

Primjena senzoričke na preciznoj raspodjeli mineralnih gnojiva

Potočki, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:303744>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Vedran Potočki

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer Mehanizacija

Primjena senzorike na preciznoj raspodjeli mineralnih gnojiva

Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Vedran Potočki

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer Mehanizacija

Primjena senzorike na preciznoj raspodjeli mineralnih gnojiva

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, mentor
2. prof. dr. sc. Luka Šumanovac, član
3. doc. dr. sc. Željko Barač, član

Osijek, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij, smjer Mehanizacija

Završni rad

Vedran Potočki

Primjena senzoričke na preciznoj raspodjeli mineralnih gnojiva

Sažetak:

Primjena senzoričke za preciznu aplikaciju mineralnih gnojiva koristi napredne alate kao što su geofizički senzori, daljinska detekcija, geokemijski senzori i uređaji za praćenje na licu mjesta. Geofizički senzori otkrivaju svojstva podzemlja, dok Daljinska detekcija koristi bespilotne letjelice i satelite za mapiranje mineralnih naslaga. Geokemijski senzori analiziraju kemijski sastav stijena i tla, a uređaji na licu mjesta prate radne i okolišne uvjete. Podaci iz navedenih tehnologija analizirani su i integrirani pomoću GIS-a i strojnog učenja, čime se optimizira ekstrakcija resursa i povećava točnost istraživanja minerala. Ovaj pristup smanjuje utjecaj na okolinu u rudarskim operacijama i poboljšava ekonomsku učinkovitost.

Ključne riječi: Precizna gnojidba, senzori, komponente precizne poljoprivrede.

26 stranice, 23 slika, 32 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

Final work

Vedran Potočki

Application of sensors for the precise distribution of mineral fertilizers

Summary:

The application of sensors for the precise application of mineral fertilizers uses advanced tools such as geophysical sensors, remote sensing, geochemical sensors and on-site monitoring devices. Geophysical sensors detect underground properties, while Remote Sensing uses drones and satellites to map mineral deposits. Geochemical sensors analyze the chemical composition of rocks and soil, and on-site devices monitor operating and environmental conditions. Data from the aforementioned technologies are analyzed and integrated using GIS and machine learning, which optimizes resource extraction and increases the accuracy of mineral exploration. This approach reduces the environmental impact of mining operations and improves economic efficiency.

Keywords: Precision fertilization, sensors, components of precision agriculture.

26 pages, 23 figures, 32 references

Final work is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

SADRŽAJ

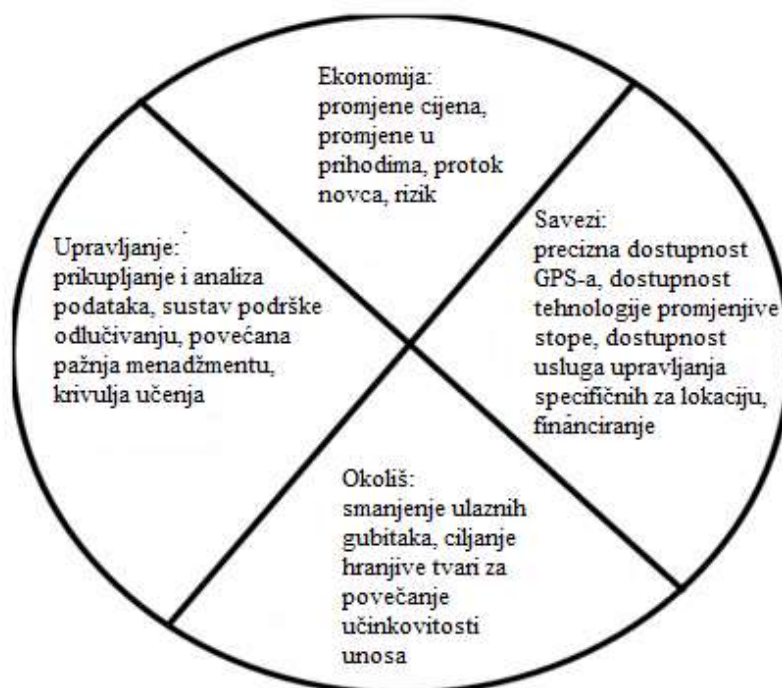
1. UVOD	1
2. PRECIZNA POLJOPRIVREDA	2
2.1. Alati precizne poljoprivrede	3
2.2. Važnost precizne poljoprivrede	4
3. SENZORI NA RASIPAČU	4
3.1. GPS	5
3.2. Senzor brzine kretanja	7
3.2.1. Kalibracija rasipača	8
3.3. Senzor mjerenja protoka	10
3.4. Senzor tla	11
3.5. N-senzor	12
3.5.1. Princip rada N-senzora	13
3.6. Senzor vjetra	14
4. OPIS I PRINCIP RADA M-LINE <i>BOGBALLE</i> RASIPAČ	16
4.1. Calibrator <i>Zurf</i>	18
5. OPIS I PRINCIP RADA <i>AMAZONE ZA-TS</i> RASIPAČA	20
6. OPIS I PRINCIP RADA <i>GASPARDO PRIMO EW ISOTRONIC</i>	21
7. ZAKLJUČAK	23
8. LITERATURA	24

1. UVOD

Pojam moderne poljoprivrede stalno se razvija, učinkovitost i preciznost postali su vrlo važni. Rasipači gnojiva, nekada su bili jednostavni strojevi s jedinstvenom svrhom, danas su postali sofisticirani dijelovi poljoprivredne tehnike, većim dijelom zbog integracije senzora. Navedeni senzori su uši i oči rasipača gnojiva, dajući podatke i uvide u stvarnom vremenu koji poljoprivrednim stručnjacima i poljoprivrednicima omogućuju donošenje odluka o primjeni gnojiva. Od GPS sustava koji osiguravaju točnost do senzora vlage koji se promjenjivim uvjetima vrlo dobro prilagođavaju, senzori na rasipačima gnojiva revolucionalizirani su način na koji se aplicira hraniva te usjevima se daje prihrana. Svaki od nabrojanih senzora ima svoju ulogu prilikom rada rasipača te je svaki rasipač od velike važnosti prilikom rada jer svaki senzor daje određenu vrstu informacija koja se koristi prije i tijekom rada. Vrlo je važno da se mineralna gnojiva pravilno apliciraju i u dovoljnoj mjeri jer previše hraniva može naštetiti usjevima. S druge strane, ukoliko se aplicira premalo hraniva, tako mala količina neće biti dovoljna te će prinos biti manji. Cilj ovog završnog rada je opisati preciznu poljoprivredu te njezinu važnost za okoliš, kao i senzore koji krase moderne rasipače gnojiva. Opisan je niz senzora koji oblikuju krajolik održive poljoprivrede. Od ekološki osviještene poljoprivrede do senzorski vođene preciznosti, ovi senzori definiraju način na koji se obrađuju obradive površine i vode prema putu za zeleniju i bogatiju budućnost u poljoprivredi.

2. PRECIZNA POLJOPRIVREDA

Precizna poljoprivreda spaja nove tehnologije sa zreloom poljoprivrednom industrijom. Precizna poljoprivreda je integrirani sustav upravljanja usjevima koji pokušava uskladiti količinu i vrstu inputa sa stvarnim potrebama usjeva za površine unutar poljoprivrednog polja. Današnje nove tehnologije osiguravaju realizaciju koncepta precizne poljoprivrede u praktičnom proizvodnom okruženju. Koliko god uređaji bili važni, potrebno je samo malo razmišljanja da se shvati da su informacije ključan faktor za precizan uzgoj. Menadžeri koji učinkovito koriste informacije zarađuju veće prihode od onih koji to ne čine. Tradicionalna poljoprivreda razlikuje se od precizne poljoprivrede po razini upravljanja. Umjesto upravljanja cijelim poljima kao jednom jedinicom, upravljanje je prilagođeno malim područjima unutar polja. Agronomska praksa je nužna kada je povećana razina upravljanja. Prije razmatranja prelaska na precizno upravljanje poljoprivredom, mora već postojati dobar sustav upravljanja farmom. Sustavni pristup poljoprivredi čini precizna poljoprivreda. Kako bi bila održiva, u obzir se moraju uzeti i ekološke i ekonomske koristi, kao i praktična pitanja upravljanja na razini terena i potrebni savezi za pružanje infrastrukture za tehnologije (UGA Extension 2022). Slika 1. prikazuje neka od važnih razmatranja u sustavu precizne poljoprivrede.



Slika 1. Problemi koji utječu na usvajanje upravljanja preciznom poljoprivredom (Davis i sur., 1998.)

2.1. Alati precizne poljoprivrede

Za sve koji razmišljaju o preciznoj poljoprivredi od velike je važnosti upoznati se s tehnološkim alatima. Računalne aplikacije koriste se uglavnom za izradu preciznih planova farmi, izviđanje usjeva, karata polja, karata prinosa i za definiranje točne količine unosa koji će se primjenjivati na poljima. Jedna od prednosti ovog procesa je izrada ekološki prihvatljivog plana uzgoja, koji pomaže povećati prinose i smanjiti troškove te prilikom rada ne zagaditi okoliš. Također ove aplikacije daju podatke uske vrijednosti koji se ne mogu aplicirati za velika rješenja precizne poljoprivrede zbog nemogućnosti integriranja u druge sustave podrške. Slika 2. prikazuje komponente precizne poljoprivrede (Agri Farming 2021.).

Glavni alati koji se koriste za preciznu poljoprivredu su:

- oprema za automatsko navođenje,
- tehnologija promjenjive brzine,
- internet stvari,
- tehnologija proksimativnih senzora,
- globalni sustav pozicioniranja uzorkovanje mreže,
- daljinski senzori,
- proksimativni senzori,
- precizni sustav za navodnjavanje,
- evidencije i analize,
- praćenje prinosa i kartiranje (Agri Farming, 2021.).



Slika 2. Komponente precizne poljoprivrede (Agri Farming, 2021.)

2.2. Važnost precizne poljoprivrede

Precizna poljoprivreda može smanjiti količinu hranjivih tvari i druge unose usjeva, dok istovremeno povećava prinose usjeva. Na taj način poljoprivrednici ostvaruju povrat ulaganja uštedom na troškovima vode, pesticida i mineralnih gnojiva. Važnosti precizne poljoprivrede su: povećanje poljoprivredne produktivnosti; sprječavanje degradacije tla; smanjenje primjene kemikalija; učinkovito korištenje vodenih resursa te konačno smanjenje troškova proizvodnje (Agri Farming, 2021.). Slika 3. prikazuje primjenu varijabilne gnojidbe. Boja označava potrebe tla za hranjivim tvarima na temelju satelitskih i drugih podataka senzora na terenu i znanja poljoprivrednika.



Slika 3. Primjena varijabilne gnojidbe (Teagasc, 2021.)

3. SENZORI NA RASIPAČU

U preciznoj gnojidbi od velike je važnosti ispravnost svih dijelova. Prije početka apliciranja bitno je provjeriti je li sve uredu s rasipačem kako bi aplicirali gnojivo pravilno. Rasipač je opremljen sensorima koji mjere teren u stvarnom vremenu te izmjerene podatke šalju u kontrolnu jedinicu (Teagasc, 2021.). Neki od senzora su: GPS, senzor brzine kretanja, senzor mjerenja protoka, senzor tla, N-senzor te senzor vjetra (aneometar).

3.1. GPS

Postoji niz tehnologija na GPS kontroliranom rasipaču koji se brinu za kalibraciju i podešavanje brzine protoka za operatera. Rasipač gnojiva (u većini slučajeva) opremljen je ćelijama za težinu na spremniku koje rade istim principom kao i na dijetnoj hranilici te mogu mjeriti masu gnojiva unutar stroja. Skup elektroničkih klipova namješta otvore zatvarača na dnu spremnika. (Teagasc 2021.): Slika 4. prikazuje upravljačku kutiju u kabini koja omogućuje unos željene radne širine i količine nanošenja.



Slika 4. Sustav kontrole primjene gnojiva HxGN AgrOn Fertilization Control (AgriExpo, 2024.)

GPS sustav bilježi brzinu kretanja traktora te s tim informacijama u kombinaciji stroj može automatski izračunati željenu brzinu protoka. Zatim će stroj izmjeriti stvarnu brzinu protoka vaganjem količine gnojiva koja je izašla iz spremnika tijekom određenog vremenskog razdoblja i automatski će prilagoditi zatvarače na dnu spremnika radi održavanja potrebne količine. Iznova provjerava izračun i ponovno kalibrira rasipač. Protok će se povećati ako se brzina naprijed poveća, ako se brzina smanji, smanjuje se i protok. Prednost GPS-a je ta što će automatski isključiti i uključiti protok gnojiva na uvratini. Na ovakvom području može se mnogo uštedjeti. Ova značajka je zapravo veća prednost za poljoprivrednike na travnjacima, nego za poljoprivrednike koji obrađuju tlo jer je njihovo obrađivano zemljište obično manje i stoga se mnogo češće susreću s uvratinama nego operater koji obrađuje tlo. Na temelju povratnih informacija od operatera koji su koristili ove rasipače, svi su izvijestili da je GPS

rasipač otvara rasipač znatno kasnije nego što bi to učinili s ručnim rasipačem. To je iz razloga što se zaboravi da tijekom rasipanja na primjer širinu niza od 18 m, stroj također baca gnojivo do 18 m iza rasipača, a puna količina je primijenjena na 9 m u prvom krugu polja. U većini slučajeva to se ne dozvoljava te se stroj uključuje puno ranije nego što je potrebno. Rasipač kontroliran GPS-om preuzima odluku uključivanja od operatera, a poljoprivrednici koji koriste takav sustav izvještavaju da samo ovim korakom štede čak 10 % svoje uporabe gnojiva. I dalje je važno održavanje točne radne širine u svakoj vožnji, tijekom rada GPS sustav za automatsko navođenje (Slika 6.) će i dalje olakšavati rad. Rasipač će također doprinijeti uštedu na zadnjoj vožnji. Približavanjem uvratini, zadnja vožnja gotovo uvijek će biti uža od radne širine koja je dotad korištena. Na početnoj razini GPS rasipač će zatvoriti poklopac na bočnoj strani ormara stroja prema uvratini smanjujući stopu koja bi odgovarala ovom preostalom području. Važno je shvatiti da će u većini slučajeva početni GPS stroj još uvijek bacati gnojivo na istu udaljenost kao i ostatak polja, tako da to nije isto kao isključivanje sekcija na prskalici (Teagasc, 2021.). Na slici 5. nalazi se rasipač opremljen GPS sustavom.



Slika 5. Rasipač opremljen GPS sustavom (Spillanes Fuel i Agri, 2022.)

Tehnologija za smanjenje radne širine sa sekcijama kao na prskalici je moguća, ali u većini slučajeva to je dostupno samo na vrhunskim GPS rasipačima koji imaju puno više tehnologije i osjetno su skuplji (Teagasc, 2021.).



Slika 6. Sustav za automatsko navođenje (Agroklub, 2021.)

3.2. Senzor brzine kretanja

Senzor brzine kretanja je vrsta senzora položaja koji služi za mjerenje brzine vrtnje. Prisutni su u raznim vrstama gospodarskih i motornih vozila. Poput mnogih drugih uređaja, senzor brzine sastavni je dio sustava na vozilima. Djeluju tako da mjere napon koji odgovara brzini vrtnje magneta. Mogu se pronaći u aplikacijama gdje je potrebno bezkontaktno mjerenje brzine u područjima koja mogu biti teško dostupna. Zbog područja u kojima su potrebni senzori brzine, oni moraju biti čvrsti i sposobni izdržati najteže uvjete okoline. Različiti senzori brzine koriste različite vrste tehnologije. Pošto senzor brzine kretanja mjeri brzinu rasipača gnojiva dok se kreće po polju od velike je važnosti za moderni sustav apliciranja gnojiva. Ovi podaci su bitni za kalibraciju rasipača za primjenu točne količine mineralnih gnojiva po jedinici površine (Eurosens, 2019.). Na slici 7. prikazan je senzor brzine kretanja rasipača.

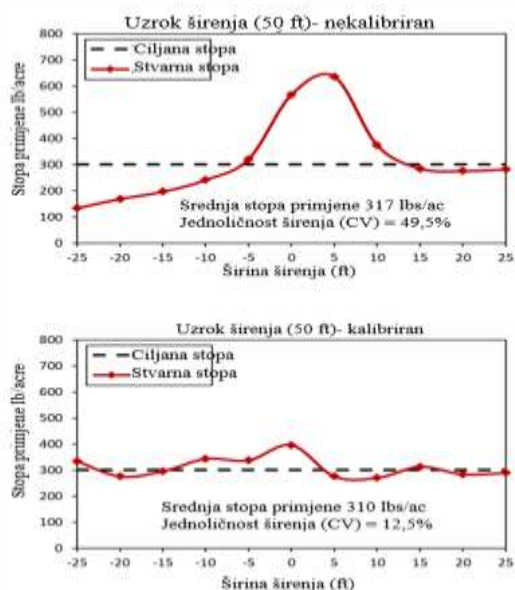
ART.-NR. / КОД / КОД
467 01652



Slika 7. Senzor brzine kretanja rasipača (Spritzenteile.de, 2024.)

3.2.1. Kalibracija rasipača

Laghari i sur. (2014.), u svom radu opisali su kalibraciju rasipača tijekom izvođenja pokusa. Pokusi su provedeni na polju pripremljenom za sjetvu pšenice. U istraživanju su koristili dizelski traktor FIAT-460 i rotacijski rasipač gnojiva s dva diska. Slika 8. prikazuje nekalibriran i kalibriran rasipač.



Slika 8. Nekalibriran i kalibriran rasipač (UGA Extension, 2022.)

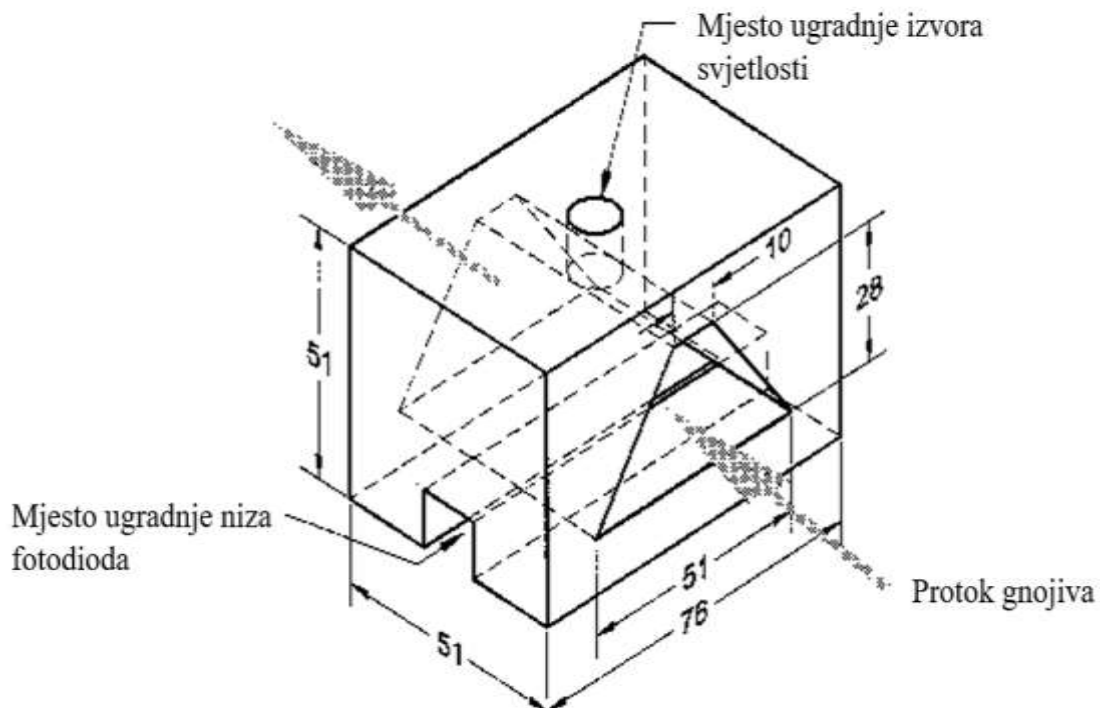
Rasipač je kalibriran poljskom metodom, kako bi se kalibrirao rasipač, spremnik je napunjen s 15 kg urea gnojiva, stroj je radio na tlu u 1. visokom stupnju prijenosa brzinom naprijed od 4,23 km/h s otvorima za širenje od 5,8 cm × 11 cm Ispitna traka od 93 m² odabrana je u sredini polja i podijeljena s efektivnom širinom rasipača od 9.12 m kako bi se izračunala ispitna duljina od 10.13 m. Nakon što je rasipač prošao preko ispitne trake, preostala količina gnojiva u spremniku je ponovno izvagana kako bi se izračunala količina gnojiva raspoređena na 93 m². Postupak je ponovljen više puta sa smanjenim otvorima kako bi se postigla potrebna količina gnojiva 250 kg/ha. Nakon kalibracije rasipač pri navedenoj brzini i stopi testiran je na površini od 1000 m². Svi traženi podaci su zabilježeni. Zatim je rasipač ponovno kalibriran pri višoj brzini kretanja naprijed od 8 km/h s gotovo istom količinom gnojiva od 240 kg/ha i ponovno je ispitan pri toj brzini za svoju učinkovitost. Tijekom kalibracije i ispitivanja performansi brzina na tlu određena je pričvršćivanjem dva stupa na tlo udaljena 20 m. Vrijeme prolaska traktora kroz stupove mjerilo se štopericom. Tri prosječna očitavanja korištena su za izračunavanje brzine kretanja. Kalibracija i ispitivanje performansi provedeni su pri 400 o/min P.T.O traktora. Tijekom ispitivanja uzeta je u obzir brzina vjetra koja je bila zanemariva, stoga se pretpostavlja da nema utjecaja na uzorak rasipanja gnojiva. Visina rasipača od tla bila je 1.28 m (Laghari i sur., 2014.). Na slici 9. prikazana je kalibracija rasipača.



Slika 9. Kalibracija rasipača (UGA Extension, 2022.)

3.3. Senzor mjerenja protoka

Razvijen je i testiran u laboratoriju senzor protoka za mjerenje protoka granuliranog gnojiva u struji zraka. Komponente senzora uključuju generator laserske linije koji prenosi svjetlost kroz trapezoidnu komoru do niza foto dioda od 32 elementa. Čestice zraka blokiraju svjetlost, uzrokujući snimanje broja. Brojevi se pretvaraju u ogromne tokove. Statička ispitivanja provedena su na pet materijala i šest masenih protoka u repliciranom blok dizajnu. Dinamička ispitivanja materijala provedena su sa šestero stupanjskim diferencijalom masenog protoka. Rezultati statičkog ispitivanja pokazali su snažan, linearan i ponovljiv odnos između izlaza senzora i masenog protoka. Za visoku točnost potrebna su različita mjerenja za različite proizvode gnojiva. Rezultati dinamičkog testa pokazali su da senzor vrlo dobro prati postupne promjene masenog protoka, ali su istaknuli neka ograničenja u algoritmu analize podataka. Sustav optičkih senzora pokazao je potencijal kao prvi korak prema senzoru brzine protoka granuliranog gnojiva u stvarnom vremenu (Swisher i sur., 2002.). Slika 10. prikazuje optički senzor za mjerenje protoka granuliranog gnojiva.



Slika 10. Optički senzor za mjerenje protoka granuliranog gnojiva (Swisher i sur., 2002.)

3.4. Senzor tla

NPK senzori su osnovni alati u poljoprivredi za mjerenje razine dušika (N), fosfora (P) i kalija (K) u tlu. NPK senzori rade na temelju različitih tehnologija, ali jedan uobičajeni princip je korištenje ion-selektivnih elektroda. Ove su elektrode dizajnirane za selektivno otkrivanje iona od interesa (N, P i K). Kada te elektrode dođu u dodir s tlom, generiraju električne signale proporcionalne koncentraciji prisutnog specifičnog iona (EIC Controls, 2024.). Slika 11. prikazuje senzor tla.



Slika 11. Senzor tla (EIC Controls, 2024.)

Sljedeći princip govori kako NPK senzor tla zapravo mjeri električnu vodljivost tla. Proizvođač množi izmjerenu vrijednost vodljivosti s odgovarajućim faktorom (na temelju uobičajenog sadržaja dušika, fosfora i kalija u tlu) kako bi dobio vrijednost za sadržaj dušika, fosfora i kalija. Zbog različitih tla i okoliša na lokaciji, takvi senzori ne mogu točno izmjeriti stvarni sadržaj dušika, fosfora i kalija u tlu na lokaciji, ali daju empirijsku, teoretsku vrijednost. Većina modernih NPK senzora ne zahtijeva upotrebu reagensa. Umjesto toga, oslanjaju se na napredne elektrokemijske tehnike ili spektroskopiju za izravno mjerenje iona u tlu. Ove metode eliminiraju potrebu za reagensima, čineći proces mjerenja učinkovitijim i isplativijim (EIC Controls, 2024.).

Rasponi mjerenja NPK senzora mogu varirati ovisno o specifičnom modelu i korištenoj tehnologiji. Međutim, tipični rasponi za svaki parametar su sljedeći:

1. Dušik (N): Raspon mjerenja za razine dušika u tlu može biti bilo gdje od 0 do 200 kg/ha. Ovaj raspon omogućuje poljoprivrednicima da procijene primjerenost gnojidbe dušikom i izvrše potrebne prilagodbe kako bi optimizirali rast usjeva.

2. Fosfor (P): Raspon mjerenja fosfora u tlu obično je između 0 i 100 mg/kg ili ppm. Praćenje razine fosfora pomaže poljoprivrednicima da utvrde je li potrebna dodatna gnojidba kako bi se zadovoljile potrebe usjeva i spriječili nedostaci.

3. Kalij (K): Raspon mjerenja za kalij u tlu obično je od 0 do 400 mg/kg ili ppm. Praćenje razine kalija ključno je za održavanje zdravlja biljaka, budući da je kalij uključen u razne fiziološke procese.

Svaki parametar može se pojedinačno mjeriti NPK senzorom. Selektivnom primjenom različitih mjernih tehnika ili elektroda specifičnih za svaki ion, senzor može zasebno odrediti koncentraciju dušika, fosfora i kalija (EIC Controls, 2024.).

3.5. N-senzor

N-senzor je senzor dušika promjenjive količine u stvarnom vremenu mjeri ili skenira količinu dušika u biljkama te na osnovu tih mjerenja rasipač gnojiva prolazi preko polja i prema tome promjenjivo prilagođava količinu gnojiva (Slika 13.) te se aplicira točna količina hraniva (Yara, 2024.). Slika 12. prikazuje dušični senzor.



Slika 12. Dušični senzor (Heiß i sur., 2020.)

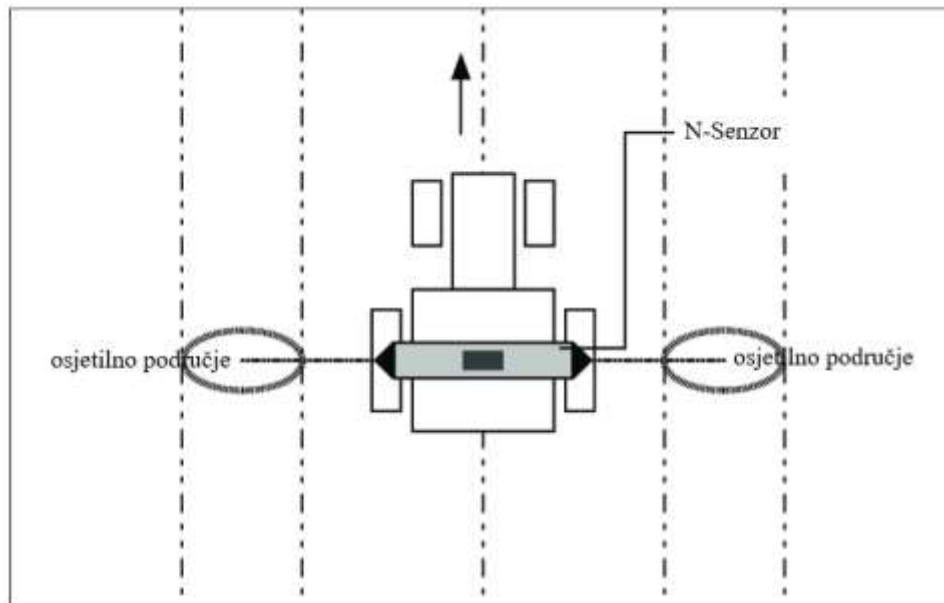
Prednosti korištenja N-senzora: unošenje optimalne količine dušičnog gnojiva u svaki dio polja; povećanje potencijala usjeva na cijelom polju; povećanje učinkovitosti gnojiva; smanjenje ostataka dušika u tlu nakon žetve; povećanje prinosa; homogenija kvaliteta; smanjenje vremena i troškove žetve te smanjenje rizika od gubitka dušika u okoliš. (Yara, 2024.).



Slika 13. Slanje podataka upravljaču rasipača (YouTube, 2013.)

3.5.1. Princip rada N-senzora

N-senzor određuje potrebu za dušikom mjerenjem refleksije svjetla usjeva pokrivajući ukupnu površinu od približno $50 m^2$. Mjerenja se obavljaju svake sekunde sa sustavom dizajniranim za rad pri normalnim radnim brzinama i svim širinama brazda. Senzorska tehnologija primijenjena u poljoprivredi temelji se na tipičnoj krivulji refleksije svjetlosti za vegetaciju. Ovaj senzor za dušik mjeri refleksiju svjetlosti na određenim valnim pojasima koji se odnose na sadržaj klorofila i biomasu usjeva. Izračunava stvarni unos N-a u usjevu. Optimalne količine gnojiva izvode se iz podataka o unosu dušika i šalju se upravljaču rasipača ili prskalice s promjenjivom količinom, koji će prema tome prilagoditi količine gnojiva. Cijeli proces utvrđivanja potrebe usjeva za dušikom i primjene ispravne količine gnojiva događa se trenutno, bez vremenskog kašnjenja (Yara, 2024.). Na slici 14. prikazan je princip rada N-senzora.



Slika 14. Princip rada N-senzora (Rohaida i sur., 2021.)

3.6. Senzor vjetra

Čak i manje promjene u brzini i smjeru vjetra mogu imati značajan utjecaj na distribuciju vrijednog gnojiva. Čeoni ili stražnji vjetrovi mogu rastegnuti ili stisnuti uzorak širenja, dok bočni vjetrovi mogu pomaknuti uzorak bočno. Ove promjene mogu rezultirati značajnim razlikama u količinama primjene unutar iste staze i od jedne staze do druge. Potpuno automatizirani sustav, poput sustava *WindControl* (Slika 16.) koji učinkovito neutralizira učinak vjetra na operacije rasipanja gnojiva, omogućujući maksimalno iskorištavanje razdoblja primjene. *WindControl* koristi visokofrekventni senzor vjetra za bilježenje brzine i smjera vjetra. Putno računalo kalibrira ove podatke s brzinom kretanja, izračunava nove postavke rasipača i zatim automatski vrši te prilagodbe. Ako postoji bočni vjetar, povećava se brzina diska na strani okrenutoj prema vjetru i sustav za isporuku se okreće prema van. U isto vrijeme, brzina niz vjetar je smanjena, a sustav za isporuku zakrenut prema unutra. To automatski neutralizira učinak vjetra i osigurava preciznu distribuciju. Senzor vjetra (Slika 15.) montiran na rasipaču automatski se izvlači kada se aktiviraju diskovi za posipanje (CLAAS Harvest Centre, 2021.).



Slika 15. Senzor brzine vjetra (FARM EQUIPMENT, 2021.)

Strši iznad kabine traktora kako bi se izbjegle turbulencije koje stvara traktor. Kad su diskovi za posipanje isključeni, stup se povlači u svoj zaštićeni položaj između traktora i rasipača. Upravljački terminal prikazuje brzinu, smjer i udare vjetra, uz sve postavke rasipača. *WindControl* koristi sustav boja „semafora“ kako bi savjetovao operatera u kojoj je mjeri sustav u stanju kompenzirati učinak vjetra. Ako je vjetar prejak ili oštar, sustav će izdati upozorenje da je dosegnuta granica kontrole (CLAAS Harvest Centre, 2021.).



Slika 16. Upravljački terminal *WindControl* sustava (CLAAS Harvest Centre, 2021.)

4. OPIS I PRINCIP RADA M-LINE *BOGBALLE* RASIPAČ

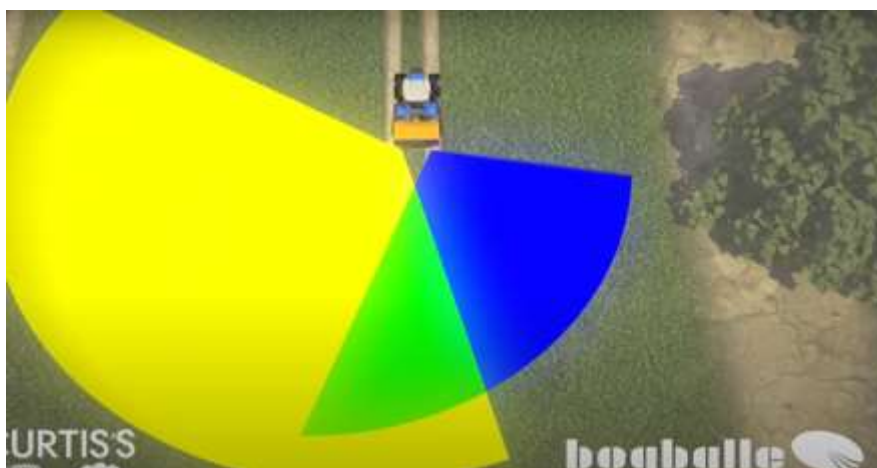
M-line rasipači opremljeni su širinom spremnika od 240 ili 290 cm, kapaciteti spremnika kreću se od 1.250 do 4.050 l. Nakon temeljitog čišćenja svake komponente u 7 koraka, slijedi bojanje u prahu sa čvrstim završnim slojem koji se zove „Flexi Coat“. Sustav za rasipanje i baza spremnika izrađeni su od nehrđajućeg čelika. Količina nanošenja se daljinski upravlja hidraulikom, kabelom ili s *Calibrator Zurf*. Integrirano normalno i granično rasipanje standardno je na svim modelima. Lopatice za rasipanje od manganskog čelika imaju 2 do 3 puta dužu trajnost u usporedbi s nehrđajućim čelikom. Klizna spojka koja ne zahtijeva održavanje te je vodootporna. Povezivanje u 3 točke za normalnu i kasnu primjenu. Bez stupanjska skala i položaj pokazivača postavljeni su tako da budu jasno vidljivi s vozačevog sjedala. Integrirani lijevak sita te Flexi Coat boja u prahu koja je 30 puta izdržljivija od tradicionalne mokre boje. Postavke količine mogu se postaviti na $\pm 40\%$ i mogu se u skladu s tim optimizirati. Baza spremnika od nehrđajućeg čelika s dodatnom zaštitnom praškastom bojom. Prijenos bez održavanja s reverzibilnim smjerom vrtnje. Jedan set diskova može se koristiti za sve radne širine (Refsgaard, 2010.). Na slici 17. prikazan je M-line *Bogballe* rasipač.



Slika 17. M-line *Bogballe* rasipač (AFDJ, 2021.)

M-line posipači opremljeni su Quadro sustavom koji obavlja četiri korisne funkcije: Trend normalno i Trend rasipanje na uvratini, ručnu kalibraciju te pražnjenje spremnika. Sve četiri funkcije mogu se odabrati bez alata. Postupak kalibracije može se provesti u manje od 2 minute, jednostavnim zaključavanjem jednog od diskova za rasipanje. Sama kalibracija traje samo 30 sekundi. Jednostavan izračun temeljen na kalibracijskoj količini pokazuje faktor protoka, nakon čega se količina jednostavno i precizno namjesti putem jedne poluge. Pražnjenje spremnika koristi isti princip kao i kalibracija. Sustav za rasipanje Trend koristi najbolje iz sustava za

rasipanje u sredini i izvan sredine. In-Centre sustav se koristi za normalno rasipanje unutar polja; diskovi za rasipanje se okreću jedan prema drugom i raspoređuju gnojivo u 4 nanošenja. Na taj način postizemo "4-dvostruko preklapanje" što rezultira savršenim uzorkom rasprostiranja s praktičnom tolerancijom na polju. Off-Centre sustav se koristi za rasipanje na uvratini (Slika 18.), diskovi za rasipanje (Slika 19.) okreću se jedan od drugoga i raspoređuju gnojivo u dva pojedinačna obrasca rasipanja na desnu i lijevu stranu. Ovaj sustav osigurava savršenu primjenu gnojiva do granice kao i u polju. S ciljem zadovoljenja potreba za posipanjem na uvratini od granice do polja, postoji sustav koji može zatvoriti jednu stranu rasipača. Sustav je idealan za rasipanje po travnjacima i uz potoke i jarke. Sustav rasipanja također ispunjava europsku ekološku normu EN 13739-1 (Refsgaard, D., 2010.).



Slika 18. Rad na uvratinama (YouTube, 2022.)

Radna širina postavlja se pomoću integriranog mjerača stupnjeva. Navedena metoda je najbolji i najprecizniji način za podešavanje radne širine, zbog činjenice da nisu potrebna daljnja podešavanja. Miješalica se okreće s ekscentričnim kretanjem od 12-60 okretaja u minuti, ovisno o gustoći gnojiva i karakteristikama protoka. Rasipajući lagana i porozna gnojiva, miješalica se automatski okreće sporije i nježnije tretira materijal. Integrirani konus za izjednačavanje tlaka osigurava ravnomjeran protok materijala do izlaza i sprječava drobljenje gnojiva, budući da je miješalica zaštićena od izravnog pritiska opterećenja spremnika iznad. Centralno kontrolirani regulacijski sustav automatski podešava točku kapanja gnojiva na diskovima za rasipanje. Rasipač ima dvostruke zasune koji imaju različite brzine otvaranja. Na taj način regulacijski sustav održava savršenu točku pada i obrazac rasprostiranja bez obzira na promjene u količini

ili brzini kretanja. Okretno postolje lijevka s redukcijom izlazom za rasipanje peleta od puževa, uljarica ili sličnog finog granuliranog materijala standardno je ugrađeno u regulacijski sustav (Refsgaard, D., 2010.).



Slika 19. Diskovi na *Bogballe* rasipaču (YouTube, 2019.)

4.1. Calibrator *Zurf*

S ciljem postizanja učinkovitog, preciznog i inteligentnog rada na terenu, Calibrator *Zurf* je pravo rješenje za kontrolu količine. 100 % odnos brzine prema tlu povećava kapacitet posipanja jer se brzina vožnje može optimizirati kako bi odgovarala uvjetima na terenu. Osim toga, dostupne su brojne mogućnosti. Kompletan plan rada na terenu na računalu farme moguće je pripremiti pomoću programa *ZURFcom* te prenijeti podatke na USB stick. *ZURFcom* također nudi mogućnost preuzimanja dijagrama rasipanja izravno iz baze podataka o gnojivima u Calibrator *Zurf*. Povezan je sa kontrolnom jedinicom (Slika 20.), na Calibratoru se obavlja kalibracija spremnika, a na kontrolnoj jedinici je moguće vidjeti radni zahvat i mjesta na parceli po kojoj je aplicirano gnojivo (*Bogballe – M – Line* 2023.).



Slika 20. Rad Calibrator *Zufra* i kontrolne jedinice (Bogballe, 2018.)

Nakon završetka rada na terenu, pojedinačni terenski zapisi mogu se pohraniti na USB stick za prijenos u evidencijsku dokumentaciju farme i sljedivost. Prije početka rada na terenu provodi se brza i jednostavna kalibracija u samo 30 sekundi. Alternativno se vrijednost kalibracije iz dijagrama posipanja može izravno unijeti. Pritiskom na tipke +/- tijekom rasipanja, rasipač povećava ili spušta količinu u postotnim koracima. Kako bi se postigla točna količina gnojiva, potrebna je stalna kontrola protoka gnojiva. Calibrator *Zurf.* i paralelni sustav vaganja neprestano obavljaju inteligentna mjerenja u pokretu i automatski podešavaju poklopce. Inteligentni softver radi bez prestanka sa signalima vaganja koji nadziru sadržaj spremnika i na temelju tih informacija provode se potpuno automatske kalibracije u pokretu. Čak u brdovitim uvjetima u mogućnosti je ispravno izvagati sadržaj spremnika, time se osigurava visoka razina točnosti. Stoga se količina korištenog gnojiva precizno kontrolira čime se osigurava optimalno korištenje inputa i kontrola troškova (Refsgaard, D., 2010.). Na slici 21. prikazan je Calibrator *Zurf.*



Slika 21. Calibrator *Zurf* (Bogablle, 2024.)

5. OPIS I PRINCIP RADA *AMAZONE ZA-TS RASIPAČA*

Nošeni rasipač *ZA-TS* dolaze u spremnicima od 4.200 ili 3.200 l, svi elementi su izrađeni od nekorozivnog čelika i opremljeni su novim TS sustavom raspodjele. Navedeni sustav omogućuje radne širine koje mogu doseći do 54 m, a istovremeno pruža izvanredne rezultate kod raspodjele na rubovima proizvodnih površina. *AMAZONE ZA-TS RASIPAČ* automatski kontrolira djelomične širine upravljanja (FALCON, 2021.).

Kako bi se spriječilo drobljenje gnojiva TS jedinica za raspodjelu s podešavajućim sustavom isporuke znatno smanjuje drobljenje gnojiva tako da zatvara otvor za doziranje te mješalica iznad njega se automatski zaustavi te na taj način se drobljenje gnojiva znatno smanjuje. *GPS-Switch* i *DynamicSpread* automatska kontrola dijela širine omogućuje podešavanje uzoraka rasipanja što je zapravo ključno za super veliku radnu širinu. Električna prilagodba na sustavu napajanja omogućuje TS sustavu rasipanja da reagira osjetljivo u pravim situacijama. Osim toga, podešavanjem brzine kretanja od vanjske do srednje strane na obje strane, lijevo i desno, čini se manja udaljenost izbacivanja što znači bolju pokrivenost preko dugih i ravnih klinastih polja ili tijekom kratkih apliciranja. Sprječavanje preklapanja na uvratinama omogućuje *HeadlandControl* tako da se količina rasipanja i širina bacanja povećavaju na unutarnjoj strani polja, tako da se točka isključivanja pomiče prema unutrašnjosti polja. Rasipač je opremljen s duplim diskovima pa rad na uvratinama je lakši. *ProfisPro* kombinira prednosti *FlowControl* sustava nadzora zakretnog momenta sa sustavom vaganja: zakretni moment na disku za posipanje mjeri se za kontrolu količine na svakoj strani uz vaganje. Kao rezultat toga, točna količina sjemena je osigurana od samog početka (*AMAZONE*, 2020.). Slika 22. prikazuje *AMAZONE ZA-TS* rasipač.



Slika 22. *AMAZONE ZA-TS* rasipač (*AMAZONE*, 2024.)

6. OPIS I PRINCIP RADA *GASPARDO PRIMO EW ISOTRONIC*

PRIMO EW ISOTRONIC precizni rasipač gnojiva tvrtke *MASCHIO GASPARDO*. Elementi rasipača su izrađeni od nekorozivnog čelika. Osigurava sposobnost posipanja između 12 i 36 m pomoću kontinuirane elektroničke kontrole distribucije (DPAE) i ćelije za punjenje, stroj ima spremnik kapaciteta u rasponu od 1.270 do 3.210 l (*MASCHIO GASPARDO*, 2023.). Slika 23. prikazuje *GASPARDO PRIMO EW ISOTRONIC*.



Slika 23. *GASPARDO PRIMO EW ISOTRONIC* (Youtube, 2020.)

Distribucijski sustav je važna komponenta opreme i sastoji se od roto-vibrirajuće miješalice koja je oslonjena na ležajeve. Ovaj sustav omogućuje da gnojivo stigne do svoje odredišne točke bez oštećenja na putu. Kod *GASPARDO PRIMO EW ISOTRONIC* nalazi se inovativni sustav dvostrukih roleta, napredni mehanizam koji upravlja dvojnimi vratima putem električnog pokretača. Prva vrata upravljaju prilagodbom doziranja mineralnih gnojiva koje se distribuiraju, dok druga vrata kontroliraju radnje zatvaranja i otvaranja na točki izlaza materijala (OFF/ON). Sinkronizirani rad oba zatvarača optimizira preciznu poljoprivredu osiguravajući ujednačenost u rasprostiranju po svim područjima unutar parcele, bez obzira na topografske varijacije. Prilikom rada na uvratini zbog napredne tehnologije kojom je opremljen rasipač preklapanje je smanjeno. Prvi zatvarač je OFF/ON zatvarač, koji se nalazi na vrhu protoka proizvoda. Njime upravlja pokretač kako bi se brzo zatvorio kada nije potreban, čime se sprječava nekontrolirano širenje. Zajedno s prvim radi i *DOSE* zatvarač, smješten ispod njega; ovaj zatvarač nastavlja

svoje kretanje u skladu s brzinom traktora. Čim se rasipanje nastavi, OFF/ON zatvarač se ponovno otvara na pravom položaju. Ova pažljiva koordinacija osigurava da nema predoziranih ili premalo doziranih područja duž ruba sada je zajamčeno ravnomjerno širenje bez neučinkovitosti na svim dijelovima polja. Homogena raspodjela osigurana je odjeljkom za točku kapanja gnojiva koja ima poseban oblik s tri režnja. Kako bi se optimizirala kvaliteta distribucije potrebno je odgoditi ili predvidjeti točku isporuke gnojiva u disk. Prilikom rada rasipač koristi senzore kojima je opremljen i koji mu olakšavaju rad (*MASCHIO GASPARDO*, 2021.).

7. ZAKLJUČAK

U suvremenoj poljoprivredi integracija senzora s rasipačima gnojiva očekivani je korak u razvoju tehnologija. Ove često zanemarene, ali vrlo važne činjenice čine temelj istraživanja održivih i učinkovitih poljoprivrednih praksi. Od GPS sustava koji određuje točan put do senzora za distribuciju vode koji se koriste za optimizaciju korištenja biljaka, ovi senzori su optimalni zaštitnici rasta. Poljoprivrednicima pruža informacije u stvarnom vremenu za donošenje informiranih odluka za maksimiziranje rasta uz mali utjecaj na okoliš. Osim povećanja učinkovitosti, ovi senzori igraju važnu ulogu u uštedi resursa i smanjenju ekološkog otiska. Gledajući unaprijed, jasno je da će se senzori i distribucija gnojiva nastaviti mijenjati i oblikovati budućnost poljoprivrede. Uz ostala tehnološka dostignuća i predanost održivoj poljoprivredi, ovi senzori spremni su odigrati važniju ulogu u stvaranju zelenijeg i produktivnijeg okoliša.

8. LITERATURA

1. Agri Farming (2021.): Precision Farming Tools – Guide For Beginners. (<https://www.agrifarming.in/precision-farming-tools-guide-for-beginners>)
2. AgriExpo (2024.): Fertilizer application control system HxGN AgrOn Fertilisation Control. (<https://www.agr00iexpo.online/prod/hexagon-agriculture/product-189145-137142.html>)
3. Agroklub (2021.): Nova rješenja za precizno navođenje traktora i kombajna bez sustava za upravljanje. (<https://www.agroklub.com/ratarstvo/nova-rjesenja-za-precizno-navodenje-traktora-i-kombajna-bez-sustava-za-upravljanje/66100/>)
4. AMAZONE (2020.): AMAZONE/ Plan i Learn / Learn / Perfection for precisious fertilization: TS spreading system (<https://amazone.net/en/plan-learn/learn/perfection-for-precision-fertilisation-ts-spreading-system>)
5. AMAZONE (2024): ZA-TS mounted spreader. (<https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/fertilising-technology/mounted-spreader/za-ts-mounted-spreader-51506>)
6. Australasian Farmers' & Dealers' Journal (AFDJ) (2021.): Bogballe M-Line spreaders offer up to 6000kg product capacities with continued spreader innovation (<https://afdj.com.au/bogballe-continues-spreader-innovation/>)
7. Bogballe (2018): I have a tractor with GPS. (<https://www.bogballe.com/fertiliser-spreaders/control-units/electronics-strategy/i-have-a-tractor-with-gps/>)
8. Bogballe – M – Line (2023.): M – Line (<https://dblr.com.au/wp-content/uploads/2023/09/Bogballe-M-line.pdf>)
9. Bogballe (2024.): Calibrator Zurf. (<https://www.bogballe.com/fertiliser-spreaders/control-units/calibrator-zurf/>)
10. CLAAS Harvest Centre (2021.): New spreader tames the wind. (<https://www.claasharvestcentre.com/new-spreader-tames-the-wind>)
11. Davis, G., Casady, W., Massey, R. (1998.): Precision Agriculture: An Introduction. Precision (WQ450). University Extension, University of Missouri-Columbia. (<http://muextension.missouri.edu/xplor/waterq/wq0450.htm>)

12. EIC Controls (2024.): Soil nitrogen, phosphorus and potassium sensors (RS485 type) (<https://eiccontrols.com/en/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>)
13. Eurosensor (2019.): What is a Speed Sensor? (<https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-speed-sensor-#>)
14. FALCON (2021.): AMAZONE PRODUCTS. (<https://www.falconequipment.co.za/products/amazone/amazone-za-ts-spreaders>)
15. FARM EQUIPMENT (2021.): Amazone fertilizer spreader with WindControl (<https://www.farm-equipment.com/articles/19940-amazone-fertilizer-spreader-with-wind-control>)
16. Heiß, A., Paraforos, D. S., Sharipov, G., Griepentrog, H.W. (2020.): Modelling and Simulation of a Fuzzy System for Site-Specific Nitrogen Fertilization. IFAC-PapersOnLine, 53 (2), 15790–15795. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.208.
17. Laghari, M., Laghari, N., Shah, A.R., Chandio, F.A. (2014.): Calibration and Performance of Tractor Mounted Rotary Fertilizer Spreader. International Journal of Advanced Research, 2 (4), 839-846.
18. MASCHIO GASPARDO (2021.): Fertilizer spreader with double shutter system. (<https://www.maschiogaspardo.com/hi/web/india/primo-ew-isotronic-double-shutter-system-for-fertilization>)
19. MASCHIO GASPARDO (2023.): Novelty – PRIMO EW ISOTRONIC. (<https://www.maschiogaspardo.com/en/web/international/novelty-primo-ew-isotronic>)
20. NiuBol (2023.): Soil NPK Sensors: Working Principle and Parameters. (<https://www.niubol.com/Product-knowledge/Soil-NPK-Sensors-Principle.html>)
21. Refsgaard, D. (2010.): BOGBALLE M-line. (https://issuu.com/reffi/docs/m-line_gb)
22. Rohaida, M., Pebrian, D., Azmi, M.A., Husin, E. (2021.): Mapping the Nitrogen Status on Immature Oil Palm Area in Malaysian Oil Palm Plantation with Autopilot Tractor-Mounted Active Light Sensor. Journal of Oil Palm Research, 33(4), 629-642. DOI: 10.21894/jopr.2021.0012.
23. Spillanes Fuel & Agri (2022.): GPS Fertiliser Spreading. (<https://fuelandagri.ie/gps-fertilizer-spreading/>)
24. Spritzenteile.de (2024.): Arag GPS Speed Sensor. (<https://www.spritzenteile.de/Electronic-and-Cable/Sensors--camera/arag-gps-speed-sensor.html?language=en>)

25. Swisher, D.L., Borgelt, S., Sudduth, K. (2002.): Optical sensor for granular fertilizer flow rate measurement. Transactions of the ASAE, 45, 881-888. DOI: 10.13031/2013.9934.
26. Teagasc (2021.): What is a GPS Fertiliser Spreader? (<https://www.teagasc.ie/news--events/daily/grassland/what-is-a-gps-fertiliser-spreader.php>)
27. UGA Extension (2022.): Proper Spreader Calibration is Important for Precision Fertilizer Applications. (<https://site.extension.uga.edu/colquittag/2022/02/proper-spreader-calibration-is-important-for-precision-fertilizer-applications/>)
28. Yara (2024.): N-Sensor - to variably apply nitrogen. (<https://www.yara.us/crop-nutrition/tools-and-services/n-sensor/>)
29. YouTube (2013.): Precise farming for sustainable agriculture (<https://www.youtube.com/watch?v=nrixH9tFxoA>)
30. YouTube (2019.): Bogballe M – Line Range Teasted | Farm Trader (<https://www.youtube.com/watch?v=5BDJxRx2HzU>)
31. Youtube (2020.): PRIMO EW ISOTRONIC (https://www.youtube.com/watch?v=FWp_WX5r578)
32. Youtube (2022.): Bogballe spreader 3D animation. (<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=nbzxZEaJ2VM>)