

## OVERVIEW OF CONTACTLESS SENSORS APPLIED IN PRECISION AGRICULTURE<sup>1</sup>

---

**Assist. Prof. Asparuh Atanasov**

Department of Mechanics and Masine Elements,  
Technical University of Varna, Bulgaria  
Mobile Phone: 0899-809 331  
E-mail: asparuh.atanasov@tu-varna.bg

**Assoc. Prof. Radko Mihajlov, PhD**

Department of Mechanics and Masine Elements,  
Technical University of Varna, Bulgaria  
Mobile Phone: 0899-904 980  
E-mail: rmihajlov@tu-varna.bg

**Abstract:** *An overview of different types of contactless sensors used in precision agriculture is made. The most common applications are for: establishing the course of vegetation, the development of diseases, the amount of water reserves, weeding, pests, biomass, yield planning and other agronomic characteristics. The review shows that there are many opportunities and technical solutions for automated, objective and reproducible assessment of agronomic characteristics through sensors. The features of sensors based on micro-electromechanical (MEMS) and nano-electromechanical systems (NEMS) for remote, spectral examination, electrical and electromagnetic, electrochemical, optical and radiometric, sensors for thermography and chlorophyll fluorescence are considered. Conclusions are made about their qualities.*

**Keywords:** *sensors, precision agriculture, non-contact measurement, spectral research, fluorescence.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

В земеделието е важно да се тестват почвените параметри, за да се определи плодородието, очаквания потенциал за растеж на културите и да се измери количеството на хранителни вещества в тях. За оптимален контрол на почвените условия е необходимо да се измерват редовно: наличието на микроелементи; нивата на влага; степента на киселинност (рН); състава и плътността на почвата, влажността на въздуха и температурата. Свойствата на дадено поле са променливи като: структура на почвата, топография, нива на хранителни вещества, ниво на рН, плевели, вредители и други фактори, които влияят върху развитието на растенията и съответно върху добива. Следва променливостта на полето да се определя посредством сензори за намаляване на употребата на химикали и оптимизация в добив, (Keskin M, Han Y, Dodd R., 1999). Използването на: семена, торове, хербициди и фунгициди също трябва да бъде оптимизирано, (Reyns, P, Missotten, B., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., 2002). Това налага все по-масовото използване на различни безконтактни методи за по-бързо и точно определяне на аграрните параметри.

Прецизно земеделие означава, да се установи, че растенията имат специфични нужди от хранителни вещества, както и по отношение на откриването на болести по тях. За да се получи обективна и надеждна автоматизирана диагностика, се въвеждат нови подходи, които се включват в традиционните системи за наблюдение и оценка. Оптичните сензори са обещаващи инструменти за откриване и диагностика на заболявания, анализ на анатомични, физиологични и биохимични свойства на растенията, (Walter, A., Liebisch, F., Hund, A., 2015).

Изследването има за цел да се направи преглед на основните методи за получаване на информация от безконтактни сензори, използвани за нуждите на прецизното земеделие.

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Земеделска техника и технологии, аграрни науки и ветеринарна медицина“ на 13 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ОБЗОР НА БЕЗКОНТАКТНИ СЕНЗОРИ С ПРИЛАЖЕНИЕ В ПРЕЦИЗНОТО ЗЕМЕДЕЛИЕ

Задачата е да се оценят и съпоставят различните методи и сензори, намиращи приложение в земеделието - да се даде оценка на техните възможности за приложение за конкретни нужди.

## **ИЗЛОЖЕНИЕ**

### **Глобалната система за позициониране**

Приемниците на глобалната система за позициониране (GPS), използвани за локализиране и навигация в земеделието, се превърнаха в най-често прилагания сензор, доколкото те дават точна и навременна информация за пространственото положение на обработваемите площи. Освен че, имат възможност за определяне на географски координати (географска ширина и дължина), GPS приемниците с висока точност позволяват измерване на надморската височина (кота) и данните може да се използват за изчисляване на наклон, положение и други параметри, свързани с терена, (Adamchuk ,V., Hummel ,J., Morgan ,M., Upadhyaya ,S., 2004).

Пример за такъв сензор е StarFire™ 6000 с ниво на точност на позицията до 3 см, (www.landproequipment.com. n.d.). Той получава данни от GPS и GLONASS двете най-големи сателитни навигационни системи. Точността на позициониране позволява създадената карта да се използва през целия сезон.

### **Сензори на база микро-електромеханични (MEMS) и нано-електромеханични системи (NEMS)**

Голям е напредъкът в микро-електромеханичните системи (MEMS) и нано-електромеханичните системи (NEMS), както и в разработването на различни химични съединения, които водят до съответни методи и техники за наблюдение здравето на растенията и проучване състоянието на почвата. MEMS структурите могат да бъдат прости без движещи се части или да са изключително сложни с множество движещи се елементи под контрола на интегрални схеми, контролиращи и обработващи получената от тях информация. NEMS са устройства тип MEMS от ново поколение, които са главно в нанометровия диапазон от размери и изпълнение. В резултат на това те са: с ниска маса, високи механични резонансни честоти, потенциално големи квантово-механични ефекти и високо съотношение повърхност към обем, което е полезно за съответния сензорен механизъм, (Vinay S., Maryam S., Devendra N., 2015). Влажността на почвата може да бъде измерена с помощта на полимери, разположени като селективно покритие в устройствата тип MEMS. Този сензор се състои от MEMS с водочувствително нанополимерно покритие и сензор за температура на чипа. Влагата се абсорбира от нанополимера, покрит върху силициева платформа. Поради слабата сила на Ван дер Ваалс се създава напрежение върху MEMS. Това отклонение се измерва като промяна в съпротивлението от вградения деформационен датчик, което е линейно пропорционално на напрежението. Така нивото на влага се преобразува в пропорционално изменение на диференциалното напрежение в мостова верига.

### **Дистанционно спектрално изследване**

Дистанционното спектрално изследване се реализира чрез заснемане, което се използва за откриване на множество процеси в земеделието. Много информация от отразеното електромагнитното излъчване на слънцето може да бъде получена от заснетите различни изображения. Видимата светлина е очевидна опция, тъй като това е, което откриват повечето цифрови камери, но има и технологии, които фокусират и откриват невидимото отражение, което се обозначава със следните съкращения: NIR (Near-infrared), SWIR (Short-wavelength infrared), MWIR (Middle Wavelength Infrared), LWIR (Long Wavelength Infrared), FIR (Far-infrared). То е изключително благоприятна възможност на системите за наблюдение. От тези лъчения се дефинират специфични вегетационни индекси, които са получени чрез измерените спектрални стойности на отражението, (Scotford I., & Miller P., 2005). Пример за използването на този тип изследване е: създаване на класифицирана карта на типовете земно покритие, използвайки изображения на тематичен картограф с SWIR2 (т.е. спектралната лента

7 в изображенията на Landsat 5TM), които дават най-точни карти на вегетацията за различни типове растителност, (www.usgs.gov, n.d.). По-подробна информация за възможностите на тези сензори е дадена в Таблица 1.

Таблица 1. Ефективност на сензорите при различни условия, (Infiniti Electro-Optics.2016).

Спектър	Видим	NIR	SWIR	MWIR Thermal	LWIR Thermal
Цена	ниска	средна	висока	средна	висока
Изискване за ИТАР	Не	Не	Да	Не	В повечето случаи
Резолюция	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★★★
Откриване на дълги разстояния	★★	★	★★★	★★★★	★★★★★
Идентификация на дълги разстояния	★★★★★	★★★★	★★★	★	★
Нощна ефективност	★	★★★★	★★★	★★★★★	★★★★★
Невидим нощем режим	★★★★	★	★★★★	★★★★★	★★★★★
Енергийна ефективност	★★★★	★	★★★★	★★★★	★★
Ефективност при дим	★	★★★	★★★★	★★★★★	★★★★★
Ефективност при лека мъгла	★	★★	★★★★	★★★★	★★★★
Ефективност при силна мъгла	★	★	★★	★★	★★

ИТАР (Международен правилник за движението на оръжие) - някой сензори е възможно да се използват с двойно предназначение. Поради тази причина подлежат на контрол.

### Оптични и радиометрични сензори

Ние виждаме само малка част от електромагнитния спектър. Този спектър се състои от различни честоти на електромагнитното излъчване в природата. Отражението на спектъра на слънчевото излъчване е носител на информация за самите обекти. При заснемане на обекти ние получаваме изображения, които съдържат информация за това, което виждаме, също така и информация за извън видимия ни обхват на спектъра.

Спектралните растителни (вегетационни) индекси се използват широко за мониторинг, анализ и картографиране на изменения в растителната структура, както и за да се определи здравния статус на растенията, да се изобразят фенологичните промени, да се оцени зелената биомаса и добива от посевите и други. Такива индекси позволяват оценка и мониторинг на промени в биофизичните свойства. Известни са като: вегетационен индекс (EVI - Enhanced Vegetation Index), нормализиран вегетационен индекс на разликата (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), индекс на площта на листната маса (LAI - Leaf Area Index), и др., (Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E., & Hatfield, J., 1984).

Най-разпространеният индекс NDVI е съотношение, което отчита количеството инфрачервени лъчи, отразени от здрави растения:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

NDVI е важен, тъй като растителността при вегетация (растеж) имат рязко високо ниво на отражение в близката инфрачервена област на електромагнитния спектър. По-специално зелените листа имат отражение с дължина на вълната в диапазона от 0,5 до 0,7 микрона (зелено до червено) и от 0,7 до 1,3 микрона (близка инфрачервена област – NIR ). Тези стойности на отражение въведени във формулата по-горе, дават стойности между -1.0 до +1.0, (Steiner, U., Bürling, K., & Oerke, E., 2008).

### **Сензори за термография и хлорофилна флуоресценция**

Инфрачервената термография (IRT) оценява температурата на растенията и е в зависимост от състоянието на влагата в тях, (Jones, H., Stoll, M., Santosa, T., 2002), микроклимата в културите, (Lenthe, J., Oerke, E., & Dehne, H., 2007). Тя показва промените в изпаряването на вода от растенията, поради ранни инфекции от растителни патогени, (Oerke, E., Steiner, U., Dehne, H., & Lindenthal, M., 2006). Излъченото инфрачервено лъчение в термичния инфрачервен диапазон с дължина на вълната от 8 до 12  $\mu\text{m}$  може да бъде открито чрез термографски и инфрачервени камери и да се илюстрира с кодирани цветни изображения, където във всеки пиксел на изображението съдържа стойността на температурата на измерения обект. В научните изследвания за растенията IRT се използва в различни времеви и пространствени мащаби. Тя обаче, често е обект на факторите на околната среда, като: температура на въздуха, интензивност на слънчевата светлина, валежи, скорост на вятъра и др. Температурата на листата показва тясна връзка с изпаряването на вода от растенията, (Jones, H., 1992, Jones, H., Stoll, M., Santosa, T., 2002). Тя се влияе от разнообразни патогени, като се има предвид, че много от тях, като петна по листата или ръжди, предизвикват локални и добре дефинирани промени, както и увреждане от коренови патогени, (Mahlein, A-K., 2016). Образно-импулсен амплитудно модулиран хлорофилнов флуорометър PAM, MAXI HEAD, (Heinz Walz Eeltrich, Германия) се използва за измервания на флуоресценция на хлорофил.

### **Електрохимични сензори**

Електрохимичните методи се използват успешно за директно оценяване на почвеното плодородие. Обикновено това се извършва или от електрод с йонно чувствителен полеви транзистор (стъклена или полимерна мембрана) или от полеви транзистор, ефект (ISFET). И в двата случая се измерва напрежение (потенциална разлика) между сензорни и референтни части на системата, която е свързана с концентрацията на специфичните аниони на: водорода ( $\text{H}^+$ ), калия ( $\text{K}^+$ ), азотния триоксид ( $\text{NO}_3$ ) и др. Йон селективни електроди са използват от почвени лаборатории за провеждане на стандартни химически почвени тестове. Използват се широко за измерване на рН на почвата, (Adamchuk, V., Hummel, J., Morgan, M., Upadhyaya, S., 2004).

Времето за измерване е критичен фактор за откриване на хранителни вещества в почвата, тъй като променливостта на нивата на хранителните вещества в почвата може да бъде доста висока с течение на времето. Поради сложната обработка на почвата и химичния анализ, стандартните методи за изпитване на почвата отнемат много часове, а може и дни. Електрохимичните сензори бързо реагират на целевите йони - за минути. Те са подходящи за бързо използване на място. Няколко компании са въвели нискотарифни сензори за нитрати, които могат да измерват нитратите и другите почвени хранителни вещества. (Azahar A., Liang D., Jaspreet D., Ajit K., Ajeet K., 2020).

Например, дъщерните фирми от семейството на Nitratax sc на Hach, ([www.hach.com](http://www.hach.com), n.d.), предлагат цифрови оптични сонди за високопрецизно определяне на концентрацията на нитрат в тествания обект. Характеризират се с висока степен на прецизност благодарение на директно UV измерване, без кръстосана чувствителност, те са перфектни за наблюдение на законово установените гранични стойности.

### **Електрически и електромагнитни сензори**

Измервателни сензори на основата на електрически вериги се използват за измервания на почвата. Способността на почвата да провежда електричество обикновено служи за определяне на електрическо съпротивление или електрическа проводимост. Безконтактното измерване на електрическа проводимост може да се извърши с помощта на двойка дросели. Измерването определя почвената текстура, соленост, органично вещество, съдържание на влага и дълбочината на горния почвен слой.

Един от сензорите разработен за тази цел е: SoilXplorer сензорът, който излъчва електромагнитен сигнал в почвата, а четири приемни бобини измерват електропроводимостта на почвата на четири различни дълбочини. Когато датчикът е разположен на 40 cm над

почвата, измерваните слоеве са: 0 – 25 cm, 15 – 60 cm, 55 – 95 cm и 85 – 115 cm. Въз основа на зададени параметри на наблюдение той изчислява разнородностите на почвата, относителното ѝ водно съдържание и уплътняването в повърхностния слой. В резултат на изследването се генерират карти на: относително водно съдържание (rWTC), дълбочината на горния почвен слой (D2I), почвени зони, почвена обработка, (Titan Machinery Bulgaria. n.d.).

Най-често срещаните сензори в земеделието са датчиците за влага в почвата. Сензорът Scan Solo е електронната система за измерване на почвена влажност и проводимост с до 16 дълбочини, (Scient Act SA., n.d.). Датчикът се поставя в специална тръба. Тръбата се инсталира за постоянно в почвата. Дължината на тръбата е 1 или 1.6 m. Измервателният принцип е високочестотен електромагнитен. Отчитането на резултатите може да стане чрез преносим компютър или чрез GPRS (General Packet Radio Service).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният преглед на безконтакти сензори с приложение в прецизното земеделие показва, че има множество възможности и технически решения за автоматизирана, обективна и възпроизводима оценка за състоянието на растенията и почвите.

Използване на GPS в комбинация с друг вид сензори позволява да се състави почвена карта с географските координати на съответните измервани величини за конкретен парцел.

MEMS са най-перспективните сензори на разработвани базата на нови химически съединения. Те имат малък обем и маса и много добри параметри при работата си.

Дистанционните методи за наблюдение базирани на сателити позволяват бързо и лесно наблюдение на много големи площи. При комбинирането на няколко сензора в тях те наблюдават много параметри. Голямото разстояние за наблюдение им позволява да обхванат големи площи. Недостатък е невъзможността да се получи веднага информацията от тях.

Спектралните методи за отчитане дават най-лесно и бързо необходимите параметри дори за големи площи, тъй като са лесни за използване като съответни камери се поставят на дистанционно управляем летателен апарат, дрон. Вегетационните индекси получени с тяхна помощ са лесни за приложение и дават обективна информация за състоянието на посевите. Приложими са, както за малки така и за големи площи.

Термографията и хлорофилната флуоресценция са чувствителни към ранните стресови реакции на растението. Тези сензори обаче нямат потенциал да идентифицират всички заболявания. В този случай, RGB-базирани и хиперспектрални техники за изобразяване са за предпочитане. Хлорофилната флуоресценция е обещаваща алтернатива на традиционните измервания на отражателната способност на растенията, за получаване на по-точни данни и определяне състоянието на посевите.

Електрохимичните сензори ни дават точна информация относно промяната на химически състав в растенията и почвата. С тях се извършва проверка за нитрати и други почвени вещества.

Електромагнитните сензори са алтернатива на механичните за получаване на карта на почвенните слоеве. Предимството е в това, че измерването при тях е безконтактно, с което много по-лесно се прави карта на наблюдаваното поле.

## REFERENCES

Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M.T., Upadhyaya, S.K., (2004). On-the-go soil sensors for precision agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 44, Issue 1, Pages 71-91.

ASAE Standards, 49th ed., 2002. S313.2. Soil Cone Penetrometer. ASAE, St. Joseph, Michigan. Baumgardner, M.F., Silva, L.F., Beihl, L.L., Stoner, E.R., 1985. Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy* 38, 1–44.

Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T., & Hatfield, J. L. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, 76, 300– 306.

- Azahar A., Liang D., Jaspreet D., Ajit K., Ajeet K. , 2020 J. Electrochem. Soc. 167 037550, Perspective—Electrochemical Sensors for Soil Quality Assessment.
- Infiniti Electro-Optics. (2016). Multi-Sensor Camera Systems for Long-Range Surveillance. [online] Available at: <https://www.infinitioptics.com/technology/multi-sensor>.
- Jones, H. G. 1992. Plant and microclimate, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jones, H. G., Stoll, M., Santoa, T., de Sousa, C., Chaves, M. M., and Grant, O. M. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine. J. Exp. Bot. 53:2249-2260.
- Keskin M, YJ Han, RB Dodd. 1999. A Review of Yield Monitoring Instrumentation Applied to the Combine Harvesters for Precision Agriculture Purposes. 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy. 26-27 May 1999 Adana, Turkey. pp.426-431.
- Lenthe, J.H., Oerke, E.C., and Dehne, H.W. 2007. Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat. *Precis. Agric.* 8:15-26.
- Liu, W., Upadhyaya, S.K., Kataoka, T., Shibusawa, S., 1996. Development of a texture/soil compaction sensor. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 617–630.
- Maeder, M. 2015. “Trees: Pinus Sylvestris. An Artistic-Scientific Observation System.” *JAR Journal for Artistic Research* 11.
- Mahlein Anne-Katrin , 2016, Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping.
- Oerke, E.C., Steiner, U., Dehne, H.W., and Lindenthal, M. 2006. Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *J. Exp. Bot.* 57:2121-2132.
- Reyns P, Missotten B., Ramon H., De Baerdemaeker J., (2002), A Review of Combine Sensors for Precision Farming, *Precision Agriculture* volume 3, pages 169–182
- Scient Act SA. (n.d.). Soil moisture. [online] Available at: <http://scientact.gr/bg/E207E62C> [Accessed 26 Sep. 2020].
- Scotford I. M. and Miller P. C. H., (2005). *Biosyst. Eng.*, 90, 235
- Steiner, U., Bürling, K., and Oerke, E.-C. 2008. Sensorik für einen präzisierten Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanz.* 60:131
- Titan Machinery Bulgaria. (n.d.). SoilXplorer. [online] Available at: <https://titanmachinery.bg/soilxplorer> [Accessed 28 Sep. 2020].
- Upadhyaya, S.K., Rosa, U.A., Ehsani, M., Koller, M., Josiah, M., Shikanai, T., 1999. Precision Farming in a Tomato Production System. Paper No. 99-1147, ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Vinay S. P., Maryam S. B., Devendra N. S., (2015). Review of polymer-based sensors for agriculture-related applications, *Volume 2 Issue 4*, August 2013, pp. 166-180.
- Walter, A., Liebisch, F., and Hund, A. 2015. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. *Plant Methods* 11:14.
- www.hach.com. (n.d.). Nitratax sc Nitrate Sensors | Hach USA - Overview | Hach. [online] Available at: <https://www.hach.com/nitrate-sensors/nitratax-sc-nitrate-sensors/family?productCategoryId=35546907021> [Accessed 28 Sep. 2020].
- www.landproequipment.com. (n.d.). John Deere StarFire™ 6000 with SF3 Receiver » LandPro Equipment; NY, OH & PA. [online] Available at: <https://www.landproequipment.com/new-equipment/john-deere/agriculture/farm-equipment-and-technology/precision-ag-technology/Guidance/StarFire-6000-with-SF3-Receiver> [Accessed 28 Sep. 2020].
- www.usgs.gov. (n.d.). Landsat 5. [online] Available at: [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con) [Accessed 26 Sep. 2020].