

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague

Faculty of Civil Engineering

doc. Ing. Václav Talhofer, CSc.

Vliv kvality prostorových databází na modelování pohybu techniky v prostoru

Influence of spatial database quality on modelling of vehicle movement in the terrain

Summary

Command and control of the armed forces cannot work without quality and reliable geographic materials. These materials, among others, allow studying natural conditions in the area of operation, analysing them in terms of the effects of the environment on planned or executed activities, and solving the variants. The main military activities take place in the terrain and they always include the movement of units in a particular space.

Geographic information allows modelling the influence of the environment and its particular components on movement of military vehicles taking into account their technical and performance parameters. In modelling, it is necessary to consider the quality of source data as well as the quality of physical, mathematical and geoinformation models.

Models of behaviour of weapons and weapon systems interacting with the natural environment have three levels. The first level represents the physical model describing behaviour of a particular weapon, vehicle, aircraft and so on in specific geographic and meteorological conditions. The model is based on tactical and technical data and operational characteristics of the weapons and vehicles. The highest level of physical models is represented by the model of a complex influence of the natural environment on a particular vehicle or a weapon system.

To use the physical models in computations, it is necessary to mathematize them. Mathematical model, the second level of modelling, respect employed geographic and meteorological data and their accuracy and reliability characteristics, including uncertainty of this data given by properties of modelled objects and phenomena. Data uncertainty can be dealt for example with applying the general theory of fuzzy sets.

Mathematized models are being converted into third level - information models - usually using specific software suites such as the ESRI ArcGIS. Using these applications, it is possible to create complex process schemes working with the given geographic and meteorological data.

However, all models must be thoroughly verified through both partial and complex terrain tests. It is then necessary to use the results of these tests for adapting models at all levels so as they maximally correspond to modelled reality.

Souhrn

Velení a řízení ozbrojených sil se neobejde bez kvalitních a spolehlivých geografických podkladů. Tyto podklady mimo jiné umožňují studium přírodních podmínek v prostoru činnosti, jejich analýzu z hlediska vlivů prostředí na plánovanou nebo prováděnou činnost a řešení variant postupů. Hlavní vojenské činnosti se odehrávají na terénu a jejich součástí je vždy pohyb jednotek v konkrétním prostředí.

Geografické informace umožňují modelovat vliv prostředí a jeho jednotlivých složek na pohyb vojenských vozidel s uvažováním jejich technických a výkonových parametrů. Při modelování je nutné uvažovat kvalitu podkladových dat a současně i kvalitu vlastních fyzikálních, matematických a geoinformačních modelů.

Modely chování zbraní a zbraňových systémů v interakci s přírodním prostředím mají tři úrovně. Výchozí úroveň je fyzikální model, který popisuje chování konkrétní zbraně, vozidla, letadla apod. v dílčích geografických a meteorologických podmínkách. Model vychází z jejích takticko technických dat a provozních charakteristik. Nejvyšší úroveň fyzikálních modelů je model komplexního vlivu přírodního prostředí na danou techniku nebo zbraňový systém.

Pro použití fyzikálních modelů v prostředí výpočetní techniky je nutné je nejprve matematizovat. Matematické modely, druhá úroveň modelování, respektují používaná geografická a meteorologická data i jejich charakteristiky přesnosti a spolehlivosti, včetně neurčitosti těchto dat dané vlastnostmi modelovaných objektů a jevů. Neurčitost dat je možné řešit například použitím obecné teorie fuzzy množin.

Matematizované modely se převádějí do třetí úrovně – informačních modelů – vytvářených zpravidla v daných výpočetních a programových prostředích, například ArcGIS firmy ESRI. Zde je možné vytvořit komplexní procesní schémata pracující nad danými geografickými a meteorologickými daty.

Všechny modely je však nutné důsledně verifikovat, pokud možno jak dílčími, tak i komplexními terénními testy. Na základě výsledků testů je nutné modely ve všech úrovních upravit tak, aby co nejvíce odpovídaly modelované realitě.

Klíčová slova

geografie, meteorologie, GIS, průchodnost terénu, modelování a simulace, terénní vozidla

Keywords

geography, meteorology, GIS, cross country mobility, modelling and simulation, off-road vehicles

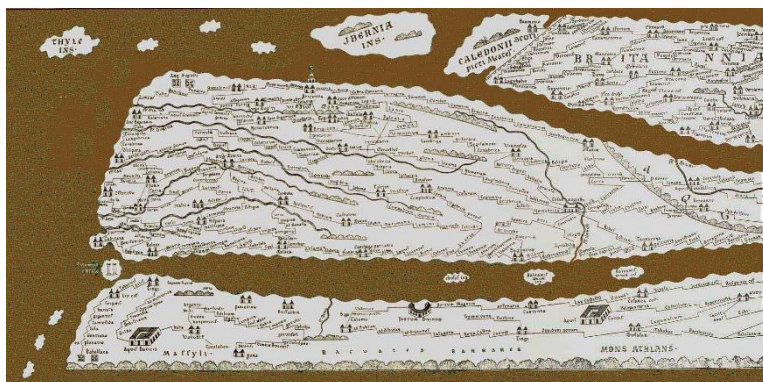
Obsah

1.	Úvod	6
1.1	Mapy jako základní podklad pro velení a řízení vojsk	6
1.2	Geoinformační systémy ve vojenství	7
1.3	Historie hodnocení průchodnosti terénu	8
2.	Modelování průchodnosti terénu	13
2.1	Zasazení jednotek v poli a řešení průchodnosti terénu	13
2.2	Modely chování zbraní a zbraňových systémů	14
2.3	Zdroje informací o přírodním prostředí	15
2.3.1	Použitelné podklady v České republice	15
2.3.2	Použitelné podklady pro zahraničí	16
2.3.3	Hodnocení kvality dat	16
2.4	Fyzikální modelování průchodnosti terénu	17
2.5	Matematické modelování	19
2.6	Modelování v prostředí GIS	22
3.	Verifikace modelů	25
3.1	Přípravná fáze	26
3.2	Polní testy	27
3.3	Analýza naměřených dat	29
4.	Výhledy do budoucna, cíle modelování	35
5.	Citovaná literatura	36

1. Úvod

1.1 Mapy jako základní podklad pro velení a řízení vojsk

Velení a řízení vojsk při bojových i nebojových akcích vždy vyžadovalo podrobnou znalost prostoru, v němž se daná činnost odehrávala. Tyto poznatky v době antiky a středověku byly zprostředkovávány zejména popisem možných bojišť od místních lidí nebo pověřených osob provádějících průzkum. Pokud vojska nebyla početná a během bitvy velitelé byli schopni velet jednotkám přímo nebo pomocí spojek, nebyly v zásadě potřebné nějaké formy grafického vyjádření bojišť. Avšak již v době Římské říše byly pro plánování pochodů legií zpracovány schematické pochodové mapy obsahující předpokládané denní výkony legie za přesunu. Příklad této mapy je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 1):



Obrázek 1 Ukázka pochodové mapy římských legií (zdroj (Legions, 2016))

Rozvoj vojenství zejména v době napoleonských válek se vyznačoval nasazením velkého počtu vojáků. Tehdejší armády měly několik desítek tisíc vojáků, byly složeny z různých druhů vojsk od pěšáků, přes jízdu po dělostřelectvo. Velení takto velkým armádám se již neobešlo bez vojenských štábů, jejichž úkolem bylo mimo jiné sladění a koordinace bojové činnosti jednotek. Pro tyto úlohy byly vytvářeny již moderní formy mapových podkladů s poměrně podrobným zobrazením krajiny. V Rakousku a později v Rakousku-Uhersku tak postupně proběhla tři vojenská mapování.

Obsah map pro potřeby armád se vyvíjel v souladu s požadavky velitelů a štábů tak, aby odpovídal způsobu vedení boje. Mapy byly základním informačním podkladem pro studium přírodních i sociálních podmínek na daném prostoru. Z map podrobných vojenských mapování, která se

prováděla od druhé poloviny 18. století prakticky ve všech státech Evropy, se postupně vyvinuly topografické mapy. Nástup mechanizace a motorizace vojsk, který začal v době 1. světové války, vyvolal potřebu změny obsahu mapového díla, která se projevila nejprve doplněním topografických map informacemi zobrazujícími podrobněji vybrané tematické charakteristiky, například silniční nebo železniční síť, později i tvorbu tematických map, jejichž obsahem byly vyhodnocené informace o možnostech pohybu techniky v otevřeném terénu.

Aby armády měly kvalitní a pokud možno aktuální mapy a aby tyto mapy měly zabezpečenou standardní kvalitu, byly vytvářeny vojenské topografické nebo geografické složky. Jejich úkolem bylo zajistit takové mapové podklady, které vyhovovaly daným potřebám velitelů a štábů. Díky tomu bylo i zabezpečeno jejich zásobování až po poslední jednotky v poli. Příkladem takovýchto složek byl Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni, Military Survey ve Velké Británii nebo Militärgeographischer Dienst v Německu.

Mapy, ať již topografické nebo tematické, byly základními informačními podklady zhruba do počátku 21. století. Od 70. let 20. století byly sice činěny pokusy nahradit mapy sofistikovanějšími systémy pracujícími s tehdejšími informačními technologiemi, ale tyto systémy nikdy nebyly masově nasazeny (Vondra & Talhofer, 1986), (Vondra & Talhofer, 1988). Stejně jako nebyly zavedeny automatizované technologie tvorby map vyvíjené například i v tehdejší Topografické službě Československé lidové armády spolu se systémem DIGIKART. Zásadní obrat nastal až koncem 20. století s celkovým rozvojem technologií komunikačních a informačních systémů a geoinformačních systémů (GIS).

1.2 Geoinformační systémy ve vojenství

Geografické informační systémy přinesly do velení a řízení vojsk novou kvalitu. Již koncem 20. století umožnily shromažďovat a účinně analyzovat velké množství dat a informací o prostoru a výsledky analýz poměrně rychle dodávat přímo velitelům nebo do systémů velení a řízení (SVŘ). GIS však byly především nástroji pro práci vojenských geografů a z hlediska SVŘ nebyly přímo s těmito systémy propojené (Talhofer V. , 1994). Výsledky vojensko geografických analýz byly do SVŘ dodávány zpravidla ve formě statických podkladů, často jako bitmapy, a velitelé je používali pouze jako informační podklad.

Naprosto jinou kvalitu v používání GIS přinesl až současný rozvoj komunikačních a informačních technologií. Dnešní komunikační a informační technologie, včetně technologií GIS, jsou založeny na propojení

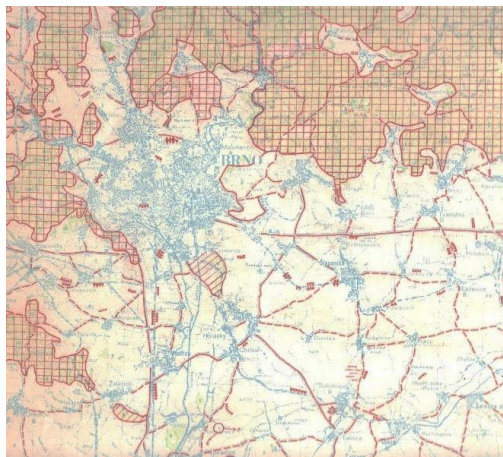
výpočetních prostředků, sdílení dat a aplikací a jejich široké dostupnosti. Zdroje geografických dat lze najít po celém světě například prostřednictvím webových mapových služeb (WMS). Velcí poskytovatelé, například Google, Microsoft nebo Seznam, je pravidelně aktualizují a aktuální data rychle publikují. Z hlediska běžného života se jedná o velice pozitivní moment. Geografická data jak v základní formě, tak i jako výsledky prostorových analýz, jsou nedílnou součástí prostředí SVŘ, a to nejen v armádě, ale často i v obdobných systémech složek Integrovaného záchranného systému (IZS), například na Operačních a informačních střediscích Hasičského záchranného sboru.

Využívání technologií GIS v armádě má však svá specifika daná jejím posláním. Složky armády jsou sice cvičeny v mírových podmínkách, ale připravují se na bojové úkoly. Není tedy možné spoléhat se na obecně širokou možnost získávat informace, ale je nutné mít vybudovaný zpravidla vlastní systém pro sběr dat a jejich přenos nebo sdílení, který je odolný vůči napadení a poškození.

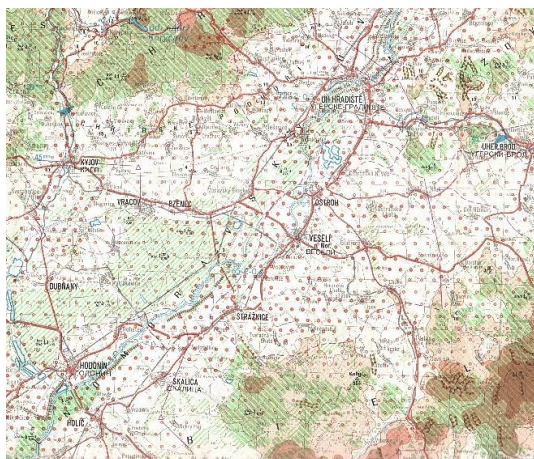
Současné teorie použití sil a prostředků v bojových i nebojových činnostech často vycházejí z modelů chování zbraní a zbraňových systémů v přírodním prostředí. V řadě SVŘ jsou potom tyto modely implementovány a jejich výsledky umožňují optimalizovat a zrychlit proces rozhodování, resp. umožní řešit i různé varianty postupů. To se týká i chování zbraní a zbraňových systémů nesených na kolových nebo pásových podvozcích. Takovým systémem může být například kolový obrněný transportér PANDUR II, lehký obrněný transportér IVECO, střední tank T72M4 CZ apod. V tomto případě jsou modely založeny na chování celého mobilního systému při pohybu v terénu.

1.3 Historie hodnocení průchodnosti terénu

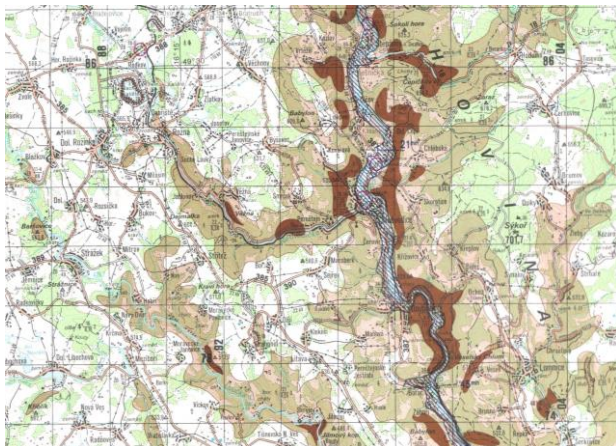
Modely chování vozidel na terénu byly vždy předmětem zájmů velitelů a štábů. Ti od armádních součástí, které měly na starosti získávání a zpracování informací o terénu (zpravidla topografické nebo geografické služby), vyžadovali analýzy podmínek průchodnosti terénem. Po 2. světové válce se zpracovávaly tematické mapy hodnotící možnosti pohybu daných kategorií vozidel. Jako příklad je možné jmenovat „Mapu schůdnosti 1:100 000“, „Mapu průchodnosti terénu 1:200 000“, mapu průchodnosti terénu 1:100 000“, ze zahraničí potom mapu „JOG 1501 – CCM“ nebo mapu „M 745 – CCM“. Na následujících obrázcích jsou výřezy uvedených map.



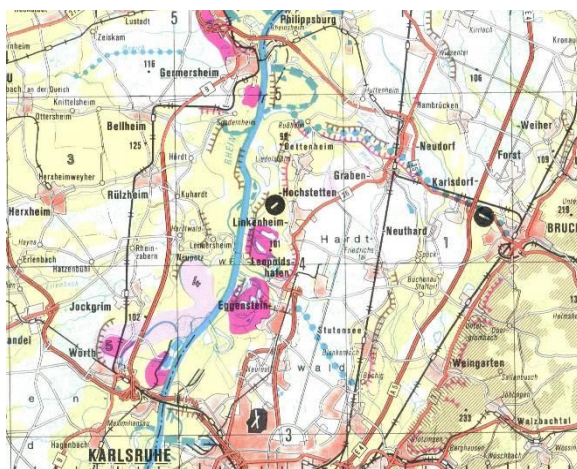
Obrázek 2 Ukázka kartografického originálu mapy schůdnosti 1:100 000 (50. léta 20. století, archiv K-210 FVT UO Brno)



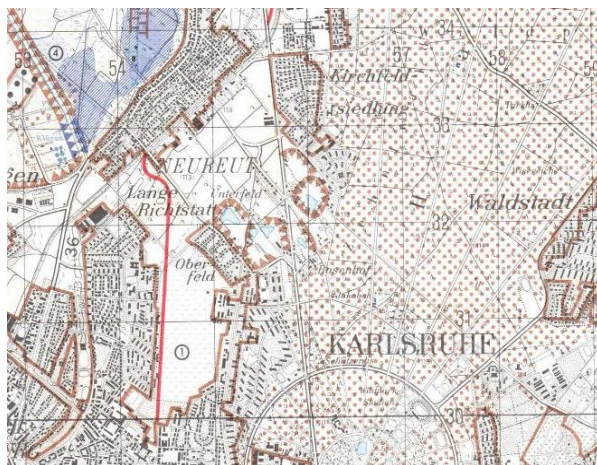
Obrázek 3 Ukázka mapy průchodnosti terénu 1:200000 (80. léta 20. století, archiv K-210 FVT UO Brno)



Obrázek 4 Ukázka mapy průchodnosti terénu 1:100000 (90. léta 20. století, archiv K-210 FVT UO Brno)



Obrázek 5 Ukázka mapy průchodnosti terénu JOG 1:250000 (zdroj (MilGeo, 1996))



Obrázek 6 Ukázka mapy průchodnosti terénu 1:50000 série M745 – CCM (zdroj (MilGeo, 1996))

Tematický obsah uvedených a dalších podobných map vznikl většinou na základě expertního odhadu možností pohybu dané kategorie vozidel v daných podmínkách. Těmito kategoriemi byly zpravidla „kolová vozidla bez zvýšené průchodivosti“, „kolová vozidla se zvýšenou průchodivostí“ a „pásová vozidla“. Přitom nebylo reálné vytvářet tematický obsah pro konkrétní druhy bojové techniky a naprosto nereálné byly úvahy o specifikaci konkrétního vozidla v jeho aktuálním stavu.

Kartometrickým šetřením a následnou analýzou naměřených dat se určovaly prostory:

- průchodné pro veškerou techniku;
- obtížně průchodné pro kolovou techniku, průchodné pro kolovou techniku se zvýšenou průchodivostí a pro pásovou techniku;
- neprůchodné pro kolovou techniku, obtížně průchodné pro kolovou techniku se zvýšenou průchodivostí, průchodné pro pásovou techniku;
- neprůchodné pro veškerou kolovou techniku, obtížně průchodné pro pásovou techniku;
- neprůchodné pro jakoukoliv techniku.

Mapy se používaly pouze ke globálnímu posouzení možností pohybu vojenské techniky v zadaném prostoru činnosti. Vzhledem ke způsobu vedení boje a počtu nasazené techniky byly tyto podklady v zásadě vyhovující.

Všechny uvedené tematické mapy měly ale z dnešního pohledu zásadní nedostatky:

- tematický obsah byl z hlediska geometrie málo podrobný a z hlediska tematiky příliš obecný;
- jednotlivé geografické faktory ovlivňující pohyb vozidel byly vyjadřovány samostatně a jejich komplexní interpretace byla obtížná;
- nebylo možné obsah modifikovat na základě krátkodobé změny podmínek v terénu vlivem počasí, denní nebo roční doby apod.

Nástup geoinformačních technologií spolu s rozvojem digitálních prostorových databází celou situaci i v případě hodnocení možností pohybu vojenské techniky (ale nejen vojenské) zásadně změnil. Bylo možné úplně nebo dílčím způsobem odstranit uvedené zásadní nedostatky.

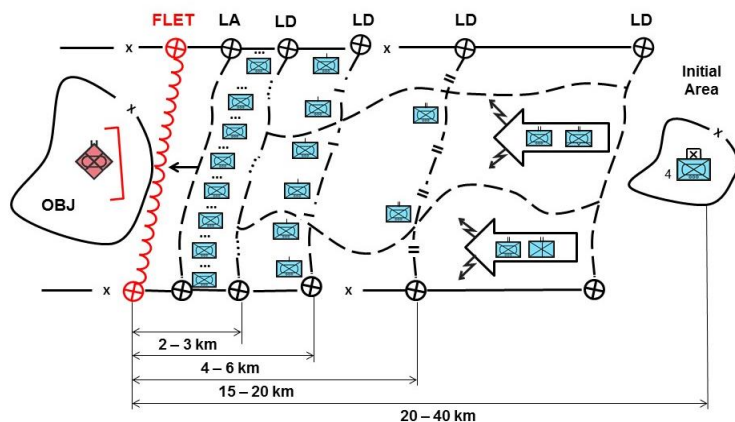
Dnešní moderní nebo modernizovaná bojová technika je vybavena komponenty, které jsou součástí Automatizovaných systémů velení a řízení (ASVŘ). Příkladem řešení v rámci AČR je Operačně taktický systém velení a řízení pozemních sil (OTS VŘ PS) (MOČR/AKIS, 2007), (Talhofer & Hofmann, 1998). V rámci ASVŘ je neustále sledována poloha vozidel na bojišti a podle potřeby je tato poloha zobrazována na celkovém přehledu situace nazývaném společný obraz operace (Common Operational Picture – COP). Rovněž je možné předávat informace z operačního centra přímo do mobilních prostředků prostřednictvím Bojového vozidlového informačního systému (BVIS). Veškeré komunikace jsou vedené po vnitřních sítích bez propojení s veřejnými sítěmi. OTS VŘ je neustále rozvíjen a jsou do něj doplňovány nové nebo rozšířené moduly pro zabezpečení činnosti jednotek v nasazení.

Geografická data jsou v OTS VŘ zatím využívána především pro orientaci v terénu a lokalizaci operační situace. V blízké budoucnosti lze očekávat implementaci takových řešení, které umožní analyzovat možnosti pohybu jednotlivých vozidel, resp. celých jednotek v zadaném pásmu činnosti. Předpokladem těchto řešení je však vytvořený a verifikovaný model pohybu respektující jak technické parametry dané techniky, tak kvalitu používaných dat.

2. Modelování průchodnosti terénu

2.1 Zasazení jednotek v poli a řešení průchodnosti terénu

Vojenské operace se v současné době odehrávají převážně na terénu a vedou je relativně malé mobilní jednotky vybavené moderními bojovými prostředky. Tyto operace jsou charakterizovány velkou dynamikou boje podpořenou vysokou manévrovostí, která je podpořena výkonnou bojovou, dopravní a speciální technikou. K řešení konkrétních operací jsou vytvářena tzv. úkolová uskupení skládající se z takových jednotek, které jsou schopné vyřešit dané cíle operace (Všeob-Ř-1, 1997). Vytvořené úkolové uskupení se na začátku operace soustředí ve výchozím místě, odkud se jeho jednotky přemísťují do vlastního prostoru nasazení. Pokud je to možné, jsou k tomuto přesunu využívány zejména pozemní komunikace. Teprve v místě nasazení se jednotky rozvíjejí do bojové sestavy a jejich pohyb se odehrává převážně ve volném terénu. Na následujícím obrázku (Obrázek 7) je znázorněno obecné schéma zasazení úkolového uskupení vytvořeného na bázi brigády.



Obrázek 7 Princip činnosti bojového uskupení v polním zasazení
(autor pplk. Čep, CBVSS UO Brno)

Veškerá činnost úkolového uskupení je výrazně ovlivňována vnějšími okolnostmi, mimo jiné přírodním prostředím v daném prostoru. Jsou to jak geografické podmínky, tak i meteorologické, resp. klimatické podmínky. Vliv tohoto prostředí je možné hodnotit z mnoha hledisek s ohledem na prováděnou činnost jak vlastních sil, tak i sil protivníka (Všeob-Ř-1, 1997).

Při přesunu po komunikacích jsou hodnoceny kvalita a dopravní výkonnost používaných komunikací, jejich konfigurace, kritická místa na nich, jako jsou mosty, zúžená místa, úseky s vyšším sklonem. Jsou však hodnoceny i vlastnosti komunikací a jejich bezprostředního okolí z hlediska plnění úkolu a případně i z hlediska toho, jestli k přesunu dochází na vlastním nebo nepřátelském území. V tomto případě se hodnotí i vlastnosti jako možnost skrytého přesunu, možnosti přehrazení či zatarasení komunikací, hledají se možné objížděky apod.

Pokud se jednotky pohybují ve volném terénu, je nutné hodnotit více faktorů. Jsou to například sklony svahů, množství a tvary mikroreliéfních prvků, typy povrchů a jejich pokrytí, druhy a rozmístění vegetace, hloubky a šířky vodních překážek, stav povrchu daný okamžitými i předchozími meteorologickými podmínkami. I v tomto případě je nezbytné všechny faktory hodnotit i s ohledem na taktickou situaci a zamýšlenou nebo prováděnou činnost.

Samostatným faktorem je vlastní situace, za které je činnost prováděna. V případě bojového nasazení se jedná zejména o taktickou situaci v prostoru danou jak činností vlastních vojsk, tak i činností protivníka. Z hlediska přírodního prostředí bylo a je vždy jedním z cílů uskupení ovládnout takové prostory, které jsou výhodné pro dané uskupení i z pohledu celého záměru činnosti, a které naopak způsobí problémy protivníkovi.

2.2 Modely chování zbraní a zbraňových systémů

Možnosti zasazení jednotek v poli je možné předem modelovat v prostředí GIS. Takové modely jsou vytvářené jak pro simulační a trenažérové technologie, s jejichž pomocí jsou cvičeni především velitelé a štáby (Hubacek, 2011), tak i pro vlastní přípravu a řízení bojových akcí.

Modely chování zbraní a zbraňových systémů v interakci s přírodním prostředím mají v zásadě tři úrovně. První úroveň je *fyzikální model*, který popisuje chování konkrétní zbraně, vozidla, letadla apod. v dílčích geografických a meteorologických podmínkách, které jsou parciálně hodnoceny. Zde se vychází z takticko-technických dat a provozních charakteristik systému. Nejvyšší úroveň fyzikálních modelů je model komplexního vlivu přírodního prostředí na danou techniku nebo systém. Fyzikální modely jsou výsledkem zkoumání (Rybansky, 2009), (Rybansky & Vala, 2010) nebo jsou uvedeny v normativních aktech (STANAG 2999, 2012).

Aby bylo možné fyzikální modely použít v prostředí geoinformačních technologií, je nutné z nich nejprve vytvořit *matematické modely*.

V matematických modelech se zohledňují nejen principy pohybu vozidel, ale bere se zde i ohled na používaná geografická a meteorologická data a na jejich charakteristiky přesnosti a spolehlivosti. Matematickým modelováním používaným v systémech velení a řízení se zabývá celá řada autorů jak v ČR, tak ve světě (De Felice & Petrillo, 2013), (D'Amico, Di Martino, & Sessa, 2013), (Hošková-Mayerová, Talhofer, & Hofmann, 2013). Při matematickém modelování je nezbytně nutné uvážit neurčitost vlastních dat danou jejich přírodními vlastnostmi nebo jejich polohovou přesností (Svatoňová, 2010), (Veregin, 1999), (Talhofer, Hoskova, Hofmann, & Kratochvil, 2009). Neurčitost dat je vhodné zahrnout do vlastních modelů, například použitím obecné teorie fuzzy množin (Zadeh, 1965). Pro aplikace fuzzy množin jsou v řadě programových systémů pro práci s geoinformací k dispozici vhodné nástroje, pomocí kterých je možné neurčitost dat řešit (Kainz, 2007), (Di Martino & Sessa, 2011), (Hofmann, Hoskova-Mayerova, & Talhofer, 2013).

Matematické modely se převádějí do *informačních modelů* zpravidla pro konkrétní výpočetní a programové prostředí, například ArcGIS firmy ESRI (ESRI, 2013). Zde je možné vytvořit komplexní procesní schémata pracující nad danými geografickými a meteorologickými daty.

Všechny modely je však nutné důsledně verifikovat pokud možno jak dílčími, tak i komplexními terénními testy. Na základě výsledků testů je nutné modely ve všech úrovních upravit tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě. V následujícím textu jsou velice stručně popsány postupy modelování pohybu vojenské techniky v terénu.

2.3 Zdroje informací o přírodním prostředí

Základní informace používané pro modelování pohybu vozidel jsou především digitální prostorové informace, které produkují oficiální složky státní správy v České republice nebo spolupracující zahraniční agentury, zejména ze států NATO. Základním důvodem je zabezpečená a průkazná kvalita dat, stálost jejich produkce a spolehlivost jejich dodání na místo, kde se data používají a v čase, kdy jsou potřebná. Z hlediska bezpečnosti není možné používat data z komerčních zdrojů.

2.3.1 Použitelné podklady v České republice

Základem pro vlastní modelování jsou prostorová data produkovaná Geografickou službou AČR (GeoSI). Jedná se zejména o digitální modely území DMÚ25 a DMÚ100. Pro hodnocení vlivu reliéfu terénu jsou využívány výškové modely ze společné produkce GeoSI a Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) označené jako DMR3, DMR4, DMR5, případně i DMP1. Jako doplňující podklad je uvažována Základní

báze geografických dat ZABAGED z produkce ČÚZK. Pro hodnocení vlivu půd jsou používána data z Účelové databáze půd zpracované GeoSI nebo podklady z České geologické služby, zejména Digitální půdní mapa 1:50 000.

Přesnost a podrobnost základních polohových databází u některých objektů neodpovídá ideálním požadavkům vytvářeného modelu. Týká se to zejména rostlinného krytu. Pro zpřesnění vlastností objektů databází jsou proto používána i obrazová data získaná jak z leteckého měřického snímkování, tak z dálkového průzkumu Země.

Meteorologická data jsou získávána z měření na meteorologických stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a jsou doplňována vlastním měřením polními meteorologickými stanicemi. Pro predikci vývoje synoptické situace jsou využívány numerické meteorologické modely, nejčastěji model ALADIN.

2.3.2 *Použitelné podklady pro zahraničí*

Územní rozsah civilních geografických i tematických podkladů je omezen přesně hranicí ČR, vojenské podklady jsou dostupné i několik kilometrů za stání hranici. Pro modelování na zahraničním prostoru je proto nutné použít data místních organizací (v případě společných cvičení nebo společných akcí) nebo data ze společných programů, například polohová data z projektu Multinational Geospatial Co-production Program (MGCP) (IGW, 2012) nebo výšková data z projektu Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) (JPL, 2015). Meteorologická data je možné získat vlastním měřením, zpravidla polními meteorologickými stanicemi. Pro predikci vývoje synoptické situace je možné využít ověřený numerický celosvětový model, například Model Arpege¹ nebo Model ECMWF².

2.3.3 *Hodnocení kvality dat*

Zásadním požadavkem pro výchozí geografické podklady modelování je znalost jejich kvality a spolehlivosti. Při hodnocení kvality je možno vyjít z obecného schématu komponent kvality, ve kterém se hodnotí jak výrobně technologické aspekty, které se projeví v technické funkčnosti, tak aspekty provozní, bezpečnostní a ve vztahu ke konkrétnímu užití výrobku nebo služby i aspekty spolehlivosti.

¹ Zdroj <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article121&lang=en>

² The European Centre for Medium-Range Weather Forecast, zdroj <http://www.ecmwf.int/en/forecasts>

Při hodnocení prostorových dat a informací je nutné uvedené pojetí kvality modifikovat s ohledem na polohovou determinaci modelovaných objektů a jevů. Většina systémů hodnocení prostorových dat a informací hodnotí technické parametry dat či technologické vlivy při jejich sběru. Zde je však nutné aplikovat i uživatelské aspekty dat a informací, při nichž se hodnotí i jejich užitná hodnota daná kvalitou informací.

Obecně je nutné při formulování problému hodnocení kvality prostorových dat a výsledné geoprostorové informace vyjít z doporučení mezinárodních organizací typu ISO, OGC a DGIWG (DGIWG-103, 2008), které se dlouhodobě věnují rozvoji geoinformatiky, a doporučení směrnice INSPIRE (CENIA, 2011).

Jako technické parametry dat lze hodnotit přesnost polohové informace, často dané střední polohovou chybou nebo střední chybou v jednotlivých souřadnicových osách. Hodnocení tematické informace závisí na jejím charakteru, tedy na tom, zda se jedná o kvalitativní nebo kvantitativní údaje. Hodnocení uživatelských aspektů vychází z požadavků stanovených uživatelem a stupněm jejich plnění (Talhofer, Hoskova, Hofmann, & Kratochvíl, 2009). Pomocí systému hodnocení těchto uživatelských aspektů je potom možné vybrat pro řešení taková data, která přinášejí maximální efekt (Talhofer V. , 2002).

2.4 Fyzikální modelování průchodnosti terénu

Fyzikální modelování pohybu vozidel v terénu vychází jak z domácích, tak i zahraničních prací. V rámci České republiky se zejména Rybanský dlouhodobě věnuje se svými spolupracovníky analýze a ověřování vlivu jednotlivých geografických prvků na pohyb vozidel. Zpracoval základní teorii tohoto modelování (Rybansky, 2009) a na jejím základě i metodiky pro posuzování vlastností vojenské techniky, jak kolové (Rybanský, 2010a), tak pásové (Rybanský, 2010b). Na podobném principu jsou založené i postupy používané zejména v pozemních silách USA, které jsou vyvíjené v US Army Engineer Research Development Centre (ERDC).

Podstatou fyzikálního modelu jsou jízdní vlastnosti daného typu vozidla. Ty jsou dané řadou technických parametrů (takticko-technických dat, TTD). Mezi ty nejzákladnější patří:

- rozměry a hmotnost vozidla;
- výkonnostní parametry motoru;
- typ konstrukce podvozku (pásy, kola);
- počet a druh pneumatik, resp. šířka pásu a velikost jejich účinné plochy;

- stoupavost, překročivost, nájezdové úhly, podélný a příčný náklon a mnoho dalších.

TTD jsou sice deklarovány výrobcem, resp. dodavatelem techniky, ale před zavedením techniky do provozu jsou ověřovány a doplňovány tzv. vojskovými zkouškami.

Skutečné aktuální jízdní vlastnosti konkrétního vozidla jsou navíc dány stavem pohonných jednotek, podvozkových skupin, pneumatik nebo pásů. Neméně důležitým faktorem jsou i zkušenosti řidiče a jeho aktuální psychická a fyzická kondice.

Jízdní vlastnosti se v terénu projeví ve schopnostech vozidla pohybovat se v konkrétním prostředí při konkrétních vnějších okolnostech. Tato schopnost je úzce svázána s konfigurací terénu a vlastnostmi jeho jednotlivých složek. Všechny terénní prvky a jevy svým působením a vzájemným prolínáním utváří specifický ráz terénu nebo krajiny. Řada prvků je vzájemně provázána, a i jejich vliv na pohyb vozidel je tedy nezbytné řešit v komplexním pohledu na terén. Pokud bude například uvažován vliv vegetace na mobilitu vozidel, vždy je třeba zohledňovat i vliv reliéfu, půd a dalších prvků ovlivňujících vegetační skladbu. Takto komplexní pohled je ale značně složitý a pro vlastní modelování je vhodné rozdělit vliv prostředí na pohyb vozidel na jednotlivé složky a z výsledných dat vytvořit vlastní modely pomocí syntézy těchto dat.

Podle (Rybansky, 2009) je možné vlivy krajiny vstupující do modelu pohybu vozidel popsat dílčími faktory a ty vyjádřit jako koeficienty zpomalení daného typu vozidla ve vztahu k jeho maximální rychlosti na zpevněné komunikaci (Tabulka 1):

Tabulka 1 Hlavní koeficienty zpomalení

Hlavní koeficient	Geografický význam a vliv
C_1	Reliéf terénu (sklon svahů, mikroreliéfní tvary)
C_2	Vegetační kryt
C_3	Půdy a půdní kryt
C_4	Meteorologické a klimatické podmínky
C_5	Hydrologie
C_6	Zastavěná území
C_7	Komunikační síť

Všechny hlavní koeficienty jsou členěné do dílčích koeficientů popisujících detailně parciální vlivy přírodního prostředí. Jednotlivé koeficienty $C_1 - C_7$ se vypočítají vhodnou funkcí z dílčích koeficientů v každé skupině a výsledný koeficient je funkcí takto získaných koeficientů, přičemž nabývá

hodnot 0 - 1. Výsledná modelová rychlost pohybu vozidla je kromě maximální rychlosti vozidla funkcí všech zmíněných koeficientů:

$$v = f(v_{max}, C_1, C_2, \dots C_7) \quad (1)$$

Pro analýzu vlivu geografických faktorů na pohyb techniky bylo nutné nejprve provést jejich detailní klasifikaci a stanovit výchozí hodnoty koeficientů zpomalení vlivem jednotlivých faktorů. Pro verifikaci této klasifikace byly postupně prováděny rozsáhlé testy v terénu zaměřené na měření únosnosti půd, testy na schopnosti vozidel překonávat různé překážky a zdolávat porosty, zejména stromy a husté keře. Hlavní výsledky z experimentů jsou naměřené a vypočtené hodnoty koeficientů zpomalení vojenských vozidel při překonávání různých typů reliéfu a překážek (Rybansky, 2009).

2.5 *Matematické modelování*

Matematický model vychází z výše popsaného fyzikálního modelu a parametrů kvality používaných podkladových dat. Vzhledem k tomu, že modely pohybu vozidel je nutné řešit nad daty s různou kvalitou, a to jak na území ČR (např. základní topografická data vs. pedologická data), tak v zahraničí, byl navržen model výpočtu jednotlivých koeficientů zpomalení vycházející z teorie fuzzy množin, protože umožňují optimalizovat výpočty s neurčitými prvky jak v poloze, tak i v jejich charakteristikách (Zadeh, 1965), (Kainz, 2007).

Příklad použití fuzzy množin je ukázán na následujících obrázcích. Pro stanovení hodnoty koeficientu zpomalení vlivem povrchu jsou uvažovány jak komunikace, tak i volný terén. V použité databázi DMÚ25 jsou informace o šířce komunikací pouze u dálnic a silnic, u polních lesních cest je zaznamenána pouze jejich osa, i když je jejich šířka zpravidla 4 m. V případě, že je pro další výpočty nutné transformovat vektorový záznam cest do rastrového formátu (v tomto případě o velikosti pixelu 1m), je cesta modelována jako sled pixelů s informací „cesta“ a mimo ně je v ostatních pixelech rastrového pole informace „není cesta“. Tímto způsobem se získají tzv. ostré množiny. Z obrázku (Obrázek 8) je ale zřejmé, že tento přístup neodpovídá realitě, protože záznam skutečné polohy vozidla, i když se pohybovalo po cestě, je velice často mimo model cesty.



Obrázek 8 Zobrazení rastrového formátu záznamu cesty v superpozici s ortogonalizovaným leteckým snímkem. Červené body jsou záznamem polohy vozidla PANDUR II při terénních testech.

Vzhledem k faktu, že sice nelze z dat uložených v databázi přesně stanovit skutečnou polohu cesty, její pravděpodobná poloha leží vpravo i vlevo od této osy do vzdálenosti 5 metrů. Pro řešení problému identifikace polohy cesty je možné použít fuzzy množinu. Hodnota příslušnosti pixelů k cestě bude maximální v ose cesty a bude klesat vpravo i vlevo od ní do vzdálenosti uvedených 5 metrů. Hranice 5 metrů vpravo a vlevo od cesty byla stanovena na základě zařazení cesty do dané skupiny přesnosti geometrie objektů upřesněném kódem ACC, který je zde 5 (VGHMÚř, 2015)). Výsledek transformace polohy cesty na fuzzy množinu ukazuje následující obrázek (Obrázek 9).



Obrázek 9. Superpozice přepočítané cenové mapy pomocí fuzzy množin (šedá škála), zaznamenané polohy vozidla PANDUR II a ortogonalizovaného leteckého snímku.

Při vlastním výpočtu jednotlivých koeficientů zpomalení se berou v úvahu zpravidla tři základní limity – terén je z hlediska daného parametru plně průchodný (koeficient zpomalení je 0), omezeně průchodný (koeficient zpomalení je větší než 0 a menší než 1) nebo plně neprůchodný (koeficient zpomalení je 1). Klasifikace průchodnosti v omezeně průchodném terénu je úměrná právě rozptylu hodnot daného parametru v rámci deklarované polohové i tematické přesnosti. Příkladem tohoto řešení je například výpočet koeficientu C_1 – reliéf terénu (Hofmann, Hoskova-Mayerova, & Talhofer, 2013).

Koeficient C_1 je velmi komplexní, zahrnuje jak vliv sklonu svahu, tak i vliv mikroreliéfu (příkopy, náspy, terénní stupně apod.). Sklon svahu je jednou ze vstupních vrstev a může být, tak jako v tomto případě, připraven mimo vlastní výpočet faktoru. Výpočet se dělí na několik větví.

V první větvi je fuzzyfikace počítána přímo z hodnot sklonu (vyjádřených ve stupních). Pro výpočet byla brána mezní hodnota sklonu pro vybraný dopravní prostředek α . Podmínky pro fuzzyfikaci jsou vyjádřeny rovnicí:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ \frac{x}{\alpha}, & 0 < x < \alpha \\ 1, & x \geq \alpha \end{cases} \quad (2)$$

kde $\mu(x)$ je funkce příslušnosti k fuzzy množině sklonu pro velikost sklonu x v konkrétním pixelu.

Další větve výpočtu se týkají mikroreliéfu. Vstupními vrstvami jsou bodové, liniové a plošné výškové překážky, které jsou limitní pro daný typ vozidla. U každé z nich je počítána Euklidovská vzdálenost a z ní hodnota příslušnosti k množině $\mu(x)$.

Pro polohu bodových objektů je příslušnost k množině počítána v Euklidovské vzdálenosti x metrů s následujícími podmínkami:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ \frac{d-x}{d}, & 0 < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

kde d je limitní vzdálenost od uložené polohy bodové překážky dané na základě třídy přesnosti konkrétního objektu. Pokud je hodnota $\mu(x) \neq 0$, jsou sledovanými parametry vlastnosti objektu, v tomto případě hloubka nebo výška objektu. Fuzzyfikace pro oba parametry je určena s těmito podmínkami:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ \frac{h-x}{h}, & 0 < x < h \\ 1, & x \geq h, \end{cases} \quad (4)$$

kde h je mezní hodnota, kterou je vozidlo schopno překonat a x je skutečná hloubka nebo výška překážky.

U liniových objektů jsou příslušnosti počítány rovněž pro hloubku a výšku, kromě toho je uvažována i šířka objektu. Podmínky pro fuzzyfikaci jsou pro Euklidovskou vzdálenost x :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ \frac{e-x}{e}, & 0 < x < e \\ 1, & x \geq e, \end{cases} \quad (5)$$

kde e je mezní šířka překážky.

Podobným způsobem jsou řešeny všechny další podmínky pro dané vozidlo.

2.6 Modelování v prostředí GIS

Vytvořený informační model v aktuální verzi vychází ze standardních dat resortu Ministerstva obrany ČR a je doplněný podklady z ČÚZK a České geologické služby. U všech použitých podkladů byly do výpočtů zahrnuty i jejich deklarované hodnoty ukazatelů kvality.

Pro potřeby modelování byla použita základní polohová databáze DMÚ25 a čtyři výškové modely – DMR3, DMR4, DMR5 a SRTM. DMR3 je výškový model s pravidelně rozmístěnými výškovými body v síti 10x10 metrů, DMR4 je obdobný model s pravidelně rozmístěnými výškovými body v síti 5x5 metrů, DMR5 je model s nepravidelnou trojúhelníkovou sítí (TIN). DMR4 a DMR5 jsou nejnovější modely vytvořené z leteckého laserového skenování v letech 2009-2013. SRTM je výškový model s polohovým rozlišením 1x1", tedy na území ČR zhruba 30x30 metrů. Poslední použitou databází byla Účelová databáze půd (ÚDP). Všechny databáze byly lokalizovány v geodetickém souřadnicovém systému WGS84, v zobrazení UTM a ve výškovém systému Balt po vyrovnání.

Základní hodnoty kvality použitých dat, ze kterých vycházely výpočty koeficientů zpomalení, jsou uvedeny v následujících tabulkách. Geometrie objektů DMÚ25 zaznamenává polohu objektů ve dvou základních skupinách přesnosti – 5 a 15, což odpovídá deklarované přesnosti se střední polohovou chybou 5 m a 15 m. Tato všeobecná deklarace je však u každého objektu

zpřesňována kódem ACC, který informuje o skutečné kvalitě horizontálního vymezení (Tabulka 2).

Tabulka 2 Tabulka atributů objektů a jejich hodnot – část (VGHMÚř, 2015)

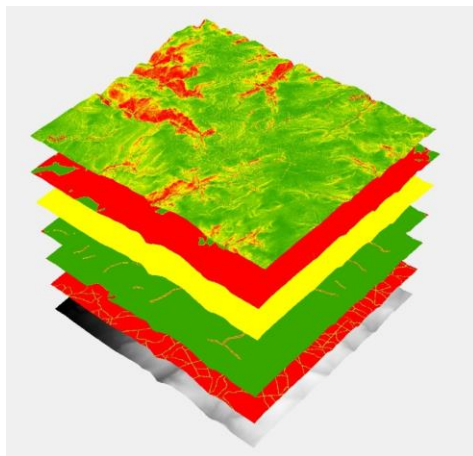
Kód	Název	Výčet hodnot	Poznámky
ACC	kvalita horizontálního vymezení	001 přesné	vyhovuje kritériu produktu
		002 přibližné	překračuje tolerance produktu
		003 nejisté	poloha odhadnuta
		007 precizní	Poloha řádově přesnější, než požadavek produktu

Výškové modely jsou charakterizovány následující parametry přesnosti výšek daných jejich středními chybami (Tabulka 3):

Tabulka 3 Charakteristiky přesnosti použitých výškových modelů (zdroje (VGHMÚř, 2015), (ČÚZK, 2016))

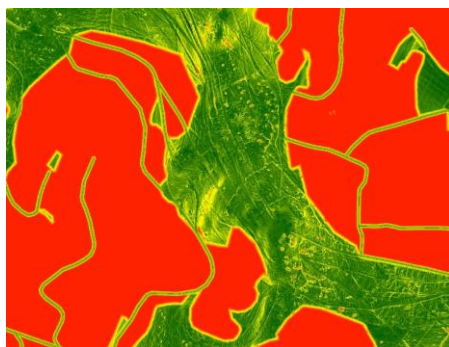
Výškový model	Struktura	Střední chyba výšky		
		Odkrytý terén	Sídla	Zalesněný terén
SRTM	Pravidelná síť bodů 1 x 1"	16 m	16 m	16 m
DMR3	Pravidelná síť bodů 10 x 10 m	1-2 m	1-2 m	3-7 m
DMR4	Pravidelná síť 5 x 5 m	0,3 m	neuvedeno	1 m
DMR5	TIN	0,18 m	neuvedeno	0,3 m

Vlastní informační model byl zpracován v programovém systému ArcGIS verze 10.2 s využitím jeho vestavěných nástrojů včetně nástroje pro tvorbu procesů ModelBuilder. Výsledkem informačního modelu jsou tzv. „cenové mapy“ (cost maps, CM), rastrové soubory, jejichž obsahem je komplexní vyhodnocení koeficientů zpomalení pro daný typ vojenské techniky. Dílčí cenové mapy jsou nejprve vytvářeny pro jednotlivé koeficienty zpomalení, v nichž je v každém pixelu rastrového pole počítána hodnota příslušnosti k množině $\mu(x)$ pro daný faktor. Na obrázku (Obrázek 10) je schematická ukázka dílčích cenových map pro hlavní koeficienty zpomalení vypočítané pro kolový obrněný transportér PANDUR II z prostoru vojenského újezdu Libavá.



Obrázek 10 Ukázka dílčích cenových map jednotlivých hlavních koeficientů zpomalení. Barevná škála je volena od zelené (průchodný terén) po červenou (neprůchodný terén).

Z jednotlivých dílčích cenových map je vhodnou variantou funkce FuzzyOverlay vypočítána celková cenová mapa pro daný typ vozidla. Na následujícím obrázku (Obrázek 11) je ukázka výřezu cenové mapy pro vozidlo PANDUR II z téhož prostoru.



Obrázek 11 Výřez cenové mapy pro vozidlo PANDUR II

Cenová mapa umožní zejména posoudit, zda je daný prostor pro danou techniku průchodný, obtížně průchodný nebo neprůchodný. Nad cenovou mapou je však možné řešit řadu prostorových úloh, jako je například výpočet optimální trasy ve volném terénu, optimální rozmístění prostředků pro zatarasování průchodů apod.

Cenová mapa je ale pouze statickým podkladem, který umožní posoudit, zda dané vozidlo má z hlediska jeho technických vlastností schopnosti pohybovat se na daném úseku terénu. Vlastní pohyb konkrétního vozidla na daném úseku je však výrazně ovlivněn i schopnostmi řidiče vozidlo ovládat, stejně jako jízdou vozidla na předchozích úsecích. Nicméně je nutné, aby vlastní cenová mapa, resp. model pohybu vozidla po terénu, co možná nejpřesněji vyjadřovaly chování vozidla v reálných podmínkách.

3. Verifikace modelů

Aby bylo možné posoudit vytvořené komplexní modely pohybu vozidel, byly podrobeny zatím dvěma komplexním verifikačním testům. Cílem verifikace modelů bylo ověřit chování celého modelu v reálném prostředí, v němž se jednotky Armády České republiky nacházejí nebo se nacházet mohou. Testování se uskutečnila ve Vojenském újezdu (VÚj) Březina (2014) a VÚj Libavá (2015). Na následujících obrázcích jsou prezentovány testovací prostory.



Obrázek 12 Testovací prostor ve VÚj Březina (použitá podkladová data (ČÚZK, 2015))



Obrázek 13 Testovací prostor ve VÚj Libavá (použitá podkladová data (ČÚZK, 2015))

Základním cílem testů bylo především zjistit, do jaké míry jsou výsledky modelování pomocí výše uvedených fyzikálních, matematických a informačních modelů použitelné v reálném nasazení v rozhodovacích procesech v SVŘ. Základní cíl byl doplněn několika vedlejšími cíli, které měly specifikovat dílčí koeficienty všeobecných schopností řidičů a jejich schopnosti jet za ztížených podmínek v noci při použití světel i přístrojů pro noční vidění, a dále precizovat koeficient meteorologických podmínek. Cílem byla i kontrola kvality podkladových geografických dat pomocí nezávislých terénních měření.

3.1 Přípravná fáze

V přípravné části testů byly vypočítány cenové mapy z daných prostorů pro každé testované vozidlo, které měl tým k dispozici. V rámci testů byla ověřována následující technika:

- osobní terénní automobily UAZ 469 (UAZ) a LR 110 (LR),
- střední nákladní automobil TATRA 810 6x6 (T810),
- těžký nákladní automobil TATRA 815 8x8 (T815),
- kolový obrněný transportér PANDUR II (PII),
- lehké obrněné vozidlo IVECO (IV),
- obrněné vozidlo pěchoty BVP 2 (BVP),
- střední tank T-72M4 CZ (T72).

K výpočtu cenových map byla použita takticko-technická data vozidel (viz Tabulka 4):

Tabulka 4 Vybraná takticko-technická data použitých vozidel

Typ vozidla	UAZ	LR	T810	T815	PII	IV	BVP	T72
Délka [m]	4,02	4,62	7,49	8,95	7,84	4,80	6,73	10,45
Šířka [m]	1,80	1,79	2,55	2,50	2,77	2,20	3,15	3,62
Výška [m]	2,05	2,06	3,36	3,95	3,77	2,92	2,45	2,99
Hmotnost [kg]	2400	3500	13000	25700	20800	7100	14000	48000
Max. stoupavost [°]	30	30	30	29	30	30	35	30
Překročivost [m]	-	-	0,9	0,9	2,2	0,6	2,5	2,7
Max. rychl. na silnici [kmh ⁻¹]	105	129	101	85	95	110	65	61

Pro zjištění vlivu parametrů různých dat, zejména výškopisných, byly použity jejich různé kombinace, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 5).

Tabulka 5 Kombinace použitých dat

Kód kombinace dat	Použitá data
KSRTM*	DMÚ25 + SRTM
K3	DMÚ25 + DMR3 + ÚDP
K4	DMÚ25 + DMR4 + ÚDP
K5	DMÚ25 + DMR5 + ÚDP

* Pozn. Tato kombinace byla použita pouze pro vyhodnocení vlivu reliéfu terénu.

Výsledkem bylo 49 různých cenových map, v nichž v každém pixelu byla hodnota výsledného modelového koeficientu zpomalení.

3.2 Polní testy

Polní testy probíhaly 6. a 7. května 2014 (VÚj Březina) a 4. – 7. května 2015 (VÚj Libavá). Před první jízdou bylo každé vozidlo důkladně zdokumentováno a pomocí dynamometrie byly změřeny jeho okamžité výkonové charakteristiky (Obrázek 14). Stejně tak byly zaznamenány potřebné charakteristiky všech řidičů (vojáků z povolání), zejména jejich věk a doba, po kterou s vozidlem jezdí.



Obrázek 14 Ukázka měření výkonových parametrů vozidla BVP2 (foto P. Zerzán)

V testovacím prostoru v místech s typickými půdními druhy byly odebírány půdní vzorky pro verifikaci databáze půd. V laboratorních podmínkách bylo u těchto vzorků analyzováno jejich skutečné složení a měřena jejich vlhkost. Rovněž v průběhu testů byly měřeny okamžité meteorologické prvky – teplota, tlak a vlhkost vzduchu, srážky, směr a rychlost větru, dohlednost a intenzita světla.

Během vlastního testu projíždělo každé vozidlo zadanými body, resp. zadaným směrem několikrát v různých denních dobách a s rámcovým dodržováním vytyčené trasy. Skutečně projeté trasy byly zaznamenány přijímači GPS v bodovém režimu s časovým intervalem 1 sekundy. Pro záznam byly použity tři přijímače GPS Trimble s externí anténou – Geoxplorer XT, XT3000 a XT6000 vybavené software TerraSync (Obrázek 15).



Obrázek 15 Příklad umístění externí antény přijímače GPS Trimble na vozidle LR 110 (foto P. Zerzán)

Naměřená data byla později v postprocessingu korigována s využitím sítě permanentních referenčních stanic CZEPOS a pomocí software PathFinder.

Celkem bylo uskutečněno v prostoru VÚj Březina 34 jízd s délkou 7 až 8 km, v prostoru VÚj Libavá 59 jízd s délkami mezi 6 až 15 km.



Obrázek 16 Vozidlo IVECO během testů (foto P. Zerzán)

3.3 Analýza naměřených dat

Soubory naměřených dat obsahují desetitisíce záznamů, které je nutné podrobně vyhodnotit. V dalším textu jsou proto uvedeny pouze dílčí výsledky vyhodnocení kvality celého systému výpočtu koeficientů zpomalení.

Z korigovaných dat získaných měřeními GPS byly získány diskrétní body projetých tras, kde u každého bodu byly uvedeny okamžité hodnoty jejich souřadnic ve WGS84/UTM, času UTC, ujeté vzdálenosti, horizontální rychlosti a rychlosti na fyzickém povrchu. Tyto body byly transformovány do rastrového formátu o velikosti pixelu 1x1 metr s hodnotou pixelu horizontální rychlost.

S využitím mapové algebry byly zjišťovány rozdíly mezi modelovanou a skutečnou rychlostí daného vozidla v dané kombinaci dat (v dané cenové mapě). V následující tabulce (Tabulka 6) jsou uvedeny příklady charakteristik projetých a vyhodnocených tras.

Tabulka 6 Rozdíly mezi modelovanou a skutečnou rychlostí testovaných vozidel

Testované vozidlo	ID GPS dat	Průměrná odchylka [kmh ⁻¹]	Střední odchylka [kmh ⁻¹]
UAZ 469	1808	18.72	11.32
	0841	24.28	9.50

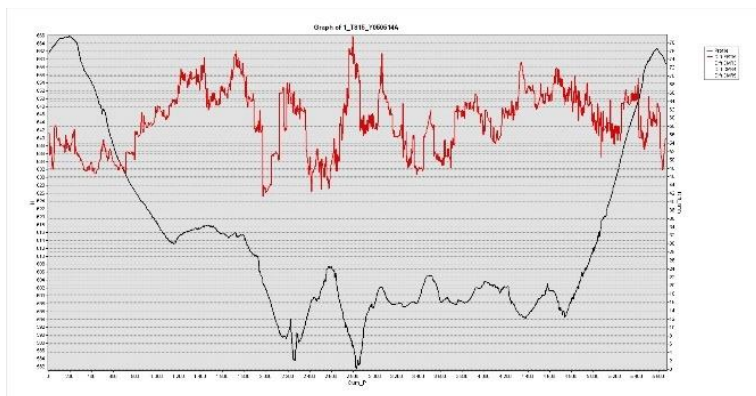
Testované vozidlo	ID GPS dat	Průměrná odchylka [kmh ⁻¹]	Střední odchylka [kmh ⁻¹]
TATRA 810	0923	25.33	7.97
	2009	12.09	14.01
	2100	18.17	12.64
	1730	22.29	13.54
	0900	24.91	6.37
	1445	18.47	12.70
PANDUR II	2136	27.66	8.27
	0918	25.71	14.29
	1024	25.91	14.39
	1938	20.18	15.51
BVP 2	2106	21.67	15.67
	1650	22.12	8.72
	0936	15.59	8.24
	1546	9.27	21.70
T 72	2133	10.74	9.49
	1728	19.07	8.06
	0945	16.56	8.33
	1421	15.01	9.73
	2110	16.96	7.89

K zobrazení prostorového rozložení odchylek rychlosti je možné použít graf odchylek se zobrazeným profilem reliéfu terénu. Jako příklad byla zvolena trasa vozidla TATRA 815, které se pohybovalo jak po zpevněné cestě, tak volným terénem pokrytým řídkými křovinami. Délka trasy byla 5,7 km. Ukázka trasy je na obrázku (Obrázek 17).

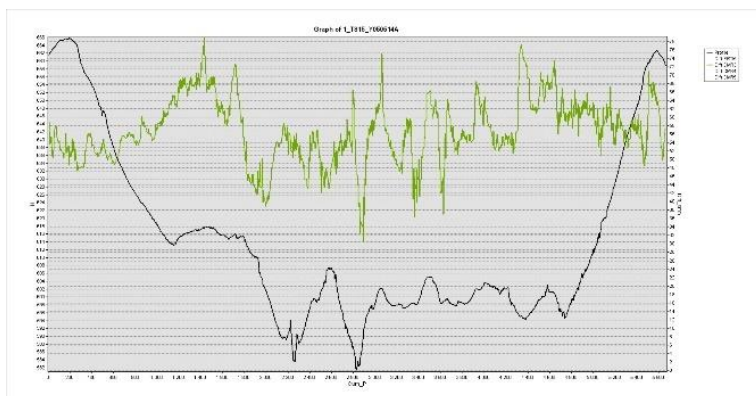


Obrázek 17 Zaznamenaná trasa vozidla T815, 5. 5. 2015, VÚJ Libavá (podklad ortofoto (ČÚZK, 2015))

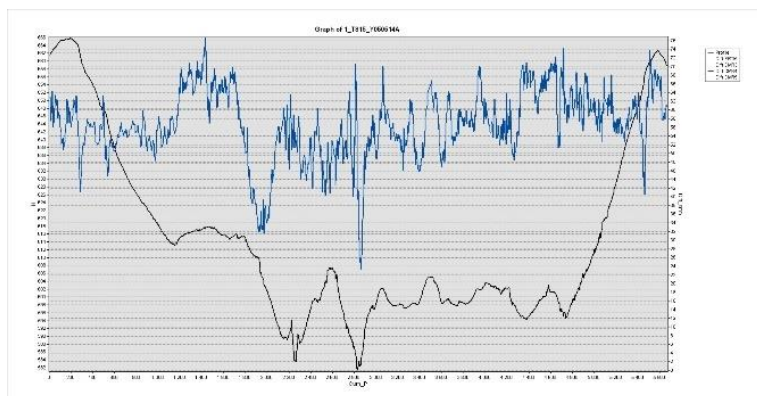
Na následujících obrázcích jsou uvedeny odchylky rychlostí pro jednotlivé kombinace dat.



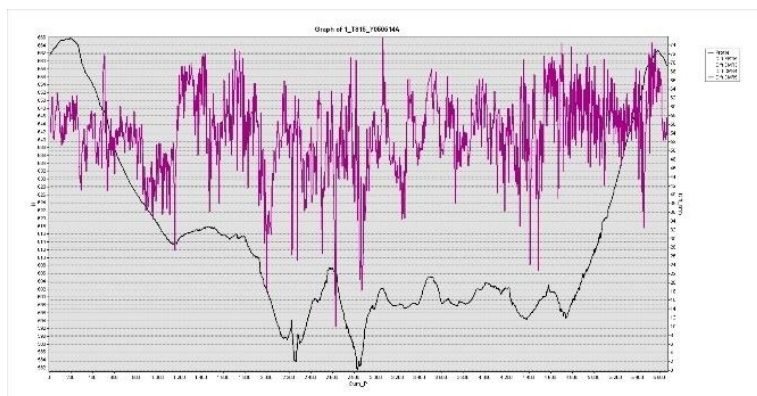
Obrázek 18 Odchylky modelových a skutečných rychlostí vozidla T815 v datové kombinaci KSRTM



Obrázek 19 Odchylky modelových a skutečných rychlostí vozidla T815 v datové kombinaci K3



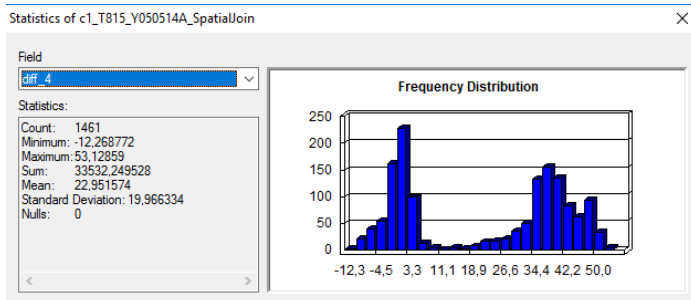
Obrázek 20 Odchyly modelových a skutečných rychlostí vozidla T815 v datové kombinaci K4



Obrázek 21 Odchyly modelových a skutečných rychlostí vozidla T815 v datové kombinaci K5

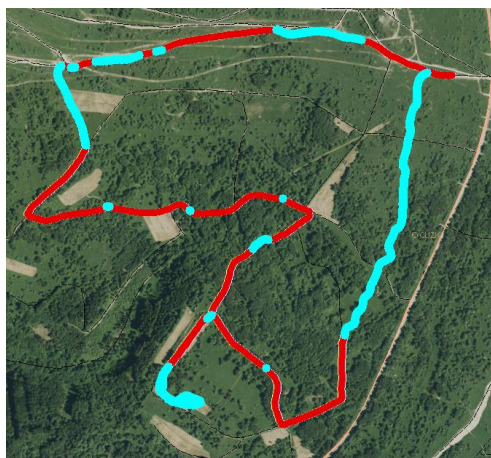
Z grafů je zřejmé, že zvyšování přesnosti výškového modelu současně zvyšuje rozptyl diferencí rychlostí, protože model pohybu počítá koeficienty zpomalení s vyšším detailem. Pokud však koeficienty nejsou správně určeny, jejich nepřesnost se projeví právě ve větším rozptylu diferencí.

K pochopení příčin rozdílů je nutné zkoumat jejich statistické rozložení, jejichž ukázka je na následujícím obrázku (Obrázek 22).



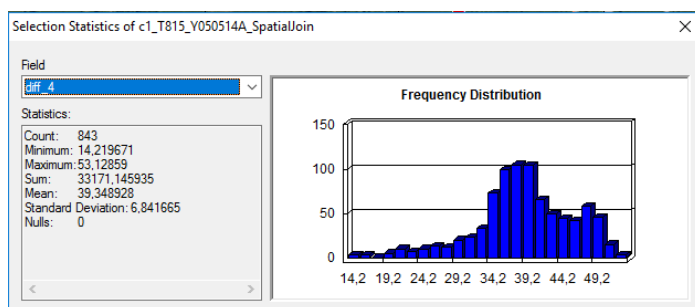
Obrázek 22 Histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí (T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá, kombinace dat K4)

Podobná rozložení odchylek rychlostí jsou patrná i při použití zbylých datových kombinací. Rozložení odchylek vykazují dva výrazné lokální extrémy. Pro identifikaci příčin vzniku lokálních extrémů byla provedena analýza prostorů, ve kterých odchylky dosahují typických hodnot. Na následujícím obrázku jsou vybrány úseky, kde vozidlo projíždělo volným terénem (Obrázek 23).

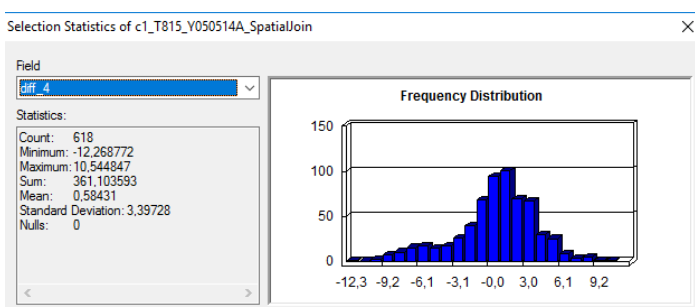


Obrázek 23 Úseky trasy vozidla T815 s různým povrchem – zpevněná cesta (červené body), volný terén s řídkými křovinami (modré body) (podklad ortofoto (ČÚZK, 2015))

Rozložení četností odchylek mezi modelovanou a skutečnou rychlostí v těchto úsecích v datové kombinaci K4 je zřejmé z následujících grafů:



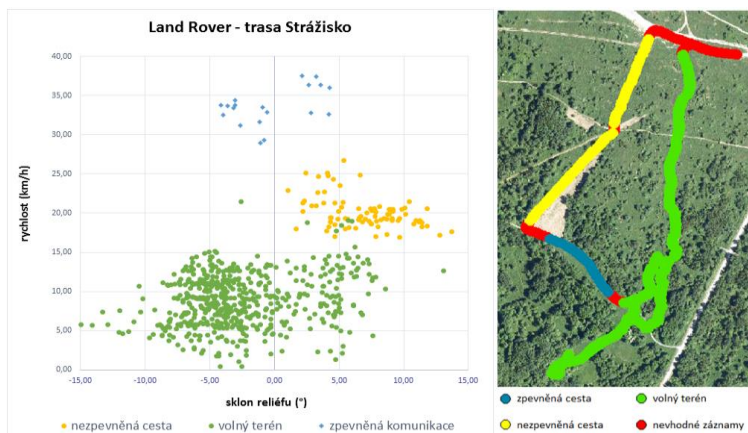
Obrázek 24 Histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí na zpevněných cestách (T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá, kombinace dat K4)



Obrázek 25 Histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí ve volném terénu (T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá, kombinace dat K4)

Obdobné rozložení je i u zbylých datových kombinací. Rozložení ukazují na poměrně vysokou shodu koeficientů zpomalení ve volném terénu, pro zpevněné komunikace je však nutné koeficienty zpřesnit.

Pro zpřesnění koeficientů zpomalení na komunikacích byly vybrány části tras projížděných po různých typech povrchů. Tyto úseky se vybíraly a rozčleňovaly především podle zkušeností z předchozích testů a také ze vzhledu cesty na leteckých snímcích. Příklad rozčlenění úseků je na obrázku (Obrázek 26). Na jednotlivých úsecích byla analyzována skutečná rychlost současně se sklonem svahu, na kterém byl daný záznam učiněn. Z této analýzy je opět vidět poměrně velká shoda modelované a skutečné rychlosti ve volném terénu a její malá závislost na sklonech svahů v prostoru testování. Pro zpevněné cesty byly měřeny rychlosti kolem 35 kmh^{-1} , kdežto modelová rychlost na těchto úsecích, která odpovídá jak fyzikálnímu modelování, tak TTD vozidla dosahovala kolem 65 kmh^{-1} .



Obrázek 26 Ukázka datové analýzy pro zpřesnění koeficientů zpomalení pro vozidlo LR110 (podklad ortofoto (ČÚZK, Prohlížeč služba WMS - Ortofoto, 2015))

4. Výhledy do budoucna, cíle modelování

Prezentovaná část modelu průchodnosti terénu ukázala metodický postup pro jeho další řešení. V dalším období bude nutné důsledně verifikovat další faktory na základě pokračujících terénních měření a komplexních verifikačních testů. Stejně jako budou pokračovat práce na analýze dat a hledání souvislostí mezi jednotlivými vlivy na pohyb techniky v terénu.

V současné době je řešení tohoto modelu součástí řešení rozvojového projektu na Univerzitě obrany, kde probíhají zásadní teoretické práce, jsou zde prováděna pravidelná měření vlastností přírodního prostředí, jak fyzickogeografického a socioekonomického, tak vlastností atmosféry. Řešitelský tým organizuje i verifikační testy, na nichž se podílejí složky Armády České republiky, zejména jednotky ze 7. mechanizované brigády, Vojenské akademie Vyškov a složky Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu.

V roce 2017 je předpokládána implementace pilotní spustitelné verze modelu omezené na modelování vlivu reliéfu terénu s možností volby typu techniky. Pilotní verze bude vytvořena ve spolupráci s Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem pro potřeby všech armádních složek a bude dostupná v aplikaci MapyAČR v prostředí vojenského intranetu – celoarmádní datové síť. Po zkušenostech s pilotní verzí a podle postupu prací na verifikaci komplexního modelu bude připraven i tento model do provozního nasazení.

Vzhledem k doplňování armády novými nebo modernizovanými typy pozemní techniky, bude nutné zavést i tuto techniku do modelu a model pro ni verifikovat.

Navržený model má však i své uplatnění v civilním životě. Zejména jednotky Hasičského záchranného sboru používají podobnou techniku jako armáda, zvláště terénní. Proto je možné všechny dosažené výsledky aplikovat i pro podobné úlohy řešené v rámci činnosti jednotek Integrovaného záchranného systému.

5. Citovaná literatura

- CENIA. (2011). *INSPIRE - IN*frastructure for *SP*atial *IN*foRmation in Europe. (CENIA, česká informační agentura životního prostředí) Získáno 23. 12 2011, z inspire.gov.cz/o-inspire: <http://inspire.gov.cz/o-inspire>
- ČÚZK. (2015). *Prohlížečí služba WMS - Ortofoto*. Načteno z http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx?
- ČÚZK. (2016). *Geoportál ČÚZK - Datové sady*. Načteno z Geoportál ČÚZK: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(rv2s41gi1o4yf0jpgzej2moj\)\)/Default.aspx?he](http://geoportal.cuzk.cz/(S(rv2s41gi1o4yf0jpgzej2moj))/Default.aspx?he)
ad_tab=sekce-02-
gp&mode=TextMeta&text=dSady_uvod&menu=20&news=yes
- D'Amico, P., Di Martino, F., & Sessa, S. (2013). A GIS as a Decision Support System for Planning Sustainable Mobility in a Case-Study. In A. Ventre, A. Maturo, S. Hoskova-Mayerova, & J. Kacprzyk (Eds.), *Multicriteria and Multiagent Decision Making with Applications to Economics and Social Sciences* (Studies in Fuzziness and Soft Computing ed., pp. 115-128). Berlin Heidelberg, Germany: Springer Verlag.
- De Felice, F., & Petrillo, A. (2013). Decision Making Analysis to Improve Public Participation in Strategic Energy Production Management. In A. Ventre, A. Maturo, S. Hoskova-Mayerova, & J. Kacprzyk (Eds.), *Multicriteria and Multiagent Decision Making with Applications to Economics and Social Sciences* (Studies in Fuzziness and Soft Computing ed., pp. 129-142). Berlin Heidelberg, Germany: Springer Verlag.
- DGIWG-103. (2008). *Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST) - Metadata Profile of ISO19115 and ISO 19139* (2.0.0 - 16 December 2008 ed.). DGIWG.
- Di Martino, F., & Sessa, S. (2011). Spatial Analysis and Fuzzy Relation Equations. *Advances in Fuzzy Systems*, 2011, p. 14.
- ESRI. (2013). User documentation. Copyright © 1995–2013 Esri.
- Hofmann, A., Hoskova-Mayerova, S., & Talhofer, V. (2013). Usage of fuzzy spatial theory for modelling of terrain passability. *Advances in Fuzzy Systems*, 2013, 13.

- Hošková-Mayerová, Š., Talhofer, V., & Hofmann, A. (2013). Decision-Making Process with Respect to the Reliability of Geo-Database. In A. G. Ventre, A. Maturo, Š. Hošková-Mayerová, & J. Kacprzyk, *Multicriteria and Multiagent decision Making with Applications to Economics and Social Sciences*. (Studies in Fuzziness and Soft Computing ed., pp. 179-195). Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- Hubacek, M. (2011). Geoinformatics in support of simulators training. *Proceedings of 19th International Conference Geography and Geoinformatics: Challenge for Practise and Education*. (pp. 419-426). Brno: Masaryk University, Faculty of Education.
- IGW. (2012). *Multinational Geospatial Co-production Program*. Získáno 11 2016, z IGW - MGCP: <https://www.mgcp.ws/web/guest>
- JPL, N. (2015). *Shuttle Radar Topography Mission*. Načteno z NASA - Jet Propulsion Laboratory: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- Kainz, W. (2007). *Fuzzy Logic and GIS*. Vienna, Austria: University of Vienna.
- Legions, R. (2016). *The complete map of the Roman roads*. Načteno z The Roman roads: http://www.romansites.com/carta_dell'impero.htm
- MilGeo. (1996). MilGeo - Unterlagen, Beispiele. MilGeo Dienst, Bundeswehr.
- MOČR/AKIS. (2007). Operačně taktický systém velení a řízení pozemních sil. *Rozvoj vědy a obranného výzkumu*. Praha: Ministrstvo obrany ČR - Agentura komunikačních a informačních systémů. Získáno 11 2015, z <http://www.acr.army.cz/struktura/generalni-stab/sekce-podpory/agentura-komunikacnich-a-informacnich-systemu-86854/>
- Rybansky, M. (2009). *Cross-Country Movement, The Impact and Evaluation of Geographic Factors* (First ed.). Brno, Czech Republic: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno.
- Rybanský, M. (2010a). *Metodika určování vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel v terénu – kolová vozidla*. Vyškov: VTÚ.
- Rybanský, M. (2010b). *Metodika určování vlivu geografických faktorů na pohyb vojenských vozidel v terénu – pásová vozidla*. Vyškov: VTÚ.
- Rybansky, M., & Vala, M. (2010). Relief impact on transport. *ICMT'09: International Conference on Military Technologies* (pp. 551-559). Brno: University of Defence.
- STANAG 2999. (2012). *Use of Helicopters in Land Operations Doctrine* (9 ed.). Brussels: NATO Standardization Agency (MAS).
- Svatoňová, H. (2010). *Ohodnocení existujících databází z hlediska kvality a kompletnosti. Vytvoření metodiky harmonizace databází. Závěrečná zpráva WP 2, DÚ 2*. (P. f. Masarykova univerzita, Překl.) Brno, Česká republika: Masarykova univerzita.

- Talhofer, V. (1994). Možnosti využití VISÚ ke zjišťování vojenskogeografických charakteristik území. *Vojenský topografický obzor*(2/94), str. 23.
- Talhofer, V. (2002). *Možnosti zdokonalení užítosti digitálních geografických dat (habilitační práce)*. Brno: Vojenská akademie.
- Talhofer, V., & Hofmann, A. (1998). Analýza možností využití digitálních polohových systémů v OTS VŘ PozS (studie k ideovému návrhu). V *Operačně taktický systém velení a řízení pozemních sil AČR* (str. 45). Brno: Vojenský technický ústav elektroniky.
- Talhofer, V., Hoskova, S., Hofmann, A., & Kratochvil, V. (2009). The system of the evaluation of integrated digital spatial data realibility. *6th Conference on Mathematics and Physics at Technical Universities* (pp. 281-288). Brno: University of Defence.
- Veregin, H. (1999). Data quality parametr. In P. A. Longley, *Geographic Information System* (Second Edition ed., pp. 179-189). New York: John Wiley & Sons, INC.
- VGHMUř. (2015). Katalog topografických objektů DMÚ25. *Vydání 04 2015*. Dobruška: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (in Czech).
- Vondra, D., & Talhofer, V. (1986). Současný stav a nejbližší perspektivy rozvoje digitálního modelu území pro potřeby ČSLA. *Vojenský topografický obzor - Tajný*(1), str. 7.
- Vondra, D., & Talhofer, V. (1988). Možnosti digitálního modelu terénu v automatizovaných systémech řízení a velení. *Sborník semináře k ASŘV* (str. 6). Praha: MNO ČSSR.
- Všeob-Ř-1. (1997). *Polní řád pozemních sil Armády České republiky*. Praha: Ministerstvo obrany ČR.
- Zadeh, I. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, pp. 338 - 353.

Doc. Ing. Václav Talhofer, CSc.

Narozen: 22. října 1953, Karlovy Vary

Kontakt: vaclav.talhofer@unob.cz

Vzdělání, pedagogické a vědecké hodnosti

Rok ukončení 1978	Ing., Vojenská akademie v Brně, obor: geodézie a kartografie
Rok ukončení 1984	CSc., Vojenská akademie v Brně, obor: geodézie a kartografie, disertační práce: „Metody aktualizace báze dat modelu banky kartografických dat“
Rok ukončení 1990	Doc., jmenování docentem, obor: geodézie a kartografie
Rok ukončení 2002	Doc., habilitace, Vojenská akademie v Brně, obor: geodézie a kartografie, habilitační práce: „Možnosti hodnocení užitných vlastností digitálních geoinformací“

Odborná praxe

1978-1980	topograf, Vojenský topografický ústav Dobruška
1980-1983	interní vědecká aspirantura, Vojenská akademie, Brno
1983-1986	odborný asistent skupiny kartografie katedry geodézie a kartografie, VAAZ Brno
1986-1993	náčelník skupiny kartografie katedry geodézie a kartografie, VA Brno
1992-1993	zástupce vedoucího katedry geodézie a kartografie, VA Brno
1993- 1995	vedoucí starší důstojník - specialista topografického oddělení generálního štábu AČR, později výzkumný a vývojový pracovník analytického a informačního střediska topografické služby AČR
1995- 2011	vedoucí katedry vojenských informací o území, později katedry vojenské geografie a meteorologie, Univerzita obrany, Brno
2011 – dosud	akademický pracovník, Univerzita obrany, Brno
1999	Odborný kurz „Satelitní mapování“, 2 měsíce, GDTA, Toulouse, Francie

2000	Odborná stáž, 1 měsíc, Univerzita Bundeswehru, Mnichov, Německo
2013	Odborná stáž v US Army Engineer Research Development Centre (Vicksburg, Hannover, Anchorage, Fairbanks), 5 týdnů, USA.

Pedagogická praxe

Od roku 1985 postupně přebíral předměty Kartografie (dvousemestrální předmět v rozsahu 80 hodin za semestr), Matematická kartografie (jednosemestrální předmět v rozsahu 40 hodin) a Topografické zabezpečení ozbrojených sil (jednosemestrální předmět v rozsahu 40 hodin). Výuku zabezpečoval do roku 2005 v každém semestru, Matematickou kartografií a Topografické zabezpečení ozbrojených sil na 100%, Kartografií na 50% formou vedení přednášek.

Po vzniku Univerzity obrany (2004) měl rozhodující podíl na vytvoření nového oboru Vojenská geografie a meteorologie, který byl poprvé akreditován v roce 2005 a který je v současné době akreditován pro bakalářský, magisterský a doktorský stupeň. Tento obor ve všech stupních garantuje. Pro magisterský stupeň oboru zavedl dva nové předměty – Projektování geoinformačních systémů a Analýzy prostorových dat, pro doktorské studium předměty Geoinformatika a Tematická kartografie.

V uvedených stupních oboru vojenská geografie a meteorologie od roku 2005 vyučuje v bakalářském stupni předměty Kartografie (dvousemestrální předmět v rozsahu 60 hodin za semestr, podíl 50%), v magisterském stupni Matematická kartografie (jednosemestrální předmět v rozsahu 40 hodin, podíl 100%), Kartografie II (jednosemestrální předmět v rozsahu 80 hodin, podíl 50%), Projektování geoinformačních systémů (jednosemestrální předmět v rozsahu 40 hodin, podíl 75%) a Analýzy prostorových dat (jednosemestrální předmět v rozsahu 40 hodin, podíl 50%). V doktorském studiu vyučuje zmíněné předměty Geoinformatika a Tematická kartografie.

Kromě výuky na Univerzitě obrany externě vyučuje na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity v Brně. V bakalářském studiu oboru Kartografie, geoinformatika a dálkový průzkum Země vyučuje Matematickou kartografií (jednosemestrální předmět v rozsahu 2+1) a v doktorské studijním oboru Kartografie, geoinformatika a dálkový průzkum Země předmět Modelování v kartografii.

Výukové pobyty

V letech 2002 a 2003 vedl týdenní kurzy na Vojenské akademii v Rize (Lotyšsko) zaměřené na problematiku geografického zabezpečení ozbrojených sil a aplikaci standardů NATO v oblasti geografické podpory.

Od r. 2012 vyučuje na Univerzitě Bundeswehru, Mnichov, SRN v rámci týdenních výukových pobytů tematiku aplikace GIS v krizovém řízení, modelování vojenských úloh pro potřeby geografického zabezpečení a vybrané kapitoly z kartografie a jejich aplikace v krizovém řízení.

Výzkumná činnost – hlavní aktivity

Podíl na definici digitálního modelu terénu pro polní automatizované systémy velení a řízení, které byly v té době zaváděny do armády (80. léta 20. století). Vzhledem k utajovanému charakteru systémů a jejich vlastností výsledky nebyly publikovány.

Podíl na definici obsahu digitálního modelu území (DMÚ200) a jeho uživatelských vlastnostech, který byl vyvíjen ve Vojenském topografickém ústavu v Dobrušce (1990-1994).

Podíl na ideovém řešení implementace digitálních geografických dat do Operačně taktického systému velení a řízení pozemních sil (OTSVŘ PS) – konec 90. let 20. století, forma vyžádaných studií a výzkumných zpráv.

Rozvoj metod hodnocení přírodního prostředí s využitím prostorových databází se zaměřením na kvalitu a spolehlivost digitálních geografických dat (od konce 90. let 20. století dosud)

Rozvoj metod dynamické vizualizace geografických a negeografických digitálních dat v systémech velení a řízení v rámci Integrovaného záchranného systému a krizového řízení (2005 – 2011).

Spolupráce s praxí

Od roku 2006 je předsedou Vědeckotechnické rady Náčelníka geografické služby AČR. Z titulu této funkce se podílí na zásadních koncepčních rozhodnutích o vývoji geografického zabezpečení AČR a na posuzování projektů, které tyto koncepce realizují v praxi.

Je členem pracovní skupiny pro vzdělávání v rámci projektu MV ČR Geoinfostrategie.

V letech 2010 až 2016 byl členem pracovní skupiny pro geovědy Akreditační komise MŠMT. V této pozici zpracoval podklady pro cca 30 posudků žádostí o akreditaci studijních oborů nebo habilitačních a jmenovacích řízení. V současné době je uveden v Seznamu hodnotitelů pro Národní akreditační úřad pro vysoké školství.

Od roku 2015 je předsedou České kartografické společnosti, dlouhodobě je členem komise pro vzdělávání v kartografii Mezinárodní kartografické asociace ICA.

Řešené projekty financované z veřejných zdrojů v posledních 5 letech

Projekt Grantové agentury ČR „Hodnocení spolehlivosti integrovaných digitálních prostorových dat“, odpovědný řešitel projektu, kód projektu GA 205/09/1198, doba řešení 2009 – 2011.

Projekt „METEOR - Geografické a meteorologické faktory bojiště, jejich dynamická vizualizace a lokalizace v systémech velení a řízení“, projekt obranného výzkumu MO ČR, kód projektu OVUOFVT200801, odpovědný řešitel projektu, doba řešení 2008 – 2011.

Projekt výzkumného záměru MŠMT „Dynamická vizualizace v krizovém managementu“, projekt číslo MSM0021622418, odpovědný řešitel úkolu WP4 – „Dynamická kartografická vizualizace“, doba řešení 2005 – 2011.

Publikační činnost

Autor cca 185 publikací, z toho 14 odborných studijních textů pro univerzitu, 2 celoarmádních pomůcek, vše v českém jazyce, 13 článků zveřejněných na WoS (12/2016), 14 článků indexovaných v databázi SCOPUS (12/2016), 45 příspěvků na mezinárodních a 15 na národních konferencích.

Vybrané publikace

- [1] CHARVAT, K., KUBICEK, P., TALHOFER, V., KONECNY, M., and JEZEK, J.: Spatial Data Infrastructure and Geovisualization in Emergency Management, In.: *Book series - NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, Book: Resilience of Cities to Terrorist and other Threats, Part 6, Springer Netherlands. Part of Springer Science+Business Media, 2008, pp. 443-473, ISBN: 978-1-4020-8488-1 (Print) 978-1-4020-8489-8 (Online)
- [2] HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; TALHOFER, Václav; HOFMANN, Alois; KUBÍČEK, Petr. Mathematical Model Used in Decision-Making Process with Respect to the Reliability of Geodatabase. Německo: Springer, 2013, p. 143-162. Studies in

Computational Intelligence: Advanced Dynamic Modeling of Economic and Social Systems . 448. ISBN 978-3-642-32902-9.

- [3] TALHOFER, Václav; BALÁŽ, Teodor; RACEK, František; HOFMANN, Alois; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka. Simulation of Laser Attacks against Aircrafts. Berlin: Springer-Verlag, 2012, p. 215-229. Bridging the Geographic Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and cartography. ISBN 978-3-642-29062-6.
- [4] TALHOFER, Václav; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; HOFMANN, Alois. Improvement of digital geographic data quality. International Journal of Production Research, 2012, vol. 50, no. 17, p. 4846-4859. ISSN 0020-7543.
- [5] HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; TALHOFER, Václav; HOFMANN, Alois; KRATOCHVÍL, Vlastimil. Signal Source Position from Measured Azimuths. Advances in Military Technology, 2011, sv. 6, č. 2, s. 55-68. ISSN 1802-2308.
- [6] HOFMANN, Alois; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; TALHOFER, Václav; KOVAŘÍK, Vladimír. Creation of models for calculation of coefficients of terrain passability. *Quality & Quantity*, 2014, vol. July 2014. ISSN 0033-5177.
- [7] TALHOFER, Václav; KOVAŘÍK, Vladimír; RYBANSKÝ, Marian; HOFMANN, Alois; HUBÁČEK, Martin; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka. Terrain Analysis for Armed Forces. Heidelberg, Německo: Springer International Publishing, 2014, p. 519-532. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Modern Trends in Cartography*. Selected Papers of CARTOCON 2014. ISBN 978-3-319-07925-7.
- [8] TALHOFER, Václav; HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka; HOFMANN, Alois. Towards efficient use of resources in military: methods for evaluation routes in open terrain. *Journal of Security Sustainability Issues*, 2016, vol. 6, no. 1, p. 53-70. ISSN 2029-7025.