

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Dany Měšťanové, CSc.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

7. 1. 2016

Pavel Koláčný

**INOVACE V SILNIČNÍCH
STAVBÁCH**

**INNOVATIONS IN ROAD
CONSTRUCTION**

ABSTRAKT

Pro zkvalitňování dopravní infrastruktury v oblasti silničního stavitelství, s důrazem na dálniční stavby, je v České republice nezbytné posílení úlohy inovačních přístupů. Práce shrnuje druhy inovací v silničním stavitelství a poukazuje na jejich význam při přípravě, výstavbě, rekonstrukcích, opravách a údržbě pozemních komunikací. Rovněž se zabývá možnostmi využití BIM v projektech dopravní infrastruktury a novelou zákona EIA (Environmental Impact Assessment). Řešeny jsou i problémové oblasti, jež jsou slabým článkem v komplexním pojetí dokončování pro průjezdnost stanovených tras – jako např. dokončení okruhu okolo Prahy, jež je pro Ministerstvo dopravy a Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD) jakožto investora, jednou z priorit. Kromě sporů o vedení trasy v severní části je klíčovým úsekem jihovýchodní část, konkrétně úsek 511 Běchovice – D1. Úsek se po dokončení stane jednou z nejfrekventovanějších komunikací v ČR. Jedná se však o problematickou stavbu z důvodů obav z nadměrného hluku a stále nevykoupených pozemků. Proto projekt počítá s řadou inovativních řešení – jako s nejmodernějšími protihlukovými stěnami a s použitím inovativního tichého asfaltu. Dopady z dopravy na komunikacích je třeba mimo posuzování v životním cyklu těchto staveb řešit i s ohledem na dopravní hluk po stránce výběru povrchu, a k tomu je třeba využít vhodně zvolených rozhodovacích postupů. Avšak dopravní hluk by neměl být jediným hlavním kritériem pro výběr povrchu na této stavbě.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Silnice a dálnice

Inovace

BIM

EIA

Multikriteriální hodnocení

Rozhodování

Tichý asfalt

ABSTRACT

It is necessary in Czech Republic to strengthen the role of innovative approaches for the improvement of transport infrastructure in the area of road construction, especially on highway construction. This thesis summarizes the types of innovations in road construction and highlights their importance in the preparation of construction, construction, reconstruction, repair and maintenance. It also deal with the possibility of using BIM in transport infrastructure projects and with amendment of the EIA act. The solutions are also problem areas, which are the weak link in the complex concept to completion passability specified routes - such as completion of the ring highway around Prague, which is the highest preference for the Ministry of Transport and ŘSD as an investor. In addition to disputes about direction in the northern sector of the route is a key part of the southeast sector, namely section 511 Běchovice – D1. The section will be one of the busiest communications in the country after completion. However, this is problematic construction because of concerns of excessive noise and still unredeemed parcels. Therefore, the project counts with the most advanced noise barriers and with using innovative silent asphalt. Impacts of traffic on roads is necessary to deal with of assessment in the life cycle of these structures and also with regard to traffic noise after the selection of the surface, and it must be used appropriately selected decision-making procedures. But traffic noise should not be the only main criterion for selecting the right surface at this construction.

KEY WORDS

Road and highways

Innovations

BIM

EIA

Multi-criteria assessment

Decision-making

Silent asphalt

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Pozemní komunikace	9
2.1 Rozdělení pozemních komunikací	9
2.2 Vlastnictví, správa a údržba	10
2.3 Páteří síť silnic a dálnic ČR.....	11
2.4 Nový zákon o zadávání veřejných zakázek.....	13
2.5 Stav vozovek	15
2.5.1 Stav vozovek z hlediska protismykových vlastností.....	15
2.5.2 Stav vozovek z hlediska únosnosti.....	15
2.5.3 Stav vozovek z hlediska podélných řezů.....	16
2.6 Intenzita dopravy.....	16
2.7 Bezpečnost silničního provozu.....	18
3. Inovace v silničním stavitelství	20
3.1 Nové technologie pro opravy, údržbu a rekonstrukce silnic	21
3.1.1 Inovace asfaltových obrusných vrstev	23
3.1.2 VIAPHONE®	25
3.1.3 Inovace cementobetonových obrusných vrstev.....	27
3.1.4 Recyklace materiálu vozovek.....	29
3.1.5 Bioasfalt	34
3.1.6 Protihlukové stěny.....	34
3.1.7 Mechanizace.....	36
3.1.8 PlasticRoads	38
3.1.9 Smart Highways	40
3.2 Význam inovací.....	41
4. BIM v silniční infrastruktuře.....	43
4.1 BIM ve výstavbových projektech české dopravní infrastruktury	43
4.2 BIM definice	46
4.2.1 Hlavní použití a výhody	47
4.2.2 Situace v ČR.....	47
5. Novela zákona EIA	49
5.1 Změny.....	49

5.2 Problémy a důsledky	50
5.3 Řešení současných problémů	52
6. Problematická dostavba Pražského okruhu	53
6.1 Stav přípravy	57
6.2 Problémy v povolovacím procesu	57
6.3 Nároky na stavbu.....	58
7. Rozhodování ve výběru povrchu okruhu u Běchovic	59
7.1 Metody stanovení souboru kritérií	59
7.1.1 Stanovení hodnotících kritérií	60
7.2 Metody stanovení vah kritérií	61
7.2.1 Metfesselova alokace	61
7.2.2 Párové porovnání.....	62
7.2.3 Saatyho metoda	63
7.3 Metody používané při rozhodování.....	67
7.3.1 Bodovací metoda s váhami	67
7.3.2 Metoda indexových koeficientů	68
7.3.3 Kompenzační metoda.....	71
7.3.4 Metoda lineárních dílčích funkcí utility	71
7.3.5 Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou	74
7.4 Vyhodnocení variant	77
8. Závěr.....	80
9. Seznam literatury.....	82
10. Seznamy tabulek a obrázků.....	89
11. Seznam zkratk	91

1. Úvod

Jedním z hlavních cílů vlády České republiky je dokončení páteřní sítě silnic a dálnic a to především D3 Praha – Tábor, D8 Hradec Králové – Olomouc a též např. Pražského okruhu, který patří mezi nejfrekventovanější tuzemské komunikace. Tím nejvýznamnějším úsekem je pak plánovaný úsek 511 Běchovice – D1. Zároveň s dokončováním systému dálnic v ČR tím sílí tlak veřejnosti na zlepšení kvality komunikací při současném optimalizování jejich cen rychlosti výstavby. K tomu mají výrazně pomoci inovativní přístupy v předinvestiční a investiční výstavbě, jakožto i materiálu, mechanizace, technologií a pracovních postupů či zavedení Building Information Modeling (BIM) i do projektů dopravní infrastruktury. Důležitou součástí jsou legislativní kroky, kdy došlo k novele zákona EIA a v letošním roce vejde v platnost nový zákon o veřejných zakázkách.

Cílem práce je uvést řadu klíčových inovací v silničním stavitelství a jejich význam pro výstavbu, rekonstrukci, opravy a údržbu pozemních komunikací. U nových staveb je snaha využívat nové materiály, technologie a pracovní postupy. Aby se řada inovací uplatňovala v stále širším měřítku, je třeba investory dopravních staveb vybavit vhodnými rozhodovacími mechanismy. Pro plánování staveb a jejich přípravu je zpracována řada koncepčních materiálů, jež jsou korigovány na dostupné finanční zdroje. Z důvodu komplexnosti pohledu je nutné uvedení řady úvodních informací o komunikacích obecně, o intenzitě dopravy, o bezpečnosti a řadě dalších aspektů. Tyto části jsou následně využity pro kvalifikované rozhodovací postupy. Uvedení rozhodovacích metod jako nástroje je uvedeno na praktickém příkladu řešení Pražského okruhu. Vícekriteriální rozhodovací metody určí, zda je např. inovativní tichý asfalt, uvažovaný pro jihovýchodní část D0, správnou volbou nebo by bylo vhodnější použít jiný materiál jako cementobeton, asfaltový beton nebo asfaltový koberec mastixový hojně používaný v sousedním Německu. Nejdříve je ale potřeba stanovit soubor hodnotících kritérií a jejich váhy.

Výstupy z rozhodovacích procesů je vhodné využívat ve formě určité metodiky, jež přispěje ke kvalitnější přípravě a realizaci staveb. Uvedené rozhodovací postupy obsahují výsledky jednotlivých variant, jež by mohlo využít Ministerstvo dopravy a ŘSD a to nejen pro řešenou stavbu, ale také i pro další úseky Pražského okruhu a stavby podobného typu. Také by na základě rozebrané problematiky BIM a zkušenostech ze zahraničí mohli čeští zákonodárci posoudit, zda by i v našem prostředí bylo výhodné zavedení BIM, případně takové prostředí i vytvořit.

2. Pozemní komunikace

Pozemní komunikace definuje zákon č. 13/1997 Sb., platný od 1. dubna 1997. Od svého prvního vydání byl zákon již několikrát novelizován.

Pozemní komunikace je dopravní cesta určená k užití silničními a jinými vozidly a chodci, včetně pevných zařízení nutných pro zajištění tohoto užití a jeho bezpečnosti.

2.1 Rozdělení pozemních komunikací

Pozemní komunikace se dělí na tyto kategorie:

- a) **dálnice (D)**, které jsou určeny pro rychlou dálkovou a mezistátní dopravu silničními motorovými vozidly, které jsou budovány bez úrovnových křížení, s oddělenými místy napojení pro vjezd a výjezd a které mají směrově oddělené jízdní pásy. Jsou to komunikace s omezeným přístupem (je vyloučena doprava nemotorová a doprava motorovými vozidly a jízdními soupravami), neboť jsou přístupné pouze vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší než 80 km/h.
- b) **silnice (S)**, které jsou veřejně přístupné pozemní komunikace určené k užití silničními a jinými vozidly a chodci. Silnice tvoří silniční síť a podle svého určení a dopravního významu se rozdělují do těchto tříd:
 - silnice I. třídy, které jsou určeny zejména pro dálkovou a mezistátní dopravu,
 - silnice II. třídy, které jsou určeny pro dopravu mezi okresy,
 - silnice III. třídy, které jsou určeny k vzájemnému spojení obcí nebo jejich napojení na ostatní pozemní komunikace.

Silnice I. třídy vystavěná jako **rychlostní silnice (R)** (nově jsou zrušeny) je určena pro rychlou dopravu a je přístupná pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší než 80 km/h. Rychlostní silnice má obdobné stavebně technické vybavení jako dálnice.

- c) **místní komunikace (MK)**, které jsou veřejně přístupné pozemní komunikace, které slouží převážně místní dopravě na území obce.

Místní komunikace může být vystavěna jako rychlostní místní komunikace, která je určena pro rychlou dopravu a přístupná pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejvyšší povolená rychlost není nižší, než stanoví zvláštní předpis. Rychlostní místní komunikace má obdobné stavebně technické vybavení jako dálnice.

Místní komunikace se rozdělují podle dopravního významu, určení a stavebně technického vybavení do těchto tříd:

- místní komunikace I. třídy (funkční skupina A), kterou je zejména rychlostní místní komunikace s funkcí dopravní
- místní komunikace II. třídy (funkční skupina B), kterou je dopravně významná sběrná komunikace s omezením přímého připojení sousedních nemovitostí,
- místní komunikace III. třídy (funkční skupina C), kterou je obslužná komunikace,
- místní komunikace IV. třídy (funkční skupina D), kterou je komunikace nepřístupná provozu silničních motorových vozidel nebo na které je umožněn smíšený provoz.

Prováděcí předpis blíže vymezí znaky pro rozdělení místních komunikací do jednotlivých tříd.

- d) účelové komunikace**, které slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků těchto nemovitostí nebo ke spojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi nebo k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků. Příslušný silniční správní úřad může na návrh vlastníka účelové komunikace a po projednání s příslušným orgánem Policie České republiky upravit nebo omezit veřejný přístup na účelovou komunikaci, pokud je to nezbytně nutné k ochraně oprávněných zájmů tohoto vlastníka.

Účelovou komunikací je i pozemní komunikace v uzavřeném prostoru nebo objektu, která slouží potřebě vlastníka nebo provozovatele uzavřeného prostoru nebo objektu. Tato účelová komunikace není přístupná veřejně, ale v rozsahu a způsobem, který stanoví vlastník nebo provozovatel uzavřeného prostoru nebo objektu. V pochybnostech, zda z hlediska pozemní komunikace jde o uzavřený prostor nebo objekt, rozhoduje příslušný silniční správní úřad [1].

2.2 Vlastnictví, správa a údržba

Dálnice, silnice a místní komunikace jsou vlastněny, spravovány a udržovány různými organizacemi a institucemi:

- a) Ředitelství silnic a dálnic v Praze (ŘSD)** se správami ve všech krajských městech, které z pověření Ministerstva dopravy a spojů přímo pečuje o dálnice svými výkonnými složkami, kterými jsou Střediska správy a údržby dálnice/ rychlostní

silnice SSÚD/SSÚRS cca po 50 km podél dálnic. Také smluvně zajišťuje SÚS péči o silnice I. třídy, jejich práci kontroluje, přejímá a hradí ze státních prostředků.

- b) SÚS (Správy a údržby silnic)** příspěvkové organizace zřizované jednotlivými kraji, které zajišťují v příslušném kraji správu a údržbu silnic II. a III. třídy z prostředků kraje. Pro stát zajišťují údržbu silnic I. třídy na základě smluv a dotací státních příspěvků a pro obce mohou na základě smluv provádět práce na místních komunikacích, které obce hradí ze svých prostředků.
- c) organizace zřizované městy** pro správu popř. i údržbu místních komunikací jako např. v Praze TSK – Technická správa komunikací nebo jinde Technické služby apod.,
- d) soukromé firmy**, které na základě smluv se shora uvedenými organizacemi vykonávají objednané práce na všech kategoriích pozemních komunikací [13].

Tabulka 1 – Vlastnictví, správa a údržba komunikací dle typu komunikace

Komunikace	Vlastník	Správa a údržba
dálnice	stát	ŘSD ČR
rychlostní silnice (nově jsou zrušeny)	stát	ŘSD ČR, krajské SÚS, soukromé firmy
silnice 1. třídy	stát	krajské SÚS, soukromé firmy
silnice 2. a 3. třídy	kraj	krajské SÚS, soukromé firmy
místní komunikace	města a obce	organizace zřizované městy, soukromé firmy
účelové komunikace	privátní či veřejné osoby	soukromé firmy

Zdroj: Autor

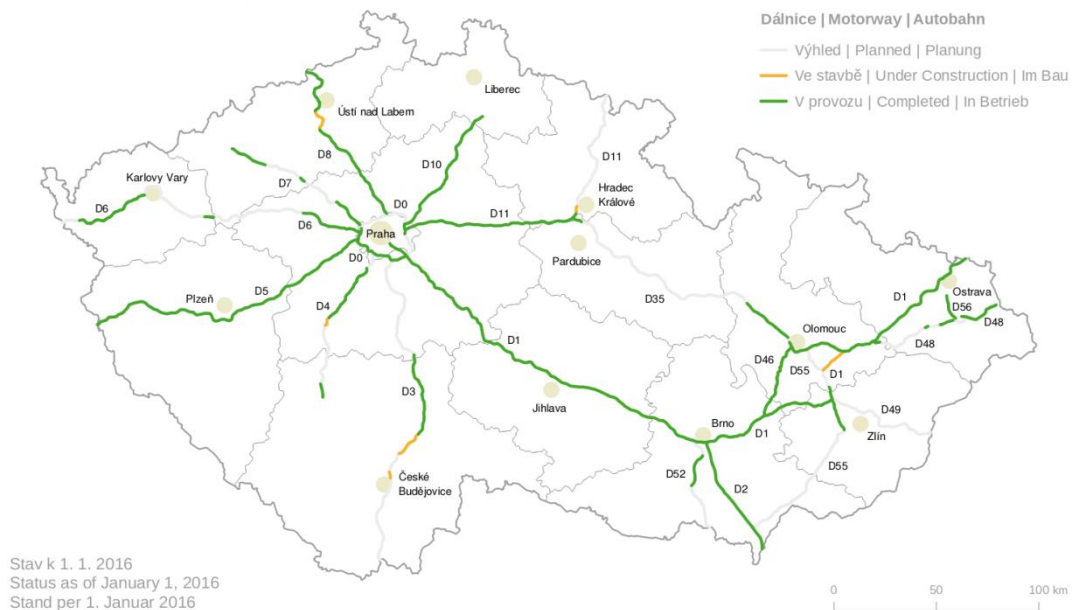
2.3 Páteřní síť silnic a dálnic ČR

Dálniční síť v ČR tvoří celkem 6 dálnic: D1, D2, D3, D5, D8 a D11, ale jen dálnice D2 a D5 jsou dokončené. S hustotou dálnic 9,3 km/1000 km² předčí Česká republika pouze sousední Slovensko, u ostatních vyspělých evropských států se hustota dálnic pohybuje vysoko nad 20 km/1000 km². Je proto zřejmé, že ČR se svou současnou vybaveností dálnicemi a rychlostními silnicemi značně zaostává.

Dálnice v České republice

Motorways in the Czech Republic
Autobahnen in Tschechische Republik

 ceskedalnice.cz



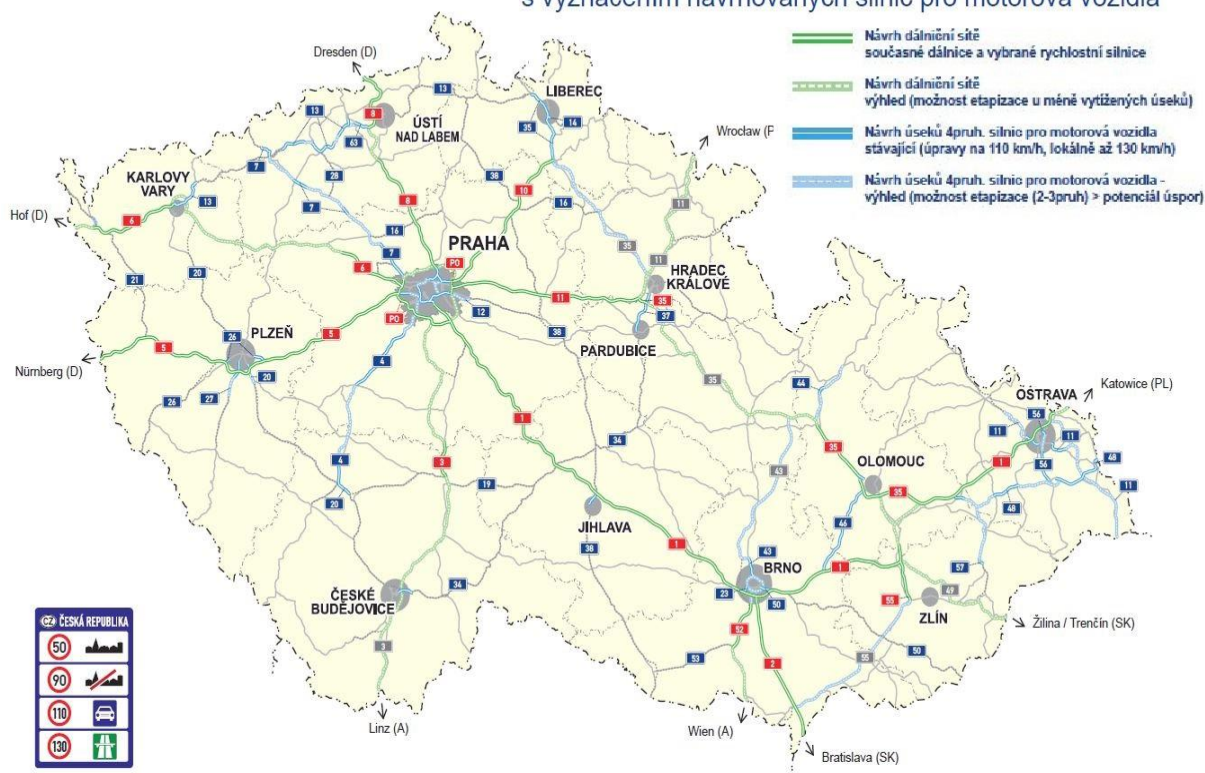
Obrázek 1 – Dálniční síť k 1. 1. 2016

Zdroj: [54]

1. ledna 2016 vstoupila v platnost novela silničního zákona, která ruší rychlostní silnice, ze kterých se stávají dálnice. Nedojde k přečíslování, změna se týká pouze Pražského okruhu R1, nově se označuje jako D0. Změní se barva cedulí, z modré na zelenou. Délka dálnic tak narostla z původních 776 km na cca 1200 km. Výjimkou je 8 úseků rychlostních komunikací, které se převedly na silnice 1. třídy. Novinkou je i vznik nového typu komunikace – Dálnice druhé kategorie. Sem patří 150 km silnic 1. třídy, na kterých je povolena maximální rychlost 110 km/h.

Nové pojetí dálniční sítě

s vyznačením navrhovaných silnic pro motorová vozidla



Obrázek 2 – Nové pojetí dálniční sítě

Zdroj: [55]

Pro dopravní obsluhu republiky mají největší význam silnice 1. třídy. Ač jejich délka představuje 11 % délky silniční sítě, je po nich realizováno 43,2 % dopravního výkonu na celé síti. Tempo přestavby silnic I. třídy neodpovídá potřebám zlepšení dopravní situace na těchto silnicích, a to zejména v průtazích městy a obcemi, ani z hlediska ochrany životního prostředí v jejich okolí [4].

2.4 Nový zákon o zadávání veřejných zakázek

V dubnu 2016 vstoupí v platnost nový zákon o veřejných zakázkách. Stane se tak z důvodu přijetí tří evropských směrnic regulujících oblast veřejného zadávání. Nový zákon o zadávání veřejných zakázek řeší kromě dalšího následující okruhy:

- Zadavatel nemůže dnes vyloučit dodavatele, který se v minulosti neosvědčil, to nový zákon umožní.

- Zadavatel není dnes schopen určit, co je mimořádně nízká a tedy i podezřelá cena. V novém zákoně bude moci zadavatel dopředu v zadávacích podmínkách stanovit:
 - konkrétní cenu nebo náklady, které bude považovat za mimořádně nízkou nabídkovou cenu, nebo
 - vzorec určení mimořádně nízké nabídkové ceny.
- Zadavatel musí nyní kontrolovat všechny nabídky bez ohledu na splnění podmínek zadání, což je často velmi náročný proces, zejména u velkých zakázek, kde se přihlásilo hodně zájemců. Nově zadavatel bude moci kontrolovat jen tu nejvýhodnější.
- Zadavatel musí nyní vyloučit nejvýhodnější nabídku kvůli chybějícímu dokladu nebo překlepu ve výkazu výměr, to se změní, bude možné dožádat chybějící doklad, to však nesmí mít dopad na naplnění hodnotících kritérií.
- Zadavatel musí stále i na banální zakázku svolávat hodnotící komisi a pozvat členy 5 dnů dopředu, nově budou hodnotící komise dobrovolné, odpovědnost ponese zadavatel.
- Zadavatel není v současnosti schopen řádně zadat veřejnou zakázku na sociální služby, nově bude možné využít zjednodušený režim, který je přímo nastaven na takové služby.
- Zadavatel je dnes při chybě u spolufinancovaných zakázek trestán dvakrát, jde-li o zakázku dotovanou z EU. Dostane pokutu a ještě přijde o dotaci. Nově bude trest jen jednou – od dotačního orgánu.
- Problém dodatečných prací, který se často opakuje a omezuje velmi zadavatele. Nově bude řešena možnost měnit smlouvy, a to až do výše 50% za splnění přísných podmínek [56].

Cílem je, aby byl zákon stručnější, přehlednější, snížil administrativní zátěž, posílil odpovědnost zadavatele a transparentnost zadávacích řízení.

Financování dopravní infrastruktury zajišťuje Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI). Celkový rozpočet SFDI pro rok 2015 činil 94,4 mld. Kč včetně předpokládaného navýšení prostředků z EU (27,5 mld. Kč) [5]. Životnost dálnic a rychlostních silnic se pohybuje v řádu desítek let. Z celkových nákladů životního cyklu (LCC – Life Cycle Cost) tak mají náklady v provozní fázi nemalý význam. Již při návrhu stavby je nutné, aby se projektant zabýval nejen pořizovacími náklady, ale právě také náklady životního cyklu stavby, což jsou náklady, které jsou vynakládány v průběhu celého užívání díla. Patří sem

pořizovací náklady, náklady na správu, údržbu a opravy, provozní náklady, daně, pojištění, poplatky a v neposlední řadě náklady na ekologickou likvidaci [22]. Budoucí náklady na údržbu a obnovu jsou však obtížně vyčíslitelné. Uživatel není schopen dopředu přesně vyčíslit nutnou údržbu, množství škod a s nimi spojené náklady [21].

2.5 Stav vozovek

Stav vozovek lze popsat z hlediska protismykových vlastností, únosnosti a podélných nerovností. Poslední měření proběhla v roce 2012, předtím v roce 2009.

2.5.1 Stav vozovek z hlediska protismykových vlastností

Tento parametr upozorňuje na místa, kde na vozovce za mokra dochází ke smyku vozidel v důsledku špatného spolupůsobení pohybující se pneumatiky a povrchu vozovky. Výsledky měření uvedené v tabulce 2 dokazují problémy se zajištěním dobrých protismykových vlastností u rychlostních silnic a silnic I. třídy v důsledku velmi vysokého počtu projíždějících těžkých nákladních vozidel, která povrch vozovky ohlazují. Tabulka udává délky měřených jízdních pruhů (nikoliv celé komunikace).

Tabulka 2 – Stav vozovek z hlediska protismykových vlastností

Komunikace	Hodnocení dle klasifikačních stupňů				Měřeno jízdních pruhů
	1 - 3: stav velmi dobrý až vyhovující		4 - 5: stav nevyhovující až havarijní		
	km	%	km	%	km
Dálnice 2009	294,456	89,9	33,191	10,1	328,647
Dálnice 2012	1 105,762	86,5	172,795	13,5	1 278,557
Rychlostní silnice	601,340	81,4	137,322	18,6	738,662
Silnice I. třídy	1 347,511	82,3	290,564	17,7	1 638,075

Zdroj: [4]

2.5.2 Stav vozovek z hlediska únosnosti

Únosnost vozovek je zjišťována zařízením, které se nazývá deflektograf. Únosnost vozovky vypovídá o tom, kolik zátěže v daném čase přenesou bez jejího porušení. Je vyjadřována zbytkovou životností od 0 do 25 let. Měření únosnosti je prováděno jen na silnicích I. třídy, neboť dálnice a rychlostní silnice byly postaveny v nedávné době podle příslušných projektových norem a technických předpisů s konstrukcí vozovky zabezpečující požadovanou únosnost. Z tabulky 3 je zřejmé, že téměř 58 % vozovek silnic I.

třídy nemá dostatečnou únosnost, což souvisí s problematikou neprovedení přeložek silnic a přestaveb silnic I. tř. v normových parametrech. Jak bylo již uvedeno, výstavba souběžné dálnice či rychlostní silnice řeší i problematiku nedostatečné únosnosti vozovek pro těžkou nákladní dopravu [4].

Tabulka 3 – Stav vozovek z hlediska únosnosti

Komunikace	Hodnocení dle klasifikačních stupňů				Měřeno jízdních pruhů
	1 -3: stav velmi dobrý až vyhovující		4 - 5: stav nevyhovující až havarijní		
	km	%	km	%	km
Silnice I. třídy	165,482	42,3	225,371	57,7	390,853

Zdroj: [4]

2.5.3 Stav vozovek z hlediska podélných řezů

K vyjádření podélných nerovností slouží mezinárodní index nerovnosti IRI. Podélné vlny, které nejsou postřehnutelné pouhým okem, vznikají v důsledku nestability podkladních vrstev vozovky nebo podloží. Jde o odchylku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu v rozmezí vlnové délky 0,5 m až 50 m. Z provedených měření vyplývá, že podélné nerovnosti se u dálnic podstatně zvýšily oproti měření roku 2009 [4].

Tabulka 4 – Stav vozovek z hlediska podélných nerovností

Komunikace	Hodnocení dle klasifikačních stupňů				Měřeno jízdních pruhů
	1 -3: stav velmi dobrý až vyhovující		4 - 5: stav nevyhovující až havarijní		
	km	%	km	%	km
Dálnice 2009	327,103	99,5	1,544	0,5	328,647
Dálnice 2012	3 306,419	95,1	168,975	4,9	3 475,394
Rychlostní silnice	723,704	98,0	14,957	2,0	738,661
Silnice I. třídy	1 563,933	95,5	74,142	4,5	1 638,075

Zdroj: [4]

2.6 Intenzita dopravy

Intenzita dopravy je hlavním měřítkem vytížení komunikace. Nejčastěji se udává tzv. roční průměr denních intenzit (RPDI) pro daný úsek komunikace v obou směrech v počtu vozidel za 24 hodin. Intenzita dopravy se měří sčítáním, a to jak ručním, tak automatickým. Pravidelně v pětiletých cyklech (naposledy v roce 2010) probíhá celostátní sčítání dopravy

v celé ČR, výsledky sčítání z roku 2015 zatím nejsou uveřejněny. Nasčítané údaje se využívají pro mnoho účelů, např. pro plánování nových či zkapacitňování stávajících komunikací. Na základě nasčítaných údajů se příslušnými převodovými koeficienty, které zohledňují přirozený nárůst automobilizace, dopočítávají předpokládané intenzity s výhledem na několik desetiletí dopředu. Sčítání dopravy na silniční a dálniční síti v celé ČR provádí ŘSD ČR, a to i na silnicích II. a III. třídy, které jinak nemá ve správě. Jedinou výjimku tvoří komunikace na území hlavního města Prahy, kde sčítání zajišťuje Technická správa komunikací hl. m. Prahy – Úsek dopravního inženýrství (TSK-ÚDI). Působnosti obou institucí se na okrajích Prahy překrývají. Díky rozdílným metodikám sčítání a následného výpočtu není výjimkou nalézt dva rozdílné údaje pro jeden úsek. Například dálnice D1, úsek mezi 1. a 2. výjezdem, rok 2008: ŘSD – 98 200 vozidel/24 h., TSK-ÚDI – 112 900 vozidel/24 h. Údaje ŘSD ČR jsou průměrné pro všechny dny v roce, údaje TSK-ÚDI pak pouze pro všechny pracovní dny v roce. Nejvytíženější komunikací je Městský okruh v Praze, konkrétně některé části tzv. Jižní spojky, kde v pracovní dny denně projíždí přes 138 000 vozidel [57].



Obrázek 3 – Stav vozovek z hlediska podélných nerovností

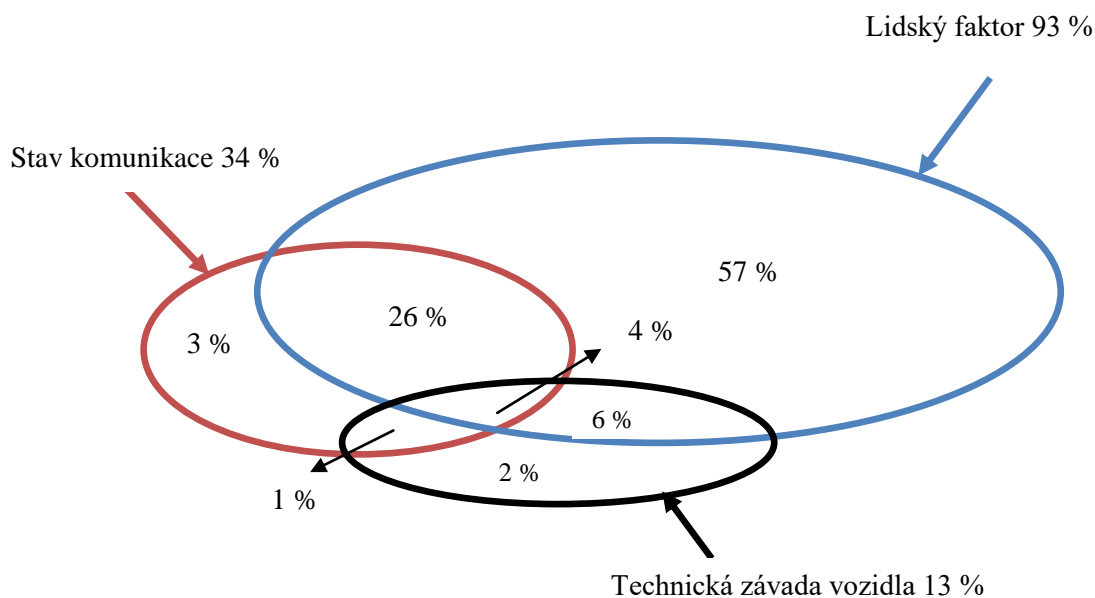
Zdroj: [58]

Dle obrázku 2 je patrné, že zhruba do roku 2010 docházelo ke stagnaci růstu intenzit dopravy, což ale neplatilo pro nejzatíženější tahy komunikací. Je důležité zmínit, že statistiku značně ovlivnil fakt, že nákladní vozidla s přívěsy a tahače s návěsy se na rozdíl od předchozích sčítání počítají za jedno vozidlo.

2.7 Bezpečnost silničního provozu

Bezpečnost silničního provozu je spojována s hodnocením protismykových vlastností vozovek (PVV) a nerovnosti povrchů vozovek. Povrchy dálnic a rychlostních silnic s cementobetonovým krytem by měly mít z hlediska povrchových vlastností vyšší bezpečnost. PVV jsou dány makrotexturou a mikrotexturou povrchu. Mikrotextura má odchylku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry menšími než 0,5 mm a je dána velikostí a tvarem vystupujících zrn kameniva. Makrotextura má odchylku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 mm až 5 mm a je tvořena hrubými a jemnými frakcemi kameniva nebo povrchovou úpravou [19].

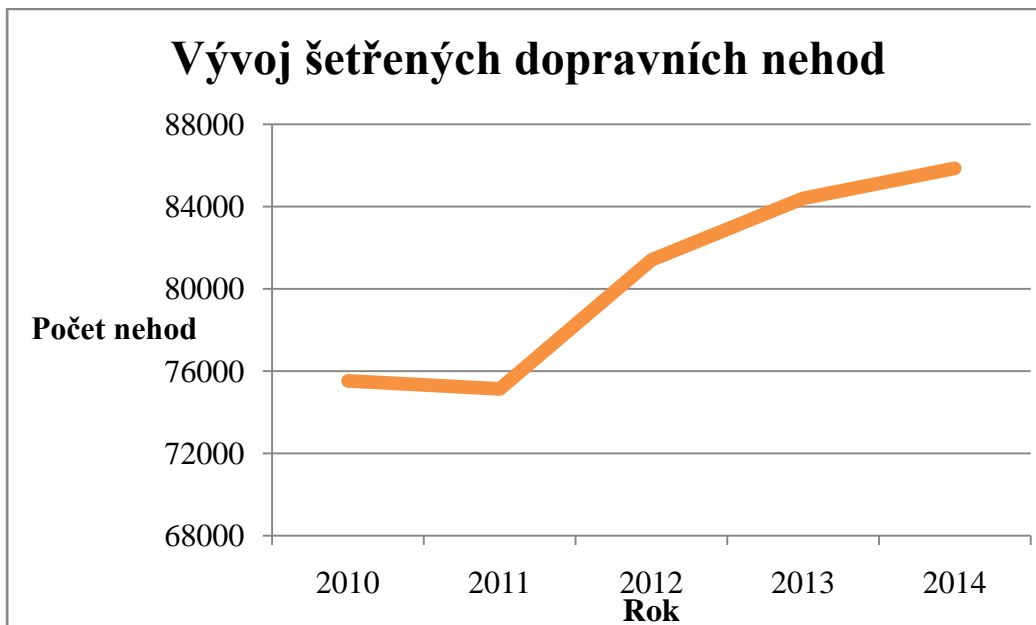
Obecně hlavním faktorem ovlivňující vznik dopravní nehody je lidský činitel, ať již jako jeho individuální selhání v 57 % nebo ve spolupráci s ostatními vlivy – dokonce až 93 %. Komunikace však v ovlivnění vzniku nehody hraje významnou roli, celkem v kombinaci s ostatními vlivy může souviset až s 34 % všech nehod. To znamená, jakým způsobem vnímá účastník silničního provozu prostor, ve kterém se pohybuje, jak je pro něj srozumitelný, jakou možnost mu dává správně a bezpečně zareagovat na neočekávané situace. Samotná komunikace a její technický stav bezprostředně souvisí s pouhými 3 % nehod [20].



Obrázek 4 – Faktory ovlivňující vznik dopravní nehody

Zdroj: [20]

V roce 2014 byl celkový počet nehod 85 859 [59]. Od roku 2010 se počet nehod zvýšil o více než 12 %. Pokud je špatný technický stav příčinou 3 % všech dopravních nehod, jedná se o 2576 nehod. V kombinaci s ostatními vlivy je to pak až 29 192 nehod.



Obrázek 5 – Vývoj dopravních nehod

Zdroj: [59]

3. Inovace v silničním stavitelství

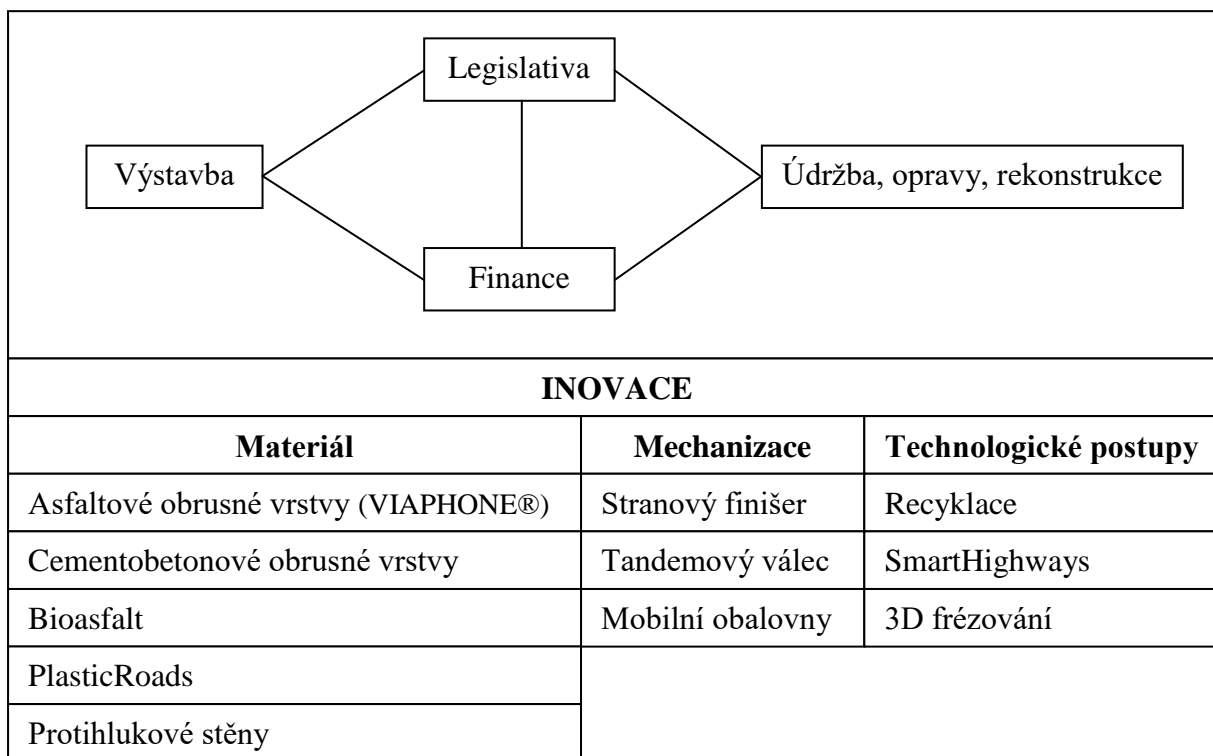
V 21. století jsou inovace v silničním stavitelství nezbytností a umožní zefektivnit celý předinvestiční a investiční proces. Faktory, které dříve představovaly jasné konkurenční výhody, jsou dnes pouhými minimálními podmínkami udržení se v soutěži. Náskok dnes znamená schopnost účinně řídit zásadní a téměř nepřetržité strategické změny - zkrátka neustále inovovat [15]. Z věcného hlediska se inovace člení na inovace produktové, procesní, marketingové a organizační. U silničních staveb jde především o produktové a procesní inovace.

Produktové inovace představují zavedení nových nebo významně zlepšených výrobků nebo služeb. Významné zlepšení se může projevit v technických specifikacích, komponentech, materiálech, software, uživatelské vstřícnosti nebo jiných funkčních charakteristikách; nové produkty se od svých předchůdců významně liší svými charakteristikami nebo zamýšleným užitím. Inovace produktu, který má charakter služby, může zahrnovat významná zlepšení v tom, jak jsou tyto služby poskytovány (např. rychlost), přidání nových funkcí nebo charakteristik ke stávajícím službám nebo zavedení služeb zcela nových. Cílem výrobních inovací bývá nejčastěji náhrada zastaralých výrobků výrobky zdokonalenými a příprava zcela nových výrobků. To přispívá k zachování a zvětšení tržního podílu a získání trhů nových [8].

Procesní inovace představuje zavedení nové nebo významně zlepšené produkce anebo dodavatelských metod. Může se jednat např. o podstatné změny v zařízení, v software nebo o podstatné zlepšení techniky, zařízení a software v přidružených podpůrných činnostech, jako je nákup, účetnictví, údržba apod. Tyto inovace mohou vést na snížení materiálové spotřeby a mzdových nákladů, zlepšení pracovních podmínek, snížení energetické spotřeby, zlepšení životního prostředí a snížení zmetkovitosti. Zvláště u výrobků založených na nových technologických koncepcích a principech může pokles výrobních nákladů nabývat značných rozměrů (např. mnohonásobné snížení výrobních nákladů u elektronických výrobků během několika let). To vede jednak k růstu zisku, jednak to umožňuje volit nové varianty marketingové strategie vůči konkurenci (pokles výrobních nákladů umožňuje snížení ceny a následné zvýšení podílu na trhu na úkor konkurence) [8].

Vláda České republiky opakovaně poukazuje na nutnost urychlit výstavbu silniční infrastruktury. Zároveň s tím však rostou i požadavky na kvalitu komunikací a rychlejší výstavbu s menšími náklady. I proto je v této oblasti evidován nárůst nových technologií a postupů. V rámci výstavby pozemních komunikací lze rozlišit inovace materiálu (asfaltové

(VIAPHONE®) a cementobetonové obrusné vrstvy, bioasfalt, PlasticRoads, protihlukové stěny), mechanizace (stranový finišer, tandemový válec, mobilní obalovny) a technologických postupů (recyklace, SmartHighways, 3D frézování).



Obrázek 6 – Přehled inovací

Zdroj: Autor

3.1 Nové technologie pro opravy, údržbu a rekonstrukce silnic

Nové technologie pro opravy, údržbu a rekonstrukce silnic se zaměřují především na úsporu materiálu a snížení hluku. Automobilová doprava má mnohem větší podíl na nadměrném hluku než doprava železniční, zhruba desetinásobně. Plánování, řízení a provádění údržby vč. cyklických oprav silniční infrastruktury je nekonceptní, chaotické a v podstatě řeší pouze aktuální poruchy a havárie (povodně, poruchy následkem změny teplot, následky zimy apod.). Pro údržbu a cyklické opravy je nezbytné pravidelné sledování stavu a postupu degradace silniční sítě jako celku i jejích dílčích úseků, tj. provádět sběr dat a pasportizaci. Tato činnost byla omezena (sběr dat multifunkčními vozidly např. typu ARAN, diagnostiky apod.) a správci nedisponují dostatečnými podklady ke správnému výběru úseků pro včasnou údržbu nebo opravu. Řádná údržba je zanedbaná, vzniklé poruchy se řeší pozdě. Na silnicích nižších tříd většinou až když je nutná celoplošná oprava vč.

konstrukcí a vybavení (propustky, zdi, svodidla, dopravní značení, odvodnění), nebo rekonstrukce [32].

Příčiny poruch na dálnicích a rychlostních komunikacích jsou:

- nekvalitní materiál,
- nedostatečná údržba,
- špatné spojení cementobetonového krytu s asfaltovým a jiné technologické chyby,
- neúčelně využitá finanční prostředky.

Příčiny poruch na silnicích II. a III. třídy jsou:

- zanedbaná údržba,
- nárůst dopravního zatížení,
- neúčelně využitá finanční prostředky,
- nepříznivý průběh zimního období v posledních letech [6].

Na stávající silniční síti je velkým problémem kvalita a trvanlivost obrusných vrstev vozovek (na komunikacích i mostech). Údržba a opravy, jak bylo uvedeno výše, se provádí technologicky nevhodně za použití materiálů s krátkou dobou životnosti. Cílem je, aby:

- návrh oprav byl založen na podrobné diagnostice konstrukcí v celé šíři, oprava se provedla hospodárnou technologií a opravou se odstranily příčiny poruch,
- byla zpracována potřebná projektová dokumentace projektantem odborně způsobilým a zkušeným, který využije diagnostiku vozovek, mostů pasportu silnice a zaměření. Součástí diagnostiky by měl být i návrh sanací a recyklace konstrukčních vrstev vozovky,
- opravy vozovek byly prováděny s využitím recyklovaného materiálu. Zabudování nových materiálů je drahé a energeticky a dopravně náročné,
- při recyklaci se neomezit pouze na vozovku, ale řešit i ostatní návaznosti a detaily (zesílení okrajů vozovky, rozšíření vozovky, vyrovnání podélných a příčných sklonů), při provádění nesmí dojít ke snížení tl. recyklovaných vrstev,
- pro obnovu povrchu vozovky byly vypracovány technické podmínky (TP) a metodiky používání regeneračních postřiků k omlazení asfaltu stárnoucího fyzikálními, chemickými a biologickými procesy,
- došlo k zvýšení využívání technologií údržby tenkými úpravami (nátěry, emulzní kalové vrstvy a tenké koberce),

- byly vyvinuty nové technologie tenkovrstvých konstrukčních vrstev pro obnovu krytu s prodlouženou trvanlivostí, zvýšenými protismykovými vlastnostmi a snížením hlučnosti silničního provozu [32].

3.1.1 Inovace asfaltových obrusných vrstev

Cílem inovací je navrhnout takové vrstvy a směsi, které budou mít vhodné protismykové a protihlukové vlastnosti, nejnižší valivý odpor, mohou dosáhnout vysokou trvanlivost a odolnost proti trvalým deformacím a proti poškozování mrazem. Do obrusných vrstev používat kamenivo s nízkou odladitelností a v nejhrubší možné frakci kameniva. Inovací lze zlepšit parametry obrusných vrstev, ale bude mít vyšší nároky na technologii a organizaci výroby, vč. jejich pokládky [32].

Používání nízkohlukových povrchů na nejzatíženějších komunikacích v blízkosti bytové zástavby je trendem posledních let nejen v České republice. Jsou sice dražší než standardní povrchy, nicméně se tím sníží náklady na vybudování protihlukových stěn či zvukových izolací budov. Nízkohlukové povrchy lze členit následovně:

- **Drenážní kryty PA**
- **Mastixové koberce s otevřenou mezerovitostí SMA LA**
- **Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy BBTM**
- **Asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem**
- **Asfaltové koberce – VIAPHONE®**

U drenážních koberců se vyskytuje příliš mnoho problémů, jako je postupné ucpání, malá životnost, horší protismykové vlastnosti, náročná technologie provedení. Proto nejsou drenážní koberce tou nejvhodnější volbou zejména pro nejfrekventovanější komunikace. Směsi typu SMA LA vykazují lepší vlastnosti a složením se velmi podobá asfaltovým kobercům pro velmi tenké vrstvy. Hlavní předností jsou zejména menší nároky na technologii asfaltové směsi, údržba, delší životnost. Dosud však nejsou k dispozici dlouhodobé zkušenosti z provozního chování včetně jejich životnosti na nejzatíženějších vozovkách [52].

Zvláště v České republice je z důvodu klimatických změn silně pocíťována nízká kvalita asfaltů a jejich vysoká cena. Jednou z možností, jak řešit odolnost asfaltových směsí vůči vlivům vysokých a na druhé straně velmi nízkých teplot, je modifikace silničních asfaltů pryžovým granulátem z pneumatik prováděná v zařízení přímo na obalovně asfaltových směsí. Tato speciální pojiva přinášejí asfaltovým směsím zvýšenou odolnost proti trvalým

deformacím a proti únavovým a mrazovým trhlinám a mohou se užívat ve velmi tenkých asfaltových vrstvách. Obrusné vrstvy navíc zajišťují snížení dopravního hluku a dobré protismykové vlastnosti [50].

Za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu a Technologické agentury ČR byla vyvinuta technologie výroby asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem. Označuje se CRmB (Crumb Rubber modified Bitumen). Je to asfaltové pojivo složené ze silničního asfaltu, pryžového granulátu a eventuálně dalších přísad a vyrábí se ve speciálním míchacím zařízení. Toto pojivo je ve srovnání s ostatními pružnější, má delší životnost a vyšší odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám. Hlavní výhody tohoto materiálu jsou:

- **zvýšená bezpečnost provozu** – zkrácení brzdné dráhy, snížení vzniku trhlin a smyku, zabránění vytváření kolejí ve stopách vozidel,
- **ekologie** – snížení dopravního hluku, ekologické využití ojetých pneumatik,
- **ekonomika** – výstavba a oprava vozovek je levnější, prodlužuje se doba životnosti [60].

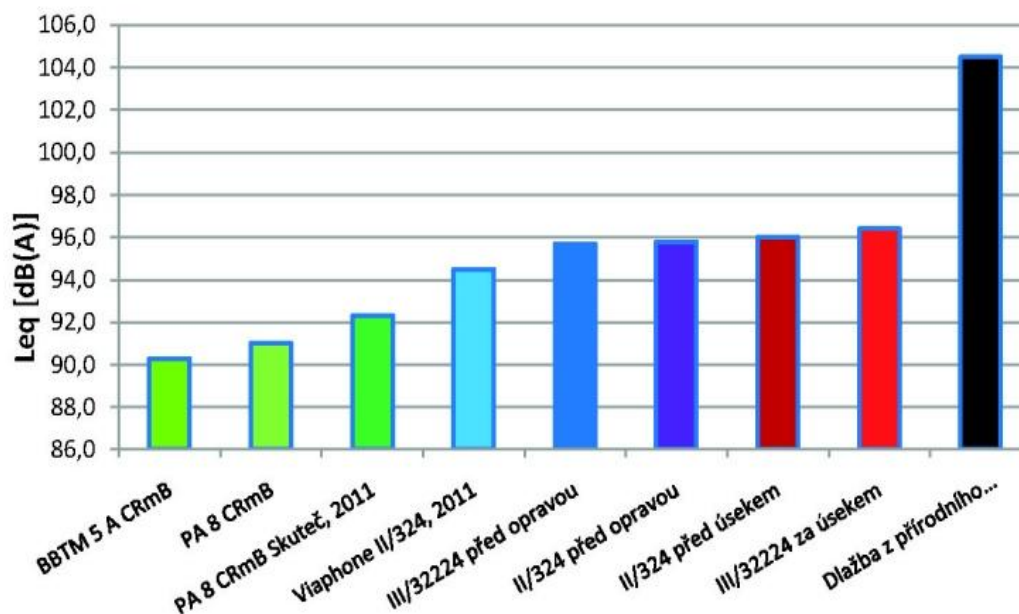
Moderním způsobem vyztužení asfaltových směsí jsou aramidová vlákna. Ta vyhovují nejen vysokou pevností, ale zejména teplotní stálostí a to až do teplot okolo 450 °C. Výzkum a vývoj, při kterém se hledalo vhodné složení směsi vláken i jejich dávkování do asfaltové směsi, probíhaly ve spolupráci se silniční laboratoří Arizona State University (ASU), předním pracovištěm v oboru výzkumu silničního stavitelství. Po představení vláken v České republice v roce 2010 probíhaly laboratorní zkoušky taktéž v silniční laboratoři ČVUT. Zkoušky ukázaly následující:

- v případech kdy testována asfaltová směs vyztužená aramidovými vlákny byla porovnávána se stejnou kontrolní směsí bez vláken, bylo u směsi s vlákny vždy zjištěno zlepšení sledovaných vlastností,
- přidáním vláken nedošlo nikdy ke zhoršení vlastností asfaltových směsí. Přidání vláken neovlivňuje zhutnitelnost směsi,
- použití vláken zvyšuje odolnost směsi vůči tvorbě trvalých deformací, zvyšuje tuhost a zlepšuje únavové chování směsi,
- na základě těchto zjištění, lze předpokládat možnost zvýšení životnosti konstrukce vozovky resp. snížit tloušťku konstrukční vrstvy při zachování životnosti. Tento předpoklad je však nutno podložit dalšími zkouškami reologických vlastností s navazujícím výpočtem dle TP 170 [51].

3.1.2 VIAPHONE®

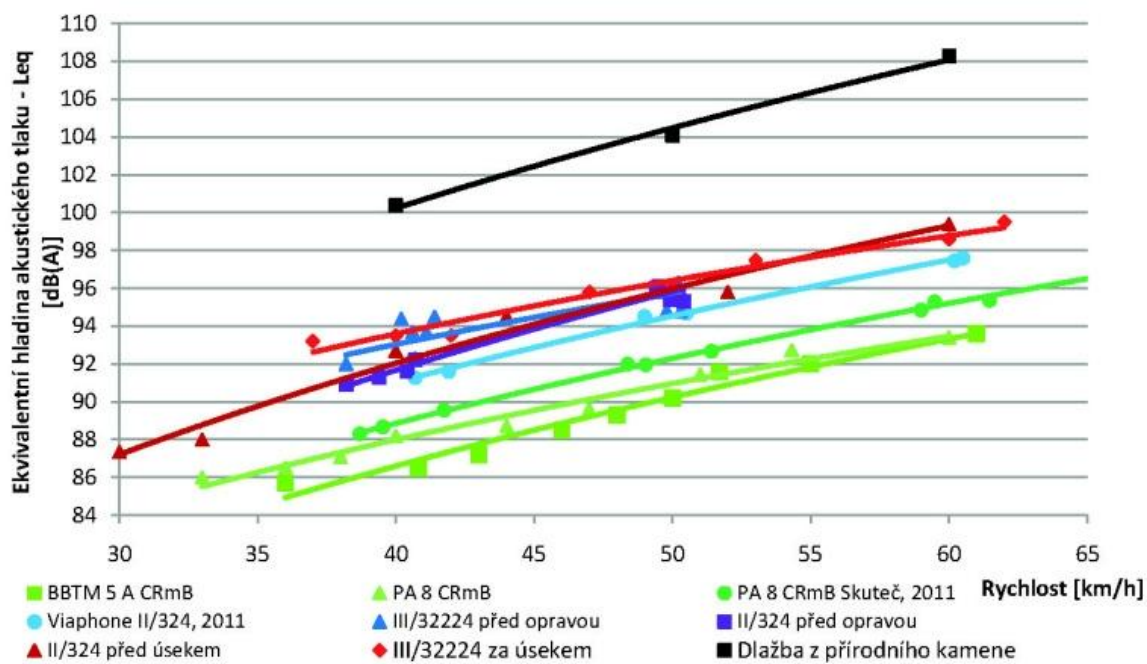
VIAPHONE® je asfaltová směs pro tenké obrusné vrstvy. Svými vlastnostmi se hodí pro výstavbu městských a příměstských komunikací a údržbu městských ulic, průtahů a kruhových křižovatek či příměstských a příjezdových komunikací, přičemž využití má opodstatnění pro dopravní rychlosti nad 30 - 40 km/h pro osobní vozidla a nad 70 km/h pro vozidla nákladní. Výrobek společnosti Eurovia CS a.s. významně snižuje valivý hluk od pneumatik a zajišťuje velmi dobré protismykové vlastnosti. Zároveň je oproti drenážnímu asfaltu méně náchylný k zanesení. V soutěži o Cenu Inovace roku 2014 získala asfaltová směs VIAPHONE® bronzovou cenu [61]. Směs umí snížit hladinu hluku o 3 dB (A) odpovídající 50% snížení intenzity dopravy při zachování velmi dobrých protismykových vlastností [48].

Silnice II/324 a III/32224 v Pardubicích byly vybrány k realizaci v rámci podpory nových technologií Státním fondem dopravní infrastruktury s názvem „Ověření vlastností tichých krytů“. Oprava byla provedena po částech v průběhu dvou měsíců s postupným omezováním běžného silničního provozu. Jako obrusná vrstva byl položen asfaltový koberec drenážní (PA 8) nebo asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM 5A) [50].



Obrázek 7 – Srovnání ekvivalentních hladin hlučnosti úseků v Pardubickém kraji při rychlosti 50 km/h

Zdroj: [50]



Obrázek 8 – Ekvivalentní hladiny akustického tlaku povrchů realizovaných v Pardubickém kraji
Zdroj: [50]

Výsledky naznačují, že oproti původním povrchům vozovek došlo ke snížení emisí hluku o 5 - 6 dB, na některých úsecích až o 8 dB. Ve srovnání s dříve provedenými úseky PA 8 je zaznamenáno snížení hluku o 1 dB, oproti technologii VIAPHONE® o 3 dB a ostatní technologie s očekávaným protihlukovým účinkem provedené v kraji vykázaly jen nízké snížení hlučnosti. Snížení o 3 dB znamená stejné snížení jako by způsobilo snížení intenzity dopravy na polovinu nebo snížení rychlosti vozidel z 60 km/h na 50 km/h. Snížení o 6 dB znamená snížení intenzity vozidel na jednu čtvrtinu nebo pro stejnou hlučnost je možno zvýšit rychlost vozidel ze 40 km/h na 60 km/h) [50]. Nicméně je třeba vzít v úvahu, že měření probíhala v různých ročních obdobích za různých intenzit dopravy, tudíž nemohou být brána za směrodatná.

Technologie VIAPHONE® byla vyvinuta ve Francii a v posledních letech byla použita nejen zde, ale i v ostatních evropských zemích jako např. Belgii, Anglii, Polsku, Německu a v ČR [14]. V ČR byla naposledy použita v létě 2014 při opravě dálnice D1 u Průhonice. Stalo se tak vůbec poprvé, co D1 dostala tichý asfalt. Měření valivého hluku na úsecích, kde byla tato směs položena, ukazují, že hluk při použití této směsi dosahuje hodnot menších než 72 dB (A), oproti cca 76 dB (A) u klasické střednězrnné asfaltové směsi

[47]. Při rychlosti 90 km/h dosahuje hluk pouze okolo 95 dB. Další výhody jsou již uvedené dobré protismykové vlastnosti, odolnost vůči trvalým deformacím a cenová srovnatelnost s asfaltovým mastixovým kobercem. Problémem tichých asfaltů je porušení křivky zrnitosti. Proto je u těchto komunikací nutné dbát na pečlivou a pravidelnou údržbu.

3.1.3 Inovace cementobetonových obrusných vrstev

Používaná technologie nízkotučného dvouvrstvého cementobetonového krytu je z hlediska protismykových vlastností problematická a dochází k jejich rychlé degradaci. Pro zachování vlastností je vhodnější v obrusné (vrchní) vrstvě navrhnout a použít směs s výraznou makrotexturou, ale při zachování nízké hlučnosti. Tuto podmínku podle současných poznatků a zkušeností ze zahraničí splňuje vymývaný beton (washbeton). I v tomto případě je nutné používat kamenivo s nízkou ohladitelností. Inovací lze zlepšit parametry obrusné vrstvy, ale budou vyšší nároky na technologii a organizaci výroby, vč. jejich pokládky. Lze očekávat, že životnost obrusné vrstvy překročí 40 let a provozní náklady při vysokém dopravním zatížení budou nízké (opravy spár, zdrsnění povrchu) [32].

V poslední době se na několika úsecích v České republice, ale i v Německu objevily v cementobetonových krytech vozovek trhliny, které jsou pravidelně spojovány s alkalicko-křemičitou reakcí (AKR) jako rozhodující příčinou. U těchto trhlin jde především o podélné trhliny, které jsou přirozeně výraznější v hlavním jízdním pruhu. Tyto trhliny ale lze najít i v předjížděcím a odstavném pruhu. Ve většině případů však nelze označit jedinou příčinu trhlin; je třeba vycházet ze souběhu různých zdrojů pnutí. Jeden z nich může představovat také alkalicko-křemičitá reakce v betonu. Možné příčiny trhlin jsou:

- vynucená a vlastní pnutí,
- napětí z dopravy,
- vnitřní tlak z bobtnání v důsledku AKR.

Bylo zanalyzováno 21 úseků a jako rozhodující parametr pro výskyt trhlin, zjištěných v cementobetonových krytech vozovek, se ukázala teplota při zhotovování. Čím byla vyšší, s tím intenzivnější tvorbou trhlin po několika letech se musí počítat. Nezanedbatelný vliv na trhliny vykazaly také nepříznivé vlhkostní poměry (vysoký stav spodní vody). Pokud může již existujícími trhlínami (stačí již jemné mikrotrhlínky) pronikat vlhkost a časem i rozpuštěné alkálie do struktury betonu hlouběji, než je tomu v případě betonu bez trhlin, zintenzivňuje se tím AKR znatelně. Při těchto laboratorních výzkumech ukázala vyšší roztažnost betonu,

jestliže do něj byly dodatečně externě dodávány alkálie. Přírůstky byly větší, čím více byl beton poškozen trhlinami. AKR tak podle posledního průzkumu spíše vyvolává rozšíření poškození než iniciaci trhlin [19].

Ke zkoumání nehodovosti z hlediska typu povrchu byl vybrán úsek dálnice D5. Povrch dálnice je rozdělen na asfaltový v km 41 až 88,5 (s výjimkou v tunelu Valík) a v km 88,5 až 150 je cementobetonový, kromě míst s vysokým náspem nebo mostů.

Tabulka 5 – Nehodovost na dálnici D5 během 4 let pozorování

Stav povrchu	Počet nehod; procento nehod za mokra (včetně sněhu a náledí)					
	41 až 88,5 (ACO)		88,5 až 150 (CBK)		Celkem	
mokrý	295	44 % (48 %)	290	36 % (45 %)	452	40 % (38 %)
sníh, náledí	49		129		178	
suchý	373		507		548	
Celkem	717		926		1643	

Zdroj: [19]

Uvedená tabulka zdánlivě zvýhodňuje CBK před ACO kryty. Intenzita dopravy je ovšem v km 41 až 88,5 vyšší než v km 88,5 až 150. Jestliže se nehodovost vyjádří relativní nehodovostí jako pravděpodobnost nehody vztaženou na projíždějící automobil jedním km dálnice, pak relativní nehodovost na CBK oproti ACO je o 58 % vyšší. Dle dalších výzkumů se prokázalo, že příčinou jsou velmi nízké protismykové vlastnosti CBK a také střídání povrchů CBK a ACO. Proto se současný vývoj soustřeďuje na vytvoření makrotextury umožňující i za deště dobré odvedení vody, dále na obnovu protismykových vlastností CBK nátěrem a především mikrokobercem. Tyto technologie si zaslouží dlouhodobý soustředěný výzkum.

Na tento vývoj zareagovala např. stavební skupina EUROVIA CS a.s., která v březnu 2015 ve své organizační struktuře vytvořila specializovaný sektor cementobetonových technologií, který má za sebou již spolupráci na rekonstrukci rychlostní komunikace R6. Na vozovce jsou tak finišerovou technologií položeny nové monolitické betonové žlaby „curb king“, které umožní efektivní odvodnění vozovky v délce bezmála 8 500 m [42].

Tabulka 6 – Srovnání hlučnosti jednotlivých druhů povrchů na dálnicích ČR

Druh krytu	Hladina hluku v dB při rychlosti		
	60 km/h	90 km/h	120 km/h
CB kryt s kluznými trny a kotvami, úprava vlečenou jutou	89,3	95,9	100,5
starý CB kryt bez kluzných trnů a kotev, úprava vlečenou jutou	90,1	96,5	100,8
starý CB kryt bez kluzných trnů a kotev, hluboká striáž	95,8	100,4	106
asfaltový beton	91,8	97,6	101,2
asfaltový koberec mastixový	91,6	97,1	100

Zdroj: [2]

3.1.4 Recyklace materiálu vozovek

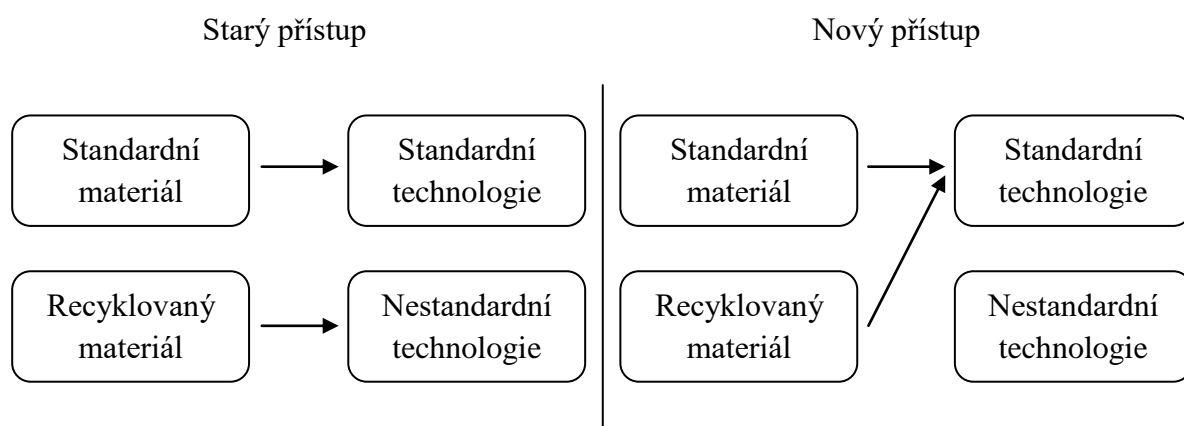
V silničním stavitelství se recyklací rozumí technologický proces, kterým se získává materiál dříve zabudovaný ve stavební konstrukci za účelem opětovného použití ve stavební konstrukci nové nebo opravované. Při provádění recyklace lze rozlišit několik etap. První etapou je vlastní výroba recyklovaného materiálu, druhou etapou jeho případná úprava a třetí etapou zřízení konstrukce vozovky [24].

Recyklovaný stavební materiál lze rozdělit následujícím způsobem:

- *Recyklát z betonu* – jedná se o recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových výrobků.
- *Recyklát z vozovek* – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin.
- Recyklát směsný je určen převážně jako náhrada zemin pro stavbu násypů a úpravy podloží PK.
- *R-materiál* – je asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Obsahuje více než 95 % asfaltových materiálů.
- *Recyklát asfaltový* – je recyklát z vozovek, kde je podíl asfaltových materiálů menší než 95% hm. a větším než 30 % hm.

- *Recyklát ze zdiva* (pouze pro komplexnost) – je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (např. cihly, obkladačky, vápenopískové prvky, pórobetonové tvárnice) a betonu.
- *Recyklát směsný* (pouze pro komplexnost) – je recyklát, získaný drcením a tříděním stavebního a demoličního odpadu, který se nepovažuje za kamenivo ve smyslu platných norem [34].

Recyklace vozovek má hned několik přínosů, zejména ekonomický přínos (úspory, výhodnost). Dalším přínosem je pak snížení nákladů při současném dosažení požadované kvality a prodloužení životnosti vozovky, snížení odpadu ukládaného na skládkách, snížení spotřeby neobnovitelných přírodních zdrojů, ochrana životního prostředí menšími zásahy do krajiny, nižší energetická náročnost (zejména technologie za studena a za horka). Současnými trendy recyklace je zvyšování podílu R-materiálu ve směsích pro konstrukční vrstvy vozovek, šetrné znovupoužití materiálu ze směsí, které obsahují jako pojivo dehet, prosazování recyklace prováděné za studena a podání asfaltové vozovky jako 100% recyklovatelné (bezodpadová konstrukce) [35].



Obrázek 9 – Starý a nový přístup k rozdílům mezi technologiemi

Zdroj: [25]

České obalovny disponují technologiemi, které jsou schopné do asfaltových směsí přimíchávat až desítky procent R-materiálu. Chybějící legislativa a podmínky investorů však brání navyšování podílu R-materiálu v pokládaných asfaltových směsích. Inspirací by mohla být zkušenost ze zahraničí, kde v některých zemích Evropské unie zákon výrobci přímo ukládá, jaké procento R-materiálu musí do vyráběné směsi přidávat.

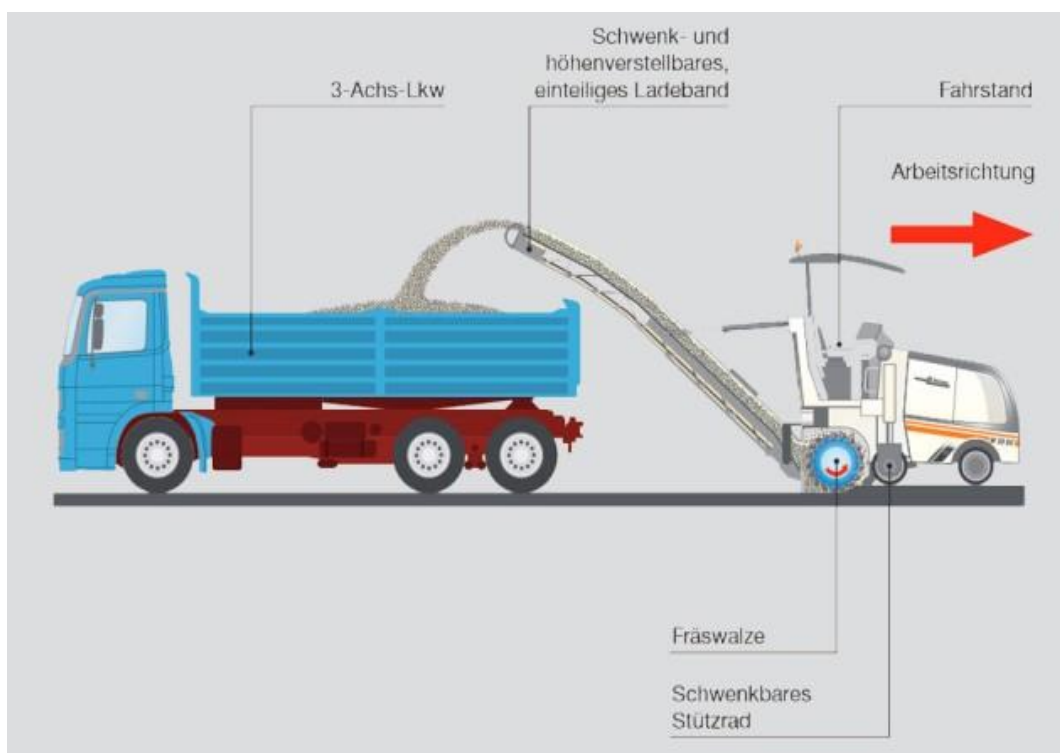
To ale není jediný nedostatek v současné legislativě. Velkým problémem je nejasnost a nesoulad právních předpisů Ministerstva životního prostředí a Ministerstva dopravy, kde stavebník při rekonstrukci často naráží na obecné předpisy na úseku ochrany životního prostředí (v gesci Ministerstva životního prostředí), zejména zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhlášku č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. Dalším velkým problémem je nejasný výklad kritérií § 3, odst. 5 a 6, zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech s ohledem na vytěženou zeminu a vyfrézované asfaltové směsi. Chybí jasná metodika stanovující postup firem a kritéria v rozhodovacím procesu při tom, zda se u vyfrézovaných asfaltových ker a směsí nebo zeminy jedná o odpad, neodpad nebo vedlejší produkt. Kritéria zajištění další využitelnosti a využití bez dalšího zpracování jsou v praxi zcela nejasná jak pro původce, tak dozorové a kontrolní orgány státní správy [39].

Existují tři typy rekonstrukce vozovky:

- **Tradiční způsob rekonstrukce**
- **Recyklace za studena**
- **Recyklace za horka**

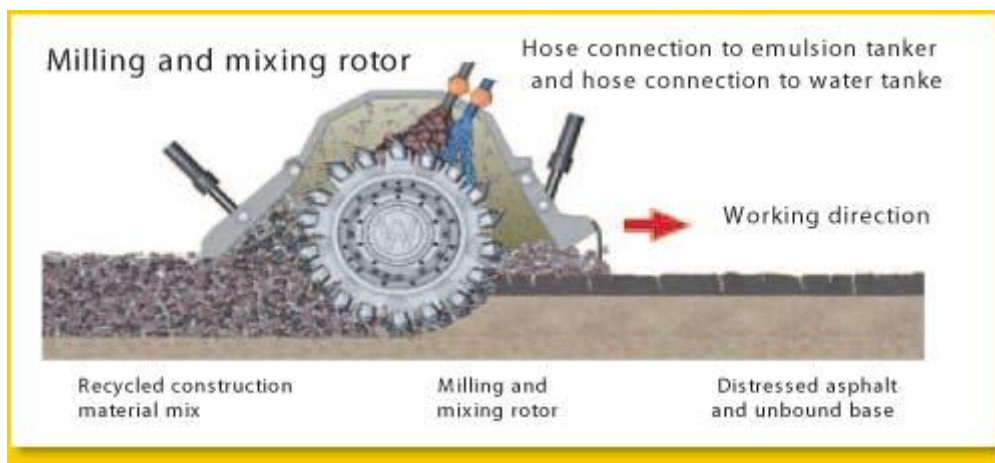
Součástí tradičního způsobu rekonstrukce je zejména frézování původního krytu a následná pokládka nových konstrukčních vrstev. Frézování spočívá v procesu odtěžení konstrukčního materiálu vozovky po jednotlivých vrstvách, nebo více vrstev najednou, přičemž současně dochází k nadrcení materiálu. Centrální část frézy je osazena frézovacím bubnem, který je vybaven bodovými hroty. Zatím co se stroj pohybuje směrem kupředu, rotující buben s hroty drtí konstrukční vrstvu vozovky. Frézovací buben rotuje proti směru pohybu stroje, což zajišťuje pohyb vyfrézovaného materiálu od povrchu vozovky. Správná hloubka frézování je zajištěna vyrovnávacím systémem. Ve většině případů je vyfrézovaný materiál pásovým dopravníkem naložen na nákladní automobil a odvezen k dalšímu zpracování. Tato technologie se vyznačuje vysokou mírou šetrnosti k životnímu prostředí a umožňuje znovu využít až 100 % získaného materiálu. Recyklace za studena je současně ekonomicky i ekologicky efektivní metodou zajištění konstrukčních vrstev vozovky vynikající kvality. Při recyklaci za studena na místě je poškozený kryt vozovky nejprve odtěžen a nadrcen frézou a následně transportován do mísicího centra nebo obalovny v blízkosti stavby. Mísicí centrum následně zajistí promísení vytěženého materiálu s přidanými pojivy a nově vzniklá směs je ihned připravena k zabudování. Recyklace za tepla umožňuje rekonstrukci povrchu vozovky ve velmi krátkém čase. Poškozený asfaltový povrch

je prohrán do hloubky 6 cm panelovými zářiči umístěnými na předehřívacím stroji a zároveň na recykléru za tepla samotném (remixér). Nahřátý asfaltový povrch je poté seškrábnut rotující jednotkou. V remixéru je do původní asfaltové směsi doplněno kamenivo a asfaltové pojivo a vše je následně důkladně promíseno. Hutnicí lištou je pak nová homogenní směs okamžitě použita do nové konstrukční vrstvy vozovky. Metoda Remix Plus dále umožňuje pokládku obrusné vrstvy přímo na nově recyklovanou podkladní vrstvu již během prvního příjezdu stroje. Výsledkem je 100% recyklovaná konstrukční vrstva, překryta novou obrusnou vrstvou. Metoda je využitelná pro všechny druhy asfaltových vozovek, dálnic či městských komunikací [30].



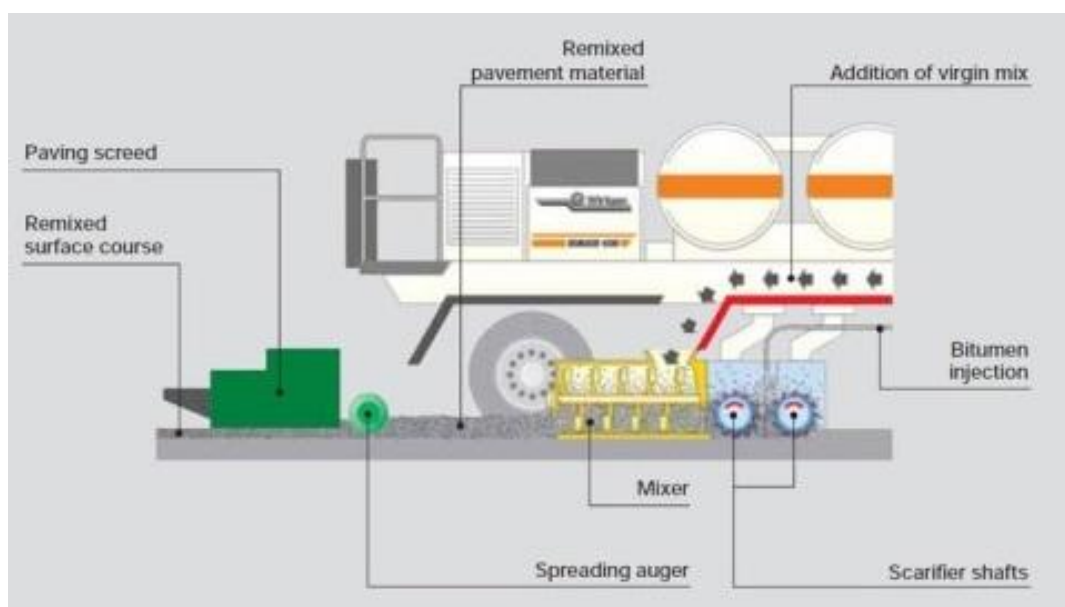
Obrázek 10 – Tradiční způsob

Zdroj: [62]



Obrázek 11 – Recyklace za studena

Zdroj: [63]



Obrázek 12 – Recyklace za tepla

Zdroj: [64]

Na trhu existuje několik softwarů zabývajících se kalkulací uhlíkové stopy v souvislosti s výstavbou a údržbou pozemních komunikací. Novinkou je vyvinutí softwarové aplikace OptiRec, která slouží k vyčíslení předpokládané časové a finanční náročnosti, uhlíkové stopy a emisí, jež vzniknou v průběhu rekonstrukce pozemní komunikace [30].

3.1.5 Bioasfalt

Lze předpokládat, že přírodní zdroje asfaltu nejsou nevyčerpatelné. Např. na ostrově Trinidad se nachází největší přírodní zdroj asfaltu. Asfaltování silnic je dosud zcela závislé na ropě a produktech po zpracování ropy. Nastane ovšem doba, kdy se ropná ložiska vyčerpají. Proto vznikl tzv. bioasfalt, který je založen na bázi obnovitelných zdrojů. Výzkumné a vývojové centrum skupiny COLAS vyvinulo patentově chráněné pojivo Végécol. To je vyráběno pouze z materiálů rostlinného původu. Navíc toto pojivo díky nízké počáteční viskozitě umožňuje výrobu směsí už při teplotách 110 – 130 °C, což přináší úspory energie a snížení emisí skleníkových plynů. Používá se hlavně ve dvou případech. Zaprvé poskytují možnosti dosáhnout různých architektonických záměrů investora, ať už jde o dosažení přírodního vzhledu povrchu, například při použití v parcích, nebo naopak zvláštní barevnosti povrchu přidáním barviv. Zadruhé se používají jako prvek pasivní bezpečnosti na vozovkách. To v případech, že je žádoucí barevné odlišení povrchu, např. v pruzích pro cyklisty, na přechodech pro chodce apod. [44]. Nejde však o úplnou novinku. V Evropě, ale i v USA, se v silničním stavitelství využívá přes 10 let. V ČR se tento materiál uplatnil např. při rekonstrukci a rozšíření dětského hřiště v pražských Riegrových sadech [65].

Se zajímavým výzkumem nyní přišli francouzští vědci, podle kterých nenápadné a současně všudypřítomné vodní řasy a rozsivky představují do budoucna velmi slibný zdroj biopaliv a energie. Půjde z nich vyrábět i asfalt. Francouzští výzkumníci využívají hydrotermálního zkapalnění, kdy při využití nadkritického tlaku vody z řasové biomasy získávají hustou vazkou černou kaši, která nápadně svou konzistencí připomíná klasický asfalt. Ta na vzduchu velmi rychle tuhne, její povrch je pevný a odolný, a vyniká hydrofobními vlastnostmi. A přesně takový povrch by byl ideální na vozovce silnic. Výzkumníci prozatím dosáhli účinnosti konverze odpadní biomasy na bioasfalt 55 %. I když je vyvinutý bioasfalt svým chemickým složením zcela odlišný od svého z ropy odvozeného příbuzného, má podobné vlastnosti. V tekutém stavu při teplotách okolo 100 °C může být účelně využit k překrývání šterkového agregátu, jehož viskózní elasticita se pohybuje podobně od -20°C do + 60°C, a stejně tak pomáhá tlumit tlak a stres na podloží [66].

3.1.6 Protihlukové stěny

Zajímavým příkladem inovací jsou nová řešení protihlukových stěn. Např. v Nizozemsku testují protihlukové stěny schopné vyrábět elektrickou energii. Stěny mají v sobě zabudované solární články, jež by kromě tlumení dopravního hluku mohly přinést

benefit v podobě výroby elektrické energie. Testy probíhají na dálnici A2 v nizozemském městě Hertogenbosch. Pro účely testu byly podél rychlostní komunikace instalovány dvě protihlukové bariéry o rozměrech 5 x 4,5 m označované zkratkou SONOB (z angl. solar noise barriers). Nepřehlédnutelným rysem těchto bariér jsou zabarvené, transparentní panely. Technologie použitá k výrobě těchto panelů byla vyvinuta pracovníky Technické univerzity Eindhoven. Tyto takzvané luminiscenční solární koncentrátoři (LSC) zachytávají světlo a v koncentrované podobě ho přivádí k solárním článkům ukrytým uvnitř bariéry. Praktické zkoušky, jež budou probíhat po dobu jednoho roku, mají přinést podrobné informace k možnostem širšího využití těchto speciálních bariér. Kromě informací o potenciálu získané elektrické energie mají testy ověřit odolnost těchto stěn vůči vandalismu a náročnost jejich údržby. Již během prvního měsíce měření prokázala, že jeden kilometr solárních bariér je schopný pokrýt roční spotřebu elektrické energie 50 domácností či poskytnout dostatek energie elektromobilu pro ujetí 900 000 km [67].



Obrázek 13 – Bariéry SONOB

Zdroj: [67]

3.1.7 Mechanizace

Používání nových mechanismů se také významně podílí na inovačních přístupech v oblasti přípravy a realizace komunikací. Např. společnost Eurovia CS a.s. v roce 2014 uvedla do provozu nový stranový finišer, který byl použit např. při modernizaci dálnice D1 v úseku Šternov – Psáře. Stroj umožňuje provádět pokládku při šířkách od 0,25 m do 2,00 m, klást za překážku ve směrovém odsazení od hrany zpevnění, pokládat ve vertikální úrovni pod hranu zpevnění a volit tloušťku a sklon vrstev dle požadavků objednatele [68].



Obrázek 14 – Stranový finišer

Zdroj: [69]

Skupina Ammann přichází na trh s novou generací kloubových tandemových válců Ammann ARX 90 a ARX 110, která přináší inovační konstrukci hutnění asfaltu. S prostornými kabinami, inovačním uspořádáním stanovišť obsluhy a dieselvými motory odpovídajícími současným emisním normám představují novou úroveň ve své třídě.

Přehled výhod:

- Dieselový motor EU Stage IIIb/ Tier 4 interim
- Shoda CE
- Otočné a posuvné stanoviště obsluhy
- Multifunkční displej umístěný na stanovišti obsluhy

- Všechny ovladače hlavních funkcí stroje jsou umístěné na područkách
- Prostorná kabina s integrovanou konstrukcí ROPS
- Plynulé nastavení frekvence
- Dokumentace a předávání výsledků prostřednictvím portu USB a připojení GPS [70]



Obrázek 15 – Kloubových tandemových válců Ammann ARX 90 Tier4i

Zdroj: [71]

Novinku v podobě mobilní obalovny uvedla na trh společnost MARINI. Obalovna má kapacitu od 80 do 160 t/hod. Hodí se na stavby menší velikosti, ale přináší inovace, které mají snížit výrobní náklady. Tato kontinuální obalovna je vybavena válcem na vysoušení a recyklaci protiproudem, díky němuž může docházet až k 50% recyklaci živičných povrchů [46].



Obrázek 16 – Mobilní obalovna Bomag Marini Magnum 80

Zdroj: [72]

3.1.8 PlasticRoads

VolkerWessels je nizozemská firma, která přišla s revolučním konceptem výstavby silnic z recyklovaného plastu PlasticRoads. Hlavní výhodou PlasticRoad je dutá struktura, která může být jednoduše instalována na povrch písku a samozřejmě šetrnost k životnímu prostředí. Recyklované plasty se zformují do prefabrikovaných silničních dílů, které mohou být instalovány v jednom kuse. Konstrukce silnice dokáže odolat teplotám od - 40°C do 80°C. Odhady předpokládají, že životnost silnic by se ztrojnásobila. PlasticRoad je prakticky bezúdržbový výrobek. Nedocházelo by tak častým dopravním omezením a zvýšila by se plynulost dopravy [73].



Obrázek 17 – PlasticRoad a)

Zdroj: [73]



Obrázek 18 – PlasticRoad b)

Zdroj: [73]

V Indii již byl plastový odpad (včetně sáčků) použit namísto bitumenu ve více než 5000 km vozovky. Další přínos je nepřehlédnutelný: PlasticRoad využívá našeho odpadu. USA generuje 33 milionů tun plastových odpadů ročně, z toho jen 9 procent bylo recyklováno. Problémem může být zajištění bezpečnosti a podobných jízdních vlastností jako asfalt nebo beton a přilnavost pneumatik na recyklovaném plastovém materiálu za deště [74].

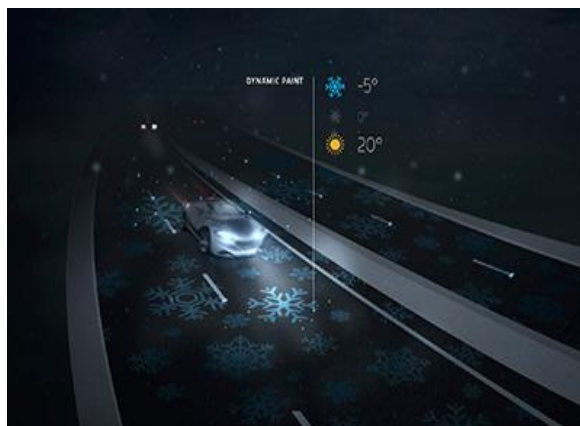
3.1.9 Smart Highways

I pro české dálnice a silnice zejména I. tříd je inspirativní inovativní koncept nizozemských společností Studio Roosegaarde a Heijmans pro chytré silnice budoucnosti Smart Highway (inteligentní dálnice). Projekt obsahuje několik inovativních technologií. První jsou fluoreskující čáry (Glowing Lines), které pomáhají ve tmě řidičům s orientací. Během dne pohlcují energii a svítí ve tmě. Tzv. dynamická barva (Dynamic paint) se objeví pouze v případě, kdy teplota spadne pod bod mrazu a značí sněhovou vločkou, že je vozovka kluzká [75].



Obrázek 19 – Glowing Lines

Zdroj: [75]



Obrázek 20 – Dynamic paint

Zdroj: [75]

Projekt také počítá se speciálním zeleným pruhem pro elektromobily (Electric Priority Lane), který umožní dobíjení vozidel za jízdy. Interaktivní osvětlení (Interactive Light) je řízeno čidly. Ukáže se, pokud se blíží cizí vozidlo [75].



Obrázek 21 – Electric Priority Lane

Zdroj: [75]



Obrázek 22 – Interactive Light

Zdroj: [75]

O vylepšení silničního provozu usiluje mnoho společností. Například v Koreji jezdí autobusy poháněné elektromagnetickým polem, které pomáhají přelidněnému městu Kumi vylepšit stav ovzduší. Automobilka Volvo zase pracuje na projektu, který by pomohl předejít dopravním nehodám. Ve Švédsku se testuje nový systém řízení vozidel pomocí magnetů ve vozovce. Kromě toho se zde připravuje inteligentní dopravní systém, díky němuž si budou moci nové modely Volvo předávat informace o stavu vozovky [49].

3.2 Význam inovací

Rozvoj inovačního podnikání v ČR je mimo jiné podporován Asociací inovačního podnikání (AIP). Hlavní činností je výzkum a vývoj v oblasti inovačního podnikání, tj. výzkumu, vývoje a inovací, transferu technologií, nových materiálů a technologií, vědeckotechnických parků, inovačních firem, inovačních procesů, inovační infrastruktury, inovačního potenciálu a podmínek pro fungující inovační trh, a to za respektování pravidel rámce společenství Evropské unie (rámec společenství pro státní podpory výzkumu, vývoje a inovací) a dalších obecně závazných právních předpisů [76]. Mezi členy AIP patří také fakulty stavební a strojní ČVUT v Praze.

Inovace pozemních komunikací příznivě ovlivňují růst ekonomiky a zaměstnanosti. Investování do silniční infrastruktury je minimálně rizikové i z hlediska vzdálené budoucnosti a při minimálních znalostech o budoucích nárocích na přepravu. Dojde ke zvýšení hybnosti a dopravní náročnosti promítající se do HDP vlivem operativního přizpůsobování požadavkům vnitrostátního i zahraničního trhu a růstu silniční tranzitní kamionové dopravy [16]. V posledních letech musí stavební firmy čelit vysoké konkurenci nejen tuzemských

společností, ale taktéž musí obstát v evropském měřítku. Aby byly konkurenceschopné, musí investovat finanční prostředky i do inovací. Příprava a realizace inovací je spojena s náklady, směřujícími do výzkumu, vývoje, příprav nové výroby, investic, průzkumu trhu, propagace, distribuce, poprodejních služeb [31].

I z pohledu uživatele pozemních komunikací jsou inovace významné. Každý uživatel chce jezdit po kvalitnějších a bezpečnějších komunikacích. Toho lze dosáhnout právě investicemi do nové mechanizace, vývoje nových technologií, materiálu a pracovních postupů.

4. BIM v silniční infrastruktuře

V oblasti inovací nelze opominout BIM. Kromě klasických budov se BIM využívá i v souvislosti s liniovými stavbami. Za posledních několik let došlo k výraznému rozšiřování BIM. Několik států již přímo vyžaduje využití BIM v případě veřejných zakázek. Na velmi vysoké úrovni v zavádění BIM jsou obecně všechny skandinávské země. Jedním z prvních států, který aktivně BIM využívá a podporuje je Finsko. Finnish Transportatiton Agency, která spravuje státní silnice, železnice a vodní cesty, prosadila, že od roku 2014 se všechny hlavní návrhy staveb infrastruktury budou zpracovávat formou modelů, nikoli jen formou klasické dokumentace. To platí i pro Norwegian Public Roads Administration, která je zodpovědná za plánování, výstavbu a provoz národní a regionální silniční sítě Norska. Až 70 % architektonických ateliérů uvádí, že využívá metodiku BIM. Vývoj v Dánsku byl zpočátku pomalý, ale nyní je BIM povinné pro všechny i regionální projekty přes 20 mil. DKr (2,7 mil €). Pro veřejné zakázky je stanovena spodní hranice 5 mil. DKr (677 tis. €)[3].

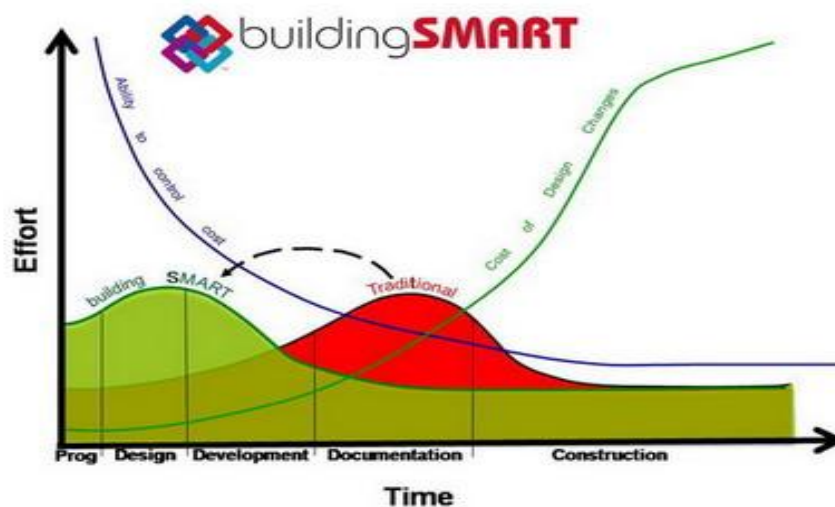
Velká Británie je významným subjektem ve využití BIM technologie a procesů v mezinárodně uznávaném centrálně vedeném programu [40]. Ambicí je stát se světovým lídrem ve využívání této technologie a v dodání BIM služeb a softwaru [77]. To dokládá i svým rozhodnutím, že od roku 2016 bude BIM povinný pro všechny státní zakázky. Od roku 2017 tomu bude tak i ve Francii.

V USA může BIM pomoci především pro vyhodnocení energetické náročnosti a ke snížení nákladů po celý životní cyklus budov. Oblast dopravních staveb zde není prioritou, nicméně zajímavý fakt je ten, že nyní používá BIM 25 % stavebních firem, v průběhu několika let by to mělo být 60 – 70 % [43].

BIM však není rozšířený pouze v Evropě, ale také v Asii. Nejvýznamnějším státem je Singapur. Místní vláda má za cíl, aby byl přístup BIM v roce 2015 použit u 80 % projektů. [38].

4.1 BIM ve výstavbových projektech české dopravní infrastruktury

Důležitým pojmem související s metodikou BIM je IPD (integrované řízení projektů). Jedná se o „přístup, který integruje lidi, systémy, podnikové struktury a postupy do procesu, který formou spolupráce využívá přednosti všech zúčastněných za účelem snížení odpadů a optimalizace efektivity v průběhu všech fází návrhu, výroby a realizace staveb“ [28]. Principy IPD a BIM se v dopravním stavitelství na rozdíl od pozemního stavitelství vůbec nevyužívají.



Obrázek 23 – Integrované řízení projektů

Zdroj: [78]

Hlavní přínosy pracovních postupů BIM ve výstavbových projektech dopravní infrastruktury jsou:

- lepší využití objektově orientovaných parametrických modelů pro facility management, digitální fabrikaci a management změn,
- vyšší míra spolupráce napříč celým životním cyklem projektu, zejména vlastníkem, dodavatelem a projektantem (lepší možnosti využití výhod DB a PPP projektů),
- aplikace konceptu IPD,
- možné využití moderních technologií a nástrojů (automatizace výkazu výměr, laserové skenování, pokročilé metody vizualizací, simulace, GPS řízené stroje atd.) [33].

Součástí BIM je i 3D model, který byl prvně využit při realizaci rekonstrukce silnice I/2 průtah Říčany u Prahy. Byl proveden digitální 3D model terénu. Frézování proběhlo dálkovým řízením frézy (90 % vozovky je odfrézováno správně v toleranci ± 1 cm) při maximální vzdálenosti od řídicí totální stanice 120 m. Problémem se ukázala viditelnost hranolu na vrcholku frézy, kterou může nepříznivě ovlivnit okolní vegetace či projíždějící nákladní auta při vyšším provozu. Systém dálkového řízení frézy je výhodnější u staveb s více jízdniemi pruhy, kdy kontrolní systém na celé šíři vozovky udrží správnou hloubku frézování a správný sklon. U jednoproudých silnic není rozdíl v použitém systému frézování zásadní [7].



Obrázek 24 – Totální stanice Trimble GCS900 společnosti Sitech s frézou Wirtgen W2100

Zdroj: [79]



Obrázek 25 – Ovládací displej Trimble CB460 totální stanice Trimble GCS900

Zdroj: [80]

Na příkladu využití BIM ve Velké Británii lze pozorovat cílové úspory 15 – 20 % [81]. Úspory, kterých by se tak mohlo dosáhnout, jsou významné. Z pohledu LCC a životnosti silnic a dálnic mají velký význam náklady v provozní fázi. Vhodný systém údržby, který začíná při použití IPD již v návrhové fázi, je tak velmi důležitý [45]. V dopravních projektech má využití BIM největší význam v provozní fázi.

4.2 BIM definice

Informační modelování budov je poměrně novou problematikou a tak existuje mnoho definic. Mezinárodní standard USA NBIMS-US definuje BIM takto: „BIM je digitální prezentace fyzických a funkčních charakteristik stavby. BIM je zdroj sdílených informací o stavbě, vytvářející spolehlivou základnu pro rozhodování v průběhu jejího životního cyklu od prvotního záměru až k její likvidaci [23]. Písmeno “B“ (Building) ze zkratky BIM přitom neznámá, že se jedná pouze o budovy, ale o celou stavbu a stavební proces. Písmeno “I“ (Information) je nejdůležitější částí akronymu. Znamená práci s informacemi, o jejich interpretaci a propojení. Patří sem informace napříč profesemi, řízení staveb či o konstrukci. Písmeno “M“ (Model/Modeling) značí návrh stavby, projekční práce na základě informací. Může být prezentováno i jako management a to z pohledu zhotovitele, jelikož není pouze uživatelem, ale zároveň i aktualizuje model na základě skutečného stavu na stavbě.

Informační model budovy (BIM model) si lze představit jako informační databázi, která může zahrnovat kompletní data od prvotního návrhu, výstavby, správy budovy a případné rekonstrukce až po její demolici, včetně ekologické likvidace stavebního materiálu a uvedení staveniště do původního stavu. Do této informační databáze přispívají svým dílem všichni účastníci stavebního procesu. Zásadní výhodou tohoto principu spolupráce a přístupu k informacím o budově je spolupráce bez ztráty dat. To neznámá, že musí do modelu všichni vložit své vědomosti a data. Měli by ale sdílet informace, které jsou užitečné pro ostatní účastníky procesu návrhu stavby. Nejdůležitějším procesem při použití BIM modelu je koordinace mezi jednotlivými profesemi tak, aby případné kolize byly odhaleny již v době návrhu a to ne až v během výstavby. To samo o sobě představuje podstatný přínos oproti běžnému způsobu práce. Mnohdy bývá mylně za informační model budovy považován samotný 3D model. 3D model je pouze jedním z mnoha možných způsobů reprezentace informací [3]. Další způsoby jsou:

- čáry, plochy (2D),
- čas (4D),

- peníze, náklady na projekt (5D),
- další informace – energetická náročnost, informace z celého životního cyklu (6D).

4.2.1 Hlavní použití a výhody

Vylepšením procesů v každé fázi návrhu a výstavby se sníží počet a závažnost problému spojených s tradičními postupy. [9]

Hlavní využití BIM:

- Projektová dokumentace (3D modelování, spolupráce profesí, detekce kolizí)
- Řízení stavby (tvorba harmonogramů, výkazů výměr, rozpočtů, cash-flow, bezpečnostní management)
- Provozní fáze (facility management)

Hlavní výhody použití BIM:

- Úspora času na přípravu stavby
- Méně změn v projektu a s tím spojené nižší finanční náklady
- Vizualizace pro klienta
- Snížení rizika
- Množství informací pro efektivnější provozní fázi
- Kontrola nad celým projektem
- Ziskovost projektů

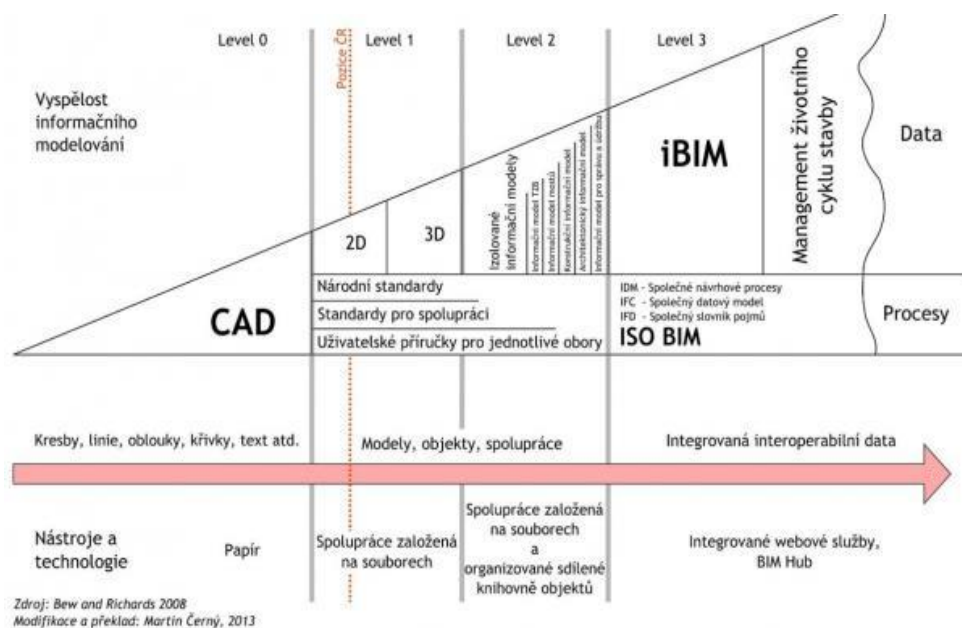
Při projektování formou BIM se dle Stephana Lockleyho, britského předního experta, ušetří 25 % víceprací na projektu samotném, virtuálně se ihned odhalí a eliminují kolize profesí a konstrukcí. Zajímavou předností je úspora na pojištění a pojistných událostech na budově projektované systémem BIM [41].

4.2.2 Situace v ČR

V lednu roku 2014 schválená Evropská směrnice o zadávání veřejných zakázek zavádí BIM do evropského stavebnictví celoplošně. Předmětem veřejné soutěže má být totiž především výsledná hodnota díla, nikoli nejnížší cena. Díky tomu se otevře možnost požadovat BIM v rámci veřejných zakázek jako prostředek pro dokladování a monitorování kvality dodávaného díla. V praxi jde o to, že by se už nemělo soutěžit pouze na cenu,

ale daleko větší důraz by měl být kladen na kvalitu díla. Zásadní pro širší podporu zavádění BIM v ČR budou následující kroky:

- BIM bude součástí standardů výkonů a činností autorizovaných osob,
- BIM bude součástí českých (lokalizovaných) norem,
- BIM bude součástí zákona o zadávání veřejných zakázek [53].



Obrázek 26 – Vývoj od CAD k BIM s pozicí ČR

Zdroj: Původní zdroj není dohledatelný (digram se nachází na mnoha místech např. [82])

Modifikace a překlad: [4]

Pozice ČR je dána především tím, že zatím neexistují dostatečné standardy pro BIM. V již zmíněných zahraničních státech je BIM veřejně podpořeno, nejvíce ve Velké Británii a Finsku. Zvýší se tím tak transparentnost výstavby, což je přední zájem státu jakožto investora ve veřejných zakázkách. Nejenom v tomto směru jsou nezbytné inovace v oblasti legislativy.

5. Novela zákona EIA

Než dojde k zahájení stavby, musí projekt projít několika fázemi. Nejprve je projekt posuzován z hlediska vlivu na životní prostředí (EIA). Následně dojde ke schválení investičního záměru a vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení. Často pak dochází k tomu, že než se vyhlásí výběrové řízení, platnost dokumentu vyprší a proces musí začít znovu. Pokud Úřad pro ochranu hospodářské soutěže (ÚOHS) neobdrží žádné námitky, může vítězná firma či uskupení firem začít s výstavbou. Poslední fází je pak uvedení stavby do provozu.

Dle Nejvyššího kontrolního úřadu (NKÚ), který zanalyzoval přes 20 staveb silnic a dálnic, trvá průměrně 12 let od schváleného investičního záměru, než začne samotná realizace. Dále se ukázalo, že v průběhu stavebního a územního řízení vzrostly předpokládané náklady o 105 %. Především je to zapříčiněno výkupem pozemků [83]. Dalším velkým problémem je právě získání kladného stanoviska EIA, územního rozhodnutí a stavebního povolení. Aby Česká republika mohla čerpat peníze z evropských fondů v rámci operačního programu Doprava 2014 – 2020 a nemusela platit hrozící sankce, bylo potřeba provést novelu zákona EIA. Dalším neméně důležitým důvodem vzniku novely bylo urychlení celého procesu až k zahájení stavby a také zamezit obstrukcím jednotlivých účastníků řízení.

5.1 Změny

Zákon o posuzování vlivů staveb na životní prostředí EIA č. 39/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 100/2001, vstoupil v platnost 1. dubna 2015. Novela přinesla změny nejen v samotném procesu posuzování vlivů projektu na životní prostředí, ale také v územním a stavebním řízení.

Hlavní změny:

- **Závazné stanovisko** - nově platí, že výsledné stanovisko EIA bude závazné. To znamená, že v navazujících řízeních se úřady budou muset stanoviskem řídit při svých rozhodnutích. Zároveň bude možné požádat o jeho přezkum v odvolacím řízení v některém navazujícím řízení.
- **Navazující řízení** - řízení navazující na proces EIA (územní či stavební řízení) se bude nově zahajovat pouze vyvěšením na úřední desce. Organizacím, které mají podanou žádost o informování o zahajovaných řízeních, tato informace nebude doručována speciálně do vlastních rukou, takže budou muset sledovat úřední desku,

aby se o těchto řízeních dozvěděly. Zároveň však mají víc času na přihlášení se do řízení – 30 dní.

- **Posouzení zda je EIA nutná** - k výsledkům zjišťovacího řízení, které předchází celému procesu EIA a má za úkol prověřit, zda je nutné provést posouzení vlivů na životní prostředí, bude možno nově použít opravný prostředek. Pokud úřad rozhodne, že proces EIA není nutný, bude tento negativní závěr zveřejněn na úřední desce a neziskové organizace splňující zákonné podmínky (viz níže) se budou moci proti němu odvolat a poté případně podat žalobu ve správním soudnictví. Pokud bude rozhodnuto, že je proces EIA nutný, nebude možno proti němu použít žádné opravné prostředky.
- **Vlivy záměru se budou hlídat i v navazujících řízeních** - nově bude zavedeno tzv. verifikační závazné stanovisko (Coherence stamp). Tato verifikace, čili ověření, bude probíhat před podáním žádosti v navazujícím řízení a příslušný úřad, který stanovisko EIA vydal, bude kontrolovat, zda nedošlo ke změně záměru, která by měla významný dopad na životní prostředí. Pokud by úřad seznal, že by případná změna měla takový negativní dopad, proces EIA by se musel opakovat. Toto verifikační stanovisko se vydává vždy, když je navazujícím řízením stavební řízení nebo řízení o změně stavby před jejím dokončením.
- **Obrana v navazujících řízeních** - environmentální nevládní organizace budou moci podat odvolání a následně žalobu proti povolením vydaných v navazujících řízeních, a to i v případě, že se těchto řízení neúčastnily. U podaných žalob budou soudy vždy, s přihlédnutím k možným škodám na životním prostředí, rozhodovat o přiznání odkladného účinku žalobě nebo o předběžném opatření.
- **Ověření vydaných stanovisek** - budou se muset ověřit i již vydaná stanoviska k záměrům, kde již byl proces EIA ukončen, ale záměry ještě neprošly navazujícími řízeními. Toto ověření bude možné spojit s verifikačním řízením (viz výše), pokud zrovna probíhá [84].

5.2 Problémy a důsledky

Problém se starým stanoviskem k vlivu stavby na životní prostředí může odsunout nejvýznamnější stavby. Ministerstvo dopravy proto hledá řešení, jak stará stanoviska EIA ověřit a sladit s novější úpravou. Pokud se to nezdaří, zahájení staveb se oddálí o dlouhé roky. Cesta k novému stanovisku EIA trvá u velkých staveb minimálně dva roky. V ohrožení jsou

všechny významné stavby v pokročilém stupni přípravy. Problém se týká hlavně rychlostních silnic a dálnic, například D11 za Hradcem Králové, R35 v úseku Opatovice – Časy, obchvatu Českých Budějovic na D3, pokračování pražského okruhu od D1 na Běchovice či nedokončených částí rychlostních silnic R4, R6, R7 a R48. V ohrožení jsou všechny významné stavby v pokročilém stupni přípravy [85]. U zmíněné dálnice D3 je v procesu přípravy posledních 6 úseků ke státním hranicím s Rakouskem. Ministerstvo dopravy počítá s optimistickým plánem, kdy má být poslední úsek dálnice zprovozněn v roce 2025. Kromě narůstajících problémů s výkupem pozemků však stavbu zcela jistě prodlouží i nutnost přezkoumání stanoviska EIA, a proto lze očekávat minimální zpoždění 5 až 10 let.

Tabulka 7 – Současný stav posledních úseků dálnice D3 dle platné legislativy do roku 2015

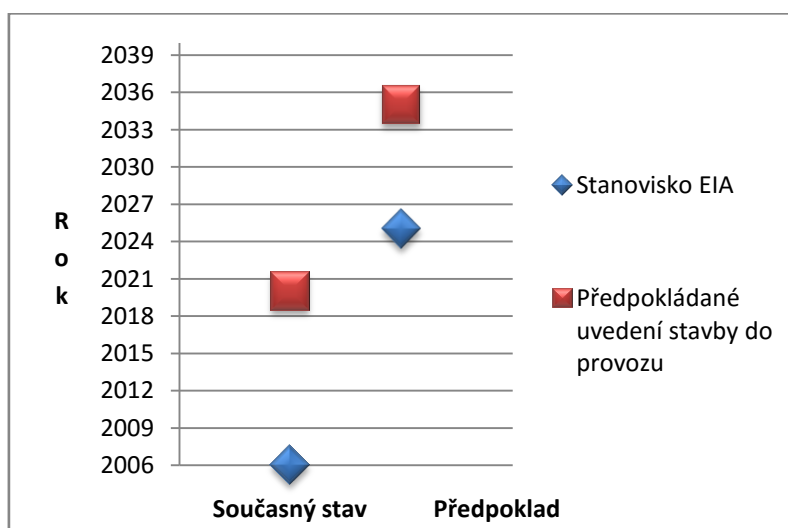
Posledních 6 úseků D3	Rok
Stanovisko EIA	2005 - 2006
Předpokládané uvedení stavby do provozu	2025

Zdroj: [28]

Tabulka 8 – Předpoklad pro poslední úseky dálnice D3

Posledních 6 úseků D3	Rok
Stanovisko EIA	2016 - 2020
Předpokládané uvedení stavby do provozu	2030 - 2035

Zdroj: Autor



Obrázek 27 – Časové srovnání pro poslední úseky dálnice D3

Zdroj: Autor

Aby Ministerstvo dopravy zmírnilo dopad vydávání nových stanovisek EIA, plánuje výstavbu nových úseků i opravy zejména těch nejfrekventovanějších komunikací v nočních hodinách. Cílem je dohnat zpoždění s výstavbou dálnic a také, aby stavební činnost ovlivňovala řidiče co nejméně. Noční práce však mohou stavbu prodražit až o několik desítek procent, nicméně se tím zvýší bezpečnost a spokojenost motoristů. Stavitelům se však tento nápad příliš nezamlouvá. Hlavními argumenty stavebních firem jsou snížená bezpečnost dělníků či rušení nočního klidu (v obcích). V zahraničí, obzvláště v USA, to tak již běžně funguje.

Právě probíhající procesy EIA mohou způsobit také potíže, jelikož v novele nejsou nijak zakotveny. Chybí jasný návod jak v takových případech postupovat, zda je nutné je ukončit či v nich lze pokračovat. V budoucnu to pak může být další předmět sporů, které budou muset vyřešit až příslušné soudy.

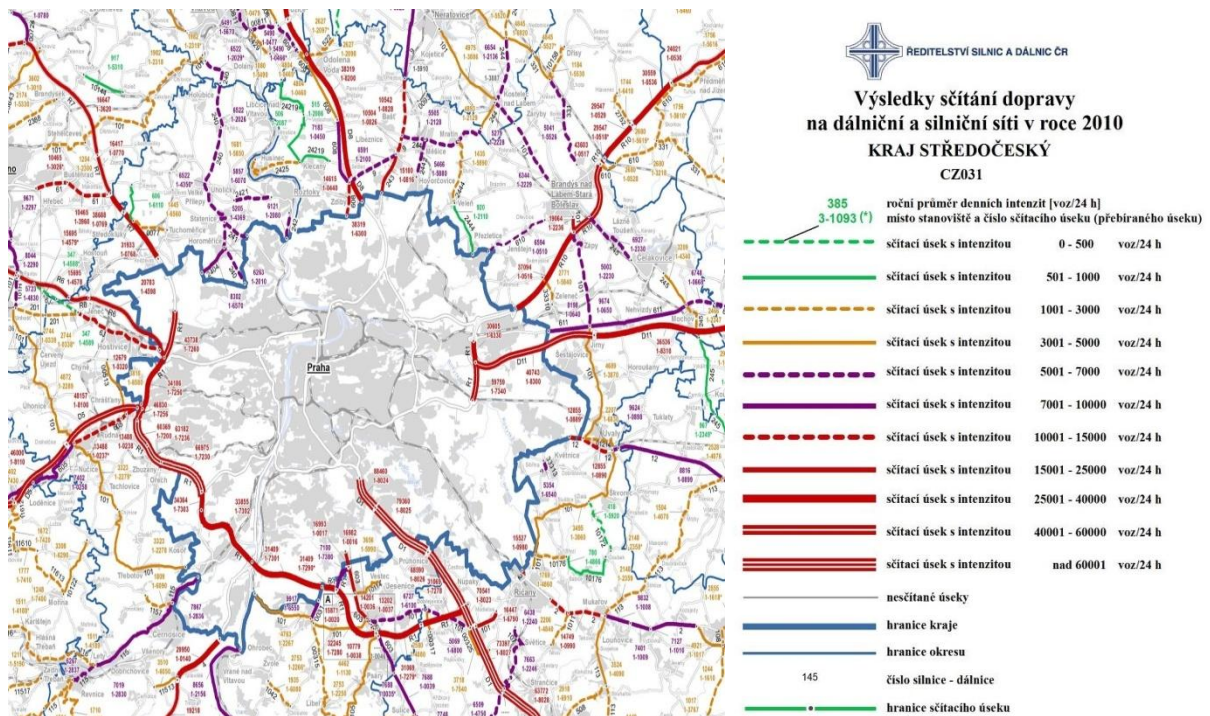
Další obavou je zahlcení systému. Novela sice měla situaci zjednodušit, nicméně v průběhu řízení často dochází ke změnám a opakování procesu EIA protáhne přípravu projektu a hrozí zacyklení celého povolenáckého procesu. Řada staveb se tak již nestihne připravit v požadovaném termínu. Hrozí pak nevyčerpání finančních prostředků z evropských fondů.

5.3 Řešení současných problémů

Cílem je, aby byl proces schválení EIA jednoduchý, rychlý a spravedlivý. Poslední novela však tyto požadavky nesplnila. Řešením by se mohlo stát sloučení řízení EIA s územním a stavebním řízením. V okolních státech se to již osvědčilo, například v sousedním Rakousku. Problémem je však komplikovaná legislativní procedura. K integraci těchto řízení by tak mohlo dojít až v řádu několika let. Do té doby je především nutné, aby stavby se starými stanovisky EIA v pokročilém stadiu přípravy nemusely být přerušeny a nenabraly další časovou ztrátu, která je už i tak markantní.

6. Problematická dostavba Pražského okruhu

Nejvýznamnější chystaná dopravní stavba je součástí postupně realizovaného Pražského okruhu R1 (nově D0). Jde o téměř 13 km dlouhý úsek 511 Běchovice – D1 tvořící jihovýchodní část okruhu. Na trase se bude nacházet 7 mostů a 2 tunely. Její důležitost je v tom, že rozvede jak tranzitní, tak příměstskou dopravu. Cílem je také zlepšit smogovou situaci hlavního města. Pražský okruh je jednou z nejvytíženějších komunikací v ČR. Po dokončení stavby se na tomto úseku očekává vysoká intenzita dopravy přes 60 tis. vozidel/24h.



Obrázek 28 – Intenzita dopravy Pražský okruh

Zdroj: [85]



Obrázek 29 – Pražský okruh úsek 511 Běchovice – D1

Zdroj: [27]

Pražský okruh spolu s Městským okruhem a radiálami tvoří základní komunikační páteř města a je součástí multimodálního koridoru sítě TEN-T. Územní plán hlavního města Prahy definuje D0 v širších vztazích nadřazených systémů jako významnou komunikaci propojující tato dálková komunikační spojení:

Tabulka 9 – Dálková spojení Prahy s vybranými městy

E 48 (R6)	Praha - Karlovy Vary - Bayreuth - Würzburg (D)
E 50 (D5, D1)	Nürnberg (D) - Praha - Brno - Košice (SK)
E 55 (D8, D3)	Berlín (D) - Praha - České Budějovice - Linz (A)
E 65 (D11, D1)	Sczecin (Pl) - Hradec Králové - Praha - Brno - Budapest (H)
E 67 (D11)	Praha - Wroclaw - Warszawa (Pl)

Zdroj: [29]

Stavba celého okruhu kolem Prahy je rozdělena do úseků označených jako SO 510 až SO 520, které jsou uvedeny v následující tabulce:

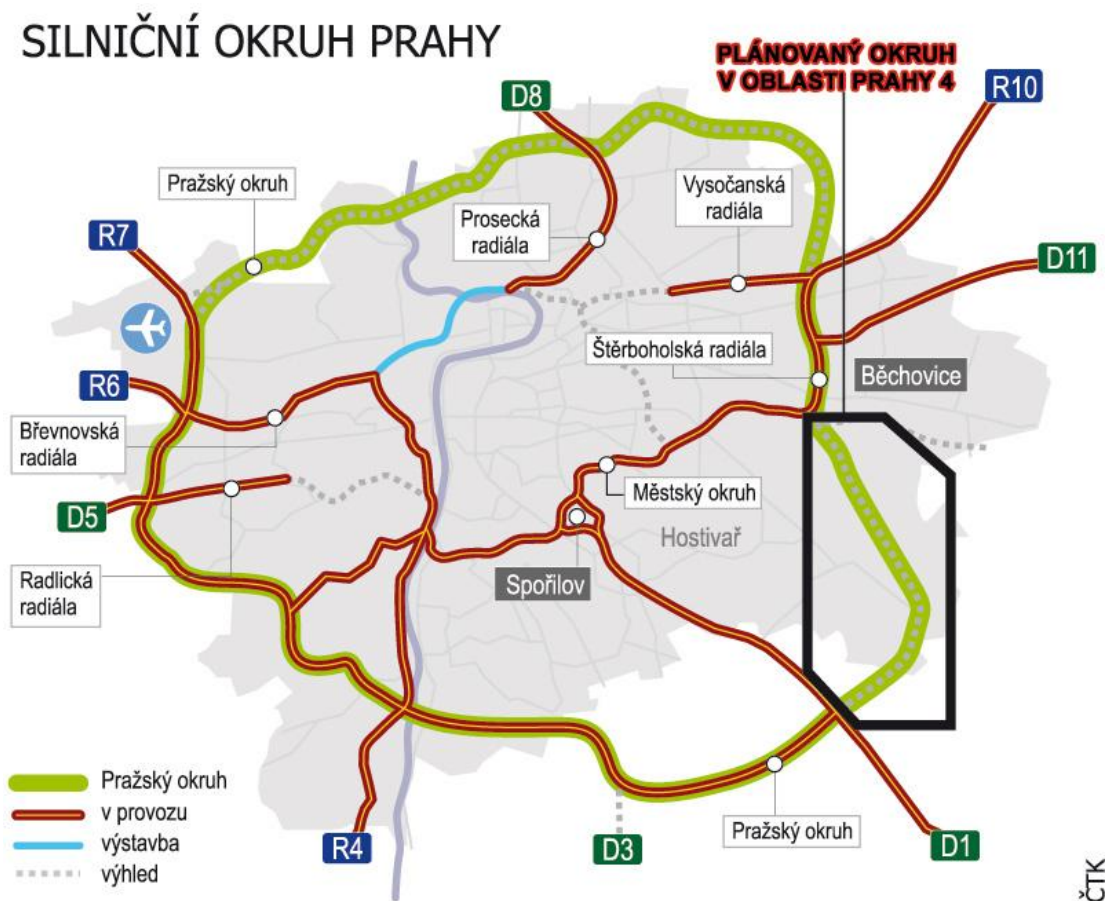
Tabulka 10 – Úseky Pražského okruhu D0

Název úseku	Délka (km)	Stav realizace
SO 510 I. etapa Satalice - MÚK D11 Počernice	1,4	v provozu od r. 1984
SO 510 II. etapa MÚK D11 - Běchovice	2,7	v provozu od r. 1993
SO 511 Běchovice - D1	12,6	v přípravě
SO 512 D1 - Vestec	8,8	v provozu od r. 2010
SO 513 Vestec - Lahovice	8,3	v provozu od r. 2010
SO 514 Lahovice - Slivenec	6,0	v provozu od r. 2010
SO 515 Slivenec - Třebonice	7,2	v provozu od r. 1984
SO 516 Třebonice - Řepy	3,5	v provozu od r. 2000
SO 517 Řepy - Ruzyně	2,5	v provozu od r. 2001
SO 518 Ruzyně - Suchdol	9,4	v přípravě
SO 519 Suchdol - Březiněves	6,7	v přípravě
SO 520 Březiněves - Satalice	13,7	v přípravě
Celková délka	82,8	

Zdroj: [29]

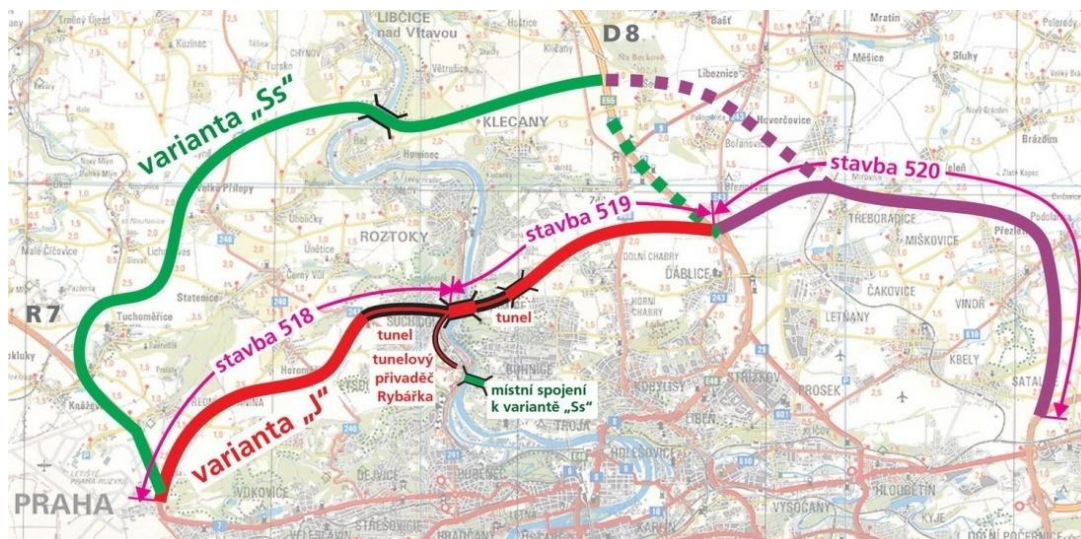
Poslední plán trasy Pražského okruhu je zobrazen na obrázku 30. V současné době jsou největší problémy s trasou v severní části okruhu, kde městská část Suchdol a mnohá občanská sdružení odmítají stavbu okruhu přes tuto městskou část a požadují oddálení

za hranice Prahy [26]. Na jaře 2015 Pražský magistrát zastavil po osmi letech územní řízení na severní část Pražského okruhu z Ruzyně přes Suchdol do Březiněvsi. Ředitelství silnic a dálnic záměrně nepředložilo ve stanovených termínech všechny požadované dokumenty. Územní řízení přitom začalo už v roce 2007. Varianta J na obrázku 31 značí původní trasu, varianta Ss je návrhem suchdolské radnice, která se obává, že by dálnice s desítkami tisíc vozidel včetně kamionů výrazně zhoršila životní podmínky tamních obyvatel. Suchdol se navíc cítí ohrožen i novou plánovanou přistávací dráhou na ruzyňském letišti. Úspěšně se zatím stavbě Pražského okruhu brání a už několikrát uspěl se žalobami u Nejvyššího správního soudu [86]. Postup Ministerstva dopravy a ŘSD zatím není jasný, prioritou je především vybudování jihovýchodní části okruhu u Běchovic.



Obrázek 30 – Poslední plán silničního okruhu Prahy

Zdroj: [87]



Obrázek 31 – Problematická severní část u Suchdola

Zdroj: [88]

6.1 Stav přípravy

Již v roce 2002 stavba obdržela kladné stanovisko EIA. Žádost o územní povolení byla podána roku 2006, ale vydáno bylo až o dva roky později. Proti němu ale byla podána řada odvolání. V roce 2010 Ministerstvo pro místní rozvoj rozhodnutí zrušilo a věc vrátilo k novému projednání. Ve stejném roce bylo vydáno nové územní rozhodnutí, ale byla proti němu podána odvolání. Rozhodnutí tak bylo opět zrušeno a věc se vrátila k novému projednání. O rok později Nejvyšší správní soud rušil část zásad územního plánu, které určovaly trasu východního obchvatu Prahy [89]. Proběhl podrobný geologický průzkum. V současné době probíhá aktualizace dokumentace pro územní rozhodnutí a majetkoprávní projednávání.

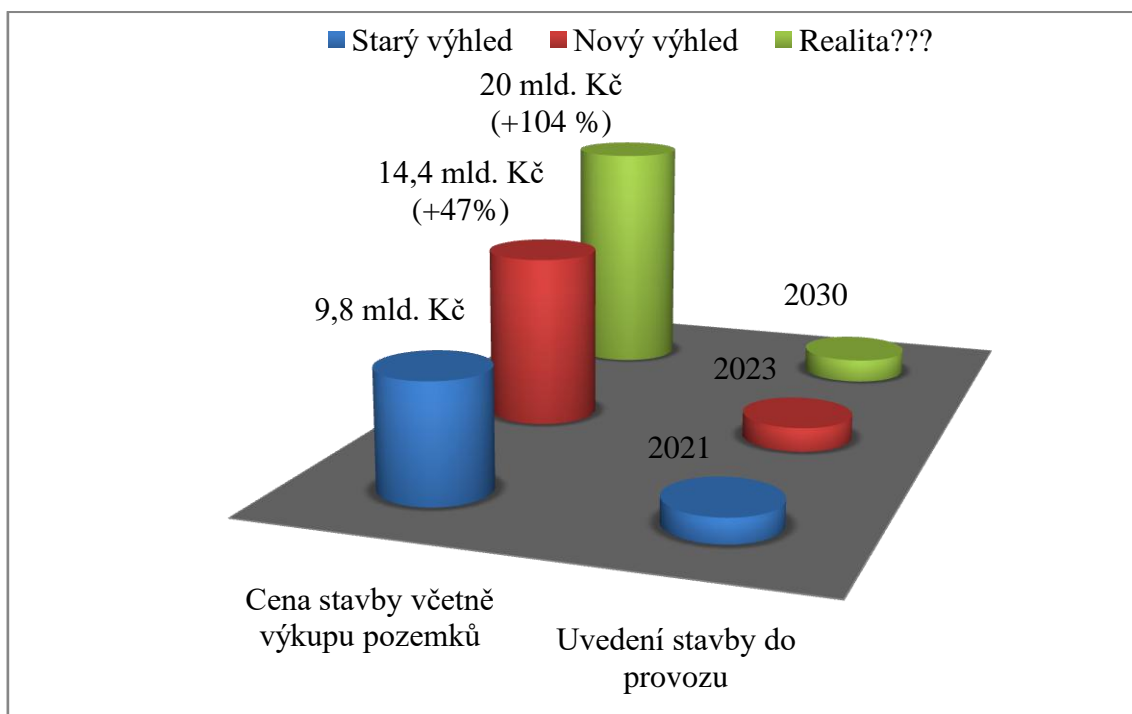
6.2 Problémy v povolovacím procesu

Stavba tak má z potřebné dokumentace pouze schválený investiční záměr a povolení EIA. Jak již bylo uvedeno, není jisté, zda staré povolení EIA bude i nadále platné. Do roku 2015 mělo být Pražským magistrátem vydáno územní rozhodnutí. Kvůli dalším odvoláním však stavba zatím územní rozhodnutí nezískala. V polovině roku 2016 by pak měla být zpracována dokumentace pro stavební povolení a poté by měly začít výkupy pozemků [89]. Díky železničnímu mostu na trase je však nutné ještě doplnit dokumentaci i o stanovisko SŽDC (Správa železniční dopravní cesty). Jak ukázaly některé minulé stavby (především D3),

výkup pozemků může trvat až několik let. Jedná se o nejrizikovější faktor v povolovacím procesu. Proto se termín zahájení výstavby v roce 2019 jeví jako vysoce nepravděpodobný. Uvedení stavby do provozu v roce 2023 je nereálné.

6.3 Nároky na stavbu

Vzhledem k nutnosti rychlého dobudování páteřní sítě dálnic a rychlostních silnic ČR a důležitosti stavby v rámci silničního okruhu Prahy je hlavním nárokem dodržení časového plánu. Ten však zcela jistě dodržen nebude. Dalším důležitým faktorem je finanční náročnost. První plány počítaly s celkovými náklady dosahující 9,8 mld. Kč, současné plány vyčíslují celkové náklady až na 14,4 mld. Kč, což je téměř o 50 % více. V případě dalších časových posunů bude růst zároveň i cena. Velký nárok je kladen na správné vytyčení trasy z důvodu splnění příslušných hygienických norem. Stavba by měla co nejméně ovlivnit životní prostředí. Současná varianta počítá se sedmi protihlukovými stěnami, dvěma tunely a vegetačními pásy v délce téměř 11 km. Velká část trasy by také měla zahloubená až do 6 m. Stále však panuje nejistota obyvatel z přilehlých katastrálních území ohledně dodržení hlukových limitů, proto se uvažuje i o použití tichého asfaltu.



Obrázek 32 – Celková cena a uvedení do provozu úseku Běchovice – D1

Zdroj: Autor

7. Rozhodování ve výběru povrchu okruhu u Běchovic

Jedním z klíčových faktorů stavby je správný výběr obrusné vrstvy. Kryt vozovky může být:

- asfaltový,
- cementobetonový,
- dlážděný.

Rozhodování je nesporně jednou z hlavních aktivit každého manažera nebo podnikatele. Rozšiřující se komplexnost chápání hospodářské problematiky zvyšuje neustále složitost rozhodovacích problémů [37]. Rozhodovacím procesem jsou procesy, při kterých se hledá řešení rozhodovacích procesů s více (alespoň dvěma) alternativami (variantami). Cílem rozhodování je vybrat variantu, která je podle daných kritérií ohodnocena nejlépe – tzv. optimální variantu. Užitečnost metod vícekritériálního rozhodování je především v tom, že umožňují rozhodovateli lépe se orientovat ve velké množině alternativ [18]. Vzhledem k velké náročnosti stavby z hlediska intenzity dopravy a ke zkušenostem ze staveb podobného typu patří mezi možné varianty:

- **Asfaltový beton ACO**
- **Cementobetonový kryt CBK**
- **Asfaltový koberec mastixový s otevřenou mezerovitostí SMA LA**
- **Tichý asfalt (VIAPHONE®)**

Všechny uvedené kryty mají vhodné materiálové charakteristiky pro použití na vysoce vytížených silničních tazích.

7.1 Metody stanovení souboru kritérií

Pro stanovení souboru kritérií se nejčastěji používá:

- Brainstorming
- Brainwriting (metoda 635)
- Delfská metoda

Brainstorming je metoda, při které skupina lidí generuje myšlenky na zadané téma. Smyslem je, že více účastníků má více nápadů než jedinec.

Tabulka 11 – Pravidla brainstormingu

Základní pravidla brainstormingu
Množství, ne kvalita, je cílem jednání
Žádná kritika a žádná chvála
Divoké a různé nápady jsou vítány
Nebojte o duplikáty
Můžete upravit myšlenky druhých
Žádné dlouhé příběhy
Základní pravidla budou zveřejněna a prosazována
Kdokoliv může poznamenat, že došlo k porušení pravidel
Vypnout mobilní telefony, tablety a počítače
Pouze jeden člověk mluví
Pokud máte nápad zatímco někdo jiný mluví, napište si ho

Zdroj: [36]

Brainwriting (metoda 635) je písemná forma diskuse, kdy za 5 kol celkem 6 účastníků předkládá vždy 3 návrhy. Získá se tím menší počet kritérií než u brainstormingu, ale za výrazně kratší čas.

Tabulka 12 – Formulář pro brainwriting

Účastník	Nápad 1	Nápad 2	Nápad 3
Jméno 1			
Jméno 2			
Jméno 3			
Jméno 4			
Jméno 5			
Jméno 6			

Zdroj: Autor

Delfská metoda spočívá v oslovení skupiny expertů formou anketních lístků. Probíhá v několika kolech, proto je metoda náročná na čas.

7.1.1 Stanovení hodnotících kritérií

Metodou brainstorming došlo k určení hodnotících kritérií ve výběru povrchu Pražského okruhu u Běchovic z pohledu správce stavby. Aby rozhodování mělo vypovídající hodnotu, je třeba určit alespoň 10 hodnotících kritérií. Jsou to:

Životnost
Hlučnost
Jízdní komfort
Protismykové vlastnosti
Časová a technologická náročnost oprav
Nutnost údržby
Možnost recyklace při rekonstrukci
Dopad na životní prostředí
Zkušenosti s použitím
Počet zhotovitelů

Jinak klíčový faktor cena díla se zde nebere v úvahu.

7.2 Metody stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah jednotlivých kritérií se použijí tyto metody:

- Metfesselova alokace
- Párové porovnání
- Saatyho metoda

7.2.1 Metfesselova alokace

Metfesselova alokace je bodovací metoda, při které se jednotlivým kritériím přidělují body. Čím je kritérium důležitější, tím je bodové ohodnocení vyšší.

Tabulka 13 – Metfesselova alokace

Č.	Funkce (kritérium)	Body	Pořadí
1	Životnost	16	1.
2	Hlučnost	14	2. – 3.
3	Jízdní komfort	8	7.
4	Protismykové vlastnosti	12	5.
5	Časová a technologická náročnost oprav	13	4.
6	Nutnost údržby	14	2. – 3.
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	9	6.
8	Dopad na životní prostředí	5	9.
9	Zkušenosti s použitím	7	8.
10	Počet zhotovitelů	2	10.
CELKEM		100	

Zdroj: Autor

Nejdůležitějším kritériem u této metody je životnost obrusné vrstvy, naopak nejméně důležitým je počet zhotovitelů.

7.2.2 Párové porovnání

U párového porovnání existují dvě varianty výpočtu – výpočet v matici a Fullerův trojúhelník. Obě metody spočívají ve zjišťování preferenčních vztahů vždy mezi dvěma kritérii. Pokud je kritérium důležitější před kritériem ve sloupci, zapíše se do příslušného políčka 1, v opačném případě 0. Normovaná váha se pak určí takto:

$$v_i = \frac{p_i}{n(n-1)/2}, \quad (7.1)$$

kde: v_i je váha i -tého kritéria, p_i je počet preferencí i -tého kritéria a n je celkový počet všech kritérií.

Tabulka 14 – Párové porovnání výpočet v matici

Č.	Funkce/kritérium	Funkce										Preference	Váha v_i	Pořadí p_i
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Životnost	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0,20	1.
2	Hlučnost	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	6	0,13	2. - 4.
3	Jízdní komfort	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	0,07	7. - 8.
4	Protismykové vlastnosti	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	5	0,11	5.
5	Časová a technologická náročnost oprav	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	6	0,13	2. - 4.
6	Nutnost údržby	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	6	0,13	2. - 4.
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0,04	9.
8	Dopad na životní prostředí	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	3	0,07	7. - 8.
9	Zkušenosti s použitím	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	4	0,09	6.
10	Počet zhotovitelů	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,02	10.
CELKEM												1,00		

Zdroj: Autor

Tabulka 15 – Fullerův trojúhelník

Č.	Funkce/kritérium	Funkce										Preference	Váha v_i	Pořadí p_i
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Životnost	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0,20	1.
2	Hlučnost		-	1	1	0	0	1	1	1	1	6	0,13	2. - 4.
3	Jízdní komfort			-	0	0	0	1	0	1	1	3	0,07	7. - 8.
4	Protismykové vlastnosti				-	0	1	1	0	1	1	5	0,11	5.
5	Časová a technologická náročnost oprav					-	0	1	1	0	1	6	0,13	2. - 4.
6	Nutnost údržby						-	1	1	0	1	6	0,13	2. - 4.
7	Možnost recyklace při rekonstrukci							-	1	0	1	2	0,04	9.
8	Dopad na životní prostředí								-	1	0	3	0,07	7. - 8.
9	Zkušenosti s použitím									-	1	4	0,09	6.
10	Počet zhotovitelů										-	1	0,02	10.
CELKEM													1,00	

Zdroj: Autor

Párové porovnání taktéž dokázalo, že nejvýznamnějším kritériem je životnost povrchu, málo významným zůstává počet zhotovitelů společně s dopadem na životní prostředí. Na ostatních místech došlo k lehkým změnám.

7.2.3 Saatyho metoda

Hlavním rozdílem Saatyho metody oproti párovému porovnání je, že se stanoví i velikost vzájemné důležitosti dvou porovnávaných hodnotících kritérií. K tomu slouží bodové stupnice.

Tabulka 16 – Saatyho stupnice důležitosti kritéria v řádku

Bodové ohodnocení	Definice důležitosti
1	stejná jako ve sloupci
3	slabá než ve sloupci
5	silná než ve sloupci
7	velmi silná než ve sloupci
9	absolutní než ve sloupci

Zdroj: Autor

Tabulka 17 – Saatyho stupnice důležitosti kritéria ve sloupci

Bodové ohodnocení	Definice důležitosti
1	stejná jako v řádku
1/3	slabá než v řádku
1/5	silná než v řádku
1/7	velmi silná než v řádku
1/9	absolutní než v řádku

Zdroj: Autor

$$\begin{array}{c}
 f_1 \\
 f_2 \\
 \vdots \\
 f_k
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 f_1 & f_2 & \dots & f_k \\
 1 & s_{12} & \dots & s_{1k} \\
 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2k} \\
 \vdots & \vdots & & \\
 1/s_{1k} & 1/s_{2k} & \dots & 1
 \end{bmatrix}$$

Obrázek 33 – Saatyho matice

Zdroj: [17]

Prvním způsobem výpočtu je metoda řádkových součtů:

$$v_i = \sum_{j=1}^k s_{ij} , \tag{7.2}$$

kde: v_i znamená nenormované váhy jednotlivých kritérií, s_{ij} jsou prvky matice a k je počet kritérií.

Druhá varianta spočívá ve výpočtu geometrického průměru ze vzorce:

$$v_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}} ,$$

(7.3)

kde: v_i znamená nenormované váhy jednotlivých kritérií, s_{ij} jsou prvky matice a k je počet kritérií.

Tabulka 18 – Metoda řádkových součtů

Č.	Funkce/kritérium	Funkce										Normovaná váha	Pořadí					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	Životnost	0,143	1	7	3	3	3	3	3	3	3	7	9	5	9	54,0000	0,2237	1.
2	Hlučnost	0,143	1	7	3	1	0,333	0,2	0,2	0,2	0,2	7	5	5	9	38,4762	0,1594	2.
3	Jízdní komfort	0,143	0,143	1	0,333	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	5	3	3	1	5	16,0190	0,0664	7.
4	Protismykové vlastnosti	0,333	0,333	3	1	3	0,333	7	5	5	7	32,0000	0,1326	4.				
5	Časová a technologická náročnost	0,333	1	5	0,333	1	1	1	1	1	5	5	3	7	28,6667	0,1188	5.	
6	Nutnost údržby	0,333	3	5	3	1	1	1	1	1	7	7	3	7	37,3333	0,1547	3.	
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	0,143	0,143	0,2	0,143	0,2	0,143	1	0,333	0,333	5	7,6381	0,0316	9.				
8	Dopad na životní prostředí	0,111	0,2	0,333	0,2	0,2	0,143	3	1	0,2	3	8,3873	0,0347	8.				
9	Zkušební s použitím	0,2	0,2	1	0,2	0,333	0,333	3	5	1	5	16,2667	0,0674	6.				
10	Počet zhotovitelů	0,111	0,111	0,2	0,143	0,143	0,143	0,2	0,333	0,2	1	2,5841	0,0107	10.				

1,0000

Zdroj: Autor

Tabulka 19 – Metoda geometrického průměru

Č.	Funkce/kritérium	Funkce										Geometrický průměr	Ne normovaná váha	Normovaná váha	Pořadí				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
1	Životnost	0,143	1	7	3	3	3	3	3	3	3	7	9	5	9	3750705,000000000	4,5437	0,2993	1.
2	Hlučnost	0,143	1	7	3	1	0,333	0,2	0,2	0,2	0,2	7	5	5	9	1575,000000000	2,0880	0,1375	3.
3	Jízdní komfort	0,143	0,143	1	0,333	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	5	3	3	1	5	0,02040816	0,6776	0,0446	7.
4	Protismykové vlastnosti	0,333	0,333	3	1	3	0,333	7	5	5	7	408,333333333	1,8243	4.					
5	Časová a technologická náročnost	0,333	1	5	0,333	1	1	1	1	1	5	5	3	7	291,666666667	1,7640	0,1162	5.	
6	Nutnost údržby	0,333	3	5	3	1	1	1	1	1	7	7	3	7	15435,000000000	2,6233	0,1728	2.	
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	0,143	0,143	0,2	0,143	0,2	0,143	1	0,333	0,333	5	0,00000926	0,3138	9.					
8	Dopad na životní prostředí	0,111	0,2	0,333	0,2	0,2	0,143	3	1	0,2	3	0,00007619	0,3874	8.					
9	Zkušební s použitím	0,2	0,2	1	0,2	0,333	0,333	3	5	1	5	0,066666667	0,7628	6.					
10	Počet zhotovitelů	0,111	0,111	0,2	0,143	0,143	0,143	0,2	0,333	0,2	1	0,00000010	0,1987	10.					

1,0000

Zdroj: Autor

Saatyho metoda potvrdila životnost jako nejdůležitější hodnotící kritérium. Kritéria hlučnost a nutnost údržby si v obou metodách prohodila pozice na druhém resp. třetím místě. Nejméně důležitý je pak počet zhotovitelů dané technologie.

7.3 Metody používané při rozhodování

Pro určení optimální varianty se použijí tyto metody:

- Bodovací metoda s váhami
- Metoda indexových koeficientů
- Kompenzační metoda
- Metoda lineárních dílčích funkcí utility
- Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou

7.3.1 Bodovací metoda s váhami

U bodovací metody s váhami se vychází z kritérií, kterým již byly přiděleny váhy jiným způsobem. Vycházet se bude ze Saatyho metody součtových řádků. Cílem výpočtu je získat celkovou užitnost jednotlivých variant na základě bodového ohodnocení již získaných kritérií. K výpočtu se použije desetibodová bodová stupnice. Celková užitnost se pak vypočítá ze vztahu:

$$U_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} * v_i , \quad (7.3)$$

kde: U_j je celková užitnost j-té varianty, b_{ij} je dílčí užitnost i-tého kritéria j-té varianty v bodovém ohodnocení, v_i je váha i-tého kritéria a n je celkový počet kritérií.

Tabulka 20 – Bodovací metoda s váhami

Č.	Funkce (kritérium)	Váha	Asfaltový beton		Cementobetonový kryt		Asfaltový koberec mastixový		Tichý asfalt	
		[v _i]	body	b _{ij} *v _i	body	b _{ij} *v _i	body	b _{ij} *v _i	body	b _{ij} *v _i
1	Životnost	0,22	8	1,79	10	2,24	7	1,57	4	0,89
2	Hlučnost	0,16	6	0,96	5	0,80	7	1,12	10	1,59
3	Jízdní komfort	0,07	6	0,40	4	0,27	7	0,46	8	0,53
4	Protismykové vlastnosti	0,13	8	1,06	9	1,19	7	0,93	7	0,93
5	Časová a technologická náročnost oprav	0,12	7	0,83	3	0,36	9	1,07	8	0,95
6	Nutnost údržby	0,15	6	0,93	8	1,24	6	0,93	4	0,62
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	0,03	7	0,22	6	0,19	9	0,28	9	0,28
8	Dopad na životní prostředí	0,03	7	0,24	9	0,31	6	0,21	6	0,21
9	Zkušenosti s použitím	0,07	8	0,54	10	0,67	4	0,27	2	0,13
10	Počet zhotovitelů	0,01	9	0,10	5	0,05	8	0,09	6	0,06
UŽITNOST			7,06		7,32		6,92		6,21	
POŘADÍ			2.		1.		3.		4.	

Zdroj: Autor

Bodovací metoda s váhami určila jako nejlepší variantu cementobetonový kryt. Asfaltový beton s asfaltovým kobercem mastixovým získal podobné ohodnocení. Nejhorší variantou byl tichý asfalt.

7.3.2 Metoda indexových koeficientů

Principem metody indexových koeficientů je určení bazické varianty. Jedna z posuzovaných variant se stane bází. Všechny hodnoty kritérií u této báze mají hodnotu 1. Ostatní varianty pak mají kritéria buď s rostoucí, nebo s klesající preferencí.

- Kritéria s klesající preferencí:

$$k_{ij} = \frac{u_{ij}}{u_i^b} \quad (7.4)$$

- Kritéria s rostoucí preferencí:

$$k_{ij} = \frac{u_i^b}{u_{ij}} \quad (7.5)$$

kde: k_{ij} je indexový koeficient i-tého kritéria a j-té varianty, u_i^b je hodnota bazické varianty u i-tého kritéria a u_{ij} je hodnota i-tého kritéria u j-té varianty.

Celková užitnost se pak vypočítá ze vztahu:

$$U_j = \sum k_{ij} * v_i \quad (7.6)$$

Tabulka 21 – Metoda indexových koeficientů

Č.	Funkce (kritérium)	MJ	Směr preference	Váha [v _i]	Asfaltový beton			Cementobetonový kryt			Asfaltový koberec mastixový			Tichý asfalt		
					u _i	k _i	v _i k _i	u _i	k _i	v _i k _i	u _i	k _i	v _i k _i	u _i	k _i	v _i k _i
1	Životnost	Body	↑	0,22	0,8	0,17898	10	1	0,22372	7	0,7	0,156605	4	0,4	0,08949	
2	Hlučnost	dB	↓	0,16	1	0,15941	98	1	0,15941	97	1,01031	0,16105	95	1,03158	0,16444	
3	Jízdní komfort	Body	↑	0,07	1,5	0,09955	4	1	0,06637	7	1,75	0,116142	8	2	0,13273	
4	Protismykové vlastnosti	Body	↑	0,13	0,88889	0,11785	9	1	0,13258	7	0,77778	0,103114	7	0,77778	0,10311	
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	↑	0,12	2,33333	0,27712	3	1	0,11877	9	3	0,356297	8	2,66667	0,31671	
6	Nutnost údržby	Body	↑	0,15	0,75	0,116	8	1	0,15467	6	0,75	0,116004	4	0,5	0,07734	
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	↑	0,03	1,16667	0,03692	6	1	0,03164	9	1,5	0,047467	9	1,5	0,04747	
8	Dopad na životní prostředí	Body	↑	0,03	0,77778	0,02703	9	1	0,03475	6	0,66667	0,023166	6	0,66667	0,02317	
9	Zkušební s použitím	Body	↑	0,07	0,8	0,05391	10	1	0,06739	4	0,4	0,026957	2	0,2	0,01348	
10	Počet zhotovitelů	Body	↑	0,01	1,8	0,01927	5	1	0,01071	8	1,6	0,01713	6	1,2	0,01285	
UŽITNOST					0,907056093			1			1,123931789			0,980780069		
POŘADÍ					4.			2.			1.			3.		

Zdroj: Autor

Dle metody indexových koeficientů je nevhodnější variantou asfaltový koberec mastixový. Těsně za sebou je cementobetonový kryt s tichým asfaltem. Nejméně vhodnou volbou je asfaltový beton.

7.3.3 Kompenzační metoda

U kompenzační metody není třeba znát váhy kritérií. Smyslem je určení pořadí variant u každého kritéria. V tomto případě, kdy probíhá rozhodování ze 4 variant, se porovnají mezi sebou dvě varianty. Ty, které byly optimálnější, se pak porovnají a získá se tím nejlepší varianta.

Tabulka 22 – Kompenzační metoda

Č.	Funkce (kritérium)	MJ	Asfaltový beton		Cementobetonový kryt		Asfaltový koberec		Tichý asfalt	
			Hodnota	Pořadí	Hodnota	Pořadí	Hodnota	Pořadí	Hodnota	Pořadí
1	Životnost	Body	8	2	10	1	7	3	4	4
2	Hlučnost	dB	98	3,5	98	3,5	97	2	95	1
3	Jízdní komfort	Body	6	3	4	4	7	2	8	1
4	Protismykové vlastnosti	Body	8	2	9	1	7	3,5	7	3,5
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	7	3	3	4	9	1	8	2
6	Nutnost údržby	Body	6	2,5	8	1	6	2,5	4	4
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	7	3	6	4	9	1,5	9	1,5
8	Dopad na životní prostředí	Body	7	2	9	1	6	3,5	6	3,5
9	Zkušenosti s použitím	Body	8	2	10	1	4	3	2	4
10	Počet zhotovitelů	Body	9	1	5	4	8	2	6	3

Zdroj: Autor

Kompenzační metoda určila jako optimální variantu cementobetonový kryt. V průměrném pořadí však na tom byl nejlépe asfaltový beton a asfaltový koberec mastixový.

7.3.4 Metoda lineárních dílčích funkcí utility

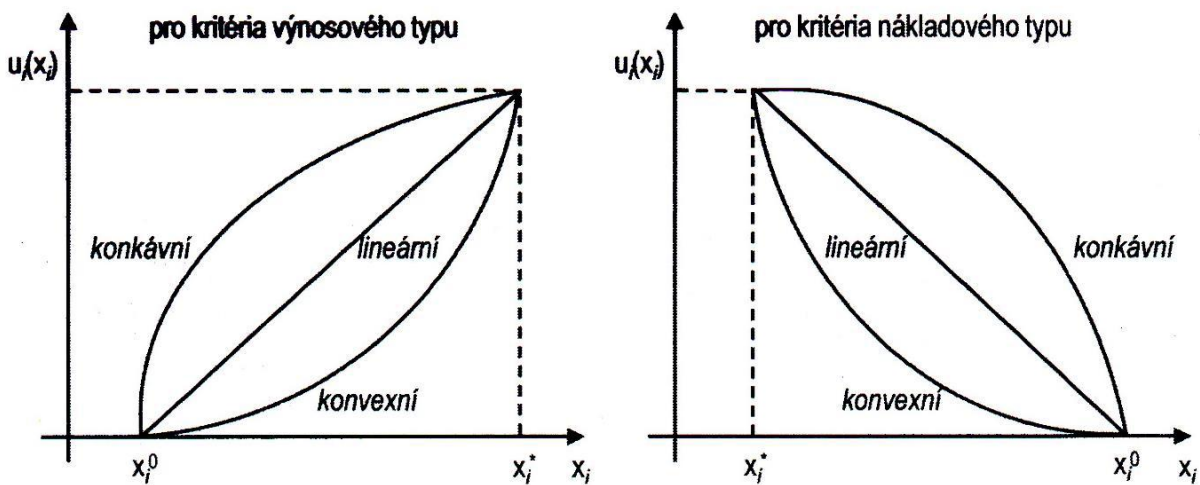
Metoda lineárních dílčích funkcí utility odlišuje kritéria kvalitativní a kvantitativní:

- u kritérií kvalitativních se dílčí ohodnocení stanovuje přiřazením bodů ze zvolené bodové stupnice,
- u kritérií kvantitativních se vychází z předpokladu, že odpovídající dílčí funkce užitku mají lineární tvar. Tyto funkce se stanoví tak, že nejhorší hodnotě každého kritéria x_i se přiřadí dílčí užitek 0, nejlepší hodnotě x_i^* dílčí užitek 1 a spojnice těchto bodů jsou pak zobrazením lineárních dílčích funkcí užitku.

Dílčí ohodnocení variant h_i^j vzhledem k jednotlivým kritériím se pak stanoví pomocí vztahu:

$$h_i^j = \frac{x_i^j - x_i^0}{x_i^* - x_i^0} \quad (7.7)$$

Rozlišují se kritéria výnosového a nákladového typu.



Dílčí funkce užítku

Obrázek 34 – Kritéria výnosového a nákladového typu

Zdroj: [90]

Pro kritéria výnosového typu může mít dílčí funkce užítku tvar:

- **konkávní** - pokud si rozhodovatel cení stejné přírůstky hodnot daného kritéria stále méně (přírůstky užítku pro stejně velké přírůstky daného kritéria klesají),
- **konvexní** - pokud pro rozhodovatele stejné přírůstky hodnot daného kritéria znamenají stále větší přínos (přírůstky užítku pro stejně velké přírůstky daného kritéria rostou),
- **lineární** - pokud si rozhodovatel cení stejné přírůstky hodnot daného kritéria stále stejně [11].

Tabulka 23 – Metoda lineárních dílčích funkcí utility

Č.	Funkce (kritérium)	MJ	Váha [v_i]	Směr preference	x_i^0	x_i^*	Asfaltový beton	Cementobetonový kryt	Asfaltový koberec mastixový	Tichý asfalt
1	Životnost	Body	0,22	↑	0	10	0,80	1,00	0,70	0,40
2	Hlučnost	dB	0,16	↓	98	95	0,00	0,00	0,33	1,00
3	Jízdní komfort	Body	0,07	↑	0	10	0,60	0,40	0,70	0,80
4	Protismykové vlastnosti	Body	0,13	↑	0	10	0,80	0,90	0,70	0,70
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	0,12	↑	0	10	0,70	0,30	0,90	0,80
6	Nutnost údržby	Body	0,15	↑	0	10	0,60	0,80	0,60	0,40
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	0,03	↑	0	10	0,70	0,60	0,90	0,90
8	Dopad na životní prostředí	Body	0,03	↑	0	10	0,70	0,90	0,60	0,60
9	Zkušební s použitím	Body	0,07	↑	0	10	0,80	1,00	0,40	0,20
10	Počet zhotovitelů	Body	0,01	↑	0	10	0,90	0,50	0,80	0,60
HODNOTA							0,6108	0,6520	0,6335	0,6209
POŘADÍ							4.	1.	2.	3.

Zdroj: Autor

Rozdíly jsou minimální, ale optimální variantou je cementobetonový kryt, tou nejhorší je asfaltový beton.

7.3.5 Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou

Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou respektuje statistickou závislost kritérií rozhodování a obsahuje koeficienty korelace dvojic kritérií [12]. Fiktivní varianta je tvořena zpravidla nejhoršími hodnotami dílčích kritérií. Důležitost dílčích kritérií je zavedena do výpočtu odchylky pomocí jejich pořadí důležitosti. Souhrnnou funkčnost U_j je pak možno vyjádřit pomocí Ivanovičovy odchylky D_j ve tvaru:

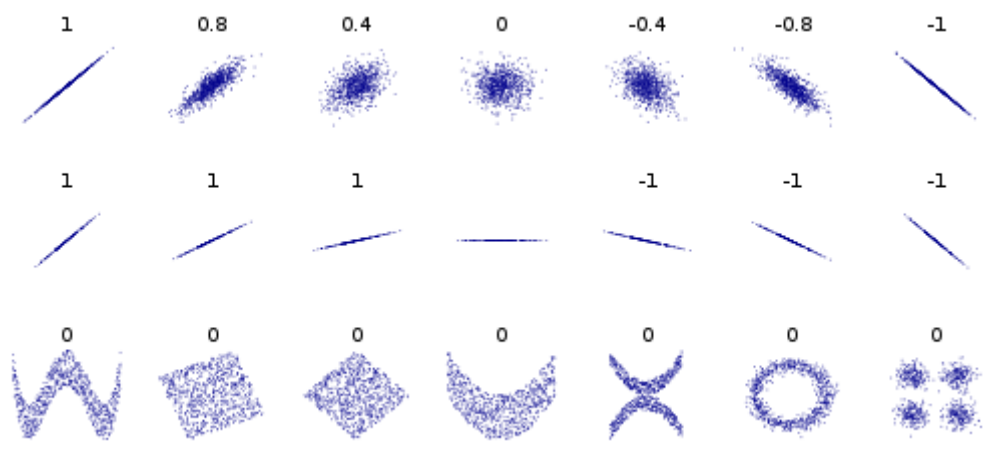
$$D_j = \frac{|x_{1f} - x_{1j}|}{s_1} + \sum_{j=2}^n \frac{|x_{if} - x_{ij}|}{s_j} * \prod_{k=1}^{i-1} (1 - |r_{ik}|), \quad (7.8)$$

kde: x_j^f (u_i^f) je hodnota fiktivní varianty i -tého kritéria, x_{ij} (u_{ij}) je hodnota i -tého kritéria j -té varianty, $x_{if} - x_{ij} = d_j$ je rozdíl hodnot dané a fiktivní varianty, s_j je směrodatná odchylka, r_{ki} je korelační koeficient dvou porovnávaných kritérií k a i , n je počet kritérií.

Při velkém počtu hodnotících kritérií se při použití předchozího vztahu velmi rychle snižuje význam funkcí s jejich pořadím, kritéria na vyšších místech v pořadí už velmi málo ovlivňují výsledek hodnocení. Modifikovaná Ivanovičova odchylka se použije v případě většího počtu kritérií, které významně ovlivňují kvalitu hodnocení:

$$D_j = \frac{|x_{1f} - x_{1j}|}{s_1} + \sum_{j=2}^n \frac{|x_{if} - x_{ij}|}{s_j} * \prod_{k=1}^{i-1} (1 - r_{ik}^2) \quad (7.9)$$

Místo korelačního koeficientu se dosadí koeficient determinace $i_{ik} = r_{ik}^2$ [90]. Korelace může nabývat hodnot -1 až $+1$. Pokud je korelace nulová, tak mezi rozděleními žádný lineární vztah neexistuje. Přímá závislost nastává mezi 0 a 1 , nepřímá závislost mezi -1 a 0 [10].



Obrázek 35 – Naměřená data a koeficienty jejich korelace s funkcí $y = x$

Zdroj: [91]

Tabulka 24 – Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou

Č.	Funkce	MJ	ACO	CBK	SMA LA	VIAPHONE	Směr preference	Fiktivní varianta	Směrodatná odchylka
1	Životnost	Body	8	10	7	4	↑	0	2,16506351
2	Hlučnost	dB	98	98	97	95	↑	98	1,22474487
3	Jízdní komfort	Body	6	4	7	8	↑	0	1,47901995
4	Protismykové vlastnosti	Body	8	9	7	7	↑	0	0,8291562
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	7	3	9	8	↑	0	2,27760839
6	Nutnost údržby	Body	6	8	6	4	↑	0	1,41421356
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	7	6	9	9	↑	0	1,29903811
8	Dopad na životní prostředí	Body	7	9	6	6	↑	0	1,22474487
9	Zkušební s použitím	Body	8	10	4	2	↑	0	3,16227766
10	Počet zhotovitelů	Body	9	5	8	6	↑	0	1,58113883

Odchylka od nehorší varianty

Č.	Funkce	MJ	ACO	CBK	SMA LA	VIAPHONE
1	Životnost	Body	8	10	7	4
2	Hlučnost	dB	0	0	-1	-3
3	Jízdní komfort	Body	6	4	7	8
4	Protismykové vlastnosti	Body	8	9	7	7
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	7	3	9	8
6	Nutnost údržby	Body	6	8	6	4
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	7	6	9	9
8	Dopad na životní prostředí	Body	7	9	6	6
9	Zkušební s použitím	Body	8	10	4	2
10	Počet zhotovitelů	Body	9	5	8	6

Korelační koeficienty

Č.	Funkce	MJ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Životnost	Body	x	0,942809	-0,956382	0,8703828	-0,747795	0,9797959	-0,86666667	0,848528137	0,949385766	-0,07302967
2	Hlučnost	dB	x	x	-0,828079	0,73854895	-0,537733	0,8660254	-0,7856742	0,666666667	0,903696114	0,25819889
3	Jízdní komfort	Body	x	x	x	-0,96832966	0,9091238	-0,9561829	0,94337007	-0,96609178	-0,96214047	0,32071349
4	Protismykové vlastnosti	Body	x	x	x	x	-0,95976	0,8528029	-0,98644005	0,984731928	0,953462589	-0,38138504
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	x	x	x	x	x	-0,7761505	0,90833809	-0,98584357	-0,83305216	0,62478912
6	Nutnost údržby	Body	x	x	x	x	x	x	-0,81649658	0,866025404	0,894427191	-0,2236068
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,24343225
8	Dopad na životní prostředí	Body	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	Zkušební s použitím	Body	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	Počet zhotovitelů	Body	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Výsledná tabulka

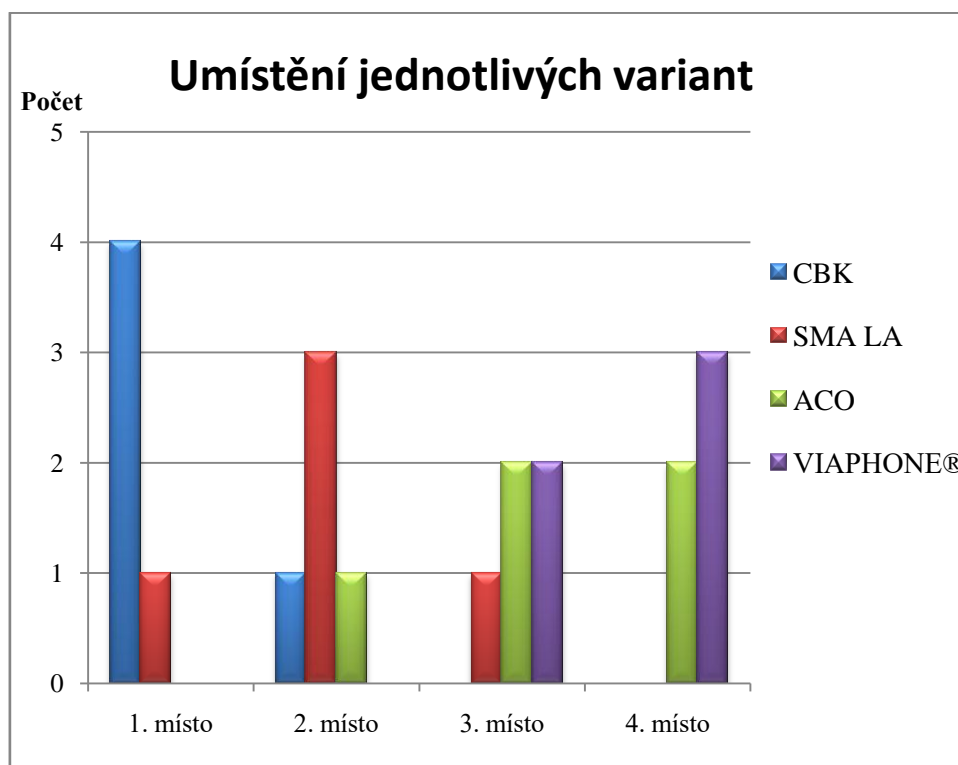
Č.	Funkce	MJ	ACO	CBK	SMA LA	VIAPHONE
1	Životnost	Body	3,6950417	4,6188022	3,2331615	1,84752086
2	Hlučnost	dB	0	0	0,0466962	0,14008867
3	Jízdní komfort	Body	0,0304209	0,0202806	0,035491	0,0405612
4	Protismykové vlastnosti	Body	0,0103548	0,0116491	0,0090604	0,00906043
5	Časová a technologická náročnost oprav	Body	0,0013103	0,0005616	0,0016847	0,0014975
6	Nutnost údržby	Body	1,658E-05	2,211E-05	1,658E-05	1,1054E-05
7	Možnost recyklace při rekonstrukci	Body	1,989E-06	1,705E-06	2,357E-06	2,3572E-06
8	Dopad na životní prostředí	Body	1,621E-08	2,084E-08	1,389E-08	1,389E-08
9	Zkušební s použitím	Body	9,688E-10	1,211E-09	4,844E-10	2,422E-10
10	Počet zhotovitelů	Body	0,1577738	0,0876521	0,1402434	0,10518256
D_J - Ivanovičova odchylka						
C_J - pořizovací cena (preference ↓)						
E_J - Efektivnost						
POŘADÍ						
			3.	1.	2.	4.
			0,7081673	0,7898282	0,7703014	0,47642774
			5,5	6	4,5	4,5

Zdroj: Autor

Největší Ivanovičovu odchylku má kryt cementobetonový. Po doplnění pořizovací ceny, která je u všech variant poměrně neurčitá a závisí na mnoha faktorech např. ceně ropy či počtu účastníků ve výběrovém řízení, avšak je podobná, se získá celkové pořadí. Ideální variantou zůstal cementobetonový kryt, poté asfaltový koberec mastixový, asfaltový beton a tichý asfalt.

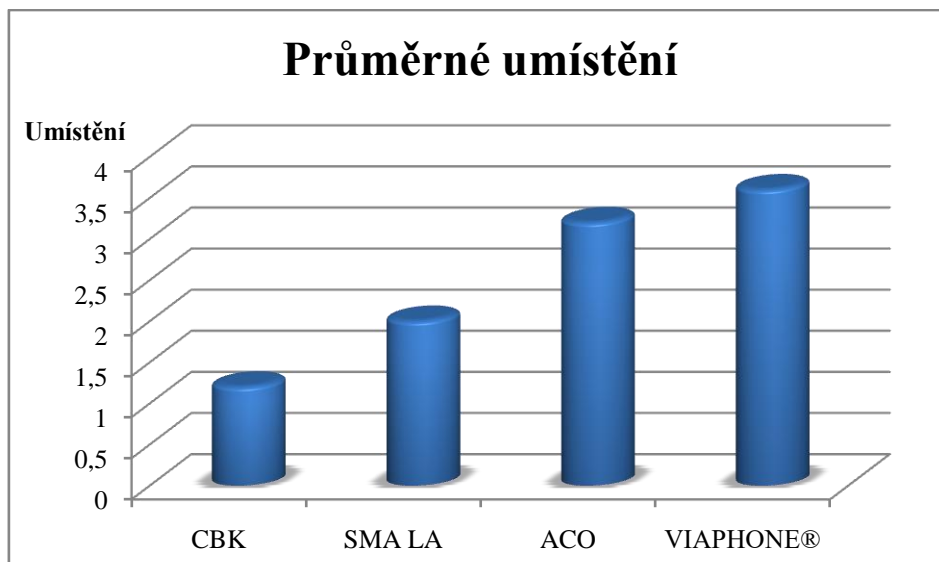
7.4 Vyhodnocení variant

Po vyhodnocení všech rozhodovacích metod se ukázala jako optimální varianta s cementobetonovým krytem s celkovým průměrným umístěním 1,2. Nízkohlučný asfaltový koberec mastixový s otevřenou mezerovitostí se umístil na druhém místě se ztrátou 0,8. S velkým odstupem následuje asfaltový beton a tichý asfalt.



Obrázek 36 – Počet umístění jednotlivých variant

Zdroj: Autor



Obrázek 37 – Průměrné umístění jednotlivých variant

Zdroj: Autor

Velmi významným faktorem, který nebyl brán v rozhodování v potaz, je finanční náročnost variant. Bylo vypracováno několik studií zabývajících se ověřením skutečné nákladovosti při pořízení a provozu vozovky s asfaltovým a cementobetonovým krytem (ABK a CBK). Všechny upřednostňují kryty cementobetonové. V roce 2011 se porovnávaly dva sousedící úseky s rozdílnými povrchy na dálnici D1 a D2.

POROVNÁNÍ ÚSEKŮ NA D1

Brno, jih – Velká Bíteš

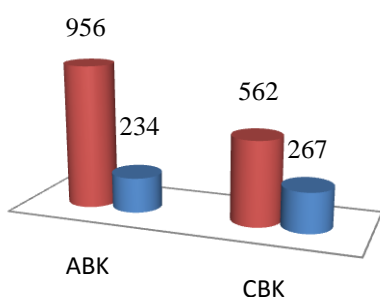
Dopravní intenzita: Vysoká, cca 15 tisíc těžkých nákladních vozidel (TNV)/den

CBK: v provozu 1972 – 2011

ABK: v provozu 1976 - 2011

Srovnání nákladů

- náklady na opravy a údržbu (Kč/m²)
- pořizovací náklady (Kč/m²)



POROVNÁNÍ ÚSEKŮ NA D2

Hustopeče – hranice ČR/SR

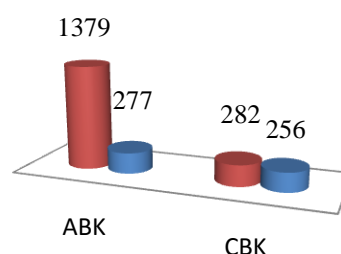
Dopravní intenzita: Střední, cca 6 tisíc těžkých nákladních vozidel (TNV)/den

CBK: v provozu 1980 – 2011

ABK: v provozu 1980 - 2011

Srovnání nákladů

- náklady na opravy a údržbu (Kč/m²)
- pořizovací náklady (Kč/m²)



V případě porovnávaných úseků D1 byla zjištěna úspora 30,9 % z celkových nákladů nařízení, opravy a údržbu ve prospěch CBK. V případě dálnice D2 je to až 67,5 %. V zahraničí proběhla podobná analýza na španělské dálnici AP4 spojující Seville a Cadiz. Zde výpočet ukázal úsporu přes 56 % ve prospěch CBK [92]. I z hlediska LCC je tak cementobetonový kryt pro Pražský okruh u Běchovic optimální variantou. Jediné v čem výrazně zaostává za asfaltovými povrchy, je relativní nehodovost. Také SMA LA se jeví jako vhodná varianta. U tohoto materiálu se nesečkáme s tak finančně náročnými opravami a údržbou. Jediné velké negativum představuje nedostatek zkušeností s použitím na českých vytížených komunikacích. Inovativní a prosazovaný tichý asfalt se sice vyznačuje nejlepšími parametry hlučnosti, v ostatních kritériích je však průměrný až podprůměrný, a proto by nebyl tou správnou volbou. Tato technologie má svůj význam na městských komunikacích a silnicích nižších tříd.

8. Závěr

Zadáním práce bylo prezentovat určité inovace v silničním stavitelství, jejich význam a možnosti užití. A to v oblasti předinvestiční a investiční fáze.

Problematika je doložena aplikací např. na vysoce sledovaném plánovaném úseku 511 Pražského okruhu D0 u Běchovic, kde bylo cílem posoudit, zda je vhodné použít inovativní tichý asfalt, o kterém se vážně uvažuje.

Po dokončení jihovýchodního úseku Běchovice – D1 se tato část stane jednou z nejméně frekventovaných komunikací v ČR. Volba krytu je proto velice důležitá. První variantou je nová technologie tichého asfaltu, která se vyznačuje snížením dopravního hluku při rychlosti 90 km/h o cca 3dB oproti ostatním povrchům. Další varianty jsou: cementobetonový kryt, asfaltový beton a asfaltový koberec mastixový s otevřenou mezerovitostí. Pro určení optimální varianty bylo třeba nejdříve stanovit soubor hodnotících kritérií a jejich váhy. Nejvýznamnějším kritériem se ukázala životnost obrusné vrstvy společně s hlučností a nutností pravidelné údržby. Naopak nejméně významným je počet zhotovitelů dané technologie.

Celkem 5 rozhodovacích metod bylo použito pro rozhodnutí, který povrch z hlediska svých vlastností je optimální. U 4 metod získal nejlepší ohodnocení kryt cementobetonový, proto by byl nejlepší volbou. Hned za ním se umístil asfaltový koberec mastixový SMA LA. Posuzovaný tichý asfalt VIAPHONE® se umístil na posledním místě. Rozhodujícím faktorem je však finanční náročnost. I z hlediska LCC je však cementobetonový kryt výhodný, jelikož i přes nepatrně větší pořizovací náklady oproti asfaltovým krytům uspoří finance v provozní fázi. Především pak tichý asfalt je velice náročný na údržbu, jelikož v případě nedostatečné údržby pak ztrácí svou hlavní přednost. Na ostatních úsecích Pražského okruhu je taktéž CBK.

Tabulka 25 – Pořadí variant

Pořadí	Varianta
1.	Cementobetonový kryt CBK
2.	Asfaltový koberec mastixový SMA LA
3.	Asfaltový beton ACO
4.	Tichý asfalt VIAPHONE®

Zdroj: Autor

Výsledky jsou využitelné pro Ministerstvo dopravy a ŘSD, aby lépe posoudilo, zda je opravdu jejich uvažovaná varianta s tichým asfaltem správná. Tichý asfalt je vhodný spíše pro jiný typ komunikace. Největší význam má u městských a příměstských komunikací nižších tříd. Jak ukazují zkušenosti ze zahraničí, ale také i z českých dálnic, nejvýhodnějším typem povrchu na komunikacích s vysokou intenzitou dopravy je kryt cementobetonový. Právě díky novým technologiím se dříve kritizovaná hlučnost tohoto povrchu dokáže srovnávat s asfaltovými kryty a to úpravou vlečenou jutou. Naopak úprava striáží zlepšuje protismykové vlastnosti, ale vykazuje vyšší hlučnost.

Inovace v silničním stavitelství mají za cíl zlepšit kvalitu a bezpečnost komunikací, jejich rychlejší výstavbu a efektivnější údržbu při vynaložení menších finančních prostředků. Aby mohla Česká republika dokončit svojí páteřní síť silnic a dálnic a mohla se tak srovnávat s ostatními vyspělými evropskými státy, je také nutné pomalu zapracovávat povinnost používání BIM do veřejných zakázek. Zvýšila by se tím transparentnost výstavby. Nejprve je však nutná legislativní podpora. Jak ukázala novela zákona EIA, je stále na čem pracovat. I díky novým materiálům, technologiím, pracovním postupům a nové mechanizace je však možné stanovených cílů dosáhnout.

9. Seznam literatury

- [1] 13/1997 Sb. Zákon o pozemních komunikacích.
- [2] Bimbaumová, M.: *Zkušenosti s výstavbou CB krytů v České republice*. In Cementobetonové vozovky 2003, Bratislava, 2003, s. 16 – 21.
- [3] Černý, M. a kol.: *BIM příručka*. Praha, Odborná rada pro BIM o.s., 2013, 75 s., ISBN 9788026052968.
- [4] Čihák, M., Hak, F., Hladká, J., Horníček, K., Kubešová, S., Mátl, R., Michková, V., Šrajerová, J., Vorel, V.: *Páteřní síť silnic a dálnic ČR*. Praha, Agentura Lucie spol. s.r.o., 2013, s. 164, ISBN 9788087138526.
- [5] Čoček, T.: *Rozpočet Státního fondu dopravní infrastruktury na rok 2015 a střednědobý výhled na roky 2016 a 2017*. Státní fond dopravní infrastruktury, 2014, dostupné z: http://www.sfdi.cz/soubory/obrazky-clanky/dokumenty-2014/2014_rozpocet2015.pdf
- [6] David, J.: *Výstavba, údržba a opravy asfaltových vozovek*. In: Konference asfaltové vozovky 2013, České Budějovice, PRAGOPROJEKT a.s., 2013, ISBN 9788090392533
- [7] Douša, P., Kutil, L., Příkryl, M.: *Přínos využití 3D přístupu při realizaci rekonstrukce silnice I/2 průtah Říčany u Prahy*. In: Konference asfaltové vozovky 2013, České Budějovice, PRAGOPROJEKT a.s., 2013, ISBN 9788090392533
- [8] Dvořák, J. a kol.: *Management inovací*. Praha, Vysoká škola manažerské informatiky a ekonomiky, 2006, 246 s., ISBN 8086847187.
- [9] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K.: *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey, John Wiley&Sons, 2011, 648 s., ISBN 9780470541371.
- [10] Fotr, J., Hnilica, J.: *Aplikovaná analýza rizika ve finančním managementu a investičním rozhodování*. Praha, Grada Publishing, a.s., 2014, 304 s., ISBN 9788024751047.
- [11] Fotr, J., Švecová, L.: *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Praha, Ekopress, 2010, 474 s., ISBN 9788086929590.
- [12] Ivanovic, B.: *Diskriminaciona analiza*. Beograd, Naucna knjiga, 1963.
- [13] Ježková, J., Mondschein, P., Dlouhá, E.: *Dopravní stavby*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2005, 151 s., ISBN 9788001033937.
- [14] Kašpar, J., Bureš, P.: *VIAPHONE® – tenká obrusná vrstva s nízkou hlučností*. In: Konference asfaltové vozovky 2011, Praha, PRAGOPROJEKT a.s., 2009, ISBN 9788090392526.

- [15] Kiernan, M.: *Get innovative or get dead! Building Competitive Companies for the 21st Century*. Vancouver, Douglas&McIntyre Ltd., 1995, 256 s., ISBN 9780712678209.
- [16] Kislingerová, E. a kol.: *Inovace nástrojů ekonomiky a managementu organizací*. Praha, C. H. Beck, 2008, 293 s., ISBN 9788071798828.
- [17] Korviny, P.: *Teoretické základy vícekritériálního rozhodování*. dostupné z : http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie_mca.pdf.
- [18] Křupka, J., Kašparová, M., Máchová, R.: *Rozhodovací procesy*. Pardubice, Univerzita Pardubice, 2012, 70 s., ISBN 9788073954789, dostupné z: http://www.rozhodovacicprocesy.cz/user-files/tinymce/files/isbn978-80-7395-478-9_online_pouzetisk.pdf.
- [19] Kudrna, J. a kol.: *Protismykové vlastnosti CB vozovek ve vztahu k silničnímu provozu*. In: Sborník přednášek betonové vozovky 2010, Praha, Svaz výrobců cementu ČR, Dálniční stavby Praha a.s., Skanska a.s., 2010, s. 49 - 67, ISBN 9788025475669.
- [20] Lídl, V., Pospíšil, P., Svoboda, L., Šejna, P., Švarc, J., Vorel, V.: *Silnice a dálnice v ČR*. Praha, Agentura Lucie spol. s.r.o., 2009, 376 s., ISBN 9788087138144.
- [21] Měšťanová, D.: *Aspekty auditu výkonnosti pro Facility Management*. In: Facility management 2008. Nitra, SSTP – Slovenská spoločnosť pro techniku a prostredie, 2008, s. 27-30, ISBN 9788089216222.
- [22] Měšťanová, D.: *Nové přístupy při přípravě a realizaci dálničních staveb*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2012, s. 30, ISBN 9788001050491.
- [23] *National Building Information Modeling Standard*. dostupný z: <http://www.bim.org.tw/.%5CThesisFile%5C20120629001%5CNational%20BIM%20Standard-United%20States%20Version%202.pdf>.
- [24] Nekula, L. a kol.: *Školení technických norem a předpisů 3 – Údržba a opravy vozovek, povrchové vlastnosti vozovek (STEPS 3)*. Praha, Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2010, 92 s.
- [25] Neuvirt, M. a kol.: *Školení technických norem a předpisů 2 – Recyklace vozovek (STEPS 2)*. Praha, Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2010, 44 s.
- [26] Ředitelství silnic a dálnic ČR: *Pražský okruh*. 2015, dostupné z: <https://www.rsd.cz/doc/Silnicni-a-dalnicni-sit/Rychlostni-silnice/publikace-o-r1>
- [27] Ředitelství silnic a dálnic ČR: *Pražský okruh úsek 511 Běchovice – D1*. 2014, dostupné z: https://www.rsd.cz/mapa/attachment/553cb0b16d710d6b480c5ef5/r1-511-bechovice-d1_1430040778450.pdf.

- [28] Ředitelství silnic a dálnic ČR: *Dálnice D3*. 2013, dostupné z: http://www.dalnice-d3.cz/public/data/file/RSD_D3_2013.pdf.
- [29] *Silniční okruh kolem Prahy*. Praha, Sdružení pro výstavbu silničního okruhu kolem Prahy ve spolupráci s ŘSD ČR, 2009, ISBN 9788090398740.
- [30] Snížek, V., Dostálová, M. a kol.: *OptiRec – Nástroj pro hodnocení variant recyklačních technologií*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2014, 150 s., ISBN 9788001054468.
- [31] Synek, M. a kol.: *Manažerská ekonomika 5*. Praha, Grada Publishing, a.s., 2011, 480 s., ISBN 9788024734941.
- [32] Škvor, V.: *Portfolio projektů 5. etapa projektu TPSD, Silniční infrastruktura*. Praha, PRAGOPROJEKT a.s., 2012, s. 30, dostupné z: <http://www.tpsd-ertrac.cz/file/portfolio-projektu-5-etapa-projektu-tpsd-3-silnicni-infrastruktura/>.
- [33] Tomek, A. a kol.: *Operační manuál řízení procesů přípravy a realizace velkých dopravních staveb veřejným objednatelem*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2015, 136 s., ISBN 9788001056813.
- [34] TP 208 - Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena.
- [35] Valentin, J.: *Recyklace asfaltových vozovek*. In: [online], 2011, dostupné z: <http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/recyklaceasfaltovychvozovek.pdf>
- [36] Wilson, Ch.: *Brainstorming and beyond*. Oxford, Elsevier Inc., 2013, 75 s., ISBN 9780124071575, dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=YsnKE2JdlsQC&pg=PA11&dq=Brainstorming+rules&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwir-rXI0s7JAhUBOBQKHZSeB-UQ6AEITTAf#v=onepage&q=Brainstorming%20rules&f=false>.
- [37] Žáček, V.: *Teorie managementu*. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 2008, 208 s., ISBN 9788001039632.

Odborné časopisy

- [38] *All set for 2015: The BIM Roadmap*. Build smart 09/2011, dostupné z: http://www.bca.gov.sg/publications/BuildSmart/others/buildsmart_11issue9.pdf.
- [39] Babiš, M.: *Recyklace asfaltových směsí: Pojdme sjednotit a nově nastavit kritéria – odpad, neodpad nebo vedlejší produkt?* Silnice a železnice 4/2015, roč. 10, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/recyklace-asfaltovych-smesi-pojdme-sjednotit-a-nove-nastavit-kriteria-odpad-neodpad-nebo-vedlejsi-produkt/>.
- [40] Bernstein, P. (Lecturer, Yale University): *Building Smart Qatar BIM Summit Oct 2012*.

- [41] Bohuslávka, P., Kopačková, D.: *BIM od roku 2016 v Británii povinný. Co přinese?* Tzbinfo 5/2013, ISSN 1801-4399, dostupný z: <http://www.tzb-info.cz/facility-management/9878-bim-od-roku-2016-v-britanii-povinnny-co-prinese>.
- [42] EUROVIA CS, a.s.: *Využití technologií při výstavbě cementobetonových krytů v oblasti silniční infrastruktury*. Silnice a železnice 4/2015, roč. 10, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/vyuziti-technologie-pri-vystavbe-cementobetonovych-krytu-v-oblasti-silnicni-infrastruktury/>.
- [43] Gonchar, J.: *Transformative Tools Start to Take Hold*. Architectural Record. 2007, s. 155 - 162, ISSN 003858X.
- [44] Kašpárek, M.: *COLAS CZ, a.s. – obalované směsi kameniva s pojivý Bituclair a Végécol*. Silnice a železnice 4/2012, roč. 7, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/colas-cz-a-s-obalovane-smesi-kameniva-s-pojivy-bituclair-a-vegecol/>.
- [45] Kendrick, M., Taggart, A.: *Delivering well-maintained highways*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer. 2006, s. 97 - 104, ISSN 09650903.
- [46] Kolektiv autorů: *INTERMAT Paříž 2015 – Veletrh v dynamickém rytmu*. Lomy a těžba 2/2015, roč. 4, ISSN 1805-2304, dostupný z: <http://www.lomyatezba.cz/2015/2015-2/item/596-intermat-pariz-2015-veletrh-v-dynamickem-rytmu>.
- [47] Kolektiv autorů: *Ocenění v soutěži Inovace roku 2014*. Stavebnictví 1-2/2015, roč. 8, ISSN 1802-2030, dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/oceneni-v-soutezi-inovace-roku-2014_N5372.
- [48] Kolektiv autorů: *Asfaltová směs VIAPHONE® je řešením pro snížení hluku*. Silnice a železnice 4/2013, roč. 8, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/asfaltova-smes-viaphone-je-resenim-pro-snizeni-hluku/>.
- [49] Kolková, O.: *V nizozemsku mají dálnici, která ve tmě svítí*. CDR 4/2014, ISSN 1213-2225, dostupný z: <http://cdr.cz/clanek/v-nizozemsku-maji-dalnici-ktera-ve-tme-sviti>.
- [50] Kudrna, J., Urbanec, K., Kachtík, J., Dašek, O., Coufalík, P.: *Nové technologie údržby a oprav asfaltových vozovek se zaměřují na úsporu material a snížení hluku*. Silnice a železnice 4/2013, roč. 8, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-technologie-udrzby-a-oprav-asfaltovych-vozovek-se-zameruji-na-usporu-materialu-a-snizeni-hluku/>.
- [51] Mondschein, P., Zedníček, J.: *Aramidová vlákna – moderní způsob vyztužení asfaltových směsí*. Silnice a železnice 1/2014, roč. 9, ISSN 1803-8441, dostupné z:

<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/aramidova-vlakna-moderni-zpusob-vyztuzeni-asfaltovych-smesi/>.

- [52] Valentin, J., Mondschein, P.: *Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky*. Silnice a železnice 5/2010, roč. 5, ISSN 1803-8441, dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>.
- [53] Vaněk, P.: *ČKLOP – BIM jako nástroj efektivního projektování, výstavby a správy*. Konstrukce 4/2014, roč. 14, ISSN 1803-8433, dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/cklop-bim-jako-nastroj-efektivniho-projektovani-vystavby-a-spravy/>.

Internetové zdroje:

- [54] <http://www.ceskedalnice.cz/image/mapa-velka.png>
- [55] http://www.mdcz.cz/cs/Media/Tiskove_zpravy/Nove_pojeti_dalnicni_site_a_dalsi_navrhovane_zmeny_v_zakone_o_PK.htm
- [56] <http://www.mmr.cz/cs/Ministerstvo/Ministerstvo/Pro-media/Tiskove-zpravy/2015/Zakon-o-zadavani-verejnych-zakazek-miri-na-vladu>
- [57] <http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/intenzity-dopravy>
- [58] <http://www.edip.cz/cs/img/nabidka-sluzeb/dopravni-pruzkumy-scitani-dopravy/celostatni-scitani-dopravy-2010/013.jpg#picture-detail>
- [59] <http://www.policie.cz/soubor/prehled-nehodovosti-za-rok-2014-pdf.aspx>
- [60] www.gasfalt.cz
- [61] http://www.eurovia.cz/cs/novinky/2086-eurovia_cs_si_prevzala_cenu_za_asfaltovou_smes_viaphone_
- [62] http://www.wirtgen.de/en/technologies/cold-milling/operating-principle/funktionsprinzip_4.php
- [63] <http://www.rms.ie/products/recycling/recycling.html>
- [64] http://www.wirtgen.de/en/technologies/hot-recycling/operating-principle/funktionsprinzip_1.php
- [65] http://www.swietelsky.cz/index.php?id=584&L=0&tx_posbuildref%5Bconstruction%5D=954
- [66] <http://www.ekobonus.cz/stavba-rekonstrukce/co-s-odpadem-z-ras-vyrobime-z-nich-bioasfalt>

- [67] <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/v-holandsku-testuji-protihlukove-steny-schopne-vyrabet-elektrickou-energii/>
- [68] http://www.eurovia.cz/cs/produkty_technologie/specialni_technologie
- [69] http://www.eurovia.cz/download/Stranovy_finiser.pdf
- [70] <http://www.ammann-group.cz/cz/hutnici-stroje/tandemove-a-kombinovane-valce/tandemove-kloubove-valce/tier-4i-arx/>
- [71] <http://www.ammann-group.cz/cz/hutnici-stroje/tandemove-a-kombinovane-valce/tandemove-kloubove-valce/tier-4i-arx/fotos/productpage/15253/>
- [72] <http://www.bss-trading.com/category/asphalt-batching-plant/terex-magnum-80-mobile-asphalt-plant>
- [73] <http://en.volkerwessels.com/en/projects/detail/plasticroad>
- [74] <http://www.wired.com/2015/07/future-highways-made-recycled-plastic-bottles/>
- [75] <http://www.smarthighway.net/>
- [76] <http://www.aipcr.cz/stanovy.asp>
- [77] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf
- [78] <http://greghowes.blogspot.cz/2012/06/macleamy-curve-real-world-bim-and-ipd.html>
- [79] http://bagry.cz/cze/clanky/job_reporty/trimble_gcs900_vede_frezu_po_kunraticke_spojce_tretim_rozmerem
- [80] <http://www.trimble.com/construction/heavy-civil/machine-control/grade-control/cb460-Control-Box.aspx?dtID=overview>
- [81] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf
- [82] <http://www.bimthinkspace.com/bim-maturity/>
- [83] <http://www.nku.cz/cz/media/ceske-dalnice-by-mohly-byt-az-o-petinu-levnejsi--jeden-jejich-kilometr-pritom-dosud-stal-416-milionu-korun-id6581/>
- [84] <http://frankbold.org/poradna/kategorie/eia-a-ippc/rada/zmeny-v-zakone-o-eia-od-1-dubna-2015>
- [85] <http://scitani2010.rsd.cz>
- [86] http://www.tyden.cz/rubriky/domaci/prazsky-okruh-zacina-od-nuly-urad-zastavil-uzemni-rizeni_332258.html
- [87] <http://www.novinky.cz/domaci/284878-praha-chce-uzakomit-cast-okruhu-jako-verejny-zajem-aby-mohla-vyvlastnovat.html>
- [88] <http://www.tyden.cz/obrazek/201502/54d0eb31c1e00/mapa-54d0ebdeaf054.jpg>

- [89] <http://zpravy.aktualne.cz/regiony/praha/okruh-u-bechovic-bude-nejdriv-za-8-let-kdyz-nebudou-zaloby/r~bd50c16ed16411e4a66e0025900fea04/>
- [90] http://k126.fsv.cvut.cz/predmety/126terz/terz_pr3.pdf
- [91] https://cs.wikipedia.org/wiki/Korelace#/media/File:Correlation_examples2.svg
- [92] <http://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/05/vozovky-s-cementobetonovym-povrchem.pdf>

10. Seznamy tabulek a obrázků

Tabulka 1 – Vlastnictví, správa a údržba komunikací dle typu komunikace

Tabulka 2 – Stav vozovek z hlediska protismykových vlastností

Tabulka 3 – Stav vozovek z hlediska únosnosti

Tabulka 4 – Stav vozovek z hlediska podélných nerovností

Tabulka 5 – Nehodovost na dálnici D5 během 4 let pozorování

Tabulka 6 – Srovnání hlučnosti jednotlivých druhů povrchů na dálnicích ČR

Tabulka 7 – Současný stav posledních úseků dálnice D3 dle platné legislativy do roku 2015

Tabulka 8 – Předpoklad pro poslední úseky dálnice D3

Tabulka 9 – Dálková spojení Prahy s vybranými městy

Tabulka 10 – Úseky Pražského okruhu D0

Tabulka 11 – Pravidla brainstormingu

Tabulka 12 – Formulář pro brainwriting

Tabulka 13 – Metfesselova alokace

Tabulka 14 – Párové porovnání výpočet v matici

Tabulka 15 – Fullerův trojúhelník

Tabulka 16 – Saatyho stupnice důležitosti kritéria v řádku

Tabulka 17 – Saatyho stupnice důležitosti kritéria ve sloupci

Tabulka 18 – Metoda řádkových součtů

Tabulka 19 – Metoda geometrického průměru

Tabulka 20 – Bodovací metoda s váhami

Tabulka 21 – Metoda indexových koeficientů

Tabulka 22 – Kompenzační metoda

Tabulka 23 – Metoda lineárních dílčích funkcí utility

Tabulka 24 – Diskriminační analýza s Ivanovičovou odchylkou

Tabulka 25 – Pořadí variant

Obrázek 1 – Dálniční síť k 1. 1. 2016

Obrázek 2 – Nové pojetí dálniční sítě

Obrázek 3 – Stav vozovek z hlediska podélných nerovností

Obrázek 4 – Faktory ovlivňující vznik dopravní nehody

Obrázek 5 – Vývoj dopravních nehod

Obrázek 6 – Přehled inovací

Obrázek 7 – Srovnání ekvivalentních hladin hluchnosti úseků v Pardubickém kraji při rychlosti 50 km/h

Obrázek 8 – Ekvivalentní hladiny akustického tlaku povrchů realizovaných v Pardubickém kraji

Obrázek 9 – Starý a nový přístup k rozdílům mezi technologiemi

Obrázek 10 – Tradiční způsob

Obrázek 11 – Recyklace za studena

Obrázek 12 – Recyklace za tepla

Obrázek 13 – Bariéry SONOB

Obrázek 14 – Stranový finišer

Obrázek 15 – Kloubových tandemových válců Ammann ARX 90 Tier4i

Obrázek 16 – Mobilní obalovna Bomag Marini Magnum 80

Obrázek 17 – PlasticRoad a)

Obrázek 18 – PlasticRoad b)

Obrázek 19 – Glowing Lines

Obrázek 20 – Dynamic paint

Obrázek 21 – Electric Priority Lane

Obrázek 22 – Interactive Light

Obrázek 23 – Integrované řízení projektů

Obrázek 24 – Totální stanice Trimble GCS900 společnosti Sitech s frézou Wirtgen W2100

Obrázek 25 – Ovládací displej Trimble CB460 totální stanice Trimble GCS900

Obrázek 26 – Vývoj od CAD k BIM s pozicí ČR

Obrázek 27 – Časové srovnání pro poslední úseky dálnice D3

Obrázek 28 – Intenzita dopravy Pražský okruh

Obrázek 29 – Pražský okruh úsek 511 Běchovice – D1

Obrázek 30 – Poslední plán silničního okruhu Prahy

Obrázek 31 – Problematická severní část u Suchdola

Obrázek 32 – Celková cena a uvedení do provozu úseku Běchovice – D1

Obrázek 33 – Saatyho matice

Obrázek 34 – Kritéria výnosového a nákladového typu

Obrázek 35 – Naměřená data a koeficienty jejich korelace s funkcí $y = x$

Obrázek 36 – Počet umístění jednotlivých variant

Obrázek 37 – Průměrné umístění jednotlivých variant

11. Seznam zkratek

ABK – asfaltový kryt

ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy

AIP – Asociace inovačního podnikání

AKR – alkalicko-křemičitá reakce

ASU – Arizona State University

BBTM – asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy

BIM – Building Information Modeling

CBK – cementobetonový kryt

CRmB – Asfalty modifikované pryžovým granulátem (Crumb Rubber modified Bitumen)

EIA – vyhodnocení vlivů na životní prostředí (Environmental Impact Assessment)

EU – Evropská unie

IPD – integrované řízení projektů (Integrated Project Delivery)

LCC – náklady životního cyklu (Life Cycle Cost)

LSC – luminiscenční solární koncentrátoři

NKÚ – Nejvyšší kontrolní úřad

PVV – protismykové vlastnosti vozovek

ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

SMA LA – mastixový koberec s otevřenou mezerovitostí

SÚS – Správy a údržby silnic

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty

TP – technické podmínky

TSK-ÚDI – Technická správa komunikací hl. m. Prahy – Úsek dopravního inženýrství

ÚOHS – Úřad pro ochranu hospodářské soutěže