

Profesor: dr Vladimir Bulatović

Asistent: Dejan Vasić



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



Studijski program: Geodezija i geomatika

Seminarski rad iz predmeta

Inteligentni IT Sistemi Premera

MAŠINSKI KONTROLISANI SISTEMI

Student: Dragana Tošić GG 44/2011

Sadržaj

1. Uvod	3
2. 3D mašinski kontrolni sistemi	4
2.1 Princip rada GPS pozicioniranja	6
2.1.1 GNSS, GPS, GLONASS, GALILEO.....	8
2.1.2 Bežični prenos informacija	10
2.2 Princip rada robotizovanog pozicioniranja	12
2.2.1 Robotizovane totalne stanice sa pasivnim prizmama.....	14
2.2.2 Robotizovane totalne stanice sa aktivnim prizmama	16
3. Kellogg izvještaj.....	17
4. Usklađivanje komponenti sistema za kontrolu mašina. Tipovi antena.....	22
5. Zaključak.....	25
6. Literatura.....	26

1. Uvod

Različite vrste mašina koriste se za potrebe praćenja Zemlje i radova na njoj. Poslednjih godina nastojanja za razvijanjem sistema za automatsku kontrolu ovih mašina su u konstantnom porastu. Jedna od najvažnijih stvari vezanih za ovaj razvoj je tehnologija 3-D mjerenja. Uz pomoć robotizovanih tahimetara, pokretne mašine danas mogu biti pozicionirane sa veoma visokim nivoom tačnosti. Koristeći RTK-GPS metodu mjerenja takođe je moguće postići pristojnu tačnost dinamičkog pozicioniranja. Takođe, real-time koncept je prisutan i u fazama dizajna i modelovanja. Danas 3-D modeli mogu da se koriste direktno u zadacima uspostavljanja i kontrole premjera.

Širom svijeta, automatizovani sistemi za kontrolu su izučavani i razvijani za veoma različite mašine i metode rada. Vodeća područja primjene ovih sistema su – građevinarstvo, rudarstvo i poljoprivreda. Navođenje ili kontrola teške mašinerije zahtijeva navigacione senzore sa odgovarajućom brzinom mjerenja i tačnošću, kao i stabilnošću i pouzdanošću u izvršenje radova. 3D pozicioniranje, zajedno sa orijentisanjem i informacijama o nagibu je samo jedan dio potpune kontrole nad mašinama. Prikupljanje podataka, verifikacija, upravljanje i interakcija informacija o pozicioniranju sa 6 stepeni slobode¹, zajedno sa kontrolorom mašina su potrebni za potpuno funkcionisanje sistema. (1)

Potpuno automatizovani sistemi nisu još prikazani u takvim projektima. Uglavnom su uloge i zadaci ovih sistema za kontrolu da pomognu opetareterima u premjeru i dokumentovanju rada. Na primjer, može se uzeti u razmatranje kontrolni sistem u motornoj bušilici, u kojem je operater obaviješten o dubini, kao i o rotacionoj brzini bušilice (slučaj u UK) (2). U Evropi je u okviru CIRC i OSYRIS projekata proučavana automatizacija rada na trotoaru. U Sjedinjenim Američkim Državama razvijeni su različiti kontrolni sistemi za premjer i kontrolu aplikacija bagera. U Nacionalnom Institutu za Standardizaciju i Tehnologiju (NIST) u S.A.D.-u izučavane su automatizovana kontrola i navigacija pokretnih vozila, 3-D kontrola kranova, tehnika za 3-D lasersko skeniranje, metode za 3-D vizualizaciju i nove mogućnosti koje su ustanovljene uz pomoć rezultata, kao i njihovo korišćenje u daljim radovima.

Kontrolni sistemi bagera su takođe proučavani u Italiji i Poljskoj. U Japanu su proučavani sistemi bez rukovanja operatera i njihova ekonomska isplativost.

¹6 stepeni slobode: sloboda kretanja tijela u 3d prostoru: naprijed/nazad, gore/dole, lijevo/desno, kombinovano sa rotacijom oko sve 3 ose (pitch, yaw, roll)

Povezanosti CAD modela sa mašinski kontrolisanim sistemima do sad je posvećeno neočekivano malo studija.

Možda najbolji način za upoznavanje sa tehnologijama automatizacije na tržištu jesu posjete međunarodnim tehničkim i tehnološkim izložbama, kao što su INTERMAT i SAMOTER. Prema opštim zapažanjima, primjetno je da se na ovim izložbama konstantno povećava broj mašinski kontrolisanih sistema za potrebe opažanja kretanja mašina na Zemlji. Najistaknutije prezentacije su date od strane kompanija: TRIMBLE, LEICA i TOPCON. Na izložbi INTERMAT 2003 u Parizu predstavljen je veći nego ikad to tad broj različitih 3-D mašinski kontrolisanih sistema.

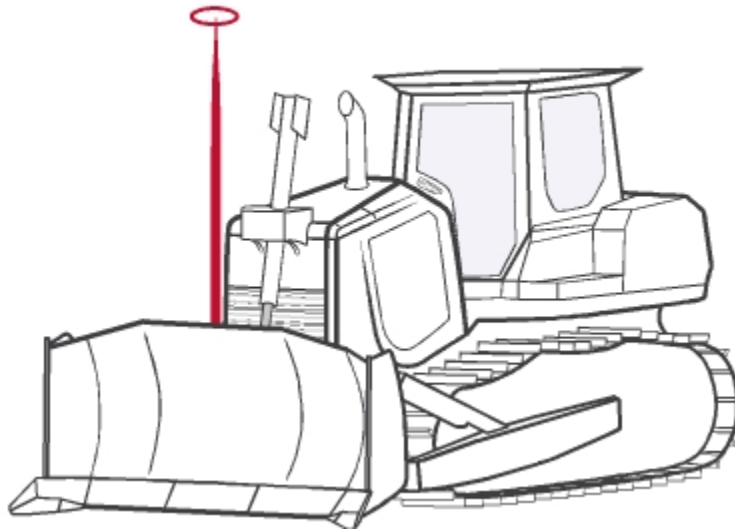
U građevinarstvu i geodeziji, mašinska kontrola koristi se za tačno pozicioniranje mašina, bazirano na 3D dizajniranim modelima i GPS sistemima, stoga pomaže mašinskim operaterima da npr. kontrolišu poziciju lopate grejdera (3). Mnogi mašinski kontrolisani sistemi koriste Real Time Kinematiku – RTK sistem da bi poboljšali preciznost pozicioniranja.

Kao što je navedeno, tri vodeća proizvođača mašinski kontrolisanih sistema su: Trimble Navigation Limited, Topcon Positioning Systems i Leica Geosystems. 2010. godine objavljen je *The Kellogg* izvještaj ², koji služi kao izvor za upoređivanje ovih sistema.

2. 3D mašinski kontrolni sistemi

Za objašnjenje osnova ove tehnologije najbolje je pomenuti single-antenu, GPS-baziran sistem i dozer kao primjer. Ovo je česta konfiguracija sistema, na koju se može naići prilikom različitih radova.

² <http://www.kelloggreport.com/compare-3D-grade-control-systems-for-excavators.html>



Slika 2 1 Prikaz vozila na koje je namontirana GNSS antena na štapu radi upravljanja

GPS predstavlja Globalni Pozicioni Sistem i to je konstelacija od 24 navigaciona satelita u vlasništvu SAD ministarstva odbrane.

GPS antena i prijemnik su u mogućnosti da primaju signale poslate sa ovih satelita i da ih koriste da sračunaju poziciju antene. Ovo je moguće uraditi mnogo puta u sekundi, što ovaj sistem može da učini sistemom za real-time pozicioniranje.

GPS antena je namontirana na vrh štapa koji je zavrnut direktno na lopatu mašine. Antena je namontirana na štap jer mora biti viša od kabine vozila da bi imala bolji pristup otvorenom nebu i primala neometano signal sa satelita. Signal koji antena primi putuje do GPS prijemnika, koji ga dekodira i šalje u kontrolnu jedinicu.

Da bi 3D kontrolni sistem sračunao tačnu poziciju ivice lopate dozera, potrebno je da i signal sa GPS prijemnika koji je na mašini i korekcionni signal koji stiže preko radio veze od GPS bazne stanice budu locirani u blizini radilišta. Bazna stanica sastoji se od GPS antene i prijemnika sa radiom koji obezbjeđuje korekcije za signal prijemnika na mašini.

"Mozak" sistema je kontrolna jedinica (control box), koja je uvijek smještena unutar kabine vozila. Trebalo bi da je smještena u blizini operatera, kako bi bila lako dostupna, ali takođe, trebalo bi da obezbijedi jasan domet do lopate dozera, kako bi operater mogao vidjeti rezultate upravljanja. Konstelacija ovog mašinskog kontrolnog sistema prikazana je na slici (Slika 2. 2)



Slika 2. 2 Antena, prijemnik, senzor nagiba i kontrolna jedinica marke Topcon

Kontrolna jedinica koristi sve inpute (ulazne informacije) od GPS prijemnika koji je na mašini, GPS bazne stanice i senzora nagiba koji se nalazi namontiran na lopati vozila, da bi sračunala tačnu 3D poziciju lopate nekoliko puta u sekundi. Nakon toga, sistem provjerava model podataka da vidi kakav bi dizajn elevacije trebalo da bude na posmatranom mjestu na terenu. Razlika između trenutne elevacije ivice lopate i dizajnirane/predviđene elevacije jeste **cut/fill informacija**³. Ova cut/fill informacija je zatim prikazana operateru u realnom vremenu na ekranu kontrolne jedinice. (4)

Ako je operater podesio sistem na automatski mod, cut/fill informacija će biti poslata ventilima, tako da lopata može biti automatski usmjerena na dizajniranu/predviđenu elevaciju.

2. 1 Princip rada GPS pozicioniranja

GPS predstavlja Globalni Pozicioni Sistem i to je konstelacija od 24 navigaciona satelita u vlasništvu SAD ministarstva odbrane.

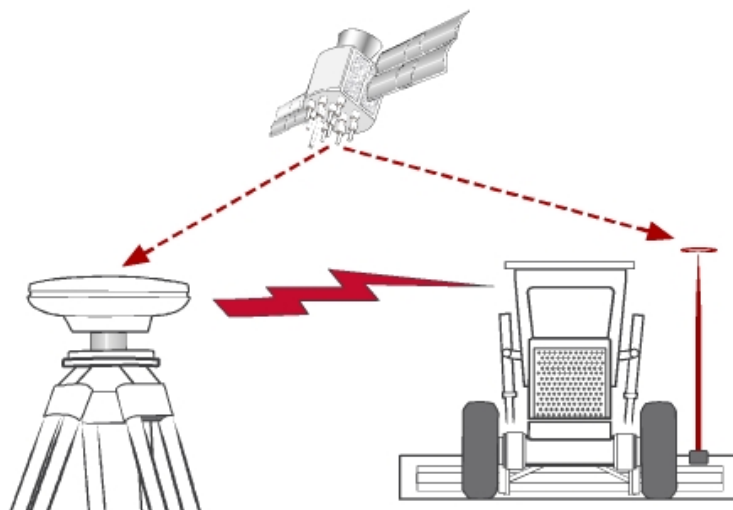
³ U zemljanim radovima, cut/fill je proces konstruisanja pruge, puta ili kanala, pri čemu količina materijala koja je otklonjena mora da se približno poklopi sa količinom *fill* materijala – potrebnog da bi se izgradili nasipi. Osijecanje, *cutting* se koristi tamo gdje je zemljište više od projektovanog.

Pravilan naziv za ovaj sistem je NAVSTAR GPS: Navigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System. Čini ga konstelacija od 24 satelita plus 3 rezervna, raspoređenih u 6 orbitalnih ravni. Primajući poslate signale sa nekoliko od tih satelita, GPS prijemnik na Zemlji može precizno odrediti svoju poziciju.

Mnogi od nas koriste navigaciju uz pomoć satelita za svakodnevne potrebe. Ipak, prijemnici koje koristimo za ove svrhe nisu ni približno dovoljno precizni za potrebe radova na zemlji – za geodetske, građevinske, poljoprivredne i slične potrebe.

Da bi se GPS koristio za precizna mjerenja, potrebno je uvesti u upotrebu i drugi resiver – baznu stanicu.

Na slici (Slika 2. 3) je prikazan način određivanja pozicije GPS prijemnika pričvršćenog na lopatu dozera uz pomoć korekcija koje prima sa bazne stanice.



Slika 2. 3 Određivanje pozicije mašine

Bazna stanica mora biti postavljena na poznatu tačku, odnosno tačku čija lokacija je poznata 3D mašinskom kontrolnom sistemu u koordinatnom sistemu terena/lokalnom koordinatnom sistemu.

Kad je kompjuter u mogućnosti da istovremeno prima podatke sa bazne stanice i rovera (GPS prijemnik na lopati/zgrtaču mašine), onda je u mogućnosti da odredi poziciju mašine sa mnogo većom tačnošću.

Mi koristimo radio signale za slanje pozicija mjerenih sa bazne stanice na 3D mašinski kontrolni kompjuter, koji se nalazi u kabini.

Postoji nekoliko vrsta radija, ali najčešće tehnologije koje se koriste su: FM-modelovana UHF i 900 MHz širokospektralna. Radio funkcioniše jednosmjerno – samo od bazne stanice ka prijemniku na mašini. Podaci za pozicioniranje mogu biti poslani jednom, ili nekoliko puta u sekundi.

Kada 3D mašinski kontrolni sistem primi podatke za pozicioniranje sa oba prijemnika, može da sračuna tačnu poziciju ivice lopate/zgrtača i da započne generisanje cut/fill informacija.

Bazna stanica može biti *all-in-one* ili modularna, odnosno GPS antena, prijemnik i radio mogu biti sadržani u jednom kućištu, ili svaki od segmenata u posebnom. Leica GS15, Trimble SPS882, Topcon GR3 i HIPER-serije prijemnika su sa integrisanim komponentama, dok su Leica GS10, Trimble SPS852 i Topcon GB-serije modularni sistemi.

2.1.1 GNSS, GPS, GLONASS, GALILEO



Slika 2 4 Različiti globalni pozicioni sistemi

Postoji nekoliko termina koji se koriste često kada je riječ o globalnom pozicioniranju. Najčešće je u upotrebi termin 'GPS'. Postao je sveprisutan sa sve većim korišćenjem satelitske navigacije i široko je korišćen kao opšti naziv.

GPS predstavlja Globalni Pozicioni Sistem i to je konstelacija od 24 navigaciona satelita u vlasništvu SAD ministarstva odbrane.

Pravilan naziv za ovaj sistem je NAVSTAR GPS: Navigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System.

Glavni 'rival' GPS-u je ruski sistem GLONASS. Ovaj satelitski sistem je lansiran 1982. i upravljani je od strane Ministarstva odbrane Ruske Federacije.

I GPS i GLONASS konstelacije su trenutno potpuno operativne i imaju globalnu pokrivenost. Sa postojanjem dva uporediva sistema, uveden je termin GNSS (Global Navigation Satellite System), da bi opisao satelitske pozicione sisteme uopšteno.

Dakle, i GLONASS i GPS su GNSS sistemi.

Ukoliko prijemnik može da prima signal sa više sistema (npr. i sa GPS i sa GLONASS), onda će biti u mogućnosti da "vidi" više satelita, čak i pod težim uslovima. Na kraju, ovo znači više korisnog vremena za izvođača radova.



Slika 2. 5 Prvi test satelit GALILEO konstelacije

U dodatku pomenutim sistemima, dva GNSS sistema su trenutno u razvoju: Galileo je sistem pokrenut od strane Evropske Unije a Kina proširuje svoj postojeći sistem Beidou, sa namjerom da on postane globalni sistem. Ovaj sistem je poznat i kao Compass. U planu je da se potpuno razvije do 2020. godine. (5)

Neki proizvođači već nude GNSS prijemnike za koje tvrde da će biti u mogućnosti da primaju signal sa ova dva nova sistema, kad oni postanu potpuno operativni.

Topcon nudi G3 tehnologiju u nekim od prijemnika, za koje tvrde da će moći da primaju signal sa GPS-a, Galilea i GLONASS-a. Takođe su najavili i mogućnost primanja signala sa Compass-a.

Trimble nudi GPS i GLONASS praćenje na MS990 mašinski kontrolisanim GNSS resiverima. Slično tome, Leica PowerBox i PowerAntenna takođe mogu da prate satellite obje konstelacije.

2.1.2 Bežični prenos informacija

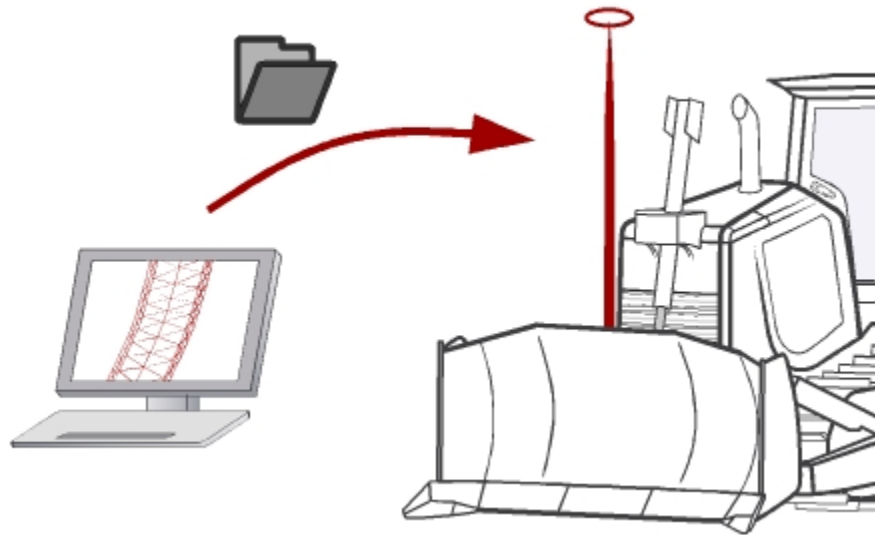
Uprkos svim impresivnim uređajima koji su proizvedeni od strane mnogih proizvođača, ono što zaista pokreće mašinski kontrolisane sisteme jesu podaci.

Model podataka koji postoji u sistemskim kompjuterima posjeduje sve potrebne informacije za precizno obezbjeđivanje cut/fill za cijelo radno područje.

Ovakav model podataka je obezbijeđen od strane inženjera ili je kreiran od izvođača radova, sa papirnih planova. Kao takav, model podataka je podložan greškama i promjenama koje mogu nastati na papirnim planovima.

Svi 3D mašinski kontrolisani sistemi imaju manualni metod prikupljanja podataka na kompjuter. Različiti tipovi memorijskih uređaja su korišćeni, kao npr. USB stikovi, PCMCIA kartice, SD kartice itd.

Ono što svi ovi memorijski uređaji zahtijevaju je da neko učita podatke na uređaje u kancelariji, a zatim da se omogući putovanje do mašine na radnom području i ručno unese memorijski uređaj u kompjuter da bi se model dodao na kompjuter. Ovo mora da se uradi za sve mašine koje su dio mašinski kontrolisanih sistema na radnom području. Dok se ovo događa, mašine su stacionirane, dakle, ne rade (Slika 2. 6)



Slika 2. 6 Prenos podataka

Da bi se smanjilo vrijeme potrošeno na dodavanje novih ili pregled postojećih modela podataka, neki dijelovi mašinski kontrolisanih sistema nude opciju bežičnog prenosa podataka. Ova opcija koristi radio već postavljen na mašinu (koristi se za primanje GNSS korekcija sa lokalne GNSS bazne stanice) ili dodatni radio uređaj za prenos modela podataka direktno sa kompjutera u kancelariji na kompjuter u kabini mašine koja se upravlja.

Bežična komunikacija je prenos informacija između dvije ili više tačaka koje nisu povezane nikakvim električnim provodnikom. (6)

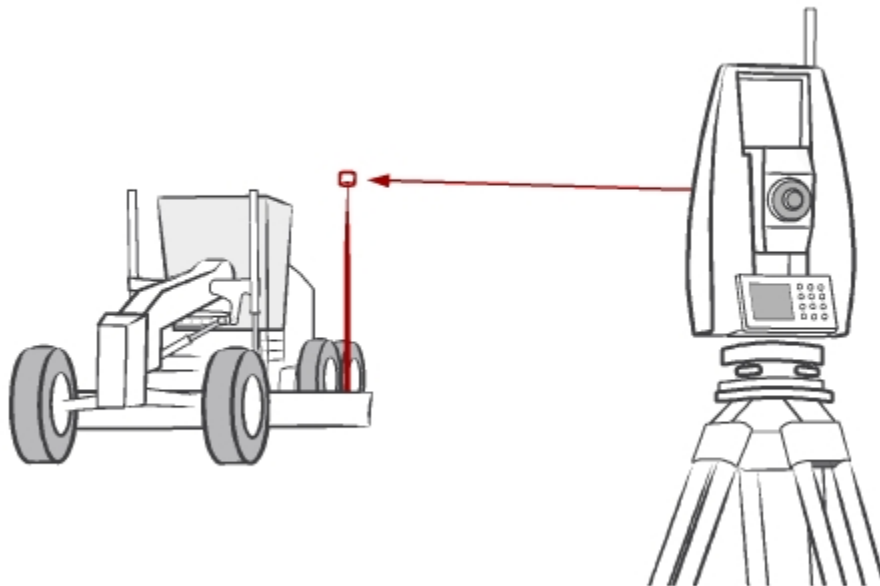
Alternativna mogućnost je da sistem koristi mobilnu internet konekciju da bi postigao isti cilj. Ova opcija postaje sve popularnija, kako sve više radnih područja dobija pokrivenost bežičnim internetom.

Kompjuter u kancelariji je ili povezan direktno na modem i radio ili koristi internet da bi jednostavno posao model direktno na mašinu na isti način kao što se šalje e-mail. Mogućnost dodavanja novih modela podataka na daljinu osigurava da se promjene primjenjuju odmah, smanjujući napor i troškove rada.

Takođe, manje ljudi na radnom području smanjuje šansu za rizikom od ličnih povređivanja na radu.

2.2 Princip rada robotizovanog pozicioniranja

Kao GNSS, i robotizovana totalna stanica je 3D senzor za pozicioniranje u okviru 3D kontrolnog sistema. Ipak, za razliku od GNSS-a, koji je u stvari veoma napredni radio prijemnik, ovi senzori su elektro-mehanički i optičko-pozicioni uređaji. Ovo znači da mogu biti korišćeni ispod tla, ili u zgradama ili bilo kojim drugim mjestima gdje GNSS ne radi jer nema pristup slobodnom nebu. (7). Takođe, robotizovana totalna stanica je najtačniji senzor za pozicioniranje koji je danas dostupan za konstruisanje 3D kontrolnih aplikacija.



Slika 2. 7 Robotizovana totalna stanica

Robot mjeri samo tri parametra: vertikalni ugao, horizontalni ugao i udaljenost do opažanog objekta. U našem slučaju, opaža se prizma postavljena na vrh štapa, koji je montiran na plućnu ploču. Prizma je montirana na štap tako da optička linija vizure do robota može biti uvijek postojana, bez obzira na orijentaciju grejdera. (8)

Oba ugla su mjerena usmjeravanjem teleskopskih osa robotizovane stanice ka prizmi. Kad je stanica usmjerena ka prizmi, šalje infracrveno svjetlo koje se odbija od posmatranog objekta nazad u stanicu. Pomoću ove refleksije, robotizovana totalna stanica može odrediti udaljenost do cilja. (9)

Robot takođe ima ugrađen uređaj za praćenje. Ovaj uređaj može koristiti više od jednog principa rada, ali dovoljno je reći da je to optički sistem koji može da 'vidi' prizmu i da onda pokrene motore robotizovane stanice tako da je ona uvijek usmjerena ka prizmi. Dakle, imamo instrument koji može da prati prizmu na grejderu, ili bilo kojoj drugoj mašini i da nam kaže tačnu lokaciju u smislu vertikalnog ugla, horizontalnog ugla i kose dužine. Dalje je potrebno ove informacije dostaviti do kontrolne jedinice/kutije 3D kontrolnog sistema na grejderu.

Za ove potrebe, robotizovana stanica ima ugrađen radio koji šalje informacije o pozicioniranju do grejdera mnogo puta u sekundi. Grejder, sa druge strane, ima prijemni radio koji prenosi ovu informaciju do kontrolne kutije sistema, gdje ona može biti obrađena.



Slika 2 8 Leica Power Tracker robotizovana totalna stanica i prizma

Robotizovana stanica se postavlja iznad tačke poznate u lokalnom koordinatnom sistemu. Budući da kontrolna jedinica zna koordinate robota, može da sračuna *Northing*, *Easting* i *Elevation*⁴ prizme iz uglova i kose dužine koje prima. Nakon što se iz uglova i distance dobiju koordinate, 3D kontrolni sistem može započeti generisanje cut/fill informacija za prikaz operateru, ili za upravljanje hidraulikom. (10)

⁴ Termini *easting* i *northing* su geografske kartezijanske koordinate. Easting označava mjerenja u pravcu istoka (x-koordinatu), a northing se odnosi na mjerenja u pravcu sjevera (y-koordinatu).

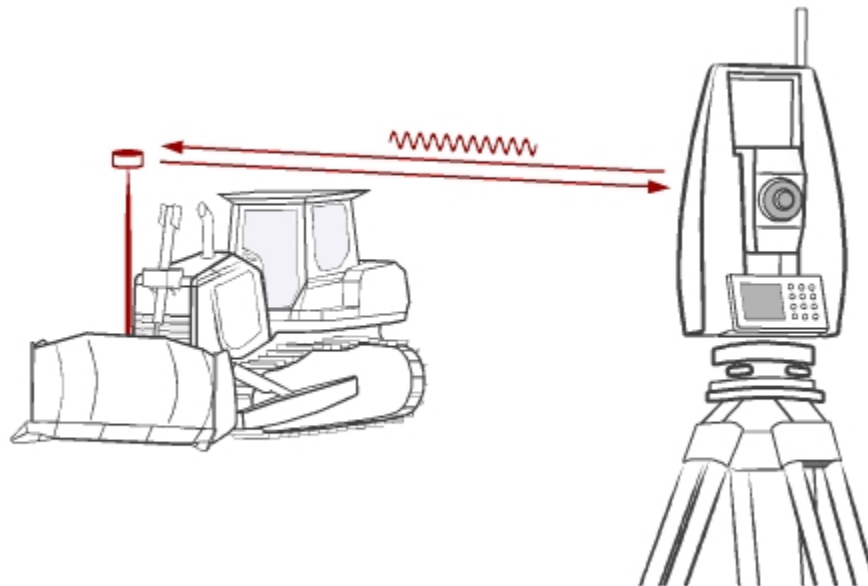
Leica, Trimble i Topcon su kompanije koje proizvode vodeće robotizovane totalne stanice, specijalno dizajnirane za aplikacije za 3D mašinski kontrolisane sisteme. Ipak, neki 3D mašinski kontrolisani sistemi drugih proizvođača mogu biti u mogućnosti da koriste jednu ili više gorepomenutih komponenti robotizovanih sistema.

2.2.1 Robotizovane totalne stanice sa pasivnim prizmama

Available on:

- Trimble *GCS900*
- ✓ **Topcon** *LPS-900*
- Caterpillar *AccuGrade*
- ✓ **Leica** *PowerGrade 3D*
- ✓ **Carlson** *Carlson Grade* ⁵

Uređaj za praćenje koji koristi pasivne prizme šalje infracrveno svjetlo koje se reflektuje nazad na uređaj. Na neki način, ovo je slično robotizovanom mjerenju udaljenosti, samo što uređaj za mjerenje udaljenosti mjeri ili kašnjenje u pulsevima ili faznu razliku dva talasa, da bi odredio udaljenost (Slika 2. 9) (9)



Slika 2. 9 Uređaj za praćenje pomoću pasivne prizme

⁵ iz Kellogg izvještaja: <http://www.kelloggreport.com/robotic-total-station-passive-target.html>

U zavisnosti od tehnologije uređaja za praćenje koja se koristi, uređaj ili mjeri dolazeći horizontalni i vertikalni ugao svjetlosnog signala koji se reflektuje nazad, ili kreira sliku refleksije u internoj CCD kameri. U svakom slučaju, uređaj za praćenje generiše signale za korekciju do vertikalnih i horizontalnih motora koji okreću robot ka prizmi. (11)

Prizma se sastoji od jedne ili više retro-refleksivnih prizmi i ne zahtijeva izvor napajanja da bi radila, zato se naziva *pasivna*. Ovakve prizme su relativno jeftine.

Budući da je funkcija za praćenje zavisna od refleksije, moguće je da se robot zaustavi na jednom, ili prati neki objekat koji je sposoban da reflektuje svjetlost nazad ka izvoru. Takvi objekti mogu da budu reflektivni prsluci, farovi automobila ili 'stop' znakovi. Proizvođači rade na tome da ublaže probleme tzv. *lažnog zaustavljanja* korišćenjem različitih taktika, ali najbolja strategija je uopšte ne izgubiti signal. (12)

Da bi se osiguralo praćenje prizme, proizvodi se konstantno unapređuju bržim servo motorima, boljim pratećim uređajima i naprednijim algoritmima.

Ipak, ako dođe do gubljenja mete, karakteristike poput dinamičkog prozora pretrage, definisanog malog trougla oko tačke gdje je meta izgubljena, pomažu minimiziranju vremena potrebnog za ponovno uspostavljanje praćenja. Neki sistemi takođe mogu da uzmu u obzir putanju mašina, kad odlučuju gdje da traže izgubljenu metu.

Leica ima jedinstvenu karakteristiku u *PowerGrade3D*, gdje korisnik može da doda *home point*. Ovo je korisnički definisana tačka na koju operater može navesti mašinu nakon gubljenja mete. Robot će onda sačekati da se meta pojavi na ovoj lokaciji. (13)

Leica PowerTracker i *Topcon LPS-900* koriste isključivo pasivne prizme.

Trimble SPS- serije Univerzalne Totalne Stanice mogu koristiti pasivne ili aktivne prizme za iskolčavanje i za aplikacije za prikupljanje podataka, ali koriste isključivo aktivne prizme za aplikacije za 3D mašinsko kontrolisanje. (14)

2.2.2 Robotizovane totalne stanice sa aktivnim prizmama

Available on:

- ✓ **Trimble** *GCS900*
- ✓ **Topcon** *LPS-900*
- ✓ **Caterpillar** *AccuGrade*
- ✓ **Leica** *PowerGrade 3D*
- ✓ **Carlson** *Carlson Grade*

6

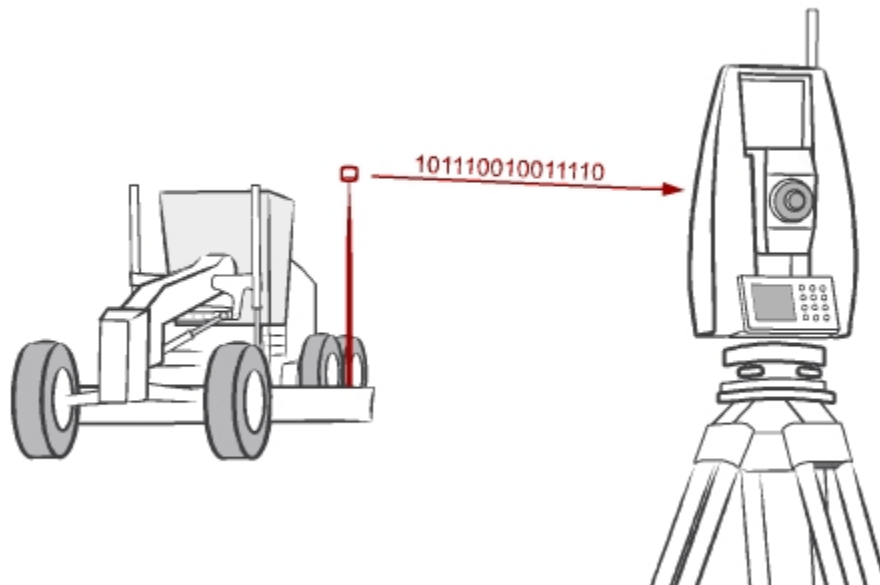
Aktivna prizma ima dvije funkcije: reflektuje svjetlosni signal nazad do uređaja za mjerenje dužine u robotizovanoj totalnoj stanici i emituje infracrvenu svjetlost koju uređaj za praćenje koji je u stanici koristi da bi se prema njoj vodio (Slika 2. 10) (9)

Pozicioniranje se odvija određivanjem horizontalnog i vertikalnog ugla dolazećeg svjetlosnog talasa i zatim upravljanja motora robota sve dok se teleskopske ose ne okrenu ravno ka prizmi i ovi uglovi ne budu jednaki nuli.

Aleternativno, unutrašnja CCD kamera može da se koristi da bi se napravili snimci prizme bazirani na emitovanoj svjetlosti, a zatim odredila pozicija ovih snimaka u odnosu na optički centar robota. Svrha je ista u oba slučaja: generisati signal motorima, navodeći ih da poklope stanicu sa prizmom. Treća generacija 3D mašinski kontrolisanih sistema sa aktivnim prizmama imaju sposobnost korišćenja i pasivnih i aktivnih prizmi.

Kad je riječ o aplikacijama za kontrolisanje nagiba, koriste se samo aktivne prizme. Ali, kod provjere nagiba i iskolčavanja, robot može pratiti i pasivne i aktivne prizme.

⁶ iz Kellogg izvještaja: <http://www.kelloggreport.com/robotic-total-station-passive-target.html>



Slika 2. 10 Robotizovana totalna stanica sa aktivnom prizmom

U ovim aplikacijama aktivni dio prizme služi samo kao identifikator, a pravo praćenje je vršeno ka prizmi. Ove aktivne prizme traže energiju, koja nije potrebna kod korišćenja pasivnih prizmi. Manje su robusne, prosto zbog njihove konstrukcije i činjenice da moraju da imaju elektronski dio u sebi i konektore na površinskom dijelu. Ukoliko se želi postići aktivan odgovor i sa pozadinske strane prizme, i ona mora biti obezbijeđena energijom, obično baterijama.

Aktivne prizme imaju dvije prednosti u odnosu na pasivne. Aktivne prizme emituju i **identifikator** prizme, osiguravajući tako da se robot veže samo za jednu metu. Ovo znači da nekoliko mašina može da radi veoma blizu jedna drugoj, a da se ne desi interferencija signala robotizovanih totalnih stanica. Trenutno, Trimble nudi 16 različitih ID-eva za prizme, za njihove SPS-serije Univerzalnih Totalnih Stanica.

Dakle, zaključak je da korišćenje aktivnih meta/prizmi smanjuje šansu za skretanje sa prizme koja se prati. Budući da sistem ne prati prizmu samo prema refleksiji, postaje mnogo lakše da se razlikuje meta od okruženja. Ovo pomaže smanjenju vremena za rad 3D kontrolnog sistema.

3. Kellogg izvještaj

Kellogg izvještaj je analiza sistema vodećih brendova 3D mašinskih kontrolnih sistema koji postoje danas na tržištu. Izdat je 2010. godine od strane konsultantske kompanije Kellogg LLC i predstavlja prvi korisnički orijentisan izvor dostupan na web-u za potencijalne korisnike 3D

mašinski kontrolisanih sistema. U okviru njega vrednovano je više od 200 karakteristika sistema. Izveštaj nastavlja da se razvija i dopunjava sa razvitkom tehnologije. (15)

Na slici (Slika 3. 1Error! Reference source not found.)prikazan je izgled ovog izvještaja.

www.kelloggreport.com/compare-3D-grade-control-systems-for-graders.html

The Kellogg Report

Graders Dozers Excavators Grade Management Learning Center Consulting About Us

Motor Graders 3D Machine Control System Comparison

Click for more info...

	Trimble GCS900	Topcon mmGPS LPS-900 3D-MC ²	Caterpillar AccuGrade	Leica PowerGrade 3D	Carlson Softw. Carlson Grade
Positioning					
GPS L1	✓	✓	✓	✓	✓
GPS L2	✓	✓	✓	✓	✓
GPS L2C	✓	✓	✓	✓	✓
GPS L5	✓	✓	✓		
GPS L1C	✓				

This page last updated on June 2, 2011

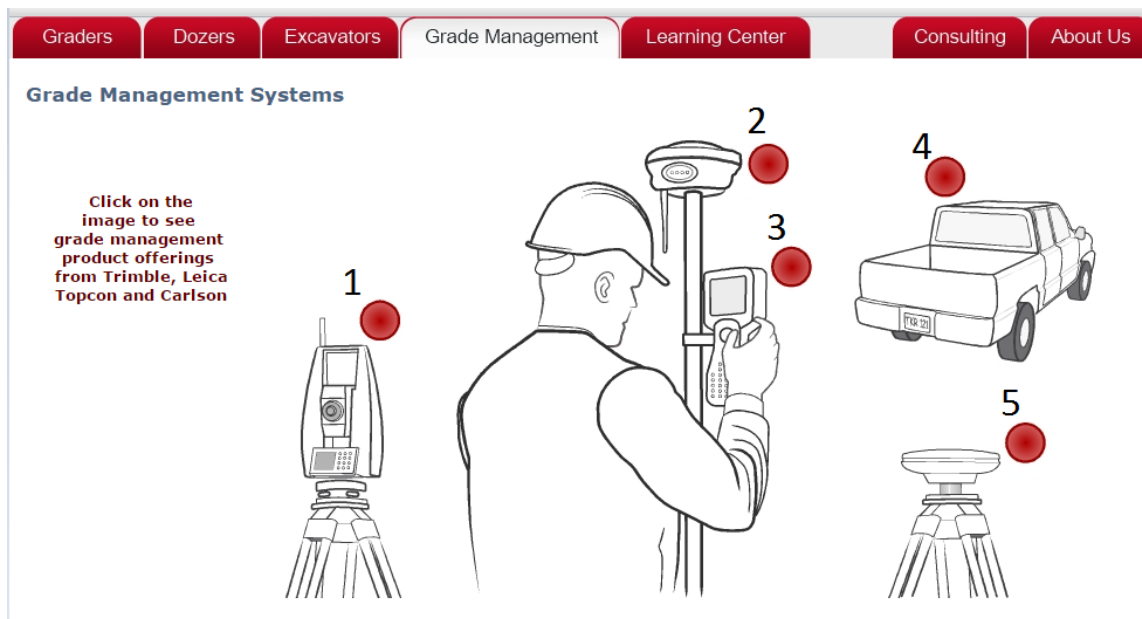
Slika 3. 1 Izgled Kellogg izvještaja

Izveštaj je koncipiran na sledeći način:

Zaglavlje:

- U prva tri jezička moguća je klasifikacija prema mašinama – grejdere, dozeri, bageri. Odabirom neke od ponuđenih mašina (na slici su prikazane informacije za grejdere) prikazuju se informacije o podržanosti različitih karakteristika – koje se tiču pozicioniranja, karakteristika sistema, rukovanja i operacija od strane različitih mašinski kontrolisanih sistema: **Trimble GCS900, Topcon: mmGPS, LPS-900 i 3D-MC², Caterpillar AccuGrade, Leica PowerGrade, Carlson Softw. Carlson Grade.**
- Klikom na treći jezičak, *Grade Management* korisniku je omogućeno da ima uvid u poređenje stepena upravljanja različitih proizvođača (Slika 3. 2) – *Trimble, Leica, Topcon i Carlson*, u kategorijama:

- 1. Robotizovana totalna stanica(Slika 3. 3)
- 2. GNSS rover(Slika 3. 4)
- 3. Data collector(**Error! Reference source not found.**),
- 4. Oprema za nadgledanje(**Error! Reference source not found.**) i
- 5. GNSS bazna stanica (Slika 3. 7, Slika 3. 8).



Slika 3. 2 Stepen upravljanja

Grade Management Systems
Robotic Total Station Comparison

[Return to Grade Management Systems main page](#)

		
Trimble SPS-series	Leica PowerTracker	Topcon GPT-9000A
Built-in 2.4GHz radio Detachable controller Magnetically driven Prism-less measurements Servo-assisted focusing Active or passive targets Target differentiation 1-5" angular accuracy May be used for machine control applications Weight: 11.57lbs/5.25kg	Built-in 2.4GHz radio No on-board controller Servo-driven Prism-less measurements Manual focusing Passive targets only No target differentiation 1" angular accuracy May be used for machine control applications Weight: 12.13lbs/5.5kg	Built-in 2.4GHz radio Fixed, on-board controller Servo-driven Prism-less measurements Manual focusing Passive targets only No target differentiation 1-5" angular accuracy Can not be used for machine control applications Weight: 15.21lbs/6.9kg

Slika 3. 3 Poređenje robotizovanih totalnih stanica Trimble, Leica, Topcon

**Grade Management Systems
GNSS Rover Comparison**

[Return to
Grade Management
Systems main page](#)



**Trimble
SPS882**
GPS L1/L2/L2C/L5
GLONASS L1/L2
220 channels
UHF or 900MHz radio
Bluetooth
Single, removable battery
Can be used as base station
Weight: 2.97lbs/1.35kg



**Leica
PowerAntenna**
GPS L1/L2/L5
GLONASS L1/L2
72 channels
No built-in radio
Bluetooth
Single, removable battery
Can be used as base station
Weight: 3.7lbs/1.7kg



**Topcon
Hiper Lite+**
GPS L1/L2
GLONASS L1/L2
40 channels
900MHz radio
Bluetooth
Non-removable battery
Can be used as base station
Weight: 3.64lbs/1.65kg



**Carlson
MC Pro GS**
GPS L1/L2/L2C/L5
GLONASS L1/L2
75 channels
UHF radio
GSM/GPRS modem
Bluetooth
Single, removable battery
Can be used as base station
Weight: 3.1lbs/1.4kg

Slika 3. 4 Poređenje GNSS rovera: Trimble, Leica, Topcon, Carlson

**Grade Management Systems
Data Collector Comparison**

[Return to
Grade Management
Systems main page](#)



**Leica
PowerController**
Windows CE
3.5" touch screen
Full keyboard
Bluetooth
CF card slot
Weight: 25.7oz/730g



**Trimble
TSC3**
Windows Mobile 6.5
4.2" touch screen
Full keyboard
Built-in GPS receiver
5 megapixel camera
Electronic compass
Accelerometer
Bluetooth
802.11 b/g
2.4 GHz radio
3G cellular modem
SDHC card slot
USB
Dimensions:
5.6 x 10.9 x 2.5"
141 x 278 x 64mm
Weight: 2.4lbs/1.1kg



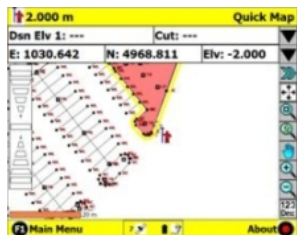
**Trimble
CU**
Windows CE.NET 6.0
3.5" touch screen
Attaches directly to
robotic total station
Bluetooth
Non-standard USB
Dimensions:
6.9 x 4.3 x 1.2"
176 x 110 x 30mm
Weight: 14.1oz/400g



**Trimble
Trimble Tablet**
Windows 7 Prof.
7" touch screen
Built-in GPS receiver
Outward-facing 2
megapixel camera
User-facing 1.3
megapixel camera
Bluetooth
802.11 b/g
SD card slot
USB (Type A only)
Dimensions:
5.5 x 9 x 2"
140 x 229 x 50mm
Weight: 3.1lbs/1.4kg

Slika 3. 5 Poređenje Data Collector-a: Leica, Trimble

U petom jeziku, koji je ujedno i poslednji koji se tiče specifikacije mašinskih upravljačkih sistema, riječ je o pomoći korisniku pri konsolidaciji, odnosno ujedinenju komponenti sistema.

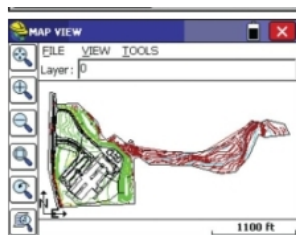


**Trimble
SCS900**

The SCS900 software can be used on both 3.5" screens and larger tablet screens.

It is suitable for in-vehicle use or on a rover pole.

Supports GNSS and robots.



**Leica
Site Foreman**

The Site Foreman software is manufactured for Leica by Carlson Software.

It runs on the Leica handheld PowerController.

Supports GNSS and robots.

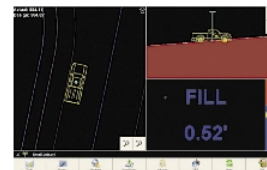


**Topcon
Pocket 3D**

Pocket 3D is for portrait-oriented 3.5" screens.

It runs on several Topcon data collectors and can be used in-vehicle or on a pole.

Supports GNSS and robots.



**Carlson
Grade Supervisor**

Carlson Grade Supervisor uses the same software interface as the Carlson machine control systems.

It is suitable for in-vehicle use or on a rover pole using a variety of data collectors.

Supports GNSS.

Slika 3. 6 Poređenje opreme za nadgledanje: Trimble, Leica, Topcon, Carlson



**Trimble
SPS882**

GPS L1/L2/L2C/L5
GLONASS L1/L2
220 channels
UHF or 900MHz radio
Bluetooth
Single, removable battery
May be used as a rover
Weight: 2.97lbs/1.35kg



**Trimble
SPS852**

GPS L1/L2/L2C/L5
GLONASS L1/L2
220 channels
UHF or 900MHz radio
Bluetooth
Non-removable battery
May be used as a rover
Weight: 3.64lbs/1.65kg



**Leica
PowerAntenna**

GPS L1/L2/L5
GLONASS L1/L2
72 channels
No built-in radio
Bluetooth
Single, removable battery
May be used as a rover
Weight: 3.7lbs/1.7kg

Slika 3. 7 Poređenje GNSS baznih stanica: Trimble, Leica



**Leica
PowerBox**

PS L1/L2/L5
GLONASS L1/L2
72 channels
Attachable radio
Bluetooth
Single, removable battery
May be used as a rover
Weight: 6.0lbs/2.7kg



**Topcon
Hiper Lite+**

GPS L1/L2
GLONASS L1/L2
40 channels
900MHz radio
Bluetooth
Non-removable battery
May be used as a rover
Weight: 3.64lbs/1.65kg



**Carlson
MC Pro GS**

GPS L1/L2/L2C/L5
GLONASS L1/L2
75 channels
UHF radio
GSM/GPRS modem
Bluetooth
Single, removable battery
May be used as a rover
Weight: 3.1lbs/1.4kg

Slika 3. 8 Poređenje GNSS baznih stanica: Leica, Topcon, Carlson

4. Usklađivanje komponenti sistema za kontrolu mašina. Tipovi antena

Kada je riječ o komponentama sistema za kontrolu mašina, postoje neke stvari na koje je potrebno obratiti pažnju i u skladu sa njima procijeniti koje komponente su optimalne za određene potrebe.

Na primjer, ukoliko je riječ o anteni sa većom zapreminom glavnog dijela, vjerovatno je u pitanju 'smart antenna', odnosno GNSS antena i prijemnik koji su u istom kućištu.

Ovo je drugačije kod modularnih sistema, koji imaju samo GNSS antenu na vrhu štapa, a prijemnik je smješten na nekom drugom mjestu u na mašini.

Smart antena šalje digitalne podatke putem CAN⁷ konekcije direktno do kompjutera 3D kontrolnog sistema, dok je slučaj kod modularnog sistema da on šalje analogne podatke ka GNSS prijemnika, gdje se obrađuju i digitalizuju, da bi tek onda bili poslani do kompjutera.

⁷ CAN – Controler Area Network; to je protokol baziran na razmjeni poruka, dizajniran originalno za automobilske aplikacije, ali danas je prošireno polje upotrebe.

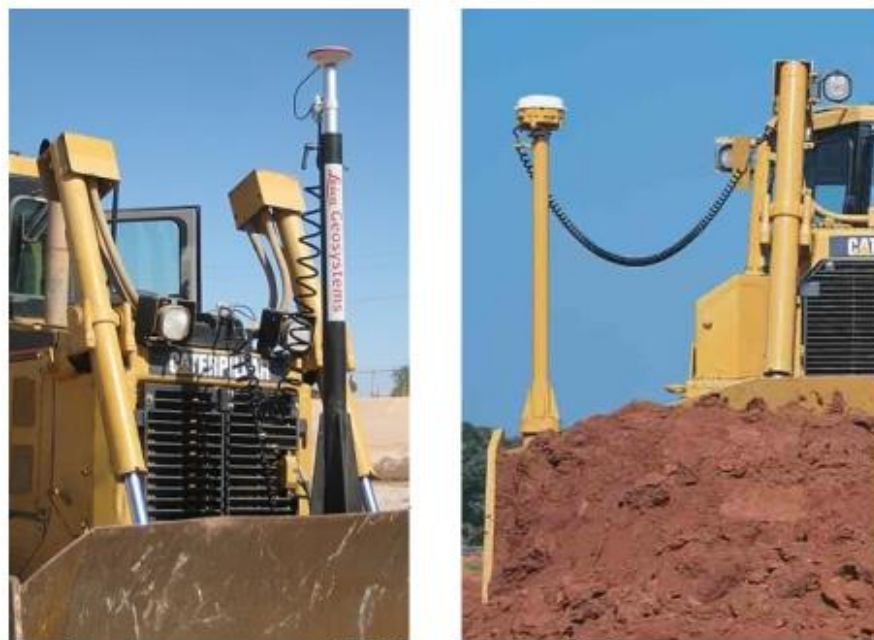
Neki od benefita korišćenja smart antene su – manje komponenti u sistemu, brža instalacija i lakše skidanje antene radi sigurnosti od krađe (iz ovih razloga je lakše kad je u sistemu manje komponenti). Takođe, prednost korišćenja smart antene ističe se kad je riječ o promjeni konfiguracije sistema. Jednostavno je samo zamijeniti GNSS smart antenu sa laserskim prijemnikom i na taj način je sistem konvertovan iz 3D kontrolnog sistema u konvencionalni laserski *cross slope*⁸ sistem.

Slično tome, prelazak sa GNSS na robotizovanu totalnu stanicu zahtijeva samo zamjenu smart antene značkom. Smart antena je dostupna za korišćenje na različitim mašinama.

Kritike koje se mogu uputiti smart anteni tiču se uslova rada i opasnosti od oštećenja opreme. Naime, u slučaju smart antene, vrijednost opreme na vrhu štapa je mnogo viša u poređenju sa modularnim sistemima. Budući da je štap veoma izložen različitim uticajima na terenu, nezgode u slučaju smart antene bi mogle da koštaju mnogo više nego kod modularnih sistema. Takođe, smart antene su značajno teže i mogu da predstavljaju značajan pritisak za štap koji ih nosi. Iz tog razloga je ekstremno važno pridržavati se preporuka dobijenih od proizvođača antena, kada je riječ o materijalu štapa.

Na slici (**Error! Reference source not found.**) je prikazano poređenje obične GNSS antene marke eica i smart antene proizvođača Caterpillar.

⁸ Cross slope sistem je sistem za snimanje nagiba. Cross slope je ugao u vertikalnoj ravni od horizontalne linije do linije na površini, koja je upravna na centralnu liniju.



Slika 4. 1 Leica GNSS antena (lijevo) i Caterpillar smart antena (desno)

Kada je u pitanju kvalitet pozicioniranja, ova dva sistema nemaju razlika – jednako su precizni.

Modularni sistem bi trebalo uzeti u obzir ukoliko se planira da se sistem koristi mahom na jednoj mašini i ne očekuje se česta promjena između GNSS-a, robotizovane stanice i lasera. Međutim, ukoliko postoji potreba za čestom rekonfiguracijom sistema, bolji izbor bi bio sistem smart antene.

Trimble i Caterpillar su bile prve kompanije koje su nudile ojačane smart antene za sve tipove mašina. Njihov 3D kontrolni sistem je prodavan pod nazivima brendova: GC900 i AccuGrade, respektivno.

Leica PowerDigger 3D takođe nudi smart antenu, ali trenutno samo kao dodatak modularnom GNSS prijemniku i samo kad je konfigurisana kao sistem dvojne antene na bageru.

5. Zaključak

Vodećim sistemima za upravljanje mašinama mogu se smatrati sistemi proizvođača Trimble, Leice, Topcon, Caterpillar i Carlson. Detaljne specifikacije kao i prednosti, mane, sličnosti i razlike moguće je pronaći u izvještaju Kellogg, generisanom 2010. godine, dostupnom bez naknade online za sve korisnike.

Prilikom odlučivanja o tome koju kombinaciju komponenti sistema za upravljanje mašinama koristiti, treba uzeti u obzir različite parametre. Parametri koji se tiču odabira antene su – brzina instalacije (vrijeme koje je na raspolaganju za to), potrebe brzog montiranja antene na štap, visina štapa, težina kućišta antene itd.

Postoje još različiti istaknuti kriterijumi koje je potrebno uzeti u razmatranje prilikom korišćenja mašinski kontrolisanih sistema, npr. pri odlučivanju o tome da li koristiti aktivnu ili pasivnu prizmu, da li koristiti jednu ili dvije antene i slično. Odluke o ovakvim preferansama donose se u skladu sa potrebama rada na terenu i sa dostupnim sredstvima.

Možda najbolji način za upoznavanje sa tehnologijama automatizacije na tržištu jesu posjete međunarodnim tehničkim i tehnološkim izložbama, kao što su INTERMAT i SAMOTER. Prema opštim zapažanjima, primjetno je da se na ovim izložbama konstantno povećava broj mašinski kontrolisanih sistema za potrebe opažanja kretanja mašina na Zemlji.

6. Literatura

1. **Ingensand, Hilmar.** *Machine Control and Guidance*. Zurich : ETH Zurich , 2015.
2. **Guangfeng, Chen.** *Research on Jacquard Control System for Three-Pile-Height Carpet Tufting Machine*. Zhangjiajie : IEEE, 2009.
3. **Heikkilä, Rauno and Jaakkola, Mika.** "*Intelligent Road Construction Site - Development of Automation into total Working Process of Finnish Road Construction*". Eindhoven : Proceedings of the 20th ISARC, 2003.
4. **Hillman, Jeremy.** *Expediting Vehicle Infrastructure Integration*. 2007.
5. **Shen, Jun.** *Compass/BeiDou Status*. Rome (Italy) : BNStar Navigation Technology & System, 2009.
6. **Pahlavan, Kaveh and Levesque, Allen H.** *Wireless Information Networks*. s.l. : John Wiley & Sons, 1995.
7. **Kavanagh, B. F. and Glenn Bird, S. J.** *Surveying principles and applications (4. izdanje)*. s.l. : Prentice Hall, 1996.
8. **Nocks, Lisa.** *Robotics*. Westport : Greenwood Publishing Group, 2007.
9. **Caulfield, Brian.** *Total Station*. Dublin : Trinity College Dublin, 2010.
10. *Truncated Grid References*. s.l. : Canadian Mountain Encyclopedia, 2006.
11. **Howell, Elizabeth.** *GPS tracking* . Washington : SPACE.com, 2013.
12. **Parkinson and Spilker.** *Error analysis for the Global Positioning System*. s.l. : American Institute of Aeronautics & Astronomy, 1996.
13. **Geosystems, Leica.** Leica. <http://portal.leica.com/>. [Online] 2015.
14. **Trimble.** <http://construction.trimble.com/>. [Online] 2015.
15. **LLC, Kellogg Report.** Kellogg Report. www.kelloggreport.com. [Online] 2010.