



## PERSPEKTÍVY VYUŽITIA SNÍMAČOV V POĽNOHOSPODÁRSTVE PERSPECTIVES OF SENSORS UTILIZATION AT AGRICULTURE

Jozef Bajla, Matúš Čičo, Tomáš Bod'o

### Abstract

For the application of the principles of precision farming are the conventional ways of moisture level measuring insufficient. The progression in methods of measurement lie in using of simple, rapid and effective principles, in performance of instruments which are mounted at machine. New developing methods of measuring systems allow us to mount them at mobile equipment and to operate with the technological process by making changes to the working tool or to the dose of the applicator. The aim is to highlight the contribution of those sensors for monitoring of the environment.

**Key words:** precision agriculture, measuring of environment properties, measuring systems, measurement methods, sensors

### Úvod

Výber snímačov a ich správne použitie v modernom poľnohospodárstve na meranie danej veličiny ovplyvňuje zásadne výsledok merania. V tejto súvislosti je dôležité sledovať vývoj najnovších snímačov, ktoré sú schopné merať vlastnosti prostredia ako aj technických a technologických parametrov. V súvislosti s rozvojom nových trendov v poľnohospodárstve sa čoraz častejšie presadzuje uplatňovanie presného poľnohospodárstva, ktorého progresívne prvky sa masívnejšie aplikujú aj u nás. Mnohé výskumné práce dokázali, že na obrábaných plochách poľných kultúr je veľká variabilita parametrov a vlastností pôd, plodín, ale aj životného prostredia, výskytu škodcov a chorôb rastlín, meniaci sa v priestore a čase. Pri ich lokalizácii sa využívajú špeciálne systémy definovania polohy pod všeobecným označením GPS, založené na komunikácii s družicovými systémami.

Príspevok sa zameriava na potrebu sledovania vývoja spôsobov zisťovania vlastností prostredia rastlín pri využívaní systému presného hospodárenia. Novovyvíjané metódy merania umožňujú umiestnenie meracích systémov na mobilnom prostriedku a operatívne zasahovanie do technologického procesu pri technologických operáciách formou prestavenia pracovného orgánu alebo zmeny dávky aplikátora. Cieľom prehľadu je poukázať na najperspektívnejšie snímače pre sledovanie vlastností prostredia s možnosťami ich použitia.

### Materiál a metódy

Vo všeobecnosti môžeme v presnom poľnohospodárstve môžeme snímače zaradiť do troch skupín:

- na meranie charakteristík prostredia (pôdy, rastlín, klímy, chorôb, škodcov ap.),
- na lokalizáciu meraných parametrov (systémy GPS, GIS ap.),
- na riadenie pracovných orgánov a automatických robotických systémov.

Pri meracích procesoch sa začínajú využívať systémy, ktoré umožňujú rýchle spracovanie meraného signálov, ich transport na väčšiu vzdialenosť a uloženie do banky dát. Následné spracovanie údajov sa uskutočňuje pomocou rutinných procedúr v počítačoch do formy grafických, tabuľkových alebo mapových dokumentov. Základným prvkom meracieho procesu je snímač, ktorý sa skladá zo senzora a meniča, ktorý deformáciu senzora mení na signál inej fyzikálnej povahy.

Meracie systémy využívajú rôzne princípy, ale môžeme ich deliť na určité skupiny podľa spoločných znakov daných použitou meracou metódou.

### Kontaktná adresa:

Prof. Ing. Jozef Bajla, PhD., Ing. Tomáš Bod'o, SPU v Nitre, Technická fakulta, Katedra konštruovania strojov  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika  
(Tel.: +42137/6415670), E-mail: Jozef.Bajla@uniag.sk



Súčasnú dobu môžeme charakterizovať ako etapu intenzívneho hľadania nových riešení pre zložité podmienky práce snímačov a ich spoľahlivé odovzdávanie signálov s využitím prvkov automatického riadenia meracích procesov. Tieto skutočnosti vyžadujú nový pohľad na spôsoby merania a celý proces spracovania dát. Začínajú sa využívať prvky tzv. umelej inteligencie. Umelá inteligencia vyjadrená Jonsonom a Pictonom (Waine, 1999) má tri aspekty:

- **percepcia** – vnímanie (schopnosť zbierať, zaznamenávať, spracovať a odovzdávať informáciu o prostredí);
- **kognícia** - spoznávanie (schopnosť hodnotiť informáciu a pripravovať akcie, často založené na predchádzajúcej skúsenosti o prostredí);
- **exekúcia** - vykonávanie (schopnosť uskutočniť aktivity založené na informácii pri vnímaní spätnej reakcie vlastnosti alebo poznania pre účely vlastnosti).

Inteligentné senzory podľa Waina (1999) sú principiálne založené na kombinácii vnímacích a spoznávacích prvkov umelej inteligencie. Tu nie je potrebný úplný systém umelej inteligencie, spoznávací funkcia môže byť uskutočňovaná človekom. Inteligentné snímače môžu snímať dve charakteristiky, ktorých nadbytočné informácie a merané hodnoty veličín v spojení dávajú vyššiu kvalitu merania.

## Výsledky a diskusia

### 1 Snímače pre automatizované merania

Odborná verejnosť a výrobcovia sa pokúšajú aplikovať a modifikovať používané laboratórne metódy alebo vyvíjať nepriame meracie techniky, ktoré by umožnili priame mapovanie pôdy. V súčasnosti bolo len málo typov snímačov vyvinutých pre tieto účely. Sem patria:

**Elektrické a elektromagnetické senzory**, ktoré využívajú elektrické obvody napr. na meranie schopnosti častíc materiálu viesť alebo akumulovať elektrický náboj. Schopnosť vedenia elektriny sa obyčajne kvantifikuje elektrickým odporom alebo vodivosťou. Vtedy sa materiál stáva súčasťou elektrického obvodu a zmeny lokálnych podmienok okamžite ovplyvňujú signál zaznamenaný datalogerom. Prehľad systémov je uvedený v tabuľke 1.

Elektromagnetické vlastnosti napr. pôdy z väčšej časti ovplyvňujú textúra pôdy, zasolenie (obsah solí) pôdy, organická hmota a vlhkosť. V niektorých prípadoch aj ďalšie vlastnosti pôdy ako zvyškové dusičnany alebo pôdne pH môžu byť registrované pomocou týchto senzorov.

Tab. 1 Elektrické a elektromagnetické senzory

Tab. 1 Electrical and electromagnetic sensors

Koncepcia senzora	Stav vývoja	Predbežné výsledky	Referencie
Elektrická konduktivita/ odpor. kontakt. senzory (rotač. krájadlo, zahrot. kotúč)	Tri rôzne súbory komerč. nástrojov, početné agronom. výskumné projekty	Stabilné zobrazenie parcely, pôdne typy (textúra) sa zdajú byť najvhodnejšie, nepriamy odhad obsahu N v pôde, obsah org. materiálu, vlhkosti, zasolenie	Lund (1999) Colburn (1999) Dabas (2003)
El. konduktivite blízke senzory (el.-magn. indukčná metóda)	Komerčné nástroje, početné agronom. výskum. projekty	Stabilné zobrazenie parcely, vysoko korelujú s kontaktnými snímačmi, ďalšie efekty prac. rýchlosti a výšky	Sudduth (2003)
Elektrická konduktivita a kapacitancia kont. senzorov (valc. elektródy)	Laboratórne skúšky, riadené podmienky	Súčasnú meranie pôdnej vlhkosti a zasolenia	Lee (2002)
Kapacitancné kontaktné senzory	Polné skúšky, komerčné obvody sú použiteľné	Korelácia s objem. obsahom vody v pôde	Andrade (2001)

**Optické a rádiometrické senzory** – využívajú elektromagnetické vlnenie (odraz svetla) na charakterizovanie určitých charakteristík materiálu. Meranie reflektancie, absorpcie alebo transmitancie materiálov umožňujú nedeštruktívne a rýchle techniky na hodnotenie ich vlastností. Prehľad meracích systémov je uvedený v tabuľke 2. Tieto senzory môžu napodobňovať ľudské oko pri skúmaní pôdy pri meraniach s blízkym a stredným



infračerveným žiarením alebo polarizovaným odrazom svetla. Vozidlá s optickými a rádiometrickými senzormi používajú podobné princípy na meranie vzdialeností a rýchlosti. Náklady, časové obdobia, oblačnosť a veľké zostatky rastlín na povrchu sú limitujúce faktory použitia týchto optických metód.

**Mechanické senzory** – zabezpečujú dôležité informácie o podmienkach práce v danom prostredí (napr. utlačenie pôdy) a charakterizujú mechanické charakteristiky (napr. pôdna pevnosť obyčajne prostredníctvom merania mechanického odporu pri prechode cez pôdu). Oblasti s vysokým mechanickým odporom pôdy môžu byť prirodzene vyschnuté, môžu byť spôsobené utlačením ťažkou technikou alebo vytvorením orebnej dosky. V každom prípade pôdne častice sú usporiadané tesnejšie a vytvorené kumulatívnym procesom pôsobenia viacerých faktorov súčasne alebo postupne. Princípy používaných mechanických senzorov sú prehľadne uvedené v tabuľke 3. Limitujúce faktory, ktoré ovplyvňujú výsledky meraní je vlhkosť pôdy, textúra a objemová hmotnosť pôdy.

Tab. 2 Optické a rádiometrické senzory

Tab. 2 Optical and radiometrical sensors

Koncepcia senzora	Stav vývoja	Predbežné výsledky	Referencie
Jednoduchý vlnový podpovrchový pôdny reflektančný senzor	Poľné skúšky	Korelácia s organic. hmotou, pre určité pôdne typy interferuje s pôdnou vlhkosťou (je rušená)	Shonk (1991)
Hyperspektrálny vizuálny a stredoinfračerveného spektra (MIR) reflektančný senzor	Laboratórne skúšky	Org. hmota (obsah C), pôdna textúra, vlhkosť a CEC boli primárnym cieľom, informácie o korelácii s el. konduktivitou, pôdne pH a živiny	Shibusawa (1999) Hummel (2001) Christy (2003)
Hyperspektrálny vizuálny a blízkočerveného spektra (NIR) reflektančný senzor	Laboratórne skúšky	Korelácia s pôdnym minerálnym N	Ehsani (2000)
Mikrovlnový senzor	Teoretické štúdie	Korelácia s pôdnou vlhkosťou	Whalley-Bull (1991)
Zemný penetračný radar	Poľné skúšky, komerčné nástroje sú použiteľné	Korelácia s objemovou vlhkosťou pôdy, štúdie na geofyzikálne zloženie pôdy	Huisman (2003)

Tab. 3 Mechanické senzory

Tab. 3 Mechanical sensors

Koncepcia senzora	Stav vývoja	Predbežné výsledky	Referencie
Mapovanie ťahovej sily	Použitie komerčných nástrojov, možné v najmodernejších traktoroch	Vzťah k predorebným podmienkam práce	Van Bergeijk-Gense (1996) Ehrhardt(2001)
Náradie so snímačmi zaťaženia na meranie celkového ťahového odporu	Poľné skúšky, mapovanie komerčných plôch	Korelácia s objemovou hmotnosťou (utlačenie) pôdy pre špecifickú textúru a vlhkosť	Owen (1987) Lee (1996)
Jednoduchý hĺbkový horizontálny penetrometer	Poľné skúšky, (mapovanie komerčných plôch)	Korelácia s vertikálnym kužeľovým penetrometrom	Alihamsyah (1990) Hütl ai.(1992) Bajla ai.(2003)
Vertikálny nožový systém so senzor-mi a neseným horizontálnym penetrometrom	Poľné skúšky, mapovanie komerčných plôch	Korelácia s vertikálnym kužeľovým penetrometrom, určenie pôdneho mechanického odporu pôdy v určených hĺbkach	Andrade (1990) Chung (2003) Verschoore (2003)
Meracie zariadenie s dynamickou hĺbkovou pracovnou schopnosťou	Pôdny kanál a poľné skúšky	Určenie tvrdej (orebnej) dosky pri prechode meranie mechanického odporu	Stafford- Hendrick (1988) Manor-Clark (2001), Raper-Hall (2003)
Hĺbkový nástroj so súpravou meracích segmentov	Predbežné poľné skúšky	Možnosť uskutočniť korekcie hĺbky spracovania pôdy v reálnom čase pri variácii mechanického odporu s hĺbkou	Adamchuk (2003), Bajla ai. (2006)



**Akustické a pneumatické senzory** – významnejšie pokusy s využitím tejto skupiny senzorov sa uskutočnili ako alternatívne prostriedky na rozlíšenie mechanických a fyzikálnych charakteristík pôdy. Takto môžu byť merania akustickými a pneumatickými senzormi využité pri charakterizovaní textúry pôdy a utlačenia pôdy. Slúžia ako alternatíva mechanických senzorov pri skúmaní interakcie medzi pôdou a poľnohospodárskym náradím. Prehľad tejto skupiny senzorov je uvedený v tabuľke 4. V súčasnosti sú vzťahy medzi výstupmi senzorov a fyzikálnym stavom pôdy pomerne málo známe a vyžadujú si dodatočný výskum. Pretože ide o koncepčne rozdielne meracie systémy, akustické a pneumatické senzory môžu byť silnými kandidátmi na spojenie senzorov, v ktorých znásobenie údajov môže zlepšiť odhad cieľových atribútov meraného prostredia.

Tab. 4 Akustické a pneumatické senzory  
Tab. 4 Acustical and pneumatical sensors

Koncepcia senzora	Stav vývoja	Predbežné výsledky	
Mikrofónom osadená stupica (nosník)	Skúšky v pôdnom kanáli	Korelácia s obsahom ílu v pôde (pôdne typy)	Liu ai. (1993)
Mikrofónom osadený horizontálny kužeľový penetrometer	Skúšky v pôdnom kanáli	Korelácia s kužeľovým penetrometrom pri určova-ní hĺbky orebnej dosky	Tekeste (2002)
Vzduchový snímač tlaku	Poľné skúšky	Rozlíšenie rozdielneho spracovania pôdy (techno- lógie), ovplyvnenie štruktúry/utlačenia, vlhkosť a pôdny typ	Clement-Stombaugh (2000)

**Elektrochemické senzory** – viac senzorov môže byť použitých na priamy alebo nepriamy odhad priestorovej variability rozličných mechanických a fyzikálnych vlastností pôdy podľa tabuľky 5. Priame meranie chemických vlastností pôdy, ako pH alebo obsah živín môžu byť objektom ďalšieho výskumu. Elektrochemické metódy môžu byť úspešne použité na priame hodnotenie pôdnej úrodnosti. Uskutočňuje sa pomocou iónselektívnej elektródy ( sklenená alebo polymérová membrána) alebo iónselektívnym tranzistorom (ISFET). V oboch prípadoch merané napätie medzi meranými a referenčnými časťami systému odpovedá koncentrácii špecifických iónov ( $H^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$ , atď.). Iónové selektívne elektródy boli historicky použité v komerčných laboratóriách v spojení so štandardnými chemickými pôdnymi testami a používajú sa na meranie pH faktora pôdy. Prototypy senzorov zjednodušujúce tieto úlohy sú relatívne komplexné ale ešte neúplne vyvinuté. Hoci elektrochemické merania môžu byť priestorovo rozlíšiteľné, časový odstup medzi zberom vzoriek a výstupom senzora sa oneskoruje pri priamej regulácii aplikácie vápna alebo minerálneho hnojiva. Priame meranie pôdy je komerčne možné pre mapovanie pôdneho pH. Pomerne jednoduchý princíp neumožňuje extrakciu niektorých cieľových iónov v reálnom čase ako napr. draslíka.

Tab. 5 Elektrochemické senzory  
Tab. 5 Electrochemical sensors

Koncepcia senzora	Stav vývoja	Predbežné výsledky	Referencie
Tranzistory s iónselektívnym poľom (ISFET) s prúdovou vstrekovacou analýzou	Laboratórne skúšky	Korelácia s koncentráciou nitrátov v pôdnom extrakte	Birrell-Hummel (2001)
Rýchla extrakcia pôdnej vzorky	Laboratórne skúšky	Potenciál pre zníženie času oneskorenia zberu vzoriek výstupom senzora	Price ai. (2003)
Elektropneumatická vzorkovacia metóda	Laboratórne skúšky	Metóda je potencionálne použiteľná s PVC membránovými elektródami	Yildirim ai.(1990)
Vzorkovacie koleso s tvorbou indexovej tabuľky	Pôdny kanál a poľné skúšky	Korelácia s konvenčnými laboratórnymi elek-tródami pre obsah nitrátov a pôdne pH, bol použitý systém ISFET	Loreto-Morgan (1996)
Vzorkovanie, odvoz, extrakcia a meracia jednotka	Laboratórne a poľné skúšky	Korelácia s obsahom nitrátov, požiadavka na zlepšenie zariadenia	Adsett ai. (1999)
Priame meranie aktivity iónov s použitím ionselektívnych elektród	Poľné skúšky a komerčné nástroje	Korelácia s rozpustným draslíkom, reziduálny obsah nitrátov a pH, priame mapovanie pôd-neho pH komerčne možné	Adamchuk (1999, 2003)



## 2 Inteligentné snímače

**Inteligentné senzory** pracujú principiálne na kombinácii vnímacích a spoznávacích prvkov umelej inteligencie. Často nie je potrebný úplný systém umelej inteligencie, spoznávací proces meracieho procesu sa uskutočňuje zmyslami človekom. Inteligentné snímače môžu snímať viac charakteristík, ktorých nadbytočné informácie a namerané hodnoty veličín spolu vytvárajú vyššiu kvalitu merania. Použitie rôznych senzorov s kombináciou rôznych fyzikálnych princípov umožňuje krížovú koreláciu, využívanú na verifikáciu meraných hodnôt s možnosťou určenia ich vzájomného vplyvu. Pre poľnohospodárske účely sú ideálne neinvazívne a kontinuálne systémy takýchto snímačov. V tabuľke 6 je spracovaný prehľad snímačov, vhodných pre meranie vlastností pôdy s možnosťou ich použitia pre inteligentné snímanie.

Tab. 6 Matica inteligentného snímania (Waine, 1999)

Tab. 6 Intelligence sensing matrix (Waine, 1999)

Matica Snímače	Kľúčové vlastnosti									Suma
	Vlhkostný obsah	Teplota	Zasolenie	Textúra	Hĺbka vrstvy	Štruktúra	Porozita	Organická hmota	Živiny	
EM induk.	1	1	1	1	1	1	1	1		8
GPR	1		1	1	1	1	1		1	7
TDR-kap.	1		1							2
NMR	1									1
mikrovl.	1					1				2
NIR	1					1		1	1	4
optické								1		1
odporové	1		1	1						3
ISFET			1						1	2
termočl.		1								1
termistor.		1								1
opt. vlák.			1						1	2
det. plyn.	1	1						1	1	4
akustické					1	1	1			3
celkom	8	4	6	3	3	5	3	4	5	41

V stĺpcoch sú uvedené kľúčové vlastnosti pôdy pre jej hodnotenie z hľadiska agrotechnických zásahov, v riadkoch sú uvedené charakteristické metódy snímania. Priesečníky sú označené kódom 1 pri možnosti merania vlastnosti príslušnou metódou. Zároveň ukazujú perspektívnosť metódy pre použitie v poľnohospodárstve. Táto tabuľka môže byť využitá ako pomôcka pri výbere a kombinovaní snímačov vhodných pre inteligentné snímanie, ale neukazuje relatívne kvality každého senzora pre každú vlastnosť.

## Záver

Presné poľnohospodárstvo je charakterizované súhrnom účelných rozhodnutí produkčného systému v oblasti aplikovaných technológií a strojov tak, aby sa zabezpečili efektívne prínosy výroby pri šetrnom zaobchádzaní so životným prostredím. Tento špecializovaný prístup k poľnohospodárskej produkcii sa začal uplatňovať pred asi desiatimi rokmi a našiel odozvu nielen vo výskume a vývoji, ale aj v praxi. Svetové trendy sa zameriavajú na procesy aplikácie tohto spôsobu nielen v oblasti manažmentu produkcie ale tiež do oblasti získavania relevantných informácií o variabilite vlastností prostredia, ich spracovania a následného využívania v pracovnom procese. Sledovanie vlastností prostredia v časovej závislosti je veľmi náročný proces, pretože sa vyznačuje veľkou variabilitou mnohých parametrov premenlivých aj v čase. Štandardné metódy a skúšky v laboratóriách sú síce dostatočne presné, ale sú realizované s časovým sklzom a vyžadujú nemalé dopravné a prevádzkové náklady. Ide o komplex náročných prístupov, kde je treba riešiť nielen problematiku spracovania dát a ich vyhodnocovania, ale tiež problematiku konštrukcie nových snímacích systémov a následnej konštrukčnej úpravy pracovných a nastavovacích orgánov tak, aby sa dali účelne a efektívne využiť pre optimalizáciu pracovných zásahov, nastavenia aplikačných dávok alebo pohybov pracovných orgánov



modernej techniky. Bez riešenia komplexu týchto problémov nie je možné efektívne, spoľahlivo a s primeranými nákladmi aplikovať tento moderný trend hospodárenia.

Perspektívne systémy merania umožňujú umiestnenie meracích prvkov na mobilnom prostriedku a operatívne zasahovanie do technologického procesu pri technologických operáciách formou prestavenia pracovného orgánu alebo zmeny dávky aplikátora.

### Literatúra

1. ADAMCHUK, V.I. et al.: 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. In: *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 44, No. 2, p. 71-91.
2. BAJLA, J. – ŠTRBA, M.: 2006. On-the-go soil resistance measurement with horizontal penetrometer. In: *Tractors and power machines*, Vol.11, No.2, p. 7 – 10, Novi Sad
3. HELLEBRAND, H. J. – UMEDA, M: 2004. Soil and plant sensing for precision agriculture. In: *Precision Agriculture*, Vol. 2, No.3, p.247- 254.
4. LESCH, S. M. et al.: 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. In: *Computers and electronics in agriculture*, Vol. 46, No.4, p. 351-378.
5. MCBRATNEY, A. ET AL.: 2005. Future Directions of Precision Agriculture. In: *Precision Agriculture*, Vol. 6, No.1, p. 7 – 23.
6. OSTERMEIER, R. – AUERNHAMMER, H.: 2007. Real-time-Prozessführung eines sensorgestützten Düngesystems durch Multisensor Data Fusion Technik. In: *Landtechnik*, Vol. 62, No. 3, p. 288 – 289.
7. WAINE, T.W., 1999: Non-Invasive Soil Property Measurement for Precision Farming. (EngD. Thesis), Cranfield University Silsoe, Institute of AgriTechnology Silsoe, Bedford, 68 s.

### Súhrn

Pre uplatnenie princípov presného hospodárenia nepostačujú konvenčné spôsoby merania vlastností. Vývojové trendy spôsobov merania spočívajú vo využití jednoduchých, rýchlych a efektívnych princípov merania vlastností na prístrojoch, umiestnených na mechanizačnom prostriedku alebo stroji. Novovytvárané metódy merania umožňujú umiestnenie meracích systémov na mobilnom prostriedku a operatívne zasahovanie do technologického procesu pri technologických operáciách prestavením pracovného nástroja alebo zmeny dávky aplikátora. Cieľom príspevku je poukázať na perspektívne snímače pre sledovanie vlastností prostredia.

**Kľúčové slová:** presné hospodárenie, meranie vlastností prostredia, meracie systémy, meracie metódy, senzory