ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VYUŽITÍ 3D TECHNOLOGIÍ PŘI REALIZACI ZEMNÍCH PRACÍ LINIOVÉ SILNIČNÍ STAVBY

2024

FRANTIŠEK ŠPLÍCHAL

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
ING. KAREL POLÁK, PH.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem přikládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 19.5.2024 …….

František Šplíchal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Karlu Polákovi, Ph.D. za odborné vedení, věnovaný čas a veškerou ochotu při zpracovávání zadané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům z firmy MI-Roads, kteří mi poskytli potřebné podklady a odbornou konzultaci.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šplíchal** Jméno: **František** Osobní číslo: **501815**

Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra technologie staveb**

Studijní program: **Stavební inženýrství**

Specializace: **Příprava, realizace a provoz staveb**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití 3D technologií při realizaci zemních prací liniové silniční stavby

Název bakalářské práce anglicky:

The use of 3D technologies in the implementation of earthworks of linear road construction

Pokyny pro vypracování:

1) Teoretická část - úvod do problematiky BIM, GNSS, využití 3D modelů na stavebních strojích, Trimble Businness Center
2) Praktická část - představení kontrétní stavby (úsek dálnice D35) a vyhodnocení přínosu 3D technologií na zadaném projektu (úspora financí, času a pracovníků)
3) Zpracovnání dotazníkového šetření k dotčené problematice
4) Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené literatury:

[1] ČERNÝ, Martin a KOLEKTIVUM AUTORŮ. BIM Příručka 1. vyd. Odborná rada pro BIM ISBN ISBN 978-80-260-5296-8
[2] TRIMBLE: Manual Trimble Business Center v5.0 3 Processing and Adjusting GNSS Survey Control Networks, 2019
[3] BEZPALEC, Pavel. Nové trendy v elektronických komunikacích Lokalizace a navigace. České vysoké učení technické v Praze

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Polák, Ph.D. katedra technologie staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **21.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Karel Polák, Ph.D. | doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc. | prof. Ing. [illegible]

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26. 2. 2024
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Obsah

ÚVOD ... 9
CO JE BIM? ... 10
DEFINICE BIM: ... 10
PŘÍNOSY A NEVÝHODY METODY BIM ... 12
ZAINTERESOVANÉ STRANY – Kdo a jak může využívat BIM? ... 14
Investor ... 14
Architekt ... 15
Projektant stavební části ... 16
Projektant části TZB ... 16
Statik ... 18
Rozpočtář ... 18
Zhotovitel ... 19
Facility manager ... 20
Státní správa ... 20
Koordinátor BIM – BIM manažer ... 21
GNSS ... 22
Vznik GNSS ... 23
Systém GPS ... 23
Princip fungování GNSS ... 25
Převod souřadnicového systému ... 29
Navigační a geodetické zpracování dat ... 30
RTK – Real time kinematic ... 31
Vlivy působící na přesnost měření ... 32
Shrnutí GNSS: ... 34
SOFTWARE TBC 3 TRIMBLE BUSINESS CENTER ... 35
STAVEBNÍ STROJE VYUŽÍVAJÍCÍ BIM MODEL ... 35
Buldozer ... 36
Rypadlo ... 38
Zhutňovací válec ... 40
POSOUZENÍ STAVBY U KTERÉ BYLO VYUŽITO 3D NAVÁDĚNÍ STAVEBNÍCH STROJŮ PRO TEŽBU MATERIÁLZU V ZÁŘEZU ... 42
Co je stavební zářez? ... 42
Úvod ke stavbě ... 42
Umístění stavby ... 42
Směrové a výškové řešení ... 43

Zemní práce ... 43
Lokalizace stavby ... 44
Dokumenty převzaté od firmy Mi-Roads: ... 44
VYUŽITÍ 3D TECHNOLOGIÍ PŘI ETAPĚ ZEMNÍCH PRACÍ – ČÁSTI STAVBY ... 47
Skrývka ornice ... 47
Hloubení zářezu ... 48
CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA ... 50
Položka 12 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I ... 51
Položka 13 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I ... 53
Položka 14 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. II ... 55
Položka 15 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. III ... 57
Ušetření pohonných hmot ... 58
VYHODNOCENÍ ... 59
DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ ... 60
Předpoklady ... 60
Vyhodnocení ... 60
ZÁVĚR ... 69
ZDROJE A POUŽITÁ LITERATURA ... 70
SEZNAM OBRÁZKŮ: ... 71

Anotace:

Tématem mé bakalářské práce jsou 3D technologie a jejich využití při realizaci zemních prací (zářezu) na liniové dopravní stavbě. Práce je rozdělena na dvě části. První část (teoretická) se zabývá základními informacemi problematiky BIM, jejími výhodami a nevýhodami, dále popisuje jednotlivé stroje, na kterých lze aplikovat 3D modely stavby a následně vysvětluje princip fungování GNSS a propojení se stavebním strojem. V druhé (praktické) části praxe je představena část úseku stavby dálnice D35 a je zde posouzena efektivita využití 3D modelů, který zde byl použit.

Klíčová slova

BIM, 3D technologie, stavební stroje, dozer, rypadlo, GNSS, dálnice D35

Abstract

The topic of my bachelor thesis is 3D technologies and their use in the implementation of earthworks (cut) for linear transport structures. The thesis is divided into two parts. The first part (theoretical) deals with the basic information of BIM issues, its advantages and disadvantages, then describes the different machines on which 3D models of construction can be applied and then explains the principle of GNSS and the connection with the construction machine. In the second (practical) part of the practice, a section of the D35 motorway construction is presented and the effectiveness of the use of 3D models used here is assessed.

Keywords

BIM, 3D technology, construction machinery, dozer, excavator, GNSS, D35 motorway

ÚVOD

V dnešní době je stavebnictví jedním z odvětví, které rychle adoptuje moderní technologie s cílem zlepšit efektivitu, snížit náklady a minimalizovat negativní dopady na životní prostředí. Jednou z moderních technologií, která získává stále větší pozornost a využití, je 3D navádění stavebních strojů. Tato technologie spojuje pokročilé systémy Globální Navigační Satelitní Systémy (GNSS) s 3D modely, umožňující přesné řízení stavebních strojů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na analyzování využití 3D navádění stavebních strojů v rámci výstavby úseku dálnice D35 a jeho dopadů na produktivitu, rychlost práce, náklady a environmentální udržitelnost. Práce je rozdělena do tří hlavních částí s cílem poskytnout komplexní pohled na tuto problematiku.

V teoretické části práce bude rozebrána problematika Building Information Modeling (BIM), Globálních Navigačních Satelitních Systémů (GNSS) a využití stavebních strojů v zemních pracích.

Praktická část práce bude zaměřena na konkrétní příklad stavby – dálnice D35 úsek Janov – Opatovec, na které bylo 3D navádění stavebních strojů implementováno. Budou představeny konkrétní příklady, které ilustrují výhody této technologie v reálném provozu. Dále bude provedena analýza úspor a efektivity, které byly dosaženy díky implementaci 3D navádění.

Poslední část práce bude tvořit dotazníkové šetření, které bude zkoumat povědomí širší společnosti o této moderní technologii ve stavebnictví. Cílem této části je získat ucelený pohled na aktuální stav povědomí a přijetí této technologie v praxi.

Celkovým cílem této bakalářské práce je přispět k lepšímu pochopení a propagaci využití 3D navádění stavebních strojů jako efektivního nástroje pro modernizaci a zlepšení výkonnosti ve stavebnictví.

CO JE BIM?

Building Information Modeling (BIM) je moderní přístup v oblasti stavebnictví, který využívá digitální technologie k vytváření, správě a sdílení komplexních informací o stavebním projektu. BIM není pouze software nebo 3D model budovy, je to metodologie, která integruje různé aspekty stavebního procesu a umožňuje spolupráci mezi různými účastníky projektu od návrhu až po provoz a údržbu.

BIM přesahuje tradiční dvourozměrné (2D) znázornění budov a infrastruktury. Ve svém jádru jde o metodologii trojrozměrného (3D) modelování řízenou daty, která zahrnuje množství informací o každém aspektu stavebního projektu. BIM nelze chápat jenom jako 3D model objektu, spíše jako prostředí, ve kterém máme všechny dostupné informace o objektu a lze v něm koordinovat práci veškerých složek spojených s daným objektem. [1]

DEFINICE BIM:

„Informační modelování budovy (Building Information Modelling, zkráceně BIM) je proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu.“

www.wikipeida.org

„Digitální model reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami. Slouží jako otevřená databáze informací o objektu pro jeho zrealizování a provoz po dobu jeho užívání.“

Nationa Institute of Building Sciences – NIBS, USA

„BIM je organizovaný přístup ke sběru a využití informací napříč projektem. Ve středu tohoto úsilí leží digitální model obsahující grafické a popisné informace o designu, konstrukcích a údržbě objektů.”

Strategy Paper for the Government Construction Client Group from the BIM Industry Working Group, UK

Písmeno „B“ ze zkratky BIM představuje slovo budova z anglického „Building“. Nelze si však omezit představy pouze na budovy, ale na stavby obecně (liniové stavby, vodní díla, …) a kompletní stavební procesy. Informační modelování budov jako metodika práce je použitelná v širším spektru pro jakoukoli stavbu. Uplatnění najde nejen v segmentu pozemních staveb, ale také mezi dopravními, vodohospodářskými stavbami i mezi stavbami speciálními. [1]

Pod písmenem „M“ nemusíme nutně vidět pouze slovo „Modeling“, lze ho také vnímat jako „Managment“ nebo „Marketing“, které možná lépe vystihuje, co použití BIM umožňuje, tedy řízení a správu veškerých informací o stavbě.

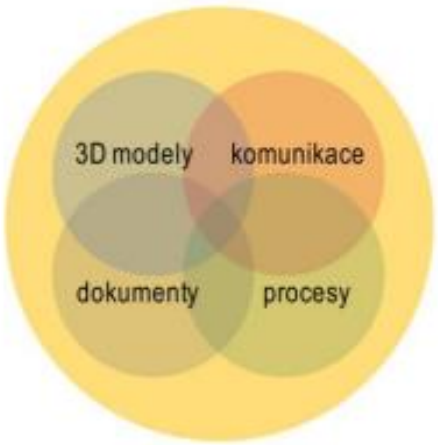
Můžeme tedy začít rozlišovat 2 základní úrovně BIMu.

1) **BIM jako model** – forma informační databáze, do které můžeme zahrnout data celého životního cyklu objektu od prvotního návrhu výstavby, správy budovy a případné rekonstrukce až po její demolici, včetně ekologické likvidace stavebního materiálu a uvedení staveniště do původního stavu.
2) **BIM jako proces** – proces modelování, který využívá BIM model pro výměnu a sdílení informací mezi jednotlivými zainteresovanými stranami. Žádný z účastníků by neměl metodu BIM odmítat, aby bylo možné dosáhnout maximální efektivnosti informačního modelu. Důležité je také zmínit, že do informačního modelu nemusí všichni vložit veškeré své vědomosti a data, ale pouze ty informace, které jsou užitečné pro ostatní účastníky procesu výstavby. Pokud by do modelu byly zahrnuty veškeré informace (i právě ty zbytečné) došlo by k přehlcení modelu a bylo by obtížnější s daty pracovat.

Je potřeba si uvědomit, že BIM je ve své podstatě databáze informací o objektu a 3D model je jedním z možných způsobů reprezentace těchto informací. Každá ze zainteresovaných stran bude tyto informace využívat jinak. Pro projektanta a investora bude bezpochyby užitečný právě 3D model, pod kterým si budou moci zhotovované dílo představit v určitých souvislostech. Avšak další účastníky stavebního procesu mohou zajímat sice stejné informace ale z jiného pohledu. Rozpočtář si vygeneruje data z informačního modelu do tabulkového procesoru, pro přesný výpočet rozpočtu. Přípraváře bude zajímat podlahová plocha a celkové objemy materiálů pro vytvoření harmonogramu výstavby nebo čerpání prostředků během výstavby apod. [1]

Negeometrické a doplňující informace jednotlivých prvků, ze kterých je 3D model složen, mohou zahrnovat konstrukční, materiálové a užitné vlastnosti, pozici v harmonogramu výstavby, jednotkovou cenu, harmonogram kontrol a výměn, investiční a provozní náklady a další. Tímto způsobem lze vytvořit model skutečného objektu, který pomáhá nejen při návrhu a realizaci stavby, ale také při jejím provozování a údržbě. [2]

Nejdůležitějším prvkem metody BIM je společné datové prostředí (CDE – Common Data Environment), které zahrnuje všechny informace, včetně 3D modelu a jeho negeometrických dat, stejně jako veškeré další dokumenty, komunikaci mezi účastníky projektu a jejich procesy v jednotlivých fázích životního cyklu stavby. Můžeme si tento prvek představit následovně: Velký žlutý kruh znázorňuje společné datové prostředí, do kterého spadají jednotlivé části, které se mohou vzájemně prolínat. [3]



Obrázek 1: Společné datové prostředí – CDE (Common Data Enviroment)

PŘÍNOSY A NEVÝHODY METODY BIM

Přechod na BIM je spojený se změnou současných procesů především po stránce komunikace, předávání a sdílení dat. Druhou oblastí změn je zavedení nových technologií, které umožní 3D modely BIM vytvářet, využívat a efektivně podporovat změnu komunikace a procesů prováděných v rámci celého životního cyklu stavby. Třetí důležitou oblastí je přínos BIM z hlediska udržitelné výstavby a komplexní kvality staveb. Počáteční investice pro tvorbu BIM modelů bývá vyšší než u klasického způsobu 2D dokumentace tištěné podoby, avšak přináší tyto výhody:

1. úspora nákladů a času počítaná za celý životní cyklus stavebního díla
2. zlepšení komunikace mezi účastníky stavebního procesu
3. zlepšení kontroly stavebního procesu
4. zlepšení kvality výsledného díla
5. předcházení kolizím (jejich detekce před realizací stavby) a nedorozuměním při práci s informacemi vzniklým použitím starých verzí
6. zvýšení transparentnosti a zlepšení přístupu k informacím při rozhodování v různých etapách životního cyklu stavby (i pro netechnické profese pracující na projektu)
7. reálná možnost průběžného začlenění všech potřebných profesí již při návrhové fázi projektu
8. ochrana životního prostředí s důrazem na energetické úspory (snížení energetické náročnosti budov) díky možnostem simulací v etapě přípravy projektu a využití údajů v případě změny dokončené stavby (rekonstrukce) nebo její odstranění
9. zefektivnění ekonomického řízení staveb (projektů) a to od prvotní kalkulace, přes výběr a průběžné kalkulace až po samotnou fakturaci
10. významné podklady pro navrhování, instalaci, provozování a výměnu zařízení [3]

Je také ale potřeba zdůraznit eventuální minusy metody BIM, které mohou mít vliv na rozhodování investora, zdali tuto metodu při výstavbě aplikovat. Nejvýraznějším záporem je již zmiňovaná počáteční investice, která bývá patřičně vyšší než u klasické 2D dokumentace a může znamenat větší časovou a odbornou náročnost pro projektanta. Mezi další mínusy této metody můžeme zařadit následující: [3]

1. Skutečná cena projektových prací a někdy až přílišný tlak na cenu, který se projevuje v nižší kvalitě návrhu a nemožnosti nalezení optimální varianty
2. Zvyklosti z tvorby 2D dokumentace – způsob kreslení a obsah dokumentace
3. Nekompatibilita používaných nástrojů a nedostatečná podpora – řešením by bylo předávání dat v otevřených formátech
4. Zpracování jednotlivých stupňů dokumentace různými autory (zpracovateli) – nejednotnost
5. Rozdělení financí mezi etapami stavebního procesu

6. Nedostatečná definice autorských a jiných vlastnických práv pro BIM model
7. Celková cena zavedení BIM – software, nastavení procesů ve firmě, školení pracovníků

Velká část těchto překážek je způsobena především neznalostí a nedostatečným vzděláváním v oblasti informačního modelování budov v současné době. Přesto v současnosti roste i u nás počet profesionálů z oblasti stavebnictví, kteří BIM pro navrhování staveb používají a zabývají se širším využitím BIM jako metodiky i BIM modelů pro zlepšení spolupráce, analýzy a simulace.

ZAINTERESOVANÉ STRANY – Kdo a jak může využívat BIM?

Hlavním úkolem metody BIM je sdružování všech zúčastněných stran na zadaném projektu. Níže shrneme, jaké přínosy může mít BIM pro jednotlivé účastníky, kteří se podílí na přípravě, realizaci a nebo následném provozu díla. Vhledem k tomu, že požadavky a představy investora mohou být v rozporu s představami zhotovitele BIM modelu (nebo také projektové dokumentace) je zapotřebí chápat některé výhody jedné strany za nevýhody pro stranu druhou. V kapitole „Přínosy a nevýhody metody BIM“ byly shrnuty všeobecné přínosy a nevýhody. V následující části jsou shrnuty výhody a nevýhody pro jednotlivé zainteresované strany.

Investor

Na začátku jakékoli stavby stojí investor, od kterého přichází prvotní myšlenka a stavební záměr. Je prvním subjektem, který může požadovat, aby byl projekt zpracován metodou informačního modelu a aby data z projektu byla sdílena v definovaném formátu a struktuře. Pokud investor požaduje BIM model následně mu to usnadní práci v komunikaci s architekty i projektanty, protože již má 3D představu o svém investičním záměru. Tím, že investor zadá projekt v BIM usnadní koordinaci jednotlivých činností všem zúčastněným stranám. Avšak největší nevýhodou jsou počáteční náklady, kdy investor musí počítat s vyšší vstupní investicí, jelikož navrhování stavby je tak o něco náročnější. [1]

Další výhody a nevýhody pro investora:

Výhody	**Nevýhody**
Možnost kontroly projektu ve všech fázích	Vyšší vstupní náklady
Rychlejší zpracování požadavků a změn	Nutná technická znalost problematiky (nebo zvýšení nákladů z důvodu pověření 3. osoby, která má přehled o problematice – Koordinátor BIM)
Rychlejší přístup k zásadním informacím pro rozhodování	
Snížení rizika špatného přenosu informací a tím snížení nákladů a času	

Architekt

Doporučením každého architekta pro investora by měla být práce s BIM modelem, jelikož se sám architekt může vyvarovat vlastních chyb při návrhu stavby. Protože architekti již při svých návrzích de facto simulují stavbu ve virtuálním světě počítače, mohou předcházet kolizím ještě před samotným zahájením stavby. I přes to, že v počátku projektu je práce na 3D modelu náročnější než u 2D výkresů, architekti si tím mohou eliminovat chyby, kterých by se dopustili při návrhu ve 2D. Z dílny architekta nevychází 3D model jako výsledný produkt, nýbrž jako výchozí bod projektu, od kterého se následně vše odvíjí. [1]

Další výhody a nevýhody architekta:

Výhody	**Nevýhody**
Rychlé vizualizace	Řešení technicky složitých míst již v počátku projektu
Snadné vytváření variant	Řešení možných omezení softwarových nástrojů při navrhování
Možná energetická analýza	Nutná kompatibilita s ostatními účatníky
Pohodlnější nástroj pro práci	

Projektant stavební části

Pokud projektant obdrží 3D model stavby ke zpracování dalších projekčních stupňů, dostává do rukou také všechny podstatné informace o geometrii stavby a snižuje se zde riziko vzniku chyb z důvodu nepochopení výkresů nebo nedostatečné prostorové představivosti projektanta. Při použití BIM modelu se výkresová dokumentace generuje přímo z 3D modelu a projektant může využít i automatického generování různých výkazů, jelikož v modelu má zahrnuty různé vlastnosti u zabudovaných prvků (např. výkaz výměr, výkaz oken a dveří, …). Další nespornou výhodou může být přímé sdílení dat, která mohou snížit potřebu další komunikace a vyjasňování nespecifikovaných detailů. [1]

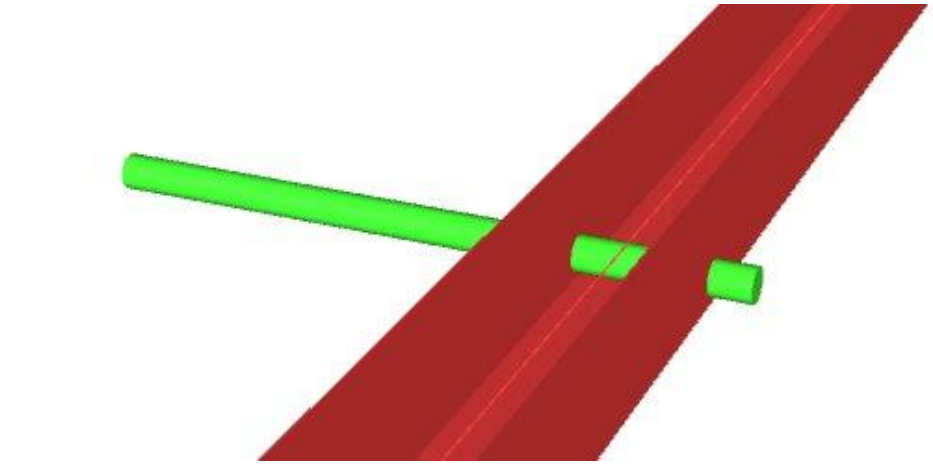
Další výhody a nevýhody projektanta stavební části:

Výhody	**Nevýhody**
Automatická tvorba dokumentace (tedy nespočetné množství tvorby řezů a pohledů)	Vyšší pracnost při začátku modelování (avšak následné ulehčení práce)
Možnost vytváření výkazů prvků	
Zjednodušení komunikace při úpravě modelu	
Možnost variantního řešení	

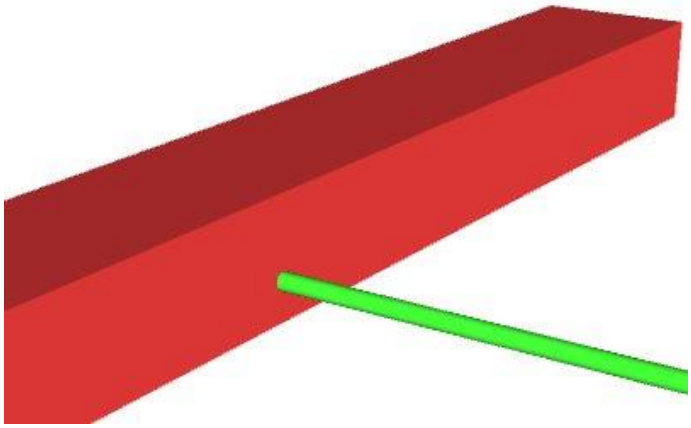
Projektant části TZB

Pozice projektanta TZB je výrazně ovlivněna předchůdci ve stavebním procesu a zde vidím největší přínos BIM. Jelikož při projektování TZB je kladen veliký důraz na úsporu energie, tak veškeré instalace v budovách mohou značně ovlivnit celkové náklady na provoz stavby. V praxi jsou často jednotlivé profese řešeny samostatně, i když spolu souvisí. Pokud se zaměříme na samotný návrh ve struktuře BIM, tak si můžeme například ovlivnit kolize jednotlivých systémů TZB, kdy se nám mohou střetnout dva různé systémy například střet vody a elektrorozvody není zase tak závažný (obr. 2), ale pokud se nám v projektu potká kanalizace, která musí být ve spádu s velkorozměrovým potrubím vzduchotechniky, nastává problém (obr. 3).

Díky platformě BIM se k těmto kolizím dostáváme již v návrhu a můžeme jim předcházet před samotnou realizací a tím ušetřit čas, práci, a především finance na stavbě. [1]



Obrázek 2: Kolize rozvodu elektro a voda



Obrázek 3: Kolize vzduchotechniky s kanalizací

Další výhody a nevýhody projektanta TZB

Výhody	**Nevýhody**
Menší pravděpodobnost kolizí	Zajištění kompatibilní softwarové komunikace s ostatními účastníky
Snadnější zpracování změn	
Možnost variantního řešení	
Možnost energetických simulací	

Statik

I pro spolupráci statika může BIM model ušetřit práci. Lze totiž přebraný model využít jako referenční model pro tvorbu vlastního výpočetního modelu. Základním předpokladem je kvalitně vypracovaný architektonický model. V případě komunikace s projektantem TZB je jednodušší spolupráce na koordinaci těchto dvou činností. [1]

Další výhody a nevýhody statika:

Výhody	**Nevýhody**
Snížení chybovosti při překreslování podkladů	Nutná technická znalost problematiky
Zlepšení plánování výstavby s využitím 4D a 5D údajů	
Snížení nedorozumění mezi statikem a TZB technikem	
Snadnější zapracování změn	

Rozpočtář

Z pozice rozpočtáře, který se snaží sestavit výši nákladů vzniklých stavební činností, je správně zpracovaný BIM model znatelným usnadněním jeho práce. Jelikož z modelu lze generovat výkazy výměr a další výkazy jednotlivých prvků, a tudíž i stanovovat cenové odhady. Pokud budou rozpočtáři zapojeni již v počátečních fázích projektu, mohou pomoci při finančním rozhodování o jednotlivých variantách. Jistou nevýhodou může být drobné chyby v 3D modelu, kterou mohou ovlivnit výkazy výměr. Je zapotřebí aby si rozpočtář model zkontroloval. [1]

Další výhody a nevýhody rozpočtáře

Výhody	**Nevýhody**
Rychlá klasifikace jednotlivých stavebních prvků	Nutnost propojení modelu s cenovou databází
Úspora času díky automaticky generovaným výkazům výměr	
Možnost rychlé tvorby nákladových variant pro rozhodování	
Přehlednější evidence dat pro controlling	

Zhotovitel

Je na jedné straně uživatelem modelu, kdy podle získaných dat realizuje zadanou stavbu, ale zároveň je spoluautorem pro další využití modelu v průběhu jeho životního cyklu (např. zdrojem dat pro revize v průběhu životnosti objektu). Pokud má být model dále využíván pro práci facility managera, je zapotřebí aby zhotovitel dodal do BIM modelu data, která získal během výstavby (může se jednat například o typy elektrických spotřebičů, plynových kotlů, …) [1]

Další výhody a nevýhody zhotovitele

Výhody	**Nevýhody**
Přístup vždy k aktuální dokumentaci	Zajištění doplňování informací do BIM
Kontrola dodržování časového a finančního plánu	Komunikace s koordinátorem BIM – navýšení pracnosti
Zmenšení počtu řešení kolizí zjištěných až při realizaci stavby	Nitná technická znalost problematiky
Možnost přípravy prefabrikace	

Facility manager

Facility manager by měl být přítomný již při samotném začátku návrhu výstavby, aby došlo k výraznému snížení nákladů v průběhu životního cyklu stavby. Jeho hlavní působení ale nastává až po dokončení stavby, kdy přejímá dílo do správy a údržby. BIM model je nyní bohatým zdrojem informací nejen pro správu a údržbu ale také pro výrazné snížení nákladů při provozu díla. Je důležité, aby personál na straně facility managementu byl schopen s modely pracovat a plně využívat jejich potenciál. [1]

Další výhody a nevýhody facility managera

Výhody	Nevýhody
Aktuální strukturované informace o stavbě	Nutná technická znalost problematiky
Jednodušší lokalizace a vizualizace stavebních prvků v rámci objektů	Pořizovací náklady na software pracující s modelem BIM
Možnost zasáhnout do počáteční fáze návrhu a optimalizovat ji pro potřeby užívání	
Přehled o potřebných odstávkách a revizích	

Státní správa

Stát je největším majitelem a správcem majetku, proto pro státní správu BIM představuje možnost lepší definice svých požadavků na výslednou stavbu a také kontrolu průběhu návrhu v jednotlivých fázích. Pokud by státní správa vyžadovala informace o svých stavbách v otevřeně definované struktuře, ušetřila by tak náklady spojené s výstavbou svých projektů a vzrostla by kvalita vybudovaných objektů. Podobně jako facility managementu jsou důležité dovednosti a kompetence zaměstnanců státní správy. [1]

Další výhody a nevýhody státní spravy

Výhody	Nevýhody
Jednodušší parametrická definice zadání	Nutná technická znalost problematiky
Transparentní kontrola jednotlivých fází	
Minimalizace nákladů při provádění staveb	
Snadnější komunikace s dalšími účastníky výstavby	

Koordinátor BIM – BIM manažer

Jelikož nám vzniká nové složité prostředí, vyvstává zde otázka, kdo veškerou spolupráci bude organizovat a zda-li je taková pozice BIM manažera vůbec potřebná? Ano, pokud budeme chtít ve stavební firmě aplikovat nástroj BIM, který pomáhá účastníkům výstavby mimo jiné dosáhnout lepší efektivnosti, vyšší kvality a správné koordinace stavebních profesí, měli bychom jmenovat osobu, která nám pomůže implementovat BIM do stavební firmy. Druhý pohled představuje koordinátora konkrétních BIM projektů, který má na starosti organizaci všech dílčích účastníků v BIM prostředí. Pro obě pozice zůstává stejný princip řízení, tedy řídit BIM co nejefektivněji.

Hlavní náplní práce koordinátora BIM jsou přípravářské práce na projektu, dále koordinace komunikace jednotlivých uživatelů, tvorba a udržování BIM dokumentace, správa CDE – Common Data Environment (společné datové prostředí), analýza zakázek z hlediska BIM, kontrola DIMS (digitální model stavby)

GNSS

V současném stavebnictví se stále více uplatňuje metodika BIM, která umožňuje efektivnější plánování, návrh a realizaci stavebních projektů. Jedním z klíčových prvků v praxi BIM je využití 3D modelů, které poskytují detailní a interaktivní reprezentaci stavby. Tyto modely se stávají neocenitelným nástrojem pro zrychlení stavebních procesů a minimalizaci chyb.

V rámci implementace 3D modelů do praktického provozu se uplatňuje moderní technologie, především v oblasti stavebních strojů. Pro dosažení vysoké přesnosti a efektivity se tyto stroje řídí pomocí globálního navigačního systému (GNSS). GNSS umožňuje přesné sledování polohy a výšky stavebního stroje v reálném čase, což zásadním způsobem zvyšuje přesnost a rychlost provedení stavebních prací.

Při využití GNSS se 3D model nahraje do stavebního stroje a simuluje tím pohyb stroje po modelu, který je následně schopen upravovat skutečnost do podoby modelu s přesností na centimetry. Tímto způsobem je možné realizovat náročné stavební zářezy či jiné úkony s minimálními odchylkami. Stavební stroje jsou tak řízeny na základě informací obsažených ve 3D modelu.

Existují dvě hlavní metody řízení stavebních strojů pomocí 3D modelů a GNSS. První způsob spočívá v nahrání 3D modelu do GNSS, který slouží jako primární způsob navigace pro stavební stroj. Druhým způsobem je nahrání 3D modelu do totální stanice, která pak poskytuje potřebné informace pro řízení stroje. Obě metody mají své výhody a využívají se podle specifických potřeb a podmínek daného stavebního projektu. Hlavním kritériem je okolí stavebního stroje, zda-li má nebo nemá dostatečný signál z družic.

Při řízení stavebních strojů na základě 3D modelů jsou monitorovány výšky a polohy pracovních nástrojů jednotlivých strojů vzhledem k aktuální poloze na staveništi. K řízení stroje po modelu jsou využívány základní geometrie objektu, jako jsou vrchní hrana a pata zářezu.

Celkově lze konstatovat, že kombinace 3D modelů a GNSS představuje klíčový faktor pro efektivní a precizní provádění stavebních prací. Tato technologie nejen zvyšuje produktivitu a přesnost, ale zároveň snižuje náklady a rizika spojená se stavebními projekty. [4][5][6]

Vznik GNSS

Globální navigační systém (GNSS) je technologie umožňující určování přesné polohy a času na zemském povrchu nebo ve volném prostoru. Nejznámějším a nejrozšířenějším GNSS systémem je Global Positioning System (GPS), který byl prvním vynalezeným a je provozován Spojenými státy americkými. Mezi další systémy zařazujeme Glonass (Rusko), Galileo (Evropská unie), a Beidou (Čína). Tyto systémy vzhledem k obrovským finančním nákladům se vytvářejí pomalu a obvykle se jedná spíše o dosažení strategické nezávislosti nežli o zlepšení kvality měření. Jelikož všechny výše popsané systémy fungují na podobném principu, ukážeme si princip fungování na průkopníkovi, a to systému GPS. [5][6]

V praxi geodetické přístroje většinou využívají více systémů najednou (typicky GPS + GLONASS) a jsou tak schopné dosáhnout větší přesnosti.

Systém GPS

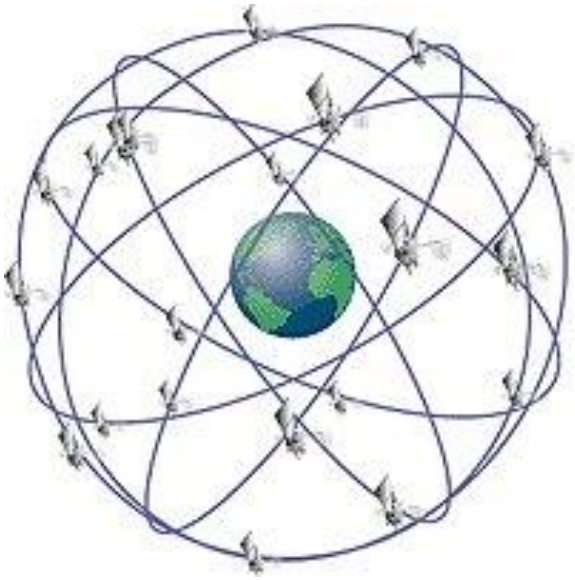
Global Positioning Systém v prvopočátku vznikl za vojenskými účely pro Ministerstvo obrany Spojených států amerických. Pod názvem NAVSTAR GPS vznikal již od roku 1973 a do plného provozu se dostává až 17.7.1995. Struktura většiny GNSS (tedy i GPS) se rozděluje na 3 segmenty:

Kosmický segment

Je tvořen 32 družicemi, které obíhají na 6 kruhových drahách ve výšce asi 20 200 km nad povrchem Země. Dráhy jsou vůči sobě posunuty o 60°. K plnému pokrytí celé planety tedy FOC – Full Operational Capability, by stačilo 24 družic (4 družice rovnoměrně rozmístěné na každé kružnici – obrázek 4). V každé kruhové dráze je nyní rozmístěno nepravidelně 5 – 6 družic pro přesnější určení polohy a pro případné revizní odstávky jednotlivých družic.

S rychlostí 3,8 m/s se doba oběhu družice okolo planety Země blíží polovině jednoho siderického dne a činí 11 h a 58 min. Součástí každé družice jsou 3 až 4 velmi přesné atomové hodiny, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, optické detektory, solární panely a baterie, jako zdroj energie.

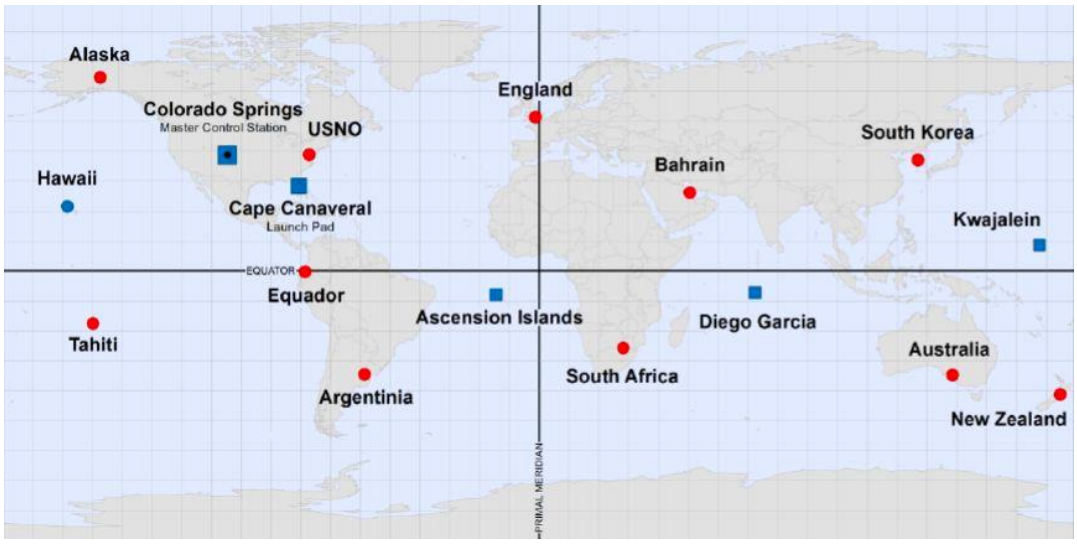
Každá družice bývá několikrát do roka plánovaně odstavena pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy letu. [7][8]



Obrázek 4: Schéma oběžných drah družic GPS

Řídící segment

Je umístěn na zemi, kontroluje a udržuje systémový čas, průběžně monitoruje a koordinuje činnost celého systému, provádí manévry satelitů (korekce drah satelitů). Skládá se z hlavní řídící stanice, která se nachází na Schrieverově letecké základně amerických vzdušných sil v Colorado Springs v USA a několika monitorovacích stanic, které nepřetržitě přijímají signály ze všech družic a analyzují informace ze satelitů. Monitorovací stanice jsou nejvíce rozmístěny poblíž rovníku, aby byly schopny dohromady neustále přijímat signál od všech satelitů. Tyto data se zpracují v hlavním řídícím centru, vypočtou se korekce drah a hodin družic a ty jsou vysílány na družice. Družice pak tyto informace vysílají v navigační zprávě uživatelům. [9]



Obrázek 5: Schéma monitorovacích stanic systému GPS na Zemi

Uživatelský segment

Segment GPS, který má každý uživatel GPS dennodenně v kapse. Jedná se o všechny druhy GPS přijímačů od mobilních telefonů přes navigace až po rovery, které zpracovávají informace ze satelitů viditelných v danou chvíli nad obzorem. Systém GPS pracuje na principu pasivních GPS přijímačů – komunikace mezi vesmírným a uživatelským segmentem probíhá pouze jednosměrně ve směru od satelitu k GPS přijímači. Přijímač nemusí k určení své polohy vysílat žádný signál, pouze přijímá data z družic. Ke správnému určení polohy postačují 4 družice. Z přijatých časových značek a polohových dat o družicích následně přijímač dopočítává polohu své antény. [9]

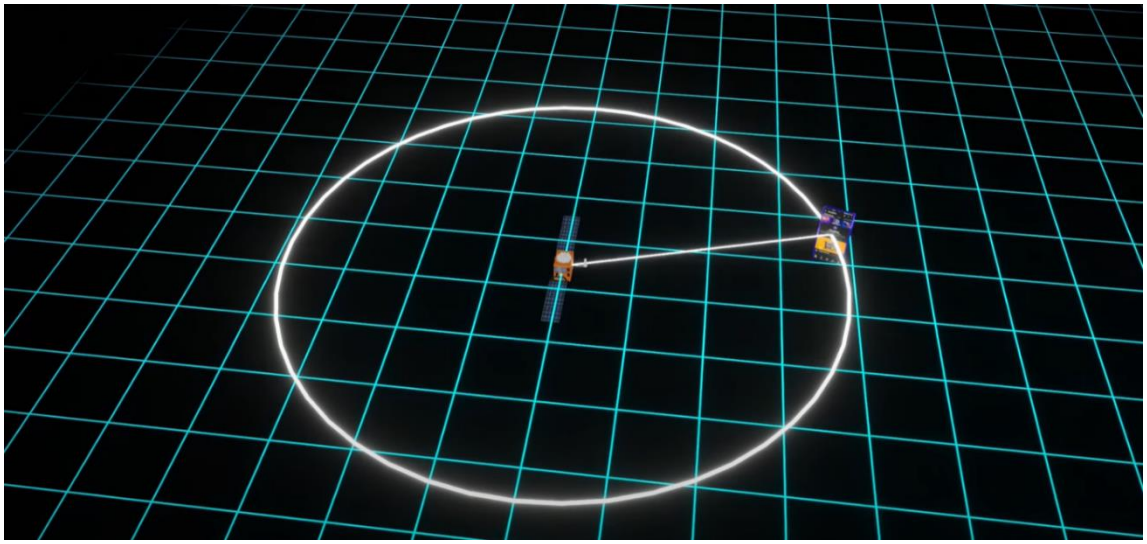
Obrázek 6: Přijímač Trimble R8

Princip fungování GNSS

Globální navigační systémy, ať už mluvíme o GPS nebo jakémkoli dalším systému, fungují na principu radionavigační technice založené na družicích umístěných ve stratosféře. Družice vysílají signál s daty o své poloze a o čase na zem do všech zařízeních s přijímačem. S pomocí těchto informací a trochou geometrie jsme schopni spočítat polohu přijímače (mobilní zařízení, navigace, rover), jelikož známe polohu vysílače (družice). Princip fungování se zdá být velice jednoduchý, ale protože se družice pohybují rychlostí až 14000 km/h a rychlost vyslaného signálu se blíží rychlosti světla, se odchylka 1 mikrosekundy může projevit jako rozptyl polohy až 300 metrů. [9][10][11]

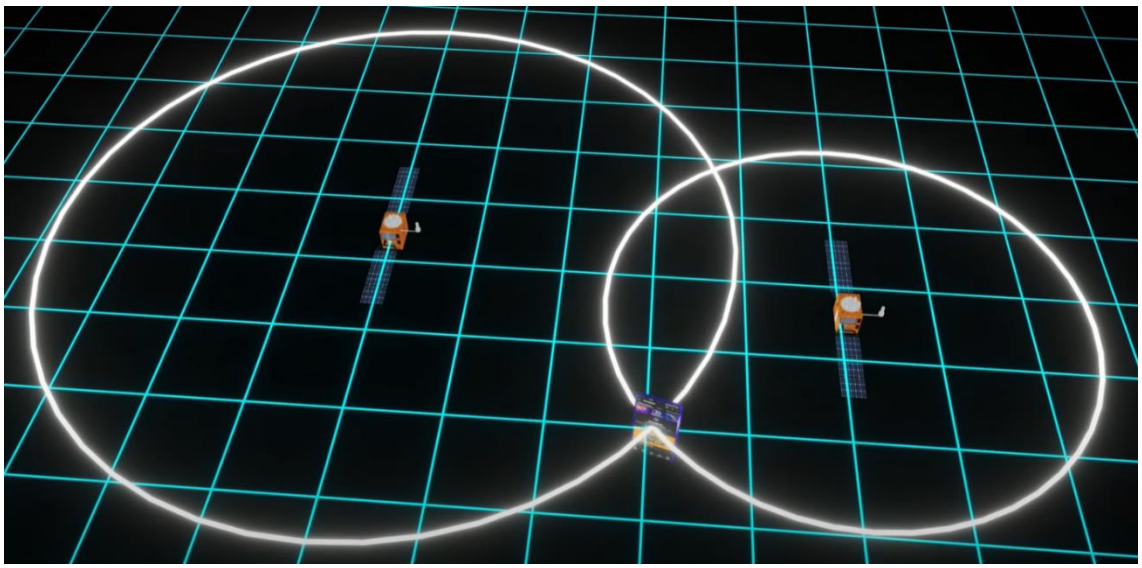
Klíčovým konceptem fungování GNSS je matematická metoda založená na princip trilaterace. Jde o podobný systém jako je triangulace, ale místo práce s úhly zde pracujeme s délkami pro určení polohy bodu. [10] [11]

Představme si, že máme vysílač (družici) a přijímač (mobilní telefon, navigaci, rover). Na jedné straně díky datům ze signálu vyslaným satelitem známe jeho polohu v čase a vzdálenost X od mobilního zařízení. Na straně druhé chceme dopočítat polohu přijímače, který přijal potřebné informace. Použitím jednoho satelitu by zde bylo nekonečné množství poloh na kružnici o poloměru X, kde by se mohl mobilní telefon nacházet – obrázek 7. [11]



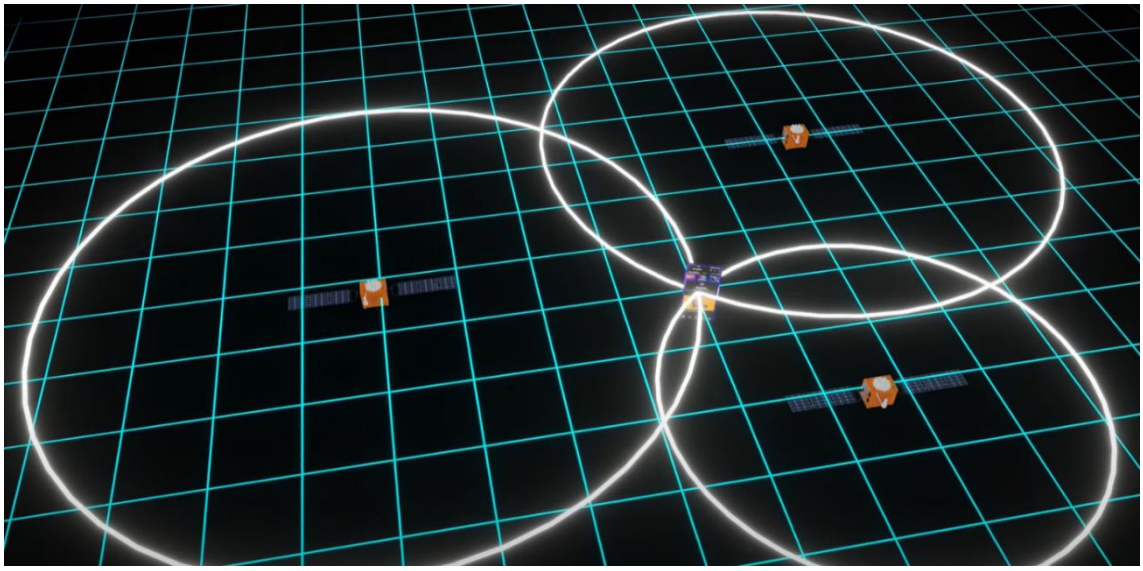
Obrázek 7: Určení polohy přijímače pomocí 1 satelitu

Pokud vezmeme v úvahu druhý satelit, u kterého známe jeho polohu a vzdálenost mezi ním a mobilním zařízením, věci by se trochu zlepšily. Jedinými místy, kde by bylo možné telefon najít, jsou tentokrát pouze body, kde se protínají obvody kružnic. Což znamená, že existují dvě možná umístění – obrázek 8. [11]



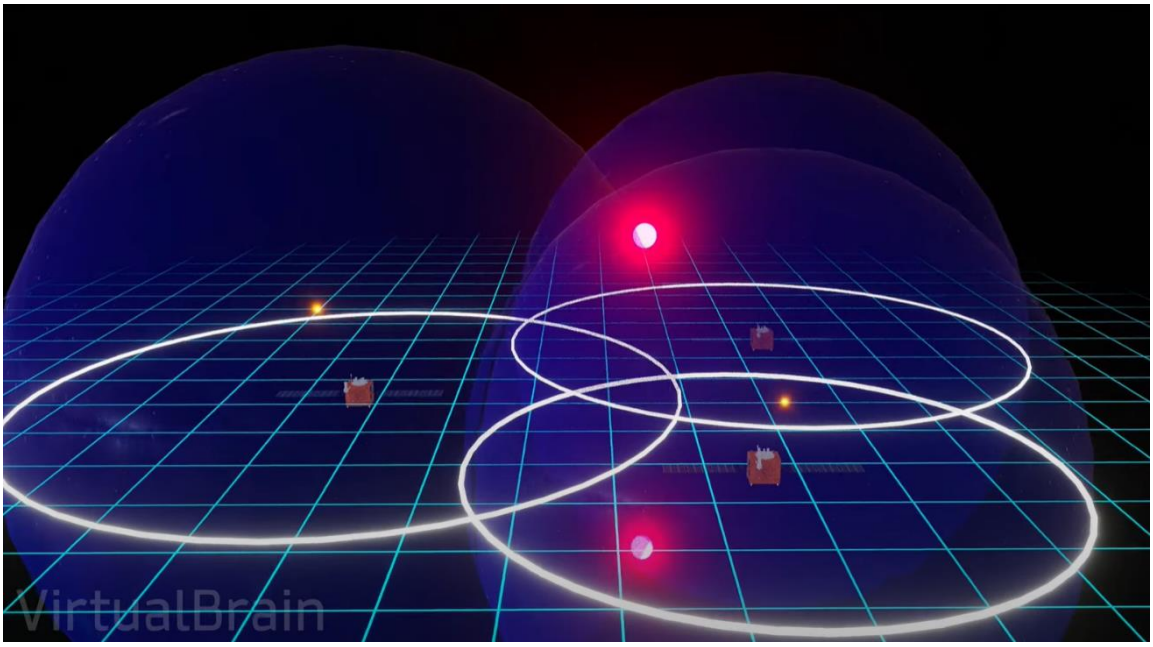
Obrázek 8: Určení polohy 1 přijímače pomocí 2 satelitů

Nakonec, abychom si byli 100% jistí umístěním telefonu, přidáme třetí satelit a podle stejné logiky vznikne pouze jedno místo, kde se protínají obvody tří kružnic satelitů – obrázek 9. [11]



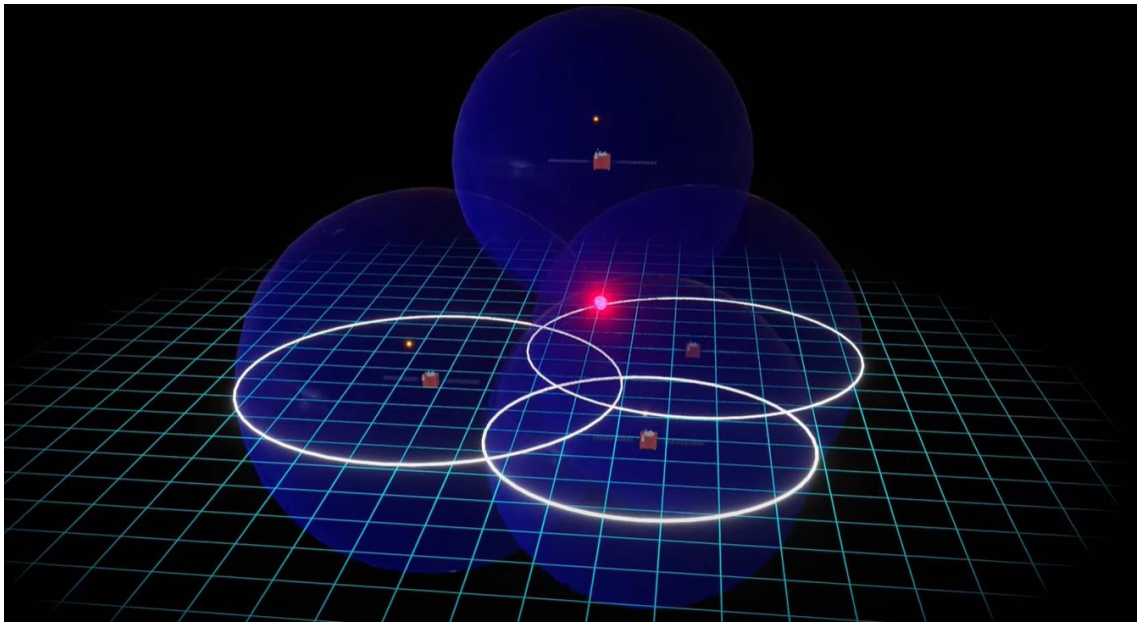
Obrázek 9: Určení polohy přijímače pomocí 3 satelitů

Nyní, když víme, jak to funguje ve 2D dimenzi, podívejme se, co by se stalo na příkladu, který je bližší realitě, když uvažujeme o třetí dimenzi, tedy 3D. Tentokrát možná místa, ve kterých by se mohl telefon nacházet kolem satelitu, již nebudou prostým kruhem, ale koulí, a tím opět ztratíme přehlednost polohy telefonu. Jak můžeme vidět na tomto příkladu, budou dva body v prostoru, kde se tyto tři koule protínají. Vyznačené červené body na obrázku 10. [11]



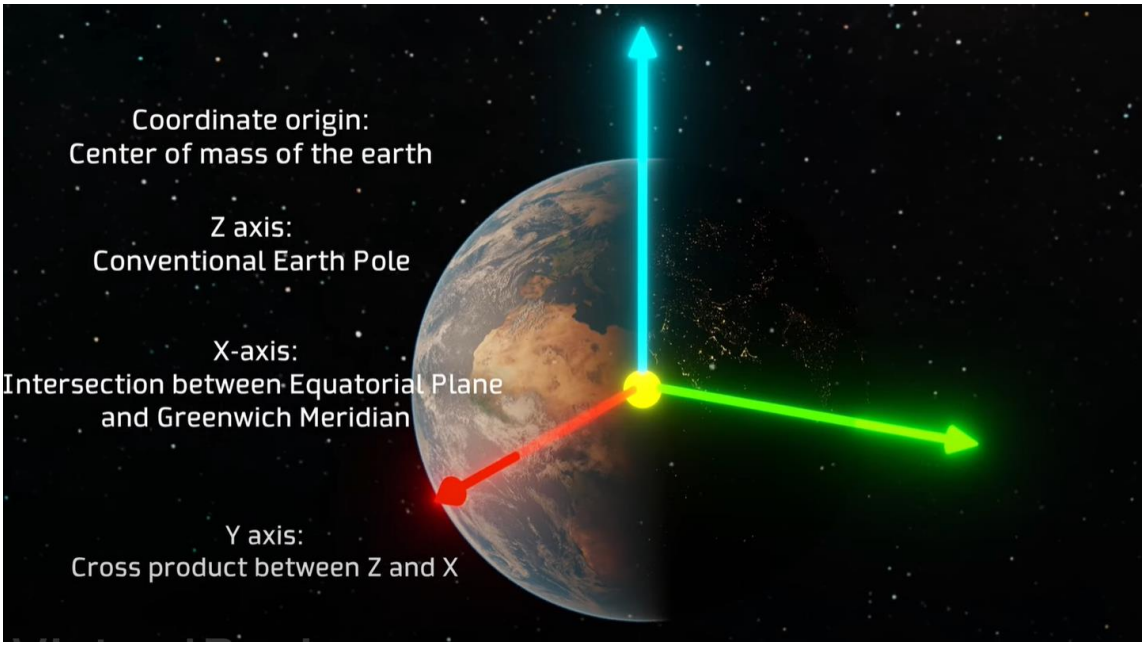
Obrázek 10: Určení polohy přijímače ve 3D pomocí 3 satelitů

A tento problém vyřešíme podobně, jako jsme ho vyřešili předtím. Přidáme další satelit, který nám poskytne informaci o jeho poloze a vzdálenosti – obrázek 11. [11]



Obrázek 11: Určení polohy přijímače ve 3D pomocí 4 satelitů

Vzhledem k tomu všemu chybí jediný detail, aby tento matematický model mohl být uveden do reality. Chybí nám souřadnicový systém, který nám umožňuje určit polohu libovolného bodu na naší planetě. V praxi se souřadnicový systém používaný pro GPS nazývá Světový geodetický systém 1984 (WGS 1984). V tomto systému počátek souřadnicového systému, kterým budou procházet všechny osy, odpovídá těžišti Země. Osa Z (světle modrá) odpovídá kartografickému zemskému pólu (to je místo, ve kterém se protínají všechny poledníky), osa X (červená) odpovídá průsečíku mezi rovníkovou rovinou a nultým (základním, anglicky prime meridian, který prochází královskou observatoří v Greenwich v Anglii) poledníkem a je kolmá na osu Z. Nakonec osa Y (zelená), který je kolmá na osu Z i na osu X. [11][12]



Obrázek 12: Souřadnicový systém WGS 1984

Převod souřadnicového systému

V geodetické praxi se nejčastěji setkáváme se souřadnicovým systémem S-JTSK a Bpv. Každý systém GNSS funguje v rámci svého specifického souřadnicového systému, jako například GPS v geocentrickém systému WGS-84. Výsledky měření však obvykle potřebujeme právě v jiném souřadnicovém systému. Proto je nezbytné převést výsledky měření z GNSS z jeho vlastního systému do cílového systému prostřednictvím transformací. [4]

V České republice stanovuje závazné postupy pro provedení této transformace Český úřad zeměměřický a katastrální (ČUZK), který poskytuje specifikaci včetně rovnic a konstant. V současné době jsou programy pro transformaci obsažené v kontrolerech přijímačů. [4]

Navigační a geodetické zpracování dat

Pro navigační účely jsou informace přijaté z družic zpracovávány podle postupu uvedeného v předchozím odstavci. Běžná (absolutní) přesnost v poloze se pohybuje kolem 5 – 10 m, přičemž chyby jsou na menším území převážně systematické. Tyto chyby lze efektivně snížit pomocí diferenciálního měření.

Diferenciální GPS (DGPS, lépe by mělo být DGNSS) funguje tak, že jeden přijímač je umístěn na bodě s předem známými souřadnicemi a průběžně měří. Následně určené rozdíly slouží jako opravy, které jsou aplikovány na měření provedené na bodech s neznámými souřadnicemi. V některých oblastech jsou dostupné radiově vysílané korekce, kde poskytovatel (např. korekce WAAS, EGNOS apod.) provádí tuto činnost za uživatele. Díky této technologii lze dosáhnout přesnosti až na úroveň cca 1 m v poloze, což je zejména užitečné pro potřeby měření v oblasti geografického informačního systému.

V geodetickém zpracování měření je situace složitější, přičemž se využívají další údaje z radiových signálů. Zde je klíčové, že je třeba současně měřit dvěma speciálními geodetickými přístroji, z nichž minimálně jeden musí být umístěn na bodě s předem známými souřadnicemi. Často se v současné době využívají síť referenčních stanic, kde přijímač nahrazuje bod s předem známými souřadnicemi. Připojení k této síti probíhá v reálném čase prostřednictvím internetu, obvykle pomocí GSM modemu, což umožňuje jak měření, tak vytyčování. V České republice jsou v provozu tři takové sítě: CZEPOS (ČUZK), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s r.o.; Trimble) a TOPnet (Geodis Brno, Topcon), a za jejich využití je účtován poplatek. Výhodou je, že je nutné zakoupit pouze jeden geodetický přijímač. [4][7]

V praxi existuje více metod měření, které se dále rozlišují podle délky a způsobu, a to i s ohledem na přesnost.

Mezi nejčastěji využívané metody patří:

Rychlá statická metoda (5 – 10 mm)

RTK – Real Time Kinematic (25 – 50 mm)

Další dostupné metody:

Statická metoda (3 – 5 mm)

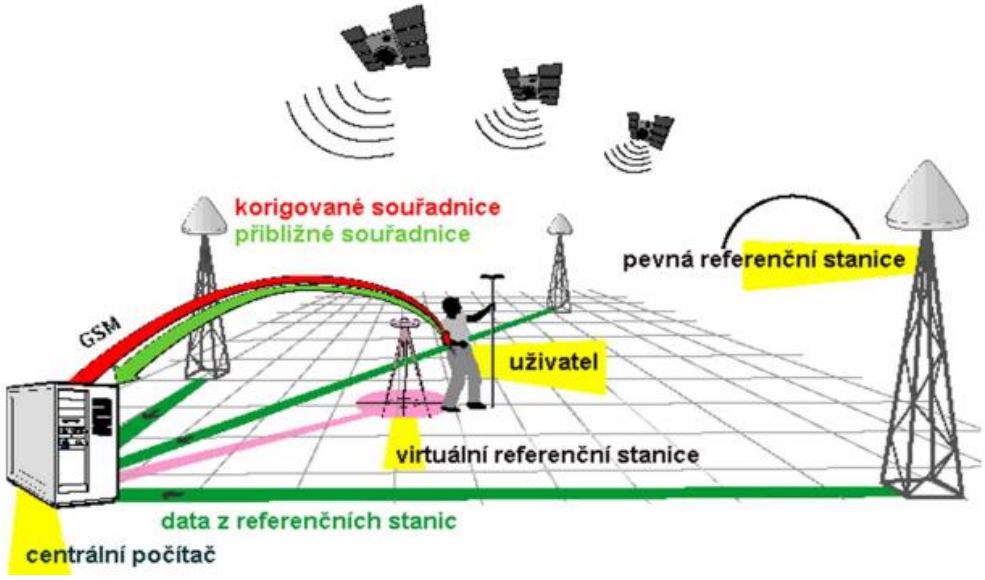
Stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)

Kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)

V praktické geodézii se obvykle využívá převážně metoda RTK v síti referenčních stanic, případně rychlá statická metoda. Tyto metody se dále dělí na post procesní, kdy se data zaznamenávají během měření, ale jejich zpracování probíhá až následně a real-time, která poskytují data v reálném čase, a proto mohou být využity i pro vytyčování.

RTK – Real time kinematic

Při této metodě přijímač kromě dat z družic zároveň zpracovává diferenciální korekce ze sítě permanentních referenčních stanic v reálném čase. Z toho důvodu musí být rover připojen na internet prostřednictvím GSM (digitální mobilní síť). V minulosti ještě platilo, že pro RTK metodu potřebujeme aparaturu skládající se z tzv. „base“ (základny) a „roveru“ (přijímače). Mezi base a roverem muselo být trvalé datové spojení, jelikož base byl umístěn na známých souřadnicích a vysílal korekce do roveru pro zvýšení přesnosti až na 3 cm. V současnosti je base nahrazen sítí permanentních referenčních stanic, ale rover musí být připojen k internetové síti. [4][13]



Obrázek 13: Způsob fungování RTK

Z ekonomického hlediska stačí uživateli pořídit si pouze jeden GNSS přijímač, který je schopný přijímat data z permanentní sítě. Což je zároveň i vice komfortní například pro vytyčování, kdy uživatel nemusí stavět referenční stanici a zároveň zajišťovat její přesuny a dozor, ale pouze využívá jeden přijímač. Nevýhodou permanentních stanic je nepravidelné rozmístění po České republice, i přesto, že se stanice nachází cca 55 km od sebe, není v jejich schopnostech určit přesnou polohu přijímače například v zalesněném prostředí. V takovém případě pro vyšší přesnost je ideální si pořídit vlastní „base“. [7]

Přesnost metody RTK se pohybuje v rozmezí 25–50 mm, což nemusí být vyhovujícím pro jisté pracovní postupy, u kterých potřebujeme milimetrovou přesnost, avšak pro pracovní činnosti v etapě zemních prací, kdy se na velkých liniových stavbách pohybují těžké stavební stroje (typu dozer a rypadlo), je přesnost do 5 cm dostačující. Proto se tato metoda využívala při tvorbě zářezu na objektu, který bude popsán níže.

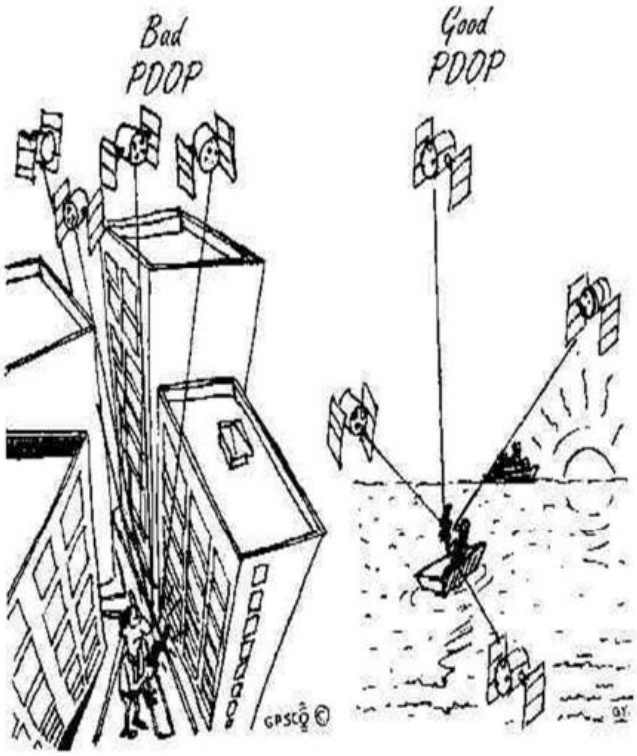
Vlivy působící na přesnost měření

Na rozsáhlejších územích, která mají otevřený výhled na družice, je v současné době ideální využívat systémy GNSS k určení polohy. V místech zalesněných nebo vysoce zastavěných muže systém GNSS vykazovat více nepřesností, která mohou být způsobena faktory:

Vzájemná poloha družic

Podle výše popsaného principu fungování GNSS je dostačující pro určení polohy přijímače signál ze 4 družic. Avšak poloha rozmístění družic na obloze můžu ovlivnit přesnost měření. Vliv rozmístění družic je popsat tzv. DOP parametry (Dilution Of Precision – v překladu zředění přesnosti). Čím je lepší konfigurace, tím nižší je číselná hodnota parametru DOP a větší přesnost. Dílčí faktor zředění přesnosti je faktor prostorový tedy PDOP, který se v České republice pohybuje v rozmezí 1,35 až 3,6. [7]

Lze si to představit pomocí obrázku, kde v levé části obrázku máme špatné prostorové uspořádání družic a tím sníženou přesnost polohy a v pravé části obrázku bezchybné uspořádání.



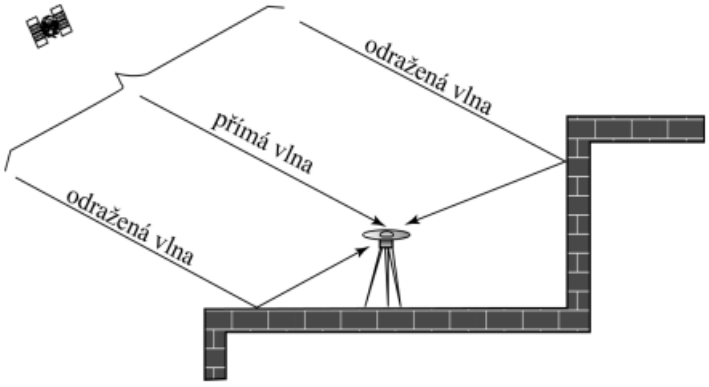
Obrázek 14: Špatné a ideální rozestavení družic

Oslabení signálu polohou přijímače

Pokud se přijímač nenachází na otevřeném terénu a je obklopen například lesem, může dojít ke snížení příjmu užitečných informací a zvýšení příjmu šumu. [7]

Vícecestné šíření (multipath)

Chyba způsobená vícecestným šířením signálu je způsobena společným příjmem přímých a odražených vln anténou přijímače GPS. Odražená vlna vzhledem k přímé má změněnou fázi a urazí jinou (delší) dráhu k anténě přijímače GPS. Chyba určení polohy způsobená společným příjmem přímé a odražených vln může dosáhnout až několik desítek metrů. [8]



Obrázek 15: Působení vícecestného šíření na příjem radiových signálů

Přesnost hodin na družici a na přijímači

Na družicích se pro uchování času a nosných frekvencí používají cesiové, rubidiové nebo vodíkové oscilátory, jejichž stabilita je 10-11 až 10-13 za 24 hodin. Přibližné korekce hodin družice na GPS čas jsou vysílány v navigační zprávě (součást Broadcast Efemerid). Přesné korekce jsou pak určovány se zpožděním z měřených dat.

Vliv atmosféry

Jelikož se vlny nepohybují ve vakuu, musíme zařadit do korekcí i korekci vlivu atmosféry. Největší vliv z vrstev atmosféry mají ionosféra a troposféra. Zde se nachází volné elektrony a ionty, které způsobují ionosférickou refrakci. Ionosférická refrakce je závislá na množství volných elektronů v jednotce objemu atmosféry. Je různá pro kódová a fázová měření, je závislá na frekvenci procházejících vln. Odstraňuje se měřením na obou frekvencích vytvořením vhodné lineární kombinace.

Shrnutí GNSS:

GNSS představují významný přínos nejen pro geodetické měření, ale i pro řadu dalších průmyslových odvětví, jimiž jsou například zemědělství či stavebnictví. Na rozsáhlých plochách, kde nedochází ke ztrátám signálu, je lokace získaná pomocí GNSS nezastupitelná. Běžně dosažitelné přesnosti v rádu jednotek centimetrů nemusí být dostačující pro veškeré účely, avšak pro účely zemních prací ve stavebnictví dostačující jsou. Stále platí, že nelze jen spoléhat na magická data, která padají z krabičky roveru a je nutná jejich průběžná kontrola.

Ve stavebnictví se využívají data z GNSS technologií nejen k vytyčování a zaměřování, ale také k automatizaci řízení zemních stavebních strojů. 3D technologie jsou schopné určovat a kontrolovat polohu stroje vůči modelu až 20x za vteřinu a tím ovládat hydraulické ventily stroje k úpravě sklonu a výšky pracovního nástroje. [7]

SOFTWARE TBC 3 TRIMBLE BUSINESS CENTER

Trimble Business Center (TBC) je softwarová platforma vyvinutá společností Trimble, která slouží k zpracování a správě dat z geodetických a stavebních projektů. TBC poskytuje širokou škálu funkcí pro zpracování měřicích dat, tvorbu digitálních modelů terénu, analýzu dat, vykreslování výsledků a další úkoly spojené s geodetickými a stavebními aplikacemi. Tato platforma je často využívána profesionály v oblasti geodézie, pozemního stavitelství, inženýrství a dalších souvisejících odvětvích k efektivnímu zpracování a správě dat z různých pracovních procesů a technologií. V našem projektu tento software používáme především ke správě 3D modelu a také k výpočtu kubatur ze skenu terénu, pro který se využívá leteckého dronu. [14].

STAVEBNÍ STROJE VYUŽÍVAJÍCÍ BIM MODEL

Ve stavebnictví je využíváno široké spektrum stavebních strojů, které operují s pomocí 3D modelů. Při stavbě lineárních staveb se nejčastěji ve spojení s 3D modelem používají grejdry, dozery, rypadla, frézy, finišery a zhutňující válce. V následující sekci se zaměříme především na stroje, které byly nasazeny během zemních prací na dálnici D35, přičemž sloužily k úpravě terénu.

Moderní stroje obsahují vestavěné komponenty pro 3D navigaci již od výroby. Pro starší stroje existuje možnost doplnit je dodatečnými komponenty umožňující jejich 3D navigaci. V této kapitole sekce se zaměříme na konfigurace od společnosti Trimble ve spojení s jednotlivými stroji. Většina těchto strojů může být vybavena jak GNSS systémem, tak systémem s totální stanicí.

Mimo samotné stavební stroje je na pracovišti možné nalézt i různá zařízení, která využívají 3D modelování. Jednou z možností jsou systémy rozšířené reality, například Trimble SiteVision od společnosti Trimble. Další možností je využití geodetických dronů. [16]

Buldozer

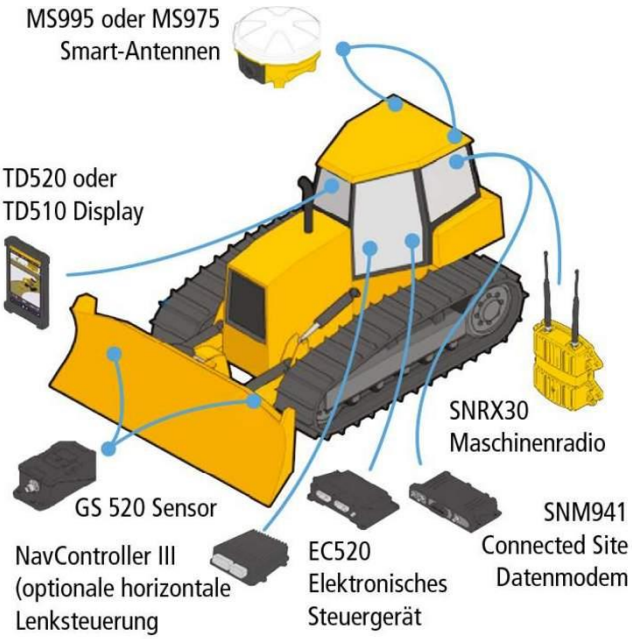
Buldozer, je typ stavebního stroje spadající do kategorie dozerů, používaný především pro manipulaci se zeminou a materiály během stavebních a zemních prací. Hlavní funkcí dozeru je posun a úprava velkých objemů materiálů, ale také vyrovnávání terénu. Základním vybavením dozeru je radlice k hrnutí zeminy a rozrývací trny, které slouží k rozpojování zemin.

Dozery se podle pohybu radlice rozdělují na buldozery, agledozery a tiltdozery. Dále se také mohou dělit podle různých kritérií, včetně jejich velikosti, výkonu a konstrukce podvozku. Základní rozdělení dozerů může být podle jejich velikosti – od menších, kompaktnějších strojů vhodných pro menší projekty a úpravy terénu po větší a výkonnější dozery určené pro těžší a rozsáhlejší práce. [15]

Trimble Earthworks pro dozer

3D duální GNSS

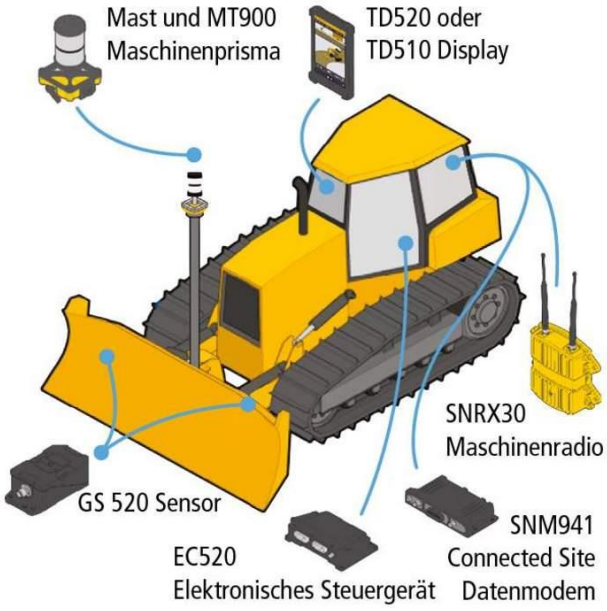
Ovládání radlice pomocí systému Trimble Earthworks pro dozery přináší plně automatizované nastavení sklonu radlice a příčného sklonu. Řidič se tak může zaměřit pouze na tok materiálu, zatímco pracuje s vysokou úrovní přesnosti nivelace. Klasické vybavení stroje je rozšířeno o tyto prvky, které automatizují celý proces práce dozeru. Na vrcholu strojovny jsou umístěny dva strojové přijímače GNSS, které poskytují přesné určení polohy stroje. Na radlici jsou namontovány dva gyroskopy GS520, které slouží k detekci náklonu radlice. Uvnitř kabiny řidiče je umístěna výpočetní jednotka, která je propojena s dotykovým displejem, na kterém řidič může pracovat s modelem terénu a sledovat tak svou polohu na staveništi.



Obrázek 16: Dozer s výbavou pro 3D GNSS

3D univerzální totální stanice

V případě využití totální stanice k navigaci stavebního stroje, je nezbytné, aby dozer byl kromě již zmíněných komponent (pracovní display, gyroskopy a výpočetní jednotka) doplněn o stožár, na který bude namontován hranol MT900. Tento hranol bude sloužit k příjmu informací o poloze z totální stanice, což umožní ještě přesnější navigaci a kontrolu polohy stroje na staveništi.



Obrázek 17: Dozer s výbavou pro totální stanici

Rypadlo

Lopatové rypadlo je stavební stroj využívaný k vykopávkám, přemístění zeminy a materiálů, a také k formování terénu. Jeho hlavní funkcí je manipulace s půdou a materiály pomocí lopaty nebo jiného nástavce.

Mezi hlavní nástroje používané rypadlem patří právě lopata, která je připojena k rameni rypadla a slouží k vykopávání a přemísťování materiálu. Některá rypadla mohou být vybavena i dalšími nástavbami, jako jsou drapáky, hydraulická kladiva, vlečné korečky

Základními částmi rypadla jsou podvozek (např. pásový, kolový nebo kráčivý), motor s kabinou, výložník s násadou, na kterou je připojena lopata sloužící k vykopávání a manipulaci s materiálem.

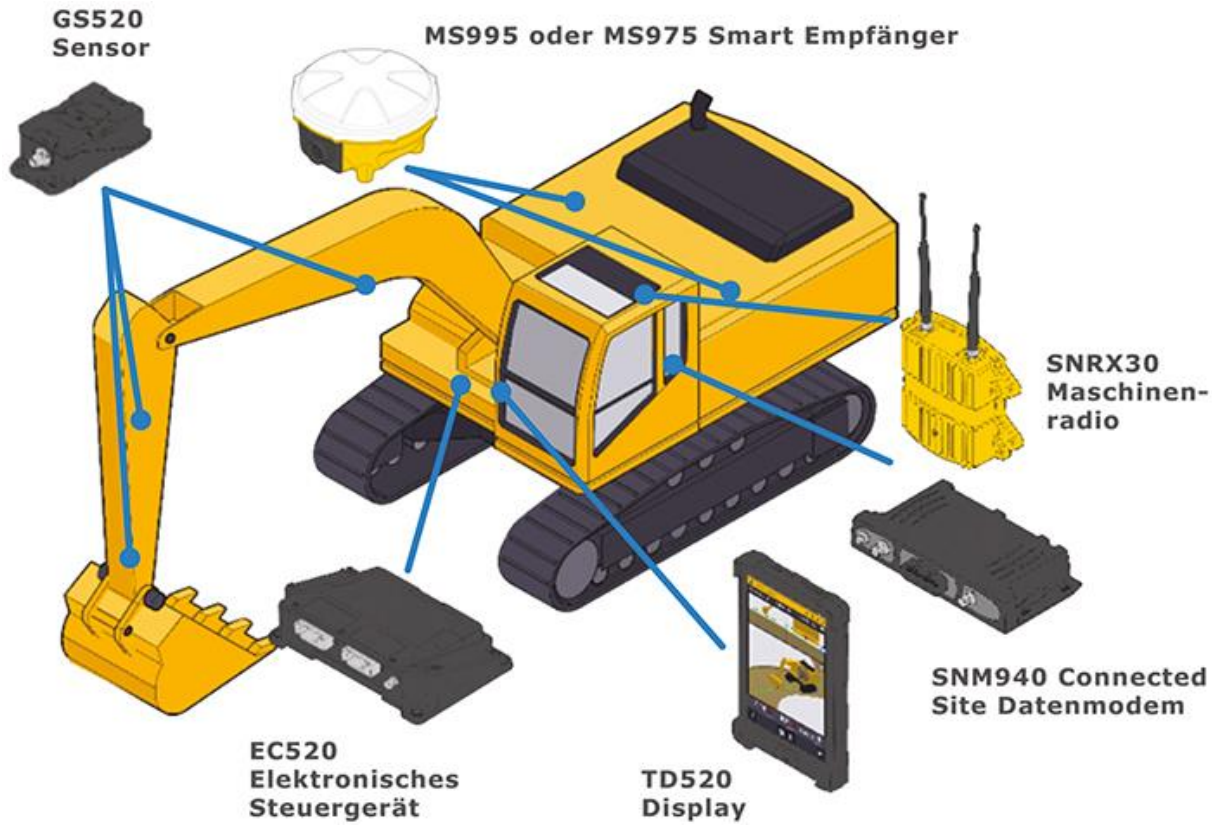
Rypadla můžeme rozdělit do kategorií dle:

1. Typu konstrukce
    a. Jednoúčelová rypadla
    b. Univerzální rypadla
    c. Teleskopická rypadla
    d. Rypadla s nakládací lopatou
    e. Tunelová rypadla
2. Typu podvozku
    a. Kolová rypadla
    b. Pásová rypadla
    c. Kráčivá rypadla
    d. Traktorová rypadla
    e. Speciální rypadla
3. Typu lopaty a způsobu těžby
    a. Rypadla s výškovou lopatou
    b. Rypadla s hloubkovou lopatou

4. Jmenovité provozní hmotnosti a výkonu hnacího motoru
    a. Mikrorypadla
    b. Minirypadla
    c. Malá rypadla
    d. Střední rypadla
    e. Těžká rypadla

Trimble pro rypadla

Stejně jako u dozeru je základním vybavením pro rypadla dotykový displej, gyroskopy určující polohu nástroje (nejčastěji lopaty) a dva přijímače umístěné na zadní části rypadla pro určení přesné polohy. Při využití systému Trimble vidí řidič polohu rypadla v modelu a orientaci lopaty bez ohledu na otáčení. Řidič rozpozná výšku i polohu břitu lopaty v modelu terénu, pokud ji zadá do systému. Na rozdíl od dozeru, kde se výška radlice většinou nastavuje na automatickou, zde strojníci rypadel nejčastěji využívají 3D navádění pouze jako signalizaci, zda mají ještě kopat, nebo již jsou na spodní hraně výkopu. Díky různým vlastnostem softwaru lze také počítat objemy neznámých těles nebo vytvářet svahy bez potřeby modelu.



Obrázek 18: Rypadlo s duálním GNSS systémem

Zhutňovací válec

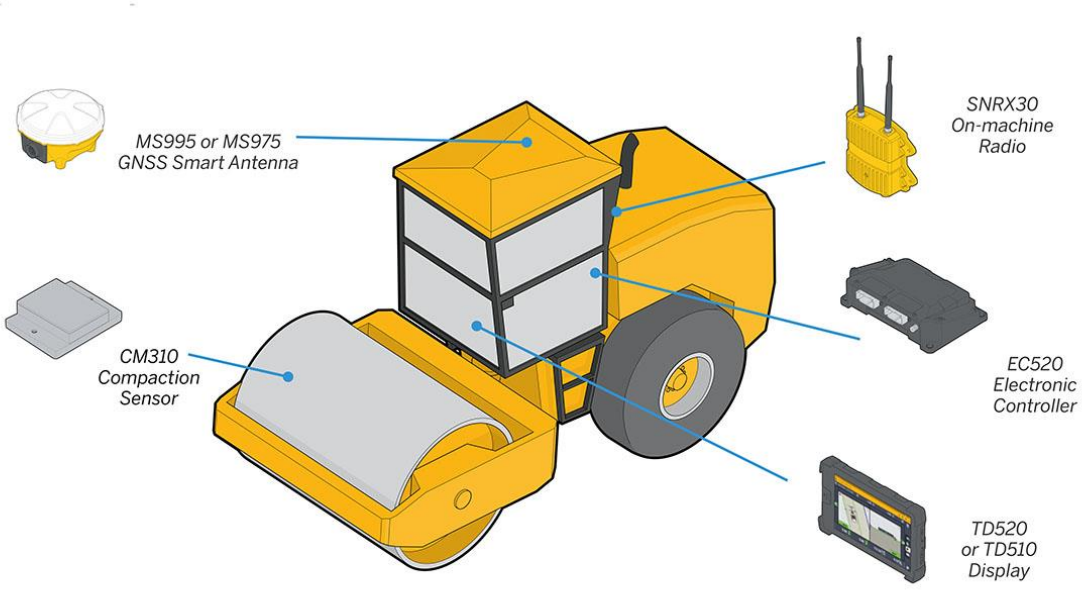
Je stavební stroj, jehož primární činností je zhutňování jednotlivých vrstev vozovky či zemního tělesa. Dle jeho základních charakteristik můžeme válce rozdělit:

1. Dle typu běhounu:
    a. S hladkým ocelovým běhounem
    b. S pneumatickým běhounem
    c. S ježkovým běhounem
2. Dle účinku zhutnění
    a. Statické
    b. Vibrační

Podle potřeb jednotlivých etap stavby využíváme různé typy hutnících válců. Při zemních pracích se nejčastěji využívá válců vibračních s hladkým nebo ježkovitým běhounem v kombinaci s jednoosým tahačem, který je efektivnější pro pohyb v různých typech zeminy. Pro pokládku asfaltových vrstev se následně využívají válce s dvěma hladkými ocelovými běhouny, nebo s pneumatickými běhouny. [18]

Trimbe pro válce

Obdobně jako dozery jsou válce vybaveny senzorem polohy válce, jedním GNSS přijímačem, radiem, které opravuje přesnost signálu a dotykovým displayem pro práci strojníka. 3D navigační systém pro válce se především využívá při pokládání asfaltů k monitorování polohy a stupně zhutnění. Tento systém lze také aplikovat na zemní válce, kde jeho mapovací funkce zaznamenává a dokumentuje počet průjezdů a úroveň zhutnění. Nejoptimálnější je využití v situacích, kdy se na stavbě pohybuje více válců a jednotliví operátoři v reálném čase získávají informace (díky vzájemné koordinaci dat ze všech válců), které plochy již dosáhly potřebného stupně zhutnění a které je třeba ještě zhutnit. Hlavní výhodou 3D technologie aplikované na válce je optimalizace průjezdů a zkrácení času zhutňování, což vede k úspoře paliva. Zároveň slouží k monitorování povrchu a kvality pokládky materiálu. [19]



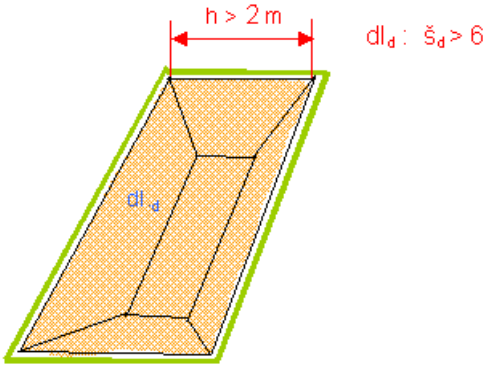
Obrázek 19: Zemní válec s vybavením Trimble

POSOUZENÍ STAVBY U KTERÉ BYLO VYUŽITO 3D NAVÁDĚNÍ STAVEBNÍCH STROJŮ PRO TEŽBU MATERIÁLZU V ZÁŘEZU

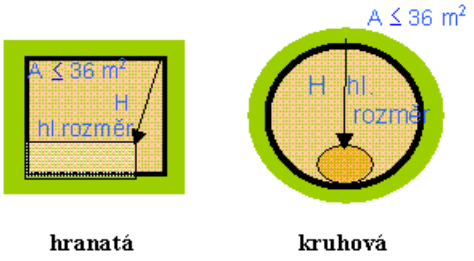
V následující kapitole bude představena stavba úseku dálnice D35 při jejíž výstavbě byly využity 3D technologie k navádění stavebních strojů při těžbě stavebního zářezu.

Co je stavební zářez?

Stavební zářez je jeden ze základních druhů výkopů, mezi další patří rýha, šachta, stavební jáma. Dle definice se jedná o hloubený výkop, který není šachtou a jehož šířka je větší než 2 metry a poměr délky k šířce dna je větší nebo roven 6 (vizte obr. 17). Abychom viděli rozdíl mezi zářezem a šachtou, tak šachta je vykopávka o maximální půdorysné ploše 36 m2 a hloubka odpovídá maximálnímu rozměru (vizte obr. 16).



Obrázek 21: Stavební zářez



Obrázek 20: Stavební šachta

Úvod ke stavbě

Jedná se o hlavní trasu liniovou dopravní stavby dálnice D35 v úseku Janov – Opatovec u Litomyšle. Zadavatelem stavby je Ředitelství silnic a dálnic České republiky se správou v Pardubicích. Stavbu naprojektoval PRAGOPROJEKT, a.s., a celá etapa stavby spadá do těchto katastrálních území: Janov u Litomyšle, Čistá u Litomyšle, Mikuleč, Opatovec, Moravský Lačnov. Po dokončení stavby převezme úsek do správy ŘSD ČR.

Umístění stavby

Hlavním objektem stavby je dálnice D35 s označením SO 08-101 o celkové délce 11,617 km. Stavba se bude napojovat na navazující úseky D35. Začátek úseku je

napojen v km 62,816 na úsek D35, 3507 Litomyšl – Janov a konec úseku bude napojen v km 74,463 na stavbu navazujícího úseku D35, 3509 Opatovec – Staré Město. Trasa levostranným obloukem kříží stávající silnici I/35 a přechází do souběhu s ní, vede kolem osady Gajer, kterou obchází po jejím jižním okraji. Dále pokračuje stále v souběhu se sil. I/35 severně nad obcí Mikuleč, v lesní oblasti „Spálený les“ překračuje Mikulečský potok a následně po jižním okraji obchází osadu Nový Valdek. V poslední části trasa směřuje východním směrem a prochází mezi obcemi Opatovec a Svitavy, kde se napojuje na následující úsek D35 Opatovec – Staré Město.

Směrové a výškové řešení

Trasa je tvořena přímými úseky a kružnicovými oblouky o minimálním poloměru R = 1050 m s přechodnicemi o délce L = 180 m. Výškové řešení je z velké části ovlivněno členitým terénem krajiny a také křížením s jednotlivými komunikacemi a železniční trasou Brno – Česká Třebová.

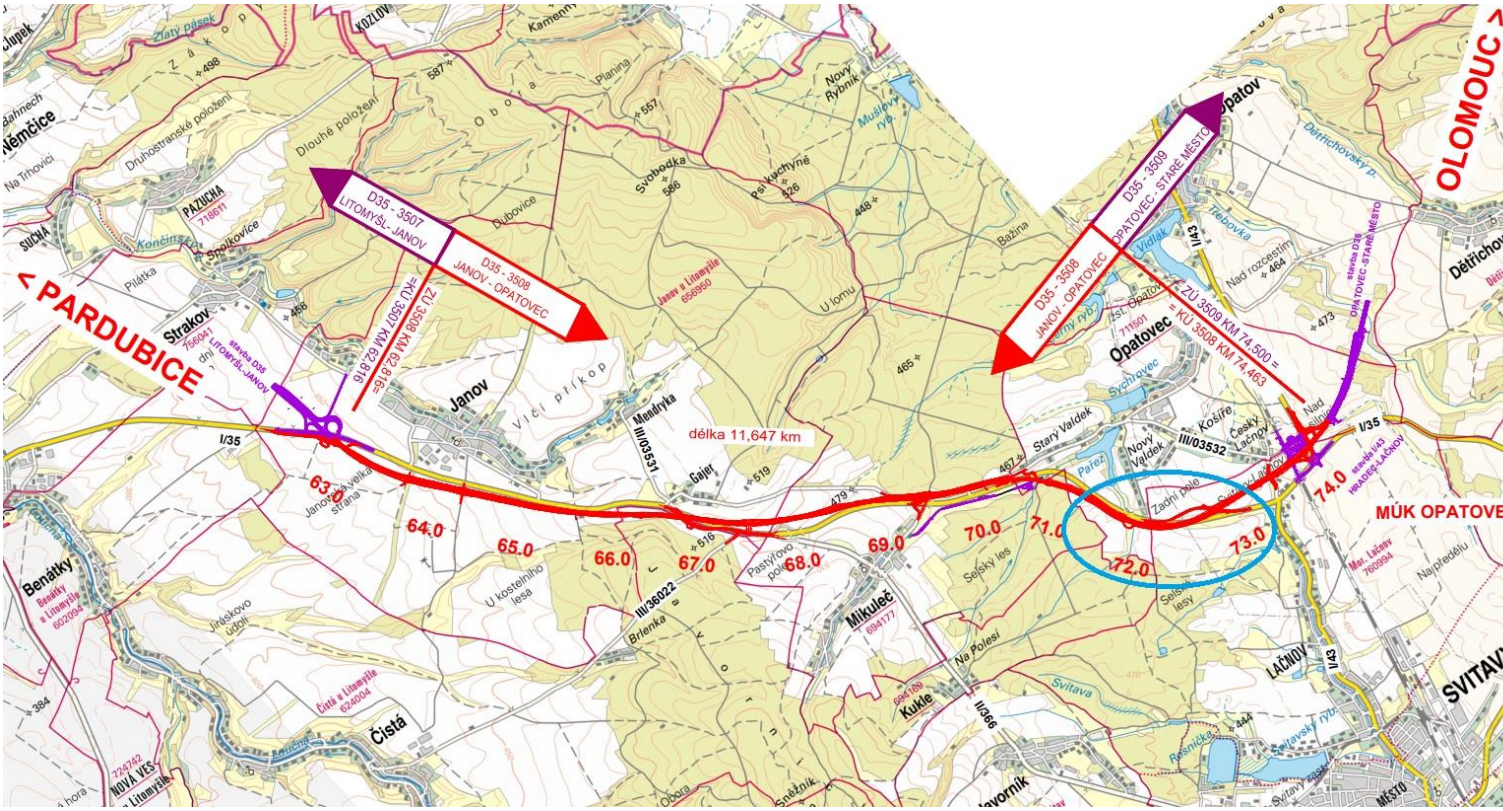
Zemní práce

Zemní práce na tomto objektu jsou dány návrhem nivelety, členitostí terénu a rozsahem mostních objektů. Celý úsek je rozdělen do 8 zářezů a 9 násypů. Započetí stavby proběhlo z časové náročnosti na největším z těchto zářezů (označení Z12a), kde výkopy dosahují hloubky až 9 m, zároveň nejvyšší násypy na stavbě dosahují výšky také až 9 m. Materiál vytěžený v zářezech se přepravoval a využíval ke stavbě násypů, aktivních zón a dosypávek krajnice, avšak musel být vhodně upraven hydraulickými pojivy. Po dokončení zářezů a násypů budou svahy ohumusovány v tl. 0,2 – 0,3 m a osety travním semenem.

Svahy zářezových svahů jsou navrženy se sklonem 1:2. Aktivní zóna zářezu bude v převážné míře zlepšena hydraulickými pojivy v tloušťce 0.50m, v menší míře pak bude provedena výměna aktivní zóny v tl. 0.5m za štěrkodrť frakce 0/63. V úsecích se skalním podložím (těžitelnosti II nebo III) bude provedeno vyrovnání skalního podloží štěrkodrtí v průměrné tloušťce 0.2m.

Ke stavbě byly dále zahrnuty další drobnější práce, mezi které patřila i polní cesta vpravo od hlavní trasy s označením SO 08-160 pro snadnější pohyb po stavbě v průběhu její výstavby. Ta byla zhotovována souběžně se zemními pracemi na hlavním úseku.

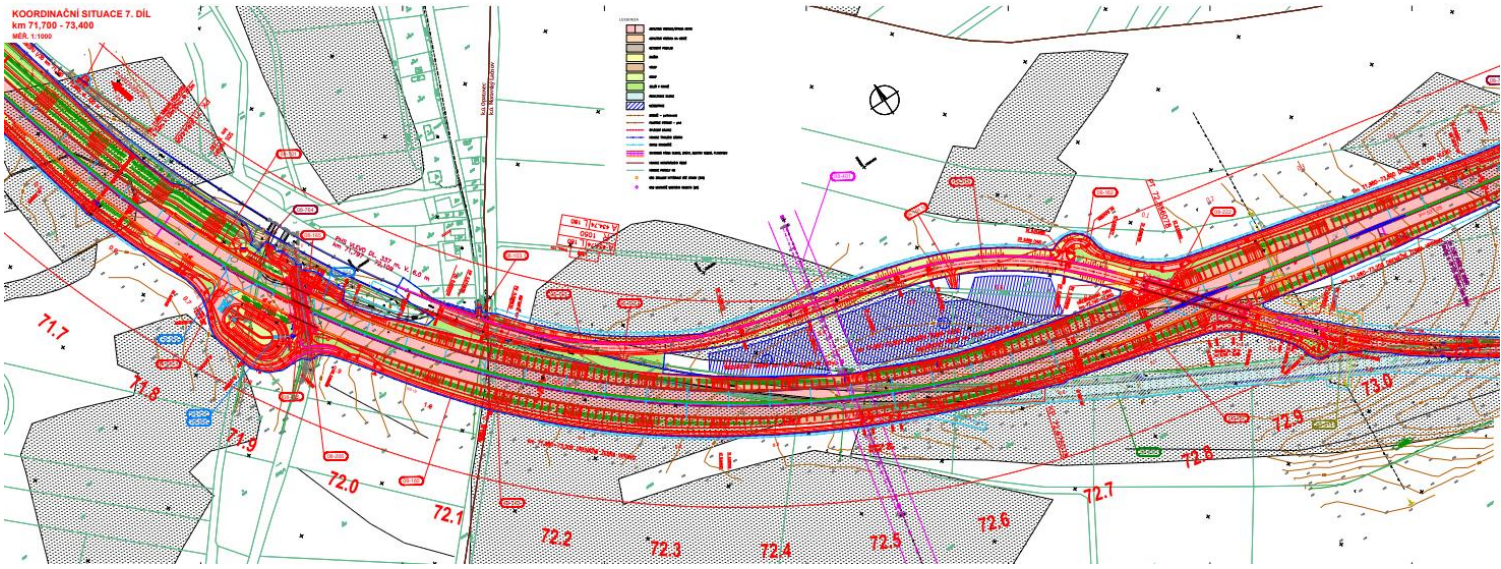
Lokalizace stavby



Obrázek 22: Situace širších vztahů

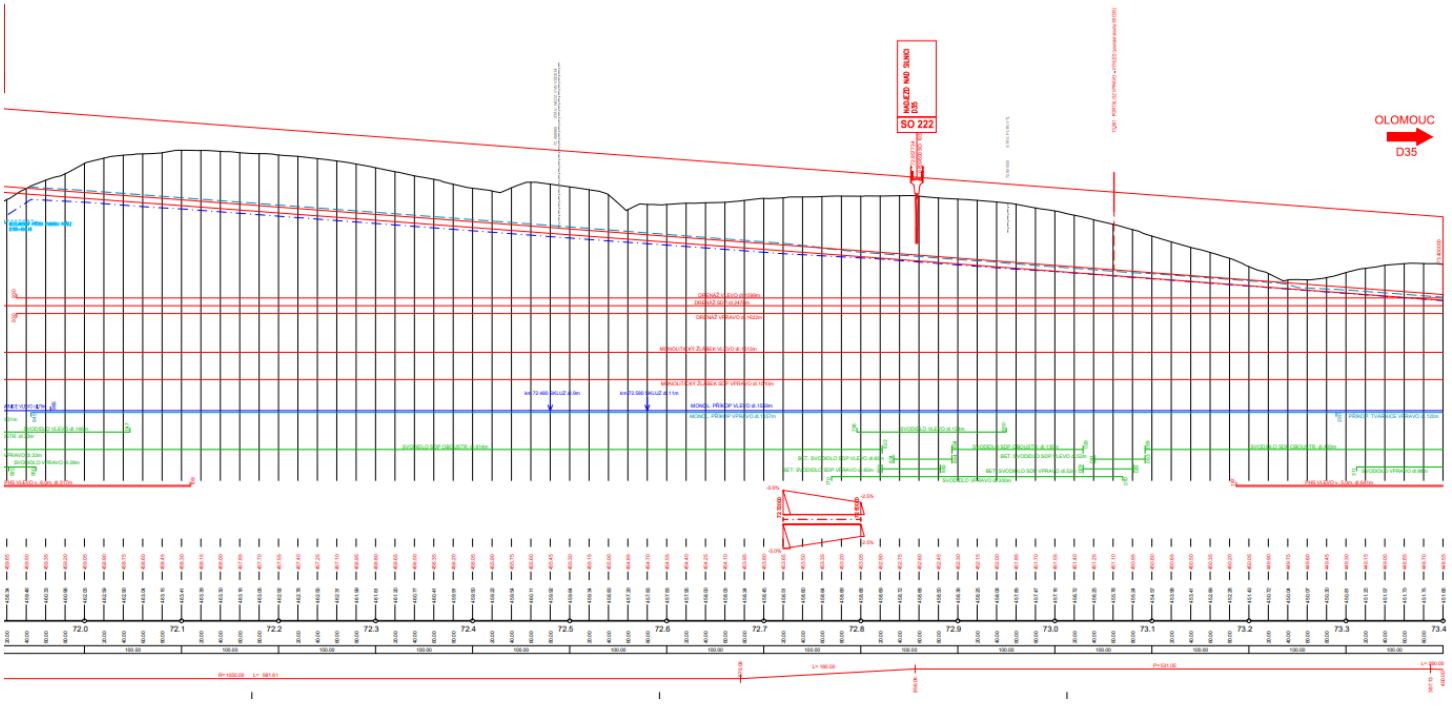
Dokumenty převzaté od firmy Mi-Roads:

– situace C2.7 Koordinační situační výkres



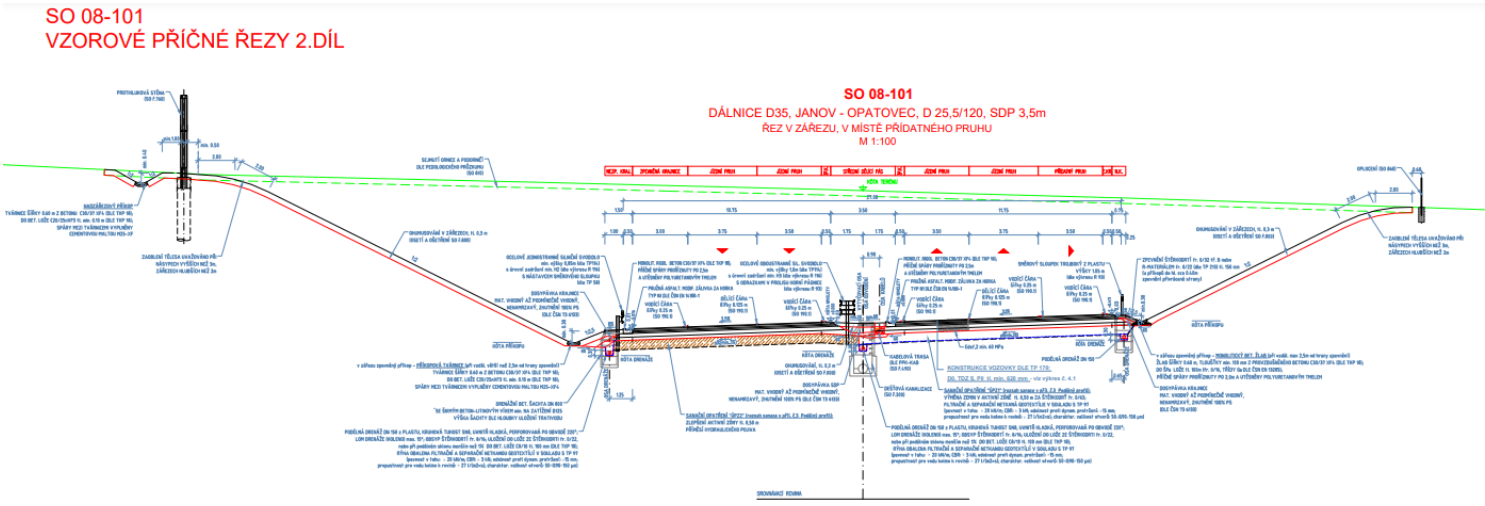
Obrázek 23: Situace části úseku D35

– 101_03_4 Podélný profil km 70,200 – 73,400



Obrázek 24: Výsek z podelného profilu

– 101_04_2 Vzorový příčný řez – zářez



Obrázek 25: Vzorový příčný řez

– Výkaz výměr

id	SO	TŘ	ČP	KÓD	VP	POPIS	MJ		MNOŽSTVÍ	doplnujici_popis	vyraz	specifikace
1		S	0	286/22		D35 Janov - Opatovec						
2		O	0	SO 000		Vedlejší a ostatní náklady						
3	SO 000	SD	1	0		Všeobecné konstrukce a práce						
4	SO 000	P	1	02110 a		PROSTORY PRO OBJEDNATELE - KANCELARE	KPL/měs.		41,00	Pronájem		zahrnuje náklady na pořízení, provozování,
5	SO 000	P	2	02730		POMOC PRACE ZRIZ NEBO ZAJIST OCHRANU INZENYRSKYCH SITI	KPL		1,00			
6	SO 000	P	3	02911 c		OSTATNI POZADAVKY - GEODETICKE ZAMERENI - ochrana státních BP	KUS		17,00	ochrana ohrožených bodů	2=2,000 [A]	zahrnuje veškeré náklady spojené s
7	SO 000	P	4	02944-01		OSTAT POŽADAVKY - VYPRACOVÁNÍ DSPS	KPL		1,00	Vypracování DSPS objektů		včezahrnuje veškeré náklady spojené s
8	SO 000	P	5	02991 a		OSTATNÍ POŽADAVKY - INFORMAČNÍ TABULE	KUS		4,00			položka zahrnuje:
9	SO 000	P	6	02991 b		OSTATNÍ POŽADAVKY - INFORMAČNÍ TABULE	KUS		1,00	Dodání a osazení pamětní		položka zahrnuje:
10	SO 000	P	7	02991 c		OSTATNÍ POŽADAVKY - INFORMAČNÍ TABULE	KUS		12,00	- omluvné		položka zahrnuje:
11	SO 000	P	8	02999 a		OSTATNI POZADAVKY - ZAJISTENI SLAVNOSTNIHO ZAHAJENI STAVBY	KPL		1,00	Stan + mobiliář (vysoké párty		položka zahrnuje:
12	SO 000	P	9	02999 b		OSTATNI POZADAVKY - ZAJISTENI SLAVNOSTNIHO UKONCENI STAVBY	KPL		1,00	Stan + mobiliář (vysoké párty		položka zahrnuje:
13		O	1	SO 08-101		Hlavní trasa						
14	SO 08-101	SD	1	0		Všeobecné konstrukce a práce						
15	SO 08-101	P	1	014101	A	POPLATKY ZA SKLADKU	M3		1 040,00	zeminy a horniny	z pol.12933: 800,00 [A] m3	zahrnuje veškeré poplatky provozovateli
16	SO 08-101	P	2	014101	B	POPLATKY ZA SKLADKU	M3		2 799,00	sejmutí drnu	z pol.11130: 27 990 * 0,10 = 2	zahrnuje veškeré poplatky provozovateli
17	SO 08-101	P	3	014101	C	POPLATKY ZA SKLADKU	M3		13 732,00	kamenivo	z pol.11332: 9 134,00 = 9	zahrnuje veškeré poplatky provozovateli
18	SO 08-101	P	4	014101	D	POPLATKY ZA SKLÁDKU	M3		14 533,00	přebytečná zemina z celkové	přebytek zemin z celkové	zahrnuje veškeré poplatky provozovateli
19	SO 08-101	P	5	014101	E	POPLATKY ZA SKLÁDKU	M3		1 746,00	Asfaltové směsi:	z Bilance zemin - vybourání	
20	SO 08-101	P	6	029725		OSTAT POŽAD - GEOT MONIT V PODZ - ZAŘ NA MĚŘ HYDROST TLAKU	KUS		1,00	Hydrostatické měření průběhu	ze situace, km 71,350: 1 = 1,00	zahrnuje veškeré náklady spojené s
21	SO 08-101	SD	2	1		Zemní práce						
22	SO 08-101	P	7	11130	S	SEJMUTÍ DRNU	M2		27 990,00	včetně odvozu na skládku	z Bilance zemin - sejmutí drnu:	včetně vodorovné dopravy a uložení na
23	SO 08-101	P	8	11332	S	ODSTRAN PODKL ZPEVNĚNÝCH PLOCH Z KAMENIVA NESTMEL	M3		9 134,00	odvoz na skládku zajištěnou	z Bilance zemin - vybourání	Položka zahrnuje veškerou manipulaci s
24	SO 08-101	P	9	11334	S	ODSTRANĚNÍ PODKLADU ZPEVNĚNÝCH PLOCH S CEMENT POJIVEM	M3		4 598,00	odvoz na skládku zajištěnou	z Bilance zemin - vybourání	Položka zahrnuje veškerou manipulaci s
25	SO 08-101	P	10	11343	S	ODSTRANĚNÍ KRYTU ZPEVNĚNÝCH PLOCH S ASFALT POJIVEM VČET	M3		1 746,00	podkladní vrstva z	z Bilance zemin - vybourání	Položka zahrnuje veškerou manipulaci s
26	SO 08-101	P	11	11372		FRÉZOVÁNÍ ZPEVNĚNÝCH PLOCH ASFALTOVÝCH	M3	3	3 249,00	asfaltové směsi třídy ZAS-	z Bilance zemin - vybourání	Položka zahrnuje veškerou manipulaci s
27	SO 08-101	P	12	12373	A	ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ZELEZNIC TR. I	M3		134 680,00	výkopy pro zemní těleso	z pol.17 110: 134 680,00 m3	položka zahrnuje:
28	SO 08-101	P	13	12373	B	ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ZELEZNIC TR. I	M3		604 025,00	výkopy pro zemní těleso	z kubaturového listu a z pol.17	položka zahrnuje:
29	SO 08-101	P	14	12383		ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. II	M3		21 942,00	výkopy pro zemní těleso	z kubaturového listu s odečtem	položka zahrnuje:
30	SO 08-101	P	15	12393		ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. III	M3		516,00	výkopy pro zemní těleso	z kubaturového listu s odečtem	položka zahrnuje:
31	SO 08-101	P	16	12573	A	VYKOPÁVKY ZE ZEMNÍKŮ A SKLÁDEK TŘ. I	M3		65 648,00	Natěžení a dovoz ornice z	z pol.18220 + pol.18230: 55	položka zahrnuje:
32	SO 08-101	P	17	12573	B	VYKOPÁVKY ZE ZEMNIKU A SKLADEK TR. I	M3		663 012,00	Natěžení a dovoz zemin z	z pol.17 111: 524 322,00 m3	položka zahrnuje:
33	SO 08-101	P	18	12583		VYKOPAVKY ZE ZEMNIKU A SKLADEK TR. II	M3		8 423,00	Natěžení, naložení a dovoz	z Bilance zemních prací: 8	položka zahrnuje:
34	SO 08-101	P	19	12673		ZŘÍZENÍ STUPNU V PODLOŽÍ NÁSYPU TŘ. I	M3		529,00	s přesunem po stavbě	z příčných řezů:	položka zahrnuje:
35	SO 08-101	P	20	12841		DOLAMOVÁNÍ ODKOPÁVEK TŘ. II	M3		3 161,00	odtěžení nejnižší vrstvy v	z pol.45131 (z příčných řezů): 3	Dolamování označuje těžení výkopu bez
36	SO 08-101	P	21	12843		PŘEDRCENÍ VÝKOPKU TŘ. II	M3		3 161,00	předrcení výkopku získaného	z pol.45131 (z příčných řezů): 3	položka nezahrnuje žádnou manipulaci s
37	SO 08-101	P	22	12891		DOLAMOVÁNÍ ODKOPÁVEK TŘ. III	M3		224,00	odtěžení nejnižší vrstvy v	z pol.45131 (z příčných řezů):	Dolamování označuje těžení výkopu bez
38	SO 08-101	P	23	12893		PREDRCENI VYKOPKU TR. III	M3		224,00	vč. třídění, vč. veškeré	z pol.45131 (z příčných řezů):	položka nezahrnuje žádnou manipulaci s
39	SO 08-101	P	24	12930	S	CISTENI PRIKOPU OD NANOSU PRES 0,50M3/MI	M3		800,00	pročištění stávajícího příkopu	ze situace: 320 x 5 x	Součástí položky je vodorovná a svislá
40	SO 08-101	P	25	12960	S	ČIŠTĚNÍ VODOTEČÍ A MELIORAČ KANÁLŮ OD NÁNOSŮ	M3		240,00	stávající vodoteč v km 74,350,	ze situace: 80 x 6 x 0,5=	Součástí položky je vodorovná a svislá
41	SO 08-101	P	26	13183		HLOUBENÍ JAM ZAPAŽ I NEPAŽ TŘ. II	M3		218,00	pro drenážní šachtice a	z pol.895122 +7 výústění:	položka zahrnuje:
42	SO 08-101	P	27	13273		HLOUBENI RYH ŠÍŘ DO 2M PAŽ I NEPAŽ TŘ. I	M3		5 452,00	pro drenážní žebra a	z pol.21 152 (drenážní žebra): 5	položka zahrnuje:
43	SO 08-101	P	28	13283	A	HLOUBENI RYH SIR DO 2M PAZ I NEPAZ TR. II	M3		3 141,00	propustky	propust ZB rám v km 63,140:	položka zahrnuje:
44	SO 08-101	P	29	13283	B	HLOUBENI RYH SIR DO 2M PAZ I NEPAZ TR. II	M3		187,32	pro potrubí od drenážních	z pol.87434 (70%): (446 x 0,7)	položka zahrnuje:
45	SO 08-101	P	30	13293		HLOUBENÍ RÝH ŠÍŘ DO 2M PAŽ I NEPAŽ TŘ. III	M3		80,28	pro potrubí od drenážních	z pol.87434 (30%): (446 x 0,3)	položka zahrnuje:
46	SO 08-101	P	31	17110		ULOŽENÍ SYPANINY DO NÁSYPŮ SE ZHUTNĚNÍM	M3		134 680,00		z Kubaturového listu: (20%),	položka zahrnuje:
47	SO 08-101	P	32	17111		ULOŽENÍ SYPANINY DO NÁSYPŮ SE ZLEPŠENÍM ZEMINY	M3		524 322,00		z Kubaturového listu: (80%),	položka zahrnuje:
48	SO 08-101	P	33	17120		ULOŽENÍ SYPANINY DO NÁSYPŮ A NA SKLÁDKY BEZ ZHUTNĚNÍ	M3		785 321,60	vytěžené materiály ukládané	z pol.12 373: 738 705,00 m3	položka zahrnuje:
49	SO 08-101	P	34	17131		ULOZENI SYPANINY DO NASYPU V AKTIVNI ZONE SE ZHUT SE ZLEPSENIM	M3		113 159,00	AŽ u násypů	z příčných řezů:	položka zahrnuje:
50	SO 08-101	P	35	17180	A	ULOŽENÍ SYPANINY DO NÁSYPŮ Z NAKUPOVANÝCH MATERIÁLŮ	M3		17 847,50	výměna zemin v AŽ zářezu za	z příčných řezů:	položka zahrnuje:
51	SO 08-101	P	36	17180	B	ULOŽENÍ SYPANINY DO NÁSYPŮ Z NAKUPOVANÝCH MATERIÁLŮ	M3		3 385,00	Sanační opatření "ÚPZ3" -	z příčných řezů:	položka zahrnuje:
52	SO 08-101	P	37	17250		ZŘÍZENÍ TĚSNĚNÍ ZE ZEMIN NEPROPUSTNÝCH	M3		669,28	jílovité těsnění u drenážních	z pol.21152:	položka zahrnuje:
53	SO 08-101	P	38	17310		ZEMNÍ KRAJNICE A DOSYPÁVKY SE ZHUTNĚNÍM	M3		10 364,00		v SDP (z pol.9114D1) : (9	položka zahrnuje:
53,01	SO 08-101	P	38	17380		ZEMNI KRAJNICE A DOSYPAVKY Z NAKUPOVANYCH MATERIALU	M3		66,00	- dosypávka STP tl. 0,15m (u	2*200*1,1*0,15=66,000 [A]	položka zahrnuje:
54	SO 08-101	P	39	17411		ZASYP JAM A RÝH ZEMINOU SE ZHUTNENIM	M3		634,00	Propustky - zásypy vhodnou	propust ZB rám v km 63,140:	položka zahrnuje:
55	SO 08-101	P	40	17481	A	ZÁSYP JAM A RÝH Z NAKUPOVANÝCH MATERIÁLŮ	M3		432,00	Vsakovací přílopy v km	4 x 100 x 0,9 x 1,2 = 432,00 m3	položka zahrnuje:
56	SO 08-101	P	41	17481	B	ZÁSYP JAM A RÝH Z NAKUPOVANÝCH MATERIÁLŮ	M3		319,20	zásyp rýhy štěrkem fr.16-32 u	z pol.87434: 560 x 0,3 x 1,9 =	položka zahrnuje:
57	SO 08-101	P	42	17581	A	OBSYP POTRUBÍ A OBJEKTU Z NAKUPOVANÝCH MATERIÁLU	M3		660,75	Propustky - ochranný obsyp u	propust ŽB rám v km 63,140:	položka zahrnuje:
58	SO 08-101	P	43	17581	B	OBSYP POTRUBÍ A OBJEKTU Z NAKUPOVANÝCH MATERIALU	M3		133,80	boční a krycí obsyp fr. 0/8	délka z pol. 87434, plocha v	položka zahrnuje:
59	SO 08-101	P	44	18110		UPRAVA PLANE SE ZHUTNENIM V HORNINE TR. I	M2		351 488,00	kompletní provedení pláně	z pol.17 131: 113 159/0,5 = 226	položka zahrnuje úpravu pláně včetně
60	SO 08-101	P	45	18220		ROZPROSTŘENÍ ORNICE VE SVAHU	M3	1	55 455,00	rozprostření ornice v dané	odměřeno ze situace, tloušťky	položka zahrnuje:
58,15	SO 08-101	P	46	18230		ROZPROSTŘENÍ ORNICE V ROVINĚ	M3	1	10 193,00	rozprostření ornice v tloušťce	odměřeno ze situace: (35	položka zahrnuje:

Obrázek 26: Část výkazu výměr – zemní práce s vyznačenými položkami

Ze stavební firmy MI-Roads jsem obdržel uvedené dokumenty, které mi poskytly důležité informace o stavebním projektu. Z výkazu výměr, který jsem obdržel, jsem se zaměřil na nejvýznamnější položky. Konkrétně jsem se zaměřil na položky 12, 13, 14 a 15, které se týkaly odkopů pro spodní stavbu silnice (ve výkazu – obr. 26 - zvýrazněny zeleně).

Po analýze výkazu výměr jsem vybral tyto čtyři hlavní položky, které považuji za klíčové z hlediska problematiky a jejichž detailní analýza bude předmětem mého dalšího zkoumání.

VYUŽITÍ 3D TECHNOLOGIÍ PŘI ETAPĚ ZEMNÍCH PRACÍ – ČÁSTI STAVBY

Jak již bylo uvedeno, na stavbě byl využíván 3D model pro řízení stavebních strojů. Je nutné zdůraznit, že i když většina prací byla prováděna s pomocí 3D navádění stavebních strojů, ne všechny činnosti byly tímto způsobem řízeny. Proto bych chtěl podrobněji popsat, ve kterých částech stavby bylo 3D navádění použito a proč, a naopak, ve kterých případech nebylo.

Skrývka ornice

Zahájení stavby proběhlo v červnu 2023, kdy se začalo skrývkami ornice na km 72,300 od silnice E35, která byla stále udržována v provozu, a pokračovalo se směrem na Litomyšl (Pardubice). Ke skrývání ornice byl využit dozer Komatsu D65ex s provozní hmotností cca 23 tun. I přes to, že dozer byl osazen modulem pro 3D navádění, tedy byl na dozeru umístěn přijímač, tak při skrývání ornice nebylo využito navádění 3D modelem, protože v této době jsme na stavbě ještě neměli model k dispozici. Skrývalo se v tloušťce cca 25–35 cm ve vytyčeném prostoru od geodeta. Ornice byla skladována podél hlavní trasy úseku a v závěru stavby bude rozprostřena do přilehlých polí.

Obrázek 27: Dozer D65x

Hloubení zářezu

Při zahájení hloubení zářezu Z12a bylo k dispozici na stavbě rypadlo CAT336 (na obrázku 26 vpravo) s těžební lopatou, na kterém nebylo osazeno potřebné vybavení k využití GNSS navádění. Po dobu jeho těžby musel být přítomný dozer D65ex, který již měl zabudované 3D navádění od společnosti Trimble, a tedy byl schopný urovnávat terén podle modelu. Pro přibližnou představu, jak vypadá model, který byl nahrán do dozeru přikládám obrázek č. 28.

Obrázek 28: Zobrazení systému Trimble na dozeru D65ex

V uživatelském rozhraní si strojník může vybrat pohled na model, který mu nejvíce vyhovuje. Zde například vidíme dvojí zobrazení – půdorysný pohled a příčný řez. Dále nám monitor ukazuje nastavenou výšku hrnutí (tedy 0,45 m pod hranu) a postavení radlice vzhledem k modelu.

V průběhu těžby zářezu bylo na stavbu dovezeno druhé rypadlo Komatsu PC360lci (na obrázku 26 vlevo) s těžební lopatou a vybaveno komponenty pro 3D navádění. V tomto případě rypadlo těžilo podle 3D modelu a dozer nemusel být přítomný během celé jeho těžby, ale postačuje, když dozer překontroluje terén 1x za týden.

Strojník má v tomto případě v kabině k dispozici display se systémem Trimble a je schopen těžit přesně podle modelu, který mu ukazuje jeho polohu a polohu lopaty (vizte obr. 25) Hlavní výhodou navádění rypadla je nepřítomnost dozeru, který můžeme využít na stavbě k jiné práci.

Obrázek 29: Uživatelské rozhrání 3D modelu v rypadle

Obrázek 30: Těžba zářezu pomocí 2 rypadel a dozeru

CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZA

3D navádění bylo využito pro nejrozsáhlejší stavební práce na stavbě. Z výkazu výměr budou převzaty tyto položky:

Položka 12: Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I A

Položka 13: Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I B

Položka 14: Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. II

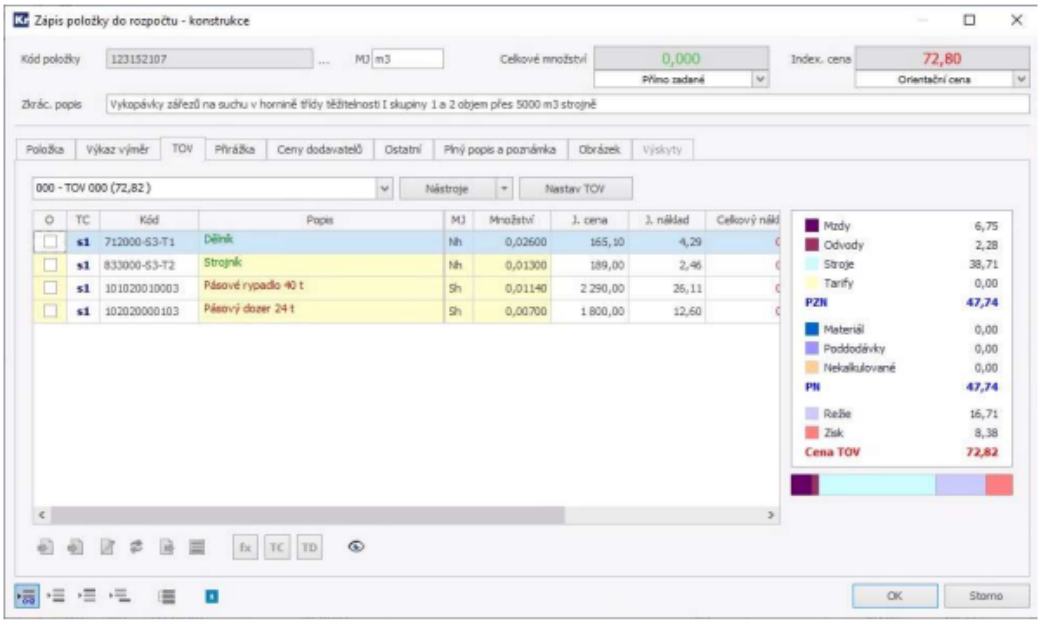
Položka 15: Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. III

A následně provedu porovnání cen, motohodin a odpracovaných hodin u každé jednotlivé položky. Položky hodlám rozebrat podle kalkulačního vzorce definovaného dle cenových soustav URS a spočítat technologickou kalkulaci, do které nebudou zahrnuty správní režie a zisk, ale pouze přímé náklady na položku. Tím získáme průměrnou cenu za položku. Dále spočítáme technologickou kalkulaci na původní technologii (tedy technologii bez 3D) pomocí orientačních cen poskytnutých od firem pohybujících se v zemních prací v okolí Litomyšle a porovnáme s cenou dle URS. Následně bude zavedena nová technologie s 3D naváděním a porovnání zdali došlo k ušetření peněz, motohodin nebo odpracovaných hodin pracovníky.

Mým předpokladem je, že ceny URS budou nižší než orientační ceny firem, a to z toho důvodu, že ceny URS jsou pouze orientační a jsou stanovovány jako průměrná hodnota od různých stavebních firem. Avšak si myslím, že po zavedení nové technologie s naváděním 3D dojde k výraznému ušetření prostředků (především na nákladech na dozer) a to z toho důvodu, že při 3D navádění se snižuje počet pojezdů dozeru při rovnání pláně a také proto, že dozer nemusí být přítomný po celou dobu těžby rypadla. Myslím si, že díky 3D navádění dojde i ke zkrácení doby výstavby a k ušetření pohonných hmot, čímž dojde ke snížení emisí a CO_2, což může vést ke zlepšení životního prostředí.

Položka 12 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I

Č.P.	KÓD	OZN.	POPIS	MJ	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKOVÁ CENA DLE URS	CELKOVÁ CENA DLE URS
12	12373	A	ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. I	M3	134680	72,80 Kč	9 804 704,00 Kč



Poměr: Přímé zpracovací nák./Technicko-organizační varianta	65,56%	
Přímé zpracovací nákady (65,56%)	**6 427 857,31 Kč**	

BEZ 3D TECHNOLOGIE NA RYPADLU

Předpoklad:	900	m3/den	150	dnů
Odkop rypadlem CAT 336	1920	kč/hod	2 873 173,33 Kč	kompletní vytěžení
Hrnutí terénu dozerem CAT D6	1890	kč/hod	2 828 280,00 Kč	
Dělník zaměřující niveletu výkopu (včetně odvodů 34%)	268	kč/hod	401 047,11 Kč	
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	501 308,89 Kč	
			CELKEM	**6 603 809,33 Kč**

Popis: Bez 3D modelu je potřeba, aby byl u rypadla stále přítomný dozer, který postupně rovná dno stavebního zářezu a jeden dělník, který bude chodit vytyčova hloubku zářezu

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**2993**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**4489**	**odpracovaných hodin pracovníky**

S 3D TECHNOLOGII NA RYPADLU I DOZERU

Předpoklad:	900	m3/den	150	dnů
Odkop rypadlem CAT 336 s 3D	1920	kč/hod	2 873 173,33 Kč	kompletní vytěžení
Hrnutí terénu dozerem CAT D6 10-15% času	1890	kč/hod	282 828,00 Kč	4 hodiny 1x týdně
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	50 130,89 Kč	
3D navádění	600	kč/den	89 786,67 Kč	
Vytvoření modelu	15000-20000	kč/model	20 000,00 Kč	
			CELKEM	**3 315 918,89 Kč**

Popis: Při těžbě s 3D modelem, je rychlost těžby (normohodina na m3) srovnatelná s těžbou bez 3D, ale odpadá zde přítomnost dělníka zaměřujícího niveletu a dozeru. Rypadlo je schopno podle modelu kopat přesně a dozer se většinou posílá na práci cca na 4 hodiny 1x týdně.

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**1646**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**1646**	**odpracovaných hodin pracovníky**

Ušetřeno strojhodin:	**1347**
Ušetřeno odpracovaných hodin:	**2843**
Rozdíl financí mezi variantou bez 3D a s 3D:	**3 287 890,44 Kč**

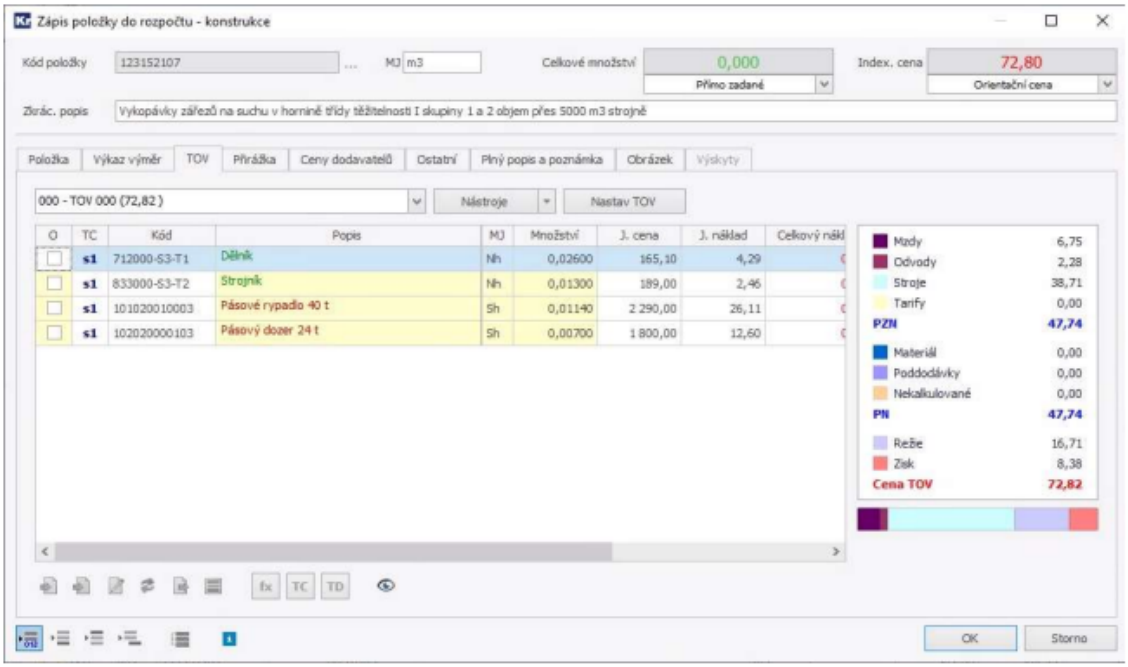
Porovnání

Při těžbě položky 12 je dle URS limitka PZN (přímé zpracovací náklady) 65,56% z TOV (Technicko organizační varianta). Při výpočtu přímých nákladů původní technologie bez 3D z aktuálních cen se celkové náklady liší asi o 2,7 %, z toho usuzuji, že mé ceny získané od firem jsou srovnatelné s cenami z katalogu URS a celkově jsou ceny původní technologie v aktuálních cenách dražší o 175 452 Kč.

Pokud porovnáme původní technologii a technologii s naváděním 3D zjistíme, že na vytěženém množství lze ušetřit až 3 287 890 Kč. Hlavním důvodem úspory financí je snížení práce dozeru a eliminace 1 dělníka. Tím dojde ke snížení o 2449 odpracovaných hodin a snížení o 1102 motohodin. Tím se ušetří i velké množství pohonných hmot a sníží se dopad na životní prostředí.

Položka 13 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. I

Č.P.	KÓD	OZN.	POPIS	MJ	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKOVÁ CENA DLE URS	CELKOVÁ CENA DLE URS
13	12373	B	ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. I	M3	604025	72,80 Kč	43 973 020,00 Kč



Poměr: Přímé zpracovací nák./Technicko-organizační varianta	65,56%	
Přímé zpracovací nákady (65,56%)	**28 828 233,66 Kč**	

BEZ 3D TECHNOLOGIE NA RYPADLU				
Předpoklad:	900	m3/den	671	dnů těžby
Odkop rypadlem CAT 336	1920	kč/hod	12 885 866,67 Kč	
Hrnutí terénu dozerem CAT D6	1890	kč/hod	12 684 525,00 Kč	
Dělník zaměřující niveletu výkopu (včetně odvodů 34%)	268	kč/hod	1 798 652,22 Kč	
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	224 831,53 Kč	
			CELKEM	**27 593 875,42 Kč**

Popis: Bez 3D modelu je potřeba, aby byl u rypadla stále přítomný dozer, který postupně rovná dno stavebního zářezu a jeden dělník, který bude chodit vytyčova hloubku zářezu

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**13423**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**20134**	**odpracovaných hodin pracovníky**

S 3D TECHNOLOGII NA RYPADLU I DOZERU					
Předpoklad:	900	m3/den	671	dnů	
Odkop rypadlem CAT 336 s 3D	1920	kč/hod	12 885 866,67 Kč	kompletní vytěžení	
Hrnutí terénu dozerem CAT D6 10-15% času	1890	kč/hod	1 268 452,50 Kč	4 hodiny 1x týdně	
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	224 831,53 Kč		
3D navádění	600	kč/den	402 683,33 Kč		
Vytvoření modelu	15000-20000	kč/model	20 000,00 Kč		
			CELKEM	**14 801 834,03 Kč**	

Popis: Při těžbě s 3D modelem, je rychlost těžby (normohodina na m3) srovnatelná s těžbou bez 3D, ale odpadá zde přítomnost dělníka zaměřujícího niveletu a dozeru. Rypadlo je schopno podle modelu kopat přesně a dozer se většinou posílá na práci cca na 4 hodiny 1x týdně.

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**7383**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**7383**	**odpracovaných hodin pracovníky**

Ušetřeno strojhodin:	**6040**
Ušetřeno odpracovaných hodin:	**12752**
Rozdíl financí mezi variantou bez 3D a s 3D:	**12 792 041,39 Kč**

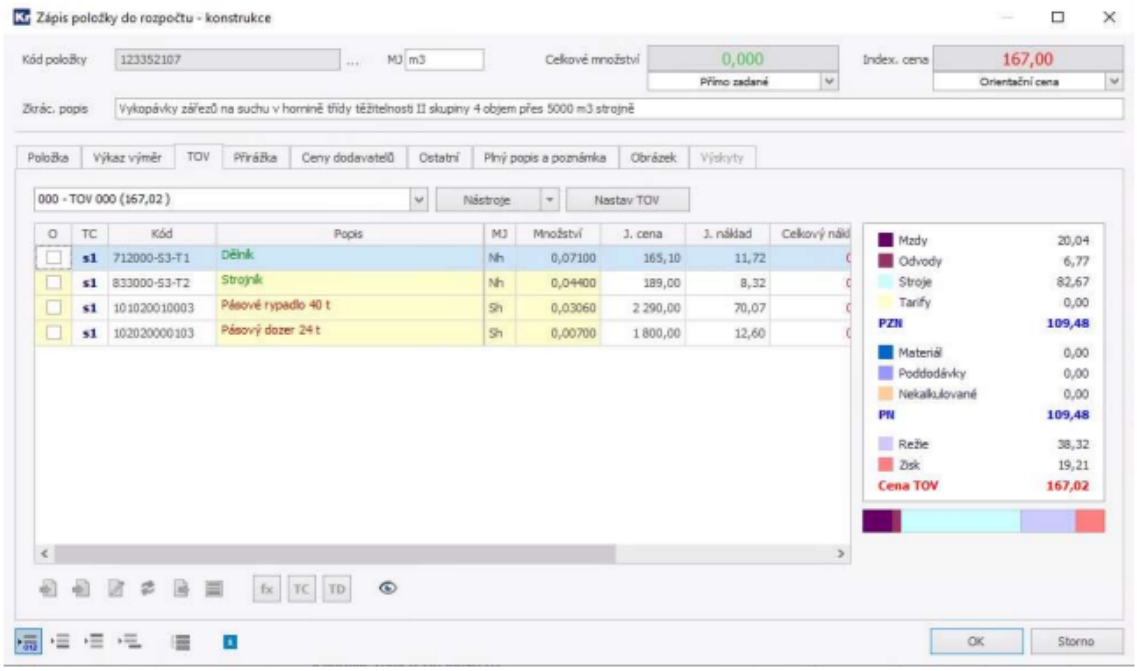
Porovnání

Při těžbě položky 13 jsou stejně vysoké přímé zpracovací náklady jako u položky 12. Při porovnání cen z Katalogu URS s aktuálními cenami trhu by se cena pohybovala okolo 28 mil. Kč. Celkové ceny se liší o 4,3 %. Tedy odchylka cen není až tak výrazná. S využitím moderní technologie navádění 3D cena výrazně klesá z důvodu obsáhlosti položky. Tedy lze říct, že čím větší množství těženého materiálu, tím větší je množství ušetřených nákladů, pohonných hmot i motohodin.

Položka 13 je nejrozsáhlejší z celého výkazu výměr a je možné na ní, pokud by se využilo 3D navádění, ušetřit až 12 mil. Kč. Při využití 3D navádění by bylo ušetřeno 12 752 pracovních hodin a 6040 motohodin jednotlivých strojů. Z toho vyplývá i výrazné ušetření pohonných hmot a snížení vlivu na životní prostředí.

Položka 14 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. II

Č.P.	KÓD	OZN.	POPIS	MJ	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKOVÁ CENA DLE URS	CELKOVÁ CENA DLE URS
14	12383		ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. II	M3	21942	167,00 Kč	3 664 314,00 Kč



Poměr: Přímé zpracovací nák./Technicko-organizační varianta	65,55%	
Přímé zpracovací nákady (65,56%)	**2 401 922,50 Kč**	

BEZ 3D TECHNOLOGIE NA RYPADLU

Předpoklad:	400	m3/den	55 dnů těžby
Odkop rypadlem CAT 336	1920	kč/hod	1 053 216,00 Kč
Hrnutí terénu dozerem CAT D6	1890	kč/hod	1 036 759,50 Kč
Dělník zaměřující niveletu výkopu (včetně odvodů 34%)	268	kč/hod	147 011,40 Kč
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	18 376,43 Kč
			2 255 363,33 Kč

Popis: Bez 3D modelu je potřeba, aby byl u rypadla stále přítomný dozer, který postupně rovná dno stavebního zářezu a jeden dělník, který bude chodit vytyčova hloubku zářezu

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**1097**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**1646**	**odpracovaných hodin pracovníky**

S 3D TECHNOLOGII NA RYPADLU I DOZERU

Předpoklad:	400	m3/den	55 dnů	
Odkop rypadlem CAT 336 s 3D	1920	kč/hod	1 053 216,00 Kč	kompletní vytěžení
Hrnutí terénu dozerem CAT D6 10-15% času	1890	kč/hod	103 675,95 Kč	4 hodiny 1x týdně
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	18 376,43 Kč	
3D navádění	600	kč/den	32 913,00 Kč	
Vytvoření modelu	15000-20000	kč/model	20 000,00 Kč	
			CELKEM	**1 228 181,38 Kč**

Popis: Při těžbě s 3D modelem, je rychlost těžby (normohodina na m3) srovnatelná s těžbou bez 3D, ale odpadá zde přítomnost dělníka zaměřujícího niveletu a dozeru. Rypadlo je schopno podle modelu kopat přesně a dozer se většinou posílá na práci cca na 4 hodiny 1x týdně.

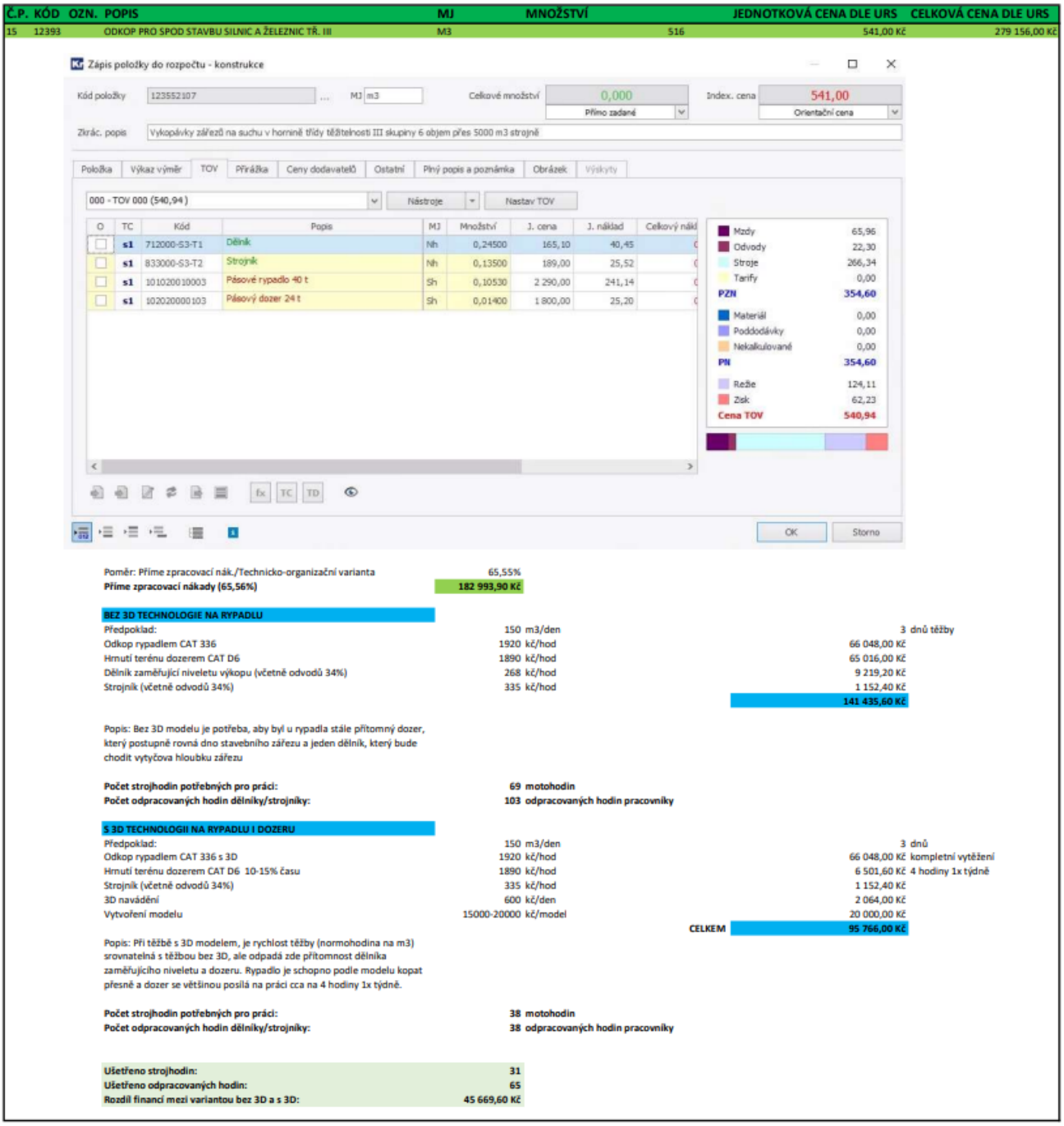
Počet strojhodin potřebných pro práci:	**603**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**603**	**odpracovaných hodin pracovníky**

Ušetřeno strojhodin:	**494**
Ušetřeno odpracovaných hodin:	**1042**
Rozdíl financí mezi variantou bez 3D a s 3D:	**1 027 181,95 Kč**

Porovnání

Dle technologické kalkulace z cenových soustav URS vyjde cena za položku 14 na 2 401 922 Kč. Technologickým rozborem položky a dosazením aktuálních cen trhu by položka 14 stála 2 255 363 Kč. Tedy aktuální ceny se liší od cen katalogu URS o 6,4% a zde již lze pozorovat vyšší odchýlení cen katalogu URS. Při implementaci nové technologie s 3D naváděním by mi cena přímých zpracovacích nákladů klesla na 1 228 181 Kč a zároveň by došlo ke snížení o 1024 odpracovaných hodin a 494 motohodin stavebních strojů.

Položka 15 – Odkop pro spodní stavbu silnic a železnic tř. III



Č.P.	KÓD	OZN.	POPIS	MJ	MNOŽSTVÍ	JEDNOTKOVÁ CENA DLE URS	CELKOVÁ CENA DLE URS
15	12393		ODKOP PRO SPOD STAVBU SILNIC A ŽELEZNIC TŘ. III	M3	516	541,00 Kč	279 156,00 Kč

Zápis položky do rozpočtu - konstrukce

Kód položky: 123552107 | MJ: m3 | Celkové množství: 0,000 (Přímo zadané) | Index. cena: 541,00 (Orientační cena)

Zkrác. popis: Vykopávky zářezů na suchu v hornině třídy těžitelnosti III skupiny 6 objem přes 5000 m3 strojně

Položka | Výkaz výměr | TOV | Přirážka | Ceny dodavatelů | Ostatní | Plný popis a poznámka | Obrázek | Výskyty

000 - TOV 000 (540,94) | Nástroje | Nastav TOV

O	TC	Kód	Popis	MJ	Množství	J. cena	J. náklad	Celkový nákl
	s1	712000-S3-T1	Dělník	Nh	0,24500	165,10	40,45	
	s1	833000-S3-T2	Strojník	Nh	0,13500	189,00	25,52	
	s1	101020010003	Pásové rypadlo 40 t	Sh	0,10530	2 290,00	241,14	
	s1	102020000103	Pásový dozer 24 t	Sh	0,01400	1 800,00	25,20	

Mzdy	65,96
Odvody	22,30
Stroje	266,34
Tarify	0,00
PZN	354,60
Materiál	0,00
Poddodávky	0,00
Nekalkulované	0,00
PN	354,60
Režie	124,11
Zisk	62,23
Cena TOV	540,94

OK | Storno

Poměr: Přímé zpracovací nák./Technicko-organizační varianta	65,55%	
Přímé zpracovací nákady (65,56%)	**182 993,90 Kč**	
BEZ 3D TECHNOLOGIE NA RYPADLU		
Předpoklad:	150 m3/den	3 dnů těžby
Odkop rypadlem CAT 336	1920 kč/hod	66 048,00 Kč
Hrnutí terénu dozerem CAT D6	1890 kč/hod	65 016,00 Kč
Dělník zaměřující niveletu výkopu (včetně odvodů 34%)	268 kč/hod	9 219,20 Kč
Strojník (včetně odvodů 34%)	335 kč/hod	1 152,40 Kč
		141 435,60 Kč

Popis: Bez 3D modelu je potřeba, aby byl u rypadla stále přítomný dozer, který postupně rovná dno stavebního zářezu a jeden dělník, který bude chodit vytyčova hloubku zářezu

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**69**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**103**	**odpracovaných hodin pracovníky**

S 3D TECHNOLOGII NA RYPADLU I DOZERU				
Předpoklad:	150	m3/den	3	dnů
Odkop rypadlem CAT 336 s 3D	1920	kč/hod	66 048,00 Kč	kompletní vytěžení
Hrnutí terénu dozerem CAT D6 10-15% času	1890	kč/hod	6 501,60 Kč	4 hodiny 1x týdně
Strojník (včetně odvodů 34%)	335	kč/hod	1 152,40 Kč	
3D navádění	600	kč/den	2 064,00 Kč	
Vytvoření modelu	15000-20000	kč/model	20 000,00 Kč	
			CELKEM	**95 766,00 Kč**

Popis: Při těžbě s 3D modelem, je rychlost těžby (normohodina na m3) srovnatelná s těžbou bez 3D, ale odpadá zde přítomnost dělníka zaměřujícího niveletu a dozeru. Rypadlo je schopno podle modelu kopat přesně a dozer se většinou posílá na práci cca na 4 hodiny 1x týdně.

Počet strojhodin potřebných pro práci:	**38**	**motohodin**
Počet odpracovaných hodin dělníky/strojníky:	**38**	**odpracovaných hodin pracovníky**

Ušetřeno strojhodin:	**31**
Ušetřeno odpracovaných hodin:	**65**
Rozdíl financí mezi variantou bez 3D a s 3D:	**45 669,60 Kč**

Porovnání

Při těžbě zeminy z třídy těžitelnosti III se ušetří nejmenší počet motohodin, odpracovaných hodin i financí. Je to způsobeno množstvím těžby, kdy je v projektu počítáno pouze s 516 m3 této zeminy. Rozdíl mezi cenou katalogu URS a aktuálními cenami je zde ze všech stanovovaných položek nejvýraznější a při implementaci 3D navádění cena poklesne až o 1/3 původní ceny.

Ušetření pohonných hmot

Základní údaj	Množství	Jednotka
Ušetřeno motohodin celkově na dozeru	7912	hod
Průměrná spotřeba dozeru D65x	20,00	l/mhod
Ušetřeno litrů nafty:	158234,1	l
Z jednoho litru nafty se uvolní	2640	g CO2
Celkové množství Neuvolněného CO2	417738	kg

Během analýzy čtyř nejrozsáhlejších položek došlo k redukci pracovní doby o 7912 motohodin. Zvláštní pozornost byla věnována dozeru, který při využití 3D technologie při výkopu zářezu není kontinuálně potřebný u rypadla, ale plní svou roli pouze v 10 % celkového času. Tato technika signifikantně snižuje spotřebu pohonných hmot. Konkrétně model dozeru D35EX vykazuje průměrnou spotřebu 20 litrů nafty za motohodinu, což na celém staveništi může představovat úsporu až 158000 litrů nafty. Tímto krokem se nejen snižuje spotřeba pohonných hmot, ale rovněž se omezuje emise oxidu uhličitého (CO2), čímž se přispívá ke snižování negativního dopadu na životní prostředí.

CO2, známý též jako oxid uhličitý, figuruje mezi hlavními skleníkovými plyny zodpovědnými za globální oteplování. Jeho nadměrná produkce v důsledku lidských činností, především spalování fosilních paliv, přispívá k nekontrolovatelnému nárůstu teploty planety, což má katastrofální následky na ekosystémy i společnosti. Mezi tyto důsledky patří změny klimatu, rapidní ztráta biodiverzity, zvyšování frekvence a intenzity extrémních povětrnostních jevů a zvedání hladiny moří. Snížení emisí CO2 je tudíž esenciální pro ochranu životního prostředí a dlouhodobou udržitelnost naší planety.

VYHODNOCENÍ

Na základě provedené analýzy a technologického zhodnocení je možné konstatovat, že implementace 3D navádění přináší významné výhody v oblasti úspor prostředků, pohonných hmot a ochrany životního prostředí. Výsledky mého výzkumu potvrzují hypotézu, že použití této technologie může vést ke snížení nákladů a optimalizaci pracovního procesu.

Zavedení 3D navádění umožňuje efektivnější využití technických prostředků, což se projevuje zejména v nižších nákladech na provoz a údržbu stavebních strojů. Zároveň se snižuje opotřebení zařízení a zvyšuje se jejich životnost, což má pozitivní dopad na celkovou efektivitu stavby.

Výsledky ukázaly, že při použití 3D navádění lze dosáhnout výrazných úspor jak v provozních nákladech, tak i v pohonných hmotách. Tím se nejen zvyšuje ekonomická efektivita projektu, ale současně dochází i k pozitivnímu dopadu na životní prostředí díky nižší spotřebě energie a snížené emisím.

Důležité je také zdůraznit, že přínosy 3D technologie nekončí pouze u úspor a efektivity, ale projevují se i ve snížení zátěže na pracovníky. Přestože samotná doba těžby zůstává relativně neměnná, mění se způsob, jakým jsou pracovní operace vykonávány, což vede ke snížení počtu strojních a pracovních hodin.

Celkově lze tedy konstatovat, že implementace 3D navádění představuje strategický krok směrem k modernizaci a zefektivnění stavebního procesu.

DOTAZNÍKOVÉ ŠETŘENÍ

Předpoklady

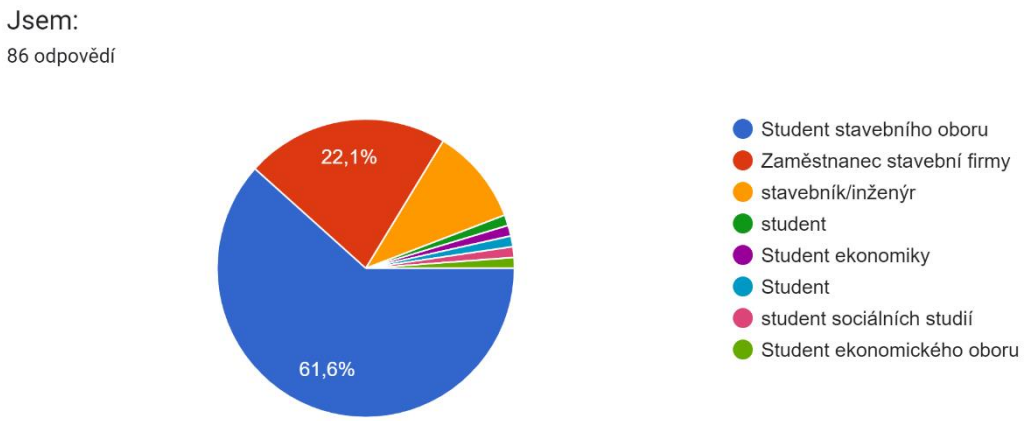
Dotazník jsem pojal zjednodušeně, abych získal přehled o povědomí o 3D navádění stavebních strojů mezi širší veřejností. Mou cílovou skupinou byli především studenti stavitelství a odborníci pracující ve stavitelství.

Obsahem dotazníku bylo 14 uzavřených otázek a 1 otevřená otázka, ve které mi respondenti mohli sdělit jejich upřesňující názor. Dotazník jsem zpracoval online formou prostřednictvím platformy Google Forms a následně rozeslal dotazovaným osobám.

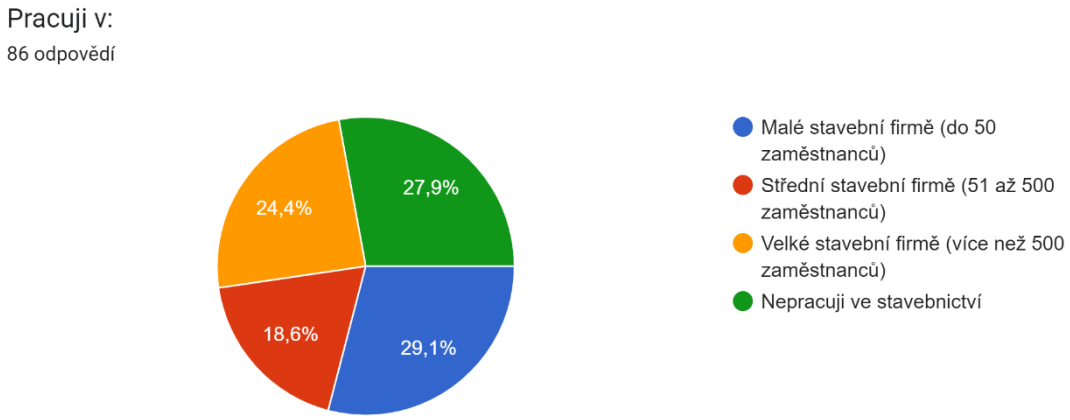
Hlavním cílem dotazníku bylo zjištění, zda mají respondenti alespoň nějaké povědomí o 3D technologiích ve stavebnictví, pokud ano, jakým způsobem tyto technologie využívají, ať už ve škole, nebo v praxi a jaký je jejich celkový názor na problematiku.

Vyhodnocení

Na dotazník odpovědělo celkem 86 respondentů. Úvod dotazníku byl zaměřen na začlenění respondenta do skupin, zdali se jedná o studenta stavebního směru, zaměstnance stavební firmy, stavebníka/inženýra, nebo o širší veřejnost.

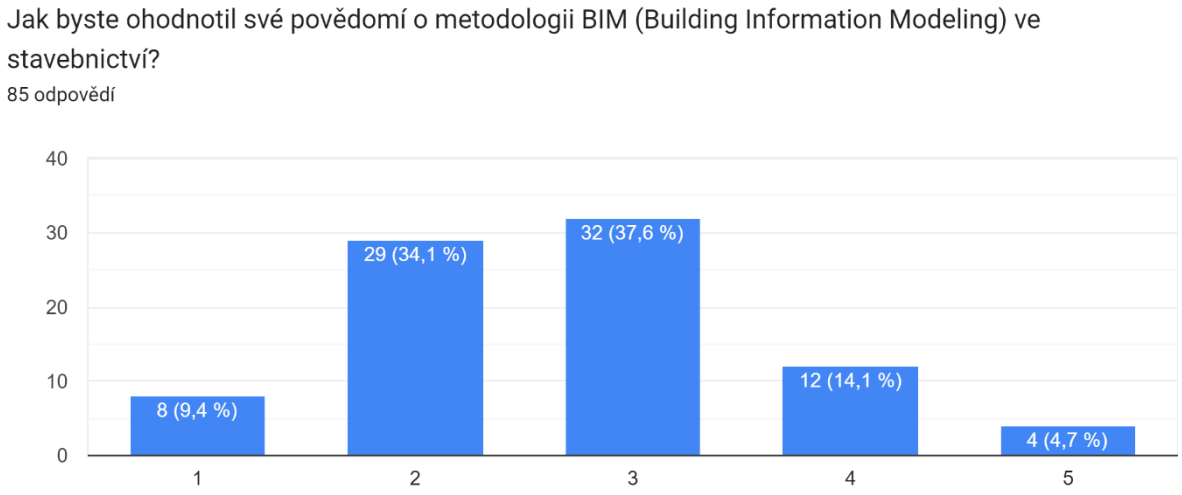


Největší zastoupení v dotazníku mají studenti stavebního směru 61,6 % (53 respondentů), 22,1 % dotazovaných pracují ve stavební firmě, 10,5 % jsou stavebníci nebo inženýři pohybující se ve stavebnictví a zbývajících 5,8 % můžeme označit jako širší veřejnost (především se jedná o studenty jiných vysokých škol).

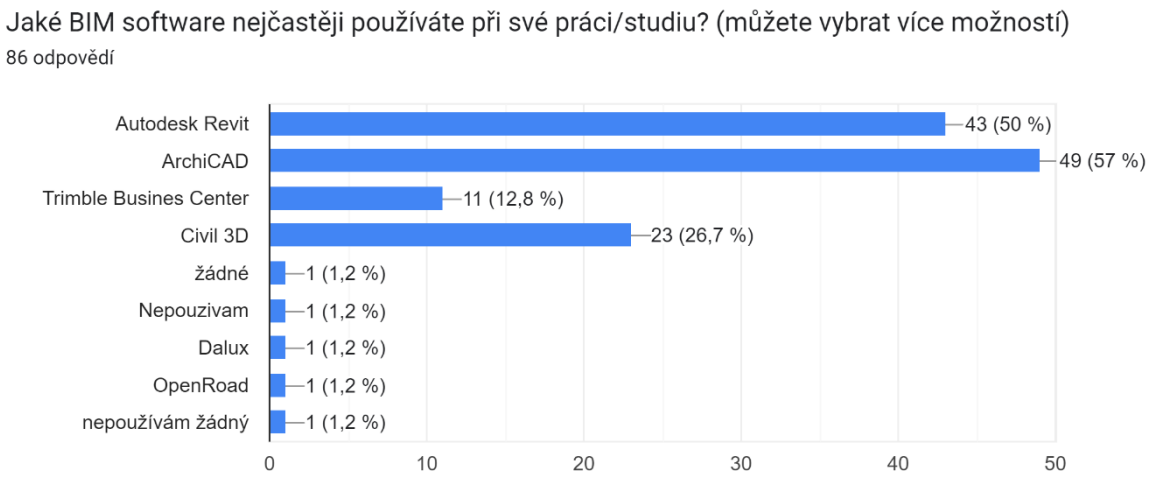


27,9 % dotazovaných nepracují ve stavebnictví, tudíž lze očekávat nižší povědomí o 3D technologiích. U většiny, která pracuje ve stavebnictví, předpokládám, že o 3D technologii budou mít větší povědomí.

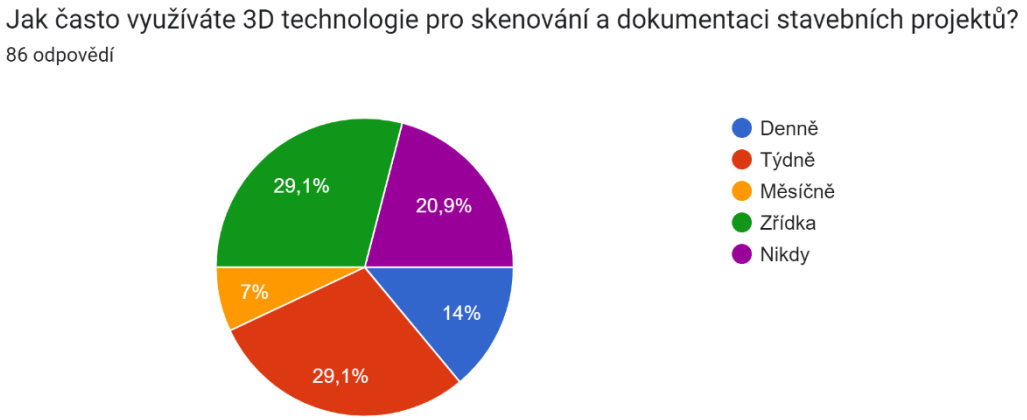
Druhá část dotazníku sloužila k zjištění, jaké softwary respondenti používají a jak často se s nimi v praxi setkávají, k čemu je používají a jaký na ně mají názor.



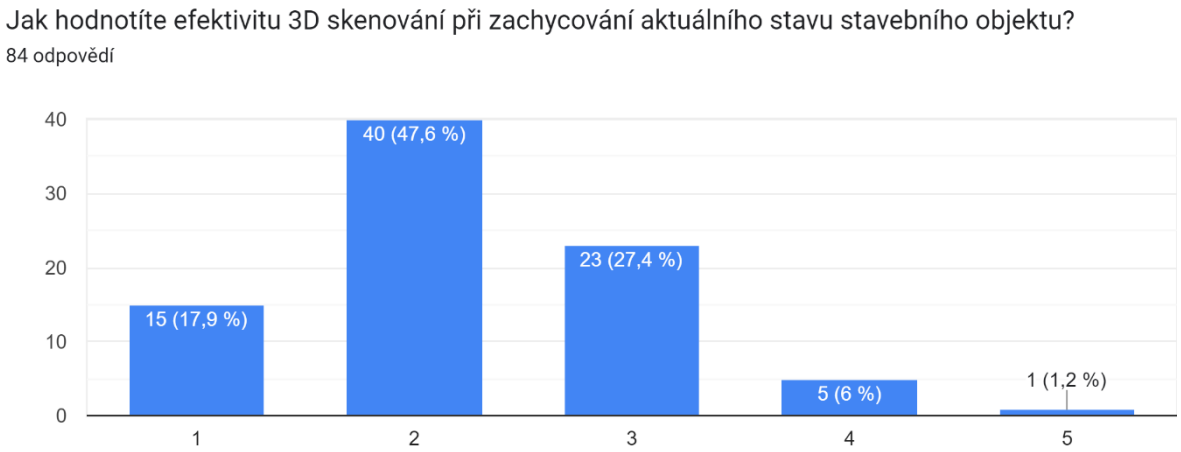
Na stupnici o informovanosti dotazovaných o metodologií BIM se 9,4 % respondentů vyjádřilo, že jsou velmi dobře informování. Většina respondentů ohodnotila svoji povědomost o metodologii BIM na stupnici 1 = velmi dobře informovaný až 5 = neinformovaný hodnotou 2 - 3. Tedy lze říct, že většina respondentů o této problematice již slyšela a mají nějaký základní přehled o této problematice. 4,7 % respondentů nemá žádné povědomí o metodologií BIM.



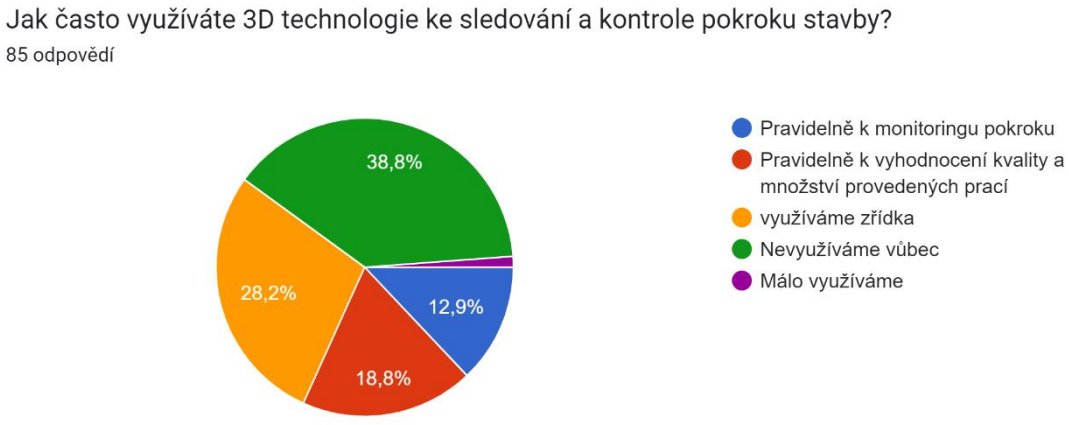
V této otázce jsem se zaměřil na nejčastěji používané softwary. Většina respondentů používá ke své práci Autodesk Revit (50 %) nebo také ArchiCad (57 %). Mezi další často používané softwary patří Trimble Busines Center (12,8 %) a Civil 3D (26,7%). Dále respondenti používají i software Delux nebo OpenRoad, avšak zastoupení těchto softwaru je nízké.



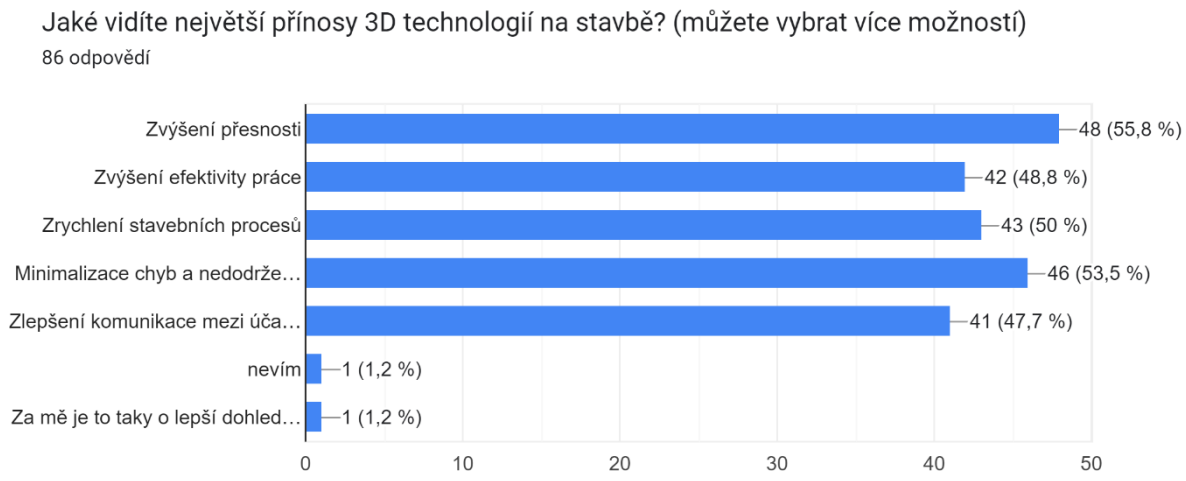
14 % dotazovaných pracuje v některém z výše zmíněných softwarů každý den, 29,1 % se s prací v softwarech setkává týdně, 7 % dotazovaných používají některé technologie pouze měsíčně, 29,1 % se s těmito technologiemi setkává zřídka a 20,9 % dotazovaných nevyužívají tyto technologie.



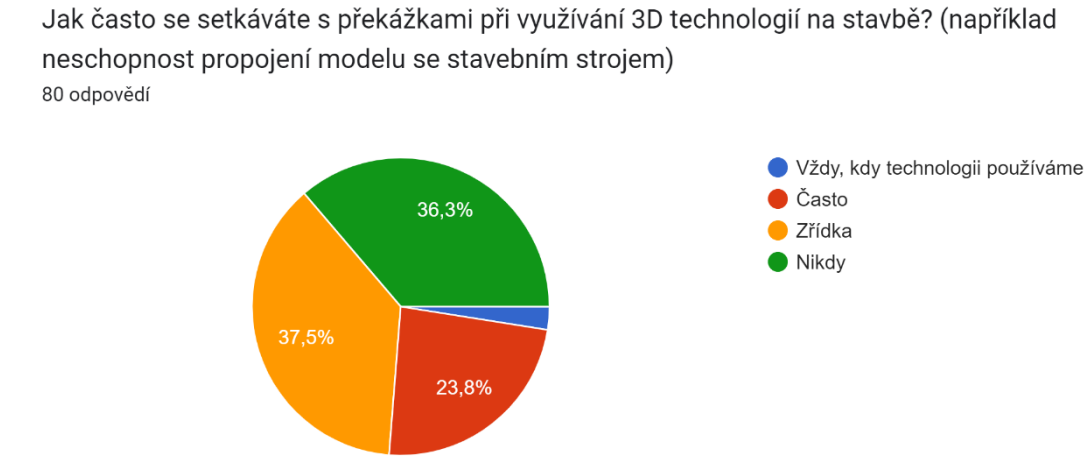
Na otázku efektivity odpověděla většina respondentů, že jim práce při skenování pro zachycení aktuálního stavu stavebního objektu přijde velmi efektivní. Což může znamenat, že technologie jsou spolehlivé a urychlují tak práci dotazovaným. 6 respondentů uvedlo, že jim přijde efektivita 3D skenování neefektivní, což může být způsobeno například špatnou zkušeností s technologií nebo nevhodně zvolenou technologií při práci.



Většina dotazovaných nevyužívá technologii ke sledování a kontrole pokroku vůbec nebo jenom velmi málo (zřídka). Avšak 18,8 % respondentů využívá tyto technologie k vyhodnocení kvality a množství provedených prací a 12,9 % používá tyto technologie pravidelně k monitoringu pokroku.

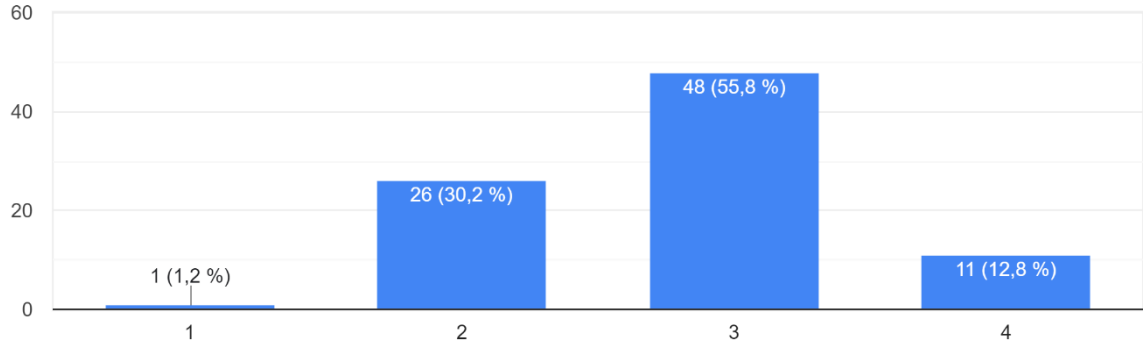


Největší přínos 3D technologií vidí respondenti ve zvýšení přesnosti a minimalizaci chyb a nedodržení předem stanovených pravidel. Avšak i ostatní výhody 3D technologií nezůstávají pozadu a také mají velký přínos pro praxi.

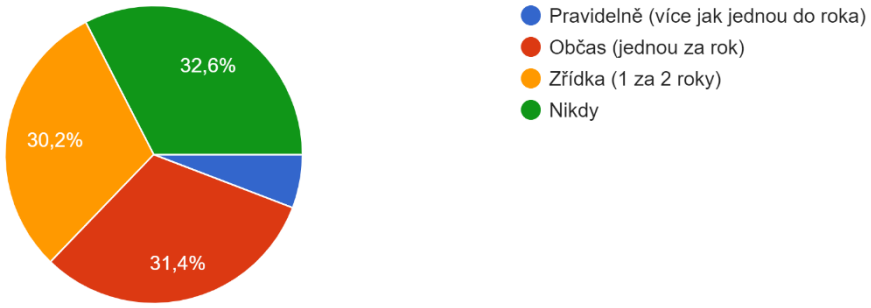


Většina dotazovaných se s překážkami při využívání 3D technologií na stavbě nesetkávají anebo jen minimálně. Přesto je procento častého setkání se s překážkou velmi vysoké 23,8 %.

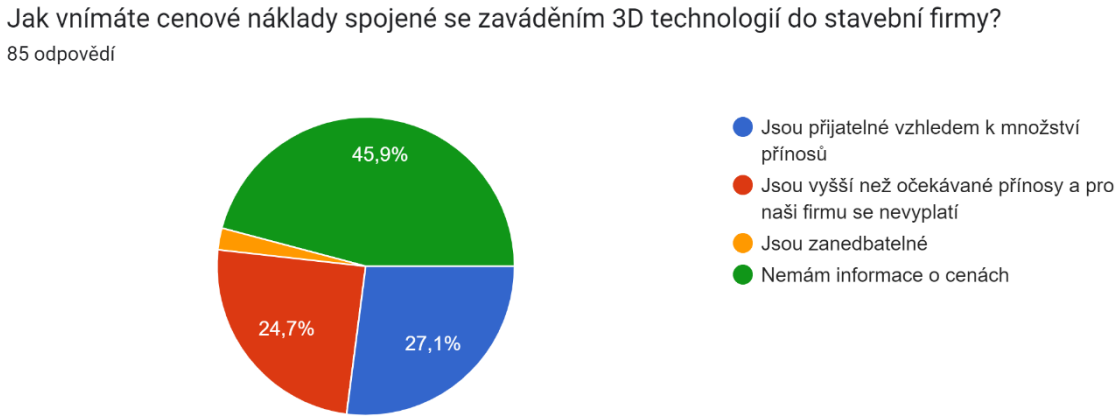
Jak hodnotíte připravenost firem a škol na výuku (školení) 3D technologií ve stavebnictví?
86 odpovědí



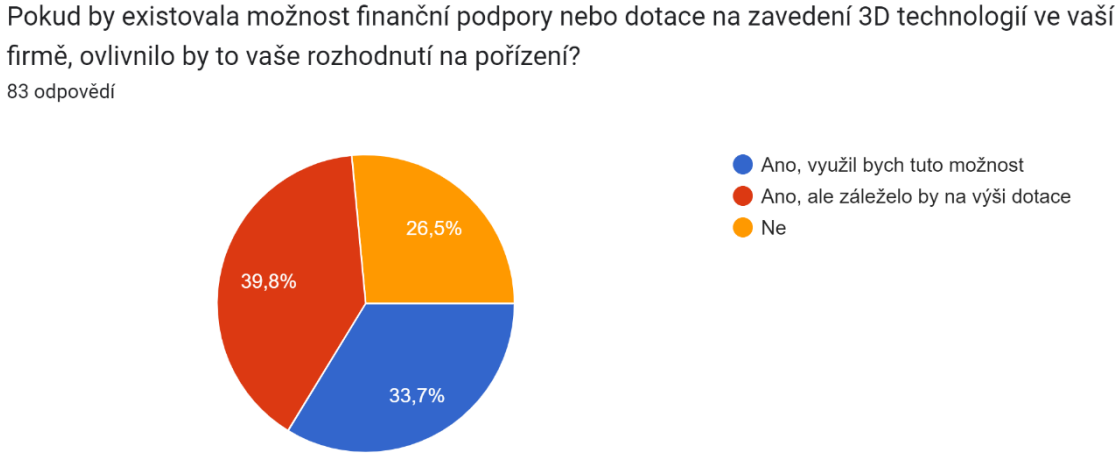
Jak často se vy (nebo vaši zaměstnanci) účastní školení nebo kurzů zaměřených na využívání 3D technologií ve stavebnictví?
86 odpovědí



Další dvě otázky byly zaměřeny na připravenost studentů pro použití 3D technologii. Většina respondentů si myslí, že připravenost je spíše nižší, než by očekávali, proto bych jednotlivým firmám doporučoval zavádět školení pro jednotlivé softwary a jak můžeme vidět v další otázce, tak 32,6 % dotazovaných se těchto školení nezúčastňuje. Zde by byl prostor pro zlepšení jednotlivých stavebních firem.



V části dotazníku zaměřené na povědomí o cenách při zavádění technologií BIM. Téměř polovina dotazovaných uvedla že nemají přehled o cenách. 24,7 % uvádí, že finanční náklady jsou vyšší než očekávané přínosy a pro jejich firmu se nevyplatí. 27,1 % odpovědí tvrdí že jsou přijatelné vzhledem k množství přínosů a malé procento dotazovaných (2,4 %) říká, že náklady jsou vzhledem k přínosům zanedbatelné. To může být způsobeno například velikostí firmy. Pro větší firmu bude méně náročné pořídit s 3D technologie a zároveň s tím i zvýšit svoji produktivitu.



Finanční podporu pro zavedení 3D technologií by uvítaly ¾ respondentů. U 39,8 % by však ještě záviselo na výši finanční podpory. 26,5 % dotazovaných by nezměnilo názor na pořízení 3D technologií i kdyby existovala možnost finanční podpory.

V závěru dotazníku se mohli respondenti v otevřených otázkách vyjádřit se svými dalšími poznatky k problematice 3D technologií.

„Jako zaměstnanec pociťuju velkou mezeru hlavně v samotné touze nadřízených se do 3D technologií víc obout. 4 roky jsem byla u dopravního inženýra a silnice jsme sice projektovali v civilu, ale dál se to nepředávalo do realizace v BIMu. Velká brzda jsou prostě zaměstnavatelé (i starší zaměstnanci), kteří se nechtějí seznamovat s novými věcmi. Takže způsob vylepšení je chtít se učit nové věci“

„Starší kolegové bohužel těmto technologiím příliš nevěří“

„Věřím, že 3D technologie zrychlují a zpřesňují postup výstavby staveb, ale je k tomu potřeba dostatečné zaškolení personálu, jinak si myslím, že člověk stráví víc času nad dumáním toho, jak 3D technologie funguje než nad samostatnou prací.“

„Rozhodně se jedná o budoucnost stavebnictví, bohužel mi přijde, že školy na to zatím nejsou připravené, doufejme, že se to brzy změní a z fakult začnou vycházet absolventi se znalostmi systému BIM.“

„Jsem student, proto většinu odpovědí nepovažuji za relevantní. Nicméně BIM technologii považuji za budoucnost ve stavebnictví a osobně věnuji nemalé úsilí učení se a seznamování se s BIM.“

„3D technologie jsou super užitečný, když s nimi člověk aspoň trošku umí a dá se tím ušetřit spousta práce. Osobně tomu fandím, jen je náročný do toho dostat kvalitně všechny profese a naučit se kvalitně spolupracovat, aby to neslo ovoce. Já bych si strašně přála, aby to fungovalo. Nám rozpočtářům by to ušetřilo, nebojím se říct, i polovinu času. Díky za fajn dotazník, třeba tím zasadíš semínko v menších firmách a začne se na tom pracovat.“

Většina respondentů hodnotí 3D technologie kladně, vidí v nich příležitosti ke snížení pracnosti a zvýšení produktivity ve stavebnictví. Současně s tím lze i snížit riziko chybovosti, které může být ovlivněno lidským faktorem. S rozvojem 3D technologií roste i prostor k jejich využívání, což však může mít negativní dopad na „starší generaci“, která je zvyklá na 2D výkresovou dokumentaci.

Celkově lze odhadovat, že veřejnost (především studenti stavebního oboru) se 3D technologiím nebrání a vidí v nich příležitosti, Nicméně, ohledně připravenosti škol na výuku 3D technologií je zaznamenáno spíše podprůměrné hodnocení, což naznačuje prostor pro zlepšení v této oblasti. Z hlediska finančních nákladů jsme zjistili, že pořízení 3D technologií sice představuje přijatelnou investici, ale náklady jsou vyšší, a většina respondentů by uvítala možnost finanční podpory. Dotazník také ukazuje na potenciál 3D technologií v různých odvětvích, avšak zdůrazňuje také potřebu posílení přípravy ve vzdělávacím systému a nejen v něm, ale také mezi již pracující komunitou, která se nových technologií může obávat a není ochotna se těmto věcem učit.

ZÁVĚR

V úvodu práce se zabývala problematikou využití technologií Building Information Modeling (BIM), Global Navigation Satellite System (GNSS) a 3D technologií ve stavebnictví, s důrazem na navádění stavebních strojů. V první části byly představeny přínosy a nevýhody BIM pro jednotlivé zainteresované strany, spolu s funkcí GPS navádění stavebních strojů a jejich využitím. Zde byly rovněž představeny klíčové typy stavebních strojů využívaných v zemních pracích na dopravních liniových stavbách.

Druhá část práce se zaměřila na praktické využití technologií na konkrétním projektu – dopravní stavbě dálnice D35. Analýza provedená na tomto projektu ukázala významné úspory v práci, čase a financích díky implementaci 3D navádění. Tato část práce demonstruje konkrétní přínosy 3D technologií v praxi a potvrzuje jejich ekonomickou efektivitu.

V závěrečné části byl proveden dotazníkový průzkum mezi veřejností, jehož cílem bylo zjistit povědomí a postoj k 3D technologiím využívaným ve stavebnictví. Z výsledků průzkumu vyplývá, že veřejnost má základní povědomí o 3D technologiích a nebrání se jejich využívání. Nicméně, drobnou překážkou této problematiky byla nižší připravenost škol, kde by část respondentů ocenila lepší implementování těchto technologií do výuky.

Celkově lze konstatovat, že moderní technologie, jako je 3D navádění stavebních strojů, mají významný potenciál zlepšit efektivitu, přesnost a ekonomickou udržitelnost stavebních projektů. Je však nezbytné, aby byly tyto technologie doprovázeny odpovídajícím vzdělávacím a školicím programem, aby byli odborníci v oboru připraveni je efektivně využívat.

ZDROJE A POUŽITÁ LITERATURA

[1] ČERNÝ, Martin a KOLEKTIVUM AUTORŮ. *BIM Příručka 1. vyd. Odborná rada pro BIM 2013*. Online. ISBN ISBN 978-80-260-5296-8. Dostupné z: https://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1. [cit. 2024-01-29].

[2] *Autodesk Inc*. Online. Dostupné z: https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim. [cit. 2024-01-29]

[3] *Koncepce zavádění metody BIM v České republice*. Online. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf. [cit. 2024-02-05].

[4] *Globální navigační satelitní systémy (GNSS)*. Online. , prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D. GNSS Stroner přednášky. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/wp-content/uploads/2022/01/GNSS_obs.pdf. [cit. 2024-02-24].

[5] *Geodezie – Globální navigační satelitní systém*. Online. , Ing. Miloš Cibulka, Ph. D. Lesnická a dřevařská fakulta. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie_2018/gnss.pdf. [cit. 2024-02-24].

[6] *GNSS systémy a jejich složení*. Online. Zeměpisec.cz. Dostupné z: https://zemepisec.cz/zaklady-geodezie-gps/gnss-systemy/. [cit. 2024-02-24].

[7] *Moderní přístrojová technika*. Online. , Ing Jan Říha. Spszem. 2014. Dostupné z: https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf. [cit. 2024-02-24].

[8] *Globální navigační satelitní systém (GNSS)*. Online. , Vlastimil Kratochvíl. Geodezie 3. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/ged/opvk/inovace/blok_C/GE07/Texty_GNSS.pdf. [cit. 2024-02-24].

[9] *Systém GPS*. Online. , Pavel Bezpalec. Lokalizace a navigace. Dostupné z: https://publi.cz/books/231/03.html. [cit. 2024-02-24].

[10] *Atmosféra*. Online. Edisco. Dostupné z: https://edisco.cz/zemepis/atmosfera.php. [cit. 2024-02-25].

[11] How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

[12] *Základní poledník*. Online. Wikipedia. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kladn%C3%AD_poledn%C3%ADk. [cit. 2024-02-26].

[13] *DRONPRO*. Online. Dostupné z: https://dronpro.cz/co-je-to-rtk. [cit. 2024-03-03].

[14] *SOFTWARE TRIMBLE BUSINESS CENTER*. Online. ZeppelinCAT. Dostupné z: https://www.zeppelin.cz/site/stroje-caterpillar/propojena-stavba/tvorba-modelu/trimble-business-center. [cit. 2024-03-16].

[15] *Katalog stavebních strojů*. Online. Dostupné z: http://www.celysvet.cz/mechanizace/dozery. [cit. 2024-03-18].

[16] *Sitech – řízení stavebních strojů*. Online. Dostupné z: https://www.sitech-czech.cz/produkty/rizeni-stroju/trimble-earthworks-pro-rypadla. [cit. 2024-03-18].

[17] VANĚK, Antonín. Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1045-9.

[18] *Zhutňovací technika*. Online. Dostupné z: https://www.stavarna.com/download2/633_2838_cs_a_hutnici_technika.pdf. [cit. 2024-03-24].

[19] *Ovládání stroje pro válce*. Online. Sitech.de. Dostupné z: https://www.sitech-czech.cz/produkty/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-trimble-pro-valce. [cit. 2024-03-24].

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: *Společné datové prostředí – CDE (Common Data Enviroment)*. Online. In: Koncepce zavádění metody BIM v České republice. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf. [cit. 2024-02-05].

Obrázek 2: *ITSL – Úvodní prezentace: Kolize rozvodu elektro a voda*. Online. In: ZAVADIL, Petr. [cit. 2024-02-22]

Obrázek 3: *ITSL – Úvodní prezentace: Kolize rozvodu elektro a voda*. Online. In: ZAVADIL, Petr. [cit. 2024-02-22]

Obrázek 4: *Co to je GPS? Historie a úvod do problematiky*. Online. In: Svět mobilně. Dostupné z: https://www.svetmobilne.cz/co-to-je-gps-historie-a-uvod-do-problematiky/244. [cit. 2024-02-24].

Obrázek 5: *Kontrolní a řídicí segment GPS*. Online. In: Publi.cz. Dostupné z: https://publi.cz/books/231/03.html. [cit. 2024-02-24]

Obrázek 6: *GPS Trimble R8 GNSS*. Online. In: Geoserver.cz. Dostupné z: https://www.geoserver.cz/gnss-gps-gis-software/geodeticke-gnss/gps_trimble_r8_gnss_multikanalovy_a_multifrekvencni_gnss_prijimac-100. [cit. 2024-02-24].

Obrázek 7: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 8: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 9: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 10: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 11: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 12: How GPS Works 🛰 What is GPS. Online. In: VIRTUALBRAIN. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=AlHPDRQ08jU. [cit. 2024-02-26].

Obrázek 13: *Moderní přístrojová technika*. Online. Dostupné z: https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf. [cit. 2024-03-03].

Obrázek 14: *Moderní přístrojová technika*. Online. , Ing Jan Říha. Spszem. 2014. Dostupné z: https://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf. [cit. 2024-03-04].

Obrázek 15: *Globální navigační satelitní systém (GNSS)*. Online. , Vlastimil Kratochvíl. Geodezie 3. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/ged/opvk/inovace/blok_C/GE07/Texty_GNSS.pdf. [cit. 2024-03-04].

Obrázek 16: *Ovládání stroje pro dozery*. Online. Sitech.de. Dostupné z: https://www.sitech.de/produkte/maschinensteuerung/trimble-maschinensteuerung-fuer-dozer. [cit. 2024-03-24].

Obrázek 17: *Ovládání stroje pro dozery*. Online. Sitech.de. Dostupné z: https://www.sitech.de/produkte/maschinensteuerung/trimble-maschinensteuerung-fuer-dozer. [cit. 2024-03-24].

Obrázek 18: *Ovládání stroje pro rypadla*. Online. Sitech.de. Dostupné z: https://www.sitech-czech.cz/produkty/rizeni-stroju/trimble-earthworks-pro-rypadla. [cit. 2024-03-24].

Obrázek 19: *Ovládání stroje pro válce*. Online. Sitech.de. Dostupné z: https://www.sitech-czech.cz/produkty/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-trimble-pro-valce. [cit. 2024-03-24].

Obrázek 20: *Stavební šachta*. Online. Technologie staveb. Dostupné z: http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obrjama2.html. [cit. 2024-03-16]

Obrázek 21: *Stavební zářez*. Online. Technologie staveb. Dostupné z: http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obrjama2.html. [cit. 2024-03-16]

Obrázek 22: Celková situace D35 Janov – Opatovec, II. Etapa, autor: Pragoprojekt, vypracoval: Ing David Bočánek, dostupné z: Zadávací dokumentace projektu D35 – Janov – Opatovec

Obrázek 23: Výsek části z projektové dokumentace převzatý od firmy MI-Roads

Obrázek 24: Výsek části z projektové dokumentace převzatý od firmy MI-Roads

Obrázek 25: Výsek části z projektové dokumentace převzatý od firmy MI-Roads

Obrázek 26: Část výkazu výměr převzatá ze stavební firmy

Obrázek 27: Vlastní fotografie

Obrázek 28: Vlastní fotografie

Obrázek 29: Vlastní fotografie

Obrázek 30: Vlastní fotografie