



UDK: 631.354.2

*Pregledni naučni rad  
Review scientific paper*

## MERNI SISTEMI NA SAMOHODNIM POLJOPRIVREDNIM KOMBAJNIMA

**Dragan Marković<sup>1</sup>, Milan Veljić<sup>1</sup>, Zorica Krejić<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu*<sup>2</sup>*Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu*

**Sadržaj:** Od stepena tehnološkog razvoja mernih sistema predviđenih za nominalno funkcionisanje jednog samohodnog poljoprivrednog kombajna, a naročito za izvođenje ispitivanja tehnoloških procesa i rada pojedinih njegovih elemenata, zavisi i da li će se optimalno iskoristiti sve njegove mogućnosti. U radu je prikazan pregled aktuelnih mernih sistema iskorišćenih za kontinualna i diskretna merenja veličina koje predstavljaju važne karakteristike odvijanja svih procesa na kombajnu. Merni sistemi su posmatrani i kao važni elementi u sistemima automatskog regulisanja koji postaju neophodni da bi se savremeni poljoprivredni kombajn mogao uvrstiti u mašine koje će poljoprivrednu proizvodnju još više olakšati, pojednostaviti i što je najvažnije učiniti efikasnijom.

**Ključne reči:** merni sistem, žitni kombajn, senzor, merenje prinosa zrna.

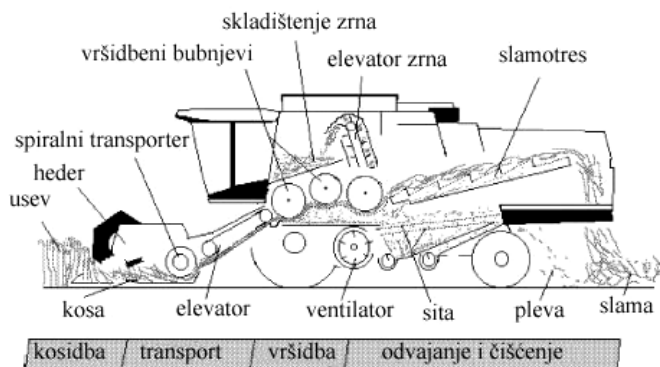
### UVODNA RAZMATRANJA

Jedan od najvažnijih ciljeva poljoprivrednog proizvođača je optimizacija profita i to za svako polje na imanju. Tokom sezone odgajanja i ubiranja useva mogu se vizuelno utvrditi razlike u uslovima koji postoje na svakom polju ponaosob. One se ogledaju u različitosti u prinosu zrna, kvalitetu zrna, pojavi korova, itd... Da bi se ocenio, prinos se mora odrediti pojedinačno za svaku lokaciju. Kada su u pitanju žitarice, jedino mesto na kome se vrednost prinosa može pouzdano odrediti je sam kombajn. Pre petnaest godina počela su prva istraživanja u ovom smislu, a pre pet godina pojavio se prvi komercijalni senzor za merenje prinosa.

Što se merenja na poljoprivrednim kombajnama tiče, ona su postala sastavni deo rada svakog savremenog kombajna. Sistemi automatskog regulisanja, kojih na savremenim mašinama ima bar nekoliko, ne mogu funkcionisati bez sistema za merenje koji se nalaze u njihovim povratnim spregama. Oni daju informacije o trenutnim vrednostima veličina koje predstavljaju izlazne veličine sistema, tako što registruju datu veličinu, pretvore je u električnu, pojačaju je, uskladište, a regulatori sistema ih upoređuju sa zadatim vrednostima i sprovode odgovarajuća dejstva da greške izlazne veličine ne pređu dozvoljenu vrednost.

## MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanja tehnologije rada senzora na kombajnim se ubrzano odvijaju. Ona obuhvataju merenje protoka i drugih osobina zrna i biomase, kao i kinematskih parametara mehaničkih elemenata na kombajnu, pomeraja, brzine, broja obrtaja i dinamičkih veličina kao što su sila i obrtni moment. Mesta na kombajnu na koja se ovi senzori postavljaju definisana su u zavisnosti od merene veličine i procesa na kombajnu u kome se ona generiše. Komponente jednog žitnog kombajna sa klasičnom tehnološkom šemom prikazane su na slici 1.



Slika 1. Proces koji se odvijaju na žitnom kombajnu sa klasičnom tehnološkom šemom

Na hederu kombajna usev se seče i uvodi u mehanizam za vršidbu, gde započinje postupak izdvajanja zrna iz klasa. U poslednjem koraku zrno se čisti da bi se odstranio strani materijal i pleva. Posle čišćenja zrno se transportuje do rezervoara za zrno uz pomoć spiralnih transporterata i elevatora. Merenje zapreminskog i masenog protoka očišćenog zrna može se obavljati samo u ovoj poslednjoj fazi. Kada se usev kosi dovoljno nisko, tj. što bliže tlu, merenja na slami se mogu obaviti skoro na svakom mestu na kombajnu gde slama prolazi. Senzori za merenja koja daju informacije o osobinama zemljišta na kome se usev uzgaja, moraju se obaviti na prednjoj strani hedera.

### Merenje gubitaka zrna

Merni uređaj za gubitke zrna može biti piezokeramička sonda eliptičnog poprečnog preseka i ona se pokazala kao odlično rešenje iz razloga što je pogodna za podešavanje aktivne površine sonde (zakretanjem sonde oko podužne ose) i zbog mogućnosti relativno dobrog odvođenja nataloženih žetvenih otpadaka. Sonda ima istu osetljivost na celoj svojoj dužini, bez obzira na njenu konstruktivnu vrednost, koja može biti i do 1700 mm. Uređaj se može isporučiti sa jednom sondom za merenje gubitaka slobodnog zrna u slami, ili sa dve sonde, za merenje gubitaka slobodnog zrna u slami i gubitaka slobodnog zrna u plevi, a na samom ekranu uređaja moguće je prikazati samo jedne, druge ili ukupne gubitke. On radi na principu pretvaranja mehaničkih impulsa u zvučne, svetlosne ili se oni prosto prikažu na ekranu. Zrna kulture koja se žanje izazivaju mehaničke impulse padajući na sonde, gde se pretvaraju u električne, zatim se prenose do

elektronskog sklopa, u kojem se sumiraju i pojačavaju. Karakteristika električnog signala duž cele sonde je konstantna i prenosi se do indikatora. Planirani, željeni gubici se unapred određuju za svaku vrstu kulture posebno i to su parametri koje postavlja rukovalac kombajnom. Senzori se ugrađuju na stacionarne delove kombajna ispod sita i slamotresa i pričvršćuju se pomoću gumenih amortizera tako, da na njih padaju zrna koja napuštaju prostor kombajna. Gumeni amortizeri prilikom žetve omogućavaju, usled vibracija, automatsko čišćenje sonde. Osim funkcije pretvaranja mehaničkih impulsa u električne, uređaj ima i selektivnu funkciju, tj. reaguje samo na pad zrna zadatog materijala, dok na ostale materijale ne reaguje.

Indirektno merenje apsolutne zapremine zrna koje ne propada kroz sito za čišćenje na kombajnu i koje se izbacuje iz zadnjeg dela kombajna se izračunava na osnovu izlaznih signala dobijenih pomoću aparata koga čini matrica senzora raspoređenih oko sita i koji su sposobni da detektuju naglu promenu protoka zrna. Aparat pored merenja apsolutnih gubitaka zrna obaveštava rukovaoca kombajnom o tome da je izmerena vrednost prekoračila zadata koja se smatra maksimalno dozvoljenim gubitkom za efikasno obavljanje žetve. Kada se prekorači vrednost dozvoljenih gubitaka zrna, aktivira se indikator na ekranu koji upozorava rukovaoca na taj događaj.

### **Merenje broja obrtaja**

Broj obrtaja meri se pomoću induktivnih, optoelektronskih, otpornih, kapacitivnih, a najčešće indukcionih (elektrodinamičkih) blizinskih davača koji se pomoću nosača postavljaju pored vratila čiji se broj obrtaja meri. Podela elektronskih uređaja za merenje broja obrtaja, tj. ugaone brzine, može se izvršiti i u zavisnosti od vrste indikatora na kome se vrši očitavanje. Pri tome se razlikuju uređaji sa digitalnim frekvencmetrima ili tajmerima, kao i uređaji kod kojih se broj obrtaja ili ugaona brzina meri voltmetrima. Ukoliko pri radu dođe do preopterećenja pojedinih vratila, a samim tim i do pada njihovog broja obrtaja, na ekranu indikatora pojaviće se odgovarajuća signalizacija. Obično se mere brojevi obrtaja vratila bubnja, elevatora hedera, kolenastog vratila slamotresa i vratila elevatora zrna.

### **Merenje prinosa zrna**

Prinos zrna i slame se izražava kao masa po jedinici površine. Osnovni princip ovih merenja je kombinacija merenja promene mase, tj. zapremine u jedinici vremena i brzine kretanja. Dakle paralelno sa merenjem protoka meri se i brzina kretanja, a koristi se i podatak o širini radnog zahvata, pa se na osnovu njih određuje aktuelni površinski učinak. Korišćenjem podataka o trenutnom protoku (propusnoj moći kombajna) i površinskom učinku proračunava se prinos u  $[\text{kg}/\text{m}^2]$ . Na slici 2. dat je pregled različitih tipova mernih uređaja za merenje prinosa zrna.

Senzori masenog i zapreminskog protoka mogu se podeliti u više grupa u zavisnosti od principa merenja koji koriste. Pri oceni rada ovih senzora, potrebno je obratiti pažnju na nekoliko kritičnih tačaka, npr.:

- jednostavnost baždarenja i nezavisnost od tipa useva,
- dovoljna preciznost i tačnost,
- neugrožavanje normalnog procesa vršidbe, čak i u slučaju oštećenja davača,
- jednostavnost montiranja na različite tipove i modele kombajna.

### Merenje masenog protoka

Masa zrna se najčešće meri komponentama koje se nalaze na elementima za transport zrna. Konstrukcija ovih uređaja je prilično složena. U suštini, problemi koji se javljaju vezani su za sadržaj vlage u zrnu i pri radu kombajna na nagibima.

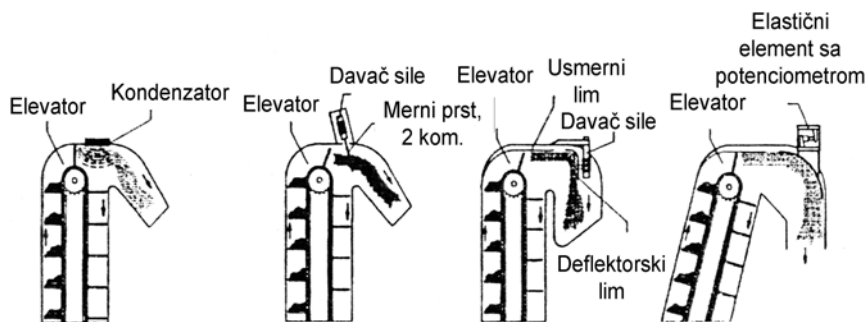


Slika 2. Različite metode za merenje prinosa zrna

U zavisnosti od vrste materijala čiji se maseni protok želi izmeriti zavisi i mesto na kombajnu na kome će se merenje izvesti. Pa se razlikuje:

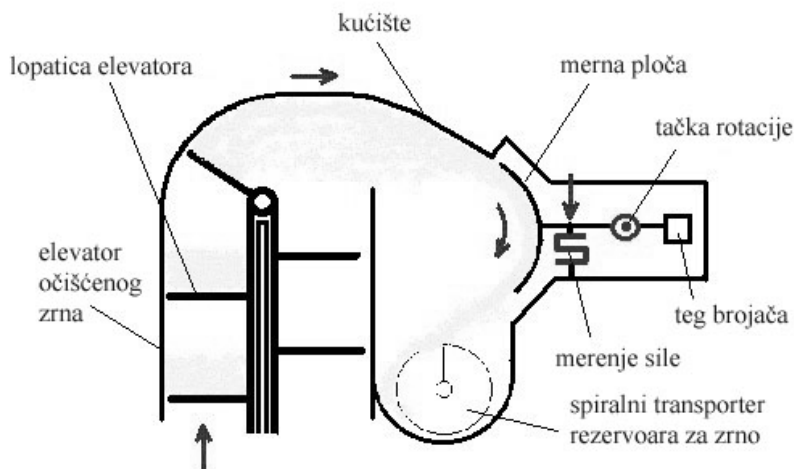
- merenje u rezervoaru za zrno: maseni protok jednak je promeni mase rezervoara u datom vremenskom intervalu. Pošto rezervoar za zrno mora biti mehanički izolovan od kombajna, konstrukcija davača nije laka, a javljaju se problemi i pri merenju na nagibima. Osim toga, tačnost merenja je ograničena jer ćelije za merenje moraju biti prilagođene masi punog rezervoara za zrno,
- merenje na donjem preseku transporterera: maseni protok zrna se meri dok se ono transportuje preko donjeg dela transporterera pre nego što dospe do elevatora za zrno. Prednost ovog sistema je manje vremensko kašnjenje, pošto se merenje vrši na mestu gde počinje čišćenje zrna,
- merenje na elevatoru za zrno: klasični elevator koji transportuje očišćeno zrno do rezervoara za zrno zamenjen je trougaonom konstrukcijom. Gornji deo je uklješten sa jedne strane i postavljen na ćeliju opterećenja sa druge strane. Signal od ove ćelije opterećenja zajedno sa podatkom o brzini kretanja elevatora koristi se za predviđanje masenog protoka. Korelacija sa veličinom prinosa zavisi od vrste žitarica i sadržaja vlage. Postoji dosta problema pri montiranju ovog davača.

Na slici 3. dati su osnovni principi merenja masenog protoka zrna na elevatoru za zrno. Većina komercijalnih senzora bazira se na beleženju udara pri merenju masenog protoka. Oni mere udarnu silu ili momenat, izazvan promenom impulsa usled kretanja materijala. Ploča na kojoj se registruju udari može biti ravna ili zakrivljena ili se umesto ploče koristi par prstiju. Ovi uređaji za detekciju udara smešteni su na vrhu elevatora za očišćeno zrno.



Slika 3. Principi merenja masenog protoka zrna na elevatoru za zrno

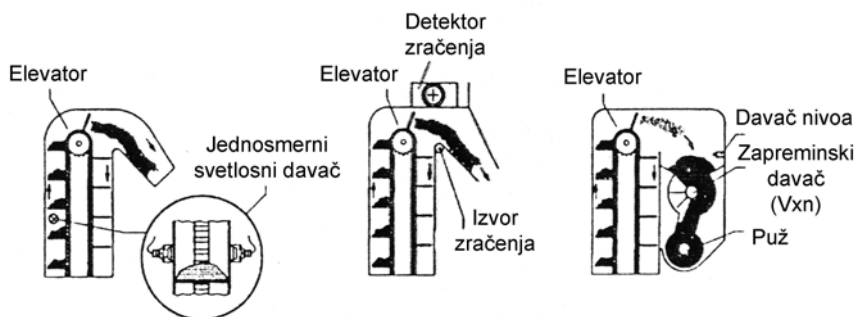
Pomoću senzora prikazanog na slici 4, registruje se maseni protok zrna neposredno pred ulazak zrna u prostor za skladištenje. Maseni protok se određuje na osnovu merenih udarnih impulsa na zakrivljenoj ploči, na kraju elevatora. Zakrivljena ploča se mehanički izoluje od kombajna tako da su sile na zakrivljenoj ploči proporcionalne masenom protoku. Na izmerenu silu jako mali uticaj imaju fizičke osobine materijala (vlažnost, koeficijent trenja) zbog načina na koji je ploča pričvršćena. Ona može da rotira oko ose i pri tome se meri obrtni moment. Prednost korišćenja ovog senzora je u tome što se on može koristiti za razne vrste materijala bez ponovne kalibracije. Položaj ose je određen matematičkim modelom razvijenim od strane Doc. Ir. Gilbert Strubbe. Tokom nekoliko sezona senzor se detaljno ispitivao, u zatvorenim i uslovima rada na otvorenom prostoru, sa različitim usevima (ječam, pšenica, kukuruz, grašak). Bila je potrebna samo jedna kalibracija tokom jedne sezone vršidbe. Maksimalna greška prinosa ovršenog zrna bila je 7%. Senzor je trenutno komercijalno dostupan u CNH kombajnim.



Slika 4. Princip rada senzora za maseni protok

## Merenje zapreminskog protoka

Zapremina zrna se meri dok materijal prolazi preko senzora tokom fiksnog vremenskog intervala ili se meri vreme potrebno da poznata zapremina zrna prođe preko senzora. Da bi se zapreminski protok preračunao u maseni, potrebno je poznavati gustinu materijala. Gustina zavisi od vrste zrna i uslova odgajanja. Da bi se dobili dovoljno tačni podaci pri merenju, gustina se mora meriti za svako polje ponaosob ili se čak mora izvršiti više merenja na istom polju. Merenja zapreminskog protoka mogu biti: optička, pomoću kola sa lopaticama, slika 5. i pomoću udarnih senzora.



Slika 5. Principi merenja zapreminskog protoka zrna na elevatoru zrna

Indirektno merenje zapreminskog protoka obavlja se pomoću optičkih senzora (svetlosni predajnik i prijemnik) koji mere visinu količine zrna na lopatici elevatora, tako što prijemnik konstatuje prekid svetlosnog zraka usled prisustva materijala čija se visina meri. Uz pomoć registrovane visine, procenjuje se ukupna zapremina zrna na lopaticama. U kombinaciji sa podatkom o brzini elevatora, računa se zapreminski protok. Istovremeno sa preračunavanjem zapremine u masu, senzor obavlja i preračunavanje visine u zapreminu. Zapremina zrna s obzirom na visinu nije uvek ista iz sledećih razloga:

- promene oblika zrna na lopaticama usled promene nagiba elevatora i u pravcu kretanja i upravno na njega,
- promene oblika zrna usled promene osobina trenja zrna (u zavisnosti od sadržaja vlage, vrste zrna,...),
- asimetrično dovodenje materijala iz transportera na elevator.

Jedna od varijanti merenja je da se postave predajnik i prijemnik pored elevatora i ovakav sistem je označen kao jednodimenzionalan. Pri testiranju na poprečnom nagibu od 11%, razlika između procenjene i stvarne zapremine pri velikim protocima, približila se procentu od 13. Korišćenjem dvodimenzionalnog sistema, postavljanjem dva senzora sa svake strane elevatora, dobijali su se bolji rezultati. Još veće poboljšanje rezultata dobijeno je ravnomernim raspoređivanjem zrna po lopaticama. Uvođenjem vibracija elevatora, površina zrna je bila ravnija bliže vrhu elevatora, ali je postavljanje senzora bilo mnogo teže. Rezultati se mogu poboljšati postavljanjem sistema predajnik – prijemnik sa boljom rezolucijom.

Kod merenja pomoću kola sa lopaticama kada napusti elevator, zrno se odbacuje na jednu čeliju ovog kola. Kada se čelija napuni, točak se okrene i sledeća čelija se puni.

Zapremina čelije je poznata i kada je poznat broj obrtaja kola može se izračunati zapreminski protok. Ovaj senzor se naziva Claydon Yield-o-meter, prema čoveku koji ga je izumeo. Glavni problem je potreba diskretnog merenja (kolo se ne okreće kontinualno) i moguća obstrukcija mašine kada se senzor ošteti. Npr. kada se kolo zaguši, protok zrna kroz elevator je takođe blokiran, što rezultira oštećenjem elevatora. Utvrđeno je da signal ovog senzora sadrži šum.

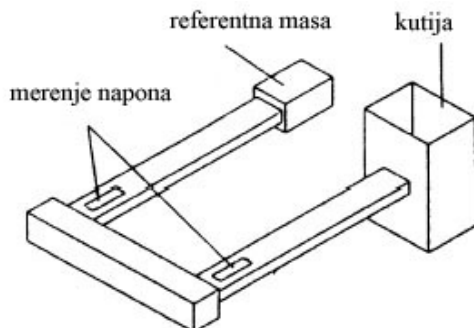
Pored direktnog merenja zapreminskog i masenog protoka zrna, za merenje prinosa koriste se i indirektno metode. **Radiometrijska metoda**, kod koje je materijal izložen dejstvu  $\gamma$  - zraka. Sa suprotne strane detektor meri talasnu dužinu emitovanog zračenja. Apsorpcija zračenja je proporcionalna masenom ili zapreminskom protoku. Uprkos svojoj maloj snazi, izvor zračenja predstavlja potencijalni rizik za korisnika. **Kapacitivna metoda** pri kojoj se meri promena dielektričnih osobina materijala između dve kapacitivne ploče. Dielektrična konstanta mešavine vazduha i zrna povećava se sa povećanjem masenog ili zapreminskog protoka. Nedostatak je što dielektrična konstanta ne zavisi samo od masenog protoka, već takođe i od sadržaja vlage u materijalu i od njegove vrste.

Da bi se proračunao prinos na osnovu informacija od senzora protoka zrna i slame potrebni su i dodatni podaci o širini zahvata i brzini kretanja.

Obimna istraživanja su izvođena u smislu **merenja količine slame** koja se dobije u procesu vršidbe na kombajnu. Pošto protok slame značajno utiče na opterećenje kombajna, senzori mogu biti veoma značajna sredstva za postizanje efikasnije vršidbe. Ova vrsta merenja se izvodi na hederu kombajna, na spiralnom transporteru i u elementima za vršidbu.

### Merenje kvaliteta

Zbog činjenice da kvalitet proizvoda ima značajni uticaj na njegovu cenu potrebno je meriti i određivati i kvalitativne parametre, koji se najčešće određuju na destruktivan način za proizvod. Neki od kvalitativnih parametara koji mogu da se odrede su:



Slika 6. Uređaj za određivanje gustine

**Gustina.** Bottinger (1990) je razvio sistem za određivanje gustine koji se sastoji od dve lisnate opruge spojene u obliku latiničnog slova U, slika 6. Na kraju jedne od opruga postavljena je referentna masa, a na drugom kraju postavljena je mala kutija poznate zapremine. Merenje deformacija se registruje na obe opruge. Kada se kutija napuni

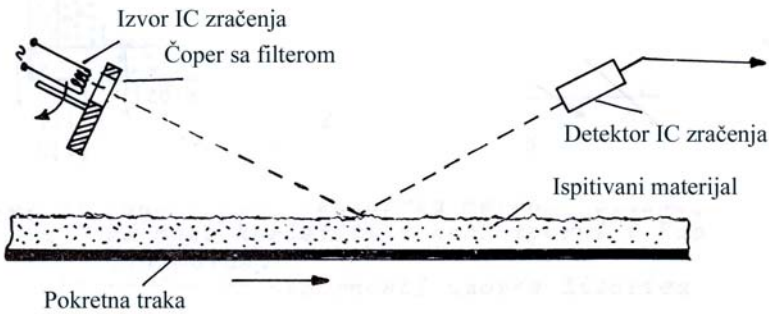
zrnom, savijanja opruga se međusobno porede. Na ovaj način, može se odrediti masa uzorka i uz podatak o poznatoj zapremini može se odrediti gustina. Posle merenja kutija se prazni otvaranjem njenog dna. Senzor se periodično uvodi u protok zrna uz pomoć hidrocilindra. I pored merenja mase uzorka u različitim vremenskim trenucima tokom kretanja senzora maksimalna greška ostaje u granicama od  $\pm 1\%$ . Najveći nedostatak ovih senzora je diskontinuitet u merenju, izazvan periodičnim pražnjenjem kutije.

**Sadržaj vlage.** Vlažnost čvrstog materijala se definiše kao:  $vl = \frac{m_v}{m_u}$ , gde je

$m_v$  - masa vode u materijalu,

$m_u$  - ukupna masa posmatranog uzorka.

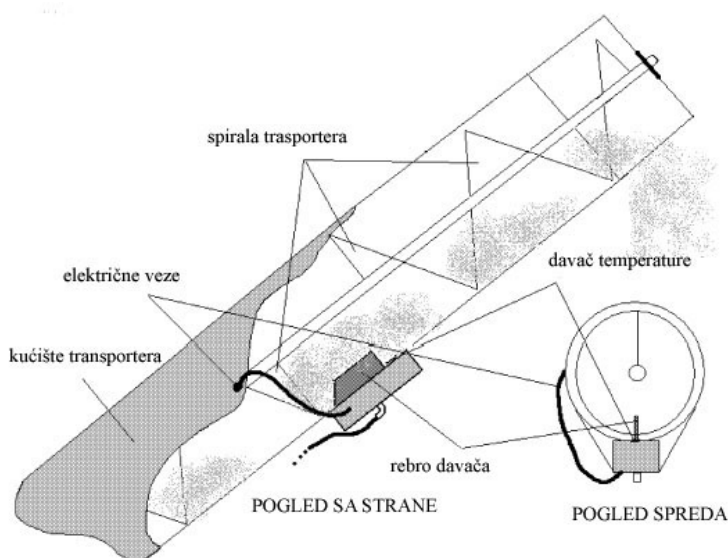
Elementarni i pouzdan način merenja vlage sastoji se u merenju mase jednog uzorka u normalnom i osušenom stanju, pa se oduzimanjem dobija masa vode. Materijal se suši dužim zagrevanjem do temperatura nešto iznad  $100^\circ\text{C}$  ili uz pomoć vakuumiranja. Kada masa uzorka prestane da se smanjuje, to je znak da je sva slobodna vlaga isparila. Ova gravimetrijska merenja su i pored svoje preciznosti suviše spora da bi se mogla primenjivati u industriji. Zato se za merenje sadržaja vlage zrna, koristi nekoliko drugih tipova senzora, kao što su otporni, kapacitivni, mikrotalasni ili infracrveni tj. NIR (Near Infrared Reflectance). Glavni problem kod kapacitivnih, otpornih i mikrotalasnih merenja je njihova zavisnost od gustine i temperature, a kod prva dva i istovremeni uticaj otpornosti i kapacitivnosti na impedansu, što se, da bi se merila samo jedna od ove dve komponente, eliminiše usvajanjem odgovarajućih opsega radnih učestanosti naizmenične struje koja se u merenju koristi. Osim toga, mikrotalasna merenja su i skupa.



Slika 7. Prikaz rada infracrvenih merača vlažnosti čvrstih materijala, /5/

U poslednje vreme NIR senzori su pokazali dobre rezultate i koriste se i za merenja sadržaja vlage i sadržaja proteina, a baziraju se na osobini molekula vode da intenzivno apsorbuje infracrveno zračenje u opsegu talasnih dužina od  $1 - 2 \mu\text{m}$ . Čvrsti materijal, čija se vlažnost meri, postavlja se na pokretnu traku i primenjuje se metoda refleksije infracrvenih zraka sa površine trake. Uređaj se sastoji od infracrvenog izvora čija se radijacija prekida pomoću mehaničkog čopera sa filterom koji propušta zračenje u opsegu  $1 - 2 \mu\text{m}$ , slika 7. Čopovani zrak se reflektuje od površine ispitivanog materijala i pada na prijemnu fotočeliju. Ukoliko je vlažnost površinskog sloja materijala veća, utoliko je manji intenzitet reflektovanog zračenja.





Slika 8. Kapacitivni davač vlažnosti

Kapacitivni senzor DMC, prikazan na slici 8., koristi se u različitim komercijalnim paketima za preciznu poljoprivredu. Montira se na transporter koji prenosi očišćeno zrno do rezervoara za zrno. Da bi se dobilo konstantno punjenje transportera, njegova krilca se odstranjuju na mestima na kojima se nalazi senzor. Pri težim uslovima vršidbe, kada je usev vlažan ili nedozreo, odsustvo krilaca može blokirati rad transportera.

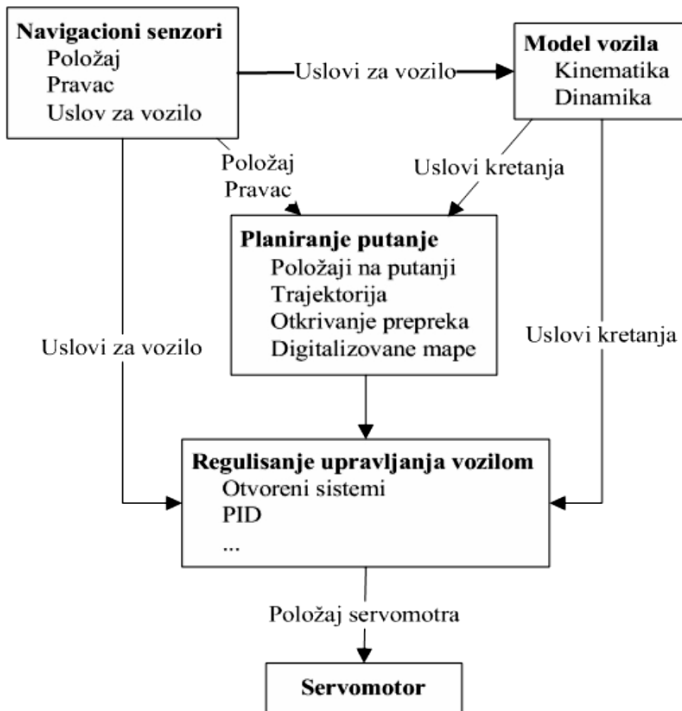
**Sadržaj proteina.** 1997. god. objavljeni su rezultati testova sprovedenih na senzoru za merenje sadržaja proteina i vlage, koji je proizveo Milestone Technology za komercijalne svrhe. Senzor se postavlja na elevator na ulazu u rezervoar za zrno i zasnovan je na merenjima tipa Near Infrared Reflectance. Sastoji se od test komore koja se periodično puni. Odbijena svetlost se rasipa u različitim talasnim dužinama uz pomoć difrakcione rešetke. Rasuta svetlost se detektuje pomoću niza fotodioda. Svaki fotodetektor iz ovog niza detektuje energiju određene širine opsega talasnih dužina spektra koje su pridružene odgovarajućem sadržaju proteina.

### Merenja kod automatskog vođenja kombajna po pravcu

U zadnjih pet decenija, veliki broj poljoprivrednih istraživanja bilo je usmereno na automatizaciju upravljanja poljoprivrednom mašinom. Glavni cilj ovih istraživanja je da uprosti i pojednostavi rad rukovaoca kombajnom i da se dođe do boljeg iskorišćenja mogućnosti mašine. Rukovalac mora da ostvari dva zadatka istovremeno: vođenje i upravljanje kombajnom sa jedne strane i izvođenje tehnoloških operacija sa druge strane. Novija istraživanja pokazuju da se tačnost pri vožnji kombajna znatno smanjuje ukoliko je potrebno da rukovalac kombajnom izvrši još neki zadatak. Pored toga rad na mašini postaje još teži zbog povećanja njene širine, kompleksnosti i snage. Ovo rezultuje povećanjem moguće brzine kretanja kombajna, kao i verovatnoće preklapanja operacija i smanjenjem mogućnosti da se optimalno koristi uređaj, što može dovesti do ekonomskih

gubitaka i u nekim slučajevima do štetnih posledica na pre svega rukovaoca kombajnom, zatim na samu mašinu, a i na zagađenje prirode. Ovi negativni uticaji bi se izbegli kada neke ili sve zadatke za upravljanje vožnjom i vođenjem kombajna ne bi morao da izvodi rukovalac, već kada bi on mogao da svu svoju pažnju usmeri na obavljanje primarnih, tehnoloških funkcija kombajna, dakle automatskim vođenjem kombajna po pravcu. Ono se odvija tako što navigacioni senzori i modeli vozila daju potrebne informacije softveru za planiranje putanje kretanja, pri čemu se proračunavaju zahtevani ugao zaokretanja i potrebna brzina kretanja i informacija o tome šalje regulišućem organu, koji signale o upravljanju šalje izvršnim organima.

Na slici 9. prikazan je strukturni dijagram automatskog sistema za upravljanje vođenjem vozila - u ovom slučaju kombajna, po pravcu. Najvažniji deo ovog sistema je tačno određivanje trenutnog položaja kombajna. Ovo se može postići na dva načina. Prvi je određivanje relativnog položaja, gde se položaj kombajna meri u relativnim koordinatama u odnosu na npr. određeni red useva ili prethodno obrađeni red. Ovo se većinom izvodi korišćenjem sposobnosti mašine da "vidi". Drugi način je postojanje apsolutno određenog položaja kombajna sa tačnim koordinatama na Zemlji, što se postiže korišćenjem GPS sistema. Oba načina imaju svojih prednosti i mana. Zbog toga se najčešće primenjuju zajedno i uglavnom sa nekim drugim sensorima kao što su npr. GDS (Geomagnetic Direction Sensors), inercijalni, žiroskopski senzori... Ova tehnika korišćenja različitih senzora kombinovana sa komplikovanim algoritmima za donošenje odluka, kao što je npr. Kalmanov filter, rezultuje velikim povećanjem tačnosti.



Slika 9. Strukturni dijagram SAU vođenjem vozila po pravcu

### Zaključna razmatranja

Manuelno prikupljanje podataka koji se odnose na osobine kulture koja se tretira ili zemljište, sadrži u sebi probne metode, za koje je potrebno utrošiti određeno vreme, radnu snagu i cena im nije zanemarljiva, tj. dosta su skupe. Stoga samo senzori koji podrazumevaju lako prikupljanje prostornih i vremenskih podataka čine osnovni element precizne poljoprivredne proizvodnje.

Može se napraviti razlika između dva tipa senzora: daljinski senzori (vazdušni (antenski) ili satelitski) i blizinski senzori (kontaktni ili ne). Uglavnom blizinski senzori pružaju informacije u boljoj rezoluciji i na taj način su one detaljnije u odnosu na informacije dobijene pomoću daljinskih senzora. Njihovim korišćenjem unosi se mnogo raznolikosti u smislu vrste podataka koji se mogu dobiti, pa tako pored senzora za praćenje prinosa, postoje senzori pomoću kojih se utvrđuju fizičke i hemijske osobine uzgajanog useva, zemljišta, itd...

Za preciznu poljoprivredu informacija o prinosu nije dovoljan podatak. Ona predstavlja konačnu informaciju koja je rezultat skupa faktora povezanih sa klimatologijom, fitotehnologijom, pedologijom, itd... Potpuno je jasno da je korisno imati informacije o stanju useva i zemljišta sakupljene tokom samog izvođenja neke operacije, jer one pružaju mogućnost i dovoljno vremena za prilagođavanje uslova u korist izvođenja budućih poljoprivrednih operacija.

Buduća istraživanja bi trebalo da se usmere na razvijanje boljih, verodostojnijih modela za određivanje prinosa zrna u radu sa kombajnom, što bi povećalo i tačnost izrada mapa prinosa. Jako važno je i bavljenje određivanjem uticaja varijacije nagiba tla i promene brzine kretanja kombajna na tačnost dobijenih mernih podataka. Senzori koji stupaju u kontakt sa zrnom i drugim materijalom mogu izgubiti osetljivost usled taloženja nečistoća, kao posledica prisustva prašine, vlage i akumulacije ostataka zrna na osetljivim elementima senzora. Veću pažnju treba obratiti na senzore koji ne stupaju u kontakt sa materijalom i koji nisu osetljivi na promene vlažnosti merenog materijala.

Istraživači nastavljaju potragu za alternativnim principima merenja. Jedan od pravaca kome u istraživanjima treba težiti je tačnija ocena nekih drugih parametara prinosa, kao što je npr. širina zahvata. Ultrasonični merni uređaji postaju glavna tema daljih istraživanja, kao i druge, nove metode koje postaju dostupne zahvaljujući razvoju tehnologije.

### LITERATURA

- [1] Čuljat M., Barčić J.: Poljoprivredni kombajni - monografija, Poljoprivredni institut, Osijek, 1997.
- [2] Marković D.: Poljoprivredne mašine, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
- [3] Novaković Vl., Marković D., Krivikapić I., Jovanović M., Čebela Ž.: Automatizacija režima rada kombajna, Prvi međunarodni naučno-razvojni simpozijum: "Stvaralaštvo kao uslov privrednog razvoja - nove tehnologije i tehnike u službi čoveka", Zbornik radova, str. 5. 117-5.125, Beograd, 1996.
- [4] Reyns P., Missotten B., Ramin H., De Baerdemaeker J.: A Review of Combine Sensors for Precision Farming, Journal Precision Agriculture 3, 169-182, Netherlands, 2002.
- [5] Schuler J., Mailander M., Krutz G.: Combine feedrate sensors, ASAE Paper 82-1577, 1982.
- [6] Stanković D.: Fizičko-tehnička merenja, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [7] Strubbe G., Missotten B., De Baerdemaeker J.: Performance evaluation of a three dimensional optical volume flow meter, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 12(4), 403-409, 1996.
- [8] Veljić M.: Poljoprivredne tehnologije, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.

## MEASURING SYSTEMS IN SELF-PROPELLED AGRICULTURAL COMBINE HARVESTERS

**Dragan Marković<sup>1</sup>, Milan Veljić<sup>1</sup>, Zorica Krejić<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Mechanical Faculty University of Belgrade*

*<sup>2</sup>Agricultural Faculty University of Belgrade*

**Abstract:** Optimal utilisation of all combine harvester functions depends on the phase of measuring systems technological development provided for nominally functioning of a self-propelled agricultural combine harvester, especially for technological processes testing and its particular elements operating. Review of up-to-date measuring systems for continual and discrete variables measuring, which represent significant characteristics of all processes on combine harvester accomplishment, is presented in this paper. Measuring systems are considered as very important elements in automatic regulation systems, which have become necessary for modern combine harvester alignment in machines designed for simplifying, rationalizing, and the most important, for efficiency magnification.

**Key words:** *measuring system, combine harvester, sensor, yield measurement.*