

GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ S VYUŽITÍM 3D SKENOVÁNÍ

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

1.1 STAVBA

Název:	II/330 Nymburk, ul. Poděbradská 3D model
Kraj:	Středočeský kraj
Místo:	Nymburk
Katastrální území:	Nymburk

1.2 OBJEDNATEL STAVBY

Název:	Krajská správa a údržba silnic Středočeského kraje, příspěvková organizace
Adresa:	Zborovská 11, 150 21 Praha 5
IČ:	00066001

1.3 ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT

Název:	EXACT CONTROL SYSTEM, a.s.
Adresa:	Vítězné náměstí 576/1, Dejvice, 160 00 Praha 6
IČ:	27926613
Kontaktní osoba, tel:	Ing. Marek Přikryl, Ph.D., tel: 775 787 032
Zaměřil:	Ing. F. Rauš, M. Novotný, Ing. V. Pelikán
Zpracoval:	Ing. F. Rauš, Ing. P. Douša, Ing. V. Pelikán
Ověřil:	Ing. Marek Přikryl, Ph.D.

1.4 POUŽITÉ PRÁVNÍ PŘEDPISY, TECHNICKÉ NORMY A PODKLADY

Právní předpisy, technické normy a podmínky objednatele:

- Zákon č. 200/1994 Sb.
- Vyhláška č. 31/1995 Sb.
- Zákon č. 200/1994 Sb.
- Vyhláška č. 31/1995 Sb.
- ČSN 73 0212, ČSN 01 3410, ČSN 01 3411
- Metodika využití 3D dat pro rekonstrukce pozemních komunikací certifikované MD ČR dne 2.1.2020 č.j. 183/2019/710-VV1

2 BODOVÉ POLE

2.1 VYBUDOVÁNÍ BODOVÉHO POLE

Geodetické měření bylo provedeno ve dnech 5. 3. a 6. 3. 2024. Na stavbě bylo vybudováno bodové pole, jež bylo polohově připojeno pomocí GNSS měření v režimu RTK (real-time kinematic) s využitím přístroje Trimble SPS985 s připojením na síť CZEPOS. Výšky bodů byly určeny z trigonometrického nivelačního pořadu připojeného na nivelační body DJ-2.1, DJ-3.1 a DJ-4.1 nivelačního pořadu ČSNS. Body byly stabilizovány nastřelovacími hřeby a roxory. Byl použit souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv.

Specifikace použitých geodetických přístrojů pro vybudování bodového pole:

Přístroj:	Trimble SPS985 GNSS rover
Sériové číslo:	5519F99269

Přístroj:	Totální stanice Leica TCRP 1203+ R400
Sériové číslo:	240368

2.2 SOUŘADNICE BODOVÉHO POLE

Tabulka 1: Seznam souřadnic bodového pole v S-JTSK a Bpv

Číslo bodu	X [m]	Y [m]	Z [m]
4001	1038570.379	695444.892	185.901
4002	1038489.599	695536.720	185.876
4003	1038435.006	695610.194	186.621
4004	1038351.388	695752.268	184.945
4005	1038260.973	695792.842	185.967
4005.1	1038263.163	695803.235	185.027
4006	1038160.324	695859.798	186.563
4007	1038014.891	695866.603	187.270
4008	1037870.856	695874.292	189.445
4009	1037882.222	695950.383	188.948
4010	1037912.897	696074.300	190.124
4011	1037960.615	696190.483	189.110
4012	1037969.781	696331.654	186.917
4013	1037942.704	696453.373	187.279
4014	1037930.291	696563.578	187.468
4015	1037933.840	696709.238	186.061
4016	1037952.388	696828.380	185.555
4017	1037899.213	696930.500	185.357
4018	1037807.262	697039.388	185.726
4019	1037755.758	697177.397	186.964

3 MODEL REALITY PŮVODNÍHO POVRCHU

Měření byla provedena ve dnech 5. 3. a 6. 3. 2024 a byla rozdělena na sběr podrobných bodů metodou laserového skenování a zaměření identických bodů na původním povrchu obrusné asfaltové vrstvy pro výškové vyrovnání skenovaných bodů.

3.1 POLOHOVÉ A VÝŠKOVÉ PŘIPOJENÍ DAT LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Pro polohové a výškové připojení byl použit:

Přístroj:	Trimble SPS985 GNSS rover
Sériové číslo:	5519F99269

Polohové připojení měření laserového skenování bylo provedeno technologií GNSS v režimu RTK (real-time kinematic) s připojením na síť CZEPOS.

Data z laserového skenování byla následně výškově zpřesněna na zaměřené identické body.

3.2 SBĚR DAT METODOU LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

K měření byl použit laserový skener:

Přístroj:	Riegl VZ-400
Sériové číslo:	S9998721
Technické specifikace:	Směrodatná odchylka v délce: 5 mm Divergence paprsku: 0.3 mrad Pracovní rozsah: 280 m při odrazivosti 20 % Rychlost měření: až 125 000 bodů/s

Sběr dat technologií laserového skenování je děleno na samostatné pracovní jednotky tzv. skenpozice pořízené z měřicího vozidla. Skenpozice byly rozmístěny po cca 30 m a rozlišení skeneru bylo voleno tak, aby plně vystihovalo povrch vozovky. Průměrná hustota měřených bodů byla větší než 2000 bodů na m², body byly zaměřeny s relativní směrodatnou výškovou odchylkou jednoho bodu menší než 0.003 m.

3.3 IDENTICKÉ BODY

Pro výškové zpřesnění byly využity tzv. identické body zaměřené na původním povrchu obrusné asfaltové vrstvy vozovky v dané zájmové oblasti.

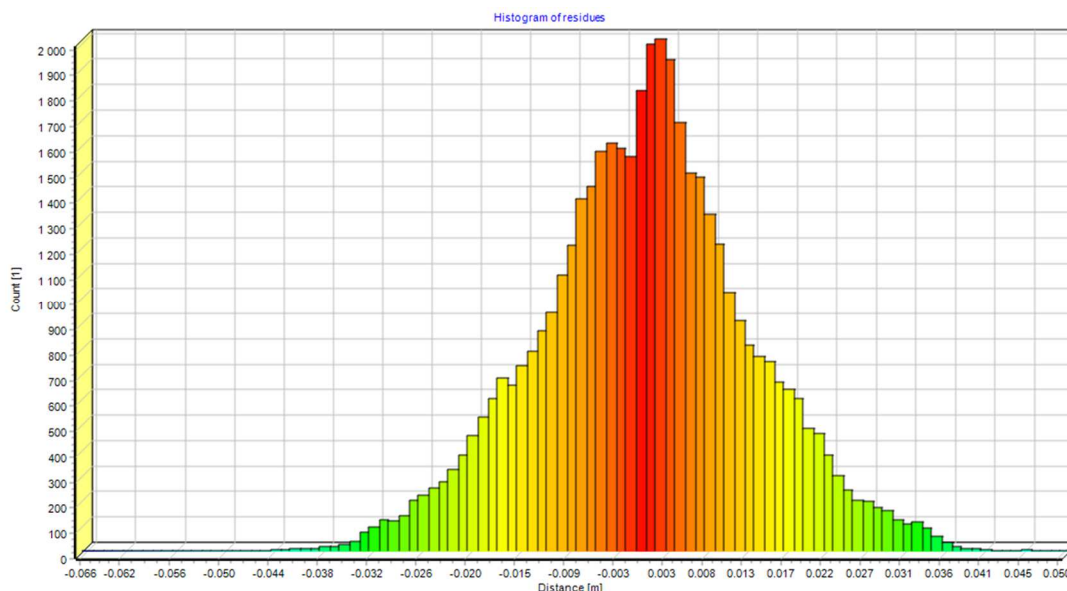
Zaměření identických bodů bylo provedeno totální stanicí s připojením na bodové pole stavby z volných stanovisek, body byly zaměřeny po 15 až 20 m na obou stranách vozovky.

Přístroj:	Totální stanice Leica TCRP 1203+ R400
Sériové číslo:	240368

3.4 TRANSFORMACE

Měřená data (mračna bodů) byla transformována do systému S-JTSK a Bpv, a následně vyrovnána korelačním procesem ICP (Iterative Closest Point). Výsledná střední chyba vyrovnání mračen bodů byla vypočtena ze 44 117 měřených prvků: 0.013 m.

Statistika přesnosti vyrovnání mračen bodů je vyjádřena v histogramu vyrovnání mračen bodů, následně byla data výškově zpřesněna pomocí identických bodů.



Obrázek 1: histogram výsledného vyrovnání mračen

3.5 KLASIFIKACE A FILTRACE

Data byla následně automaticky očištěna od objektů, které nejsou předmětem měření (dopravní prostředky, budovy, vegetace apod.). Data byla klasifikována a nařazena (čtvercovou sítí se zachováním výškové přesnosti) pro potřeby projekčních prací.

3.6 POVINNÉ SPOJNICE

3D linie hran vozovky byly vytvořeny vektorizací mračna bodů, linie byly následně zhuštěny v kroku 0.2 m a nalepeny na digitální model.

3.7 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

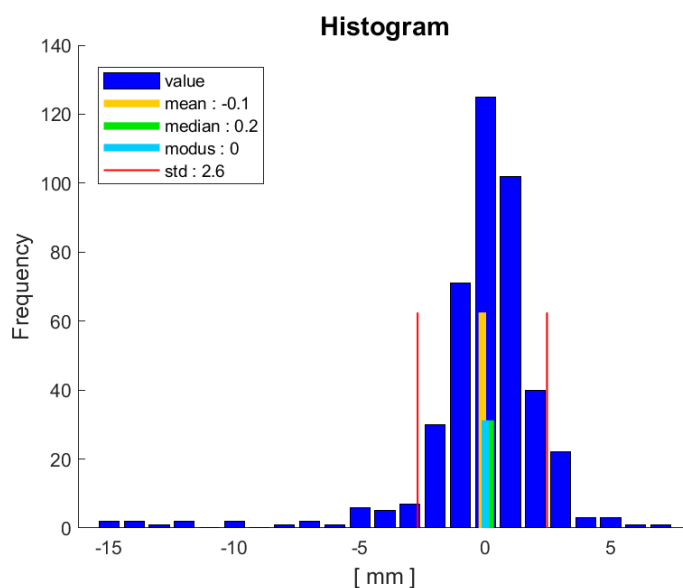
Na základě vyfiltrovaných mračen bodů a povinných spojníc byl vytvořen digitální model původního povrchu.

Transformace měřených dat (mračen bodů), čištění, klasifikace, filtrace a vektorizace byly provedeny v softwarech RiSCAN Pro 2.12.1 a Atlas DMT 6.4.2.

3.8 KONTROLA VÝŠKOVÉ PŘESNOSTI PŮVODNÍHO POVRCHU

Kontrola výškové přesnosti byla provedena na základě vytvořeného digitálního modelu z dat laserového skenování a kontrolních bodů (identické body). Ke každému kontrolnímu bodu byla přiřazena výška bodu z digitálního modelu. Z porovnání výšek kontrolních bodů a výšek přiřazených z DMT byla vypočítána výsledná výšková směrodatná odchylka.

Výsledná výšková směrodatná odchylka je 2.6 mm. Pro výpočet bylo použito 429 kontrolních bodů, rozložení odchylek vyjadřuje histogram:



Obrázek 2: histogram výškových odchylek

4 DESIGN NOVÉ VOVOZVKY

4.1 Popis

Začátek úpravy je v provozním staničení 16950 II/330 u vjezdu k Obecnímu domu, konec úpravy v provozním staničení 42054 II/331 v místě připojení rampy na II/330.

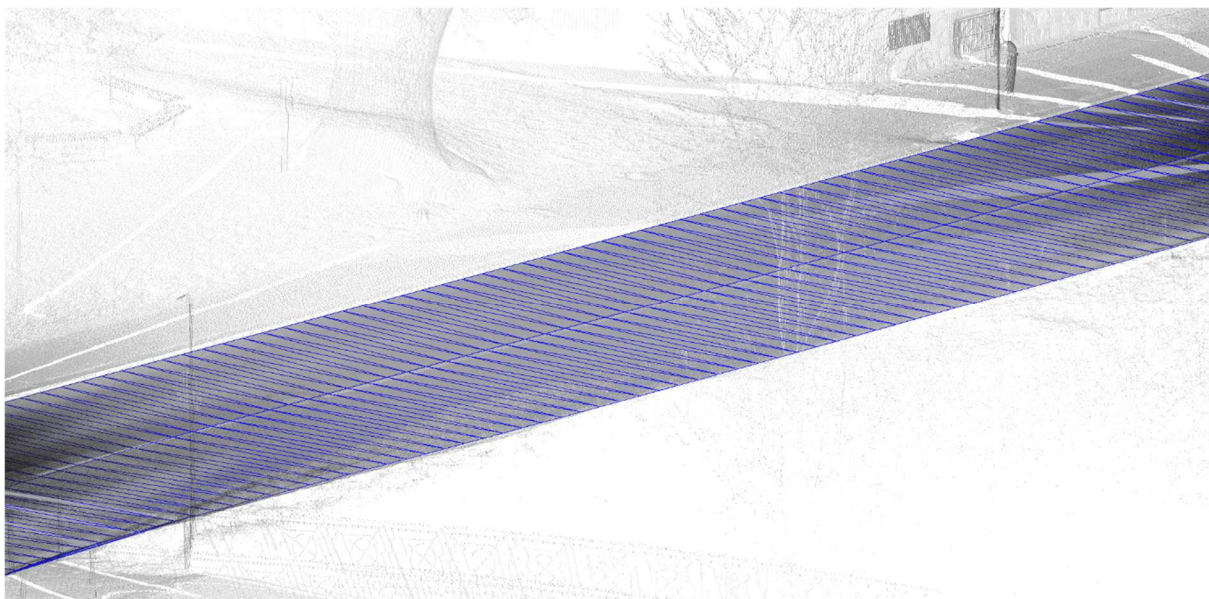
Zájmový úsek je rozdělen na etapy dle následující tabulky

etapizace	stavební staničení		plocha [m ²]	objem frézování [m ³]	poznámka
	od [m]	do [m]			
etapa 1	0.000	290.000	2008	201	
etapa 2	290.000	372.842	762	80	řešení etapy ve spolupráci s HighwayDesign
etapa 3	372.842	732.799	3483	353	
etapa 4a	732.799	885.654	1829	190	řešení etapy ve spolupráci s HighwayDesign
etapa 4b	885.654	1140.000	2758	268	řešení etapy ve spolupráci s HighwayDesign
etapa 5a	1140.000	1415.000	1919	185	
etapa 5b	1415.000	2025.000	5173	531	
etapa 5c	2025.000	2360.000	2246	219	
etapa 5d	2360.000	2518.054	1092	107	

4.2 Design

Návrh nové vozovky se skládá z modelu frézování a modelu nové ohrusné vrstvy, kde se předpokládá 3D frézování do projektovaného stavu, a následná pokládka na plovoucí konstantní vrstvu.

Model je řešen v optimalizačním softwaru PP2 SW2bIII, na pokladu digitálního modelu terénu a sady parametrů pro omezení hloubek, sklonů a vyhlazovacího stupně. Hlavní trasa má pouze jeden sklon pro každý jízdní pruh, osa je směrově vložena do stávajícího stavu, ale v místě nerovností je směrové vedení optimalizováno. Křižovatky a vjezdy jsou řešeny samostatně, v místě napojení na hlavní trasu je model výškově zarovnán, v místě napojení na stávající komunikace je výškové řešení optimalizováno na skutečný stav, s přihlédnutím k výškovému řešení podél obrub a k zajištění odtoku srážkových vod.



Obrázek 3: Model nové vozovky

5 VÝPOČET ÚSPOR A BENEFITŮ 3D MODELU

5.1 dokumentace

Tato technická zpráva se zaměřuje na úspory, které lze dosáhnout při použití 3D frézování v procesu rekonstrukce pozemních komunikací. Frézování za použití 3D technologie zahrnuje komplexní postupy zahrnující sběr 3D dat, jejich zpracování a tvorbu digitálních modelů terénu (DMT) a stavby (DMS). V následujících kapitolách se dozvíte o výhodách této metodiky a získáte přehled o tom, jak přesně tyto technologie přispívají k optimalizaci nákladů a zlepšení kvality prováděných prací.

5.1.1 SBĚR A PŘÍPRAVA 3D DAT

Sběr 3D dat je základním krokem pro kvalitní rekonstrukci pozemních komunikací. Používá se metoda laserového skenování, konkrétně metoda „stop and go“. Skener je umístěn na vozidle, které se pohybuje mezi předem stanovenými pozicemi skenování. Vzdálenost mezi těmito pozicemi je přibližně 40 metrů. Během skenování vozidlo zastaví a laserový skener sbírá data o povrchu vozovky.

Přesnost měření je klíčová. Výšková směrodatná odchylka musí být maximálně 3 mm a polohová směrodatná odchylka maximálně 20 mm. Hustota měření je stanovena na minimálně 2000 bodů na metr čtvereční, což zajišťuje detailní a přesný digitální model terénu.

Po získání dat následuje jejich zpracování. To zahrnuje transformaci mračen bodů do požadovaného souřadnicového systému, odstranění nežádoucího šumu a objektů, které by mohly ovlivnit kvalitu výsledného modelu. Poté se jednotlivá mračna bodů spojují pomocí identických bodů na překrývajících se částech, což vede k vytvoření homogenního a přesného digitálního modelu terénu.

5.1.2 TVORBA DIGITÁLNÍCH MODELŮ STAVBY (DMS)

Po vytvoření digitálního modelu terénu přichází na řadu tvorba digitálního modelu stavby. Tento krok zahrnuje detailní analýzu získaných dat, vyhodnocení podélných a příčných nerovností, odvodnění, sklonů a dalších parametrů vozovky. Na základě této analýzy se provádí návrh a optimalizace digitálního modelu stavby.

Digitální model stavby (DMS) je navržen s důrazem na zlepšení mezinárodního indexu nerovnosti (IRI), což je klíčový parametr pro hodnocení kvality vozovky. Dalšími důležitými aspekty jsou správné odvodnění povrchu a dodržení projektovaných parametrů jako je tloušťka vrstev a sklony.

Použití DMS v praxi znamená, že data z modelu se využívají pro přesné řízení a navádění stavebních strojů. To výrazně zvyšuje přesnost a efektivitu prací, snižuje množství potřebného materiálu a zkracuje dobu rekonstrukce.

5.1.3 REALIZACE REKONSTRUKCE

Samotná realizace rekonstrukce zahrnuje několik klíčových kroků. Prvním z nich je frézování a případné lokální opravy. Při použití digitálních modelů stavby se přesně ví, kolik materiálu je třeba odebrat a kde jsou největší nerovnosti, které je třeba odstranit. To umožňuje efektivnější a přesnější frézování, což vede k úsporám materiálu a snížení nákladů.

Následuje kontrola geometrické přesnosti sejmutého povrchu. Díky opakovanému 3D měření je možné ověřit, zda byly dodrženy všechny požadované parametry. Pokud jsou zjištěny odchylky, mohou být okamžitě napraveny.

Pokládka nové vrstvy probíhá opět za využití digitálních modelů. To zaručuje, že nová vrstva bude mít správnou tloušťku, výšku a příčný sklon, což je zásadní pro dlouhou životnost a kvalitu vozovky. Po každé fázi se provádí další kontrolní měření, které potvrzuje dosažení požadovaných parametrů.

5.1.4 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Zavedení metodiky využívající 3D technologie samozřejmě vyžaduje počáteční investice. Patří sem náklady na pořízení a údržbu měřicí techniky, nákup softwaru pro zpracování dat a tvorbu digitálních modelů, a školení personálu.

Nicméně úspory, které tato technologie přináší, jsou značné. Díky přesné optimalizaci vrstev se výrazně snižuje množství potřebného materiálu. Efektivní řízení a navádění stavebních strojů zkracuje dobu rekonstrukce, což vede k nižším nákladům na pracovní sílu a vybavení. Navíc digitální modely minimalizují riziko lidských chyb, čímž se snižují náklady na dodatečné opravy a reklamace.

5.1.5 BENEFITY PRO KVALITU A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Kromě ekonomických úspor má použití 3D technologie také významné benefity pro kvalitu a životní prostředí. Přesné dodržení projektovaných parametrů a kvalitní provedení rekonstrukce zvyšují životnost vozovky. To znamená méně časté opravy a údržbu, což snižuje náklady a narušení dopravy.

Rovnější a správně odvodněná vozovka zvyšuje bezpečnost silničního provozu. Snížení nerovností na vozovce a lepší odvodnění znamenají menší riziko nehod a lepší jízdní komfort pro řidiče.

Efektivnější práce a snížení množství materiálu vedou také ke snížení emisí CO₂ spojených s výrobou a dopravou materiálu. Tím přispívají k ochraně životního prostředí.

Při řešení 3D modelu se komplexním způsobem optimalizuje povrch podle detailního zaměření původního stavu vozovky.

5.2 rovinatost povrchu – IRI

Výpočet byl proveden v programu ProVAL pro levý a pravý jízdní pruh, linie odsazená od osy vždy o 1.5m, vzorkování na 0.25m

výsledky průměrného IRI jsou uvedeny v tabulce

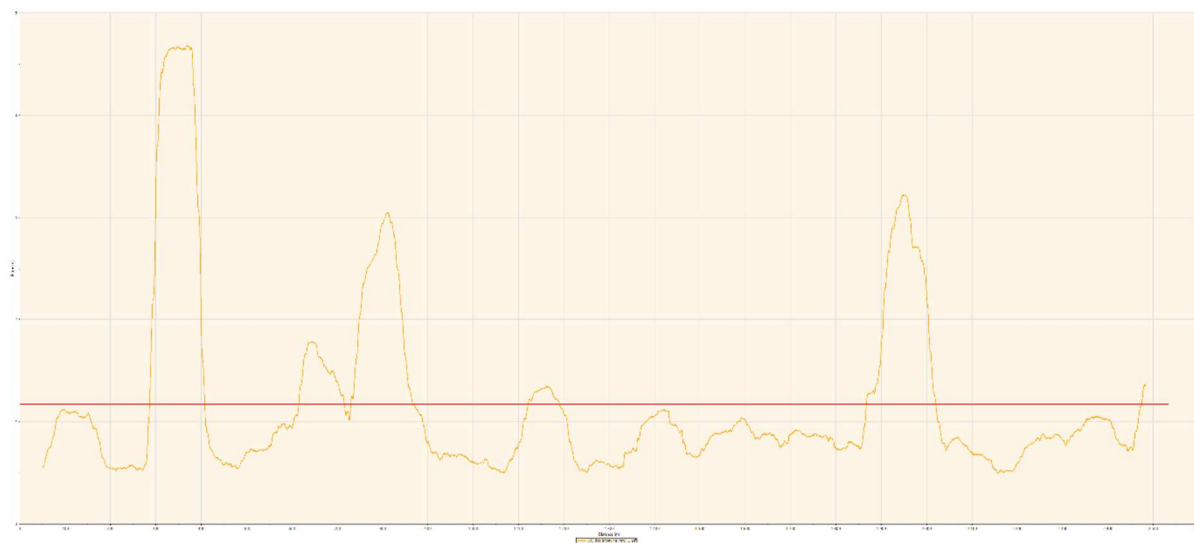
model	IRI (L)	IRI (P)
původní povrch vozovky (240305)	2.76	2.54
design obrusné vrstvy	1.17	1.17



Obrázek 4: průběžné IRI, původní povrch, levý pruh



Obrázek 5: průběžné IRI, původní povrch, pravý pruh



Obrázek 6: průměrné IRI, nová obrušná vrstva, levý pruh



Obrázek 7:Obrázek 6: průměrné IRI, nová obrušná vrstva, pravý pruh

5.3 optimalizace povrchu

původní návrh předpokládal rozdělení stavby na extravilán a intravilán z důvodu změny skladby vozovky (frézování 150mm extravilán, 100mm intravilán), která vycházela z diagnostického průzkumu „Zpráva_ II-330 a II-331 Nymburk, ul. Poděbradská.pdf“. Na základě rozhodnutí investora byla mocnost frézování v extravilánu snížena na 100mm.

Dle analýz hloubek objemů a možných sklonů vozovky byla pro model obrušné vrstvy použita vyrovnaná varianta, která dosahuje průměrných mocností 101mm v intravilánu a 98mm v extravilánu.

verze	hloubka frézování [m]			předpoklá- dané IRI		hlavní trasa		info
	min	max	prům	pův. stav	nový stav	plocha [m2]	objem [m3]	
intra v3	0.009	0.140	0.090	2.7	1.5	16577	1490	šetření objemu, horší rovinatost
intra v4	0.010	0.154	0.101	2.7	1.1	16577	1680	vyrovnaná varianta
intra v5	0.014	0.156	0.113	2.7	1.5	16577	1865	vyšší objemy pro zvýšení min. hloubky
extra v7	0.060	0.120	0.098	2.1	0.7	2845	279	vyrovnaná varianta
extra v8	0.066	0.140	0.121	2.1	1.5	2845	344	zvýšení maximálních hloubek při horší rovinatosti
extra v9	0.060	0.120	0.919	2.1	1.5	2845	262	šetření objemu frézování, horší rovinatost

tabulka porovnání optimalizačních variant

6 DATOVÝ MODEL IFC

model stavby je předáván ve formátu IFC v4, s napojením na klasifikační systém CCI (aktualizace datového standardu sfdi 2022 – v5.0). Model je v metrickém systému a jednotkách SI.

datový model obsahuje souvrství obrusné a ložní vrstvy rozdělené na etapy stavby

7 ZÁVĚR

Silnice II/330 ul. Poděbradská byla zaměřena technologií laserového skenování 5.3.2024. Zpracovaný model původního povrchu je napojen na bodové pole stavby a dosahuje předepsaných přesnostních charakteristik. Na podkladu tohoto modelu je vytvořen 3D model frézování, připravený ve výměnném formátu IFC. Z rozdílového modelu a analytických výpočtů je patrné zlepšení rovinatosti vozovky, a průměrné hloubky frézování okolo požadovaných hodnot 100mm.

Rozpočet stavby je přiložen; rozděluje stavbu na stavební objekty (etapy) a předpokládá následnou koordinaci v etapách 2, 4a.

8 VÝSTUPY

- 1.1_puvodni_povrch\Nymburk_dmt240305_partA,B,C.pdf
- 1.2_puvodni_povrch_odtok\Nymburk_dmt240305_odtok_partA,B,C.pdf
- 2.1_design_obrus\Nymburk_design_obrus_odtok_partA,B,C.pdf
- 3.1_rozdilovy_model_frezovani\Nymburk_diff_dmt240305-designfreza_partA,B,C.pdf
- 4.1_profily_PP2_hlavni_trasa\Nymburk_PP2_profily_hlavni_trasa.pdf, Nymburk_vzorove_rezy.pdf
- 5.1_IFC\Nymburk_II-330_240606.ifc
- 6.1_Rozpočet\Nymburk II_330 Rozpočet a VV 2024 05 05.xlsx

V Roztokách dne 6. 6. 2024

Ing. Filip Rauš