



Metodika využití 3D dat pro rekonstrukce pozemních komunikací

Zpracovatel: **ČVUT v Praze Fakulta dopravní**
Ústav dopravní telematiky
Konvčtská 20, 110 00 Praha 1

Autoři:
Ing. Martin Langr, Ph.D.
Ing. František Kekula
doc. Ing. Pavel Hruběš, Ph.D.

Praha, červenec 2019

Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. FV20356 „Implementace principů Průmyslu 4.0. při výrobě a opravách konstrukčních vrstev dopravních komunikací“ programu TRIO Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

OBSAH

1	CÍLE METODIKY	3
2	VLASTNÍ POPIS METODIKY	5
2.1	POPIS ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A ROZHRANÍ METODIKY	6
2.1.1	<i>Vstupy do metodiky</i>	9
2.1.2	<i>Výstupy metodiky</i>	9
2.2	POSTUP METODIKY	9
2.2.1	<i>Sběr 3D dat</i>	10
2.2.2	<i>Příprava 3D dat</i>	21
2.2.3	<i>Realizace rekonstrukce a její kontrola s využitím 3D dat</i>	26
3	SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	33
4	POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	34
5	EKONOMICKÉ ASPEKTY	35
5.1	NÁKLADY SPOJENÉ SE ZAVEDENÍM METODIKY	35
5.2	PŘÍNOSY VYPLÝVAJÍCÍ ZE ZAVEDENÍ METODIKY	35
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
7	SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODICE	40
8	JMÉNA OPONENTŮ METODIKY	41
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	42

1 CÍLE METODIKY

Rekonstrukce pozemních komunikací (dále jen „PK“) významně ovlivňuje jejich kvalitu a životní cyklus. Nevhodně provedená rekonstrukce výrazně snižuje životní cyklus vozovky, což se po delší době projevuje vyšším namáháním podvozkových částí vozidel, snížením bezpečnosti provozu a zvýšením zdravotních rizik pro pasažéry např. stres či jiné po delší době se projevující následky na zdraví. I přes tato známá rizika plynoucí z nedostatečně nebo špatně realizované rekonstrukce, není ve stávající době v ČR ucelený přístup, který by těmto rizikům předcházel správně provedenou rekonstrukcí.

Aby bylo možné těmto rizikům předcházet, je nutné provádět rekonstrukci dle předem stanovených kroků a s využitím 3D dat v podobě 3D digitálních modelů terénu. Rekonstrukce PK využívající 3D digitálních modelů terénu umožňují zachytit současný stav vozovky před začátkem rekonstrukce, v jejím samotném průběhu až po zachycení stavu na konci rekonstrukce. Díky tomu je zaznamenán celý proces rekonstrukce v digitální podobě, který umožňuje kontrolovat míru plnění požadavků na přesnost v jednotlivých fázích rekonstrukce. Jedná se především o ověřování naměřených údajů, provádění zpětných doměrování, porovnávání skutečných odchylek s maximálními povolenými odchylkami uvedenými v projektové dokumentaci a kontrolu míry provedených prací. (Metodika využívá 3D zpřesňující data, které mohou využít standardní stavební stroje bez nutnosti zásahu do jejich hardwaru a softwaru).

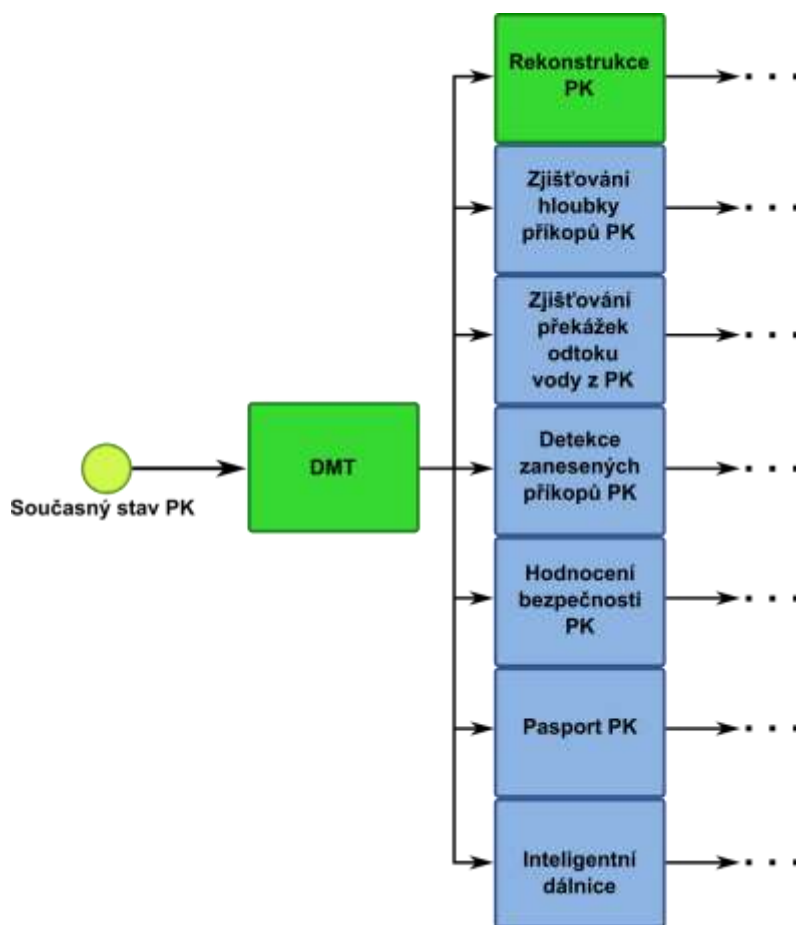
Tento dokument popisuje systematický a ucelený přístup v rekonstrukcích PK založený na využití 3D digitálních modelů terénu. Průběh rekonstrukce je stanoven předem danou posloupností kroků, které je nezbytné dodržet za účelem dosažení rekonstrukce v požadované kvalitě (přesnosti). Stanoveny jsou i požadavky na (přípustné odchylky) na 3D měřicí technologie a jejich podmínky použití. Předkládaná metodika je dílčím výsledkem z projektu výzkumu a vývoje s názvem „Implementace principů Průmyslu 4.0 při výrobě a opravách konstrukčních vrstev dopravních komunikací“.

Cílem metodiky je zavést nový ucelený a systematický přístup v rekonstrukcích a případných opravách pozemních komunikací na síti pozemních komunikací České republiky s využitím 3D digitálních modelů. Metodika se zaměřuje na práci s 3D daty, která spočívá v jejich sběru a zpracování a správné přípravě. Zpracovaná a připravená 3D data v podobě 3D digitálních modelů se následně využívají při realizaci rekonstrukce pozemních komunikací. Při každé rekonstrukci pozemní komunikace je důležité zjistit a zhodnotit současný stav povrchu pozemní komunikace určeného k rekonstrukci. Určit požadavky na výsledný stav pozemní komunikace po její rekonstrukci, tedy nové hodnoty parametrů digitálních modelů určující

výslednou geometrickou kvalitu vozovky. Realizace rekonstrukcí v případě použití tradičních postupů zahrnuje manuální procesy, které negativně ovlivňují rekonstrukci a tím i výslednou kvalitu a životnost vozovky. S využitím 3D digitálních modelů lze některé manuální procesy digitalizovat a odstranit tak nežádoucí vlivy chyb, které jsou způsobené především lidským faktorem a dosáhnout tak vyšší kvality rekonstrukce.

Text metodiky také jasně stanovuje požadavky a kroky jak kontroly kvality, tak i re-profilace ve fázi přípravy a zadání, realizace prací a přejímání výsledků měření. Následně i během procesu vyhodnocování výsledků, rozhodování na základě získaných výsledků měření a shromažďování podkladů z měření. A konečně i ve finální fázi archivace všech výsledků měření a zjištění pro závěrečnou zprávu zadavatele, která je podkladem pro přejímky stavby.

Tato metodika je detailně zaměřena na popis rekonstrukce PK s využitím 3D digitálních modelů, avšak je možné 3D digitální modely využít i pro jiné vybrané typy úloh dopravních staveb. Díky možné digitalizaci některých manuálních procesů, které byly do teď vykonávány manuálně, se nabízí využít 3D digitální modely pro další typy úloh. Příklady takových úloh jsou znázorněny ve schématu na obrázku č. 1.



Obrázek 1: Další oblasti využití DMT (digitálního modelu terénu).

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

Základní slovník pojmů

Digitální modely – souhrnný název pro digitální modely terénu, digitální modely stavby a rozdílové digitální modely

Digitální model terénu (DMT) – představuje digitální reprezentaci průběhu skutečné topografické plochy terénu na základě měřených dat

Digitální model stavby (DMS) – ideální prostorová digitální reprezentaci vyprojektované plochy stavebního objektu (povrchu), na základě digitálního modelu terénu, dodané projektové dokumentace, jádrových vývrtů nebo jiných podkladů o stavu budoucí konstrukční vrstvy stavebního objektu

Bodové pole stavby – účelová síť geodetických bodů určená k zaměření a vytyčování prostorové polohy stavebního objektu

Identické body – body ve kterých se překrývají jednotlivá mračna bodů

Kontrolní body – body určující polohu jednotlivých měření

Pozice skenování – místo na pozemní komunikaci, ve kterém dochází k 3D měření

Rozdílový digitální model terénu (RDMT) – model vzniklý na základě rozdílu mezi příslušnými digitálními modely

Metoda měření „stop and go“ - metoda 3D měření, kdy při měření je skener na jednom místě umístěný např. na vozidle a tvoří celek, v případě potřeby změny pozice není nutná demontáž měřicího systému, systém se přemístí jako celek

Mračno bodů – základní výstup z 3D měření, představující množinu bodů popisující povrch stavebního objektu a předmětů na něm

Ověřovací měření – měření, které slouží k ověření správnosti geometrických parametrů hotové fáze stavební činnosti, pro které je stanovena mezní odchylka (předpis TKP MD ČR Kapitola 1, Příloha 9 – Přesnost vytyčování a kontrola geometrické přesnosti, článek 1.2 Pojmy a použité výrazy a zkratky)

Kontrolní měření – měření pro kontrolu správnosti a přesnosti již provedených měření (předpis TKP MD ČR Kapitola 1, Příloha 9 – Přesnost vytyčování a kontrola geometrické přesnosti, článek 1.2 Pojmy a použité výrazy a zkratky)

Seznam zkratek

DMT	Digitální model terénu
DMS	Digitální model stavby
PS	Pozice skenování
RDMT	Rozdílový digitální model terénu
MB	Mračno bodů
PD	Projektová dokumentace
PSDS	Projektové dokumentace pro provádění staveb
DM	Digitální modely
TKP	Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací
ZTKP	Zvláštní technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací
OTSKP	Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací staveb pozemních komunikací
ZDS	Zadávací dokumentace stavby

2.1 POPIS ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY A ROZHRANÍ METODIKY

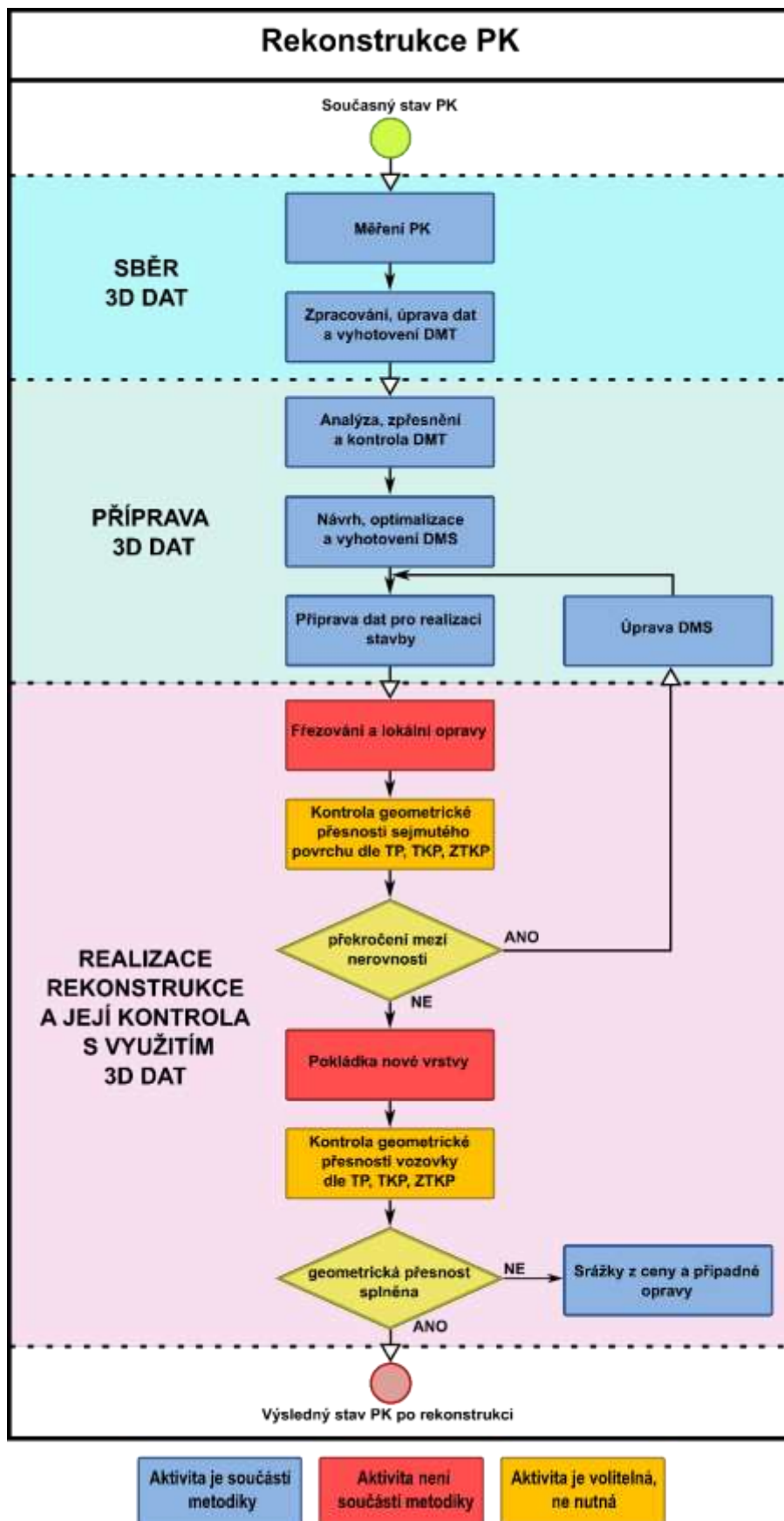
Špatný technický stav vozovky negativně působí nejenom na vozidlo, ale také na jeho pasažéry. Dochází tak k častému namáhání podvozkových částí vozidla a k soustavnému vystavování pasažérů nepříjemným zdravotním rizikům jako je např. stres nebo jiné po delší době se projevující následky na zdraví. Rekonstrukce a opravy silnic s využitím 3D digitálních modelů terénu (dále jen „DMT“) a kontrolou kvality souvisejících stavebních prací zabraňuje těmto nežádoucím dopadům nebo je dokáže zmírnit. Zároveň snižuje ekonomické náklady při opravě či rekonstrukci PK. Odstraňuje některé chyby vyskytující se při frézování a chyby vznikající při pokládce nové vrstvy (např. nesprávná tloušťka, nerovnosti, podélné a příčné sklony, dodržení odchylek od nivelety, hodnota mezinárodního indexu nerovnosti (dále jen „IRI“) a užitná kvalita prováděného díla). V některých případech byly prokázány vyšší náklady zadavatele i zhotovitele, snížení životnosti oprav v důsledku nedostatečných tloušťek konstrukčních vrstev a snížení bezpečnosti provozu na takovýchto komunikacích. [1]

Aby bylo možné metodiku používat, je nutné stanovit vstupy a výstupy se kterými metodika pracuje. Metodiku tvoří jeden hlavní proces, který je dále dekomponován na tři následující sub-procesy obsahující jednotlivé aktivity:

- **Sběr 3D dat**-jedná se o sub-proces jehož cílem je vytvořit DMT. Skládá se z aktivit:
 - *Měření PK,*
 - *Zpracování, úprava dat a vyhotovení DMT.*

- **Příprava 3D dat**-cílem sub-procesu příprava 3D dat je připravit 3D data pro následující sub-proces Realizace rekonstrukce s využitím 3D dat. Sub-proces obsahuje aktivity nezbytné pro správnou přípravu 3D dat. Mezi tyto aktivity patří:
 - *Analýza, zpřesnění a kontrola DMT,*
 - *Návrh, optimalizace a vyhotovení DMS,*
 - *Příprava dat pro realizaci stavby,*
 - *Úprava DMS.*
- **Realizace rekonstrukce s využitím 3D dat**-cílem sub-procesu realizace rekonstrukce s využitím 3D dat je fyzická realizace rekonstrukce PK a její následná volitelná kontrola. Jedná se o stavební aktivity frézování a lokální opravy a pokládka nové vrstvy. Za účelem vyhodnocení úspěšnosti provedených stavebních činností je možné zařadit aktivity kontrolu geometrické přesnosti sejmutého povrchu a kontrolu geometrické přesnosti vozovky dle TP, TKP a ZTKP během a na konci realizace rekonstrukce. Mezi aktivity sub-procesu patří:
 - *Frézování a lokální opravy,*
 - *Kontrola geometrické přesnosti sejmutého povrchu dle TP, TKP a ZTKP,*
 - *Pokládka nové vrstvy,*
 - *Kontrola geometrické přesnosti vozovky dle TP, TKP a ZTKP,*
 - *Srážky z ceny a případné opravy.*

Uvedené sub-procesy mezi sebou určují navzájem dvě rozhraní. Jedná se o rozhraní mezi sub-procesem sběr 3D dat a příprava 3D dat a rozhraní mezi sub-procesem příprava 3D dat a realizace rekonstrukce s využitím 3D dat. Základní dekomponované schéma procesu rekonstrukce PK s využitím DMT je uvedeno na obrázku č. 2.



Obrázek 2: Proces rekonstrukce PK s dekomponováním na jednotlivé sub-procesy.

Vzhledem k tomu, že každý sub-proces procesu rekonstrukce PK může vykonávat jeden subjekt nebo několik různých subjektů, je nutné zajistit regularitu mezi výše zmíněnými rozhraními. Transformované vstupy na výstupy jedním sub-procesem musí vytvořit regulární vstupy pro následující sub-proces a nesmí se stát, že by byly nevyužitelné.

2.1.1 Vstupy do metodiky

Metodika očekává následující vstupy:

- Silniční databanka – informace o zbytkové době životnosti vozovky a informace sloužící k návrhu tloušťky jejího zesílení, informace o proměnných parametrech vozovky (protismykové vlastnosti, podélné a příčné nerovnosti povrchu vozovky, poruchy vozovky a její únosnost), informace o neproměnných parametrech (šířkové uspořádání PK, směrové a výškové vedení trasy, příčný sklon vozovky, skladba konstrukce vozovky, druh podloží),
- Centrální evidence pozemních komunikací – informace o úsecích PK zařazených do transevropské silniční sítě s vysokým počtem smrtelných nehod a informace o úsecích PK zařazených do transevropské silniční sítě, na kterých by došlo odstraněním rizikových vlastností PK ke snížení nákladů plynoucích z dopravních nehod.

2.1.2 Výstupy metodiky

Metodika očekává následující výstupy:

- Rekonstruovanou PK se splněnou geometrickou přesností,
- Informace o množství použitého materiálu při realizaci rekonstrukce PK, použitelné k vytváření statistik a ke zpětnému hodnocení (statistická data a kvantifikace možných úspor, statistická data obsahující srážky z ceny za nedodržení mezních hodnot tloušťek asfaltových vrstev, porovnávání RDMT s jinými projekty),
- Detailní informace o aktuálním technickém stavu PK.

2.2 POSTUP METODIKY

Metodika využití 3D dat pro rekonstrukce pozemních komunikací se skládá z následujících kroků:

1. Sběr 3D dat
2. Příprava 3D dat
3. Realizace rekonstrukce a její kontrola s využitím 3D dat

2.2.1 Sběr 3D dat

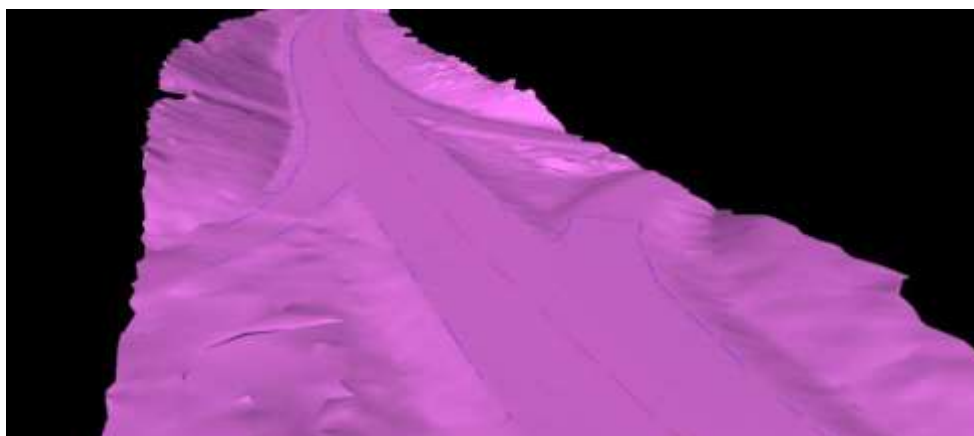
Základem procesu kvalitní rekonstrukce PK je kvalitní DMT současného technického stavu PK. Jedině s pomocí kvalitního DMT je možné provést kvalitní rekonstrukci PK, která bude splňovat požadovanou geometrickou přesnost. V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé činnosti daného sub-procesu sběr 3D dat.

2.2.1.1 Měření pozemní komunikace

Před popisem samotného postupu měření PK je důležité stanovit požadavky na 3D měření a DMT a požadavky na dodavatele použitelné technologie 3D měření.

Požadavky na 3D měření a digitální model terénu

Popsány jsou základní požadavky zadavatele na výstupní informace z 3D měření, zabezpečení jejich bezchybnosti a základní požadavky na DMT. Tyto požadavky se dále využijí při kontrole kvality, přípravě a zadání stavebních prací (dále v textu jen „základní požadavky A“), které je nezbytné vyžadovat po dodavateli měření. [2]



Obrázek 3: Velmi přesný digitální model terénu (DMT). [3, s. 4]

Přesnost výstupů

Přesnost výstupních dat (DMT) a následné informace o geometrických parametrech komunikací musí být vázány k jednotnému výškovému horizontu stavby. Tedy připojení měření na bodové pole stavby, kdy jednotlivé zaměřené a vyhodnocené povrchy konstrukčních vrstev vozovky lze porovnávat vůči sobě nebo s projektovou dokumentací (dále jen „PD“) ve 3D. [2] Přesnosti DMT jednotlivých povrchů konstrukčních vrstev jsou následující [2]:

- Hutněné asfaltové vrstvy: $\sigma_Z = \max 3 \text{ mm}$, $\sigma_{XY} = \max 20 \text{ mm}$,
- Stmelená konstrukční vrstva MZK (mechanicky zpevněné kamenivo): $\sigma_Z = \max 10 \text{ mm}$, $\sigma_{XY} = \max 20 \text{ mm}$,

- Stmelená konstrukční vrstva ŠD (šterkodrt'): $\sigma_Z = \max 10 \text{ mm}$, $\sigma_{XY} = \max 20 \text{ mm}$,
- Zemní pláň: $\sigma_Z = \max 15 \text{ mm}$, $\sigma_{XY} = \max 20 \text{ mm}$,
- Nezpevněné plochy: $\sigma_Z = \max 20 \text{ mm}$, $\sigma_{XY} = \max 20 \text{ mm}$.

Přesnost je charakterizována výškovou směrodatnou odchylkou σ_Z a polohovou směrodatnou odchylkou σ_{XY} vzhledem k bodovému poli stavby. Jedná se o přesnost k bodovému poli stavby a lze tedy porovnávat v dané přesnosti jednotlivé etapy měření DMT a k DMS. Požadavek na přesnost DMT jednotlivých povrchů konstrukčních vrstev je odvozen a dán požadavky na geometrické parametry jednotlivých konstrukčních vrstev silnic z důvodu kontroly nedodržení mezních hodnot geometrických parametrů konstrukčních vrstev silnic a z důvodu přesného vypočtu objemů vybraných položek výkazu výměr. Bodové pole stavby musí být vybudováno s výškovou přesností zaručující dodržení přesností DMT jednotlivých povrchů konstrukčních vrstev (nivelační pořad nebo trigonometrický výškový pořadu ($m < 3 \text{ mm}$)) a s polohovou přesností GNSS ($m < 20 \text{ mm}$). Stabilizace jednotlivých bodů bodového pole musí zaručovat stálou polohu a výšku po celou dobu výstavby, a to i v zimních měsících. [2]

Hustota měření

Hustota měřených bodů jednotlivých povrchů konstrukčních vrstev stavby na liniových stavbách bude provedena s minimálním dodržáním 2000 bodů/m² (cca 25x25 mm). [2] Vysoký požadavek na hustotu je z důvodu přesné rekonstrukce obvodu stavby, ověřitelnosti dat měření, zaměření okolí stavby pro kontrolu kvality dat i po zakrytí konstrukčních vrstev silnice, garance výstupů a přesného vypočtu objemů vybraných položek výkazu výměr.

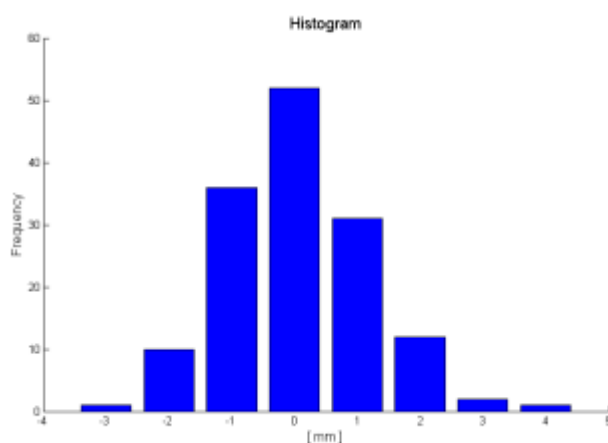
Měření povrchu vrstev musí být provedeno 3D měřením statickým (na stativu) nebo metodou 3D měření „stop and go“. Použití mobilního 3D měřicího systému měřicího za pohybu se vzhledem k požadavkům na přesnost nepovoluje. [2]



Obrázek 4: Vozidlo osazené skenerem pro sběr dat v režimu stop & go. [2]

Kontrola kvality dat a ověřitelnost výstupních informací

Kontrola kvality dat z 3D měření se prokazuje provedením kontrolního měření, každé konstrukční vrstvy, v celém rozsahu stavby s hustotou jeden kontrolní bod na 100 m². [2] Kontrolní měření se provádí s připojením na bodové pole s vyšší, než je požadovaná přesnost na danou konstrukční vrstvu. Po zpracování dat do podoby DMT je ke každému DMT uvedena směrodatná výšková odchylka a jeho kontrolního měření viz. obrázek č. 5.

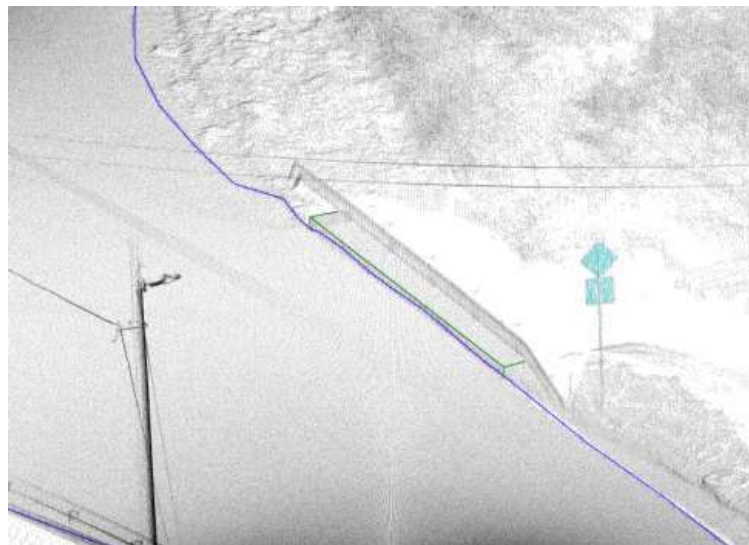


Obrázek 5: Histogram kontroly kvality vyjadřující výškovou kvalitu modelu reality pomocí normálního rozdělení. [2, s. 47]

Ověřitelnost výstupních informací i po zakrytí konstrukčních vrstev – požadavek minimalizace sporů se zhotoviteli staveb. Kontrola kvality dat začíná už v průběhu měření. Veškeré vlivy, které mohou ovlivnit kvalitu dat, se musí dokumentovat (chvění přístroje vlivem stavebních strojů, aj). Musí být později kdykoliv umožněno identifikovat případné vlivy, které kvalitu měření ovlivňují. Povinnou součástí je zaměření okolí stavby s objekty, které stavbou nejsou dotčeny kvůli ověřitelnosti výstupních informací získaných z 3D měření i po zakrytí jednotlivých

konstrukčních vrstev viz. obrázek č. 6. Toto slouží pro zpětnou kontrolu a případné řešení některých sporů. [2] Následující seznam udává vhodné objekty pro ověření měření i po zakrytí konstrukčních vrstev. Vhodné objekty pro ověření jsou ty, které jsou trvanlivého charakteru v blízkosti stavby. Vhodné objekty pro ověření měření jsou [2]:

- zpevněné plochy okolní stávající komunikace;
- pilíře a piloty mostů;
- betonové paty elektrického vedení a sloupů,
- budovy a jiné pevné objekty jako např. zděné ploty,
- výrazné terénní zlomy bez vegetace (např. skály),
- apod.



Obrázek 6: Ověřitelnost měření například na mostku – mračno bodů na objektech, které nemění polohu v průběhu výstavby. [2, s. 48]

Vyžaduje se technologie 3D měření s možností měření minimálně na vzdálenost 100 m při 10 % odrazivosti povrchu. Tato podmínka bezpečně zaručí zpětnou kontrolu měřených skutečností na základě měření na okolní vhodné objekty (ověřitelnost metody). [2]

Kontrola kvality dat pokračuje i v průběhu zpracování. Mezi „základní požadavky A“ patří také doložit výpočetní postup a parametry, které byly použity pro výpočty od naměřených dat po výsledná výstupní informace od dodavatele 3D měření. Tzn. matematicky doložitelná výpočetní cesta (transformační matice, posuny, rotace atd.). [2]

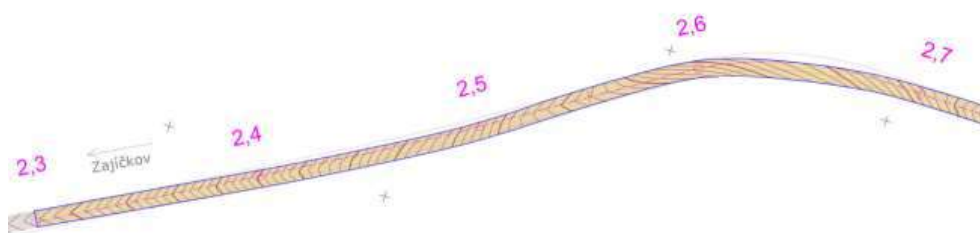
Rychlost dodání výstupních informací

Rychlost dodání výstupních informací a jejich aktivní využití při kontrole stavebních prací s možností kontroly přímo v terénu, je základním kritériem efektivního využívání informací.

Z tohoto důvodu je nezbytné, aby zadavatel měl výstupní informace k dispozici v době přebírání konstrukčních vrstev (lze požadovat i předání do 24 hodin).

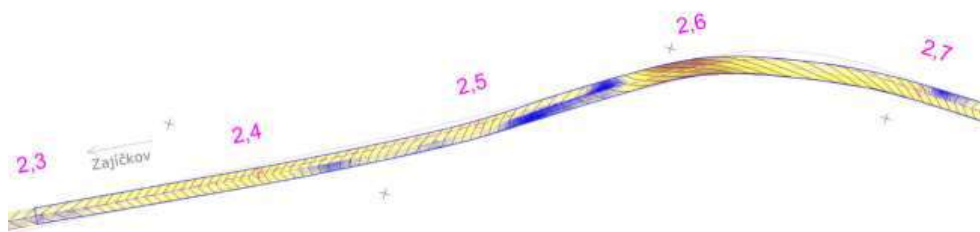
Požadované výstupy

DMT – je základní a hlavní výstup z 3D měření povrchů objektů představující digitální reprezentaci průběhu skutečné topografické plochy terénu na základě měřených dat. Reliéf terénu je v tomto případě bez jakéhokoliv pokryvu (stromy, budovy, auta apod.) s požadovanou hustotou bodů 20 cm x 20 cm, s požadovanou přesností a v potřebném rozsahu. DMT je v CAD formátu (*.dwg., *.dgn., *.dxf., *.ifc.), pro prezentaci může být využit i formát *.pdf. [2]



Obrázek 7: Digitální model reality – standardní zobrazení pomocí vrstevnic jsou viditelné příčné sklony a změny klopení. [2, s. 49]

Výkres odtokových poměrů – analýza je vytvořena metodou zvýraznění ploch se sklonem menším než 1 % a 2 %, na těchto plochách je zvýšené riziko tvoření souvislé vodní plochy a případně náledí. Výstup ve formátu *.pdf. [2]



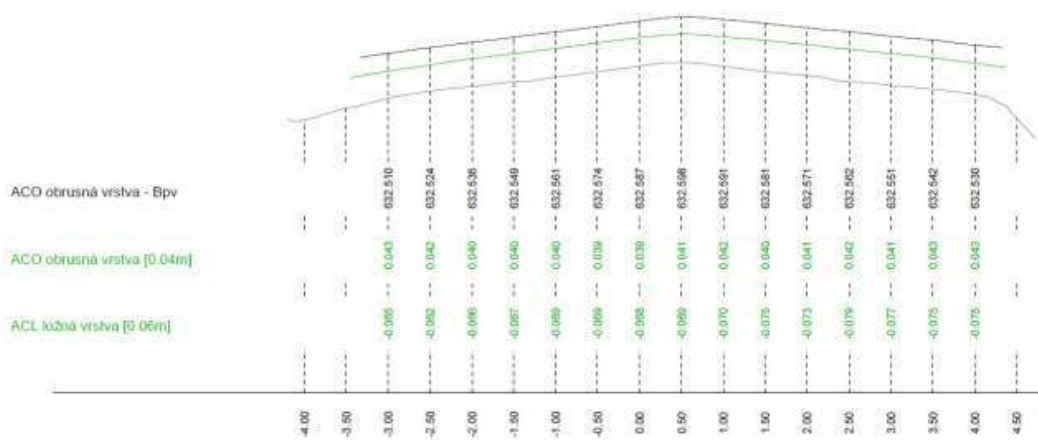
Obrázek 8: Výkres odtokových poměrů – modře jsou označena místa s malým nebo nulovým sklonem. [2, s. 50]

RDMT – na základě výsledných DMT lze vytvářet RDMT mezi etapami s barevným vyznačením jednotlivých tlouštěk. Výstup ve formátu *.pdf. [2]



Obrázek 9: RDMT – červeně jsou označena místa, kde projektovaná tloušťka není dodržena o více jak 20 %. [2, s. 50]

Příčné řezy s vyznačením rozdílů geometrických parametrů mezi jednotlivými vrstvami např. po 5 metrech. Vystup ve formátu *.pdf. [2]



Obrázek 10: Příčné řezy – vygenerované po 5 m, na řezu kóta každých 50 cm. [2, s. 51]

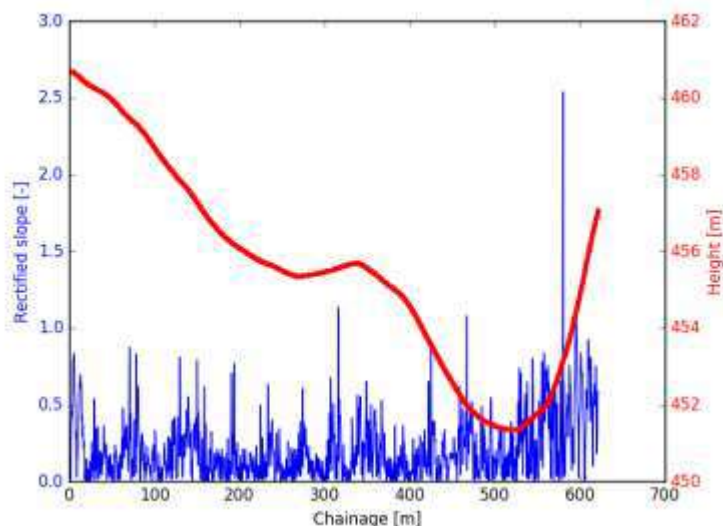
Technická zpráva obsahující [2]:

- Kontrolu kvality dat a ověřitelnost výstupních informací.
- Výkaz výměr – na základě DMT jednotlivých konstrukčních vrstev lze provést výpočet objemů, ploch, délek a tloušťek pro vybrané položky výkazu výměr.

etapy	materiál	popis	plocha výpočtu [m ²]	teoretická tloušťka [m]	teoretický objem [m ³]	skutečný objem [m ³]	objemový rozdíl [m ³]	objemový rozdíl [%]	průměrná tloušťka [m]	průměrná šířka vozovky [m]
2. - 1. etapa	ložná vrstva 1. pol. st.2,3km-3,2km	ACL 16S	3 498	0,06	210	246	36	17,2%	0,070	3,89
4. - 3. etapa	ložná vrstva 2. pol. st.2,3km-3,2km	ACL 16S	3 313	0,06	199	244	45	22,7%	0,074	3,68
2. a 4. - 1. a 3. etapa	ložná vrstva celek st.2,3km-3,2km	ACL 16S	6 811	0,06	409	490	81	19,9%	0,072	7,57
5. - 2. a 4. etapa	obrusná vrstva celek st.2,3km-3,2km	ACO 11S	6 712	0,04	268	266	-2	-0,9%	0,040	7,46

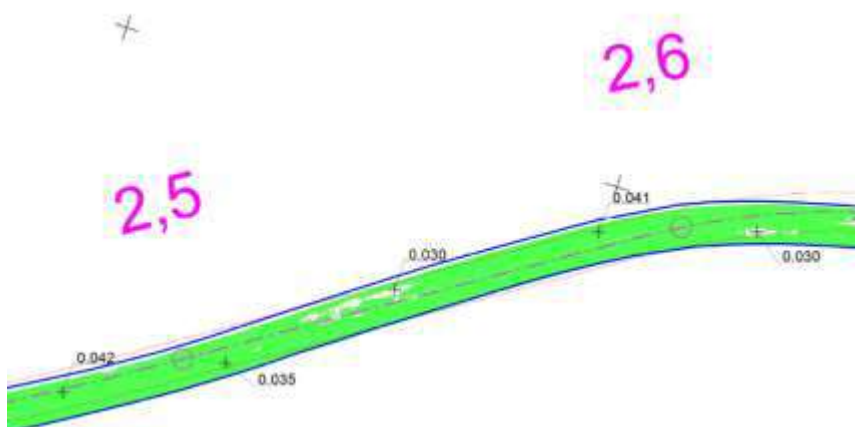
Tabulka 1: Výměr včetně objemových rozdílů proti teoretické tloušťce tedy více práce/méně práce. [2, s. 51]

- Parametry IRI – na základě DMT s požadovanou hustotou a přesností lze provést alternativní výpočet parametru IRI k normě ČSN 73 6175 (Měření a hodnocení nerovností povrchů vozovek, říjen 2009). [2]



Obrázek 11: Parametry IRI (modře) ve vztahu ke staničení a niveletě stavby (červeně). [2, s. 52]

- Vyznačení extrémních míst – na základě DMT ze dvou měření lze identifikovat extrémní místa nedodržení mezní hodnoty tloušťky konstrukční vrstvy. [2]



Obrázek 12: Extrémní místa – červeně jsou označena místa, kde projektovaná tloušťka není dodržena o více jak 20 %. [2, s. 52]

Přístupy k výstupním informacím

Přístupy k výstupním informacím je možné poskytovat online a offline. Mezi online přístupy lze především zahrnout [2]:

- Centrální datová úložiště – centrální datové úložiště obsahuje všechny požadované výstupy, se stálým připojením k internetu. Požadované výstupy jsou zabezpečeny proti jejich poškození nebo ztrátě. Přístup k nim je šifrovaný a uživatel se musí autorizovat.
- Mapové aplikace – mapové aplikace umožňují přehledně zobrazit porovnání původního plánu s naměřenou skutečností s barevným rozlišením míst, kde došlo k překročení přípustných geometrických odchylek v záporných nebo kladných hodnotách. Dále umožňuje zobrazit řezy v libovolném místě konstrukce s možností výpočtu kubatur jednotlivých vrstev.

Mezi offline přístupy lze především zahrnout [2]:

- Navigační aplikace – navigační aplikace umožňuje využívat data přímo v terénu. Jedná se o načítání mapových podkladů, spolupráce s GPS systémy spolu se zobrazováním aktuálních souřadnic a zobrazováním uživatelských informací dle aktuální polohy (vlastní body na mapě) např. o tloušťce konstrukčních vrstev vozovky.
- Záložní archiv – záložní archiv představuje geograficky oddělená místa, na kterých dochází záloze dat. Přenos zálohovaných dat musí být zabezpečeny. Zálohy musí být soudržné, neporušené a snadno obnovitelné. Přístup k zálohám mají pouze pověřené osoby. Data k zálohování jsou majetkem zadavatele. Zhotovitel nemůže data předat třetí osobě a použít za účelem obchodního užití bez jeho písemného svolení.

Požadavky na dodavatele použitelné technologie 3D měření

Vhodný dodavatel 3D měření musí prokázat zkušenosti realizování tvorby DMT s minimálně těmito požadavky pro kontrolu kvality stavebních prací („základní požadavky A“) [2]:

- Přesnost měření – kontrola kvality dat s maximální výškovou směrodatnou odchylkou $\sigma_Z = 3 \text{ mm}$ vzhledem k bodovému poli stavby, včetně nezávislé kontroly certifikovanými laboratorními vývrty.
- Hustota měření – minimální hustotou 2000 bodů / m² (tedy použití laserového skeneru).
- Ověřitelnost měření – měření laserovým skenerem s minimální vzdáleností na 100 m, z důvodu zmapování blízkého okolí pro ověřitelnost dat na místech, které nejsou ovlivněny stavbou.

Rychlost dodání – data k dispozici v době přebírání konstrukčních vrstev (lze požadovat i předání do 24 hodin).

- Výstupní informace

- tištěná forma – Úředně ověřenou technickou zprávou podle zákona č.200/1994 Sb. O zeměměřictví, § 13, odst. (1), písm. c).

V případě, že se vyskytnou kolem zvolené technologie 3D měření nejasnosti, má zadavatel dle předpisu SGRŘ č. 8/2011 ŘSD ČR právo požádat dodavatele technologie 3D měření o předložení veškerých dostupných materiálů, které prokazují vhodnost použité technologie. Pokud dodavatel není schopen tyto materiály předložit, a prokázat tak vhodnost dané technologie 3D měření, může zadavatel technologii odmítnout.

Postup 3D měření pozemní komunikace

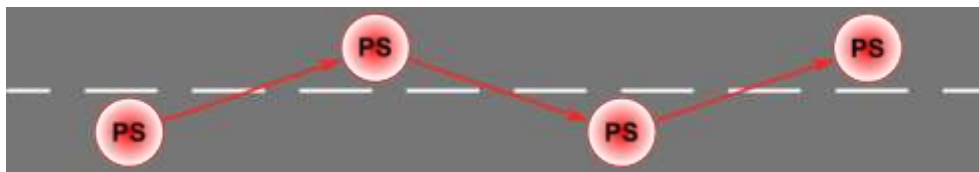
Prostorové měření laserovým skenerem je proces sběru dat 3D měřicím systémem. Během měření laserový skener zachycuje geometrické parametry prostoru pomocí rozměrů a vzájemných vztahů těles. Základní výstup z tohoto měření je mračno bodů, které se nepovažuje za finální. Lze z něj vygenerovat velmi přesný a podrobný DMT.

Statické skenování metodou „stop and go“ je založeno na postupném popojíždění vozidla osazeného 3D laserovým skenerem na tzv. pozice skenování (dále jen „PS“), které jsou od sebe vzdáleny cca 40 m.



Obrázek 13: Vozidlo osazené laserovým skenerem připravené na měření. [4]

Na každé z těchto pozic obsluha s vozidlem zastaví a zahájí proces samotného skenování PK. PS se umísťují vždy ve směru jízdy vozidel a také v závislosti na provozu na PK. Pokud je PK při měření zcela uzavřena, tak jsou pozice umísťovány střídavě, tzn. lichá pozice k jednomu okraji PK a sudá k druhému okraji PK, jak to znázorňuje obrázek č. 14.



Obrázek 14: Rozmístění pozic skenování – první varianta.

Pokud není PK zcela uzavřena, musí se zvolit druhý postup provádění skenování s ohledem na provoz uvedený na obrázku č. 15.



Obrázek 15: Rozmístění pozic skenování – druhá varianta.

Rozmístění PS na protilehlých okrajích zajišťuje překrývání snímků a tím se eliminují nepřesnosti a chyby při skenování. Jízdní pruhy se skenují najednou. V případě dálničních úseků se měří každý jízdní směr zvlášť.

Pracovní tým se rozdělí na dvě části, a to tak, aby jedna osoba obsluhovala vozidlo s 3D laserovým skenerem a dvě až tři osoby obsluhovali totální stanice. Zaprvé je nutné vozidlo skenerem osadit, dále je potřeba najít vhodné místo pro usazení základny GPS přijímače, který vysílá a následně přijímá signál k GPS anténě připevněné na laserovém skeneru, což zajišťuje orientační polohu měření.



Obrázek 16: Instalace laserového skeneru na vozidlo. [5, s. 6]

Obsluha totální stanice zaměřuje kontrolní body na okrajích PK a zajišťuje napojení na místní bodové pole, případně bodové pole podél PK vytvoří.

Vozidlo osazené laserovým skenerem popojíždí na PS, ve kterých skenuje PK. Při skenování je nutné, aby obsluha vozidla vypnula motor a vyvarovala se zbytečným pohybům, které by mohli ovlivnit měření kvůli vzniklým otřesům. Vzniklý DMT z měření by tak nebyl přesný. Po ukončení měření PK je nutné vše sklidit do příslušných pouzder a obalů, aby nedošlo k poškození měřicí techniky.

Limitující parametry 3D měření

Provádění měření může být ovlivněno vlivy, ke kterým je nezbytné přihlédnout při plánování 3D měření [2]:

- Stavební stroje, uskladněný materiál a podobně – pokud je terén zastíněn umělými objekty, při měření je nezbytné minimalizovat počet těchto objektů vhodným postupem a organizací práce. Při čištění dat měření musí být odstraněny měřené body objektů, které nejsou předmětem měření.
- Sníh, led na povrchu – pokud je terén zastíněn souvislou vrstvou ledu nebo sněhu ovlivňující vystižení reliéfu objektu, měření se neprovádí a stanoví se nejbližší vhodný termín nebo na základě rozhodnutí zadavatele bude měření provedeno klasickou geodetickou metodou tachymetricky.
- Voda na povrchu – pokud je terén pokrytý vodou, tak se měření provádí v případě, že je možné dodržet požadovanou hustotu měření (nezpevněný povrch minimálně 25 bodů na 1 m², zpevněný povrch minimálně 2000 bodů na 1 m²). V případě, že se měření neprovádí, stanoví se nejbližší vhodný termín nebo na základě rozhodnutí zadavatele bude měření provedeno klasickou geodetickou metodou tachymetricky.

2.2.1.2 Zpracování, úprava dat a vyhotovení digitálního modelu terénu

Po úspěšném měření PK jsou získána z každé PS mračna bodů. Tato mračna bodů je nutné nejprve transformovat do požadovaného souřadnicového systému a poté odstranit nežádoucí šum a objekty, které jsou součástí mračen bodů a negativně by ovlivnily kvalitu výsledného DMT. V případě objektů se může jednat např. o vozidla, vegetaci apod. Poté se provede korelace mračen bodů. Při korelaci mračen dochází k vzájemnému vyrovnání jednotlivých mračen na základě tvarové podobnosti v překrývajících se společných místech. Tento proces korelace mračen dá vzniknout homogennímu celku dat. Finální úprava představuje filtraci mračen bodů v potřebné bodové hustotě např. s jedním bodem na 10cm². [3] [6]



Obrázek 17: Mračno bodů – základní výstup laserového skenování a povinné spojnice kraje vozovky. [2, s. 43]

Po takovémto zpracování a úpravě je možné jednotlivá bodová mračna spojit dohromady prostřednictvím identických bodů na překrývajících se částech. To eliminuje nepřesnosti. Po sloučení všech bodových mračen vznikne přesný DMT, který je potřebné polohově a výškově usadit do daného souřadnicového systému. To je možné díky naměřeným kontrolním bodům podél PK a díky napojení na bodové pole stavby. S takto usazeným DMT je možné provádět další měření a různé operace např. přiřazování textur, materiálů apod. Vyhotovení DMT musí být v souladu s předpisem ŘSD ČR B2/C1 – Datový předpis pro tvorbu mapových podkladů v rámci ŘSD ČR a pro tvorbu digitálních map a silnic provozovaných ŘSD ČR.

2.2.2 Příprava 3D dat

Do sub-procesu příprava 3D dat vstupuje DMT vytvořený v rámci předchozího sub-procesu sběr 3D dat. Na základě vytvořeného DMT se provede příprava 3D dat pro realizaci rekonstrukce PK. Přípravu 3D dat můžeme rozdělit do následujících aktivit:

- Analýza, zpřesnění a kontrola DMT,
- Návrh DMS, optimalizace DMS a vyhotovení DMS,
- Příprava dat pro realizaci stavby,
- Úprava DMS.

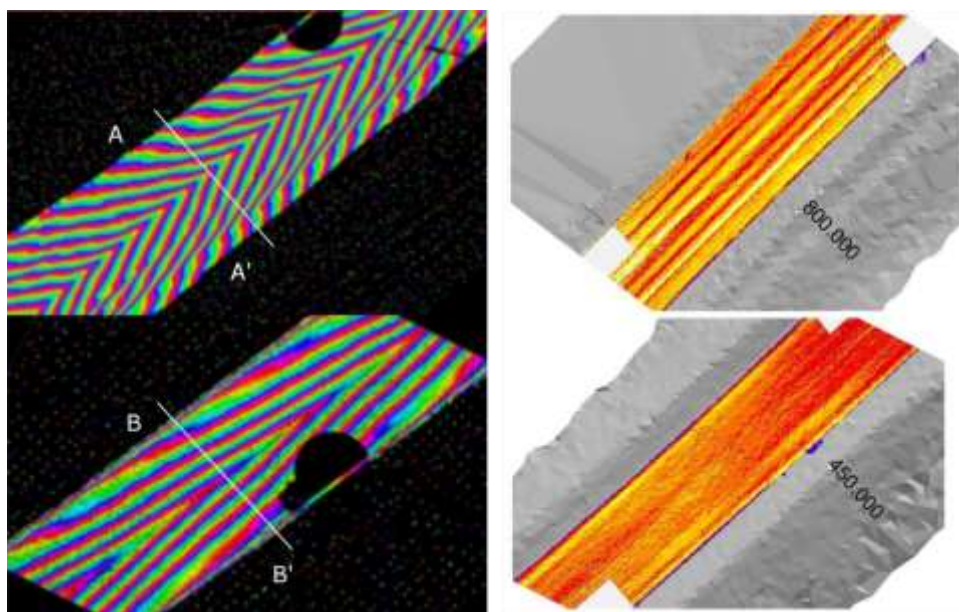
2.2.2.1 Analýza, zpřesnění a kontrola digitálního modelu terénu

Z polohově a výškově upraveného DMT se vyhodnotí podélné i příčné nerovnosti, odvodnění, sklony, koleje, soulad s projekčními parametry, mezinárodní index nerovnosti (IRI) a případně

další poruchy PK. Tyto analýzy lze provádět plošně pomocí softwarů k tomu určených. Na naměřených datech je možné provést analýzu kvality stávajícího povrchu PK. Analýza pomocí specializovaných softwarů zahrnuje [3]:

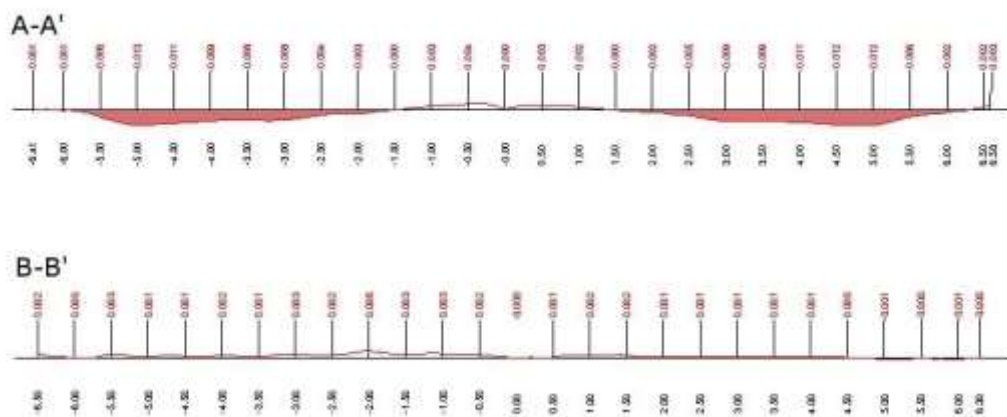
- sklonitost vozovky,
- hypsometrickou analýzu vyjetých kolejí,
- sklonovou analýzu vyjetých kolejí,
- řezy rozdílového modelu terénu a odtokových poměrů výkopů.

Hypsometrická barevná analýza používá pro vyjádření výškopisu bodů povrchu PK barevné odstíny. Ukázka hypsometrické analýzy vyjetých kolejí je uvedena na obrázku č. 18 vlevo. Na samém obrázku vpravo jsou uvedeny výsledky sklonové analýzy vyjetých kolejí. V pravém horním rohu obrázku je PK s poruchou vyjetých kolejí (výrazné změny sklonu) a v pravém dolním rohu obrázku je PK bez této poruchy (téměř neměnný sklon). [3]



Obrázek 18: Hypsometrická analýza dat (vlevo), analýza pomocí sklonů (vpravo). [3, s. 5]

Kontrolu stávajícího stavu PK lze provést pomocí rozdílových řezů. [3] Na obrázku č. 19 je uveden řez modelu v místě hypsometrické analýzy z levé části obrázku č. 18.



Obrázek 19: Řez modelu v místě hypsometrické analýzy. [3, s. 5]

Řez A-A' představuje deformovanou PK a řez B-B' představuje PK bez poruchy vyjeté koleje.

2.2.2.2 Návrh, optimalizace a vyhotovení digitálního modelu stavby

Po analýze, zpřesnění a kontrole DMT je možné přistoupit k návrhu DMS. Před zahájením samotného návrhu je nutné stanovit požadavky na DMS, požadavky na dodavatele DMS a postup implementace DMS, aby se předešlo případným komplikacím během jeho návrhu.

Požadavky na digitální model stavby

DMS představuje ideální prostorovou digitální reprezentaci vyprojektované plochy stavebního objektu (povrchu), na základě DMT, dodané projektové dokumentace, diagnostiky konstrukce nebo jiných podkladů o současném stavu a stanovující požadavky na budoucí konstrukční vrstvy stavebního objektu (dále v textu jen „základní požadavky B“). [2]

Digitální model stavby z projektové dokumentace

V případě existence projektové dokumentace pro provedení stavby (dále jen „PDPS“) s výškovým řešením stavby v absolutních výškách se provede převod PDPS do DMS.

Digitální model stavby z procesu re-profilace

Na základě DMT („základní požadavky A“), dodané projektové dokumentace (2D výkresy, situace stavby, charakteristické vzorové řezy, apod.), diagnostiky nebo jiných podkladů o stavu budoucí konstrukční vrstvy stavebního objektu se vytvoří ideální DMS s důrazem na [2]:

- Co nejvyšší mezinárodní index nerovnosti IRI (International Roughness Index) - mezinárodně uznávaný parametr vyjadřující jízdní kvalitu povrchu komunikace.
- Dodržení mocnosti asfaltových vrstev dle požadavků na konstrukci vozovky.
- Odvodnění povrchu pozemní komunikace – DMS je navržen tak, aby byl zajištěn odvod srážkové vody z povrchu komunikací a jednotlivých vrstev konstrukce vozovky. Účelem je především zabránit vzniku ploch se stojící vodou ("kaluží"), zabránit

namrzání povrchu vozovky a zajištění odvodnění konstrukčních vrstev. Zajištěním vhodného odvodnění se také prodlužuje životnost konstrukce vozovky.

- Podélné a příčné nerovnosti – navrženou re-profilací se zlepšuje stavebně technický stav komunikace. Programy použité pro návrh DMS umožňují vyhledání optimálního DMS tak aby byly zajištěny všechny požadované parametry, a přitom byla navržena ekonomicky nejvýhodnější varianta.
- Vyřešení výškových návazností na okolí, inženýrský sítě, ... (obrubníky, křižovatky, kanály, autobusové zastávky, vjezdy apod.).
- Sklony – při tvorbě DMS jsou vyřešeny sklony v obloucích, aby odpovídaly normovým požadavkům a bezpečnému provozu na pozemních komunikacích.

V souhrnu lze zmínit, že navržený DMS má nesrovnatelně vyšší kvalitativní parametry, ve srovnání s provedením rekonstrukce bez optimalizace výškového řešení a re-profilace příčných sklonů. Umožňuje také zajištění normových požadavků na výsledné stavební dílo dle platných TP, TKP, ZTKP, CSN, EN a souvisejících předpisů. S výhodou lze pak použít DMS pro řízené a naváděné stavební stroje a docílit tak vyšší užitné hodnoty snížením podélných nerovností. [2]

Požadavky na dodavatele digitálního modelu stavby

Vhodný dodavatel DMS musí prokázat zkušenosti realizování DMS s minimálně těmito požadavky („základní požadavky B“) [2]:

- DMS vytvořený na základě DMT s důrazem na přesnost a hustotu bodů („základní požadavky A“)
- Zlepšení parametru IRI
- Odvodnění celé plochy DMS na stávající odvodňovací systém (příkopy, kanalizace apod.) v případě potřeby návrh doplnění systému odvodnění
- Zlepšení podélných a příčných nerovností na normové parametry v rámci možnosti re-profilace

Implementace digitálního modelu stavby

Tvorba DMS je časově náročný proces, do kterého vstupuje mnoho faktorů jako DMT, projektové dokumentace, diagnostika stávající konstrukce, technické normy a související předpisy, technologické požadavky a jiné podklady, a proto i výsledný model stavby může být různě nastavený. [2] Úkoly (odpovědnosti) zapojených subjektů jsou následující [2]:

- Zadavatel (investor) – objednává tvorbu DMS s požadavky na výsledný model („základní požadavky B“) u dodavatele 3D měření nebo jiné vhodné projekční

kanceláře splňující „základní požadavky B“ (Požadavky na dodavatele digitálního modelu stavby).

- Dodavatel DMS – na základě požadavků vytvoří DMS, který certifikovaný předá zadavateli na zabezpečeném úložišti dat.
- Zhotovitel stavby – je povinen provést realizaci stavby na základě DMS. Využívá DMS k přesnému frézování a k přesné pokládce (urovnání) konstrukční vrstvy. Nejčastější způsoby navigace stavebních strojů podle DMS jsou:
 - řízení a navádění stavebních strojů,
 - sprejování potřebných hodnot na vozovku v potřebné hustotě a přesnosti,
 - zobrazení potřebných hodnot na displeji mobilního zařízení,
 - lankodráha.

Návrh, optimalizace a vyhotovení digitálního modelu stavby

Na základě analýzy DMT a vyhodnocení požadovaných parametrů vozovky, se provede projektování a optimalizace DMS. Jedná se např. o optimalizaci kubatur. Projektování DMS se provádí v softwarech k tomu určených. Optimálně navržený DMS splňující všechny požadované parametry se použije pro realizaci rekonstrukce PK.

2.2.2.3 Příprava dat pro realizaci stavby

Po vyprojektování DMS se provede příprava dat pro frézování. DMS dovoluje použít tradiční postupy frézování, ale umožňuje využít i systémů řízených a naváděných stavebních strojů. Z vyprojektovaného DMS je možné vyexportovat povrch reprezentující povrch frézování a povrchy pokládaných vrstev, který je možné nahrát do 3D frézovacího systému stroje a finišerů. [3] Data pro frézování se mohou připravit dle způsobu frézování:

- 3D frézování na základě DMT,
- frézování dle značkovacího spreje,
- frézování s využitím tabletu.

2.2.2.4 Úprava DMS

Pokud se v procesu rekonstrukce PK uplatňuje volitelná aktivita „Kontrola geometrické přesnosti sejmutého povrchu dle TP, TKP, ZTKP“ po vyfrézování vrstev a která zároveň prokáže překročení mezí nerovností, je možné provést úpravu DMS.

2.2.3 Realizace rekonstrukce a její kontrola s využitím 3D dat

Po úspěšné přípravě dat pro realizaci stavby přichází na řadu stavební činnosti a jejich volitelné kontroly. Při frézování nežádoucí vrstvy PK, pokládce nové vrstvy PK a následné kontrole se využijí 3D data. Při takto řízených a kontrolovaných stavebních činnostech lze docílit kvalitní rekonstrukce se zlepšením příslušných parametrů PK [2]:

- normové parametry (příčné a podélné sklony),
- kvalitativní parametry (IRI),
- bezpečnostní parametry (odvodnění komunikace),
- návaznosti na okolí a povrchové znaky (obrubníky, křižovatky, kanály, vjezdy apod.),
- úspora materiálu,
- úspora času – zkrácení doby výstavby.

2.2.3.1 Frézování a lokální opravy

Nemusí se jednat pouze o frézování, ale i o lokální opravy PK. Poruchy vozovky příslušné PK se mohou vyskytovat lokálně nebo celoplošně v souvislém úseku a podle toho je nezbytné určit způsoby jejich odstraňování. Lokální poruchy se odstraňují malou mechanizací, jako jsou např. vysrávkové soupravy vozovek, malé silniční frézy, silniční řezače apod. V případě, že se jedná o plošné poruchy v souvislém úseku, se technicky odfrézuje požadovaná vrstva vozovky v rozsahu a hloubce uvedené v PD pomocí těžkých silničních fréz. Frézování může probíhat tradičními metodami např. sprejováním potřebných hodnot na vozovku v potřebné hustotě a přesnosti nebo pomocí systémů řízení a navádění stavebních strojů využívajících např. družicových navigačních systémů GNSS.



Obrázek 20: Frézovací práce dálkově řízené totální stanicí. Terč je umístěný v dostatečné výšce nad strojem a propojený s řídicím počítačem. [3, s. 8]

Při frézování musí být stanoveno, kam bude odfrézovaná směs ukládána (místo skládky) a jakým způsobem bude využita. Použité strojní vybavení musí být schváleno zadavatelem/správcem stavby.

2.2.3.2 Kontrola geometrické přesnosti sejmutého povrchu dle TP, TKP, ZTKP

Po vyfrézování vrstev v patřičné mocnosti je možné provést kontrolu geometrické přesnosti sejmutého povrchu prostřednictvím 3D měření. Postup měření je shodný s postupem měření PK uvedeném v kapitole 3.1.2. Následně dochází k porovnání DMS s 3D digitálním modelem vzniklým po kontrole geometrické přesnosti sejmutého povrchu. Díky tomu může vzniknout RDMT, který odhalí místa překračující meze nerovností a která jsou výrazně mimo DMS. Ta jsou extra sanována lokálním frézováním a následně upravena dle žádoucího technologického postupu.

2.2.3.3 Pokládka nové vrstvy

Po technickém odfrézování se na sejmutém povrchu musí provést činnosti související s jeho přípravou na pokládku nové vrstvy tak, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností PK. Tyto činnosti se provádějí dle příslušných předpisů TKP a v nich uvedených technických norem. Na ošetřený sejmutý povrch, který je připraven na pokládku, se může začít rozprostírat požadovaný materiál v požadované mocnosti uvedené v dokumentaci stavby. Může se využít tradičních manuálních postupů nebo využít systému řízení a navádění stavebních strojů. Při obou dvou způsobech pokládky vrstvy musí být dosažena požadovaná tloušťka, projektované výšky a příčný sklon vrstvy dle projektové dokumentace stavby. Požadavky na strojní vybavení použité při pokládce vrstvy stanovují v závislosti na aplikovaném druhu konstrukční vrstvy příslušné předpisy TKP MD ČR, které musí být schváleno zadavatelem/správcem stavby.

2.2.3.4 Kontrola geometrické přesnosti vozovky dle TP, TKP, ZTKP

Pokud je dostatek času při pokládce nové vrstvy, je možné provést kontrolu geometrické přesnosti vozovky opět pomocí 3D měření za účelem zjištění výsledku pokládky nové vrstvy. Kontrolu geometrické přesnosti vozovky lze využít nejen při rekonstrukci PK, ale také i u novostaveb, kde se pokládá nová vrstva nebo při pravidelné kontrole technického stavu PK během jejího používání.

Dle předpisu TKP MD ČR, Kapitola 1, Příloha 9 – Přesnost vytyčování a kontrola geometrické přesnosti, článek 4.2 Přesnost pozemních komunikací, kontrola geometrické přesnosti PK zahrnuje především kontrolu:

- prostorové polohy,
- polohy ve vodorovné rovině v místech charakterizující průběh osy komunikace,

- výšky v místech určených dokumentací,
- příčného sklonu vozovky a zpevněné krajnice,
- tloušťky jednotlivých vrstev vozovky a šířky CB krytu,
- nerovností povrchu vozovky,
- vzdálenosti od jiných objektů v křížení nebo v souběhu.

Kontrola geometrických parametrů PK a jejich shoda s navrženými hodnotami se dle předpisu SGŘ č. 8/2011 §4 Organizace kontrol prostorového umístění a geometrických parametrů staveb dokládá:

- ověřovacím měřením zhotovitele v rozsahu smluvní a technické dokumentace,
- kontrolním měřením zadavatele,
- kontrolním měřením supervize.

Geometrická přesnost povrchu vozovky se stanovuje na základě jednotlivých kapitol předpisu TKP MD ČR a příslušných norem řady 73 61** Stavba vozovek, které jsou uvedeny (vyjmenovány) v závislosti na použitém krytu v TKP MD ČR, Kapitola 1, Příloha 9 – Přesnost vytyčování a kontrola geometrické přesnosti, článek 2.3 Přesnost povrchu vozovek. Přípustné odchylky geometrické přesnosti povrchu vozovky jsou uváděny v příslušných kapitolách předpisu TKP MD ČR v oddílu 6. Kontrola přesnosti se provádí srovnáním skutečných hodnot geometrických parametrů vozovky s požadovanými hodnotami v projektové dokumentaci stavby dle ČSN 73 0212-1.

Tloušťka nově položené vrstvy se měří s přesností na milimetry. Místa, ve kterých se provádí měření tloušťky nově položené vrstvy (vrstev), musejí být identická. Požadovaná minimální hodnota tloušťky konstrukční vrstvy vozovky dle PD je 0,90 h (90 %) a požadovaná průměrná hodnota tloušťky konstrukční vrstvy vozovky dle PD je 1,00 h (100 %).

Zjišťovaný index nerovnosti IRI musí splňovat hodnoty požadované normou ČSN 73 6121 přesněji řečeno normou ČSN 73 6175. Dle předpisu ZTKP smějí být odchylky od projektovaných výšek horních podkladních vrstev maximálně 15 mm.

Koordinace měření

Při provádění kontrol stavebních prací v terénu je nezbytná koordinace prací – cyklus zodpovědností [2]:

- Zadavatel (investor) informuje zhotovitele stavby o provádění kontrolního 3D měření a na kterých vrstvách se bude 3D měření provádět. Dále mu uloží povinnost spolupracovat a informovat dodavatele měření (termín, úsek, konstrukční vrstva, stavební objekt apod.).

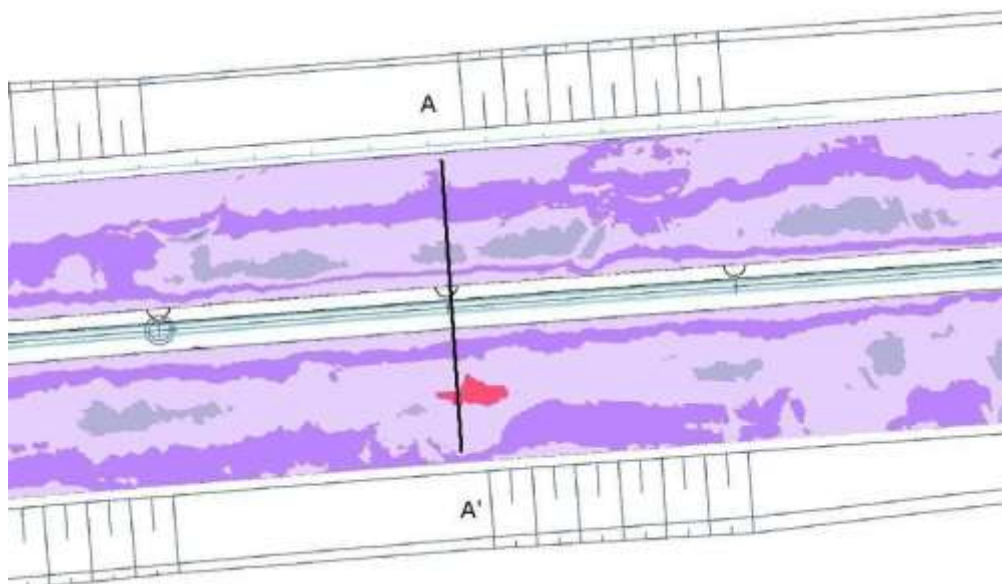
- Zhotovitel stavby informuje dodavatele 3D měření o průběhu stavebních prací – minimálně 2 dny předem o ukončení konstrukční vrstvy a její připravenosti k měření. Zhotovitel musí umožnit přístup na stavbu dodavateli měření a musí mu poskytnout čas a prostor nezbytný k provedení měření.
- Dodavatel 3D měření provede zaměření konstrukční vrstvy v požadovaném rozsahu, kvalitě a data předá zadavateli v termínu podle jeho potřeb pro přebírání konstrukčních vrstev (lze požadovat i předání dat do 24 hodin v off-line navigační aplikaci).

Vyhodnocení dat

Na základě vyhodnocení dat se zadavatel rozhoduje, zdali přijme nebo nepřijme provedení jednotlivých konstrukčních vrstev. Z vyhodnocení může také kontrolovat, zdali byly dodrženy [2]:

- Mocnosti položených konstrukčních vrstev v přípustných hodnotách
 - RDMT
 - Konstrukční řezy
 - Histogram mocností
 - Určení míst s extrémní mocností – podklad pro jádrové vývrty
- Sklony položených konstrukčních vrstev v přípustných hodnotách
 - Konstrukční řezy
 - Odtokové poměry
- Výkaz výměr
 - Kontrola množství odfrézovaného materiálu – změny v objemu vykonaných prací
 - Kontrola množství položeného materiálu – změny v objemu vykonaných prací
 - Kontrola plochy položeného materiálu – změny v objemu vykonaných prací
- Statistické údaje
 - Parametry IRI
 - Kvalita měření

Na základě kontroly vyhodnocených dat je možné zabraňovat vadám staveb při kontrolních dnech. Na závěr rekonstrukce se vyhodnotí výsledek pomocí RDMT, pomocí kterého je možné odhalit místa, která jsou výrazně mimo DMS.



Obrázek 21: Ukázka RDMT – výstupní kontrola kvality. V tomto případě červená barva označuje překročení povolené tolerance ± 0 až $- 5$ mm. [3, s. 8]

2.2.3.5 Srážky z ceny a případné opravy

Pokud dojde k překročení mezních odchylek (přípustných geometrických odchylek) stavby PK, je zhotovitel stavby povinen dle předpisu SGR č. 8/2011 ŘSD ČR doložit změnu geometrie v této oblasti doplňujícím detailním zaměřením lokality ve vyšší podrobnosti a potřebném rozsahu nad rámec předepsaného ověřovacího měření. [7] Prostřednictvím tohoto měření je možné posoudit, zdali překročení mezních odchylek ovlivňuje životnost PK nebo bezpečnost provozu na PK během jejího užívání. Jestliže odchylky výrazně neovlivní životnost PK nebo bezpečnost na PK během jejího užívání, může zadavatel uplatnit srážky z ceny. Pokud překročení přípustných geometrických odchylek významně ovlivňuje životnost vozovky a bezpečnost vozovky během jejího užívání, je povinen zhotovitel stavby provést opravu. [8]

Výpočet srážky z ceny

Pokud odchylka od schválené tloušťky asfaltové vrstvy uvedené v dokumentaci stavby nepřekračuje mez, která by způsobila výrazné snížení životnosti PK nebo snížení bezpečnosti při jejím užívání, je možné uplatnit metodiku na výpočet srážky z ceny. Metodika výpočtu vychází z TKP MD ČR, Kapitola 1, Příloha 8 – Srážky z ceny při nedodržení mezních hodnot hlavních parametrů, článek 2.2 Nedodržení tloušťky vrstvy. Hodnoty tloušťky asfaltové vrstvy získané z jednotlivých měření se mohou odchylovat nejvíce o ± 20 %. Vzorec pro výpočet srážky z ceny je následující [8, s. 68]:

$$S = p^2 \times 0,002 \times JC \times F,$$

kde S je vypočtená srážka z ceny při nedodržení tolerancí předepsané tloušťky v Kč, JC je jednotková cena Kč/m², F je plocha vozovky podrobená výpočtu, 0,002 je konstantní faktor a p je hodnota překračující ±20 % pro jednotlivá měření. [8]

2.2.3.6 Vstupy pro zadávací dokumentaci stavby

Vstupy pro ZDS jsou tvořeny přesným zadáním soupisem stavebních prací s výkazem výměr:

- **soupisy prací**-soupisy prací zahrnují podrobný popis všech uvažovaných prací, dodávek a služeb (položek), které jsou nezbytné pro dokončení stavebního díla nebo které se stavebním dílem přímo souvisejí a potřebné údaje k jejich ocenění. Soupisy prací kromě samotného soupisu obsahují ZDS, TKP a ZTKP. [9]
- **výkaz výměr**-výkaz výměr obsahuje použitý výpočet při stanovování uvažovaného množství stavebních prací, dodávek a služeb (položek) soupisu prací. [9]

Soupisy stavebních prací s výkazem výměr

Soupis prací se zpracuje v souladu s vyhláškou č. 169/2016, metodickým pokynem pro zpracování odhadu stavebních nákladů v průběhu přípravy a realizace stavby (Příkaz ředitele úseku výstavby ŘSD č. 1/2011) a datovým předpisem XC4 pro tvorbu a předávání soupisu prací, nabídkových rozpočtů a jejich čerpání v digitální podobě (Předpis XC4). [10]

Soupis prací se zpracovává dle aktuálně platného podkladu Cenové soustavy OTSKP-SKP skládajícího se ze tří částí (OTSKP-SPK – část I. popisovník prací, OTSKP-SPK – část II. metodický pokyn, OTSKP-SPK – část III. soubor položek včetně expertních cen), určeného pro požadavky výstavby, rekonstrukce, opravy a údržby pozemních komunikací. Dalšími závaznými podklady jsou PSDS, TKP, ZTKP a Obchodní podmínky staveb PK nebo Obchodní podmínky staveb PK malého rozsahu. Soupis prací je vyhotoven v datovém formátu *.xml, *.xls a *.pdf. [10]

Soupis prací sestavuje zhotovitel stavby. V případě speciálních přání zadavatele, je zadavatel sdělí zhotoviteli stavby a ten je do soupisu prací zapracuje. Následně se soupis prací použije jako poklad pro určení ceny stavebního díla. Uvažované (zamýšlené) položky soupisu prací při procesu rekonstrukce PK s využitím 3D dat jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Oblast	Uvažovaná položka	Popis položky (nutno náležitě zpodrobnit a upřesnit)
Sběr 3D dat	3D měření PK	Položka zahrnuje činnosti související s 3D měřením: zaměření kontrolních bodů; napojení na bodové pole stavby (případně jeho vytvoření); 3D měření jednotlivých pozic skenování

Sběr 3D dat	Zpracování a úprava dat DMT	Položka zahrnuje činnosti související se zpracováním naměřených 3D dat: transformace do požadovaného souřadnicového systému; odstranění šumu (nežádoucích objektů); úprava hustoty bodů pro potřebu práce v CAD systémech; výpočty a grafické práce pro vznik digitálních modelů terénu (DMT, DMS a RDMT);
Příprava 3D dat	Analýza a zpřesnění DMT	Položka zahrnuje činnosti související s analýzou a zpřesněním DMT: vyhodnocení podélných a příčných nerovností, odvodnění, sklonů, kolejí, souladu s projekčními parametry, vyhodnocení mezinárodního indexu nerovnosti (IRI) a dalších případných poruch
Příprava 3D dat	Návrh DMS a jeho optimalizace	Položka zahrnuje činnosti související s návrhem DMS a jeho případnou optimalizací: např. optimalizace kubatur
Příprava 3D dat	Příprava dat pro realizaci stavby	Položka zahrnuje veškeré činnosti s přípravou 3D dat pro realizaci rekonstrukce (stavby): z DMS je možné vyexportovat povrch reprezentující povrch frézování a povrchy pokládaných vrstev, které je možné nahrát do 3D systému frézovacího a pokládacího (finišer) stroje
Příprava 3D dat	Úprava DMS	Položka zahrnuje činnosti související s úpravou DMS: pokud se provádí průběžné kontroly geometrické přesnosti povrchů PK v rámci její rekonstrukce, je možné DMS upravit
Realizace rekonstrukce s využitím 3D dat	Kontrola geometrické přesnosti sejmutého povrchu dle TP, TKP, ZTKP	Položka zahrnuje činnosti související s kontrolou přesnosti sejmutého povrchu PK v rámci realizované rekonstrukce: po sejmutí nevyhovujícího povrchu rekonstruované komunikace je možné uplatnit kontrolu geometrické přesnosti sejmutého povrchu s následným vytvořením RDMT.
Realizace rekonstrukce s využitím 3D dat	Kontrola geometrické přesnosti vozovky dle TP, TKP, ZTKP	Položka zahrnuje činnosti související s kontrolou výsledného povrchu PK: pokud je dostatek času, je možné využít kontrolní měření za účelem zjištění geometrické přesnosti vozovky (nově položené vrstvy po finální rekonstrukci) a tak stanovit úspěšnost rekonstrukce. Pokud dojde k překročení mezních odchylek je možné uplatnit srážku z ceny.

Tabulka 2: Uvažované položky soupisu prací.

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Metodika „Využití 3D dat pro rekonstrukce pozemních komunikací“, přináší ucelený moderní přístup v přesnosti měření nerovností PK. Metodika využívá 3D měření „stop and go“, kterou zpřesňuje kvalitu měření oproti metodám kontinuálního 3D měření (měření za pohybu). 3D měření poskytuje komplexní informace o povrchu PK a jeho blízkém okolí a dává vzniknout podrobnému DMT. Do procesu 3D měření zasahuje lidský faktor minimálně, a tudíž se minimalizuje riziko vzniku chyb způsobených lidským faktorem. Možné odchylky od skutečného stavu vzniklé při skenování jsou dány pouze směrodatnou odchylkou přístroje. Tradiční metody používající nivelační přístroje zahrnují chyby způsobené lidským faktorem např. špatné čtení na lati, chybné držení latě, špatné položení latě apod.

Vzniklý DMT umožňuje ověřit veškeré naměřené údaje. Je tedy možné zpětné doměřování či získávání informací a dané údaje též matematicky ověřit a doložit. [2] Oproti tradičním metodám, kdy se jedná především o selektivní metody, je tak ověřitelnost naměřených údajů daleko vyšší. Metodika řeší i problém se zakrýváním jednotlivých vrstev PK. Mocnosti zakrytých vrstev PK se získají z RDMT naměřených na každé vrstvě, a tudíž není nutné provádět kontrolní vrty. Díky přesnému 3D měření povrchu PK a informací o mocnosti jednotlivých vrstev se zpřesňuje skutečný výkaz provedených prací, který je zohledněn ve fakturaci.

Metodika umožňuje měřit PK i během provozu. Není nutné omezovat či zcela uzavírat provoz, a tím dojde k úspoře nákladů za dopravní opatření na rozdíl oproti tradičním metodám, kde se musí omezit nebo zcela uzavřít provoz na dané PK. Vozidlo osazené skenerem zastaví v odstaveném pruhu nebo na krajnici a zahájí skenování. Pořízený snímek je pro tyto účely naprosto dostačující. S výhodou lze použít DMS pro řízené a naváděné stavební stroje a docílit tak snížení podélných nerovností a úspory času.

Cílem certifikované metodiky je vytvořit ucelený postup kontroly kvality stavebních prací při opravách a rekonstrukcích PK, který má především za cíl:

- dosáhnout rovné pokládky (pokládky s lepšími geometrickými parametry, tedy nižšími parametry nerovností a nižšími parametry IRI) a rovnoměrných tloušťek asfaltových vrstev (tedy snížení odchylky tloušťek asfaltových vrstev)
- zjednodušení práce objednatelů při procesu přebírání objektů silnic (uplatňování srážky z ceny při nedodržení mezní hodnoty tloušťky asfaltové vrstvy – podklad pro rozhodovací procesy a finanční i projektový management)
- až 10 % úsporu ze stavebních prací oprav komunikací

4 POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Předložená metodika je určena především pro subjekty mající na starost správu a údržbu PK, a které mají zároveň dostatek potřebného technického vybavení a kvalifikované pracovní síly k tomu, aby jednotlivé oblasti činností mohly být naplněny v požadované kvalitě. Metodika je určena pro Ředitelství silnic a dálnic ČR, které spravuje a udržuje dálnice a silnice I. třídy, ale i pro další organizace mající na starost správu a údržbu silnic II. tříd, silnic III. tříd a místních komunikacích a pro geodetické firmy a stavební firmy. Metodika jim umožní zavést nový ucelený přístup v rekonstrukcích pozemních komunikací s využitím 3D dat a průběh celé rekonstrukce tak zpřesnit. Realizace procesu rekonstrukce PK s využitím 3D digitálních modelů dle této metodiky, by měla přinést:

- snížení pracnosti a chybovosti při provádění stavebních činností, které jsou dnes stále prováděny manuálně (měření nerovností apod.),
- úsporu pracovního času při realizaci rekonstrukce PK díky uplatnění navigace,
- úsporu stavebního materiálu a pohonných hmot potřebných při stavebních činnostech (úspora finančních prostředků),
- zvýšení přesnosti a kvality výsledného stavebního díla,
- možnost kontroly průběhu rekonstrukce PK v jednotlivých fázích realizace (odstranění problému při přejímání výsledného stavebního díla kvůli nedodržení požadované mocnosti jednotlivých konstrukčních vrstev),
- možnost ukládání informací o množství použitého materiálu pro rekonstrukci PK za účelem zpětného hodnocení či vytváření statistik (digitální záznam, archiv apod.),
- zvýšení bezpečnosti PK (DMS řeší odvodnění složitých míst),
- zvýšení životnosti konstrukcí vozovek (méně nerovností a nižší IRI má přímý vliv na snížení dynamického namáhání konstrukcí vozovek).

V rámci metodiky mohou být identifikovány další skupiny potenciálních uživatelů:

- Silniční databanka,
- Centrální evidence pozemních komunikací,
- složky IZS + Armáda ČR – detailní informace o aktuálním stavu silniční sítě v ČR při krizových situacích,
- vědecké instituce – možnosti vědy a výzkumu.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Tato kapitola popisuje ekonomické aspekty, které souvisejí se zaváděním uceleného postupu rekonstrukce PK dle této metodiky, která je určena pro všechny správce komunikací. Lze předpokládat, že nejvíce zajímavá bude pro Ředitelství silnic a dálnic, které spravuje téměř 6000 km rychlostních silnic a dálnic. Nicméně je metodika určena i pro správce silnic I. tříd, II. tříd, III. tříd a místních komunikací, kterými jsou krajské SÚS, smluvní firmy a technické služby. V této části budou popsány identifikované náklady nezbytné pro správné nasazení metodiky (dodržení jednotlivých kroků a postupů metodiky s danou posloupností a přesností) a identifikované ekonomické přínosy vyplývající z jejího zavedení.

5.1 NÁKLADY SPOJENÉ SE ZAVEDENÍM METODIKY

Správné zavedení metodiky popisující rekonstrukci PK s využitím 3D dat si vyžaduje dodržení předem stanovené posloupnosti činností v rámci jednotlivých sub-procesů v příslušném pořadí, kvalitě a rozsahu definovaném metodikou. Proto je nezbytné při průběhu rekonstrukce zajistit vhodné technologické vybavení pro měření, odborně proškolenou obsluhu a náležitě vybavené stavební stroje. Náklady související s účelným využitím metodiky lze spatřovat v následujících oblastech:

- v ceně 3D měřicí technologie, která zajistí měření konstrukčních vrstev PK v požadované přesnosti a rozsahu (laser, vozidlo, totální stanice),
- v odborně proškolené obsluze vykonávající samotné 3D měření PK, následné zpracování naměřených 3D dat, tvorbu příslušných 3D digitálních modelů (DMT, DMS a RDMT) s jejich následnou analýzou a interpretací výsledků analýzy (projekční kancelář),
- ve stavebních strojích vybavených systémy dálkového řízení a navádění, které jsou schopny pracovat s 3D daty a umožnit tak přesné frézování a pokládku v požadované mocnosti dle předem vyprojektovaného DMS (fréza, finišer).

5.2 PŘÍNOSY VYPLÝVAJÍCÍ ZE ZAVEDENÍ METODIKY

Rekonstrukce PK využívající 3D data v podobě přesných 3D digitálních modelů povrchů komunikací skýtá velký potenciál pro zlepšení průběhu celého procesu rekonstrukce s ohledem především na zvýšení přesnosti rekonstrukce, snížení její pracnosti a snížení celkové doby její realizace. Využití 3D dat při rekonstrukci PK je v dnešní době pokročilé digitalizace nezbytným krokem k automatizaci jejího procesu, která tak podporuje myšlenky a principy Průmyslu 4.0. Koncept Průmyslu 4.0 se zdá být v blízké budoucnosti klíčovým. Dochází k prodloužení životního cyklu komunikací, ke zvýšení bezpečnosti provozu

na komunikacích, ke snížení či odstranění negativních vlivů na pasažéry z důvodu špatných technických stavů komunikací, snížení spotřeby pohonných hmot, snížení dopravních kongescí vlivem zkrácení dob uzávěrek a snížení negativních vlivů na životní prostředí. Za základní přínosy (mimo další) plynoucí z nasazení této metodiky lze v první řadě považovat:

- **Zvýšení bezpečnosti na PK** – rekonstrukce PK provedená s požadovanou přesností zlepšuje technicko-provozní parametry komunikace a tím zvyšuje bezpečnost provozu. Jedná se především o odstranění příčných a podélných nerovností, dodržení správných sklonových poměrů v obloucích a zajištění správných odtokových poměrů. Prodlužuje se životní cyklus vozovky, zvyšuje se bezpečnost jízdy a jízdní komfort pro pasažéry a snižuje se četnost oprav vozovky.
- **Snížení zdravotních rizik pasažérů** – odstraněním poruch povrchu vozovky dochází k eliminaci rušivých a rizikových vlivů, které negativně působí na zdraví pasažérů. Jedná se především o vibrace způsobené příčnými a podélnými nerovnostmi.
- **Snížení spotřeby energie při rekonstrukci** – vlivem přesného frézování frézovací stroje odebírají materiál povrchu pozemní komunikace jen v požadované množství, čímž dochází ke snížení spotřeby pohonných hmot a snížení produkce CO₂. Snižuje se také opotřebení částí frézovacích strojů, konkrétně zubů frézovacích válců, čímž se prodlužuje jejich životnost a snižujeme četnost jejich výměny.
- **Materiálové úspory** – úspory v množství odfrézovaného materiálu původního povrchu PK a materiálu použitého pro pokládky nových konstrukčních vrstev PK díky přesným 3D digitálním modelům. Pokud se při rekonstrukci používají stavební stroje vybavené systémy dálkového řízení a navádění stavebních strojů, je možné materiálové úspory dále navýšit. [11]
- **Zkrácení doby rekonstrukce** – použitá technologie a postupy zkracují dobu dopravních uzávěrek během procesu rekonstrukce PK. Snižují se dopravní kongesce, které jsou značným zdrojem finančních ztrát pro ČR.
- **Snížení míry opotřebení vozidel** – vlivem odstranění poruch vozovky dochází ke snížení míry opotřebení částí vozidel.
- **Optimalizace nákladů rekonstrukce** – prostřednictvím přesného zadání prací (příprava, kvalitní vstupy a 3D data) je možné optimalizovat náklady rekonstrukce. Ukázková hodnota úspory z realizovaného projektu „Navigace pro opravu silnic“ na 4 stavbách činila celkem 7 314 865 Kč (viz. tabulka č. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).

	Ceny staveb bez DPH po ukončení zakázek	Přidaná hodnota			
		Zpřesněný výkaz výměr (Výpočet dosažené úspory množství materiálu při frézování dosažené re-profilací. JC v Kč/m3)	Prevence chybovosti (Model porovnání se statistickými daty hodnot srážek z ceny v Kč / 1 km opravované silnice za nedodržení mezních hodnot tloušťek asfaltových vrstev)	5 % prodloužení životnosti vozovky (GIM International, 3, 26, 2012, str21-25 (Model v závislosti dodržení geometrie projektu s předpokladem dodržení technologického postupu pokládky a míry hutnění, aj.) + viz Příloha č. 10. Počítáno pro plánovanou životnost 20 let.)	Časová úspora frézování (Modelování časové úspory na základě „Analýzy nákladů uživatelů silnic pro kvantifikaci úspor“, tab 9, AADT 10000 voz/km/den. Simulace objízdné trasy 2km.). Bylo přepočítáno na skutečnou délku úseku a na 1 uspořený den.
Komunikace	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
Kunratická spojka II. Et.	10 286 777 Kč	10 878 Kč	1 480 818 Kč	411 471 Kč	233 412 Kč
Českobrodská	18 287 604 Kč	137 721 Kč	1 403 576 Kč	649 210 Kč	190 769 Kč
Městská	12 872 727 Kč	184 870 Kč	445 677 Kč	180 218 Kč	92 710 Kč
Kunratická spojka I. Et.	11 147 107 Kč	110 664 Kč	1 158 069 Kč	395 722 Kč	229 099 Kč
Suma	52 594 215 Kč	444 113 Kč	4 488 140 Kč	1 636 621 Kč	745 991 Kč
Celkem		7 314 865 Kč			
Průměr	13 148 554 Kč	111 028 Kč	1 122 035 Kč	409 155 Kč	186 498 Kč

Tabulka 3: Ekonomické vyhodnocení projektů: Kunratická spojka II. Et., Českobrodská, Městská, Kunratická spojka I. Et., kde byl proveden projekt „Navigace pro opravu silnic“ – aplikace Exact Tender (Přesné zadání prací) [1, s. 9]

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PŘIKRYL, Marek. *EXACT Street pro TSK PRAHA: Závěrečná zpráva „Navigace pro opravu silnic“*. 4.0. Praha, 2015.
- [2] FILIPOVSKÝ, Jan, Michaela SEKANINOVÁ, Lukáš KUTIL a Marek PŘIKRYL. *Metodika „Kontrola kvality stavebních prací při opravách a rekonstrukcích silnic II. a III. tříd pomocí moderních technologií“*. Krajská správa a údržba silnic Vysočiny, Státní fond dopravní infrastruktury, 2016. Dostupné také z: http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2016-01-Methodika-Kontrola-kvality-stavebnich-praci-KSUSV-SFDI.pdf
- [3] PŘIKRYL, Marek, Lukáš KUTIL a Josef ŽÁK. 3D měření technologií laserového skenování: Švédsko - silnice 41 (VÄG41) - Bergham - Gullberg. *ResearchGate*. ResearchGate GmbH, 2011, , 2-9.
- [4] Index of /images. *Certainty 3D* [online]. b.r. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.certainty3d.com/images/?C=N;O=D>
- [5] *TopoLIFT Installation Instructions—DRAFT*. Orlando: Certainty 3D, LLC, 2010.
- [6] KUTIL, Lukáš, Marek PŘIKRYL a Martin DRNEC. *ZAMĚŘENÍ DÁLNIČNÍHO MOSTU TECHNOLOGIÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ A VYUŽITÍ 3D DAT PRO PROJEKT REKONSTRUKCE MOSTU*. SYMPOZIUM MOSTY, 2013, , 1-7.
- [7] ČR. *Zásady pro zajištění kontroly geometrických parametrů s využitím technologií 3D měření při realizaci staveb ŘSD ČR*. In: . Praha: Ředitelství silnic a dálnic, 2017. Dostupné také z: https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/a6a0fe6a-2f4c-4871-a34c-eb2154bbc7d0/Smernice_GR_8_2011_ver_3_1.pdf?MOD=AJPERES
- [8] *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 1: Všeobecně*. Praha: Ministerstvo dopravy: Odbor pozemních komunikací, 2017.
- [9] *Vyhláška o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy, 2016, ročník 2016, číslo 169. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-169>

- [10] *Směrnice pro dokumentaci staveb pozemních komunikací*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy Odbor pozemních komunikací, 2017.
- [11] KUTIL, Lukáš, Marek PŘIKRYL a Josef ŽÁK. Zaměření a zpracování 3D dat pro re-profilaci komunikace. *Konference asfaltové vozovky*. 2015, , 1-6.

7 SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODICE

- [1] FILIPOVSKÝ, Jan, Michaela SEKANINOVÁ, Lukáš KUTIL a Marek PŘIKRYL. *Metodika „Kontrola kvality stavebních prací při opravách a rekonstrukcích silnic II. a III. tříd pomocí moderních technologií“*. Krajská správa a údržba silnic Vysočiny, Státní fond dopravní infrastruktury, 2016. Dostupné také z: http://www.3dck.cz/downloads/3dck_2016-01-Metodika-Kontrola-kvality-stavebnich-praci-KSUSV-SFDI.pdf

8 JMÉNA OPONENTŮ METODIKY

Oponenty této metodiky jsou:

- Ing. Filip Týc
vedoucí odboru silniční databanky a NDIC, Ředitelství silnic a dálnic ČR
- Ing. Josef Filip, Ph.D.
Projekce dopravní Filip s.r.o. – majitel a hlavní projektant

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Další oblasti využití DMT.	4
Obrázek 2: Proces rekonstrukce PK s dekomponováním na jednotlivé sub-procesy.....	8
Obrázek 3: Velmi přesný digitální model terénu (DMT). [3, s. 4].....	10
Obrázek 4: Vozidlo osazené skenerem pro sběr dat v režimu stop & go. [2].....	12
Obrázek 5: Histogram kontroly kvality vyjadřující výškovou kvalitu modelu reality pomocí normálního rozdělení. [2, s. 47].....	12
Obrázek 6: Ověřitelnost měření například na mostku – mračno bodů na objektech, které nemění polohu v průběhu výstavby. [2, s. 48].....	13
Obrázek 7: Digitální model reality – standartní zobrazení pomocí vrstevnic jsou viditelné příčné sklony a změny klopení. [2, s. 49].....	14
Obrázek 8: Výkres odtokových poměrů – modře jsou označeny místa s malým nebo nulovým sklonem. [2, s. 50].....	14
Obrázek 9: RDMT – červeně jsou označeny místa, kde projektovaná tloušťka není dodržena o více jak 20 %. [2, s. 50].....	15
Obrázek 10: Příčné řezy – vygenerované po 5 m, na řezu kóta každých 50 cm. [2, s. 51] ..	15
Obrázek 11: Parametry IRI (modře) ve vztahu ke staničení a niveletě stavby (červeně). [2, s. 52]	16
Obrázek 12: Extrémní místa – červeně jsou označena místa, kde projektovaná tloušťka není dodržena o více jak 20 %. [2, s. 52]	16
Obrázek 13: Vozidlo osazené laserovým skenerem připravené na měření. [4].....	18
Obrázek 14: Rozmístění pozic skenování – první varianta.....	19
Obrázek 15: Rozmístění pozic skenování – druhá varianta.....	19
Obrázek 16: Instalace laserového skeneru na vozidlo. [5, s. 6]	19
Obrázek 17: Mračno bodů – základní výstup laserového skenování a povinné spojnice kraje vozovky. [2, s. 43].....	21
Obrázek 18: Hypsometrická analýza dat (vlevo), analýza pomocí sklonů (vpravo). [3, s. 5] ..	22
Obrázek 19: Řez modelu v místě hypsometrické analýzy. [3, s. 5].....	23
Obrázek 20: Frézovací práce dálkově řízené totální stanicí. Terč je umístěný v dostatečné výšce nad strojem a propojený s řídicím počítačem. [3, s. 8]	26
Obrázek 21: Ukázka RDMT – výstupní kontrola kvality. V tomto případě červená barva označuje překročení povolené tolerance ± 0 až - 5 mm. [3, s. 8].....	30
Tabulka 1: Výměr včetně objemových rozdílů proti teoretické tloušťce tedy více práce/méně práce. [2, s. 51].....	15

Tabulka 2: Uvažované položky soupisu prací.	32
Tabulka 3: Ekonomické vyhodnocení projektů: Kunratická spojka II. Et., Českobrodská, Městská, Kunratická spojka I. Et., kde byl proveden projekt „Navigace pro opravu silnic“ – aplikace Exact Tender (Přesné zadání prací) [1, s. 9].....	37