

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb



ŘÍZENÉ A NAVÁDĚNÉ STAVEBNÍ STROJE  
V DOPRAVNÍM STAVITELSTVÍ

Bakalářská práce

Květen 2017

Lucie Lejskeová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lejskeová	Jméno: Lucie	Osobní číslo: 423041
Zadávající katedra: Katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Řízené a naváděné stavební stroje v dopravním stavitelství	
Název bakalářské práce anglicky: Machine control systems in transportation construction	
Pokyny pro vypracování: Studentka zpracuje rešerši stávajících technologií používaných pro řízení a navádění stavebních strojů. Práce bude omezena na řízené a naváděné stavební stroje používané v dopravním stavitelství. Práce bude zaměřena na přesnosti jednotlivých technologií, s tím, že bude provedeno doporučení vybrané technologie pro vybranou vrstvu konstrukce vozovky.	
Seznam doporučené literatury: Voštová, V., Křemen, T., Fries, J., Sládková, D., Jurman, J., Progresivní technika v technologiích zemních prací, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2008	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Josef Žák, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

20.2.2017	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Řízené a naváděné stavební stoje v dopravním stavitelství* vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Josefa Žáka, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků při porušení těchto práv.

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Ráda bych touto formou poděkovala mému vedoucímu práce panu Ing. Josefu Žákovi, Ph.D. za profesionální a pozitivní přístup při konzultacích a za poskytnutí potřebných informací pro tvorbu této bakalářské práce.

## **ANOTACE:**

Bakalářská práce *Řízené a naváděné stavební stroje v dopravním stavitelství* se věnuje popisu současných technologií v oblasti automatického řízení strojů. Práce je rozdělena do čtyř hlavních částí. První část obecně popisuje systémy používané k řízení a navádění strojů. Druhá část se věnuje samotným strojům používaných v dopravním stavitelství a jejich konkrétními systémy řízení a navádění. Třetí část uvádí metody, kterými můžeme zkontrolovat kvalitu provedených prací strojů. V poslední části jsou uvedeny přípustné odchylky pro jednotlivé typy vrstev vozovky. Práci uzavírá shrnutí poznatků z předchozích kapitol a vyhodnocení použitelnosti uvedených systémů pro vybranou konstrukční vrstvu vozovky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

automatizace, 3D systémy, totální stanice, GNSS, grejdry, frézy, finišery, válce, vozovka

## **ABSTRACT:**

The bachelor thesis *Machines control systems in transportation constructions* is dedicated to the description of present technologies in the field of automatic machine control. The thesis is divided into four main parts. The first part deals with the general description of systems used for controlling the machinery. The second part is focused on machinery used in transport engineering and its specific control systems. The third part introduces methods that are utilized for inspection of the quality of realized machinery tasks. The last part of the thesis describes potential errors within individual types of pavement layers. The thesis is closed with a summary of the findings from the previous chapters and evaluation of the usability of the presented systems for chosen constructional pavement layers.

## **KEYWORDS:**

automation, 3D systems, total stations, GNSS, motor graders, milling machines, paving machines, compactors, road surface

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra silničních staveb

ŘÍZENÉ A NAVÁDĚNÉ STAVEBNÍ STROJE  
V DOPRAVNÍM STAVITELSTVÍ

MACHINES CONTROL SYSTEMS  
IN TRANSPORTATION CONSTRUCTION

Bakalářská práce

Květen 2017

Vypracovala: Lucie Lejskeová

Vedoucí práce: Ing. Josef Žák, Ph.D.

## **OBSAH:**

<b>1. ÚVOD</b>	<b>11</b>
<b>2. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b>	<b>12</b>
<b>3. 3D NAVÁDĚCÍ SYSTÉMY</b>	<b>13</b>
<b>3.1 TOTÁLNÍ STANICE</b>	<b>13</b>
3.1.1 Komponenty systému	13
3.1.2 Jak systém funguje	14
3.1.3 Práce geodeta	14
3.1.4 Práce strojníka	14
3.1.5 Výhody a nevýhody	14
3.1.6 Chyby měření	15
<b>3.2 GNSS – GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM</b>	<b>15</b>
3.2.1 Satelitní systémy	15
3.2.1.1 GPS - Global Positioning System (Globální polohový systém)	15
3.2.1.2 GLONASS – Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema	16
3.2.1.3 Galileo	16
3.2.2 Zpřesnění měření	16
3.2.2.1 DGNS – Differential global navigation satellite system	16
3.2.2.2 RTK – Real time kinematic	16
3.2.3 Komponenty systému	17
3.2.4 Jak systém funguje	17
3.2.5 Práce geodeta	17
3.2.6 Práce strojníka	17
3.2.7 Výhody a nevýhody	17
3.2.8 Chyby měření	18
<b>3.3 KOMBINOVANÉ SYSTÉMY</b>	<b>18</b>
<b>3.4 VÝROBCI 3D SYSTÉMŮ</b>	<b>18</b>
3.4.1 Trimbe	18
3.4.2 Leica Geosystems	19
3.4.3 Topcon	19
<b>4. STROJE POUŽÍVANÉ V DOPRAVNÍM STAVITELSTVÍ</b>	<b>20</b>
<b>4.1 GREJDRY</b>	<b>20</b>
4.1.1 Konstrukční provedení	21
4.1.2 Systémy řízení a navádění	21
4.1.2.1 Trimble GCS900 3D	21
4.1.2.2 Leica iCON grade	25
4.1.2.3 Topcon 3DMC	27



<b>4.2</b>	<b>SILNIČNÍ FRÉZY</b>	<b>30</b>
4.2.1	Konstrukční provedení	30
4.2.2	System řízení a navádění	31
4.2.2.1	Trimble PCS900 3D	31
4.2.2.2	Leica PaveSmart 3D	32
4.2.2.3	Topcon mmGPS	32
<b>4.3</b>	<b>FINIŠERY</b>	<b>33</b>
4.3.1	Konstrukční provedení	33
4.3.1.1	Finišery pro pokládku betonových vrstev	33
4.3.1.2	Finišery pro pokládku asfaltových vrstev	34
4.3.2	Systemy řízení a navádění	35
4.3.2.1	Trimble PCS900 3D	35
4.3.2.2	Leica PaveSmart 3D	36
4.3.2.3	Topcon Paving 3D	37
<b>4.4</b>	<b>ZHUTŇOVACÍ VÁLCE</b>	<b>38</b>
4.4.1	Konstrukční provedení	39
4.4.1.1	Válce statické s hladkými ocelovými běhouny	39
4.4.1.2	Válce pneumatikové	40
4.4.1.3	Válce vibrační	41
4.4.1.4	Válce vibrační tahačové	42
4.4.2	Systemy řízení a navádění	42
4.4.2.1	Trimble CCS900 pro válce zhutňující nestmelené vrstvy	42
4.4.2.2	Trimble CCS900 pro válce zhutňující asfaltové vrstvy	45
4.4.2.3	Leica iCON roller	47
4.4.2.4	Topcon C-63	47
<b>5.</b>	<b>KONTROLA SPRÁVNOSTI MĚŘENÍ</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>NIVELACE</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>TACHYMETRIE</b>	<b>50</b>
<b>5.3</b>	<b>GNSS</b>	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b>SKENOVÁNÍ</b>	<b>50</b>
<b>5.5</b>	<b>FOTOGRAMMETRIE</b>	<b>51</b>
<b>5.6</b>	<b>MĚŘENÍ LATÍ</b>	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>TECHNICKÉ POŽADAVKY NA VOZOVKOVÉ VRSTVY</b>	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>VOZOVKA</b>	<b>53</b>
6.1.1	Rozdělení	53
6.1.2	Konstrukční vrstvy	53
6.1.2.1	Krytové vrstvy	53

6.1.2.2	Pokladní vrstvy	54
6.1.2.3	Ochranná vrstva	54
6.1.2.4	Zemní pláň	54
<b>6.2</b>	<b>ODCHYLKY</b>	<b>54</b>
6.2.1	Zemní pláň	54
6.2.2	Nestmelené vrstvy	55
6.2.3	Vrstvy stmelené hydraulickými pojivy	55
6.2.4	Asfaltové vrstvy	55
6.2.5	Cementobetonový kryt	56
<b>6.3</b>	<b>SOUHRNNÁ TABULKA</b>	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR A DOPORUČENÍ</b>	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>68</b>
<b>9.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>75</b>
<b>10.</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>77</b>

# 1. ÚVOD

V současné době se automatizace stává čím dál tím více přirozenou součástí našich životů. Není proto divu, že její vliv zasáhl i do dopravního stavitelství. Ačkoliv se může zdát, že jejím smyslem je nahrazení lidského faktoru, není tomu úplně tak, protože člověk a jeho schopnost rozhodnout se, zůstávají stále tím nejdůležitějším prvkem při budování jakýchkoliv velkých staveb, čímž dopravní stavby bezesporu jsou. Automatické řízení stroje pomocí motorizovaného systému nám sice zredukuje pár jedinců na stavbě, za to nám ale pomůže zvýšit efektivitu práce a strojů, bezpečnost na pracovišti, a hlavně přesnost v provedené práci.

Tato bakalářská práce je v první řadě zaměřena na systémy, které se využívají pro navádění a řízení stavebních strojů používaných v dopravním stavitelství. Jedná se o 1D, 2D a 3D systémy, přičemž tato práce je primárně věnovaná těm posledním zmíněným, neboť v sobě zahrnují ostatní dva. Pod pojmem 3D systém si můžeme představit navádění pomocí totálních stanic, globálních navigačních satelitní systémů nebo tzv. kombinovaných systémů. Záleží však na výrobcích, jaké systémy poskytují a pro jaké stroje jsou určeny.

Další podstatnou částí práce jsou samotné stavební stroje používané v dopravním stavitelství pro tvorbu a úpravu vozovek. Jedná se konkrétně o grejdry, frézy, finišery a zhutňovací válce. Uvedeno je jejich základní konstrukční provedení, popř. varianty provedení a samozřejmě konkrétní systémy navádění a řízení, poskytované vybranými výrobci. Dle dostupných informací jsou uvedeny přesnosti jednotlivých komponentů a od nich vyvozené přesnosti samotných technologií.

Poslední součástí je uvedení technických požadavků a přípustných odchylek pro konstrukční vrstvy vozovek a rozhodnutí, zda uvedené technologie výrobců splňují zadané požadavky na přesnosti provedení vozovkových vrstev, pro které jsou určeny.

## **2. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

D – Dálnice

DTM - Digitální model terénu

GNSS – Globální navigační satelitní systém

GSM – Globální systém pro mobilní komunikaci

H – Horizontální

L – Ložní vrstva

MK – Místní komunikace

MK R – Místní komunikace rychlostní

MK S – Místní komunikace sběrná

MZ – Mechanicky zpevněná zemina

MZK – Mechanicky zpevněné kamenivo

O – obrusná vrstva

OH – Odrazný hranol

P – Podkladní vrstva

S – Silnice

S I – Silnice I. třídy

S II – Silnice II. třídy

ŠD – Štěrkoдрť

ŠP – Štěrkoдрšek

UK – Účelové komunikace

UTS – Univerzální totální stanice

V – Vertikální

VŠ – Vibrovaný štěrko

### 3. 3D NAVÁDĚCÍ SYSTÉMY

Jak už název napovídá, tyto systémy dokáží plně automaticky určit a ovlivnit prostorové souřadnice (XYZ) stroje nebo pracovního nástroje, a to v reálném čase, avšak pro používání jakéhokoliv 3D systému musíme disponovat projektem v trojrozměrné podobě. Výstupní výkresy z projekčního programu jsou načteny programem výrobce nivelačního systému, který data zkontroluje a upraví pro zápis do kontrolní jednotky ve stroji. [1; 2]

Díky těmto systémům můžeme docílit zefektivnění práce stavebních strojů, vyšší přesnosti, nižších nákladů na geodetické práce a zjednodušení činnosti techniků a stavebních strojů.

Kromě 3D systémů se v praxi používají i 1D systémy a 2D systémy, které nejsou tak finančně nákladné. Většina výrobců garantuje snadnou rozšiřitelnost z 2D systému na 3D, tudíž si pro začátek můžete pořídit jen 2D systém a postupně ho doplnit o 3D komponenty. Do 2D systémů patří laserové a ultrazvukové senzory, které jsou doplněny např. senzory příčného sklonu pracovního nástroje, senzory podélného sklonu stroje atd. 1D systémy jsou tvořeny jednotlivými senzory, které dokáží snímat pouze jednu prostorovou souřadnici. 1D a 2D systémy jsou de facto součástí 3D systémů, proto se jimi dále nebudeme zabývat. [1; 2]

V následujících podkapitolách si stručně popíšeme jednotlivé naváděcí systémy používané v dopravním stavitelství. Detailní popisy konkrétních naváděcích/řídících systémů jsou uvedeny u jednotlivých strojů.

#### 3.1 TOTÁLNÍ STANICE

Totální stanice měří prostorové polární souřadnice<sup>1</sup>, vodorovný a zenitový<sup>2</sup> úhel a šikmou délku. Díky těmto veličinám lze určit v reálném čase prostorovou polohu stroje nebo pracovního nástroje s automatickou korekcí případných polohových odchylek. [1]

Přesnost měření se pohybuje v řádech mm.

##### 3.1.1 Komponenty systému

- Motorizovaná totální stanice, která je zároveň vysílačem i přijímačem dat a automaticky se otáčí za odrazným hranolem. [1]
- Řídící jednotka totální stanice, všesměrový hranol, senzory a kabely jsou umístěny na stroji. Senzory určují sklon, výšku a natočení stroje/pracovního nástroje a kabely propojují jednotlivé části systému. [1]

<sup>1</sup> Souřadnice konkrétního bodu vztažené k pravoúhlému souřadnicovému systému, jehož střed je umístěn ve středu Země (elipsoidu). Osa X prochází průsečíkem rovníku s nulovým poledníkem a osa Z je shodná s osou rotace Země. [1]

<sup>2</sup> Zenitový úhel je úhel mezi spojnicí dvou bodů a svislicí procházející prvním bodem. [1]

### 3.1.2 Jak systém funguje

- Totální stanice se umístí do upravované oblasti tak, aby bylo možné určit její polohu a orientaci. Dále musí být zajištěna stálá viditelnost mezi stanicí a odrazným hranolem. [1]
- Připojená totální stanice automaticky sleduje a zaměřuje polohu všesměrového hranolu, který je umístěn na stroji nebo na pracovním nástroji, a to až několikrát za sekundu. [1]
- Data získaná z tohoto měření (poloha a směr pohybu stroje/pracovního nástroje) jsou odesílána do řídicí jednotky, která tyto data a data získaná ze senzorů porovná s projektem a s reálným stavem terénu. [1]
- Na základě tohoto porovnání dojde k automatickému upravení stroje/pracovního nástroje do požadované polohy. [1]

### 3.1.3 Práce geodeta<sup>3</sup>

- Vytvořit DMT dotčené oblasti před úpravou [1]
- Připojit řídicí totální stanici ke geodetickým podkladům [1]
- Připravit soubor s projektem prací [1]
- Kontrolovat provedenou práci [1]

### 3.1.4 Práce strojníka

- Nahrát soubor s projektem prací do řídicí jednotky stroje [1]
- Řízení stroje [1]

### 3.1.5 Výhody a nevýhody

- Dražší než GNSS
- Přesnější než GNSS
- K jedné totální stanici náleží jen jeden odrazný hranol
- Musí být zajištěna stálá viditelnost mezi totální stanicí a odrazným hranolem (dosah signálu je cca 200m)

---

<sup>3</sup> Nemusí jít pouze o geodeta, ale i o jinou způsobilou osobu.

### 3.1.6 Chyby měření

Mohou být způsobeny:

- Špatnou viditelností mezi totální stanicí a odrazným hranolem a častým výskytem překážek mezi nimi
- Špatným centrováním totální stanice a hranolu
- Výrobními odchylkami komponentů

Jejich eliminace:

- Omezit výskyt překážek mezi totální stanicí a odrazným hranolem
- Přesné zcentrování stanice a průběžná kontrola od geodeta
- Častější kalibrace přístrojů
- Častější kalibrace strojů a pracovních nástrojů
- Aktualizace softwaru

## 3.2 GNSS – GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ SATELITNÍ SYSTÉM

Určování polohy stroje nebo pracovního nástroje pomocí globálního navigačního satelitního systému je založeno na příjmu signálu do přijímače od minimálně 4 satelitů, které jsou vhodně rozmístěné nad obzorem. [1]

Poloha přijímače je tedy určena z polohy satelitů a ze vzdálenosti mezi přijímačem a satelitem, tudíž musíme zajistit dostatečnou viditelnost mezi těmito dvěma komponenty. Tento systém řízení strojů není vhodný do zastřešených hal a do venkovních prostor s hustým stromovým porostem. [1]

Přesnost se pohybuje v řádech cm.

### 3.2.1 Satelitní systémy

#### 3.2.1.1 GPS - Global Positioning System (Globální polohový systém)

Jedná se o americký navigační systém určený hlavně pro vojenské účely. Dělí se na 3 segmenty – kosmický, řídicí a uživatelský, přičemž pouze poslední je zčásti přístupný i běžným uživatelům. V současné době okolo Země „obíhá“ 32 družic tohoto systému. V České republice je nejčastější viditelnost 8 družic, minimum pak 6, maximum 12 družic. [3]

### **3.2.1.2 GLONASS – Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma**

Tento systém byl vytvořen v Rusku a to zejména pro potřeby armády, avšak část služeb s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům. V současné době má GLONASS 24 družic a díky jejich oběžným drahám je tento systém zvláště vhodný pro použití ve vysokých zeměpisných šířkách, kde může být získání signálu GPS problematické. Významnou roli sehrál projekt IGEX 98, který umožnil najít kompatibilitu mezi GPS a GLONASS. [4]

### **3.2.1.3 Galileo**

Jedná se o evropský autonomní satelitní systém, který by měl být civilní obdobou systémů GPS a GLONASS. Systém však není ještě plně v provozu (aktivních 10 družic z 30) a očekává se, že k roku 2020 by mohl být zcela aktivní. Hlavní sídlo systému se nachází v pražských Holešovicích. Někteří označují tento projekt za zcela zbytečný. [5]

## **3.2.2 Zpřesnění měření**

### **3.2.2.1 DGNS – Differential global navigation satellite system**

Jelikož samotné zaměřování pomocí GNSS je velmi nepřesné, odchylka polohy je cca 15 m, používá se v dopravním stavitelství tzv. Diferenciální globální navigační satelitní systém (DGNS), který dokáže odchylku v měření zmenšit až na 10 cm. [6]

Systém se skládá ze sítě referenčních stanic, které znají svojí přesnou polohu a zároveň přijímají signál z družic, který obsahuje informace o aktuální poloze stanic. Tyto hodnoty stanice porovnají a provedou korekci dat. Získaná data jsou uložena v paměti GNSS přijímačů a postupně jsou odesílána do počítače, vybaveným softwarem pro zpracování těchto dat. [6]

Pokud bychom chtěli data ihned použít, vybavíme GNSS referenční stanici radiodemem, nebo internetovým modemem, který odešle upravená data do GNSS antén, umístěných na stroji. Ty korekce zahrnou do vlastních výpočtů a mohou tak přesněji určit polohu pracovního nástroje. [6]

### **3.2.2.2 RTK – Real time kinematic**

Jedná se o jednu z technik DGNS korekce signálu přijímaného ze satelitů. GNSS referenční stanice rozdělí přijímaný signál do fází a oddělí jednotlivá vlnění vyslaná satelity. Díky tomu vypočítá fázový posun jednotlivých dílčích vlnění a provede úpravu celkového signálu. Data porovná s daty o její přesné poloze a korekci odešle pomocí radiodemem, nebo internetového modemu do GNSS antén, která zase data zahrnou do svých výpočtů a pomohou tak zpřesnit aktuální polohu pracovního nástroje.[7]



### **3.2.3 Komponenty systému**

- Systém umělých družic (satelitů) [1]
- Referenční stanice GNSS umístěná v oblasti stavby vybavená systémem bezdrátové komunikace pro přenos dat [1]
- GNSS anténa (y), řídicí jednotka, senzory a kabely jsou umístěny na stroji nebo pracovním nástroji. Senzory sledují sklon případně výšku pracovního nástroje a kabely celý systém propojují. [1]

### **3.2.4 Jak systém funguje**

- Referenční stanice umístíme na známý bod tak, aby byla zajištěna dostatečná viditelnost na oblohu [1]
- GNSS antény a referenční stanice přijímají data o poloze a výšce ze satelitů, které pak odesílají do řídicí jednotky ve stroji [1]
- Řídicí jednotka z těchto dat vyhodnotí polohu pracovního nástroje vůči projektu a nastaví pracovní nástroj do požadované polohy [1]

### **3.2.5 Práce geodeta**

- Umístit referenční stanici na vhodné místo [1]
- Nahrát vstupní data do řídicí jednotky [1]
- Kontrolovat provedenou práci [1]

### **3.2.6 Práce strojníka**

- Řízení stroje [1]

### **3.2.7 Výhody a nevýhody**

- Levnější než totální stanice
- Méně přesné než totální stanice
- Jednodušší pro práci strojníka
- Musí být zajištěna stálá viditelnost mezi referenční stanicí a oblohou (satelity)
- Jedna referenční stanice může navigovat více strojů

### 3.2.8 Chyby měření

Mohou být způsobeny:

- Špatnou viditelností na oblohu
- Nepřesným určením přesné polohy GNSS referenční stanice
- Moc velkou vzdáleností mezi GNSS referenční stanicí a GNSS anténami
- Posunem satelitu mezi příjmem a odesláním signálu
- Atmosférickými vlivy (složení ionosféry, stratosféry...)
- Odchylkou dílčích atomových hodin v satelitech

Jejich eliminace:

- Zajištění dostatečné viditelnosti na oblohu
- Kalibrací měřících přístrojů
- Kalibrací strojů a jejich pracovních nástrojů
- Častější kontroly od geodetů
- Aktualizace softwarů

## 3.3 KOMBINOVANÉ SYSTÉMY

Jelikož předchozí systémy mají mnoho nevýhod, snaží se výrobci kombinovat systémy dohromady tak, aby se tyto nevýhody odstranily. Většinou dochází ke kombinaci jednoho 3D naváděcího systému s jedním tzv. 1D naváděcím systémem, který kontroluje pouze jeden prostorový rozměr. Do 1D systémů patří například laserový senzor, ultrazvukový senzor, senzor příčného sklonu apod. Aby se však jednalo o kombinovaný systém, musí být komponent 3D a 1D systému obsažen v jednom prvku. Na trhu se nachází zatím pouze jedna firma, která toto spojení poskytuje, a to Topcon. Konkrétně se jedná o spojení GNSS antény s laserem. [1]

## 3.4 VÝROBCI 3D SYSTÉMŮ

V této kapitole si stručně popíšeme tři nejznámější výrobce 3D systémů. Konkrétní výrobky (systémy) jsou uvedeny u jednotlivých strojů.

### 3.4.1 Trimbe

Od roku 1978, kdy byla firma založena, se stala jedním ze stěžejních výrobců systémů pro určování polohy. Hlavním polem podnikání je geodézie, stavba různých konstrukcí a zemědělství, kde mohou těžit se svých odborných znalostí z oblasti GPS technologií,

laserů a optických systémů aplikováním potřebných softwarů a bezdrátových komunikací. Díky této propojené soustavě mohou svým zákazníkům poskytnout potřebný servis k uspokojení jejich požadavků. [8; 9]

Trimble má kanceláře v 35 zemích po celém světě a jejich portfolio obsahuje přes více než 1 100 patentů, které pomáhají řešit problémy rychleji, efektivněji a lukrativněji. [8; 9]

### **3.4.2 Leica Geosystems**

Tento poskytovatel geotechnického vybavení působí na trhu už skoro 200 let. Leica je součástí korporace Hexagon, který se primárně zabývá softwary, senzory a celkově IT technologiemi. [10]

Hlavním mottem je „*Kvalita buduje důvěru*“, k čemuž jí pomáhá využívání tzv. Swiss Technology (švýcarské technologie), která zaručuje preciznost, spolehlivost, kvalitu a životnost. Primárně se tedy zabývají mapováním, tvorbou plánů a map, stavbou silnic a budov a výrobou produktů, které zvyšují kvalitu našich životů. Hexagon má přes více než 16 tisíc zaměstnanců v 46 zemích po celém světě. [10; 11]

### **3.4.3 Topcon**

Celým názvem Tokyo Optical Co. byla založena v roce 1932 v Tokyu a v roce 1989 se přejmenovala na Topcon Corporation. Zpočátku byla firma orientována hlavně na výrobu optických přístrojů pro japonskou armádu, ale postupně si rozšířila pole působnosti přes optické a lékařské přístroje, až na výrobu přesných GPS přijímačů a strojních kontrolních systémů. [12]

Topcon podniká ve třech segmentech:

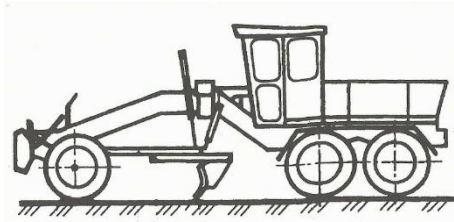
- Positioning Business – systémy k určování polohy, kde využívá nejpřesnějších GNSS lokalizačních technologií a chce tak docílit automatizace ve stavebním inženýrství a zemědělství. [12]
- Smart Infrastructure Business – slouží k aplikaci pozičních technologií v oblasti infrastruktury, strukturálního uspořádání a managementu. [12]
- Eye Care Business – poskytuje profesionální optické přístroje pro medicínské a zemědělské účely. [12]

Firma má 86 poboček v 27 zemích po celém světě a zaměstnává necelých 4 500 lidí. V Evropě se nachází 24 poboček. [12]

## 4. STROJE POUŽÍVANÉ V DOPRAVNÍM STAVITELSTVÍ

V této kapitole si popíšeme jednotlivé stroje používané v dopravním stavitelství. Zaměříme se tedy na stroje, které slouží primárně k tvorbě a úpravě konstrukčních vrstev vozovky. Mezi ně patří grejdry, které jsou určeny k zarovnávání zemní pláňe a urovnávání nestmelených i stmelených podkladních a ochranných vrstev vozovky, silniční frézy, jež odstraňují stmelené krytové vrstvy, dále pak finišery, které pokládají novou vrstvu stmelených krytových vrstev a v poslední řadě zhutňovací válce, jejichž funkcí je postupně zhutnit vozovkové vrstvy.

### 4.1 GREJDRY



Obr.1 Schéma grejdrů [13]



Obr.2 Grejdr Komatsu GD675-6 [14]

Jedná se o univerzální traktorové stroje na kolovém podvozku o velkém rozvoru<sup>4</sup> kol. Vyrábějí se buď v běžnějším třínápravovém provedení, nebo ve dvounápravovém. Podle výkonu hnacího motoru a provozní hmotnosti je můžeme rozdělit do čtyř kategorií, přičemž platí závislost, že čím je výkon a hmotnost stroje větší, tím je i délka radlice větší. [13]

Velký rozvor mezi přední a zadní nápravou zajišťuje příznivé podmínky pro přesnost práce radlice a možnost manipulovat s ní uprostřed stroje i mimo něj. Nevýhodou je velký poloměr otáčení a malá manévrovatelnost stroje. [13]

Tyto stroje jsou určeny pro plošný přesun zemin a dokončovací zemní stavební práce, pro které neexistují jiné druhy strojů a ruční práce jsou příliš nákladné. V dopravním stavitelství se jedná zejména o sejmutí ornice, úprava zemní pláňe, rozprostírání materiálu pro nestmelené i stmelené vrstvy vozovky a tvorbu násypů a příkopů. Přesun materiálu lze nasměrovat buď dovnitř mezi kola, nebo vně kol. [13]

<sup>4</sup> Osová vzdálenost mezi přední a zadní nápravou.

### 4.1.1 Konstrukční provedení

Základní stroj je tvořen ocelovým svařovaným rámem, který je kloubově uložen na přední a zadní nápravě. Přední náprava je výkyvná a říditelná, zadní náprava (pokud je stroj třínápravový, tak tandemová) je hnací. Mezi přední a zadní nápravou se nachází radlice, což je hlavní pracovní nástroj grejdru, která je uchycená na věnci s vnitřním ozubením a hydromotorem. Ten zajišťuje její otáčení až o 360°. [13]

K základnímu stroji je kulovitě připojen pomocný kyvný rám, který je tvořen třemi kluznými lištami či pouzdry, na kterých je uložen věnec. [13]

### 4.1.2 Systémy řízení a navádění

#### 4.1.2.1 Trimble GCS900 3D

Tento systém nabízí 4 konfigurace k řízení a navádění strojů:

- Jedna GNSS anténa a ovladač příčného sklonu radlice.

Využívá se k hrubému zarovnání při stavbě silnic a dálnic. [15]

- Dvě GNSS antény.

Měří přesnou pozici, příčný sklon a natočení radlice, na níž jsou připevněny. Díky dvěma anténám můžeme eliminovat chyby vzniklé při navádění pouze jednou anténou, protože samotná GNSS anténa vypočítává příčný sklon radlice ze směru pohybu stroje. Využívá se k hrubému zarovnávání materiálu při stavbě silnic, dálnic a železnic. Také se využívá při úpravě strmých svahů a k celkové úpravě terénu. [15]

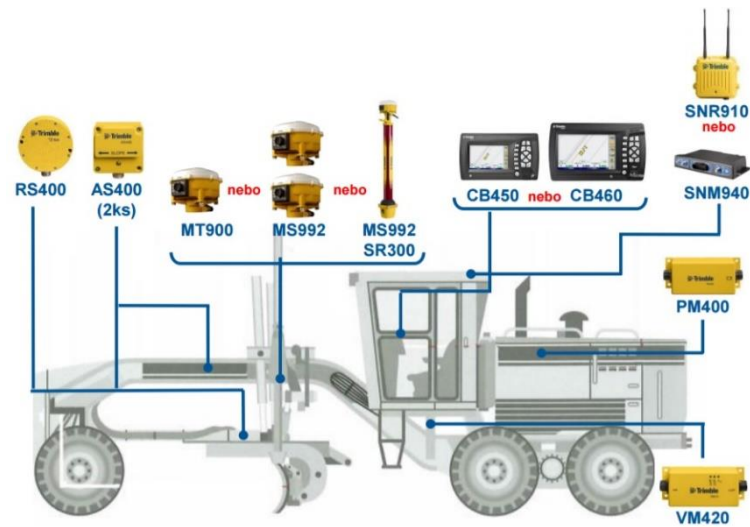
- Jedna nebo dvě GNSS antény doplněné laserem.

Slouží k jemným úpravám terénu při stavbě silnic, dálnic, železnic a příletových a rozjezdových drah na letištích. [15]

- Univerzální totální stanice a ovladač příčného sklonu radlice.

Pomocí okamžité synchronizace úhlů a délek může stanice velmi přesně určit aktuální polohu sledovaného objektu. Uplatnění najdeme hlavně ve finálním zarovnávání terénu, kde požadujeme co největší přesnost. Také ji uplatníme tam, kde GNSS systém nemá zajištěn dobrou viditelnost na oblohu. [15]

## Navádění pomocí GNSS technologie:



Obr.3 Komponenty GNSS technologie grejdra [16]

Na radlici stroje nainstalujeme jednu nebo dvě GNSS antény, které budou určovat polohu radlice v prostoru. Abychom docílili co největší přesnosti, umístíme do blízkosti dotčené oblasti referenční GNSS stanici, která pomocí radiomodemu bude vysílat do stroje korekce dat z vlastního měření. Data mohou být posílána i přes internet, pomocí modemu pro připojení do mobilní sítě. [17]

Pokud použijeme jen jednu anténu, budeme znát výšku a sklon radlice, při použití dvou, budeme znát i prostorovou orientaci radlice. Proto je výhodnější používat systém s dvěma anténami. [17]

### Komponenty a jejich funkce:

- GNSS referenční stanice (např. SPS882)

Porovnává data o svojí aktuální poloze získaná ze satelitů se zadanými daty a následně vytvoří korekce měření, které pomocí radiových vln nebo internetu zasílá do řídicí jednotky stroje. Akční rádius je cca 2-3 km s ohledem na tvar okolí. [16]

- MS992 – GNSS anténa s integrovaným GNSS přijímačem

Sleduje polohu radlice a data odesílá do řídicí jednotky umístěné v kabině řidiče. Přesnost měření je při použití DGNSS  $\pm 8\text{mm}+1\text{ppm}^5$  horizontálně a  $\pm 15\text{mm}+1\text{ppm}$  vertikálně. Při použití RTK je horizontální přesnost  $\pm 8\text{mm}+0,5\text{ppm}$  a vertikální  $\pm 15\text{mm}+0,5\text{ppm}$ . [18]

- SR300 – stožár

Slouží pro připojení GNSS antény na radlici k zajištění její lepší viditelnosti. [19]

<sup>5</sup> Parts per million (jedna miliontina celku) znázorňuje poměr výskytu chyby v celkovém počtu měření.[69]

- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídící jednotka)

Barevný displej, který ukazuje strojníkovi aktuální polohu stroje v upravovaném terénu a polohu radlice. Shromažďuje data ze senzorů a upozorňuje na aktuální výstrahy a na neautorizované operace. [16]

- RS400 – senzor natočení radlice

Je umístěn na věnci. Primárně sleduje rotaci radlice k výpočtu jejího požadovaného příčného sklonu. Rozptyl měření je  $\pm 160^\circ$ , přičemž přístroj měří po  $0,01^\circ$  s přesností  $\pm 0,25^\circ$ . [20]

- AS400 – senzor příčného sklonu radlice a senzor podélného sklonu stroje

Jsou umístěny na věnci a na základním stroji. Využívají se především pro stálé operace s motorizovanou radlicí ve velmi proměnlivých podmínkách. Rozptyl měření je  $\pm 45^\circ$ , měří po  $0,05^\circ$  s odchylkou menší než 5%. [21]

- ST400 – ultrazvukový senzor

Tento senzor není v základní výbavě a slouží jen jako doplněk k ostatním komponentům. Pomocí ultrazvukových vln kontroluje nastavený odstup radlice od dané vodící linie (například od lankodráhy<sup>6</sup>, obrubníku, příkopu apod.). Také se využívá při kontrole přesnosti poslední pokládané vrstvy. Odchylka v měření je  $\pm 1$  mm. [22]

- SNR910 – duální radiomodem

Zajišťuje komunikaci mezi řídící jednotkou stroje a referenční GNSS stanicí pomocí rádiových vln. [16]

- SNM940 – modem do připojení do mobilní sítě GSM

- VM420 – modul ventilů pro automatické řízení hydrauliky

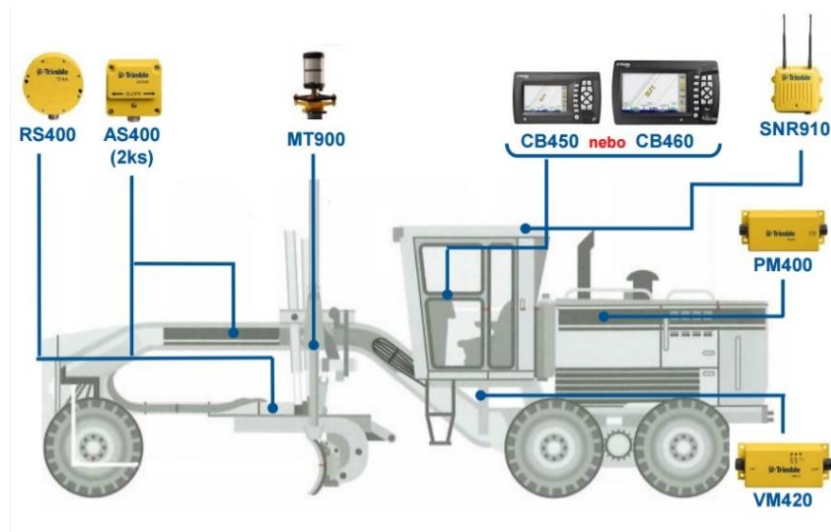
Kontroluje a řídí 3 hydraulické pisty najednou. [16]

- PM400 – napájecí modul

Kontroluje stav energie motoru a její rozložení v částech stroje. [16]

<sup>6</sup> Soustava ocelových trnů (kolíků) umístěných na geodetem vytyčená místa. Na jejich vrcholech je připevněno lano v přesně požadované výšce. [68]

## Navádění pomocí univerzální totální stanice:



Obr.4 Komponenty při navádění grejdrů pomocí totální stanice [23]

Na elektronický stožár na radlici stroje nainstalujeme odrazný hranol, který několikrát za sekundu odráží paprsek vysílaný totální stanicí, která z tohoto měření vyhodnotí aktuální prostorovou polohu radlice. Protože k jedné totální stanici náleží jen jeden odrazný hranol, je nutné radlici vybavit senzorem příčného sklonu. [24]

### Komponenty a jejich funkce:

- SPS930 nebo SPS730 – univerzální totální stanice

Několikrát za sekundu snímá odrazný hranol a díky tomu vyhodnocuje polohu radlice. Akční rádius je 700 m. Horizontální a vertikální přesnost je  $\pm 2\text{mm}+2\text{ppm}$  při nepohybujícím se hranolu a  $\pm 4\text{mm}+2\text{ppm}$  při pohybujícím se hranolu. Stanice je schopna sledovat odrazný hranol z jakékoliv pozice až do sklonu 1:1. [25]

- MT900 – odrazný hranol

Plně motorizovaný odrazný hranol se záběrem 360° zaručuje přesnější zaměření totální stanicí. Díky naprogramovatelné ID adrese, sleduje totální stanice jen ten hranol, se kterým je stejně naprogramovaná pro případ, že by se na stavbě nacházelo více aktivních totálních stanic. [26]

- Ostatní komponenty jsou shodné s předchozím způsobem řízení.

Všechny komponenty jsou přenosné mezi různými typy grejdrů bez nutnosti aktualizace softwaru. [24]



#### 4.1.2.2 Leica iCON grade

Leica pro grejdry nabízí dva základní systémy – iGG3 a iGG4.

##### **iGG3:**

iGG3 systém je vhodný zejména pro zarovnávání konstrukčních vrstev vozovky. Umožňuje používání funkce 3D side-shift, což je automatické řízení bočního posunu radlice na základě křivky zvolené ve 3D modelu terénu. Navigování stroje může být uskutečněno jak pomocí GNSS aparatury, tak pomocí robotické totální stanice. [27; 28]

##### Společné komponenty pro GNSS a totální stanici:

- iCP4 – kontrolní displej (řídící jednotka)
- Senzor podélného sklonu radlice  
Pomocí kompenzace podélného sklonu stroje umožňuje přesné zarovnání terénu i ve velmi složitých podmínkách, např. na příkrých svazích. [29]
- MSS1300 – senzor příčného sklonu radlice  
Přesně udržuje požadovaný příčný sklon radlice. [29]
- MRS1300 – rotační senzor  
Kompenzuje úhel natočení radlice, který ovlivňuje příčný sklon. [29]
- Multi-přepínače  
Jsou namontované na ovládacích pákách v kabině řidiče a umožňují stálou kontrolu nad strojem. [29]
- Tri-sonic – ultrazvukový senzor (doplněk)  
Pomocí 3 nezávislých paprsků naviguje radlici podél zvolené překážky. Má 3 základní nastavení: Zem (řídí se pomocí urovnaného terénu), Lanko (podél lankodráhy) a Hrana (podél například obrubníku). [29]

##### Komponenty systému při navádění pomocí GNSS aparatury:

- iCG60 – GNSS referenční stanice  
Pomocí DGNS a RTK vysílá korekce k GNSS anténě umístěné na radlici grejdrů. Horizontální přesnost je  $\pm 10\text{mm}+1\text{ppm}$  a vertikální přesnost  $\pm 20\text{mm}+1\text{ppm}$  při použití DGNS i RTK korekce.

- CGA60 – GNSS anténa

Umístěná na stožáru na radlici grejdru přijímá data o své aktuální poloze a zároveň sleduje korekce dat vysílané referenční stanicí. [29; 30]

- iCG80 – GNSS přijímač

Je umístěný v kabině řidiče. [29]

#### Komponenty systému při navádění pomocí totální stanice:

- iCR60 – robotická totální stanice

Z bezpečného místa stavby vysílá informace o poloze odrazného hranolu do kontrolního displeje. Přesnost měření je  $\pm 3\text{mm}+1,5\text{ppm}$  pro pohybující se odrazný hranol a  $\pm 1\text{mm}+1,5\text{ppm}$  pro statický hranol. [29]

- Odrazný hranol

Je umístěný na stožáru na radlici grejdru, aby byla zajištěna jeho dostatečná viditelnost. [29]

#### **iGG4:**



Obr.5 Komponenty iGG4 systému grejdru [29]

Stejný systém jako iGG3, jen s tím rozdílem, že k řízení stroje je využito pouze technologie GNSS a na radlici grejdru jsou umístěny dvě antény GNSS. Díky tomu lze dosáhnout větších přesností s minimálním počtem kalibračních senzorů. Radlice je řízená automaticky, tudíž se strojník může plně soustředit na řízení stroje. [27; 31; 32]

### Komponenty systému:

- iCP42 – kontrolní displej (řídící jednotka)

Displej umístěný v kabině řidiče zobrazující aktuální polohu stroje vůči nahranému 3D projektu. Díky technologii PowerSnap™ (umožňuje rychlou konfiguraci senzorů a panelu s kontrolním hardwarem stroje) je displej možné použít na různé typy strojů. [32]

- CGA60 – GNSS antény

Jsou umístěny na stožárech na radlici a určují aktuální polohu radlice nezávisle na poloze a pohybu stroje. [29]

- iCG82 – GNSS přijímač

Přijímač GNSS signálu umístěný na stroji. [29]

- MJB1301 – Spojovací skříňka

Propojuje jednotlivé komponenty systému. [29]

- MSS310 – Senzor sklonu stožárů

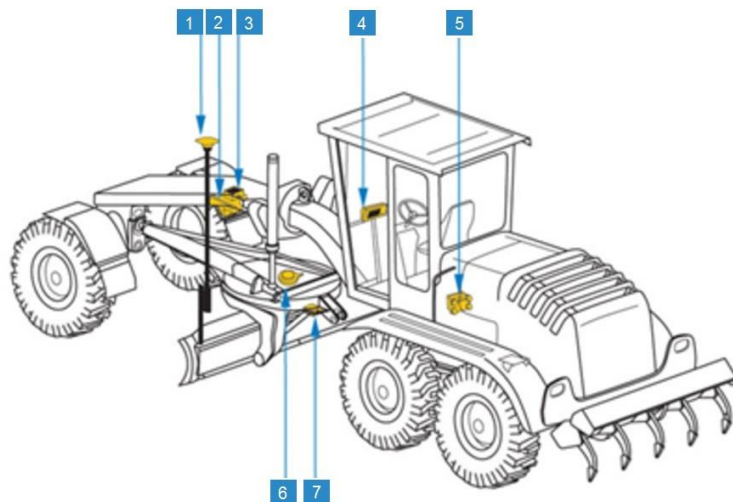
Zajišťuje rychlou automatickou přestavitelnost radlice mezi jednotlivými fázemi zarovnávání. [29]

### **4.1.2.3 Topcon 3DMC**

Je souhrnný název pro 3 následující způsoby navigování grejdrů:

#### **GPS+:**

I když je v názvu uvedeno GPS, GPS antény mohou přijímat signály i z ostatních satelitních systémů (GLONASS, Galileo). [33]



Obr.6 Komponenty systému GPS+ grejdrů [33]

### Komponenty systému:

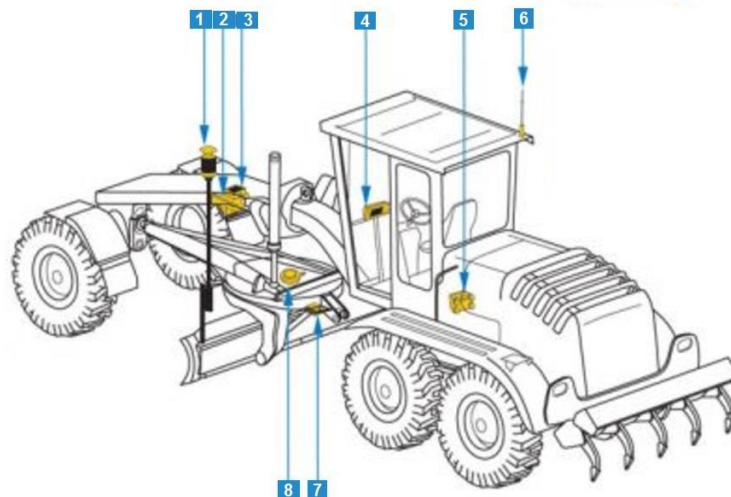
- GPS referenční stanice
- MC-G3 – GPS anténa (1)
- Rozdělovač hydraulické sestavy (2)
- Senzor podélného sklonu (3)
- GX-60 – Kontrolní displej (řídící jednotka) (4)
- MC-R3 – GPS přijímač (5)

Měří sklon ve směru pohybu stroje. [33]

- Přijímá korekce od referenční GPS stanice a zasílá je do kontrolního displeje, a tím pomáhá kontrolovat činnost radlice. [33]
- Senzor příčného sklonu radlice (6)
- Senzor rotace radlice (7)

### **mmGPS – Millimeter GPS:**

Jedinečná patentovaná technologie, která kombinuje GPS technologii s laserem v jednom produktu. [33]



Obr.7 Komponenty systému mmGPS grejdrů [33]

### Komponenty systému:

- GPS referenční stanice se senzorem snímajícím pohyb stroje

- PZL-1 – laserový rotační vysílač

K laserovému přijímači na stroji vysílá paprsky v ploše a tím snímá jeho polohu. Může být spojen s GPS referenční stanicí v jeden prvek. [34]

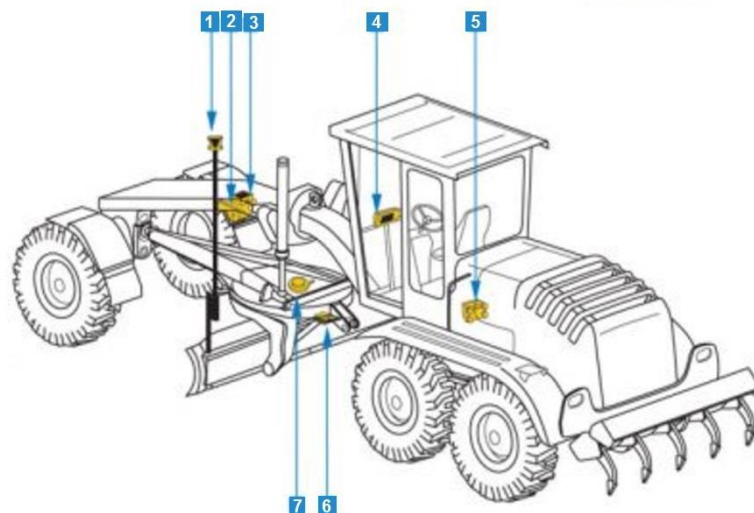
- PZS-MC – Kombinace GPS antény a laserového přijímače (1)

Díky této kombinaci zná komponent přesně svoji polohu, jejíž hodnotu pravidelně zasílá do řídicí jednotky. Je umístěný na stožáru na radlici stroje. [34]

- Rozdělovač hydraulické soustavy (2)
- Senzor podélného sklonu (3)
- Senzor příčného sklonu radlice (7)
- Senzor rotace radlice (8)
- CX-60 – kontrolní displej (řídicí jednotka) (4)
- MC-R3 – GPS přijímač (5)
- Rádio anténa (6)

#### **LPS – lokální polohový systém:**

Navádění probíhá pomocí motorizované totální stanice, která díky patentované technologii dokáže aktualizovat polohu grejdu a radlice 20x za sekundu. Získaná data pak zasílá pomocí radiových vln do řídicí jednotky stroje. Využívá se hlavně v tunelech, v husté zástavbě nebo v hustém lesním porostu. [33]



Obr.8 Komponenty systému LPS grejdu [33]

#### Komponenty systému:

- Robotická totální stanice

- Odrazný hranol (1)
- Rozdělovač hydraulické soustavy (2)
- Senzor podélného sklonu (3)
- CX-60 – kontrolní displej (řídící jednotka) (4)
- MC-R3 – GPS přijímač (5)
- Senzor příčného sklonu radlice (6)
- Senzor rotace radlice (7)

## 4.2 SILNIČNÍ FRÉZY

Jedná se o stroje, které slouží zejména k frézování živičných povrchů, betonových a jiných zpevněných ploch. [35]

Můžeme je rozdělit jednak podle způsobu pohybu na pásové a kolové, jednak podle způsobu vyložení frézovaného materiálu, a to na frézy s předním výhozem a frézy se zadním výhozem. Hlavními výrobci těchto strojů jsou Caterpillar, Wirtgen a Bitteli. [35]

Samotné frézování zajišťuje rotující buben na spodní straně stroje, který je osazen stovkami frézovacích hrotů (jinak také silničních nožů), které postupně, za studena, odstraňují požadovanou tloušťku (0 - 350mm) zpevněné plochy. Díky pokročilé automatizaci lze toto odstranění provést bez zbytečných nepřesností, které by pak bylo nutné opravit a docílit tak hladšího povrchu. [35; 36]

### 4.2.1 Konstrukční provedení



Obr.8 Schéma frézy firmy WIRTGEN [37]

Hlavním pracovním nástrojem je drtící buben (válec), ve kterém dochází k odstraňování požadované tloušťky materiálu. Buben je uchycen na základním stroji, který je tvořen dieselovým motorem (jednomotorovým/dvojmotorovým), kabinou řidiče a dvěma nápravami, které jsou většinou pásové. [37]

Nadrcená směs je pomocí primárního dopravníku odebírána z bubnu do tzv. převodníku materiálu. Ten materiál dopraví ze základního stroje na dopravníkový pás, jehož rychlost pohybu se automaticky upravuje podle rychlosti frézování. Na konci dopravníkového pásu je umístěn výstupní dopravník, který je otočný a výškově nastavitelný a zajišťuje rovnoměrné nakládání drtě na nákladní automobil. Jemné částice uvolněné během frézování jsou pomocí systému pro vakuové řezání odsáty z prostoru bubnu a jsou dopraveny na pás. [37]

## 4.2.2 Systém řízení a navádění

### 4.2.2.1 Trimble PCS900 3D

Základem navádění pomocí tohoto systému je mít v řídicí jednotce stroje nahraný 3D model terénu, podle něhož se bude automaticky řídit výška a příčný sklon frézovacího válce. Navádění stroje probíhá pouze pomocí totální stanice, neboť GNSS systém nedosahuje takových přesností, jaké požadujeme. Systém je vhodný pro frézování vozovek letišť, dálnic, tunelů, parkovacích ploch apod. [38; 39]

Jelikož komponenty tohoto systému jsou shodné s komponenty u grejdrů, je možné je mít zakoupeny pouze jednou a libovolně je přesouvat z jednoho stroje na druhý. [38; 39]



Obr.9 Komponenty systému PCS900 3D pro frézy [39]

#### Komponenty systému:

- SPS930 – univerzální totální stanice
- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídicí jednotka)
- MT900 – odrazný hranol

Je umístěný na elektronickém stožáru nad středem frézovacího válce.

- AS400 – senzor příčného sklonu

Snímá příčný sklon bubnu.

- VM420 – modul ventilů pro automatické řízení hydrauliky
- SNR910 – duální radiomodem
- PM400 – napájecí modul

Pokud není uvedeno jinak, jsou funkce uvedených prvků shodné s prvky systému Trimble GCS900 3D pro grejdry.

#### 4.2.2.2 Leica PaveSmart 3D

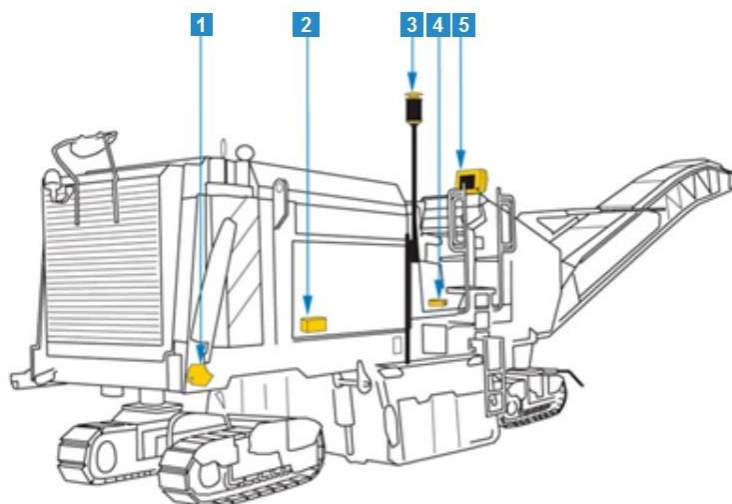
Jedná se o univerzální systém, který je určen jak pro silniční frézy, tak pro finišery, tudíž se s ním ještě setkáme. [40]

Na rozdíl od Trimblu používá k navádění jak totální stanice, tak i GNSS technologii. Uplatnění najdeme například při frézování dálnic, letišť, tunelů apod. Velkou výhodou je eliminace potřeby lankodráhy, tudíž se vyhneme dalším nákladům a časové náročnosti ohledně její realizace. [40]

Horizontální přesnost uvedená výrobcem je  $\pm 10\text{mm}+3\text{ppm}$  a vertikální přesnost  $\pm 3\text{mm}+1\text{ppm}$  pro totální stanici. [40]

#### 4.2.2.3 Topcon mmGPS

Na rozdíl od grejdrů, kde Topcon nabízí několik druhů naváděcích systémů, pro frézy nabízí už jen jeden, a to MillimeterGPS. [41]



Obr.10 Komponenty systému mmGPS frézy [41]

#### Komponenty systému:

- GPS referenční stanice

Může být spojena s PZL-1 laserovým rotačním vysílačem



- CX-60 – kontrolní displej (řídící jednotka) (5)
- PZS-MC – GPS anténa s laserovým přijímačem (3)
- MC-R3 – GSP přijímač (2)
- Senzor příčného sklonu bubnu (4)
- Rozdělovač hydraulické soustavy (1)

### **4.3 FINIŠERY**

Tyto stroje jsou v dopravním stavitelství určeny pro pokládání živičných, betonových a jiných vozovkových vrstev. My se pro zjednodušení budeme zabývat pouze finišery pro pokládku asfaltu a betonu. [42]

Hlavními výrobci finišerů pro pokládku asfaltových vrstev jsou Caterpillar, Dynapac a Vögele. Pro pokládku betonových vrstev to jsou Gomaco, Wirtgen a Guntert&Zimmerman. [42]

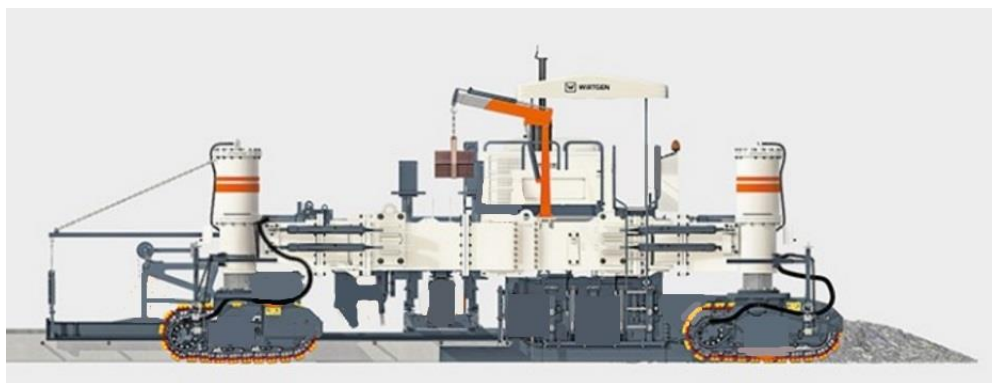
Finišery jsou většinou naváděny podél lankodráhy, jejíž zřízení je velmi nákladné a zdlouhavé. Pomocí 3D naváděcích systémů můžeme tuto potřebu eliminovat a vyhnout se tak nákladům na její realizaci a časovému zpoždění.

Samotná pokládka materiálu je uskutečněna hladicí lištou na spodní straně stroje, která zajistí primární zhutnění a rovnoměrné rozložení materiálu na podkladní plochu. Dle typu užitého stroje mohou finišery pokládat materiál v šířce od 0,5 m do cca 16 m. Rychlost pokládky je 2 – 5 m/min, většinou v tloušťce 5 – 300 mm. [42; 36]

#### **4.3.1 Konstrukční provedení**

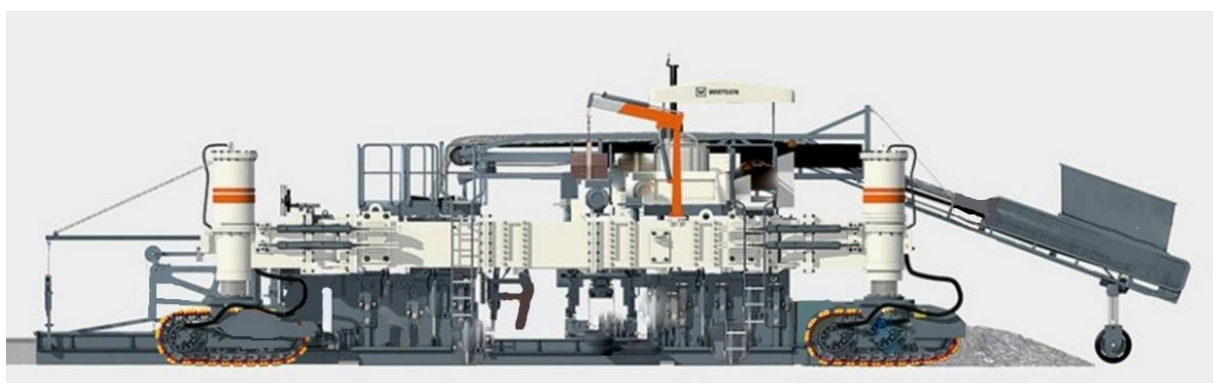
##### **4.3.1.1 Finišery pro pokládku betonových vrstev**

Čerstvá betonová směs je pomocí nákladních aut dopravena před finišer, který ji šnekovým, nebo nožovým rozdělovačem rovnoměrně rozprostře před hladicí lištu. Ta směs zarovná do požadované tloušťky a vibrátory ji zhutní. Na konci finišeru je na teleskopicky výsuvném rámu umístěn hladicí stroj, který srovná povrchové nedokonalosti vibracemi. [43; 44]



Obr.11 Betonový finišer pro pokládku jedné vrstvy [45]

Pokud je finišer určen pro pokládání dvou vrstev zároveň (dolní a horní), je před strojem připojen pásový dopravník směsi, který směr dopraví před hladící lištou pro horní vrstvu. Stroj má stejné komponenty, jako pro pokládání jen jedné vrstvy, jen za hladící lištou pro spodní vrstvu je umístěna druhá hladící lišta určená pro zarovnání horní vrstvy. [43; 44]



Obr.12 Betonový finišer pro pokládku dvou vrstev [45]

#### 4.3.1.2 Finišery pro pokládku asfaltových vrstev



Obr.13 Asfaltový finišer VÖGELE SUPER 3000-2 [46]

Nákladní vůz rovnoměrně vyklápí asfaltovou směs do tzv. koše, na jehož dně jsou umístěny žebříkovité posuvníky, které dopraví směs do šnekového rozdělovače. Ten směs rovnoměrně rozmístí před hladící lištou, která směs zarovná na podkladní vrstvu. [42; 46]

## 4.3.2 Systémy řízení a navádění

### 4.3.2.1 Trimble PCS900 3D

Jelikož potřebujeme dosáhnout co největších přesností při pokládce vrstev, používá se pouze systém řízení pomocí totální stanice, a to v následujících třech alternativách.

- Systém s jedním / dvojitým kontrolním displejem CB440 + kontrolní displej CB460 + jeden ultrazvukový senzor + senzor příčného sklonu + odrazný hranol

Užívá se hlavně tam, kde navádění finišeru neprobíhá podél lankodráhy, např. při stavbě silnic a letišť nebo kde jsou přesně dané podmínky, jako je stoupání, příčný sklon a hladkost plochy. Uplatnění najde také tam, kde se pravidelně mění příčný sklon povrchu (výjezdy a nájezdy na dálnicích, směrové oblouky, parkovací místa atd.). [47]

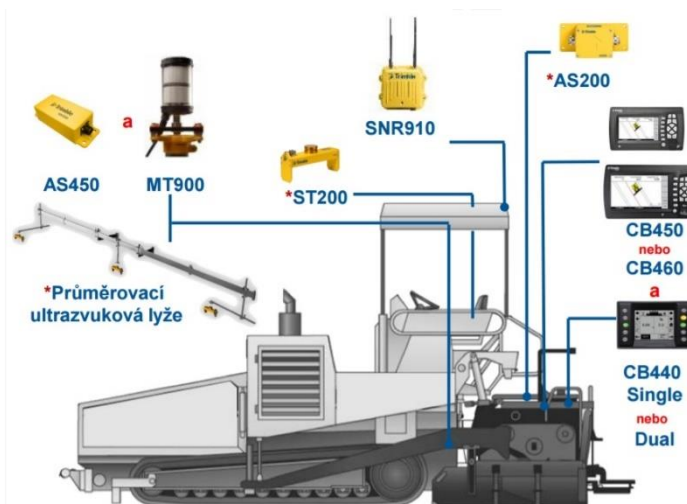
- Systém s jedním / dvojitým kontrolním displejem CB440 + kontrolní displej CB460 + ultrazvukový senzor / průměrovací ultrazvuková lyže + senzor příčného sklonu + odrazný hranol

Průměrovací lyže nám pomůže docílit co nejhladšího povrchu. [47]

- Systém s jedním / dvojitým kontrolním displejem CB440 + kontrolní displej CB460 + odrazný hranol + ovladač příčného sklonu hladicí lišty

Nejekonomičtější 3D systém. Kontroluje se jen příčný sklon hladicí lišty, proto její délka nesmí být větší než 6 m kvůli zachování přesnosti pokládání. [47]

Komponenty systému:



Obr.14 Komponenty systému PCS900 3D pro finišery [47]

- SPS930 – univerzální totální stanice

- MT900 – odrazný hranol

Je umístěn na elektronickém stožáru na hladící liště pro zajištění jeho lepší viditelnosti. [47]

- CB460 nebo CB450 – kontrolní displej (řídící jednotka)

Není umístěn v kabině řidiče, ale na pochozí hladící liště, kde pracovník může kontrolovat aktuální polohu stroje a hladící lišty a také shora kontrolovat pokládku vrstvy. [47]

- CB440 – kontrolní displej

Jedná se o grafický displej, na němž je zobrazena jen vzdálenost od referenční roviny a příčný sklon lišty. Slouží též jako automatický ovladač strany (jedné či obou) hladící lišty. [47]

- AS200 – ultrazvukový senzor

Je vybaven pěti vysílači, které měří vzdálenost k referenční rovině, kterou může být plocha nebo lankodráha. Přesnost měření k ploše je  $\pm 1\text{mm}$ , k lanku  $\pm 2\text{mm}$ . [47]

- Průměrovací ultrazvuková lyže

Lehká hliníková konstrukce, na které jsou libovolně umístěny ultrazvukové senzory (většinou tři). Má nastavitelnou délku od 10 do 20m. [47]

- CS200 – mechanický senzor

Je určen pro velmi přesné práce. Přesnost měření je  $\pm 0,3\text{mm}$  [47]

- AS200 – senzor příčného sklonu hladící lišty

Také je určen pro velmi přesné práce.

- AS450 – senzor podélného sklonu elektronického stožáru

- SNR910 – duální radiomodem

#### 4.3.2.2 Leica PaveSmart 3D

Jedná se o univerzální systém, který je určen jak pro silniční frézy, tak pro finišery a je kompatibilní se stroji od firem Gomaco, Wirtgen, Guntert&Zimmerman, Dynapac a Vögele. [40]

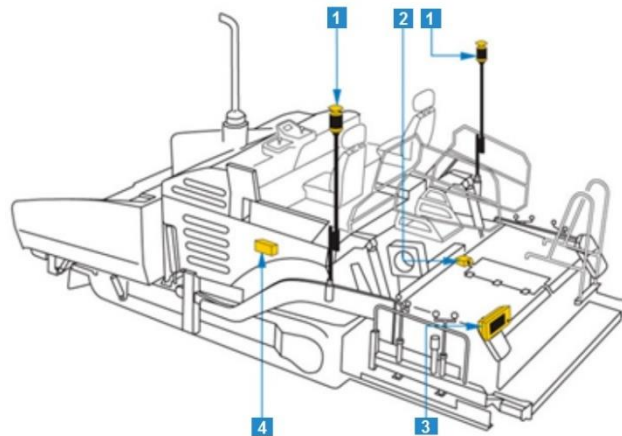
Na rozdíl od Trimblu používá k navádění jak totální stanice, tak i GNSS technologii. Uplatnění najdeme například při stavbě dálnic, letišť, tunelů apod. Velkou výhodou je eliminace potřeby lankodráhy, tudíž se vyhneme dalším nákladům a časové náročnosti ohledně její realizace. [40]

Horizontální přesnost uvedená výrobcem je  $\pm 10\text{mm}+3\text{ppm}$  a vertikální přesnost  $\pm 3\text{mm}+1\text{ppm}$  pro totální stanici. [40]

#### 4.3.2.3 Topcon Paving 3D

Topcon nabízí pro finišery řízení pomocí mmGPS, které lze uplatnit jak u finišerů určených pro pokládku asfaltových směsí, tak pro finišery pro betonové směsi.

##### mmGPS pro asfaltové finišery:

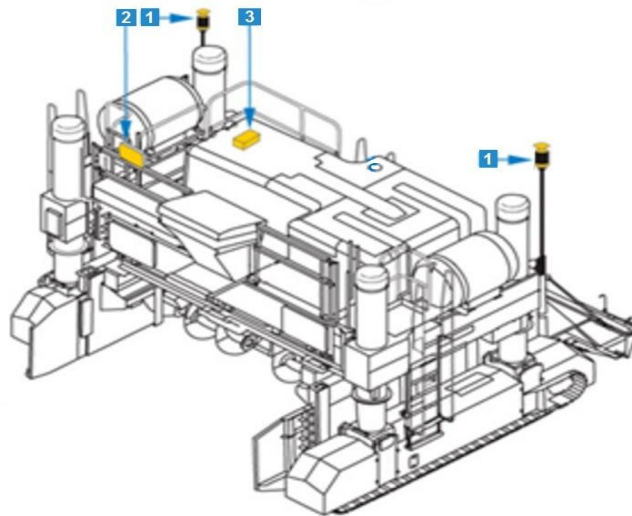


Obr.15 Komponenty systému mmGPS pro asfaltové finišery [48]

##### Komponenty systému:

- GPS referenční stanice  
Může být spojena s PZL-1 laserovým rotačním vysílačem
- CX-60 – kontrolní displej (řídící jednotka) (3)
- PZS-MC – GPS anténa s laserovým přijímačem (1)  
Nachází se na každé straně hladící lišty. [48]
- MC-R3 – GSP přijímač (4)
- Senzor příčného sklonu hladící lišty (2)

## mmGPS pro betonové finišery:



Obr.16 Komponenty systému mmGPS pro betonové finišery [48]

### Komponenty systému:

- GPS referenční stanice  
Může být spojena s PZL-1 laserovým rotačním vysílačem
- CX-60 – kontrolní displej (řídící jednotka) (2)
- PZS-MC – GPS anténa s laserovým přijímačem (1)  
Na každé straně hladící lišty jeden. [48]
- MC-R3 – GSP přijímač (3)

## 4.4 ZHUTŇOVACÍ VÁLCE

Jedná se o stroje, které slouží ke zhutnění jak nestmelených vrstev vozovky, tak těch stmelených. Podle toho, jak účinného zhutnění chceme dosáhnout, je dělíme na válce statické a válce vibrační. Dále je můžeme rozdělit dle typu běhounů na hladké ocelové a na pneumatikové. [13]

Samotný hutnicí proces můžeme rozdělit na několik etap, přičemž na každou se použije jiný typ válce. Záleží však na realizační firmě, jakými hutnicími stroji disponuje. [13]

- Etapa 1 – Rozprostření a uložení živичné směsi  
Provedeme částečné zhutnění finišerem. [13]

- Etapa 2 – Předzhuštění živičné směsi za finišerem

Můžeme použít hladký válec statický nebo vibrační s vypnutými vibracemi, vibrační válec s malou frekvencí a velkou amplitudou kmitání a pneumatikový válec s hladkými pneumatikami. [13]

- Etapa 2 – Hlavní fáze hutnění

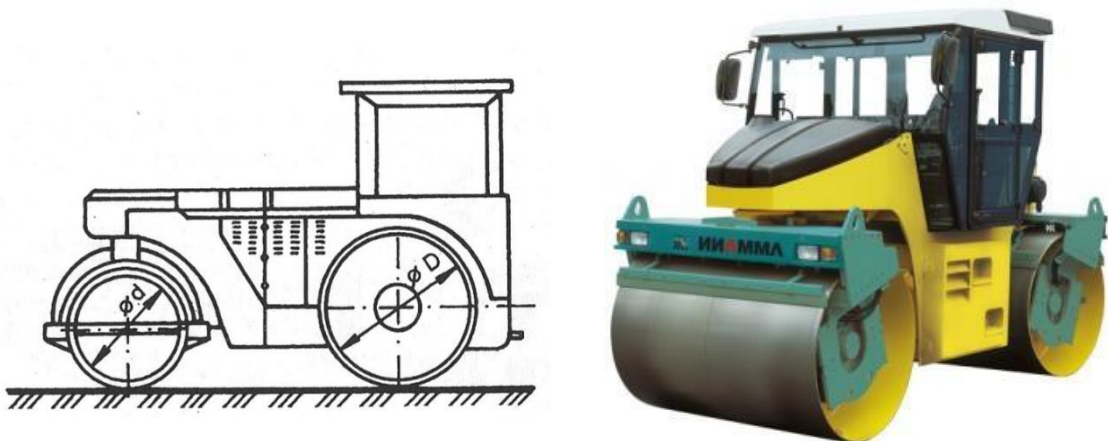
Používají se válce vibrační nebo pneumatikové. [13]

- Etapa 4 – Konečné dohutnění

Nejlepším řešením pro uzavření povrchu je použít pneumatikové válce. [13]

#### 4.4.1 Konstrukční provedení

##### 4.4.1.1 Válce statické s hladkými ocelovými běhouny



Obr.17 Schéma statického válce [13] ; Obr.18 Válec AMMANN AV 85-2 [49]

Jedná se o jedny z nejstarších stavebních strojů, které byly zpočátku poháněny parním strojem, dnes už jsou poháněny vznětovým motorem. [13]

Míra zhutnění podkladní vrstvy závisí na hmotnosti stroje a na rozdělení této hmotnosti na jednotlivé osy, resp. běhouny. Proto základními parametry, které u válců sledujeme, jsou rozdělení hmotnosti na osy běhounů, průměr a šířka běhounů, z nichž vypočítáme sílu připadající na 1cm šířky běhounu. Čím větší tato síla je, tím větší zhutňovací účinek stroj má. [13]

V silničním stavitelství se uplatňují zejména k zhutnění šterkových vrstev a živičných vozovek. Při válcování asfaltových vrstev je však nutné skrápět běhouny vodou, jinak dochází k lepení směsi na běhouny. Pro konečné úpravy vozovky jsou okraje běhounů zkoseny a zaobleny, aby se nezařezávaly do již finálního povrchu. Pokud dojde k nadměrnému zhutnění asfaltového krytu, způsobí to odlupování povrchu. V současné době se však pro tyto účely už moc nepožívají. [13]

Hlavní nevýhodou těchto válců je poměrně dlouhý pracovní cyklus (zatížení – odtížení) a malá účinnost do hloubky (cca. 150 – 250mm) a proto jsou ve značné míře vytlačovány výkonnějšími pneumatikovými či vibračními válci. [13]

#### 4.4.1.2 Válce pneumatikové



Obr.19 Pneumatikový válec BOMAG BW 27 RH-4i [50]

U těchto válců je klasický běhoun nahrazen soustavou kol nebo dvojkol, které staticky zhutňují povrch. Díky tomu dochází k rovnoměrnému zhutnění i nerovného terénu. [13]

Oproti válcům s ocelovými běhouny mají hned několik výhod:

- Mají lepší zhutňovací účinky do hloubky. [13]
- Jsou univerzálnější do různých podmínek. [13]
- Díky tzv. hnětacímu účinku<sup>7</sup> dokáže válec uzavřít povrch horké obalované živičné drtě a tím zabránit pronikání vody do pórů krytu vozovky. [13]
- Změnu hmotnosti, a tím pádem i hutnicího účinku, lze provést jak přidáním zátěže, tak změnou kontaktního tlaku, průměrem pneumatik, tlakem v pneumatikách a rychlostí pojezdu. [13]
- Mají větší šířku stopy, větší výkon, rychlost pojezdů a větší zhutňovací hloubku. [13]

U pneumatikových válců se používají dva druhy pneumatik: profilové radiální s dezénem, které jsou vhodnější na zhutňování sypkých materiálů, a speciální s hladkým dezénem, používané především ke zhutňování živičných a betonových krytů vozovek. Válce jsou vyráběny s různým počtem kol, důležité je dodržet zásadu, aby stopy od zadních kol překrývaly stopy od kol předních. [13]

Hlavní veličiny, které sledujeme, jsou osová zatížení pneumatiky, tlak v pneumatice a rychlost pojezdu, jejichž vzájemnou kombinací se snažíme dosáhnout co nejlepšího zhutňovacího efektu na různých typech podkladů. Hloubka zhutnění se uvádí v závislosti

<sup>7</sup> Kromě vertikálních sil, vyvolávají pneumatiky také horizontální síly, a to jak ve směru jízdy válce, tak kolmo na ní. Tyto síly a elasticita pneumatik dohromady tvoří hnětací účinek. [13]

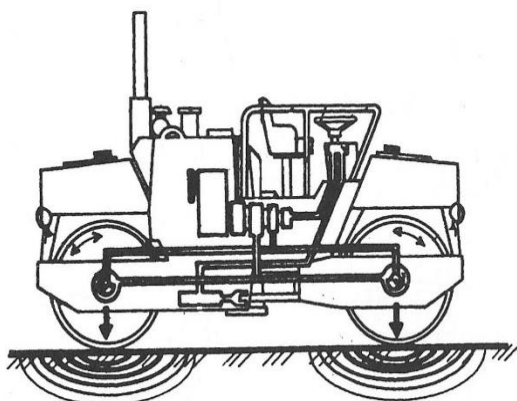


na osovém zatížení pneumatiky a její hodnota se pohybuje od 300mm do 600mm u nesoudržných materiálů, u živičných krytů vozovek od 100mm do 250mm. [13]

V dopravním stavitelství se tyto válce využívají pro hutnění počátečních vrstev ze šterku a písku a podkladních vrstev vozovky ze šterkopísku. Jsou velmi vhodné pro prvotní fáze hutnění živičných materiálů, kdy je teplota směsi vysoká a finišer příliš směr nepředhutnil. Válec může na vozovku najet prakticky ihned za finišerem, jen je nutné pneumatiky předem nahřát. [13]

Naopak pneumatikové válce se nehodí pro hutnění podkladních vrstev ze šterkodrtí a pro živičné podkladové vrstvy, kde je vysoký obsah drčeného kameniva a nízký obsah tvrdých asfaltů. Stroje jsou určeny spíše pro počáteční a finální zhutnění, než pro hlavní fázi hutnění a jejich jízda po podkladu musí být plynulá, jinak dochází k zabořování kol do podkladu. [13]

#### 4.4.1.3 Válce vibrační



Obr.20 Schéma vibračního válce [13]; Obr.21 Válec BOMAG BW 141 AD-50 [51]

Na rozdíl od předchozích válců dokáží tyto válce pomocí statického působení a vibrací vyvolat dynamický hutnicí účinek, který je účinnější než jen statické působení. Rychlé za sebou jdoucí rázy vyvolávají pod dotykovou plochou stroje rozkmitání částic, které se začnou do sebe vzájemně zaklíňovat a zmenší tím mezery mezi nimi na minimum. Válce se dělí dle typu pohonu na vlečné a motorové. Jelikož se vlečné válce v dopravním stavitelství neuplatňují v takové míře jako motorové, následující informace se vztahují k motorovým vibračním válcům. [13]

Díky velkému zhutňovacímu účinku při malé hmotnosti se jedná o nejrozšířenější zhutňovací stroje, které se snadno přizpůsobují půdním podmínkám. [13]

Celkový dynamický účinek závisí na hmotnosti stroje, amplitudě a frekvenci běhounů a na rezonanci vyvolané v zemině. K buzení vibrace se používají dva systémy, a to budiče s kruhovou vibrací, které vyvolávají pouze vertikální síly a budiče s oscilační vibrací, které kromě vertikálních sil vyvolávají také síly horizontální, a působí tak podobně jako válce pneumatikové. [13]

V dopravním stavitelství se využívají hlavně ke zhutnění vrstev ze štěrkopísku, štěrku a štěrkodrti, je však nutné dodržet několik podmínek, např. první a poslední pojezd provést bez vibrací, válec se musí pohybovat konstantní rychlostí atd. Dále je využijeme při hutnění živých materiálů, zejména na podkladní vrstvy o mocnostech 150 – 400mm a povrchových krytových vrstev z obalovaného štěrku a asfaltu v tloušťkách od 40 do 250mm. [13]

#### 4.4.1.4 Válcové vibrační tahačové



Obr.22 Tahačový válec AMMANN 150 ASC [52]

Jedná se o spojení vibračního válce s jednoosým tahačem, přední náprava je tedy tvořena vibračním válcem a zadní náprava je pneumatiková. Díky tomu lze dosáhnout velmi uspokojivého výsledku při zhutňování zemin a nestmelených vrstev vozovky. [13]

Nejčastěji využívané provedení v dopravním stavitelství je takové, že přední běhoun je uchycen k rámu stroje na odpružených ložiskách, aby se zabránilo přenášení vibrací do kabiny strojníka. [13]

#### 4.4.2 Systémy řízení a navádění

##### 4.4.2.1 Trimble CCS900 pro válce zhutňující nestmelené vrstvy

Tento systém umožňuje provést požadované zhutnění rychleji, s větší přesností a s minimálním počtem nutných oprav. Díky nainstalovaným komponentům, dokáže systém detekovat případné anomálie v zhutňované vrstvě, které je pak snadnější odstranit a docílit tak rovnoměrného zhutnění po celé dotčené ploše. [53]

Systém je dostupný celkem v pěti variantách, ale v dopravním stavitelství je doporučeno používat následující tři:

- Jedna GNSS anténa nainstalovaná na běhounu válce

Využití najde hlavně při hutnění silnic, dálnic a příletových drah na letištích, kde je dáván velký důraz na rovnoměrné zhutnění a dodržení navrženého sklonu po celé ploše. [53]

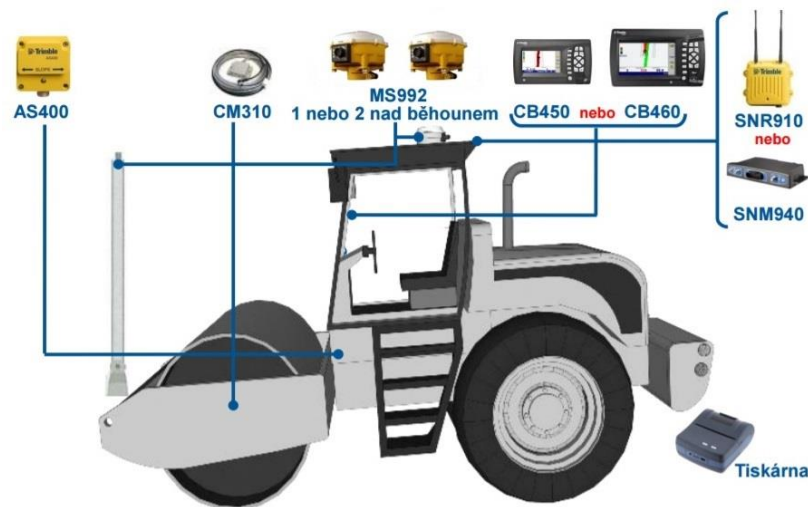
- Dvě antény GNSS nainstalované na běhounu válce

Tento systém aplikujeme na velkých stavebních projektech, jako jsou například stavby dálnic. [53]

- Univerzální totální stanice

Uplatnění najdeme hlavně tam, kde potřebujeme docílit co největší vertikální přesnosti, protože materiál je třeba velmi drahý nebo ho můžeme aplikovat tam, kde není zajištěn dostatečný signál ze satelitů, jako například v tunelech. [53]

#### Navádění pomocí GNSS technologie:



Obr.23 Komponenty systému GNSS technologie válce [53]

#### Komponenty systému:

- GNSS referenční stanice

Je vybavena RTK korekcí dat, aby bylo možné docílit 1 – 2cm přesnosti. [53]

- MS992 – GNSS anténa s integrovaným GNSS přijímačem

Pokud na běhoun umístíme pouze jednu anténu, je nutné příčný sklon běhounu dopočítat a zvětšuje se tím riziko vzniku nechtěné odchylky v měření. Pokud máme na běhounu nainstalované dvě antény, můžeme toto riziko eliminovat a zároveň znát přesnou prostorovou orientaci běhounu. [53]

- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídící jednotka)

- AS400 – senzor příčného sklonu běhounu

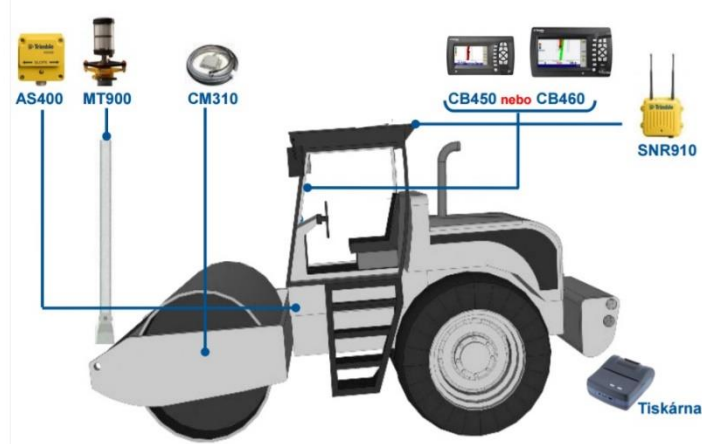
Je umístěn na přípoji běhounu k samotnému stroji. [53]

- CM310 – senzor zhutnění

Je umístěný na běhounu a měří míru zhutnění. Data získaná z tohoto senzoru společně s daty z GNSS antén a referenční stanice jsou zaznamenávána do digitálního modelu, který nám pak ukazuje míru zhutnění v kterémkoliv bodě, výšku terénu a počet pojezdů provedených v konkrétních místech. [53]

- SNR910 – duální radiomodem
- SNM940 – modem do připojení do mobilní sítě GSM

#### Navádění pomocí univerzální totální stanice:



Obr.24 Komponenty systému při navádění pomocí totální stanice válce [53]

#### Komponenty systému:

- SPS930 nebo SPS730 – univerzální totální stanice
- MT900 – odrazný hranol  
Je umístěn na stožáru na běhounu válce. [53]
- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídící jednotka)
- AS400 – senzor příčného sklonu běhounu
- CM310 – senzor zhutnění
- SNR910 – duální radiomodem
- SNM940 – modem do připojení do mobilní sítě GSM

#### 4.4.2.2 Trimble CCS900 pro válce zhutňující asfaltové vrstvy

Následující systém poskytuje několik specifikací, které nám pomohou docílit požadovaného zhutnění za co nejmenší dobu. Systém disponuje několika vylepšeními:

- Mapováním počtu pojezdů válce

Monitorujeme počet pojezdů v dané oblasti a podle stavu zhutňované směsi upravíme intenzitu pojezdů, abychom se vyvarovali případného přehutnění. [54]

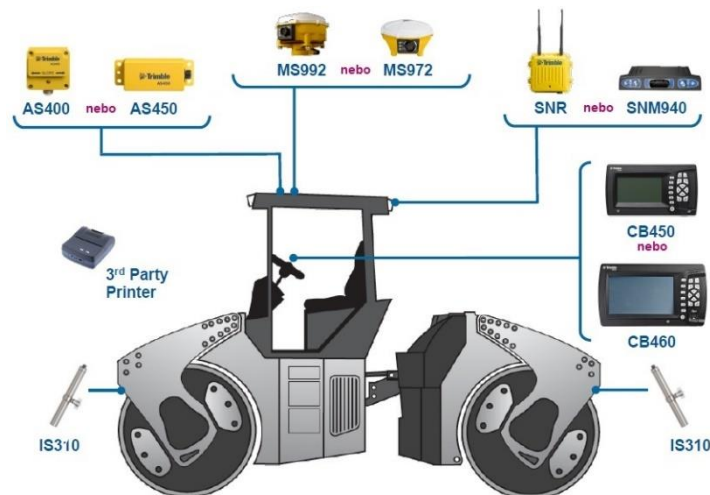
- Bezdrátovým sdílením dat

Data o počtu pojezdů konkrétního stroje jsou odesílána do řídicích jednotek ostatních strojů, aby každý strojník věděl, kde je ještě potřeba směs zhutnit, a kde už by byla směs přehutněna vlivem dalších pojezdů. [54]

Systém má následující tři provedení:

- Jedna GNSS anténa umístěná na kabině řidiče
- Dvě antény GNSS umístěné na kabině řidiče
- Univerzální totální stanice

**Navádění pomocí GNSS technologie:**



Obr.25 Komponenty systému GNSS technologie asfaltového válce [54]

Komponenty systému:

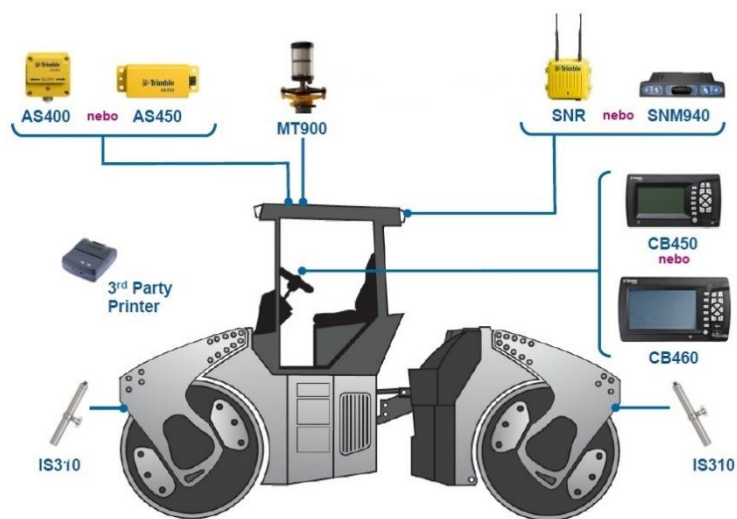
- GNSS referenční stanice
- MS992 nebo MS972 – GNSS anténa s integrovaným GNSS přijímačem
- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídicí jednotka)

- AS400 nebo AS450 – senzor příčného sklonu stroje
- IS310 – teplotní senzor

Jeden se nachází v přední části stroje, druhý na konci. Pomocí infračerveného záření sledují aktuální teplotu směsi a získaná data odesílají do řídicí jednotky stroje, kde se strojníkovi zobrazí aktuální teploty dílčích pojezdů včetně toho aktuálního. Dohromady data tvoří tzv. teplotní mapu. [54]

- SNR910 – duální radiomodem
- SNM940 – modem do připojení do mobilní sítě GSM

#### Navádění pomocí univerzální totální stanice:



Obr.26 Komponenty systému při navádění pomocí totální stanice asfaltového válce [54]

#### Komponenty systému:

- SPS930 nebo SPS730 – univerzální totální stanice
- MT900 – odrazný hranol  
Je umístěn na kabině řidiče.
- CB450 nebo CB460 – kontrolní displej (řídicí jednotka)
- AS400 nebo AS450 – senzor příčného sklonu stroje
- IS310 – teplotní senzor
- SNR910 – duální radiomodem
- SNM940 – modem do připojení do mobilní sítě GSM

#### 4.4.2.3 Leica iCON roller

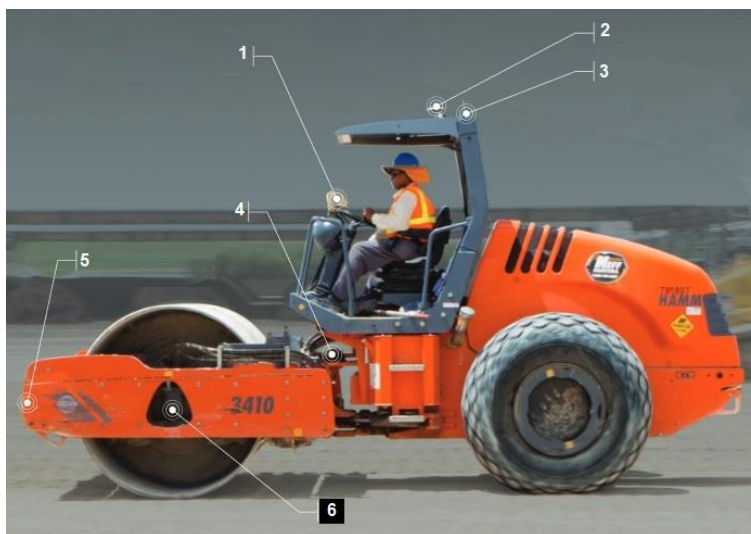
Na rozdíl od Trimblu Leica nabízí pro navádění válců systém, který využívá pouze GNSS technologii. I přesto nám výrobce garantuje dosažení přesnosti na  $\pm 2\text{cm}$ . Systém disponuje barevným zobrazením počtu pojezdů válce, které se zobrazuje na kontrolním displeji v kabině řidiče, také sleduje rychlost pohybu válce a varuje na její případné nedodržování. Mimo jiné systém automaticky aktivuje vibrace běhounů pro dosažení neoptimálnějších výsledků. [55]

#### 4.4.2.4 Topcon C-63

Rovněž jako u Leici je řízení zajištěno pomocí GNSS technologie. Systém stejně jako systémy předchozí zajišťuje monitorování teploty pojezdů, počtu pojezdů a zobrazení teplotní mapy na kontrolním displeji. Díky technologii Sitelink3D™ se zobrazí řidiči na kontrolním displeji data z ostatních válců. [56]

Systém je aplikovatelný jak na válce určené k hutnění nestmelených vrstev, tak pro válce zhutňující asfaltové vrstvy. [56]

Komponenty systému:



Obr.27 Komponenty systému C-63 válce [56]

- PG-S1 – GNSS anténa umístěná na kabině řidiče (2)
- GX-60 – kontrolní displej (řídící jednotka) (1)

Kromě teplotní mapy zobrazuje také hodnotu zhutnění a frekvenci a amplitudu vibrací. [56]

- MC-i3 – GNSS přijímač (4)

Je umístěný na přípoji běhounu ke stroji.

- Teplotní senzor (5)

Snímá aktuální teplotu asfaltu pod přední částí běhounu. Přesnost měření je  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . [56]

- Akcelerometr (6)

Je umístěný na běhounu a slouží k automatické regulaci vibrací běhounu. [56]



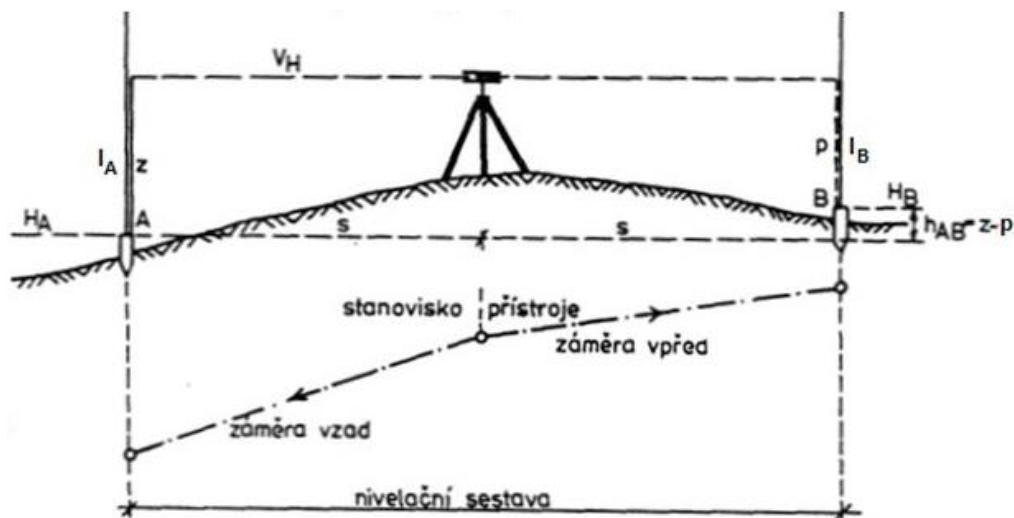
## 5. KONTROLA SPRÁVNOSTI MĚŘENÍ

Ačkoliv se může zdát, že navádění a řízení strojů pomocí automatických systémů je velmi přesné a téměř bezchybné, vždy je potřeba provést kontrolu jakosti provedené práce, a to geodetem. Ten ověří, zda provedené práce odpovídají technickým požadavkům a zda nepřekračují povolené tolerance. Pokud by se tak stalo, zjištěné nepřesnosti oznámí geodet příslušným osobám a chybné místo označí. [1]

Pro kontrolu se obvykle používají standartní geodetické metody, jako je nivelace, tachymetrie a GNSS. V případě potřeby je též možné použít novějších metod, jako je skenování, fotogrammetrie a měření latí. [1]

### 5.1 NIVELACE

Kontrola kvality pomocí nivelace je velmi univerzální a poměrně jednoduchá. Stačí nám pouze znát přesnou polohu charakteristických bodů terénu, určit jejich nadmořskou výšku a tyto hodnoty vzájemně porovnat. [1]



Obr.28 Geometrická nivelace ze středu [1]

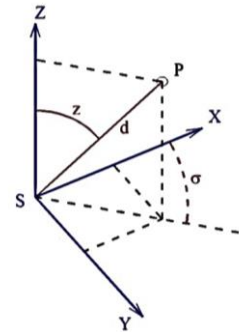
Nejčastěji je užívaná metoda geometrické nivelace, jejíž nejběžnější postup měření je geometrická nivelace ze středu. Postup měření je následující. Niveláčnický přístroj umístíme do středu vzdálenosti mezi dvěma známými body (AB). Na bod A umístíme svisle niveláčnickou lať a niveláčnickým přístrojem odečteme hodnotu na lati (záměra vpřed). To samé uděláme s bodem B (záměra vzad). Pokud by se mezi body A a B nacházel ještě bod C a my na něm provedli čtení na lati, vznikne tzv. boční záměra. Výšku bodu B (C) získáme tak, že k nadmořské výšce bodu A (kterou známe), přičteme hodnotu získanou ze čtení na lati na bodě A a od ní odečteme hodnotu získanou ze čtení na lati na bodě B (C). [1]

Nivelace má několik druhů, každá z nich má předepsané postupy měření a výpočtů a také požadavky na přístroje a měřící latě. Podle použitého postupu dělíme nivelaci na pořadovou, plošnou a profilovou. V dopravním stavitelství se nejvíce využívá nivelace

profilů, ale uplatnění zde najde i nivelace plošná, s jejíž pomocí můžeme určit kubatury násypů a výkopů. [1]

## 5.2 TACHYMETRIE

Jedná se o základní metodu pro tvorbu polohopisné mapy s výškopisem pomocí prostorové polární metody. Měření probíhá pomocí totální stanice, která měří šikmou délkou  $d$  od stanoviště  $S$  k bodu  $P$ , vodorovný úhel  $\omega$  a zenitový úhel  $z$ . Následně jsou z těchto veličin vypočítány souřadnice požadovaného bodu ( $P$ ). [1]



Obr. 29 Prostorová polární metoda [1]

Výhodou této metody je, že stejnou totální stanicí, kterou jsme použili pro řízení stavebních strojů, můžeme použít pro kontrolu kvality provedené práce. Stačí umístit totální stanicí na výchozí bod a postupně zaměřit kontrolované body pomocí odrazného hranolu upevněného na teleskopické výtyčce. Data jsou ukládána do paměťového zařízení, které je poté zpracováno do požadované formy ve vhodném programu. [1]

## 5.3 GNSS

Pravděpodobně se jedná o nejjednodušší způsob určení souřadnic, stačí na požadovaný bod umístit přijímač družicového signálu a souřadnice zaznamenat do paměti přístroje.

Existuje několik způsobů měření polohy, obecně lze rozdělit na metody statické a kinematické. Statické metody jsou velmi časově náročné (měření může trvat i několik dnů), za to jsou ovšem přesnější. Patří mezi ně například rychlá statická metoda či metoda „Stop and Go“. Mezi kinematické metody patří kinematická metoda s inicializací a metoda „On the Fly“. [1]

## 5.4 SKENOVÁNÍ

Skenovací 3D systémy jsou navrženy tak, aby rychle a komplexně zachytily tvar požadovaného terénu. Umožňují tak hromadný, bezkontaktní a automatický sběr prostorových informací a jejich následné zpracování. Skenování probíhá v pravidelném úhlovém kroku, aby bylo možné co nejpřesněji určit prostorové souřadnice potřebných bodů. [1]

Tuto technologii lze rozdělit na dvě základní oblasti, na letecké skenovací systémy a na pozemní skenovací systémy. Při kontrole zemních prací se uplatňují spíše pozemní systémy, protože nejsou tak finančně náročné. Samotné systémy při kontrole kvality pracují na principu prostorové polární metody a vyznačují se vysokou přesností určení podrobného bodu v celém rozsahu měření. [1]

## 5.5 FOTOGRAMMETRIE

Je věda, která se zabývá získáváním dále využitelných informací získaných z fotografického záznamu. Snímky lze pořídit pomocí zařízení od amatérských fotoaparátů až po specializované měřické fotogrammetrické komory. Základními vlastnostmi, které lze ze snímku odvodit jsou velikost, tvar a umístění zaznamenaného objektu či vzájemná poloha jednotlivých bodů. [1; 57]

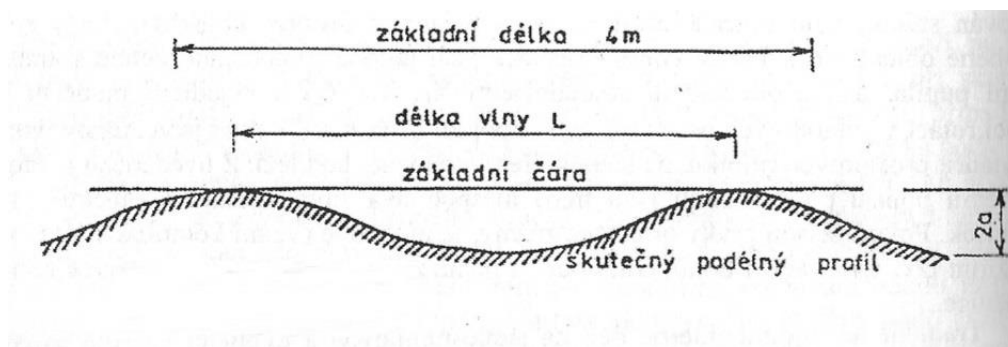
Fotogrammetrii lze rozdělit dle počtu snímků na jednosnímkovou, dvou a vícesnímkovou, a dále podle způsobu získání snímku na leteckou, pozemní a družicovou. Pro kontrolu se nejčastěji používá dvou či vícesnímková pozemní fotogrammetrie, ale v současné době je spíše nahrazována skenováním. [1; 57]

## 5.6 MĚŘENÍ LATÍ

Tato metoda je využívána hlavně pro měření nerovnosti povrchů vozovek. Nejedná se přímo o geodetickou metodu, protože výstupem nejsou prostorové souřadnice. Metoda má mnoho výhod, je relativně jednoduchá na provedení, nenáročná na přístrojové vybavení a dává nám velmi dobrou představu o kvalitě provedení povrchu vozovky. [1]

Z měření můžeme získat dva základní údaje, a to tzv. podélnou nerovnost a příčnou nerovnost. [1]

Podélnou nerovnost získáme tak, že duralovou lať o délce 4m umístíme ve směru jízdy dopravních prostředků na povrch vozovky a určíme maximální hodnotu dvojamplitudy<sup>8</sup> nerovnosti. [1]



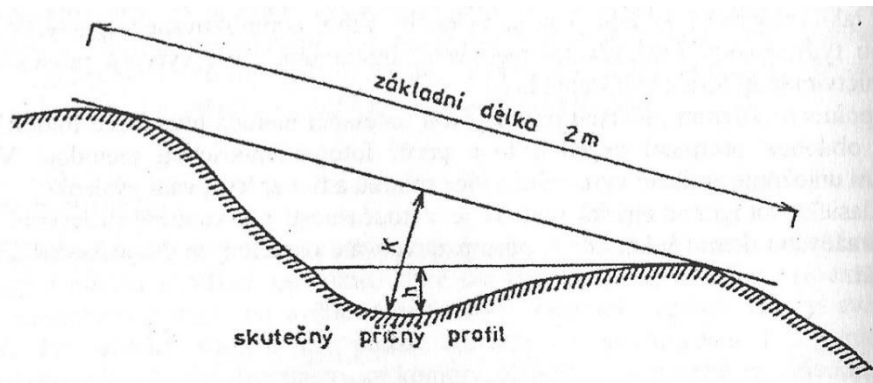
Obr.30 Podélná nerovnost [1]

Poznámka:  
2a - dvojamplituda

Příčná nerovnost je nerovnost ve směru kolmém k jízdě dopravních prostředků. Stanovíme ji tak, že změříme hloubku vyjeté koleje<sup>9</sup> pod duralovou nebo dřevěnou lať o délce 2m. [1]

<sup>8</sup> Vzdálenost od nejnižšího bodu povrchu k lati.

<sup>9</sup> Hloubka vyjeté koleje se skládá z maximální hodnoty dvojamplitudy nerovnosti a nejvyšší výšky vodního sloupce, která ve vyjeté koleji může vzniknout. [1]



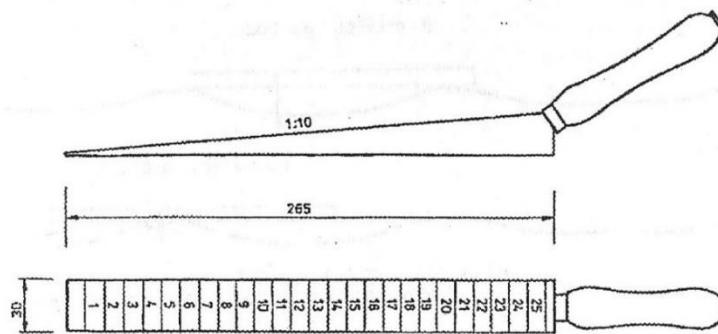
Obr.31 Příčná nerovnost [1]

Poznámka:

K – hloubka vyjeté koleje

h – maximální výška vodního sloupce

K samotnému měření dvojamplitudy se používá měřicí klínek, který má sklon 1:10 s nakreslenou milimetrovou stupnicí. Klínek se zasune pod lať a odečte se z něho naměřená hodnota zaokrouhlená na celé milimetry. Data se zaznamenají a posléze vyhodnotí. [1]



Obr.32 Měřicí klínek [1]

## 6. TECHNICKÉ POŽADAVKY NA VOZOVKOVÉ VRSTVY

Z *Technických kvalitativních podmínek* vyplývá, že máme přípustné odchylky při realizaci vozovkových vrstev. Nejprve si ale uvedeme, co jsou to vozovkové vrstvy, jaké máme druhy a poté si k jednotlivým vrstvám uvedeme přípustné odchylky.

### 6.1 VOZOVKA

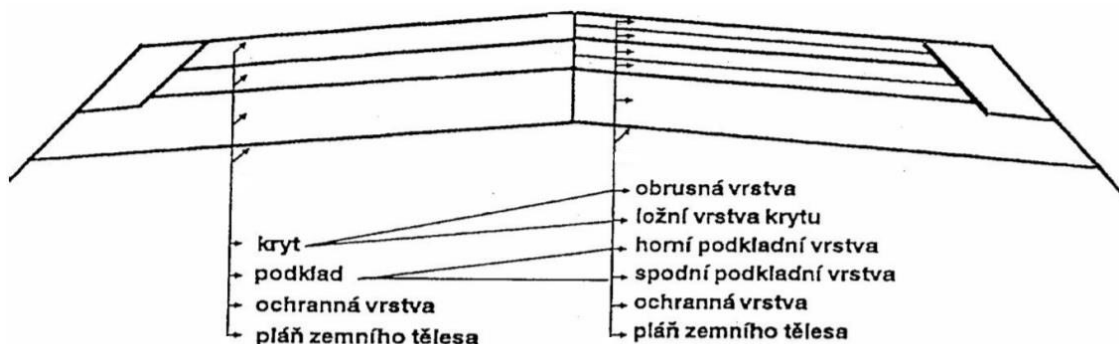
Obecně lze pojem vozovka definovat jako zpevněnou část pozemní komunikace určenou ke kontaktu s vozidlem. [1; 58] Avšak tato definice je poněkud zavádějící, protože ve skutečnosti se jedná o soustavu několika vrstev a jen ta nejsvrchnější je ve skutečném kontaktu s koly dopravních prostředků. [59]

#### 6.1.1 Rozdělení

Vozovky rozdělujeme jednak podle tuhosti na tuhé, polotuhé a netuhé a dále podle typu krytové obrusné vrstvy na nestmelené, asfaltové, cementobetonové a dlážděné. [59; 60]

#### 6.1.2 Konstrukční vrstvy

Vždy záleží na konkrétním typu vybrané vozovky, z kolika a z jakých vrstev se bude skládat. Návrh vozovky probíhá podle *Technických podmínek 170*. Pro zjednodušení jsou zde uvedeny všechny vrstvy, které vozovka může obsahovat.



Obr.33 Schéma konstrukce vozovky [60]

##### 6.1.2.1 Krytová vrstva

- Obrusná vrstva

Horní vrstva, která se vždy konstruuje. [59]

- Ložná vrstva

Dolní, není nutná u vozovek nižšího významu a u cementobetonových krytů. [59]

### 6.1.2.2 Pokladní vrstva

Může být buď ze stmelенých, nebo nestmelенých materiálů. Může mít jednu nebo dvě vrstvy – horní a spodní. Pokud má dvě vrstvy, je obvyklé dělat horní ze stmelенého materiálu a spodní z nestmelенého. [59]

### 6.1.2.3 Ochranná vrstva

Tvořena materiály zpevněných mechanicky nebo hydraulickými pojivy. [59]

### 6.1.2.4 Zemní pláň

Nejedná se o konstrukční vrstvu vozovky, ale o svrchní vrstvu upraveného terénu o určitém rozměru a sklonu. Pro stanovení odchylek je důležité znát přesnost v provedení této vrstvy. [59]

## 6.2 ODCHYLKY

Při kontrole jakosti konstrukčních vrstev vozovky posuzujeme odchylky od projektované výšky a šířky, dále nerovnost terénu (povrchu vozovky) a sklonové poměry. [1]

### 6.2.1 Zemní pláň

Připustné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

TYP KOMUNIKACE		D, S I, S II, MK R, MK S	Ostatní S a MK, UK
ODCHYLKY VÝŠEK <sup>1)</sup> [mm]		+30 <sup>3)</sup>	+40 <sup>3)</sup>
ODCHYLKY ŠÍŘEK <sup>2)</sup> [mm]		-50, +100	
NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná <sup>4)</sup>	25	30
	Příčná <sup>5)</sup>	15	20
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]		±0,5	±1 <sup>6)</sup>

Tab.1 Připustné odchylky zemní pláň [61]

Poznámky:

- 1) Odchylky od výšek zemní pláňe a kót odvozených od nivelety. Měřeno nivelací v příčných profilech dokumentace, zpravidla po 20m ve třech bodech každého jízdního pásu. [61]
- 2) Měřeno v příčných profilech po 20m. [61]
- 3) Pokud na zemní pláň bude pokládána stmelенá vrstva, max. odchylka je + 20mm. [61]
- 4) Max. velikost prohlubně (dvojamplitudy) pod 4m latí. Měřeno v ose jízdního pásu. [61]
- 5) Max. velikost prohlubně (dvojamplitudy) pod 2m latí. Měřeno v příčných profilech o max. vzájemné vzdálenosti 40m. [61]
- 6) Velikost maximální odchylky, avšak výsledný sklon musí být minimálně 2,5%. měřeno v každém příčném profilu dle dokumentace. [61]

## 6.2.2 Nestmelené vrstvy

Přípustné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

TYP MATERIÁLU		MZK	ŠD, ŠP, MZ, VŠ
ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	Maximálně	±20 <sup>1)</sup>	
	Průměrně <sup>2)</sup>	±5	
NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	20	30
	Příčná	20	
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU <sup>3)</sup> [%]		±0,5	±1

Tab.2 přípustné odchylky nestmelené podkladní vrstvy [62; 63]

Poznámky:

- 1) Pro podkladní vrstvu pro cementobetonový kryt platí odchylka -20mm, +10mm. [62]
- 2) Průměrná odchylka vypočítaná ze všech měření (nejméně 30). [62]
- 3) Měřeno v příčných profilech dokumentace stavby nejméně po 100m. [62]

## 6.2.3 Vrstvy stmelené hydraulickými pojivy

Přípustné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

TYP MATERIÁLU		všechny
ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	Maximálně	±20
	Průměrně	±5
NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	20
	Příčná	
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]		±0,5

Tab.3 Přípustné odchylky vrstev stmelených hydraulickými pojivy [64]

## 6.2.4 Asfaltové vrstvy

Přípustné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

TŘÍDA DOPRAVNÍHO ZATÍŽENÍ		S, I			II, III,			IV, V, VI		
TYP VRSTVY		O	L	P	O	L	P	O	L	P
ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	Maximálně	±10		±20	±15		±20	Nepožaduje se		
	Průměrně	±5		-	±10		-			
NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	5 <sup>1)</sup>	10 <sup>2)</sup>	20 <sup>3)</sup>	5	10	20	5	10	20
	Příčná	5 <sup>1)</sup>	-	-	5	-	-	5	-	-
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]	D, MK R	±0,4								
	ostatní	±0,5								

Tab.4 Přípustné odchylky asfaltových vrstev [65]

Poznámky:

- 1) Pro dálnice platí 4mm. [65]
- 2) Pro dálnice platí 8mm. [65]
- 3) Pro dálnice platí 15mm. [65]

## 6.2.5 Cementobetonový kryt

Přípustné odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

SKUPINA		CB I	CB II	CB III
ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	Maximálně	±10		±15
NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	4	6	
	Příčná			
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]	D, MK R	±0,4		
	ostatní	±0,5		

Tab.5 Přípustné odchylky cementobetonového krytu [66]

## 6.3 SOUHRNNÁ TABULKA

Pro vytvoření souhrnné tabulky odchylek z kapitoly 6.2 budeme předpokládat následující zjednodušení:

TYP KOMUNIKACE	TŘÍDA DOPRAVNÍHO ZATÍŽENÍ	SKUPINA CB KRYTU
D	S, I, II, III	CB I
S I	S, I, II, III	CB I
S II	IV, V	CB II
OSTATNÍ S	IV, V	CB II
MK R	S, I, II, III	CB I
MR S	IV, V	CB II
MK O	IV, V	CB II
UK	V, VI	CB III

Tab.6 Doporučená třída dopravního zatížení a typ CB krytu pro různé komunikace [66]

Jelikož odchylky u nestmelených vrstev jsou závislé na typu použitého materiálu, budeme uvažovat tyto předpoklady:

TŘÍDA DOPRAVNÍHO ZATÍŽENÍ	PODKLADNÍ VRSTVA	OCHRANNÁ VRSTVA
S	MZK, VŠ	MZK, ŠD, MZ
I	MZK, VŠ	MZK, ŠD, MZ
II	MZK, VŠ	MZK, ŠD, MZ
III	MZK, VŠ, ŠD	MZK, ŠD, MZ
IV	MZK, VŠ, ŠD	MZK, ŠD, MZ, ŠP
V	MZK, VŠ, ŠD, MZ	MZK, ŠD, MZ, ŠP
VI	MZK, VŠ, ŠD, MZ	MZK, ŠD, MZ, ŠP

Tab.7 Závislost použitého materiálu na třídě dopravního zatížení [62; 63]



Souhrnná tabulka pak vypadá následovně:

Část 1: Zemní pláň

TYP KOMUNIKACE			D	S I	S II	Ost S	MK R	MK S	MK O	UK
ZEMNÍ PLÁŇ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	+30		+40	+30		+40		
		PRŮM.	-							
	NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	25		30	25		30		
		Příčná	15		20	15		20		
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,5		±1	±0,5		±1		

Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 1: Zemní pláň

Část 2: Ochranná vrstva

TYP KOMUNIKACE			D	S I	S II	Ost S	MK R	MK S	MK O	UK
OCHRANNÁ VRSTVA	NESTMELENÁ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±20						
			PRŮM.	±5						
		NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	30 (20) <sup>1)</sup>						
			Příčná	20						
	ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±1 (±0,5) <sup>1)</sup>						
	STMELENÁ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±20						
			PRŮM.	±5						
		NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	20						
Příčná			±0,5							
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,5							

Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 2: Ochranná vrstva

Poznámka:

- 1) Z tabulek 2, 6 a 7 vyplývá, že přípustné odchylky jsou na všech typech pozemních komunikací stejné, pouze tam, kde bychom použili MZK, bude požadována hodnota uvedená v závorce.

Část 3: Podkladní vrstva

TYP KOMUNIKACE				D	S I	S II	Ost S	MK R	MK S	MK O	UK	
PODKLADNÍ VRSTVA	NESTMELENÁ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±20								
			PRŮM.	±5								
		NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	30 (20) <sup>1)</sup>								
			Příčná	20								
	ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±1 (±0,5) <sup>1)</sup>								
	STMELENÁ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±20								
			PRŮM.	±5								
		NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	20								
			Příčná	20								
	ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,5								
	ASFALTOVÁ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±20								-
			PRŮM.	-								
NEROVNOST POVRCHU [mm]		Podélná	15	20								
		Příčná	-									
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,4	±0,5			±0,4	±0,5				

Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 3: Podkladní vrstva

Poznámka:

- 1) Z tabulek 2, 6 a 7 vyplývá, že přípustné odchylky jsou na všech typech pozemních komunikací stejné, pouze tam, kde bychom použili MZK, bude požadována hodnota uvedená v závorce.

Část 4: Kryt

TYP KOMUNIKACE				D	S I	S II	Ost S	MK R	MK S	MK O	UK
KRYT	ASFALTOVÝ <sup>1)</sup>	OBRUSNÁ V.	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±10		±15	±10	±15		-
				PRŮM.	±5		±10	±5	±10		-
			NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	4	5		5			
				Příčná	4	5					
		ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,4	±0,5		±0,4	±0,5		
		LOŽNÍ V.	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±10		±15	±10	±15		-
				PRŮM.	±5		±10	±5	±10		-
			NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	8	10					
	Příčná			-							
	ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,4	±0,5		±0,4	±0,5			
	CB	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	±10							±15
			PRŮM.	-							
		NEROVNOST POVRCHU [mm]	Podélná	4	6		4	6			
			Příčná								
	ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			±0,4	±0,5		±0,4	±0,5			
	STMELENÝ	ODCHYLKY VÝŠEK [mm]	MAX.	-	±20		-	±20			
PRŮM.			-	±5		-	±5				
NEROVNOST POVRCHU [mm]		Podélná	-	20		-	20				
		Příčná									
ODCHYLKY PŘÍČNÉHO SKLONU [%]			-	±0,5		-	±0,5				

Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 4: Kryt

Poznámka:

- 1) Dle Tab.4 jsou přípustné odchylky závislé na třídě dopravního zatížení a jsou rozděleny do tří kategorií. Pro možnost vytvoření Tab.8 – část 4, bylo uvažováno následující zjednodušení: MK R, S I spadají do třídy dopravního zatížení S a I, ostatní S a MK spadají do kategorie II a III, UK spadají do kategorie IV, V a VI.

## 7. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Poslední částí této bakalářské práce je doporučení vhodné technologie pro vybranou konstrukční vrstvu vozovky. Nejprve si ale v tabulce 9 shrneme přesnosti jednotlivých systémů, se kterými jsme se setkali v předchozích kapitolách. Přesnosti jsou odvozeny pouze od hlavních komponentů (GNSS antén a univerzálních totálních stanic).

			GNSS		UTS	
			DGNSS	RTK	STATICKÝ OH	KINEMATICKÝ OH
GREJDRY	Trimble GCS900	H	$\pm 8 + 1$	$\pm 8 + 0,5$	$\pm 2 + 2$	$\pm 4 + 2$
		V	$\pm 15 + 1$	$\pm 15 + 0,5$		
	Leica iGG3	H	$\pm 10 + 1$	$\pm 10 + 1$	$\pm 1 + 1,5$	$\pm 3 + 1,5$
		V	$\pm 20 + 1$	$\pm 20 + 1$		
	Leica iGG4	H	$\pm 10 + 1$	$\pm 10 + 1$	-	
		V	$\pm 20 + 1$	$\pm 20 + 1$		
	Topcon GPS+	H	-	$\pm 10 + 1$	-	
		V	-	$\pm 15 + 1$		
	Topcon mmGPS	H	nedostupné		-	
		V	nedostupné			
	Topcon LPS	H	-		$\pm 1,5 + 2$	
		V	-			
FRÉZY	Trimble PCS900	H	-		$\pm 2 + 2$	$\pm 4 + 2$
		V	-			
	Leica PaveSmart 3D	H	nedostupné		$\pm 10 + 3$	
		V	nedostupné		$\pm 3 + 1$	
	Topcon mmGPS	H	nedostupné		-	
		V	nedostupné			
FINIŠERY	Trimble PCS900	H	-		$\pm 2 + 2$	$\pm 4 + 2$
		V	-			
	Leica PaveSmart 3D	H	nedostupné		$\pm 10 + 3$	
		V	nedostupné		$\pm 3 + 1$	
	Topcon Paving 3D mmGPS	H	nedostupné		-	
		V	nedostupné			
VÁLCE	Trimble CCS900	H	$\pm 8 + 1$	$\pm 8 + 0,5$	$\pm 2 + 2$	$\pm 4 + 2$
		V	$\pm 15 + 1$	$\pm 15 + 0,5$		
	Leica iCON Roller	H	$\pm 20$		-	
		V	$\pm 20$			
	Topcon C-63	H	-	$\pm 10 + 1$	-	
		V	-	$\pm 15 + 1$		

Tab.9 Přesnosti jednotlivých systémů

Poznámka:

Uvedené hodnoty jsou ve tvaru mm+ppm.

Souhrnná tabulka přípustných odchylek pro jednotlivé vrstvy a vyhovujících naváděcích a řídicích systémů je pro přehlednost rozdělena na 4 části, dle typu vrstvy. Vhodnost systému byla určena v závislosti na přesnostech uvedených v Tab.9, přičemž byla brána vertikální přesnost. V tabulce je zohledněn výběr systému jak v závislosti na maximální přípustné výškové odchylce, tak na průměrné. Pro určení vhodnosti systému založeném na navádění totální stanicí byly brány v potaz přesnosti pro pohybující se odrazný hranol.

Část 1: Zemní pláň

			VHODNÝ SYSTÉM DLE MAXIMÁLNÍ ODCHYLKY			VHODNÝ SYSTÉM DLE PRŮMĚRNÉ ODCHYLKY		
TYP VRSTVY	STROJE	TYP KOMUNIKACE	MAX. ODCHYLKA	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM	PRŮM. ODCHYLKA	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM
ZEMNÍ PLÁŇ	G	D S I S II MK R MK S	+30	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	-	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+
	V				Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63
	G			UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS
	V				Trimble CCS900			Trimble CCS900
	G	ost.S MK O UK	+40	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	-	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+
	V				Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63
	G			UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS
	V				Trimble CCS900			Trimble CCS900

Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách

Část 1: Zemní pláň

G – grejdry, V – válce

Jelikož maximální přípustné odchylky od výšek zemní pláňe jsou velmi vysoké, z uvedených systémů pro grejdry je možné všechny použít, totéž platí i pro systémy uvedené u zhutňovacích válců.

Část 2 – Ochranná vrstva

			VHODNÝ SYSTÉM DLE MAXIMÁLNÍ ODCHYLKY			VHODNÝ SYSTÉM DLE PRŮMĚRNÉ ODCHYLKY		
TYP VRSTVY	STROJE	TYP KOMUNIKACE	MAX. ODCHYLKA <sup>1)</sup>	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM	PRŮM. ODCHYLKA	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM
OCHRANNÁ	G	D S I S II MK R MK S ost.S MK O UK	±20	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	±5	GNSS	-
	V				Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			-
	G			UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS
	V				Trimble CCS900			Trimble CCS900

Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách

Část 2: Ochranná vrstva

Poznámka:

- 1) V Tab.8 - část 2 je ochranná vrstva rozdělena na stmelenu a nestmelenu. Jelikož je maximální i průměrná hodnota stejná pro oba materiály, nebylo toto rozdělení v této tabulce aplikováno.

G – grejdry, V – válce

Z této části vyplývá, že pro dodržení maximální odchylky ochranné vrstvy je možné k jejímu zarovnání a zhutnění použít všechny uvedené systémy navádění pro grejdry i válce, založené jak na navádění pomocí GNSS, tak totální stanice. Pokud ovšem budeme systém vybírat na základě průměrné odchylky, výběr se nám zúží pouze na systémy pracující pomocí totální stanice.

Část 3: Podkladní vrstvy

			VHODNÝ SYSTÉM DLE MAXIMÁLNÍ ODCHYLKY			VHODNÝ SYSTÉM DLE PRŮMĚRNÉ ODCHYLKY		
TYP VRSTVY	STROJE	TYP KOMUNIKACE	MAX. ODCHYLKA	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM	PRŮM. ODCHYLKA	TYP TECHNOLOGIE	SYSTÉM
PODKLADNÍ	STMELENÁ + NESTMELENÁ	G	±20	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	±5	GNSS	-
		V			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			-
		G		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS
		V			Trimble CCS900			Trimble CCS900
		F		±20	GNSS		-	-
	V	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63					
	F	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart		
	V		Trimble CCS900			Trimble CCS900		

Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách

Část 3: Podkladní vrstva

F – finišery, G – grejdry, V - válce

Podkladní vrstva stmelená a nestmelená má stejné přípustné odchylky, jako vrstva ochranná, proto pro ní platí stejné možnosti navádění strojů. Vrstva může být ale i z asfaltového materiálu, pro níž není specifikovaná průměrná odchylka, tudíž pro její pokládku i zhutnění mohou být použity všechny systémy uvedené u finišerů a zhutňovacích válců, aniž by byly překročeny maximální i průměrné odchylky.

Část 4: Kryt

			VHODNÝ SYSTÉM DLE MAXIMÁLNÍ ODCHYLKY			VHODNÝ SYSTÉM DLE PRŮMĚRNÉ ODCHYLKY						
TYP VRSTVY	STROJE	TYP KOMUNIKA CE	MAX. ODCHYLKA	TYP TECHNOL.	SYSTÉM	PRŮM. ODCHYLKA	TYP TECHNOL.	SYSTÉM				
<b>KRYT</b>	<b>ASFALTOVÝ</b>	D S I MK R	±10	GNSS	-	±5	GNSS	-				
				UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900				
				GNSS	-		GNSS	-				
				UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900				
		S II Ost.S MK S MK O	±15	GNSS	GNSS	Trimble CCS900 Topcon C-63	GNSS	-				
				UTS	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900				
				GNSS	GNSS	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63	GNSS	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63				
				UTS	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900				
	<b>CB</b>	UK	-	-	GNSS	-	-	GNSS	-			
					UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900			
					GNSS	GNSS		Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63	GNSS	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63		
					UTS	UTS		Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		
		D S I S II Ost.S MK R MK S MK O	±10	-	-	GNSS	-	-	GNSS	-		
						UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900		
						GNSS	GNSS		Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63	GNSS	Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63	
						UTS	UTS		Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900	UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart Trimble CCS900	
<b>STMELENÝ</b>	G	D S I MK R	-	-	GNSS	-	GNSS	-				
									V	UTS	UTS	UTS
									V	UTS	UTS	UTS



		G	Ost.S MK S MK O UK	±20	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	±5	GNSS	-
		V				Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			-
		G			UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS
		V				Trimble CCS900			Trimble CCS900

Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách  
Část 4: Kryt

F – finišery, G – grejdry, V - válce

Ze souhrnné tabulky pro krytové vrstvy vyplývá, že nejpřísnější podmínky z hlediska přesnosti jsou kladeny na asfaltové a cementobetonové kryty. V Tab.9 je možné si povšimnout, že pro finišery jsou uvedeny pouze přesnosti systémů, založených na navádění pomocí totálních stanic, proto můžeme říci, že pokládka krytové vrstvy, ať už z asfaltu nebo cementobetonu, bude vždy provedena pomocí totálních stanic. Pokud bychom chtěli přeci jen použít pro pokládku technologii GNSS, je nutné si zjistit chybějící přesnosti zbylých systémů, a na jejich základě vyhodnotit, zda je vůbec možné tuto technologii použít. Totální stanice splňují podmínky jak na dodržení maximální výškové odchylky, tak maximální průměrné.

Co se týká hutnění asfaltových krytů na komunikacích vyšší kvality (dálnice, rychlostní místní komunikace...), je možné použít zase jen systémy založené na navádění pomocí totální stanice. Žádný z výrobců neposkytuje systém založený na GNSS, který by splnil obě požadované odchylky. Pro budování např. silnic II. tříd nebo obslužných místních komunikací jsou požadavky na přesnosti o něco menší než u komunikací vyšších tříd a pro hutnění je tentokrát možné použít i GNSS systémy, konkrétně Trimble CCS900 a Topcon C-63. Ty splňují požadavky na maximální možnou výškovou odchylku, ale pozor, nesplňují již podmínku průměrné odchylky. Je tedy vždy nutné si před kontrolou provedené práce ujasnit, která odchylka pro nás bude směrodatná. Také je potřeba si uvědomit, že primárním parametrem, který u zhutňovacích válců sledujeme, je míra zhutnění podkladu, tudíž dodržení požadované výšky vrstvy záleží spíše na strojích, které ji pokládají. Dopředu by měly počítat s potřebným navýšením, aby vrstva po zhutnění měla požadovanou tloušťku a odchylky od ní nepřesahovaly normové požadavky. Pokud bychom se řídili pouze požadavky na míru zhutnění, je možné použít všechny systémy uvedené u válců na všechny typy vrstev vozovky.

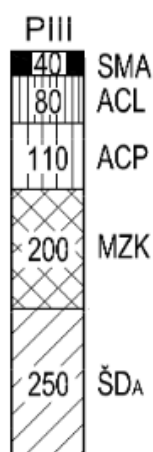
Na stmelené krytové vrstvy, které se většinou v praxi používají u komunikací nižších kvalit, je možné použít všechny systémy určené pro jejich pokládku i hutnění. Pokud by ovšem byl brán důraz na dodržení maximální průměrné odchylky, je možné pro jejich pokládku a hutnění použít pouze systémy navádění pomocí totální stanice.

Ze souhrnné tabulky (část 1 - 4) je patrné, že téměř všechny uvedené systémy splňují normové požadavky na maximální možnou výškovou odchylku. Kdyby byl však brán důraz na dodržení maximální průměrné odchylky, GNSS technologie by značně zaostávaly, zato totální stanice nemají se splněním požadovaných přesností problémy.

Výsledné hodnoty přesností systémů a jejich vhodnost, či nevhodnost je však nutné brát z rezervou, neboť uvedená data se týkají pouze přesností GNSS antén a totálních stanic a nejsou do nich zahrnuty možné odchylky ostatních komponentů nebo například chyby měření uvedené v kapitolách 3.1.6 a 3.2.8. Pro získání přehledu o celkové přesnosti systému by bylo vhodné provést několik praktických měření v terénu.

Na úplný závěr jsem pro zajímavost posoudila vhodnost systémů pro konstrukční vrstvy vozovky, vybranou z *Technických podmínek 170 – Katalog vozovek*.

Vybraná vozovka: **D0 – N – 1 – PIII – třída dopravního zatížení: I [67]**



Konstrukční vrstvy vozovky:

- Krytové vrstvy:
  - Obrusná: SMA – Asfaltový koberec mastixový
  - Ložní: ACL – Asfaltový beton pro ložní v.
- Podkladní vrstvy:
  - Horní: ACP – Asfaltový beton pro podkladní v.
  - Dolní: MZK – Mechanicky zpevněné kamenivo
- Ochranná vrstva: ŠD – Štěrkodrt'

Obr.34 Skladba vybrané vozovky [67]

Zvolenou vozovku je vhodné použít pro stavbu dálnic, silnic I. tříd a rychlostních místních komunikací. Pro zjednodušení budeme uvažovat, že vozovka bude použita pro stavbu dálnice. V následující tabulce jsou uvedeny maximální přípustné a průměrné odchylky od výšek pro uvedené vrstvy a systémy vhodné pro jejich stavbu.

		VHODNÝ SYSTÉM DLE MAXIMÁLNÍ ODCHYLKY			VHODNÝ SYSTÉM DLE PRŮMĚRNÉ ODCHYLKY			
TYP VRSTVY		STROJE	MAX. ODCHYLKA	TYP TECHNOL.	SYSTÉM	PRŮM. ODCHYLKA	TY TECHNOL.	SYSTÉM
KRYT	SMA ACL	F+V	±10	GNSS	-	±5	GNSS	-
		F		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart
		V		UTS	Trimble CCS900		UTS	Trimble CCS900

PODKLADNÍ	ACP	F	±20	GNSS	-	-	GNSS	-
		V			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63
		F		UTS	Trimble PCS900 Leica PaveSmart		Trimble PCS900 Leica PaveSmart	
		V			Trimble CCS900		Trimble CCS900	
	MZK	G	±20	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	±5	GNSS	-
		V			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			-
		G		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS	
		V			Trimble CCS900		Trimble CCS900	
OCHRANÁ	ŠD	G	±20	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	±5	GNSS	-
		V			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			-
		G		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS	
		V			Trimble CCS900		Trimble CCS900	
ZEMNÍ PLÁŇ		G	+30	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+	-	GNSS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Leica iGG4 Topcon GPS+
		V			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63			Trimble CCS900 Leica iCON Roller Topcon C-63
		G		UTS	Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS		Trimble GCS900 Leica iGG3 Topcon LPS	
		V			Trimble CCS900		Trimble CCS900	

Tab.11 Volba vhodného systému pro zvolenou vozovku

F – finišery, G – grejdry, V - válce

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VOŠTOVÁ A KOL. *Progresivní technika v technologiích zemních prací*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04221-2.
- [2] HÁJEK, Ondřej. *Moderní systémy 2D a 3D nivelace zemních strojů v praxi* [online]. 2008 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://bagry.cz/cze/clanky/technika/moderni\\_systemy\\_2d\\_a\\_3d\\_nivelace\\_zemnic\\_h\\_stroju\\_v\\_praxi](http://bagry.cz/cze/clanky/technika/moderni_systemy_2d_a_3d_nivelace_zemnic_h_stroju_v_praxi).
- [3] Global Positioning System. In: *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](https://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System).
- [4] GLONASS. In: *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- [5] Navigační systém Galileo. In: *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD\\_syst%C3%A9m\\_Galileo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo)
- [6] Differential GPS. In: *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_GPS](https://en.wikipedia.org/wiki/Differential_GPS)
- [7] Real Time Kinematic. In: *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Real\\_Time\\_Kinematic](https://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic)
- [8] About Trimble - Positioning, Productivity and Innovation. In: *Trimble* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.trimble.com/Corporate/About\\_Trimble.aspx](http://www.trimble.com/Corporate/About_Trimble.aspx)
- [9] About Trimble - Trimble at a Glance. In: *Trimble* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.trimble.com/Corporate/About\\_at\\_Glance.aspx](http://www.trimble.com/Corporate/About_at_Glance.aspx)
- [10] Who We Are. In: *Leica Geosystems* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://leica-geosystems.com/about-us/summary/who-we-are>
- [11] Swiss Technology. In: *Leica Geosystems* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://leica-geosystems.com/about-us/summary/swiss-technology>
- [12] Topcon at a Glance. In: *Topcon* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://global.topcon.com/about/>

- [13] VANĚK, Antonín. *Moderní strojní technika a technologie zemních prací*. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1045-9.
- [14] Grejdr Komatsu GD675-6 se chlubí převodovkou s duálním režimem. In: *Bagry.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://bagry.cz/var/ezwebin\\_site/storage/images/tiskove\\_zpravy/grejdr\\_komatsu\\_gd675\\_6\\_se\\_chlubi\\_dualnim\\_pohonem/grejdr\\_komatsu\\_gd675\\_6/4391041-1-cze-CZ/grejdr\\_komatsu\\_gd675\\_6.jpg](http://bagry.cz/var/ezwebin_site/storage/images/tiskove_zpravy/grejdr_komatsu_gd675_6_se_chlubi_dualnim_pohonem/grejdr_komatsu_gd675_6/4391041-1-cze-CZ/grejdr_komatsu_gd675_6.jpg)
- [15] Trimble Grade Control Systems - System Spec Sheet. In: *Trimble* [online]. 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://construction.trimble.com/sites/default/files/literature-files/2016-07/GCS900-Motor-Graders-Machine-System-Spec-Sheets-EN.pdf>
- [16] Trimble GCS900 - Řízení satelitní navigací. In: *SITECH* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr\\_nivelacni\\_system\\_gps/Grejdr3DGPS.pdf](http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr_nivelacni_system_gps/Grejdr3DGPS.pdf)
- [17] 3D nivelační systém TRIMBLE GCS900 pro řízení radlice grejdrů. In: *SITECH* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d.htm>
- [18] Trimble MS992 GNSS Smart Antenna. In: *Trimble - Positioning solutions* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.positioningsolutions.com/Trimble/product\\_specs/trimble\\_ms992.pdf](http://www.positioningsolutions.com/Trimble/product_specs/trimble_ms992.pdf)
- [19] Trimble SR300 Laser Receiver Mast. In: *Trimble - Connected Community* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/hccseng/ConstructionSiteFilespace/New%20Sitech%20Training/2.%20SSTP%20presentations/English/SITECH%20STP%20-%20Product%20Literature%20and%20Videos/Spec%20Sheets/Machine%20Control/Lasers%20and%20Laser%20Receivers/Spec%20Sh>
- [20] Trimble RS400 Rotational Sensor. In: *Trimble - Connected Community* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/hccseng/ConstructionSiteFilespace/New%20Sitech%20Training/2.%20SSTP%20presentations/English/SITECH%20STP%20-%20Product%20Literature%20and%20Videos/Spec%20Sheets/Machine%20Control/Rotation%20Sensors/Spec%20Sheet%20-%20Trim>

- [21] Trimble AS400 Angle Sensor. In: *Trimble - Positioning solutions* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.positioningsolutions.com/Trimble/product\\_specs/Product%20Spec%20-%20AS400.pdf](http://www.positioningsolutions.com/Trimble/product_specs/Product%20Spec%20-%20AS400.pdf)
- [22] ST400 Sonic Tracer. In: *Trimble* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.trimble.com/construction/heavy-civil/machine-control/grade-control/S400-sonic\\_tracer.aspx?dtID=overview](http://www.trimble.com/construction/heavy-civil/machine-control/grade-control/S400-sonic_tracer.aspx?dtID=overview)
- [23] Trimble GCS900 Řízení univerzální totální stanicí. In: *SITECH* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr\\_nivelacni\\_system\\_uts/Grejdr3DUTS.pdf](http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr_nivelacni_system_uts/Grejdr3DUTS.pdf)
- [24] Nivelační systém 3D-UTS. In: *SITECH* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr\\_nivelacni\\_system\\_uts.htm](http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/grader-3d/grejdr_nivelacni_system_uts.htm)
- [25] Trimble universal total station - datasheet. In: *Trimble*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390940/022482-1867\\_Trimble\\_SPSx30\\_UTS\\_DS\\_0611\\_sec.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390940/022482-1867_Trimble_SPSx30_UTS_DS_0611_sec.pdf)
- [26] Trimble MT900 Machine Target. In: *Trimble - Connected Community*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/hccseng/ConstructionSiteFilespace/New%20Sitech%20Training/2.%20SSTP%20presentations/English/SITECH%20STP%20-%20Product%20Literature%20and%20Videos/Spec%20Sheets/Machine%20Control/GNSS%20Antenna%20and%20Machine%20Target/Sp>
- [27] Leica iCON iGG3 - 3D System. In: *Leica Geosystems*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems/grader/leica-icon-igg3---3d-system>
- [28] iCON grade iGG3 - 3D single. In: *GEFOS*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produkty/130/icon-grade-igg3-3d-single>
- [29] Leica Geosystems Řízení stavebních strojů. In: *GEFOS*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty\\_leica/rizeni/leica\\_mc\\_cz\\_2016.pdf](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/rizeni/leica_mc_cz_2016.pdf)

- [30] Leica iCON gps 60 User Manual. In: *SurveyTEQ*. [online]. [cit. 2017-05-19].  
Dostupné z:  
<http://www.surveyteq.com/pdf/Leica%20iCON%20gps%2060%20UserManual.pdf>
- [31] iCON grade iGG4 - 3D dual. In: *GEFOS*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/257/icon-grade-igg4-3d-dual>.
- [32] Leica iCON iGG4 - 3D System. In: *Leica Geosystems*. [online]. [cit. 2017-05-19].  
Dostupné z:  
<http://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems/grader/leica-icon-igg4---3d-system>.
- [33] Motor Grader - 3D. In: *TOPCON TotalCare*. [online]. [cit. 2017-05-19].  
Dostupné z:  
<http://topconcare.com/en/hardware/grading-systems/motorgrader-3d-gps/>.
- [34] mmGPS. In: *TOPCON TotalCare*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://topconcare.com/en/hardware/mc-sensors/mmgps/>.
- [35] Silniční fréza. In: *Wikipedie*. [online] 10. 9 2016. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Silni%C4%8Dn%C3%AD\\_fr%C3%A9za](https://cs.wikipedia.org/wiki/Silni%C4%8Dn%C3%AD_fr%C3%A9za).
- [36] KALBÁČOVÁ, Radka. *Frézovací stroje*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.dopravni-projekty.cz/dopravni-stavitelstvi/stavba-a-konstrukce-pk/stavebni-stroje>
- [37] The World of Wirtgen Cold Milling Machines. In: *WIRTGEN GmbH*. [online] 2016.  
[cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
[https://media.wirtgen-group.com/media/02\\_wirtgen/media\\_1/media\\_1\\_product\\_divisions/media\\_1\\_product\\_divisions\\_cold\\_milling\\_machines/W\\_brochure\\_Cold-Milling-Machines\\_0316\\_EN.pdf#langnotavail\\_cs](https://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/media_1/media_1_product_divisions/media_1_product_divisions_cold_milling_machines/W_brochure_Cold-Milling-Machines_0316_EN.pdf#langnotavail_cs).
- [38] Paving Control for Milling Machines. In: *Trimble*. [online]. [cit. 2017-05-19].  
Dostupné z:  
<https://construction.trimble.com/products-and-solutions/paving-control-milling-machines>.
- [39] Silniční fréza. In: *SITECH*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z:  
<http://www.sitech-czech.cz/cs/site/rizeni-stroju/nivelacni-systemy-3d/silnicni-freza-3d.htm>.

- [40] Leica PaveSmart 3D system. In: *Leica Geosystems*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems/rollers-and-pavers/leica-pavesmart---3d-system>.
- [41] Milling 3D. In: *TOPCON TotalCare*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://topconcare.com/en/hardware/paving-systems/milling-3d/>.
- [42] Finišer. In: *Wikipedie*. [online] 17. 4 2017.[cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fini%C5%A1er>.
- [43] Mobilní továrny pro výstavbu silnic. In: *WIRTGEN*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.wirtgen.de/cs/line-products/slipform-pavers/inset-slipform-pavers/inset-pavers.php>.
- [44] The World od Wirtgen Slipform Pavers. In: *WIRTGEN GmbH*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://media.wirtgen-group.com/media/02\\_wirtgen/media\\_1/media\\_1\\_product\\_divisions/media\\_1\\_product\\_divisions\\_slipform\\_pavers/media\\_1\\_product\\_divisions\\_slipform\\_pavers\\_brochures/media\\_1\\_product\\_divisions\\_slipform\\_pavers\\_brochures\\_gb/Brochure\\_Slipform-paver](https://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/media_1/media_1_product_divisions/media_1_product_divisions_slipform_pavers/media_1_product_divisions_slipform_pavers_brochures/media_1_product_divisions_slipform_pavers_brochures_gb/Brochure_Slipform-paver).
- [45] Single-layer or dual-layer paving with a single machine. In: *WIRTGEN*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.wirtgen.de/en/technologies/slipform-paving/operating-principle-inset/einbaumethoden-sp1600.php>.
- [46] Super 3000-2 tracked paver. In: *VÖGELE*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://media.voegele.info/media/03\\_voegele/produkte/broschueren/02\\_raupenfe rtiger/layout\\_2016/super\\_3000\\_1/SUPER\\_3000-2\\_EN\\_2517395\\_mPW\\_0316\\_Lay2016.pdf](https://media.voegele.info/media/03_voegele/produkte/broschueren/02_raupenfe rtiger/layout_2016/super_3000_1/SUPER_3000-2_EN_2517395_mPW_0316_Lay2016.pdf).
- [47] Paving Control for Asphalt Pavers. In: *Trimble*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/paving-control-asphalt-pavers>.
- [48] Paving 3D. In: *TOPCON TotalCare*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://topconcare.com/en/hardware/paving-systems/paving-3d/>.
- [49] Válec AMMANN AV 85-2. [online]. Dostupné z: <https://www.mascus.cz/googlexml/lectura/img/models/1036302.jpg>.



- [50] Pneumatikový válec BOMAG BW 27 RH-4i. [online]. Dostupné z: [http://www.maquinter.es/wp-content/uploads/2016/03/Maquinter-Maquinaria-Compactacion-Rodillos\\_de\\_neumaticos.jpg](http://www.maquinter.es/wp-content/uploads/2016/03/Maquinter-Maquinaria-Compactacion-Rodillos_de_neumaticos.jpg).
- [51] Válec BOMAG BW 141 AD-50. [online]. Dostupné z: <http://www.bomag.com/click-demo/module/product-catalog-release/picture-gallery/small/629038490B.jpg>.
- [52] Tahačový válec AMMANN 150 ASC. [online]. Dostupné z: [http://www.baumaschinen-rental.com/highslide/images/large/ammann2\\_150.jpg](http://www.baumaschinen-rental.com/highslide/images/large/ammann2_150.jpg).
- [53] Trimble Compaction Control Systems CCS900 for Soil Compactors. In: *Trimble*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://construction.trimble.com/sites/default/files/literature-files/2016-07/GCS900-Soil-Compactors-Machine-System-Spec-Sheets-EN.pdf>.
- [54] Trimble Compaction Control Systems CCS900 for Asphalt Compactors. In: *Trimble*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://construction.trimble.com/sites/default/files/literature-files/2016-07/CCS900-Asphalt-Compactors-Machine-System-Spec-Sheets-EN.pdf>.
- [55] Leica iCON roller – Achieve More with Visual Passcount Mapping. In: *Leica Geosystems*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems/rollers-and-pavers/leica-icon-roller>.
- [56] C-63 INTELLIGENT COMPACTION SYSTEM. In: *TOPCON*. [online] 2015. Dostupné z: [https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product\\_files/c63\\_intelligent\\_compaction\\_brochure\\_a\\_team\\_en\\_eu\\_low.pdf](https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/c63_intelligent_compaction_brochure_a_team_en_eu_low.pdf).
- [57] Fotogrammetrie základní pojmy, rozdělení, metody a využití. In: *Mendelova univerzita v Brně*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/geodezie/geodezie1/fotogrammetrie.pdf>.
- [58] Vozovka. In: *Wikipedie*. [online] 10. 9 2014. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vozovka>.
- [59] MONDSCHHEIN, Petr. Silniční stavby 2. In: *Silniční laboratoř*. [online]. 2014 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://mondy.webnode.cz/prednasky/>

- [60] Stavba pozemních komunikací. In: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava Fakulta stavební*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://fast10.vsb.cz/krajcovic/!kombinovane/!dopravni\\_a\\_vodni\\_stavby/pomucky\\_k\\_reseni/pdf/STAVBA\\_PK\\_KOMBI.pdf](http://fast10.vsb.cz/krajcovic/!kombinovane/!dopravni_a_vodni_stavby/pomucky_k_reseni/pdf/STAVBA_PK_KOMBI.pdf).
- [61] *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 4 - Zemní práce*. Praha: Ministerstvo dopravy - Odbor silniční infrastruktury, 2009. Dostupné také z: <http://www.pjpk.cz/technicke-kvalitativni-podminky-staveb-tpk/>
- [62] ČSN 73 6126-1: *Stavba vozovek - Nestmelené vrstvy - Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [63] ČSN 73 6126-2: *Stavba vozovek - Nestmelené vrstvy - Část 2: Vrstva z vibrovaného štěrku*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [64] ČSN 73 6124-1: *Stavba vozovek - Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy - Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [65] ČSN 73 6121: *Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy - Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [66] ČSN 73 6123-1: *Stavba vozovek - Cementobetonové kryty - Část 1: Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [67] *TP 170: Dodatek č. 1 - Navrhování vozovek pozemních komunikací - všeobecná část, katalog, návrhová metoda*. Praha: Ministerstvo dopravy - Odbor silniční infrastruktury, 2010. Dostupné také z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_170\\_Dodatek\\_1.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_170_Dodatek_1.pdf)
- [68] Práce v inženýrské geodézii. In: *Georeal*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.georeal.cz/cz/inzenyrska-geodezie/prace-v-inzenyrske-geodezii>.
- [69] Parts per million. In: *Wikipedia*. [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Parts\\_per\\_million](https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Parts_per_million).

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Schéma grejdrů [13]	20
Obr.2 Grejdr Komatsu GD675-6 [14]	20
Obr.3 Komponenty GNSS technologie grejdrů [16]	22
Obr.4 Komponenty při navádění grejdrů pomocí totální stanice [23]	24
Obr.5 Komponenty iGG4 systému grejdrů [29]	26
Obr.6 Komponenty systému GPS+ grejdrů [33]	27
Obr.7 Komponenty systému mmGPS grejdrů [33]	28
Obr.8 Komponenty systému LPS grejdrů [33]	29
Obr.8 Schéma frézy firmy WIRTGEN [37]	30
Obr.10 Komponenty systému mmGPS frézy [41]	32
Obr.11 Betonový finišer pro pokládku jedné vrstvy [45]	34
Obr.12 Betonový finišer pro pokládku dvou vrstev [45]	34
Obr.13 Asfaltový finišer VÖGELE SUPER 3000-2 [46]	34
Obr.14 Komponenty systému PCS900 3D pro finišery [47]	35
Obr.15 Komponenty systému mmGPS pro asfaltové finišery [48]	37
Obr.16 Komponenty systému mmGPS pro betonové finišery [48]	38
Obr.17 Schéma statického válce [13] ; Obr.18 Válec AMMANN AV 85-2 [49]	39
Obr.19 Pneumatikový válec BOMAG BW 27 RH-4i [50]	40
Obr.20 Schéma vibračního válce [13]	41
Obr.21 Válec BOMAG BW 141 AD-50 [51]	41
Obr.22 Tahačový válec AMMANN 150 ASC [52]	42
Obr.23 Komponenty systému GNSS technologie válce [53]	43
Obr.24 Komponenty systému při navádění pomocí totální stanice válce [53]	44
Obr.25 Komponenty systému GNSS technologie asfaltového válce [54]	45
Obr.26 Komponenty systému při navádění pomocí totální stanice asfaltového válce [54]	46

Obr.27 Komponenty systému C-63 válce [56]	47
Obr.28 Geometrická nivelace ze středu [1]	49
Obr.30 Podélná nerovnost [1]	51
Obr.31 Příčná nerovnost [1]	52
Obr.32 Měřící klínek [1]	52
Obr.33 Schéma konstrukce vozovky [60]	53
Obr.3 Skladba vybrané vozovky [67]	66

## 10. SEZNAM TABULEK

Tab.1 Přípustné odchylky zemní pláně [61]	54
Tab.2 přípustné odchylky nestmelené podkladní vrstvy [62; 63]	55
Tab.3 Přípustné odchylky vrstev stmelených hydraulickými pojivy [64]	55
Tab.4 Přípustné odchylky asfaltových vrstev [65]	55
Tab.5 Přípustné odchylky cementobetonového krytu [66]	56
Tab.6 Doporučená třída dopravního zatížení a typ CB krytu pro různé komunikace [66]	56
Tab.7 Závislost použitého materiálu na třídě dopravního zatížení [62; 63]	56
Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 1: Zemní pláň	57
Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 2: Ochranná vrstva	57
Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 3: Podkladní vrstva	58
Tab.8 Přípustné odchylky v závislosti na typu komunikace – část 4: Kryt	59
Tab.9 Přesnosti jednotlivých systémů	60
Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách Část 1: Zemní pláň	61
Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách Část 2: Ochranná vrstva	62
Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách Část 3: Podkladní vrstva	63
Tab. 10 Závislost vhodnosti konkrétního systému na přípustných výškových odchylkách Část 4: Kryt	65
Tab.11 Volba vhodného systému pro zvolenou vozovku	67