

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V  
NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA  
Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky**

**Návrh a experimentálne overenie programového vybavenia  
prenosných meracích prístrojov pre podmienky in situ**

Autoreferát dizertačnej práce  
na získanie vedecko-akademickej philosophiae doctor  
vo vednom odbore 5.2.3  
Dopravné stroje a zariadenia

**Ing. Tomáš Géci**

Nitra, 2009

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre elektrotechniky, automatizácie a informatiky Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Doktorand: **Ing. Tomáš Géci**

Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky  
Technická fakulta  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vedúci dizertačnej práce: **doc. Ing. Dušan Hrubý, PhD.**

Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky  
Technická fakulta  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Oponenti: **prof. Ing. Jozef Bajla, PhD.**

Katedra konštruovania strojov  
Technická fakulta  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

**doc. Ing. Ján Vlnka, PhD.**

Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky  
Strojnícka fakulta  
STU v Bratislave

**Ing. Štefan Koprda, PhD.**

Ústav technológie vzdelávania  
Pedagogická fakulta  
UKF v Nitre

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Stanovisko k dizertácii vypracovala Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Obhajoba doktorandskej dizertačnej práce sa koná dňa .....  
pred komisiou pre obhajobu dizertačných prác vedného odboru 5.2.3 Dopravné stroje a zariadenia na Technickej fakulte, Slovenskej poľnohospodárskej univerzite v Nitre.

Miesto konania: Technická fakulta

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra

Miestnosť: .....

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na dekanáte Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Predseda komisie pre obhajoby vo vednom odbore 5.2.3

**prof. Ing. Anton Žikla, Csc.**

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

## ABSTRAKT

Cieľom dizertačnej práce je využiť programové prostriedky súčasnej výpočtovej techniky pre aplikáciu v oblasti terénnych meraní v presnom poľnohospodárstve. Terénne merania penetračného odporu boli za použitia výpočtovej techniky vizualizované a zhodnotené pomocou polohy získanej systémom GPS.

Práca si dáva za cieľ implementovať pomocou prostriedkov výpočtovej techniky moderné algoritmy pre zistenie polohy meraného bodu. Využívajú sa rôzne autonómne metódy, ktoré signifikantne zvyšujú presnosť určenia polohy pomocou modulu GPS. Súčasťou práce je analýza metód pre zvýšenie presnosti GPS navigácie bez použitia nákladných komerčných prostriedkov, ktoré umožňujú získať údaje o polohe s vysokou presnosťou, ale pre účely penetračných meraní nie sú dané investície dostatočne rentabilné.

Teória jednotlivých kapitol práce je algoritmizovaná a aplikovaná do súboru univerzálneho programového vybavenia, ktoré je vhodné pre terénne penetračné merania. Algoritmy a matematické vzťahy sú vytvorené za účelom možného prispôsobenia podmienkam merania. Ich využitie sa neobmedzuje len na penetračné merania. Pomocou terénnych meraní sú získavané hodnoty, ktoré sú v mieste merania a vyhodnotenia spracovávané pomocou vytvoreného súboru programov. V práci sa využívajú všetky základné informácie, ktoré poskytuje použitý systém GPS.

Vytvorené programové vybavenie dokáže pomocou jednoduchých štatistických metód, ako je kľzavý priemer alebo medián výrazne zvýšiť presnosť určenia polohy. Pre merania v pohybe sú spracovávané údaje o rýchlosti, čase a smeru pohybu. Kalmanov filter využitý v práci má široké možnosti uplatnenia nielen v oblasti poľnohospodárstva.

Vytvorené programové vybavenie umožňuje aplikovať vedecké metódy do oblasti penetračných meraní za účelom zefektívnenia práce, získania vyššej výpovednej hodnoty nameraných údajov a zlepšenia opakovateľnosti meraní. Vytvorené programy pokrývajú všetky úlohy potrebné pri vykonávaní terénnych meraní, presné určenie polohy, spracovanie dát z penetračných meraní a návrat k bodu merania. Po overení bolo zistené, že vytvorený súbor programového vybavenia je dokázateľne schopný podstatným spôsobom skvalitniť priebeh merania a obohatiť výsledky o údaje presnej polohy.

**Kľúčové slová:** GPS, penetračné merania, Kalmanov filter, programové prostriedky

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is software resources utilization in terrain measuring application for area of precision agriculture. Terrain measuring of penetrating resistance has been visualized by means of a computer and evaluated by using of a location obtained via GPS.

One of thesis aims is computer assisted implementation of modern algorithms for measured point GPS location determining. Similar autonomous methods are being used, which significantly increases accuracy of position determining with assistance of GPS module. A part of this thesis is analysis of methods for increasing GPS navigation accuracy without using of an expensive commercial appliance, which affords an opportunity to obtain high precision location data, but it isn't cost-effective for utilization in area of penetrating measuring.

The theory of each thesis section is algorithmized and applied into the group of universal programming equipment, which is suitable for terrain penetrating measuring. Algorithms and mathematical equations are created for affordable modification of measuring conditions. Their utilization is limited not only for penetrating measuring. With assistance of terrain measuring are obtained certain values, which are examined in a place of measuring or point of evaluating. These values are evaluated by means of self created group of programs. In this thesis are utilized all fundamental informations provided by GPS system.

The created program equipment is significantly able to increase a position accuracy with assistance of simple statistical methods, like moving average or median. For in-motion measuring is examined the velocity data, time and heading. The Kalman filter used in this thesis has wide opportunities for use not only in area of agriculture.

The created program equipment affords an opportunity to apply science methods into the area of penetrating measuring, for purposes of efficiency increasing, obtaining of better measuring results and to improve of repeatability. These created programs cover all tasks required for terrain measuring performing, determining of accurate position, data evaluating and returning to the point of measuring. After verification was found that the group of created programming equipment is provably able to upgrade a quality of measuring performance and improve accurate position data results.

**Keywords:** GPS, penetrating measuring, The Kalman filter, software resources

## ZOZNAM POUŽITÉHO OZNAČENIA

$A$	- matica (vektor) vstupných údajov
$A^T$	- transponovaná matica vstupných údajov
$H$	- jednotková matica identických rozmerov ako vstupná matica $A$
$H^T$	- transponovaná jednotková matica
$K$	- Kalmanovo zosilenie (zisk)
$m_k$	- aktuálna hodnota vstupného súboru
$\bar{p}_k$	- predikcia nasledujúcej hodnoty
$\bar{P}_k$	- predikcia kovariancie chyby
$\bar{p}_{k-1}$	- predchádzajúca predikcia nasledujúcej hodnoty
$\bar{P}_{k-1}$	- predchádzajúca kovariancia chyby
$Q$	- chyby (šum) procesu (jednotková matica)
$R$	- matica kovariancie chyby (jednotková matica)

## OBSAH

Zoznam použitého označenia.....	5
Úvod.....	6
Súčasný stav riešenia danej problematiky.....	7
Cieľ práce.....	9
Materiál a metódy.....	10
Výsledky práce.....	14
Vizualizácia nameraných hodnôt pomocou programu SURFER.....	14
Využitie transversálnej Mercatorovej projekcie (UTM).....	14
Využitie korekcie pomocou Kalmanovej filtrácie.....	17
Záver.....	22
Použitá literatúra.....	23
Zoznam publikovaných prác autora súvisiacich s riešenou problematikou.....	24

## ÚVOD

S rozvojom poľnohospodárstva vzniká často potreba rozumne, racionálne hospodáriť so zdrojmi živín, vlhkosti a tiež aj ostatnými organickými a anorganickými materiálmi obsiahnutými v pôde. Pôda je živý a krehký ekosystém, ktorého rovnováha sa musí udržiavať a strata rovnováhy pôdu dlhodobo výrazne ochudobňuje o jej najvýznamnejšiu schopnosť - úrodnosť.

Pre pestovanie kultúrnych plodín pre účely súčasného poľnohospodárstva sa používajú rôzne technické prostriedky pre obrábanie pôdy, jej kultiváciu a udržiavanie. Uvedené zásahy priaznivo pôsobia na úrodnotvorné zložky pôdy ale zároveň aj negatívne ovplyvňujú štruktúru obrábanej parcely. Je to spôsobené najmä častými a mnohokrát zbytočnými prejazdmi prostriedkov mechanizácie. Kolesá týchto mechanizmov a vozidiel spôsobujú utláčanie pôdy, narušanie pôdnej kapilarity a tým aj vodnej bilancie pôdy. Aby sa predišlo nadmernému vyčerpaniu úrodnotvorných faktorov pôdy, zavádzajú sa do poľnohospodárskej praxe technológie racionálneho obrábania pôdy. Jedným zo spôsobov ako realizovať spomínané požiadavky obrábania pôdy je presné poľnohospodárstvo. Kombinácia vhodných meracích postupov, správneho vyhodnotenia nameraných veličín a ich správne aplikovanie pri obrábaní pôdy umožňuje pôdu, ako nenahraditeľnú komoditu udržať dlhodobo a perspektívne v dobrom kvalitatívnom stave. V súčasnosti je možné pomocou prostriedkov výpočtovej techniky zefektívniť merania, zber údajov a tiež aj ich technologickú aplikáciu na danej poľnohospodárskej parcele. To zvyšuje efektívnosť presného poľnohospodárstva. Pomocou komplexného meracieho systému a využitia údajov získaných týmto systémom sa výrazne zvyšuje priaznivý dopad presného poľnohospodárstva na stav a kvalitu pôdy. Súčasným trendom v tejto oblasti je vysoké nasadenie prostriedkov automatizácie a regulácie, čo je pri súčasnom rozvoji tejto oblasti vysoko perspektívne.

## SÚČASNÝ STAV RIEŠENIA DANEJ PROBLEMATIKY

Pre určenie mnohých dôležitých vlastností pôdy v súvislosti s pestovaním poľnohospodárskych plodín sa v poľnohospodárstve používajú rôzne ukazovatele, ktoré vypovedajú o momentálnom kvalitatívnom stave pôdy. Na základe niektorých z nich je možné správnym spôsobom včas predikovať, určiť a tiež aj prognózovať úkony potrebné pre udržiavanie kvantitatívnych a predovšetkým kvalitatívnych vlastností pôdy. Vhodná voľba meraného parametra umožňuje efektívnym spôsobom určiť požadovanú vlastnosť pôdy a pri dostatočnej výpovednej hodnote meranej vlastnosti zhodnotiť stav pôdy a odporučiť úpravu pôdy štandardnými poľnohospodárskymi postupmi. Niektoré dôležité fyzikálne vlastnosti pôdy:

- vlhkosť pôdy
- elektrická vodivosť
- merná a objemová hmotnosť pôdy

Uvedené fyzikálne vlastnosti patria k najvýznamnejším z hľadiska pestovania poľnohospodárskych plodín. Ich vzájomná interakcia významne ovplyvňuje stav pôdy. Z týchto dôvodov sa veľmi často používajú tieto vlastnosti pôdy ako ukazovatele úrodnosti. Ich meranie a následné vyhodnocovanie je často obtiažne, časovo náročné a mnohokrát neprináša opakovateľnosť výsledkov. Preto je výhodnejšie ako významnú vlastnosť pôdy zvoliť niektorý mechanický ukazovateľ parametrov pôdy.

Najčastejšie používané mechanické vlastnosti pôdy:

- penetračný odpor pôdy
- trecie vlastnosti pôdy
- metódy šmykovej pevnosti

Mechanické vlastnosti pôdy sú značne komplexné a umožňujú určiť veľké množstvo pôdnych parametrov. Je na to potrebný určitý matematický aparát a využívajú sa teoretické princípy technickej mechaniky, kinematiky a statiky. Za najvýznamnejšie mechanické vlastnosti pôdy sa považujú penetračné vlastnosti. Penetračné vlastnosti pôdy v sebe zahŕňajú mechanickú pevnosť pôdy a jej trecie vlastnosti. To predurčuje penetrometriu na účely zisťovania pôdnych vlastností, ktoré sú aplikovateľné v oblasti presného poľnohospodárstva. Pre meranie penetračného odporu pôdy sa využíva zatlačanie telesa presne definovaných vlastností do pôdy za pôsobenia presne definovanej sily. Z hľadiska prenikania do väčších hĺbok sa ukázali akonajvhodnejšie telesá kužeľovitého tvaru. Z tohto dôvodu sa pre meranie penetračných vlastností pôdy

najčastejšie používa kužeľový penetrometer (BAJLA, 1998).

Klasifikácia penetrometrov na základe rýchlosti penetrácie:

- statický
- kvázistatický
- dynamický
- kvázistatický a dynamický – kombinácia

Klasifikácia penetrometrov z hľadiska osi merania:

- horizontálne
- vertikálne

Klasifikácia penetrometrov z konštrukčného hľadiska:

- mechanické penetrometre
- elektrické penetrometre

Klasifikácia penetrometrov z hľadiska spôsobu použitia:

- ručný penetrometer, určený predovšetkým na operatívnu diagnostiku
- prenosný penetrometer, na vlastnom podvozku, možnosť automatizácie
- nesené penetrometre, umiestnené na vozidle, spolu s ďalšími prístrojmi

Pri zaznamenávaní mechanických vlastností pôdy je vždy žiadúce, aby boli tieto údaje vzťahované k územiu, na ktorom boli merania vykonávané. V praxi sa tým myslí súvislosť medzi nameraným údajom a jeho polohou. Hodnoty prislúchajúce k uvedenému miestu merania je potom možné využiť pre štatistiku a prognózovanie stavu pôdy pre účely presného poľnohospodárstva. Záznam miesta merania je jedinou možnosťou, ktorá v prípade penetračných meraní pôdy umožňuje dlhodobú opakovateľnosť meraní. V súčasnosti sa na účely určovania polohy používajú geodetické systémy, mapy a globálny navigačný systém GPS. Posledný uvedený systém má výhodu v jednoduchej implementácii pre penetračné merania, nakoľko je technologicky a technicky nenáročný. Systém GPS poskytuje zemepisné súradnice a iné veličiny, ktoré postačujú na relatívne presnú navigáciu a určovanie polohy. Globálny navigačný systém GPS je komerčne dostupný, štandardizovaný a teda umožňuje jednoduchú implementáciu aj pri terénnych meraniach v rôznych oblastiach poľnohospodárstva. Pre malé územia, akými sú poľnohospodárske plochy, kde sa vykonávajú merania, je zmena zemepisných súradníc relatívne malá, niekedy až zanedbateľná. Súradnice sa menia v rádoch stotín súradnicových minút, čo môže spôsobovať chyby. Vo väčšine týchto prípadov treba predpokladať, že základná rozlišovacia schopnosť autonómneho GPS systému sa pohybuje rádovo v jednotkách



metrov. Chyba určenia polohy výrazne klesá so stúpajúcimi vzdialenosťami medzi jednotlivými bodmi merania. Pre zvýšenie rozlišovacej schopnosti je potrebné systém GPS doplniť napr. inerciálnymi snímačmi, ktoré pracujú pod hranicou rozlišovacej schopnosti GPS systému. Všeobecne je možné použiť tieto metódy zvýšenia presnosti určenia polohy:

- korekcia pomocou priemerných hodnôt
- korekcia s použitím aktuálnej rýchlosti (dynamické merania)
- korekcia pomocou virtuálnej mapy VGDGPS
- korekcia pomocou DGPS (komerčné použitie)
- korekcia použitím GPS/INS (inerciálne snímače)
- použitie súradnicového systému UTM (zmena projekcie)
- použitie Kalmanovho filtra (eliminácia neplatných údajov)
- využitie metód matematickej štatistiky

Uvedené metódy je možné aj navzájom kombinovať a dosiahnuť tak lepšie výsledky. Každá z daných metód má určenú oblasť použitia, ktorá je presne vymedzená.

## **CIEĽ PRÁCE**

Cieľom dizertačnej práce je využiť prostriedky výpočtovej techniky a špeciálne meracie metódy pre potreby presného poľnohospodárstva. Metódy použité pri presnom poľnohospodárstve stanovujú postupy operácií pri obrábaní pôdy, umožňujú presne určiť rozsah týchto operácií a vhodné náradie na obrábanie pôdy. Kombinácia náradia, celkového pracovného postupu, sledu všetkých operácií nemusí za každých podmienok dostatočne vyhovovať celej ploche pôdy určenej na obrábanie. Hodnota nameraného penetračného odporu zohľadňuje mechanický stav pôdy, jej utlačenie a vypovedá aj o jej kapilarite. Na základe uvedených skutočností je vhodné stanoviť postup pri získavaní týchto hodnôt penetračného odporu priamo v teréne, vyhodnocovanie týchto hodnôt v podmienkach „in situ“ a taktiež aj spracovanie nameraných údajov v laboratórnych podmienkach. Údaj o hodnote penetračného odporu pôdy je pre zvýšenie výpovednej hodnoty a zabezpečenie opakovateľnosti merania doplnený o presnú polohu získanú systémom GPS priamo v mieste merania. Pre splnenie uvedeného cieľa práce je vhodné postup práce rozdeliť na užšie špecifikované vedecké ciele:

- oboznámenie sa s princípom penetrometra a s jeho konštrukciou
- kalibrácia nového typu snímača penetračného odporu pre penetrometer PE 70
- návrh meracích metód pre použitie penetrometra v terénnych podmienkach
- návrh stratégie meraní v spolupráci s navigačným systémom GPS

- zisťovanie najnižšej rozlišovacej schopnosti systému GPS matematickými a experimentálnymi metódami
- návrh a realizácia vhodného špecializovaného programového vybavenia pre automatické spracovanie výsledkov terénnych penetračných meraní
- overenie správnosti výsledkov získaných z grafických a numerických výstupov
- grafické spracovanie výsledkov meraní vo forme máp v špecializovanom programe SURFER
- návrh možností na využitie uvedených systémov merania penetračného odporu vzhľadom k polohe meraného bodu
- návrh metód zvýšenia presnosti určenia polohy pomocou GPS
- porovnanie metód a popis výsledkov s korekciami
- implementácia metód zvýšenia presnosti pomocou *MATLAB* simulácií
- implementácia jednotlivých algoritmov pre vizuálne programovacie jazyky
- návrh jednoúčelového komplexného programového vybavenia pre navigačný systém GPS s implementovanými metódami zvyšovania presnosti
- návrh programového vybavenia pre penetrometer PE70 s podporou GPS
- zobrazenie výsledkov, overenie pomocou terénnych meraní a pomocou matematických metód
- aplikácia štatistických metód na overenie výsledkov

## **MATERIÁL A METÓDY**

Uvedené úlohy sú vykonávané na pôde Katedry elektrotechniky, automatizácie a informatiky TF SPU v Nitre. Nakoľko na uvedenom výskume výrazne participuje Katedra konštruovania strojov TF SPU v Nitre, veľká časť výskumu hlavne v oblasti pôdnej mechaniky a metód merania mechanických vlastností pôdy je uskutočňovaná na pôde tejto katedry. Vlastné terénne merania sa prevádzajú na pôde botanickej záhrady SPU a v areáli vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku Kolíňany. Pre návrh a experimentálne overenie programového vybavenia sú využité technické prostriedky uvedených pracovísk.

Merania a podpora vývoja boli uskutočňované pomocou skupiny technického a programového vybavenia pracoviska.

*Programové vybavenie pracoviska:*

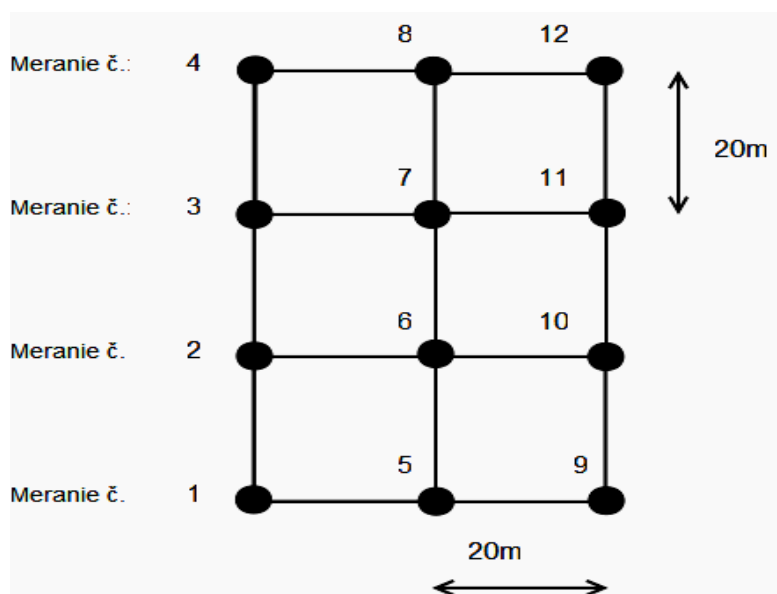
- Operačný systém Microsoft Windows XP
- Vývojové prostredie Borland Delphi 6.0 a Borland Delphi 7.0
- Terminálový program RealTerm

- Kancelársky balík MS Office 2003 a Open Office 3.0.1
- Grafický vizualizačný softvér ARCVIEW 3.2
- Grafický vizualizačný softvér SURFER 8.0
- Vizualizačný a simulačný softvér MATLAB 7.0.1 pre Windows

*Technické vybavenie pracoviska:*

- Digitálny multimeter RTO DMM 3900
- Penetrometer PE 70 a PE 30
- OEM modul GPS Garmin GPS 18 LVC
- Prevodník USB – RS 232 (PROFILIC, FTDI)
- Laboratórny napájací zdroj TESLA BK 127, 0 - 20V / 1A
- Notebook ASUS A6KM Q – 072H

Pre použitie navigačného systému GPS je nutné stanoviť oblasti využiteľnosti systému GPS pre všeobecné a konkrétne podmienky merania. Medzi dôležité parametre patrí hlavne rozlišovacia schopnosť systému GPS (ADAMCHUK, 2008). Rozlišovacia schopnosť sa určuje pomocou umelo vytvorenej mriežky, ktorá môže byť orientovaná podľa smerovej ružice. V uvedenej mriežke sa stanovujú body v presne stanovenom vzájomnom rozostupe. Popisované meranie bolo použité pri zisťovaní hodnoty



**Obrázok 1** Mriežka M x N s rozstupom bodov 20m

penetračného odporu pôdy v daných bodoch. Rozstup je vhodné stanoviť podľa požadovanej rozlišovacej schopnosti, ktorá sa matematickým, a grafickým vyhodnotením potvrdí alebo vyvráti. Ako východisková rozlišovacia schopnosť bola zvolená hodnota vzdialenosti bodov 20m.

Použité prístroje a zariadenia:

- GPS modul GARMIN 18 LVC (OEM modul)
- prevodník USB → RS – 232
- notebook a softvér *GPS Navi Garmin* (Export dát vo formáte \*.CSV)
- tabuľkový kalkulátor MS Excel 2003
- Golden Software Surfer 8.0

Postup pri stanovovaní rozlišovacej schopnosti GPS:

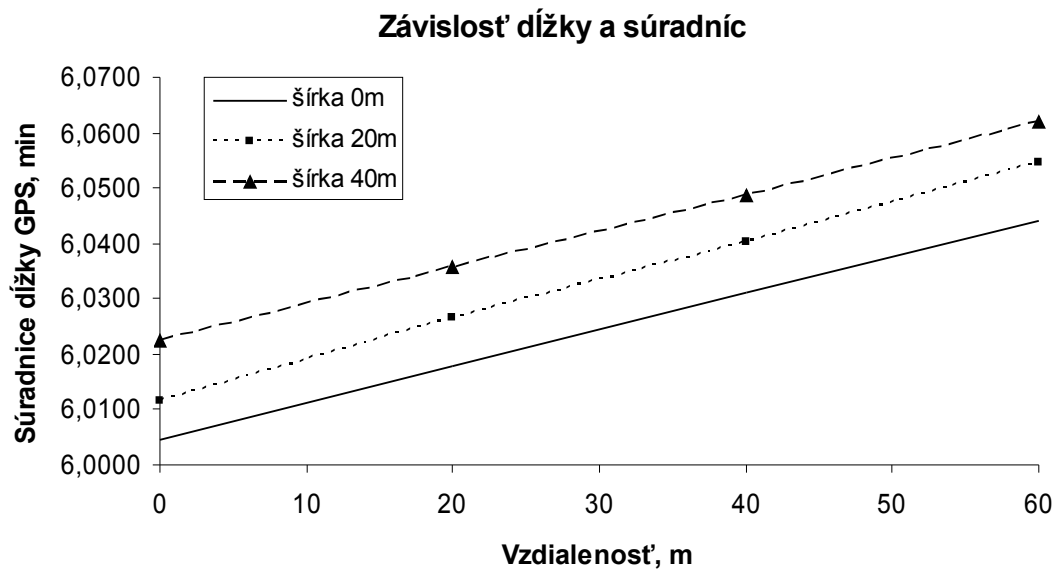
- stanovenie mriežky N x M bodov v presnom rozostupe (Obrázok 1)
- vlastnosti mriežky: šírka (stĺpce) N = 3, dĺžka (riadky) M = 4, rozostup je 20m
- zaznamenanie súradníc vo všetkých bodoch mriežky N x M
- opakovanie merania v rôznych smeroch mriežky
- matematické, tabelárne a grafické vyhodnotenie rozlišovacej schopnosti

Namerané veličiny sú zobrazené v tabuľke 1. Uvedené hodnoty sú absolútne zemepisné súradnice spolu s údajmi o stupňoch zemepisnej dĺžky a šírky, nakoľko sú počas merania premenlivé. Stupne sa menia len pri významných zmenách polohy. Zmena polohy v rámci uvedenej mriežky je v pozícii stupňov nevýznamná. Na popisovanom území boli vykonané dve skupiny meraní. Prvé meranie začínalo v bode č.1 (viď. obrázok č.1), pokračovalo postupne po poradí až k bodu č. 12.

**Tabuľka 1** Namerané zemepisné súradnice v mriežke 20m x 20m , 1. skupina meraní

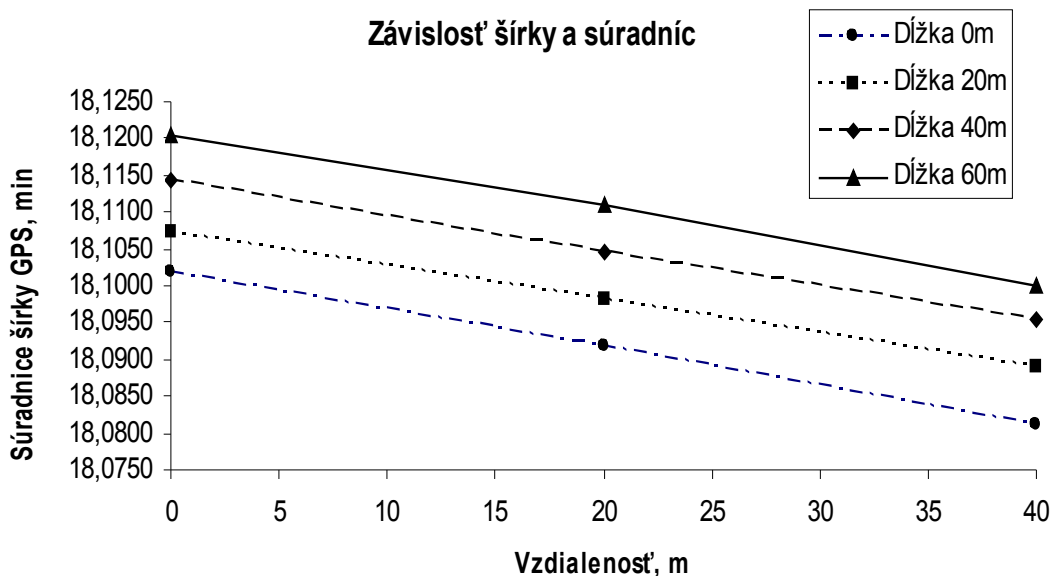
Poradie Merania	Vzdialenosť N, m	Vzdialenosť M, m	Východná dĺžka, °	Dĺžka, min	Severná šírka, °	Šírka, min
1	0	0	18	6,0040	48	18,1014
2	0	20	18	6,0166	48	18,1063
3	0	40	18	6,0300	48	18,1140
4	0	60	18	6,0426	48	18,1197
5	20	0	18	6,0108	48	18,0918
6	20	20	18	6,0244	48	18,0970
7	20	40	18	6,0399	48	18,1040
8	20	60	18	6,0549	48	18,1098
9	40	0	18	6,0198	48	18,0808
10	40	20	18	6,0358	48	18,0878
11	40	40	18	6,0493	48	18,0937
12	40	60	18	6,0609	48	18,1004

V každom bode boli zaznamenané zemepisné súradnice, penetračný odpor pôdy a vlhkosť pôdy. Pre účely zvýšenia štatistickej významnosti údajov bolo zaznamenávanie súradníc zopakované v druhej skupine meraní. Prvé meranie v tomto prípade začínalo od bodu č. 4 postupne k bodu č.1. Obdobne bolo merané v ostatných stĺpcoch mriežky.



**Obrázok 2** Závislosť zemepisnej dĺžky od vzdialenosti M

Uvedená rozlišovacia schopnosť je pre účely vyhodnocovania polohovo orientovaných penetračných meraní plne postačujúca, ale z dôvodu vplyvu na opakovateľnosť meraní je vhodné presnosť určenia polohy zvýšiť niektorou z vyššie uvedených metód.



**Obrázok 3** Závislosť zemepisnej šírky od vzdialenosti N

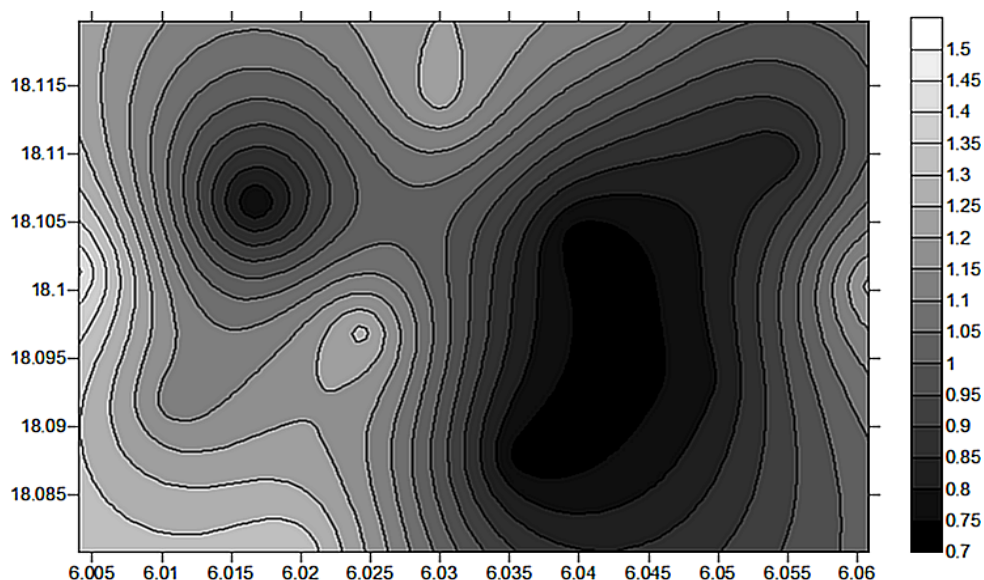
V grafoch na obrázkoch 2 a 3 nie sú uvedené zemepisné stupne. Je to hlavne z topografických a praktických dôvodov. Zmena zemepisných stupňov nie je v uvedenom prípade dostatočne významná, prakticky sa hodnoty zemepisnej šírky a dĺžky v rádoch stupňov nemenia. Z uvedeného dôvodu nie je nutné používať rády stupňov. Z uvedených grafov vyplýva, že so stúpajúcimi dĺžkovými a šírkovými

rozostupmi úmerne stúpajú aj hodnoty zemepisných súradníc. To dokazuje, že rozlišovacia schopnosť 20m podľa stanoveného rozostupu bodov v mriežke, je splnená.

## VÝSLEDKY PRÁCE

### Vizualizácia nameraných hodnôt pomocou programu SURFER

Z dôvodu zahrnutia všetkých parametrov nameraných penetrometrom je vhodné vytvoriť vrstevnicovú mapu, kde budú zobrazené príslušné veličiny merania. Uvedený spôsob zobrazenia umožňuje použiť aj zemepisné súradnice získané pomocou pripojeného systému GPS.



**Obrázok 4** Vrstevnicová mapa penetračného odporu v hĺbke 15 cm

Na základe meraní bola zostrojená mapa penetračného odporu s vrstevnicami, ktoré znázorňujú veľkosť penetračného odporu vo vzťahu k zemepisným súradniciam. Hodnoty získané z merania penetračného odporu sú použité pre zobrazenie máp penetračného odporu vo vzťahu k zemepisným súradniciam získaným prostredníctvom GPS modulu a programového vybavenia *GPS NAVI GARMIN*.

### Využitie transverzálnej Mercatorovej projekcie (UTM)

Projekcia typu UTM je špeciálnym prípadom Mercatorovej projekcie. Jej účelom je neskresľovať veľkosti skutočných plôch Zeme pri rozvinutí guľovej (elipsoidnej) plochy zemského rotačného elipsoidu.

Výhody systému UTM v porovnaní s WGS – 84:

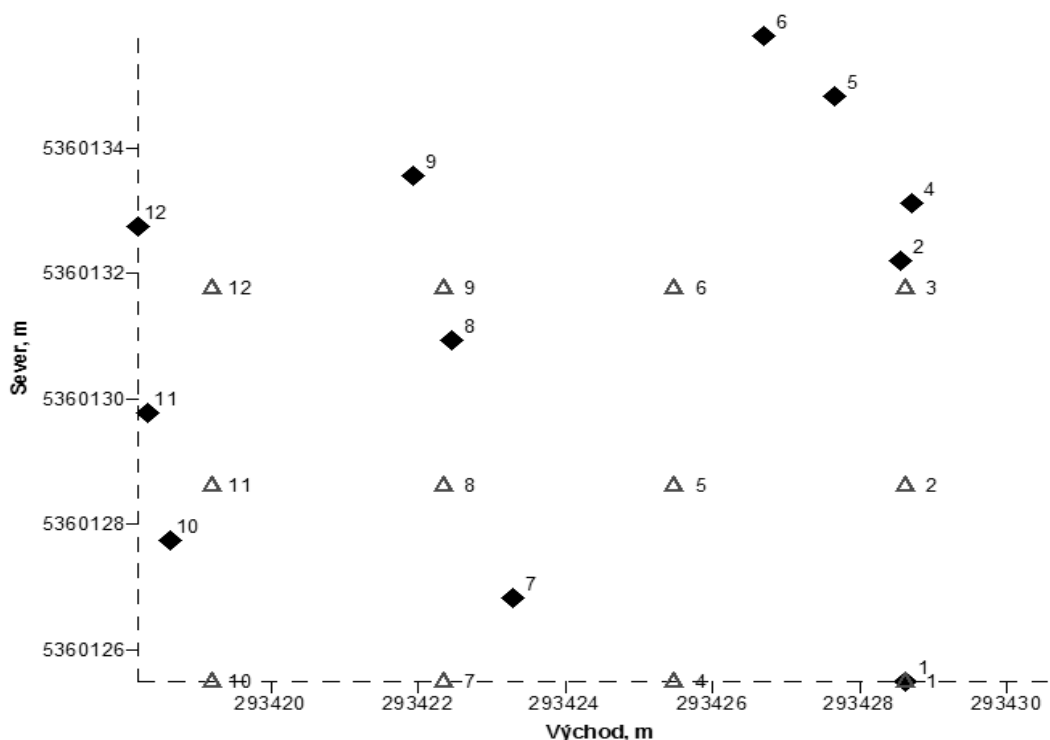
- metrické súradnice
- jednoduché určenie vzájomných vzdialeností

- možnosť využitia v kombinácii s inými metódami určenia polohy
- stanovenie relatívneho počiatku v ktoromkoľvek bode
- ostatné súradnice sú určené voči stanovenému počiatku

**Tabuľka 2** Súradnice vo formáte WGS – 84 a vo formáte UTM pre rozostup 3m

Meranie	Dĺžka, °	Dĺžka, Min	Šírka, °	Šírka, Min	UTM zóna	Východ, m	Sever, m
1	18	12.6297	48	21.6276	34 N	293378.62	5360125.49
2	18	12.6699	48	21.6322	34 N	293428.56	5360132.20
3	18	12.6715	48	21.6356	34 N	293430.76	5360138.43
4	18	12.6700	48	21.6327	34 N	293428.71	5360133.12
5	18	12.6691	48	21.6336	34 N	293427.66	5360134.83
6	18	12.6683	48	21.6341	34 N	293426.71	5360135.79
7	18	12.6658	48	21.6292	34 N	293423.29	5360126.83
8	18	12.6650	48	21.6314	34 N	293422.45	5360130.94
9	18	12.6645	48	21.6328	34 N	293421.93	5360133.55
10	18	12.6620	48	21.6296	34 N	293418.63	5360127.74
11	18	12.6617	48	21.6307	34 N	293418.33	5360129.79
12	18	12.6615	48	21.6323	34 N	293418.19	5360132.76

V tabuľke 2 sú uvedené koordináty vo formáte WGS – 84 spolu s formátom UTM. Aby bolo možné využiť výhody UTM projekcie, je vhodné stanoviť počiatok sústavy hľadaných bodov. Počiatok je zvolený v počiatočnom bode merania v použitej mriežke



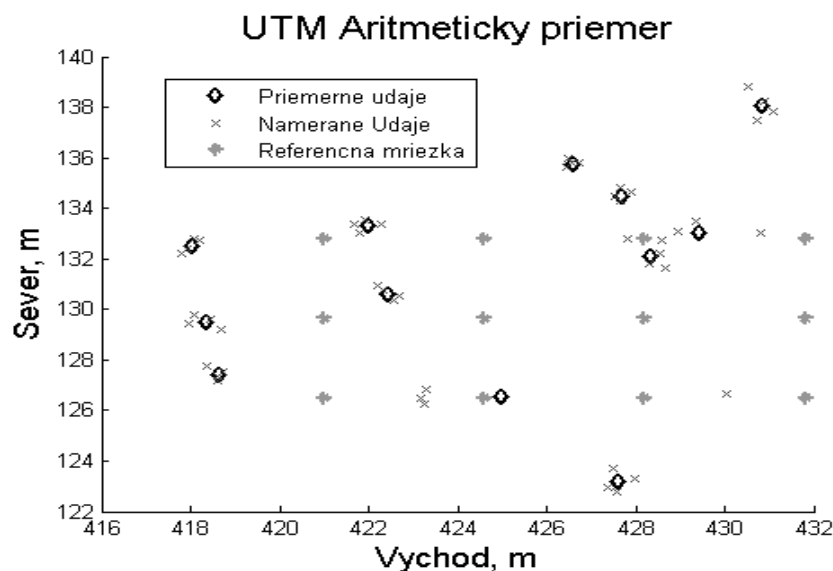
**Obrázok 5** zobrazenie súradníc v UTM formáte spolu s referenčnou mriežkou vo vzájomných vzdialenostiach bodov 3m. Priemerná hodnota chyby určenia polohy sa pohybuje v rozmedzí od 1,31m do 2,07m. Konverzia z WGS – 84 do formátu UTM slúži ako základ použitia metód pre zvýšenie presnosti stanovenia polohy. UTM

súradnice majú desiatkové delenie, čo má pre matematické a štatistické spracovanie výhodné vlastnosti.

### Využitie korekcie pomocou štatistických metód

Najjednoduchšia metóda pre spresnenie udania polohy je využitie vyššieho počtu meraní a stanovenie priemernej hodnoty pre každú zemepisnú súradnicu. Z dôvodu problematickeho zaokrúhľovania súradníc v rádoch uhlových minút, je vhodnejšie použiť skonvertované metrické súradnice vo formáte UTM. Pre vyhodnotenie nameraných údajov pomocou metódy priemerných hodnôt je možné využiť nasledovné matematické (štatistické) operácie:

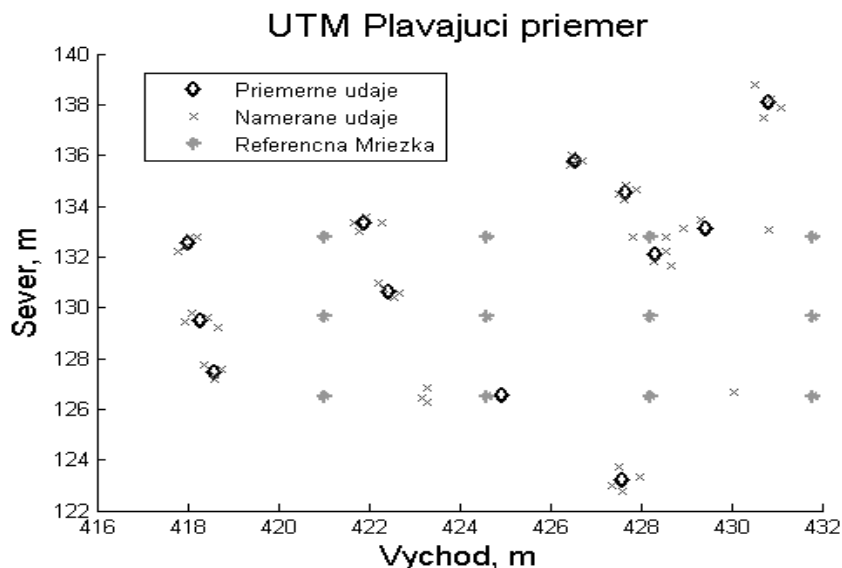
- Aritmetický priemer
- Kľzavý (plávajúci) priemer
- Medián



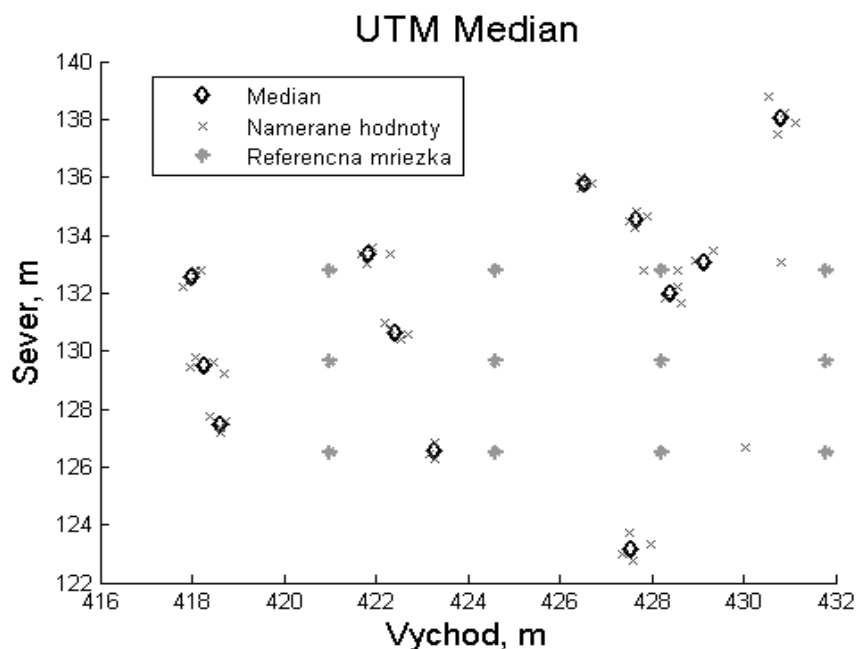
**Obrázok 6** Zobrazenie priemerných súradníc voči referenčnej mriežke 3m

Priemerná hodnota chyby určenia polohy korigovaná pomocou aritmetického priemeru sa pohybuje v rozmedzí od 1,7m do 1,85m. Priemerná hodnota chyby určenia polohy je približne 1,66m, čo je spôsobené iteračným vyhodnocovaním predchádzajúcich meraní. Pre elimináciu extrémnych hodnôt sa ako najvýhodnejšia z uvedených metód ukazuje hodnota medián. Ako je viditeľné na obrázku 8, extrémne hodnoty neovplyvnili výslednú hodnotu zemepisnej súradnice. Priemerná hodnota chyby určenia polohy je približne 1,56m pomocou korekcie s využitím mediánu. Z týchto faktov jednoznačne vyplýva, že uvedené metódy zvyšujú presnosť určenia polohu pomocou GPS.





Obrázok 7 Zobrazenie súradníc plávajúceho priemeru voči referenčnej mriežke 3m



Obrázok 8 Zobrazenie súradníc mediánu voči referenčnej mriežke 3m

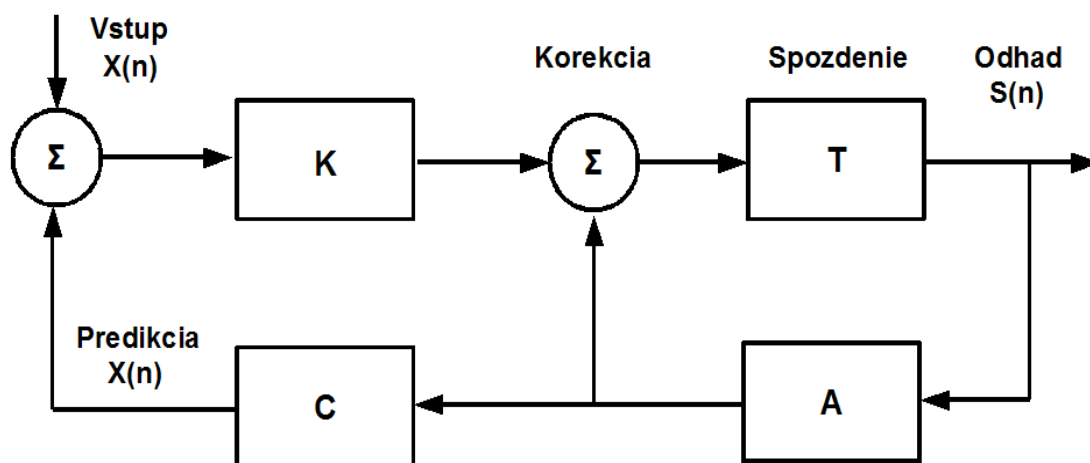
### Využitie korekcie pomocou Kalmanovej filtrácie

Kalmanova filtrácia používa podobný princíp ako plávajúci priemer. Vlastný filter pracuje na princípe kontinuálneho vyhodnocovania súboru vstupných údajov (BISHOP, 2006). Postupne stanovuje mieru dôveryhodnosti okamžitej hodnoty vstupu. Pribežne určuje predpokladanú hodnotu veličiny, ktorá by mala nasledovať po predchádzajúcej hodnote vstupnej veličiny. Pomocou matematickej interpretácie princípu Kalmanovho filtra je možné zo vstupného radu údajov odstrániť hodnoty nepatriace do vstupného súboru. Kalmanov filter dokáže odfiltrovať údaje bez predchádzajúcej znalosti oboru hodnôt vstupného súboru. Odfiltrované údaje, ktoré pôsobia ako chyby merania sú

rozoznávané aj keď sa jedná o stochastické hodnoty. Existujú rôzne implementácie Kalmanovho filtra pre rôzne typy rozdelenia chybných vstupných hodnôt. Vo väčšine prípadov chyby GPS navigácie podliehajú normálnemu rozdeleniu (BISTROVS, 2009). Za týchto okolností možno využiť jednoduchú formu Kalmanovho filtra 1. rádu - *diskrétny Kalmanov filter*. Filter pracuje podľa princípu zobrazenom na obrázku 31. Jedná sa o najjednoduchšiu formu Kalmanovho filtra pre postupnosť vstupných hodnôt vo forme vstupného vektora merania. Zjednodušený princíp Kalmanovej filtrácie 1. rádu (WINKLER, 2004):

- odhad hodnoty vstupného súboru
- predikcia nového stavu podľa predchádzajúcich hodnôt
- korekcia predikcie započítaním novej reálnej hodnoty zo vstupného súboru

Pre filtrovanie súradníc zo systému GPS je potrebný diskretný Kalmanov filter, ktorého vstupným vektorom sú (metrické) súradnice dĺžky a šírky. Výstupom filtra sú súradnice korigované o hodnoty nepatriace do vstupného súboru, kde sa využije vlastnosť Kalmanovho filtra, ktorá umožňuje bez znalosti oboru hodnôt filtrovať vstupné údaje zo vstupného súboru na základe dôveryhodnosti meraní zistenej počas jednotlivých cyklov filtra. Matematický aparát pre Kalmanov filter je popísaný niekoľkými stavovými rovnicami (VOJÁČEK, 2007).



**Obrázok 9** Princíp Kalmanovej filtrácie 1. rádu

(K – Kalmanovo zosilnenie, T – spozdenie, A – vstupná matica, C – predikcia vstupu)

Rovnica predpokladu nasledujúcej hodnoty (*a priori*):

$$\bar{p}_k = A \cdot p_{k-1} \quad (1)$$

kde:

$\bar{p}_k$  - predikcia nasledujúcej hodnoty

$A$  - matica (vektor) vstupných údajov

$\bar{P}_{k-1}$  - predchádzajúca predikcia nasledujúcej hodnoty

Rovnica predpokladu nasledujúcej kovariancie chyby:

$$\bar{P}_k = A \cdot P_{k-1} \cdot A^T + Q \quad (2)$$

kde:

$\bar{P}_k$  - predikcia kovariancie chyby

$A$  - matica (vektor) vstupných údajov

$\bar{P}_{k-1}$  - predchádzajúca kovariancia chyby

$A^T$  - transponovaná matica vstupných údajov

$Q$  - chyby (šum) procesu (jednotková matica)

Rovnica pre výpočet Kalmanovho zosilnenia (*a posteriori*):

$$K = \bar{P}_k \cdot H^T \cdot (H \cdot \bar{P}_k \cdot H^T + R)^{-1} \quad (3)$$

kde:

$K$  - Kalmanovo zosilnenie (zisk)

$\bar{P}_k$  - predikcia kovariancie chyby

$H$  - jednotková matica identických rozmerov ako vstupná matica  $A$

$H^T$  - transponovaná jednotková matica

$R$  - matica kovariancie chyby (jednotková matica)

Úprava odhadovaného stavu so započítaním okamžitej hodnoty vstupného súboru:

$$p_k = \bar{p}_k + K (m_k + H \cdot \bar{p}_k) \quad (4)$$

kde:

$p_k$  - hodnota odhadovaného stavu

$\bar{p}_k$  - predikcia nasledujúcej hodnoty

$K$  - Kalmanovo zosilnenie (zisk)

$m_k$  - aktuálna hodnota vstupného súboru

$H$  - jednotková matica dimenzie matice  $A$

Úprava kovariancie chyby merania:

$$P_k = (1 - K \cdot H) \cdot \bar{P}_k \quad (5)$$

kde:

$K$  - Kalmanovo zosilnenie

$H$  - jednotková matica

$\bar{P}_k$  - predikcia kovariancie chyby

Princíp fungovania zjednodušeného modelu Kalmanovho filtra uvedeného na obrázku 9

pozostáva z týchto čiastkových úloh:

- nameraný údaj je porovnávaný s predikovanou hodnotou (*a priori*)
- zistený rozdiel je vynásobený konštantou Kalmanovho zisku
- Kalmanov zisk je priebežne počítaný na základe vstupných hodnôt (*a posteriori*)
- nameraný údaj je korigovaný pomocou odhadnutej hodnoty veličiny
- predikuje sa nová hodnota s násobením predchádzajúcich hodnôt matice  $A$
- vytvorí sa odhad výstupu pre porovnanie s hodnotou vstupu

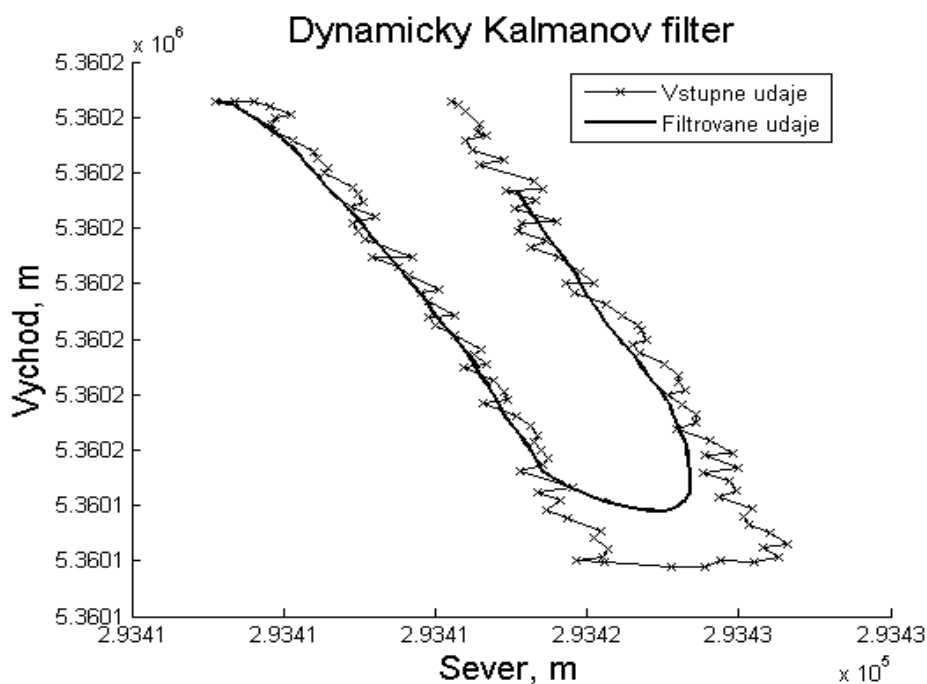
Hodnoty bez korekcie polohy sú filtrom skorigované z maximálnej hodnoty 4,5 m na priemernú hodnotu 1,32m pre hodnotu zemepisnej šírky. V smere zemepisnej dĺžky bola chyba určenia polohy len 0,32m. Použitie Kalmanovho filtra pre spresnenie určenia polohy prináša nasledovné výhody (DONGHYUN, 2009):

- vysoká účinnosť filtrácie aj pri neznámom vstupnom súbore
- jednoduchý matematický aparát (jednoduchá implementácia)

Kalmanov filter je univerzálnym riešením pre dynamické merania polohy a dokáže spracovať hodnoty vstupného súboru s vyššou účinnosťou ako iné matematické metódy.

#### **Metóda využitia superpozície pojazdovej rýchlosti**

Pre dynamické merania je možné využiť informáciu o rýchlosti pohybu GPS prijímača (HOFMAN, 2001). Tento údaj je poskytovaný priamo GPS systémom spolu s údajmi o súradniciach, dátume a čase. Rýchlosť vo vzťahu k času medzi jednotlivými bodmi určuje prejdenú vzdialenosť. GPS moduly poskytujú vo vete GPRMC aj hodnotu azimutu, čo umožňuje pomocou metódy pravouhlého trojuholníka presne zistiť jednotlivé inkrementy (dekrementy) v smere zemepisnej dĺžky a šírky. Softvér *GPS NAVI GARMIN* umožňuje získať zo systému GPS aj tieto hodnoty. Uhol azimutu získaný z GPS prijímača spolu s pojazdovou rýchlosťou sú použité do modelu pravouhlého trojuholníka, kde jeho prepona symbolizuje vektor dráhy, prejdenej za určitý čas. Čas je získaný ako rozdiel časov medzi jednotlivými bodmi. Následne je pomocou rýchlosti a času získaná dráha. Použitý postup je odvodený od postupu na prevod polárnych na pravouhlé súradnice (MOHAMMADI, 2009). Pre elimináciu hodnôt nepatriacich do vstupného súboru je pri tejto metóde použitý Kalmanov filter opísaný v predchádzajúcej podkapitole. Kalmanov filter filtruje všetky diskrétné údaje zo vstupného súboru na základe predikcie a následnej korekcie podľa okamžitej hodnoty. Hodnota priemernej odchýlky od skutočnej polohy je podstatne nižšia ako bolo zistené meraním bez použitej korekčnej metódy. Pohybuje sa v oblasti od 1,42m po 1,46m.

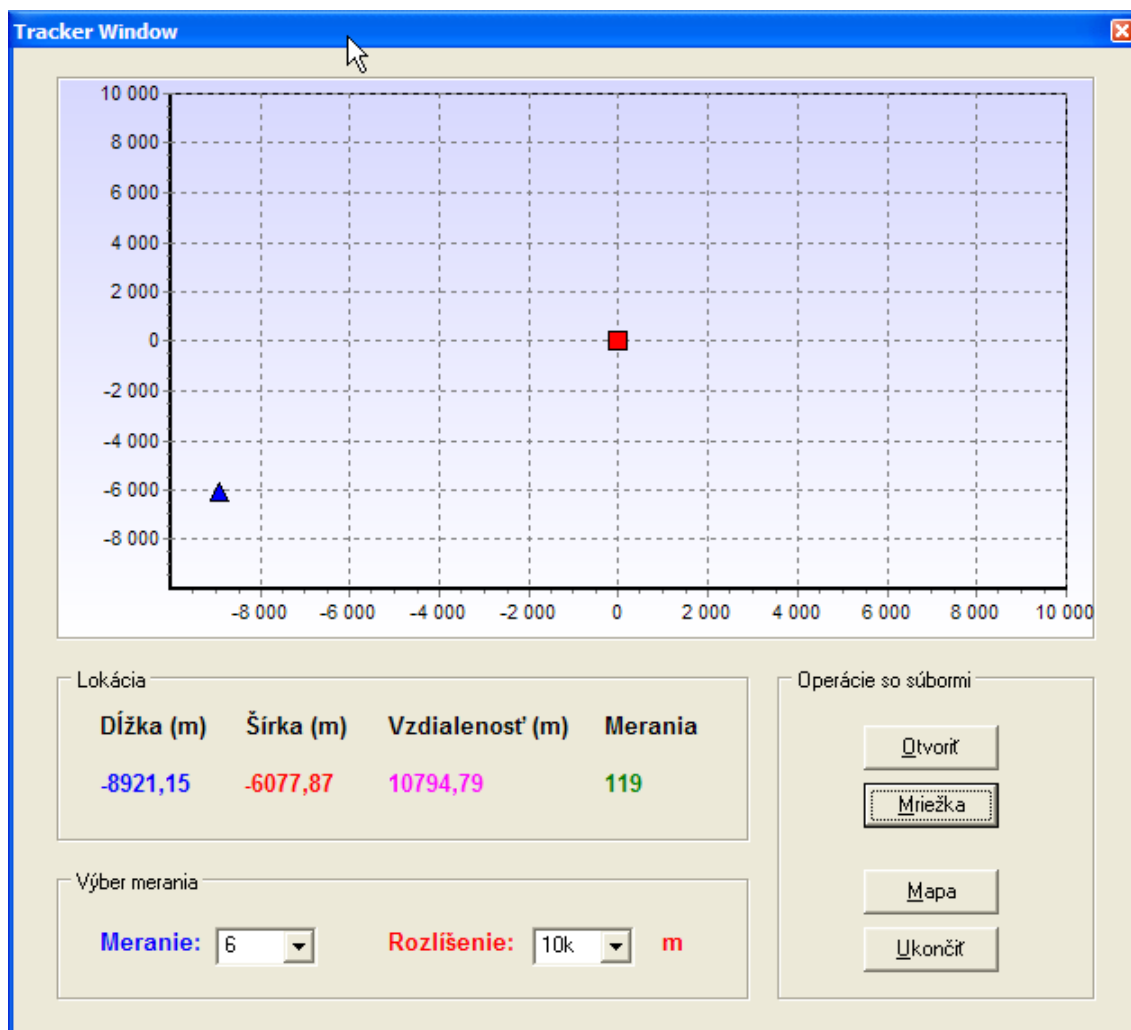


**Obrázok 10** Priebek zemepisných súradníc pri dynamickom meraní

Za účelom zefektívnenia spracovania údajov z penetračných meraní a tiež aj pre zvýšenie presnosti určenia polohy bolo vytvorené komplexné programové vybavenie pozostávajúce z týchto funkčných modulov:

- GPS Navi GARMIN – získanie údajov z GPS prijímača
- PENELOG PE70 – spracovanie údajov z penetrometra PE30 a PE70
- GPS Navi UTM – dávková konverzia koordinátov WGS – 84 do formátu UTM
- GPS Navi TRACKER – vyhľadanie zvoleného bodu merania a postupné navádzanie na tento bod (Obrázok 11)
- Moduly v prostredí MATLAB
  - štatistické metódy (aritmetický a kľzavý priemer, medián)
  - Kalmanova filtrácia pre dynamické merania
  - metóda superpozície vozidlovej rýchlosti

Jednotlivé moduly sú medzi sebou vzájomne kompatibilné, výstupy môžu slúžiť ako ďalšie vstupy v sériovom radení prvkov. Použité metódy je možné implementovať počas terénneho merania alebo pri vyhodnocovaní meraní v laboratórnych podmienkach. Vytvorené programové vybavenie preukázateľne zvyšuje efektivitu terénnych penetračných meraní a pomocou presnejšieho určenia polohy zlepšuje opakovateľnosť meraní z časového a priestorového hľadiska. Vytvorené programové vybavenie je možné implementovať v meracích reťazcoch a zariadeniach a tiež aj v existujúcich systémoch.



Obrázok 11 Ukážka softvéru GPS Navi Tracker

## ZÁVER

Práca zhodnocuje poznatky z oblasti navigácie pomocou systému GPS v kombinácii s meraním penetračného odporu pôdy. Vytvorené programové vybavenie umožňuje efektívne merať pozíciu v súradnicovom systéme a k tejto pozícii vzťahovať hodnotu penetračného odporu pôdy.

Použitie riešenie nie je konečné, iba naznačuje možnosti využitia výpočtovej techniky v oblasti presného poľnohospodárstva, zjednodušuje a zefektívňuje terénne merania uskutočňované v podmienkach "in situ". Výsledky práce môžu slúžiť ako čiastkové výsledky pri výskume a návrhu komplexnejšieho meracieho systému pre účely presného poľnohospodárstva.

Realizované programové vybavenie umožnilo zlepšiť vlastnosti meracieho systému pri veľmi nízkych realizačných nákladoch. Prakticky sa zlepšili vlastnosti systému GPS a sú porovnateľné s drahšími prístrojmi. Existujúce riešenie ostáva naďalej použiteľné, ale v spolupráci s vytvorenými programovými komponentami sú

jeho vlastnosti podstatne lepšie a priaznivo ovplyvňujú využiteľnosť výsledkov a pomocou spätnej lokalizácie umožňujú bezproblémovú opakovateľnosť penetračných meraní.

Technické a programové vybavenie nie je vôbec závislé od žiadneho vybavenia poľnohospodárskeho stroja napr. traktora. Je použiteľné aj autonómne. Overenie výsledkov umožňuje konštatovať použiteľnosť uvedeného riešenia a po jeho ďalšom rozvinutí, ho bude možné považovať za veľmi prínosné z hľadiska bilancie vynaložených prostriedkov k možným dosiahnutým výsledkom.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

1. ADAMCHUK, V. I. 2008. Untangling the GPS Data String.  
In: University of Nebraska Cooperative Extension EC 01-157.
2. BAJLA, J.: Porovnanie výsledkov meraní s rôznymi penetračnými prístrojmi.  
Acta technologica agriculturae, 1, 1998, č. 1, s.27-30.
3. BISHOP G. 2006. An introduction to the Kalman filter [online]. 2006  
Dostupné na internete <<http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/>>
4. BISTROVS V. – KLUGA A.: Combined Information Processing from GPS and IMU using Kalman Filtering Algorithm, In: Electronics and electrical engineering, 5, 2009, ISSN 1392 – 1215
5. DONGHYUN, K.: 2009 Kalman filter based GPS ambiguity resolution for realtime long baseline kinematic applications [online]. 2009  
Dostupné na internete <<http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/cei.poland.00.pdf>>
6. HOFMAN, B.: 2001 Global Positioning System: Theory And Practice. Springer, 2001, ISBN 978-3211835340
7. MOHAMMADI, K: 2009 Using GPS Velocity Information in Enhancement of GPS Position Accuracy [online] Dostupné na internete  
<[www.gisdevelopment.net/proceedings/asiangps/2002/keynote/kets002.htm](http://www.gisdevelopment.net/proceedings/asiangps/2002/keynote/kets002.htm)>
8. VOJÁČEK, A.: 2007 Co je to Kalmanova filtrace [online]. 2007  
Dostupné na internete <<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART327-co-je-to-kalmanova-filtrace.html>>
9. WINKLER Z.: 2004 Úvod do mobilní robotiky – lokalizace [online]. 2004  
Dostupné na internete <<http://robotika.cz/articles/umor/cs>>

## ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA SÚVISIACICH S RIEŠENOU PROBLEMATIKOU

1. HRUBÝ, D. – BAJLA, J. – GÉCI, T. – TÓTH, J.: 2007. Využitie systému GPS pri meraniach penetračných vlastností pôdy In: Veda - vzdelávanie - prax, Nitra: 2007. ISBN 978-80-8094-205-2. - S. 153-158
2. HRUBÝ, D – GÉCI, T.: Návrh modulárneho datalogera na dlhodobé terénne merania neelektrických veličín In: Sekel 2007 a Principia cybernetica 2007 Praha: 2007. ISBN 978-80-01-03804-8. - S. 99-103
3. GÉCI, T. – HRUBÝ, D.: Koncepcia modulárneho datalogera na terénne merania neelektrických veličín In: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v potravinárstve a v odpadovom hospodárstve. Nitra: SPU, 2007. ISBN 978-80-8069-878-2. - S. 46-52
4. GÉCI, T. – HRUBÝ, D.: Využitie virtualizácie pre testovanie programového vybavenia prenosných meracích prístrojov In: Informačné a automatizačné technológie v riadení kvality produkcie, Nitra: SPU, 2007. - ISBN 978-80-8069-927-7. - S. 31-36
5. GÉCI, T. – LUKÁČ, O.: Porovnanie formátov súborov pre spracovanie dát nameraných prenosnými meracími prístrojmi In: Informačné a automatizačné technológie v riadení kvality produkcie, Nitra: SPU, 2007. - ISBN 978-80-8069-927-7. - S. 37-41
6. GÉCI, T. – KUBÍK, E.: Meranie fyzikálnych veličín a telemetria dát prostredníctvom internetu. In: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v potravinárstve a v odpadovom hospodárstve, Nitra: SPU, 2007. - ISBN 80-8069-690-X. - S. 83-89
7. GÉCI, T. - HRUBÝ, D. - BAJLA, J. - TÓTH, J. The application of GPS system at geographical localization of working machine. In Traktori i pogonske mašine. ISSN 0354-9496, 2008, vol. 13, no. 1, s. 114-117.
8. GÉCI, T. - HRUBÝ, D. - BAJLA, J. Porovnanie matematickej metódy a metódy rastrových penetračných meraní na určenie polohy pri penetračných meraniach. In: Acta technologica agriculturae. ISSN 1335-2555, 2008, ročník 11, s. 54-57