

V G O VOJENSKÝ GEOGRAFICKÝ O BZOR

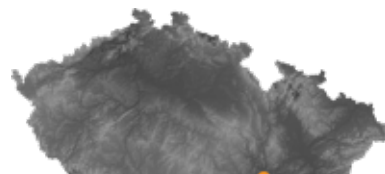
2 2020



Sborník geografické služby AČR

Krajina v zrcadle času – Brno-Pisárky

Pisárky jsou městskou částí statutárního města Brna nacházející se západně od jeho centra. Až do 18. století bylo území dnešních Pisárek téměř bez zástavby. Výstavba obytných a průmyslových objektů byla v této lokalitě zahájena až na počátku 19. století a vyvrcholila v jeho druhé



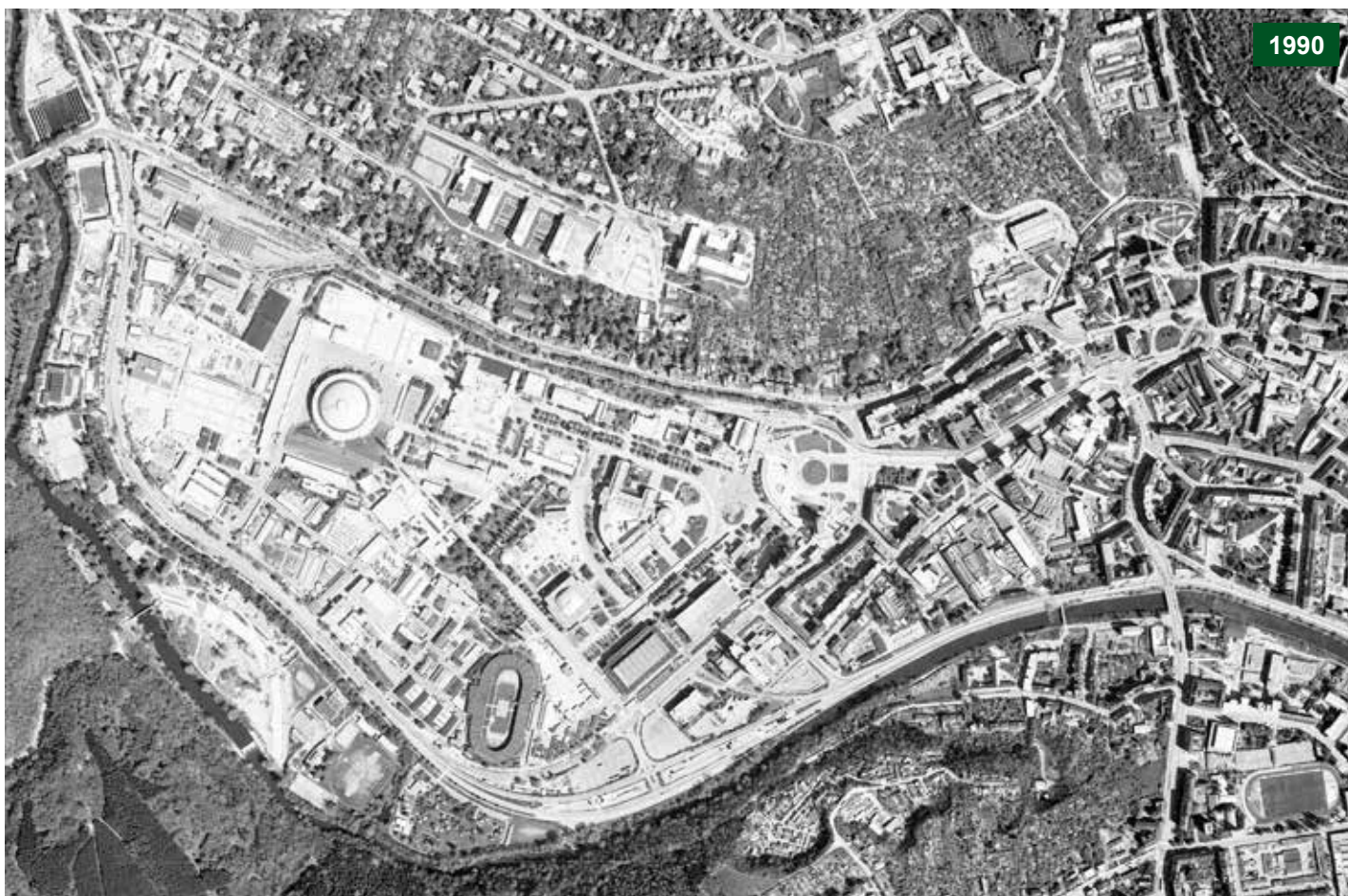
1947



1967



polovině, kdy zde byla postavena řada vil. Území Pisárek má rozlohu necelých 5 km² a jeho podstatnou část zabírá brněnské výstaviště, jehož první objekty byly v údolní nivě řeky Svratky vybudovány v letech 1926–1928. V období fašistické okupace sloužilo výstaviště potřebám německého vojska. Po ukončení války byly v rámci rekonstrukce v areálu vybudovány nové pavilony a v roce 1955 se zde uskutečnila 1. výstava československého strojírenství. Mimo výstaviště se na území Pisárek nachází pavilon Anthropos s expozicí věnovanou vývoji člověka nebo generální konzuláty Litevské republiky a Ruské federace.



Vojenský geografický obzor

Sborník geografické služby AČR

Vydává:

Česká republika – Ministerstvo obrany,
geografická služba AČR

Vojenský geografický

a hydrometeorologický úřad

Čs. odboje 676

518 16 Dobruška

IČO 60162694

MK ČR E 7146

ISSN 1214-3707 (Tištěná verze)

ISSN 2570-6608 (Elektronická verze)

Periodicita: dvakrát za rok

Tiskne:

Vojenský geografický

a hydrometeorologický úřad

Čs. odboje 676

518 16 Dobruška

Neprodejné. Distribuce dle zvláštního
rozdělovníku.

Elektronická verze sborníku:

<http://www.geoservice.army.cz>,

<http://portal.vghur.acr/wwwgeo/>

[dokumenty/periodika/s_dokum_vgo.php](http://portal.vghur.acr/wwwgeo/dokumenty/periodika/s_dokum_vgo.php).

Za obsah článků odpovídají autoři.

Nevyžádané rukopisy, kresby a fotografie
se nevracejí.

Tento výtisk neprošel jazykovou
korekturou.

Šéfredaktor:

RNDr. Luboš Bělka, Ph.D.

Zástupce šéfredaktora:

Ing. Luděk Břoušek

Členové redakční rady:

RNDr. Marie Vojtíšková, Ph.D.

Ing. Libor Laža

mjr. Ing. Přemysl Janů

Redakce:

Ing. Luděk Břoušek

Grafická úprava a zlom:

Ing. Libor Laža

Adresa redakce:

Vojenský geografický

a hydrometeorologický úřad

Čs. odboje 676

518 16 Dobruška

tel.: 973 247 973, 973 247 511

fax: 973 247 648

CADS: vgo@vghur.acr

e-mail: vgo@vghur.army.cz

Vojenský geografický obzor,
rok 2020, č. 2.

Vydáno 30. 11. 2020.

Obsah

Ohlédnutí za dosavadním vývojem řešení modelování průchodnosti terénu na katedře vojenské geografie a meteorologie doc. Ing. Vladimír Kovařík, MSc. Ph.D.	6
Analýzy průchodnosti terénu – úvod Doc. Ing. Marian Rybanský, CSc.	9
Terénní měření vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu a verifikační testy modelů průchodnosti prof. Ing. Václav Talhofer, CSc.	22
Ověření možnosti využití Účelové databáze půdy ke stanovení průchodnosti půd pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D., npor. Ing. Eva Mertová.....	32
Návrh nového postupu hodnocení průchodnosti půd v podmínkách AČR pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D., prof. RNDr. Šárka Mayerová, Ph.D., npor. Ing. Eva Mertová	40
Vliv mikroreliefních objektů na průchodnost terénu Ing. Filip Dohnal, Ph.D., pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D.	51
Vstupní data do modelování průchodnosti terénu RNDr. Marie Vojtíšková, Ph.D., por. Ing. Martin Bureš, Ph.D.	57
Matematický aparát použitý při modelování průchodnosti terénu RNDr. Luboš Bělka, Ph.D., RNDr. Marie Vojtíšková, Ph.D.	61
Model průchodnosti terénu 4000 por. Ing. Martin Bureš, Ph.D.....	65
Úspěšné zapojení geografické služby AČR do Chytré karantény npor. Ing. Eva Mertová	70
Konference GIS Esri v ČR RNDr. Luboš Bělka, Ph.D.....	72

Vážení a milí čtenáři, kolegyně a kolegové, přátelé,



svůj úvodník k minulému vydání sborníku Vojenský geografický obzor jsem zakončil připomínkou nenadálého úmrtí pana generála Ladislava Kebíška a malou osobní vzpomínkou na něj. Bohužel však není sám, kdo letos odešel do geografického nebe. Následovali ho další nestoři české a slovenské vojenské topografie, pan profesor Lubomír Lauermann a plukovník Peter Forgách. S bolestí v srdci musíme akceptovat to, že už se nesejdeme a nezaposloucháme se do jejich uvážlivých a pravdivých slov. Z toho, co po sobě zanechali, však naštěstí můžeme čerpat ještě dlouho. Je to dar, ale i závazek vůči nim a jejich odkazu. Čest jejich památce!

Držíte v rukou další číslo našeho sborníku. Jsem hrdý, že ho po dlouhá desetiletí vydáváme, protože ho považuji za takřka nekonečnou studnici moudrosti a svědectví své doby. Tento sborník, společně s dalšími publikacemi, čas od času donutí autory i čtenáře zastavit se. Trochu se nadechnout, poohlédnout, zrekapitulovat úspěchy, identifikovat nedostatky a hlavně definovat cíle pro další období. Pro dnešní monotematické vydání to platí snad ještě více.

Celá dlouhá léta víme – nebo alespoň tušíme – že mnozí příslušníci katedry vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně se dlouhodobě zabývají problematikou průchodnosti terénu ve všech jejích souvislostech. Že v dané oblasti bylo zaznamenáno nespočet dílčích, ale i klíčových úspěchů. Celá tato činnost byla v uplynulých dvou desetiletích doprovázena bohatou publikační činností, prezentacemi na seminářích a konferencích, habilitačními, doktorskými, magisterskými i bakalářskými pracemi, výzkumnými zprávami nebo certifikovanými metodikami. A i když nosným pracovištěm v této oblasti je pochopitelně naše katedra, na plnění úkolů se aktivně a dlouhodobě podílí i další specialisté z Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu. Pojdme si dnes společně tuto pout' započatou již v 90. letech minulého století nejen připomenout, ale i zasadit do celkového kontextu výkonu moderního zabezpečení bojové činnosti vojsk, provádění analýz a poskytování služeb v integrovaných prostředích.

Vzpomeňme na pionýrské doby teoretických řešení i navazujících rozsáhlých terénních testů a zkoušek v různých prostředích, ročních obdobích, s využitím nejrozličnější pásové i kolové techniky. Obrovská řada prakticky získaných dat zase zpětně ovlivňovala a zpřesňovala numerické modely, koeficienty a korelační závislosti. Praktické verifikace matematických vztahů a algoritmických postupů vyústily v následnou definici komplexního modelu průchodnosti terénu. Další ambicí je – kromě jeho dalšího zpřesňování – implementace a vizualizace modelu v moderních servisně orientovaných databázových systémech vytvářejících společný operační obraz bojiště.

Osobně tuto problematiku dlouhodobě sleduji. Nejednou jsem se sešel s řešitelským týmem například v prostorách Výcvikového a školicího zařízení na Polomu v Orlických horách, které se občas stalo zázemím pro intenzivní a koncentrovanou práci. Konec konců proto jsem se zasadil o to, aby byl Polom zase „náš“. Proto jsem ho nechal zrekonstruovat a opravit příjezdovou cestu. Jsem rád, že je využíván i tímto způsobem a pevně věřím, že tomu tak zůstane.

Přeji všem čtenářům, aby v dnešním vydání našli spoustu zajímavých a podnětných informací. A celému řešitelskému týmu vše dobré a hodně úspěchů do budoucna.

Na závěr mi dovolu malý vyznání. Při svém nástupu do funkce ředitele jsem si předsevzal celou řadu docela ambiciózních plánů. Výše zmíněný Polom je jen jedním z nich. V uplynulých šesti letech byla dále ve městě Dobrušce otevřena stálá expozice vojenské geografie a v areálu úřadu vytvořena jeho prezentační místnost, byl zřízen památník generála Churavého a byla zbudována zóna oddechu pro volnočasové aktivity příslušníků úřadu. Byl založen Svaz vojáků z povolání Dobruška, z. s. V neposlední řadě jsme se důstojným způsobem zhostili příprav a provedení oslav doposud nejvýznamnějšího jubilea v naší historii – stého výročí vzniku geografické služby a hydrometeorologické služby naší armády.

Byla učiněna zásadní strategická rozhodnutí v oblasti vojenskoodborné činnosti úřadu, která nás budou ovlivňovat mnoho dalších let. Byla provedena kompletní modernizace polygrafického pracoviště v Praze. Byl reorganizován úřad a zcivilněn odbor aplikovaného rozvoje. I Vojenský geografický obzor změnil svou tvář. Tak bych mohl pokračovat. Poctivě jsme pracovali a plnili své úkoly. Uspěli jsme i v obtížné době koronavirové krize, která v letošním roce tak brutálně ovlivnila naše životy. Za vším jste Vy a Vaše nadšení. Každý jeden z Vás, bývalých i současných zaměstnanců. Bylo mi s Vámi moc dobře, tím spíš, že mnozí jste už téměř čtvrt století mými osobními přáteli.

Za vše upřímně a z celého srdce děkuji. Přeji Vám jen to nejlepší v roce 2021 i v letech následujících.

*plukovník gšt. Ing. Jan Marša, Ph.D.
ředitel Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu*

Zemřel prof. Ing. Lubomír Lauer mann, CSc.

Profesor Lauer mann se narodil 25. října 1928 ve Studené v okrese Jindřichův Hradec. Po absolvování reálného gymnázia v Telči vystudoval v letech 1948–1952 s vyznamenáním obor zeměměřického inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně. Již během studií pracoval jako pomocná vědecká síla a později jako asistent na katedře nižší geodézie. V této funkci byl v září 1951 převeden na nově zřízenou Vojenskou technickou akademii v Brně, dnešní Univerzitu obrany, kde jako občanský zaměstnanec-pedagog působil 41 let až do odchodu do důchodu v roce 1992. V roce 1953 byl ustanoven odborným asistentem a začal se specializovat na obor kartografie. V roce 1961 obhájil kandidátskou disertační práci, v roce 1974 získal po habilitaci pedagogickou hodnost docenta a v roce 1983 byl jmenován vysokoškolským profesorem kartografie.

Na brněnské vojenské akademii vyučoval kartografii a vojenskou geografii a měl výraznou zásluhu na rozvoji a současné úrovni obou disciplín na katedře i v rámci vojenské topografické, posléze geografické služby. Výrazně se podílel na vědecké výchově a pedagogickém růstu vojenských i civilních kartografických specialistů. Byl členem vědecké rady akademie a vědecko-technické rady náčelníka topografické služby. Dále byl místopředsedou komise pro obhajoby kandidátských disertačních prací a členem komise pro obhajoby disertací doktorského studia v oboru kartografie vojenské akademie.

Profesor Lauer mann byl školitelem mnoha vědeckých aspirantů, oponentem několika desítek kandidátských disertačních prací, habilitačních prací i doktorských disertací, členem, případně předsedou habilitačních komisí pro jmenování docentem nebo návrhových komisí pro jmenování profesorem na většině českých a slovenských vysokých škol, na nichž se studuje kartografie. Řadu let působil na Masarykově univerzitě v Brně jako externí učitel kartografie a topografie a základních poznatků o Zemi a vesmíru na katedře geografie její Pedagogické fakulty a kartografie na její Přírodovědecké fakultě, na níž byl i členem oborové rady pro studijní obor kartografie a geoinformatika. Jeho pedagogické a odborné působení na univerzitě ocenil rektor Masarykovy univerzity pamětní medailí.

Rozsáhlé jsou výsledky vědecké a odborné činnosti profesora Lauer manna, jež byly orientovány převážně ve prospěch vojenské kartografie a geografie. Ve svém souhrnu představují téměř 100 titulů atlasů, učebnic, skript, výzkumných zpráv a publikovaných odborných článků. K nejvýznamnějším patří zejména dva díly skript Technická kartografie a učebnice Kartografie. Dále je autorem a spoluautorem dvou vydání celoarmádní učebnice Vojenská geografie a učebnice Vojenská topografie. Zvláště významný byl jeho tvůrčí podíl při koncepci, projektové přípravě, redakčním řízení a autorské spolupráci na tvorbě Československého vojenského atlasu (1965) a Vojenského zeměpisného atlasu (1975). Zúčastnil se prací i na dalších atlasových dílech, na řešení obnovy topografických map, na tvorbě odborných směrnic, předpisů a pomůcek spojených s vývojem nových tematických map. Spolupracoval také na tvorbě Atlasu krajiny České republiky (2009) v pracovní skupině pro přejímání autorských originálů.

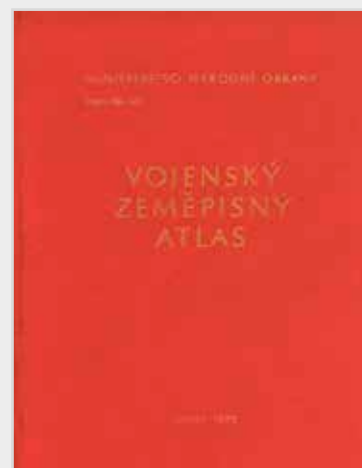
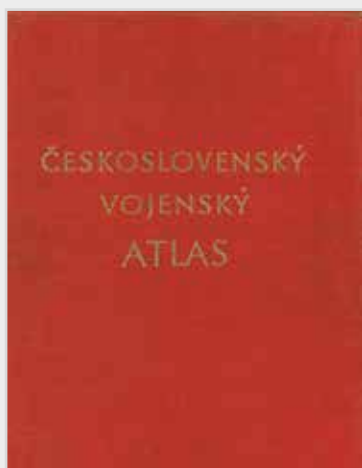
Oponoval a recenzoval množství výzkumných zpráv, učebnic, odborných článků a referátů. Aktivně se podílel na programové přípravě řady kartografických konferencí a seminářů. Více než třicet let pracoval ve výboru odborné skupiny kartografie při Společnosti geodézie a kartografie Československé vědeckotechnické společnosti a Českého svazu vědeckotechnických společností. Do roku 1994 byl členem výboru České kartografické společnosti, jejímž byl posléze čestným členem.

Byl nositelem čestného titulu „Emeritní profesor Univerzity obrany Brno“. Za pedagogickou, vědeckou a odbornou práci pro geografické zabezpečení obrany státu byl oceněn stříbrnou medailí „Za zásluhy a rozvoj vojenské geodézie a kartografie“.

Všichni, kdož měli možnost s profesorem Lauer mannem spolupracovat a které učil – jak na brněnské vojenské akademii, tak na Masarykově univerzitě v Brně –, jej znali jako zaníceného kartografa, uznávaného odborníka a pedagoga, čestného, obětavého a skromného člověka, znalce přírody a aktivního turistu.

Profesor Ing. Lubomír Lauer mann, CSc., zemřel 12. října 2020 ve věku nedožitých 92 let.

Čest jeho památce!





Ohlédnutí za dosavadním vývojem řešení modelování průchodnosti terénu na katedře vojenské geografie a meteorologie

doc. Ing. Vladimír Kovařík, MSc. Ph.D.

katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

Abstrakt

Článek stručně rekapituluje průběh a výsledky řešení úkolu modelu průchodnosti terénu na katedře vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně. Přehledně informuje o jednotlivých projektech řešených v rámci tohoto úkolu a o nových mezinárodních projektech, které budou v této oblasti na katedře řešeny v dalším období.

Looking back on the current development of modelling of cross-country movement at the Department of Military Geography and Meteorology

Abstract

The article briefly summarizes the course and results of dealing with a task of developing the cross-country model at the Department of Military Geography and Meteorology of the University of Defence in Brno. It clearly informs about the individual projects realized within this task and about new international projects that will be carried out in this area at the department in the next period.

Úvod

Na katedře vojenské geografie a meteorologie Fakulty vojenských technologií Univerzity obrany v Brně (UO) (dále jen „katedra“) je několik let vyvíjen a zdokonalován model hodnocení krajiny z hlediska jejího vlivu na průchodnost terénu vojenskou technikou. Model je založen jak na současných poznatcích vědy a výzkumu v oblasti geografie, geoinformatiky a numerického modelování atmosféry, tak na dílčích poznatcích z oblasti mechaniky pohybu vozidel v terénu a pohybu letadel v atmosféře. Vytvářený model průchodnosti terénu byl postupně doveden do stavu, který umožňuje posoudit jeho vlastnosti přímým testováním vojenskou technikou. Jeho budování začalo ve formě teoretického řešení, později byly zapojeny praktické testy, následovalo upřesňování matematického modelu a terénní ověřování jeho fungování. V současné fázi se blíží implementace modelu do Celoomradní datové sítě / Globální datové sítě (CADS/GDS) a dalších systémů. Práce na tomto modelu je jedním z nosných úkolů katedry a dá se říci, že mezi jinými aktivitami katedry se jedná o vlajkovou loď v rámci její vývojové a výzkumné činnosti.

Úplně počátky je možné zasadit do konce 90. let minulého století, kdy hlavním nositelem původní myšlenky byl pedagog katedry doc. Ing. Marian Rybanský, CSc. Zahájení řešení problému modelování průchodnosti lze chápat jako odpověď na tehdejší stále intenzivnější potřebu nově řešit problém průchodnosti. V té době začala dlouholetá spolupráce s odborníky na problematiku přesahující tradiční záběr specializace katedry, tedy klasickou geodézií, kartografií nebo geografii.

Postupně bylo do řešení dílčích problémů zapojeno několik desítek odborníků z různých oborů. V řešitelském týmu se

postupně na kratší či delší dobu objevovali i odborníci z mnoha různých institucí. Pro ilustraci lze zmínit například Mendelovu univerzitu v Brně (prof. Ing. Alois Prax, CSc., prof. Ing. Jaroslav Simon, CSc., prof. Ing. Radomír Ulrich, CSc., prof. Ing. Jan Čermák, CSc.), Vysoké učení technické v Brně (prof. Ing. Miloš Starý, CSc.), České vysoké učení technické v Praze, Vojenský technický ústav pozemního vojska ve Vyškově (Ing. Josef Zikmund), Ústav na hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i., ve Zdíbech, Výzkumný ústav zemědělské techniky v Praze nebo Ústav pro výzkum globální změny Akademie věd České republiky v Brně. V rámci UO to byli a jsou kolegové z katedry bojových a speciálních vozidel (prof. Ing. Miroslav Vala, CSc.), katedry ženižních technologií (doc. Ing. Šárka Sobotková, CSc.), katedry matematiky a fyziky (prof. RNDr. Šárka Mayerová, Ph.D.) nebo katedry taktiky. A samozřejmě nelze vynechat spolupracovníky a kolegy z tehdejšího Vojenského zeměpisného ústavu v Praze a Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (VGHMÚř) v Dobrušce.

Důležitou součástí každé tvůrčí aktivity je její zveřejnění. Průběžné a dílčí výsledky řešení byly prezentovány na konferencích a publikovány v jejich sbornících. První výsledky byly prezentovány takřka již na domácí půdě, a to na konferenci *Geoinformační systémy ve vojenství*, která byla pořádána v Brně v letech 1999, 2000, 2001 a 2003. Tam zazněly první příspěvky zaměřené na geografické podmínky průchodnosti území nebo vliv půd na průchodnost. V dalších letech se řešitelé rozjeli do světa a začali prezentovat dílčí výsledky řešení modelování průchodnosti na významných mezinárodních konferen-

cích (Slovensko, Rumunsko, Nizozemsko, Itálie, Francie, Německo, Litva, Estonsko, Indonésie, Malajsie, Jižní Korea, Spojené státy americké (USA – United States of America), Čína, Japonsko, Austrálie).

Významným mezníkem v tomto období byla habilitační práce doc. Rybanského vydaná v roce 2002. Práce nesla název *Modelování vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu* [1] a představovala první komplexní práci na toto téma. Jejím cílem bylo se zaměřením na vlastnosti geografických objektů, které lze prakticky ověřit, analyzovat hlavní atributy vojenskogeografických faktorů, které podmiňují průchodnost území. Práce byla unikátní v tom, že zavedla klasifikaci geografických faktorů průchodnosti terénu a odpovídajících koeficientů zpomalení pohybu vozidla.

V průběhu let byly dílčí problémy řešeny v rámci závěrečných prací studentů bakalářského a magisterského studia, v rámci studentské tvůrčí činnosti a projektů specifického vysokoškolského výzkumu, byly předmětem témat řady disertačních prací a speciálních studií. Hlavní směr řešení však šel prostřednictvím projektů účelové podpory a později také institucionální podpory na UO.

Projekty a realizace úkolu

Prvním významným projektem účelové podpory byl projekt obranného výzkumu (POV) *Topografické zabezpečení v přípravě a řízení podpory operačních schopností AČR (POV TOPOZAB)* s dobou řešení 1999–2002. Odpovědným řešitelem tohoto projektu, stejně jako všech dalších projektů a dílčích záměrů v následujících dvaceti letech, byl prof. Ing. Václav Talhofer, CSc. Hlavním cílem projektu bylo teoreticky odvodit a prakticky ověřit předpokládané specifické vlastnosti informací o jednotli-

vých prvcích krajinné sféry, o statistických vazbách mezi nimi a o jejich využitelnosti pro analýzy terénu ve prospěch rozhodovacích činností velitelů a štábů. Hlavním výsledkem projektu byl návrh a praktické odzkoušení vlivů různých vojenskogeografických podmínek na průchodnost terénu a návrh klasifikace parametrů terénu z hlediska takticko-technických dat bojové techniky. V průběhu řešení vzniklo mimo jiné 10 samostatných studií.

Dalším projektem účelové podpory byl projekt obranného výzkumu *Geografické a meteorologické faktory bojiště, jejich dynamická vizualizace a lokalizace v systémech velení a řízení* (POV METEOR) s dobou řešení 2008–2011. Jeho cílem bylo zkoumání faktorů ovlivňujících pozemní síly při jejich pohybu a manévru, zejména vliv porostů se zaměřením na lesní celky, vliv vodstva se zaměřením na hydrologickou síť, vliv půdních druhů a půdních typů na průchodnost bojové techniky ve volném terénu s uvážením okamžitých i předchozích klimatických podmínek. V tomto projektu bylo poprvé použito vytváření cenových map pomocí ModelBuilder v ArcGIS, poprvé byly aplikovány postupy hodnotové analýzy a použit koncept fuzzy logiky. Jedním z výsledků bylo zpracování metodiky a algoritmů výpočtu nejkratší, nejrychlejší, nejekonomičtější a nejbezpečnější trasy po komunikacích. Za velmi významné výstupy řešení lze považovat 4 certifikované a zavedené metodiky přijaté ve VOP CZ, s. p., Šternberk, jejichž autorem je doc. Rybanský a které řeší metodiku určování vlivu geografických faktorů, mikroreliefu a terénních překážek na pohyb vojenských kolových a pásových vozidel v terénu. Významným počinem bylo rovněž publikování dvou monografií doc. Rybanského *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors* [2] a *Cross-Country Movement. Modeling* [3].

Největším přínosem řešení projektu METEOR byl komplexní model pohybu vojenské techniky v terénu, včetně teoretického zdůvodnění výpočtu. Mezi hlavní výsledky experimentů lze považovat naměřené a vypočtené hodnoty koeficientů zpomalení vojenských vozidel (tank T-72, BVP-1, Pandur, Tatra 815, Land Rover Defender 110, UAZ 469) při překonávání různých typů terénu se zaměřením na reliéf, povrch a půdní kryt terénu, dále zjištěná kritéria pro překonávání stromovitých porostů vojenskými vozidly (stanovení limitních průměrů kmenů stromů) a kritéria průjezdnosti vodních toků. Byly provedeny dosud nejrozsáhlejší soubory měření penetrometrických charakteristik půd na území České republiky (ČR), a to

za různých meteorologických podmínek, včetně extrémních povodňových srážek. Rovněž testy schopnosti vybraných typů vojenských vozidel překonávat stromovité porosty byly ojedinělé a zatím nejrozsáhlejší svým charakterem nejenom na území ČR, ale i v zahraničí.

V dalším období byl s využitím institucionální podpory UO definován projekt pro rozvoj organizace PRO GEORADIANT s dobou řešení 2011–2015, který byl původně poměrně úzce zaměřen na vytvoření modelu radiální bilance zemského povrchu a metodiku předpovědi námrazy. V průběhu roku 2013 byl v souvislosti se změnou v označování nástroje využívání institucionální podpory na DZRO (díleč záměr rozvoje organizace) tento díleč záměr pojmenován jako *Rozvoj expertního pracoviště zaměřeného na analýzu vlivu přírodního prostředí na činnost ozbrojených sil* a došlo k přeformulování cílů. Ty byly nyní zaměřeny na provedení dalších měření vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel se zaměřením na vliv porostů a vodstva, analýzu možnosti získávání dat pomocí bezkontaktních metod se zaměřením na reliéf terénu a porosty a na zkoumání kvality geografických dat a jejího vlivu na analýzy prostoru.

DZRO GEORADIANT byl specifický provedením rozsáhlých terénních testů ve Vojenském újezdu (VÚj) Libavá, VÚj Březina a Vojenském vycvikovém prostoru Záhorie (Slovensko), a to ve všech ročních obdobích. Testována byla vojenská pásová a kolová technika, např. tank T-72, BVP-2, Pandur, Tatra 810, Land Rover Defender 110, UAZ 469, Santana, Aktis aj. Souběžně byla prováděna dynamometrická měření trakčních sil vybraných vozidel a také probíhaly práce na upřesnění vlivu půd na pohyb techniky. Pokračovaly práce na zpřesnění numerických modelů pro výpočty koeficientů zpomalení v rámci teorie CCM (cross-country movement) se zahrnutím kvalitativních vlastností používaných geografických dat. V závěru řešení dílečného záměru proběhla první komplexní verifikace fyzikálních, matematických a informatických modelů pro hodnocení vlivu přírodního prostředí na činnost vojenské techniky. Rovněž byla provedena penetrometrická měření únosnosti půd a laboratorní zmitostní rozbory pro určení a ověření únosnosti půd v rámci testování vlivů terénu na pohyb vozidel.

Díleč záměr přispěl k rozpracování teorie modelů a způsobů vizualizace neurčitosti výsledků podkladových dat s využitím fuzzy logiky. Došlo k posunu v teorii průchodnosti lesních porostů se zahrnutím metod měření a modelování odolnosti stromů proti vyvrácení. Byly přijaty a za-

vedeny další 4 certifikované metodiky zaštitěné VOP CZ, s. p., Šternberk. Jedním ze zásadních výsledků bylo použití navrženého hodnocení přírodních podmínek pro vyhodnocení podmínek průchodnosti ve vybraných oblastech kolem státní hranice ČR, které bylo použito při přípravě podkladů nově vytvářené *Koncepce výstavby Armády České republiky 2025* [4]. Nelze nezmínit také publikování samostatné kapitoly *Terrain Analysis for Armed Forces* v publikaci významného nakladatelství Springer *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Modern Trends in Cartography* [5].

Významným mezníkem tohoto období byla pětítýdenní stáž prof. Talhofera a doc. Rybanského v USA v Engineer Research and Development Centre (ERDC), přesněji v jeho jednotlivých centrech Hanover, Vicksburg, Ft. Richardson a Fairbanks. ERDC jako součást pozemních sil USA má z hlediska metodologie i výzkumu a vývoje nejlépe ve světě propracovanou metodiku geoinformačního a kartografického modelování dopravních úloh a pohybu vojenské techniky v terénu.

Úzká spolupráce s VGHMÚř v Dobrušce se projevila zadáním úkolu aplikovaného rozvoje geografické služby Armády České republiky (GeoSI AČR) *Analýza dat z verifikačních testů modelu CCM a jeho zpřesnění* s dobou řešení 2016–2017.

Práce na modelování průchodnosti pokračovaly i po další transformaci projektů institucionální podpory na UO a katedra obhájila nový DZRO *Rozvoj metod hodnocení přírodního prostředí České republiky z hlediska obrany a ochrany jejího teritoria* (DZRO NATURENVIR) s dobou řešení 2016–2020 a získala pro něj financování. Cíle byly formulovány následovně:

- metody hodnocení přírodního prostředí z hlediska činnosti ozbrojených sil – zpřesňování vlivu půd na mobilitu vozidel;
- metody hodnocení možnosti pohybu kolové a pásové techniky po terénu při taktickém zasazení;
- metodika sběru dat o terénu pomocí bezkontaktních metod s využitím bezpilotních prostředků;
- zpřesňování faktorů modelu CCM.

Pokračoval systematický sběr dat a organizování testů nutných pro zpřesňování dílčích charakteristik faktorů ovlivňujících činnost ozbrojených sil z hlediska geografického prostředí i z hlediska vlivu počasí a byla dokončena pilotní verze modelu průchodnosti terénu založená na vyhodnocení statistických závislostí. Tato verze byla verifikována nad nezávislými daty. Rovněž byly zahájeny práce na

jeho publikování v prostředí CADs/GDS. Práce na DZRO NATURENVIR přinesla řadu nových poznatků:

- byla definitivně potvrzena nespolehlivost stávající metodiky GeoSI AČR hodnocení průchodnosti půd na území ČR;
- byly odvozeny korelační závislosti mezi potřebnými trakčními silami vozidel a parametry porostů (druh porostu, výčetní tloušťka);
- byly určeny a v terénu verifikovány matematické vztahy a algoritmické postupy pro stanovení možných kolizí podvozků vojenské techniky a povrchu terénu s využitím přesných výškových modelů;
- byl vytvořen nový postup hodnocení průchodnosti půd založený na hodnocení půdních charakteristik a meteorologických prvků;
- byly zpřesněny metody měření a vyhodnocení charakteristik stromových struktur smrku ztepilého včetně kořenových systémů s využitím metody elektrické impedance;
- byly určeny závislosti nadzemních a podzemních parametrů stromů z hlediska dálkové detekce parametrů překonávání lesních celků vojenskou technikou;
- byl zpřesněn postup analýzy mikroreliefních tvarů z digitálního modelu reliéfu pro stanovení možných kolizí podvozků vojenské techniky a tento postup byl verifikován v terénu;
- byla dokončena první verze komplexního Modelu průchodnosti terénu 4000 (MPT4000), která umožňuje modelovat rychlost vybraného vozidla v zadaném prostoru;

■ byla dokončena první verze procesní služby MPT4000 spustitelná v prostředí webu.

V roce 2020 došlo k další výrazné transformaci struktury dílčích záměrů po rozvoj organizace na UO, kterou přinesla nová definice strategických záměrů UO v pedagogické i tvůrčí činnosti. Katedra se zapojila do nového DZRO *Vojenské autonomní a robotické prostředky* (DZRO AUTONOM), odpovědným řešitelem dílčí části za katedru je doc. Ing. Vladimír Kovařík, MSc. Ph.D. Katedra obhájila následující ambiciózní cíle:

- analýza možností bezkontaktního sběru dat o půdách a dalších vrstvách terénu s cílem přípravy dat pro automatizované hodnocení průchodnosti terénu a jejich využití jak pro vozidla s řidičem, tak pro autonomní systémy;
- rozšíření modelu průchodnosti terénu MPT4000 o vlivy faktorů půd, počasí, mikroreliefu a hydrologie;
- adaptace modelu pro implementaci zaváděných standardů NATO pro geografická data;
- implementace metodických postupů modelování průchodnosti terénu do webových procesních služeb v Armádě České republiky;
- implementace modelu průchodnosti MPT4000 do mezinárodního projektu NATO Reference Mobility Model.

Závěr

Práce příslušníků katedry a mnoha dalších členů řešitelského týmu se setkala s uznáním a pozitivními ohlasy nejen u nás, ale

i v zahraničí. Mezi nejvýznamnější instituce oceňující výsledky této práce patří např. ERDC v USA nebo mezinárodní organizace ISVTS (International Society of Terrain Vehicle Systems). O řešenou problematiku byl projeven velký zájem v Alianci v rámci panelu STO NATO New Generation NATO Reference Mobility Model (NG NRMM).

Za velký úspěch spojený s dlouhodobou cílevědomou a kvalitní prací rozsáhlého týmu řešitelů na řešení problému lze považovat získání dvou mezinárodních projektů v roce 2020, jejichž hlavním řešitelem je doc. Rybanský. Prvním z nich je NATO STO Support Project (CZE-AVT-2019) *Determination of the trafficability of military vehicles in typical Central European forests* s dobou řešení 2020–2023, druhým je projekt FTAS FY20 *Evaluation of Czech Republic Tree Data as a Basis for a New US Forest Maneuverability Model* s dobou řešení 2020–2021.

Závěrem lze konstatovat, že otázka modelování průchodnosti terénu na katedře prošla dlouhým vývojem od první myšlenky a výhradně teoretického řešení, přes aplikaci praktických testů v terénu se zahrnutím velkého množství pozemní kolové a pásové techniky, až k upřesňování matematického modelu s terénním ověřováním jeho fungování a přípravou jeho implementace do CADs/GDS. Významnou součástí využití výsledků vědecké a publikační činnosti katedry v oblasti průchodnosti terénu je implementace poznatků do teoretické i praktické výuky studentů na UO.

Použité zkratky

BVP	bojové vozidlo pěchoty	MPT4000	Model průchodnosti terénu 4000
CADs/GDS	Celoarmádní datová síť / Globální datová síť	NATO	North Atlantic Treaty Organization
CCM	cross-country movement	NG NRMM	New Generation NATO Reference Mobility Model
ČR	Česká republika	POV	projekt obranného výzkumu
DZRO	dílčí záměr rozvoje organizace	UO	Univerzita obrany v Brně
ERDC	Engineer Research and Development Centre	USA	United States of America
GeoSI AČR	geografická služba Armády České republiky	VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
ISVTS	International Society of Terrain Vehicle Systems	VÚj	vojenský újezd

Použitá literatura a zdroje

- [1] RYBANSKÝ, Marian. Modelování vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu. *Habilitační práce*. Brno, Vojenská akademie, 2002.
- [2] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s. r. o., 2009. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [3] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. Modeling*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s. r. o., 2010. 99 p. ISBN 978-80-7204-717-8.
- [4] *Koncepce výstavby Armády České republiky 2025*. Praha : Ministerstvo obrany České republiky, 2015.
- [5] KOVAŘÍK, Vladimír; TALHOFER, Václav; RYBANSKÝ, Marian; HOFMAN, Alois; HUBÁČEK, Martin; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka. Terrain Analysis for Armed Forces. In: BRUS Jan; VONDRÁKOVÁ Alena; VOŽENÍLEK Vít. (Eds) *Modern Trends in Cartography. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Cham, 2015, pp. 519–532. ISBN 978-3-319-07925-7. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07926-4_39>.

Analýzy průchodnosti terénu – úvod

Doc. Ing. Marian Rybanský, CSc.

katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

Abstrakt

Mapy průchodnosti terénu vždy patřily k nejdůležitějším tematickým mapám, které sloužily pro podporu rozhodování ve vojenských operacích a tvořily nezbytnou součást geografické podpory vojsk. S rozvojem a nasazením výpočetní techniky a technologií geografických informačních systémů souvisí i nové metody modelování průchodnosti terénu vojenskou technikou založené na kalkulaci syntetického působení jednotlivých složek krajinné sféry na pohyb terénních vozidel. Koaliční NATO Reference Mobility Model nebo podobné národní modely průchodnosti jsou do značné míry výpočetně založeným souborem metodik, rovnic a algoritmů určených k předpovědi schopnosti vojenského vozidla pohybovat se ve volném terénu. Nejdůležitějším aspektem úspěchu těchto modelů je volba správné metodiky pro výpočet navigačních parametrů pro dané terénní vozidlo a odpovídající kvalita dostupných geografických dat. Cílem článku je analyzovat hlavní geografické faktory, které omezují schopnost vozidla překonávat různé typy terénu se zaměřením na orografické tvary zemského povrchu (sklony svahů), půdy, vodstvo, vegetaci, silnice, sídla a meteorologické faktory. Podrobnější analýza uvedených faktorů je uvedena v literatuře, na kterou článek odkazuje.

Cross-country movement analysis – introduction

Abstract

Cross-country movement maps have always been one of the most important thematic maps, which served to support decision-making in military operations and formed an essential part of the geographical support of military troops. The development and deployment of computer technology and GIS technology is also related to new methods of modelling the Cross-country movement by military vehicles, based on the calculation of the synthetic effect of individual components of the landscape on the movement of off-road vehicles. The NATO Reference Mobility Model or similar national models are a computationally based set of methodologies, equations, and algorithms designed to predict a military vehicle's ability to move in open terrain. The most important aspect of the success of these models is the choice of the correct methodology for calculating the navigation parameters for a given off-road vehicle and the corresponding quality of the available geographical data. The aim of the article is to analyse the main geographical factors that limit the vehicle's ability to overcome different types of terrain with a focus on orographic shapes of the earth's surface (slopes), soil, water, vegetation, roads, settlements and meteorological factors. A more detailed analysis of these factors is given in the literature to which the article refers.

Úvod

Moderní způsoby vedení bojové činnosti se zakládají na podrobných analýzách zájmového území využívajících nástroje geografických informačních systémů (GIS). Tyto analýzy v konečném důsledku zpravidla neřešíme izolovaně, ale komplexně s využitím různé úrovně dat GIS, které se mohou lišit stupněm podrobnosti, přesnosti, aktuálnosti a pokrytosti, formou apod. Hlavní analýzou, založenou na vyhodnocování vojenskogeografických podmínek prostoru bojové činnosti, je analýza průchodnosti území. Průchodnost území můžeme definovat jako míru technické způsobilosti konkrétních vozidel pohybovat se v terénu a překonávat různé překážky. Kvalifikované vyhodnocení průchodnosti terénu se zakládá na analýze jednotlivých geografických objektů a jevů krajinné sféry a jejich atributů v syntéze s parametry vojenských vozidel, s taktickými parametry a lidskými faktory.

Při vyhodnocování geografických objektů a jevů podmiňujících průchodnost území je hlavní pozornost zaměřena na sklonitost reliéfu, výskyt mikroreliéfu, porosty, půdy, klimatické poměry, vodstvo, sídla, komunikační poměry a další faktory.

1. Vojenskogeografické informační podklady pro hodnocení průchodnosti terénu

Ve většině armád světa jsou v rámci systému geografického zabezpečení pro pozemní operace připravovány vojenskogeografické informační podklady, které hodnotí prostory činnosti vojsk z hlediska jejich vlastností. Cílem tohoto hodnocení je připravit velitelům a štábům takové podklady, aby jejich rozhodování bylo optimalizované nejen z hlediska nasazení sil a prostředků, ale i vzhledem k charakteru terénu.

Vojenskogeografické informační podklady zpravidla obsahují nadstavbové prvky průchodnosti terénu. Potom však většinou patří mezi podklady spadající do režimů různých stupňů služebního a hospodářského utajení, protože mohou rozkrývat bojové možnosti dané armády. Z tohoto důvodu není možné uvedené podklady a projekty plně publikovat.

Geografická služba Armády České republiky (GeoSI AČR) se problematice hodnocení průchodnosti věnuje dlouhodobě. Zejména v souvislosti s rozvojem mobility armády zahájené v 50. letech 20. století byly zahájeny práce na tvorbě tematických (dříve speciálních) map. Tyto aktivity v zásadě pokračují dodnes [15].

Mezi hlavní vojenskogeografické informační podklady zpracované GeoSI AČR, které jsou zaměřeny na průchodnost terénu nebo které obsahují informace o průchodnosti a lze na nich průchodnost přímo analyzovat, patří:

- Mapa průchodnosti terénu 1 : 100 000 – již se neobnovuje;
- Mapa průchodnosti terénu 1 : 200 000 – již se neobnovuje;
- Mapa pro organizaci součinnosti 1 : 50 000 – již se neobnovuje;
- Vojenskogeografická mapa 1 : 500 000;
- Vojenskogeografické vyhodnocení České republiky.

Následující text je zaměřen na popis základních geografických faktorů a částečně i negeografických, které ovlivňují průchodnost terénu, na jejich klasifikaci a způsob kvantifikace jejich vlivu.

2. Klasifikace a kvantifikace geografických faktorů průchodnosti terénu

Pro klasifikaci a kvantifikaci geografických faktorů průchodnosti terénu je nezbytné stanovit:

- jednotlivé stupně průchodnosti;
- typizaci průchodnosti terénu podle druhu vojenských vozidel;

- geografické objekty a jevy, které mají hlavní vliv na průchodnost;
- další faktory (technické, osobní, prostřední atd.).

Ve vojenství se rozlišují tři základní stupně průchodnosti terénu (v závorce jsou uvedeny standardní termíny NATO):

- průchodný terén (GO);
- obtížně průchodný terén (SLOW GO);
- neprůchodný terén (NO GO).

Z hlediska používaných přepravních prostředků pro přesuny rozlišujeme vzhledem k průchodnosti tyto základní typy terénu:

- terén průchodný pro pásová vozidla;
- terén průchodný pro kolová vozidla;
- terén průchodný pro ostatní druhy transportní techniky;
- terén průchodný pro pěší vojska.

Mezi geografické faktory (objekty a jevy), které podmiňují průchodnost terénu a výběr přístupových cest (v pozitivním i negativním smyslu), patří zejména:

- sklon reliéfu terénu a mikoreliéfní tvary;
- porosty;
- půdní poměry;
- klimatické podmínky;
- vodní plochy, vodní toky;
- sídla;
- komunikace;
- další přírodní a umělé objekty.

Tyto základní faktory budou dále označovány a děleny na jednotlivé dílčí faktory následovně:

- F_1 reliéf:
 - F_{11} sklon svahu,
 - F_{12} mikoreliéf;
- F_2 porosty:
 - F_{21} rozestup stromů,
 - F_{22} průměr kmene,
 - F_{23} výška stromu,
 - F_{24} druh stromu,
 - F_{25} charakter kořenové soustavy;
- F_3 půdy:
 - F_{31} půdní druh, půdní typ,
 - F_{32} půdní kryt,
 - F_{33} drsnost povrchu;
- F_4 klimatické (meteorologické) podmínky:
 - F_{41} suché období,
 - F_{42} vlhké období,
 - F_{43} mokré období (nepříznivé podmínky);
- F_5 vodstvo:
 - F_{51} druh vodstva,
 - F_{52} hloubka,
 - F_{53} šířka vodních toků,
 - F_{54} rychlost proudu,
 - F_{55} charakter dna,
 - F_{56} charakter břehu (sklon břehu);

- F_6 sídla:
 - F_{61} zástavba bloková,
 - F_{62} zástavba vilová,
 - F_{63} chatová zástavba;
- F_7 komunikace:
 - F_{71} dálnice,
 - F_{72} silnice 1. kategorie,
 - F_{73} silnice 2. kategorie,
 - F_{74} silnice 3. kategorie,
 - F_{75} zpevněné cesty, polní a lesní cesty;
- F_8 další faktory:
 - F_{81} technické (druh vozidla, technický stav vozidla),
 - F_{82} osobní (zkušenosti řidiče),
 - F_{83} prostředí (známé, neznámé, ovlivněné bojovou činností (minováním, záplavami, požáry, destrukcí komunikací a dalších objektů...), roční nebo denní doba (den, noc), atd.),
 - F_{84} charakter činnosti (mírová, válečná), atd.

Uvedené faktory vzájemně úzce souvisí a mají společný vliv na průchodnost, což se projevuje snížením rychlosti (nebo zastavením) pohybu určité formace vojsk vyjádřené násobným koeficientem zpomalení c nebo hodnotou 0–100 % vzhledem k hypoteticky stanoveným optimálním podmínkám pro přesun. K modelování průchodnosti terénu, tj. závislosti rychlosti pohybu vojenských vozidel na geografických faktorech, lze využít různé materiální (přirozené, umělé) a myšlenkové (opisné, grafické, matematické) modely.

Pro modelování průchodnosti terénu se jako nejexaktnější jeví metody matematického modelování (statistické, analytické a statisticko-analytické modely).

Společný vliv geografických faktorů na snížení rychlosti (nebo zastavení) pohybu vozidel v daném úseku dráhy lze vyjádřit vztahem:

$$v_j = f(v_{max}, C_1, C_2, \dots, C_n), \quad (1)$$

$$j = 1, \dots, k,$$

kde je

v_j rychlost vozidla v j -tém úseku dráhy vozidla [km/h],

v_{max} maximální rychlost vozidla na komunikaci [km/h],

C_i i -tý koeficient zpomalení vlivem faktoru F_i počítaný pro úsek j , ve kterém se hodnoty C_i nemění,

n počet geografických faktorů působících v daném úseku terénu,

k počet úseků na dráze vozidla.

Určení výsledné hodnoty rychlosti jízdy vozidla podle vztahu (1) není reálné, protože nelze zatím určit vzájemný vztah mezi množinou koeficientů C_i a touto rychlostí, a to jak z hlediska nekonečného

počtu vazeb mezi uvedenými geografickými faktory danými proměnlivostí krajinné sféry v prostoru a čase, tak i z hlediska nereálnosti testování průchodnosti ve všech specifických formách terénu. Vztah (1) lze ovšem zredukovat na tvar (2) a také (3), ve kterých se určují diferenciální závislosti průchodnosti terénu (rychlosti pohybu vozidel) na jednotlivých geografických faktorech (koeficientech zpomalení) nebo na celkovém koeficientu zpomalení C_j v daném j -tém úseku dráhy.

$$v_j = v_{max} \prod_{i=1}^n C_i, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, k,$$

kde je

$$\prod_{i=1}^n C_i = C_j$$

pro

$$i = 1, \dots, n.$$

Dále je možno vypočítat výsledný vliv všech geografických faktorů na rychlost (zpomalení) vozidla po celé dráze v terénu, která se vyjádří vztahem:

$$v = \frac{1}{\sum_1^k w_j} \sum_1^k w_j v_j, \quad (3)$$

$$j = 1, \dots, k, \quad w_j = \frac{s_j}{\sum_1^k s_j},$$

kde je

v průměrná rychlost vozidla po celé dráze v terénu [km/h],

w_j váha přidělená hodnotě v_j v závislosti na délce úseku s_j ,

s_j délka j -tého úseku [km],

k počet úseků na dráze vozidla.

Pokud se na dráze vozidla v terénu vyskytuje úsek, který je neprůchodný, potom se tento úsek do výpočtu celkové rychlosti nezahrnuje. Jestliže tento případ nastane, nepočítá se rychlost v celé dráhy (omezená začátkem a koncem dráhy), ale parciální rychlosti v_p (omezené začátkem dráhy, neprůchodnými úseky a koncem dráhy). Pro neprůchodné úseky je nutné zvolit objížďku. Jednotlivé koeficienty zpomalení jízdy mohou být (vzhledem k ostatním geografickým faktorům) určovány relativně nezávisle (např. koeficient zpomalení vlivem sklonu svahu reliéfu) nebo závisle (např. změna zpomalení vlivem půdních parametrů nebo vodstva, v závislosti na klimatických podmínkách). Rovněž jednotlivé koeficienty zpomalení náležící konkrétním geografickým faktorům mohou být závislé na řadě dílčích faktorů (např. závislost koeficientu zpomalení vlivem porostů na vzdálenosti mezi stromy, průměrech kmenů stromů, parametrech vozidla, atd.). Syntetický charakter působení uvedených faktorů na průchodnost terénu

lze (za předpokladu možnosti realizace odpovídajícího množství praktických testování) modelovat pomocí metody diskriminační analýzy. V následujících kapitolách je popsána klasifikace jednotlivých výše uvedených geografických faktorů a metodika určování jejich vlivu na průchodnost území.

3. Vliv sklonu reliéfu terénu a mikroreliéfních tvarů na průchodnost území

Sklon reliéfu a mikroreliéfní tvary patří mezi hlavní faktory podmiňující průchodnost území, protože každá (vzhledem k rozměrům a technickým vlastnostem vozidel) významná elementární plocha má určitý sklon a v nejšířším slova smyslu i vlastní mikroreliéfní strukturu.

Výpočet celkového výsledného koeficientu zpomalení vozidla vlivem reliéfu a mikroreliéfu je pro vymezenou plochu dán vztahem:

$$C_1 = C_{11}C_{12}, \quad (4)$$

kde je

C_{11} koeficient zpomalení vlivem faktoru svažitosti,

C_{12} koeficient zpomalení vlivem faktoru mikroreliéfu.

Průchodnost a dosaženou rychlost v terénu budou vedle sklonu reliéfu a mikroreliéfu terénu rovněž ovlivňovat i dále uvedené technické parametry vozidel.

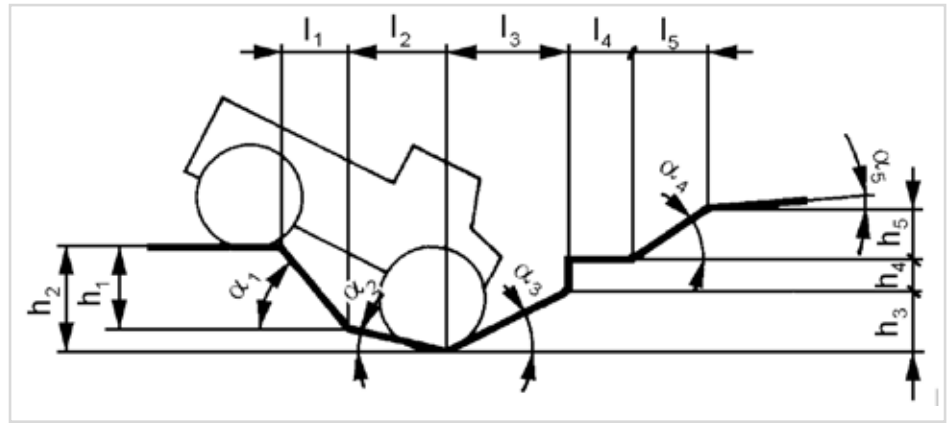
3.1 Vliv sklonů reliéfu terénu na průchodnost

Sklony reliéfu lze obecně určovat z digitálních modelů reliéfu terénu, případně z topografických map. Pro výpočty jízdních vlastností vozidel vlivem reliéfu terénu je nutno znát:

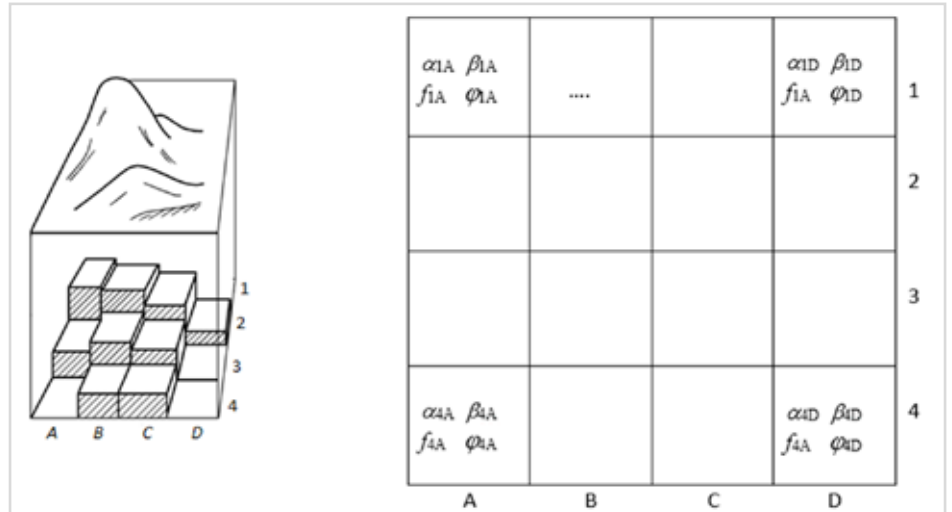
- profil terénu, po kterém se vozidlo pohybuje, a interpolační funkce pro výpočet podrobných bodů profilu;
- koeficienty zpomalení jízdy vlivem sklonů reliéfu terénu;
- kritické hodnoty sklonů svahů (pro stoupání, smyk a převrácení vozidla);
- další základní charakteristiky povrchu (součinitel odporu valení, součinitel adheze, atd.) – viz také [6].

Popis profilu terénu na trase vozidla

Jízdní podmínky vozidel jsou značně proměnlivé. Vliv drobných nerovností povrchu jízdní dráhy se často zahrnuje do součinitele odporu valení, který pak závisí na velikosti, četnosti a tvaru těchto nerovností. Budeme-li předpokládat na jízdní dráze vozidla konstantní profil terénu v příčném směru, pak je možno jízdní dráhu v prostoru popsat pomocí



Obr. 1 Popis dráhy vozidla pomocí délkových, výškových a úhlových rozměrů terénu

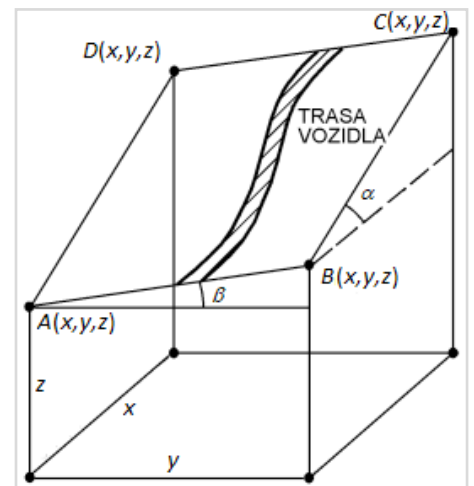


Obr. 2 Popis reliéfu terénu pomocí dílčích ploch

délkových, výškových a úhlových rozměrů [10], jak je schematicky naznačeno na obrázku 1.

Tento způsob plně vyhovuje pouze při popisu umělých překážek, které jsou obvykle tvořeny rovinnými plochami, protože obecně se profil terénu mění i v příčném směru. Další možností je rozdělit plochu terénu na dílčí plochy a každou z nich popsat přiřazením hodnot, které ji budou charakterizovat (podélný sklon – α , příčný sklon – β , součinitel odporu valení – f a součinitel adheze – φ). Čím menší tyto plochy budou, tím přesnější výpočty z hlediska pohybu vozidla je možno provést (obr. 2).

V současné době je možno tento způsob popisu realizovat odečtením z digitálních modelů reliéfu (nebo map) v síti se vzdáleností jednotlivých bodů (podle použitého modelu) řádově v jednotkách až desítkách metrů. I když je tato přesnost popisu z hlediska rozměrů vozidel někdy nedostačující, lze tyto modely použít pro praktické výpočty pohybu vozidel určité kategorie po dané trase. U uvažované diferenciální rovinné plochy, po které se dané vozidlo pohybuje, můžeme vypočítat její podélný sklon (α) ve směru trasy vozidla a příčný sklon (β) – viz obrázek 3.



Obr. 3 Výpočet podélného a příčného sklonu ve směru trasy

Budeme-li uvažovat obecnou orientaci roviny v pevném souřadnicovém systému, pak podélný sklon ve směru trasy vozidla určovaný z nejbližších krajních bodů maticového modelu bude podle obrázku 3:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{z_C - z_B}{x_C - x_B}\right). \quad (5)$$

Výpočet příčného sklonu reliéfu terénu mezi body B a C bude podle obrázku 3:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{z_C - z_B}{BC}\right). \quad (6)$$

Výpočet koeficientu zpomalení vozidla vlivem sklonu reliéfu (C_{11})

Koeficient zpomalení vlivem faktoru svažitosti C_{11} je možno určit např. těmito způsoby:

- podle metodiky Defense Mapping Agency (DMA) [1];
- na základě trakčních diagramů jednotlivých vozidel [3];
- matematickým modelováním na základě praktického testování v terénu [4].

Určení C_{11} podle metodiky DMA

Na základě hodnoty sklonu svahu a níže uvedených parametrů vozidla se vypočte:

$$C_{11} = \frac{\text{Grad}T_{max} - SH}{\text{Grad}K_{max} - v_{max}}, \quad (7)$$

- kde je
- $\text{Grad}T_{max}$ maximální schopnost stoupání vozidla v terénu [°, %],
 - $\text{Grad}K_{max}$ maximální schopnost stoupání vozidla na komunikaci [°, %],
 - SH střední hodnota sklonu svahu [°, %],
 - v_{max} maximální rychlost vozidla na komunikaci.

Určení C_{11} na základě trakčních diagramů

Koeficient zpomalení vlivem faktoru svažitosti C_{11} je možno rovněž určit na základě

trakčních diagramů jednotlivých vozidel, podrobněji viz [3].

S využitím výše uvedených údajů podélného a příčného sklonu, součinitele odporu valení a adheze a parametrů vozidla lze vypočíst, zda vozidlo daným úsekem projede a jak se při jízdě bude chovat. Z hlediska posouzení průchodnosti jsou důležité zejména tyto údaje:

- dosažitelná rychlost jízdy (případně zrychlení);
- podmínky, při kterých dojde ke smyku v podélném, nebo příčném směru;
- podmínky, při kterých dojde ke ztrátě říditelnosti a převrácení v podélném, či příčném směru.

Trakční diagram je vyjádřením závislosti hnacích sil a jízdních odporů na rychlosti jízdy vozidla. Na vodorovné

ose grafu je vynesena rychlost jízdy v , na svislých osách trakční síla F a sklon svahu v % (obr. 4).

Určení C_{11} na základě praktického testování

Koeficient zpomalení vlivem faktoru svažitosti C_{11} byl pro základní typy vozidel určen na základě praktických testů v terénu [3], [4].

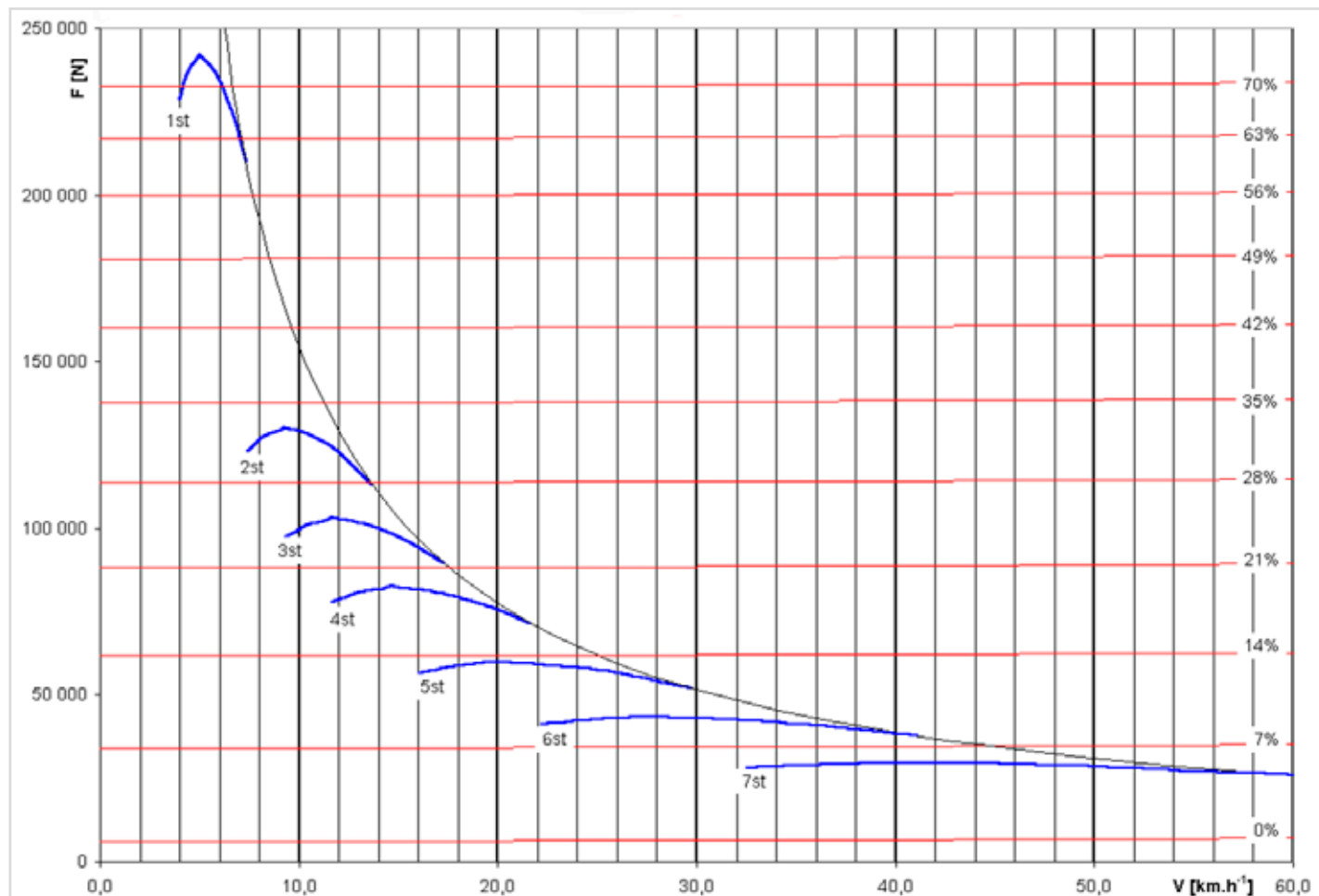
Pro výpočet předpokládané rychlosti jízdy po komunikacích, polních a lesních cestách a v terénu je možno použít vztah:

$$v_{skut} = v_{max} C_{11}, \quad (8)$$

- kde je
- v_{max} maximální rychlost jízdy udávaná pro vozidlo,
 - C_{11} násobný koeficient zpomalení podle tabulky 1.

Tab. 1 Průměrné násobné koeficienty zpomalení pohybu vojenských vozidel ve volném terénu a na komunikacích [3]

Typ vozovky	Osobní terénní automobily	Střední nákladní terénní automobily	Těžké nákladní terénní automobily	Bojová vozidla pěchoty	Tanky
Terén	0,22	0,31	0,28	0,42	0,41
Polní a lesní cesty	0,43	0,53	0,52	0,58	0,53
Silnice	0,72	0,86	0,84	0,72	0,72



Obr. 4 Trakční diagram pro tank T-72

3.2 Vliv mikroreliefu terénu na průchodnost

Mikrorelief terénu můžeme definovat jako přírodní a umělé vyvýšené i vhloubené reliéfní tvary, které se nedají vzhledem ke svému relativnímu převýšením vyjádřit pomocí vrstevnic nebo pomocí jiné základní metody zobrazení výškopisu a nelze spolehlivě jejich tvar určit z výškových modelů terénu (např. Digitálního modelu reliéfu 5). Mezi mikroreliefní tvary patří zejména – viz tabulku 2:

- srázy (terénní stupně), tj. skalní srázy, půdní sesuvy, terasy, násypy a výkopy u komunikací, vodních toků apod.;
- rokle, erozní rýhy a výmoly vodních toků a dešťové vody, krasové doliny, závrty;
- skupiny skal, balvanů, kamenná a suťová pole a řady, kopečkovitý reliéf;
- jámy, haldy a další tvary vytvořené působením přírodních (zejména vnějších) sil a antropogenní činností lidské společnosti.

Z hlediska četnosti výskytu jednotlivých typů mikroreliefních tvarů na území České republiky (ČR) převládají vhloubené mikroreliefní erozní rýhy a koryta vodních toků a tvary umělé (především násypy a výkopy u komunikací). Podrobněji je metodika určování vlivu mikroreliefních tvarů na průchodnost vojenských vozidel popsána v [6] a [14].

4. Vliv porostů na průchodnost

Při určování průchodnosti porostů můžeme vegetaci rozdělit na lesní celky a ostatní porosty, jako jsou sady, chmelnice, zemědělské porosty, atd., jejichž vliv na průchodnost terénu je blíže popsán v [6]. Lesy jsou jedním z nejdůležitějších prvků terénu (pokrývají 33,3 % území ČR). Průchodnost lesních celků ovlivňují především tyto faktory:

- pokrytost terénu porosty, kterou lze vyjádřit poměrným číslem lesních ploch nebo všech porostů k celkové ploše daného území (uvádí se v %);

- struktura (relativní poloha, velikost, tvar, orientace) dílčích lesních celků;
- skladba a specifické charakteristiky dřevin:
 - výška porostů, která ovlivňuje průjezdnost při horizontální poloze stromů u násilných přejezdů a po vývratech a polomech,
 - tloušťka kmenů měřená ve výšce 1,3 m nad terémem,
 - vzdálenosti mezi kmeny stromů (resp. tzv. průměrné stromové rozestupy),
 - tvrdost, pružnost, charakter zakořenění a rozsah větvení.

Výše uvedené faktory navzájem úzce souvisí. Průchodnost lesních celků je taky v úzké korelaci s dalšími faktory, a to zejména se svažitostí terénu a s půdními a klimatickými poměry. Pohyb vojenské techniky v lesních porostech je možný manévrováním mezi stromy, případně kombinací manévrování a překonávání stromů průrazem (u těžké obrněné techniky, např. u tanků a bojových vozidel pěchoty – BVP). Pro stanovení koeficientu zpomalení nebo zastavení vozidla vlivem faktoru porostů a pro výpočetní modelování průchodnosti vegetace lze zvolit tyto metody:

- určení koeficientu zpomalení vozidla metodou simulace jízdy v lese;
- určení překonatelnosti kmenů stromů vojenskými vozidly ověřenými praktickými zkouškami.

4.1 Určení koeficientu zpomalení vozidla metodou simulace jízdy v lese

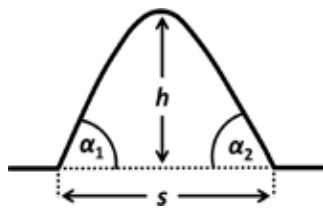
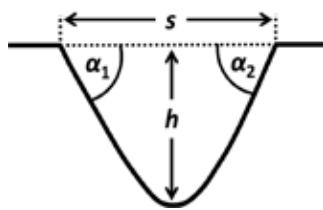
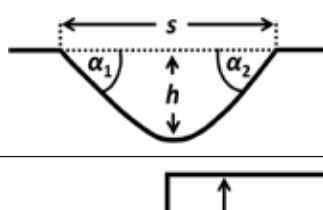


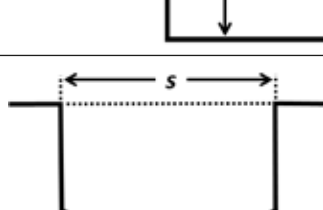
Pro stanovení průjezdnosti vozidel v lesních celcích je nutno stanovit parametry, které mají hlavní vliv na zpomalení nebo zastavení pohybu vozidla, a to vzdálenosti mezi stromy (udávané jako rozestupy mezi středy kmenů) a tloušťky (průměry) kmenů stromů zpravidla udávané ve výšce 1,3 m nad povrchem terénu.

K určení koeficientu zpomalení vozidla (C_2) metodou simulace jízdy v lese je nezbytné:

- stanovit vhodné informační podklady pro získávání uvedených charakteristik;
- vytvořit model průchodnosti lesních porostů;
- určit samotný koeficient zpomalení nebo zastavení (u neprůjezdné vegetace).

Stěžejním problémem určení průchodnosti lesních porostů je určení pozic (souřadnic) stromů a odolnosti vegetace při jejím překonávání těžkou technikou. I když existují metody určení pozic jednotlivých stromů, např. pomocí dat z leteckých měřických snímků (LMS), laserového skenování a radarových dat, tyto technologie jsou pro přesné učení struktury lesních

Tab. 2 Hodnotící parametry profilu základních mikroreliefních tvarů

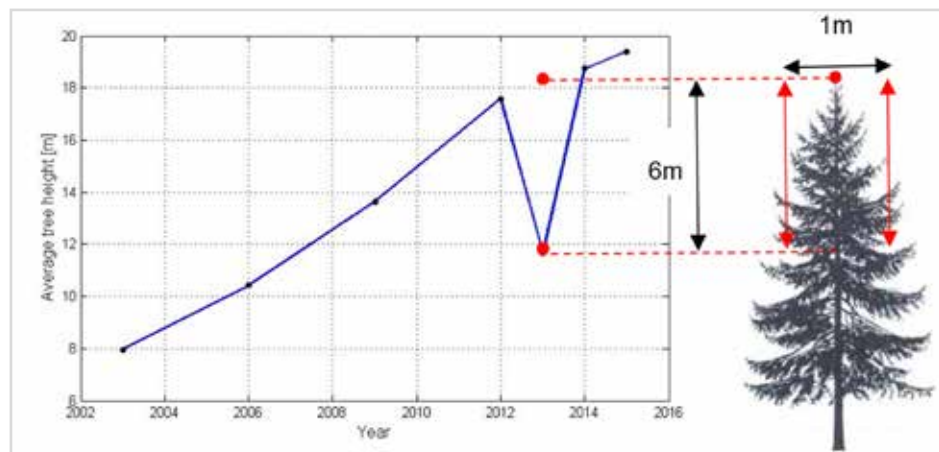
Číslo	Název	Schéma tvaru	Hodnotící parametry
1	násyp		- sklony svahů (α_1, α_2) - výška násypu (h) - šířka násypu (s)
2	výkop		- sklony svahů (α_1, α_2) - výška výkopu (h) - šířka výkopu (s)
3	jáma, kráter		- sklony svahů (α_1, α_2) - výška jámy (h) - šířka jámy (s)
4	terénní stupeň (výstup)		- výška stupně (h)
5	terénní stupeň (sestup)		- výška stupně (h)
6	okop, příkop (přejezd)		- šířka okopu (s)

celků z hlediska jejich průchodnosti stále ve fázi vývoje a obecně platí, že určení souřadnic kmenů jehličnatých porostů je přesnější než u listnatých stromů, které mají složitější větvení a zápoje korun. Jako podklad pro určování parametrů průchodnosti v porostech lze na území ČR částečně využít data Digitálního modelu území 25, Digitálního modelu povrchu 1 (DMP1), podrobné porostní mapy lesních hospodářských celků (LHC) a letecká nebo družicová data (multispektrální snímky, laserová, radarová a další data). Využití dat DMP1

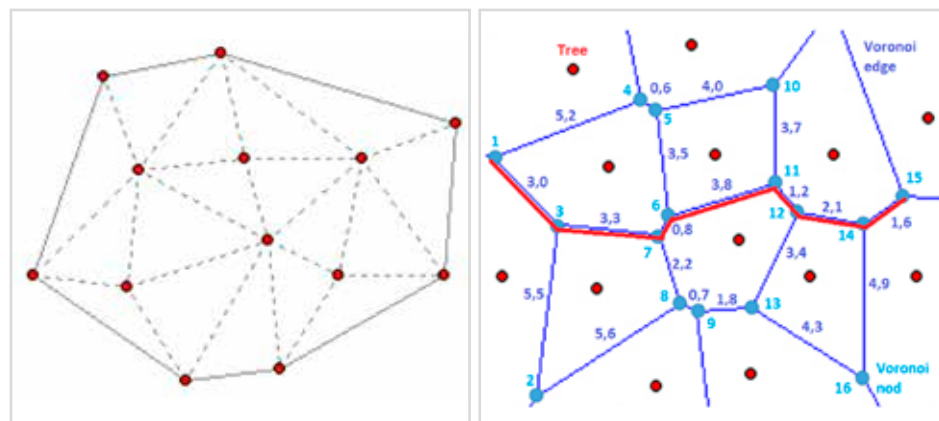
je zatím nejprogressivnější cestou, jak zjistit strukturu porostů na území ČR. Tato data pokrývají na rozdíl od dat LHC celé území ČR a lze je využít v procesu automatizovaného vyhodnocení průchodnosti. Nevýhodou těchto dat je jejich zastarání v čase a taky menší přesnost při určování výšky a struktury vegetace vlivem hustoty skenovaných bodů (viz obr. 5) v porovnání s aktuálnějšími LMS – viz [13].

Určení koeficientu zpomalení vozidla (C_z) metodou simulace jízdy v lese lze stanovit jako poměr přímé a reálné vzdá-

lenosti mezi počátečním a koncovým bodem pohybu – viz obrázek 6. Červené body jsou pozice jednotlivých stromů, Voroného hrany jsou kolmice na úsečky spojující nejbližší 3 sousední stromy do sítě TIN pomocí Dalanuyaho triangulace. Nejkratší trasa vozidla mezi bodovými překážkami vede po Voroného hranách přes Voroného uzly a počítá se jako minimální součet délek Voroného hran pomocí algoritmu Dijkstra. Tuto lomenou čáru lze nahradit plynulou křivkou v závislosti na bezpečné vzdálenosti vozidla od jednotlivých stromů – viz [6].



Obr. 5 Některá data Digitálního modelu území 25, Digitálního modelu povrchu 1 (DMP1), podrobné porostní mapy lesních hospodářských celků (LHC) a letecká nebo družicová data (multispektrální snímky, laserová, radarová a další data). Využití dat DMP1



Obr. 6 Princip určení nejkratší trasy vozidla mezi bodovými (stromovými) překážkami



Obr. 7 Tlaková zkouška překonatelnosti stromů pásovým vozidlem BVP-2 (foto M. Rybanský)

4.2 Určení překonatelnosti kmenů stromů vojenskými vozidly

Určení překonatelnosti kmenů stromů vojenskými vozidly je možné přibližně určit výpočtem, kde je kalkulován odpor stromu na jedné straně a energie vozidla daná jeho hmotností a rychlostí pohybu na straně druhé – podrobněji viz [16]. Jiný způsob určení překonatelnosti stromů jsou praktické testy v terénu, a to tlakové zkoušky (obr. 7), nebo zkoušky tahové.

Tahovou sílu lze měřit pomocí dynamometru v jednom směru. Nárazové zkoušky jsou na měření náročnější, ale jejich výhodou je, že tlakové síly lze měřit ve třech směrech, a to i pro více stromů najednou. Uvedené testy jsou předmětem současné výzkumné činnosti na Univerzitě obrany v Brně (UO).

Smyslem tohoto testování je určit, které stromy (dle druhu a průměru kmenů) je, resp. není vojenská technika schopna překonat. Tyto údaje pak vstupují do modelů pohybu vozidla v lesním porostu.

5. Vliv půd na průchodnost

Půdy pokrývají většinu našeho území, a proto jsou jedním z nejdůležitějších prvků terénu z hlediska průchodnosti území. Vzhledem k průchodnosti terénu rozlišujeme jednotlivé typy a druhy půd, které různou měrou ovlivňují mobilitu vojsk v závislosti na konkrétní struktuře přepravních prostředků a klimatických (meteorologických) poměrech daných především úhrnným množstvím srážek na daném území. Půdy a klimatické podmínky vzhledem k průchodnosti terénu velmi úzce souvisí a proto budou popisovány v této kapitole společně. Konkrétní zrnitost, chemicko-fyzikální složení zrn a nasycenost vodou determinují únosnost, plasticitu, lepivost, adhezní koeficient a valivý odpor kol (pásů) vozidel. Průchodnost půd ovlivňuje i povrch půd (pokrytost rostlinstvem) a drsnost povrchu terénu. Průchodnost půd taky úzce souvisí se sklonem a členitostí terénu (viz kap. 3).

Tab. 3 Rozdělení půd do jednotlivých skupin podle jednotné klasifikace v NATO

Jednotná klasifikace půd (včetně identifikace a popisu)						
Hlavní rozdělení		Symboly skupin	Typické názvy	Polní identifikační postupy (s výjimkou částic větších jak 3" a základními frakcemi odhadnuté vody)		
1	2	3	4	5		
Hrubá – zrnité půdy Více jak polovina materiálu je větší než síto č. 200	Štěrky – více jak polovina hrubé frakce je větší než síto č. 4 (Pro vizuální klasifikaci je možno použít velikost 1/4" jako ekvivalent síta č. 4)	GW	Dobře roztríděné štěrky, směsi štěrku a písku, málo nebo bez jemného podílu.	Široký rozsah zrnění a podstatné množství všech mezistupňů zrna.		
		GP	Málo tříděné štěrky nebo směsi štěrku a písku, málo nebo bez jemného podílu.	Převážně jedna velikost nebo různé velikosti bez některých mezistupňů velikosti.		
		GM	Bahnitý štěrk, směsi štěrku – písku – bahna.	Neplastické jemné podíly nebo jemné podíly s nízkou plasticitou (identifikační postup viz ML níže).		
		GC	Jílovitý štěrk, směsi štěrku – písku – jílu.	Plastické jemné podíly (identifikační postup viz CL níže).		
	Písky – více jak polovina hrubé frakce je menší než síto č. 4 (Pro vizuální klasifikaci je možno použít velikost 1/4" jako ekvivalent síta č. 4)	Čistší štěrky (málo nebo bez jemného podílu)	SW	Dobře tříděné písky, štěrkopísky, málo nebo bez jemného podílu.	Široký rozsah zrnění a podstatné množství všech mezistupňů velikosti.	
			SP	Málo tříděné písky nebo štěrkopísky, málo nebo bez jemného podílu.	Převážně jedna velikost nebo rozsah zrnění bez některých mezistupňů.	
		Písky s jemným podílem (zjistitelné množství jemného podílu)	SM	Bahnité písky, směsi bahna a písku.	Neplastické jemné podíly nebo jemné podíly s nízkou plasticitou (identifikační postup viz ML – níže).	
			SC	Jílovité písky, směsi písku a jílu.	Plastické jemné podíly (identifikace viz CL – níže).	
			Identifikační postupy frakcí menších než síto č. 40			
				Pevnost za sucha (charakteristika drcení)	Rozažnost (reakce vůči otřásání)	Houževnatost (konzistence blízká PL)
Jemné – zrnité půdy Více jak polovina materiálu je větší než síto č. 200	Bahno a jíl tekutý podíl je menší než 50 %	ML	Anorganická bahna a velmi jemné písky a kamenitý prach, bahnité nebo jílovité jemné písky nebo jílovité bahno s mírnou plasticitou.	žádná až mírná	rychlá až pomalá	žádná
		CL	Anorganické jíly s nízkou až střední plasticitou, štěrkový jíl, pískovitý jíl, bahnitý jíl, hubený jíl.	střední až vysoká	žádná až velmi pomalá	střední
		OL	Organická bahna a organické bahnité jíly nízké plasticity.	mírná až střední	pomalá	mírná
	Bahno a jíl tekutý podíl je větší než 50 %	MH	Anorganická bahna, slídivité nebo křemelinové jemné písky nebo bahnité půdy, pružná bahna.	mírná až střední	pomalá až žádná	mírná až střední
		CH	Anorganické jíly s vysokou plasticitou, mastné jíly.	vysoká až velmi vysoká	žádná	vysoká
		OH	Organické jíly střední až vysoké plasticity, organická bahna.	střední až vysoká	žádná až velmi pomalá	mírná až střední
Vysoce organické půdy	PT	Rašelina a jiné vysoce organické půdy.	Snadno identifikovatelné dle barvy, zápachu, houbovitého charakteru a běžně vláknité struktury.			

Uvedené faktory mají hlavní vliv na koeficient zpomalení přesunu vozidel vlivem faktoru půd (C_3), který je dán vztahem:

$$C_3 = \prod_{i=1}^3 C_{3i}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (9)$$

kde je

- C_3 koeficient zpomalení vlivem faktoru půd,
- C_{31} koeficient zpomalení vlivem faktoru půdního druhu (typu),
- C_{32} koeficient zpomalení vlivem faktoru půdního krytu (druhu rostlin),
- C_{33} koeficient zpomalení vlivem faktoru drsnosti povrchu.

Určení koeficientu C_{31}

Zjištění velikosti koeficientu C_{31} se zpravidla zakládá na zjištění stupně odporu zeminy vůči přenášenému tlaku nebo smyku. Mezi základní metody, které se ke zjišťování únosnosti půd využívají, patří:

- statická penetrační zkouška pomocí mechanického penetrometru s kuželovým hrotem, kde se měří tlak, kterým zatlačujeme hrot penetrometru do stanovených hloubek půdního povrchu;
- zatěžkávací zkouška deskou (bevametrem);
- vrtulková smyková zkouška soudržnosti zemin (měří se velikost krouticího momentu vrtulky, která se točí konstantní rychlostí při jejím postupném pronikání do podloží);
- ruční zkoušky, atd.

Existuje několik v praxi zavedených modelů určování průchodnosti půd vojenskými vozidly – podrobněji viz [11]. Model GeoSI AČR vychází ze studie [2], kdy koeficient C_{31} je dán typem a druhem půd a srážkových poměrů. Půdní typ pro daný úsek lze určit pomocí Účelové databáze půdy (ÚDB Půdy) nebo Syntetické půdní mapy ČR 1 : 200 000. Uvedená metodika umožňuje stanovení pouze 3 stupňů průchodnosti půd (průchodné, obtížně průchodné a neprůchodné) a nezohledňuje technické parametry vozidel.

Model průchodnosti NATO vychází z postupu navrženého v Engineer Research and Development Center (USA) založeného na rozdělení půd do 15 kategorií podle půdní zrnitosti, určené pomocí sít o různé velikosti otvorů (viz tab. 3).

Rozdělení půd do skupin je prováděno složitými testy, kde se hodnotí půdy podle:

- zrnitosti půdy (viz v tabulce uvedené velikosti sít);
- hodnoty limitu ztekucení půdy (v závislosti na obsahu vody v půdě);
- hodnoty limitu plasticity půdy (v závislosti na obsahu vody v půdě).

Princip určení únosnosti půd vychází z porovnání tzv. Rating Cone Index (RCI) odpovídajícímu změřenému tlaku na kuželovém penetrometru pronikajícím do volné půdy a měrného válce a tzv. Vehicle Cone Index (VCI) odpovídajícímu tlaku vozidla (kol nebo pásů) na styčnou plochu povrchu terénu.

Hodnota C_{31} se určuje odděleně pro tři kategorie klimatických podmínek (suché, vlhké a mokré období) podle vzorce:

$$C_{31} = \frac{RCI_n - VCI_1}{VCI_{50} - VCI_1}, \quad n = 1, 2, 3, \quad (10)$$

kde je

- C_{31} koeficient zpomalení vlivem faktoru půdního druhu (typu);
- RCI_n koeficienty jednotlivých skupin půd pro tři kategorie klimatických (meteorologických) podmínek;
- RCI_1 koeficient půd pro suché období, určuje se z tabulky 4,

- RCI_2 koeficient půd pro vlhké období, určuje se z tabulky 4,
- RCI_3 koeficient půd pro mokré období, určuje se z tabulky 4;
- VCI_1, VCI_{50} parametry vozidla a znamenají: kuželový index vozidla = průměrné zhutnění zeminy pro první průjezd, kuželový index vozidla = průměrné zhutnění zeminy po padesátém průjezdu vozidla stejnou stopou.

Podrobný postup určení hodnot RCI a VCI je uveden v [11].

Poznámka: V současné době lze „model NATO“ k výpočtu C_{31} pro území ČR spolehlivě použít za předpokladu dalšího zpřesnění převodního vztahu mezi výše uvedenou „Jednotnou klasifikací půd“, která je standardizovaná v NATO, a půdními druhy definovanými na území ČR.

Tab. 4 Hodnoty RCI_n

Symboly skupin	Typické názvy	Hodnoty RCI_n		
		RCI_1	RCI_2	RCI_3
GW	Dobře roztříděné štěrky, směsi štěrku a písku, málo nebo bez jemného podílu.	163	123	83
GP	Málo tříděné štěrky nebo směsi štěrku a písku, málo nebo bez jemného podílu.	160	120	81
GM	Bahnitý štěrk, směsi štěrku, písku, bahna.	120	76	32
GC	Jílovitý štěrk, směsi štěrku, písku, jílu.	130	91	52
SW	Dobře tříděné písky, štěrkopísky, málo nebo bez jemného podílu.	155	116	78
SP	Málo tříděné písky nebo štěrkopísky, málo nebo bez jemného podílu.	145	109	73
SM	Bahnité písky, směsi bahna a písku.	119	72	25
SC	Jílovité písky, směsi písku a jílu.	126	86	46
ML	Anorganická bahna a velmi jemné písky a kamenitý prach, bahnité nebo jílovité jemné písky anebo jílovité bahno s mírnou plasticitou.	118	69	20
CL	Anorganické jíly s nízkou až střední plasticitou, štěrkový jíl, pískovitý jíl, bahnitý jíl, hubený jíl.	123	81	40
OL	Organická bahna a organické bahnité jíly nízké plasticity.	11	57	3
MH	Anorganická bahna, slídkovitá nebo křemelinová jemná písky nebo bahnité půdy, pružná bahna.	114	61	8
CH	Anorganické jíly s vysokou plasticitou, mastné jíly.	136	99	62
OH	Organické jíly střední až vysoké plasticity, organická bahna.	107	54	1
PT	Rašelina a jiné vysoce organické půdy.	106	52	0

Určení koeficientu C_{32}

Hodnotu tohoto koeficientu lze určit na základě výsledků expertního průzkumu podle [5] pomocí tabulky 5.

Určení koeficientu C_{33}

Při určování tohoto koeficientu se hodnotí drsnost povrchu (tedy nerovnosti povrchu různého původu) působící na rychlost vozidla. Koeficient C_{33} se dále určuje pro oblasti potenciálních sesuvů půdy, lomů a dolů, zahrnuje i možnou sněhovou pokrývku.

Hodnotu tohoto koeficientu lze určit na základě výsledků expertního průzkumu podle [5] pomocí tabulky 6.

6. Vliv klimatických (meteorologických) podmínek na průchodnost

Z klimatických podmínek, které ovlivňují průchodnost terénu, jsou nejdůležitější:

- Srážky, které mají výrazný vliv na půdní poměry (viz kap. 5) a tím i sjízdnost svahů, sjízdnost komunikací a terénu zejména v zimním období (při náledí a hlubokém sněhu) a průchodnost vodstva (viz kap. 7), a to zejména hloubku a rychlost vodních toků. Srážky měříme v mm/časový interval a jejich vliv na průchodnost může být dlouhodobý. Kromě množství srážek závisí tento vliv zejména na odtokových koeficientech v jednotlivých povodích, na teplotách a struktuře půd. Srážky se dají do určité míry dlouhodobě předvídat pomocí klimatických map a speciálních databází, a to metodami interpolací z izočárového znázornění nebo digitálních údajů srážkových úhrnů pro dané období roku.
- Mlhy, vlhkost vzduchu a inverzní stavy, které ovlivňují viditelnost při přesunech.
- Teploty, které mají vliv na vlastnosti půd a hornin, odtokové koeficienty a tím i hloubku a rychlost vodních toků, charakter srážek (déšť, sníh...) a tvorbu náledí, průchodnost vodních ploch a toků zejména v zimním období (vlivem krytu ledu) a mechanické vlastnosti přepravních prostředků. Teploty se měří ve °C (°F) a dají se předvídat pomocí klimatických map nebo databází chodu teplot, pomocí kterých se teploty interpolují (např. z lednových a červencových izotherm) pro dané roční období.
- Rychlost větru, ovlivňující zejména stupeň vysoušení půd. Měří se v m/s nebo km/h.
- Světelné podmínky (doba východu a západu slunce a měsíce) mající nepřímý dopad na průchodnost svým vlivem na viditelnost a na rozhodovací procesy za přesunů.

Tab. 5 Vliv půdního krytu na průchodnost

Půdní kryt (F_{32})	C_{32}
holá půda	1,00
tráva, ozim, osení	0,90–1,00 (podle parametrů vozidla)
vzrostlé obilí	0,75–1,00 (podle parametrů vozidla)
posečené obilí („strniště“)	0,90–1,00 (podle parametrů vozidla)
brambory	0,90–1,00 (podle parametrů vozidla)
řepka, hořčice	0,75–1,00 (podle parametrů vozidla)
kukuřice	0,50–1,00 (podle parametrů vozidla)
slunečnice	0,50–1,00 (podle parametrů vozidla)
rákos	0,75–1,00 (podle parametrů vozidla)
křoví	0,25–1,00 (podle parametrů vozidla)
vinná réva (vinice)	0,00–0,25 (podle parametrů vozidla)
chmel (chmelnice)	0,00–0,25 (podle parametrů vozidla)
sad	0,25–0,50 (podle parametrů vozidla)
zahrada	0,25–0,75 (podle parametrů vozidla)
ostatní	1,00

Tab. 6 Vliv drsnosti půdního krytu na průchodnost

Charakter povrchu (F_{33})	C_{33}
rovná půda	1,00
kamenitá půda	0,80–0,90 (podle parametrů vozidla)
oranice	0,50–0,90 (podle parametrů vozidla)
lom, důl	0,05
oblast potenciálních půdních sesuvů	0,00
sněhová pokrývka	(podle parametrů vozidla a výšky sněhové pokrývky)

Z uvedených faktorů mají na průchodnost terénu největší vliv srážky, které ovlivňují zejména průchodnost půd a vodních toků.

Vliv srážek na průchodnost půd

Průchodnost vojenské techniky je závislá na únosnosti povrchu terénu, a to zejména v oblastech, kde se nachází orné půdy. Únosnost půdy je pak závislá na okamžité konzistenci půdy (zejména povrchových vrstev) a konzistence je v podstatě funkcí obsahu vody v půdě charakterizované určitou zrnitostí skladbou. Tyto základní vlastnosti mohou být ještě sekundárně ovlivněny propustností některých půd danou genetickým vývojem příslušné půdy. Terciárně je pak únosnost půd ovlivňována rychlostí povrchového odtoku závislého na svažitosti. Přesné hodnoty konzistence určité půdy za různé vlhkosti se určují tzv. Attenbergovými konzistenčními charakteristikami: mezi plasticity a dolní a horní mezí ztekucení (viz [2]). Ke ztekucení (projevujícím se sníženou průchodností) jsou náchylné zeminy, pro které obsah vlhkosti na mezi ztekucení je nižší než kapilární vodní kapacita. Mez ztekucení je u lehkých zemin dosažena při relativně

nižší vlhkosti než u zemin středně těžkých či těžkých. Tento stav ovšem v přírodě přichází celkem vzácně, protože lehké půdy jsou mnohem propustnější, větší obsah vláhy odvádějí bez problémů z povrchu půdy do podloží a ke kritické hranici meze ztekucení nedochází. U těžkých půd s omezenou vertikální propustností naproti tomu při větších srážkách poměrně rychle v povrchových vrstvách stoupá vlhkost až nad kritické hodnoty meze ztekucení a poměrně rychle dochází ke snížení únosnosti povrchových vrstev a velkým změnám adheze při styku (zejména kolových) vozidel s povrchem terénu.

Z výše uvedeného vyplývá, že za určitých, krajně nepříznivých klimatických podmínek (zejména v časném jaře, po roztátí sněhu nebo když povrchové vrstvy půdy jsou ještě zmrzlé a zamezují vsakování), jsou pro kolovou techniku neprůchodné prakticky všechny půdy, a to lehčí půdy již při relativně nižším obsahu vody než půdy těžké. Únosnost půdy je závislá především na její vertikální propustnosti, případně na rychlosti povrchového odtoku. Vertikální propustnost pak je v podstatě funkcí půdního druhu (zrnitosti půdy): lehké půdy jsou dobře propustné,

těžké půdy omezeně propustné, případně až nepropustné. Nejde vždy jen o zrnitost povrchové vrstvy. Limitující pro propustnost profilu jsou vrstvy podpovrchové (v hloubce 0,3–0,6 m). Půdy, které vykazují v povrchových či zvláště v podpovrchových vrstvách těžší zrnitostní skladbu, mají za nepříznivých klimatických podmínek sníženou únosnost nebo jsou až neúnosné. Sníženou únosnost a tudíž sníženou průchodnost mají půdy s trvale vysokou hladinou spodní vody, po případě půdy, kde dochází ke hromadění a ztíženému odtoku vody. Tyto plochy jsou dány reliéfem terénu a na tyto polohy reliéfu je vývojově vázán výskyt určitých půdních typů.

Při klasifikaci průchodnosti území podle srážkových poměrů lze vycházet z metodiky NATO popsané v kapitole 5.

Vliv srážek na průchodnost vodstva

Na rozdíl od půd, kde působení srážek je bezprostřední a půdní únosnost i adhezní síla vozidel závisí na spadu určitého množství srážek na konkrétní územní celek, je působení klimatických faktorů u vodních toků a vodních ploch odlišné. Tato odlišnost spočívá v tom, že na charakteristiky průchodnosti vodstva (na hloubku, šířku a rychlost toku) mohou působit i srážky, které spadnou např. i na horním povodí vodního toku, a v místě, kde určujeme průchodnost, byly srážky nulové nebo diametrálně odlišné. Navíc stav vodních toků ovlivňují i předchozí srážky a celá řada dalších (geologických, půdních, reliéfních, teplotních, vegetačních a dalších) podmínek. Z tohoto důvodu bezprostřední podmínkou pro analýzy průchodnosti vodních toků musí být (v závislosti na srážkách) řešení v reálném čase a musí být založeno na aktuálních informacích. Podrobněji je analýza vlivu klimatických podmínek na průchodnost vodních toků uvedena v kapitole 7.

7. Vliv vodstva na průchodnost

Aktuální průchodnost vodního toku (vodní plochy) v konkrétních hydrometeorologických podmínkách lze definovat pouze ke konkrétnímu příčnému profilu, pro který určujeme aktuální hodnoty koeficientu C_5 podle vztahu:

$$C_5 = \sum_{i=1}^6 C_{5i}, i = 1, \dots, 6, \quad (11)$$

kde je

- C_5 koeficient zpomalení vlivem faktoru vodstva,
- C_{51} koeficient zpomalení vlivem faktoru druhu vodstva,
- C_{52} koeficient zpomalení vlivem faktoru hloubky,

- C_{53} koeficient zpomalení vlivem faktoru šířky,
- C_{54} koeficient zpomalení vlivem faktoru rychlosti proudu,
- C_{55} koeficient zpomalení vlivem faktoru charakteru dna,
- C_{56} koeficient zpomalení vlivem faktoru charakteru břehu (sklonu břehu).

Hodnota C_5 je do značné míry závislá na možnostech konkrétního vozidla překonávat vodní překážky. Některá vozidla jsou speciálně uzpůsobena k jejich překonávání, a to po určitých úpravách, např. plavbou po hladině nebo jízdou po dně. Naopak některá vozidla žádné speciální vybavení nemají.

Druh vodstva

Na základě posouzení charakteristik konkrétní vodní překážky (faktorů F_{51} až F_{56}), parametrů vozidla a jeho uzpůsobení k překonání překážky se získá hodnota koeficientu zpomalení C_{51} (viz tab. 7), odhady koeficientů zpomalení C_{52} až C_{56} a nakonec i výsledný odhad hodnoty koeficientu zpomalení C_5 .

V případě, že se v daném úseku terénu nevyskytuje žádný vodní tok nebo vodní plocha, je hodnota koeficientu C_5 rovna jedné.

Tab. 7 Hodnoty koeficientu C_{51}

Charakter povrchu (F_{51})	C_{51}
močál, slanisko	0
vodní tok, kanál	1
rybník, jezero, vodní nádrž	1

Hloubka vodních toků

Hloubka vodních toků je velmi proměnlivá. Závisí na chodu srážek, režimu toku, tj. na stálosti zdrojnic, profilu koryta, rychlosti proudu a charakteru dna. Hloubky potoků, bystřin a malých řek větší než 1 metr jsou spíše výjimečné. Hloubky většiny řek kolísají od hodnot menších než 1 metr do několika metrů. Koryto ohraničené břehy je při středních vodních stavech vyplněné vodou. Při vysokém stavu se hloubka zvětšuje, voda vystupuje z břehů a zaplavuje okolí. Pro stanovení kritických hodnot hloubky toku pro jeho překonání vojenskými vozidly lze vycházet z technických parametrů vozidel pro brodění, hloubkové brodění, z praktických testů, případně z únosnosti ledu zmrzlého toku v zimním období.

Šířka vodních toků

Šířka vodních toků je sekundárním parametrem průchodnosti pro případ, že údaje o hlavních parametrech toku

(hloubka a rychlost proudu) nejsou k dispozici, nebo v situaci, kdy se zřizuje přemostění toku mostovými soupravami nebo pomocí pontonů.

Rychlost proudu

Rychlost proudu závisí na množství vody, spádu, profilu koryta, drsnosti břehů a dna a na množství splavenin a plavenin. Průměrná rychlost toku v se udává v metrech za sekundu. Stanovuje se jako vážený aritmetický průměr všech dílčích rychlostí změřených v reprezentativních místech příčného profilu toku. Při násilném překonávání toku je třeba brát v úvahu, že rychlost proudu řeky není ve všech místech stejná.

Čáry, které spojují místa se stejnou rychlostí, se nazývají izotachy. Přibližně sledují příčný profil dna koryta. U přímých úseků je rychlost toku největší nad nejhlubším místem u středu průtočného profilu těsně pod hladinou. Směrem ke dnu a ke břehům rychlost klesá. Čára, která spojuje místa s maximální rychlostí, je proudnice. Průměrná rychlost v celém průtočném profilu je asi o 30 % nižší než rychlost měřená v proudnici. Rychlost proudění v horských bystřinách je 5 až 7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, při povodních až 12 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. U nížinných toků se rychlost proudu pohybuje v rozmezí od 0,5 do 1,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při vysokých vodních stavech a povodních se rychlost zvyšuje na 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a více. Při hodnocení režimu vodního toku se zkoumá, jaký je pohyb vody v daném úseku, který se má překonat. Při ustáleném pohybu je rychlost v daném profilu stálá a rovnoměrná. V úsecích, kde se mění příčný profil nebo sklon koryta, je rychlost nerovnoměrná.

K posuzování stavu hladiny a jejích změn slouží vodoměrné stanice. Rozmísťují se tak, aby pozorovací hodnoty v nich získané co nejlépe charakterizovaly režim toku. K plynulému záznamu změn hladiny s časem jsou v důležitých místech vybaveny zapisujícími zařízeními (limnigrafy).

Charakter dna

Charakter dna závisí na vrstvách v podloží koryta řeky, na splaveninách na dně, tj. na materiálu (šterku, písku, bahnu), který proud posunuje nebo vleče po dně ve směru spádu. Intenzita těchto posunů a mocnost splavenin jsou závislé na sklonu koryta, množství vody a rychlosti proudu. Při bahnitěm dně je pro velký valivý odpor i malá hloubka řeky velmi nesnadně překonatelnou překážkou.

Charakter břehů

Mezi tyto charakteristiky patří zejména tvary a sklony břehů vodních ploch

a toků, které se řeší metodicky obdobně jako prvky sklonů reliéfu a mikroreliéfu (viz kap. 3). Souvisí také s šířkou a hloubkou vodních toků a ploch (viz [14]).

Příčiny změn atributů průchodnosti vodních toků

Na proces vzniku náhlých změn, které jsou způsobeny ať již přívalovou srážkou nebo regionální srážkou, případně táním sněhové pokrývky, které tvoří samostatnou kapitolu, je možné pohlížet jako na dva dílčí problémy – na transformaci hydrologickou a na transformaci hydraulickou.

Hydrologická transformace představuje proces postupné separace hydrologických ztrát od intenzity srážky (úhrnu). Ztráty, které se na hydrologické transformaci podílejí, jsou ztráty:

- intercepce (zadržováním srážek vegetací);
- navlháním (procesem zvlhčování povrchu terénu, který předchází infiltraci);
- výparem (evapotranspirací, která představuje výpar z povrchu půdy a rostlin);
- infiltrací (průnikem vody do půdního prostředí);
- povrchovou retencí (akumulací vody v lokálních prohlubních terénu).

Hydraulická transformace představuje postupný regulovaný proces utváření plošného a koncentrovaného odtoku z povodí člověkem pomocí vodních nádrží.

8. Vliv sídel na průchodnost

Průchodnost sídel ovlivňují tyto geografické podmínky:

- zastavěnost daného území sídly, tj. stupeň urbanizace, která se vyjadřuje v %;
- poloha, struktura, tvar a orientace sídel vzhledem ke směru pohybu vojsk;
- hloubka (šířka) sídel, tj. průměr kruhové signatury nahrazující skutečný tvar sídla;
- šířka průjezdů sídly, včetně maximální šířky možných průjezdů včetně zelených pásů a chodníků (příčné vzdálenosti mezi bloky budov v blokové zástavbě nebo mezi oploceními v zástavbě vilového typu);
- konstrukční materiál (beton, kov, cihla, dřevo, ...) a mechanická odolnost budov a objektů;
- výška budov (ovlivňuje charakter překážek po destrukci staveb);
- ohnivzdornost budov (budovy spalné, budovy nespalné).

Pro průjezd sídel je vedle komunikační sítě (viz kap. 9) rozhodujícím faktorem charakter zástavby. Určení koeficientu zpomalení vlivem faktoru sídel praktickým testováním nebylo možné, proto bylo

jeho určení provedeno kartometrickým šetřením na mapách a místním šetřením v terénu [6]. Na základě těchto šetření byl výpočet tohoto koeficientu dán vztahem:

$$C_6 = \prod_{i=1}^3 C_{6i}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (12)$$

kde je

- C_6 koeficient zpomalení vlivem faktoru sídel,
- C_{61} koeficient zpomalení vlivem faktoru blokové zástavby,
- C_{62} koeficient zpomalení vlivem faktoru vilové zástavby,
- C_{63} koeficient zpomalení vlivem faktoru chatové zástavby.

V případě, že se v daném úseku terénu nevyskytuje žádná zástavba, je hodnota koeficientu C_6 rovna jedné.

9. Vliv komunikací na průchodnost

Komunikace mají vliv na průchodnost jako:

- dopravní trasy, když vedou ve směru přesunů;
- objekty překážek, když vedou napříč směru přesunů a nachází se na náspech nebo ve výkopech.

Největší význam z obecného hlediska průchodnosti (přepravy) má silniční síť.

Silniční komunikace lze klasifikovat podle šířky, kvality krytu vozovky, dopravního významu.

Pokud vozidlo přejíždí přes silniční komunikaci pouze napříč, pak má význam pouze mikroreliéf komunikací, který je však uvažován v rámci faktoru F_{12} (faktor mikroreliéfu); tedy vzhledem k relativně malé délce příčného úseku komunikace k celkové délce přesunu můžeme pro všechny druhy komunikací v tomto případě kalkulovat, že $C_7 = 1$.

Pokud vozidlo překonává část trasy po komunikacích, je nutné brát v úvahu druh komunikací, hustotu komunikační sítě

v dané oblasti a také množství přesunujících se vozidel. Pro stanovení koeficientu zpomalení pro případ přesunu většího množství vozidel a předpoklad nerozlišování jednotlivých kategorií kvality komunikací lze použít vztah:

$$C_7 = \sum_{i=1}^2 C_{7i}, \quad i = 1, 2, \quad (13)$$

kde je

- C_7 průměrný koeficient zpomalení vlivem faktoru komunikací pro celou posuzovanou oblast (polygon),
- C_{71} koeficient zpomalení vlivem faktoru průměrné hustoty komunikační sítě,
- C_{72} koeficient zpomalení vlivem faktoru průměrné kvality (kategorie) komunikací.

Hustota komunikační sítě se uvádí v km/km² (v km/100 km²), nebo výstižněji poměrem celkové délky komunikací k celkové ploše hodnocené oblasti.

Kvalita (kategorie) komunikací se klasifikuje podle norem NATO pomocí tzv. Military Load Classification (MLC) kvalitativní kategorie silnic podle šířky a dalších parametrů (viz příklad v tab. 9).

Podle druhu zpevnění krytu (povrchu) vozovky a podle počasí se rozlišují tzv. AWHs, AWLS, FWHS a FWLS kategorie. Důležitými faktory podmiňujícími rychlost pohybu po komunikacích jsou sklony a poloměry zatáček (křivolakost) komunikací. Bližší vztah mezi MLC charakteristikami a průchodností terénu se (s výjimkou doporučených rychlostí pro přesuny) v uvedených normách neuvádí.

Rovněž kvalita povrchu vozovky a její změny (např. v zimním období) může značně determinovat pohyb vozidel. Orientačním východiskem pro určení koeficientu C_{72} je studie [5].

Důležitými prvky limitujícími průjezdnost vozidel po komunikacích jsou dopravní objekty (mosty, podjezdy, tunely, atd.), a to jak v provozním stavu, tak i v

Tab. 8 Hodnoty koeficientu C_{61} až C_{63}

Charakter povrchu (F_{6i})	C_{6i}
bloková zástavba	0,00–0,25 (podle parametrů vozidla)
vilová zástavba	0,25–0,50 (podle parametrů vozidla)
chatová zástavba	0,50–0,75 (podle parametrů vozidla)

Tab. 9 Klasifikace silnic podle MLC kategorií

Kategorie	Celková šířka jízdních pruhů	Výška vozidla (nadjezdu)	Poloměr zatáčky
MLC 100	min. 9,0 m	min. 4,4 m	min. 21,4 m
MLC 70	min. 8,4 m	min. 4,0 m	-
MLC 30	min. 6,0 m	min. 3,5 m	-

stavu narušeném nebo zničeném. Těmto objektům (úsekům komunikací) pak přiřazujeme rovněž koeficient zpomalení C_7 . V případě zničení bude mít úsek uvedeného objektu hodnotu C_7 rovnou 0.

10. Vliv dalších faktorů na průchodnost terénu

Mezi další faktory, které nenáležejí ke geografickým objektům, ale mají vliv na průchodnost terénu, patří faktory technické (specifický druh vozidla, technický stav vozidla), osobní (zkušenosti velitelů, řidičů, psychický stav, únava), prostředí (známé, neznámé, ovlivněné bojovou činností, minováním, záplavami, požáry, destrukcí komunikací nebo

dalších objektů), denní doba (den, noc), charakter činnosti (mírová, válečná, obrana, útok, přesun) a další.

Závěr

Uvedený přehled geografických a negeografických faktorů, které mají vliv na průchodnost terénu, je teoretickým a částečně i praktickým základem pro modelování průchodnosti prostředky GIS. Pro reálné modely průchodnosti je však nezbytné uvažovat konkrétní typy nebo kategorie vozidel, pro které jsou modely vytvářeny. Dále je nezbytné provést co nejvíce testů přímo v terénu v reálných podmínkách, ve kterých se předpokládá nasazení této techniky včetně zahrnutí

klimatických podmínek a aktuální meteorologické situace. Tyto testy mohou být zaměřeny na posouzení dílčích faktorů nebo mohou být prováděny tak, aby se dílčí faktory projevíly ve svém komplexu.

Z výsledků těchto testů jsou deterministickými nebo statistickými metodami určovány hodnoty zpomalení, resp. modelové rychlosti testovaných vozidel, které jsou potom vkládány jako parametry do vytvářených modelů průchodnosti pro konkrétní typy nebo konkrétní kategorie vozidel. Metodika testování tak, jak ji navrhli řešitelé z katedry vojenské geografie a meteorologie Fakulty vojenských technologií UO, je uvedena v článku [17].

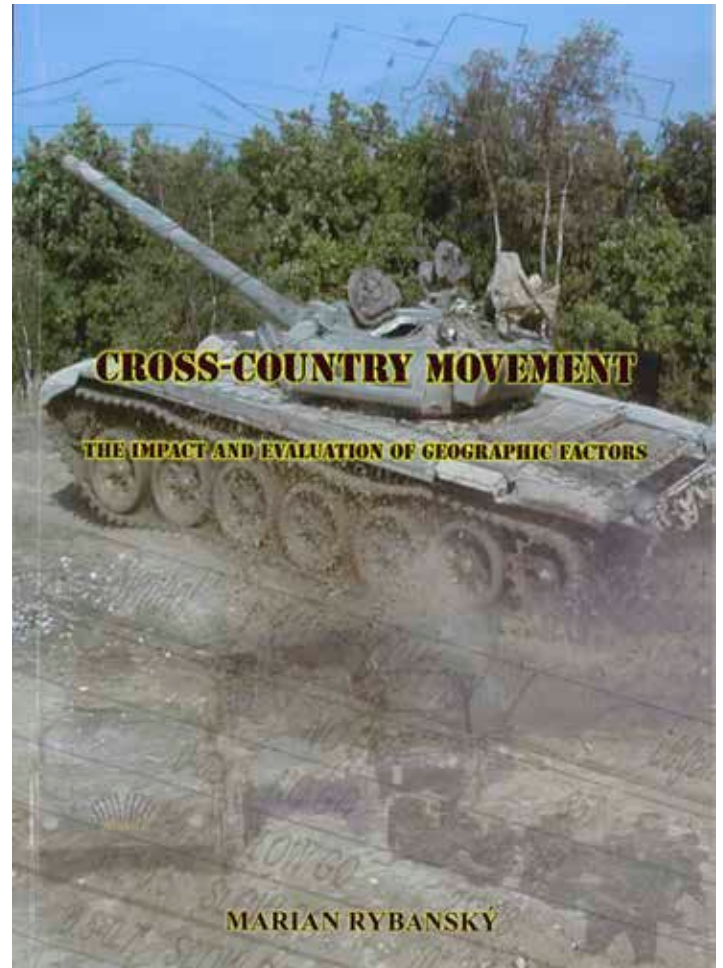
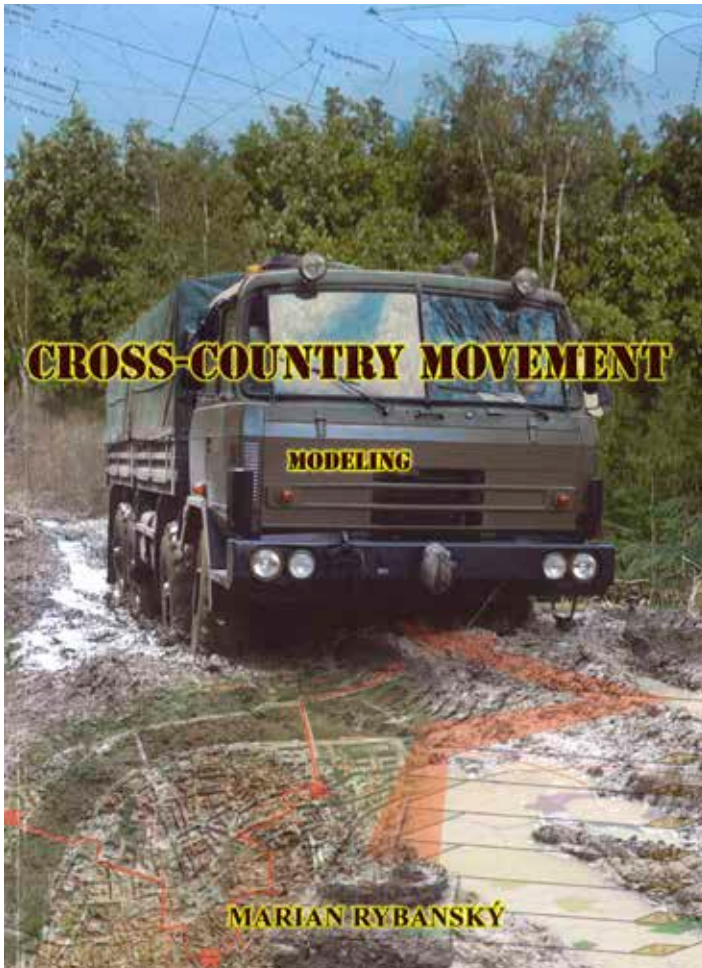
Použité zkratky

AWHS	All Weather Hard Surface	GIS	geografický informační systém
AWLS	All Weather Loose Surface	LHC	lesní hospodářský celek
BVP	bojové vozidlo pěchoty	LMS	letecký měřický snímek
ČR	Česká republika	MLC	Military Load Classification
DMA	Defense Mapping Agency	NATO	North Atlantic Treaty Organization
DMP1	Digitální model povrchu 1	TIN	triangulated irregular network
FWHS	Fair Weather Hard Surface	ÚDB Půdy	Účelová databáze půdy
FWLS	Fair Weather Loose Surface	UO	Univerzita obrany v Brně
GeoSI AČR	geografická služba Armády České republiky	USA	United States of America

Použitá literatura a zdroje

- [1] *Procedural Guide for Preparation of DMA Cross-Country Movement (CCM) Overlays*, Defense Mapping School. Fort Belvoir, Virginia, 1993.
- [2] NOVÁK, Pavel. Metodika vymezení neprůchodných půd. In: *Technický projekt MPT 100*. Příloha 6. Praha, Vojenský zeměpisný ústav Praha, 1995.
- [3] VALA, Miroslav; RYBANSKÝ, Marian. Vliv reliéfu na průchodnost území vybranými vojenskými vozidly. *Studie k projektu obranného výzkumu č. MO65170999108 – TOPOZAB*. Brno, Vojenská akademie v Brně, 2001. 84 s.
- [4] ZIKMUND, Josef; RYBANSKÝ, Marian. Ověření vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu. *Studie k projektu obranného výzkumu č. MO65170999108 – TOPOZAB*. Brno, Vojenská akademie v Brně, 2001. 70 s.
- [5] HAVELKA, Ladislav; RYBANSKÝ, Marian. Návrh, realizace a vyhodnocení expertního průzkumu průchodnosti území. *Studie k projektu obranného výzkumu č. MO65170999108 – TOPOZAB*. Brno, Vojenská akademie v Brně, 2001. 92 s.
- [6] RYBANSKÝ, Marian. Modelování vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu. *Habilitační práce*. Brno, Vojenská akademie v Brně, 2002. 477 s.
- [7] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. Modeling*. First ed. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM[®], s. r. o., 2010. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [8] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. First ed. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM[®], s. r. o., 2010. 99 p. ISBN 978-80-7204-717-8.
- [9] RYBANSKÝ, Marian. *Metodika určování vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel v terénu – kolová vozidla*. Vyškov : Vojenský technický ústav, 2010. 30 s. Identifikační číslo certifikace: J-4-720/67.
- [10] RYBANSKÝ, Marian; VALA, Miroslav. Relief impact on transport. In: *International Conference on Military Technologies 2009 (ICMT'09)*. University of Defence, Brno, 2009, pp. 551–559.
- [11] RYBANSKÝ, Marian. *Metodika určování vlivu půd na pohyb vojenských vozidel v terénu – kolová vozidla*. Vyškov : Vojenský technický ústav, 2012. 91 s. Identifikační číslo certifikace: J-4-720/77.
- [12] RYBANSKÝ, Marian. DŮ 1: Měření vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel se zaměřením na vliv půdního krytu, porostů a vodstva. *Rozvoj expertního pracoviště zaměřeného na analýzu vlivu přírodního prostředí na činnost ozbrojených sil (ZRO K-210)*. Brno, Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, 2014.
- [13] RYBANSKÝ, Marian; BŘEŇOVÁ, Marie; ČERMÁK, Jan; VAN GENDEREN, John Lodewijk; SIVERTUN, Åke. Vegetation structure determination using LIDAR data and the forest growth parameters. In: *8th IGRSM International Conference and Exhibition on Geospatial and Remote Sensing, IGRSM 2016*. Kuala Lumpur, Malaysia: IOP Publishing LTD, Dirac House, Temple Buck, Bristol BS1 6BE, England, 2016. ISSN 1755-1307.
- [14] DOHNAL, Filip; HUBÁČEK, Martin; ŠIMKOVÁ, Kateřina. Detection of Microrelief Objects to Impede the Movement of Vehicles in Terrain. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, Vol. 8, no. 3, pp. 1–16. ISSN 2220-9964. IF 2.239.

- [15] HUBÁČEK, Martin; BUREŠ, Martin; TALHOFER, Václav; DOHNAL, Filip; VOJTÍŠKOVÁ, Marie. Modelování průchodnosti terénu s využitím nástrojů geoinformačních systémů. *Vojenský geografický obzor*, **62**, 2019, č. 1, s. 4–11. ISSN 1214-3707.
- [16] RYBANSKÝ, Marian. Determination the ability of military vehicles to override vegetation. In: *Journal of Terramechanics*, Vol. 91, 2020, pp. 129–138. ISSN 0022-4898, IF 2.04.
- [17] TALHOFER, Václav. Terénní měření vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu a verifikační testy modelů průchodnosti. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 22–31. ISSN 1214-3707.



Terénní měření vlivu geografických faktorů na průchodnost terénu a verifikační testy modelů průchodnosti

prof. Ing. Václav Talhofer, CSc.

katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

Abstrakt

Modelování vlivu geografických i negeografických faktorů na průchodnost terénu vychází jak z teorie pohybu vozidla po terénu, tak i z praktických zkoušek schopností vozidel v laboratorních i přírodních podmínkách. Na katedře vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně jsou dlouhodobě prováděna terénní měření s cílem získat data pro odvozování a verifikaci modelů vlivu dílčích faktorů na pohyb vozidel a rovněž pro komplexní model průchodnosti, který uvažuje vlivy všech faktorů. Terénní měření byla realizována v řadě kampaní na území České republiky a Slovenské republiky ve vojenských újezdech i mimo prostory spravované armádou. Získaná data byla analyzována a obdržené výsledky byly použity v pilotní verzi komplexního Modelu průchodnosti terénu 4000. Terénní měření pokračují i v rámci řešení mezinárodních a národních výzkumných projektů a záměrů.

Field measurement of the influence of geographical factors on terrain mobility and verification tests of mobility models

Abstract

Modelling the influence of geographical and non-geographical factors on the mobility of the terrain requires based both on the theory of vehicle movement on the ground and on practical tests of vehicle capabilities in laboratory and natural conditions. At the Department of Military Geography and Meteorology of the University of Defence in Brno, field measurements have been carried out for a long time in order to obtain data for derive and verify models of the influence of sub-factors on vehicle movement, as well as for a complex mobility model that considers the influences of all factors. Field measurements have been carried out in a number of campaigns in the Czech Republic and Slovakia in military areas and outside areas managed by the army. The data obtained were analyzed and their results were used in the pilot version of the complex Terrain Mobility Model 4000. Field measurements continue within the framework of international and national research projects.

Úvod

V procesu modelování průchodnosti terénu se hodnotí jak vlivy dílčích faktorů na pohyb vozidla, tak i jejich celkový vliv. Teoretická řešení zpravidla vycházejí z posouzení komplexních vlastností vozidel, zejména jejich podvozků, výkonů hnacích jednotek, typu a stavu pneumatik nebo pásů, v neposlední míře i schopnosti a vycvičenosti řidiče. Tato teoretická řešení se opírají o poznatky chování vozidel na různých typech povrchů, v různých geografických podmínkách [1], teramechanických modelů a provozních zkoušek vozidel na různých typech firemních polygonů [2], zkušebních terénních okruhů (ZTO), například ZTO Podivice [3], a nakonec i o výsledky vojskových zkoušek techniky, která má být zavedena do armády.

Vlastní modelování průchodnosti se však zpravidla zaměřuje na komplexní modely chování vozidel a tyto modely mají simulovat skutečné nasazení vozidel v bojových i nebojových situacích. Vytvářené modely průchodnosti, pokud jsou z důvodů utajení vůbec o nich publikovány nějaké informace, se často verifikují při terénních testech. Dílčí závěry z těchto testů je možné najít například v [4], [5], [6], [7], [8], [9]. V rámci NATO byl vytvořen referenční model pohybu vojenských vozidel (NATO Reference Mobility Model – NRMM), který je na základě rozvoje teorie pohybu a praktických zkoušek a testů

neustále zpřesňován. V současné době je rozvíjena jeho následující generace (Next Generation NATO Reference Mobility Model – NG NRMM) [10], [11].

V dostupné literatuře kromě několika výjimek však zpravidla nejsou uvedeny podrobné informace o způsobech terénních testů, metodice jejich vyhodnocování apod. Přitom terénní testy s reálnou technikou, která je používána v ozbrojených silách, a důsledné vyhodnocení jejich výsledků jsou podmínkou vytvoření modelu průchodnosti, který poskytne velitelům a štábům relevantní výsledky, o které se mohou opírat při plánování nasazení sil a prostředků.

Terénní testování vytvořených modelů je však až druhou fází modelování průchodnosti terénu. V první fázi tvorby modelů je nutné se opírat o rozsáhlá terénní měření jak vlivu dílčích geografických faktorů na zástupce typických vojenských vozidel, tak i komplexního vlivu geografických i negeografických faktorů na průchodnost terénu. Teprve na základě důkladných terénních měření je možné navrhnout vlastní modely chování vozidel v prostředí dílčích částí geografického prostředí a nakonec i navrhnout komplexní model průchodnosti terénu, který zahrnuje celkové vlivy geografického prostředí a další vlivy na průchodnost terénu.

Každé modelové řešení však musí být důkladně verifikováno přímo v terénu s cí-

lem přiblížit řešení reálným podmínkám činnosti pozemních vojsk v bojových i nebojových podmínkách. Je ale nutné uvážit, že verifikace v terénu má svá omezení daná především možnostmi pohybu v krajině. V zásadě je možné verifikovat navržené modely pouze ve vojenských újezdech (VÚj), a to ještě v prostorech, které jsou určené pro výcvik vojsk. Verifikační testy zpravidla není možné provádět v místech, která spadají pod správu Vojenských lesů a statků a na kterých probíhá hospodářská činnost.

Jak bylo již uvedeno v článku Rybanského zveřejněného v tomto čísle [12], katedra vojenské geografie a meteorologie (KVGM) Univerzity obrany v Brně (UO) se od konce devadesátých let 20. století věnuje rozvoji metod modelování průchodnosti terénu, v rámci kterých byla uskutečněna rozsáhlá terénní měření na území České republiky (ČR), ale dílčím způsobem i na území Slovenské republiky (SR). Rovněž bylo uskutečněno několik dílčích i komplexních verifikačních testů, na kterých se kromě příslušníků KVGM podíleli akademičtí pracovníci několika dalších kateder Univerzity obrany, zejména kateder ženijních technologií, ženijní podpory, bojových a speciálních vozidel, vojenské robotiky, letecké techniky, matematiky a fyziky a vševojskové taktiky. Vojenská technika včetně řidičů byla zabezpečena útvary Armády České repub-

liky (AČR), konkrétně Velitelstvím výcviku – Vojenskou akademií ve Vyškově a 7. mechanizovanou brigádou. Terénní měření a verifikační testy byly zabezpečovány i technikou a personálem geografické služby AČR a hydrometeorologické služby AČR. Protože ani jedna z uvedených složek nedisponuje lidmi, kteří jsou zkušení v oblasti teramechaniky, pedologie, hydrologie a dendrologie, byly k řešení přizváni i odborníci z Vojenského technického ústavu, s. p., (VTÚ) ve Vyškově, Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v. v. i., (VÚZT) v Praze a Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně (MENDELU).

V následujícím textu jsou uvedeny podstatné etapy terénních měření a verifikačních testů, které byly pod vedením akademických pracovníků KVGM uskutečněny. Cílem textu není podrobně informovat o veškerých podrobnostech provedených měření a testů, ale jeho cílem je zejména ukázat šíři a komplexnost celého systému měření a testování a jeho odraz na vývoj modelu průchodnosti. Podrobné informace o všech měřeních a testech včetně metodiky vyhodnocování získaných dat a zapracování výsledků do modelu průchodnosti jsou k dispozici na řešitelském pracovišti KVGM.

1. Terénní měření

Vzhledem k tomu, že k vytvoření reálného modelu průchodnosti je nutná znalost vlivu jednotlivých geografických faktorů na pohyb techniky, byla postupně uskutečněna řada měření, která měla za cíl ověřit matematické vyjádření konkrétních vlivů, nebo na základě uvedených měření stanovit jejich závislosti.

Od konce 20. století se uskutečnilo několik měřických kampaní, které byly zaměřeny zejména na získání podpůrných dat pro hodnocení uvedeného vlivu geografického

faktoru na pohyb techniky. Na základě analýzy podpůrných dat byly odvozovány deterministickými nebo statistickými postupy vztahy, které byly následně využity pro vlastní modelování pohybu techniky a pro tvorbu komplexního modelu průchodnosti terénu. Popsané postupy se sice zaměřují na dílčí faktory, v reálných podmínkách však tato měření byla často kombinována s měřením i dalších faktorů, které spolu souvisí, například faktory půd, vegetace a reliéfu terénu.

Pokud se pro měření využívala vozidla, potom ve VÚj šlo vždy pouze o vojenská bojová a přepravní vozidla, mimo prostory VÚj byla využívána jak vojenská, tak i civilní vozidla, ale pouze přepravní. Výjimkou bylo použití lesnické techniky pro získávání dat k modelování vlivu vegetace a půd.

V následujících odstavcích jsou stručně popsány přístupy k získávání dat pro hodnocení vlivu jednotlivých geografických i negeografických faktorů, jejichž členění vychází z práce Rybanského [13].

1.1 Faktor reliéfu terénu

Jedním z nejčastějších měření byla měření k podpoře určování vlivu *faktoru reliéfu terénu*. Z hlediska cílů byla měření rozdělena do několika skupin:

- měření pro ověřování schopnosti vozidel překonávat mikroreliéfní tvary přírodního nebo umělého původu;
- měření pro ověřování parametrů stoupavosti vozidel;
- měření pro specifikaci koeficientu zpomalení vozidla v závislosti na sklonu svahu.

K ověřování schopnosti vozidel překonávat mikroreliéfní tvary byly v první fázi využívány zejména postupy ověřování vlastností vozidel certifikovaného pracoviště VTÚ, které disponuje i velice kvalitní

technikou a technologickou základnou [3]. Na testovacím polygonu VTÚ ve VÚj Březina byly u vybraných vozidel ověřovány parametry jako schopnosti překonávat terénní stupně a zákopy a podobně. Výhodou tohoto ověřování byla přesná znalost geometrie terénních překážek a jejich vlastností z hlediska povrchu a odolnosti a v zásadě neměnnost vnějších podmínek při měření.

Na tato ověřovací měření navázala měření v reálných podmínkách vybraných mikroreliéfních tvarů ve VÚj Březina, Libavá a Hradiště v ČR a Vojenském výcvikovém prostoru Záhorie ve SR. Zde již byla použita běžná vojenská technika, která byla využita i v dalších prováděných testech v rámci jedné testovací kampaně. Před zahájením ověřovacích testů bylo nutné přesně vymezit místa pro překonávání mikroreliéfních tvarů a geodetickými metodami určit jejich parametry. Vzhledem k tomu, že se vždy jednalo o přírodní povrch, bylo nutné určit i jeho vlastnosti a meteorologické prvky v době měření [14].

Výrobce deklarované parametry stoupavosti vozidel jsou pravidelně ověřovány certifikační autoritou VTÚ. K tomu využívá jak laboratorní podmínky, tak připravený zkušební polygon ve VÚj Březina v prostoru ZTO Podivice. Na tomto polygonu byly uskutečněny i ověřovací testy pro řešení modelu průchodnosti terénu. Postupně však řešitelský tým přešel ke sběru dat pro hodnocení faktoru stoupavosti v reálných podmínkách. V rámci prováděných kampaní byla vždy vytipována místa, která byla vhodná pro vlastní měření. Jednalo se zejména o prostor Centra výcviku řidičů bojových vozidel ve VÚj Březina (obr. 1) a relativně krátké, ale strmé svahy s pokud možno konstantním sklonem ve VÚj Libavá (obr. 2).

Vybraným svahům byly přesně určeny geometrické vlastnosti (délka, sklon



Obr. 1 Test zpomalení vlivem sklonu svahu, Centrum řízení bojových vozidel, VÚj Vyškov, 2014 (foto V. Talhofer)



Obr. 2 Test zpomalení vlivem sklonu svahu ve VÚj Libavá, 2017 (foto V. Talhofer)

svahu), dále byla penetrometrem změřena aktuální únosnost povrchu a byly zdokumentovány jeho vlastnosti (druh nízké vegetace). Na těchto svazích byly prováděny opakované jízdy typických zástupců vojenské techniky (kolové i pásové), při kterých se měřil čas a rychlost pohybu daného vozidla. Pokud to bylo možné, byli v průběhu měření měnění i řidiči. Z takto naměřených dat byl potom odvozován koeficient zpomalení vlivem sklonu svahu.

Limitní stoupavost byla měřena pouze jednou ve VÚj Hradiště v březnu 2018. Byl vybrán svah o délce cca 500 m se sklonem cca 30°, na kterém nebyla žádná cesta. Vzhledem k meteorologickým podmínkám, stavu povrchu a vycvičenosti řidiče byla provedena pouze jedna jízda vozidlem BVP-2, při které byly měřeny čas a rychlost jízdy. Tato jízda byla pouze do kopce. Po ní řešitelé rozhodli v testu stoupavosti nepokračovat a neriskovat případnou mimořádnou událost.

Komplexní pohled na vliv reliéfu terénu, tedy na *určení koeficientu zpomalení vlivem sklonu svahu* (resp. rychlosti pohybu v závislosti na sklonu svahu), daly i výsledky měření časů a rychlosti vozidel na delších trasách po silnicích, zpevněných a nezpevněných komunikacích a ve volném terénu. K měření se využívaly nejen jízdy vojenských vozidel v rámci jednotlivých kampaní, ale rovněž byly využívány i jízdy služebními a soukromými vozidly včetně simulace přepravy těžkých nákladů s využitím nákladních vozidel stavebních a dopravních společností převážejících kamennou drť z lomu Vícenice. Všechna testovaná vozidla byla osazena přijímači globálních navigačních družicových systémů (global navigation satellite system – GNSS) a byla zaznamenávána jejich rychlost v sekundových intervalech. U všech vozidel byla zjišťována jejich provozní hmotnost buď podle jejich takticko-technických dat nebo přímo vážením na váze (v lomu Vícenice).

Celkově byla získána data z jízdy o délce 12 000 km po zpevněných komunikacích a 4 000 km ve volném terénu. Na základě podrobné analýzy naměřených dat byl navržen upravený systém modelování pohybu vozidel s využitím rozhodovacích stromů členěných podle typu techniky a druhu povrchu a tento systém byl implementován do zjednodušené verze modelu průchodnosti terénu. V rámci tohoto rozhodovacího stromu byl hodnocen i faktor sklonu reliéfu terénu. Podrobnější informace o způsobu modelování jsou uvedeny v samostatném článku tohoto čísla [15].

1.2 Faktor vegetace

Faktor vegetace se projevuje v pěti dílčích faktorech, které se týkají jednotlivých stromů (typ stromu, výška a tloušťka kmene, charakter jeho kořenového systému) a charakteru lesa vyjádřeného především rozestupem mezi stromy. Faktor vegetace ale neřeší pouze stromy, resp. lesy nebo sady, ale i vinice a přízemní vegetaci, zejména polní plodiny. Vzhledem k tomu, že není reálné získávat data o možnostech pohybu vojenské techniky v sadech, vinicích a na polích se vzrostlými plodinami, byla pozornost zaměřena na vliv lesních porostů.

Cílem posouzení vlivu tohoto faktoru na pohyb vojenské techniky je posouzení možnosti projetí lesem bez narušení jednotlivých stromů, nebo zda je možné stromy technikou porazit, resp. prorazit. Proto všechna dosud uskutečněná měření byla zaměřena na získání relevantních dat pro určení uvedených vlivů tohoto faktoru.

Měřické kampaně pro získání dat byly a jsou každoročně prováděny zejména od roku 2012 jak v prostorech VÚj v ČR a SR, tak mimo ně. Kromě měřických kampaní v terénu byly využívány i zdroje dat z bezkontaktního průzkumu, zejména ortogonalizované letecké snímky a data z laserového skenování území ČR.

Všechna měření byla vždy zahájena po určení charakteru lesa z hlediska jeho funkčnosti (hospodářský les nebo náletový typ), druhové a věkové skladby. K určení těchto charakteristik byly a jsou rovněž využívány jak bezkontaktní metody (ortogonalizované letecké snímky, Digitální model povrchu 1, data z Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem apod.), tak kontaktní metody, především geodetické.

Charakter vybraných lesů byl před terénními měřeními vždy zpřesněn přímo na místě měření. Vlastní terénní měření

byla zaměřena na řešení průchodnosti lesních porostů dvěma základními metodami – průjezd lesním porostem bez poškození stromů a průjezd lesním porostem s předpokládaným zlomením nebo vyvrácením kmenů stromů. V prvním případě byla používána pouze vojenská technika, ve druhém případě byla využita jak vojenská technika, tak i náhradní technika, která simulovala bojová a transportní vozidla. Jednalo se zejména o lesnickou techniku používanou při těžbě dřeva.

Při terénních měřeních zaměřených na překonání lesních celků bez poškození stromů byl pro modelování měřen zejména rozestup stromů a typ jejich sponu. Pokud se jednalo o les s podrostem nebo les byl poměrně mladý, byla měřena i spodní hranice větvení. Všechna data byla poté využívána pro modely průchodnosti lesa pro vybranou vojenskou techniku a v rámci terénních testů byl tento model ověřován, resp. byla hledána jeho slabá místa.

Komplikovanější měření byla a nadále jsou prováděna pro modelování průchodnosti lesních celků s možností zlomení nebo vyvrácení kmenů. Tento model pracuje s modelem reálného stromu, kde je nutné uvažovat druh stromu, jeho stáří a stav a zejména průměr kmene a typ jeho kořenového systému. Z uvedených parametrů je možné vypočítat jeho *odpor vůči vyvrácení nebo zlomení* nárazem vozidla.

Potřebná data byla a jsou měřena ve spolupráci s dendrology MENDELU, VTÚ a VÚZT. Typy stromů, jejich geometrické charakteristiky a jejich stav byly měřeny přímo na místě terénních měření. Stav stromů a parametrů jejich kořenového systému byl zjišťován přesným měřením vzlaku vody v kmeni pomocí zavedených sond a měřením elektrického odporu (elektrická impedanční metoda, obr. 3).



Obr. 3 Elektrická impedanční metoda pro stanovení parametrů kořenových systémů stromů (foto M. Rybanský)



Obr. 4 Měření podzemních parametrů kořenových balů stromů (foto M. Rybanský)



Obr. 5 Měření trakční síly BVP-2 k určení resistance stromu (javor) (foto M. Rybanský)

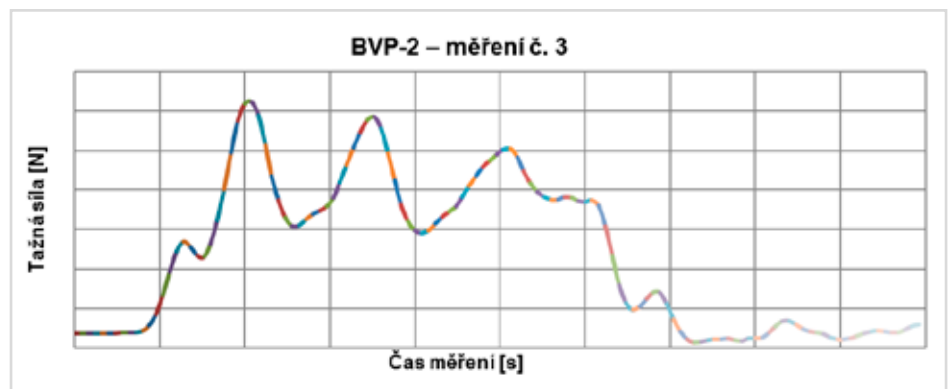
K určení typu a geometrie kořenových systémů byly vybrané stromy vyvráceny a po očištění jejich kořenového systému od půdy byly klasickou ruční metodou i metodou pozemní fotogrammetrie tyto systémy proměřeny (obr. 4).

Rezistence kmenů proti vyvrácení byla a je měřena pomocí dynamometru (siloměru). V prvních fázích byly kmeny stromů poráženy tlakem vozidla. Postupně se však ukázalo, že výhodnější a z hlediska provádění měření i bezpečnější je rezistenci měřit tahem. Při tomto způsobu bylo tažné lano upevněno do takové výšky, ve které předpokládané vozidlo na kmen stromu naráží. Při tomto měření je navíc možno určovat koeficient tření pneumatik nebo pásů v závislosti na druhu půdy, její únosnosti, případně i na typu travního porostu a na okamžitých meteorologických podmínkách (obr. 5, obr. 6).

K měření rezistence kmenů byla využívána jak vojenská technika v rámci kampaní prováděných ve VÚj, tak zmiňovaná lesnická technika, zejména lesní kolové traktory. Tato měření byla uskutečňována zpravidla ve Školním lesním podniku ve Křtinách.

Získané výsledky hodnocení faktoru vegetace byly použity v Modelu průchodnosti terénu 4000 (MPT4000).

V současné době je hodnocení faktoru vegetace intenzivně rozvíjeno na národní bázi v rámci řešení nejen pohybu řízených vojenských vozidel v lesních celcích, ale i pohybu autonomních pozemních vozidel (Unmanned Ground Vehicle – UGV). V tomto případě nejde potom pouze o hodnocení možností vlastního pohybu UGV po terénu a mezi stromy, ale i o možnost jeho řízení pomocí satelitní navigace. Proto je do faktoru vegetace přidáno i hodnocení vlivu korun stromů a hustota jejich zapojení na kvalitu příjmu signálu GNSS. V současné době jsou proto měřické kampaně rozšířeny i o získávání dat pro hodnocení uvedené kvality příjmu signálu.



Obr. 6 Příklad naměřených trakčních sil pro vozidlo BVP-2

Závěry, ke kterým řešitelský tým dospěl do roku 2013, byly podkladem pro certifikovanou metodiku pro určování vlivu porostů na pohyb kolových vozidel [16]. Faktor vegetace je současně rozvíjen i v mezinárodních projektech, které jsou uvedeny v závěru tohoto článku.

1.3 Faktor půdy

Pokud se pozemní technika pohybuje na nebezpečném povrchu, potom je její pohyb výrazně ovlivněn druhem povrchu, na němž k pohybu dochází. Jak bylo již uvedeno v úvodním článku [12], vliv *faktoru půdy* je nutné zkoumat nejen z hlediska samotného složení půdy vyjádřené půdním typem, půdních druhem nebo klasifikací podle standardu NATO, ale je nutné uvážit drsnost povrchu a v neposlední řadě i druh vegetace, který povrch pokrývá.

Faktor půdy se projevuje v přenosu trakční síly vozidla. Ten je realizován podvozkem, který v zásadě může být kolový nebo pásový. Záběrové charakteristiky podvozku jsou potom, kromě jiného, dány u kolových vozidel typem a stavem jejich pneumatik, u pásových vozidel šířkou pásů, délkou jejich činné plochy a rovněž jejich stavem. Ke zjištění vlivu povrchu na přenos trakční síly vozidla byla uskutečněna řada měření, při nichž byla zvolena měření výkonových charak-

teristik vozidla pomocí měření jejich sil dynamometrickou metodou.

Na testovacím prostoru byly přesně změřeny půdní charakteristiky a jejich únosnost, byl určen vegetační kryt a byla změřena vlhkost povrchu. Test trakčních sil vždy začínal podrobnou dokumentací typu pneumatik a jejich stavu, resp. stavu pásů. Testovaná vozidla byla potom pomocí tažného lana s dynamometrem spojená s pevnou základnou (zabrzdné výrazně těžší vozidlo, silný kmen stromu apod.). Vozidlo na rozjezdové rychlostní stupně překonávalo odpor dynamometru, který vyvíjenou sílu zaznamenával. Výsledné naměřené hodnoty byly po jejich zpracování využity k určování koeficientu zpomalení vlivem daného typu půdy a jeho povrchu (obr. 7).

Vedle vlastního vlivu půdy se u tohoto faktoru nejvíce projevuje faktor klimatických a meteorologických podmínek, které ovlivňují únosnost nebezpečného povrchu a jeho drsnost (obr. 8). To činí z faktoru půdy jeden z nejméně stabilních faktorů a při modelování jeho vlivu je nutné počítat se značnou neurčitostí. Ke snížení této neurčitosti byla uskutečněna řada samostatných měřických kampaní v ČR i SR, při nichž se prováděla měření půdních odporů, atmosférických dat a vlhkosti půd na povrchu i pod povrchem a současně byly odebírány půdní vzorky pro určení půdní



Obr. 7 Měření trakčních sil pásového vozidla BVP-2 na travnatém povrchu (foto M. Rybanský)



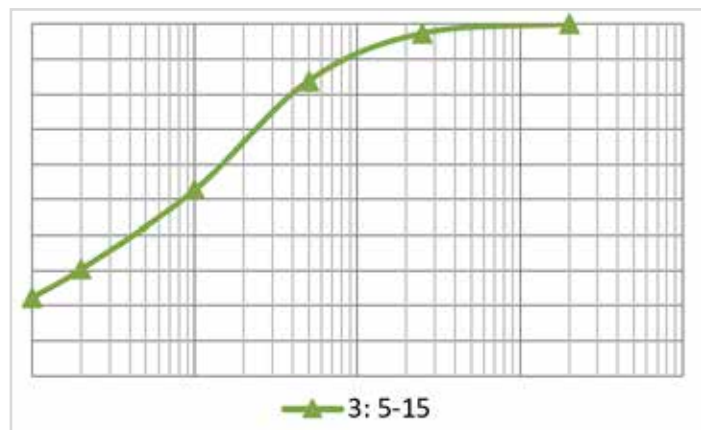
Obr. 8 Vyprošťování zapadlého kolového vozidla Pandur II pásovým vozidlem BVP-2 na bořivém podloží fluvizemě ve VÚJ Libavá, 2017 (foto M. Rybanský)



Obr. 9 Odběr půdní sondy (foto M. Hubáček)



Obr. 10 Půdní sonda (foto M. Hubáček)



Obr. 11 Výsledek analýzy půdní sondy (jemně zrnitá půda bez štěrku, jílovitohlinitá zemina s podílem zrn menších jak 0,079 mm v jemnozemi 89 %; označení dle klasifikace NATO – skupina CL)



Obr. 12 Měření zpomalení vlivem drsnosti povrchu – oraniště (foto M. Rybanský)

zrnitosti. Podrobný popis těchto kampaní je uveden v habilitační práci [17] a v článku [18]. Kromě těchto kampaní byla na meteorologické stanici KVGGM kontinuálně měřena kromě jiných veličin i půdní vlhkost. Bližší podrobnosti jsou uvedeny v kapitole 1.4.

Všechny měřické kampaně vždy obsahovaly odběry půdních vzorků k přesnému určení, o jaký půdní typ a půdní druh se jedná. Půdní vzorky byly vždy odebírány kopanými půdními sondami (obr. 9, obr. 10). Odebrané půdní vzorky byly podrobně analyzovány v pedologické laboratoři Ústavu

agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin MENDELU. Výsledky analýz (obr. 11) byly potom použity pro přesné určení půdního druhu a půdního typu, při výpočtech koeficientu zpomalení vlivem složení půdy a v neposlední řadě pro ověření přesnosti používaných databází půd [18].

V prostorech VÚJ byla prováděna i měření zpomalení vozidel vlivem drsnosti povrchu. Pro měření byly využity přirozené povrchy, které se nacházejí v daných prostorech (písečný, štěrkovitý, kamenitý apod.), nebo byla jednorázově připravena

testovací plocha, v daném případě oraniště. Drsnost povrchu byla ve spolupráci s katedrou geomatiky Stavební fakulty Českého vysokého učení technického v Praze určována i měřením pozemním laserem. Na změřených površích byly potom prováděny testovací jízdy vybranými vojenskými vozidly s instalovanými přijímači GNSS, pomocí nichž byly přesně určovány rychlosti vozidel na daných typech povrchů. Naměřená data byla následně použita při stanovování koeficientu zpomalení vlivem drsnosti povrchu (obr. 12).

Z výsledků měření a modelování zejména vlivu půd, které byly uskutečněny do roku 2010, byly zpracovány dvě certifikované metodiky, jedna pro kolová a druhá pro pásová vozidla, které jsou využívány pro zkoušky stávajících a nových vojenských vozidel ve VTÚ [19] a [20]. Na základě těchto metodik bylo realizováno rozsáhlé periodické měření únosnosti půd v letech 2014–2018, z jehož výsledků byl sestaven rozhodovací model pro hodnocení vlivu půd na pohyb vozidel [21]. Tento model je ve fázi přípravy na implementaci do MPT4000.

1.4 Faktor klimatických podmínek

Podmínky počasí, které jsou vyjádřené ve vlivu *faktoru klimatických podmínek*, se v modelování průchodnosti terénu projevují zejména ve stavu povrchu, po kterém se vozidla pohybují. Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.3, stav povrchu je možné vyjádřit jeho vlhkostí na povrchu a v hloubkách blízko povrchu.

Podle teorie uvedené v článku [12] a zejména v [13] byly v rámci uskutečněných měřických kampaní určovány tři základní typy klimatických období – suché, vlhké a mokré. Tyto typy byly následně rozšířeny na období duben až září (LÉTO), období říjen až duben bez mrazových dní (ZIMA+) a období říjen až duben s mrazovými dny (ZIMA–) [17], [21]. Uvedená období tvořila základní rámec pro vyhodnocení naměřených zprostředkujících dat, zejména měření únosnosti půdy pomocí penetrometru a měření vlhkosti v daném půdním profilu.

Záměrem řešitelského týmu byl i výzkum možnosti určení charakteru počasí s lokální předpovědí jeho vývoje s využitím stávajících numerických modelů a jejich zpřesněním pomocí měření stavu přízemní atmosféry v zájmovém prostoru, zpravidla v operačním prostoru činnosti brigádního úkolového uskupení. K měření meteorologických dat byly využity dvě pozemní meteorologické stanice. První stanice byla stála spravovaná KVG, která je umístěna v Brně v prostoru kasáren Černá Pole. Při měřických kampaních v letech 2015 a 2017 byla potom využita i mobilní meteorologická stanice TACMET.

Kromě těchto pozemních stanic byl záměr využít i bezpilotní prostředek (Unmanned Aerial Vehicle – UAV), který by byl osazen vhodnými čidly k měření základních meteorologických veličin (teplota, tlak a vlhkost) za různých povětrnostních podmínek. Oproti běžně dostupným strojům byl při výběru nosiče měřících čidel kladen důraz na schopnost provozu za ztížených povětrnostních podmínek, zejména pak srážek (děšť, sněžení) a dostup

do zhruba 1 km. Jako platforma byl zvolen typ Super Hornet (obr. 13).

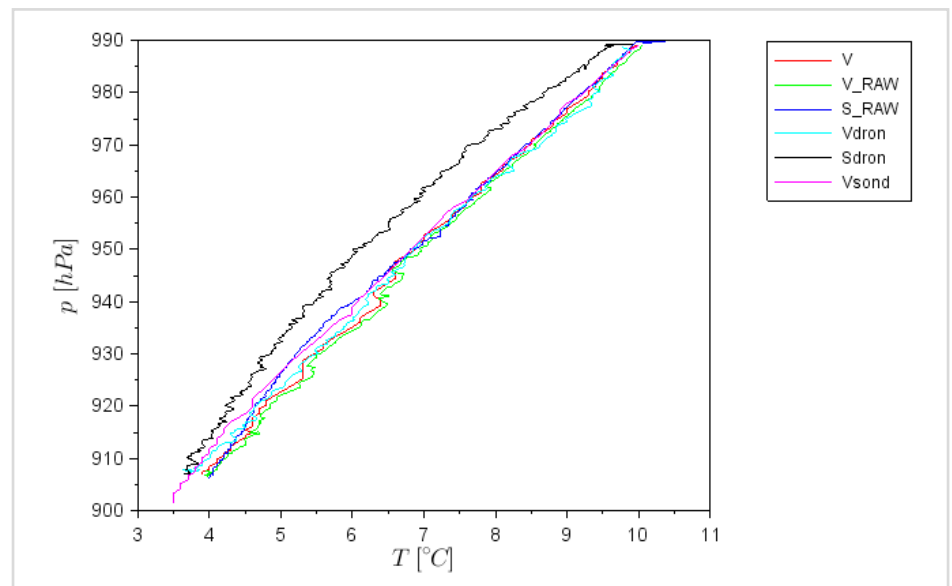
Po seznámení se s technikou a způsobem letu byly postupně od roku 2016 vykonávány testovací lety za různých povětrnostních podmínek s cílem najít zejména vhodná čidla, která mají vedle spolehlivosti měření i odpovídající rychlost tohoto měření. Druhým cílem bylo nalézt místa na platformě k jejich umístění tak, aby měřené hodnoty nebyly ovlivněny teplotou motorů a vířením vzduchu kolem rotorů. K testování jak senzorů, tak jejich umístění byla využita srovnávací měření s paralelními lety s aerosondou na balónu na letecké základně Prostějov (obr. 14) a dále měření při letu podél měrného stožáru Národní atmosférické observatoře v Košetcích.

Dále byly zkoumány možnosti využití aerodynamických vlastností platformy pro určení směru a rychlosti proudící vzduchové hmoty v dané výšce nad terénem. K tomu bylo v roce 2019 uskutečněno několik měření v klimatickém aero-

dynamickém tunelu Ústavu teoretické a aplikované mechaniky Akademie věd ČR v Telči (obr. 15). Všechna získaná data byla postupně použita pro návrh způsobu určení charakteru přízemní atmosféry. Vzhledem k odchodu dvou klíčových pracovníků z řešitelského týmu byla tato řešení dočasně pozastavena. Všechny zprávy z měření a naměřená data jsou uloženy v knihovně KVG.



Obr. 13 Bepilotní prostředek k sondáži atmosféry Super Hornet (foto V. Talhofer)



Obr. 14 Závislost teploty na tlaku při startu sondáže a dronu 27. 10. 2017 v 11:32 v Prostějově (V – výstup pro čidlo Vaisala (z EDT), (V_RAW/S_RAW) – výstup/sestup pro čidlo Vaisala, Vdron/Sdron – výstup/sestup pro čidlo dronu umístěné nahoře, Vsond – balonová sonda)



Obr. 15 Pohled na upevněnou multikopteru na vážní plošině v měřícím prostoru aerodynamického tunelu (foto J. Novotný)

Vedle výše popsaných způsobů získávání dat o stavu atmosféry a půdní vlhkosti byla a dosud jsou prováděna kontinuální měření meteorologických prvků na meteorologické stanici KVGM. Stanice měří v minutových intervalech základní meteorologické prvky – teplotu vzduchu, poměrnou vlhkost, směr a rychlost větru, tlak vzduchu, atmosférické srážky a sluneční záření. Dále stanice pro speciální účely měří povrchovou teplotu a vlhkost a teplotu a vlhkost v různých hloubkách půdního a betonového podkladu.

V rámci řešení faktoru klimatických podmínek byl záměr vytvořit predikční model teploty a vlhkosti povrchu a nízké spodní vrstvy, pro který měla být rovněž použita data získávána ze senzorů meteorologické stanice KVGM. Stejně jako v případě využití UAV k sondáži přízemní vrstvy atmosféry nedošlo k dokončení ale spouš pilotní verze modelu a úkol je nyní odložen.

1.5 Faktor hydrologie

Vliv faktoru hydrologie se projevuje v šesti sledovaných charakteristikách – typu vodstva (stojaté, tekoucí), v hloubce vody, rychlosti jejího proudění, šířce překonávaného úseku, charakteru dna a přístupnosti vodní hladiny ze břehu.

Pro podpurná měření pro vyhotovení modelu průchodnosti vodstva byla využita buď přímá, nebo zprostředkující měření. Zprostředkující měření byla využita zejména pro hodnocení přístupnosti vodní hladiny ze břehu, což je v zásadě stejná úloha jako při hodnocení vlivu mikroreliéfu. Tento způsob a jeho výsledky jsou podrobně uvedeny v samostatném článku tohoto čísla [14].

Vlastní pohyb vozidel ve vodě byl několikrát testován ve 20 metrů dlouhém vodním kanále VTÚ v Podivicích, ve kterém je možné vytvořit vodní plochu s danou hloubkou a ověřovat schopnosti vozidel brodit, resp. plavat. Provedená měření byla zaměřena na zpomalení pohybu vlivem odporu vody při brodění, resp. rychlosti plavby, pokud bylo vozidlo plavby schopné. Při jednotlivých průjezdech byl měřen čas, za který vozidlo vodní překážku překoná, a to od okamžiku, kdy se jeho přední kola dotkla vodní hladiny až do okamžiku, kdy zadní kola ztratila kontakt s vodní hladinou. Současně byla měřena délka vodního úseku v brodu v závislosti na určité hloubce. Na obrázku 16 je ukázka testů brodění a v tabulce 1 jsou výsledná data z jedné měřické kampaně.

Výsledky měření (hodnocení přístupnosti vodní hladiny ze břehu) nebyly dosud v modelu průchodnosti plně uplatně-

Tab. 1 Naměřená data pro hodnocení vlivu hydrologie z roku 2014

Hloubka [m]	Čas překonání vodního úseku [s]				Délka vodního úseku [m]
	Land Rover Defender 110	Tatra 815	BVP-2	Pandur II	
0,3	8,6				21,70
0,4	7,4				22,00
0,5	13,9				22,12
0,8		13,1			24,92
1,0		17,5			26,22
1,2		22,9		20,4	28,80
1,4				26,8	29,40
1,5			plave		-
1,6				45,7	30,95
1,8				plave	-
Vzdálenost mezi koly	2,85 m	4,35 m		3,8 m	



Obr. 16 Testy brodění a plavby kolového vozidla Pandur II v ZTO Podivice (foto M. Rybanský)

ny. Důvodem je zejména nemožnost získat větší množství dat z reálných podmínek provozu vojenské techniky, pokud by překonávala vodní toky nebo vodní plochy. Stávající model se opírá pouze o výše uvedené testy brodění, které však plně neodrážejí případnou realitu při násilném překonávání vodních toků a ploch.

1.6 Faktor zastavěné plochy

Vliv faktoru zastavěné plochy se projevuje ve zpomalení vozidla při průjezdu sídlem nebo zahrádkářskou kolonií. Prvním projektem, ve kterém byly určeny koeficienty zpomalení vozidla pohybujícího se sídly, byla diplomová práce Bartoškové [22]. Koeficienty byly v této práci kalkulovány pomocí topografických map, leteckých měřických snímků a přímou rekognoskací v terénu jako poměr přímé spojnice výchozího a koncového místa a reálné nejkratší trasy spojující tyto body průjezdnými komunikacemi.

Měření dat v terénu, která by spolehlivě umožňovala modelovat uvedený vliv, byla prováděna pouze při již zmíněných jízdách osobními a nákladními vozidly po běžných komunikacích. Ze záznamů přijímače GNSS, který byl na vozidle umístěn, byly identifikovány úseky, kdy se vozidlo nacházelo v zastavěném území a rovněž i typ komunikace, který daný úsek tvořil. Na základě změřených rychlostí v těchto úsecích byla stanovena průměrná rychlost daného typu vozidla na daném typu komunikace. Pro vojenská bojová vozidla nebylo možné získat relevantní data, protože jejich provoz v zastavěných plochách je velice omezen nebo, v případě pásové techniky, přímo není možný.

Vzhledem ke skutečnosti, že množství takto hodnocených úseků nebylo velké a z hlediska statistiky se nejednalo o spolehlivě průkazný vzorek, byly pro odhad rychlostí v daných typech komunikací v zastavěných prostorech využity rychlost-

ní limity dané zákonem č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, a rovněž osobní zkušenosti řešitelů.

Vyhodnocené výsledky vlivu faktoru zastavěné plochy a jejich odhady byly využity zejména pro model MPT4000. V následujícím období bude tento vliv i nadále zkoumán zejména dalším využíváním běžných i speciálně naplánovaných jízd kolovými vozidly různých kategorií, které budou zaznamenávány přijímači GNSS.

1.7 Faktor pozemních komunikací

Vliv faktoru *pozemních komunikací* se podle Rybanského [13] projevuje v koeficientu zpomalení vlivem typu komunikace, který lze de facto modelovat rychlostí vozidla na daném typu komunikace – dálnicích a rychlostních komunikacích, silnicích 1., 2. a 3. třídy, účelových komunikacích a zpevněných a nezpevněných polních a lesních cestách. Způsob získávání dat pro modelování vlivu tohoto faktoru je uveden v kapitole 1.1 a jejich využití v modelu průchodnosti MPT4000 potom v samostatném článku tohoto čísla [15].

1.8 Ostatní faktory

Mezi *ostatní faktory*, které ovlivňují průchodnost terénu, patří zejména negeografické faktory. Jedná se o *technické vlastnosti vozidel a jejich stav*, dále o *osobnostní charakteristiky řidičů* a *světelné podmínky pro jízdu*. V rámci jednotlivých měřických kampaní byla získávána data, která umožňovala zahrnout i uvedené vlivy do modelu MPT4000 nebo vytvářela podmínky k tomu, aby tyto faktory byly při dalším rozvoji modelu uvažovány.

U všech testovaných vojenských vozidel byla před zahájením testů provedena podrobná dokumentace jejich pneumatik nebo pásů. U pneumatik byl zaznamenán výrobce a typ (pokud bylo na vozidle použito více typů, byly zaznamenány všechny), dále stav, zejména opotřebení vzorků a jejich hloubka (obr. 17). U pásových vozidel byla zaznamenána jejich konstrukce a stupeň opotřebení záběrových prvků pásu (obr. 18). Všechny uvedené informace byly použity zejména při vyhodnocení trakčních vlastností vozidel.

Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím průchodnost terénu jsou osobnostní charakteristiky řidičů. Řešitelský tým nezkoumal osobnostní charakteristiky postupy obecně používanými v psychologii, ale vždy byly u každého řidiče zaznamenávány celková délka jeho řidičské praxe, délka jeho praxe s řízením daného typu vozidla, typ zkušeností s řízením bojových nebo přepravních vozidel, zejména

v zahraničních misích, a zda řidič absolvoval speciální výcvik pro řidiče bojových vozidel. Pokud to bylo z hlediska převzetí techniky jiným řidičem možné, docházelo i ke střídání řidičů tak, aby stejné trasy s daným typem vozidla absolvovali jak zkušební řidiči, tak řidiči, kteří se s danou technikou teprve seznamovali. Všechny tyto informace byly potom využity při analýze naměřených dat z jednotlivých provedených jízd, zejména k porovnání rychlostí průjezdu stejných prostorů řidiči s různou úrovní vycvičenosti.

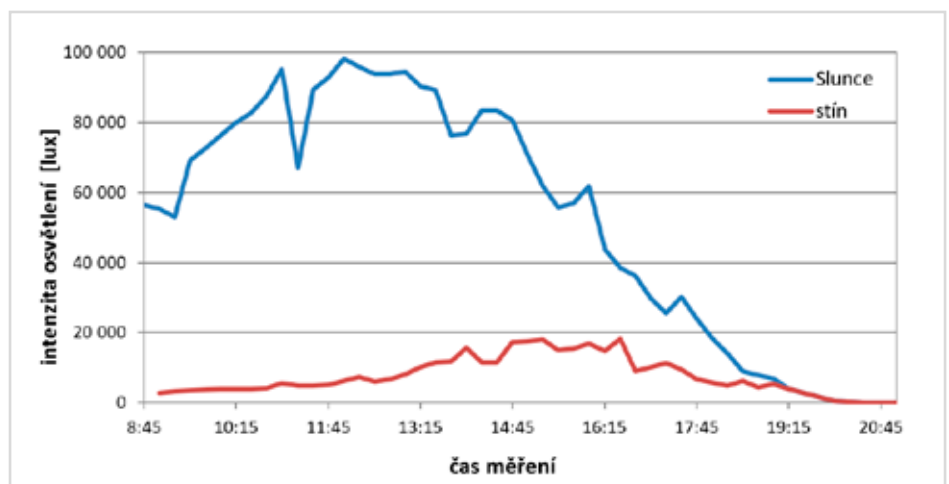
Posledním sledovaným faktorem byl *vliv světelných podmínek* na jízdu vozidel. K určení tohoto vlivu byly při komplexních testech v letech 2014 a 2015 ve čtvrt hodinových intervalech měřeny pomocí luxmetrů světelné podmínky za denního světla na přímém slunci a ve stínu. Po jejich vyhodnocení byly tyto hodnoty vztaženy k průběhu jednotlivých testovacích jízd a bylo zjišťováno, zda mají vliv na rychlost vozidel. Ukázka vyhodnoceného měření intenzity osvětlení je na obrázku 19.



Obr. 17 Měření stavu pneumatik vozidla Tatra 810 při testech v roce 2017 (foto V. Talhofer)



Obr. 18 Měření stavu záběrových prvků pásu vozidla BVP-2 při testech v roce 2017 (foto V. Talhofer)



Obr. 19 Denní průběh intenzity osvětlení v lokalitě takticko-průpravného cvičiště (TPC) Červený domek ve VÚJ Březina dne 6. 5. 2014 (intenzita světla je udána v luxech)

Na základě uvedených měření bylo konstatováno, že za denního světla nemají světelné podmínky zásadní vliv na rychlost vozidel.

Protože vojenské aktivity nejsou prováděny pouze za denního světla, ale i v noci, byl v uvedených letech zjišťován i vliv osvětlení světlomety vozidel za nočních podmínek. K tomu byla v roce 2014 vytvořena testovací základna (obr. 20) a na ní byl v noci měřen dosah vnějších světelných zdrojů jednotlivých vozidel.

Měřena byla intenzita na zemském povrchu kolmo ke zdrojovým světelným paprskům. Z průběhu křivek pro jednotlivé vozy se došlo k poznatku, že nejvyšší intenzity je dosaženo ve většině případů ve vzdálenosti 10 metrů, což je způsobeno průnikem světelného kužele se zemským povrchem, ke kterému u většiny vozidel dochází ve vzdálenosti větší než 1 m.

Tato měření byla v roce 2015 využita při nočních jízdách vybranými vozidly ve VÚJ Libavá. Vozidla projížděla zadaným prostorem v nočních podmínkách za použití světlometů. U některých vozidel byly využity i přístroje pro noční vidění. Jízdy byly opět zaznamenávány přijímači GNSS v sekundových intervalech. Vzhledem k tomu, že noční jízdy v otevřeném terénu jsou relativně nebezpečné, bylo provedeno pouze několik jízd, jejichž cílem bylo ověřit pouze metodický postup takovýchto testů. Protože nebylo získáno dostatečné množství naměřených dat, výsledky analýz těchto jízd nejsou zatím do modelu průchodnosti zahrnuty.

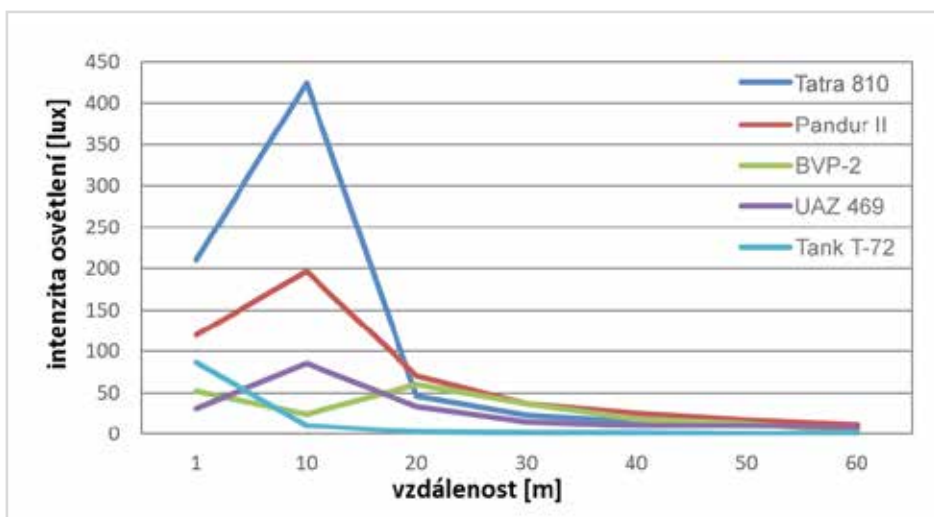
Závěr

Všechna uvedená terénní měření se odrazila v rozvoji teorie průchodnosti terénu jako komplexního problému, stejně tak, jako v rozvoji teorie hodnocení vlivu jednotlivých geografických ale i negeografických faktorů na mobilitu vojsk. Jako zásadní použitelný výsledek všech uskutečněných prací lze považovat pilotní projekt modelu hodnocení průchodnosti MPT4000. Tento model není však uzavřený a v budoucnu bude i nadále rozvíjen na základě dalších zjištěných poznatků.

Rozvoj teorie i praxe řešení modelů průchodnosti terénu a hodnocení vlivu uvedených faktorů je v současné době (rok 2020) rozvíjen na národní a zejména na mezinárodní úrovni. KVGM je odpovědným řešitelským pracovištěm mezinárodního projektu NATO – STO Support Project (CZE-AVT-2019) „Determination of the trafficability of military vehicles in typical Central European forests“, s dobou řešení 2020–2023 a s odpovědným řešitelem doc. Ing. Marianem Rybanským,



Obr. 20 Poloha měřicích bodů pro meteorologická data a základny pro měření svítivosti vnějšího osvětlení



Obr. 21 Závislost intenzity přímého osvětlení v luxech a vzdálenosti od světlometů pro jednotlivá vozidla (měření provedeno ve 22:00 v lokalitě TPC Červený domek ve VÚJ Březina dne 6. 5. 2014)

CSc., a dále se spolupodílí na mezinárodním projektu FY20 FTAS „Evaluation of Czech Republic Tree Data as a Basis for a New US Forest Maneuverability Model“. Zde je odpovědným řešitelským pracovištěm „The Cold Region Research and Engineering Laboratory“ (CRREL), které je součástí The US Army Engineer Research and Development Center (ERDC) s dobou řešení 2020–2021. Zodpovědným řešitelem za českou část je opět doc. Rybanský.

Doc. Rybanský je rovněž členem řešitelských týmů dvou projektů podporovaných NATO (project NATO AVT-308 „Cooperative Demonstration of Technology (CDT) for Next Generation NATO

Reference Mobility Model (NG NRMM)“ s obdobím řešení 2018–2021 a dále project NATO AVT-341 „Mobility Assessment Methods and Tools for Autonomous Military Ground Systems“ – doba řešení 2020–2023).

Na národní úrovni se rozvíjí teorie i praxe modelování průchodnosti terénu zejména v současných i budoucích úkolech řešených na půdě UO. Tyto úkoly budou rozvíjeny jak ve vztahu ke stávající pozemní technice, tak i ve vztahu k budoucí technice včetně UGV.

Použité zkratky

AČR	Armáda České republiky	NG NRMM	Next Generation NATO Reference Mobility Model
BVP-2	Bojové vozidlo pěchoty 2		
CDT	Cooperative Demonstration of Technology	NRMM	NATO Reference Mobility Model
CRREL	Cold Region Research and Engineering Laboratory	SR	Slovenská republika
ČR	Česká republika	TPC	takticko-průpravné cvičiště
ERDC	Engineer Research and Development Center	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
GNSS	global navigation satellite system	UGV	Unmanned Ground Vehicle
KVGM	katedra vojenské geografie a meteorologie	UO	Univerzita obrany v Brně
MENDELU	Mendelova univerzita v Brně	VTÚ	Vojenský technický ústav, s. p.
MPT4000	Model průchodnosti terénu 4000	VÚj	vojenský újezd
NATO	North Atlantic Treaty Organization	VÚZT	Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.
		ZTO	zkušební terénní okruh

Použitá literatura a zdroje

- [1] MONKHOUSE, Francis John. *Principles of Physical Geography*. 8th ed. London : Hodder and Stoughton Ltd., 1975. ISBN 0340050624, 9780340050620.
- [2] Tatra: Tatra takes you further [online]. Tatra, a. s., 2020. Dostupné z WWW: <<https://www.tatratrucks.com/your-tatra-partner/tatra-testing-grounds/>> [cit. 17. 5. 2020].
- [3] Vojenský technický ústav: VTÚ – Zkušebna vozidel [online]. Vojenský technický ústav, s. p., 2020. Dostupné z WWW: <<https://www.vtusp.cz/zkusebnictvi/zkusebna-vozidel/>> [přístup získán 10/2020].
- [4] AHLVIN, Richard B.; HALEY, Peter W. *NATO reference mobility model – NRMM II User's Guide*. 2nd ed. Vicksburg, MS : US Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992. 283 p.
- [5] *STANAG 3992 – AGeoP-1 Terrain Analyses*. Washington, D.C. : Headquarters Department of the Army, 1990.
- [6] HEŠTERA, Hrvoje; PAHERNIK, Mladen. Physical-geographic factors of terrain trafficability of military vehicles according to Western World methodologies, In: *Hrvatski Geografski Glasnik-Croatian Geographical Bulletin*, Vol. 80, 2018, no. 2, pp. 5–31.
- [7] HOHMANN, Audrey; GRANDJEAN, Gilles; MARDHEL, Vincent; SCHAEFER, Gilles; DESRAMAUT, Nicolas. A GIS-based Vehicle Mobility Estimator for Operational Contexts. In: *Transactions in GIS*, Vol. 17, 2013, no. 1, pp. 78–95.
- [8] MASON, George L.; GATES, Burhman Q.; MOORE, Victoria D. Determining forces required to override obstacles for ground vehicles. In: *Journal of Terramechanics*, Vol. 49, 2012, no. 3–4, pp. 191–196.
- [9] POKONIECZNY, Krzysztof; MOŚCICKA, Albina. The influence of the shape and size of the cell on developing military passability maps. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 7, 2018, no. 7, p. 261.
- [10] JAYAKUMAR, Paramsothy; DASCH, Jean M. The Next Generation NATO Reference Mobility Model Development. In: *NATO Public Release documets*, 2016. 22 p.
- [11] JAYAKUMAR, Paramsothy; DASCH, Jean M. The Next Generation NATO Reference Mobility Model Development. In: *STO-MP-AVT-265*, no. AC/323(AVT-265)TP/784, 2017.
- [12] RYBANSKÝ, Marian. Úvod do problematiky průchodnosti terénu. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 9–21. ISSN 1214-3707.
- [13] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s. r. o., 2009. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [14] DOHNAL, Filip; HUBÁČEK, Martin. Vliv mikoreliéfních objektů na průchodnost terénu. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 51–56. ISSN 1214-3707.
- [15] BUREŠ, Martin. Model průchodnosti terénu 4000. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 65–69. ISSN 1214-3707.
- [16] RYBANSKÝ, Marian; HUBÁČEK, Martin; BŘEŇOVÁ, Marie; ČEPLOVÁ, Lucie. *Metodika určování vlivu porostů na pohyb vojenských vozidel – kolová vozidla*. Vyškov : Vojenský technický ústav, s. p., 2013. 43 s.
- [17] HUBÁČEK, Martin. Modelování vlivu půd na možnosti pohybu vojenských vozidel. *Habilitační práce*, Brno, Univerzita obrany v Brně, 2018.
- [18] HUBÁČEK, Martin; MERTOVIČ, Eva. Ověření možnosti využití Účelové databáze půd ke stanovení průchodnosti půd. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 32–39. ISSN 1214-3707.
- [19] RYBANSKÝ, Marian. *Metodika určování vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel v terénu – kolová vozidla*. Vyškov : Vojenský technický ústav, 2011. 30 s.
- [20] RYBANSKÝ, Marian. *Metodika určování vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel v terénu – pásová vozidla*. Vyškov : Vojenský technický ústav, 2012. 22 s.
- [21] HUBÁČEK, Martin; MAYEROVÁ, Šárka; MERTOVIČ, Eva. Návrh nového postupu hodnocení průchodnosti půd v podmínkách AČR. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 40–50. ISSN 1214-3707.
- [22] BARTOŠKOVÁ, Jitka. Analýza vlivu vybraných geografických faktorů na průchodnost území. *Diplomová práce*. Brno, Univerzita obrany, 2003. 144 s.

Ověření možnosti využití Účelové databáze půdy ke stanovení průchodnosti půd

pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D.¹, npor. Ing. Eva Mertová²

¹katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

²Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Praha

Abstrakt

K hodnocení průchodnosti půd je možné využít přímé terénní měření nebo geoinformační model vycházející z informací o půdních charakteristikách a stavu počasí. Takový model je od roku 2000 k dispozici armádním uživatelům prostřednictvím Účelové databáze půdy. Jeho spolehlivost ale nebyla nikdy reálně ověřena. Proto bylo na katedře vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně v rámci výzkumu zaměřeného na průchodnost terénu realizováno ověření spolehlivosti tohoto modelu. Ověření bylo provedeno porovnáním modelované průchodnosti půd s průchodností, která byla vypočítána na základě reálných penetrometrických měření v předem vybraných lokalitách. Z výsledků porovnání vyplývá, že zavedený model hodnocení průchodnosti půd je nespolehlivý a je nutné ho přepracovat nebo nahradit novým.

Verification of the possibility of using the special-purpose soil database to determine soil passability

Abstract

Assessing soil passability can be accomplished using the field penetrometric measurements or by applying the geoinformation model coming up from soil characteristics and weather condition data. Such a model is available to the military users since 2000. However, its reliability has not been practically verified yet. Therefore, the verification was performed at the Department of Military Geography and Meteorology within the research of terrain passability. The verification was carried out through comparison of modeled soil passability to the passability calculated from the real penetrometric measurements at selected locations. The results of comparison show that the current model of soil passability is unreliable and has to be modified or replaced.

Úvod

Povrch terénu je na většině kontinentů pokryt půdami, které představují jednu ze základních složek krajinné sféry. Půdy tak svým výskytem a svými vlastnostmi významně ovlivňují lidskou společnost, mají zásadní význam zejména pro výživu obyvatelstva. Kromě užitkových funkcí mají půdy významnou roli i v oblastech ekologie, kulturního a historického vývoje lidské civilizace [32]. Jako nejsvrchnější část zemského povrchu významně ovlivňují řadu lidských činností.

Jednou z významných lidských činností, kde se vliv půd projevuje, je problematika přepravy osob a materiálu v situacích, kdy je třeba překonat část území převážně přírodního charakteru. Vliv půd je v tomto případě výrazně vázán na aktuální počasí i na některé meteorologické jevy v uplynulém období [28]. V běžném životě a při hospodaření na půdách je možné přizpůsobit čas pohybu v prostoru aktuálním podmínkám (sezónní zemědělské a lesnické práce). Při mimořádných situacích včetně válečných je však často nutné realizovat pohyb jednotek za jakýchkoliv podmínek.

V těchto případech musí mít velitelé a jejich štáby znalosti o tom, zda, a za jakých podmínek, je dané území pro jednotky průchodné nebo neprůchodné. V případě vojenských jednotek je průchodnosti terénu, tedy i průchodnosti půd, věnována velká pozornost již ve fázi plánování operací [3], [12], [18], zjištěné informace jsou v dalších fázích operace průběžně upřesňovány.

1. Postupy hodnocení vlivu půd na průchodnost

Pro hodnocení vlivu půd na průchodnost jsou využívány dva způsoby. První (tradiční) způsob představuje kontaktní metody měření průchodnosti přímo na místě „in situ“ a je prováděn zejména specialisty ženijního vojska. Druhý způsob spočívá v hodnocení půdních vlastností a jejich vlivu na průchodnost na základě analýzy geografických podkladů, zejména půdních map. Tento způsob se začal rozvíjet později a jeho rozšíření souvisí zejména s digitalizací půdních map a dostupností geoinformačních technologií.

1.1 Kontaktní způsoby hodnocení průchodnosti půd

Kontaktní hodnocení průchodnosti půd je možné provádět rozdílnými způsoby. Vojenský předpis [16] popisuje čtyři metody:

- vizuální posouzení (podle vegetace a jejího stavu, na základě prostředí – vodní toky, sníženiny);
- zhodnocení s využitím otisku lidské stopy – při zaboření celé stopy předpoklad průjezdu pásových a zapadnutí kolových vozidel;
- měření ženijním sochořem;
- měření teleskopickým penetrometrem PT-45.

Pouze dvě poslední jmenované metody (měření ženijním sochořem a měření penetrometrem) jsou založené na měření a získané výsledky je možné považovat

za spolehlivé. Penetrometry různé konstrukce jsou využívány i v jiných armádách pro měření průchodnosti půd. Jedním z nejužívanějších je kuželový penetrometr E-910 zavedený u ženijních jednotek americké armády, i několika dalších armád Severoatlantické aliance, který je součástí setu pro měření průchodnosti půd E-960 (obr. 1).

Výhodou sady pro měření průchodnosti půd je, že kromě vlastního měření penetrometrického odporu půd je měřeno i utužení půd, které simuluje několikanásobné průjezdy vozidel. Vlastní vyhodnocení průchodnosti pro měřenou lokalitu vychází z metodiky dané předpisem americké armády [6] a kromě naměřených hodnot jsou posuzovány i parametry, mezi něž patří například typ podvozku vozidla, jeho hmotnost, výkon motoru, typ převodovky, druh půd a maximální možný počet průjezdů. Na rozdíl od použití penetrometru PT-45 je postup stanovení průchodnosti půd s využitím sady E-960 sice náročnější na měření i na zpracování naměřených dat, ale vzhledem k tomu, že hodnocení průchodnosti půd se posuzuje pro konkrétní vozidla, je spolehlivější. To dokázala i nezávislá měření provedená katedrou ženijních technologií Univerzity obrany v Brně [1], [2]. Popsaný postup stanovení průchodnosti půd je běžně používán i v řadě zahraničních vědeckých prací zabývajících se průchodností půd [14], [26], [27]. Vzhledem k jeho spolehlivosti a rozšíření i při jiných výzkumných pracích byl použit i pro stanovení skutečné průchodnosti půd

na území České republiky (ČR) a ověření v geografické službě Armády České republiky (GeoSI AČR) zavedeného analytického modelu průchodnosti půd (dále jen „model GeoSI AČR“) dříve využívaného pro zpracování Mapy průchodnosti terénu 1 : 100 000 (MPT100).

1.2 Analytické způsoby hodnocení průchodnosti půd

Další možnost vedoucí ke stanovení průchodnosti půd, kromě měření v terénu, spočívá ve využití analytických postupů vycházejících z hodnocení půd na základě informací uložených v půdních mapách nebo geodatabázích. Tyto postupy jsou zpravidla součástí komplexního hodnocení průchodnosti a jejich spolehlivost se odvíjí od komplexnosti modelu, dostupnosti dat a použitého způsobu hodnocení. Dostupné popisy těchto modelů jsou většinou velmi obecného charakteru, neboť informace o jejich funkčnosti a parametrizaci jsou zpravidla určeny pouze pro autorizované uživatele v jednotlivých armádách nebo aliancích. Přesto lze na základě dostupných informací [7], [13], [15], [21], [22], [23], [29], [31] říci, že většina postupů stanovení průchodnosti půd je založena na hodnocení zrnitosti půd a aktuálního klimatického období (suché, vlhké, mokré). Získané výsledky jsou poměrně obecné a vzhledem k charakteru používaných dat výsledné půdní charakteristiky nespisují řadu lokálních vlivů.

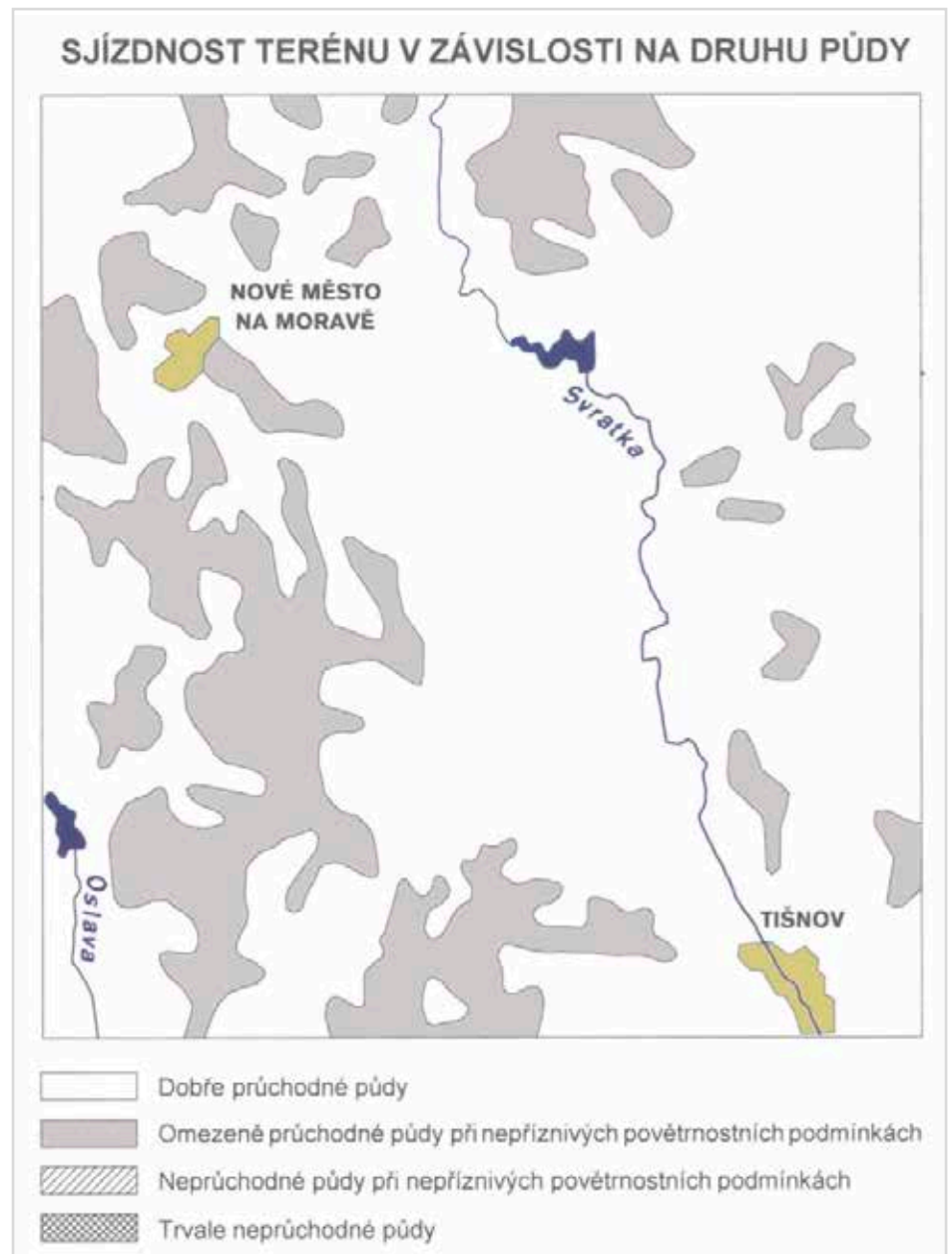
Z tohoto pohledu je analytický postup vytvořený pro potřeby Armády České republiky (AČR) její geografickou službou na konci 90. let 20. století výjimečný (model GeoSI AČR). Pro modelování vlivu půd na průchodnost využívá Účelovou databázi půdy (dále jen „ÚDB Půdy“), která je digitální adaptací Syntetické půdní mapy ČR 1 : 200 000 a obsahuje informace o dominantní složce půdního typu a půdotvorného substrátu s připojenou charakteristikou zrnitostního složení pro jednotlivé půdní areály [17]. Princip stanovení průchodnosti jednotlivých půdních areálů vychází ze znaleckého posudku [20], který rozdělil půdní areály do čtyř skupin:

- půdy dobře průchodné;
- půdy omezeně průchodné za ztížených meteorologických podmínek;
- půdy neprůchodné za ztížených meteorologických podmínek;
- půdy neprůchodné v průběhu celého roku.

Ztížené meteorologické podmínky jsou definovány na základě ročního období a množství srážek ve třech po sobě jdoucích dnech ve sledovaném období. V let-



Obr. 1 Originální sada pro měření průchodnosti půd E-960, včetně nástavců navržených řešitelským týmem pro snazší manipulaci a přenosného senzoru půdní vlhkosti ThetaProbe ML3



Obr. 2 Zpracování průchodnosti půd na MPT100 s využitím ÚDB Půdy – výřez části listu mapy v oblasti mimorámových údajů

ním období (v měsících květen–září) jsou definovány jako srážkové úhrny přesahující 60 (70)¹⁾ mm. V zimním období (v mě-

¹⁾ V žádné dostupné dokumentaci nelze dohledat, kdy platí hodnota 60 mm a kdy hodnota 70 mm. Proto bude dále v práci pro letní podmínky uvažována pouze hodnota 60 mm.

sích říjen–duben) je limitní hodnota pro ztížené meteorologické podmínky stanovena hodnotou úhrnu srážek přesahující 40 mm [17]. Výsledek výpočtu je vojenským uživatelům k dispozici i v podobě schematického znázornění pro každý mapový list v MPT100 (obr. 2).

2. Ověření modelu GeoSI AČR pro modelování průchodnosti půd

Model GeoSI AČR byl primárně vytvořen jako podpůrný nástroj při tvorbě MPT100 a jeho výsledky v takové podobě, jak jsou uvedeny na obrázku 2, nebo získané vlastní analýzou dat, jsou k dispozici armádním uživatelům, aniž byly ověřeny v terénu.

Na nespolehlivost modelu GeoSI AČR pro hodnocení průchodnosti půd upozornil již v roce 2002 v disertační práci Hubáček [8]. Z výsledků více než rok prováděného měření s využitím penetrometru PT-45 a porovnání naměřených hodnot průchodnosti s hodnotami modelovanými postupem GeoSI AČR vyplynuly tyto závěry:

- vytvořený algoritmus není vhodný pro využití při analýzách průchodnosti;
- skutečná průchodnost je v řadě případů horší než průchodnost predikovaná modelem;
- pouze v některých případech je průchodnost lepší než modelovaná;
- nepodařilo se prokázat závislost únosnosti půd na sledovaných meteorologických jevech (srážky, teplota, doba slunečního svitu, relativní vlhkost vzduchu);
- výsledky získané modelováním na základě ÚDB Půdy a existujícího algoritmu je možné považovat pouze za orientační.

I přesto, že tato zjištění o nespolehlivosti výsledků modelování průchodnosti modelem GeoSI AČR jsou známé již téměř 20 let, nebyl zatím žádným způsobem tento model modifikován. Návrh na dílčí úpravu vytvořený Hubáčkem [8] a Žižkovou [33] na základě měření penetrometrem PT-45 řeší pouze několik dílčích změn a nebyl nikdy ověřen s využitím vozidel ani nebyl zaveden do vojenské praxe. Zkušenosti z měření provedených pomocí penetrometru PT-45 ukazovaly i na nepřesnosti metodiky vyhodnocení naměřených výsledků a tím i nemožnost jednoznačné parametrizace modelu na základě reálně naměřených dat. Problém s nepřesnou metodikou vyhodnocení měření penetrometrem PT-45 potvrdila jednoznačně Cibulová [1], která ve své práci porovnávala měření únosnosti půd provedené penetrometrem PT-45 a kuželovým penetrometrem ze sady pro měření průchodnosti E-960 vůči skutečně provedeným průjezdům vozidel Tatra 815 (T815) 8×8 a Land Rover Defender 110 ve třech testovaných lokalitách. Výsledky prokázaly, že terénní měření s využitím sady založené na měření kuželovým penetrometrem je spolehlivé a je možné ho s úspěchem využít pro provádění průzkumu půd.

2.1 Výchozí měření průchodnosti půd v typických lokalitách pro území ČR

Uvedené skutečnosti se staly výchozími pro zahájení řešení dílčího úkolu projektu obranného výzkumu METEOR (Geografické a meteorologické faktory bojiště, jejich dynamická vizualizace a lokalizace v systémech velení a řízení), který byl zaměřen na zmapování chování půd na území ČR ve vztahu k jejich průchodnosti. V rámci tohoto projektu bylo v roce 2009 provedeno první rozsáhlé penetrometrické měření ve dvanácti lokalitách na území ČR. Jednotlivé lokality byly vybrány ve spolupráci s pedology z Mendelovy univerzity a reprezentovaly hlavní půdní areály vyskytující se na našem území. Pro měření průchodnosti půd byla využita sada pro měření průchodnosti E-960. Tím byl položen základ pro soustavné měření únosnosti půd a provedení následné komplexní analýzy naměřených dat (etapa 1). Pro stanovení průchodnosti půd v rozdílných meteorologických podmínkách bylo měření v těchto lokalitách do roku 2013 třikrát opakováno s cílem postihnout změnu průchodnosti v klimaticky suchém, vlhkém a mokřem období.

Výsledky měření ukázaly, že většina zkoumaných půd je základní technikou používanou v AČR ve všech termínech měření průchodná bez problémů. Dílčí problémy by vznikly v případě pohybu nákladních automobilů. Vybrané půdy neměly ani při extrémně nepříznivých meteorologických podmínkách takový vliv, že by danou oblast zneprůchodnily. Výraznější problémy v průchodnosti v těchto lokalitách mohou nastat pouze v případě souběžného vlivu více geografických faktorů na pohyb vozidla. Toto zjištění, ale neodpovídá výsledkům průchodnosti půd modelovaných pro tyto lokality modelem GeoSI AČR (tab. 1).

2.2 Opakované měření únosnosti půd v problematických lokalitách

Jak ukázaly výsledky měření v etapě 1, existují výrazné rozdíly mezi měřenou hodnotou průchodnosti půd a průchodností půd modelovanou modelem GeoSI AČR.

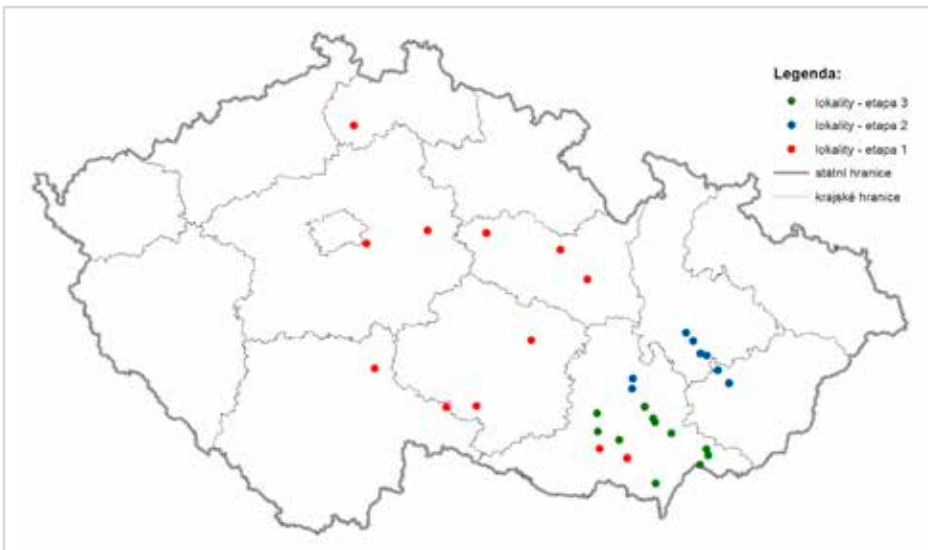
Většina půdních areálů typických pro území ČR měla velmi dobré podmínky pro pohyb vozidel. Dílčí problémy v průchodnosti byly zjištěny u půdních areálů, v nichž se vyskytují půdní typy černozem a glej. Zároveň je možné konstatovat, že klasifikace půdních areálů podle ÚDB Půdy v řadě případů neodpovídá klasifikaci provedené v terénu a při půdních rozbořech [9]. U dvanácti měřených lokalit je v ÚDB Půdy čtyřikrát chybně klasifikován půdní typ a pětkrát půdní druh. Tato chybná klasifikace může vést k chybám v modelování průchodnosti půd.

Protože při provedených měřeních nebyly pro jednotlivé lokality zjišťovány úhrny srážek, nebylo možné stanovit, kdy přesně k rozdílu mezi skutečnou a modelovanou průchodností půd dochází. Proto bylo rozhodnuto o realizaci pravidelných dlouhodobých měření únosnosti půd při souběžném sledování srážkových úhrnů s cílem stanovit spolehlivost modelu GeoSI AČR. Pro měření bylo ve spolupráci s pedology z Mendelovy univerzity vybráno devět nových lokalit s výskytem obtížně průchodných půd. Tento výběr vycházel z praktických zkušeností získaných při měření v etapě 1 a z testování průchodnosti techniky v terénu realizovaných katedrou vojenské geografie a meteorologie. Lokality byly vybírány tak, aby umožňovaly provedení měření v průběhu jednoho dne. Výsledkem výběru bylo 9 míst na území Moravy – etapa 2 (obr. 3). První měření proběhlo počátkem prosince 2014 a bylo opakováno v následujících letech až do srpna 2017, kdy byla měření v lokalitách etapy 2 prozatím ukončena. Celkem proběhlo v rámci etapy 2 dvacet měření únosnosti v různých obdobích roku za rozdílných meteorologických podmínek. Množství provedených měření bylo ovlivněno dlouhodobým suchem v letech 2015 a 2016, kdy v suché části roku měření neprobíhala.

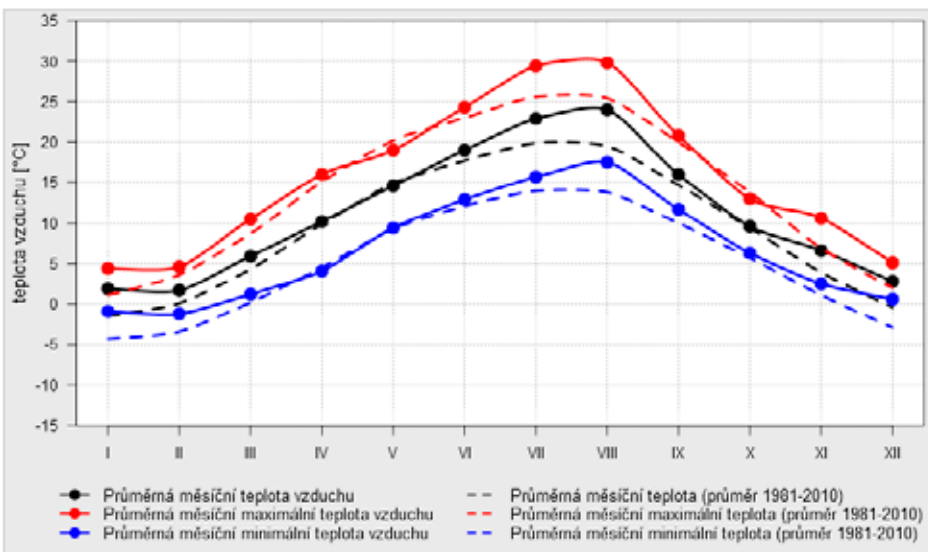
Pro ověření spolehlivosti metody modelování průchodnosti dle metodiky ÚDB Půdy byla použita měření z období prosinec 2014 až září 2016. Toto období představuje čtrnáct měření v různých ter-

Tab. 1 Hodnocení průchodnosti půd v lokalitách etapy 1 dle modelu GeoSI AČR (G – GO, S – SLOW GO, N – NO GO)

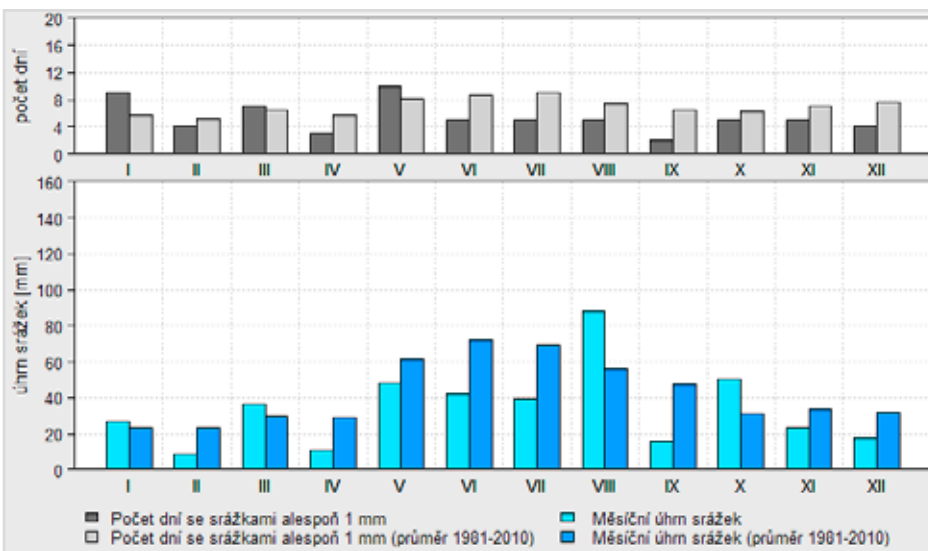
METEO podmínky	Lokalita											
	Vatín	Gajer	Podrážek	Živanice	Veltruby	Staré Splavy	Strašín	Turovec	Horní Bolíkov	Olšany	Pohořelice	Popice
příznivé	G	G	S	G	G	G	G	G	G	G	G	G
nepříznivé	S	G	N	G	S	G	G	S	S	S	G	S



Obr. 3 Rozložení lokalit měření únosnosti půd na území ČR v jednotlivých etapách



Obr. 4 Průběh průměrné měsíční, průměrné měsíční maximální a minimální teploty vzduchu v roce 2015 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 [4]



Obr. 5 Průběh měsíčního úhrnu srážek a měsíčního počtu dní se srážkami alespoň 1 mm v roce 2015 ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 [4]

mínech, zejména pak ve vlhčí části roku (podzim–jaro). Měření průchodnosti půd probíhalo podle postupu stanoveného pro měření a vyhodnocení sadou pro měření průchodnosti půd E-960 [6]. Současně

s prvním měřením průchodnosti byl proveden odběr půdních sond pro provedení podrobného půdního rozboru v pedologické laboratoři. Cílem půdního rozboru bylo potvrzení správnosti výtípaného území

a ověření spolehlivosti zákresu půdních charakteristik v půdních mapách a půdních geodatabázích.

Z provedených prvních čtrnácti měření proběhla tři v letním období (květen–září) a ostatních jedenáct měření proběhlo v období zimním (říjen–duben). Stanovení, zda jde o letní nebo zimní období, bylo provedeno na základě metodiky popsané v dokumentaci k ÚDB Půdy [17]. Menší počet měření v letním období je dán charakterem počasí a stavem půd, které byly vyschlé, pevné a únosné. Vzhledem k celkové změně charakteru počasí na území ČR [25] byl i průběh počasí v zájmovém území v období měření poněkud odlišný od průměrných klimatických hodnot. Celkově se jednalo spíše o období suché, srážkově podprůměrné a teplotně nadprůměrné, s vyšší dobou slunečního svitu, než je typické pro průměrný rok. Tato skutečnost ovlivnila i naměřené hodnoty únosnosti. Atypický průběh počasí je možný doložit porovnáním dlouhodobých a aktuálních (k termínu prováděného měření) průměrných teplot a srážkových úhrnů. Pro ukázkou byla vybrána data meteorologické stanice Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Brno-Tuřany, která se nachází v blízkosti některých lokalit etapy 2.

Na obrázcích 4 a 5 jsou dokumentovány údaje za rok 2015 ve srovnání s třicetiletým průměrem za roky 1981–2010. V letních měsících roku 2015 dosahovaly průměrné měsíční teploty vzduchu vyšších hodnot a od dlouhodobých průměrů se lišily až o +5 °C (obr. 4). Největší teplotní extrémy se vyskytly v měsíci srpnu, což spolu se srážkovým deficitem ovlivnilo i chování půd z hlediska jejich průchodnosti. Většina půd byla i v průběhu celého podzimního období velmi suchá a dobře průchodná. Co se týká srážkových úhrnů v roce 2015, ty byly ve většině měsíců podprůměrné a mnohdy až poloviční oproti dlouhodobému průměru (obr. 5). Pokud srážky dosahovaly běžných hodnot, nebo je i překročily (měsíc srpen), zpravidla k tomu došlo v menším počtu dní. Většina srážek v těchto případech spadla ve formě přivalových dešťů a odtékla po povrchu. Menší počet dní se srážkami alespoň jeden milimetr tak může být stejně limitující jako celkové množství srážek. Průběh sledovaných meteorologických jevů v roce 2016 se zásadním způsobem nezměnil. Jediným rozdílem je vyšší úhrn srážek v některých měsících první poloviny roku. Teploty po celý rok překračovaly dlouhodobé průměry. Grafy za rok 2016 lze nalézt na webových stránkách ČHMÚ [4]. Pro dokreslení je v tabulce 2 uveden číselný přehled sledovaných hodnot v letech 2015 a 2016.

Tab. 2 Průměrné měsíční hodnoty teplot a srážkových úhrnů v letech 2015 a 2016 na stanici Brno-Tuřany [4]

Měsíc		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Teplota [°C]	2015	2,1	1,9	6,1	10,4	14,8	18,9	23,7	24,4	16,1	9,9	6,8	3,6
	2016	-1,0	4,9	10,2	10,2	15,6	19,8	21,3	19,6	18,3	9,1	4,0	-0,3
Srážky [mm]	2015	27,8	9,1	38,1	11,2	48,6	42,1	39,1	87,0	18,3	51,4	22,4	18,9
	2016	23,0	70,9	37,5	37,5	44,2	74,5	101,8	61,1	11,0	27,7	29,7	12,4

2.3 Porovnání měřených hodnot etapy 2 s modelovanou průchodností půd

Pro porovnání modelu průchodnosti půd dle metodiky ÚDB Půdy (model GeoSI AČR) a skutečně naměřených hodnot je nutné z dat ÚDB Půdy a polohy jednotlivých lokalit pomocí analýzy překrytu stanovit průchodnost půd v místech měření. Z analýzy vyplývá, že lokality se nacházejí převážně v místech obtížně průchodných půd za zhoršených meteorologických podmínek. Dvě z lokalit jsou v oblasti průchodné bez omezení a jedna v lokalitě výskytu půd neprůchodných bez ohledu na vliv počasí (tab. 3, obr. 6). Výsledky analýzy průchodnosti půd dle této metodiky neřeší druh vozidla.

Ve třech případech jsou lokality měření poblíž rozhraní (80–250 m) s průchod-

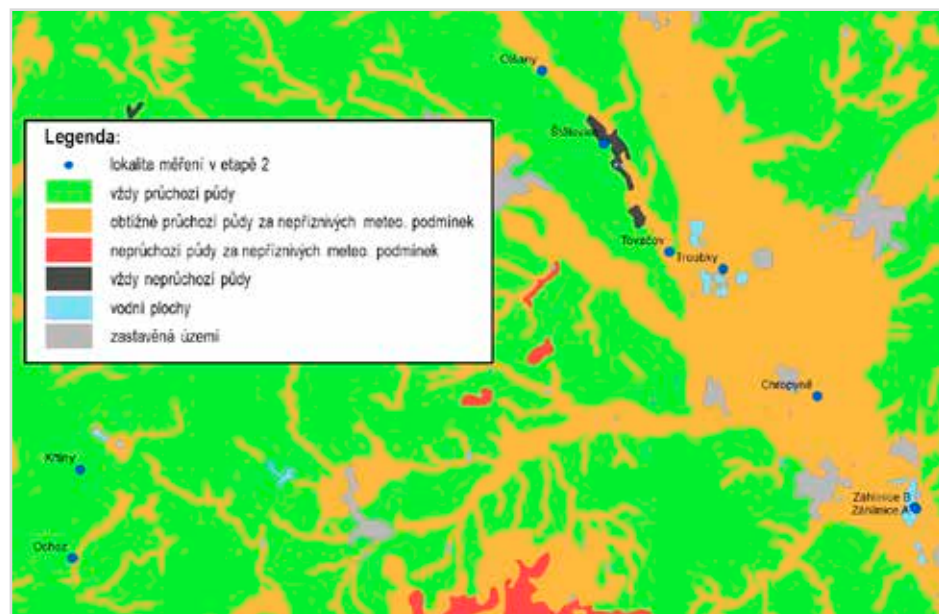
nými půdními areály (Olšany, Štětovice, Tovačov), proto by v případě špatně zakresleného průběhu rozhraní mohlo dojít k chybné klasifikaci průchodnosti. Pro účely porovnání byl přijat předpoklad, že průběh rozhraní je zakreslen přesně.

Pro porovnání měření průchodnosti v jednotlivých lokalitách s hodnotou získanou analýzou z ÚDB Půdy dle metody GeoSI AČR je nutné vědět, zda v jednotlivých termínech měření byly příznivé či nepříznivé meteorologické podmínky. To znamená určit množství srážek za poslední tři dny před dnem měření a rozhodnout, zda jde o letní nebo zimní období. Pro získání informací o srážkách byly použity plošné odhady srážek ČHMÚ vycházející z kombinace lokálních a radarových měření. V ČHMÚ je systém poskytující kombi-

nované odhady srážek k dispozici od roku 2003 a průběžně je modifikován [5], [30]. Výsledná data jsou v současné době počítána pro síť 1 × 1 km v pětiminutových intervalech a je možné je považovat za nejpresnější plošnou informaci o srážkovém úhrnu na území ČR, a to i přes možnou chybovost výpočtu. Měřené hodnoty srážek nebylo možné využít, protože vzdálenost mezi místy penetrometrického měření a nejbližším srážkoměrem je v průměru 5,7 km [10].

Na základě získaných plošných odhadů srážek byl pro jednotlivé termíny a lokality vypočítán srážkový úhrn za poslední tři dny před dnem měření, tak jak vyžaduje metodika hodnocení průchodnosti půd dle ÚDB Půdy. Jak je vidět z provedených výpočtů (tab. 4), nejvyšších třídenních srážkových úhrnů bylo dosaženo při měřeních v únoru, březnu a září 2016. Ani v jednom případě ale hodnoty nedosahují limitů stanovených pro definici nepříznivých podmínek. Na základě toho je možné konstatovat, že při všech termínech měření panovaly příznivé meteorologické podmínky. Všechny lokality by tak měly být bez problémů průchodné z pohledu vlivu půd, až na lokalitu Štětovice, která by měla být neprůchodná za jakýchkoliv meteorologických podmínek (tab. 3 – první řádek).

Z naměřených hodnot penetrometrického odporu půd byly pro jednotlivé lokality a termíny měření podle postupu popsaného v [6] vypočítány hodnoty únosnosti půd, které byly poté porovnány s parametry nejběžnějších vozidel zavedených do užívání v AČR. Na základě porovnání je zřejmé, že i přes příznivé meteorologické podmínky ve všech termínech měření jsou zejména lokality Záhlinice A, Záhlinice B a Křtiny ve většině případů neprůchodné nebo velmi obtížně průchodné pro téměř všechna sledovaná vozidla. V některých případech se staly obtížně průchodnými až i neprůchodnými i lokality Štětovice, Olšany a Tovačov. Zbývající lokality byly průchodné pro všechny sledované druhy techniky. Výjimkou je několik případů špatné průchodnosti pro nákladní automobily (zejména vozidlo T815 4×4). Kromě vlastního stavu půd byla snižena průchodnost v těchto lokalitách částečně způsobena i prováděnou zemědělskou činností.



Obr. 6 Vizualizace průchodnosti dle ÚDB Půdy v části prostoru měření etapy 2 – při nepříznivých meteorologických podmínkách

Tab. 3 Průchodnost lokalit dle ÚDB Půdy za příznivých a nepříznivých podmínek dle modelu GeoSI AČR (G – GO, S – SLOW GO, N – NO GO)

METEO podmínky	Lokalita								
	Záhlinice A	Záhlinice B	Chropyně	Troubky	Tovačov	Štětovice	Olšany	Křtiny	Ochoz
příznivé	G	G	G	G	G	N	G	G	G
nepříznivé	S	S	S	S	S	N	S	G	G

Tab. 4 Třídenní srážkové úhrny (v milimetrech) v termínech měření vypočítané na základě plošných odhadů srážek

Lokalita	Termín měření													
	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
Záhlinice A	1,0	0,0	0,0	2,2	1,8	5,2	0,0	0,0	0,0	3,0	12,2	4,2	0,0	12,3
Záhlinice B	1,0	0,0	0,0	2,2	1,8	5,2	0,0	0,0	0,0	3,0	12,2	4,2	0,0	12,4
Chropyně	1,0	0,0	0,0	0,7	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	4,7	11,3	2,7	8,9	8,0
Troubky	2,0	0,0	0,0	0,0	0,9	2,0	0,0	0,0	0,0	5,6	10,1	1,0	4,4	7,0
Tovačov	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	4,5	10,0	1,5	5,8	6,0
Štětovice	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	7,1	9,0	1,0	6,0	5,3
Olšany	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	9,4	9,1	2,0	4,1	4,0
Křtiny	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	12,2	11,2	1,0	2,6	12,1
Ochoz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	3,0	0,0	0,0	0,0	11,8	11,2	1,0	1,1	8,1

Z rozdílných výsledků pro jednotlivá vozidla je zřejmé, že univerzální hodnocení průchodnosti půd tak, jak je nastaveno v modelu GeoSI AČR, není pro posuzování průchodnosti půd vhodné. V lokalitách, které vykazují problémy s průchodností, je vždy nutné hodnotit průchodnost půd pro jednotlivá vozidla nebo skupiny vozidel podobné konstrukce a jízdních vlastností. Ze získaných výsledků bylo možné vypočítat obdobné výsledky vypočítané průchodnosti v případě těchto skupin vozidel:

- automobil osobní terénní (AOT);
- automobil nákladní terénní (ANT);
- kolová bojová vozidla (KBV);
- pásová bojová vozidla (PBV).

I v jednotlivých skupinách vozidel existují dílčí rozdíly, které závisí zejména na celkové hmotnosti vozidel a uspořádání podvozků. Přesto při určité míře zveřejnění by bylo možné toto základní dělení pro modifikaci stávajícího modelu nebo tvorbu nového způsobu hodnocení průchodnosti půd použít.

Pro vyhodnocení průchodnosti půd pro jednotlivé skupiny byly přijaty následující omezující podmínky, které umožňují pro danou skupinu vozidel definovat průchodnost území z pohledu vlivu půd takto:

- GO (průchodné) – všechna vozidla v dané skupině mohou realizovat minimálně 50 průjezdů;
- SLOW GO (omezeně průchodné) – všechna vozidla v dané skupině mají dle naměřených dat únosnosti půd možnost realizovat minimálně jeden průjezd;
- NO GO (nepřechodné) – alespoň jeden typ vozidla dané skupiny vůbec neprojde.

Při takto definovaných podmínkách vychází průchodnost jednotlivých lokalit již velmi rozdílně, jak je uvedeno v tabulce 5. Z tabulky je zřejmé, že nejproblematictější skupinou vozidel jsou nákladní automobily. Toto zjištění potvrzuje závěry z měření provedených v etapě 1.

Tab. 5 Vyhodnocení únosnosti půd podle skupin vozidel (G – GO, S – SLOW GO, N – NO GO)

Lokalita	Skupina vozidel	Termín měření													
		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
Záhlinice A	AOT	N	N	S	G	S	S	G	S	G	N	N	N	S	S
	ANT	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N
	KBV	N	N	N	G	S	N	N	S	G	N	N	N	S	S
	PBV	N	N	S	G	S	S	G	S	G	N	N	N	S	S
Záhlinice B	AOT	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S	N
	ANT	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	KBV	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S	N
	PBV	N	N	N	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	S
Chropyně	AOT	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	ANT	G	N	G	G	G	G	G	G	G	G	S	G	G	N
	KBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	PBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Troubky	AOT	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	ANT	S	G	G	G	G	G	G	G	G	N	N	N	G	G
	KBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	PBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
Tovačov	AOT	G	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S	G	G	G
	ANT	N	S	G	G	G	G	G	G	G	N	N	S	G	G
	KBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S	G	G	G
	PBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	S	S	G	G	G
Štětovice	AOT	N	G	G	G	G	S	G	G	G	S	G	G	G	G
	ANT	N	N	G	N	N	S	S	S	S	N	N	N	S	G
	KBV	N	G	G	S	G	S	G	G	G	S	G	S	G	G
	PBV	N	G	G	G	G	S	G	G	G	S	G	G	G	G
Olšany	AOT	G	G	G	G	G	S	G	S	G	N	S	S	G	G
	ANT	G	G	G	G	G	S	S	S	G	N	N	N	G	G
	KBV	G	G	G	G	G	S	G	S	G	N	S	S	G	G
	PBV	G	G	G	G	G	S	G	S	G	N	S	S	G	G
Křtiny	AOT	N	N	G	S	S	S	N	N	S	N	N	N	N	S
	ANT	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	KBV	N	N	G	S	S	S	N	N	S	N	N	N	N	S
	PBV	N	N	G	S	S	S	N	N	S	N	N	N	N	G
Ochoz	AOT	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	ANT	G	G	G	G	G	G	S	G	G	S	N	S	G	G
	KBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
	PBV	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G

Na základě naměřených výsledků by bylo možné předpokládat, že lokality s nízkou nebo proměnlivou únosností půd budou mít obdobnou klasifikaci. Podle klasifikace dle ÚDB Půdy v nich převažuje půdní typ černice a půdní druh těžších středních půd (jílovitohlinitá). Výjimku tvoří lokalita Křtiny, kde je půdní typ klasifikován jako kambizem a půdní druh je střední půda (hlinitá). Přitom lokality Křtiny a Záhlinice vykazují nejpodobnější stavy průchodnosti. Tato skutečnost naznačuje nedostatečnou přesnost v zákresu pedologické situace v ÚDB Půdy. To potvrdily i rozborů půd odebraných vzorků z jednotlivých lokalit [24]. Výsledky půdních rozborů jsou uvedeny spolu s klasifikací podle ÚDB Půdy v tabulce 6.

Závěr

Provedené srovnání únosnosti půd vypočítané na základě naměřených penetrometrických dat v terénu s průchodností půd stanovenou modelem GeoSI AČR prokázalo nízkou spolehlivost modelované průchodnosti půd. Z provedeného srovnání výsledků vyplývají následující závěry.

Modelování průchodnosti půd v obecně rovinně bez řešení konkrétního typu vozidla nebo kategorie vozidel je nevhodné a nemůže poskytnout validní výsledky pro podporu rozhodování. Model GeoSI je tak ve své podstatě nevhodně navržený a je nezbytné ho modifikovat nebo navrhnout nový model průchodnosti půd, který musí tuto skutečnost zohlednit a klasifikovat průchodnost půd minimálně na základě skupin vozidel obdobných parametrů.

Hodnocení průchodnosti půd využívané ve stávajícím modelu založené na posouzení průchodnosti v závislosti na množství srážek za tři po sobě jdoucí dny neodpovídá realitě. Naměřené hodnoty průchodnosti prokázaly, že srážky jsou významným či-

Tab. 6 Klasifikace půdních typů a půdních druhů v analyzovaných lokalitách, zpracováno dle [17] a [24]

Lokalita	ÚDB Půdy		Půdní rozbor	
	Půdní typ	Půdní druh	Půdní typ	Půdní druh
Záhlinice A	černice glejová	jílovitohlinitá	fluvizem glejová	hlinitopísčítá
Záhlinice B	černice glejová	jílovitohlinitá	glej fluvický	hlinitá
Chropyně	fluvizem glejová	jílovitohlinitá	fluvizem glejová	jílovitohlinitá
Troubky	fluvizem glejová	jílovitohlinitá	fluvizem glejová	hlinitá
Tovačov	černice glejová	jílovitohlinitá	černice glejová	hlinitá
Štětovice	rašelina	není definováno	organozem	hlinitá
Olšany	černice typická	hlinitá	černice glejová	jílovitohlinitá
Křtiny	kambizem	hlinitá	glej modální	jílovitohlinitá
Ochoz	kambizem	hlinitopísčítá	pseudoglej	hlinitá

nitelem ovlivňujícím průchodnost půd, ale pravděpodobně ne rozhodujícím. Protože se srážky na různých půdách projevují rozdílně jak svou intenzitou, tak v čase, je s vysokou pravděpodobností možné konstatovat, že interval tří dnů pro stanovení vlivu srážek není zvolen optimálně. Dle dostupných pramenů zabývajících se hodnocením průchodnosti půd [11], [19], [22], [28] je rozhodujícím faktorem ovlivňujícím průchodnost půd půdní vlhkost. Pro vytvoření (modifikaci) modelu je tedy nezbytné analyzovat vliv půdní vlhkosti na průchodnost půd a souběžně i meteorologických prvků a jevů, které ji ovlivňují.

Přesnost zákresu a klasifikace půdních areálů v ÚDB Půdy dle provedených půdních rozborů neodpovídá reálné situaci. Vzhledem k době vzniku této databáze, podkladové mapě a technologii tvorby je toto zjištění očekávané. Z tohoto důvodu by bylo vhodné ÚDB Půdy nahradit pro potřeby modelování průchodnosti půd přesnější půdní databází.

Závěrem je nutné konstatovat, že informace o průchodnosti půd, které vojenský uživatel získá analýzou dle zavedeného postupu z ÚDB Půdy nebo doplňkové mapy

v MPT100, jsou nevěrohodné a v řadě případů zavádějící. Proto by při hodnocení průchodnosti půd měli zpracovatelé analýz využívat zejména znalostí získaných při studiu geografie, rekognoskaci terénu a konzultace s odborníky ženíjního vojska. I přes tuto skutečnost by GeoSI AČR neměla rezignovat na snahu o automatizované postupy hodnocení průchodnosti terénu a dalších vojenskogeografických analýz. V soudobém dynamickém válečném konfliktu je rychlost a spolehlivost analýz terénu jedním z rozhodujících podkladů pro správné rozhodování velitelů a štábů. Cesta nastavená vývojem modelu GeoSI AČR byla jedním z mnoha příspěvků v této oblasti a odpovídala stavu poznání, zdrojovým datovým podkladům a dostupným výpočetním prostředkům. Tak jako jiné oblasti geografického zabezpečení je nutné rozvíjet a modernizovat i oblast hodnocení průchodnosti půd a analýz terénu jako takových. Velkou příležitostí je v tomto případě i využití znalostí a dat o počasí od hydrometeorologické služby AČR. V případě zachycení dynamiky hlavních změn počasí je možné vytvořit unikátní model průchodnosti půd.

Použité zkratky

AČR	Armáda České republiky	GeoSI AČR	geografická služba Armády České republiky
ANT	automobil nákladní terénní	KBV	kolové bojové vozidlo
AOT	automobil osobní terénní	MPT100	Mapa průchodnosti terénu 1 : 100 000
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	PBV	pásové bojové vozidlo
ČR	Česká republika	ÚDB Půdy	Účelová databáze půdy

Použitá literatura a zdroje

- [1] CIBULOVÁ, Klára. Diagnostika průjezdnosti terénu kolovými vozidly pro potřebu AČR. *Disertační práce*. Brno, Univerzita obrany, 2007.
- [2] CIBULOVÁ, Klára; SOBOTKOVÁ, Šárka. Different ways of judging trafficability. *Advances in Military Technologies*, 2006.
- [3] COLLINS, John M. *Military Geography for Professionals and the Public*. Washington, D.C. : Potomac Books, Inc., 1998.
- [4] *Historická data – měsíční data*. [Získáno 30. 6. 2018, z Český hydrometeorologický ústav: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>].
- [5] *Hlásná a předpovědní povodňová služba*. [Získáno 14. 8. 2018, z Český hydrometeorologický ústav: http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php].

- [6] FM 5-430-00-1. *Planning and design of roads, airfields and heliports on the theater of operations – road design*. Washington, DC : Headquarters Department of the Army, 1994.
- [7] GARCIA, Antonio. *Terrain negotiability: Introducing a GIS model for the SA Army*. 2016. [Získáno 5. 5. 2018, z www.academia.edu: http://www.academia.edu/34543423/terrain_negotiability_introducing_a_gis_model_for_the_sa_army].
- [8] HUBÁČEK, Martin. *Metody vojenskogeografických analýz pro potřeby AČR. Disertační práce*. Brno, Vojenská akademie, 2002.
- [9] HUBÁČEK, Martin. *Modelování vlivu půd na možnosti pohybu vojenských vozidel. Habilitační práce*. Brno, Univerzita obrany, 2018.
- [10] HUBÁČEK, Martin; ALMÁŠIOVÁ, Lucie; DEJMAL, Karel; MERTOVIČ, Eva. Combining different data types for evaluation of the soils passability. *The Rise of Big Spatial Data – Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Cham : Springer International Publishing, 2016.
- [11] KUMAR, Arun; CHEN, Ying; SADEK, Mohammad Al-Amin; RAHMAN, Shafiqur. Soil cone index in relation to soil texture, moisture content, and bulk density for no-tillage and conventional tillage. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2012.
- [12] LAUERMANN, Lubomír; RYBANSKÝ, Marian. *Vojenská geografie*. Praha : Ministerstvo obrany ČR, hlavní úřad vojenské geografie, 2002. 159 s. ISBN 80-238-9274-6.
- [13] LESSEM, Allan; MASON, George; AHLVIN, Richard. Stochastic vehicle mobility forecasts using the NATO Reference Mobility Model. *Journal of Terramechanics*, Vol. 33, 1996.
- [14] MASON, George L.; PRIDDY, Joddy D.; STEVENS, Maria T.; TOWNE, Brent W.; OSORIO, Javier E. Test Procedures for the Determination of One-Pass Vehicle Cone Index (VCI). *Proceedings of the 13th ISTVS European Conference*. Rome, 2015.
- [15] MCCULLOUGH, Michael; JAYAKUMAR, Paramsothy; DASH, Jean M.; GORSICH, David. The Next Generation NATO Reference Mobility Model development. *Journal of Terramechanics*, Vol. 73, 2017.
- [16] ŽEN-2-16. *Vojenské silnice a cesty*. Praha : Ministerstvo národní obrany, 1987. 226 s.
- [17] ÚDB Půdy. *Příručka pro uživatele*. Praha : Ministerstvo obrany ČR – Vojenský zeměpisný ústav, 2000.
- [18] Zpracování vojenskogeografických informací a dokumentací při přípravě a vedení operací. *Odborná publikace*. 1. vydání. Praha : Ministerstvo obrany ČR – odbor doktrín VeV-VA, 2011. 51 s.
- [19] Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NRMM) Development. *STO EXPLORATORY TEAM REPORT. STO/NATO*, 2018.
- [20] NOVÁK, Pavel. Metodika vymezení neprůchodnosti půd. *Technický projekt MPT 100*. Praha, Vojenský zeměpisný ústav, 1995.
- [21] PAHERNIK, Mladen; TUTA, Jadranko; KOVAČEVIČ, Dražen. Determination of terrain serviceability of military vehicles by GIS relief analysis. *Promet-Traffic&Transportation*, 2006.
- [22] PIMPA, Watcharapom; SARAPIROME, Sunya; DASANADA, Songkot. GIS application to development of military cross-country movement maps at Mae Sot district, western Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 21(3), 2014, pp. 215–232.
- [23] POKONIECZNY, Krzysztof. Automatic military passability map generation system. In: *Proceedings of 2017 International Conference on Military Technology (ICMT)*. Brno, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 285–292.
- [24] PRAX, Alois. Určení pedologických charakteristik málo úrodných půdních druhů na území Moravy, provedení laboratorních rozborů zrnitosti půd. *Výzkumná zpráva projektu specifického výzkumu K-210 na r. 2014*. Brno, Univerzita obrany, 2014.
- [25] PRETEL, Jan; kolektiv. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. *Technické shrnutí výsledků řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011*. Praha : Český hydrometeorologický ústav; Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta; Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., v. v. i.; Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.; Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., 2011. 67 s.
- [26] RAGHEB, Hossam; HEGAZY, Shawky; GIRGIS, Nabil. Electronic prediction of vehicle mobility on deformable soil. *Proceedings of the 14th AMME-14 Conference*. Cairo, 2010.
- [27] ROSCA, Petru; CIOBOTARU, Ticușor. *8×8 Armoured Personnel Carrier Mobility Evaluations Using Vehicle Cone Index*. MTA REVIEW, 2017.
- [28] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s. r. o., 2009. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [29] SMIT, H. A. P. Military environmental literacy in the South African Army. *Disertační práce*. Stellenbosch, Stellenbosch University, 2017.
- [30] ŠÁLEK, Milan. Kombinace údajů meteorologických radiolokátorů a srážkoměrů pro odhad srážek. *Disertační práce*. Brno, Vysoké učení technické, 2011.
- [31] NATO Reference Mobility Model. *Edition II. NRMM User's Guide*. Vicksburg : U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1992.
- [32] VOPRAVIL, Jan; kolektiv. *Půda a její hodnocení v České republice*. I. vyd. Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., 2009–2011. 2 sv. ISBN 978-80-87361-02-3.
- [33] ŽÍŽKOVÁ, Lenka. Možnosti využití technologií geoinformačních systémů v analýze průchodnosti terénu jako součásti analýzy prostoru operace. *Diplomová práce*. Brno, Vojenská akademie, 2001.

Návrh nového postupu hodnocení průchodnosti půd v podmínkách AČR

pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D.¹, prof. RNDr. Šárka Mayerová², Ph.D.,
npor. Ing. Eva Mertová³

¹katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

²katedra matematiky a fyziky, Univerzita obrany v Brně, Brno

³Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Praha

Abstrakt

Stávající model průchodnosti půd (model geografické služby Armády České republiky) vykazuje značnou nespolehlivost predikované průchodnosti půd vůči reálně naměřené průchodnosti. Problémem je jednoduchý algoritmus vycházející pouze z hodnocení srážek a málo přesný datový zdroj popisující půdní areály. Proto byly vybrány nové parametry pro modelování, kterými jsou hlavní meteorologické prvky a jevy ovlivňující půdní vlastnosti. Pro tyto parametry byla ke dnům penetrometrických měření v letech 2014–2018 získána reálná meteorologická data. Matematickými nástroji byla hledána lineární závislost mezi průchodností půd a parametry počasí. Nepodařilo se potvrdit všechny výchozí předpoklady, přesto byl na základě provedených analýz sestaven nový model průchodnosti půd. Výsledky modelu byly ověřeny na reálných datech a porovnány s původním modelem a reálně měřenými daty. Nový model vykazuje výrazně vyšší spolehlivost a predikované hodnoty se odlišují oproti reálným datům jen minimálně.

Design of a new procedure for evaluating soil passability in the ACR

Abstract

The soil passability model (model of the Geographic Service of the Armed Forces of the Czech Republic) shows considerable unreliability of the predicted soil passability with respect to the real measured passability. The problems of the model lie in a too simple algorithm considering precipitation data only and the inaccurate soil database. Therefore, the new parameters were selected for modeling. These were main meteorological variables and phenomena affecting the soil characteristics. The real meteorological data were obtained to accompany the penetrometric measurements covering the time period of 2014 to 2018. The linear relationship between soil passability and selected weather parameters was sought by mathematical tools. The new geoinformation model of soil passability was compiled on the basis of the performed analyzes, despite the fact that it was not possible to confirm all the expected dependences between soil passability and selected weather parameters. The outputs of the proposed model were verified against the real passability of soils. The new model shows significantly higher reliability of the modeled soil passability rank compared to the original the Geographic Service of the Armed Forces of the Czech Republic model.

Úvod

Jak je uvedeno v předchozím článku *Ověření možnosti využití Účelové databáze půdy ke stanovení průchodnosti půd*, z výsledků posouzení modelu geografické služby Armády České republiky (GeoSI AČR) (dále jen „model GeoSI AČR“) vyplývá, že tento model je pro stanovení průchodnosti půd nespolehlivý a vykazuje velké rozdíly mezi predikovanou a reálnou průchodností. Pro analytické hodnocení průchodnosti půd v podmínkách Armády České republiky (AČR) je tedy nezbytné tento model zásadně modifikovat nebo jej nahradit novým.

Zásadní nedostatek modelu lze spatřit v jeho parametrizaci stanovující průchodnost půd. Tato parametrizace vychází pouze z jediného meteorologického prvku (třídenního úhrnu srážek) a půdních vlastností v jednotlivých půdních areálech (půdní druh a půdní typ). Při překročení definované limitní hodnoty srážkového úhrnu tak jednotlivé půdní areály mění svou průchodnost. Provedené měření průchodnosti ukázalo, že nastavená limitní hodnota nemůže být univerzální pro všechny půdní charakteristiky a srážky nejsou jediným meteorologickým prvkem ovlivňujícím průchodnost půd.

Sekundárním problémem zavedeného postupu je vlastní datová základna popi-

sující půdní vlastnosti na území České republiky (ČR). Účelová databáze půdy (ÚDB Půdy) odpovídá svou přesností (geometrickou a obsahovou) době svého vzniku, kterou je konec 20. století. Od té doby došlo k výraznému rozvoji digitálních modelů popisujících geografickou realitu. Nejvýraznější změny lze pozorovat zejména v oblasti základních modelů zachycujících výškopis a polohopis. Nové modely jsou ale vytvářeny a publikovány i v případě tematických datových vrstev, mezi které patří i půdní charakteristiky.

Z výše uvedených důvodů se jeví jako vhodné použít při modernizaci postupu hodnocení průchodnosti půd kromě nové parametrizace vlivu počasí i přesnější informace o půdách. Proto bylo v rámci výzkumu této problematiky realizováno několik kroků, které předcházely vytvoření vlastního postupu pro modelování průchodnosti půd. Těmito kroky byly:

- výběr základních meteorologických jevů ovlivňujících vlastnosti půd;
- analýza závislosti únosnosti půd na vybraných meteorologických jevech a zjištění časové variability této závislosti;
- porovnání dostupných datových zdrojů o půdách z území ČR a výběr nejvhodnějšího zdroje pro modelování průchodnosti půd;

- sestavení a ověření navrženého modelu průchodnosti.

Provedený výzkum úzce navazuje na výsledky a zkušenosti získané v rámci řešení problematiky ověření spolehlivosti existujícího modelu průchodnosti půd. Pro analýzu závislosti únosnosti půd na vybraných meteorologických jevech byly využity hodnoty únosnosti půd získané v rámci pravidelných penetrometrických měření provedených v letech 2014–2018 na území střední a jižní Moravy.

1. Výběr základních meteorologických jevů pro modelování průchodnosti půd

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících vlastnosti půd, mezi které patří i jejich průchodnost, je počasí. Průchodnost půd je svázána především s únosností půd, která je závislá na půdní vlhkosti a průběhu počasí. Počasí je charakterizováno hodnotami meteorologických prvků a atmosférických jevů, z nichž půdní vlhkost ovlivňuje především [6]:

- množství (úhrn) srážek;
- počet srážkových dnů;
- druh srážek;
- teplota vzduchu;
- teplota půdy;
- směr a rychlost větru;

- vlhkost vzduchu;
- tlak vzduchu;
- doba slunečního svitu;
- oblačnost a další.

Vzhledem k množství těchto prvků a jevů a jejich vzájemné provázanosti bylo pro první fázi řešení problematiky průchodnosti půd vybráno pouze několik základních prvků a jevů. Výběr byl proveden na základě empirických pozorování a zkušeností získaných v průběhu realizovaného měření únosnosti půd. Byly vybrány ty, které se na změnách vlastností půd projevovaly nejvíce. Vybranými jsou:

- půdní vlhkost;
- úhrn srážek;
- průměrná teplota vzduchu;
- počet srážkových dnů;
- počet dnů se sněhovou pokrývkou.

Všechny vybrané meteorologické prvky a jevy musí do modelování vstupovat ve spojitých vrstvách popisujících jejich prostorové rozlišení. Tato skutečnost byla zohledněna při výběru vhodných dat. Kromě meteorologických prvků a jevů jsou i další faktory ovlivňující půdní vlastnosti. Jsou jimi zejména faktory související s hydrologickou transformací jako podloží, sklon reliéfu, vegetace a další prvky. V této fázi řešení problému nebyly ale uvažovány, s jejich implementací do modelu průchodnosti půd se počítá až v budoucnu.

1.1 Půdní vlhkost

Vlhkost půdy není běžně měřeným meteorologickým prvkem a jeho měření se provádí pouze na některých meteorologických stanicích. Dlouhodobá systematická měření půd se provádí na území ČR pouze na 35 stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) [21]. Vzhledem k malému množství těchto stanic je problematické z nich stanovit prostorové rozložení půdní vlhkosti. Data z konkrétních stanic tak není možné pro modelování použít.

Proto je nutné zvolit alternativní zdroj dat popisující půdní vlhkost v podobě spojitého datového modelu. Jejich dostupnost je ale omezená a možnými jsou pouze tyto dva:

- využitelná vodní kapacita – agrometeorologická charakteristika zpracovávaná ČHMÚ, pobočka Brno;
- relativní nasycení půdy – jeden z výstupů projektu Intersucho provozovaného Ústavem výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i. (CzechGlobe), Mendelovou univerzitou v Brně a Státním pozemkovým úřadem (SPÚ).

Využitelná vodní kapacita představuje rastrové vrstvy zobrazující zásoby vody pod travním porostem pro lehké a střední půdy. Vrstvy jsou výstupem modelu AVISO provozovaného ČHMÚ a pokrývají území ČR v pravidelné síti 10×10 km. K výpočtu hodnot jsou využívána klimatická data z období let 1961–2000 a aktuální měřená data. Jednotlivé vrstvy jsou zpracovávány v týdenním intervalu [11].

Relativní nasycení půdy je jedním z výstupů projektu Intersucho, který jako vstupní data využívá data z pozemních měření ČHMÚ, charakteristiku vegetačního krytu (resp. způsobu využití území) s přihlédnutím k aktuálnímu stupni vývoje vegetace, úroveň svazitosti, expozici a základní fyzikální vlastnosti půdy [21]. Výstupy jsou konfrontovány se satelitními snímky stavu vegetace z družic Aqua a Terra. Výsledky modelování jsou zejména rastrové vrstvy v pravidelné síti 500×500 m zpracovávány v týdenních intervalech [2].

Po posouzení dostupných zdrojů dat bylo rozhodnuto využít pro analýzu a případné modelování vrstvu relativního nasycení půdy v hloubce 0 až 40 cm z projektu Intersucho, protože tato vrstva má větší úroveň detailu při zpracování a komplexnější způsob výpočtu.

1.2 Úhrny srážek

Obdobně jako v případě ověřování modelu GeoSI AČR byly jako zdroj informací o prostorovém rozložení úhrnu srážek využity kombinované odhady srážek, které jsou datovým produktem ČHMÚ. Při jeho tvorbě se kombinují výsledky měření srážkoměry v síti meteorologických stanic s radarovými měřeními [23]. Data jsou poskytována v rastrových vrstvách o velikosti buňky 1×1 km, kdy hodnota buňky představuje celkový úhrn srážek za 24 hodin. Pro další analýzu bylo nutné rozhodnout, jak dlouhé časové intervaly budou vstupovat do analýzy vlivu na měřené hodnoty průchodnosti půd.

Stávající metodika hodnocení průchodnosti půd pracuje s intervalem úhrnu srážek za tři dny. Jak se ukázalo při porovnání měřených hodnot se stávající metodikou, tento interval je buď nevhodný anebo má špatně nastavené limity úhrnu srážek. Proto, aby bylo možné co nejdříve analyzovat vliv srážek na měřené hodnoty, byla pro analýzu připravena data obsahující informace o úhrnu srážek za:

- 24 hodin před dnem měření (jednodenní úhrn srážek);
- 72 hodin před dnem měření (třídenní úhrn srážek před dnem měření);
- 120 hodin před dnem měření (pětidenní úhrn srážek před dnem měření);

- 240 hodin před dnem měření (desetidenní úhrn srážek před dnem měření).

1.3 Teplota vzduchu

Dalším významným prvkem ovlivňujícím chování půd je teplota vzduchu, která významně ovlivňuje zejména půdní vlhkost. Hodnota teploty vzduchu se výrazně mění v závislosti na denní době a aktuálním stavu atmosféry. Z tohoto důvodu bylo pro potřeby řešení problematiky průchodnosti půd rozhodnuto využít průměrných denních teplot. Protože se teplota měří na jednotlivých meteorologických stanicích, má získaný soubor dat diskrétní podobu a představuje tak bodovou vrstvu pokrývající v nepravidelném rozložení území zájmu. Hustota meteorologických stanic je dostatečná pro provedení výpočtu teploty jako spojitého jevu pro zájmové území.

Vzhledem k tomu, že teplota vzduchu je ve většině případů ovlivňována nadmořskou výškou, bylo rozhodnuto nepoužívat pro interpolaci vestavěné nástroje programu ArcGIS, ale využít dvouparametrický model interpolace využívající digitální model reliéfu, který je například v ČHMÚ využíván pro výpočet výšky sněhové pokrývky a zásob vody ve sněhu [22]. Tento způsob výpočtu je založen na lineární regresi mezi naměřenou hodnotou (průměrnou teplotou vzduchu) a hodnotou nadmořské výšky v místě měření.

S ohledem na skutečnost, že další vstupní data jsou v rastru o minimální velikosti buňky 500 m, byl pro interpolaci využit výškový model DMR2,5 (Digitální model reliéfu 2,5) s krokem 100×100 m. Výpočtem byly získány rastrové vrstvy představující spojitě rozložení teploty v zájmovém území pro jednotlivé dny. Následně, stejně jako v případě srážkových úhrnů, byly pro další analýzu vypočteny průměrné teploty za jeden, tři, pět a deset dnů před dnem měření. Hodnoty teplot i přes použití dvouparametrického modelu nepostihnou dílčí teplotní anomálie. Vzhledem k velikosti buněk u dalších vrstev je možné interpolované průměrné teploty považovat za dostatečné pro potřeby výzkumu.

1.4 Počet srážkových dnů a počet dnů se sněhovou pokrývkou

Posledním zvoleným parametrem pro analýzu vlivu počasí na měřené hodnoty průchodnosti půd je informace o počtu srážkových dnů, případně o množství dnů se sněhovou pokrývkou ve sledovaném období.

Pro stanovení srážkového dne je rozhodující, za jakých podmínek je tento den zařazen do kategorie se srážkami nebo beze srážek. Pro zařazení do kategorie srážkový

den bylo rozhodnuto využít klimatologický přístup, který jako den se srážkami hodnotí den se srážkovým úhrnem alespoň 1 mm [5]. Důvodem bylo i to, že tento přístup je využíván i ve vojenské geografii při zpracování klimatologické charakteristiky území v rámci vojenskogeografických informací.

Vlastní postup přípravy dat spočíval ve vypočítání rastrové vrstvy míst s výskytem denních srážek 1 mm a více. Z výsledných vrstev bylo funkcemi mapové algebry vypočítáno množství srážkových dnů pro intervaly tři, pět a deset dnů před dnem měření. Tyto hodnoty byly opět přiřazeny jednotlivým místům a dnům měření pro další zpracování.

Kromě srážkových dnů byl sledován i vliv dnů se sněhovou pokrývkou. Vstupní data byla obdobně jako v případě teploty vzduchu získána v diskrétní podobě pro jednotlivé meteorologické stanice. Pro získání spojité vrstvy byla provedena dvouparametrická interpolace s využitím DMR2,5. Postup výpočtu byl stejný jako v případě teploty. Hodnota průměrné teploty byla nahrazena výškou sněhové pokrývky na meteorologické stanici pro daný den. Z těchto vrstev byl vypočítán počet dnů se sněhovou pokrývkou pro intervaly jeden, tři, pět a deset dnů před dnem měření. Výška sněhové pokrývky nebyla řešena z důvodu její proměnlivosti v průběhu dnů předcházejících měření a zahrnutí množství sněhových srážek do vrstvy kombinovaných úhrnů srážek.

2. Analýza dat a hledání závislostí

Na základě zkušeností získaných při několikiletém měření průchodnosti půd bylo možné přijmout několik předpokladů o vlivu vybraných meteorologických prvků a jevů na změnu vlastností půd a tím i na jejich průchodnosti. S využitím nástrojů matematické statistiky byla provedena analýza mezi měřenou hodnotou únosnosti půd a meteorologickými daty odpovídajícími dané lokalitě a termínům měření. Jak již bylo uvedeno, hodnoty průchodnosti půd byly získány periodickým měřením realizovaným v letech 2014 až 2018 v prostoru jižní a střední Moravy [9]. Provedená analýza měla za cíl potvrdit nebo vyvrátit tyto výchozí předpoklady:

- existuje závislost únosnosti půd na půdní vlhkosti;
- existuje zprostředkovaná závislost únosnosti půd na množství srážek;
- existuje zprostředkovaná závislost únosnosti půd na rozložení srážek;
- existuje závislost únosnosti půd na teplotě;
- existuje zprostředkovaná závislost únosnosti půd na sněhové pokrývce.

U každé z analyzovaných závislostí byl předpoklad jejího vlivu na snížení nebo zvýšení průchodnosti půd.

2.1 Použitá metoda hledání závislosti průchodnosti půd na vybraných jevech

Vzhledem k množství dat a jednotlivých kombinací, které vyplynuly z postupného řešení problému, byla pro analýzu zvolena forma hledání lineární závislosti naměřených hodnot únosnosti půd vůči jednotlivým sledovaným meteorologickým prvkům a jevům. Cílem výpočtu bylo zjištění statisticky významné vazby mezi změnou hodnot sledovaných proměnných představujících průchodnost půd vůči změně druhé skupiny představované meteorologickými daty.

Za platnosti předpokladu normálního rozdělení dat byla pro popis statistické vazby mezi dvěma proměnnými vybrána Pearsonova metoda. Pearsonův korelační koeficient R nabývá hodnot od -1 do 1 , kdy nezávislost veličin implikuje hodnota R blízká nule. Čím více se koeficienty R blíží krajním hodnotám intervalu, tím silnější je vazba mezi danými proměnnými. Vypočítané korelace byly dále testovány pomocí testu hypotézy o nulové korelaci dvou náhodných veličin. Pro test hypotézy o nulové korelaci dvou náhodných veličin byla zvolena standardní hladina statistické významnosti 5 %. Získané výsledky testování umožnily stanovit dělení korelačních koeficientů pro vyjádření závislosti mezi jevy do těchto dvou intervalů:

- hodnoty v rozsahu $(0,3; 0,5)$, respektive $(-0,5; -0,3)$ → závislost;
- hodnoty v rozsahu $(0,5; 1)$, respektive $(-1; -0,5)$ → silná závislost.

Rozdělení vychází z výsledků testu hypotéz o nulové korelaci, kdy pro skupinu hodnot silná závislost se interval spolehlivosti pohyboval v rozmezí 95 % až 99 % a pro skupinu hodnot závislost byl interval spolehlivosti minimálně 90 %. U řady sledovaných jevů byla hodnota korelačního koeficientu na hladině významnosti 10 % potvrzena i pro hodnoty okolo $\pm 0,2$. Protože tato hodnota nebyla prokázána u všech sledovaných jevů, byla jako nejnížší hodnota korelačního koeficientu zvolena hodnota $\pm 0,3$.

2.2 Výsledky analýzy

Jako první krok analýzy závislosti průchodnosti půd byla provedena analýza naměřených dat v jednotlivých lokalitách. Naměřená data byla analyzována jako samostatný celek pro každou z lokalit bez ohledu na termín měření a poté samostatně pro zimní období, v kterém bylo skutečně více měření. K zařazení měření do

letního nebo zimního období bylo využito dělení dle metodiky GeoSI AČR:

- zimní období – říjen až duben;
- letní období – květen až září.

Z více než dvaceti uskutečněných měření v každé lokalitě byla jen čtyři z nich provedena v letním období. To bylo ovlivněno průběhem počasí v celém období, ve kterém měření probíhalo. Průběh počasí v tomto období byl nestandardní a zejména v letních měsících výrazně srážkově podprůměrný a teplotně nadprůměrný [9], [5]. Z tohoto důvodu byla půda ve všech lokalitách velmi vysušená a pevná, tedy průchodná. Proto byla letní měření minimalizována pouze na nezbytné potvrzení této skutečnosti. Dílčí výjimku tvořily trvale podmáčené lokality Záhlinice a Křtiny, kde byla průchodnost půd proměnlivá i v letním období. Vzhledem k malému počtu uskutečněných měření v průběhu letního období a téměř nulové změně měřených hodnot představujících veličiny pro stanovení průchodnosti půd nebyla měření v letním období samostatně analyzována ve vztahu ke sledovaným parametrům.

Zjištěné závislosti se u jednotlivých lokalit projevují rozdílně. Z výsledných dat je možné vyzorovat řadu rozdílů, ale i některé společné závislosti pro:

- všechny lokality;
- lokality s obdobnou klasifikací půd;
- výsledky zahrnující měření v zimním období.

Interpretace výsledných dat není jednoduchá a jednoznačná. Přesto je možné na základě výsledků přijmout tyto prvotní závěry pro jednotlivé skupiny půd:

- Glej je z hlediska průchodnosti nejproblematictější, vliv počasí na změny půdních vlastností se projevuje nejednoznačně. To je pravděpodobně dáno skutečností navázání těchto půd na blízkost vodních zdrojů.
- Černice a černozemě jsou prokazatelně ovlivňovány půdní vlhkostí a množstvím srážek. Vliv dalších zkoumaných parametrů není jednoznačný, ale je možné pozorovat sezónní vlivy.
- Fluvizem je nejvíce ovlivňována půdní vlhkostí, množstvím srážek a přítomností sněhové pokrývky. V jednotlivých lokalitách se ale liší zjištěné skutečnosti; to může být způsobeno rozdílnou zrnitostí.
- Vliv teploty v zimním období se projevuje u všech půd a je nutné odlišit jednoznačně vliv teplot pod bodem mrazu.

Zbývající lokality mají každá jiné půdní vlastnosti a nelze je porovnat se žádnou ji-

nou lokalitou. Ve všech se projevíly některé závislosti.

Protože výsledky provedené analýzy v jednotlivých lokalitách nebyly jednoznačné, bylo přistoupeno k analýze dat jiným způsobem. V rámci něho již nebyly hodnoceny jednotlivé lokality, ale byla provedena analýza pro data v závislosti na nově definovaných ročních obdobích a pro stanovené skupiny půd.

Na základě předchozích výsledků a zjištěného chování měřených veličin reprezentujících průchodnost půd byla analýza vlivů sledovaných jevů rozdělena do jednotlivých období roku (LÉTO a ZIMA). K zařazení byl použit již výše zmíněný postup vycházející z dělení podle modelu GeoSI AČR. Protože v zimním období je průchodnost půd ovlivňována rozdílně v závislosti na teplotě, bylo zimní období rozděleno na dvě (ZIMA+ a ZIMA-). Pro zařazení měření do skupiny ZIMA+ nebo ZIMA- byly přijaty následující vstupní podmínky. Jako mrazové období (ZIMA-) byly vybrány dny, kdy byla průměrná denní teplota vzduchu záporná (pod bodem mrazu) u nejméně tří případů z analyzovaných hodnot v intervalech 1, 3, 5 a 10 dnů, nebo ve dvou případech, ale jeden z nich je interval 10 dnů. V případě nesplnění této podmínky jsou dny měření zařazeny do kategorie ZIMA+. Závislosti tak jsou sledovány pro tato období:

- LÉTO – všechna měření v období duben až září;
- ZIMA+ – všechna měření v období říjen až duben s vyloučením mrazového období;
- ZIMA- – měření v mrazovém období v měsících říjen až duben.

Naměřené hodnoty průchodnosti půd byly zařazeny do jednotlivých skupin podle stejné půdní klasifikace. Do analýzy tak vstoupilo těchto deset skupin:

- všechny půdy – bez rozlišení půdních typů a druhů;
- glej – všechna měření v dané klasifikaci;
- černosol – všechna měření v dané skupině bez rozlišení půdního druhu;
- černosol těžší – všechna měření v dané skupině s vyloučením měření v lokalitě Břeclav;
- hnědozem – všechna měření v dané skupině;
- fluvizem – všechna měření v dané skupině;
- fluvizem těžší – všechna měření v dané skupině s vyloučením lokalit Dražůvky a Záhlinice A;
- organozem – měření v lokalitě Štětovice;
- pseudoglej – měření v lokalitě Ochoz;
- regozem – měření v lokalitě Bzenec.

Výsledky analýzy v období LÉTO

Při vyhodnocení letního období bylo vzhledem k nižšímu množství dat možné analyzovat sledované vlivy jen ve skupinách s dostatečným množstvím provedených měření (vše, glej, černosol, černosol těžší, fluvizem, fluvizem těžší). Ze získaných výsledků bylo možné přijmout tyto hlavní závěry:

- 1) V letním období se sledované jevy projevují jen minimálně a zpravidla se slabší závislosti. To odpovídá skutečnosti, že většina lokalit byla v průběhu letního období průchodná.
- 2) Ve všech analyzovaných skupinách byla prokázána závislost na teplotách. Se zvyšující se teplotou se zvyšuje hodnota penetrometrického odporu (únosnosti).
- 3) Vliv půdní vlhkosti je možné pozorovat pouze u gleje a u černosolů. Se zvyšující se půdní vlhkostí se snižuje jejich průchodnost. Vliv zrnitosti půd u černozemí není zřejmý. Fluvizem nevykazuje v letním období závislost na půdní vlhkosti.
- 4) Vliv srážek je prokázán především u údního typu glej a roste s délkou intervalu. U ostatních skupin je málo významný.

Výsledky analýzy v období ZIMA-

Obdobně jako v případě období LÉTO, nebylo ani v období ZIMA- možné z důvodu malého množství dat analyzovat některé lokality. Vzhledem ke specifčnosti tohoto období lze ale předpokládat, že závěry získané z analýzy skupin (vše, glej, černosol a fluvizem) je možné zevšeobecnit a s velkou mírou pravděpodobnosti budou platit pro většinu půd:

- 1) V zimním období se nejvýrazněji projevuje závislost sledovaných hodnot na teplotách a na množství dnů se sněhovou pokrývkou. Tím se potvrdil výchozí předpoklad o vlivu teploty pod bodem mrazu na zvýšení průchodnosti půd.
- 2) Další prokázanou závislostí v tomto období je silná závislost průchodnosti na počtu dnů se sněhovou pokrývkou. Toto zjištění slouží spíše k potvrzení předchozího předpokladu, kdy při teplotách pod bodem mrazu je vysoká průchodnost půd. Tato závislost byla zjištěna u všech analyzovaných skupin.
- 3) Závislost na úhrnu srážek a na množství srážkových dnů není možné považovat za prokázanou. Ve výsledcích se sice objevují dílčí závislosti, ale často mají protichůdný vliv (kladná i záporná závislost). To lze pravděpodobně přisoudit tomu, že většina srážek v tomto období je sněhová.

- 4) Vliv půdní vlhkosti byl, obdobně jako u srážek, nejednoznačný.

Výsledky analýzy v období ZIMA+

Poslední období, ve kterém byl analyzován vliv vybraných jevů na průchodnost půd, je nejproblematictější, protože v něm dochází k největší proměnlivosti v chování půd. To potvrzuje i to, že v tomto období měly naměřené hodnoty průchodnosti největší rozptyl. Bylo tak očekáváno zjištění nejvíce závislosti mezi parametry průchodnosti půd a sledovanými jevy; toto očekávání nebylo ale zcela naplněno:

- 1) Při analýze skupiny všech měření v tomto období je možné nalézt jedinou prokázanou zápornou lineární závislost, a to mezi hodnotami penetrometrického odporu a hodnotami úhrnu srážek a rozložení srážek ve dnech pro interval tří dnů. Toto zjištění je poněkud překvapivé, ale na druhou stranu ukazuje, že třídní interval zvolený pro metodiku GeoSI AČR je pravděpodobně obecně správný, chybně budou zvoleny hranice pro stanovení průchodnosti půd v jednotlivých areálech.
- 2) Při podrobné analýze srážek v jednotlivých skupinách půd je již možné pozorovat dílčí rozdíly. Závislost únosnosti půd na úhrnu srážek se projevuje v případě černosolů, hnědozemí, fluvizemí, organozemí a pseudoglejů. Rozdílný je vliv časového intervalu; třídní interval se projevuje nejvíce u černosolů, hnědozemí a fluvizemí, u organozemí a pseudoglejů je největší vliv zaznamenan u pětidenního intervalu.
- 3) Vliv počtu dnů se sněhovou pokrývkou se projevuje nejvíce pro černosoly, hnědozemě a fluvizemě. U ostatních půdních typů je neprokázaný nebo má střídavou závislost. Vzhledem ke skutečnosti, že ne ve všech časových intervalech byl sníh, není možné jednoznačně stanovit nejvhodnější interval.
- 4) Vliv teploty je velmi malý a vyskytuje se jen v některých skupinách. V případě jeho výskytu je možné pozorovat vliv zejména pro horní vrstvu půd. Vliv teploty se projevuje zpravidla v intervalu 10 dnů. Vyšší teplota zlepšuje průchodnost půd.
- 5) Vliv půdní vlhkosti se projevuje rozdílně v jednotlivých skupinách. Nelze vyloučit, že mezi půdní vlhkostí a průchodností půd existuje jiný než lineární typ závislosti, který byl analyzován.
- 6) V případě půdního typu glej se nepodařilo prokázat žádnou závislost.

Porovnání skupin černosolů a fluvizemí vůči skupinám černosol těžší a fluvizem těžší neprokázalo jednoznačný vliv

zrností na změnu závislosti parametrů průchodnosti půd na jednotlivých sledovaných jevech. Dílčí vlivy se projevují v obou skupinách, ale pro jejich jednoznačné prokázání by bylo potřeba provést pravděpodobně rozsáhlejší měření.

2.3 Shrnutí výsledků analýzy dat

Provedené analýzy měly za cíl potvrdit nebo vyvrátit předpoklady o závislosti mezi měřenými parametry průchodnosti půd a vybranými jevy. Ověření výchozích předpokladů pomocí hledání lineární závislosti mezi parametry průchodnosti půd a analyzovanými jevy ukázalo pouze jejich částečné potvrzení. Jednotlivé jevy se projevují různě v jednotlivých ročních obdobích. Na základě provedené analýzy a výsledků reálně měřené průchodnosti v jednotlivých lokalitách se ukazuje, že rozdělení do tří rozdílných období je správné, jak potvrzují prokázané závislosti sledovaných jevů na teplotě. Jako obecně vhodný se ukazuje i třídní interval pro úhrn srážek použitý v modelu GeoSI AČR, i když limity množství srážek neodpovídají naměřené průchodnosti. Kromě úhrnu srážek v daném intervalu se projevila i závislost jejich rozložení. Zbývající potvrzené závislosti mají vliv pouze pro jednotlivé skupiny půd, případně se projevují jen v některých obdobích.

V rámci testování byla zjišťována pouze existence lineární závislosti. I přesto, že nebyly všechny výchozí předpoklady potvrzeny, nelze vyloučit, že i v případech, kde se nepodařilo lineární závislost prokázat, bude existovat jiná forma závislosti mezi průchodností půd a analyzovanými jevy. Zjišťování těchto případných závislostí ale bude předmětem dalších etap řešení této problematiky a nebylo prozatím řešeno.

3. Porovnání dostupných digitálních datových zdrojů o půdách z území ČR

Jedním z nedostatků modelu GeoSI AČR je nepřesnost vstupních dat popisujících vlastnosti půdních areálů. Proto bylo v rámci výzkumu provedeno porovnání digitálních datových zdrojů o půdách s cílem nalézt nejvhodnější dostupný zdroj pro modelování průchodnosti.

Z území ČR je k dispozici několik datových zdrojů obsahujících informace o vlastnostech půd. Tyto zdroje jsou k dispozici v různé podobě. Nejčastěji jsou to mapy, kartogramy půdních vlastností a dalších popisných podkladů. S rozvojem geoinformačních technologií je ale stále větší množství informací dostupných i v digitální podobě. Kromě digitalizace původních podkladů se jedná o data zpracovaná ve formě geodatabází. Ty jsou vhodným datovým zdrojem pro potřeby

modelování průchodnosti půd, a proto byla pozornost zaměřena na tyto datové zdroje.

3.1 Účelová databáze půdy

ÚDB Půdy je speciální účelová databáze vytvořená v bývalém Vojenském zeměpisném ústavu Praha a uživatelům je k dispozici od roku 2000. Jako hlavní podkladový materiál pro tvorbu byla využita Syntetická půdní mapa ČR 1 : 200 000. Pro doplnění a zpřesnění informací o vodstvu a zástavbě byla jako doplňkový podklad použita mapa Joint Operations Graphic 1:250,000 (Ground) [14]. ÚDB Půdy obsahuje data z celé ČR a lze v ní nalézt půdní areály s atributy obsahujícími informace tří nejzákladnějších půdních charakteristik:

- půdní typ;
- půdotvorný substrát;
- půdní druh (zrnostní složení).

Pro klasifikaci půdních typů a půdotvorného substrátu byla využita klasifikace taxonomického klasifikačního systému běžně využívaná na území ČR. Vzhledem k měřítku mapy došlo ke zjednodušení obsahu a jednotlivé půdní jednotky jsou na základě půdních asociací definovány jako dominantní a doplňkové. Dominantní jednotka na daném území vždy převládá a zabírá prostor minimálně 75 % plochy půdního areálu. V případě rovnocenného zastoupení se volila ta varianta, která má výraznější vliv na průchodnost. V případě klasifikace půdních druhů bylo použito rozdělení do pěti kategorií a byla využita metodika USDA (United States Department of Agriculture) vymezující zrnostní složení pomocí zjednodušeného trojúhelníkového diagramu. Zrnostní klasifikace tak plně neodpovídá ani české klasifikaci ani mezinárodní klasifikaci dle USCS (Unified Soil Classification System).

Základním účelem, pro který byla databáze vytvořena, je analýza průchodnosti půd pro vojenskou techniku. Další využití není

omezeno a vzhledem k obsahu databáze to měly být nejrůznější analýzy uplatnitelné v AČR (např. kopnost půd) [14]. V dostupných zdrojích však nelze dohledat publikaci o jiném využití této databáze. Vzhledem k relativně nízké polohové přesnosti databáze se předpokládalo její následné zpřesnění a doplnění o data z blízkého příhraničí, od vzniku databáze na ní ale žádné další práce nebyly realizovány.

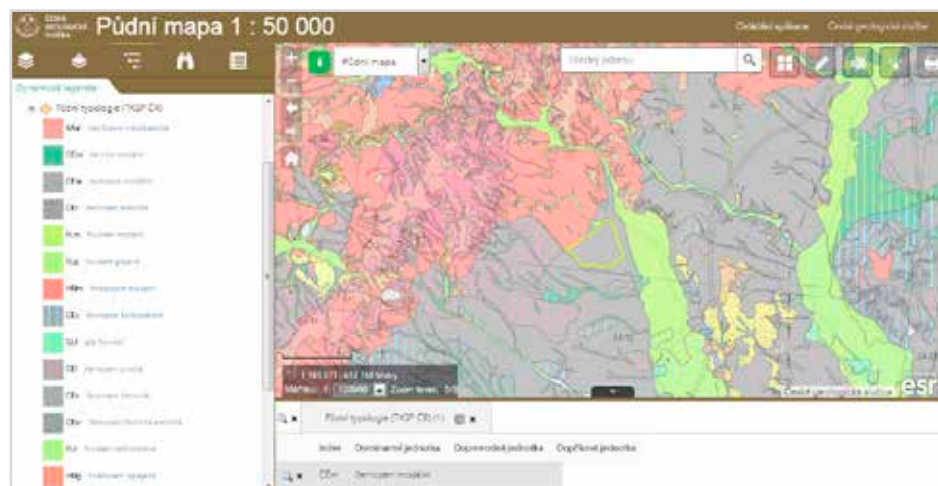
3.2 Digitální půdní mapa 1 : 50 000

Od roku 1984 byla dnešní Českou geologickou službou (ČGS) a jejími předchůdci vytvářena Půdní mapa 1 : 50 000. V prvopočátcích klasickými technologiemi v podobě papírové mapy, od roku 2001 je mapa vytvářena v prostředí geografických informačních systémů (GIS) jako Digitální půdní mapa 1 : 50 000 (DPM50) [10], [3]. Územní pokrytí odpovídá území ČR a v digitální podobě byly k roku 2018 pokryty cca 2/3 území ČR [4]. Při tvorbě a aktualizaci mapy je využívána celá řada podkladů. Hlavními jsou Geologická mapa 1 : 50 000, mapy půdotvorných substrátů, zákresy map z tzv. Komplexního průzkumu půd¹⁾ (KPP) a pomocná data jako vrstevnice, hydrografická síť, lesnicko-typologické mapy, letecké snímky a případně i záznamy z místního šetření přímo v terénu [10], [12]. Pro klasifikaci půdních areálů je využit Taxonomický klasifikační systém půd ČR.

Půdní jednotky u některých půdních areálů nelze v řadě případů jednoznačně určit, proto jsou pro jejich klasifikaci zavedeny tři kategorie půdních jednotek:

- dominantní půdní jednotky, které jsou v rámci půdní asociace zastoupeny na 70–100 % území;

¹⁾ Komplexní průzkum půd byl prvním moderním soustavným průzkumem půd, během kterého bylo na území bývalého Československa v letech 1960–1972 na ploše 7,2 milionu hektarů zemědělské půdy vykopáno cca 700 tisíc sond a provedeny cca 2 miliony půdních rozborů; na ČR připadá celkem 386 615 sond.



Obr. 1 Půdní mapa 1 : 50 000 na mapovém serveru ČGS [4]

- doprovodné půdní jednotky vyskytující se na 10–30 % území;
- doplňkové (akcesorické) půdní jednotky vyskytující se do 10 % plošného zastoupení.

DPM50 je možné volně prohlížet pomocí mapové aplikace ČGS (obr. 1), případně využít data dostupná prostřednictvím webových mapových služeb. Pro aktivní práci s daty v prostředí GIS je nutné data objednat ve vektorové geodatabázi [3].

DPM50 pro potřebu modelování průchodnosti půd sice neobsahuje všechny potřebné informace, postrádá atributy o půdní zrnitosti (půdním druhu), ale informace o půdních typech jsou v ní podrobnější a přesnější. Protože půdní typy jsou do jisté míry svázány i s půdní zrnitostí, je možné DPM50 pro modelování průchodnosti využít.

3.3 Digitální mapa bonitovaných půdně ekologických jednotek

Jedním z nejznámějších mapových děl o půdě na území ČR jsou mapy bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ). Vymezení BPEJ bylo provedeno v letech 1973–1980 v návaznosti na dokončený KPP. Tyto mapy v měřítku 1 : 5 000 (obr. 2) spravuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., v Praze (VÚMOP) a pokrývají celé území ČR. S postupem digitalizace mapových produktů bylo i toto mapové dílo postupně digitalizováno. Obsah databáze je totožný s analogovou formou a představuje zakres jednotlivých půdních areálů a jejich klasifikaci. BPEJ slouží k hodnocení absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a je charakterizována pětimístným kódem X.XX.XX. Tučně vyznačené číslice v tomto kódu vyjadřují [24]:

- X.XX.XX – kód klimatického regionu;
- X.XX.XX – kód hlavní půdní jednotky;
- X.XX.XX – sdružený kód sklonitosti a expozice;
- X.XX.XX – sdružený kód skeletovitosti a hloubky půd.

Od roku 2017 jsou BPEJ kromě analogových map dostupné i v podobě vektorové databáze. Data v databázi jsou od roku 1998 průběžně aktualizována. Jejich prohlížení je možné spolu s dalšími daty o půdách pomocí geoportálu VÚMOP. Pro aktivní práci s datovou sadou jsou data od roku 2017 dostupná pro stažení ve formátu shapefile na webu SPÚ [20]. Vzhledem k nedostupnosti digitální mapy BPEJ v rané fázi řešení výzkumu nebyla tato databáze při zpracování problematiky průchodnosti půd využita. V budoucnu je plánováno ověřit možnost využít někte-



Obr. 2 Ukázka mapy BPEJ

ré atributy pro modelování průchodnosti půd. Jako potenciálně vhodné informace budou pravděpodobně atributy hlavní půdní jednotky a sdružený kód skeletovitosti a hloubky půd.

3.4 Registr půdy – LPIS

Poslední dostupnou geodatabází popisující půdní areály je Registr půdy – LPIS (Land Parcel Identification System), který byl pro potřeby evidence využití zemědělské půdy vytvořen v letech 2003 a 2004 Ministerstvem zemědělství jako GIS. Tento registr slouží pro ověřování údajů v žádostech o dotace poskytované ve vazbě na zemědělskou půdu. Kromě řešení dotací je využíván i pro další oblasti jako jsou evidence o použití hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, pastevectví nebo erozní ohrožení [15].

Vlastní datová sada pokrývá zemědělskou půdu celé ČR a skládá se z vrstev obsahujících informace o půdě a jejím využití, vrstev souvisejících s ochranou životního prostředí a lokalizačních vrstev, kterými jsou letecké měřické snímky, katastrální data, data BPEJ. Výstup pro veřejnost je realizován prostřednictvím tří modulů, kterými jsou:

- iLPIS – určený pro registrované zemědělce;
- pLPIS – určený pro širokou veřejnost;
- WMS/WFS služby – umožňují přístup pomocí externích klientů GIS.

Z pohledu využití LPIS pro vlastní modelování průchodnosti půd se jeví data vrstev LPIS jako primárně nevyužitelná. Přesto je možné do budoucna uvažovat o využití některých vrstev do celkového modelu průchodnosti. Pro modelování průchodnosti by bylo možné využít vrstvu obsahující informace o zemědělských kulturách (tab. 1) a vrstvu obsahující záplavová území na úrovni pěti, dvaceti a stoleté povodně (Q5, Q20, Q100) a dosud nejvyšší zaznamenané záplavení.

Tab. 1 Zemědělské kultury evidované v LPIS [16]

Název kultury	Zkratka
standardní orná půda	R
travní porost (na orné půdě)	G
úhor	U
trvalý travní porost	T
vinice	V
chmelnice	C
ovocný sad	S
školka	K
rychle rostoucí dřeviny	D
jiná trvalá kultura	J
zalesněná půda	L
rybník	B
mimoprodukční plocha	M
jiná kultura	O

3.5 Porovnání způsobu zobrazení půdních areálů ÚDB Půdy a DPM50

Na základě analýzy dostupnosti digitálních dat popisujících půdní areály a možnosti jejich využití pro hodnocení průchodnosti půd byly jako nejvhodnější datové zdroje pro modelování vybrány ÚDB Půdy a DPM50. Obě databáze mají shodnou klasifikaci půdních typů, půdní druhy jsou klasifikovány pouze v ÚDB Půdy. Vzhledem k vyšší rozlišovací úrovni uložených dat v DPM50 je možné očekávat, že tato databáze obsahuje geometricky přesnější lokalizační informace o rozložení půdních typů na území ČR a dále i podrobnější a přesnější klasifikaci atributů jednotlivých půdních areálů. Pro potvrzení tohoto předpokladu bylo provedeno [13]:

- porovnání klasifikace půd v databázích s výsledky půdních rozborů;
- vzájemné porovnání dat v databázích.

Porovnání dat v databázích s daty půdních rozborů

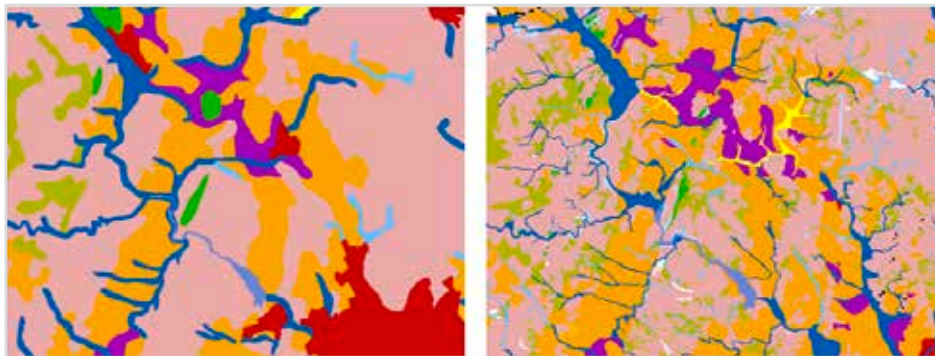
V rámci výzkumu problematiky únosnosti půd byl ve všech lokalitách měření ve spolupráci s pedology proveden odběr půdních vzorků (kopaná půdní sonda do hloubky 50 cm) a jejich následný rozbor v laboratoři Ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Celkem šlo o více než 30 lokalit na území celé ČR. Výsledkem těchto rozborů bylo stanovení půdního druhu a půdního typu pro každou z lokalit [17], [18], [19].

Výsledky těchto půdních rozborů byly použity jako referenční hodnoty pro porovnání správnosti klasifikace atributů jednotlivých půdních areálů nacházejících se v místech odběru půdních sond. Při porovnání klasifikace půd byly zjištěny nesrovnalosti vůči odebraným půdním sondám u obou databází. Při porovnání půdních druhů je z celkových 32 lokalit rozdílná (chybná) klasifikace v cca polovině případů. Dvanáct z nich je klasifikováno jako vedlejší stupeň podle klasifikační stupnice půdní zrnitosti a význam tohoto rozdílu v podílu jemnozrnných a hrubozrnných částí není zásadní. Ve čtyřech lokalitách byl ale zjištěn rozdíl v zrnitosti o dva stupně. Z porovnání půdních typů vyplynulo 13 rozdílných klasifikací u ÚDB Půdy a 5 u DPM50. Většina rozdílných klasifikací je spojena s výskytem půdních typů glej, pseudoglej a fluvizem. Tyto půdní typy jsou zpravidla vázány na vodní toky a podmáčené půdy, chyby v jejich klasifikaci budou zpravidla způsobeny generalizací zákresu při interpretaci půdních areálů do půdních map.

Z porovnání klasifikace v místech měření je tak zřejmé, že v obou databázích se vyskytují rozdíly oproti skutečnostem zjištěným v terénu. Výrazně méně rozdílu je možné nalézt v DPM50. Z pěti zjištěných rozdílu je zásadní rozdíl v klasifikaci, který by mohl ovlivnit případné modelování, pouze ve dvou lokalitách. U ÚDB Půdy je těchto závažných rozdílu deset. Chyby v klasifikaci půdní zrnitosti, která byla porovnána pouze u ÚDB Půdy, jsou méně závažné než zjištěná chybovost u půdních typů.

Vzájemné porovnání dat v databázích

Obě vybrané databáze zobrazují klasifikaci půdních typů. Vzhledem ke způsobu jejich vzniku a měřítku základní zdrojové mapy je zásadní rozdíl mezi nimi možné vidět již na první pohled při umístění databází vedle sebe (obr. 3). Tento rozdíl je možné dokumentovat na číslech uvedených v tabulce 2, která byla získána z dat obou databází pro srovnávací území vymezené mapovým listem 24–32 DPM50.



Obr. 3 Ukázka rozdílu v detailu zákresu půdních typů v ÚDB Půdy (vlevo) a DPM50 (vpravo) – lokalita severozápadně od Brna [13]

Tab. 2 Porovnání základních geometrických charakteristik ÚDB Půdy a DPM50 v prostoru mapového listu 24–32

Základní charakteristiky	ÚDB Půdy	DPM50
Počet polygonů	119	3029
Plocha nejmenšího polygonu	$8 \cdot 10^3 \text{ m}^2$	$2 \cdot 10^2 \text{ m}^2$
Plocha největšího polygonu	$6 \cdot 10^7 \text{ m}^2$	$1 \cdot 10^7 \text{ m}^2$

Z uvedených čísel je zřejmé, že podrobnost DPM50 je několikanásobně větší oproti ÚDB Půdy. Lze proto očekávat, že geometrický průběh hranice stejných půdních typů bude rozdílný zejména u lokalit vyskytujících se v úzkých protáhlých areálech. Z tohoto důvodu bylo provedeno porovnání ověření procentuálního zastoupení jednotlivých půdních typů v ÚDB Půdy a DPM50.

Ze získaných dat bylo zjištěno, že procentuální zastoupení jednotlivých půdních typů v ÚDB Půdy a v DPM50 se v řadě případů výrazně liší. Největší rozdíly byly nalezeny u půdních typů černice, glej, luvizem, pseudoglej a rendzina. V případě gleje, pseudogleje a černice byly tyto rozdíly zjištěny i při porovnání podle půdních sond. Výrazný rozdíl je i v případě antropozemě. Důvodem je rozdílná klasifikace v obou databázích. V ÚDB Půdy jsou jako antropozem klasifikovány ucelené plochy sídel, zatímco v DPM50 je to pouze vlastní zástavba, která přirozeně na mapě zabírá menší plochu. Některé půdní typy zaznamenané v DPM50 se v ÚDB Půdy nevyskytují.

3.6 Výběr nejvhodnější databáze pro modelování průchodnosti půd

Jak již bylo uvedeno, z dostupných databází se vzhledem k jejich informační hodnotě jeví jako nejvhodnější pro potřeby modelování půd ÚDB Půdy a DPM50. Proto byly tyto databáze dále analyzovány s ohledem na jejich podrobnost, přesnost a spolehlivost zobrazení informací o půdách. Z porovnání vyplynulo potvrzení rozdílnosti obou produktů jak v geometrickém průběhu půdních areálů, tak i jejich klasifikaci. Největší rozdíly se vy-

skytují zejména v případě půdních areálů vázaných na vodní toky a zastavěné oblasti. To je dáno zejména rozdílným měřítkem vstupních map, z nichž jsou databáze odvozené, a rozdílnou klasifikací zastavěných oblastí. Kromě antropozemě vykazovaly výrazné rozdíly v klasifikaci a zákresu zejména půdní typy glej, pseudoglej a černice. V případě gleje a černice jde o půdní typy, které výrazně ovlivňují průchodnost půd. Obdobné výsledky byly získány i z porovnání databází vůči informacím o půdách získaných půdními rozborů. I přesto, že v obou databázích byla zjištěna chybná klasifikace, chybovost klasifikace půdních typů v ÚDB Půdy je výrazně větší a vyskytla se v téměř 50 % případů. Při porovnání klasifikace půdních druhů je většina rozdílu pouze v klasifikaci sousedních zrnitostních tříd hlinitých a jílovitohlinitých, písčitých a hlinitopísčitých; v tomto případě lze ÚDB Půdy považovat za dostatečně spolehlivou.

Vzhledem k výše zjištěným skutečnostem je DPM50 pro svou vyšší polohovou a atributovou přesnost vhodnějším datovým zdrojem informací o půdních typech z území ČR než jakým je ÚDB Půdy. Nedostatkem DPM50 je chybějící informace o půdním druhu. Proto je pro modelování možné využívat oba datové zdroje a vhodně kombinovat jednotlivé atributy.

4. Návrh nového postupu hodnocení průchodnosti půd

Přesto, že se nepodařilo potvrdit všechny výchozí předpoklady, byla prokázána částečná závislost jednotlivých parametrů definujících průchodnost půd na sledovaných jevech. Znalost těchto závislostí spolu se znalostí reálné průchodnosti půd

v jednotlivých lokalitách ve spojení s hodnotami analyzovaných jevů byla použita jako výchozí předpoklad pro stanovení nového postupu hodnocení průchodnosti půd. Navržený postup je založen na těchto principech:

- stanovení průchodnosti půd je řešeno v závislosti na kategorii vozidla (automobil osobní terénní – AOT, automobil nákladní terénní – ANT, kolové bojové vozidlo – KBV, pásové bojové vozidlo – PBV);
- k modelování je využita nejpodrobnější dostupná databáze o půdách, kterou je DPM50 i přesto, že neobsahuje informace o zrnitosti půd;
- stanovení průchodnosti půd je podřízeno reálně naměřeným hodnotám získaným v rámci periodického měření průchodnosti půd;
- klasifikace půd je založena na rozdělení primárních skupin půdních typů;
- parametrizace průchodnosti jednotlivých půdních areálů vychází ze skutečných hodnot vybraných meteorologických prvků a jevů vztahovaných k místům měření a prokázaných lineárních závislostí;
- pro hodnocení skupin půdních typů, kde nebylo prováděno periodické měření, je využito zevšeobecnění získaných výsledků a dalších jednotlivých měření provedených při řešení jiných dílčích částí výzkumu;
- vliv zrnitosti půd je v této fázi modelování řešen zjednodušenou formou s využitím ÚDB Půdy pouze pro půdní typy černosoly a luvisoly.

Navržený postup sloužící pro modelování vlivu půd na průchodnost je založen na rozhodovacím procesu zařazujícím daný půdní areál v závislosti na dalších parametrech do jedné z kategorií definujících průchodnost (tab. 3). Tento postup je již využit pro hodnocení vrstev reliéfu a komunikací vytvářeného komplexního modelu průchodnosti [1], [8], kde na základě definovaných parametrů komunikací a sklonu stanovuje stupeň průchodnosti, nebo počítá rychlost pro definovaný úsek komunikace nebo terénu. Správnost takového řešení je ověřena na základě zaznamenaných jízd vozidel na komunikacích i v terénu. V následujícím textu bude z důvodu ochrany navrženého postupu popsán pouze obecný princip řešení a výsledky testování spolehlivosti navrženého modelu vůči stávajícímu modelu GeoSI AČR.

Prvotní rozdělení vychází z již představeného dělení na roční období, které vychází z měsíců v roce LÉTO (květen až září) a ZIMA (říjen až duben), přičemž

Tab. 3 Zjednodušená klasifikace půdních typů pro potřeby navrhovaného modelu průchodnosti půd

Referenční třída (skupina půdních typů)	Půdní typy	Označení v modelu průchodnosti
leptosoly regosoly kambisoly podsoly antroposoly	litozem, ranker, rendzina, pararendzina regozem kambizem, pelozem kryptopodzol, podzol kultizem, antropozem	K
černosoly luvisoly vertisoly	černozezem, černice šedozezem, hnědozezem, luvizezem smonice	C
fluvisoly	fluvizezem, koluvizezem	F
stagnosoly	pseudoglej, stagnoglej	S
glejsoly	glej	G
organosoly	organozezem	O

zimní období je na základě teplot rozděleno na další dvě (ZIMA+ a ZIMA-).

V případě období LÉTO byla jako rozhodující parametr ovlivňující průchodnost stanovena hodnota srážkového úhrnu za třídní období. Doplňujícími parametry jsou:

- průměrná teplota za definované časové období;
- půdní druh;
- relativní vlhkost půd ze srovnání vůči dlouhodobému průměru.

Pro vlastní výpočet, který je založen na principu porovnávání limitních hodnot jednotlivých parametrů s reálnými daty, je nezbytné znát pouze dva (srážky a teplotu). Zbývající umožňují zpřesnit výsledek výpočtu, ale nejsou nezbytně nutné. V případě neznalosti těchto parametrů je ve výpočtu předpokládána horší varianta průchodnosti. Výpočetní proces probíhá zvlášť pro každou skupiny půd (tab. 3) a v rámci této skupiny postupně klasifikuje průchodnost pro jednu ze čtyř kategorií vozidel (AOT, ANT, KBV, PBV). Klasifikace výsledné průchodnosti půd vychází z těchto kategorií průchodnosti:

- GO – průchodná bez omezení, možné realizovat více než 50 průjezdů vozidel dané kategorie;
- SLOW GO – průchodná s omezením, v dané kategorii vozidel je možné realizovat pouze jednotlivé průjezdy (zpravidla méně než 10);
- NO GO – neprůchodná, nelze překonat ani jediným průjezdem vozidla.

Výsledná klasifikace pro celou skupinu vozidel je vždy podřízena parametrem vozidla s nejhorší průchodností půd. V případě ANT klasifikace odpovídá plně naloženým vozidlům. V případě prázdných nákladních vozidel je možné hodnotit průchodnost půd při jistém

stupni zjednodušení stejně jako pro kategorii KBV.

V případě období ZIMA je celý výpočetní proces komplikovanější a je ovlivňován větším množstvím vstupních parametrů, zejména ale proměnlivostí časového intervalu, za který je nutné jednotlivé údaje mít k dispozici, ale i rozdílným pořadím, v jakém se jednotlivé parametry posuzují v rámci rozhodovacího procesu. Do výpočtu tak vstupují:

- průměrná teplota za definované časové období;
- úhrn srážek za definované období;
- množství dnů se sněhovou pokrývkou;
- půdní druh;
- relativní vlhkost půd ze srovnání vůči dlouhodobému průměru.

Princip vlastního výpočtu je obdobný jako v případě období LÉTO. Primárně jsou posuzovány hodnoty na základě teplot a dalších údajů tak, aby bylo možné stanovit průchodnost v období ZIMA-, které je jednodušší na výpočet. V případě nestanovení průchodnosti jsou následně hodnoceny primárně parametry teplota a srážky v kombinaci doplňujících parametrů půdního druhu a relativní vlhkosti. Výsledkem porovnání je opět stanovení průchodnosti ve třech kategoriích průchodnosti (GO, SLOW GO a NO GO) pro čtyři kategorie vozidel (AOT, ANT, KBV, PBV).

5. Ověření nového postupu hodnocení průjezdnosti půd

K ověření nově navrženého postupu průchodnosti půd bylo provedeno srovnání průchodnosti pro pět typových variant počasí. Tyto varianty byly zvoleny tak, aby bylo možné ověřit navržený postup na základě skutečně měřené průchodnosti a na základě parametrů definujících ztížené meteorologické podmínky v letním a zimním období podle modelu GeoSI AČR. Pro

srovnání nového a původního postupu byla pro každou z variant vypočtena průchodnost oběma postupy. Výsledky modelované a naměřené průchodnosti jsou v tabulkách 4 a 5. Ve všech variantách bylo voleno období bez sněhové pokrývky.

Z výsledků porovnání obou modelů s reálné měřeními daty je zřejmé, že nově navržený model lépe vystihuje skutečně měřené hodnoty průchodnosti půd. Modelované hodnoty průchodnosti nejsou sice zcela shodné s reálnou situací, ale v obou případech (aplikace nového postupu na ÚDB Půdy i DPM50) odpovídají více reálné situaci v terénu než výsledky získané z modelu GeoSI AČR. Spolehlivější výsledky vykazuje aplikace postupu na půdní data z DPM50. To je dáno větší úrovní detailu zakresu jednotlivých půdních areálů a spolehlivější klasifikací atributů, i když i zde jsou odchyl-

ky od reálné situace. Příkladem je lokalita Ochoz, kde jsou půdy špatně klasifikovány v obou databázích.

Z provedených testů je možné vypočítat některé nesrovnalosti v navrženém postupu v případě skupin půd F a C (viz tab. 3). V případě fluvisolů jsou půdy v některých lokalitách pravděpodobně ovlivněny okolním prostředím, které výrazně ovlivňuje půdní vlhkost. Těmito lokalitami jsou s největší pravděpodobností okolí neregulovaných vodních toků a okolí trvale podmáčených lokalit s výskytem glejů. Takovou lokalitou je například i lokalita Záhlinice A, která vykazuje výraznější rozdíly vypočítaných hodnot od skutečně naměřené průchodnosti půd. Skupina půd pod označením C, zahrnující černosoly, luvisoly a vertisoly, vykazuje také dílčí nepřesnosti. Ty mohou být způsobeny jednak zemědělskou činností,

nepřesným nastavením mezních hodnot, ale i dalšími vlivy, které stávající postup nepostihuje.

Celkově je možné nově navržený postup hodnocení průchodnosti půd i přes jeho dílčí nepřesnosti považovat za spolehlivější než zavedený dosud používaný postup podle metodiky uplatněné u modelu GeoSI AČR. Z tohoto důvodu je vhodné ho implementovat jako prvotní verzi hodnocení průchodnosti půd do komplexního modelu průchodnosti, který je vyvíjen na katedře vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně (dále jen „katedra“).

Závěr

Tento článek se snaží objasnit problematiku modelování vlivu půd na průchodnost. Zaměřuje se na jeden z hlavních vlivů, kterým je únosnost půd. Na

Tab. 4 Porovnání modelované průchodnosti v zimním období dle nově navrženého postupu s modelem GeoSI AČR ve variantě reálného počasí a nepříznivých podmínek dle modelu GeoSI AČR (G – GO, S – SLOW GO, N – NO GO)

Varianta počasí	Skupina vozidel	Datový model	Lokalita								
			Záhlinice	Záhlinice B	Chropyně	Troubky	Tovačov	Štětovice	Olšany	Křtiny	Ochoz
ZIMA+ (reálné počasí)	AOT	Měření	N	N	G	G	S	S	N	N	G
		ÚDB Půdy	S	S	G	G	S	S	S	G	G
		DPM50	S	N	G	G	S	S	S	N	S
	ANT	Měření	N	N	G	N	N	N	N	N	S
		ÚDB Půdy	S	S	S	S	S	N	S	G	G
		DPM50	S	N	S	S	S	N	S	N	S
	KBV	Měření	N	N	G	G	S	S	N	N	G
		ÚDB Půdy	S	S	S	S	S	N	S	G	G
		DPM50	S	N	S	S	S	N	S	N	S
	PBV	Měření	N	N	G	G	S	S	N	N	G
		ÚDB Půdy	S	S	G	G	S	S	S	G	G
		DPM50	S	N	G	G	S	S	S	N	S
Model GeoSI AČR		G	G	G	G	G	N	G	G	G	
ZIMA+ (nepříznivé podmínky dle modelu GeoSI)	AOT	Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ÚDB Půdy	S	S	S	S	S	N	S	G	G
		DPM50	S	N	S	S	S	N	S	N	S
	ANT	Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ÚDB Půdy	N	N	N	N	N	N	N	G	G
		DPM50	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	KBV	Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ÚDB Půdy	S	S	S	S	S	N	S	G	G
		DPM50	S	N	S	S	S	N	S	N	S
	PBV	Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ÚDB Půdy	S	S	G	G	S	N	S	G	G
		DPM50	S	N	G	G	S	N	S	N	S
Model GeoSI AČR		S	S	S	S	S	N	S	G	G	

základě dlouhodobého měření půd, meteorologických dat a jejich vzájemné analýzy byl vytvořen nový postup pro modelování průchodnosti. Navržený postup vychází v tuto chvíli pouze z hodnocení únosnosti půd a řeší tak zejména otázku, zda vozidlo zapadne nebo projede přes danou lokalitu. Problematika průchodnosti půd je však širší. I přesto, že vozidlo v dané lokalitě nezapadne, je možné, že tato lokalita bude neprůchodná z jiných důvodů. Těmi je zejména konzistence povrchové vrstvy půd po výrazných krátkodobých srážkách, která ovlivňuje zejména kolovou techniku. Rozměklé půdy (zejména jemnozrnné) ucpou vzorek pneumatik a tím výrazně sníží schopnost přenosu hnacích sil na podvozek. Tento vliv bude zesilován v důsledku sklonu svahu. Uvedený problém souvisí se smykovým napětím

půd a jeho řešení bylo zahájeno na konci roku 2018 realizováním pravidelného měření smykového napětí půd pro vybrané půdy, a to jak přímo v terénu, tak i na experimentálním polygonu, který bude vybudován v rámci meteorologické stanice katedry. Výsledky měření by měly být poté v budoucnu ověřeny i při terénních testech s vojenskou technikou.

Dalšími vlivy, které jsou anebo budou v budoucnu řešeny v souvislosti se zpřesněním modelu průchodnosti půd, jsou:

- problematika vlivu sklonu svahu na rozložení půdní vlhkosti;
- akumulace půdních sedimentů a změna rozložení půdních klasifikací v důsledku eroze;
- vliv dalších meteorologických prvků a jevů;
- problematika vícenásobné závislosti průchodnosti půd na parametrech počasí.

Jak vyplývá z předchozího textu, je modelování průchodnosti půd složitým problémem a představené řešení není konečné. Přesto ho lze považovat za výrazný příspěvek v rámci nově vytvářeného modelu průchodnosti půd, do kterého bude v budoucnu v závislosti na zpřístupnění online metodologických dat zakomponován a zpřístupněn pomocí webových služeb na webovém portálu GeoSI AČR v Celoarmádní datové síti / Globální datové síti Ministerstva obrany.

Vývoj modelu průchodnosti půd bude pokračovat i v dalším období. Problematika je řešena v rámci zpracování několika závěrečných prací a při dalších vědecko-výzkumných úkolech katedry.

Tab. 5 Porovnání modelované průchodnosti v letním období dle nově navrženého postupu s modelem GeoSI AČR ve variantě reálného počasí a nepříznivých podmínek dle modelu GeoSI AČR (G – GO, S – SLOW GO, N – NO GO)

Varianta počasí	Skupina vozidel	Datový model	Lokalita										
			Záhlnice A	Záhlnice B	Chropyně	Troubky	Tovačov	Štětovice	Olíšany	Křtiny	Ochoz		
LÉTO (reálné počasí)	AOT	Měření	S	S	G	G	G	G	G	G	N	G	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	
		DPM50	G	S	G	G	G	G	G	G	S	G	
	ANT	Měření	N	N	G	G	G	S	G	G	N	G	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	
		DPM50	G	N	G	G	G	G	G	G	N	G	
	KBV	Měření	S	S	G	G	G	G	G	G	N	G	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	
		DPM50	G	S	G	G	G	G	G	G	S	G	
	PBV	Měření	S	S	G	G	G	G	G	G	N	G	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	
		DPM50	G	S	G	G	G	G	G	G	S	G	
	Model GeoSI AČR			G	G	G	G	G	N	G	G	G	
	LÉTO (nepříznivé podmínky dle modelu GeoSI)	AOT	Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	S	G	G	N	G
DPM50			G	N	G	G	G	S	G	N	G		
ANT		Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		ÚDB Půdy	S	S	S	S	S	S	S	S	G	G	
		DPM50	S	N	S	S	S	S	S	N	S		
KBV		Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	S	G	G	N	G	
		DPM50	G	N	G	G	G	S	G	N	G		
PBV		Měření	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		ÚDB Půdy	G	G	G	G	G	S	G	G	N	G	
		DPM50	G	N	G	G	G	S	G	N	G		
Model GeoSI AČR			S	S	S	S	S	N	S	G	G		

Použité zkratky

AČR	Armáda České republiky	KBV	kolové bojové vozidlo
ANT	automobil nákladní terénní	KPP	Komplexní průzkum půd
AOT	automobil osobní terénní	LPIS	Land Parcel Identification System
BPEJ	bonitované půdně ekologické jednotky	PBV	pásové bojové vozidlo
ČGS	Česká geologická služba	SPÚ	Státní pozemkový úřad
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	ÚDB Půdy	Účelová databáze půdy
ČR	Česká republika	USCS	Unified Soil Classification System
DMR2,5	Digitální model reliéfu 2,5	USDA	United States Department of Agriculture
DPM50	Digitální půdní mapa 1 : 50 000	VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.
GeoSI AČR	geografická služba Armády České republiky	WFS	Web Feature Service
GIS	geografický informační systém	WMS	Web Map Service

Použitá literatura a zdroje

- [1] BUREŠ, Martin. Analýza datových toků v modelu průchodnosti terénu vojenskou technikou. *Výzkumná zpráva DZRO K-210 NATURENVIR*. Brno, Univerzita obrany, 2017.
- [2] *Intersucho*. 2018. [Získáno 14. 9. 2018, z CzechGlobe: www.intersucho.cz].
- [3] *Mapy*. 2018. [Získáno 21. 7. 2018, z Česká geologická služba: <http://www.geology.cz/extranet/mapy>].
- [4] *Půdní mapa 1 : 50 000*. 2018. [Získáno 24. 5. 2018, z Česká geologická služba: <https://mapy.geology.cz/pudy>].
- [5] *Historická data – měsíční data*. 2018. [Získáno 30. 6. 2018, z Český hydrometeorologický ústav: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>].
- [6] *Meteorologická terminologie*. 2018. [Získáno 4. 9. 2018, z Český hydrometeorologický ústav: <http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/prezentace-a-vyuka/meteorologicka-terminologie>].
- [7] HLAVINKA, Petr a kol. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*, Vol. 98, 2011, pp. 1249–1261.
- [8] HUBÁČEK, Martin; BUREŠ, Martin; ŠIMKOVÁ, Kateřina; KRATOCHVÍL, Vlastimil. Verification of the Movement Speed on Communication Network and the Vehicle Movement Modelling Possibilities for Defence and Crisis Management. In: IVAN, Igor; HORÁK, Jiří; INSPEKTOR, Tomáš. (eds) *Dynamics in GIScience*. GIS OSTRAVA 2017. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham, 2017, pp. 165–180. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61297-3_12>.
- [9] HUBÁČEK, Martin. Modelování vlivu půd na možnosti pohybu vojenských vozidel. *Habilitační práce*. Brno, Univerzita obrany v Brně, 2018.
- [10] JANDERKOVÁ, Jana; SEDLÁČEK, Jan. Dokončení editace půdních map ČR v měřítku 1 : 50 000. *Pedologické dny 2004, sborník z konference na téma PEDODIVERZITA*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2004, s. 133. ISBN 80-213-1248-3.
- [11] KOHUT, Mojmir; ROŽNOVSKÝ, Jaroslav; CHUCHMA, Filip. Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území ČR. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav; LITSCHMANN, Tomáš. (ed) *Voda v krajině*. Lednice 31. 5. – 1. 6. 2010, s. 35–46. ISBN 978-80-86690-79-7.
- [12] KRÁSA, Josef. Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS. *Disertační práce*. Praha, České vysoké učení technické, 2004.
- [13] MERTOVOÁ, Eva. Porovnání Půdní mapy 1 : 50 000 s daty Účelové databáze půd a možnosti jejího využití v AČR. *Bakalářská práce*. Brno, Univerzita obrany, 2015.
- [14] ÚDB Půdy. *Příručka pro uživatele*. Praha: Ministerstvo obrany ČR – Vojenský zeměpisný ústav, 2000.
- [15] *Registr půdy – LPIS*. 2018. [Získáno 28. 8. 2018, z Ministerstvo zemědělství: <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS>].
- [16] *Uživatelská dokumentace pLPIS – Veřejný Registr půdy*. Praha : Ministerstvo zemědělství, 2018.
- [17] PRAX, Alois. Analýzy atributů průchodivosti půd v ČR v souladu se standardy NATO. *Výzkumná zpráva projektu obraněho výzkumu METEOR*. Brno, Univerzita obrany, 2010.
- [18] PRAX, Alois. Určení pedologických charakteristik málo úrodných půdních druhů na území Moravy, provedení laboratorních rozborů zrnitosti půd. *Výzkumná zpráva projektu specifického výzkumu K-210 na r. 2014*. Brno, Univerzita obrany, 2014.
- [19] PRAX, Alois. Pedologická klasifikace půdních druhů a změření půdních charakteristik, provedení laboratorních pedologických rozborů zrnitosti půd – J. Morava. *Výzkumná zpráva DZRO K-210 NATURENVIR*. Brno, Univerzita obrany v Brně, 2018.
- [20] *Celostátní databáze BPEJ*. 2018. [Získáno 30. 8. 2018, z Státní pozemkový úřad: <https://www.spucr.cz/bpej/celostatni-databaze-bpej>].
- [21] STŘEDA, Tomáš; LITSCHMANN, Tomáš; PALÁTOVÁ, Eva. (2008). Vlhkost půdy pod různými typy vegetace v říční krajině. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav; LITSCHMANN, Tomáš. (ed) *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. Mikulov 9. – 11. 9. 2008. ISBN 978-80-86690-55-1.
- [22] STŘÍŽ, Martin; NĚMEC, Luboš. Prostorová analýza sněhových dat. In: HOLKO, Ladislav. (ed) *Zborník príspevkov zo seminára XVI. medzinárodné stretnutie snehárov*. Žiarska dolina 23. – 25. 3. 2011. Liptovský Mikuláš : Ústav hydrologie SAV, Experimentálna hydrologická základňa, 2011, s. 89–97.
- [23] ŠÁLEK, Milan. Kombinace údajů meteorologických radiolokátorů a srážkoměrů pro odhad srážek. *Disertační práce*. Brno, Vysoké učení technické, 2011.
- [24] *eKatalog BPEJ*. 2018. [Získáno 28. 8. 2018, z Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.: <https://bpej.vumop.cz/>].

Vliv mikroreliefních objektů na průchodnost terénu

Ing. Filip Dohnal, Ph.D., pplk. doc. Ing. Martin Hubáček, Ph.D.

katedra vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany v Brně, Brno

Abstrakt

Reliéf jako součást krajiny výrazně ovlivňuje možnosti pohybu vozidel mimo komunikace. Hlavní vliv na pohyb mají sklon svahu a výskyt mikroreliefních objektů. Vysoce přesné modely reliéfu umožňují detekci mikroreliefních objektů. Takovým modelem je i Digitální model reliéfu 5 z území České republiky. Tento model byl spolu s nástroji geografických informačních systémů a technickými parametry jednotlivých vozidel využit pro vyhledávání mikroreliefních objektů, které představují překážku pohybu vozidel. Výsledky modelování byly ověřeny v terénu s využitím vojenských vozidel. Terénní testy potvrdily vysokou spolehlivost navrženého postupu.

Impact of microrelief objects on cross-country vehicle movement

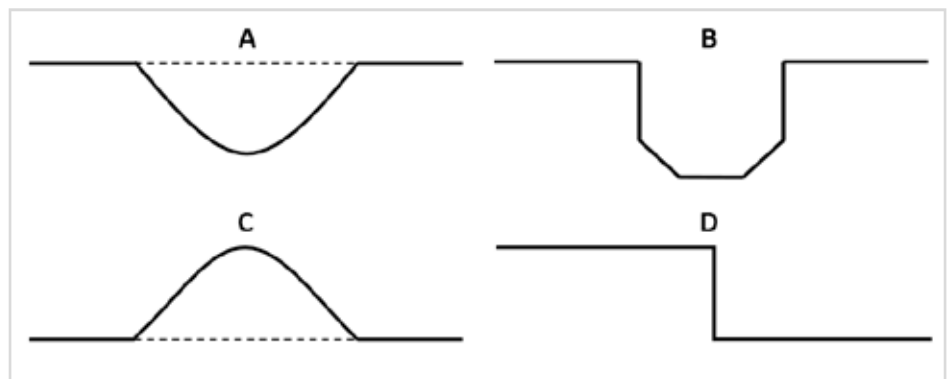
Abstract

Relief of a terrain as a part of the landscape greatly affects the possibilities of vehicles moving off the road. The main influence on the movement is the slope of terrain and the occurrence of microrelief objects. Precise digital elevation models enable the detection of microrelief objects. The Digital Elevation Model 5 is also one of such model from the territory of the Czech Republic. This model was used to find procedures for identification of impassable microrelief objects using tools of geographic information systems and technical parameters of vehicles. The results of modelling were subsequently verified in the field using military vehicles. Field tests confirmed the high reliability of the proposed procedure.

Úvod

Krajinná sféra představuje složitý celek, který zahrnuje několik významných složek a reliéf je jednou z nich [1], [2]. Svou členitostí utváří přírodní ráz krajiny a do značné míry podmiňuje výskyt dalších krajinných prvků území. Reliéf svými charakteristikami, konfigurací a orografií ovlivňuje lidskou činnost, zejména v problematice transportu materiálu a přepravy osob. Jeho význam se zvyšuje mimo pozemní komunikační síť, kde je prováděna vojenská činnost a s ní související vojenské přesuny jednotek nebo jsou plněny úkoly jednotek záchranných sborů během krizových událostí. Dobrá znalost možností manévru jednotkami je tak předpokladem úspěšného splnění zadaných úkolů, a proto jsou zejména vojenskými geografiy již desítky let zpracovávány nejrůznější hodnocení vlivu terénu na mobilitu vojenských vozidel. V prvopočátcích to byla zejména slovní hodnocení a tematické mapy [3], [4], v současnosti jsou to především výstupy komplexních modelů průchodnosti terénu [5], [6], [7], [8], [9].

Z pohledu vlivu reliéfu na mobilitu se hodnotí zejména vliv sklonu svahu a vliv mikroreliefních prvků. Zatímco vliv sklonu svahu lze snadno modelovat s využitím nástrojů geografických informačních systémů (GIS), v případě mikroreliefu je to poměrně obtížné. Technické parametry vozidel nutné pro modelování schopnosti překonání daného mikroreliefního objektu jsou známy pro každé vozidlo. Problematické je ale využití digitálních modelů reliéfu (DMR) pokrývajících rozsáhlá území. Většina těchto DMR pokrývajících území států, kontinentů nebo celého světa je v podobě mřížky bodů s rozestupem v jednotkách až stovkách



Obr. 1 Vybrané typy mikroreliefních objektů: A – výkop/jáma, B – zákop/rýha, C – násep/val, D – terénní stupeň

metrů. Žádné interpolační postupy nedokáží z těchto modelů identifikovat terénní hrany a objekty mikroreliefu. Změna nastala s využitím technologie leteckého laserového skenování pro tvorbu DMR. Tato technologie umožňuje rychle a efektivně sbírat přesná data o poloze a výšce reliéfu a objektů na něm. V letech 2010 až 2013 byla tato technologie využita pro první celoplošné skenování území České republiky (ČR). Výsledkem projektu, na němž se podílely Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK), Ministerstvo obrany ČR a Ministerstvo zemědělství ČR je nová generace výškových modelů – Digitální model reliéfu 4 (DMR4) a Digitální model reliéfu 5 (DMR5) – dokončená v roce 2016 [10]. DMR5 je vytvořen v podobě nepravidelně rozložených bodů s úplnou střední chybou výšky v odkrytém terénu 0,18 m a 0,3 m v zalesněném území [11]. Testy provedené tvůrci i nezávislá ověření potvrdily vysokou přesnost těchto modelů [12], [13]. Uvedené modely svou přesností, zejména pak DMR5, posouvají možnosti modelování a analýz terénu v mnoha oblastech a zároveň umožňují využití v ob-

lastech, kde bylo dosud nezbytné provádět podrobné geodetické měření před zahájením analytických prací [14].

V obecném pohledu je za objekty mikroreliefu možné definovat ty objekty reliéfu, jejichž výška je oproti okolí rozdílná maximálně o několik metrů. Tyto objekty mají převážně liniový nebo bodový charakter a vyskytují se zejména v podobě strží, erozních rýh, teras, výkopů, náspů, jam a dalších objektů (obr. 1). Z pohledu pohybu v terénu ovlivňují mikroreliefní objekty svým tvarem, velikostí a směrem možnosti manévru vojenských jednotek, ale i jednotlivých vozidel.

1. Vliv mikroreliefních objektů na pohyb vozidel

Mikroreliefní objekty je možné překonat dvěma rozdílnými způsoby [15]. Prvním je přímé překonání objektu vozidlem a druhým způsobem je obejití objektu. V obou případech dochází ke zpomalení postupu jednotek a v druhém případě i k nemožnosti manévru. Pro hodnocení schopnosti vozidla překonat mikroreliefní objekty je nezbytné znát takticko-technické paramet-

ry techniky a rozměry a tvary mikroreliefních objektů. Na základě těchto znalostí je možné rozhodnout, zda vozidla jsou schopna překonat objekty mikroreliefu nebo je nutné jejich obejít. Základními technickými parametry vozidel pro stanovení schopnosti překonání objektů mikroreliefu jsou [16]:

- druh podvozku (kolový, pásový);
- počet náprav;
- rozvor náprav;
- nájezdový úhly;
- výstupnost;
- světlá výška vozidla.

Uvedené hodnoty jsou zpravidla pro každé vozidlo známy a exaktně vyčísleny. Při určité schematizaci a zjednodušení problému tak mohou pro kolová vozidla nastat tyto případy znemožňující překonání mikroreliefního objektu vozidlem:

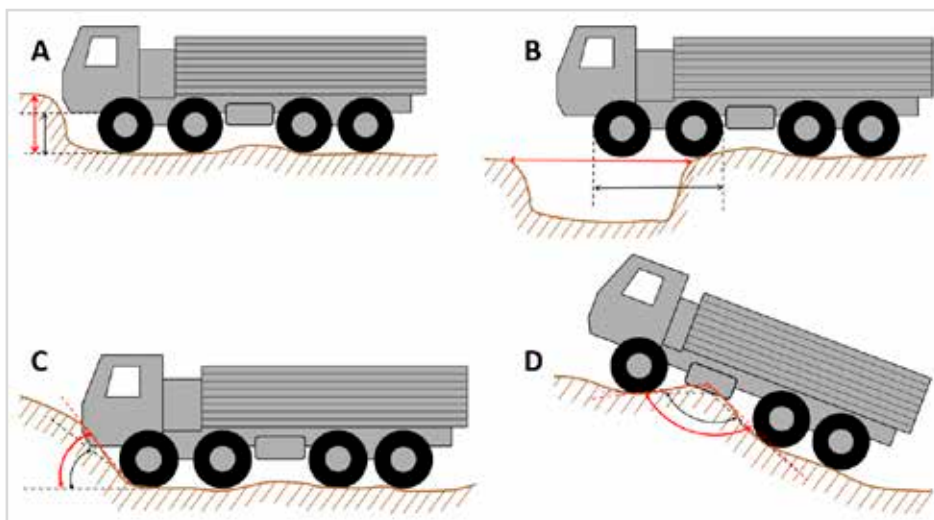
- kolmý terénní stupeň je vyšší než výstupnost vozidla (obr. 2A);
- hluboký zářez je širší než překročivost vozidla (obr. 2B);
- úhel mezi reliéfem a mikroreliefem je větší než nájezdový úhel vozidla (obr. 2C);
- úhel horní hrany mikroreliefního objektu je menší než dvojnásobek úhlu mezi středem rozvoru náprav a spodním okrajem pneumatiky na nápravě (obr. 2D).

V případě pásových vozidel je situace obdobná až na poslední případ, který u tohoto typu podvozku nenastává.

2. Identifikace neprůchozích mikroreliefních objektů pro kolová vozidla

V rámci navrženého a testovaného řešení byly řešeny dva ze čtyř uvedených případů. Navrhovaný postup klasifikace průchodnosti mikroreliefního objektu vychází z analýzy limitních možností vozidel překonat mikroreliefní objekt a ze stanovení, zda je dané místo v terénu zvoleným vozidlem překonatelné nebo ne. Navržený způsob identifikace mikroreliefních objektů využívá data DMR5 v podobě rastrového modelu o velikosti pixelu 0,4, 0,5 nebo 0,6 m v závislosti na velikosti rozvoru kol vozidla. Tato hodnota byla zvolena na základě zjištěné chybivosti DMR5 v oblasti mikroreliefních tvarů [11] a technických parametrů vozidel. Řešenými případy jsou:

- ostrá terénní hrana a možnost uvíznutí vozidla;
- geometrický tvar zářezu/výkopu a možnost čelního nárazu vozidla do protějšího břehu zářezu/výkopu ve směru jízdy vozidla.



Obr. 2 Vizualizace limitů vojenských vozidel k překonávání mikroreliefních překážek

2.1 Identifikace neprůchodných terénních hran

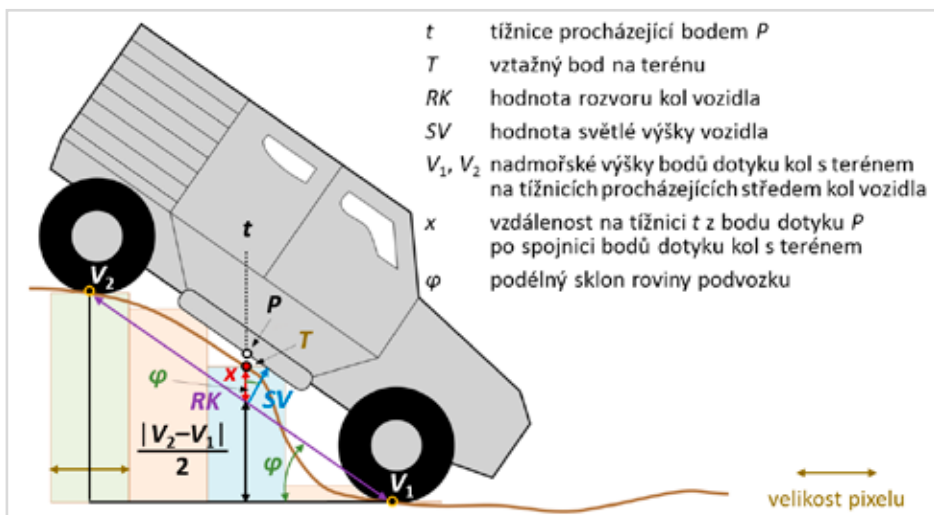
Pro detekci míst terénních hran, kde může kolové vozidlo uvíznout podvozkem, byl navržen postup, který se opírá o limitní hodnoty dvou technických parametrů kolových vozidel (světlostou výšku vozidla a rozvoru náprav). Při výpočtu se neuvazuje deformace pružin, pneumatik a povrchu terénu v důsledku zatížení vozidlem. Princip výpočtu je založen na porovnávání nadmořské výšky terénu v místě terénní hrany s nadmořskou výškou podvozku v hypotetickém místě styku s terémem mezi nápravami (obr. 3)

Algoritmus výpočtu je založen na využití mapové algebry a DMR5 v rastrovém formátu. Výpočet probíhá ve čtyřech krocích, kdy každý krok zohledňuje jeden ze čtyř základních směrů v matici pixelů (jih-sever, východ-západ, jihovýchod-severozápad, severovýchod-jihozápad). Uvedený postup je nutno provést s ohledem na možnost pohybu vozidla v různých směrech.

Výsledkem výpočtu jsou čtyři rastry, v nichž jsou vypočítány rozdíly modelovaných nadmořských výšek podvozku v bodě

P a nadmořských výšek terénu v bodě T při pohybu v daném směru. Záporné hodnoty pixelů představují místa uvíznutí daného vozidla. Pro lepší klasifikaci terénních hran a z důvodu optimalizace modelu jsou výsledně převzorkovány na velikost pixelu 0,5 m. Výsledný rastr neprůchodných hran je získán překryvem ze všech čtyř vrstev a obsahuje minimální hodnotu v každém místě.

Přesnost identifikace hran je ovlivněna přesností DMR5 a velikostí pixelu rastrového výškového modelu. Spolehlivost výpočtu byla ověřena v terénu ve Vojenském újezdu (VÚj) Libavá s využitím vozidel Tatra 815 (T815), Land Rover Defender 110 (LRD 110), UAZ 469 a Iveco M65E (obr. 4). Na základě provedeného terénního geodetického měření byla spočítána průměrná výšková odchylka, která činí 0,07 m, a směrodatná odchylka (nabývá hodnoty 0,1 m). Uvedená směrodatná odchylka byla uvažována při klasifikaci neprůchozích terénních hran jako nejistota modelování. Tím byla zvýšena míra spolehlivosti modelování v určení neprůchozích terénních hran.



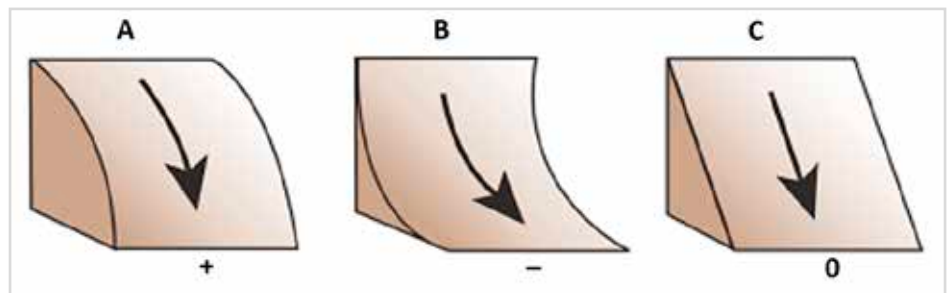
Obr. 3 Princip výpočtu nadmořské výšky podvozku v hypotetickém bodě P



Obr. 4 Vybraná kolová vojenská vozidla během terénních testů ve VÚJ Libavá v roce 2017 – terénní stupeň (nahore), terénní val (dole)

Navržený postup dokáže spolehlivě identifikovat terénní hrany a dokáže provést klasifikaci terénních hran z pohledu průchodnosti ve třídách GO, SLOW GO a NO GO. Na základě verifikačních testů nejsou tyto mezinárodně standardizované třídy pro tento model zcela objektivní. Třídou SLOW GO v tomto modelu lze definovat jako klasifikační stupeň pro hodnocení mikroreliefních objektů z hlediska průchodnosti, který hodnotí terénní zlomy jako pravděpodobně překonatelné s možností kontaktu podvozku vozidla s terénem. Třídou NO GO lze ze stejného pohledu definovat jako klasifikační stupeň, který hodnotí terénní zlomy jako neprůchodné s vysokým rizikem kontaktu podvozku vozidla s terénem, které může zapříčinit uvíznutí vozidla. Z nově získaných zkušeností během verifikačních testů v terénu se potvrdil vliv geometrických tvarů terénních objektů na možnosti jejich překonávání.

Nicméně navržený postup je časově náročný a není vhodný pro velká území (nad 1 km²). Pro optimalizaci metody se proto začal klást důraz na hodnocení vlivu geometrických vlastností samotného terénního objektu. Snahou bylo nelézt optimálnější metodou pro hledání terénních hran zohledňující parametry konkrétního vozidla. Optimalizace spočívá v porovnání limitních parametrů vozidla s vlastnostmi horizontálního zakřivení povrchu terénu. Pro řešení bylo využito nástroje *ProfileCurvature* určeného pro výpočet hodnot druhé derivace modelovaného průběhu reliéfu. Tento nástroj tedy slouží k ur-



Obr. 5 Horizontální zakřivení povrchu: A – konvexní, B – konkávní a C – lineární [17]

čení konvexního či konkávního zakřivení svahu v horizontálním směru (obr. 5).

Smyslem optimalizace je nalézt limitní hodnotu horizontálního zakřivení povrchu, která představuje takovou terénní hranu, jejíž vlastnosti odpovídají konvexnímu zakřivení (horní hrana mikroreliefního objektu) a může způsobit kolizi podvozku vozidla s terénem nebo uvíznutí vozidla. Klasifikace průchodnosti (možnost překonat mikroreliefní objekt) byla rozdělena do 3 tříd na základě nejistoty v určení hodnoty rozdílu nadmořských výšek podvozku a reliéfu. Z rozhodnutí zachování 3 klasifikačních tříd průchodnosti je nutné v další fázi určit meze horizontálního zakřivení povrchu terénu, které budou nově definovat klasifikační třídy průchodnosti tak, aby odpovídaly předešlým modelovaným výsledkům. Metoda nalezení spodní a horní meze horizontálního zakřivení (SMHZ a HMHZ) spočívá ve statistickém zpracování hodnot horizontálního zakřivení povrchu z míst na detekovaných terénních hranách, které byly nalezeny pomocí původního algoritmu. Statistickým zpracováním byly na-

lezeny pro každé vybrané kolové vozidlo hodnoty SMHZ a HMHZ, které definují tři třídy průchodnosti: GO, SLOW GO a NO GO. Celkem byly stanoveny hodnoty mezi pro sedm základních typů podvozků kolových vozidel využívaných v Armádě České republiky. Jsou jimi LRD 110, UAZ 469, Iveco M65E, Pandur II, Tatra 810, T815 6×6 a T815 8×8. Na základě znalosti hodnot SMHZ a HMHZ je možné velmi rychle detekovat terénní hrany pro tato vozidla na rozsáhlém území.

V případě nutnosti klasifikace průchodnosti terénních hran pro jiné typy vozidel je nutné provést výpočet a celý porovnávací postup od počátku. Z tohoto důvodu byl učiněn pokus o nalezení funkční závislosti mezi SMHZ a HMHZ a technickými parametry vozidla, na nichž je schopnost překonání terénní hrany závislá (světla výška vozidla, rozvor kol). S využitím hodnot pro výše uvedená vozidla bylo provedeno hledání vhodné interpolační funkce stanovující závislost mezi horizontálním zakřivením povrchu terénu a parametry vozidla. Bylo testováno několik variant, ale jako

nejvhodnější se ukázala závislost mezi horizontálním zakřivením povrchu na úhlu definovaném parametrem rozvoru kol RK a světlé výšky SV vozidla (obr. 6).

Vlastní klasifikace průchodnosti mikroreliefních hran reliéfu je vzhledem k možným nepřesnostem v používaném modelu reliéfu a vertikálním pohybům vozidla (tlumiče, pneumatiky apod.) rozdělena do tří skupin:

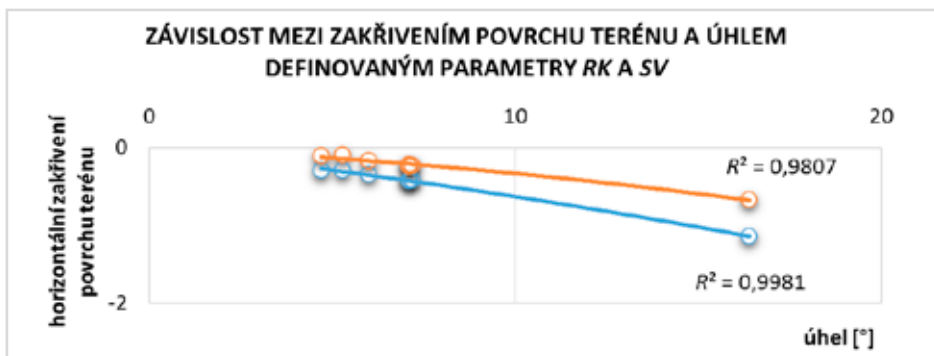
- terénní hrany neprůchodné s vysokým rizikem kontaktu podvozku vozidla s terénem, které může způsobit uvíznutí vozidla (horizontální zakřivení povrchu terénu \leq SMHZ);
- terénní hrany pravděpodobně překonatelné s možností kontaktu podvozku vozidla s terénem (SMHZ \geq horizontální zakřivení povrchu terénu \leq HMHZ);
- terénní hrany překonatelné bez kontaktu podvozku vozidla s terénem (HMHZ \geq horizontální zakřivení povrchu terénu) (obr. 7). Omezení průchodnosti z hlediska konkávního zakřivení povrchu terénu nebylo prozatím řešeno.

Pro ověření funkčnosti nově definovaného modelu byly provedeny verifikační testy v terénu. Verifikační testy se uskutečnily v březnu 2018 ve VÚj Hradiště. Verifikační terénní testy částečně potvrdily spolehlivost modelu (částečně proto, že se testů zúčastnilo pouze jedno vozidlo), nicméně nastínily směr, jak analyzovat další obecnou charakteristiku a její vliv na průchodnost, a to geometrický tvar zářezu a možnost čelního nárazu vozidla do protějšího břehu zářezu ve směru jízdy vozidla. Tedy příčný profil mikroreliefních objektů a jeho břehové prostorové vlastnosti omezují vozidlo v dalším postupu (obr. 8).

2.2 Identifikace čelního nárazu vozidla do břehu mikroreliefní překážky

Analýza vychází z hodnocení vlivu jednoho limitního takticko-technického parametru vozidla na překonávání mikroreliefních objektů, kterým je přední nájezdový úhel (α_a). Při schematizaci (profilové zobrazení vozidla – pouze ve dvou rozměrech) a zjednodušení situace překonávání zářezu či výkopu (vozidlo překonává objekt kolmo na osu objektu) může pro kolová vozidla nastat následující případ (obr. 9) – pokud přední nájezdový úhel je větší než sklon břehu, potom α_a není limitujícím parametrem, který by znemožňoval překonání mikroreliefního objektu. Tento problém bez zohlednění délky vozidla řešila ve své práci již Šturcová [18].

Matematický model uvedený na obrázku 8 lze využívat pouze v případě, že se vozidlo dokáže pohybovat v celé své dél-



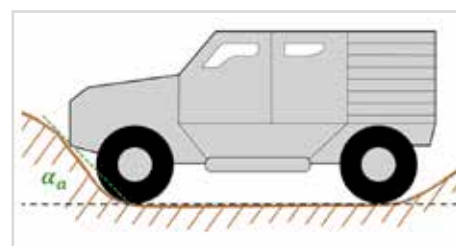
Obr. 6 Závislost SMHZ (modrá regresní křivka) a HMHZ (oranžová regresní křivka) na úhlu, který je definován parametry RK a SV



Obr. 7 Výstup modelu pro T815 mikroreliefního objektu ve VÚj Hradiště (fialové pixely představují neprůchozí terénní hranu, bílé pixely pravděpodobně překonatelnou hranu s možností kontaktu podvozku vozidla s terénem; zdroj mapového podkladu – Ortofoto © ČÚZK)



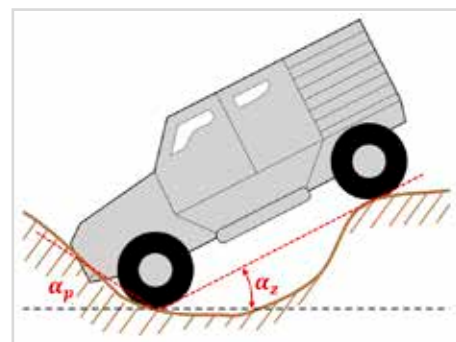
Obr. 8 Příčný profil vybraného mikroreliefního profilu



Obr. 9 Schéma vozidla v mikroreliefním objektu – přední nájezdový úhel α_a není v tomto případě omezujícím parametrem pro překonání

ce na dně mikroreliefního objektu. Proto je nutné matematický model modifikovat a zohlednit skutečnost, že vozidlo může mít svoji délku větší, než je šířka mikroreliefního objektu (obr. 10).

Analýza spočívá v hledání takových břehů mikroreliefních objektů, kdy může nastat situace znázorněná na obrázku 10, kdy vozidlo narazí do protějšího břehu objektu (ve směru jízdy). Přední úhel α_p je sevřený polopřímkami vedenými z bodu dotyku předního kola s terénem, kde jedna polopřímka je vedena ve vodorovné rovi-



Obr. 10 Schéma vozidla uvíznutého v mikroreliefním objektu, kde α_p byl nazván jako přední úhel a α_z jako zadní úhel

ně a druhá protíná bod na terénu ve vzdálenosti předního převisu vozidla. Zadní úhel α_z je sevřený polopřímkami vedenými z bodu dotyku středu předního kola s terénem, kde jedna polopřímka je vedena ve vodorovné rovině a druhá protíná bod dotyku zadního kola s terénem. Pokud je splněna podmínka (vzorec 1), nedojde k čelnímu nárazu vozidla s břehem mikroreliefního objektu, a tedy ani k uvíznutí vozidla.

$$\alpha_p + \alpha_z < \alpha_a \quad (1)$$

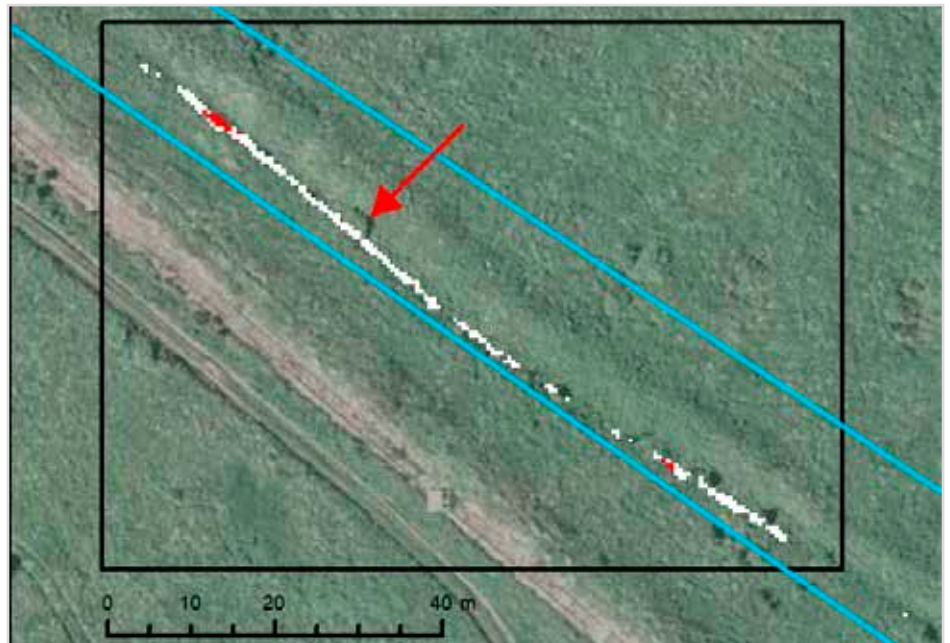
Algoritmus výpočtu je opět založen na využití mapové algebry a DMR5 v rastrovém formátu. Hlavním úkolem je pomocí mapové algebry nalézt pixely, jejichž hodnota představuje součet modelovaných hodnot α_p a α_z a je větší než hodnota α_a vozidla, pro které je analýza prováděna. Výpočet respektuje osm základních směrů pohybu vozidla v terénu: sever–jih a opačně, severovýchod–jihozápad a opačně, východ–západ a opačně, jihovýchod–severozápad a opačně. Výpočet probíhá v několika krocích, kdy je využito zejména nástroje *FocalStatistics*. Obsahem výsledného rastru je součet hodnot α_p a α_z , které jsou porovnávány s hodnotou předního nájezdového úhlu α_a vozidla dle vzorce 1. Do výsledku byla zavedena nejistota určení nadmořské výšky rastrového modelu 0,10 m, která byla stanovena stejně jako při identifikaci neprůchozích ostrých terénních hran. Do modelu byla uvedena hodnota zavedena v podobě nejistoty výpočtu úhlů α_p a α_z .

Klasifikační škála hodnot $(\alpha_p + \alpha_z)$ byla rozdělena do 3 tříd (bez čelního nárazu, pravděpodobný výskyt čelního nárazu, čelní náraz) dle stanovené nejistoty, které lze interpretovat jako třídy GO, SLOW GO a NO GO. Např. pro vozidlo T815 je tato výsledná nejistota $\pm 6,3^\circ$. Výsledek modelování pro vozidlo T815 z VÚJ Hradiště je zobrazen na obr. 11.

Výstup modelu ukazuje, že identifikace břehů a jejich poloha je v uvedeném případě dostatečná a odpovídá poloze (srovnání dle výškového modelu a leteckého snímku). V místě uvíznutí vozidla T815 (obr. 12) model vyhodnotil tuto část terénního výkopu jako pravděpodobně neprůchodnou ve směru severovýchod–jihozápad.

Závěr

Popsaný postup hodnocení průchodnosti mikroreliefních objektů využívající novou generaci výškových modelů představuje kvalitativně nový způsob práce. Celý proces je plně automatizován a využívá reálné hodnoty technických parametrů



Obr. 11 Výsledky analýzy čelního nárazu a klasifikace břehů mikroreliefních objektů z pohledu jejich překonávání ve směru severovýchod–jihozápad pro vozidlo T815 (červená šipka znázorňuje místo a směr pohybu vozidla, modře je vyznačen terénní výkop, červené pixely vyjadřují břeh způsobující výskyt čelního nárazu a bílé pixely břeh způsobující pravděpodobný výskyt čelního nárazu; zdroj mapového podkladu – Ortofoto © ČÚZK)



Obr. 12 Vozidlo T815 uvíznuté v terénním výkopu

vozidel. Výsledky dvou vytvořených modelů byly úspěšně ověřeny v terénu vojenskými vozidly: analýza vlivu terénních hran byla ověřena pětici vozidel ve dvou lokalitách a analýza čelního nárazu jedním vozidlem v jedné lokalitě na mikroreliefních objektech. Vyhodnocení průchodnosti mikroreliefních objektů je zpracováno pro konkrétní typy vozidel a v rámci plánovacího procesu je možné přijmout opatření k nasazení různých typů techniky. Kromě toho odstraňuje subjektivitu hodnocení průchodnosti.

Výše popsané dvě analytické úlohy byly řešeny v prostředí ArcGIS s využitím integrovaných nástrojů. Pro zjed-

nodušení práce operátora a zefektivnění výpočtu byl vytvořen algoritmus v jazyce Python, který lze využít i pro implementaci postupu v Modelu průchodnosti terénu 4000. Současně lze algoritmus využít i při hodnocení průchodnosti malých vodních toků, jejichž geometrické vlastnosti jsou identické s objekty mikroreliefu.

Použité zkratky

ČR	Česká republika	HMHZ	horní mez horizontálního zakřivení
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální	LRD 110	Land Rover Defender 110
DMR	digitální model reliéfu	SMHZ	spodní mez horizontálního zakřivení
DMR4	Digitální model reliéfu 4	T815	Tatra 815
DMR5	Digitální model reliéfu 5	VÚj	vojenský újezd
GIS	geografický informační systém		

Použitá literatura a zdroje

- [1] COLLINS, John M. *Military Geography for Professionals and the Public*. Washington, D.C. : Potomac Books, Inc., 1998.
- [2] MONKHOUSE, Francis John. *Principles of Physical Geography*, 8th ed. London : Hodder and Stoughton Ltd., 1975. ISBN 0340050624, 9780340050620.
- [3] HÄUSLER, Hermann. Wehrgeologie im nordafrikanischen Wüstenkrieg (1941–1943) (Military Geology in the Desert War of Northern Africa 1941–1943). *MILGEO*, Vol. 13. Wien, Federal Ministry of Defence, 2003. 135 p.
- [4] MANG, Reinhard; HÄUSLER, Hermann. *International Handbook Military Geography*. Wien : AV + Astoria Druckzentrum, 2006. 591 p. ISBN 3901183507, 9783901183508.
- [5] HOFMANN, Alois; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; TALHOFER, Václav; KOVAŘÍK, Vladimír. Creation of models for calculation of coefficients of terrain passability. In: *Qual Quant*, 49 (4), 2015, pp. 1679–1691.
- [6] POKONIECZNY, Krzysztof. Automatic military passability map generation system. In: *Proceedings of the 2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)*. Brno, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 285–292.
- [7] RYBANSKÝ, Marian. Modelling of the optimal vehicle route in terrain in emergency situations using GIS data. In: *Proceedings of the 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8) 2013*. Kuching, Sarawak, Malaysia, 26–29 August 2014, pp. 21–31.
- [8] TALHOFER, Václav; HOFMANN, Alois; KOVAŘÍK, Vladimír; HUBÁČEK, Martin; BUREŠ, Martin; BŘEŇOVÁ, Marie. Verification of the Cross-Country Movement Model: Case study. In: *Proceedings of the 28th International Cartographic Conference 2017*. Washington, DC, USA, 2–7 July 2017; U.S. National Committee for the International Cartographic Association: Washington, DC, USA, 2017.
- [9] TALHOFER, Václav; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; HOFMANN, Alois. Towards efficient use of resources in military: Methods for evaluation routes in open terrain. In: *Journal of Security Sustainability*, 6(1), 2016, pp. 53–70.
- [10] Realizační projekt zpracování výškopisných dat. *Technická zpráva*. Praha : Zeměměřický úřad/Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2009.
- [11] Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G). *Technická zpráva*. Praha : Zeměměřický úřad/Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, 2016. 12 s. Dostupné z WWW: <https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf> [cit. 23. 9. 2020].
- [12] HUBÁČEK, Martin; KRATOCHVÍL, Vlastimil; ZERZÁN, Pavel; ČEPLOVÁ, Lucie; BŘEŇOVÁ, Marie. Accuracy of the new generation elevation models. In: *Proceedings of the 2015 International Conference on Military Technologies (ICMT)*. Brno, 19–21 May 2015, pp. 289–294.
- [13] HUBÁČEK, Martin; KOVAŘÍK, Vladimír; KRATOCHVÍL, Vlastimil. Analysis of influence of terrain relief roughness on DEM accuracy generated from LIDAR in the Czech Republic territory. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science—ISPRS Archives*, 41, 2016, pp. 25–30.
- [14] SOBOTKA, Jan. Comparison of elevation data of the Czech Republic for design military constructions. In: *Advances in Military Technology*, 7(2) 2013, pp. 57–63. ISSN 1802-2308.
- [15] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s. r. o., 2009. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [16] RYBANSKÝ, Marian; VALA, Miroslav. Relief Impact on Transport. In: *International Conference on Military Technologies 2009 (ICMT'09)*. University of Defence, Brno, 2009, pp. 551–559.
- [17] ArcMAP: Documentation [online]. Environmental Systems Research Institute, Inc., USA. Dostupné z WWW: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>> [cit. 2020-05-20].
- [18] ŠTURCOVÁ, Michaela. Využití výškopisných dat pro hodnocení komunikací jako překážek pohybu. *Diplomová práce*. Brno, Univerzita obrany, 2016.

Vstupní data do modelování průchodnosti terénu

RNDr. Marie Vojtíšková, Ph.D.¹, por. Ing. Martin Bureš, Ph.D.²

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, ¹Dobruška, ²Praha

Abstrakt

Na katedře vojenské geografie a meteorologie Univerzity obrany v Brně ve spolupráci s odborníky Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu vzniká nový model průchodnosti terénu. Základ matematického modelu byl vytvořen ze statistického vyhodnocení dat získaných v terénu.

Data incoming to the terrain passability modelling

Abstract

At the Department of Military Geography and Meteorology of the University of Defence in Brno in cooperation with specialist from Office of Military Geography and Hydrometeorology a new Terrain Mobility Model has been developed. The base of the mathematical model has been created on the base of the statistical evaluation data picked up in field measurements.

Úvod

Na katedře vojenské geografie a meteorologie Fakulty vojenských technologií Univerzity obrany v Brně probíhal výzkum vlivu terénu na pohyb vojenských vozidel přibližně dvě desetiletí a jeho poznatky byly aplikovány do dřívějšího modelu průchodnosti terénu. Ten se snažil zachytit vliv velkého množství faktorů majících vliv na rychlost pohybu vozidel, a to v celé škále od osobního terénního až po tank. Ověřování jeho výsledků z terénního měření z Vojenského újezdu (VÚj) Březina z roku 2014 ale přineslo neuspokojivé výsledky.

Příkladem je histogram na obrázku 1, kde lze pozorovat dva vrcholy četností rozdílů modelované a skutečné rychlosti vozidla, a to kolem $0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a $39 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Zjistilo se, že jde o systematickou chybu v modelování pohybu v závislosti na typu povrchu, tedy volném terénu nebo cestě. Následným zkoumáním rychlosti na více površích z již naměřených dat byl dán základ novému modelu prů-

chodnosti. Ten pro vyhodnocení používá především zmíněný povrch, který je pro účely modelování podle dopravního využití (atribut TUC v Digitálním modelu území 25 – DMÚ25) rozdělen takto:

- dálnice (TUC 002);
- silnice 1. třídy (TUC 206);
- silnice 2. třídy (TUC 207);
- silnice 3. třídy (TUC 210);
- hlavní průjezd sídlem (TUC 007);
- ulice (TUC 006);
- zpevněná polní/lesní cesta (TUC 205);
- nezpevněná polní/lesní cesta (TUC 208);
- volný terén.

Rozdělení komunikací koresponduje s jejich klasifikací podle DMÚ25 a dále se bude nazývat kategoriemi komunikací. Takové rozdělení bylo vhodné jak při analýze naměřených dat, tak i pro aplikaci výsledků právě na data DMÚ25.

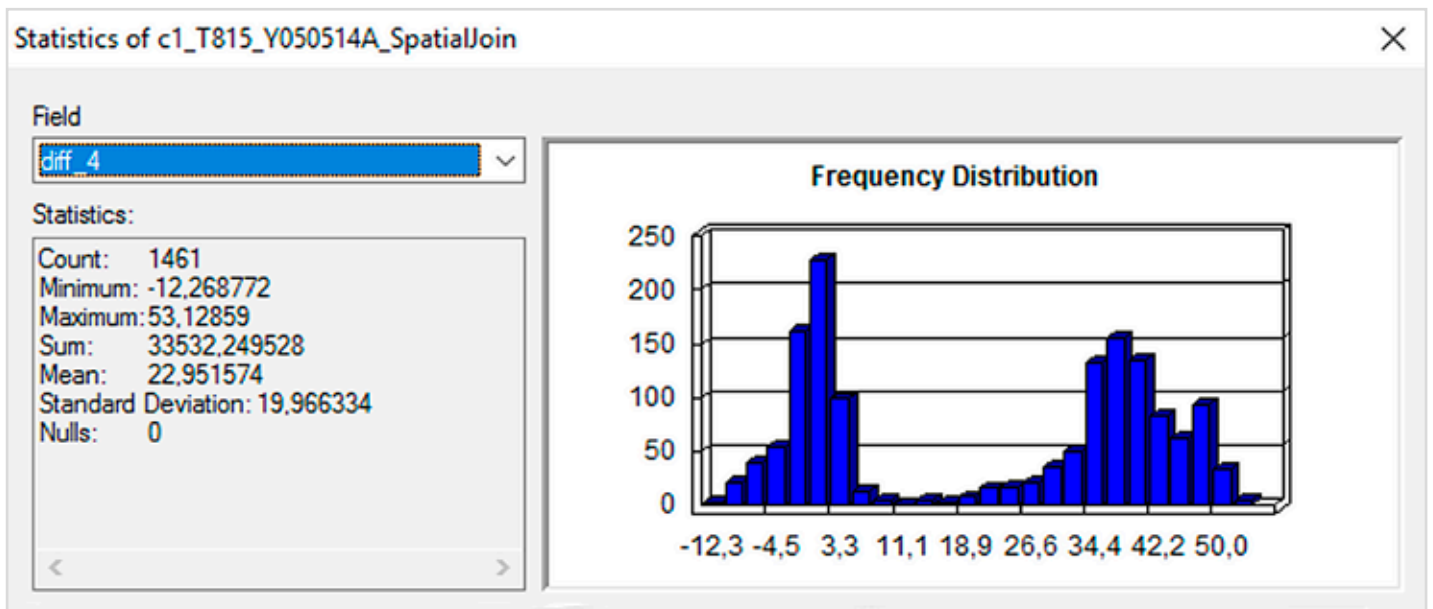
V případech, kde samotný typ povrchu nestačil k vystihnutí prostředí, byly zkoumány další charakteristiky volného terénu a komunikací. Jedná se o:

- šířka (komunikace);
- křivolakost (komunikace);
- sklon (komunikace i volný terén).

Pro přípravu modelu průchodnosti bylo potřeba, aby řešitelský tým měl k dispozici velký objem dat ze všech výše uvedených povrchů. Data pro zpevněnou a nezpevněnou polní a lesní cestu a volný terén byla získána v průběhu terénních testů na území VÚj Březina a Libavá v letech 2014, 2015 a 2017 a kontrolních terénních měření ve VÚj Hradiště v březnu roku 2018.

Měření na ostatních komunikacích potom probíhala především jako sekundární úkol při běžných aktivitách jako služební či soukromé cesty. Řidiči v tomto případě většinou nebyli profesionálové a automobily byly běžné osobní (Škoda Octavia, Opel Zafira), případně dodávky (Peugeot Partner a Ford Transit), nebo Land Rover Defender 110 (LRD 110).

Data z jízd nákladních automobilů se získávala obdobně, tedy jako sekundární úkol při jejich běžných cestách. Zjištění rozdílů



Obr. 1 Statistické vyhodnocení a histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí pro vozidlo Tatra 815 [1]

v rychlosti jízdy při plném nebo prázdném nákladním automobilu bylo provedeno po dohodě s kamenolomem poblíž Brna. Za jeho vozidly jezdilo v těsné vzdálenosti osobní auto, jemuž byla měřena poloha, čas a tedy i rychlost.

Typ povrchu

Rozdělení komunikací podle atributů a sledování a vyhodnocování rychlosti bylo prvním krokem v analýze získaných dat. Tabulka 1, jedno z prvních vyhodnocení rychlosti na jednotlivých kategoriích komunikací, ukazuje průměrné rychlosti výše uvedených osobních automobilů. Tabulka 2 ukazuje průměrné rychlosti vozidel LRD 110 a Tatra 815 (T815) na zpevněných a nezpevněných cestách a v terénu.

Z obou tabulek je vidět, že existuje závislost rychlosti vozidla na typu povrchu. Pro každý typ povrchu a každý typ vozidla byla stanovena buď předpokládaná rychlost ve tvaru čísla (konstanty), nebo rovnice.

Šířka komunikace

Jednou z přidaných charakteristik komunikace je šířka, která je v DMÚ25 reprezentovaná atributem šířky jízdního pásu. Šířka byla zařazena do analýzy na základě předpokladu, že na širší komunikaci je možné dosáhnout vyšší rychlosti při bezpečné jízdě. Na základě analýzy byly stanoveny tyto závěry:

- na dálnicích a silnicích 3. třídy se vliv šířky komunikace na rychlosti neprojevuje;
- na ostatních typech komunikací se tato závislost projevila. Proto byly tyto komunikace dále rozčleněny podle šířky (šířka ≤ 4 m metry, šířka > 4 m metry ale ≤ 6 metrů, šířka > 6 m metry ale ≤ 10 metrů, šířka > 10 m metry ale ≤ 11 metrů a komunikace širší než 11 metrů) a pro všechny tyto intervaly šířky stanovena odpovídající rychlost (konstantní příp. vyjádřená rovnicí).

Křivolakost

Předpokládá se, že pokud ostatní charakteristiky terénu a komunikací jsou konstantní, má vozidlo projíždějící zatáčkou menší rychlost než vozidlo jedoucí přímo. Byla provedena analýza závislosti rychlosti vozidla na změně směru jízdy pro několik kategorií komunikací a volný terén. Změna směru jízdy je úhel mezi spojnicemi záznamu se záznamem předchozím a následujícím [2]. Závislost rychlosti na úhlu změny směru jízdy dokumentuje obrázek 3.

Ovšem úhel změny směru jízdy lze vypočítat pouze z měřených dat, nikoliv z linií komunikací. Proto bylo nezbytné

Tab. 1 Průměrné rychlosti v km·h⁻¹ na různých kategoriích komunikací (rozdělení podle TUC) [2]

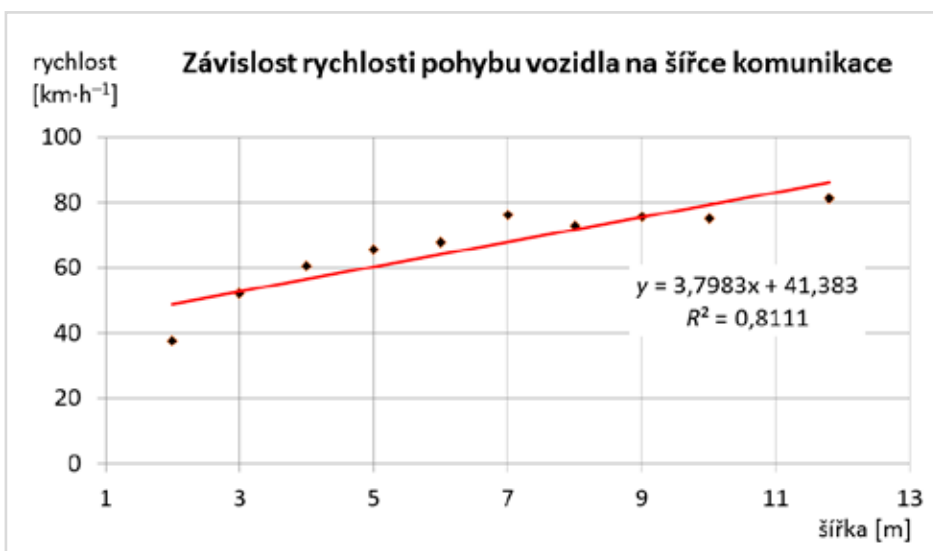
TUC	206	207	210	205	208
Průměrná rychlost [km·h ⁻¹]	80,9	78,3	67,4	29,5	13,1
Směrodatná odchylka [km·h ⁻¹]	14,8	14,8	12,0	5,7	3,2
Minimální rychlost [km·h ⁻¹]	6,8	5,9	8,1	7,4	5,3
Maximální rychlost [km·h ⁻¹]	110,0	109,7	99,8	44,5	22,7
Počet záznamů	8138	4837	1443	172	950

Tab. 2 Průměrné rychlosti v km·h⁻¹ vozidel LRD 110 a T815 na zpevněných a nezpevněných cestách a ve volném terénu [2]

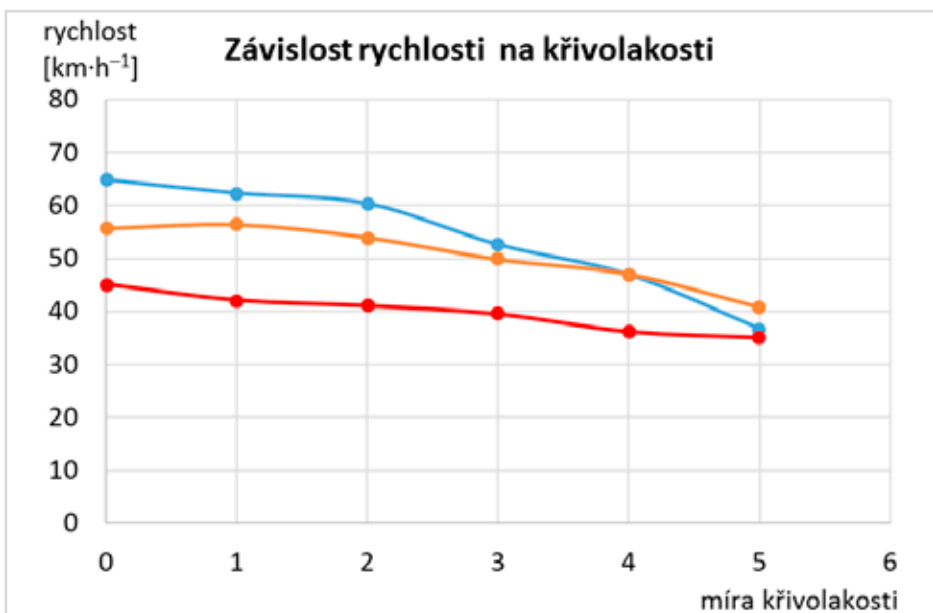
Vozidlo	Zpevněné cesty	Nezpevněné cesty	Volný terén
LRD 110	33,5	20,1	8,9
T815	33,9	18,8	9,2

nahradit tuto veličinu takovou, která bude odvoditelná z geometrie vstupních dat. Přijatelnou náhradou se stala právě křivolakost – poměr vzdálenosti koncových bodů úseku komunikace a jeho skutečné délky –, která je počítána z geometrie vek-

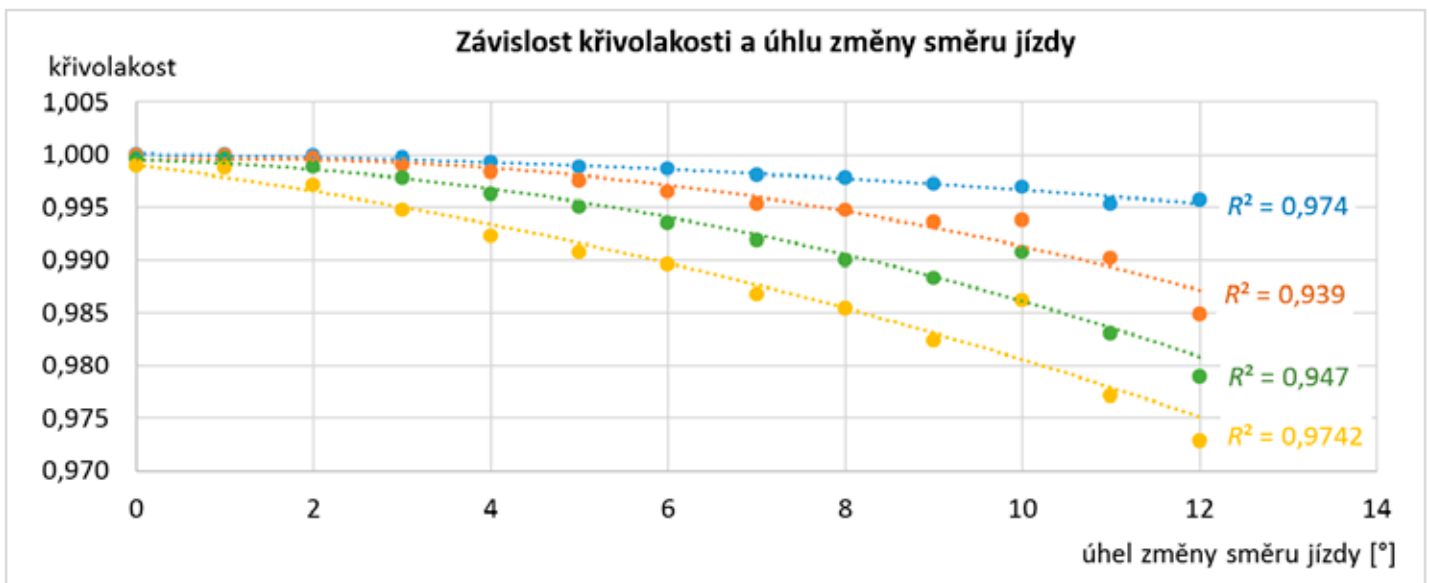
torů komunikací v DMÚ25 [2]. Ověření, zda křivolakost, která musí být analyzována pouze na stejně dlouhých úsecích, dokáže nahradit úhel změny směru jízdy, je na obrázku 4, kde je ukázána závislost průměrných hodnot křivolakosti na úhlu



Obr. 2 Vyjádření závislosti rychlosti pohybu vozidla na šířce komunikace



Obr. 3 Vyjádření závislosti rychlosti na křivolakosti [4]



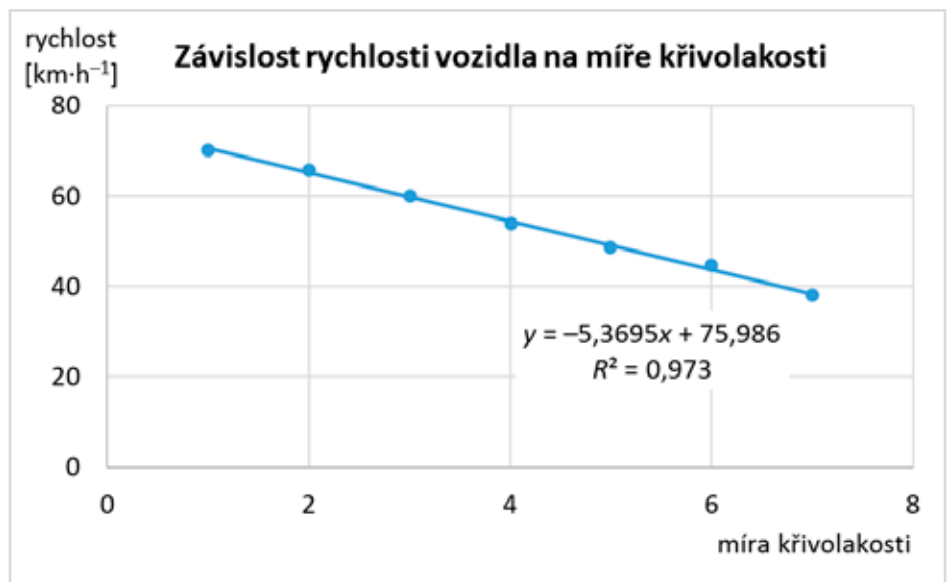
Obr. 4 Závislost křivolakosti na úhlu změny směru jízdy ve stupních na úsecích o velikosti 20, 50, 100 a 200 m doplněných o hodnotu spolehlivosti R^2 [1]

změny směru jízdy po 1° . Byly testovány komunikace rozdělené na úseky po 200, 100, 50 a 20 metrech.

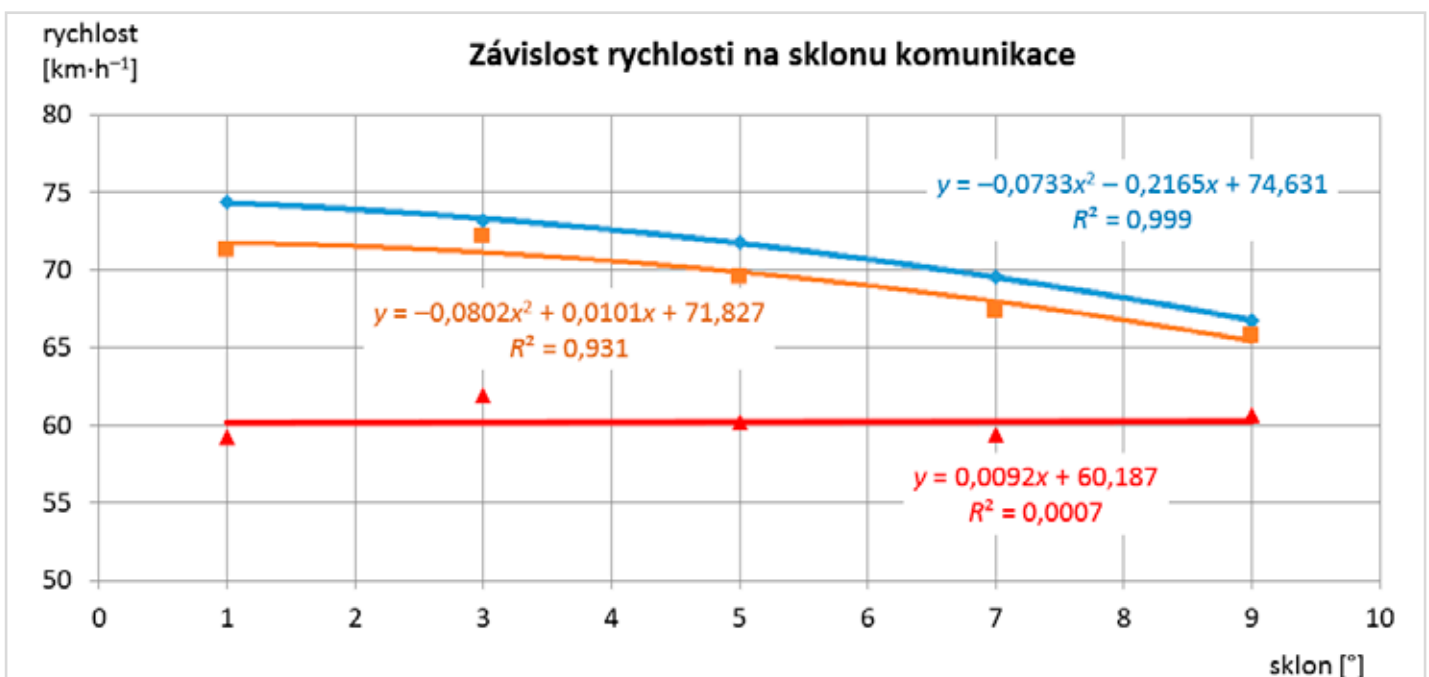
Posledním krokem bylo zjištění závislosti rychlosti na křivolakosti. Křivolakost, nabývající hodnot od 0 do 1, byla pracově rozdělena do 7 intervalů – na míru křivolakosti. Analýza všech záznamů jízd na obrázku 5 po komunikacích ukázala lineární závislost rychlosti na míře křivolakosti, respektive křivolakosti samotné.

Sklon komunikace a ve volném terénu

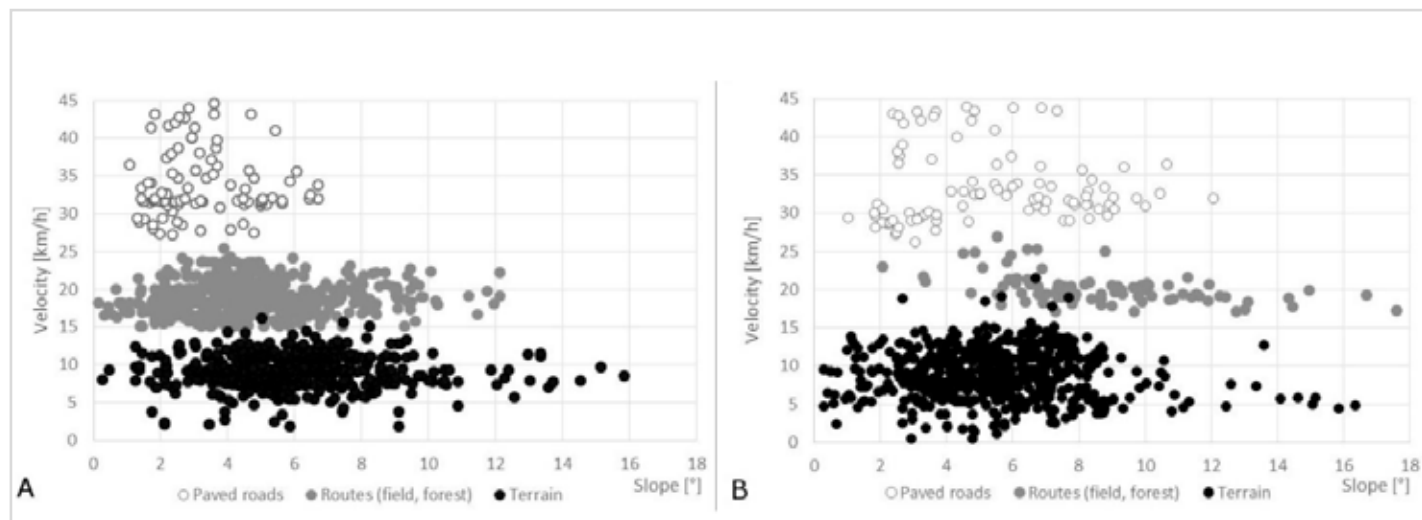
Poslední faktor, který v této fázi vstupoval do analýz pro vytvoření modelu průchodnosti, je sklon komunikace. Jedním z limitních kritérií je maximální schopnost stoupání vozidla na komunikaci, tedy sklon, který již dané vozidlo nepřech-



Obr. 5 Průměrné rychlosti dosažené na úsecích komunikací se stejnou mírou křivolakosti



Obr. 6 Vyjádření závislosti rychlosti na sklonu komunikace (modrá TUC 206, oranžová TUC 207, červená TUC 210)



Obr. 7 Rozložení záznamů rychlosti jízdy v $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ na různém typu povrchu (A – LRD 110, B – T815) [4]

koná. Tyto sklony jsou pro každé vozidlo uvedeny v takticko-technických datech vozidla.

Pro určení sklonu komunikace bylo využito rozdělených linií ze zpracování křivolakosti na kratší úseky. Každému úseku komunikace je vypočítán sklon s využitím Digitálního modelu reliéfu 4.

Vliv rychlosti na sklonu komunikace se projevil zejména na silnicích 1. a 2. třídy, na silnicích 3. třídy se projevuje minimálně, jak lze vidět na obrázku 6. Na dálnicích se sklon komunikace u běžných osobních automobilů podle dostupných analýz neprojevuje.

Vliv sklonu reliéfu ve volném terénu nebyl při terénním testování prokázán,

a to z několika důvodů. Vozidla mají často limit překonatelného sklonu 30° , ovšem takový svah nebyl v místech testování k dispozici. Jediný, který se dle Digitálního modelu reliéfu 5 blížil těmto hodnotám, měl sklon 25° a byl pouze několik metrů dlouhý. Nejvíce záznamů bylo pořízeno z míst se sklonem do 10° (obr. 7). Po dalším zkoumání byl vliv sklonu reliéfu na pohyb ve volném terénu uznán zanedbatelným.

Závěr

V článku jsou prezentovány výsledky práce celého řešitelského týmu. Pro určení rychlosti byly sestaveny tabulky, kde pro různé kategorie komunikací,

sklon, šířku a křivolakost byly pro každou testovanou techniku stanoveny buď absolutní rychlosti (vyjádřeno číslem) nebo funkční závislosti (vyjádřeno rovnicí). Tyto tabulky slouží k vytvoření Modelu průchodnosti terénu 4000, který bude prezentován v článku [5].

Vzhledem k citlivosti informací nejsou v článku uvedeny konkrétní hodnoty.

Použité zkratky

DMÚ25	Digitální model území 25
LRD 110	Land Rover Defender 110
T815	Tatra 815
TUC	atribut dopravní využití
VÚj	vojenský újezd

Použitá literatura a zdroje

- [1] TALHOFER, Václav; BUREŠ, Martin. *Řešení modelu průchodnosti terénu s využitím databáze komunikací a reliéfu terénu*. Ostrava : GIS Ostrava 2018: GIS pro podporu bezpečnosti a krizového řízení, 2018.
- [2] BUREŠ, Martin. *Metody verifikace koeficientu zpomalení v modelu průchodnosti terénu (CCM)*. *Disertační práce*. Brno, Univerzita obrany, 2019.
- [3] *Katalog topografických objektů DMÚ25*. Vydání 04 2015 Dobruška : Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (in Czech), 2015.
- [4] HUBÁČEK, Martin; BUREŠ, Martin; ŠIMKOVÁ, Kateřina; KRATOCHVÍL, Vlastimil. Verification of the Movement Speed on Communication Network and the Vehicle Movement Modelling Possibilities for Defence and Crisis Management. In: IVAN, Igor; HORÁK, Jiří; INSPEKTOR, Tomáš. (eds) *Dynamics in GIScience*. GIS OSTRAVA 2017. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham, 2017, pp. 165–180. Dostupné z WWW: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61297-3_12>.
- [5] BUREŠ, Martin. Model průchodnosti terénu 4000. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 65–69. ISSN 1214-3707.

Matematický aparát použitý při modelování průchodnosti terénu

RNDr. Luboš Bělka, Ph.D., RNDr. Marie Vojtíšková, Ph.D.

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Dobruška

Abstrakt

Během polních měření průchodnosti terénu bylo nasbíráno velké množství dat, v řádu desítek tisíc, které bylo nutno zpracovat a připravit algoritmy následně využité při tvorbě modelu průchodnosti terénu. Aby jejich zpracování vedlo ke správným výsledkům, byla při analýze dat používána matematická statistika.

Mathematical instrument used for the terrain passability modelling

Abstract

In the course of field measurements a big amount of data has been obtained, in tens of thousands of records. It has been necessary to process them and draft algorithms consequently exploitable in a development of the Terrain Mobility Model. Mathematical statistics has been used for analysis of the data and derivation of the algorithms.

Úvod

V rámci terénních testů ve vojenských újezdech (VÚj) Březina, Libavá a Hradiště byla trasa každého vozidla zaznamenána prostřednictvím jednofrekvenčních zařízení Trimble GeoExplorer. Záznamy trasy byly pořízeny přijímači globálních navigačních družicových systémů (GNSS – global navigation satellite system) jako body s časovým intervalem 1 sekunda. Měření se zúčastnila vojenská vozidla UAZ 469, BVP-2, Iveco, Pandur II, Tatra 810 (T810), Tatra 815 (T815), Land Rover Defender 110, tank T-72. Kromě testů v terénu byly prováděny testovací jízdy osobními automobily různých značek po běžných komunikacích [1]. V terénu bylo najeto více než 900 km, v běžném provozu přibližně stejné množství. Záznamy byly postprocessingem korigovány s využitím Sítě permanentních referenčních stanic GNSS České republiky CZEPOS (Czech Positioning System) a s využitím software PathFinder Office. Z korigovaných dat byly získány diskrétní body projetých tras. Každý bod obsahoval informace o poloze v souřadnicovém systému WGS84 (World Geodetic System 1984)/UTM (Universal Transverse Mercator), času UTC (Universal Time Coordinated), celkové ujeté vzdálenosti a rychlosti [2].

Zásadním rozhodnutím bylo provést analýzu dat terénních měření nejprve z pohledu jednotlivých faktorů ovlivňujících pohyb vozidel v terénu a na komunikacích [3]. Jako první byla analyzována a matematicky popsána závislost rychlosti pohybu vozidla na sklonu svahu, podobně byla následně stanovena závislost rychlosti na šířce komunikace a závislost rychlosti na křivolakosti komunikace. Pro účely tohoto článku bude jako ukázka podrobně rozebrán postup při zpracování dat pro vozidlo T810 a pouze pro faktor sklonu. Další závislosti byly řešeny obdobným způsobem.

Příprava dat

Získaná data byla na základě tohoto rozhodnutí rozříděna podle typu komunikací, povrchu terénu a typu aut a byla provedena prvotní filtrace s cílem odstranění chybných nebo nevhodných záznamů. Z celkového počtu 95 000 záznamů bylo celých 15 000, které nepředstavovaly běžnou jízdu, odstraněno. Tento krok vyžadoval ruční kontrolu všech záznamů; kromě správnosti polohy bodů byly kontrolovány i okolnosti měření. Vyřazované záznamy patřily ve většině případů do jedné z těchto skupin:

- počátek trasy (rozjezd);
- konec trasy (parkování);
- zapadnutí vozidla;
- couvání vozidla v důsledku neprůjezdné překážky;
- terénním nevynucené zastavení (rozhodování o změně trasy, dání přednosti při přejezdu komunikace a podobně);
- chyby v záznamu polohy.

Takto „pročištěné“ záznamy tras byly obohaceny o další informace. Ke každému záznamu byly přiřazeny informace o prostředí geografické reality zahrnující:

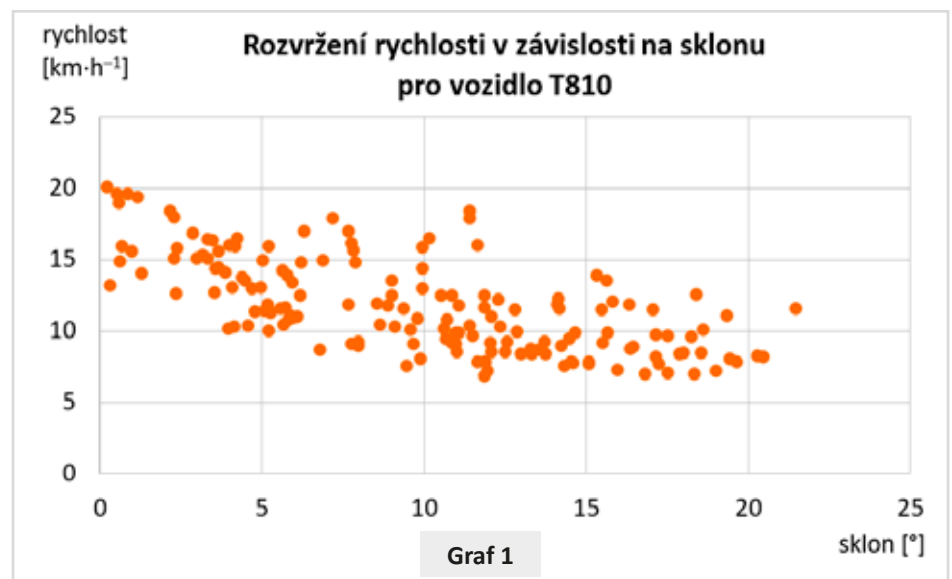
- sklon svahu odvozený z digitálních modelů reliéfu (DMR) tří úrovní (DMR3, DMR4 a DMR5) a dat SRTM (Shuttle Radar Topography Mission);
- šířku komunikace;
- typ povrchu – volný terén, nezpevněná cesta, zpevněná cesta, silnice.

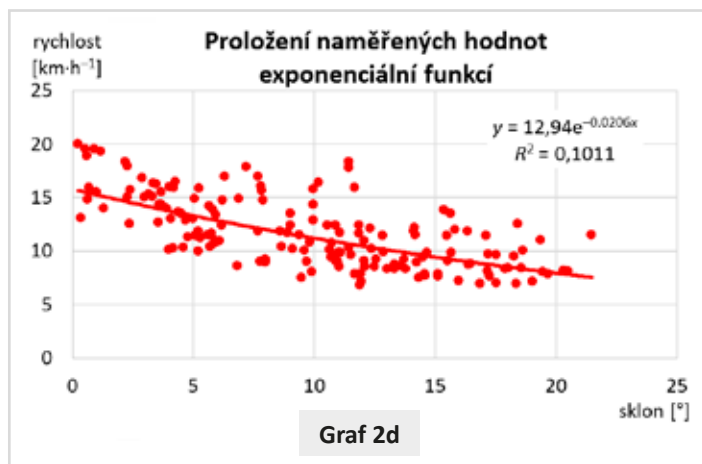
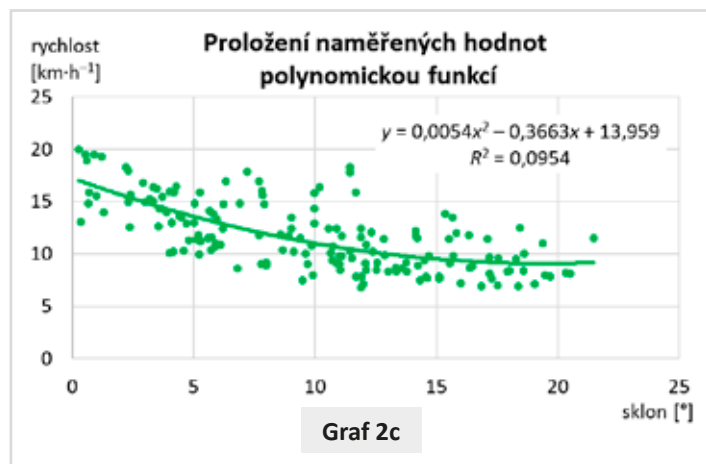
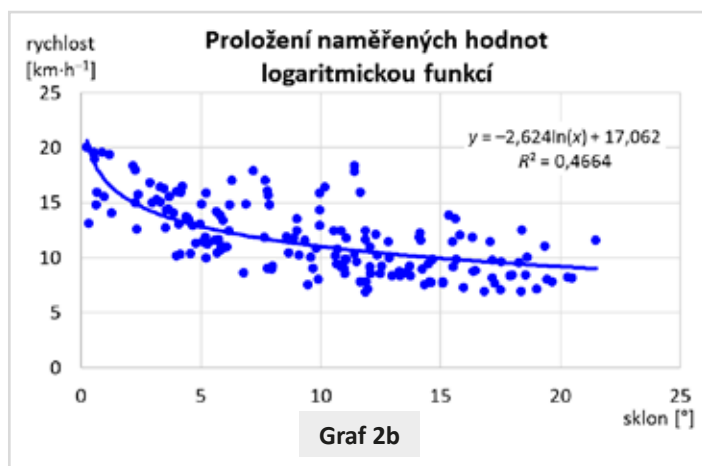
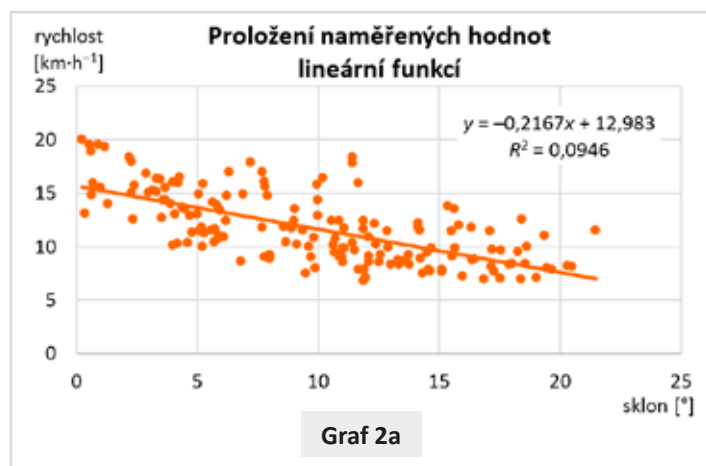
Dále byl ke každému záznamu dopočítán úhel změny směru jízdy, pomocí kterého je možné určit závislost rychlosti na zatačení vozidla.

Na základě takto předzpracovaných dat byl vyvinut matematický aparát, který byl následně zabudován do Modelu průchodnosti terénu 4000 (MPT4000) [4]. Tento aparát pomocí matematických funkcí řeší závislost mezi chováním vozidla (rychlost a zpomalení) a geografickými podmínkami prostředí (sklon svahu, typ povrchu apod.)

Příprava matematického aparátu zahrnovala několik kroků:

- vynesení dat do dvourozměrných grafů;
- regresní analýza;
- výpočet koeficientu determinace;
- vypořádání kolinearit snížením počtu nezávisle proměnných;





- regresní analýza a výpočet koeficientu determinace pro upravená data;
- extrapolace mimo oblast měřených dat.

Pro lepší představivost byla nejprve vyčištěná data zobrazena do grafu. Graf 1 uvádí příklad rozložení bodů pro vozidlo T810 reprezentující vzájemný vztah rychlosti vozidla a sklonu svahu. V tento okamžik nastupovala analytická práce, která měla tento vztah matematicky popsat. Jako nejvhodnější matematická metoda byla použita tzv. regresní a korelační analýza.

Teorie regresní analýzy

Regresní analýza je označení statistických metod, pomocí nichž lze odhadnout hodnotu jisté náhodné veličiny (takzvané závisle proměnné, nazývané též cílová proměnná) na základě znalosti jiných veličin (nezávisle proměnných). Lineární regrese je matematická metoda používaná pro proložení souboru bodů v grafu přímkou. O bodech reprezentujících měřená data se předpokládá, že jejich x-ové souřadnice jsou přesné, zatímco y-ové souřadnice mohou být zatíženy náhodnou chybou, přičemž se předpokládá, že závislost y na x lze graficky vyjádřit přímkou ve tvaru

$$y = ax + b.$$

Pokud měřené body jsou proloženy přímkou, tak při odečítání z grafu bude mezi ypsilonovou hodnotou měřeného

bodu y_i a ypsilonovou hodnotou ležící na přímce odchylka. Podstatou lineární regrese je nalezení takové přímky, aby součet druhých mocnin těchto odchylek byl co nejmenší, tedy

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \min.$$

Podstatou řešení regrese je určení matematické rovnice, která co nejlépe popisuje závislost y na x, přičemž lze použít regresní modely lineární s lineárním postavením parametrů a regresní modely nelineární s nelineárním postavením parametrů.

Příklady lineárních regresních modelů:

- $y = a + bx$ - přímka
- $y = ax^2 + bx + c$ - parabola
- $y = a + (b/x)$ - hyperbola

Příklady nelineárních regresních modelů:

- $y = ae^{bx}$ - exponenciální funkce
- $y = a \log_n(x)$ - logaritmická funkce

Koeficient determinace

Koeficient determinace R^2 popisuje míru kvality regresního modelu. Vyjadřuje, jaká část celkové variability závisle proměnné je vysvětlena regresním modelem, a je určován vzorcem:

$$R^2 = \frac{SS_{REG}}{SS_{TOT}}$$

kde je

SS_{REG} variabilita vysvětlená regresním modelem,

SS_{TOT} celková variabilita proměnné.

Koeficient determinace může nabývat hodnoty maximálně 1, resp. vyjádřeno v procentech 100 %, což znamená dokonalou predikci hodnot závisle proměnné. Naopak hodnota 0, resp. 0 %, znamená, že model nepřináší pro poznání závisle proměnné žádnou informaci a je zcela neúčinný. Se zvyšující se hodnotou R^2 je tedy modelovaná křivka přesnější. Malá hodnota však nemusí nutně znamenat nízký stupeň závislosti mezi proměnnými, ale může signalizovat špatně zvolenou regresní funkci.

Korelace, korelační analýza

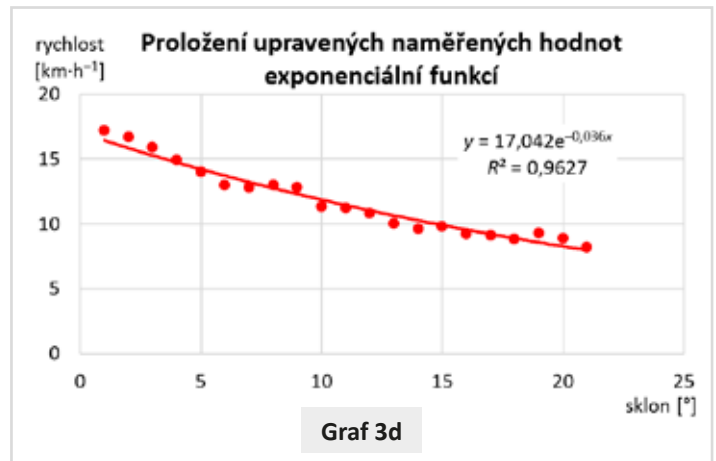
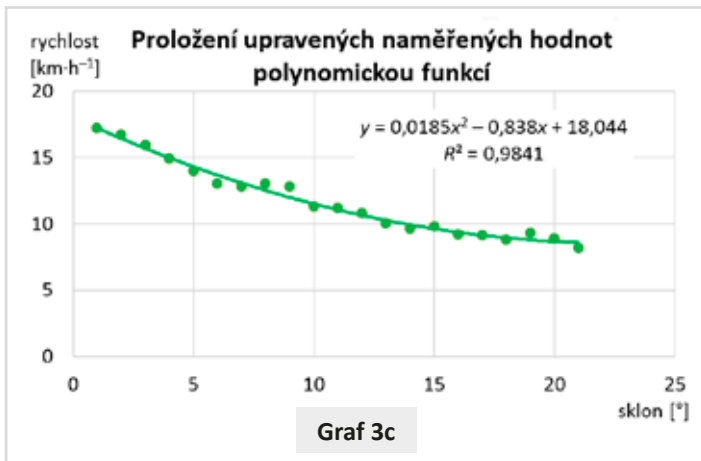
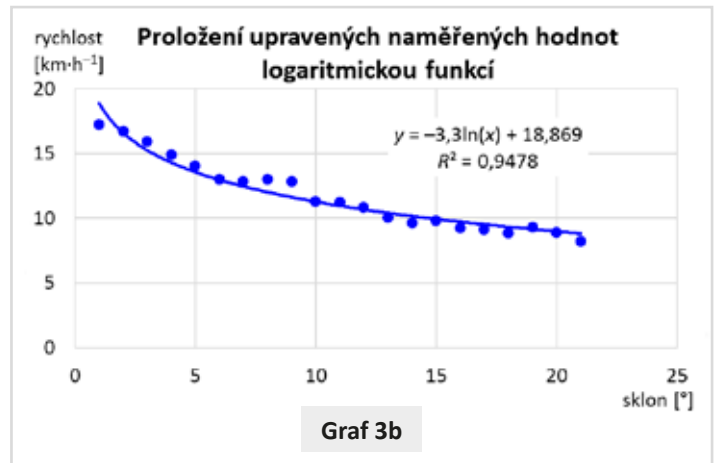
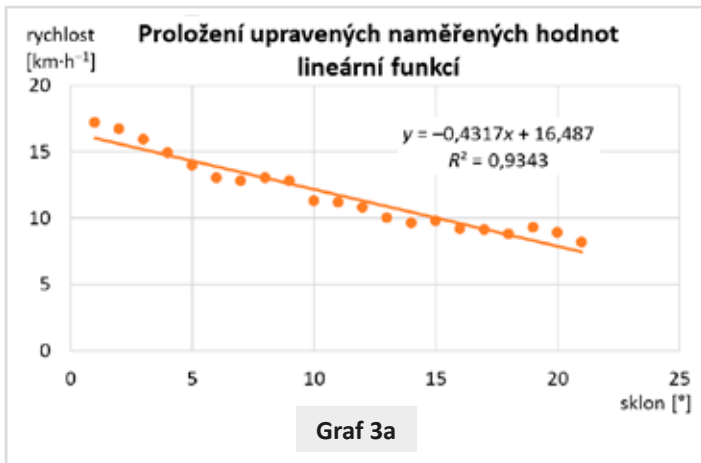
Korelace je vzájemný vztah mezi dvěma veličinami. Pokud se jedna změní, změní se i druhá, obě veličiny spolu tzv. korelují.

Korelační analýza se zabývá vzájemnými (většinou lineárními) závislostmi, kdy se klade důraz především na intenzitu (sílu) vzájemného vztahu než na zkoumání veličin ve směru příčina–následek.

Použití regresní analýzy při zpracování dat

Nad danými daty (graf 1) byla sestrojena regresní křivka, nejprve ta nejjednodušší, tedy přímka (graf 2a) vyjádřená rovnicí $y = -0,22x + 12,98$ a vypočítán koeficient determinace R^2 .

Na grafu 2a je ovšem vidět velký rozptyl bodů podél přímky a koeficient determinace je malý ($R^2 = 0,0946$), což zna-



mená velice malou míru korelace. Zde vznikla tzv. multikolinearita, která může být způsobena *nevhodnou korelační křivkou*, nebo situací, kdy *nezávislé proměnné jsou ve skutečnosti závislé*, případně *existuje zbytečně mnoho nezávislých proměnných*.

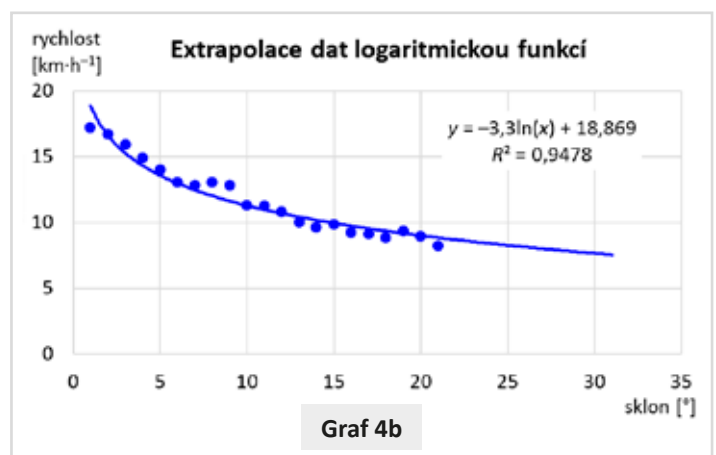
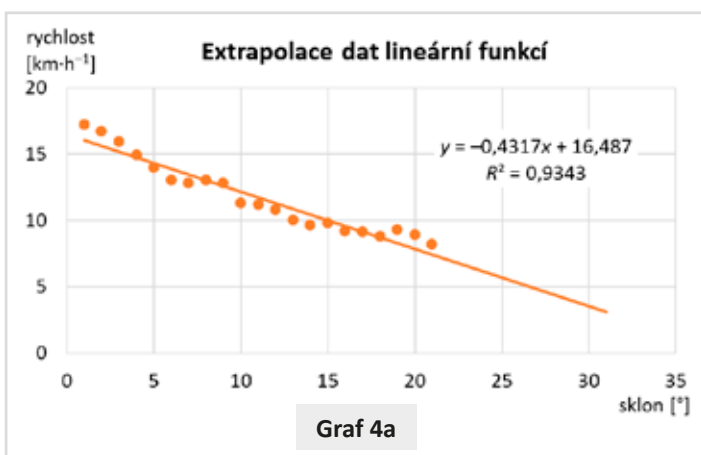
Za účelem vyloučení možnosti použití nevhodné korelační křivky lze proložit body i jinými křivkami, logaritmickou (graf 2b), polynomicou (graf 2c) a exponenciální (graf 2d). V každém z uvedených případů je třeba opět vyjádřit rovnice a vypočítat hodnotu koeficientu determinace R^2 . Jak je zřejmé z grafů, ve všech případech je hodnota koeficientu R^2 nevyhovující. Proto lze nevhodnost použité korelační křivky vyloučit. Stejně tak lze vzhledem k povaze dat zahrnout i závislost proměnných.

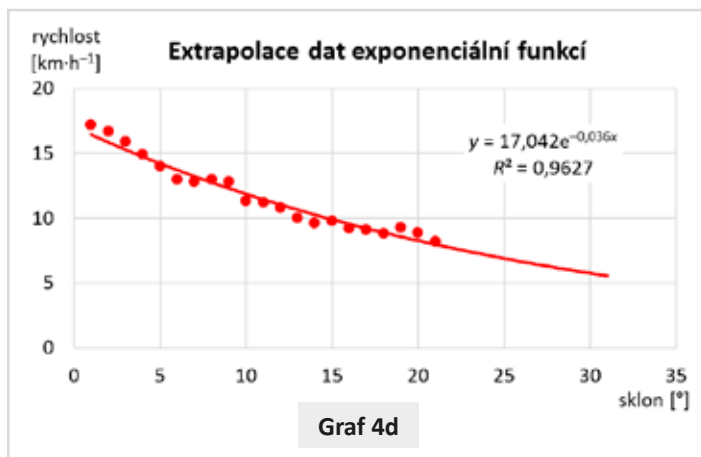
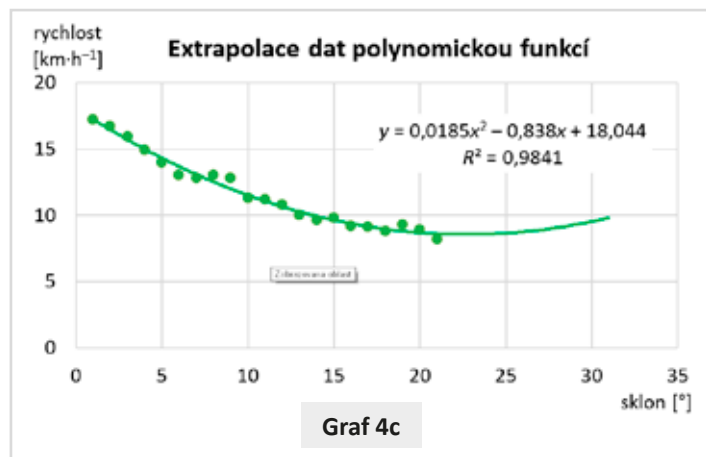
K eliminaci velkého množství nezávislých proměnných bylo přikročeno k rozdělení sklonu svahu do intervalů po jednom stupni a každému intervalu byla přiřazena jedna hodnota rychlosti jako aritmetický průměr všech rychlostí, kterých bylo v daném rozmezí dosaženo. Tím došlo ke značné redukci množství dat. Jak je zřejmé z grafů 3a–3d, vypovídající hodnota zůstává stejná i po sestrojení grafů, vyjádření regresních křivek a koeficientů R^2 . Takto získané výsledky již do modelu průchodnosti lze zařadit. Vzhledem k tomu, že koeficienty R^2 vyjadřují velkou korelaci pro všechny uvažované funkce, byl pro jednoduchost a urychlení výpočtu rychlosti vybrán lineární vztah s rovnicí $y = -0,4317x + 16,487$, kde x je sklon svahu ve stupních a y predikovaná rychlost v kilometrech za hodinu.

Ve většině případů bylo možné závislost rychlosti na sklonu vyjádřit pomocí lineární rovnice. Pouze v několika případech, například při řešení závislosti rychlosti na sklonu svahu pro vozidlo Iveco, bylo přesnější vyjádřit závislost polynomicou funkcí 2. řádu, tzn. parabolou.

Extrapolace

Protože vojenská technika nemohla vždy absolvovat testovací jízdy v optimálním rozsahu (například do svahů s velkým sklonem, ale existuje reálný předpoklad, že taková situace při praktickém používání nastane a bude muset být modelem řešena), byla v rámci řešení úkolu diskutována i tato situace. Bylo přistoupeno k extrapolaci dat, tedy nalezení přibližné hodnoty





dané funkce mimo interval známých hodnot. Omezením je horní hranice, tedy maximální sklon svahu, který je dané vozidlo schopné překonat. I v tomto případě byly zkoumány všechny dostupné a přijatelné funkce – lineární (graf 4a), logaritmická (graf 4b), polynomická (graf 4c) a exponenciální (graf 4d).

Na základě provedené analýzy a zkušeností řidičů vozidel Iveco, Pandur II, T810, T815, bylo pro závislost rychlosti na sklonu svahu stanoveno, že pro sklon do 20 stupňů bude použita lineární funkce a pro sklon 20 stupňů a více polynomická funkce. Důvod byl ten, že v případě velkého sklonu a případně před vrcholem stopování řidič podřadí, aby daný svah vyjel, čímž dosáhne i vyšší rychlosti, této situaci nejlépe odpovídá polynomická funkce pro sklon větší než uvedených 20 stupňů.

Závěr

Na základě dat z terénních měření byl pomocí metod korelační a regresní analýzy vytvořen matematický aparát a následně algoritmy popisující vzájemné závislosti rychlosti pohybu vojenských vozidel na jednotlivých geografických podmínkách.



Obr. 1 Tank T-72 při testování průchodnosti terémem

Tento matematický aparát je v současné době zabudován do MPT4000.

Vzhledem k tomu, že na rychlost vozidel nemají vliv pouze jednotlivé geografické podmínky, ale jejich kombinace,

bude muset být tomuto aspektu věnována pozornost i v dalším období. Zde se bude nabízet opět využití korelační a regresní analýzy, tentokrát vícenásobné korelace a regrese.

Použité zkratky

BVP-2	Bojové vozidlo pěchoty 2	T810	Tatra 810
CZEPOS	Czech Positioning System	T815	Tatra 815
DMR	digitální model reliéfu	UTC	Universal Time Coordinated
GNSS	global navigation satellite system	UTM	Universal Transverse Mercator
MPT4000	Model průchodnosti terénu 4000	VÚj	vojenský újezd
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	WGS84	World Geodetic System 1984

Použitá literatura a zdroje

- [1] VOJTÍŠKOVÁ, Marie; BUREŠ, Martin. Vstupní data do modelování průchodnosti terénu. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 57–60. ISSN 1214-3707.
- [2] TALHOFER, Václav; BUREŠ, Martin. *Řešení modelu průchodnosti terénu s využitím databáze komunikací a reliéfu terénu*. Ostrava : GIS Ostrava 2018: GIS pro podporu bezpečnosti a krizového řízení, 2018.
- [3] RYBANSKÝ, Marian. Analýzy průchodnosti terénu – úvod. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 9–21. ISSN 1214-3707.
- [4] BUREŠ, Martin. Model průchodnosti terénu 4000. *Vojenský geografický obzor*, **63**, 2020, č. 2, s. 65–69. ISSN 1214-3707.

Model průchodnosti terénu 4000

por. Ing. Martin Bureš, Ph.D.

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Praha

Abstrakt

Teorie průchodnosti terénu je aplikována v Modelu průchodnosti terénu 4000. Model vyhodnocuje zájmové území s využitím geografických informací o prostředí pro různé druhy vojenské techniky. Výsledky modelu byly ověřeny terénními testy, které ve velké míře potvrdily správnost modelu i nově použitého přístupu.

Terrain Mobility Model 4000

Abstract

The theory of terrain mobility has been applied in the Terrain Mobility Model 4000. This model uses geographical information for evaluating terrain mobility of the area of interest for various types of military vehicles. The results of the model were verified by field tests, which confirmed the correctness of the model and the suitability of the new approach.

Úvod

K vyhodnocení průchodnosti terénu zájmového území na základě výsledků výzkumu se nejčastěji používají nástroje geografických informačních systémů [1] a jinak tomu není ani v případě v Armádě České republiky vyvíjeného Modelu průchodnosti terénu 4000 (MPT4000) [2]. Jeho základ tvoří konkrétní výsledky, které v tomto oboru v posledních letech přinesl výzkum prováděný na katedře vojenské geografie a meteorologie (KVGGM) Fakulty vojenských technologií Univerzity obrany v Brně [3].

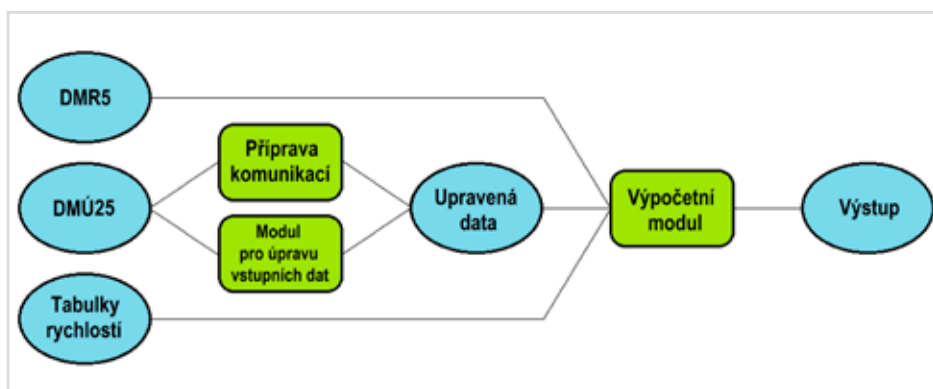
Vstupní data

Nedílnou součástí modelování jsou geografická data. MPT4000 zatím umožňuje analýzu průchodnosti pouze na území České republiky, respektive na překrytu Digitálního modelu území 25 (DMÚ25) a Digitálního modelu reliéfu 5 (DMR5), se kterými pracuje.

Model MPT4000 využívá ze vstupních vektorových dat jen takový obsah, který má prokázáný nebo předpokládaný významný vliv na rychlost pohybu vozidla v daném prostředí. Jedná se o komunikace, vodstvo, lesy, budovy a areály zástavby [4].

Součásti MPT4000

Proces vyhodnocení průchodnosti terénu používá několik nástrojů vytvořených v jazyce Python s využitím modulu ArcPy, nástrojů vytvořených v prostředí ArcGIS ModelBuilder a databázi s výsledky výzkumu. Výpočet začíná úpravou vrstvy komunikací, aby byla použitelná v modelu. Dalším krokem je zpracování ostatních vstupních vektorových a rastrových dat a následuje konečné vyhodnocení ve výpočetním modulu (viz níže). Tyto kroky jsou ještě doplněny vstupními parametry volenými uživatelem s využitím geodatabázi a nástrojů z toolboxu ArcMap 10.3.1. Celé schéma



Obr. 1 Struktura procesu MPT4000

je znázorněno na obrázku 1 a celý výpočet je podrobněji popsán dále.

Příprava komunikací

V tomto kroku se odstraní atributy komunikace nepotřebné k modelování průchodnosti a zůstane pouze její šířka a dopravní využití (v DMÚ25 atribut „TUC“), které bylo překlasifikováno podle tabulky 1. Komunikace se poté rozdělí na menší úseky kvůli výpočtu dalších dvou parametrů, a to křivolakosti (poměr přímé vzdálenosti koncových

bodů linie a délky linie [2]) a sklonu úseku. Křivolakost je vypočítána přímo z geometrie vektorové vrstvy; pro určení sklonu každého úseku je použit DMR5.

Příprava komunikací byla původně součástí modulu pro úpravu vstupních dat, o kterém bude psáno dále, ale kvůli chystanému spuštění geoprocessingové služby bylo rozhodnuto o jednorázovém předzpracování celé vrstvy komunikací. Tímto se zásadně zkrátila doba potřebná pro vyhodnocení průchodnosti, a to přibližně o 75 %.

Tab. 1 Kódové označení kategorií komunikací [2]

Typ komunikace		Kód
Dálnice		11
Silnice	nerozlišená	20
	1. třídy	21
	2. třídy	22
	3. třídy	23
Komunikace v zástavbě	nerozlišená	30
	hlavní průjezd	31
	ulice	32
Cesta	nerozlišená	40
	zpevněná	41
	nezpevněná	42

Modul pro úpravu vstupních dat

Ostatní vektorová data vstupující do výpočtu jsou upravena v průběhu procesu, který již spouští uživatel. Jedná se o sloučení vektorových vrstev do vrstvy polygonů (lesy, budovy, zástavba a vodstvo) a linií (vodstvo). Zároveň jsou vymazány nepotřebné atributy.

Každému objektu je podle jeho typu přiřazen kód, na jehož základě mu výpočetní modul přiřadí předpokládanou rychlost při překonání na základě hodnot a rovnic z tabulek rychlostí.

Tabulky rychlostí

Všechny výsledky z terénních měření, hodnoty z takticko-technických dat vozidel a expertní odhady rychlosti pohybu v prostředích, kde nebylo možné testovat, jsou uchovány ve 3 textových tabulkách. Obyčejné textové soubory zajišťují snadné doplňování a editaci obsažených údajů a jejich obsah se jednoduše importuje do výpočetního modulu.

Důležitou vlastností těchto tabulek je, že se nacházejí „vně“ procesu a při každém spuštění jsou načítány. Proto lze s příchodem každého nového nebo upraveného údaje tabulky upravit a nezasahovat tak do rozsáhlého skriptu výpočetního modulu.

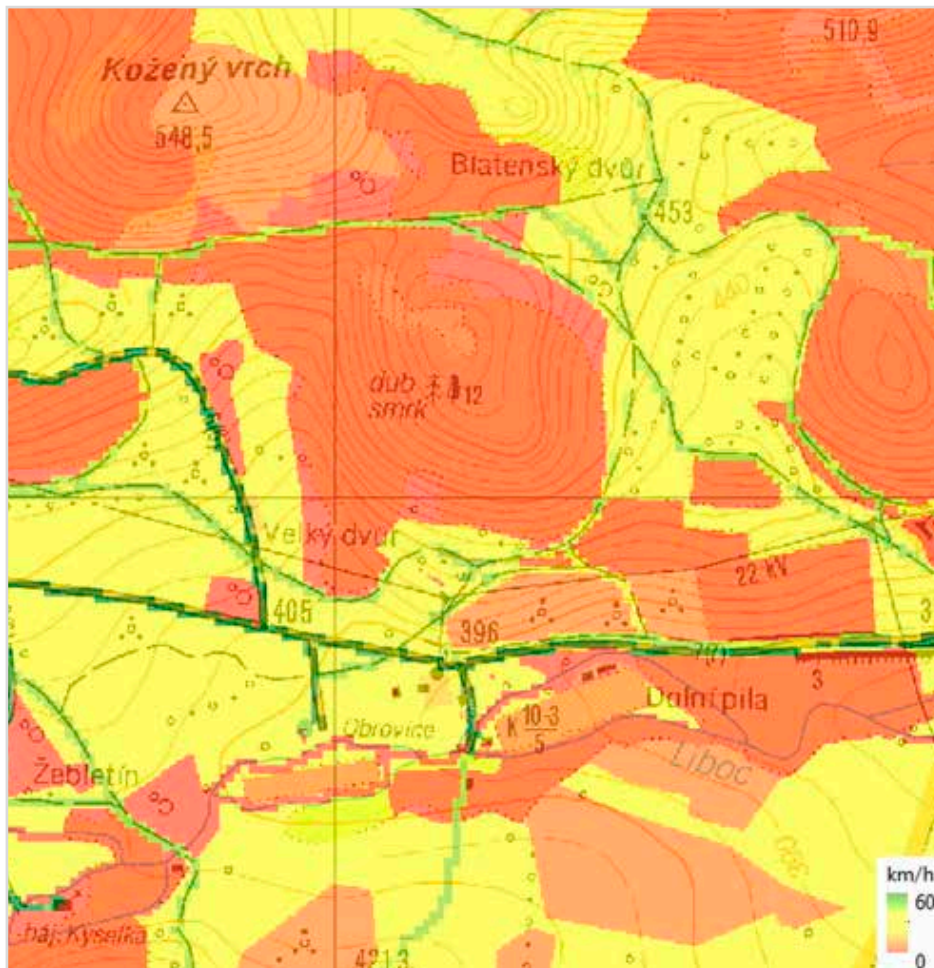
Výpočetní modul

Jde o poslední fázi vyhodnocení, ve které se výsledky aplikují na upravená geografická data. Tím vznikne výstup reprezentovaný rastrovou vrstvou s hodnotami předpokládané rychlosti pohybu vozidla v každém místě zájmového prostoru.

Výpočetní modul má potenciál být velmi jednoduchý. Jeho současná složitost souvisí s možnostmi nastavení charakteristik komunikací používaných k vyhodnocení průchodnosti terénu. Ve výchozím nastavení je při výpočtu předpokládané rychlosti používána kombinace kategorie komunikace a její sklon. Místo sklonu ale mohou být použity atributy šířky a křivolakosti. Tyto možnosti jsou nyní viditelné pouze pro vývojáře a v dalších verzích se předpokládá nalezení optimálního nastavení a kompletní odstranění možnosti volby mezi zmíněnými charakteristikami, a tedy zásadního zjednodušení celého výpočtu.

Výstup

Vývojáři modelů průchodnosti v jiných státech většinou používají pro prezentaci jejich vyhodnocení tzv. semafor – červená pro neprůchodné oblasti (NO GO), žlutá pro obtížně průchodné (SLOW GO) a zelená pro průchodné bez omezení (GO) [5], [6]. V případě MPT4000 je



Obr. 2 Rastr rychlostí vypočítaný pro Land Rover Defender 110 podle sklonu nad rastrovým ekvivalentem Topografické mapy 1 : 25 000 [2]

výstupem rastrová vrstva s konkrétními rychlostmi vozidla, stejně jako v případě modelu NATO [7], a pokud jsou modelované rychlosti správné, bude se jednat o velký úspěch. Příklad vyhodnocení části Vojenského újezdu (VÚj) Hradiště je zobrazen na obrázku 2.

Verifikace výsledků

Jak bylo naznačeno, první neznámou po výpočtu předpovědovaných rychlostí vybraného vozidla v zájmovém prostoru je správnost těchto rychlostí, tedy zda budou odpovídat realitě. Výsledky modelování byly v průběhu tvorby MPT4000 zpětně aplikovány na prostředí, ve kterém se terénní testy prováděly a porovnávány s daty vstupujícími do statistických šetření. Relevantnost takových ověření je ale pochybná, a proto byly pro verifikaci výsledků modelování provedeny terénní testy ve VÚj Hradiště v roce 2018.

Částečná verifikace

Ověření správnosti výsledků modelu bylo provedeno jejich porovnáním se skutečnými rychlostmi vozidel zaznamenanými pomocí přijímačů globálních navigačních družicových systémů. Výsledný datový soubor měl po očistění přebytečných záznamů (parkování vozidel, rozhodování

o dalším směru jízdy, čekání na povely a podobně) přes 30 000 záznamů sbíraných při pohybu vozidla po 1 sekundě. Měření se účastnila vozidla Land Rover Defender 110 (LRD 110), Tatra 815 (T815) a Bojové vozidlo pěchoty 2 (BVP-2).

Klimatické podmínky byly v průběhu testování různorodé a kromě slunečného mrazivého počasí se v době testů vyskytovaly i dny se sněžením a čerstvou sněhovou pokrývkou, jakož i dny s oblovou, která se v terénu projevovala rozdílně v závislosti na nadmořské výšce jednotlivých lokalit (úplné roztání sněhu, částečné tání, namrzání tajícího sněhu). Pozn.: výchozí data pro MPT4000 byla pořizována většinou v suchu a chladu.

Data získaná při terénním měření poskytl možnost pouze částečného ověření správnosti modelu, a to zejména kvůli dvěma okolnostem – omezenému výběru vozidel a typům povrchu v prostorech určených k testování. Statistický soubor, který byl nakonec k dispozici, je znázorněn v tabulce 2.

Při vyhodnocení rovnic a hodnot pro pohyb vozidel, které jsou použity v MPT4000, bylo zjištěno, že na rychlost konkrétních vozidel mají vliv jen nějaké charakteristiky komunikací a terénu.

Proto byly ověřovány tyto kombinace vozidel, povrchů a charakteristik:

- LRD 110:
 - terén podle sklonu,
 - cesty (bez rozlišení povrchu, zpevněné i nezpevněné) podle sklonu,
 - hlavní průjezd sídlem podle šířky,
 - silnice 3. třídy podle křivolakosti,
 - komunikace pouze podle kategorií;
- T815:
 - terén podle sklonu,
 - cesty (bez rozlišení, nezpevněné) podle sklonu,
 - cesty pouze podle kategorií;
- BVP-2:
 - terén podle sklonu,
 - cesty (nezpevněné) podle sklonu,
 - cesty pouze podle kategorií.

Zajímavosti při vyhodnocení správnosti modelu

Správnost modelované rychlosti byla ověřována průměrnou odchylkou modelované a skutečné rychlosti v každém nastavení podle výše uvedeného rozdělení. Při kladných hodnotách odchylky byla modelovaná rychlost vyšší, při záporných byla vyšší rychlost měřená (skutečná).

Při analýzách testovacích dat se vyskytly překážky především v omezených možnostech geografických dat. Některé cesty kategorie 42 (nezpevněná cesta), v původní databázi s atributem v DMÚ25 TUC 208, mají často velmi různorodou kvalitu. Například na úseku na obrázku 3 se jedná o dva totožné úseky podle dat, ovšem část 1 je užívána k těžbě dřeva, a proto se jedná o „kvalitní“ nezpevněnou cestu, část 2 má charakter spíše vyjetých kolejí.

Takové úseky pak vykazují bez na první pohled zřejmých důvodů diametrálně odlišné výsledky popsané v tabulce 3, které bylo nutno konzultovat s účastníky měření. Jedná se o jízdu vozidla BVP-2 a je očividné, že v úseku 2 došlo k výraznému zpomalení, především v prvním průjezdu. Druhý průjezd touto cestou byl výrazně rychlejší, ačkoliv se jednalo o jízdu do kopce. Zde pravděpodobně sehrála roli řidičova zkušenost z prvního průjezdu konkrétní cesty, která nyní, bohužel, není postihnutelná ve výpočtech.

Podrobnější analýzy sklonů zpevněných a nezpevněných cest ukázaly rozdílnou kvalitu modelování v závislosti na sklonu, jak je uvedeno v tabulce 4. V případě zpevněných cest modelování celkem přesně předpovídá rychlost vozidla, v případě nezpevněných cest je pak LRD 110 výrazně podceňován ve vyšších sklonech.

Z hlediska rychlostí je pak zajímavé, že se vozidlo LRD 110 v intervalech sklonů

Tab. 2 Počty záznamů rozdělené podle vozidla a typu povrchu [2]

Vozidlo	Typ povrchu	Počet záznamů
LRD 110	Terén	651
	23 – silnice 3. třídy	946
	31 – hlavní průjezd sídlem	210
	41 – zpevněná cesta	5207
	42 – nezpevněná cesta	2521
T815	Terén	2660
	41 – zpevněná cesta	1789
	42 – nezpevněná cesta	7509
BVP-2	Terén	4145
	42 – nezpevněná cesta	4734

Tab. 3 Charakteristiky jízdy v úsecích 1 a 2 [2]

		Úsek 1	Úsek 2
Počet záznamů		328	784
Průměrná rychlost [km·h ⁻¹]	Celkem	25,51	13,39
	Tam (1. průjezd)	22,87 (do kopce)	10,08 (z kopce)
	Zpět (2. průjezd)	26,90 (z kopce)	19,10 (do kopce)
Průměrná odchylka [km·h ⁻¹]		-8,13	4,89
Průměrný sklon [°]		6,81	5,40

Tab. 4 Průměrné odchylky na intervalech sklonů nezpevněných cest do a nad 5° LRD 110 [2]

Sklon [°]	Nezpevněná cesta (42)		Zpevněná cesta (41)	
	Průměrná odchylka [km·h ⁻¹]	Počet záznamů	Průměrná odchylka [km·h ⁻¹]	Počet záznamů
≤ 5	0,38	897	-1,92	376
5–7	-2,37	769	-3,74	1006
7–9	-4,44	510	-1,22	1142
9–11	-5,60	202	2,85	497
11–13	-10,40	83	0,48	142
13–15	-12,84	31	-2,10	69
15–17	-14,45	22	0,13	8

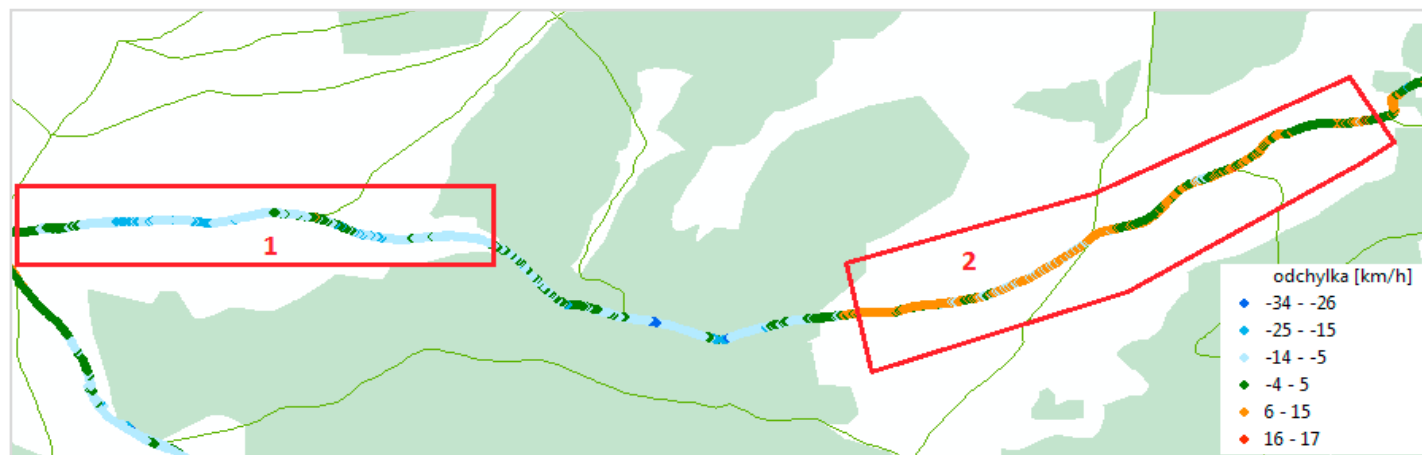
mezi 11° a 17° pohybovalo průměrně o 3 až 8 km·h⁻¹ rychleji, než na sklonech cest do 5° [2].

Výsledky verifikace

Celkový přehled výsledných srovnání modelovaných a skutečných rychlostí je uveden v tabulce 5. Výsledky, které lze považovat za ověřené, jsou zvýrazněny tučně. Pokud se nepovedlo ověřit správnost MPT4000 a jsou k dispozici objektivní důvody ukazující na nepoužitelnost naměřených dat, zůstaly modelované hodnoty neověřené a při dalším ověřování na ně bude

kladen důraz. V případech, kdy se zjistily nedostatky na straně modelu MPT4000 (v tabulce 5 – LRD 110 a T815 komunikace 40 podle kategorie), bude v dalších fázích vývoje přistoupeno k úpravám tabulek rychlostí, jak bylo zmíněno výše.

Zjištěné výsledky porovnání modelování a skutečnosti jsou v mnoha případech uspokojivé a lze tvrdit, že se částečně povedlo MPT4000 verifikovat. Ačkoliv jsou v modelování ještě rezervy a neověřené hodnoty, jedná se o značný posun kupředu při řešení celé problematiky průchodnosti terénu. To dokazuje především tabulka 6,



Obr. 3 Vizualizace rozdílných odchylek v totožném prostředí úseků 1 a 2 [2]

kteřá srovnává výsledky MPT4000 a dřívějšího modelu průchodnosti terénu geografické služby Armády České republiky (dále jen „model GeoSI AČR“) vyvíjeného též na KVGGM.

Odchytky modelu GeoSI AČR byly získány z výzkumné zprávy [8] a vycházejí z hodnot průměrných odchylek na jednotlivých trasách. Průměrné odchylky MPT4000 jsou spočítány ze všech záznamů vozidel při verifikačních testech bez rozlišení typu povrchu. Porovnání nebylo možné provést u stejných typů vozidel, ale pro ilustraci vývoje postačí zástupci ze stejných kategorií – UAZ 469 a LRD 110 jako osobní terénní automobily, T810 a T815 za nákladní terénní automobily a v případě pásových pak shodně vozidlo, BVP-2.

Zavedení MPT4000 do praxe

Výpočetní aparát MPT4000 je v současné době možno využít lokálně v prostředí ArcGIS Desktop, kdy je třeba mít k dispozici veškerá data vstupující do výpočtu. Jednoznačným cílem pro následující období je však zpřístupnění vyhodnocení průchodnosti terénu pomocí MPT4000 vojenským uživatelům v prostředí Celoarmádní datové sítě / Globální datové sítě Ministerstva obrany, popř. v klasifikované síti Operačně-taktického systému velení a řízení pozemních sil. Vznikne tzv. webová mapová aplikace, jejíž výpočetní jádro bude tvořit MPT4000.

Mezikrokem na cestě od lokálního využití k webové mapové aplikaci je zpřístupnění tzv. webové procesní služby, kterou je možno prozatím spouštět v prostředí těžkého klienta ArcGIS Desktop, resp. ArcMap. Po spuštění MPT4000 se zobrazí uživatelské rozhraní obsahující pokyn k interaktivnímu výběru zájmového území, výběru vozidla a možnosti povolení plavby, která je použita v případě, že vybrané vozidlo takovou možnost nabízí. Výsledkem vý-

Tab. 5 Porovnání průměrných odchylek

Vozidlo	Typ povrchu (charakteristika)	Průměrná odchylka [km·h ⁻¹] (důvod při větší odchylce/odmítnutí výsledku)
LRD 110	Terén (sklon)	4,54 (zmrzlé podloží narušené pásovou technikou)
	23 (křivolakost)	5,89 (omezení rychlosti v obci, která není v datech, tma)
	23 (kategorie)	7,43 (omezení rychlosti v obci, která není v datech, tma)
	31 (šířka)	7,37 (nevhodný úsek komunikace, nedostatek záznamů)
	31 (kategorie)	13,20 (nevhodný úsek komunikace, nedostatek záznamů)
	40 (sklon)	-1,91
	40 (kategorie)	-9,50 (kategorie 41 a 42 nelze sloučit pro os. automobily)
	41 (sklon)	-1,42
	41 (kategorie)	-2,95
T815	Terén (sklon)	2,83 (zmrzlé podloží narušené pásovou technikou)
	40 (sklon)	4,29 (kategorie 41 a 42 nelze sloučit pro nákl. automobily)
	40 (kategorie)	3,63 (kategorie 41 a 42 nelze sloučit pro nákl. automobily)
	41 (kategorie)	9,11 (nepodařilo se odůvodnit)
	42 (sklon)	3,39 (vliv řidiče)
BVP-2	42 (kategorie)	5,42 (vliv řidiče)
	Terén (sklon)	-1,84
	42 (sklon)	-0,37
	42 (kategorie)	0,15

Tab. 6 Srovnání průměrných odchylek modelu GeoSI AČR a MPT4000 podle vozidla [2]

Model GeoSI AČR		MPT4000	
Testované vozidlo	Průměrné odchylky [km·h ⁻¹]	Testované vozidlo	Průměrná odchylka [km·h ⁻¹]
UAZ 469	12,09–25,33	LRD 110	0,83
T810	18,47–27,66	T815	4,04
BVP-2	9,27–22,12	BVP-2	-0,86

počtu je symbolizovaná rastrová vrstva udávající rychlost vybraného vozidla při pohybu krajinou. Tato vrstva se automa-

ticky přidává do mapového okna prostředí ArcMap (obr. 4) a je možno ji též uložit pro pozdější využití.



Obr. 4 Příklad výsledku výpočtu průchodnosti terénu pomocí MPT4000 (počítáno pro vozidlo Pandur II)

Po zprovoznění aplikace ve zkušební verzi bude přijímána zpětná vazba od uživatelů a společně se zahrnutím nových výsledků výzkumu se bude pracovat i na případném rozšíření funkcionalit aplikace MPT4000.

Závěr

Vývoj MPT4000 by měl směřovat k rozšíření základny hodnot a rovnic, podle

kterých počítá předpokládanou rychlost, ověření dosud neověřených rychlostí, především z expertních odhadů, a rozšíření výběru vozidel. Poté by tento relativně jednoduchý model mohl poskytovat vyhodnocení průchodnosti terénu, které by usnadnilo rozhodování velitelů na taktickém stupni velení.

Další vylepšení, jakým je možnost použití jiných vstupních dat, případně

obohacení o vliv půd, mikroreliéfu a zejména počasí, jsou zatím výhledem do delší budoucnosti. Je třeba mít stále na mysli použitelnost modelu, jak je zmíněno v disertační práci věnované právě MPT4000 [2]: „Ve spolupráci s uživateli musí řešitelský tým před dalším vývojem modelu stanovit kritéria spolehlivosti, aby zakomponování každého dalšího vlivu nebylo samoučelné.“

Použité zkratky

BVP-2	Bojové vozidlo pěchoty 2	LRD 110	Land Rover Defender 110
DMR5	Digitální model reliéfu 5	MPT4000	Model průchodnosti terénu 4000
DMÚ25	Digitální model území 25	T810	Tatra 810
GeoSI AČR	geografická služba Armády České republiky	T815	Tatra 815
KVGM	katedra vojenské geografie a meteorologie	VÚj	vojenský újezd

Použitá literatura a zdroje

- [1] TALHOFFER, Václav. *Vliv kvality prostorových databází na modelování pohybu techniky*. Praha : Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-06107-7.
- [2] BUREŠ, Martin. *Metody verifikace koeficientu zpomalení v modelu průchodnosti terénu (CCM)*. *Disertační práce*. Brno, Univerzita obrany v Brně, 2019.
- [3] VOJTÍŠKOVÁ, Zuzana. *Metody hodnocení možnosti pohybu kolové a pásové techniky po terénu při taktickém zasazení*. *Výzkumná zpráva DZRO K-210 NATURENVIR*. Brno, Univerzita obrany v Brně, 2017.
- [4] RYBANSKÝ, Marian. *Cross-Country Movement. The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. Brno : Univerzita obrany; Akademické nakladatelství CERM®, s.r.o. Brno, 2009. 113 p. ISBN 978-80-7204-661-4.
- [5] HOHMANN, Audrey; GRANDJEAN, Gilles; MARDHEL, Vincent; SCHAEFER, Gilles; DESRAMAUT, Nicolas. A GIS-based Vehicle Mobility Estimator for Operational Context. In: *Transaction in GIS*, Vol. 17, 2013, no. 1, pp. 78–95.
- [6] PIMPA, Watcharapom; SARAPIROME, Sunya; DASANANDA, Songkot. GIS application to development of military cross-country movement maps at Mae Sot district, western Thailand. In: *Suranaree Journal of Science and Technology*, 21(3), 2014, pp. 215–232.
- [7] *NATO Reference Mobility Modelling*. Neuilly-sur-Seine Cedex : Research and Technology Organization, 2011.
- [8] TALHOFFER, Václav a kolektiv. *Výzkumná zpráva DZRO K-210 NATURENVIR*. 2014.

Úspěšné zapojení geografické služby AČR do Chytré karantény

Úvod

Celosvětová epidemie virového onemocnění COVID-19 způsobená novým typem koronaviru SARS-CoV-2 se na území České republiky (ČR) projevila na začátku měsíce března. Nárůst počtu nakažených byl zpočátku pozvolný, nicméně, stejně jako v jiných zemích světa, se denní přírůstky nakažených každým dnem zvyšovaly.

Z tohoto důvodu započaly práce na technologickém řešení tzv. Chytré karantény, což je systém, který má vést k včasnému zachycení co největšího počtu potenciálně nakažených osob, které jsou poté otestovány a případně uvedeny do karantény. Současně by díky tomuto systému mělo být umožněno přesnější vytipování dalších potenciálně nakažených osob, na které byl virus přenesen při kontaktu s již nakaženou osobou. Cílem Chytré karantény je tedy eliminace šíření virového onemocnění COVID-19, snižování plošných opatření přijatých vládou ČR a přijetí adekvátních centrálně řízených opatření v oblastech zvýšeného šíření viru.

Řešením všech opatření souvisejících s Chytrou karanténou byl pověřen Centrální řídicí tým COVID-19, který je poradním orgánem vlády ČR dočasného charakteru. Ten tvoří cca 100 příslušníků vybraných státních orgánů podílejících se na nutných opatřeních – Ministerstva obrany, Ministerstva zdravotnictví, Ministerstva vnitra, Armády ČR (AČR), Policie ČR, Hasičského záchranného sboru ČR (HZS ČR) a dalších.

Mapový portál pro Centrální řídicí tým

Na základě nařízení náčelníka Generálního štábu AČR k výstavbě a činnosti Centrálního řídicího týmu k řešení krizové situace COVID-19 se počátkem měsíce dubna zapojili do projektu Chytré karantény také příslušníci Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (VGHMÚř). Neprodleně byly zahájeny práce na výstavbě Mapového portálu Centrálního řídicího týmu COVID-19 (dále jen „Mapový portál“). Ten slouží k zajištění zpracování informací dle nastaveného informačního toku

do Společného přehledu situace virové nákazy. V tuto chvíli je možné díky tomuto portálu získat ucelený přehled o situaci, provádět analýzy dat a predikci vývoje šíření nákazy na území ČR. Mapový portál usnadňuje koordinaci všech složek podílejících se na projektu Chytré karantény.

Mapový portál je provozován v prostředí ArcGIS Enterprise, které je díky možnostem vizualizace a analýzy dat vhodným nástrojem pro jeho výstavbu. Dalším důvodem využití této platformy byla možnost vytváření vlastních aplikací a řízeného přístupu k obsahu Mapového portálu. Tím je umožněno zobrazovat data jen určitým skupinám uživatelů dle rozhodnutí správce portálu.

Díky úzké spolupráci příslušníků geografické služby AČR (GeoSI AČR) s odborníky firmy ARCDATA PRAHA, s. r. o., byl vytvořen funkční systém sdružující data z nejrůznějších zdrojů, které je možné rozdělit do 3 kategorií.

První kategorií jsou *statické informace o území ČR* obsahující například data RÚIAN (Registr územní identifikace, adres a nemovitostí) poskytnutá Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním, hranice okresů a krajů zahrnující také informace o obyvatelstvu a několik mapových vrstev z Vojenskogeografického vyhodnocení České republiky poskytujících informace o letištích a polních přistávacích plochách, o koncentraci osídlení ČR, o železniční síti nebo například o lůžkové kapacitě zdravotnických zařízení v jednotlivých okresech. Dále sem můžeme zařadit také vrstvy týkající se lokalizace krajských vojenských velitelství a posádek AČR, sklady a stanice HZS ČR a lokalizace hraničních přechodů rozdělených na otevřené a uzavřené hraniční přechody.

Druhou kategorií jsou *dynamické informace o virové naze v ČR*. Tato kategorie obsahuje nejdůležitější data potřebná pro analýzu šíření nákazy a pro predikci jejího dalšího vývoje. Z toho důvodu jsou data průběžně aktualizována – některá každou hodinu, některá každých 15 minut, jiná při zaznamenání změny.

Velkou část zde tvoří zobrazení epidemiologické situace v ČR s využitím dat Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS ČR). Centrální řídicí tým díky tomuto zobrazení získává informaci o počtu nakažených, vyléčených, zemřelých, hospita-

Obr. 1 Domovská stránka Mapového portálu

lizovaných či testovaných v jednotlivých okresech ČR a má přístup k celé historii dat od počátku rozšíření nákazy na našem území.

Dále zde uživatel nalezne vizualizovaná data z webové aplikace vyvinuté specialisty AČR – Covid Forms App. Jde o databázi odběrových míst, laboratoří a jejich vazeb. Obsahuje denní záznamy o provedených odběrech a laboratorních vyšetřeních a hlášení krajských hygienických stanic a událostí.

V neposlední řadě zde analytici vidí i aktuální polohu odběrových týmů AČR, jež se získává z lokátorů GPS.

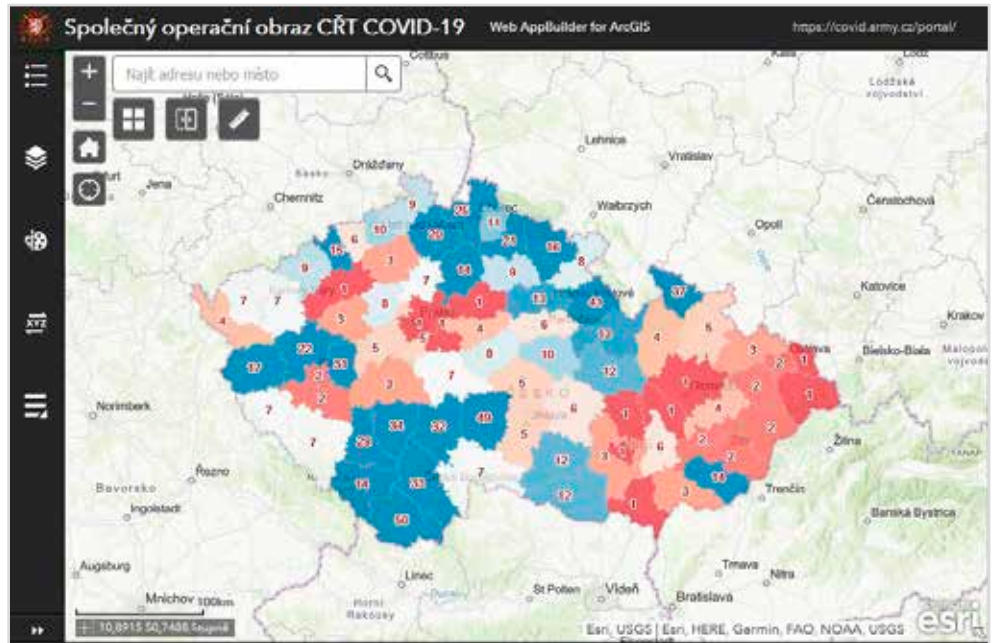
Poslední kategorií jsou dynamické informace o virové nákaze ve světě obsahující počty pozitivních, vyléčených a zemřelých osob v jednotlivých státech světa a podrobnější vrstvy týkající se nákazy virovým onemocněním přepočtené na menší správní celky sousedních států ČR. Tato data jsou denně aktualizována svými správci a do Mapového portálu vstupují jako veřejné vrstvy.

Data všech těchto kategorií jsou agregována v aplikaci Společný operační obraz. Ta je vytvořena ve dvou verzích lišících se obsahem. Verze obsahující všechna výše uvedená data je určena pro vojenské uživatele a je používána především Centrálním řídicím týmem. Verze pro mimorezortní uživatele pak obsahuje pouze vrstvy, které neobsahují citlivé údaje. V aplikacích lze zobrazovat jednotlivé datové vrstvy, zakreslovat pomocné zákresy nebo odečítat souřadnice z mapy.

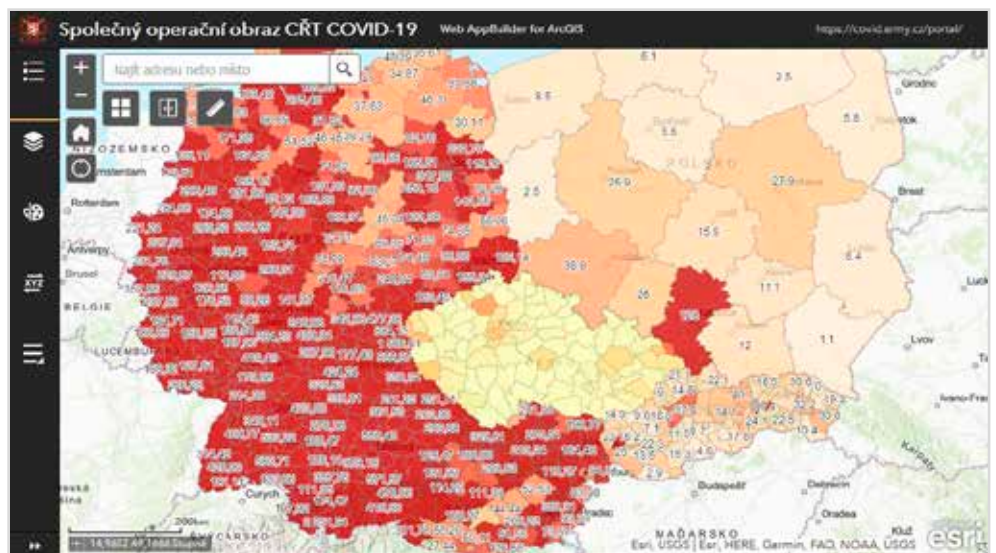
Z důvodu potřeby zobrazovat historická data o nákaze byl vytvořen tzv. dashboard pojmenovaný Historická data ÚZIS. Ve formě přehledných tabulek a grafů umožňuje studium průběhu nákazy jak v rámci celé republiky, tak na úrovni krajů a okresů.

Závěr

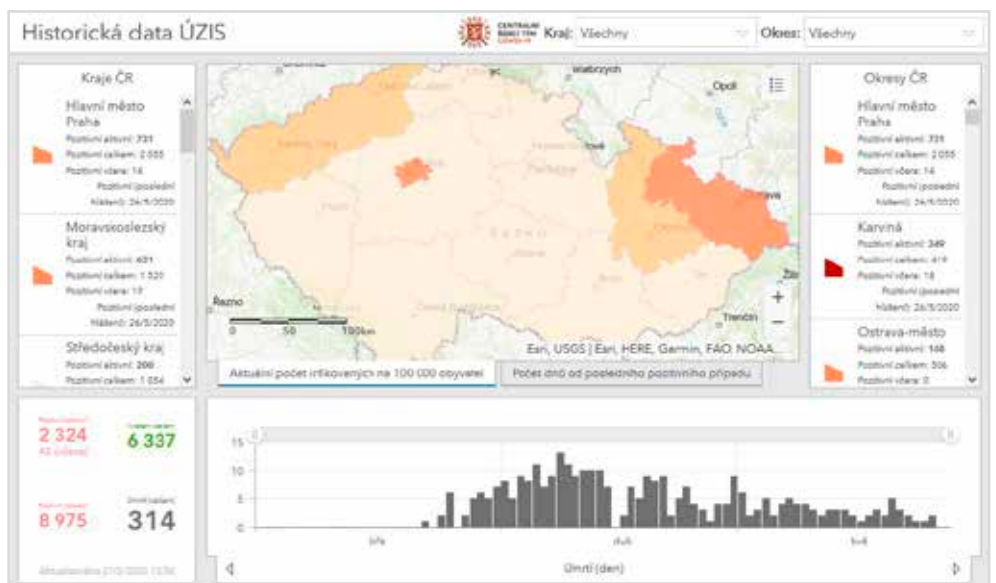
V období od dubna do června bylo ve prospěch Centrálního řídicího týmu příslušníky GeoSI AČR odpracováno více než 1 500 hodin, a to včetně víkendů a svátků. Hlavní část úkolů byla plněna na oddělení geografického zabezpečení (Praha) a oddělení globálních navigačních satelitních systémů VGHMÚř, do činnosti však byla významně zapojena i řada dalších specialistů VGHMÚř a úspěšnému splnění úkolů zásadním způsobem přispěli zaměstnanci firmy ARCDATA PRAHA, s. r. o.



Obr. 2 Aplikace Společný operační obraz – vrstva Počet dnů od posledního pozitivního případu



Obr. 3 Aplikace Společný operační obraz – vrstva Počet nakažených na 100 000 obyvatel



Obr. 4 Dashboard Historická data ÚZIS

npor. Ing. Eva Mertová
Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Praha

Konference GIS Esri v ČR

Ke kalendáři většiny geoinformatiků v České republice (ČR) neodmyslitelně patří podzimní konference uživatelů produktů ESRI pořádaná firmou ARCDATA PRAHA, s. r. o. Jak je ale všeobecně známo, rok 2020 je zvláštní, protože se nese v duchu spousty mimořádných opatření a omezení v souvislosti s nemocí COVID-19. Nicméně firma ARCDATA nenechala své stávající, ani potenciální uživatele bez své oblíbené události ani letos. Jistě, podoba konference musela být jiná, a proto už v létě bylo rozhodnuto uspořádat ji distanční formou v podobě videokonferencí. Účastnit se této akce mohl letos opravdu každý zájemce. Po bezplatném zaregistrování bylo možné pomocí uživatelského jména a hesla vstoupit do prostředí konference, ve kterém byly dostupné živé videopřenosy, předtočené přednášky uživatelů a výstava map a aplikací.

Hlavní část konference probíhala ve čtyřech živě vysílaných tematických blocích ve dnech 4. a 5. listopadu 2020. Jako každý rok tvořily zahajovací blok úvodní slovo ředitele firmy ARCDATA Ing. Petra Seidla a přednášky hlavních řečníků konference. Úvodní přednášku obstaral profesor Mařík z Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky, který hovořil na téma Společnost 4.0 týkající se klíčových vizí a dopadů čtvrté průmyslové revoluce, resp. internetové technologické revoluce, kdy všechna digitální zařízení jsou vzájemně propojena a mohou spolu vzájemně komunikovat. Následovalo vystoupení ředitele Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu plk. gšt. Ing. Jana Marši, Ph.D., který přednesl příspěvek o geografickém zabezpečení Centrálního řídicího týmu COVID-19, kdy popsal vznik a využívání mapového portálu při analýzách

a predikcích šíření nemoci a při řešení projektu Chytré karantény. Téma této nemoci a využití geografických informačních systémů (GIS) při jejím zvládnutí bylo zmiňováno během úvodního bloku i v některých dalších příspěvcích.

Dalšími živě vysílanými bloky pak byly Veřejná správa, Technologická sekce a Správa inženýrských sítí. Konání se tentokrát neomezilo pouze na dva konferenční dny, ale v termínu od 10. listopadu do 1. prosince 2020 organizátoři uspořádali šest naživo vysílaných hodinových webinářů zaměřených vždy na specifické téma vztahující se k produktům firmy ESRI. Navíc je možné kdykoliv přehrát jednu z 15 předtočených přednášek uživatelů produktů ESRI z oblasti managementu životního prostředí, dopravy a zdravotnictví nebo vzdělávání. Všem registrovaným účastníkům byl nabídnut opravdu bohatý program, který mohli sledovat z pohodlí svého domova. Dle vyjádření organizátorů se úvodní sekce virtuálně zúčastnilo více než tisíc sto účastníků, tedy takové množství, které by se ani nevešlo do tradičního místa konání konference – velkého sálu Kongresového centra v Praze.

Jediné, co nám snad opravdu chybělo, bylo osobní setkání s kolegy z oboru – některé z nich máme opravdu možnost potkat jednou ročně na této konferenci – a také oblíbený večerní raut, který muselo nahradit domácí občerstvení.

Rád bych touto cestou poděkoval firmě ARCDATA PRAHA, s. r. o., za uspořádání této zdařilé akce a už se těšíme na příští rok, kdy se snad všichni uživatelé produktů ESRI v ČR setkají, tentokrát opět osobně na jubilejním třicátém ročníku konference.

RNDr. Luboš Bělka, Ph.D.

Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad, Dobruška





EXPOZICE VLASTIVĚDNÉHO MUZEA V DOBRUŠCE



VOJENSKÁ GEOGRAFIE



odborné přístroje a pomůcky • mapy • dokumenty • fotografie



Novoměstská ulice 187, Dobruška
<http://www.kulturadobruska.cz/vlastivedne-muzeum>



Otevírací doba: květen až září: úterý až neděle 10–12 a 13–17 hod.
Expozice nemá bezbariérový přístup.

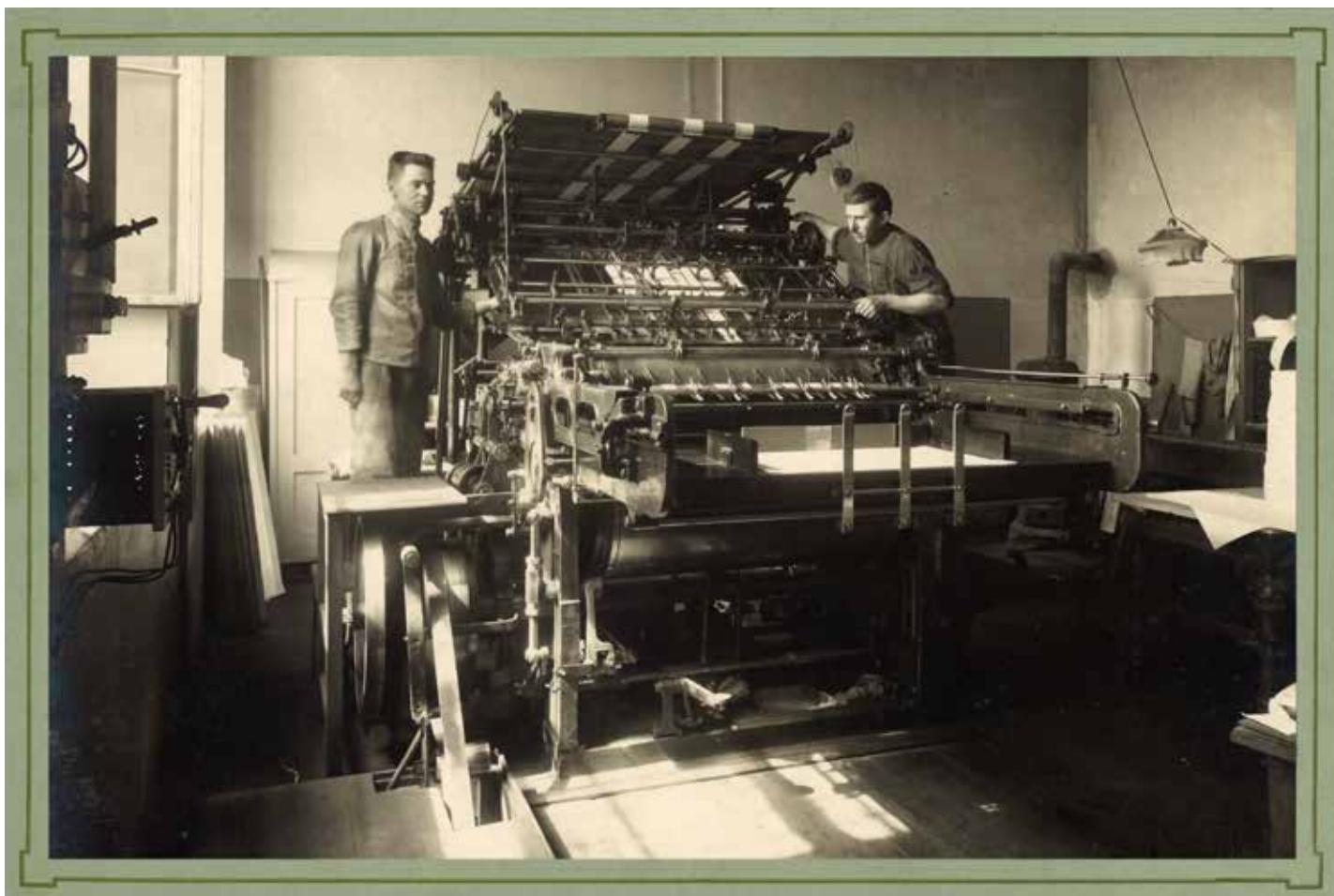
Svědectví fotografií – Pracoviště Vojenského zeměpisného ústavu ve 20. letech dvacátého století



Pracovna evidenčního oddělení kartografického odboru



Předtiskárna reprodukčního odboru



Tiskárna reprodukčního odboru (ofsetový stroj)



Sklad materiálu

