



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STUDIE NIVELAČNÍCH SYSTÉMU PRO STAVEBNÍ STROJE

THE STUDY OF LEVELING SYSTEMS FOR CONSTRUCTION MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ SEDLAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL URBÁNEK

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Ondřej Sedlařík**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Michal Urbánek**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie nivelačních systémů pro stavební stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerši popisující využití nivelačních systémů u stavebních strojů. Popište aktuální trendy pro podporu a rozvoj nivelačních systémů. Popište jednotlivé koncepce senzorové techniky nivelačních systémů. Dle zjištěných parametrů zhodnoťte jednotlivé koncepce a uveďte vhodnost jejich použití.

Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše nivelačních systémů u stavebních strojů.
Rešeršní rozbor aktuálních trendů nivelačních systémů.
Podrobný popis funkcionalit jednotlivých nivelačních systémů.
Přehled evropských výrobců a jejich typových výrobků v dané oblasti.
Tabulkový přehled dostupných zjištěných vlastností jednotlivých výrobků.
Kritické zhodnocení uvedených systémů.

Seznam doporučené literatury:

KAŠPAR, Milan a Věra VOŠTOVÁ. Lasery ve stavebnictví a navigace strojů. Praha: ČKAIT - Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2001, 147 s. ISBN 80-86364-61-5.

ČSN EN ISO 6165 (277400). Stroje pro zemní práce - Základní typy - Identifikace, termíny a definice. Praha, 2015.

SAIDI, Kamel S., Jonathan B. O'BRIEN a Alan M. LYTLER. Robotics in Construction. In: SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed. Springer Handbook of Robotics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

MAZURKIEVIČ, Izidor, Ladislav GULAN a Gregor IZRAEL. Mobilné pracovné stroje: cestné stroje. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3653-4.

Laser scanning systems in highway and safety assessment. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2019. ISBN 9783030103736.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce s v první části zabývá rešeršním rozбором nivelačních systémů. Nivelační systémy jsou rozděleny podle počtu pracovních rovin a typu pracovního signálu. Následně jsou jednotlivé typy detailněji popsány z hlediska funkce a použití. Druhá část se věnuje přehledu výrobců nivelačních systémů a jejich produktů na evropském trhu. Na základě přehledu bylo provedeno tabulkové porovnání základních parametrů nivelačních systémů. Nakonec byly nivelační systémy zhodnoceny na základě tabulkových hodnot.

Klíčová slova

nivelační systémy, řízení strojů, dozer, rypadlo

Summary

This bachelor's thesis deals in the first part with the research analysis of leveling systems. Leveling systems are divided according to the number of working levels and the type of working signal. Subsequently, individual types are described more in detail considering to function and use. The next part deals with an overview of manufacturers of leveling systems and their products on the european market. The table comparsion was made of main parametres of leveling systems based on the previous overview. Finally, the leveling systems were valuated based on table values.

Keywords

leveling system, machine control, dozer, excavator

Bibliografická citace

SEDLAŘÍK, Ondřej. *Studie nivelačních systému pro stavební stroje*. Brno, 2023. Bachelářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Michal Urbánek.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michala Urbánka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2023

Ondřej Sedlařík

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu své práce Ing. Michalu Urbánkovi za vedení a rady při vypracování této bakalářské práce.

Ondřej Sedlařík

Obsah

Úvod	11
1 Využití nivelačních systémů pro stavební stroje	12
2 Dělení nivelačních systémů	13
2.1 Pracovní roviny nivelačních systémů	13
2.1.1 1D nivelační systémy	14
2.1.2 2D nivelační systémy	14
2.1.3 3D nivelační systémy	14
2.2 Ultrazvukové systémy	15
2.2.1 Princip práce	15
2.2.2 Oblast použití	15
2.2.3 Výhody	15
2.2.4 Nevýhody	16
2.3 Laserové systémy	16
2.3.1 Princip práce	16
2.3.2 Přesnost práce nivelačního systému	17
2.3.3 Oblast použití	17
2.3.4 Výhody	17
2.3.5 Nevýhody	18
2.4 Systémy řízené satelitním signálem (GPS)	18
2.4.1 Princip práce	19
2.4.2 Přesnost práce nivelačního systému	20
2.4.3 Oblast použití	21
2.4.4 Výhody	21
2.4.5 Nevýhody	22
2.5 Univerzální totální stanice (UTS)	22
2.5.1 Princip práce	23
2.5.2 Přesnost práce nivelačního systému	24
2.5.3 Oblast použití	24
2.5.4 Výhody	24
2.5.5 Nevýhody	24
3 Nivelační systémy pro dozery	26
3.1 Nivelační systémy Trimble	26
3.1.1 Trimble GCS900	26
3.1.2 Trimble Earthworks	27
3.2 Nivelační systémy Leica	27
3.2.1 Leica iCON iGD1 CoPilot Solution	27
3.2.2 Leica iCON iGD2	28
3.2.3 Leica iCON iGD3	28
3.3 Nivelační systémy Topcon	29
3.3.1 Topcon 3D-MC ²	29
3.3.2 Topcon 3D-MC ^{MAX}	29
3.4 Nivelační systémy Moba	29

3.4.1	Moba GS-506	29
3.4.2	Moba XSITE PRO 3D	30
3.4.3	Moba 3D-Matic	30
3.5	Nivelační systémy Nivel system	30
3.5.1	Nivel system MC-1D	30
3.6	Porovnání nivelačních systémů pro dozery	31
4	Nivelační systémy pro rypadla	33
4.1	Nivelační systémy Trimble	33
4.1.1	Trimble Earthworks pro rypadla	33
4.2	Nivelační systémy Leica	34
4.2.1	Leica iCON iXE3	34
4.3	Nivelační systémy Topcon	35
4.3.1	Topcon X52	35
4.3.2	Topcon X53	35
4.4	Nivelační systémy Moba	36
4.4.1	Moba XSITE EASY	36
4.4.2	Moba XSITE PRO	36
4.5	Nivelační systémy iDig	36
4.5.1	iDig Touch	36
4.5.2	iDig Connect	37
4.6	Porovnání nivelačních systémů pro rypadla	38
	Závěr	40
	Seznam použitých zdrojů	41

Úvod

Stavebnictví je nedílnou součástí průmyslu jak v Evropě tak po celém světě. Pozice stavebního průmyslu je velmi důležitá, protože přispívá k celkovému rozvoji dané oblasti. Od konce 60. let minulého století je možné pozorovat, s postupným nástupem automatizace a digitalizace, zvyšující se nároky na kvalitu, rychlost, přesnost a v neposlední řadě náklady na realizaci stavby. Zvláště v posledních letech je vývoj velmi dynamický a tento trend bude zřejmě pokračovat.

Nároky na stavebnictví jako celek se postupně přenášely i na stavební stroje. Proto se začaly postupně vyvíjet nivelační systémy pro stavební stroje. Nivelační systémy pomáhají řídit stavební stroj, tak aby byla jeho práce zejména přesnější a rychlejší. V dnešní době vedlejším pozitivním dopadem je snížení celkových emisí stroje díky rychlejší a efektivnější práci.

Tato bakalářská práce se zabývá nivelačními systémy pro stavební stroje. V první části se bude věnovat jejich využití a rozdělení. Nivelační systémy budou rozděleny podle počtu pracovních rovin a podle typu pracovního signálu. U každého typu nivelačního systému bude popsán jeho princip práce, využití, výhody a nevýhody. Ve druhé části se práce věnuje vybraným nivelačním systémům, dostupným na evropském trhu. Každý stroj má trochu jiné požadavky na nivelační systém. V této práci budou jednotlivé nivelační systémy vybrány pro dozery a rypadla. Následně je každý vybraný nivelační systém rozebrán, kde jsou zmíněny některé jeho možnosti nebo zajímavé funkce.

Výsledkem této práce bude tabulkové porovnání a zhodnocení základních parametrů vybraných nivelačních systémů. Porovnání bude provedeno jako pro dozery tak pro rypadla.

1 Využití nivelačních systémů pro stavební stroje

Nivelační systémy slouží k řízení strojů. Řízením strojů se považuje hlavně řízení polohy pracovního nástroje. Obecně hlavním úkolem nivelačního systému je zjištění polohy nástroje a porovnání této hodnoty s tou požadovanou. Dříve bylo dostupné pouze indikační řízení stroje, které pouze měřilo polohu nástroje. V dnešní době je proces řízení stroje značně zautomatizován a nivelační systémy dokáží řídit polohu nástroje přímo bez zásahu strojníka[1].

Starší nivelační systémy byli využívány především u strojů vykonávajících rovinné práce, hlavně u buldozerů a grejdrů. Dnes se systémy pro řízení strojů uplatňují na všech typech stavebních strojů a strojů pro výstavbu silnic. Použití nivelačních systémů je vhodné jak pro hrubé přípravné práce, tak dokončovací práce v vysokými nároky na přesnost[2].

Přínosů použití nivelačního systému při práci stroje je mnoho, mezi hlavní patří[3]:

- zvýšení přesnosti práce
- zvýšení rychlosti práce
- možnost tvorby tvarově složitých ploch
- snížení prostojů stroje
- snížení počtu měřičských prací
- i nezkušený operátor odvádí přesnou práci

Avšak hlavním přínosem nivelačních systémů je snížení celkových nákladů stroje, což je zajisté jeden z důvodů proč se využívání nivelačních systémů v posledních letech zvyšuje. Snížení celkových nákladů plyne z dílčích výhod použití nivelace k řízení stroje. Například díky přesné práci stačí k dokončení povrchu jen jeden přejezd, bez použití nivelačního systému by bylo nutné povrch přeměřovat a dokončení by bylo na několik jízd. Tím se snižuje počet přejezdů stroje, snižují se prostoje při přeměřování a práce je odvedena rychleji, všechny tyto aspekty přispívají ke snížení provozních nákladů.

2 Dělení nivelačních systémů

Nivelační systémy lze rozlišovat několika způsoby. Dělení je možné podle několika kritérií. Hlavními kritérii jsou typ pracovního signálu a počet rovin se kterými daný systém pracuje. Při rozlišování podle pracovního signálu se systémy rozdělí na několik skupin[2], [4]:

- ultrazvukové systémy
- laserové systémy
- systémy pracující se satelitním signálem (GPS)
- systémy pracující s univerzální totální stanicí (UTS)

Při dělení nivelačních systémů podle počtu pracovních rovin jsou:

- systémy pracující s jednou rovinou (1D)
- systémy pracující se dvěma rovinami (2D)
- systémy pracující se třemi rovinami (3D)

Nejčastěji se používají 2D nebo 3D systémy. 1D systémy se v praxi používají jen pro jednoduché práce a již nenacházejí tak široké využití jako 2D a 3D nivelační systémy.

Dále je možné rozlišovat použití systémů podle způsobu jakým zasahují do řízení stroje. Prvním, technicky jednodušším, způsobem je pasivní přístup řízení, obvykle je tento způsob nazýván jako ruční řízení. V takovém případě nivelační systém pouze sleduje reálnou polohu pracovního nástroje (např. radlice buldozeru nebo grejdrů), následnou diferenci reálné polohy vůči požadované zobrazuje na monitoru. Strojník na základě těchto informací ovládá radlici. Úloha nivelačního systému je v takovém případě pouze k odměřování a neovládá stroj jako takový. Naproti tomu druhý způsob již aktivně vstupuje do řízení stroje a obvykle se nazývá automatické řízení. Takový systém opět odečítá polohu radlice stejně jako pasivní. Rozdíl nastává v tom, že diferenci mezi reálnou a požadovanou (zadanou) polohou už neodečítá strojník, ale řídicí systém, který následně ovládá hydraulický rozvaděč a tím i polohu radlice[2]. Automatické řízení stroje má vyšší požadavky na technickou vybavenost stroje, protože stroj musí být vybaven hydraulickým rozvaděčem, který lze elektronicky ovládat řídicí jednotkou nivelačního systému. U automatického řízení je standardem možnost přepnutí do manuálního režimu.

2.1 Pracovní roviny nivelačních systémů

Rozdělení podle počtu pracovních rovin je naprosto základní dělení nivelačních systémů. Podle pracovních rovin jsou dále členěny i jednotlivé typy nivelačních systémů rozlišovaných podle typu pracovního signálu popsaných níže. S narůstajícím počtem rovin nivelačního systému dokáže stroj vytvářet tvarově složitější povrchy, případně pracuje s vyšší přesností. Základními nivelačními systémy jsou ty, které pracují pouze s jednou rovinou. Jedná se o technicky nejjednodušší systémy poskytující pouze tvorbu jednoduchých ploch. Oproti tomu systémy pracující se třemi rovinami dokáží vykonávat i tvarově složitější práce[4], [5].

Podle počtu pracovních rovin jde alespoň z části poznat jak moc je daný systém sofistikovaný a co vše dokáže udělat. S přibývajícím počtem rovin dokáže nivelační systém zpracovat složitější tvary povrchu, případně se zvyšuje jeho přesnost.

2.1.1 1D nivelační systémy

Nivelační systémy ovládající pouze jednu pracovní rovinu stroje se označují jako 1D systémy. Parametrem, který je kontrolován, je většinou výška pracovního nástroje vzhledem k referenční výšce. Jsou nejjednoduššími zástupci nivelačních systémů. Svoje využití našli hlavně dříve, s postupným vývojem 2D a 3D však postupně ztráceli své zastoupení. Dnes už jsou z většiny nahrazeny 2D a 3D systémy. Na samostatnou 1D nivelaci je možné narazit už jen zřídka, ale mnohem častějším případem je pokročilejší nivelační systém (2D, 3D), který umožňuje práci v 1D, respektive se chová jako 1D nivelace. 1D systémy se využívají jen okrajově pro jednoduché aplikace s nízkými požadavky na přesnost. Jejich typické využití je možné nalézt u rypadel pro základní výkopové práce např. výkop základů nebo výkop kanalizace. Při takové práci je nivelačním systémem kontrolována pouze hloubka výkopu, respektive výška lopaty. Při reálné aplikaci je nejčastěji možné najít kombinaci 1D laserového nivelačního systému podrobněji popsaného níže[6]. 1D nivelace bývají většinou pasivní, to znamená že veškerý pohyb stroje řídí operátor.

2.1.2 2D nivelační systémy

Jak již bylo zmíněno výše 2D nivelační systém pracuje ve dvou rovinách, to znamená že dokáže určit 2 souřadnice - parametry (v rozdílných rovinách) pracovního nástroje např. radlice buldozeru nebo grejdrů.

Parametry které systém měří se mohou lišit v závislosti na stroji a použitém nivelačním systému. Obvykle je však pozorována výška a příčný sklon (příčné natočení) pracovního nástroje, nebo podélný a příčný sklon[5].

Nejčastější aplikace 2D systémů v praxi je tvorba rovinných ploch (např. při stavbě parkoviště nebo velkých hal, urovnávací práce) Oproti 1D systému má 2D výhodu, že také umožňuje tvorbu svahů tzv. svahování[7]. Obvyklé je použití 2D nivelace v kombinaci s ultrazvukovým, nebo laserovým řídicím signálem, které budou popsány dále.

2.1.3 3D nivelační systémy

U 3D systémů, někdy označovaných také jako 2D + 1D, přibývá ještě jeden parametr. Ze všech tří zmiňovaných systémů je možné právě s tímto vytvářet tvarově nejnáročnější povrchy a patří k těm nejuniverzálnějším. Nejuniverzálnější jsou z hlediska možných prací. 3D nivelace se obvykle používá ke složitým pracovním úkonům, ale najde využití také pro jednodušší práce. Na stroji jsou ovládány 3 souřadnice pracovního nástroje, typicky poloha, výška a natočení[2].

Je složité určit typickou skupinu strojů používajících 3D nivelaci, protože dnes najde své uplatnění téměř u všech stavebních strojů. Nejčastěji se 3D nivelační systémy používají u rypadel, buldozerů, skrejprů, grejdrů, finišerů, válců a mnoha dalších.

Standardně se používají hlavně 3D GPS a 3D UTS nivelace.

2.2 Ultrazvukové systémy

Jak už název napovídá ultrazvukový nivelační systém využívá ultrazvuk jako pracovní signál. Ultrazvuk je akustické vlnění prostředí ležící za slyšitelnou hranicí (<20 kHz)[8]. Dolní hranice frekvencí používaných na strojích je vyšší než 20 kHz proto, aby sluch dělníků nebyl vystavován zvukovým emisím a nedošlo k jeho poškození. Ultrazvukové měření pracuje na principu měření času, který je třeba pro dosažení přijímače vyslaným impulzem. Při aplikaci ultrazvuku pro nivelační systém je vysílač i přijímač spojen dohromady v jeden prvek. Takovéto zařízení bývá připevňováno na kraj radlice stroje, tak aby byla umožněna jeho jednoduchá montáž a demontáž.

2.2.1 Princip práce

Princip práce je následující, ultrazvukové zařízení vyšle impuls který se následně odrazí od povrchu referenční plochy (překážky) a vrátí se zpět do zařízení, přičemž je měřen čas tohoto procesu. Referenčními plochami pro odraz mohou být: obrubník, vodící provázek, již zpracovaná (shrnutá) plocha[4]. Ze známého času a rychlosti zvuku je vypočtena výška pracovního nástroje. Následně je tato informace předána do řídicí jednotky která porovná naměřenou hodnotu s požadovanou a v případě nutnosti vyšle tuto informaci do hydraulického rozvaděče který upraví výšku nástroje, pokud je nivelační systém pouze pasivní je požadavek na změnu výšky nástroje vyslán k operátorovi.

2.2.2 Oblast použití

Využití ultrazvukového nivelačního systému se nachází při urovnávání, shrnování nebo dokončování. Lze ho nalézt v aplikaci na zemních strojích, hlavně na grejdrech a buldozerech, ale i na strojích pro výstavbu silnic jako jsou finišery nebo frézy. Obvykle jsou ultrazvukové systémy pracují ve 2D. Dříve bylo možné běžně narazit i na 3D ultrazvukové nivelační systémy, ty už jsou dnes spíše okrajovou záležitostí, protože je nahradili hlavně 3D systémy řízené satelitním signálem[4].

Dnes jsou ultrazvuková zařízení s oblibou využívána v pokročilejších nivelačních zařízeních spolu s dalšími senzory. V takovém případě ultrazvukové zařízení není součástí nivelačního systému která přímo řídí stroje, ale slouží pouze k určení korekcí při práci stroje[9]. Korekce jsou následně zohledněny při řízení stroje, což umožňuje provádět přesnější práci.

2.2.3 Výhody

Stabilní signál v každém terénu

Velkou výhodou je stabilita pracovního signálu, bez ohledu na terén ve kterém stroj pracuje. Na rozdíl od ostatních typů nivelací ultrazvukové systémy nepotřebují ke své činnosti komunikovat s okolím, typicky s referenční stanicí nebo s GPS družicemi. Díky tomu dokáže ultrazvukový systém bez problémů pracovat i v členitých terénech, v místech se špatnou kvalitou signálu GPS, nebo v tunelech.

Dobrá přesnost

Další výhodou je dobrá přesnost vykonávané práce. Právě díky stabilnímu signálu je přesnost senzorů při práci stále stejná. U ostatních systému probíhá měření na dlouhou vzdálenost a může tak docházet k degradaci signálu a vzniku nepřesností. Ale u ultrazvukového senzoru probíhá měření lokálně na krátkou vzdálenost čímž je velmi omezena možnost rušení signálu. Vzdálenost mezi senzorem a referenční plochou obvykle bývá ve vyšších desítkách centimetrů.

2.2.4 Nevýhody

Ztráty intenzity ultrazvukového signálu

Vlastností ultrazvuku je dobrý prostup pevnými látkami a špatný prostup vzduchem, z toho vyplývá že při vyslání impulsu vzduchem bude docházet ke ztrátám. Tyto ztráty snižují sílu signálu který se vrátí zpět k přijímači a může dojít k nepřesnému měření. K dalším ztrátám (rozptylu) dojde při interakci impulsu s odrazovou plochou. Ztráty se mohou lišit v závislosti na typu materiálu a velikosti odrazové plochy[4]. Tento problém bývá řešen přidáním dalšího ultrazvukového čidla na stroj, které bývá označováno jako kalibrační. Toto čidlo měří rychlost impulsu v závislosti na podmínkách a z jeho dat je následně upravována výpočtová rychlost pro senzory na pracovním nářadí.

Omezený pohyb stroje

Omezený pohyb stroje je největší nevýhodou ultrazvukových nivelačních systémů. Stroj nemůže jezdit libovolným směrem po pracovní ploše. To je způsobeno principem práce ultrazvukového systému. Ultrazvukové zařízení musí být neustále nad referenční (odrazovou) plochou a stroj se tak může pohybovat pouze podél těchto ploch[2]. To znamená že stroj je omezen pouze na 2 scénáře jízdy, prvním je omezení na jízdu okolo vodícího provázku, obrubníku. Druhou možností je "jízda vedle jízdy" v případě dokončovacích prací, kdy senzory snímají vzdálenost od již dokončené plochy a vzdálenost od plochy původní, rozdíl těchto vzdáleností je ubíraná výška materiálu.

2.3 Laserové systémy

Na rozdíl od ultrazvukových systémů, u kterých byl pracovním signálem zvuk, laserové využívají světelného paprsku pro přenos informací. Světelný paprsek - laser může svou vlnovou délkou ležet jak ve viditelném tak neviditelném spektru. Ve viditelném spektru obvykle mívá zelenou nebo červenou barvu[4].

2.3.1 Princip práce

Pro řízení stroje jsou možné dvě koncepce, které se liší v rozložení a použití jednotlivých senzorů. První možností je využití dvou přijímačů (senzorů), každý na jednom rohu radlice, v tomto případě je systémem sledován podélný a příčný sklon radlice. Druhou možností je použití pouze jednoho přijímače laserového signálu a senzoru natočení radlice. U této možnosti je laserem řízena pouze výška radlice. Natočení je zadáno přímo v řídicí jednotce a na stroji je sledováno pouze senzorem natočení. U varianty s jedním

laserovým přijímačem a senzorem natočení může oproti verzi se dvěma přijímači docházet k vyšším nepřesnostem[2], [5].

Princip práce systému se od ultrazvukového mírně odlišuje. Před samotným začátkem prací je nutné nastavení sensorové techniky (laser a senzory) a jejich kalibrace. Je důležité, pro základní nastavení, aby byl laserový zdroj umístěný na stativu a senzory na stroji výškově stavitelné. Na laseru je nutné zadat sklon paprsku (sklon vytvářené roviny) a následně jej vysunout dostatečně vysoko, ideálně až nad pracující stroj. Dále je nutné změřit výšku laseru od referenčního bodu, referencí může být např. zpracovávaný povrch nebo přesně zaměřený geodetický bod. Měření se provádí za pomoci měřické výtyčky s laserovým senzorem. Obdobný postup je i na straně přijímačů. Je důležité aby oba senzory byly ve stejné výšce od břitu nástroje a musí být dostatečně vysoko aby je zasahoval laserový paprsek[4], [10]. Následuje kalibrace, která probíhá tak, že se nástroj položí na referenční bod se známými geodetickými parametry. Případnou diferencí mezi geodetickými parametry a parametrem změřeným nivelačním systémem se musí zohlednit v nastavení. Diference se nazývají korekce parametru a zadávají se do řídicí jednotky nivelačního systému. Korekci je nutné provést pro každý parametr se kterým nivelační systém pracuje. Referenční bod se může lišit podle prováděných prací, pro dokončovací práce je ideální použití již zmíněného geodetického bodu, naopak pro hrubé práce s nižším požadavkem přesnosti je jako reference použitelný i zpracovávaný povrch.

2.3.2 Přesnost práce nivelačního systému

Jako zdroj signálu (vysílač) je využíván rotační laser, který dokáže šířit signál 360° okolo zdroje. Pro co největší pracovní rozsah stroje je vhodné umístit laserový zdroj do středu pracovní oblasti. Pracovní rozsah laserových systémů je závislý na tom, jak je velký dosah laserového signálu vysílaného ze zdroje. Při tom je důležité, aby i na velké vzdálenosti byl signál stále kvalitní pro přesnou práci. Pracovní rozsah se bude lišit podle jednotlivých výrobců, obecně se však pohybuje v řádu stovek metrů okolo vysílače. Přesnost vykonávaných prací se pochybuje v nízkých desítkách milimetrů, lze však dosáhnout i přesnosti do 10 mm.

2.3.3 Oblast použití

Laserové nivelace se v praxi nejčastěji využívají jako 2D systémy. Užití nachází hlavně při pracích na jednodušších rovinných plochách např. výstavba silnic, výstavba průmyslových hal. Mohou s nimi být vykonávány jako hrubé (přípravné) práce tak i přesné dokončovací práce. S laserovými systémy je možné se setkat na široké škále strojů, nejčastěji se objevují na buldozerech, grejdrech a skrejprech[5], [11]. Ale nejsou výjimkou ani aplikace s rypadly a dalšími stroji.

2.3.4 Výhody

Laserové nivelační systémy mají řadu výhod, mezi hlavní výhodou patří volný pohyb stroje po staveništi.

Libovolný pohyb stroje

Stroj se může po pracovní ploše pohybovat v libovolných směrech. Tato vlastnost značně zvyšuje efektivitu a rychlost práce, snižuje se totiž nutnost přejezdů na prázdko, v porovnání s ultrazvukovými nivelacemi.

S jedním laserovým vysílačem může pracovat více strojů

To vede opět k větší efektivitě prací a snížení provozních nákladů. Příkladem může být využití buldozeru ke hrubým přípravným pracím a grejdrů k dokončovacím pracím v jeden čas.

2.3.5 Nevýhody

Tyto systémy však mají i nevýhody, které nevycházejí z niveláčnického systému jako takového, ale hlavně z vlastností laserového paprsku obecně.

Laser a senzor musí být v přímém kontaktu

Neprostupnost pevným tělesem je jednou z vlastností laserového paprsku, což je v tomto případě na škodu. Mezi laserem a senzorem nesmí být žádná překážka, jinak dojde ke ztrátě signálu a nepřesnostem práce[4]. Toto je také důvod proč jsou laserové senzory na stroji a laserový zdroj výškově stavitelné a jejich ideální poloha je až nad úroveň stroje. Když je laserový signál až nad úroveň stroje (strojů), tak se stroj může pohybovat libovolně - neodstíní si signál např. kabinou. V případě práce více strojů nemůže dojít k odstínění signálu jiným strojem. V případě, že pracovní signál nelze dostatečně vyvýšit, tak aby nebyl přerušován (např. velké násypy materiálu na staveništi), dochází ke snížení možné pracovní plochy stroje. Dále tento problém může vést ke snížení volnosti pohybu (ve smyslu nutnosti jízd jen jedním směrem), nebo až k úplnému znemožnění užití tohoto typu niveláčnického systému. To je také důvod proč je tento systém vhodný hlavně pro rovinné aplikace.

Dosah laseru je závislý na počasí.

Laserové záření je ovlivňováno počasím, zejména je ovlivňován pracovní rozsah laseru a kvalita signálu[2]. Hlavním problémem je mlha, ve které velké množství malých vodních kapiček degraduje signál. S klesajícím rozsahem signálu klesá i akční rádius stroje, případně může dojít i ke snížení přesnosti měření. Výrobci se snaží u svých laserů tuto zápornou vlastnost co nejvíce eliminovat a daří se to poměrně úspěšně.

2.4 Systémy řízené satelitním signálem (GPS)

Niveláčnické systémy řízené satelitním signálem využívají tento signál pro určení polohy. Konkrétně se jedná o signál GNSS (Global Navigation Satellite System), kdy je určována poloha za pomoci družic od několika polohovacích systémů, jako GPS (USA), GLONASS (Rusko), Galileo (EU) a BeiDou (Čína)[12]. Obecně bývá tento niveláčnický systém označován jako GPS niveláčnický systém, avšak toto označení se nesmí brát doslovně přesně. Je důležité si uvědomit, že dnešní niveláčnické systémy využívají družice ze všech světových

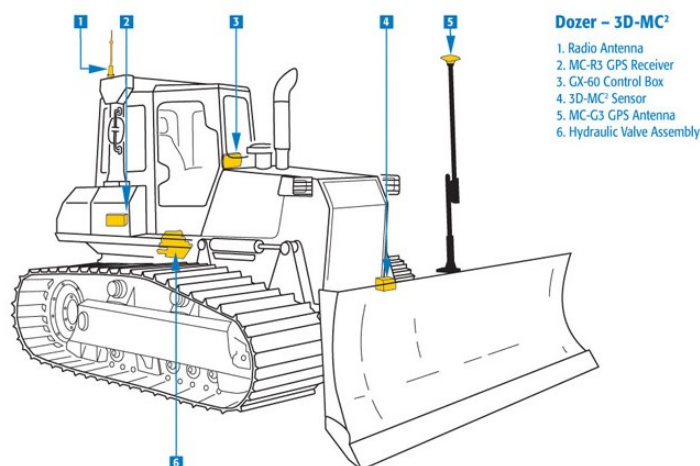
polohovacích systémů. Označení GPS vzniklo obecným převzetím názvu amerického polohovacího systému GPS. Nivelační systém, respektive přijímač, tedy neselektuje GNSS signál pouze z družic GPS, naopak cílí na to aby zachytil signál z co nejvíce družic nehlédě na typ polohovacího systému.

V praxi, stroje používající GPS nivelační systém jsou obvykle vybavené tak, aby je bylo možné řídit také pomocí univerzální totální stanice (UTS). UTS však využívá GPS signál jen okrajově a v principu se tyto dva systémy výrazně odlišují.

2.4.1 Princip práce

Přijímač satelitního signálu je umístěn na stroji, u buldozerů, grejdrů typicky opět na radlici, u rypadel většinou na zadní části stroje. Družice vysílá signál ve kterém je zanesena informace o její poloze a přesném času vyslání signálu. Po přijetí tohoto signálu GPS anténou (přijímačem) je zjištěna doba, která uběhla od vyslání signálu z družice do jeho přijetí anténou. Ze zjištěné doby letu je vypočtena poloha přijímače. Výpočet polohy vychází ze známé polohy družice v daný čas. K takovém určení polohy je zapotřebí získat signál nejméně ze 4 družic, 3 slouží k určení polohy a 1 pro zjištění času[4]. S narůstajícím počtem družic narůstá přesnost určení polohy[13].

K dosažení přesnosti práce potřebné pro stavební účely je nutné využít zpřesňující signál. Pro zpřesnění určené polohy se nejčastěji používá RTK signál, neboli RTK korekční metoda, další možnosti zpřesnění budou zmíněny níže. Ke korekcím RTK signálem je zapotřebí referenční stanice. Referenční stanice se umísťuje na známý geodetický bod na staveništi a disponuje přijímačem GPS signálu. Přijímač určuje polohu stanice. Následně je zjištěná poloha ze signálu GPS porovnána se známou polohou geodetického bodu. Protože je referenční stanice umístěna právě na geodetickém bodu, tak rozdíl mezi zjištěnou polohou za pomoci GPS a reálnou polohou bodu je právě nepřesnost určení polohy systémem GPS. Tato informace o rozdílu poloh je zaslána pracovnímu stroji, pro korekci polohy. I tak však nedojde k úplné eliminaci nepřesností, pracuje se s předpokladem, že chyba při určení polohy referenční stanice je v jejím okolí přibližně stejná[10], [14]. Předávání korekčních informací mezi referenční stanicí a strojem probíhá radiovým signálem. Přijímač rádiového signálu je obvykle umísťován na kabinu stroje.



Obrázek 1: GPS nivelační systém s jednou anténou pro příjem satelitního signálu[15]

Dále už je princip analogicky obdobný jako u předchozích nivelačních systémů. Ze známé polohy stroje je přepočtena poloha nástroje. První, jednodušší, možnost je anténa pro příjem satelitního signálu umístěná na nástroji a je známá přímo vzdálenost mezi břitem nástroje a anténou. Další možnost, která se vyskytuje hlavně u rypadel, je anténa umístěná na stroji. V tomto případě systém přepočítává polohu nástroje za pomoci známé geometrie např. ramene rypadla a dat ze senzorů na stroji. Sensory snímají polohová data, typicky u rypadel např. úhly svírající jednotlivé části výložníku a násady[16]. Známa poloha nástroje, respektive jeho břitu, je porovnána s polohou kterou má nivelační systém zadanou. Rozdíl těchto hodnot je vyhodnocen a následně je dle potřeby ovládána hydraulika ať už strojníkem nebo nivelačním systémem v automatickém režimu.

Cílové (zadané) hodnoty polohy pracovního nástroje se už většinou nezadávají přímo do nivelačního systému, nebo neodměřují od referenční výšky jako tomu bylo u předchozích systémů. U 3D GPS systémů se tyto hodnoty načítají z modelu vytvářené stavby. Model se vytváří na počítači a pak už stačí jen jeho nahrání do nivelačního systému daného stroje. Nivelační systém tak potřebuje 3D model každého staveniště kde má být použit[17], [18].

K řízení strojů se nabízí dva možné způsoby provedení GPS nivelace a to s jednou, nebo dvěma anténami. Možnost s jednou anténou je jednodušší. V podstatě je za pomoci GPS měřena pouze poloha, ostatní parametry jako příčný sklon už jsou určovány jen senzory na stroji. Provedení se dvěma anténami, označované také jako duální, je přesnější, rychlejší a za pomoci GPS je měřena jak výška, tak příčný sklon. Verze se dvěma anténami má mnohem větší oblast použití, jak z hlediska prací, tak z počtu strojů na které je aplikovatelná. Jako příklad je možné uvést práci buldozeru ve svahu. Pokud se buldozer začne smýkat, tak provedení s jednou anténou toto natočení stroje nemusí odhalit, čímž by došlo ke zvýšení nepřesnosti. Naproti tomu duální provedení antén dokáže na natočení reagovat a udržuje nástroj stále ve správné poloze.

2.4.2 Přesnost práce nivelačního systému

Tento nivelační systém tedy určuje polohu pracovního stroje za pomoci satelitního signálu GPS. Samotné zaměření za pomoci GPS je však pro stavebnictví nedostačující z důvodu nízkých přesností. To je způsobeno tím, že sledovaný objekt - stroj je v pohybu (dynamické měření). V takovém případě přesnost určené polohy výrazně klesá, oproti určování polohy tělesa v klidu (statické měření). Přesnost určení polohy pomocí samotného GPS je jen v řádu metrů, kdežto pro stavební účely je třeba dosáhnout vyšších přesností[4], [14]. Z tohoto důvodu se používá RTK (Real time kinematic) KOREKČNÍ signál, který je používán i pro navigaci zemědělských strojů, díky kterému dojde k zpřesnění polohy. Při velmi vysokých přesnostech je možné dosáhnout až jednotek centimetrů.

Využití referenční stanice s korekčním RTK signálem je jen jedna z možností zpřesnění. Další možností je korekce za pomoci laseru. V principu se jedná o GPS nivelaci zpřesňovanou laserovou nivelací. Přijímače jsou na stroji pro každý typ signálu zvlášť, nebo mohou být použity přijímače uzpůsobené pro příjem obou signálů. Pro korekci je možné použít také stanici UTS[2]. Avšak korekce GPS nivelace RTK signálem je v dnešní době používána nejvíce. Při použití RTK korekčního signálu jsou nejvíce zachovány výhody určování polohy GPS, hlavně mobilita stroje s velkým akčním rádiusem. Při využití korekcí od laseru nebo UTS je akční oblast stroje omezena dosahem tohoto korekčního signálu, který je menší než dosah RTK signálu.

Přední výrobci nivelačních systémů nabízí využití takzvaných virtuálních referenčních stanic. Fyzické referenční stanice, které spravuje výrobce, jsou rozmístěny tak aby pokryly co největší oblast (ideálně celé území státu ve kterém je služba nabízena)[11], [19]. V důsledku se nejedná o nic jiného než o RTK signál poskytovaný výrobcem, který je přenášen do stroje za pomoci internetu. Odpadá tak nutnost fyzického umístění referenční stanice na stavenišťe, a její zkalibrování na zaměřený geodetický bod.

2.4.3 Oblast použití

Nivelační systémy GPS jsou obvykle používány jako 3D systémy, tedy 3D GPS. Jejich využití je opravdu široké, jsou aplikovatelné takřka na všechny typy strojů a pro všechny typy pracovních úkonů. Svůj potenciál nejvíce využijí u složitých povrchů jako třeba zakřivené plochy, nebo plochy se změnami sklonu[11]. Ovšem 3D GPS nivelace je možné použít také na jednodušší rovinné práce, stejně jako předešlé nivelační systémy. V tomto směru poskytují vysokou univerzálnost.

2.4.4 Výhody

Tento systém má řadu výhod, které v součtu vedou hlavně k vysoké pracovní efektivitě stroje a snížení celkových nákladů na práci na stavbě.

Není nutný přímý kontakt stroje a referenční stanice

Na rozdíl od laserových nivelací, GPS signál není odstiňován ostatními stroji nebo jinými překážkami. To stejné platí také pro přenos RTK korekcí za pomoci rádiového signálu. To je také důvod proč GPS antény nebývají výškově posuvné, protože nehrozí odstínění signálu pevnou překážkou. Tato vlastnost ještě více zvyšuje mobilitu stroje a jeho možnou pracovní oblast. Velkou výhodou je, že stroj tak může pracovat i mimo přímý vizuální kontakt s referenční stanicí např. za horizontem.

Velký pracovní rozsah

Tato výhoda částečně souvisí s předchozí výhodou. Díky tomu, že není nutný přímý kontakt stroje a referenční stanice, tak je velikost pracovní oblasti stroje závislá jen na dosahu korekčního signálu z referenční stanice. Tento rozsah obvykle bývá v řádu kilometrů. Při využití virtuální referenční stanice je rozsah omezený pouze nutností signálu GPS a dostupností internetového připojení.

Volnost pohybu stroje

Stroj se může po staveništi pohybovat jakýmkoliv směrem až za hranici vizuálního kontaktu s referenční stanicí. I tak je stále zachována plná funkčnost nivelačního systému a nesnižuje se ani přesnost. Právě velkého pracovního rozsahu s neomezenou systematizací jízd stroje se s oblibou využívá na velkých a členitých stavbách.

Možnost práce více strojů

Referenční stanice posílající korekce za pomoci rádiového signálu umožňuje připojení více strojů. Při práci více strojů se sníží celkový čas na realizaci stavby. Tato výhoda se nejvíce projevuje na velkých stavbách, kde je možné požit jednu referenční stanici pro všechny stroje. V takovém případě jediným limitem je maximální možný počet strojů připojených k jedné stanici[11].

Snížení počtu geodetických měřických úkonů

K určitému snížení měřických úkonů může dojít u jakéhokoliv nivelačního systému. K nejvýraznějšímu snížení však dochází jednoznačně s GPS nivelací, která pracuje s vytvořeným 3D modelem. Geodetické práce nutné pro stroj se tak prakticky omezí jen na zaměření bodu pro referenční stanici, vytyčení kontrolních bodů a následnou kontrolu po dokončení prací. Naopak odpadá nutnost dlíhého přeměrování a kontroly v průběhu práce stroje, nebo vytyčování oblasti pro zpracování stavebním strojem[20].

2.4.5 Nevýhody

GPS nivelace má však i nevýhody, které vychází hlavně z povahy GPS určování polohy.

Pro určení polohy je nutná komunikace s několika satelity

Satelitní systémy jsou navrženy tak, aby vždy byla, z jednoho místa, možná komunikace s dostatečným počtem družic. Tohle je však pouze teoretický model[14]. V praxi se občas stane, že komunikace s družicemi je odstíněna nebo jich není dostatek. V takovém případě GPS nivelaci nelze použít a místo ní se obvykle použije nivelačním systémem řídicím stroj za pomoci UTS. Typickými místy kde může dojít k odstínění je členitý terén, městská zástavba, hluboký výkop, práce v lese, nebo práce v tunelu.

Pro některé aplikace nedostačující přesnost

Pro velkou řadu prací a strojů je přesnost jednotek centimetrů naprosto dostačující. Takovými jsou přípravné, případně dokončovací práce, hlavně u zemních strojů. Zejména pro stroje pro výstavbu silnic jsou požadavky na přesnost vyšší a přesnost v řádu centimetrů je nedostačující. U takových strojů je většinou uplatňováno řízení pomocí UTS.

2.5 Univerzální totální stanice (UTS)

Univerzální totální stanice není nic jiného než digitalizovaný automaticky pracující teodolit s digitálním měřením vzdálenosti[4]. Teodolit je zařízení měřící jen horizontální a vertikální úhly, případnou vzdálenost měřeného objektu je možné dopočítat za pomoci trojúhelníků. Naopak UTS tuhle tuhle vzdálenost měří přímo za pomoci laserového paprsku. Měření probíhá následujícím způsobem. Dalekohled je namířen na měřený objekt, v našem případě odrazový hranol stroje, pak je vyslán laserový paprsek a je měřena doba do navracení paprsku. Z doby letu je následně vypočítána přímá vzdálenost objektu. Protože je UTS robotizovaná totální stanice tak nasměrování dalekohledu na odrazový hranol probíhá automaticky a mění se s pohybem stroje. Ze změřené přímé vzdálenosti

a horizontálního a vertikálního úhlu je přepočítána přesná poloha měřeného objektu[21], [22].

2.5.1 Princip práce

U univerzální totální stanice je opět nutné aby po celou dobu práce byl stroj v jením zorném poli. Proto je vhodné její umístění tak aby pokrývala co největší (ideálně celý) prostor potřebný pro práci stroje. Při práci stanice je nutné aby byla ve vodorovné poloze, jinak by její naměřené hodnoty byly zkreslené. Stanice se umísťuje na známý geodetický bod. Často však bývá poloha známého bodu nevhodná a je nutné polohy stanice zaměřit. Zaměřování stanice se provádí za pomoci měřické výtyčky se zaměřovacím hranolem a je nutné zaměřit její polohu vůči třem známým geodetickým bodům.



Obrázek 2: UTS Leica iCON iCR80[23]

Po zaměření je stanice připravena k práci. UTS při práci míří na zaměřovací hranol na stroji, při pohybu stroje se automaticky natáčí i totální stanice. Stanice za pomoci úhlů a vzdáleností přepočítává polohu stroje, přičemž je informace o poloze neustále odesílána do měřického hranolu na stroji. Hranol musí být na stroji umístěn nad úroveň kabiny aby nedošlo k zastínění hranolu před totální stanicí[21]. Z komunikace mezi UTS a hranolem získá řídicí jednotka ve stroji informaci pouze o poloze stroje, ale to samo o sobě nestačí. Ostatní informace jako např. natočení nebo podélný sklon jsou získávány z dílčích senzorů na stroji. Tyto informace řídicí systém zpracuje aby zjistil polohu pracovního nástroje. Dále je již postup stejný jako u předchozích systémů. Diference mezi požadovanou a reálnou polohou pracovního nástroje je zobrazena v kabině strojníka, nebo dále zpracována pro ovládání hydrauliky stroje. Řízení stroje za pomoci UTS může být tedy pasivní nebo aktivní.

Také u tohoto typu systému je možná práce s předem vytvořeným 3D modelem stavby. Pokud systém pracuje s 3D modelem, požadované hodnoty polohy nástroje se už ve stroji nezadávají.

Na rozdíl od předchozích nivelačních systémů, zde není možnost použití duálních přijímačů, respektive se tato možnost nepoužívá. Totální stanice totiž dokáže pracovat jen s jedním hranolem. Takže v případě dvou přijímačů na stroji by bylo nutné použít také dvě UTS.

2.5.2 Přesnost práce nivelačního systému

Nivelace využívající UTS obecně dosahuje velmi vysokých přesností, řádově jednotky milimetrů, což je o řád níže než GPS nivelace. Možný dosah UTS, a tím pracovní rozsah stroje, jsou stovky metrů, obdobně jako u laserových nivelací.

2.5.3 Oblast použití

Vysoká přesnost práce je jeden z důvodů proč je UTS s oblibou využívána v praxi. Svoje uplatnění najde hlavně při aplikacích se stroji pro výstavbu silnic (frézy, finišery) a stroji vykonávající dokončovací zemní práce[20], [24]. Většinou se jedná o 3D nivelační systém, 3D UTS. Její další využití se tedy nachází tam, kde špatný GPS signál a použití 3D GPS nivelačního systému je znemožněno. V takovém případě je vhodná téměř pro všechny typy stavebních stojů.

2.5.4 Výhody

Nivelace za pomoci UTS má dvě hlavní výhody, které jsou i hlavní důvody využívání tohoto typu nivelace před ostatními. Zejména před 3D GPS nivelací, kterou plně nahrazuje tam kde nejde využít.

Vysoká přesnost

Nivelační systém řízený UTS může dosahovat přesnosti až v jednotkách milimetrů, což je dostatečné pro všechny typy stavebních prací. Dosahovaná přesnost takřka není ovlivňována vnějšími vlivy. Vysoká přesnost tvoří z UTS nivelace velmi univerzální systém. Je vhodná pro přesné dokončovací práce, ale najde využití i pro hrubé přípravné práce.

Pracuje v místech se špatným GPS signálem

V tohle případě UTS těží z nevýhody GPS nivelace. Totální stanice nachází využití všude tam, kde je nedostatečně kvalitní signál GPS pro GPS nivelace. Uplatnění nachází zejména v členitém terénu, v husté městské zástavbě, v zalesněných oblastech, nebo při práci v tunelech.

2.5.5 Nevýhody

Naopak hlavní nevýhody jsou podobného typu jako u laserových systémů.

UTS a odrazový hranol musí být v kontaktu

Tohle je hlavní nevýhoda UTS. Jakmile je zorné pole totální stanice na hranol přerušeno jakoukoliv překážkou, tak stroj ztratí signál. Tento problém je řešen vysunutím hranolu až nad úroveň stroje. I tak ale může docházet k omezení zorného pole např. vysokými náspy, okolními stavbami nebo pohybem ostatních strojů. Při omezování zorného pole se také snižuje akční rádius stroje.

Nízký pracovní dosah UTS

Řízení stroje pomocí UTS má malý pracovní rozsah hlavně v porovnání s GPS nivelačními systémy. Vzhledem k tomu, že se řízení stroje podle GPS nejčastěji nahrazuje řízením za pomoci UTS, tak je toto porovnání důležité. V případě velkých staveb, typicky při stavbě silnic, je nutné totální stanici postupně posouvat dle potřeby. Stroj tak musí zpracovat nejprve plochu s dosahem UTS a následně se posunout dál i se stanicí. Stanice se musí po každém přesunu znovu zaměřit, nebo pro ni musí být nachystané již zaměřené geodetické body. Posouvání stanice tak způsobuje prodlevy při práci stroje.

3 Nivelační systémy pro dozery

Pro dozery jsou obvykle využívány 2D nebo 3D systémy. Přičemž 2D systémy bývají laserové, případně řízení za pomoci GPS. V případě 3D systémů se jedná výhradně o systémy řízené GPS signálem, nebo UTS.

3.1 Nivelační systémy Trimble

Trimble je americká společnost nabízející širokou škálu nivelačních systémů pro stavební stroje, dále nabízí například navigační systémy pro zemědělské stroje. Dozery je možné vybavit několika nivelačními systémy Trimble. Základním systémem je GCS900, pracující jako 2D systém, který je možné rozšířit na 3D. Pokročilejším systémem v nabídce je Trimble Earthworks[20].

Trimble poskytuje pro své GPS nivelační systémy službu virtuálních referenčních stanic VRS Now. Nivelačnímu systému na stroji tak jsou posílány korekční data ze sítě referenčních stanic, které spravuje Trimble. Pokud nivelace využívá služby VRS Now, tak na stavbě není třeba referenční stanice[20], [25].

3.1.1 Trimble GCS900

Tento nivelační systém umožňuje řízení stroje za pomoci ultrazvuku nebo laseru. V případě laserové nivelace se nabízí dvě možné koncepce řízení stroje[20]:

- jeden laserový přijímač a senzor natočení
- dva laserové přijímače

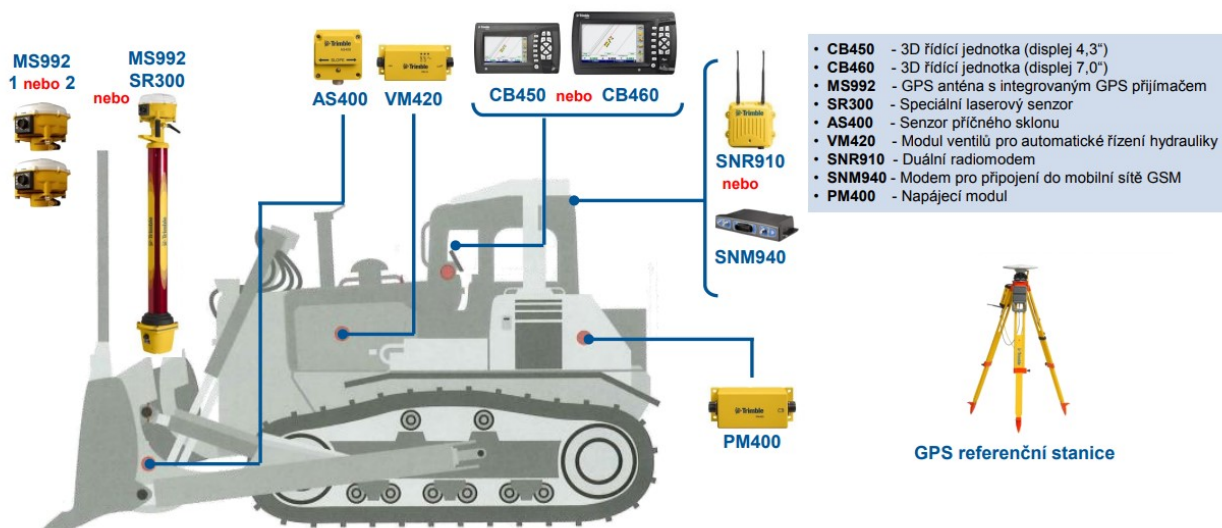
Při použití jednoho přijímače s senzorem natočení je příčný sklon radlice fixně nastaven v řídicím systému a senzor pouze kontroluje reálnou hodnotu natočení. Laserový senzor tak měří pouze výšku radlice. Naopak u nivelačního systému se dvěma přijímači je měřena výška i náklon pracovního nástroje. Při práci stroje jsou tedy měřeny obě hodnoty. Díky tomu je možné měnit i náklon, pro dosažení přesnějších hodnot zpracovávaného povrchu[11].

Trimble GCS900 - 2D nachází použití hlavně pro jednoduché práce rovinného charakteru. Velkou výhodou je možnost přestavby na 3D nivelaci.

Trimble GCS900 - 3D je na rozdíl od 2D systému řízen GPS signálem, nebo UTS. Také u zde je několik možných koncepcí použití přijímačů pracovního signálu[20]:

- jeden GPS přijímač a senzor natočení
- dva GPS přijímače
- odrazový hranol pro UTS

K přestavbě ze 2D na 3D stačí vyměnit senzory pro příjem laserového signálu za senzory pro GPS signál a modem pro příjem RTK korekcí, ostatní prvky systému jako např. senzory natočení zůstávají stejné. Pokud je stroj řízen za pomoci UTS, tak je nutné na stroj aplikovat odrazový hranol namísto senzorů pro řízení GPS signálem. Možnosti použití jsou širší než u 2D nivelace. GCS900 pracující ve 3D režimu je určena pro jednoduché i tvarově složité pracovní úkony. Pro úkoly s vysokými požadavky na přesnost se používá řízení stroje signálem z UTS[26].



Obrázek 3: Vybavení nivelačního systému GCS900 pro řízení dozeru satelitním signálem[27]

3.1.2 Trimble Earthworks

Trimble Earthworks je prakticky vylepšená nivelace GCS900. Řízení stroje zde probíhá pomocí dvou přijímačů satelitního signálu, nebo signálu z UTS. Přijímače satelitního signálu nejsou připevněny na stožárech na radlici, tak jak je obvyklé, ale jsou umístěny na střeše stroje. To přináší výhodu v lepším výhledu ze stroje, ve stísněných prostorách (hlavně při omezené maximální výšce), dále je k anténám lepší přístup při montáži a demontáži[11], [20].

Velkou nevýhodou UTS je její omezená velikost pracovní oblasti v porovnání s GPS řízením. Avšak tato nevýhoda je zde značně omezena. Systém sám upozorní strojníka na nedostatečnou kvalitu signálu a nabízí možnost přepnutí řízení na další UTS přímo z kabiny. Přepínání mezi jednotlivými stanicemi je výhodné hlavně při velkých stavbách, kde stačí rozmístit více stanic a dozer tak může pracovat neomezeně na dosahu jedné stanice.

Nivelační systém Trimble Earthworks je vhodný pro všechny typy prací. Jedná se výhradně o 3D systém, proto stroj nejčastěji pracuje podle předem vytvořeného modelu terénu, ale je zde také možnost přímého zadání hodnot do systému strojníkem[20].

3.2 Nivelační systémy Leica

Leica je Švýcarský výrobce nivelačních systémů. Dozery je možné řídit laserem, GPS signálem nebo signálem z UTS[28].

3.2.1 Leica iCON iGD1 CoPilot Solution

Nezákladnějším modelem nivelačních systémů pro dozery je Leica iCON iGD1 CoPilot Solution. Tento systém se odlišuje od klasického konceptu řízení stroje. Odlišnost je v tom, že systém nepracuje s žádným vnějším signálem. Stroj je osazen pouze senzory polohy a natočení radlice. Požadované hodnoty polohy se zadají do systému, který při jízdě stroje automaticky udržuje nástroj v zadané poloze.

iCON iGD1 CoPilot Solution pracuje jako 1D nebo 2D systém. Je vhodný pro základní práce jako je např. urovnávání nebo přehrnování. Niveláčnický systém nedisponuje žádnými senzory pro odměřování polohy od referenční výšky, proto není vhodný pro práce s požadavky na přesné rozměry zpracovaného povrchu. Výhodou je automatické udržování polohy radlice[19]. Díky tomu je zpracovaný bez vlnek a dalších nerovností, které mohou být způsobeny ručním řízením polohy radlice.

3.2.2 Leica iCON iGD2

Představitelem laserového 2D niveláčnického systému je iCON iGD2. Možnosti umístění laserových senzorů jsou celkem čtyři[29]:

- jeden laserový přijímač na pevném stojanu
- dva laserové přijímače na pevných stojanech
- jeden laserový přijímač na teleskopickém stojanu
- dva laserové přijímače na teleskopických stojanech

Teleskopické stojany mají přínos hlavně při větších výškových rozdílech mezi rotačním laserem a senzorem. Dva laserové přijímače opět měří jak reálnou výšku tak příčné natočení radlice, na rozdíl od jednoho přijímače měřícího pouze reálnou výšku.

Stroj může s tímto systémem pracovat jak v manuálním tak automatickém režimu. Použití je vhodné jak pro přípravné tak dokončovací práce s nižší tvarovou náročností terénu. Výměnou senzorů pro příjem signálu a řídicí jednotky, je možné iCON iGD2 přestavit na 3D systém[19].

3.2.3 Leica iCON iGD3

Značka Leica nabízí také 3D niveláčnický systém pro dozery, tím je iCON iGD3. K řízení stroje je možné využívat několika typů pracovních signálů a několika možností rozložení přijímačů[19], [28]:

- laserové přijímače (nivelace pracuje pouze jako 2D)
- jeden GPS přijímač na radlici a senzor natočení
- dva GPS přijímače na radlici
- dva GPS přijímače na kabině buldozeru
- odrazový hranol pro signál z UTS

Možnosti vykonávaných prací jsou ze všech tří systémů nejširší. Tento niveláčnický systém je vhodný pro všechny typy prací. Umístění GPS přijímačů na střechu stroje umožňuje jeho použití ve stísněných prostorech, stejně jako u niveláčnického systému Trimble EarthWorks. Při práci s UTS, na velkých stavbách kde jedna stanice nestačí rozsahem, je možné pohodlně přepínat příjem signálu z jednotlivých stanic přímo z kabiny.

3.3 Nivelační systémy Topcon

Topcon je Japonský výrobce systémů pro řízení strojů. Řízení dozerů nivelačními systémy Topcon probíhá za pomoci satelitního signálu GPS, nebo signálu z UTS[15], [30].

3.3.1 Topcon 3D-MC²

Jedná se o 3D systém pracující se signálem GPS. Tento systém opět nabízí možnost použití jen jedné nebo dvou antén pro příjem signálu. Výrobce u tohoto produktu uvádí, že rychlost práce může být až o 200% vyšší než u jiných 3D nivelací a kvalita odvedené práce je srovnatelná s grejdry. Pro zachování přesnosti při velkých pracovních rychlostech je frekvence aktualizace polohy radlice 100Hz. Určování polohy stroje, respektive radlice je prováděno za pomoci polohovacích systémů GPS a GOLONASS[18], [24]. Rozložení jednotlivých senzorů na buldozeru je možné vidět na obrázku č. 1 na straně 19.

Možnost využití nivelačního systému je od přípravných prací až po dokončovací. Nevýhodou je, že stroj je možné řídit jen satelitním signálem. Nemožnost řízení stroje za pomoci UTS omezuje oblast použitelnosti tohoto systému jen na místa s dobrou kvalitou GPS signálu.

3.3.2 Topcon 3D-MC^{MAX}

Topcon 3D-MC^{MAX} je vylepšený nivelační systém částečně vycházející z nivelace Topcon 3D-MC². Hlavní změnou je integrace celého systému do stroje. Antény pro příjem signálu jsou umístěny na kabině dozeru. Protože jsou antény umístěny na stroji a ne na radlici, je nutné ještě měřit polohu radlice vůči stroji. Měření probíhá za pomoci 2 IMU senzorů zabudovaných do Topcon MC² senzorů, přičemž jeden je umístěn na radlici a druhý na stroji. MC² senzory měří zrychlení což přispívá k lepší přesnosti práce. Řízení stroje je možné buď satelitním signálem z polohovacích systémů GPS a GOLONASS, nebo signálem z UTS[15], [24].

Nivelační systém najde využití u všech typů běžných prací pro dozery.

3.4 Nivelační systémy Moba

Německým výrobcem nivelačních systémů je Moba. Nabízí 2D a 3D nivelační systém pro dozery, který využívá laseru, satelitního signálu GPS, nebo UTS jako pracovního signálu[31].

3.4.1 Moba GS-506

Zástupcem 2D nivelace pro dozery je Moba GS-506. Obvykle je dozer řízen laserovým signálem. Laserový senzor se umísťuje na radlici na stožár. Stožár může být teleskopický s automatickou změnou výšky, to umožňuje větší horizontální pracovní rozsah radlice, respektive stroje[32], [33].

Vhodné použití nivelačního systému je pro tvarově méně náročné práce od přípravy až po dokončování. Systém je také možné přestavět z 2D na 3D, ale v tom případě je již stroj řízen signálem GPS, případně UTS.

3.4.2 Moba XSITE PRO 3D

Moba XSITE PRO 3D pracuje se satelitním signálem GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou. Příjem signálu pro řízení stroje probíhá přes dva přijímače umístěné na radlici. Zajímavostí je, že výrobce k hlavnímu tabletu dodává ještě přídavné monitory zobrazující výšku rohů radlice. Přídavné monitory mohou být libovolně umístěny v kabině[32], [34]. Využití najdou hlavně v manuálním režimu, kdy strojník při řízení stroje potřebuje rychle odečítat polohu radlice vůči referenční poloze.

Jelikož se jedná o 3D nivelaci, tak je její použití vhodné pro všechny typy prací bez ohledu na tvarovou náročnost. Nevýhodou je, že XSITE PRO 3D pracuje jen se satelitním signálem, a tak je jeho využitelnost omezena na místa s dobrou kvalitou tohoto signálu.

3.4.3 Moba 3D-Matic

Dalším nivelačním systémem je Moba 3D-Matic, opět se jedná o 3D systém řízený satelitním signálem. Na rozdíl od XSITE PRO 3D je tento systém určený hlavně jako přídavný pro stroje nedisponující nivelačním systémem již z výroby. Příjem satelitního signálu probíhá jen jednou anténou, ale přibývá zde možnost řízení stroje i za pomoci UTS[32],[35].

Nivelační systém Moba 3D-Matic je vhodný i pro tvarově složité práce. Pro práce s vysokými nároky na přesnost je vhodné použít signál z UTS, v takovém případě je možné dosáhnout přesnosti až 5mm vertikálně.

3.5 Nivelační systémy Nivel system

Nivel system je polský výrobce zabývající se především měřicími přístroji pro stavebnictví. Pro řízení strojů má v nabídce laserový nivelační systém[36].

3.5.1 Nivel system MC-1D

Jedná se o laserem řízený 1D nivelační systém. Je technicky nejjednodušší ze všech zde uvedených modelů. Hlavním prvkem je laserový přijímač, který přímo indikuje polohu vůči referenční hladině vytvořené rotačním laserem. Tato informace je také zobrazována na displeji v kabině stroje. K řízení stroje není k dispozici žádný automatický režim[36]. Systém tedy slouží pouze k určení polohy radlice vůči referenční hladině při manuálním řízení buldozeru.

Pro náročnější práce je tento systém nevhodný. Využití najde u jednoduchých úkonů jako je srovnávání nebo rozhrnování.

3.6 Porovnání nivelačních systémů pro dozery

Tabulka 1: Základní parametry vybraných nivelačních systémů pro dozery [11], [15], [19], [20], [24], [31], [36]

	Laser	GPS	UTS	Počet pracovních rovin	Dosažitelná přesnost [±mm]	Pracovní rádius (Laser/UTS) [m]
Trimble GCS900	+	+*	+*	2D, 3D*	5-25	450/700
Trimble Earthworks	-	+	+	3D	5-25	×/700
Leica iCON iGD1 CoPilot Solution	-	-	-	1D	NEUDÁNO	×/×
Leica iCON iGD2	+	-	-	2D	3,3	400/×
Leica iCON iGD3	-	+	+	3D	3-20	×/750
Topcon 3D-MC ²	-	+	-	3D	15	×/×
Topcon 3D-MC ^{MAX}	-	+	+	3D	3-15	×/300
Moba GS-506	+	+*	-	2D, 3D*	5-15	500/×
Moba XSITE PRO 3D	-	+	-	3D	15	×/×
Moba 3D-Matic	-	+	+	3D	5-15	×/200
Nivel system MC-1D	+	-	-	1D	10	250/×

* po přestavbě

Základní parametry vybraných nivelačních systémů pro dozery od jednotlivých výrobců jsou porovnány v tabulce č. 1 výše. V tabulce jsou zobrazeny typy pracovních signálů se kterými dokáže systém pracovat, v jakém režimu systém pracuje, dosažitelná přesnost a nakonec rádius pracovní oblasti je-li stroj řízen rotačním laserem či UTS. Parametry dosažitelné přesnosti a pracovního rádiusu jsou tabulkové hodnoty od výrobců za ideálních podmínek. V reálné praxi může být nižší jak přesnost tak i pracovní rozsah stroje, navíc se zhoršujícími se pracovními podmínkami se tyto hodnoty mohou ještě snižovat. Rotační laser nebo UTS byla vždy vybrána od stejného výrobce jako je nivelační systém. Z hlediska celkových nákladů pro provozovatele je velmi důležitým parametrem i pořizo-

vací cena nivelačního systému. Bohužel většina výrobců ani prodejců cenu neudává a tak tenhle parametr v tabulce chybí. Důvodem je poměrně široký interval reálné ceny. Cena daného nivelačního systému je závislá na výbavě a daném stroji na kterém bude pracovat.

V parametrech jednotlivých systémů je možné pozorovat značné rozdíly. Při výběru nivelace je důležité zohlednit jaké práce bude konkrétní stroj vykonávat. Pro základní úkony jako je např. rozhrnování nebo srovnávání budou plně dostačující 1D systémy, případně 2D. Naopak pokud má být stroj co nejvíce univerzální tak jsou vhodné spíše 3D systémy. Proto budou níže zhodnoceny systémy ve skupinách podle úrovně.

1D systémy

Jedná se o nivelace pro základní úkony. Nivel system využívá, oproti Leice, laser jako referenci. Naopak velkým problémem Nivel systemu je, že pracuje právě jen s laserem a nedisponuje žádnou funkcí odměřování. Leica získává referenční výšku právě odměřením.

2D systémy

Nivelace pracující ve 2D jsou vhodné pro přesné práce na tvarově jednodušších plochách např. svahování nebo dokončování povrchu. Všechny vybrané systémy pracují s laserovým signálem. Nejlepší tabulkové přesnosti dosahuje Leica, ale disponuje nejnižším dosahem laseru. Trimble a Moba dosahují stejné přesnosti, avšak Trimble má akční rádius o 50 metrů nižší, to je poměrně velký rozdíl. Rozdíl v akčním rádiu Moby v porovnání s Leicou je 100 metrů, to činí o 200 metrů menší průměr pracovní oblasti. Při tak velkém rozdílu je nutné zhodnotit zda-li je pro daný stroj důležitější přesnost, nebo velká pracovní oblast.

3D systémy

Systémy pracující ve 3D jsou obecně vhodné na univerzální stroje pro všechny typy prací. Pro práci je nejčastěji využíván satelitní signál případně UTS. Pro tyto systémy jsou přesnosti zadané v intervalu, spodní hranice intervalu platí pro UTS, horní hranice je pro satelitní signál. Nejlepší přesnosti dosahuje shodně Topcon a Leica, ale UTS od Topcon má poloviční pracovní rádius než UTS Leica. Naopak Topcon společně s Mobou dosahuje nejlepších přesností v případě využití satelitního signálu.

4 Nivelační systémy pro rypadla

Pro řízení rypadel jsou nejčastěji využívány 3D nivelační systémy pracující se satelitním signálem, případně spolupracují s UTS. Avšak existují i 2D nebo 1D nivelační systémy pracující s laserovým signálem.

4.1 Nivelační systémy Trimble

Trimble pro řízení rypadel nabízí jen jeden produkt a to Trimble Earthworks pro rypadla. I přes to jsou možnosti řízení široké. Nivelační systém může být buď 2D nebo 3D využívající laserový nebo satelitní signál nebo UTS[11].

4.1.1 Trimble Earthworks pro rypadla

Trimble Earthworks pro rypadla je možné využívat jako 2D nebo 3D systém, přičemž každý typ má jiné možnosti využívání pracovních signálů. Navíc je možné 2D nivelaci rozšířit na 3D. Nejzákladnější, možností řízení rypadla je nivelační systém skládající se jen ze senzorů na stroji, tedy bez přijímačů. V takovém případě není využíváno žádného externího pracovního signálu, nastavení parametrů povrchu probíhá jen na stroji. Dále je možné využití laserového nebo GPS signálu a UTS[16], [20].

Verze 2D systému má k dispozici 3 možné konfigurace vzhledem k pracovnímu signálu:

- práce jen se senzory polohy
- laserový signál
- satelitní signál

Naopak 3D verze pracuje s následujícími konfiguracemi:

- jedna anténa pro příjem satelitního signálu
- dvě antény pro příjem satelitního signálu
- odrazový hranol pro UTS

Zajímavou funkcí je rozšířená realita, jedná se o možnost promítnutí 3D modelu stavby na reálný povrch. Děje se tak za pomoci přídavných kamer, které snímají terén před strojem a zobrazují jej na displeji v kabině, zobrazení funkce je možné vidět na obrázku č. 4 níže. Na reálný terén je tak navázán 3D model, který je zobrazován barevnými čarami. Rozšířená realita pomáhá operátorovi se lépe zorientovat v terénu, čímž přispívá ke zrychlení práce, zvláště při tvarově složitých pracích[11], [37].



Obrázek 4: Funkce rozšířené reality[37]

4.2 Nivelační systémy Leica

Leica má v nabídce tři nivelační systémy pro rypadla. Rozdělení jednotlivých produktů je obdobné jako u dozerů. Základní systém Leica iCON iXE1 je určený, obdobně jako u dozerů, hlavně pro odměřování výšky lopaty, případně je možné využít laseru pro referenci. S laserovou referenční hladinou pracuje také 2D systém, pro odměřování hloubky a sklonu lopaty, Leica iCON iXE2. Posledním nivelačním systémem je Leica iCON iXE3[19].

4.2.1 Leica iCON iXE3

Tento model nivelačního systému může pracovat ve 2D nebo 3D režimu s několika možnostmi pracovního signálu a to se:

- satelitním signálem
- signálem z UTS
- laserovým signálem

Nejčastější konfigurací je 3D nivelace využívající satelitní signál.

Dále výrobce pro tento systém nabízí možnost práce pod vodou. V takovém případě je nutné výložník a násadu osadit odolnější senzorovou technikou. Oproti klasickému použití musí senzory pro práci pod vodou odolávat vyšším požadavkům na těsnost a hydrostatickému tlaku[19].

4.3 Nivelační systémy Topcon

K řízení rypadel nivelačními systémy společnosti Topcon je možné vybírat mezi dvěma modely. Zástupcem 2D nivelace je Topcon X52, pro 3D řízení slouží model Topcon X53[24].

4.3.1 Topcon X52

U tohoto modelu je k měření referenční výšky používán laserový signál. Jednotlivé komponenty jsou plně sdíleny s vyšší řadou X53. Vylepšení na 3D systém je proto bezproblémové. V podstatě se jedná o model X53 omezený jen na laserový signál[18].

4.3.2 Topcon X53

Topcon X53 poskytuje, oproti předchozímu modelu, několik možností typu pracovního signálu. Dokáže pracovat s[24]:

- laserovým signálem.
- satelitním signálem.
- signálem z UTS.

Displej, označený jako GX55, v kabině stroje je stejný jak pro tento model, tak pro předchozí X52. U toho nivelačního systému je k dispozici zobrazování polohy v reálném čase, avšak tato funkce není u nižší řady X52 dostupná[15]. Zajímavostí je že pro zobrazování polohy lopaty jsou zde použity barevné světelné lišty po obvodu monitoru jak je možné vidět na obrázku č. 5. Konkurence jako například Trimble tuhle funkci má řešenou softwarově v zobrazovací části monitoru, to je možné vidět i na obrázku č. 4 na straně 34.



Obrázek 5: Monitor GX55[15]

4.4 Nivelační systémy Moba

Moba má v nabídce dva produkty pro rypadla. Základním modelem je Moba XSITE EASY, pokročilejší model pak představuje Moba XSITE PRO[32].

4.4.1 Moba XSITE EASY

Jak již bylo zmíněno jedná se o základní model nivelačního systému pro rypadla. XSITE EASY měří výšku a náklon lopaty, k měření výšky používá jako referenci laserový signál. Nivelace však dokáže pracovat i bez laserového signálu. Tato nivelace je vhodná i pro miniryfadla[31].

4.4.2 Moba XSITE PRO

Moba XSITE PRO je nabízena ve verzi 2D nebo 3D nivelace. Pro určování polohy slouží satelitní signál, případně může být využito laserového signálu. Díky sdíleným komponentům 2D verze s 3D verzí, je možné 2D model vylepšit na 3D[31].

Mezi další funkce patří například naprogramování zakázaných zón při práci stroje, tím se zvyšuje bezpečnost a snižuje riziko překopnutí např. podzemní infrastruktury[32].

4.5 Nivelační systémy iDig

Nivelační systémy iDig pochází z Francie. iDig je součástí společnosti Bridgin Group, která je velkým producentem stavebních laserů. Nivelační systémy tohoto výrobce jsou zaměřeny jen na rypadla, v nabídce jsou dva modely[18].

4.5.1 iDig Touch

Nižším modelem ze dvou nabízených je iDig Touch. S nivelací je možné kontrolovat výšku a sklon, a to buď v 1D nebo 2D režimu. K určení referenční výšky dochází odměřením lopatou, nebo může být použit laserový signál[6].

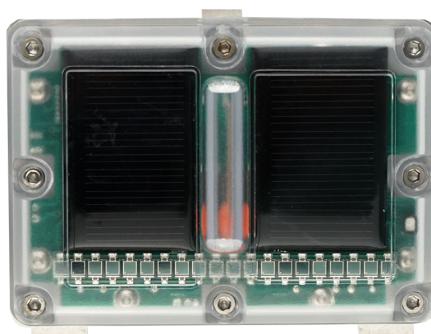
Poměrně netradiční je řešení polohových senzorů na rameni rypadla. Sensory jsou bezdrátové a data z nich jsou přenášena radiovým signálem. Sensory jsou napájeny pomocí zabudovaného solárního panelu, bez světla dokáží při plném nabití pracovat až 50 hodin. V senzoru na násadě je zabudován i přijímač laserového signálu pro případ využití laseru jako reference. Sensor je možné vidět na obrázku č. 6 níže. Sensory se na stroj připevňují jen zacvaknutím do speciálního držáku. Bezdrátová konstrukce a způsob připevnění senzorů umožňují rychlé předělání nivelačního systému na jiný stroj[18].

4.5.2 iDig Connect

iDig Connect je 2D nivelace s možností vylepšení na 3D. Výrobce tento model rozděluje třemi dalšími označeními, které se liší typem pracovního signálu a počtem pracovních rovin, na[6]:

- iDig Connect 2D - laserový pracovní signál
- iDig Connect 2D+ - laserový nebo satelitní signál
- iDig Connect 3D - satelitní signál

Senzory jsou zde opět bezdrátové, ale přenos informací zde probíhá technologií Bluetooth 5. Anténu pro příjem satelitního signálu je možné sejmout ze stroje a použít s měřickou výtyčkou na kontrolní měření, tuto funkci výrobce nazývá jako GNSS Spotman[6], [18].



Obrázek 6: Bezdrátový senzor nivelace iDig[38]

4.6 Porovnání nivelačních systémů pro rypadla

Tabulka 2: Základní parametry vybraných nivelačních systémů pro rypadla [6], [11], [15], [18], [19], [20], [24], [32],

	Laser	GPS	UTS	Počet pracovních rovin	Dosažitelná přesnost [±mm]	Pracovní rádius (Laser/UTS) [m]
Trimble Earthworks pro rypadla	+	+	+	2D, 3D	5-25	450/700
Leica iCON iXE1	+	-	-	1D	NEUDÁNO	400/×
Leica iCON iXE2	+	-	-	2D	3,3	400/×
Leica iCON iXE3	+	+	+	3D	3-20	400/750
Topcon X52	+	-	-	2D, 3D*	3	400/×
Topcon X53	-	+	+	3D	3-15	400/300
Moba XSITE EASY	+	-	-	1D, 2D	10	500/×
Moba XSITE PRO	+	+	-	2D, 3D	10-15	500/×
iDig Touch	+	-	-	1D, 2D	10	300/×
iDig Connect	+	+	-	2D, 3D	10	300/×

*po přestavbě

V tabulce č. 2 jsou porovnány základní parametry nivelačních systémů pro rypadla. Informace do tabulky byly získávány stejným způsobem jako u tabulky č. 1 popsaným v kapitole 3.6. Proto zde bude rovnou přistoupeno k zhodnocení jednotlivých skupin nivelačních systémů.

1D systémy

Ve výběru nivelačních systémů pracují v režimu 1D nivelace Leica, Moba a iDig. Moba a iDig poskytují stejnou přesnost práce, ale laser Moba má výrazně vyšší pracovní rozsah. Laser nivelace iDig má naopak nejmenší dosah. Navíc Moba a iDig dokáže pracovat i ve 2D režimu, avšak Leica tuto možnost nemá. Tento typ nivelací je vhodný pro jednoduché pracovní úkony jako jsou např. výkopy.

2D systémy

Nejčastějším pracovním signálem u 2D nivelačních systémů je laser. Nejlepší přesnost poskytuje Leica a Topcon. Naopak největší pracovní rozsah poskytuje Moba a nejmenší iDig. Rozdíl pracovních rozsahů dvou zmíněných je výrazný, vzhledem k tomu že oba dosahují stejné přesnosti. Tyto nivelace najdou využití např. při svahování.

3D systémy

Nejlepších přesností práce dosahuje Leica a Topcon za předpokladu využití UTS. Naopak při využívání satelitního signálu má dobrou přesnost Topcon a Moba. Pracovní dosah UTS u Topconu je v porovnání s ostatními malý. 3D systémy jsou vhodné pro stroje vykonávající tvarově náročné práce nebo pro stroje které jsou určeny jako univerzální pro všechny typy prací.

Závěr

Hlavní cíle práce byly rešeršní rozbor nivelačních systémů pro stavební stroje a přehled vybraných nivelačních systémů používaných v Evropě. Nivelační systémy slouží k řízení stavebních strojů, kde přispívají se zvýšení přesnosti a rychlosti práce. Obecně je možné je dělit podle počtu pracovních rovin a podle pracovního signálu. Nivelační systémy mohou pro svou práci využívat ultrazvukový, laserový a satelitní signál nebo signál z UTS.

Ve druhé části byly porovnány vybrané modely nivelačních systémů určených pro dozery a pro rypadla. Výběr modelů probíhal mezi výrobci dostupnými na Evropském trhu. Základní parametry jednotlivých nivelací byly tabulkově porovnány a následně zhodnoceny. Pro objektivnější výsledky zhodnocení probíhalo vždy v několika skupinách, v každé skupině tak byly hodnoceny modely na stejné úrovni. Při porovnání parametrů v jednotlivých skupinách jsou největší rozdíly v pracovním dosahu laserového signálu a signálu z UTS, dosažitelná přesnost práce se již tak výrazně neliší.

Prostor pro zlepšení nivelačních systémů je buď ve zvýšení přesnosti nebo pracovního rozsahu. V tabulkovém porovnání je možné pozorovat, že u každého typu pracovního signálu je jeden ze zmíněných parametrů horší, a to platí i obecně. Nivelace řízené laserem nebo UTS i za předpokladu ideálních podmínek disponují malým pracovním rozsahem v porovnání se satelitním signálem. Naopak využití satelitního signálu poskytuje obvykle nejnižší dosažitelnou přesnost práce. Řešením malého pracovního rozsahu je použití více zdrojů signálu. Některé modely nivelačních systémů již samy kontrolují kvalitu signálu, případně je možné přepínat jeho příjem z jednotlivých zdrojů přímo z kabiny. Jako další možný vývoj je funkce zmíněného přepínání ve zcela automatickém režimu, v takovém případě by byl vhodný i software pro výpočet ideálního rozmístění jednotlivých zdrojů. Nízká přesnost v případě satelitního signálu je však mnohem komplikovanější problém. Korekce RTK již zřejmě bude možné zpřesňovat jen velmi komplikovaně, pokud vůbec. V současné době je tento problém řešen přidáním signálu z UTS nebo laseru, tím ale satelitní signál přichází o své výhody ve formě velkého okruhu pohybu.

Trendem posledních let je poloautomatické nebo automatické řízení stroje. Avšak i automatické řízení stroje stále vyžaduje strojníka, jedná se tak spíše o pokročilého asistenta. Vývoj v tomto směru je poměrně dynamický a vede ke stále vyšší automatizaci. V budoucnu vývoj zřejmě dospěje k plně autonomním strojům. Ale domnívám se, že plně autonomní řízení bude i tak možné využít jen u vybraných strojů pro vybrané práce a stále bude nutné využívat i manuálně řízené stroje.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *A Guide to Machine Control* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.sitechsw.com/a-guide-to-machine-control/>.
- [2] DZHABRAILOV, Kh. A.; CHANTIEVA, M. E.; MARSOVA, E. V.; SELEZNEVA, P.A.; LYGIN, P. A. Digital Control System for Leveling of Construction Sites. In: *2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. 2022, s. 1–7. Dostupné z DOI: [10.1109/IEEECONF53456.2022.9744292](https://doi.org/10.1109/IEEECONF53456.2022.9744292).
- [3] *What is machine control?* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://xsitemachinecontrol.com/what-is-machine-control/>.
- [4] KAŠPAR, Milan. *Lasery ve stavebnictví a navigace strojů*. 1. vyd. Praha: ČKAIT - Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2001. ISBN 80-86364-61-5.
- [5] MAZURKIEVIČ, Izidor. *Mobilné pracovné stroje : zemné stroje*. 1. vydanie. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2014. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-4190-3.
- [6] *IDig 2D & 3D Machine Control for Excavators* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.idig-system.com/>.
- [7] *Jaký je rozdíl mezi nivelací 1D a 2D?* 2020. Dostupné také z: https://www.nivelis.cz/blog/2020/02/14-jaky-je-rozdil-mezi-nivelaci-1d-a-2d_.
- [8] *Ultrazvuk*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrazvuk%5C#>.
- [9] LAUBHAN, Devin. *2D? 3D? Selecting the Right xD for Your Paving Workflow* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://theasphaltpro.com/articles/2d-3d-selecting-the-right-xd-for-your-paving-workflow/>.
- [10] SZAFRANKO, E. Machine control systems for leveling areas for road investments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, roč. 709, č. 2, s. 022077. Dostupné z DOI: [10.1088/1757-899X/709/2/022077](https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/2/022077).
- [11] *Sitech CZ*. 2021. Dostupné také z: <https://www.sitech-czech.cz/>.
- [12] *What is GNSS?* [B.r.]. Dostupné také z: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>.
- [13] *GPS*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://education.nationalgeographic.org/resource/gps/>.
- [14] KREJČÍ, Tomáš. *Analýza jízdy vozidla řízeného Trimble AutoPilot*. Univerzita Pardubice, 2014.
- [15] *Topcon Totalcare* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <http://topconcare.com/en/hardware/grading-systems/>.
- [16] RYBÁŘ, Jan. Volvo EC250E L dostalo maximální výbavu a 3D nivelaci. *Stavební technika*. 2022, roč. 21, č. 4/2022, s. 14–17. ISSN 1214-6188.

- [17] DZHABRAILOV, Kh. A.; CHANTIEVA, M. E.; MARSOVA, E. V.; SELEZNEVA, P. A.; LYGIN, P. A. Concept of Digital Leveling System of Construction Sites. In: *2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*. 2021, s. 1–5. Dostupné z DOI: [10.1109/TIRVED53476.2021.9639096](https://doi.org/10.1109/TIRVED53476.2021.9639096).
- [18] *Řízení stavebních strojů* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.nivelis.cz/rizeni-stavebnich-stroju>.
- [19] *Leica Geosystems*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://leica-geosystems.com/>.
- [20] *Trimble Heavy Industry*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://heavyindustry.trimble.com/en/>.
- [21] *What is a Total Station? A Comprehensive Guide* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://globalgpsystems.com/total-station/what-is-a-total-station-a-comprehensive-guide/>.
- [22] *What is a total station and how it works?* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://cpe.leica-geosystems.com/cz/blog/post/what-is-a-total-station-how-it-works.html>.
- [23] *Leica iCON iCR80 Robotic Total Station* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.sunbeltsales.co.uk/leica-icon-icr80-robotic-total-station>.
- [24] *Machine Control* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.topconpositioning.com/machine-control>.
- [25] *Grade Control for Dozers*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://www.sitechsw.com/our-solutions/machine-control-systems/dozers/>.
- [26] *Trimble 3D GCS900 Grade Control System Improves Productivity by 50%*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://heavyindustry.trimble.com/resources/customer-stories/trimble-3d-gcs900-grade-control-system-improves-productivity-by-50>.
- [27] *Trimble 3D*. [B.r.]. Dostupné také z: https://www.xservis-park.cz/pdf/trimble_3d.pdf.
- [28] *Gefos*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://www.gefos-leica.cz/>.
- [29] *Accurate Laser Systems*. [B.r.]. Dostupné také z: http://accuratelasersystems.com/machinecontrolsolutions_files/dozer.htm.
- [30] *Topcon: History*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://global.topcon.com/about/history/>.
- [31] *Moba Mobile Automation* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://moba-automation.com/>.
- [32] *MOBA Group* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://mobile-automation.eu/>.
- [33] *MOBA CZ* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.moba-czech.cz/>.
- [34] *MOBA Community* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://mobacommunity.com/>.

- [35] *MOBA 3D MATIC Leveling system* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://lasersurveyingequipment.com.au/product/moba-3d-matic-levelling-system/>.
- [36] *Nivel System: Systemy sterowania maszyn*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://nivelsystem.com/produkty/systemy-sterowania-maszyn/>.
- [37] *The Evolution of Augmented Reality*. [B.r.]. Dostupné také z: <https://sitevision.trimble.com/blog/the-evolution-of-augmented-reality/>.
- [38] *IDig components spares* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://easytracksurvey.ie/product/machine-control/idig-combo-anglelaser-sensor>.

Seznam použitých zkratek

GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
USA	United States
EU	Evropská unie
UTS	univerzální totální stanice
RTK	real time kinematic