

## VLIV POČASÍ NA VLASTNOSTI PŮD A PRŮCHODNOST TERÉNU

Martin HUBÁČEK<sup>1</sup>, Eva MERTOVIÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra vojenské geografie a meteorologie, Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně, Kounicova 65, 662 10, Brno, Česká Republika  
*martin.hubacek@unob.cz*

<sup>2</sup> Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Čs. odboje 676, 518 16, Dobruška, Česká Republika  
*eva.mertova@vghur.army.cz*

### Abstrakt

Půdy jsou jedním ze základních prvků krajiny a spoluutvářejí její ráz svými vlastnostmi. Ty se mohou měnit v závislosti na proměnlivosti počasí. Vlastnosti půd jsou ovlivňovány zejména množstvím srážek a půdní vlhkostí. Množství půdní vlhkosti do značné míry ovlivňuje i jejich únosnost. Kromě zemědělců, kteří se pohybují na polích, je znalost chování půd ve vztahu k různým typům techniky důležitá i pro bezpečnostní sbory, zejména armádu. V rámci prováděného výzkumu je již více než 2 roky ve vybraných lokalitách pravidelně prováděno měření únosnosti půd. Naměřená data jsou analyzována vzhledem k vybraným meteorologickým prvkům s cílem najít závislost mezi aktuálním a předchozím stavem atmosféry a únosností jednotlivých půdních areálů. Cílem je stanovit postup pro predikci vlivu půd na pohyb vozidel ve volném terénu a jeho implementace do komplexního modelu průchodnosti.

### Abstract

Soils are one of the basic elements of the landscape. Soil properties vary depending on weather variability. Soil properties are mainly influenced by the amount of precipitation and soil moisture. Soil bearing capacity is one of the important soil properties. Knowledge of soil bearing capacity is important not only for farmers but also for the security forces, especially the army. Measurement of soil bearing capacity is carried out at selected locations in Moravia for more than two years. The measured data are analyzed in relation to selected meteorological variables in order to find the relationship between the current and the previous state of the atmosphere and soil carrying capacity of individual sites. The aim is to determine the procedure for predicting the influence of soils on the movement of vehicles in the open terrain and its implementation into a complex model of patency.

**Klíčová slova: půdy, počasí, průchodnost terénu, modelování.**

**Keywords: soils, weather, terrain passability, modeling.**

### ÚVOD

Půdy jako nejsvrchnější část Zemského povrchu ovlivňují významně činnost člověka. Jedním ze zásadních vlivů je schopnost překonání přírodní krajiny. V okamžiku, kdy v prostoru nebudou existovat komunikace, je pohyb vozidel, ale i osob ovlivněn pouze přírodními vlivy. Těmi nejdůležitějšími jsou reliéf, vegetace, vodstvo a půdy (Rybanský 2010, Zikmund 2009). Vliv půd je v tomto případě výrazně vázán na aktuální počasí a v některých případech i na meteorologické jevy v uplynulém období. V některých situacích je možné přizpůsobit pohyb v prostoru vhodným podmínkám (zemědělské a lesnické práce), v jiných to ale možné není. Těmito situacemi je nasazení vojenských jednotek v operacích nebo zásah záchranných jednotek při řešení krizových událostí. V těchto případech musí velitelé a jejich štáby mít znalosti o tom, zda dané území je pro jednotky průchodné nebo neprůchodné.

V případě vojenských jednotek je průchodnosti terénu věnována velká pozornost již ve fázi plánování operací (Datz 2008, Pub-26-68-02 2011)) a získané výsledky jsou průběžně upřesňovány. Velký rozvoj v oblasti hodnocení průchodnosti terénu nastal s rozvojem motorizovaných a tankových jednotek mezi světovými válkami a zejména po 2. světové válce. V tu dobu začali vznikat speciální mapy zaměřené do této oblasti (Talhofer 2017). Tyto mapy poskytovaly všeobecný pohled na průchodnost prostoru. Z pohledu

průchodnosti půd však neposkytovaly dostatečné informace a hodnocení půd se provádělo zejména ženijním průzkumem v terénu (FM 5-430-00-1 1994, Sobotková 2010). Změnu v přístupu je možné pozorovat s rozvojem geoinformačních technologií a vznikem podrobných geodatabází obsahujících informace o půdních areálech. V podmínkách Armády České republiky (AČR) je tento přístup reprezentován Účelovou databází Půdy (ÚDB Půdy) a na ní navázaným postupem pro hodnocení průchodnosti půd (ÚDB Půdy 2000). Tento postup pro hodnocení průchodnosti využívá informace o půdních areálech (půdní druh a půdní typ) a úhrn srážek za poslední tři dny v závislosti na ročním období. Od konce 90. let 20. století je tak tato databáze využívána pro stanovení průchodnosti pro jednotky AČR. Ověření tohoto postupu a poskytovaných výsledků v terénu ale nebylo dosud provedeno. Z dílčích testů průchodnosti prováděných katedrou vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně, ale vyplynulo zjištění ukazující na velmi malou korelaci reálné únosnosti půd a predikované průchodnosti. Z tohoto důvodu se od roku 2014 provádí periodické měření únosnosti půd ve vybraných lokalitách na území Moravy. Jeho cílem je ověřit dosud používaný postup a případně provést jeho zpřesnění nebo navržení nového způsobu pro hodnocení únosnosti půd.

## TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Pro určování průchodnosti půd byla využita sada pro měření průchodnosti půd E 910, jejíž metodika postupu měření a vyhodnocení vychází z předpisu FM 5-430-00-1 (1994). Tato sada je běžně využívána u ženijních jednotek americké armády, ale i v řadě jiných států NATO.

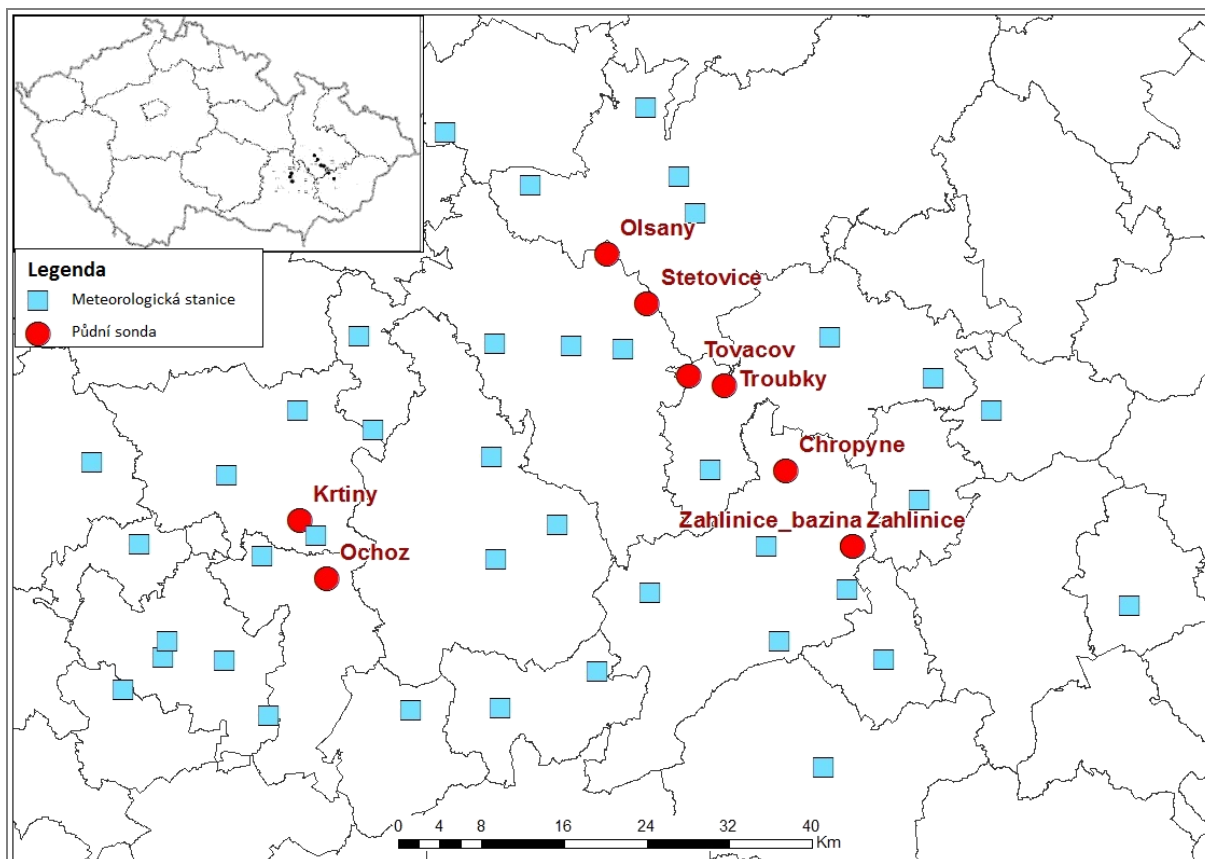
Princip měření je založen na měření půdního penetračního odporu proti vnikání kovového hrotu penetrometru, postupně zatlačovaného do půdy. Velikost odporu půdy je přímo úměrná stupni jejího ztuhnutí, složení půd a závisí na okamžité vlhkosti. Kromě vlastního měření v lokalitě je prováděn i odběr půdní sondy do formovacího válce, ve kterém probíhá měření penetračního odporu před a po hutnění zeminy. Hutnění probíhá s využitím normovaného závaží a simuluje průjezd vozidel přes danou vrstvu zeminy. Využití sady pro měření průchodnosti půd je výhodné v tom, že se pro stanovení průchodnosti kromě měřených hodnot pracuje i s reálnými parametry vozidel a je tak možné stanovit únosnost půd pro různé typy vozidel. Postup je založen na určování kuželového indexu zatížitelnosti (rating cone index – RCI) a jeho porovnání vůči kuželovému indexu vozidla (vehicle cone index – VCI). Porovnáním těchto hodnot se stanoví, zda je lokalita v místě měření průjezdná ( $RCI > VCI$ ) či nikoli ( $RCI < VCI$ ).

V rámci řešení problematiky vlivu půd na průchodnost se uskutečnilo v uplynulých letech několik jednorázových měření únosnosti půd (Hubáček 2016). Tato měření byla zaměřena na zjištění únosnosti půd na typických půdách České republiky. Tato měření proběhla v letech 2009 – 2013 ve 12 lokalit rozmístěných na území celé České republiky. Měření byla prováděna s ohledem na převládající dlouhodobou meteorologickou situaci a byla provedena v suchém, vlhkém a mokřem období. Výsledky měření ukázaly, že většina těchto půd je pro základní technikou používanou v AČR po většinu roku únosná bez problémů nebo s omezením. Výraznější problémy mohou nastat v případě součtu vlivu více geografických faktorů (zejména sklonu svahu) na pohyb vozidla.

Na základě výše zmíněných skutečností bylo vybráno devět nových lokalit s výskytem obtížně průchozích půd. Tento výběr vycházel jednak z dlouhodobých praktických zkušeností získaných při analýze půdních sond a při testování průjezdnosti techniky v terénu. Druhým faktorem ovlivňujícím výběr lokalit byla metodika hodnocení průchodnosti půd z Účelové databáze půd (ÚDB Půdy 2000). Výsledkem výběru bylo 9 lokalit na území Moravy (obrázek 1), na které byla zaměřena pozornost počínaje druhou polovinou roku 2014. Od tohoto roku do konce roku 2016 probíhalo pravidelné měření únosnosti. Častěji v období výskytu srážek, méně často v období sucha. Vzhledem k atypickému průběhu počasí v roce 2015 a části roku 2016 byl zaznamenán větší výskyt období s minimální srážkovou aktivitou. Současně s měřením průchodnosti byl proveden půdní rozbor, který kromě potvrzení správnosti výběru lokalit sloužil i k ověření spolehlivosti zákresu půdních charakteristik v používaných půdních databázích.

Pro ověření přesnosti metodiky určení průchodnosti půd v daných lokalitách byly prostřednictvím hydrometeorologické služby AČR získány měřené meteorologické prvky na meteorologických stanicích

v prostoru měření. Zejména šlo o úhrn srážek, teploty, sluneční svit, vítr, relativní vlhkost vzduchu, oblačnost a další.



Obr. 1. Lokalizace míst měření v druhé etapě (2014 - 2016)

## ANALÝZA METEOROLOGICKÝCH JEVŮ OVLIVŇUJÍCÍCH ÚNOSNOST PŮD

Na základě naměřených hodnot penetrometrického odporu bylo stanoveno, zda je daná lokalita průjezdná pro jednotlivé typy techniky používané v AČR. V zavislosti na metodice hodnocení průchodnosti půd v ÚDB Půdy byla měření rozdělena na letní a zimní období. Pro jednotlivé lokality byly určeny tří denní úhrny srážek k termínům provedených měření a vypočítána průjezdnost podle metodiky ÚDB Půd. Protože tato metodika nezohledňuje druh vozidla ani jeho podvozku, byla pro porovnání zvolena pásová technika, která vzhledem k typu podvozku vykazuje větší schopnost průchodnosti půd než vozidla kolová. Pro metodiku stanovení průchodnosti byla kromě ÚDB Půd využita i digitální půdní mapa 1 : 50 000 (DMP 50) vytvářená Českou geologickou službou. Tato databáze byla zvolena z důvodu její větší podrobnosti a vyšší přesnosti oproti ÚDB Půdy (Hubáček 2016). Ze získaných výsledků (tabulka 1) vyplývá, že výsledky získané tímto postupem nekorrespondují se skutečnou únosností půd v terénu.

Zjištěné rozdíly ukazují na nepřesnost metodiky, která vychází pouze z jednoho meteorologického jevu, kterým je úhrn srážek. Rozdíl mezi ÚDB Půdy a DMP 50 v lokalitě Záhlinice II je způsoben rozdílnou klasifikací půdních areálů. To potvrzuje zjištění o přesnějším a podrobnějším zákresu v této databázi. Určování průchodnosti půd podle metodiky ÚDB Půdy je tak na základě zjištěných skutečností možné využít v současné době pouze v případě, že není možné provést penetrometrická měření únosnosti půd přímo v terénu. Stanovení průchodnosti podle tohoto algoritmu by mělo být bráno pouze jako orientační a nelze se o jeho výsledky plně opírat. Z výsledků je tak zřejmé, že samotná průchodnost půd nezávisí pouze na stanovení půdního druhu a půdního typu, případně na srážkových úhrnech za 3 dny, ale závisí na více geografických a meteorologických faktorech, které tento algoritmus při práci neuvažuje. Z tohoto důvodu byla provedena analýza vybraných meteorologických jevů a rozdílných časových intervalů.

**Tab 1.** Porovnání měřené únosnosti (vpravo) s únosností získanou podle metodiky ÚDB Půdy nad daty ÚDB Půdy a DPM 50 (vlevo). Černá tečka neprůchozí stav.

ÚDB Půdy	DPM 50	Sonda	9. 12. 2014	26. 3. 2015	13. 8. 2015	14. 10. 2015	21. 10. 2015	19. 11. 2015	26. 11. 2015	10. 12. 2015	19. 1. 2016	17. 2. 2016	3. 3. 2016	14. 4. 2016	16. 6. 2016	6. 9. 2016	11. 10. 2016
○	○	Záhlinice I	●	●	●	○	●	●	○	●	○	●	●	●	○	○	●
○	●	Záhlinice II (b)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
○	○	Chropyně	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	Troubky	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	Tovačov	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
●	●	Štětovice	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○
○	○	Olšany	○	○	○	○	○	●	○	○	○	●	●	○	○	○	○
○	○	Křtiny	○	●	○	○	○	○	●	●	●	●	○	●	●	○	○
○	○	Ochoz	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Jako sledované jevy byly v této fázi řešení vybrány srážkové úhrny, průměrné denní teploty (meteorologická data) a půdní vlhkost (data z projektu Intersucho). Sledování těchto jevů bylo provedeno v intervalech 1 den, 3 dny, 5 dnů a 10 dnů. Pro statistickou analýzu byla vybrána Pearsonova metoda (Neubauer 2013) a vlastní testování byla prováděno na standardní hladině statistické významnosti 5 %.

Výsledky porovnání jednotlivých jevů vůči naměřené únosnosti neprokázaly silnou závislost na žádné sledované hodnotě. Největší míra korelace únosnosti půd byla prokázána vůči datům půdní vlhkosti, i když ne stejně silně u všech sledovaných půdních areálů. Největší hodnoty závislosti vykazaly půdní typy glej a černice. Jistá míra byla prokázána i v případě dalších sledovaných půdních typů. Ve většině případů byla prokázána i závislost na teplotě, kdy s rostoucí teplotou došlo k prokazatelně vyšší pravděpodobnosti únosnosti půd. Kromě zjištění týkajících se únosnosti půd a jejich vazeb na sledované meteorologické jevy lze na základě výsledků tvrdit, že se jednotlivé meteorologické prvky navzájem poměrně silně ovlivňují. Mezi relativním nasycením půdy vodou a teplotami je poměrně silná záporná vazba, která napovídá o tom, že se zvyšující se teplotou klesá procento nasycení půdy vodou. Naopak poměrně silnou kladnou vazbu lze vidět mezi teplotami a srážkovými úhrny. Zjištěné výsledky byly využity pro navržení nového dílčího postupu hodnocení únosnosti půd.

## DÍLČÍ VÝSLEDKY

Metodika ÚDB Půdy pracuje pouze s informacemi o půdním typu a půdním druhu a srážkových úhrnech v intervalu 3 dny před dnem určování průchodnosti půd. Protože byla při porovnání této metody s provedeným penetrometrickým měřením zjištěna nedostatečnost třídního intervalu, byly z toho důvodu všechny sledované meteorologické prvky zkoumány i z pohledu delšího časového intervalu. Na základě souhrnného pohledu na danou problematiku byl za nejvhodnější časový interval stanoven interval desetidenní. Na základě zkoumání závislosti srážkových úhrnů, teploty a relativní půdní vlhkosti na únosnost půd byla stanovena metoda nová, která závisí na:

- půdním typu;
- aktuálním relativním nasycením půdy vodou poslední neděli před dnem určování průchodnosti půd;
- srážkových úhrnech v intervalu 10 dní před dnem určování průchodnosti půd;
- průměrné teplotě 10 dní před dnem určování průchodnosti půd.

Největší význam je přisuzován relativnímu nasycení půdy vodou, jelikož se charakteristiky jednotlivých půdních typů v závislosti na půdní vlhkosti nejvíce měnily. Naopak nejmenší roli hraje průměrná teplota vzduchu, která má zásadní vliv při záporných hodnotách (půda zamrzá a stává se průchodnou) nebo naopak při velmi vysokých teplotách, kdy ovlivňuje vysychání půd.

Na základě provedené analýzy byly stanoveny hodnoty pro relativní nasycení půdy a srážkový úhrn v posledních deseti dnech při průměrné teplotě vzduchu v posledních deseti dnech v rozmezí 0 – 15°C. Pro dané hodnoty je navržen postup hodnotící pro tři kategorie půdních typů (1 – glej, 2 – černozem a černice, 3 – fluvizem, organozem a pseudoglej) postupně hodnoty relativní půdní vlhkosti a srážkových úhrnů. Na základě porovnání měřených meteorologických dat se stanovenými hodnotami je možné určit zda je daný půdní areál průchodný, obtížně průchodný nebo neprůchodný v závislosti na kategorii vozidel (pásové, kolové těžké, kolové lehké). Přestože se i v této nově navržené metodě naleznou odlišnosti od skutečně naměřených hodnot průchodnosti půd, metoda poskytuje výsledky více reagující na aktuální počasí a pracuje s jednotlivými půdními typy na základě naměřených hodnot únosnosti, což je její výhodou. V tabulce č. 2 lze vidět výsledky nově navržené metody pro jednotlivé termíny měření. Při porovnání s tabulkou 1 je vidět i přes některé rozdílnosti výrazně vyšší shodu než v případě dosud používaného postupu.

**Tab 2.** Stanovení průchodnosti na základě nově navrženého postupu. Černá tečka neprůchozí stav.

Sonda	9. 12. 2014	26. 3. 2015	13. 8. 2015	14. 10. 2015	21. 10. 2015	19. 11. 2015	26. 11. 2015	10. 12. 2015	19. 1. 2016	17. 2. 2016	3. 3. 2016	14. 4. 2016	16. 6. 2016	6. 9. 2016	11. 10. 2016
Záhlinice I	●	○	○	○	●	○	●	○	○	●	●	●	○	●	●
Záhlinice II (b)	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
Chropyně	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Troubky	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Tovačov	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
Štětovice	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Olšany	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
Křtiny	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ochoz	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○

Největší rozdíly vznikly u půdních typů černice a glej. Půdní typ černice nacházející se v lokalitách Záhlinice I a Tovačov vykazoval již při penetrometrickém měření různorodé výsledky. Zatímco lokalita Tovačov byla po celou dobu měření průchodná bez obtíží, v lokalitě Záhlinice I se nacházel jiný půdní druh, a tak se půda chovala spíše jako neprůchodná, ačkoli se tento stav během celého měřického období střídal. Z toho důvodu bylo poněkud složitější stanovit mezní hodnoty meteorologických podmínek ovlivňujících chování tohoto půdního typu. Nakonec však byla přisuzována větší váha výsledkům lokality Tovačov, jelikož je lokalita Záhlinice obecně více vlhká a podmáčená v důsledku okolního prostředí (potok, rybníky, glejové deprese), což zajisté v této lokalitě ovlivňuje chování půdy z dlouhodobého hlediska.

Dalším problematickým půdním typem byl půdní typ glej, nacházející se v lokalitách Záhlinice II (bažina) a Křtiny. Tento půdní typ se zdá být obecně spíše neprůchodný, avšak v lokalitě Křtiny byl v polovině případů hodnocen na základě uskutečněných penetrometrických měření jako průchodný. Přesto byly mezní hodnoty meteorologických podmínek ovlivňujících chování půd stanoveny nižší, než u ostatních půdních typů.

Nalezení vhodných mezních hodnot meteorologických podmínek ovlivňujících chování půd pro ostatní půdní typy již nebylo tolik problematické a získané výsledky ve většině případů odpovídají skutečně naměřeným hodnotám průchodnosti půd.

**ZÁVĚR**

Z provedeného porovnání naměřených hodnot průchodnosti půd a modelovanou situací na základě metodiky ÚDB Půdy vyplývá, že tato metodika vykazuje značné nedostatky a je nutné ji do budoucna nahradit vhodnějším postupem.

Provedené posouzení vlivu vybraných meteorologických jevů (srážky, teplota, půdní vlhkost) ukázalo, že půdní vlhkost je rozhodujícím, ale ne jediným, činitelem ovlivňujícím chování půd z hlediska jejich únosnosti při pohybu vozidel. I další posuzované jevy ovlivňují půdní únosnost. Na základě naměřených hodnot se podařilo vytvořit první verzi nového postupu hodnocení průchodnosti půd. Výsledky získané tímto postupem více odrážejí skutečný stav, ale přesto se zde objevují některé odchylky. Proto je do budoucna nezbytné provést analýzu dalších meteorologických jevů a posoudit jejich případný vliv na chování půd. V případě zjištění závislosti, pak inovovat zatím zjištěný postup.

Kromě posouzení vlivu dalších meteorologických jevů byla v létě 2017 započata další etapa terénního měření v nových lokalitách. Jejím cílem je ověřit navržený postup v jiných prostorech na areálech s obdobnými vlastnostmi a provést měření v dalších skupinách půdních typů. V případě vhodných meteorologických podmínek je předpoklad, že první výsledky ověřující navržený postup hodnocení půd bude možné získat v polovině roku 2018. V případě, že se potvrdí prozatím navržený postup, bude přistoupeno k jeho postupnému zavedení do užívání v rámci geografické služby AČR a výhledově i do připravovaného komplexního modelu hodnocení průchodnosti území.

**LITERATURA**

Datz, I. M. (2008). Military operations under special conditions of terrain and weather. Lancer Publishers, New Delhi.

FM 5-430-00-1 (1994) Planning and design of roads, airfields, and heliports in the theater of operations. US Army, Washington.

Hubáček, M a kol. (2016) Assessing quality of soil maps and possibilities of their use for computing vehicle mobility. In: Central Europe Area in View of Current Geography. Masarykova univerzita, Brno, s. 99-110.

Neubauer, J. a kol. (2013) Modelování a simulace procesů v oblasti ekonomiky bezpečnosti a obrany. Grada Publishing, Praha.

Pub-26-68-02 (2011) Zpracování vojenskogeografických informací a dokumentací při přípravě a vedení operací. VeV-VA, Vyškov.

Rybanský, M. (2010) Cross-country movement. CERM, Brno.

Sobotková, Š. (2010) Průjezdnost vozidel terénem z hlediska jeho únosnosti. Vojenské rozhledy, roč. 19 (51), č. 4, s. 145-149.

Talhofer, V. (2017) Vliv kvality prostorových databází na modelování pohybu techniky v prostoru. ČVUT, Praha.

ÚDB Půdy (2000) Příručka pro uživatele, Vojenský zeměpisný ústav, Praha.

Zikmun, J. (2009) Analýza vlivu půd na pohyb vybraných vojenských vozidel v souladu se standardy NATO (výzkumný zpráva). VTÚPV, Vyškov.