnovy rekonstruované vozovky, vždy pro danou technologickou variantu rekonstrukce. Předpokládá se stejná technologie

rekonstrukce po celé uživatelem sledované období. Hodnoty v tabulkách představují procentní vyjádření výše investice spojené s rekonstrukcí či obnovou konstrukce vozovky. Procenta se vztahují k pořizovacím nákladům rekonstrukce v roce 0 a jsou navýšeny o % inflace. Náklady na obnovu v jednotlivých letech jsou přepočtem procentního vyjádření. Vyplněné pole reflektuje doporučenou obnovu v daném roce a odhadované výši (Macek, 2009b).

Procenta nákladů jednotlivých technologií jsou upraveny dle individuálně kalkulovaných průměrných cen na měrnou jednotku. Cykly obnovy jednotlivých technologií jsou založeny na životních cyklech materiálů a konstrukčních vrstev v technologii obsažených. Cykly vycházejí z empirických zkušeností a literatury o životnosti konstrukčních prvků, které byly použity již při vývoji softwarového nástroje OptiRoad (Snížek, 2013). OptiRoad je nástroj pro výpočet pořizovacích nákladů pozemní komunikace a kalkulaci celkových nákladů životního cyklu.

10. Princip navrhování rekonstrukce vozovky

Konstrukce vozovky je složena z několika konstrukčních vrstev / prvků. V průběhu životnosti tyto prvky stárnou, začínají vykazovat defekty a ztrácet únosnost. Proto je potřeba konstrukci průběžně udržovat. Náklady na údržbu a rekonstrukci konstrukčních vrstev jsou definovány jako % výše investičních nákladů – viz. Kapitola 9 (Macek, 2009b).

Rekonstrukce je plánována jako kroková – viz. Obrázek 3. Jedná se o periodicky se opakující zásahy do konstrukce v podobě oprav různé intenzity. Pro zjednodušení navrhovaného modelu nejsou v tomto případě definovány žádné technické ani ekonomické vazby mezi prvky, jak popisuje Macek (2009a). Navržené technologické obnovy tak nabízí možnost optimalizace, která může být předmětem dalšího výzkumu a rozvoje.

Pro každou konstrukci resp. technologickou variantu rekonstruované vozovky je navržen životní cyklus – viz. Obrázek 3. Konec životnosti konstrukce je prezentován jako 100% obnova konstrukce. Toto znamená nikoliv likvidaci stavebního objektu, ale celkovou rekonstrukci souvrství konstrukce pozemní komunikace. Po generální rekonstrukci začne nový životní cyklus, periodicky se opakující.

Zpracování problematiky je inspirováno zpracováním aplikací Buildpass (Macek, 2009a, 2009b) a principem *dynamického harmonogramu* (Beran, Macek, Heralová, Dlask, Tománková).

11. Princip výpočtu doby rekonstrukce

Aby bylo možno vyhodnotit a navzájem porovnat řešené metody rekonstrukce vozovky a jejich technologické varianty, je potřeba nejprve stanovit časovou náročnost realizace jednotlivých technologií. S časovou náročností souvisí veškeré vyhodnocované parametry:

- emise skleníkových plynů při rekonstrukci,
- náklady rekonstrukce,
- náklady životního cyklu.

Časová náročnost je stanovena na základě *principu časového snímku* dne. Pro sestavení časového snímku je důležitá volba technologie rekonstrukce vozovky, která bude kalkulována. Informace je důležitá pro správný výběr klíčového stroje, pro který je denní snímek primárně sestavován.

11.1. Klíčové stroje

Klíčový stroj je volen na základě typu prováděných stavebních prací a vykazuje následující charakteristiky:

- silniční stavební stroj, bez kterého nelze zvolenou technologii rekonstrukce realizovat, nebo jen s obtížemi,
- klíčový stroj udává tempo, přestávky a pracovní dobu sestavy strojů, podílející se na rekonstrukci,
- klíčový stroj je v sestavě nenahraditelný. Jeho výpadek způsobuje zastavení výkonu převážné většiny stavebních prací vykonávaných stroji v sestavě,
- pro každou technologii rekonstrukce či výstavby může být klíčový jiný typ stroje,
- není výjimkou, že v případě realizace důležitých či časově omezených staveb, jsou na stavbě přítomny i dva klíčové stroje. Jeden je však pouze jako záložní, pro případ poruchy,
- klíčová je do určité míry rovněž obalovna asfaltových směsí. I ta je ale nahraditelná a není součástí sestavy strojů na stavbě. Proto není jako klíčová v tomto případně uvažována. Z hlediska výkonu produkce zabudovávaných směsí klíčová je, což je do budoucna plánováno v kalkulačních modelech zohlednit.

Pro jednotlivé metody rekonstrukce vozovky a provádění stavebních prací s nimi související jsou charakteristické následující typy strojů – viz tabulka 8.

Tabulka 8. Klíčové stroje pro technologie rekonstrukce (Snížek, 2015a, 2015b, 2016b)

Metoda	Prováděné práce	Typ stavebního stroje	Příklad stroje
Recyklace za studena	Recyklace	Recyklér (studené směsi)	WR 2000 (2nd) WR 240i (3rd) CR 2200
	Pokládka	Asfaltový finišer	Vogele Super 1800-3i Vogele Super 2100-3i
Tradiční metoda (Mill&Fill)	Frézování	Silniční fréza	Wirtgen W 1900
	Pokládka	Asfaltový finišer	Vogele Super 1800-3i Vogele Super 2100-3i
Recyklace za horka	Recyklace	Recyklér (horké směsi)	Wirtgen RX 4500
	Pokládka	Recyklér (horké směsi)	Wirtgen RX 4500





Klíčový stroj udává tempo a definuje, jak dlouho bude rekonstrukce prováděna. Pro ostatní stroje je nutné rovněž sestavit časový snímek, jelikož i čas jejich práce se počítá do časové náročnosti rekonstrukce.

11.2. Sestavení časového snímku

Podkapitola popisuje princip, jakým je sestaven časový snímek pro klíčové stroje. Časový snímek je potřeba pro získání porovnaných hodnot mezi technologiemi rekonstrukce vozovek.

Časový snímek popisuje činnosti stroje v průběhu pracovního dne, od počátku do konce směny. Je sestaven na základě reálných technických dat, které byly výrobcem ověřeny a naměřeny na různých stavebních projektech. Nejedná se tak o teoretické údaje výrobce, ale o ověřená data a reálné výkony. Existující databázi kalkulačních modulů OptiRec lze rozšířit o další typy recyklérů, fréz, finišerů, hutnicích prostředků atd.

Časový snímek na obrázku 4 je sestaven pro recyklér, který je klíčovým strojem pro rekonstrukci technologií recyklace za studena na místě.

Staničení	DEN 1	DEN 1
1200 m	 R2 = 86 min Recyklace vozovky	TB2 = 19 min Technická přestávka
	TB1 = 19 min Technická přestávka	R3 = 86 min Recyklace vozovky 
600 m	R1 = 86 min Recyklace vozovky 	TB3 = 19 min Technická přestávka
	CC = 15 min Zahřívání stroje	R4 = 86 min Recyklace vozovky 
0 m	ST1 = 21 min Technická přestávka	ST2 = 21 min Technická přestávka

Obrázek 4. Denní časový snímek recykléru (zdroj: autor)

Na počátku sestavování denního snímku je provedena analýza, jejímž cílem je identifikace aktivit stroje v rámci pracovního dne. Aktivita jsou identifikovány a sdruženy do čtyř základních skupin:

1) údržba:

motor je vypnut. Probíhá doplňování paliva, maziva, vody a pojiv do nádrží a zásobníků, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu, frézovacích trnů,

2) zahřívání stroje:

motor nastartován na volnoběh. Studený start, zahřívání stroje, vyparkování stroje, zapojení stroje do sestavy, napojení hadic,

3) recyklace:

motor v záběru. Vlastní provádění recyklace asfaltové vozovky,

4) technická přestávka:

motor na volnoběh. Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání strojníka a obsluhy. Přestávka může případně sloužit jako časová rezerva např. pro výměnu a doplnění pojiva z cisterny. Na konci směny slouží přestávka k vyčištění a zaparkování stroje.

V druhém kroku je provedeno rozdělení pracovní směny na identifikované aktivity (údržba, zahřívání, recyklace, technická přestávka) – obrázek 4. Výsledkem analýzy je sestavení výpočtového modelu, kalkulující strávený čas stroje na jednotlivých aktivitách. V rámci pracovní doby jsou tak zahrnuty i neproduktivní aktivity, kdy recyklér či obdobný stroj běží na volnoběh nebo se nachází ve fázi údržby.

Tvorba časového snímku se odvíjí z praktických zkušeností na stavbě, rychlosti provádění hlavní aktivity klíčového stroje (např. recyklace) a znalosti časů přípravy a přestávek stroje a posádky – viz tabulka 9.

Tabulka 9. Denní časový snímek recykléru – časová analýza (zdroj: autor)

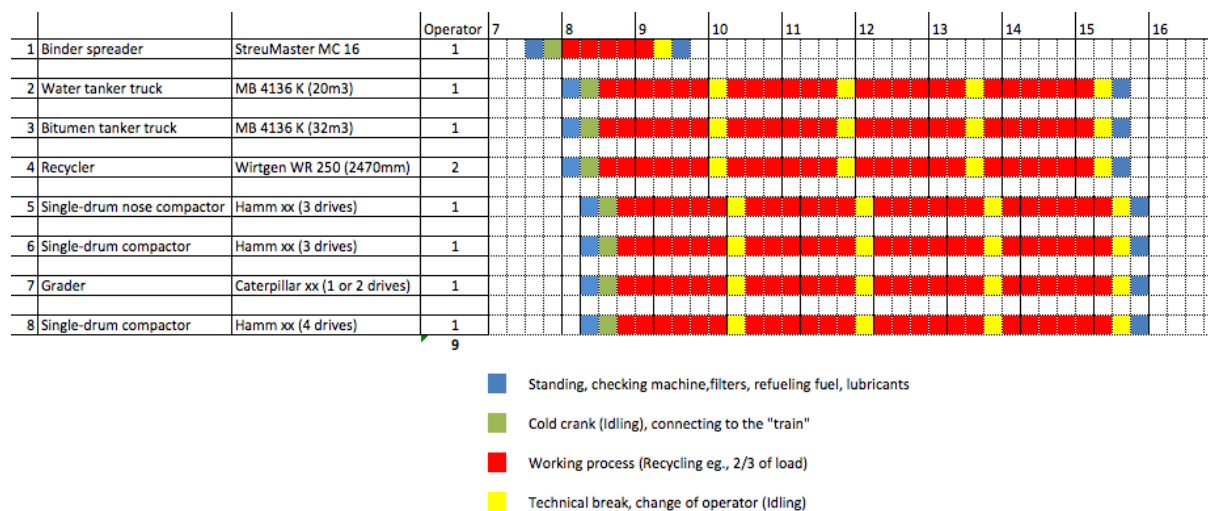
Aktivita stroje	Časová náročnost
Recyklace	342 min
Údržba	42 min
Zahřívání stroje	15 min
Technická přestávka	57 min
<i>Celkem</i>	<i>456 min</i>

Z praktických zkušeností je nutno předpokládat minimálně jednu čtvrtinu pracovní doby, kterou stráví stroj neproduktivními činnostmi. Mezi neproduktivní řadíme všechny činnosti, kromě hlavní aktivity stroje, což je *recyklace* asfaltové konstrukce. Neproduktivní činnosti jsou tedy *údržba stroje, zahřívání stroje a technické přestávky*. Na základě praxe a po konzultaci s výrobcem speciálních stavebních strojů Wirtgen - dr. Engelsem, lze neproduktivní dobu stroje rozdělit takto – tabulka 10:

Tabulka 10. Rozdělení neproduktivního času stroje (zdroj: autor)

Neproduktivní činnost stroje	Časová náročnost	Poměrová část
Údržba	42 min	37,5 %
Zahřívání stroje	15 min	12,5 %
Technická přestávka	57 min	50,0 %
<i>Celkem</i>	<i>114 min</i>	<i>100 %</i>

Podobně, jako pro klíčový stroj, je možno sestavit i časový snímek pro ostatní stroje zapojené do sestavy, provádějící rekonstrukci vozovky. Časový snímek za celou sestavu strojů je nutno synchronizovat, aby činnosti jednotlivých strojů na sebe navazovaly a byly prováděny v potřebném technologickém pořadí. Každý stroj vykonává při rekonstrukci jinou činnost a tím jsou na sobě navzájem závislé. Obrázek 5 zobrazuje již synchronizované denní snímky strojů v sestavě. Zobrazen je denní přehled aktivit strojů při recyklaci asfaltové vozovky za studena s přidáním cementu.



Obrázek 5. Denní harmonogram strojů (zdroj: autor)

12. Analýza životního cyklu konstrukce

S volbou technologické varianty rekonstrukce vozovky souvisí i analýza životního cyklu, neboli *Life Cycle Analysis (LCA)*. Jedná se o analýzu vybraných hodnot pro zvolené technologické řešení za sledované časové období. Změna sledovaných hodnot nastává v průběhu realizace, užívání a likvidace stavebního objektu.

V případě pozemních komunikací může být analýza užitečná jak správci komunikace (ŘSD ČR či KSÚS), tak i projektantům. Přínosná může být v otázce volby metody a technologie rekonstrukce vozovky.

Pro potřeby disertační práce byly analyzované hodnoty rozděleny do tří základních skupin:

- 1) hodnoty spojené s emisemi skleníkových plynů:
 - CO_2 , NO_x+HC , CO a PM neboli velmi jemné částice,
- 2) náklady životního cyklu *LCC*, přímo související s technickými parametry stavby:
 - investiční náklady, náklady na opravu, rekonstrukci, modernizaci pozemní komunikace. Řešeno v kapitole 8 této práce,
- 3) časová náročnost rekonstrukce:
 - časová náročnost spojená s prováděním jednotlivých prací a aktivit v rámci provádění rekonstrukce vozovky.

Základní vztah pro stanovení výše jednoho typu analyzované hodnoty pozemní komunikace v rámci životního cyklu lze stanovit následovně. Neplatí pro výpočet *LCC*, tam je nutno započítat časovou hodnotu peněz v podobě diskontní sazby:

$$LCA = \sum_{n=0}^{t_D} H_n \quad (12.1)$$

Kde: H_n je kumulovaná hodnota v roce n ,
 t_D je délka hodnoceného období.

Řešíme-li výše sledované hodnoty za období životního cyklu asfaltové vozovky, bude se jednat pouze o hodnoty jednoho typu, které je možno zapsat následovně:

$$LCA = H \quad (12.2)$$

Kde: H výše sledované hodnoty za životní cyklus.

Analýzu životního cyklu vybraných hodnot můžeme rozdělit i dle fází projektu, kdy lze změnu sledovaných hodnot identifikovat:

- 1) investiční fáze (realizační),
- 2) fáze užívání,
- 3) fáze likvidace.

Tato práce díky svému zaměření uvažuje změnu hodnot spojených s emisemi skleníkových plynů a časovou náročnost rekonstrukce pouze ve fázi investiční a fázi užívání.

13. Emise při rekonstrukci vozovky

Negativním vlivem pozemních komunikací při výstavbě a rekonstrukci jsou exhalace. Jedná se o plynné odpadní látky, emitovány do životního prostředí. Hovoříme o emisích, čili uvolňování polutantů (výfukové plyny, popílky, oxidy uhlíku atd.). Emise vznikají nejčastěji nedokonalým spalováním fosilních paliv, a to jak ve spalovacích nebo zážehových motorech, tak při průmyslové výrobě.

Disertační prací jsou řešeny zejména emise produkované při výrobě později zabudovávaných materiálů a činnosti stavební mechanizace při realizaci rekonstrukce pozemní komunikace.

Vyhodnocované emise skleníkových plynů:

- 1) CO₂,
- 2) NO_x+HC,
- 3) CO,
- 4) PM,

K produkci výše uvedených emisí dochází zejména při:

- 1) výstavbě asfaltové (flexibilní) vozovky,
- 2) rekonstrukci a opravě vozovky v průběhu životnosti konstrukce,
- 3) výrobě materiálů, jenž jsou při stavebních pracích do vozovky zabudovávány.

Jak je uvedeno v úvodní kapitole, horní hranice produkovaných emisí stavební mechanizace je limitována evropskými normami Stage a americkými Tier normami. Aby bylo možno vyhodnotit technologické varianty z pohledu vlivu na životní prostředí, konkrétně produkce emisí skleníkových plynů, je zapotřebí suma jednotlivých škodlivých látek. Výsledkem je hodnota, charakterizující množství

vyprodukovaných škodlivých látek stavební mechanizací a při výrobě zabudovávaného materiálu pro řešenou technologickou variantu.

Jako příklad lze uvést technologii recyklace za studena s použitím pěnoasfaltu, kdy generální rekonstrukce probíhá po 11 letech – tabulka 11.

Tabulka 11. Příklad produkce emisí při rekonstrukci vozovky (recyklace za studena) (Snížek, 2015a)

Emise / Zdroj	CO ₂ [t]	NO _x + HC [t]	CO [t]	PM [t]
Materiály zabudované	53,86			
Mechanizace použita	5,68	67,88	40,79	1,95
<i>Celkem</i>	<i>59,54</i>	<i>67,88</i>	<i>40,79</i>	<i>1,95</i>

Práce předpokládá, že při výrobě později zapracovaných materiálů při rekonstrukci je produkován hlavně CO₂. Ostatní emise jsou vzhledem k problematické dostupnosti dat produkovány továrnami pouze v zanedbatelném množství, bylo by jen velmi obtížné je při výrobě oddělit a identifikovat jejich množství.

14. Princip výpočtu emisí při rekonstrukci vozovky

Konstrukce vozovky je složena z několika konstrukčních vrstev / prvků. V průběhu výstavby, rekonstrukce a obnovy dochází k produkci skleníkových plynů. Vyhodnocované emise v rámci disertační práce jsou CO₂, NO_x+HC, CO a PM.

Výše vyprodukovaných emisí je pro zjednodušení definována jako % výše emisí vyprodukovaných při generální rekonstrukci krytu vozovky. Emise rekonstrukce jsou detailně kalkulovány na základě principu časového snímku (viz kapitola *Časový snímek*)

Pro vyhodnocení vyprodukovaných emisí byl sestaven model (Obrázek 6). Model je reprezentován pěti základními kroky:

1. volba kritéria, vah a sledovaného období:

jedná se o některé z emisí CO₂, NO_x+HC, CO, PM a nebo jejich kombinaci.

- a. selekce sledovaných emisí jako kritérium pro doporučení vhodné technologie rekonstrukce,*
- b. přidělení patřičné váhy v procentech pro zvolené kritérium. Celková hodnota všech kritérií musí být v součtu 100 %,*
- c. volba sledovaného / vyhodnocovaného období,*

2. volba metody rekonstrukce:

výběr jedné nebo více dostupných metod a technologických variant pro rekonstrukci krytu vozovky,

3. činnosti na stavbě:

v tomto kroku jsou identifikovány činnosti stavebních strojů, související přímo s realizací rekonstrukce / výstavby krytu asfaltové vozovky. Kombinace činností závisí na zvolené metodě a technologické variantě rekonstrukce,

a. tradiční metoda rekonstrukce (Mill&Fill):

- i. frézování,*
- ii. doprava materiálu na stavbu a ze stavby,*
- iii. pokládka,*

b. recyklace za studena (Cold Recycling):

- i. frézování,*
- ii. recyklace za studena na stavbě,*
- iii. doprava materiálu na stavbu,*
- iv. pokládka,*

c. recyklace za horka (Hot Recycling):

- i. recyklace za horka na stavbě,*
- ii. doprava materiálu na stavbu,*
- iii. pokládka,*

4. zdroje emisí

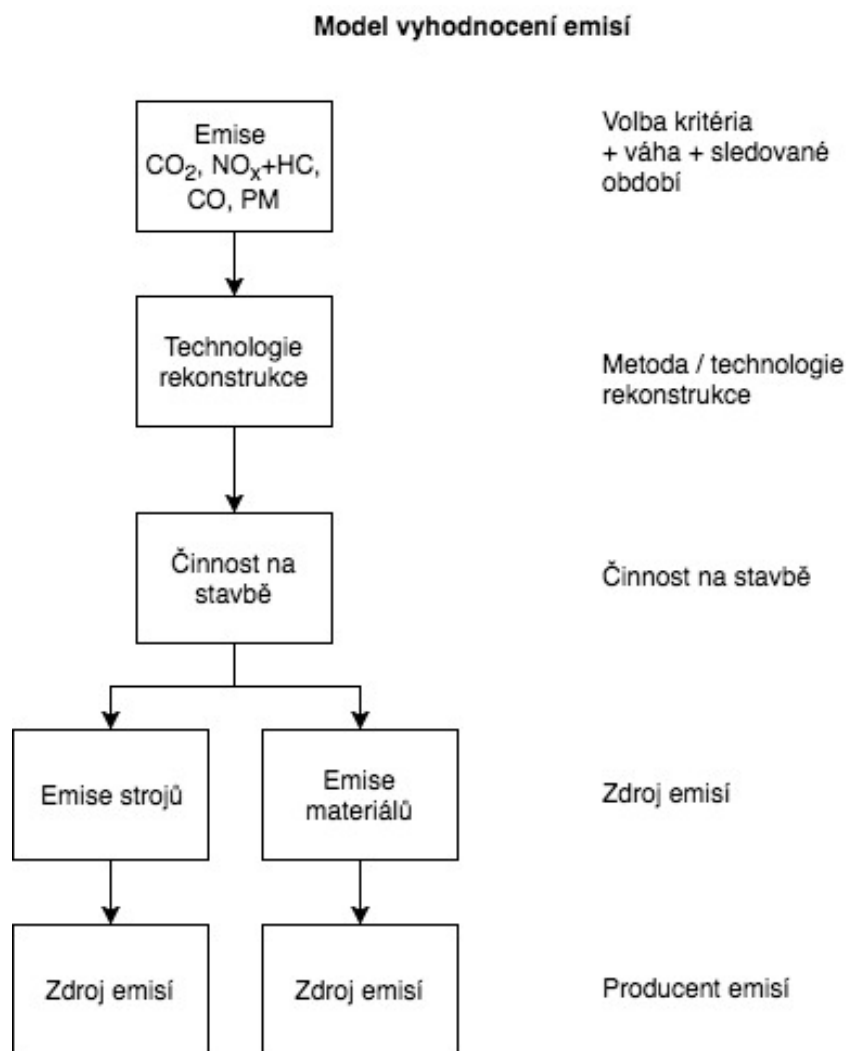
mezi základní zdroje emisí patří následující:

- i. emise strojů,*
- ii. emise z produkce materiálů,*

5. producenti emisí

mezi producenty emisí patří následující:

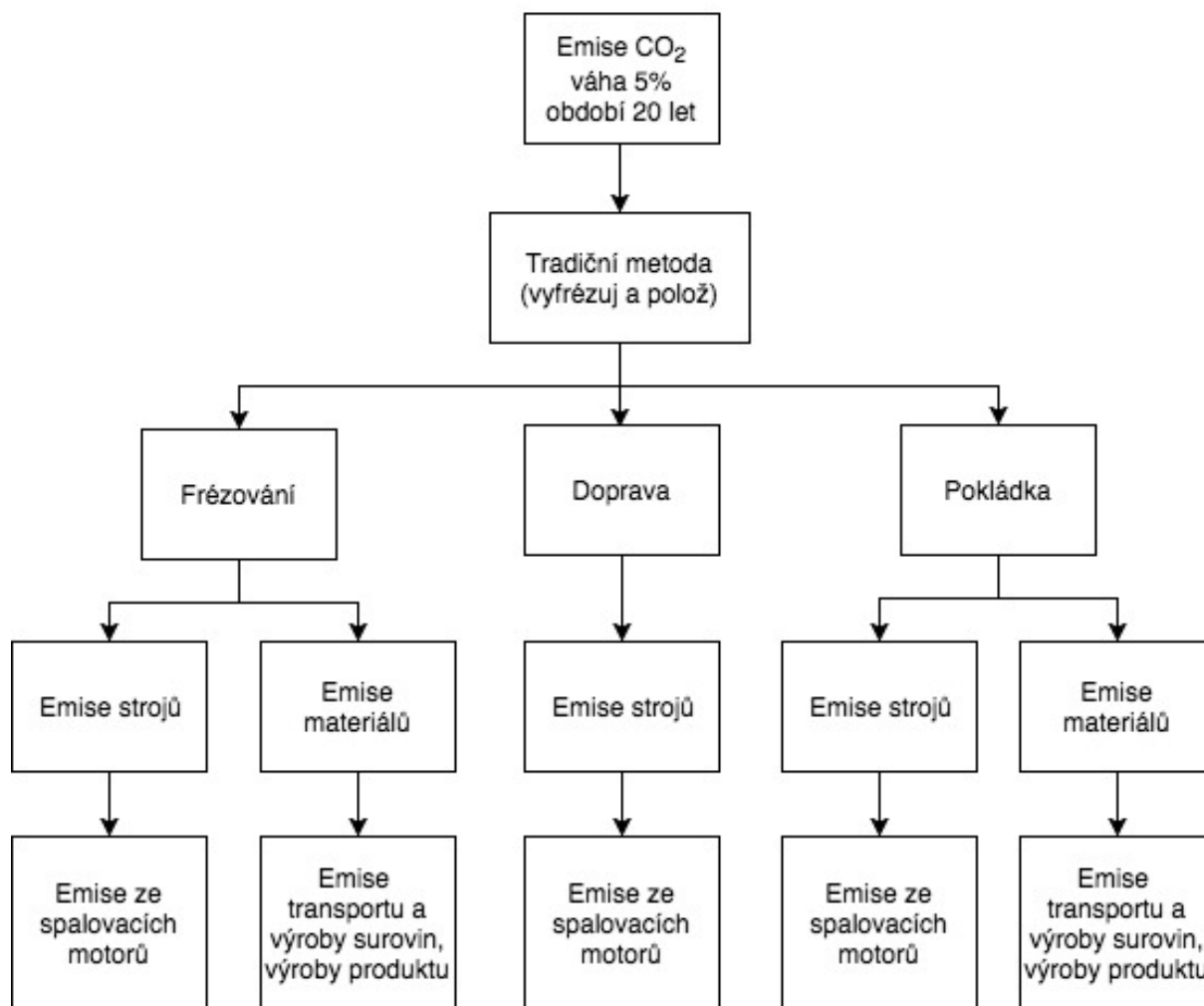
- i. emise strojů:*
 - a. emise spalovacích motorů,*
- ii. emise z produkce materiálů,*
 - a. emise z těžby / výroby surovin,*
 - b. emise z transportu surovin,*
 - c. emise z výroby produktu.*



Obrázek 6. Model vyhodnocení emisí (zdroj: autor)

Obecný deterministický model vyhodnocení emisí (Obrázek 6) je vždy dále individuálně doplněn pro zvolenou metodu rekonstrukce či její technologickou variantu. Úpravy jsou důsledkem různých činností, vykonávaných stroji na stavbě v průběhu realizace prací. Rovněž použité materiály a mechanizace se pro jednotlivé technologie liší. Příkladem je Obrázek 7, který zobrazuje model upravený pro rekonstrukci tradiční metodou Mill & Fill – vyfrézuj a polož.

Příklad modelu pro vyhodnocení emisí



Obrázek 7. Model pro vyhodnocení emisí – tradiční metoda rekonstrukce (zdroj: autor)

Rekonstrukce je plánována jako kroková – viz. Obrázek 3. Jedná se o periodicky se opakující zásahy do konstrukce v podobě oprav různé intenzity. Díky tomu narůstá i množství vyprodukovaných emisí vyprodukovaných v průběhu životního cyklu.

Pro každou konstrukci resp. technologickou variantu rekonstruované vozovky je navržen životní cyklus – viz. Obrázek 3. Po generální rekonstrukci začne nový životní cyklus, periodicky se opakující.

Kalkulace emisí zahrnuje veškeré vyhodnocované emise za sledované období životního cyklu pozemní komunikace.

15. Pořizovací náklady konstrukce

Jedná se o náklady, přímo související s technickými parametry stavby. Po tuto disertační práci jsou definovány investiční náklady, spojené s realizací horních konstrukčních vrstev pozemní komunikace, případně její generální rekonstrukcí. Náklady související s pojištěním, případně odškodněním řidičů porouchaných vozidel v důsledku výtluků na vozovce nejsou nyní v práci zohledněny. Mohou být předmětem budoucího rozvoje.

16. Princip výpočtu pořizovacích nákladů konstrukce

Konstrukce vozovky je složena ze skupiny konstrukčních vrstev / prvků. Počet, druh a kvalita použitých materiálů souvisí se zvolenou technologií rekonstrukce vozovky. V průběhu výstavby, rekonstrukce a obnovy dochází k výměně opotřebovaných konstrukčních vrstev za nové, či jejich obnově.

Pro vyhodnocení investiční náročnosti rekonstrukce byl sestaven model (Obrázek 8). Model je reprezentován pěti základními kroky:

1. volba kritéria, vah a sledovaného období:

- a. *selektce pořizovací ceny jako kritéria pro doporučení vhodné technologie rekonstrukce,*
- b. *přidělení patřičné váhy v procentech pro zvolené kritérium. Celková hodnota vah všech kritérií musí být v součtu 100 %,*
- c. *volba sledovaného / vyhodnocovaného období.*

2. volba metody rekonstrukce:

výběr jedné nebo více dostupných metod a technologických variant pro rekonstrukci krytu vozovky.

3. činnosti na stavbě:

v tomto kroku jsou identifikovány činnosti stavebních strojů, související přímo s realizací rekonstrukce / výstavby krytu asfaltové vozovky. Jedná se o níže uvedené činnosti, případně jejich kombinaci. Kombinace závisí na zvolené metodě a technologické variantě rekonstrukce.

a. *tradiční metoda rekonstrukce (Mill&Fill):*

- i. *frézování,*
- ii. *doprava materiálu na stavbu a ze stavby,*
- iii. *pokládka,*

b. recyklace za studena (Cold Recycling):

- i. frézování,*
- ii. recyklace za studena na stavbě,*
- iii. doprava materiálu na stavbu,*
- iv. pokládka,*

c. recyklace za horka (Hot Recycling)

- i. recyklace za horka na stavbě,*
- ii. doprava materiálu na stavbu,*
- iii. pokládka,*

4. Zdroje nákladů:

mezi základní zdroje nákladů patří následující:

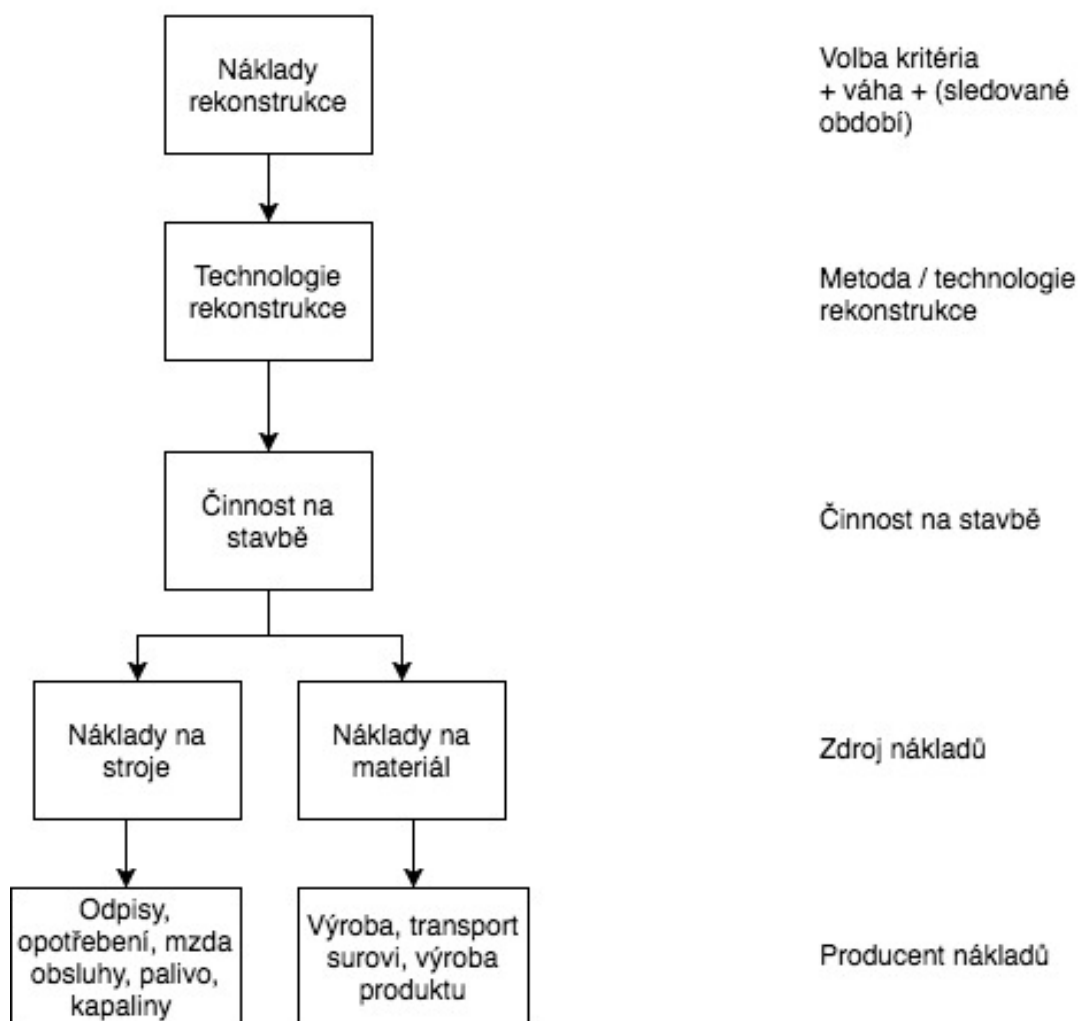
- iii. náklady na stroje,*
- iv. náklady na produkci materiálů,*

5. producent nákladů:

mezi producenty nákladů patří následující:

- iii. náklady strojů,*
 - a. odpisy,*
 - b. opotřebení,*
 - c. mzda obsluhy,*
 - d. palivo,*
 - e. kapaliny a maziva,*
- iv. náklady materiálů*
 - a. těžba / výroba surovin,*
 - b. transport surovin,*
 - c. výroba produktu.*

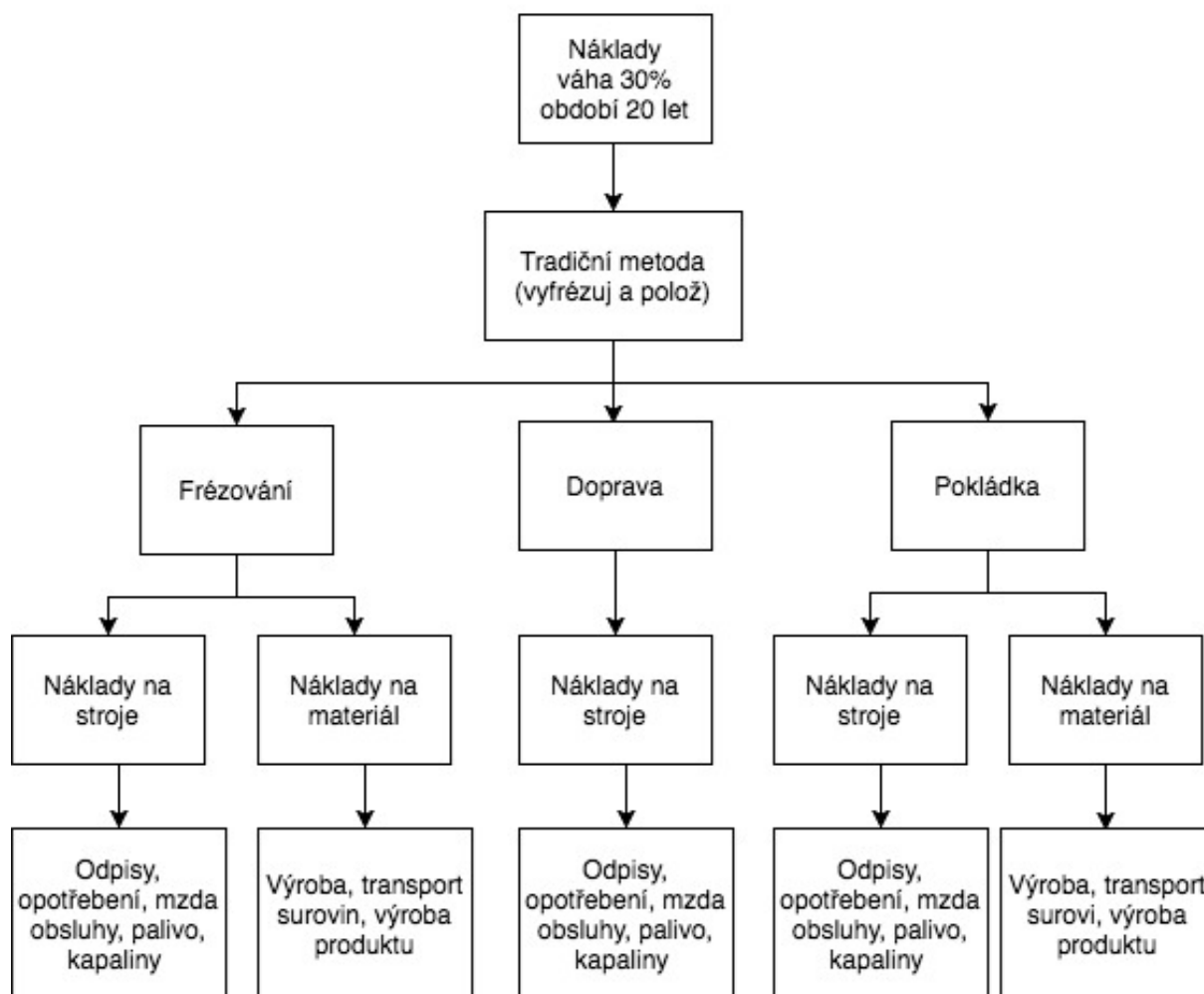
Model výpočtu nákladů rekonstrukce



Obrázek 8. Model výpočtu nákladů rekonstrukce (zdroj: autor)

Obecný deterministický model výpočtu nákladů rekonstrukce (Obrázek 8) je vždy dále individuálně doplněn pro zvolenou metodu rekonstrukce či její technologickou variantu. Úpravy jsou v důsledku různých činností, vykonávaných na stavbě v průběhu realizace prací. Rovněž použité materiály a mechanizace se pro jednotlivé technologie liší. Příkladem je obrázek 9, který zobrazuje model upravený pro rekonstrukci tradiční metodou Mill & Fill –tzv. vyfrézuj a polož.

Příklad modelu pro výpočet nákladů rekonstrukce



Obrázek 9. Model pro vyhodnocení nákladů rekonstrukce – tradiční metoda rekonstrukce (zdroj: autor)

17. Aplikace *OptiVote*

Modely a postupy, popsané v předchozích kapitolách tvoří základ pro nově vytvořený softwarový nástroj nazvaný *OptiVote*. Jedná se o nástroj, který je schopen technicko-ekonomicky vyhodnocovat projekty a respektovat kritéria jak vlivu na životní prostředí, tak ekonomické požadavky. *OptiVote* je vytvořen pro platformu MS Excel for Mac. Výhodou je tak relativně snadná a nenáročná úprava nástroje, případně doplnění databáze. Nástroj zároveň nevyžaduje tvorbu uživatelských účtů. Každý z uživatelů si aplikaci uloží a spustí lokálně na svém PC nebo notebooku. Zadaná data zůstávají uživateli i po uložení a zavření nástroje, až do momentu jejich přepsání.

Jedná se o modulární nástroj, kdy každý z jeho modulů *OptiRec*, řeší problematiku jedné metody rekonstrukce vozovky. Moduly jsou zastřešeny právě nástrojem *OptiVote*.

Obsahem jsou následující moduly:

OptiRec CR – modul pro recyklace za studena,

OptiRec HR – modul pro recyklace za horka,

OptiRec TM – modul pro tradiční způsob rekonstrukce.

Každý z modulů má svůj samostatný výpočetní model. Nástroj *OptiVote*, moduly, a tím i výpočetní modely sdružuje. Moduly *OptiRec* obsahují vlastní databázi technologických variant, stavební mechanizace a konstrukčních prvků / materiálů, jak je zobrazeno v tabulce 6.

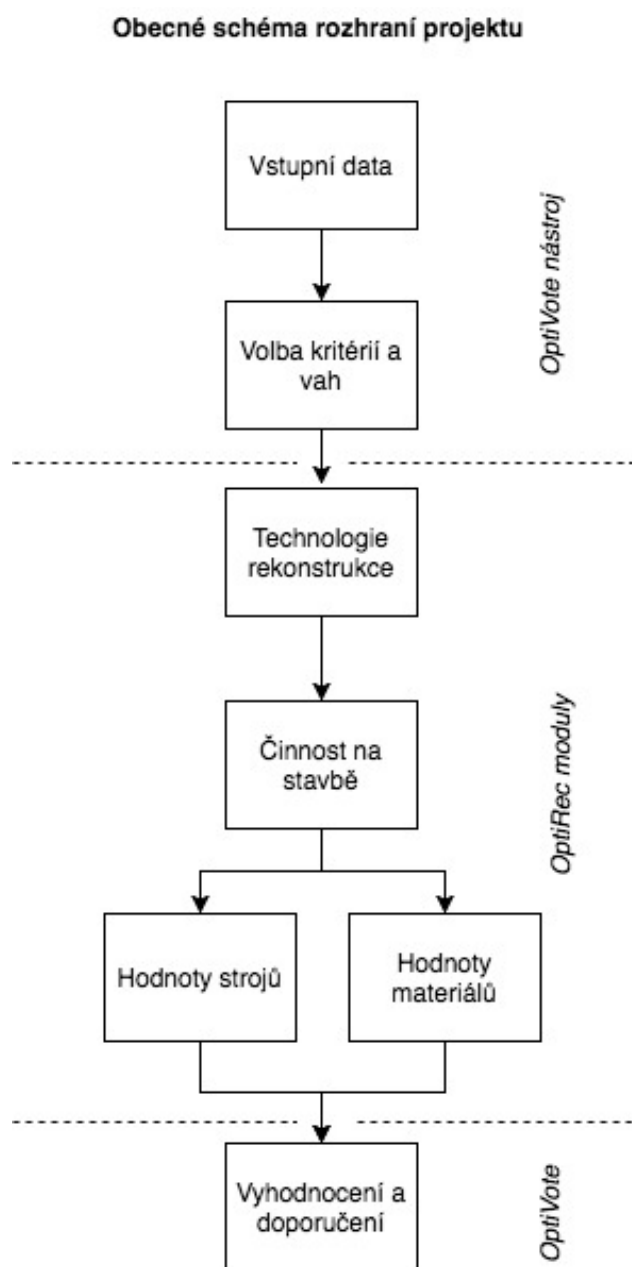
Uživatel si sám volí, do jaké hloubky, či detailu bude řešený projekt specifikovat. Moduly *OptiRec* obsahují předdefinované sestavy strojů a přednastavené hodnoty. Po otevření nástrojů si lze prohlédnout vytvořené příklady vč. předvolených technologií, hodnotících kritérií, sestav strojů a materiálů.

17.1. Schéma rozhraní nástroje

Základní rozvržení SW nástroje *OptiVote* a jeho doplňujících modulů je zobrazeno na obrázku 8. Zadání vstupních údajů, volba kritérií a vah probíhá v *OptiVote*. Následné kroky spočívají ve specifikaci detailu jednotlivých technologických metod. Tyto kroky provádí uživatel ve specializovaných modulech

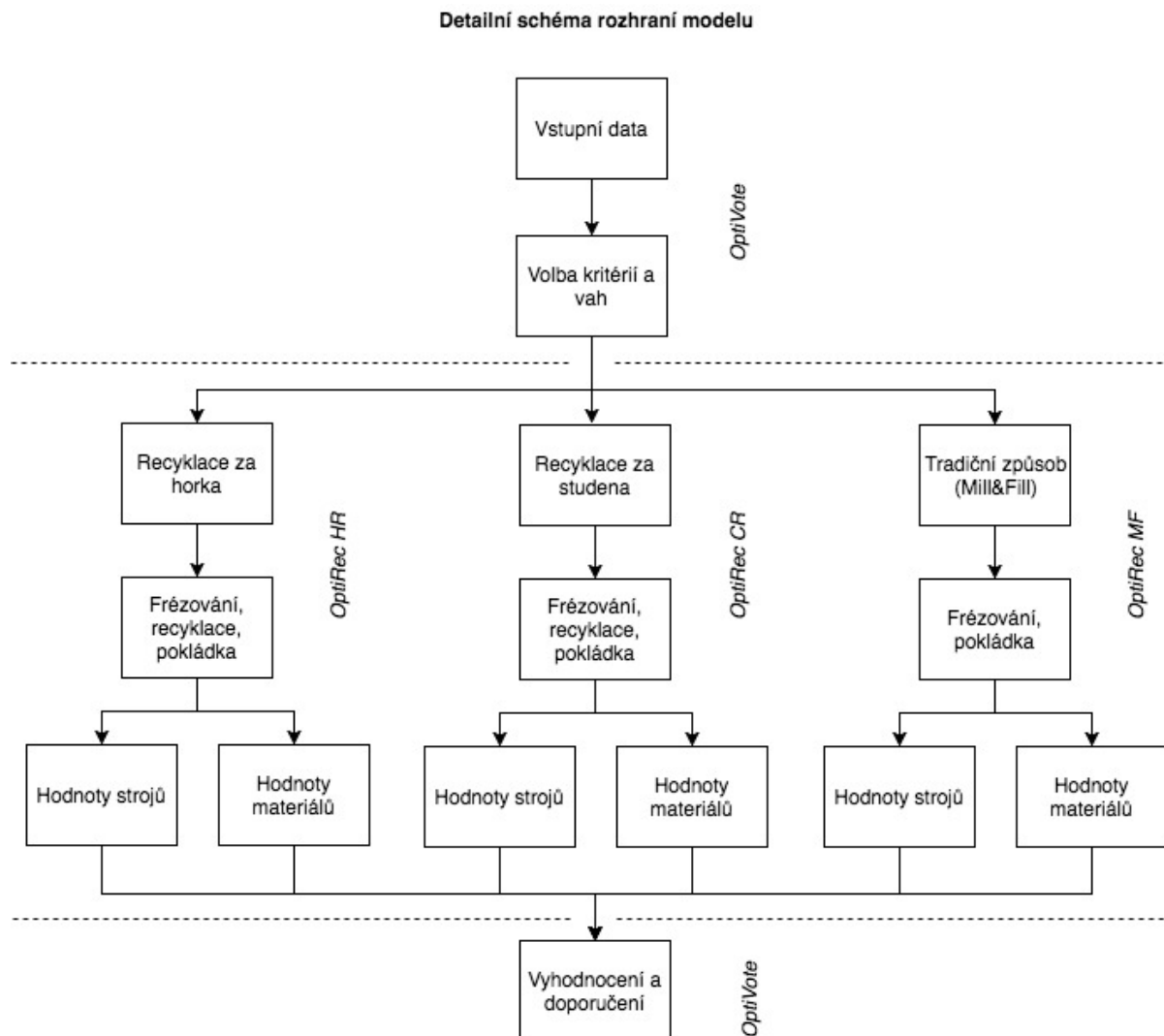
OptiRec, jak je vyobrazeno na obrázku 8. Výsledné hodnoty, včetně doporučení, dle zvolených kritérií a vah jsou prezentovány zpět v nástroji *OptiVote*.

Obrázek 10 zobrazuje postup při zadávání údajů o rekonstruované komunikaci do výpočetního modelu. Aplikace se zaměřuje především na rekonstrukci pozemní asfaltové komunikace v extravilánu a její životní cyklus. Aplikací lze posuzovat i stavbu nové komunikace. Je však důležité, aby si uživatel uvědomil, že aplikace má svá omezení a neřeší všechny stavební a zemní práce, související s realizací.



Obrázek 10. Obecné schéma rozhraní modelu (zdroj: autor)

Bližší specifikací jednotlivých technologií a jejich činností dostáváme detailnější strukturu rozhraní – viz obrázek 11. Zobrazeny jsou v modelu použité moduly *OptiRec*, jednotlivé metody a činnosti, které moduly řeší.



Obrázek 11. Detailní schéma rozhraní projektu (zdroj: autor)

Výstupní data si z aplikace uživatel může přímo vytisknout nebo zkopírovat do zpracovávaného dokumentu či zprávy. Export výsledných hodnot je tak plně v režii uživatele.

17.2. Vstupní data projektu

Po otevření aplikace má uživatel možnost zadat základní parametry, týkající se řešené asfaltové pozemní komunikace, pro kterou je rekonstrukce plánovaná. Aplikace obsahuje předdefinovaná data, které může uživatel měnit. Obrázek 12 zobrazuje *základní vstupní údaje* do aplikace *OptiVote*. Bez jejich zadání nelze

pokračovat ve vyhodnocování projektu. Položky šedě podbarvené jsou neaktivní (tzv. *Inactive*) a jsou pouze informativního charakteru. Šedá pole jsou připravena pro budoucí rozvoj aplikace.

Povinná pole jsou na obrázku 12 červeně podbarvená. První dvě pole charakterizují rozměrové parametry komunikace – *Délka (Length)* a *Průměrná šířka (Width)* v koruně vozovky. Následují dvě pole se týkají analýzy životního cyklu. Jsou to pole *Sledované období (LCC watched period)* a *Inflační index (Inflation index)*. Inflační index popisuje změnu hodnoty peněz v čase. Rovněž se jedná o průměrnou hodnotu za sledované období.

Field Name	Value	Status
Road location [Continent]:	Europe	Inactive
Road location [Country]:	Czech Republic	Inactive
Road classification:	2nd Class road	Inactive
Pavement structure type:	Asphalt pavement	Inactive
Length [m]:	1 000,00	Active
Width avg. [m]:	10,00	Active
LCC watched period [years]:	20	Active
Inflation index [%]:	2,00	Active

Obrázek 12. Základní specifikace projektu (Snížek, 2017)

17.3. Hodnotící kritéria a váhy

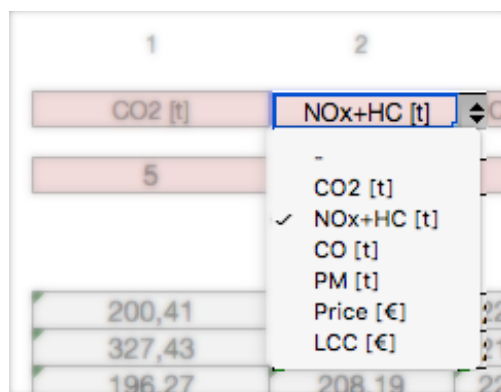
Ve druhém kroku uživatel provádí volbu hodnotících kritérií a přidělení vah – obrázek 13. Celková suma vah za všechna zvolená kritéria musí být vždy sto, tedy 100 %. Volba, počet a pořadí kritérií už záleží na uživateli. Uživatel volí dostupná hodnotící kritéria z rozevíracího seznamu, jak je zobrazeno na obrázku 14. V databázi je aktuálně šest kritérií. Týkají se jak ekonomické stránky projektu, tak vlivu technologie rekonstrukce na životní prostředí.

2.00 SELECTION OF CRITERIA

	1	2	3	4	5	6
	only initial costs					
Criteria [type]:	CO2 [t]	NOx+HC [t]	CO [t]	PM [t]	Price [€]	LCC [€]
Weight [from 1 to 100]:	5	5	5	5	30	50
Rehabilitation technology:	Scoring of criteria					
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen	200,41	234,28	225,85	6,79	31 249	94 118
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam. bitumen	327,43	225,72	218,44	6,53	31 483	91 314
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam. bitumen	196,27	208,19	221,77	6,93	33 242	96 415
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion	310,03	223,28	214,75	6,27	30 392	91 537
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion	432,84	215,13	207,77	6,03	30 626	88 828
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion	298,18	215,13	207,77	6,03	30 626	88 828
Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added	349,95	318,57	332,13	9,99	28 027	155 355
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement	469,62	304,25	283,68	8,59	29 662	126 606
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry	281,71	293,15	300,74	9,85	32 078	136 921
Mill and Fill (incl. material transportation)	352,17	80,71	179,03	1,96	44 698	127 715
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2	229,03	109,90	144,75	5,37	97 032	264 696
Average score	313,42	220,76	230,61	6,76	38 101	123 848

Obrázek 13. Volba kritérií a vah (Snížek, 2017)

Jedná se o kritéria, hodnotící množství vyprodukovaných emisí jednotlivých skleníkových plynů CO_2 , NO_x+HC , CO a PM (velmi jemné částice / saze), náklady na rekonstrukci a náklady životního cyklu. Pro vyhodnocení je nutno zvolit vždy minimálně jedno kritérium. Rovněž hodnota vah musí být kladná, různá od nuly. Uživatel tedy volí první až šesté kritérium. Následně doplní váhu kritérií. Pro vyhodnocení je nutné zkontrolovat si, aby suma vah všech kritérií byla 100 %.


Obrázek 14. Volba kritérií (Snížek, 2017)

17.4. Vyhodnocení a doporučení

Jak je vidět na obrázku 13, pod řádkem zvolených kritérií a jejich vah jsou vypsány dostupné technologické varianty pro rekonstrukci vozovky. Základní vstupní hodnoty zadané uživatelem jsou zkalkulovány výpočetními moduly *OptiRec TM*, *OptiRec CR* a *OptiRec HR*. Jednotlivé technologické varianty obsahují předdefinované sestavy strojů a skladby materiálů. V modulech *OptiRec* může uživatel předvolené hodnoty upravit dle svých potřeb, na míru řešeného projektu.

Hodnoty pro jednotlivá kritéria technologií jsou v aplikaci *OptiVote* přepočítány na body – obrázek 15. Je to proto, aby bylo možno dostupné technologie na základě multikriteriálního hodnocení vyhodnotit. Uživatel díky tomu dostane doporučení, kterou technologií je nejvýhodnější rekonstruovat řešenou pozemní komunikaci.

Rehabilitation technology:	Scoring of criteria					
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen	200,41	234,28	225,85	6,79	31 249	94 118
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam. bitumen	327,43	225,72	218,44	6,53	31 483	91 314
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam. bitumen	196,27	208,19	221,77	6,93	33 242	96 415
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion	310,03	223,28	214,75	6,27	30 392	91 537
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion	432,84	215,13	207,77	6,03	30 626	88 828
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion	298,18	215,13	207,77	6,03	30 626	88 828
Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added	349,95	318,57	332,13	9,99	28 027	155 355
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement	469,62	304,25	283,68	8,59	29 662	126 606
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry	281,71	293,15	300,74	9,85	32 078	136 921
Mill and Fill (incl. material transportation)	352,17	80,71	179,03	1,96	44 698	127 715
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2	229,03	109,90	144,75	5,37	97 032	264 696
Average score	313,42	220,76	230,61	6,76	38 101	123 848

Obrázek 15. Tabulka hodnocení kritérií (Snížek, 2017)

Dostupná je rovněž informace průměrné hodnoty kritéria za všechny technologie. Uživatel tak má přehled, jak si vůči průměrné hodnotě sledovaná technologie stojí. Bodové hodnocení technologií je součtem hodnot za jednotlivá kritéria. Jako nejvýhodnější technologie je uživateli doporučena technologie, která má nejnižší bodové hodnocení – obrázek 16. Technologie jsou seřazeny od nejvhodnější po nejméně vhodnou. Jedná se o doporučené technologické varianty. Pro finální volbu metody a technologie rekonstrukce je nutné, aby uživatel sám zhodnotil vhodnost použití doporučené technologie. Důvodem je přítomnost skutečností, které nástroj nezohledňuje. Limitující může být např. nedostupnost surovin, materiálů, strojů či absenci zkušeností a znalostí navržené technologie.

3.00 RECOMMENDATION

Recommendet rehabilitation technology according to voted criteria

Post:	Rehabilitation technology:	Score:
1.	Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion	5 363 806
2.	✓ Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion	5 364 479
3.	✓ Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion	5 492 350
4.	✓ Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam. bitumen	5 514 077
5.	✓ Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen	5 646 710
6.	✓ Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam. bitumen	5 821 180
7.	✓ Recycling (milling, recycling ,paving) - cement	7 225 453
8.	✓ Mill and Fill (incl. material transportation)	7 729 782
9.	✓ Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry	7 812 841
10.	✓ Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added	8 613 596
11.	✓ Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2	16 148 216

Obrázek 16. Doporučení technologií (Snížek, 2017)

V případě, že si uživatel přeje detailně navolit řešenou technologickou variantu, je nutné aby tuto volbu provedl přímo v modulu *OptiRec*, řešící vyhodnocovanou technologii.

Jedná se o následující moduly a činnosti:

1. recyklace za studena:
 - a. *OptiRec CR (recycling)* – recyklace za studena,
 - b. *OptiRec TM (milling, paving)* – frézování, transport a pokládka,
2. recyklace za horka:
 - a. *OptiRec HR (recycling, paving)* – recyklace za horka, transport a pokládka,
3. tradiční metoda rekonstrukce:
 - a. *OptiRec TM (milling, paving)* – frézování, transport a pokládka.

Následující kapitoly popisují práci s výše uvedenými moduly *OptiRec*.

18. OptiRec CR - Recyklace za studena

Kapitola popisuje doplňující kalkulační modul *OptiRec CR*, sloužící k detailní kalkulaci rekonstrukce asfaltové vozovky metodou recyklace za studena. Modul řeší pouze fázi recyklace. Frézování a pokládka, jenž bývá součástí běžné rekonstrukce, je řešena nástrojem *OptiRec TM*, popsáném v následující kapitole.

Řešené technologické varianty recyklace za studena:

1. rozpojení a promísení (např. re-shaping),
2. recyklace – cement,
3. recyklace – cementová suspenze,
4. recyklace za studena – zpěněný asfalt,
5. recyklace za studena – zpěněný asfalt, cement,
6. recyklace za studena – zpěněný asfalt, cementová suspenze,
7. recyklace za studena – asfaltová emulze,
8. recyklace za studena – asfaltová emulze, cement,
9. recyklace za studena – asfaltová emulze, cementová suspenze.

Kompletní přehled je uveden v příloze 1 – *Seznam prvků databáze*, konkrétně v tabulce *Přehled metod a technologických variant rekonstrukce asfaltové vozovky*. Zde lze nalézt i anglické názvy technologických variant.

Modul zajišťuje kalkulaci vstupních hodnot pro multikriteriální hodnotící nástroj *OptiVote*. Nástroje jsou navzájem provázány. Promítnutí změn z jednoho nástroje do druhého vyžaduje uložení prvního a aktualizaci druhého nástroje, kam se mají změny promítnout.

18.1. Specifikace rozměrů

The screenshot shows the 'OptiRec CR- Cold Recycling' software interface. At the top left is a logo with the letter 'R' in a red square, followed by a heraldic lion logo. The title 'OptiRec CR- Cold Recycling' is displayed in large black font, with the tagline '...closer to the environment' in smaller orange text below it. The main content area is titled '1.00 PROJECT SPECIFICATION' and contains several input fields with pre-filled values: 'Road location (Continent): Europe', 'Road location (Country): Czech Republic', 'Road classification: 2nd Class road', 'Pavement structure type: Asphalt pavement', 'Length [m]: 1 000,00', and 'Width avg. [m]: 10,00'. To the right of these fields is a legend with two entries: 'active fields' represented by a light red box and 'inactive fields' represented by a light grey box.

Obrázek 17. Vstupní data (Snížek, 2015a)

Vstupní data rozměrových parametrů řešené komunikace představují v modulu *OptiRec CR* neaktivní předvyplněná pole – obrázek 17. Důvodem je vzájemná provázanost modulů. Rozměrové parametry jsou převzaty z modulu *OptiVote*, který koncept zastřešuje.

18.2. Specifikace konstrukce

2.00 PAVEMENT STRUCTURE DETAILS			
2.10 OLD PAVEMENT			
Total rehabilitation depth [mm]:			220
Rehabilitation technology:	CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement		
Key machine (recycler):	WR 250 (5th) (2,4m)		
Recycling layers:			1
2.20 NEW PAVEMENT			
Admixtures:	Price [€/t]:	Mass added [%]:	
Foamed bitumen:	25		2,5
Bitumen emulsion:	20	20	3,50
Cement 32,5:	15	15	1,00
Cement suspension (32,5)	13		1,3
Water:	2	2	3,00

Obrázek 18. Specifikace konstrukce vozovky (Snížek, 2015a)

Ve druhém kroku je potřeba specifikovat *současný (2.10 – Old pavement) a nový (2.20 – New pavement) stav konstrukce*. Situaci zobrazuje obrázek 18.

Současná vozovka (Old pavement), je důležité znát následující údaje:

1. **Hloubka recyklace (Total rehabilitation depth):**

Hloubka, do které bude prováděna recyklace vozovky. Nazýváme rovněž *tloušťkou recyklované vrstvy*. Počítáno od vrchní části obrusné vrstvy vozovky. Údaj zadává uživatel v milimetrech.

2. **Technologie recyklace (Rehabilitation technology):**

Volba technologie rekonstrukce, kterou bude uživatel individuálně specifikovat v následujících krocích. *OptiRec CR* umožňuje najednou individuálně specifikovat pouze jednu technologii. Pro ostatní technologie se užívají předvolené sestavy materiálů a strojů.

3. **Klíčový stroj (Recyklér) (Key machine (Recycler)):**

Volba klíčového stroje pro recyklaci přímo na staveništi. Klíčový stroj udává tempo a výkon prováděných prací. S volbou klíčového stroje přímo

souvisí i počet pojezdů (pruhů, ve kterých bude vozovka recyklována). – viz *Časový snímek*.

4. **Počet recyklovaných vrstev** (*Recycling layers*):

Hodnota souvisí s *tloušťkou recyklované vrstvy*. Definuje, v kolika vrstvách bude recyklační sestava konstrukci recyklovat. Počet recyklovaných vrstev je závislý zejména na výkonu a parametrech recykléru.

Pro novou vozovku (*New pavement*), potřebujeme definovat cenu a množství zpracovávaných příměsí a materiálů. Tyto vstupní hodnoty se v praxi často mění, proto do systému nejsou napevno implementovány. Specifikovat je potřeba zejména příměsí, které jsou pro zvolenou *technologii recyklace* relevantní – viz tabulka 12.

Tabulka 12. Technologie a příměsí - závislosti (zdroj: autor)

Technologie / Příměs	Voda	Cemen t 32,5	Cement susp. (32,5)	Asfalt. emulze	Pěno - asfalt
Rozpojení a promísení (např. re-shaping)					
Recyklace – cement	x	x			
Recyklace – cementová suspenze			x		
Rec. za studena – zpěněný asfalt	x				x
Rec. za studena – zpěněný asfalt, cement	x	x			x
Rec. za studena – zpěněný asfalt, cem. susp.			x		x
Rec. za studena – asfaltová emulze	x			x	
Rec. za studena – asfaltová emulze, cement	x	x		x	
Rec. za studena – asfaltová emulze, cem susp.			x	x	

Je potřeba definovat cenu a množství následujících příměsí:

1. **pěnoasfalt** (*Foamed bitumen*),
2. **asfaltová emulze** (*Bitumen emulsion*),
3. **cement 32,5** (*Cement*),
4. **cementová suspenze 32,5** (*Cement suspension*),
5. **voda** (*Water*).

Cena příměsí má být uváděna v měně EUR/t (€/t). Množství přidávané směsi je v procentech hmotnosti. Hodnoty je potřeba uživatelem doplnit do červeně podbarvených polí. Za poli jsou pro uživatele uvedeny doporučené hodnoty.

18.3. Specifikace mezd a strojů

Třetí krok spočívá ve stanovení mezd a ceny za pohonné hmoty – obrázek 19.

3.00	LABOUR AND MACHINE SPECIFICATION	
4.10	LABOUR SPECIFICATION	
Operator gross wages [€/h]:	<input type="text" value="25,00"/>	25,00
Worker gross wages [€/h]:	<input type="text" value="20,00"/>	20,00
Wages multiplier:	<input type="text" value="-"/>	-
Relative staff occupancy [%]:	<input type="text" value="-"/>	-
4.20	MACHINE SPECIFICATION	
Diesel fuel price [€/l]:	<input type="text" value="1,35"/>	1,35
Key machine occupancy [%]:	<input type="text" value="-"/>	-
Annual use of key machines [h]:	<input type="text" value="-"/>	-

Obrázek 19. Specifikace mezd a paliva (Snížek, 2015a)

Specifikace mezd (*Labour specification*):

1. **Mzda strojník** (*Operator gross wages*):

Jedná se o výši hodinové hrubé mzdy řidiče stavebního stroje, nebo-li strojníka. Databáze strojů obsahuje informaci o počtu potřebných dělníků ke stroji. Příkladem je tabulka 13.

2. **Mzda pomocného dělníka** (*Worker gross wages*):

Stanovuje výši hodinové hrubé mzdy pomocného stavebního dělníka, který u stroje asistuje. Mzda se udává v EUR/hodinu.

3. **Násobek platu** (*Wages multiplier*):

V této verzi SW nástroje neřešeno. Pole je připraveno na pozdější rozvoj modulu.

4. **Relativní vytiženost pracovníků** (*Relative staff occupancy*):

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj.

Tabulka 13. Počet dělníků u strojů - příklad (zdroj: autor)

Stroj	Strojník (počet osob)	Asistenční dělník (počet osob)
Recyklér WR 250 (5th) (2,4m)	1	1
Recyklér WR 4200 (2nd) (3,0-4,2m)	1	4
Válec Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	0

Specifikace strojů (*Machine specification*):1. **Cena nafty** (*Diesel fuel price*):

Hodnota udává cenu paliva pro diesellový motor, kterým je většina stavebních strojů vybavena. Cena je stanovena v EUR/l nafty.

2. **Relativní vytíženost strojů** (*Relative machine occupancy*):

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj.

3. **Průměrné roční užívání stroje** (*Annual use of key machines*):

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj.

18.4. Sestava strojů

Čtvrtý a poslední krok umožňuje uživateli navolit si vlastní sestavu stavebních strojů, která by řešenou technologickou variantu byla schopna realizovat – obrázek 20.

5.00 MACHINE SET**5.40 Asphalt paving:**

ID:	Character:	Specification:	Number:
1	Binder spreader	SW 16 MC (MB Arocs 4136K, 4-axle) (16m ³) (2,46m)	1
2	Water tanker	MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m ³)	1
3	Bitumen tanker	MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. (31m ³)	1
4	Recycler/Stabilizer	WR 250 (5th) (2,4m)	1
5	Compactor	Hamm 3516 HT (2,14m) (16t)	1
6	Compactor	New Holland F 156.6 A (3,66m)	1
7	Grader	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1
8	Tandem roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1
9	-	-	0
10	-	-	0

New pavement

Obrázek 20. Volba sestavy strojů - příklad (Snížek, 2015a)

Uživatel nejprve volí charakter stavebního stroje – např. distributor pojiva, válec nebo podobně. Následně vybírá z rozevíracího seznamu specifický model stroje – viz obrázek 21.

Specification:

SW 16 MC (MB Arocs 4136K, 4-axle) (16m3) (2,46m)
MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m3)
MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. (31m3)
WR 250 (5th) (2,4m)
Hamm 3516 HT (2,14m) (16t)
New Holland F 156.6 A (3,66m)
Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)
Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)
-
-

-
- Recycler/Stabilizer
WR 2000 (1st) (2,0m)
WR 2000 (2nd) (2,0m)
WR 200 (3rd) (2,0m)
WR 200i (4th) (2,0m)
WR 2400 (1st) (2,4m)
WR 240 (2nd) (2,4m)
WR 240i (3rd) (2,4m)
WR 2500 (1st) (2,44m)
WR 2500S (2nd) (2,44m)
WR 2500S (3rd) (2,44m)
WR 2500S (4th) (2,44m)
WR 250 (5th) (2,4m)
CR 2200 (2,2m)
CR 3800 (3,8m)
WR 4200 (1st) (3,0-4,2m)
WR 4200 (2nd) (3,0-4,2m)
- Slurry Mixer
WM 1000 (1000l/min)
- Binder Spreader
✓ SW 16 MC (MB Arocs 4136K, 4-axle) (16m3) (2,46m)
- Water tanker
MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m3)

Obrázek 21. Výběr stavebního stroje – příklad (Snížek, 2015a)

Přidání dalších strojů do výběru a databáze je možné, nicméně ho musí provádět tvůrce aplikace nebo proškolená osoba, aby nedošlo k poškození databáze či algoritmů.

18.5. Celková kalkulace projektu

Na základě přechozích kroků, sestavila aplikace *OptiRoad CR* tři sumarizační tabulky, týkající se řešené technologické varianty. První zobrazuje přehled použitých strojů na projektu, jejich hodnoty a součet hodnot za všechny stroje – viz obrázek 22.

Recycling lanes [no.]		5				
Machine overview						
Id.	Category	Machine	Number of machines	Material trasportation [km]	Material transported [t]	Total time on project [h]
CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement					119	119
1	Binder spreader	SW 16 MC (MB Arocs 4136K, 4-axle) (16m3) (2,46m)	1	-	-	5,09
2	Water tanker	MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m3)	1	-	-	18,04
3	Bitumen tanker	MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. (31m3)	1	-	-	21,70
4	Recycler/Stabilizer	WR 250 (5th) (2,4m)	1	-	-	18,52
5	Compactor	Hamm 3516 HT (2,14m) (16t)	1	-	-	15,35
6	Compactor	New Holland F 156.6 A (3,66m)	1	-	-	17,32
7	Grader	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	-	-	15,35
8	Tandem roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1	-	-	15,35
9	-	-	0	-	-	0,00
10	-	-	0	-	-	0,00
Sum			8	0	0	126,73
TOTAL			8 pcs.	0	0	127 h

Non productive time [h]	Consumption [l]	Fuel & Liquids costs [€]	Machine costs [€]	Labour costs [€]	TOTAL costs (machine, fuel, labour) [€]	CO ₂ [t]	NO _x + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m ²]	CO ₂ [t/m ²]
120	130	133	134	135	136	137	138	139	140		
2,60	26,44	37,48	69,60	127,30	234,38	0,0772	0,1785	0,5105	0,0034	0,0026	0,00000772
4,15	64,37	91,25	166,88	450,94	709,07	0,1880	15,5517	5,7370	0,2732	0,0064	0,00001880
7,81	72,16	102,28	319,66	542,53	964,48	0,2107	1,5388	4,3077	0,0287	0,0072	0,00002107
4,63	1365,26	1935,25	1523,23	833,33	4291,81	3,9866	39,0390	19,3894	1,1080	0,1365	0,00039866
5,37	92,58	131,24	142,56	383,85	657,65	0,2703	3,9253	3,4082	0,1948	0,0093	0,00002703
3,98	145,97	206,92	481,80	432,90	1121,62	0,4262	4,1899	3,6778	0,2102	0,0146	0,00004262
5,37	92,58	131,24	169,28	383,85	684,36	0,2703	2,3877	2,0687	0,1182	0,0093	0,00002703
5,37	84,25	119,43	161,68	383,85	664,96	0,2460	1,0685	1,6900	0,0121	0,0084	0,00002460
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
39,29	1943,63	2755,09	3034,68	3538,55	9328,32	5,6754	67,8794	40,7892	1,9485	0,1944	0,0006
39 h	1 944 l	2 755 €	3 035 €	3 539 €	9 328 €	5,68 t	67,88 t	40,79 t	1,95 t	0,194 l/m ²	0,001 t/m ²

Obrázek 22. Přehled strojů a jejich hodnot na projektu – příklad (Snížek, 2015a)

Podobný přehled jako pro stroje je dostupný i pro materiály užitý na projektu. Viz obrázek 23, který popisuje hodnoty a množství související se zabudovávaným materiálem a surovinami.

Material overview						
Id.	Category	Material	Mass added [%]	Density [t/m ³]	CO ₂ emissions [kg/t]	Cold RAP [% by mass]
CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement						
1	Bitumen binder	Bitumen (for foam)	0,00	0,00	0,0000	-
2	Bitumen binder	Bitumen emulsion (60%)	3,50	1,00	0,2210	-
3	Hydraulic binder	Cement 32,5 R	1,00	1,25	0,9800	-
4	Hydraulic binder	Cement suspension	0,00	0,00	0,0000	-
5	Other	Water	3,00	1,00	0,0003	-
	Sum				1,2013	0
	TOTAL				1,20	0

Warm RAP [% by mass]	Real working area [m ²]	Admixture added [m ³]	Admixture added [t]	Admixture added [kg/m ²]	Material price [€]	Manufacturing time [hrs]	CO ₂ [t]	Nox+HC [t]	CO [t]	PM [t]
-	0	0,00	0,00	0,00	0	-	0,0000	-	-	-
-	10400	192,19	192,19	18,48	3844	-	42,4744	-	-	-
-	10400	43,93	54,91	5,28	824	-	53,8138	-	-	-
-	0	0,00	0,00	0,00	0	-	0,0000	-	-	-
-	10400	164,74	164,74	15,84	329	-	0,0494	-	-	-
0	6240	401	412	40	4997	0	96,3376	0	0	0
0	6240	401	412	40	4997	0	96,34	0	0	0

Obrázek 23. Přehled materiálů a jejich hodnot na projektu – příklad (Snížek, 2015a)

Závěrečná tabulka – obrázek 24 - je věnována celkovému přehledu všech teoreticky použitelných technologií metody recyklace za studena. Uživatelem řešení projektu je prezentován na prvním místě jako *Individuální kalkulace (Individual calculation)*, následují ostatní dostupné technologické varianty. Hodnoty z individuální kalkulace i jednotlivé varianty jsou přeneseny zpět do hodnotícího nástroje *OptiVote*.

General overview							
Id.	Category	Technology	Number of machines	Recycling machine	Mixing device capacity [t/h]	Paving machine	Material trasportation [km]
0	Individual calculation	CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement	8	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
1	Cold recycling	CR - foamed bitumen	8	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
2	Cold recycling	CR - foamed bitumen, pre-spreaded cement	9	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
3	Cold recycling	CR - foamed bitumen, cement slurry	8	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
4	Cold recycling	CR - bitumen emulsion	7	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
5	Cold recycling	CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement	8	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
6	Cold recycling	CR - bitumen emulsion, cement slurry	8	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
7	Recycling	Pulverization	4	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
8	Recycling	R - pre-spreaded cement	7	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-
9	Recycling	R - cement slurry	7	WR 250 (5th) (2,4m)	-	-	-

Duration (all machines + mat. manuf. time) [h]	Material (old, new) [t]	Material [€]	Machines [€]	Labour [€]	Fuel [€]	Price [€]	CO2 [t]	Nox + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m2]	CO2 [t/m2]
126,73 h	401 t	4 997 €	2 755 €	3 035 €	1 944 €	12 730 €	102,01 t	67,88 t	40,79 t	1,95 t	0,194 l/m2	0,010 t/m2
141,33 h	165 t	329 €	3 178 €	3 904 €	2 869 €	10 281 €	5,96 t	71,93 t	44,55 t	2,15 t		
146,42 h	220 t	1 153 €	3 248 €	4 031 €	2 907 €	11 339 €	59,85 t	72,11 t	45,06 t	2,15 t		
145,51 h	0 t	0 €	4 351 €	4 008 €	3 585 €	11 944 €	7,38 t	65,10 t	46,39 t	2,31 t		
121,64 h	357 t	4 173 €	2 965 €	3 411 €	2 718 €	13 267 €	48,12 t	67,70 t	40,28 t	1,95 t		
126,73 h	412 t	4 997 €	3 035 €	3 539 €	2 755 €	14 325 €	102,01 t	67,88 t	40,79 t	1,95 t		
126,73 h	192 t	3 844 €	3 035 €	3 539 €	2 755 €	13 172 €	48,15 t	67,88 t	40,79 t	1,95 t		
66,54 h	0 t	0 €	2 290 €	2 034 €	2 405 €	6 729 €	4,95 t	51,08 t	29,88 t	1,71 t		
105,03 h	220 t	1 153 €	2 715 €	2 996 €	2 653 €	9 517 €	59,33 t	66,34 t	36,48 t	1,92 t		
119,47 h	0 t	0 €	3 961 €	3 357 €	3 462 €	10 781 €	7,13 t	63,26 t	41,22 t	2,27 t		



Obrázek 24. Závěrečný přehled technologií – příklad (Snížek, 2015a)

19. OptiRec TM - frézování a pokládka

Kapitola popisuje doplňující kalkulační modul s názvem *OptiRec TM*. Slouží k detailní kalkulaci frézování a pokládky nového asfaltového souvrství.

Modul zajišťuje kalkulaci vstupních hodnot pro multikriteriální hodnotící nástroj *OptiVote*. Nástroje jsou navzájem provázány a promítnutí změn z jednoho nástroje do druhého vyžaduje uložení prvního a aktualizaci druhého nástroje, kam se mají změny promítnout.

19.1. Specifikace rozměrů

OptiRec MF - MILL & FILL

...closer to the environment

1.00 PROJECT SPECIFICATION

Road location [Continent]:	Europe	Legend: active fields inactive fields
Road location [Country]:	Czech Republic	
Road classification:	2nd Class road	
Pavement structure type:	Asphalt pavement	
Length [m]:	1 000,00	
Width avg. [m]:	10,00	

Obrázek 25. Vstupní data (Snížek, 2015b)

Vstupní data rozměrových parametrů řešené komunikace představují v modulu *OptiRec TM* neaktivní předvyplněná pole – obrázek 25. Důvodem je vzájemná

provázanost modulů. Rozměrové parametry jsou převzaty z nástroje *OptiVote*, který moduly zastřešuje.

19.2. Specifikace konstrukce

2.00 PAVEMENT STRUCTURE DETAILS			
2.10 OLD PAVEMENT - Cold milling			
Layers to mill [no]:	<input type="text" value="1"/>		
Key machine [milling machine]:	<input type="text" value="W 1900 (2,0m)"/>		
	Milled material quality:		Thickness [mm]:
Surface layer:	<input type="text" value="Standard RAP"/>	<input type="text" value="120"/>	
Base layer:	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0"/>	
Rehabilitation depth [mm]:			120
2.20 NEW PAVEMENT - Asphalt paving			
Layers to pave [no]:	<input type="text" value="2"/>		
Key machine [asphalt paver]:	<input type="text" value="Vogele Super 1800-3i (AB 500) (8,5m)"/>		
	Material type:		Thickness [mm]:
Surface course:	<input type="text" value="ACO 11"/>	<input type="text" value="40"/>	
Bitumen seal:	<input type="text" value="Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m2)"/>		
Binder course:	<input type="text" value="ACL 16"/>	<input type="text" value="80"/>	
Bitumen seal:	<input type="text" value="Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m2)"/>		
Base course:	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0"/>	
Bitumen seal:	<input type="text" value="-"/>		
Total thickness [mm]:			120

Obrázek 26. Specifikace konstrukce vozovky (Snížek, 2015b)

Ve druhém kroku je potřeba specifikovat *současný (2.10 – Old pavement) a nový (2.20 – New pavement) stav konstrukce*. Situaci zobrazuje obrázek 26.

Současná vozovka (*Old pavement*):

1. **Počet vrstev frézování (Layers to mill):**

Jedná se o počet vrstev, ve kterých bude konstrukce frézována. Často dochází k frézování několika konstrukčních vrstev naráz (např. obrusná a ložní vrstva). Tím dochází ke snížení kvality těžného recyklátu. Tzv. selektivní frézování po jednotlivých konstrukčních vrstvách je finančně náročnější, ale kvalita recyklátu je vyšší, než v případě frézování několika vrstev naráz.

2. **Klíčový stroj (Fréza) (Key machine (Milling machine)):**

Volba klíčového stroje pro frézování konstrukce vozovky. Klíčový stroj udává tempo a výkon prováděných prací. S volbou klíčového stroje přímo

souvisí i počet pojezdů (pruhů), ve kterých bude vozovka frézována. – viz *Časový snímek*.

3. **Horní frézovaná vrstva** (*Surface layer*):

Tato hodnota definuje kvalitu recyklátu, získaného frézováním horní vrstvy. Tak je možno zohlednit frézování po konstrukčních vrstvách. Uživatel má na výběr *Prémiový recyklát (Premium RAP)*, který často získáme selektivním frézováním. *Standardní recyklát (Standard RAP)* získáme frézováním několika vrstev naráz, či frézováním méně kvalitního materiálu. Pro jednotlivé vrstvy doplňuje uživatel hloubku frézování v milimetrech.

4. **Hloubka frézování** (*Rehabilitation depth*):

Hodnota představuje součet tloušťky obou frézovaných vrstev.

Nová vozovka (*New pavement*) je definována klíčovým strojem, počtem konstrukčních vrstev a použitými konstrukčními materiály.

1. **Počet pokládaných vrstev** (*Layers to pave*):

Jedná se o počet vrstev, ze kterých bude konstrukce realizována. Pokládka jedné vrstvy představuje průjezd kompletní sestavy strojů pro pokládku, vedenou asfaltovým finišerem, jakožto klíčovým strojem. Realizováno je i boční napojení na již provedenou konstrukční vrstvu.

2. **Klíčový stroj (Finišer)** (*Key machine (Asphalt paver)*):

Volba klíčového stroje pro pokládku asfaltových konstrukčních vrstev pozemní komunikace. Finišer rovněž udává tempo a výkon prováděných prací. S volbou klíčového stroje přímo souvisí i počet pojezdů (pruhů, ve kterých bude směs pokládána) – viz *Časový snímek*.

5. **Obrusná vrstva** (*Surface course*):

Hodnota definuje materiál horní obrusné asfaltové vrstvy – obrázek 27. Na výběr jsou materiály, které pro tuto vrstvu přicházejí z konstrukčního hlediska v úvahu. Po výběru materiálu je nutné zvolit mocnost vrstvy. Hodnota je v milimetrech.

	Material type:	Thickness [mm]:
Surface course:	ACO 11	40
Bitumen seal:	Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m ²)	
Binder course:	ACL 16	80
Bitumen seal:	Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m ²)	
Base course:	-	0
Bitumen seal:	-	
Total thickness [mm]:		120

ACO 8
ACO 8 (12% RAP)
ACO 8 (20% RAP)
ACO 8 (30% RAP)
ACO 8 (40% RAP)
ACO 8 (50% RAP)
ACO 8 (60% RAP)
ACO 11
ACO 11S
ACO 11S
MD - Weissmineral
MD - 40 % Kalt RC
MD - 60 % Warm RC

Obrázek 27. Materiály konstrukční vrstvy (Snížek, 2015b)

6. **Asfaltový postřík (Bitumen seal):**

Postřík se aplikuje prostřednictvím distributoru asfaltového pojiva. Pojivo je nastříkáno na podkladní vrstvu, než dojde k pokládce čerstvé asfaltové směsi. Pojivo musí být tzv. vyštěpené, než může být zahájena pokládka nové konstrukční vrstvy. Pojivem je asfaltová emulze.

7. **Ložná vrstva (Binder course):**

Nalézá se pod horní obrusnou vrstvou. Databáze i zde obsahuje pouze vhodné konstrukční materiály. Mezi vrstvami je opět asfaltový postřík. Dostupné konstrukční materiály jsou uvedeny v příloze č.1.

8. **Podkladní vrstva (Base course):**

Tvoří nejspodnější asfaltovou vrstvu, která je realizována na zpevněném povrchu či zhutněném kamenivu. Před pokládkou se provádí asfaltový postřík. Dostupné konstrukční materiály jsou uvedeny v příloze č.1.

19.3. Specifikace obalovny

Ve třetí části uživatel specifikuje detaily obalovny – obrázek 28. Obalovna je výrobní asfaltových obalovaných směsí. Do nové směsi může být při výrobě přimíchán asfaltový recyklát. Přimíchávané množství závisí mimo jiné na technologickém vybavení obalovny. V případě standardního vybavení, je obalovna schopna do nové směsi přimíchávat 10 - 15 % recyklátu (standardně 12 %). V případě, že je obalovna vybavena speciální přehřívací technologií na recyklát, je možné ho zpracovávat až 60 %. Množství recyklovaného materiálu v nové směsi je regulováno i technickými a kvalitativními požadavky. Do některých konstrukčních vrstev, případně na některé komunikace, je přidávání recyklovaného materiálu zakázáno.

3.00 MIXING PLANT DETAILS

Material humidity [%]:	4
Capacity [t/h]:	160
Fuel type:	Natural gas "H"
Wheel loader:	Liebherr L524 (2,5m3)

Obrázek 28. Specifikace obalovny (Snižek, 2015b)**1. Vlhkost zpracovávaného materiálu (Material humidity):**

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj.

2. Výrobní kapacita (Capacity):

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj. Uživatel zde bude moci definovat hodinovou výrobní kapacitu obalovny pro výrobu asfaltové obalované směsi. Kapacita bude uváděna v t/hod. Výrobní kapacita se snižuje, ojediněle zvyšuje, v závislosti na druhu a kvalitě vyráběného materiálu.

3. Palivo obalovny (Fuel type):

Hodnota definuje palivo, které je v obalovně užíváno při výrobě asfaltových směsí. Palivo se užívá primárně k nahřívání surovin a míchacích zařízení asfaltových směsí. Nejčastěji je využíván zemní plyn. Volba paliva ovlivňuje množství produkovaných emisí.

4. Kolový nakladač (Wheel loader):

Pole je připraveno pro budoucí rozvoj. Pole bude představovat volbu typu kolového nakladače na obalovně.

19.4. Specifikace mezd a strojů

Nastavení v této kapitole je totožné s popisem v kapitole 18.3 *Specifikace mezd a strojů*. Přiložen je obrázek 29.

4.00 LABOUR AND MACHINE SPECIFICATION**4.10 LABOUR SPECIFICATION**

Operator gross wages [€/h]:	<input type="text" value="25,00"/>
Worker gross wages [€/h]:	<input type="text" value="20,00"/>
Wages multiplier:	<input type="text" value="-"/>
Relative staff occupancy [%]:	<input type="text" value="-"/>

4.20 MACHINE SPECIFICATION

Diesel fuel price [€/l]:	<input type="text" value="1,35"/>
Key machine occupancy [%]:	<input type="text" value="-"/>
Annual use of key machines [h]:	<input type="text" value="-"/>

Obrázek 29. Specifikace mezd a strojů (Snížek, 2015b)**19.5. Sestava strojů**

V pátém a posledním kroku volí uživatel sestavu stavebních strojů, která je řešenou technologickou variantu schopna realizovat.

Současná vozovka (Old pavement):**1. Frézování vozovky (Pavement milling):**

Uživatel zde volí sestavu stavebních strojů pro *frézování současné vozovky (Pavement milling)*. Typicky se jedná o metací vůz a silniční frézu. Uživatel nejprve volí charakter stavebního stroje – např. *metací vůz*. Následně vybírá z rozevíracího seznamu specifický model stroje a volí jejich počet – obrázek 30.

5.00 MACHINE SET**5.10 Pavement milling:**

ID:	Character:	Specification:	Number:
1	<input type="text" value="Sweeper Truck"/>	<input type="text" value="MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)"/>	<input type="text" value="1"/>
2	<input type="text" value="Milling machine"/>	<input type="text" value="W 1900 (2,0m)"/>	<input type="text" value="1"/>
3	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0"/>

5.20 Material transportation: Job site -> Material storage

Distance [km]:	<input type="text" value="30"/>		
ID:	Character:	Specification:	Number:
1	<input type="text" value="Tipper truck"/>	<input type="text" value="MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m3, 20t capacity) - Mill"/>	<input type="text" value="10"/>
2	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0"/>

Old pavement

Obrázek 30. Volba sestavy strojů pro frézování (Snížek, 2015b)

2. **Transport vyfrézovaného materiálu** (Material transportation: Job site -> Material storage):

Uživatel zde vyplňuje vzdálenost mezi stavbou a skládkou vytěženého materiálu. Následně volí mechanizaci, určenou pro transport a její počet. Nejčastěji se jedná o nákladní vozy - sklápěče.

Nová vozovka (New pavement):

1. **Transport nového materiálu** (Material transportation: Mixing plant -> Job site):

Uživatel definuje vzdálenost mezi obalovnou a stavbou. Následně volí stroje pro přepravu nové směsi a jejich počet – viz obrázek 31.

5.30 Material transportation: Mixing plant/center -> Job site			
ID:	Character:	Specification:	Number:
	Distance [km]:	30	
1	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m ³ , 20t capacity) - Pave	10
2	-	-	0
5.40 Asphalt paving:			
ID:	Character:	Specification:	Number:
1	Binder spreader	MB Actros 4041-A Sprayer (3-axle) (20m ³)	1
2	Asphalt paver	Vogele Super 1800-3i (AB 500) (8,5m)	1
3	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1
4	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1
5	Static roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1
6	-	-	0
7	-	-	0
8	-	-	0

New pavement

Obrázek 31. Volba sestavy strojů pro pokládku (Snížek, 2015b)

2. **Pokládka nového krytu** (Asphalt paving):

Uživatel volí sestavu strojů pro pokládku asfaltových směsí, zvolených při specifikaci materiálů. Typicky je součástí sestavy distributor asfaltových pojiv, finišer a skupina vibračních, případně pneumatikových válců. Přidání dalších strojů do databáze modulu je možné, nicméně ho musí provádět tvůrce aplikace, aby nedošlo k poškození databáze či algoritmů.

19.6. Celková kalkulace projektu

Na základě přechozích kroků, sestavila aplikace *OptiRoad TM* tři sumarizační tabulky, týkající se řešené technologické varianty. První je přehled použitých strojů na projektu, jejich hodnoty a součet hodnot za všechny stroje – viz obrázek 32.

Machine overview						
Id.	Category	Machine	Number of machines	Material trasportation [km]	Material trasported [t]	Total time on project [h]
Pavement milling:						
1	Sweeper Truck	MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)	1	-	-	3,24
2	Milling machine	W 1900 (2,0m)	1	-	-	22,22
3	-	-	0	-	-	0,00
4	-	-	0	-	-	0,00
Sum			2	0	0	25,46
Material transportation: Job site -> Material storage						
1	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m3, 20t capacity) - Mill	10	8460	2820	246,65
2	-	-	0	-	-	0,00
Sum			10	8460	2820	246,65
Material transportation: Mixing plant/center -> Job site						
1	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m3, 20t capacity) - Pave	10	8470	2823	246,93
2	-	-	0	-	-	0,00
Sum			10	8470	2823	246,93
Asphalt paving:						
1	Binder spreader	MB Actros 4041-A Sprayer (3-axle) (20m3)	1	-	-	2,59
2	Asphalt paver	Vogele Super 1800-3i (AB 500) (8,5m)	1	-	-	22,52
3	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	-	-	25,00
4	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	-	-	25,00
5	Static roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1	-	-	25,00
6	-	-	0	-	-	0,00
7	-	-	0	-	-	0,00
8	-	-	0	-	-	0,00
Sum			5	0	0	100,11
TOTAL			27 pcs.	16930	5643	619

Net working time [h]	Non productive time [h]	Consumption [l]	Fuel & Liquids costs [€]	Machine costs [€]	Labour costs [€]	TOTAL costs (machine, fuel, labour) [€]	CO ₂ [t]	NO _x + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m2]	CO ₂ [t/m2]
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140		
2,50	0,75	26,53	37,61	29,98	81,01	148,60	0,0775	2,7937	1,0306	0,0491	0,0027	0,00000775
16,67	5,56	810,53	1148,93	1166,67	1000,00	3315,60	2,3668	2,4343	14,3342	0,1024	0,0811	0,00023668
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
19,16	6,30	837,07	1187	1197	1081	3464	2,4442	5,2280	15,3648	0,1515	0,0837	0,0002
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140		
120,86	125,79	5631,76	7983,02	3371,17	6166,18	17520,37	16,4447	8,6488	24,7286	0,1649	0,5632	0,00164447
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
120,86	125,79	5631,76	7983	3371	6166	17520	16,4447	8,6488	24,7286	0,1649	0,5632	0,0016
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140		
120,99	125,93	5638,15	7992,08	3375,00	6173,18	17540,25	16,4634	8,6586	24,7566	0,1650	0,5638	0,00164634
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
120,99	125,93	5638,15	7992	3375	6173	17540	16,4634	8,6586	24,7566	0,1650	0,5638	0,0016
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140		
2,00	0,60	21,23	30,09	23,98	64,81	118,88	0,0620	2,2350	0,8245	0,0393	0,0021	0,00000620
16,67	5,86	364,64	265,53	723,96	1914,41	2903,90	1,0647	3,2987	5,2292	0,0374	0,0365	0,00010647
10,00	15,00	112,00	158,76	275,63	625,00	1059,39	0,3270	2,8552	2,4409	0,1395	0,0112	0,00003270
10,00	15,00	112,00	158,76	275,63	625,00	1059,39	0,3270	2,8552	2,4409	0,1395	0,0112	0,00003270
10,00	15,00	101,25	143,52	263,26	625,00	1031,78	0,2957	1,2878	2,0089	0,0143	0,0101	0,00002957
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000
48,66	51,45	711,12	757	1562	3854	6173	2,0765	12,5319	12,9443	0,3699	0,0711	0,0002
310	309	12818	17918	9505	17275	44698	37,4288	35,0673	77,7944	0,8513	1,2818	0,0037

Obrázek 32. Přehled strojů a jejich hodnot na projektu – příklad (Snížek, 2015b)

Podobný přehled jako pro stroje, je dostupný i pro použité materiály na projektu. Viz obrázek 33, který popisuje hodnoty a množství související se zabudovávaným materiálem a surovinami.

Material overview						
Id.	Category	Material	Thickness [mm]	Density [t/m ³]	CO ₂ emissions [kg/t]	Cold RAP [% by mass]:
Cold milling & Material transportation (Old pavement): Job site -> Material storage						
1	Surface layer:	Standard RAP	120	2,350	-	-
2	Base layer:	-	0	0,000	-	-
Sum			120		0	0
Cold milling & Material transportation (Old pavement): Job site -> Material storage						
1	Surface course:	ACO 11	40	2,364	40,0	0
2	Bitumen seal:	Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m ²)	-	1,000	221,0	-
3	Binder course:	ACL 16	80	2,347	37,9	0
4	Bitumen seal:	Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m ²)	-	1,000	221,0	-
5	Base course:	-	0	0,000	0,0	0
6	Bitumen seal:	-	-	0,000	0,0	-
Sum			120		-	-
TOTAL					-	-

Warm RAP [% by mass]:	Real working area [m ²]	Amount of material [t]	Amount of material [m ³]	Amount of material [kg/m ²]	Material price [€]	Manufacturing time [hrs]	CO ₂ [t]	Nox+HC [t]	CO [t]	PM [t]
-	10000	2820	1200	282	-11280	-	-	-	-	-
-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
0	-	2820	1200		-11280	0	0	0	0	0
0	10000	946	400	95	0	5,8	37,8240	0,0085	0,0151	0,0005
-	10000	-	10	-	195	-	2,2100	-	-	-
0	10000	1878	800	188	0	11,7	71,2361	0,0169	0,0300	0,0019
-	10000	-	10	-	195	-	2,2100	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-	0	-	0	0	0	-	2,2100	-	-	-
-	-	2823	1220		390	18	116	0	0	0
-	-	5643	2420		-10890	18	115,6901	0,0254	0,0452	0,0024

Obrázek 33. Přehled materiálů a jejich hodnot na projektu - příklad (Snížek, 2015b)

Závěrečná tabulka – obrázek 34 - je věnována celkovému přehledu hodnot pro tradiční metodu rekonstrukce vozovky. Hodnoty z kalkulace jsou přeneseny zpět do hodnotícího nástroje *OptiVote*.

General overview						
Id.	Category	Technology	Number of machines	Recycling /milling machine	Mixing device capacity [t/h]	Paving machine
x	Individual calculation	Mill and Fill (incl. material transportation)	27	W 1900 (2,0m)	160	Vogele Super 1800-3i (AB 500) (8,5m)

Duration (all machines + mat. manuf. time) [h]	Material (old, new) [t]	Material [€]	Machines [€]	Labour [€]	Fuel [€]	Price [€]	CO ₂ [t]	Nox + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m ²]	CO ₂ [t/m ²]
619 h	5 643 t	-10 890 €	9 505 €	17 275 €	17 918 €	44 698 €	153,12 t	35,09 t	77,84 t	0,85 t	1,28 l/m ²	0,015 t/m ²

Obrázek 34. Závěrečný přehled technologie - příklad (Snížek, 2015b)

20. OptiRec HR

Kapitola popisuje kalkulační modul *OptiRec HR*, sloužící k detailní kalkulaci rekonstrukce asfaltové vozovky metodou recyklace za horka.

Technologické varianty recyklace za horka:

1. recyklace za horka – Remix,

2. recyklace za horka - Remix speciál + nový obrus.

Modul zajišťuje kalkulaci vstupních hodnot pro multikriteriální hodnotící nástroj *OptiVote*. Nástroje jsou navzájem provázány a promítnutí změn z jednoho nástroje do druhého vyžaduje uložení prvního, a aktualizaci druhého nástroje, kam se mají změny promítnout.

20.1. Specifikace rozměrů

1.00 PROJECT SPECIFICATION

Road location [Continent]:	Europe	Legend: active fields inactive fields
Road location [Country]:	Czech Republic	
Road classification:	2nd Class road	
Pavement structure type:	Asphalt pavement	
Length [m]:	1 000,00	
Width avg. [m]:	10,00	

Obrázek 35. Vstupní data (Snížek, 2016b)

Vstupní data rozměrových parametrů řešené komunikace představují v modulu *OptiRec HR* neaktivní předvyplněná pole – obrázek 35. Důvodem je vzájemná provázanost modulů. Rozměrové parametry jsou převzaty z multikriteriálního hodnotícího nástroje *OptiVote*, který moduly zastřešuje.

20.2. Specifikace konstrukce

Ve druhém kroku je potřeba specifikovat *hloubku a technologii recyklace za horka*. Zvolenou technologii uživatel upřesní v sekci 2.20-a nebo 2.20-b. Situaci zobrazuje obrázek 36.

2.00 PAVEMENT STRUCTURE DETAILS**2.10 General**

Total rehabilitation depth [mm]:	50
Rehabilitation technology:	Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2
Key machine [recycler]:	RX 4500 + Remix Plus screed (4,5 m)
Recycling layers [no.]:	1

2.20 - a Remix technology (Recycling) - option 1

Layer 1 - materials:	Material type:	Thickness [mm]:
Admixture:	-	0

2.20 - b Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2

Layer 1 - materials:	Price [€/t]:	Mass added [%]:
Bitumen rejuvenator [%]:		0,30
	Price [€/t]:	Added [kg/m2]:
Stone chippings [kg/m2]:		5,00
Layer 2 - materials:	Material type:	Thickness [mm]:
Surface course:	ACO 8	40

Obrázek 36. Specifikace konstrukce vozovky (Snížek, 2016b)

Pro obecnou specifikaci (General), je důležité znát následující údaje:

1. Hloubka recyklace (Total rehabilitation depth):

Hloubka, do které bude prováděna recyklace vozovky. Pole tak definuje *tloušťku recyklované vrstvy*. Počítáno od vrchní části obrusné vrstvy vozovky. Údaj zadává uživatel v milimetrech.

2. Technologie recyklace (Rehabilitation technology):

Volba technologie rekonstrukce, kterou bude uživatel detailně specifikovat v následujících krocích. K dispozici jsou dvě základní technologie:

- remix technologie (Recyklace),
- remix speciální technologie (Recyklace + Nová obrusná vrstva).

OptiRec HR umožňuje najednou detailně specifikovat pouze jednu technologii. Pro ostatní technologie se užívají předvolené sestavy materiálů a strojů.

3. Klíčový stroj (Recyklér) (Key machine (Recycler)):

Volba klíčového stroje pro recyklaci přímo na staveništi. Klíčový stroj udává tempo a výkon prováděných prací. S volbou klíčového stroje přímo souvisí i počet přejezdů (pruhů, ve kterých bude vozovka recyklována). – viz *Časový snímek*.

4. **Počet recyklovaných vrstev** (*Recycling layers*).

Tato hodnota souvisí s *tloušťkou recyklované vrstvy*. Pole je připraveno pro budoucí rozvoj.

Pro Remix technologii (Recyklace) (2.20a - *Remix technology*) je potřeba definovat příměs a její množství.

1. **Vrstva 1** (*Layer 1 materials*):

a. **Příměs** (*Admixture*):

Uživatel definuje, zda a případně jaká příměs bude přidána do recyklované směsi. Standardně se přidává předobalené kamenivo. Jeho přidané množství definuje uživatel v poli *mocnost vrstvy* (*Thickness*).

Remix speciál technologie (Recyklace + nový obrus) (2.20b - *Remix special technology (Recycling + Virgin layer)*). Pro řešenou technologii je třeba definovat materiály a příměsi obou řešených vrstev:

1. **Vrstva 1** (*Layer 1 - materials*):

První vrstva představuje spodní recyklovanou vrstvou původní konstrukce, obohacenou o omlazovač asfaltových směsí a jemně drcené kamenivo.

a. **Omlazovač asfaltových směsí** (*Bitumen rejuvenator*):

Uživatel zadává cenu omlazovače za 1t a jeho obsah v recyklované směsi, uváděno v procentech hmotnosti recyklované směsi.

b. **Jemné drcené kamenivo** (*Stone chippings*):

Pro jemné kamenivo je potřeba zadat cenu a jeho přidávané množství v kg/m^2 . Jak omlazovač, tak i kamenivo jsou po rozehrání povrchu stávající asfaltové vozovky recyklérem promíseny a zabudovány do nové konstrukční vrstvy. Ceny i množství příměsí se často mění, proto do systému nejsou napevno zadány.

2. **Vrstva 2** (*Layer 2 - materials*):

a. **Obrusná vrstva** (*Surface course*)

Hodnota definuje materiál horní obrusné asfaltové vrstvy. Na výběr jsou materiály, které pro tuto vrstvu přicházejí z konstrukčního hlediska v úvahu. Při výběru materiálu je nutné definovat mocnost vrstvy. Hodnota je v milimetrech.

20.3. Specifikace obalovny

Nastavení v této kapitole je totožné s popisem v kapitole 19.3 *Specifikace obalovny*. Přiložen je obrázek 37.

3.00 MIXING PLANT DETAILS	
Material humidity [%]:	4
Capacity [t/h]:	160
Fuel type:	Natural gas "H"
Wheel loader:	Liebherr L524 (2,5m3)

Obrázek 37. Specifikace obalovny (Snížek, 2016b)

20.4. Specifikace mezd a strojů

Nastavení v této kapitole je totožné s popisem v kapitole 18.3 *Specifikace mezd a strojů*. Přiložen obrázek 38.

V modulu *OptiRec HR* však navíc přibylo pole definující *Cenu plynu (Gas fuel price)*. Plyn je užíván jako palivo pro recyklér a nahřívací stroje, při prohřívání a zpracování asfaltové směsi. Cena je stanovena v EUR/l.

4.00 LABOUR AND MACHINE SPECIFICATION	
4.10 LABOUR SPECIFICATION	
Operator gross wages [€/h]:	30,00
Worker gross wages [€/h]:	25,00
Wages multiplier:	-
Relative staff occupancy [%]:	-
4.20 MACHINE SPECIFICATION	
Diesel fuel price [€/l]:	1,35
Gas fuel price [€/l]:	0,5
Key machine occupancy [%]:	-
Annual use of key machines [h]:	-

Obrázek 38. Specifikace mezd a strojů (Snížek, 2016b)

20.5. Sestava strojů

V pátém a posledním kroku volí uživatel sestavu stavebních strojů, která je řešenou technologickou variantu schopna realizovat.

Recyklace vozovky (*Pavement recycling*):

Uživatel nejprve volí sestavu stavebních strojů pro *recyklaci asfaltové vozovky za horka (Pavement recycling)* – viz obrázek 39. Typicky se jedná o metací vůz, distributor kameniva, několik nahřívacích strojů, recyklér a sestavu válců. Uživatel volí charakter stavebního stroje, následně vybírá z rozevíracího seznamu specifický model stroje a volí jejich počet.

Transport nového materiálu (*Material transportation: Mixing plant -> Job site*):

Uživatel definuje vzdálenost mezi obalovnou a stavbou. Následně volí stroje pro přepravu a jejich počet – viz obrázek 39.

5.00 MACHINE SET			
5.10 Pavement recycling:			
ID:	Character:	Specification:	Number:
1	Sweeper Truck	MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)	1
2	Aggregate spreader	Cartem Spreadaster Asphalt Chip	1
3	Heating machine	HM 4500 (4,5 m)	3
4	Hot recycler	RX 4500 (4,5 m)	1
5	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1
6	Static roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1
7	Static roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1
8	Tandem roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1
5.20 Material transportation: Mixing plant/center -> Job site			
	Distance [km]:	30	
ID:	Character:	Specification:	Number:
1	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m3, 20t capacity) - Pave	1
2	-	-	0

Obrázek 39. Volba sestavy strojů pro recyklaci a transport (Snížek, 2016b)

20.6. Celková kalkulace projektu

Na základě přechozích kroků, sestavila aplikace *OptiRoad HR* tři sumarizační tabulky, týkající se řešené technologické varianty. První řeší přehled použitých strojů na projektu, jejich hodnoty a součet hodnot za všechny stroje – viz obrázek 40.

Machine overview						
Id.	Category	Machine	Number of machines	Material trasportation [km]	Material transported [t]	Total time on project [h]
Pavement recycling:					119	119
1	Sweeper Truck	MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)	1	-	-	3,24
2	Aggregate spreader	Cartem Spreader Asphalt Chip	1	-	-	31,25
3	Heating machine	HM 4500 (4,5 m)	3	-	-	93,75
4	Hot recycler	RX 4500 (4,5 m)	1	-	-	31,25
5	Tandem roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	-	-	29,94
6	Static roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1	-	-	29,94
7	Static roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	1	-	-	29,94
8	Tandem roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	1	-	-	29,94
Sum			10	0	0	279,25
Material transportation: Mixing plant/center -> Job site					119	119
1	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m ³ , 20t capacity) - Pave	1	3061	1020	89,25
2	-	-	0	-	-	0,00
Sum			1	3061	1020	89,25
TOTAL			11 pcs.	3061	1020	368,50

Net working time [h]	Non productive time [h]	Diesel Consumption [l]	Fuel & Liquids costs [€]	Machine costs [€]	Labour costs [€]	TOTAL costs (machine, fuel, labour) [€]	CO ₂ [t]	NO _x + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m ²]	CO ₂ [t/m ²]	Gas Consumption [l]
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	130
2,50	0,75	26,53	37,61	29,98	97,21	164,80	0,0775	2,7937	1,0306	0,0491	0,0027	0,0000775	-
25,00	6,25	261,72	370,99	257,25	937,50	1565,74	0,7642	1,8767	11,0820	0,0792	0,0262	0,00007642	-
75,00	18,75	1021,88	14238,98	5329,69	5156,25	24724,92	44,3462	15,0664	18,6621	1,1197	0,1022	0,00443462	27405,00
25,00	6,25	904,30	2992,50	4976,25	3281,25	11250,00	11,6737	15,3268	13,3369	0,7621	0,0904	0,00116737	5985,00
11,98	17,96	134,13	190,13	330,09	898,20	1418,43	0,3917	3,4194	2,9232	0,1670	0,0134	0,00003917	-
11,98	17,96	121,26	171,88	315,28	898,20	1385,36	0,3541	2,4577	3,4369	0,0172	0,0121	0,00003541	-
11,98	17,96	134,13	190,13	330,09	898,20	1418,43	0,3917	3,4194	2,9232	0,1670	0,0134	0,00003917	-
11,98	17,96	121,26	171,88	315,28	898,20	1385,36	0,3541	2,4577	3,4369	0,0172	0,0121	0,00003541	-
175,40	103,85	2725,20	18364,11	11883,90	13065,02	43313,03	58,28	46,82	56,83	2,38	0,27	0,00583531	33390,00
118	120	130	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	130
43,73	45,52	2037,91	2888,74	1219,90	2677,56	6786,20	5,9507	3,1297	8,9483	0,0597	0,2038	0,00059507	-
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000000	-
43,73	45,52	2037,91	2889	1220	2678	6786	5,9507	3,1297	8,9483	0,0597	0,2038	0,00059507	0,00
219,13	149,37	4763,12	21252,85	13103,80	15742,58	50099,23	64,23	49,95	65,78	2,44	0,48	0,00643038	33390,00

Obrázek 40. Přehled strojů a jejich hodnot na projektu - příklad (Snížek, 2016b)

Podobný přehled jako pro stroje je dostupný i pro použité materiály. Viz obrázek 41, který popisuje hodnoty a množství související se zabudovávaným materiálem a surovinami.

Material overview						
Id.	Category	Material	Thickness [mm]	Mass added [%]	Density [t/m ³]	CO ₂ emissions [kg/t]
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2						
1	Layer 1 - materials:	-	0	-	0,000	0,0
2		Bitumen rejuvenator [%]:	-	0,300	1,000	221,0
3		Stone chippings [kg/m ²):	-	5,000	2,500	10,0
4	Layer 2 - materials:	ACO 8	40	-	2,319	39,9
Sum			-	-	-	-
TOTAL			-	-	-	-

RAP [% by mass]:	Real working area [m ²]	Amount of material [t]	Amount of material [m ³]	Amount of material [kg/m ²]	Material price [€]	Manufacturing time [hrs]	CO ₂ [t]	Nox+HC [t]	CO [t]	PM [t]
-	0	0	0	0	0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-	10400	4	4	0,36	0	-	0,8274	-	-	-
-	10400	52	21	5	0	-	0,5200	-	-	-
-	10400	965	416	93	46933	92,8	38,5303	0,0087	0,0154	0,0005
-	-	1020	441	98	46933	92,76	39,88	0,01	0,02	0,0005
-	-	1020	441	98	46933	93	39,88	0,01	0,02	0,00

Obrázek 41. Přehled materiálů a jejich hodnot na projektu - příklad (Snížek, 2016b)

Závěrečná tabulka – obrázek 42 - je věnována celkovému přehledu hodnot rekonstrukce vozovky technologií recyklace za horka. Hodnoty z kalkulace jsou přeneseny zpět do hodnotícího nástroje *OptiVote*.

General overview						
Id.	Category	Technology	Number of machines	Recycler	Mixing device capacity [t/h]	Paving machine
x	Individual calculation	Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2	11	RX 4500 + Remix Plus screed (4,5 m)	160	RX 4500 + Remix Plus screed (4,5 m)

Material trasportation [km]	Duration (all machines + mat. manuf. time) [h]	Material (old, new) [t]	Material [€]	Machines [€]	Labour [€]	Fuel [€]	Total costs [€]	CO2 [t]	Nox + HC [t]	CO [t]	PM [t]	Consumption [l/m2]	CO2 [t/m2]
3061	369 h	1 020 t	46 933 €	13 104 €	15 743 €	21 253 €	97 032 €	104,10 t	49,96 t	65,80 t	2,44 t	0,48 l/m2	0,010 t/m2

Obrázek 42. Závěrečný přehled technologie - příklad (Snížek, 2016b)

21. Výstupní sestavy

Detailní vyhodnocení technologií řešeného projektu nalezne uživatel v jednotlivých modulech *OptiRec*. Vyhodnocení a doporučení technologických variant pro řešený projekt nalezne uživatel v multikriteriálním hodnotícím nástroji *OptiVote*.

Přehled základních výstupů, které jsou k dispozici:

- *přehled strojů a bilance jejich hodnot,*
- *přehled materiálů a bilance jejich hodnot,*
- *celkový přehled za metodu,*
- *vyhodnocení technologií,*
- *harmonogram plánovaných oprav.*

První tři zmíněné výstupní přehledy - *přehled strojů, materiálů a celkový přehled* - byly několikrát prezentovány v kapitolách představující nástroje skupiny *OptiRec*. Sumarizační tabulky jsou součástí výpočetních modulů. Konečné vyhodnocení je součástí doporučení technologií v zastřešujícím nástroji *OptiVote* – obrázek 16.

Zmíněn zatím nebyl harmonogram plánovaných oprav a rekonstrukcí. Ten je dostupný z nástroje *OptiVote*. Prezentován je ve formě jednotlivých let, kdy pro každý rok je stanoveno procento z pořizovacích nákladů, jenž je nutno investovat do stavební obnovy konstrukce – obrázek 43.

KPK Časové cykly (%)	kce/rok	Životnost avg	Pořizovací cena	Rok a výše v % z objemu prací							
				0	1	2	3	4	5	6	
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen		11	31 578	100					10		
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam, bitumen		13	32 636	100					10		
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam, bitumen		13	33 242	100					10		
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion		11	34 565	100					10		
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion		13	35 623	100					10		
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion		13	34 470	100					10		
Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added		6	28 027	100			20				100
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement		8	30 815	100					20		
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry		8	32 078	100					20		
Mill and Fill (incl. material transportation)		20	44 698	100							10
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2		20	97 032	100							10

Obrázek 43. Harmonogram plánovaných oprav v % - příklad (Snížek, 2017)

Druhý harmonogram zobrazuje jednotlivé roky a náklady v EUR, které bude nutno vynaložit na obnovu konstrukce – obrázek 44.

KPK Časové cykly (CZK)	kce/rok	Životnost	Pořizovací cena	Rok a výše objemu prací v Euro							
				0	1	2	3	4	5	6	
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen		11	31 578	31 578	0	0	0	3 158	0	0	0
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam, bitumen		13	32 636	32 636	0	0	0	3 264	0	0	0
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam, bitumen		13	33 242	33 242	0	0	0	3 324	0	0	0
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion		11	34 565	34 565	0	0	0	3 456	0	0	0
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion		13	35 623	35 623	0	0	0	3 562	0	0	0
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion		13	34 470	34 470	0	0	0	3 447	0	0	0
Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added		6	28 027	28 027	0	0	5 605	0	0	28 027	0
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement		8	30 815	30 815	0	0	0	6 163	0	0	0
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry		8	32 078	32 078	0	0	0	6 416	0	0	0
Mill and Fill (incl. material transportation)		20	44 698	44 698	0	0	0	0	0	0	4 470
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2		16	97 032	97 032	0	0	0	0	0	0	9 703

Obrázek 44. Harmonogram plánovaných oprav v EUR - příklad (Snížek, 2017)

22. Závěry

Zadaný cíl, nalézt prostor v procesech a nových přístupech pro rekonstrukci asfaltových vozovek z pohledu celkových nákladů životního cyklu a vlivu na životní prostředí se podařilo naplnit. Vznikla tak metodika, zastřešena softwarovým nástrojem a jeho moduly. Cílem disertační práce nebyla tvorba softwarového nástroje, ten vznikl dobrovolně a navíc, jako další výstup pro praktické ověření správnosti metodiky.

Vícekritériální hodnotící nástroj *OptiVote* je k dispozici jak správci, investorovi, tak i dodavatelům stavebních prací pro pozemní komunikace. Nástroj vyhodnocuje z technicko-ekonomického hlediska rekonstrukci asfaltové vozovky. Mezi řešené metody rekonstrukce patří *tradiční způsob rekonstrukce, recyklace za studena, recyklace za horka* a jejich technologické varianty.

Nástroj je postaven jako modulární, kdy celý systém zastřešuje nástroj *OptiVote* a jednotlivé metody rekonstrukce řeší moduly *OptiRec*. Výhodou modulární struktury je snadnější ladění a upřesnění detailů technologie. Časová náročnost vypracování analýzy je řádově několik minut a záleží na detailu specifikace uživatelem.

Výstupy nástroje poskytují uživateli orientační plán nákladů obnovy a údržby pro řešený úsek asfaltové vozovky. Mimo doporučení technologie rekonstrukce vozovky, získá uživatel i přehled o sledovaných hodnotách za alternativní technologické

varianty. Hlavním výstupem je tabulka s pořadím doporučených technologií dle uživatelem zvolených kritérií.

Disertační práce tak řeší *rekonstrukci asfaltových vozovek*, konkrétně pak *volbu optimální varianty* s ohledem na uživatelem zvolená hodnotící kritéria. Přináší ucelený metodický postup, který zpracovává danou problematiku na úrovni, kterou jiné nástroje a softwarové produkty neřeší. Vybrané inovační postupy a informace jsou uvedeny v příloze.

Teoretické základy nástroje *OptiVote* a jeho modulů *OptiRec* jsou detailně vysvětleny v samostatných kapitolách. Vybrané databázové údaje, které jsou základem softwarových aplikací, jsou uvedeny v přílohách disertační práce.

22.1. Pracovní otázky

Při zpracování disertační práce autor došel autor k níže uvedenému zjištění a odpovédím na pracovní otázky:

VO1: *Je možné využít metodiku založenou na hodnocení nákladů životního cyklu pro hodnocení vlivu na životní prostředí rekonstruované vozovky?*

Metodiku, která je použita pro hodnocení nákladů životního cyklu pro SW aplikaci *OptiRec* a *OptiRec* lze za předpokladu akceptovatelného množství úprav využít i k vyhodnocení vlivu rekonstrukce komunikace na životní prostředí v podobě emisí skleníkových plynů. Základní princip výpočtu na základě časového snímku strojů je pro metodiky společný. Důležitým předpokladem je dostatek vstupních údajů pro použité materiály a mechanizaci. Metodika je omezena pouze na technologii asfaltových vozovek a jejich rekonstrukci. Betonové vozovky touto metodikou vyhodnocovat nelze.

VO2: *Je možné využít komplexní hodnocení technologických přístupů rekonstrukce vozovky jako nástroj pro snížení celkových nákladů životního cyklu?*

SW aplikace *OptiVote* a její moduly *OptiRec* doporučují uživateli vhodnou metodu a technologickou variantu rekonstrukce asfaltové komunikace. Doporučení se provádí na základě uživatelem zadaných parametrů, zvolených kritérií a jejich vah. Zvolí-li uživatel jako kritérium celkové náklady životního cyklu a ohodnotí je patřičnou vahou / důležitostí, pak by realizací doporučené varianty rekonstrukce mělo v průběhu životního cyklu vozovky dojít k úsporám celkových nákladů. Náklady životního cyklu jako takové SW nástrojem snížit nelze, ale lze uživateli doporučit tu technologii, která má právě náklady životního cyklu nejnižší. Posouzení

realizovatelnosti doporučené technologie už je díky individualitě každého projektu na uživateli.

VO3: *Je možné na každou rekonstrukci asfaltové vozovky aplikovat metodiku tradičního způsobu rekonstrukce?*

Aplikovat lze pouze základní principy metodiky, ale metodiku jako takovou aplikovat nelze. Důvodem je několik odlišných metod rekonstrukce vozovky (recyklace za studena, za horka, tradiční způsob). Každá metoda má ještě řadu technologických variant. V případě recyklace za studena se jedná o devět variant. Právě díky rozdílnosti technologických přístupů rekonstrukce nelze metodiku pro tradiční způsob beze změny použít. Rozdílnost je jak v užívaných procesech, tak principech, materiálech i strojích.

VO4: *Jakým způsobem ovlivní emisní normy celkové náklady a analýzu životního cyklu?*

Dle jistění autora, jak evropské *Stage* tak americké *Tier* normy ovlivňují nepřímo výsledky analýzy životního cyklu i celkových nákladů řešené asfaltové vozovky. Emisní normy regulují produkci stavebních strojů s nesilničními naftovými motory (Non-road diesel engines). Výkonné motory jsou osazeny právě ve strojích, užívaných při výstavbě, rekonstrukci a údržbě vozovky. Díky zpřísnění emisních norem, jsou výrobci nuceni vyrábět stavební stroje s dokonalejším spalovacím a filtračním systémem. Tyto požadavky se promítají vesměs pozitivně na celkové množství vyprodukovaných emisí stroji při výstavbě a obnově vozovky. Negativně se promítnou na pořizovací cenu stroje, eventuálně na jeho náročnou údržbu. Díky tomu může dojít k nepatrnému nárůstu celkových nákladů životního cyklu vozovky, kde je se stroji strategicky počítáno.

VO5: *Je nově vytvořený multikriteriální hodnotící nástroj vhodným doplněním rozhodovacího procesu technologického přístupu rekonstrukce pozemní komunikace?*

Nově vytvořený nástroj *OptiVote* nabízí uživateli přehled dostupných technologických variant, seřazených dle volby kritéria a váhy, pořizovatelem analýzy. Model je vygenerován na základě uživatelem zadaných parametrů. Nástroj tak vytváří virtuální model, podobný skutečnému, který uživatel vyhodnocuje. Multikriteriální hodnotící nástroje *OptiVote* se tak stává užitečným rádčem uživatele, který má rozhodnout, jakou metodou a technologickou variantou se bude asfaltová vozovka rekonstruovat.

22.2. Vědecký přínos práce

Nástroj *OptiVote* přináší nový přístup k navrhování technologické varianty rekonstrukce asfaltové vozovky. V současné době dostupné nástroje a softwarové aplikace se multikriteriálním vyhodnocením a srovnáváním technologií zabývají spíše okrajově. Mnoho nástrojů řeší pouze *tradiční metodu rekonstrukce*, případně některou z metod *recyklace*. Oproti tomu, *OptiVote* a jeho moduly řeší komplexně jak *tradiční metodu* tak dostupné metody *recyklace za horka i za studena* a jejich *technologické varianty*. Novým pohledem je i vyhodnocování technologie dle vlivu na životní prostředí, konkrétně vyprodukovaných emisí skleníkových plynů. Tato myšlenka se shoduje se směrem, kterým se vydávají západoevropské země, kdy hlavním kritériem volby technologie už nejsou pouze pořizovací náklady.

Vytvořené nástroje využívají principu referenčních databází. Řešená pozemní komunikace je tak nhrubo popsána základními rozměrovými parametry, současným a cílovým stavem. Moduly *OptiRec* pracují v základní podrobnosti specifikace objektu, kterými jsou konstrukční vrstvy vozovky. Konstrukční vrstvy jsou formou stavebních materiálů a strojů pro realizaci blíže uživatelem specifikovány. Díky zadaným vstupním údajům si deterministický model sám kalkuluje předpokládané výměry konstrukčních prvků a harmonogram údržby.

Problematika výpočtu emisí při rekonstrukci asfaltové vozovky nemá v literatuře jednotný přístup. Práce shrnuje a doplňuje informace o dostupných technologiích rekonstrukce na základě dosavadních poznatků, zachycených v literatuře a ostatních zdrojích.

Softwarová aplikace *OptiVote* a její moduly *OptiRec* představují dostupný nástroj pro hledání vhodné varianty rekonstrukce asfaltové vozovky dle zvolených kritérií. Díky integraci volby sledovaného období do nástroje, může uživatel vyhodnotit konstrukci nejen v počáteční investiční fázi, ale i v rámci životního cyklu.

22.3. Přínos práce pro praxi

Práce přináší metodiku a nástroj, která umožňuje investorům a správcům pozemních komunikací vhodně volit metodu a technologii rekonstrukce asfaltové vozovky. Harmonogram může rovněž pomoci s plánováním a řízením nákladů údržby.

Díky multikriteriálnímu hodnotícímu nástroji *OptiVote* může správce komunikace posuzovat rekonstrukci asfaltové vozovky nejen dle standardních kritérií, jako jsou náklady rekonstrukce, ale i dle nákladů životního cyklu či vlivu na životní prostředí v podobě emisí skleníkových plynů při výstavbě.

Výstupy z nástroje *OptiVote* a *OptiRec* umožňují porovnání jednotlivých technologických variant se zohledněním nejen investičních nákladů, ale také budoucích *nákladů oprav a rekonstrukcí*. Tyto náklady nastanou v průběhu životního cyklu vozovky. Není pravidlem, že varianta s nejlevnější pořizovací cenou bude z dlouhodobého hlediska nejlevnější a tudíž neoptimálnější. Proto byl do základních parametru zaveden faktor sledovaného období.

Nástroj *OptiVote* případně jeho moduly *OptiRec* byly použity v rámci následujících aktivit:

1) Pro konzultace a ověření správnosti metodiky byla zvolena domácí katedra doktoranda – *K126 ČVUT – Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví*. Byly využity a ve vývoji nástrojů zohledněny i předchozí zkušenosti kolegů doc. Macka, Dlaska, Berana a doc. Měšťanové. Zkušenosti pramenily mimo jiné i z vývoje SW nástroje *Buildpass*, řešící efektivně celkové náklady životního cyklu a návrh optimálního plánu údržby pro pozemní stavby.

2) Pro konzultaci a verifikaci technologických předpokladů byla oslovena katedra – *K136 – Katedra silničních staveb*. V rámci metodického vedení byly užity zkušenosti Ing. Valentina a jeho vstřícných kolegů.

3) Významným impulsem bylo oslovení autora disertační práce společností WIRTGEN GmbH (světovým výrobcem speciálních stavebních strojů) s požadavkem na vytvoření nástroje k vyhodnocení emisního vlivu jednotlivých technologických variant recyklace asfaltové vozovky za studena (*modul OptiRec CR*). Později byl požadavek rozšířen na vyhodnocení tradiční technologie rekonstrukce vozovek (*modul OptiRec TM*). Spolupráce s Dr. Michaellem Engelsem byla navázána prostřednictvím Ing. Valentina a K136.

4) Ve spolupráci s TU WIEN, Institutem pro dopravní infrastrukturu, v rámci mezinárodního stipendijního programu AKCION byly za asistence Dr. Hoffmanna moduly *OptiRec* upraveny a vylepšeny. Bylo započato s tvorbou *modulu OptiRec HR* – recyklace za horka.

5) Moduly *OptiRec* byl vyhodnocen projekt rekonstrukce vozovky v Irsku - *N77 - Hennebry's Cross to Ardaloo*. Vozovka byla rekonstruována metodou recyklace za

studena s přidáním cementového pojiva. Projekt byl zpracován v SW nástroji *OptiRec CR*. Získané hodnoty byly porovnány s reálně naměřenými a také s kalkulovanými prostřednictvím britského konkurenčního nástroje *asPECT*.

SW nástroj *OptiVote* a stejně tak i kalkulační moduly *OptiRec* vyhodnocují užítí dostupných technologických metod a variant pro uživatelem řešený projekt v podobě rekonstruované asfaltové vozovky. Práci s nástroji zvládne i uživatel se základními znalostmi problematiky, případně s asistencí specialisty. Nástroj nabízí uživateli i jiná, než standardně užívaná hodnotící kritéria. Posouváme tak povědomí a možnosti, vyhodnocovat asfaltové vozovky i z hlediska vlivu na životní prostředí a celkových nákladů životního cyklu.

Seznam použitých informačních zdrojů

BULL, John, 1993. *Life Cycle Costing for Construction*. 1st edition. London: Taylor & Francis, 1993. 172 s. ISBN 978-07-51-40056-4.

CEREAL, 2014. *Final Report - Deliverable Nr 6 & 7 - January 2014*. [Online] Available at:

http://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/eranet_road/call_2011/energy/cereal/04_final-report-cereal-2014.pdf [Accessed 2017-11-05].

CHEHOVITS, Jim, 2012. *Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Processes for Asphalt Concrete Pavements*, National Center for Pavement Preservation, Okemos, Michigan, United States, 15 s.

CROW, 2017a. *Afwegingsmodel Wegen (AMW 1.1)*. [Online] Available at: [https://www.crow.nl/publicaties/afwegingsmodel-wegen-\(amw-1-1\)](https://www.crow.nl/publicaties/afwegingsmodel-wegen-(amw-1-1)) [Accessed 2017-11-05].

CROW, 2017b. *Afwegingsmodel Wegen (AMW 1.1)*. [Online]

Available at: <https://trl.co.uk/road-maintenance-treatments-comparison-software-tool> [Accessed 2017-11-05].

ČÁPOVÁ, Dana, 2005. *Ekonomické a riadiace procesy v stavebníctve a investičných projektoch*. 1. vyd. Bratislava : STU v Bratislavě. s. 40-42. ISBN 80-227-2276-6.

DIESELNET, 2017a. *Nonroad Engines – EU Standards*. [Online] Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#s5> [Accessed 2017-10-31].

DIESELNET, 2017b. *Nonroad Engines – US Standards*. [Online] Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/us/nonroad.php> [Accessed 2017-10-31].

GIZ, 2012. *GIZ Multi Criteria Analysis Template IMACC 2012*. [Online] Available at: <http://www.adaptationcommunity.net/publications/giz-multi-criteria-analysis-template-imacc-2012-2/> [Accessed 2017-11-05].

HORVATH, Arpad, 2004. *A Life-Cycle Analysis Model and Decision-Support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications*. Final Report for RMRC Research Project No. 23, University of California at Berkeley, 35 s.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2017. ISO 14040:2006 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and

Framework. [Online] Available at: <https://www.iso.org/standard/37456.html> [Accessed 2017-11-12].

IRZ, 2015a. *Oxid uhličitý*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/78> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015b. *Oxidy dusíku NO_x/NO₂*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/79> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015c. *Fluorované uhlovodíky (HFC)*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/42> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015d. *Hydrochloroflu-orouhlovodíky (HCFC)*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/51> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015e. *Chlorofluorou-hlovodíky (CFC)*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/58> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015f. *Oxid uhelnatý*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/77> [Accessed 2015-01-20].

IRZ, 2015f. *Polétavý prach (PM10)*. [Online] Available at: <http://www.irz.cz/node/85> [Accessed 2015-01-20].

KAWAKAMI, Atsushi, 2012. *Study on CO₂ Emissions of Pavement Recycling Methods*, 1-6 Minamihara, Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan.

LEEST, Adrian, 2011. *Decision support model for road pavements based on whole life costing, life cycle assessment and multi-criteria analysis*, International Society for Concrete Pavements, Pennsylvania USA 15017, 16 s.

MACEK, Daniel, 2009a. *Habilitační práce: Buildpass – obnova a údržba objektů*, Praha: ČVUT, 148 s.

MACEK, Daniel, 2009b. *Buildpass 09 – obnova a údržba objektů*, Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009. 126 s. ISBN 978-80-01-04337-0

MILACHOWSKI, Ch., 2001. *Life Cycle Assessment for road construction and use*. Centre for Building Materials, Technische Universität München, Germany: European Concrete Paving Association, 20 s.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2004. *TP 170 - Navrhování vozovek pozemních komunikací*, s.l.: MMR ČR. [Online] Available at: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_170_upraveny_dotisk.pdf [Accessed 2017-10-31].

SCHVALLINGER, Mathias, 2011. *Analyzing trends of asphalt recycling in France*. Stockholm: Degree Project SoM EX 2011-41, KTH, Royal Institute of Technology

Department of Urban Planning and Environment Division of Environmental Strategies Research – fms. 87 s.

SNÍŽEK, Václav, 2011. *Diplomová práce: Volba typu konstrukce komunikace s ohledem na celkové náklady životního cyklu* Praha: ČVUT, 2011. 94 s.

SNÍŽEK, Václav, 2012. *OptiRoad 2012*. Software, FSv ČVUT v Praze

SNÍŽEK, Václav, 2014. *OptiRec 2013 - Nástroj pro hodnocení variant recyklačních technologií vozovek*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2014. 150 s. ISBN 978-80-01-05446-8.

SNÍŽEK, Václav, 2015a. *OptiRec CR - Cold recycling pavement rehabilitation method*. Software, FSv ČVUT v Praze

SNÍŽEK, Václav, 2015b. *OptiRec TM - Traditional pavement rehabilitation method*, Software, FSv ČVUT v Praze

SNÍŽEK, Václav, 2015c. *Vývoj nástroje pro posuzování recyklačních technologií asfaltových vozovek s důrazem na uhlíkovou stopu*, 6. Konference projektování pozemních komunikací, FSv ČVUT v Praze.

SNÍŽEK, Václav, 2016a. *Multi-criteria decision making tool for technological variants of road rehabilitation*, Creative Construction Conference 2016. Budapest: Diamond Congress Kft., ISBN 978-615-5270-24-6

SNÍŽEK, Václav, 2016b. *OptiRec HR - Hot recycling pavement rehabilitation method*, FSv ČVUT v Praze

SNÍŽEK, Václav, 2017. *OptiVote – Multi-criterial decision-making tool*. Software, FSv ČVUT v Praze

STRÁDAL, Oldřich, 1968. *Modely rozhodování a řízení ve stavebnictví*. Praha : Ústav racionalizace ve stavebnictví, 1968. 161 s

TRL Limited, 2017. *asPECT – asphalt Pavement Embodied Carbon Tool*. [Online] Available at: <http://www.sustainabilityofhighways.org.uk> [Accessed 2017-11-05].

VALENTIN, Jan, 2009a. *Problematika výběru funkčních charakteristik směsí recyklace za studena*. Disertační práce, FSv ČVUT v Praze.

WIKIPEDIA, 2014a. *Exhalace*. [Online] Available at: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Exhalace> [Accessed 2014-06-04].

WIKIPEDIA, 2014b. *Emise*. [Online] Available at: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Emise> [Accessed 2014-06-04].

WIKIPEDIA, 2014c. *Imise*. [Online] Available at: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Imise> [Accessed 2014-06-04].

Wirtgen GmbH, 2008. *The World of Wirtgen Hot Recyclers*, Windhagen, Germany

Wirtgen GmbH, 2012. *Wirtgen Cold Recycling Technology*, Windhagen, Germany

Wirtgen GmbH, 2013a. *Soil treatment: Base Layers with Hydraulic Binders*, Windhagen, Germany

Wirtgen GmbH, 2013b. *Wirtgen Cold Milling Manual: Technology and application*, Windhagen, Germany

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1. SCHÉMA PRŮBĚHU <i>T-E ANALÝZY</i> (ZDROJ: AUTOR).....	36
OBRÁZEK 2. SCHÉMA MATICE OBNOVY – PŘÍKLAD (ZDROJ: AUTOR).....	42
OBRÁZEK 3. SCHÉMA OBNOVY KONSTRUKCE VYJÁDŘENÉ PERIODICITOU MATICE OBNOVY (ZDROJ: AUTOR)....	42
OBRÁZEK 4. DENNÍ ČASOVÝ SNÍMEK RECYKLÉRU (ZDROJ: AUTOR).....	46
OBRÁZEK 5. DENNÍ HARMONOGRAM STROJŮ (ZDROJ: AUTOR).....	48
OBRÁZEK 6. MODEL VYHODNOCENÍ EMISÍ (ZDROJ: AUTOR).....	53
OBRÁZEK 7. MODEL PRO VYHODNOCENÍ EMISÍ – TRADIČNÍ METODA REKONSTRUKCE (ZDROJ: AUTOR).....	54
OBRÁZEK 8. MODEL VÝPOČTU NÁKLADŮ REKONSTRUKCE (ZDROJ: AUTOR).....	57
OBRÁZEK 9. MODEL PRO VYHODNOCENÍ NÁKLADŮ REKONSTRUKCE – TRADIČNÍ METODA REKONSTRUKCE (ZDROJ: AUTOR).....	58
OBRÁZEK 10. OBECNÉ SCHÉMA ROZHRAŇÍ MODELU (ZDROJ: AUTOR).....	60
OBRÁZEK 11. DETAILNÍ SCHÉMA ROZHRAŇÍ PROJEKTU (ZDROJ: AUTOR).....	61
OBRÁZEK 12. ZÁKLADNÍ SPECIFIKACE PROJEKTU (SNÍŽEK, 2017).....	62
OBRÁZEK 13. VOLBA KRITÉRIÍ A VAH (SNÍŽEK, 2017).....	63
OBRÁZEK 14. VOLBA KRITÉRIÍ (SNÍŽEK, 2017).....	63
OBRÁZEK 15. TABULKA HODNOCENÍ KRITÉRIÍ (SNÍŽEK, 2017).....	64
OBRÁZEK 16. DOPORUČENÍ TECHNOLOGIÍ (SNÍŽEK, 2017).....	65
OBRÁZEK 17. VSTUPNÍ DATA (SNÍŽEK, 2015A).....	66
OBRÁZEK 18. SPECIFIKACE KONSTRUKCE VOZOVKY (SNÍŽEK, 2015A).....	67
OBRÁZEK 19. SPECIFIKACE MEZD A PALIVA (SNÍŽEK, 2015A).....	69
OBRÁZEK 20. VOLBA SESTAVY STROJŮ - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015A).....	70
OBRÁZEK 21. VÝBĚR STAVEBNÍHO STROJE – PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015A).....	71
OBRÁZEK 22. PŘEHLED STROJŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU – PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015A).....	72
OBRÁZEK 23. PŘEHLED MATERIÁLŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU – PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015A).....	72
OBRÁZEK 24. ZÁVĚREČNÝ PŘEHLED TECHNOLOGIÍ – PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015A).....	73
OBRÁZEK 25. VSTUPNÍ DATA (SNÍŽEK, 2015B).....	73
OBRÁZEK 26. SPECIFIKACE KONSTRUKCE VOZOVKY (SNÍŽEK, 2015B).....	74
OBRÁZEK 27. MATERIÁLY KONSTRUKČNÍ VRSTVY (SNÍŽEK, 2015B).....	76
OBRÁZEK 28. SPECIFIKACE OBALOVNY (SNÍŽEK, 2015B).....	77
OBRÁZEK 29. SPECIFIKACE MEZD A STROJŮ (SNÍŽEK, 2015B).....	78
OBRÁZEK 30. VOLBA SESTAVY STROJŮ PRO FRÉZOVÁNÍ (SNÍŽEK, 2015B).....	78
OBRÁZEK 31. VOLBA SESTAVY STROJŮ PRO POKLÁDKU (SNÍŽEK, 2015B).....	79
OBRÁZEK 32. PŘEHLED STROJŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU – PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015B).....	80
OBRÁZEK 33. PŘEHLED MATERIÁLŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015B).....	81
OBRÁZEK 34. ZÁVĚREČNÝ PŘEHLED TECHNOLOGIE - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2015B).....	81
OBRÁZEK 35. VSTUPNÍ DATA (SNÍŽEK, 2016B).....	82
OBRÁZEK 36. SPECIFIKACE KONSTRUKCE VOZOVKY (SNÍŽEK, 2016B).....	83
OBRÁZEK 37. SPECIFIKACE OBALOVNY (SNÍŽEK, 2016B).....	85

OBRÁZEK 38. SPECIFIKACE MEZD A STROJŮ (SNÍŽEK, 2016B).....	85
OBRÁZEK 39. VOLBA SESTAVY STROJŮ PRO RECYKLACI A TRANSPORT (SNÍŽEK, 2016B).....	86
OBRÁZEK 40. PŘEHLED STROJŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2016B).....	87
OBRÁZEK 41. PŘEHLED MATERIÁLŮ A JEJICH HODNOT NA PROJEKTU - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2016B).....	87
OBRÁZEK 42. ZÁVĚREČNÝ PŘEHLED TECHNOLOGIE - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2016B).....	88
OBRÁZEK 43. HARMONOGRAM PLÁNOVANÝCH OPRAV V % - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2017).....	89
OBRÁZEK 44. HARMONOGRAM PLÁNOVANÝCH OPRAV V EUR - PŘÍKLAD (SNÍŽEK, 2017).....	89

Seznam tabulek

TABULKA 1. NORMY STAGE III A, III B (DIESELNET, 2017A).....	23
TABULKA 2. NORMA STAGE IV (DIESELNET, 2017A).....	24
TABULKA 3. NORMA STAGE V – NÁVRH (DIESELNET, 2017A).....	24
TABULKA 4. NORMY TIER 1 AŽ TIER 3 (DIESELNET, 2017B).....	25
TABULKA 5. NORMY TIER 4 - MOTORY DO 560 kW, G/KWH (G/BHP-HR) (DIESELNET, 2017B).....	26
TABULKA 6. DESET KROKŮ ŽIVOTNÍHO CYKLU ASFALTOVÉ SMĚSI (SCHVALLINGER, 2011).....	28
TABULKA 7. POČET PRVKŮ V DATABÁZÍCH (SNÍŽEK, 2015A, 2015B, 2016B).....	37
TABULKA 8. KLÍČOVÉ STROJE PRO TECHNOLOGIE REKONSTRUKCE (SNÍŽEK, 2015A, 2015B, 2016B).....	45
TABULKA 9. DENNÍ ČASOVÝ SNÍMEK RECYKLÉRU – ČASOVÁ ANALÝZA (ZDROJ: AUTOR).....	47
TABULKA 10. ROZDĚLENÍ NEPRODUKTIVNÍHO ČASU STROJE (ZDROJ: AUTOR).....	48
TABULKA 11. PŘÍKLAD PRODUKCE EMISÍ PŘI REKONSTRUKCI VOZOVKY (RECYKLACE ZA STUDENA) (SNÍŽEK, 2015A).....	51
TABULKA 12. TECHNOLOGIE A PŘÍMĚSI - ZÁVISLOSTI (ZDROJ: AUTOR).....	68
TABULKA 13. POČET DĚLNÍKŮ U STROJŮ - PŘÍKLAD (ZDROJ: AUTOR).....	70

Seznam příloh

Příloha č. 1

Seznam prvků databáze

Příloha č. 2

Harmonogram rekonstrukce

Příloha č. 3

Časové snímky

Příloha č. 4

Sestavy strojů

Příloha č. 5

Odpisy strojů

Příloha č. 6

Princip výpočtu spotřeby paliva

Příloha č. 7

Srovnání naměřených vs. kalkulovaných hodnot

Projekt: N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo (Irsko)

Příloha č. 8

Porovnání kalkulovaných hodnot

SW nástroje: OptiRec CR vs. asPECT

Projekt: N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo (Irsko)

Příloha č. 9

Formulář exportu

Příloha č. 1

Seznam prvku databáze

V příloze jsou uvedeny možné metody a jejich technologické varianty pro rekonstrukci vozovky. Kapitola dále obsahuje materiály a stavební mechanizaci, která tvoří referenční prvky databáze.

Kód	Název v databázi	Překlad
	Traditional method	Tradiční metoda
TM1	TM - Mill & Fill	Tradiční metoda (vyfrézuj a polož)
	Cold Recycling	Recyklace za studena
CR9	Pulverization	Rozpojení a promísení (např. re-shaping)
CR7	R - pre-spreaded cement	Recyklace – cement
CR8	R - cement slurry	Recyklace – cementová suspenze
CR5	CR - foamed bitumen	Recyklace za studena – zpěněný asfalt
CR1	CR - foamed bitumen, pre-spreaded cement	Recyklace za studena – zpěněný asfalt, cement
CR2	CR - foamed bitumen, cement slurry	Recyklace za studena – zpěněný asfalt, cementová suspenze
CR6	CR - bitumen emulsion	Recyklace za studena – asfaltová emulze
CR3	CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement	Recyklace za studena – asfaltová emulze, cement
CR4	CR - bitumen emulsion, cement slurry	Recyklace za studena – asfaltová emulze, cementová suspenze
	Hot Recycling	Recyklace za horka
HR1	Remix technology (Recycling)	Recyklace za horka - Remix
HR2	Remix special technology (Recycling + Virgin layer)	Recyklace za horka - Remix speciál, nový obrus

Přehled metod a technologických variant rekonstrukce asfaltové vozovky

Tradiční metoda – databáze strojů (11)		
Kód	Druh stroje	Typ stroje
RT	Tandem Roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)
RS	Static Roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)
GR	Grader	New Holland F 156.6 A (3,66m)
MM	Milling machine	W 1900 (2,0m)
ST	Sweeper truck	MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)
AP	Asphalt Paver	Vogele Super 1800-3i (AB 500) (8,5m) Vogele Super 2100-3i (AB 600) (9,5m)
BS	Bitumen sprayer	MB Actros 4041-A Sprayer (3-axle) (20m3)
TT	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m3, 20t capacity) - Mill
RS	Wheel loader	Liebherr L524 (2,5m3)
RS		Liebherr L524 2(2,5m3)
RS		Liebherr L524 3(2,5m3)

Databáze strojů pro tradiční metodu rekonstrukce vozovky

Tradiční metoda – databáze materiálů (23)		
Kód	Druh materiálu	Typ materiálu
28	Surface course	MD - Weissmineral
29		MD - 40 % Kalt RC
30		MD - 60 % Warm RC
32	Asphalt base course	ACP 16
33		ACP 16+
34		ACP 16+ (12% RAP)
35		ACP 16+ (20% RAP)
36		ACP 16+ (30% RAP)
37		ACP 16+ (40% RAP)
38		ACP 16+ (50% RAP)
39		ACP 16+ (60% RAP)
40		ACP 16S
41		ACP 22
42		ACP 22+
43		ACP 22S
44		ACP 22S
45		MD - Weissmineral
46		MD - 40 % Kalt RC
47		MD - 60 % Warm RC
53	Milled asphalt-Surface layer	Standard RAP
54		Premium RAP
57	Milled asphalt-Base layer	Standard RAP
58	Sealants	Bitumen emulsion 60% (0,3 l/m ²)

Databáze materiálů pro tradiční metodu rekonstrukce vozovky

Recyklace za studena - databáze strojů (26)		
Kód	Druh stroje	Typ stroje
RC,S,P	Recycler/Stabilizer /Paver	WR 2000 (1st) (2,0m)
RC,S,P		WR 2000 (2nd) (2,0m)
RC,S,P		WR 200 (3rd) (2,0m)
RC,S,P		WR 200i (4th) (2,0m)
RC,S,P		WR 2400 (1st) (2,4m)
RC,S,P		WR 240 (2nd) (2,4m)
RC,S,P		WR 240i (3rd) (2,4m)
RC,S,P		WR 2500 (1st) (2,44m)
RC,S,P		WR 2500S (2nd) (2,44m)
RC,S,P		WR 2500S (3rd) (2,44m)
RC,S,P		WR 2500S (4th) (2,44m)
RC,S,P		WR 250 (5th) (2,4m)
RC		CR 2200 (2,2m)
RC		CR 3800 (3,8m)
RC		WR 4200 (1st) (3,0-4,2m)
RC		WR 4200 (2nd) (3,0-4,2m)
SM	Slurry Mixers	WM 1000 (1000l/min)
SB	Binder Spreader	SW 16 MC (MB Arocs 4136K, 4-axle) (16m3) (2,46m)
TW	Water tanker	MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m3)
TBS	Bitumen tanker	MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. Special.(31m3)
TB	Bitumen tanker	MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. (31m3)
CO	Compactor	Hamm 3516 HT (2,14m) (16t)
CO		Hamm 3516 HT P (2,14m; Padft.) (16t)
RT	Tandem Roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)
RS	Static Roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)
GR	Grader	New Holland F 156.6 A (3,66m)

Databáze strojů pro recyklaci vozovky za studena

Recyklace za studena - databáze materiálů (5)		
Kód	Druh materiálu	Typ materiálu
1	Bitumen binder	Foamed bitumen
2	Bitumen binder	Bitumen emulsion
3	Hydraulic binder	Cement
4	Hydraulic binder	Cement suspension
5	Other	Water

Databáze materiálů pro recyklaci vozovky za studena

Recyklace za horka - databáze strojů (12)		
Kód	Druh stroje	Typ stroje
RH	Hot Recyclers	RX 4500 + Remix Plus screed (4,5 m)
RH		RX 4500 (4,5 m)
MH	Heating machine	HM 4500 (4,5 m)
AS	Aggregate spreader	Cartem Spreadaster Asphalt Chip
RT	Tandem Roller	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)
RS	Static Roller	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)
ST	Sweeper truck	MB Actros 4041-Sweeper (3-axle)
TT	Tipper truck	MB Arocs 4136K Tipper (4-axle) (16m ³ , 20t capacity) - Pave
RS	Wheel loader	Liebherr L524 (2,5m ³)
RS		Liebherr L524 2(2,5m ³)
RS		Liebherr L524 3(2,5m ³)
GR	Grader	New Holland F 156.6 A (3,66m)

Databáze strojů pro recyklaci vozovky za horka

Recyklace za horka - databáze materiálů (6)		
Kód	Druh materiálu	Typ materiálu
1	Bitumen coated aggregate	ACO 8
2		Bitumen coated aggregate
3	Hydraulic binder	Cement suspension
4	Other	Water
5	Butimen admixture	Bitumen rejuvenator
6	Surface treatment	Stone chippings

Databáze materiálů pro recyklaci vozovky za horka

Příloha č. 2

Harmonogram rekonstrukce

V příloze je uveden harmonogram neboli časový plán údržby pro jednotlivé technologie rekonstrukce asfaltové vozovky.

KPK Časové cykly (%)			Rok a výše v % z objemu prací								
kce/rok	Životnosť avg	Požizovací cena	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - foamed bitumen	11	31 578	100				10				20
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, foam. bitumen	13	32 636	100				10				
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, foam. bitumen	13	33 242	100				10				
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - bit. emulsion	11	34 565	100				10				20
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement, bit. emulsion	13	35 623	100				10				
Cold Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry, bit. emulsion	13	34 470	100				10				
Pulverization (milling, pulverization ,paving) - no materials added	6	28 027	100			20			100		
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement	8	30 815	100				20				100
Recycling (milling, recycling ,paving) - cement slurry	8	32 078	100				20				100
Mill and Fill (incl. material transportation)	20	44 698	100						10		
Remix special technology (Recycling + Virgin layer) - option 2	20	97 032	100						10		

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		100				10				20			100				10				20			100		
30				100				10					30				100				10					30
30				100				10					30				100				10					30
		100				10				20			100				10				20			100		
30				100				10					30				100				10					30
30				100				10					30				100				10					30
20			100			20			100			20			100			20			100			20		
		20				100			20				100			20				100			20			
		20				100			20				100			20				100			20			
				20							100						10							20		
				10							100						10							10		





36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	10				20			100				10				20			100				10	
			100				10					30				100				10				
			100				10					30				100				10				
	10				20			100				10				20			100				10	
			100				10					30				100				10				
			100				10					30				100				10				
100			20			100			20			100			20			100			20			100
100			20			100			20			100			20			100			100			20
100			20			100			20			100			20			100			100			20
				100					10							20								100
				100					10							10								100

Harmonogram rekonstrukcí a obnov





Příloha č. 3

Časové snímky

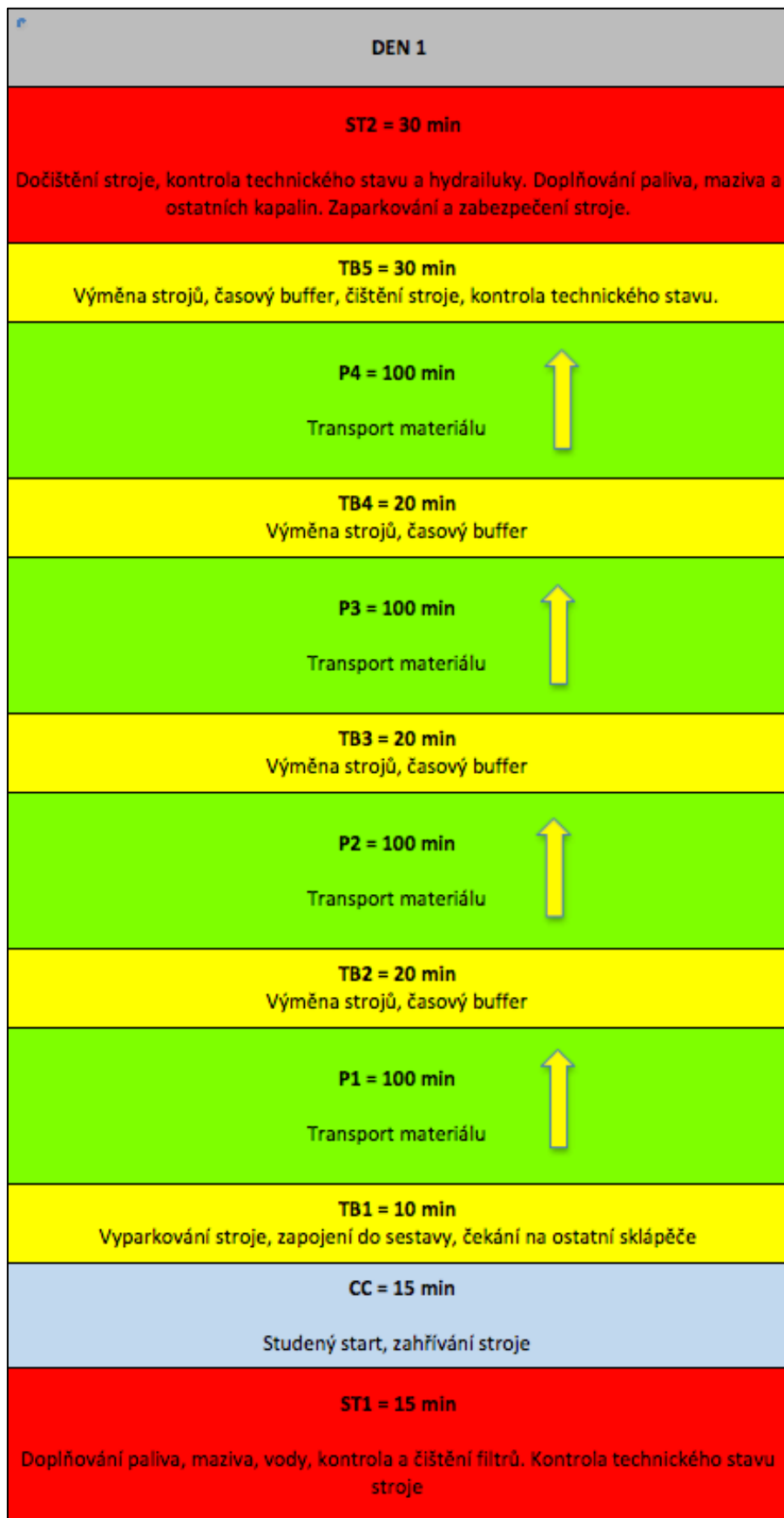
V příloze jsou uvedeny příklady časových snímků pro vybrané stroje. Stroje se podílejí na realizaci rekonstrukce vozovky a jsou tak součástí sestavy strojů. Časový snímek stroje se může lišit v závislosti na zvolené technologii rekonstrukce vozovky.

Staničení	DEN 1	DEN 1
1200 m	 R2 = 86 min Recyklace vozovky	TB2 = 19 min Technická přestávka
	TB1 = 19 min Technická přestávka	R3 = 86 min Recyklace vozovky 
600 m	R1 = 86 min Recyklace vozovky 	TB3 = 19 min Technická přestávka
	CC = 15 min Zahřívání stroje	R4 = 86 min Recyklace vozovky 
0 m	ST1 = 21 min Technická přestávka	ST2 = 21 min Technická přestávka

Recyklér studených směsí – recyklace za studena - časový snímek

DEN 1	DEN 1
 R2 = 86 min Frézování vozovky	TB2 = 19 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Rovněž může fungovat jako časový buffer, event. Výměna nebo doplnění pojiva cisteren s pojivy
TB1 = 19 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Rovněž může fungovat jako časový buffer, event. Výměna nebo doplnění pojiva cisteren s pojivy	R3 = 86 min Frézování vozovky 
R1 = 86 min Frézování vozovky 	TB3 = 19 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Rovněž může fungovat jako časový buffer, event. Výměna nebo doplnění pojiva cisteren s pojivy
CC = 15 min Studený start, zahřívání stroje, vyparkování stroje, zapojení do sestavy	R3 = 86 min Frézování vozovky 
ST1 = 21 min Doplnění paliva, maziva, vody a pojiv do nádrží, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu, frézovacích trnů	ST1 = 21 min Doplnění paliva, maziva, vody a pojiv do nádrží, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu, frézovacích trnů. Parkování

Asfaltová fréza – tradiční metoda rekonstrukce - časový snímek







Sklápěč – nákladní automobil – tradiční metoda rekonstrukce - časový snímek

DEN 1	
ST2 = 30 min Dočištění stroje, kontrola technického stavu a hydrauliky. Doplnění paliva, maziva a ostatních kapalin. Zaparkování a zabezpečení stroje.	
TB5 = 15 min Čištění stroje, kontrola technického stavu a hydrauliky.	
P4 = 100 min Vlastní pokládka	↑
TB4 = 10 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer, event. výměna stroje	
P3 = 100 min Vlastní pokládka	↑
TB3 = 10 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer, event. výměna stroje	
P2 = 100 min Vlastní pokládka	↑
TB2 = 10 min Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer, event. výměna stroje	
P1 = 100 min Vlastní pokládka	↑
TB1 = 30 min Vyparkování stroje, zapojení do sestavy, čekání na dodávku dostatečného množství směsi	
CC = 20 min Studený start, zahřívání stroje	
ST1 = 20 min Doplnění paliva, maziva, vody a pojiv do nádrží, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu, frézovacích trnů	

Asfaltový finišer – tradiční metoda rekonstrukce - časový snímek

Staničení	DEN 1	DEN 1
1200 m	R2b = 36 min Hutnění recyklované vrstvy	ST3 = 19 min Kontrola a kapalín, krátký odpočinek nebo střídání personálu.
	TB4 = 5 min Odpočinek / výměna strojníka	TB5 = 10 min Čekání na recyklér, Odpočinek / výměna strojníka
	R2a = 36 min Hutnění recyklované vrstvy	TB6 = 5 min Odpočinek / výměna strojníka
	TB3 = 10 min Čekání na recyklér, Odpočinek / výměna strojníka	R3b = 36 min Hutnění recyklované vrstvy
	ST2 = 19 min Kontrola a kapalín, krátký odpočinek nebo střídání personálu.	ST4 = 19 min Kontrola a kapalín, krátký odpočinek nebo střídání personálu.
		TB7 = 10 min Čekání na recyklér, Odpočinek / výměna strojníka
600 m	R1b = 36 min Hutnění recyklované vrstvy	R4a = 36 min Hutnění recyklované vrstvy
	TB2 = 5 min Odpočinek / výměna strojníka	TB8 = 5 min Odpočinek / výměna strojníka
	R1a = 36 min Hutnění recyklované vrstvy	R4b = 36 min Hutnění recyklované vrstvy
	TB1 = 10 min Čekání na recyklér, Odpočinek / výměna strojníka	
	CC = 15 min Studený start, zahřívání stroje, vyparkování stroje	
0 m	ST1 = 15 min Doplňování palíva, maziva, vody, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu stroje	ST5 = 15 min Kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu stroje. Parkování

Kompaktor ocelový – recyklace za studena - časový snímek

Staničení	DEN 1
	<p>ST2 = 15 min</p> <p>Dočištění stroje, kontrola technického stavu a hydrauliky. Zaparkování a zabezpečení stroje.</p>
1200 m	<p>TB5 = 10 min</p> <p>Čištění a sbalení stroje, kontrola technického stavu.</p>
	<p>R1 = 75 min</p> <p>Vlastní recyklace</p> 
800 m	<p>TB4 = 10 min</p> <p>Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer.</p>
	<p>R1 = 75 min</p> <p>Vlastní recyklace</p> 
600 m	<p>TB3 = 20 min</p> <p>Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer.</p>
	<p>R1 = 75 min</p> <p>Vlastní recyklace</p> 
300 m	<p>TB2 = 10 min</p> <p>Zběžná kontrola technického stavu stroje a kapalin, krátký odpočinek nebo střídání personálu. Časový buffer.</p>
	<p>R1 = 75 min</p> <p>Vlastní recyklace</p> 
	<p>TB1 = 20 min</p> <p>Vyparkování stroje, zapojení do sestavy, rozbalení topného roštu, časový buffer</p>
	<p>CC = 15 min</p> <p>Studený start, zahřívání stroje</p>
0 m	<p>ST1 = 20 min</p> <p>Doplňování plynu, paliva, maziva, kontrola a čištění filtrů. Kontrola technického stavu</p>

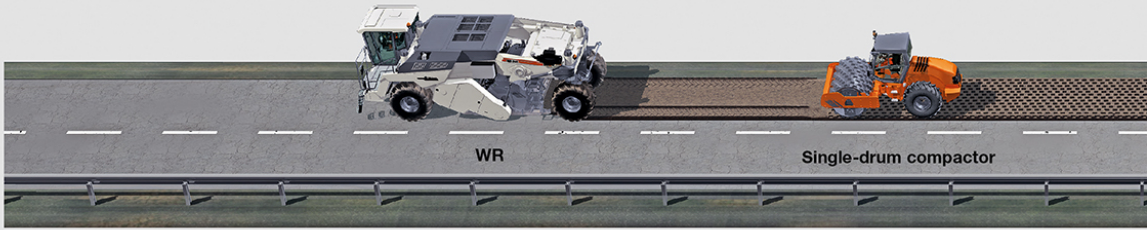
Recyklér horkých směsí – recyklace za horka - časový snímek

Příloha č. 4

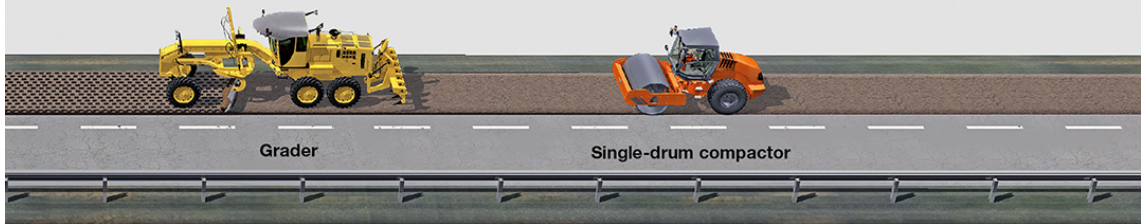
Sestavy strojů

V příloze jsou uvedeny vzorové příklady sestav strojů pro metodu recyklace za studena a její technologické varianty. Obrázky jsou převzaty přímo od výrobce speciálních stavebních strojů, firmy WIRTGEN GmbH.

Pulverization



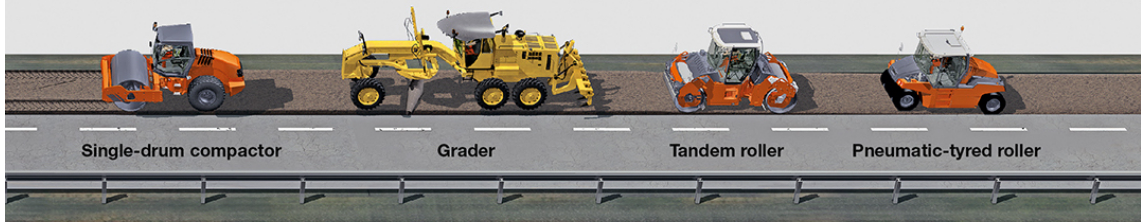
With its powerful milling and mixing rotor, the WR pulverizes damaged asphalt layers and part of the subgrade without the addition of binding agents. A grader is used to finish grade the pulverized, homogeneous granulated material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



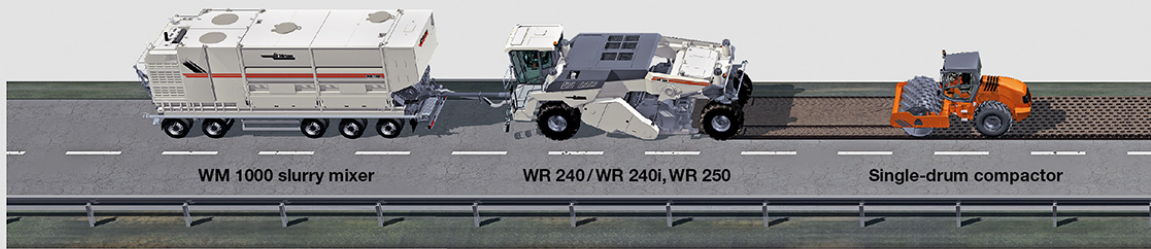
Recycling with pre-spread cement



To produce a hydraulically bound base layer, a Streumaster binder spreader pre-spreads a layer of cement, followed by a water tanker truck. The powerful milling and mixing rotor of the WR granulates the damaged pavement layers, simultaneously mixing in the pre-spread cement and injected water. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



Recycling with cement slurry



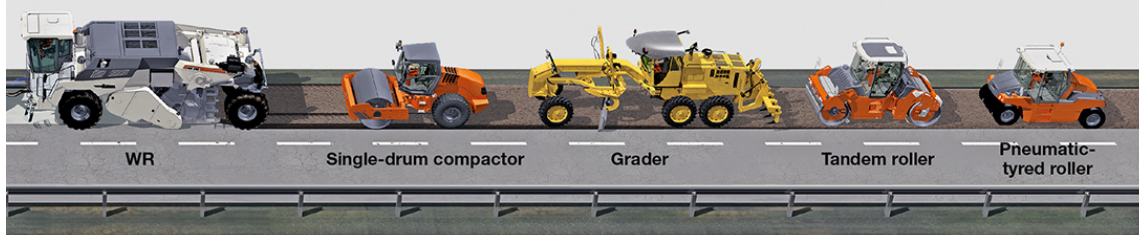
To produce a hydraulically bound base layer, a Wirtgen WM 1000 slurry mixer travels ahead of the WR 240/WR 240i, WR 250, supplying the recycler with cement slurry. The powerful milling and mixing rotor granulates the damaged pavement layers, simultaneously mixing in the cement slurry injected via an injection bar. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



Recycling with pre-spread cement and bitumen emulsion



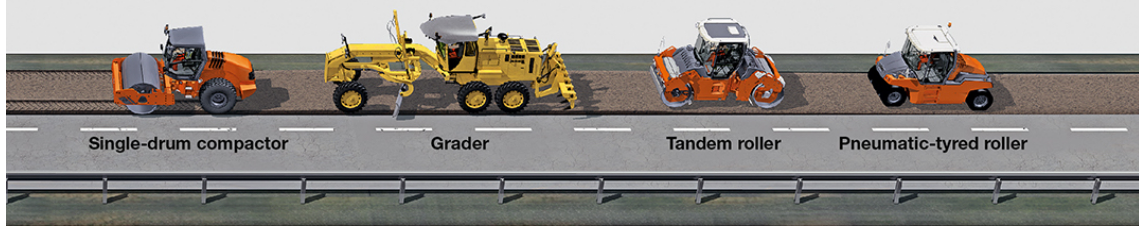
Small quantities of cement are pre-spread by a Streumaster binding agent spreader, which is followed by a water and an emulsion tanker truck. The powerful milling and mixing rotor of the WR granulates the damaged pavement layers, simultaneously mixing in the pre-spread cement as well as the water and bitumen emulsion injected into the mixing chamber via two separate, microprocessor-controlled injection bars. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



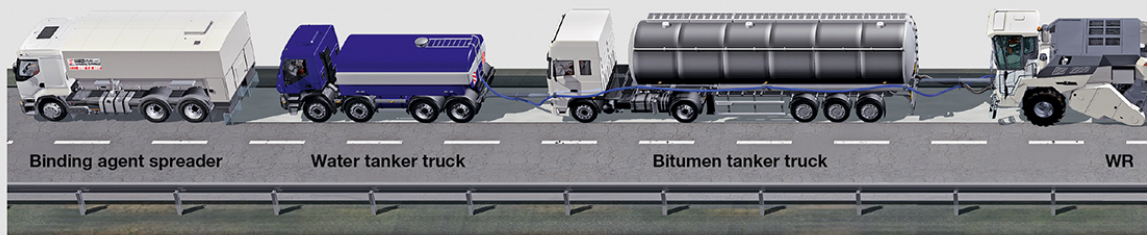
Recycling with cement slurry and bitumen emulsion



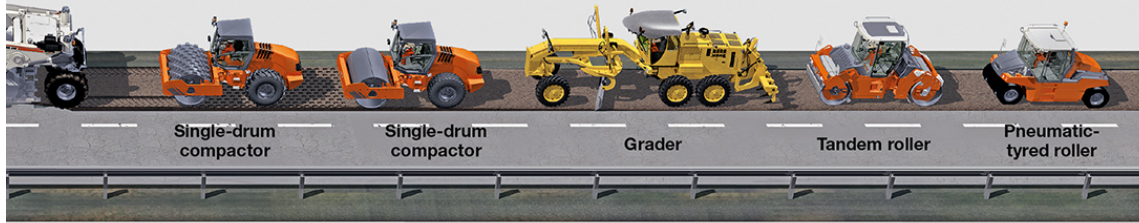
An emulsion tanker travels ahead, followed by a Wirtgen WM 1000 slurry mixer. The emulsion tanker and the slurry mixer supply the WR 240/WR 240i, WR 250 with the binding agents required for processing the pavement in need of rehabilitation. The powerful milling and mixing rotor of the WR 240/WR 240i, WR 250 granulates the damaged pavement layers, simultaneously mixing in the cement slurry and bitumen emulsion injected into the mixing chamber via two separate, microprocessor-controlled injection bars. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



Recycling with pre-spread cement and foamed bitumen



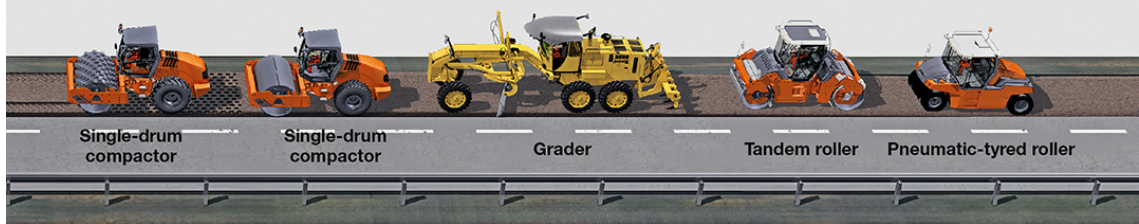
Small quantities of cement are pre-spread by a Streumaster binding agent spreader, which is followed by a water and a bitumen tanker truck. The powerful milling and mixing rotor of the WR granulates the pavement layers in need of rehabilitation, simultaneously mixing in the pre-spread cement as well as the water and foamed bitumen injected via two separate, microprocessor-controlled injection bars. Foamed bitumen is produced in so-called expansion chambers by means of injecting small amounts of water and compressed air into hot bitumen. The hot bitumen then foams abruptly, expanding to many times its original volume, and is evenly distributed in the mineral aggregate mix to be recycled. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



Recycling with cement slurry and foamed bitumen

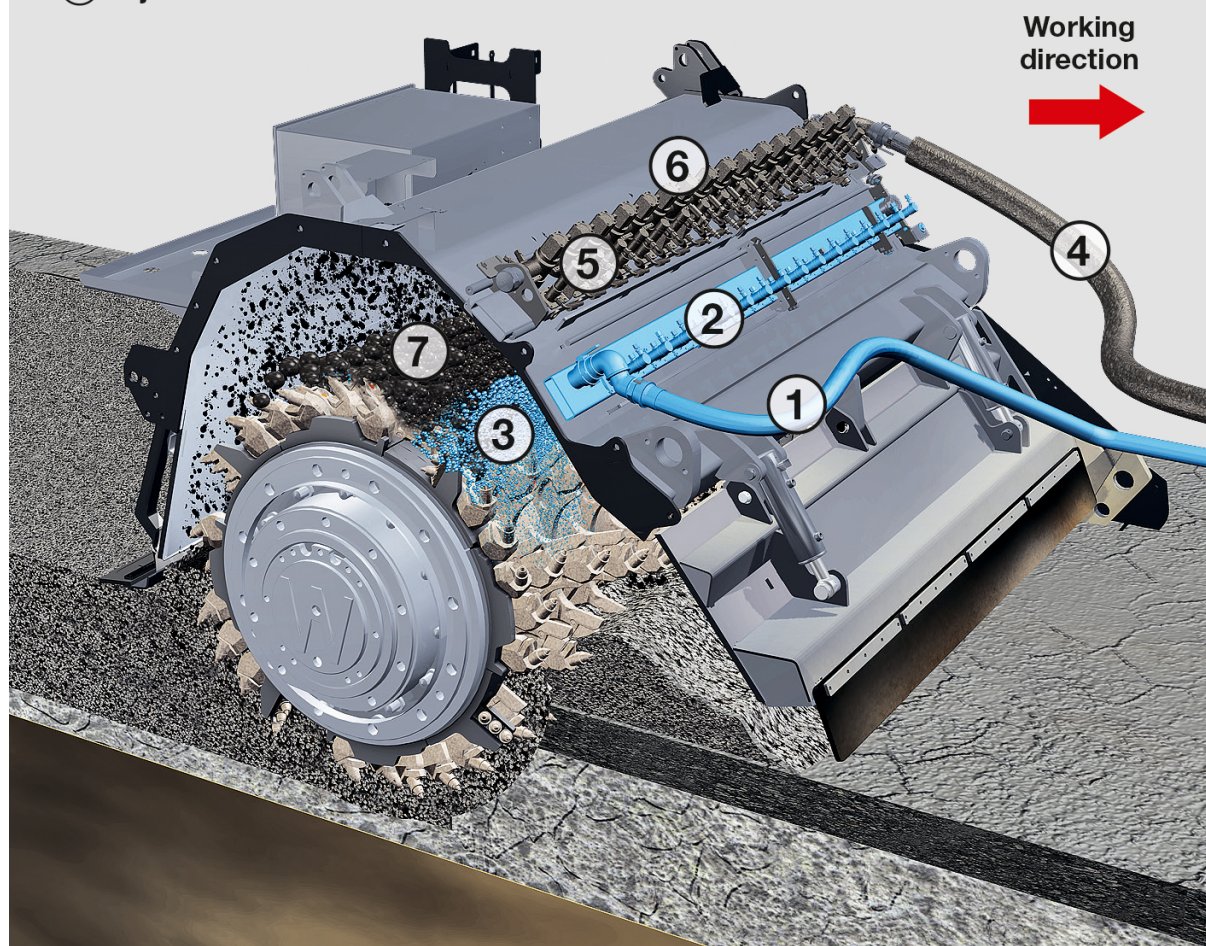


A bitumen tanker travels ahead, followed by a Wirtgen WM 1000 slurry mixer. The bitumen tanker truck and slurry mixer supply the WR 240/WR 240i, WR 250 with the binding agents required for processing the pavement in need of rehabilitation. The recycler's powerful milling and mixing rotor granulates the damaged pavement layers, simultaneously mixing in the cement slurry and foamed bitumen injected via two separate, microprocessor-controlled injection bars. A grader is used to finish grade the previously recycled, homogeneous construction material, and compaction is effected by various Hamm rollers.



Technologické varianty recyklace za studena – sestavy strojů

- ① Hose connection for water
- ② Injection bar for water
- ③ Injected water
- ④ Hose connection for hot bitumen
- ⑤ Injection bar for foamed bitumen
- ⑥ Expansion chambers for foaming
- ⑦ Injected foamed bitumen



Princip recyklace asfaltové vozovky za studena

Příloha č. 5

Odpisy strojů

V příloze je uveden princip výpočtu odpisu pro stavební stroje. Princip je užit ve výpočetních modelech *OptiRec*.

1 200 motohodin/rok

Servisní interval dle Telligent				
Náhradní díl / Operace	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok
Motorový olej Blatt 228.51		1		1
Olejevý filtr		1		1
Převodový olej Blatt 235.1		1		1
Olej zadní nápravy Blatt 235.0		1		1
Olej přední nápravy Blatt 235.0		1		1
Olej rozdělovací převodovky Blatt 235.11		1		1
Palivový filtr - sada filtr + předfiltr		1		1
AdBlue filtr		1		1
Vzduchový filtr		1		1
Výměna motorového oleje a filtru		1		1
Výměna oleje v mechanické převodovce		1		1
Výměna oleje v rozdělovací převodovce				
Výměna oleje zadní nápravy		1		1
Vúle ventilů nastavit	1			1
Výměna palivových filtrů		1		1
Výměna AdBlue filtru		1		1
Výměna vzduchového filtru		1		1

servisní interval - časová prohlídka 1x za rok

rok	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok
Náhradní díl / Operace				
Vysoušeč stlačeného vzduchu vložky s granul.		1		1
Chladicí kapalina Blatt 310.1			1	
Vazelína	1	1	1	1
Prachový filtr	1	1	1	1
Filtr sazí			1	
Filtr sazí - vratná hodnota			1	
Brzdová kapalina			1	
Údržbové práce jednou ročně(vč. prachového filtru)	1	1	1	1
Bezpečnostně významné práce	1	1	1	1
Promazání vozidla	1	1	1	1
Údržbové práce každé dva roky		1		1
Výměna vysouš. stlač. vzduchu vložky s granul.		1		1
Údržbové práce každé tři roky(vč. vým brzd. kap.)			1	
Výměna chladicí kapaliny			1	
Výměna fitru sazí			1	
Údržbové práce každých 6 let				
Krátký test	1	1	1	1

Cena jednotlivých prohlídek SV s inflací	6 156 CZK	27 803 CZK	29 011 CZK	31 123 CZK
Cena celkových prohlídek SV s inflací	6 156 CZK	33 959 CZK	62 970 CZK	94 093 CZK

Plán údržby nákladního automobilu

MB AROCS 3236 K 8x4/4 Euro 6

Pořizovací cena: (Nákl. auto bez nástavby)

2 337 500 _->

2,00% pořizovací hodnoty stroje tvoří roční náklady běžné údržby**v případě podvozku**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cena jednotlivých prohlídek SV s inflací	6 156	27 803	29 011	31 123	25 568	56 909	28 949	52 369	31 809	56 767
	0,0026	0,0119	0,0124	0,0133	0,0109	0,0243	0,0124	0,0224	0,0136	0,0243
Cena celkových prohlídek SV s inflací	6 156	33 959	62 970	94 093	119 661	176 571	205 520	257 889	289 698	346 465
										0,0148 _-> 2%

_-> 2,00% pořizovací hodnoty stroje

(evolena vyšší hodnota, jelikož částka nezahrnuje opravu náhodných poruch)

MB AROCS 3236 K 8x4/4 Euro 6 + StreuMaster MC16 Binder spreader

Pořizovací cena: (Nákl. auto s nástavbou)

5 637 500 _->

1,70% pořizovací hodnoty stroje tvoří roční náklady běžné údržby**v případě podvozku s nástavbou, např. StreuMaster**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cena jednotlivých prohlídek SV s inflací	6 156	27 803	29 011	31 123	25 568	56 909	28 949	52 369	31 809	56 767
	0,0011	0,0049	0,0051	0,0055	0,0045	0,0101	0,0051	0,0093	0,0056	0,0101
Cena celkových prohlídek SV s inflací	6 156	33 959	62 970	94 093	119 661	176 571	205 520	257 889	289 698	346 465
										0,0061 _-> 0,6%

0,60% pořizovací hodnoty stroje

ale

1,20% pořizovací hodnoty stroje

(evolena vyšší hodnota, jelikož částka nezahrnuje servis a údržbu nástavby)

1,70% pořizovací hodnoty stroje

(evolena vyšší hodnota, jelikož částka nezahrnuje opravu náhodných poruch)

Princip stanovení nákladů údržby pro výpočetní modely OptiRec

Příloha č. 6

Princip výpočtu spotřeby paliva

V příloze je popsán princip, jakým výpočetní modely *OptiRec* počítají spotřebu paliva pro stavební stroje.

Jelikož ani výrobce neudává detailní přehled o spotřebě pohonných hmot, natož závislost hloubky recyklace vs. rychlost recyklace vs. spotřeba paliva, bylo nutné si analytickou metodou a ostatními dostupnými nebo zjištěnými informacemi a prostředky, potřebné hodnoty dopočítat. Princip výpočtu je prezentován na recykléru Wirtgen WR 240i.



Recyklér Wirtgen WR 240i

Data týkající se spotřeby stroje: (zdroj: Wirtgen GmbH)

Definice:	Spotřeba:
Plný výkon (tabulková hodnota)	118 l/mth
2/3 výkon (tabulková hodnota)	79 l/mth
2/3 výkon (zkušenost stavba)	76 l/mth
Denní průměrná (zkušenost stavba)	59 l/h

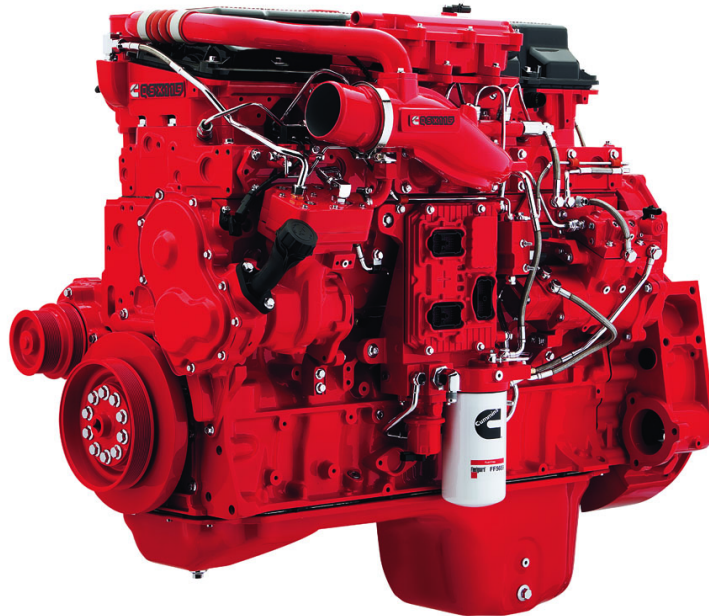
Výrobce poskytnul pouze výše zobrazená technická data týkající se spotřeby paliva, ovšem bez bližší specifikace, jak je např. hodnota *denní průměrná* spotřeba definována. Toto bylo pro další výpočty nedostatečné, jelikož je nutné vypočítat ekonomickou náročnost recyklace, jakožto i uhlíkovou stopu, emise CO, NOx+HC a PM (pevné částice). Klíčové bylo získat hodnotu spotřeby stroje na volnoběh, jelikož tato hodnota tvoří nemalou část času denní činnosti stroje.

Základní úvaha:

denní využití stroje:	75%	
resp. např.		
proces recyklace	6 hod	2/3 výkonu
technické přestávky a pauzy	2 hod	volnoběh nebo vypnutý motor

celkem pracovní den	8 hod	

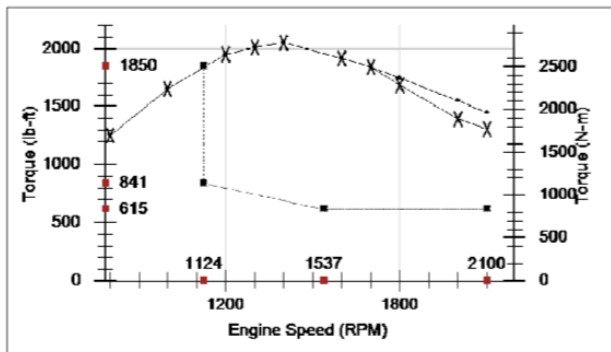
Možností jak ověřit relativní správnost poskytnutých dat výrobcem a jedinou možností, jak zjistit hodnotu spotřeby paliva na volnoběh, vedla přes technická data motoru.



Dieselový motor Cummins QSX15 (433 kW)

Důležité hodnoty z datasheetu motoru:

maximální točivý moment volnoběhu	1200 RPM
minimální točivý moment volnoběhu	700 RPM
minimální otáčky motoru pro zajištění plynulého chodu operace	1800 RPM
maximální předběh motoru	2625 RPM

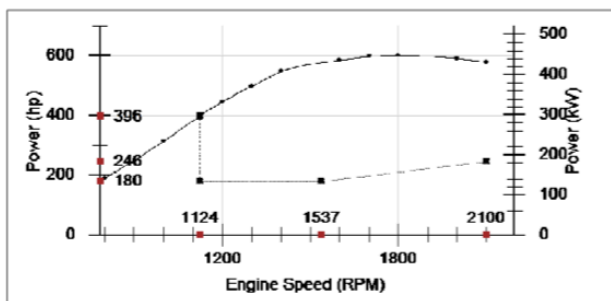


Točivý moment / Otáčky motoru

Torque Output

RPM	300 ft		5,500 ft	
	lb-ft	N-m	lb-ft	N-m
800	1,250	1,695	1,250	1,695
1,000	1,650	2,237	1,650	2,237
1,200	1,950	2,644	1,950	2,644
1,300	2,010	2,725	2,010	2,725
1,400	2,050	2,779	2,050	2,779
1,600	1,920	2,603	1,920	2,603
1,700	1,840	2,495	1,840	2,495
1,800	1,750	2,373	1,683	2,282
2,000	1,550	2,102	1,395	1,891
2,100	1,450	1,966	1,305	1,769

Točivý moment

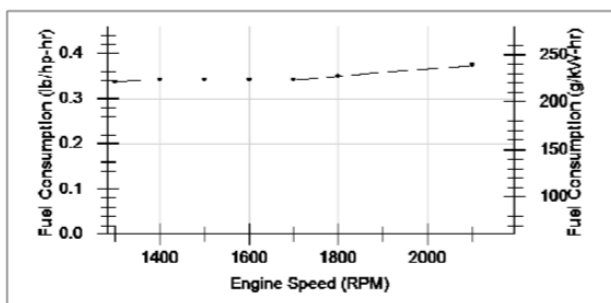


Výkon / Otáčky motoru

Power Output

RPM	hp	kW
800	190	142
1,000	314	234
1,200	446	333
1,300	498	371
1,400	546	407
1,600	585	436
1,700	596	444
1,800	600	447
2,000	590	440
2,100	580	433

Výkon



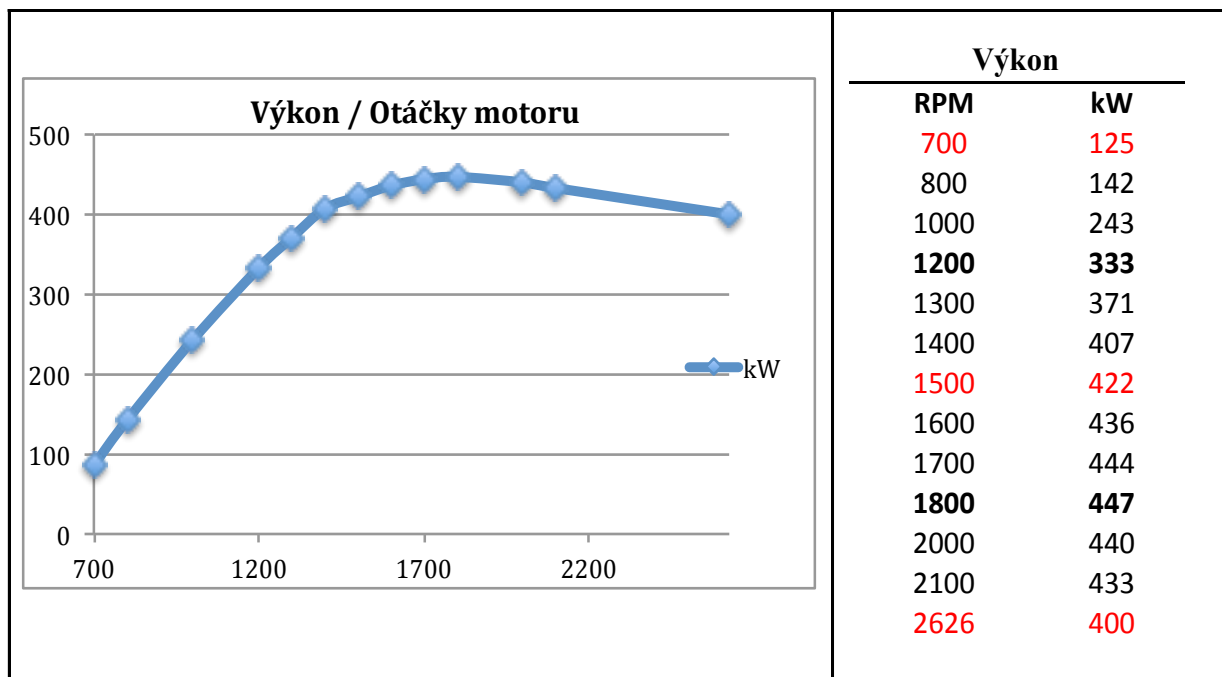
Spotřeba paliva / Otáčky motoru

Fuel Consumption

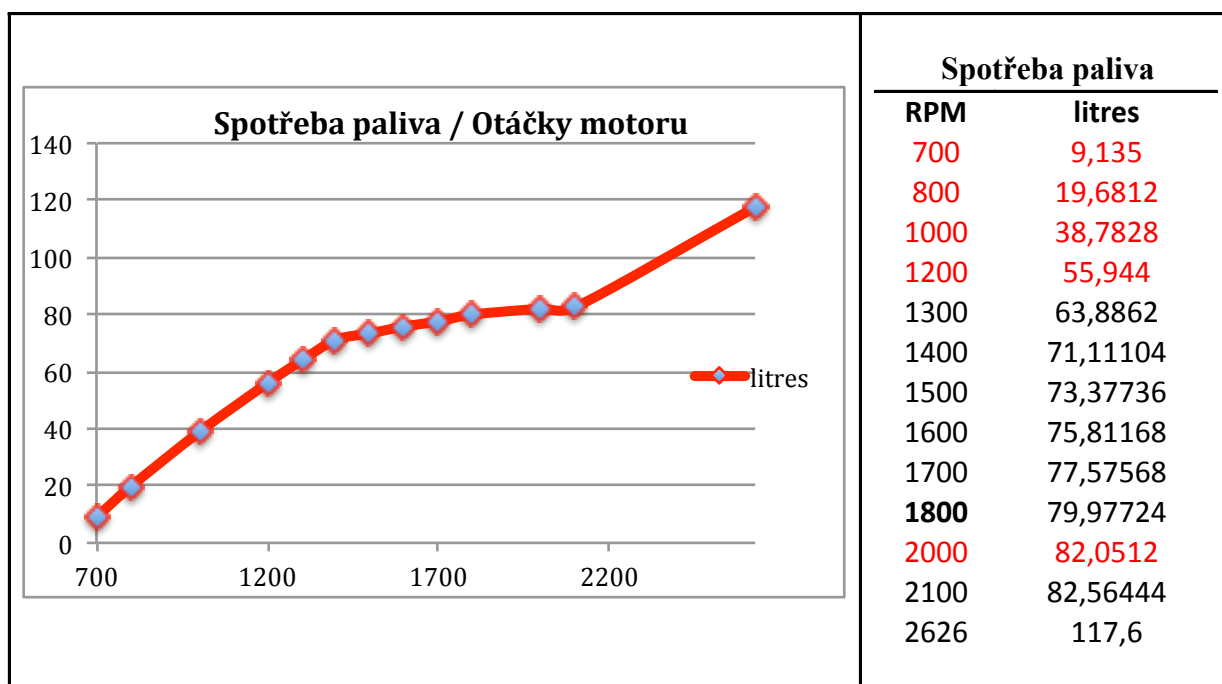
RPM	lb/hp-hr	g/kW-hr
1,300	0.337	205
1,400	0.342	208
1,500	0.341	207
1,600	0.341	207
1,700	0.342	208
1,800	0.35	213
2,100	0.374	227

Spotřeba paliva

Jelikož hodnota spotřeby paliva motoru pro minimální i maximální točivý moment motoru není ani v datasheetu motoru obsažena, bylo nutné ji dopočítat a reálnost výsledku ověřit s distributorem motorů Cummins v ČR.



Dopočet výkonu a otáček motoru



Dle vypočtených hodnot lze předpokládat, že volnoběh se pohybuje spíše u minimální hranice otáček motoru na volnoběh, tudíž lehce přes 700 RPM. Výše vedené hodnoty jsou uvedeny pro neostrojený motor, resp. motor, na něj není napojena žádná čerpadla, převodovky či jiná přídatná zařízení. Tato zařízení motor zatěžují a dá se předpokládat, že vyžadují i mimo jiné zvýšení minimálních otáček volnoběhu.

Po rozboru hodnoty denní spotřeby stroje na staveništi dle zvolené úvahy 6+2 hodiny, docházíme k následujícímu zjištění:

$$59 \cdot 8 = 6 \cdot 76 + 2 \cdot x \quad \rightarrow x = 8 \text{ l/h}$$

Závěrem lze konstatovat, že průměrná hodinová spotřeba byla vypočtena na hodnotu 8 l nafty. Důležité je však si uvědomit, že 2 hodiny technických přestávek zahrnují i kontrolu stroje, doplnění paliva, maziv, čištění a další. V průběhu těchto výkonů standardně motor neběží, nebo je přímo výrobcem zakázáno aby bylo nastartováno. Z praktické zkušenosti na stavbě lze odhadovat čas, kdy motor neběží přibližně mezi 1/4 a 1/3 celkové doby technických přestávek.

Spotřeba volnoběh:

1/4 TPnečinnost motoru	30 min	10,7 l/mth
1/3 TPnečinnost motoru	40 min	11,9 l/mth

Jako průměrná spotřeba stroje Wirtgen WR 240i na volnoběh byla zvolena hodnota 12 l/mth.

Příloha č. 7

Srovnání naměřených vs. kalkulovaných hodnot

Projekt: N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo (Irsko)

V příloze jsou uvedeny reálně naměřené hodnoty spotřeby pohonných hmot recykléru studených asfaltových směsí (klíčový stroj). Naměřené hodnoty jsou porovnány s kalkulovanými hodnotami nástrojem *OptiRec CR*.

Day	Consumption (l/diesel)	Recycler type	
09.09.14	340	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0197)	
subtotal	340		
10.09.14	450	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0197)	
subtotal	450		
11.09.14	520	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0197)	
subtotal	520		
12.09.14	660	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0197)	
subtotal	660		
15.09.14	540	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0197)	
15.09.14	510	Road Recycler Wirtgen WR2400i (10WR0037)	
subtotal	1050		
16.09.14	0	Road Recycler Wirtgen WR2400i (10WR0037)	missing data
16.09.14	620	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0277)	
subtotal	620		
17.09.14	425	Road Recycler Wirtgen WR2400i (10WR0037)	
17.09.14	600	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0277)	
subtotal	1025		
18.09.14	389	Road Recycler Wirtgen WR2400i (10WR0037)	
18.09.14	582	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0277)	
subtotal	971		
19.09.14	405	Road Recycler Wirtgen WR2400i (10WR0037)	
19.09.14	585	Road Recycler Wirtgen WR2400 (05WR0277)	
subtotal	990		
Total	6626		

Reálná data o spotřebě recyklérů ze stavby

Legend:

Irish data
Vaclav's assumptions and calculations from Irish data
OptiRec data output (based on Wirtgen data provided)

Project parts

Chainage	Description	Recycling technology	Recycling depth (mm)	Asphalt binder (mass %) added	Cement (mass %) added	Water (mass %) added	CRF (mass %) added	Date	Project Consumption (t)	Road length (m)	No. of layers (recycler passes)	No. of lanes (recycler)
0-200	300mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 2.2%, cement content of 1.5% added, CRF excluded and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement (2 layer recycling)	300	? 2.2	1.5	? 4	0	09.09.14	340	200	2	3
200-500	300mm existing pavement recycled (Pavement Option Type 1) to achieve a residual binder content of 3%, 1% cement content, 10% CRF and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	300	? 3.0	1	? 4	? 10	10.09.14	450	300	2	3
500-700	300mm existing pavement recycled (Pavement Option Type 1) to achieve a residual binder content of 3%, 1% cement content, 10% CRF and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	300	? 3.0	1	? 4	? 10	11.09.14	347	200	2	3
1690-1800	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 2.2%; Cement content of 0%; CRF excluded from the mix, Total Moisture Content 4%.	CR - bit. emulsion, cement (2 layer recycling)	250	? 2.2	0	? 4	0	11.09.14	173	110	2	3
1800 - 2020	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 3%; Cement content of 1%; CRF 10%; Total Moisture Content 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	250	? 3.0	1	? 4	? 10	12.09.14	660	220	2	3
2020 - 2450	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 3%; Cement content of 1%; CRF 10%; Total Moisture Content 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	250	? 3.0	1	? 4	? 10	15.09.14	1050	430	2	3
700 - 970	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix - Binder 125 Pen	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	300	?	1	?	? 10	16.09.14	620	270	2	3
970-1180	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix - Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	300	?	1	?	? 10	17.09.14	1025	210	2	3
1180-1400	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix - Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	300	?	1	?	? 10	18.09.14	971	220	2	3
1400-1620	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix - Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	300	?	1	?	? 10	19.09.14	990	220	2	3
TOTAL									6626	2380	-	-
Average day reconstruction length										238		

Srovnání reálně naměřených dat vs. výsledky z OptiRec

Recyclers (WR 2400)																			
Total Recycling length (m)	Recycling width (m)	Average Recycling speed (m/min)	Net working time (h)	Machine usage (%)	Total time on project (h)	Average consumption (l/h)	Idling and cold crank coefficient	Avg. Consumption 2/3 charge Measured on job site [l/Whr] - OptiRec	Avg. Consumption Full charge [l/Whr] - OptiRec	OptiRec fuel consumption on project 2/3 Charge	OptiRec fuel consumption on project Full Charge	Grave Emulsion (Litres)	Cement (Kg)	CRF (Kg)	Rate of Production (M/Min)	Pad Foot Roller (No. of Passes)	PTR Roller (No. of Passes)	Steel Drum Roller (No. of Passes)	
1200	7,2	2,5	8,00	75%	10,67	42,50	1,034	67,00	100,00	554	827	28,279	12,42	0	2,5	4	4	15	10
1800	7,2	2,5	12,00	75%	16,00	37,50	1,034	67,00	100,00	831	1241	55,261	12,834	125,62	3,2	4	4	20	10
1200	7,2	2,5	8,00	75%	10,67	43,38	1,034	67,00	100,00	554	827	36,38	8,5	81,26	2,8	4	4	20	10
660	7,2	2,5	4,40	75%	5,87	39,32	1,034	67,00	100,00	305	455	14,821	0	0	3	4	4	20	12
1320	7,2	2,5	8,80	75%	11,73	75,00	1,034	67,00	100,00	610	910	41,073	7,8	76,56	2,3	4	4	10	8
2580	7,2	2,5	17,20	75%	22,93	61,05	1,034	67,00	100,00	1192	1778	71,336	15,3	115,1	2	4	4	22	10
1620	7,2	2,5	10,80	75%	14,40	57,41	1,034	67,00	100,00	748	1117	26,3	11,18	96,56	2,2	2	2	20	8
1260	7,2	2,5	8,40	75%	11,20	122,02	1,034	67,00	100,00	582	869	27,251	8,8	56,9	3,5	2	2	20	8
1320	7,2	2,5	8,80	75%	11,73	110,34	1,034	67,00	100,00	610	910	27,492	10	71,6	3,5	2	2	20	8
1320	7,2	2,5	8,80	75%	11,73	112,50	1,034	67,00	100,00	610	910	24,95	9,5	56,46	3,3	2	2	22	6
14280		2,5	95,2	0,75	126,9	70,10	-	-	-	6595	9844	-	-	-	-	-	-	-	-

Srovnání reálně naměřených dat vs. výsledky z OptiRec

Chainage	Description	Recycling technology	Project Consumption (l)	OptiRec fuel consumption on project (l) (2/3 Charge)	Difference (%)
0-200	300mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 2.2%, cement content of 1.5% added, CRF excluded and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement (2 layer recycling)	340	554	6,9
200-500	300mm existing pavement recycled (Pavement Option Type 1) to achieve a residual binder content of 3%, 1% cement content, 10% CRF and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	450	831	12,3
500-700	300mm existing pavement recycled (Pavement Option Type 1) to achieve a residual binder content of 3%, 1% cement content, 10% CRF and total moisture content of 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	347	554	6,7
1690-1800	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 2.2%; Cement content of 0%; CRF excluded from the mix, Total Moisture Content 4%.	CR - bit. emulsion, cement (2 layer recycling)	173	305	4,3
1800 - 2020	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 3%; Cement content of 1%; CRF 10%; Total Moisture Content 4%	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	660	610	-1,6
2020 – 2450	250mm existing pavement recycled to achieve a residual binder content of 3%; Cement content of 1%; CRF 10%; Total Moisture Content 4%.	CR - bit. emulsion, cement, aggregate (2 layer recycling)	1050	1192	4,6
700 – 970	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix – Binder 125 Pen	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	620	748	4,1
970-1180	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix – Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	1025	582	-14,3
1180-1400	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix – Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	971	610	-11,7
1400-1620	300mm existing pavement recycled + 10% CRF + 1% Cement + Foam mix – Binder 125 Pen.	CR - foamed bit., cement, aggregate (2 layer recycling)	990	610	-12,3
TOTAL			6626	6595	-1,0

Srovnání výsledků spotřeby paliva

Závěrem lze konstatovat, že celková naměřená data spotřeby recyklérů na stavbě se od hodnot zkalkulovaných výpočetním nástrojem *OptiRec CR* liší v rozmezí 1,6 až 14,4 %, nicméně v součtu za celý projekt je rozdíl pouhé 1%.

Příloha č. 8

Porovnání kalkulovaných hodnot

SW nástroje: OptiRec CR vs. asPECT

Projekt: N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo (Irsko)

V příloze jsou uvedeny kalkulované hodnoty realizovaného projektu N77 - Hennebrys Cross to Ardaloo v Irsku. Hodnoty byly kalkulovány jak vlastním nástrojem *OptiRec CR* tak konkurenčním britským nástrojem *asPECT*.

OR = OptiRec data

Mixture	Quantity produced (t)-Matt	Quantity produced (t)-OptiRec (RAP=2350 Kg/m3) + new materials mixed in	Diesel consumption (L)						Vaclav's Estimation - Mats Total CO2 on section (t)	Total CO2 on section (t) OR	Cradle-to-site CO2e footprint (kgCO2e per t)	Cradle-to-site CO2e footprint (kgCO2e per t) OR	Deviation - Cradle-to-site CO2: Matt vs OptiRec (kgCO2e per t) OR	Deviation % - Cradle-to-site CO2: Matt vs OptiRec (kgCO2e per t) OR
			Mixing	Mixing OR	Installation	Installation OR	Total	Total OR						
Mixture 1 (Emulsion mix with cement)	864,34	993,50	340	554	410	121	750	675	18,93	22,51	21,9	22,66	-0,76	-3,46
Mixture 2 (Emulsion mix with cement)	1296,51	1359,63	450	831	289	192	739	1023	24,74	25,16	19,08	18,51	0,57	3,01
Mixture 3 (Emulsion mix with cement)	864,34	932,75	520	554	346	128	866	682	16,95	17,02	19,61	18,25	1,36	6,95
Mixture 4 (Emulsion mix without cement)	396,15	449,06		305		67		372	3,50	4,62	8,84	10,29	-1,45	-16,38
Mixture 5 (Emulsion mix with cement)	792,31		660		350		1010		18,10		22,85			
Mixture 6 (Emulsion mix with cement)	1548,6		1050		372		1422		31,99		20,66			
Mixture 7 (Foam mix with cement)	1166,86	1427,28	620	749	308	177	928	926	20,62	20,54	17,67	14,39	3,28	18,56
Mixture 8 (Foam mix with cement)	907,55	1097,33	1025	582	288	138	1313	720	19,68	17,44	21,68	15,89	5,79	26,69
Mixture 9 (Foam mix with cement)	950,77	1163,15	971	610	281	144	1252	754	20,71	18,9	21,78	16,25	5,53	25,39
Mixture 10 (Foam mix with cement)	950,77		990		298		1288		19,64		20,66			
Total (not comparable)	9738	7423	6626	4185	2942	967	9568	5152	195	126	195	116		
Total (only comparable fields)	6447	7423	3926	4185	1922	967	5848	5152	125	126	131	116	14	11

Srovnání výsledků OptiRec CR vs asPECT

Závěrem lze konstatovat, že v *OptiRec CR* z kalkulovala hodnota ekvivalentu kgCO₂e/t se od hodnot z kalkulovalých výpočetním nástrojem *asPECT* liší v rozmezí 3,0 až 26,7 %, nicméně v celkovém součtu za celý projekt je rozdíl pouhých 11 %.

Příloha č. 9

Formulář exportu

V příloze je uveden příklad exportního formuláře. Formulář byl vytvořen jako koncept a napojen na vývojovou fázi nástroje *OptiRec CR* – recyklace za studena. Stalo se tak v rámci zahraniční stáže projektu AKCION. Na aktuální verzi SW nástroje *OptiRec* ani *OptiVote* není formulář aktivně napojen. S exportem do formuláře v této podobě se počítá při budoucím rozvoji, kdy by došlo k naprogramování SW nástroje *OptiRec* a *OptiVote* jako webové aplikace.

OptiRec

Performance sheet: CR - foamed bitumen, pre-spreaded cement

Project: Kolin bypass

Date: 17.07.14

Calculated by: Snizek

CTU in Prague

Faculty of Civil Engineering

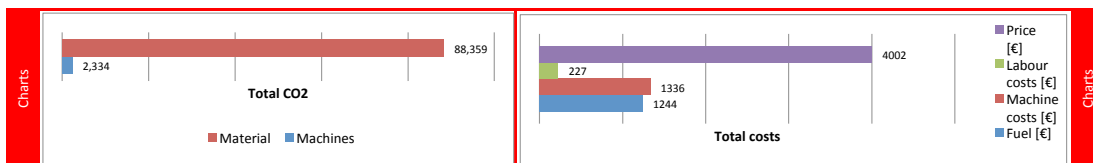
Department of Road Structures

Basic parameters	Road location (Continent):	Europe	 <p>Map</p>	 <p>Photo</p>	Map & Photo
	Road location (Country):	Czech Republic			
	Road classification:	1st Class road			
	Pavement structure type:	Asphalt pavement			
	Length [m]:	1200,00			
	Width avg. [m]:	4,85			
	Rehabilitation depth [mm]:	150			

Machines & Labour	Operator gross salary [€/hr]	15,00	Foamed bitumen: Price [€/t] 25,0 Mass added [%] 3,5			
	Worker gross salary [€/hr]	10,00	Bitumen emulsion: Price [€/t] 20,0 Mass added [%] 4,0			
	Salary multiplier	-	Water: Price [€/m3] 15,0 Mass added [%] 2,0			
	Diesel fuel price [€/l]	1,35	Cement 32,5 R: Price [€/t] 15,0 Mass added [%] 3,0			
	Way of Rehabilitation	CR - foamed bitumen, pre-spreaded cement				
	Machine set character [size]:	Big project machines				

No.	Code	Machine	Time [h]	Fuel [l]	Fuel [€]	Machine costs [€]	Labour costs [€]	TOTAL costs [€]	CO2 [t CO2e]	Nox + HC [t]	CO [t]	PM [t]
1	SB	SW 12 MC (MB Arocs 3236K, 3-axle) (12m3) (2,46m)	3,67	19,0	27,0	43,8	8,8	79,6	0,051	0,129	0,368	0,002
2	TW	MB Actros 4041-A Ravasini (3-axle) (20m3)	11,13	39,7	56,3	103,0	26,7	186,0	0,106	9,598	3,541	0,169
3	TBS	MB Arocs 1845 LS 4x2 (3-axle) + LAG Mono Tank. Special.(31m3)	13,39	44,5	63,1	200,5	32,1	295,8	0,118	0,950	2,658	0,018
4	RC,S,P	WR 2000 (2nd) (2,0m)	13,33	486,3	689,4	648,0	53,3	1390,7	1,294	8,861	7,701	0,440
5	CO	Hamm H11i (2,14m; Padft.) (12t)	11,05	66,7	94,5	102,9	26,5	223,9	0,177	0,941	1,489	0,011
6	GR	New Holland F 156.6 A (3,66m)	11,13	93,8	133,0		26,7		0,250	2,694	2,364	0,135
7	RT	Hamm HD+ 140 VO (2,31m) (14t)	11,05	66,7	94,5	121,9	26,5	242,9	0,177	1,719	1,489	0,085
8	RS	Hamm GRW 280-16i (2,084m) (16t)	11,05	60,7	86,0	116,4	26,5	228,9	0,161	0,769	1,217	0,009
9		0										
10		0										
Σ TOTAL			86	877	1244	1336	227	2648	2,334	25,660	20,828	0,868

No.	Code	Machine	Bulk gravity [t/m3]	CO2 [t CO2 ekv./t]	Material [kg/m2]	Material added [m3]	Material added [t]	Price [€]	CO2 [t CO2e]
1	W	Water	1,00	0,0003	7,2	51,8	51,8	777,6	0,016
2	BH	Cement 32,5 R	1,25	0,9800	10,8	51,0	63,8	956,4	62,488
3	BB	Bitumen (for foam)	1,10	0,2850	12,6	82,5	90,7	2268,0	25,855
4	BB	0							
5	A	0							
Σ TOTAL			-	-	31	185	206	4002	88,359



No.	Code	Machine	Time [h]	Fuel [l]	Fuel [€]	Machine costs [€]	Labour costs [€]	TOTAL costs [€]	CO2 [t CO2e]	Nox + HC [t]	CO [t]	PM [t]
1	P	P - Pulverization	19,05	0	1577,12	1592,05	209,156	3664,08	3,995	20,054	24,518	0,620
2	R	R - Pre-spreaded cement	19,05	236,52	1786,12	2092,22	312,567	8097,62	134,739	37,547	33,059	0,920
3	R	R - Cement slurry	19,05	259,2	2422,71	3220,5	333,785	11418,7	196,688	56,976	37,362	2,034
4	CR	CR - foamed bitumen	22,32	285,12	1947,38	2495	395,693	11344,6	56,675	41,780	39,360	1,087
5	CR	CR - foamed bitumen, pre-spreaded cement	22,32	417,96	1980,7	2578,51	410,357	13480,4	186,942	41,994	39,972	1,091
6	CR	CR - foamed bitumen, cement slurry	22,32	440,64	2500,64	3554,65	387,356	16447,6	248,596	58,559	41,793	2,063
7	CR	CR - bitumen emulsion	22,32	311,04	1830,73	2337,5	351,473	10596,6	50,496	38,915	36,877	0,945
8	CR	CR - bitumen emulsion, pre-spreaded cement	22,32	443,88	1864,05	2421,01	366,138	12732,4	180,763	39,129	37,490	0,949
9	CR	CR - bitumen emulsion, cement slurry	22,32	466,56	2383,98	3397,15	343,137	15699,6	242,417	55,694	39,311	1,921

Contact: Vaclav Snizek (snizekv@gmail.com)	Created by:	Inspected by:
© 2014 CTU in Prague - Dipl.-Ing. Vaclav Snizek, Wirtgen GmbH	Date / Signature	Date / Signature

Koncept formuláře pro export z OptiRec CR