

## ŘEŠENÍ MODELU PRŮCHODNOSTI TERÉNU S VYUŽITÍM DATABÁZE KOMUNIKACÍ A RELIÉFU TERÉNU

Václav TALHOFER, Martin BUREŠ

Univerzita obrany v Brně, Fakulta vojenských technologií, Katedra vojenské geografie a meteorologie

Kounicova 65, 662 10, Brno, Česká republika

*jmeno.prijmeni@unob.cz*

### Abstrakt

Na katedře vojenské geografie a meteorologie je již několik let vyvíjen model průchodnosti terénu pro vojenskou techniku. Tento model řeší komplexní vliv krajiny na pohyb konkrétní vojenské techniky. Na základě verifikace tohoto modelu se ukázalo, že komplexní řešení není zatím možné. Proto byl vytvořen a odzkoušen zjednodušený model, který řeší pouze vliv povrchu (komunikací a volného terénu) a sklonů svahů. Verifikace zjednodušeného modelu ukazuje, že model umožňuje poměrně věrohodně predikovat možnosti pohybu techniky jak po komunikacích, tak i ve volném terénu. Uvedený model je aplikovatelný i pro jiné než vojenská vozidla, například pro vozidla Hasičského záchranného sboru nebo Zdravotnické záchranné služby.

### Abstract

The Department of Military Geography and Meteorology has been developing a model of cross country mobility for military vehicles for several years. This model solves the complex influence of the landscape on the movement of a given military vehicle. Based on the verification of this model, it turned out that a complex solution is not possible yet. Therefore, a simplified model has been created and tested, which only solves the influence of the surface (roads and terrain relief) and slopes. Verification of the simplified model shows that the model allows to reliably predict the possibilities of moving the given vehicle both on roads and in the open terrain. This model is also applicable to non-military vehicles, for example for Fire Brigade vehicles or Medical Emergency Services

**Klíčová slova: analýza dat; průchodnost terénu; verifikace modelů**

**Keywords: data analysis; cross country movement, model verification**

### MODELOVÁNÍ PRŮCHODNOSTI TERÉNU

Na pohyb vozidla v terénu má zásadní vliv jednak jeho výkonové a provozní charakteristiky, jednak geografické prostředí, ve kterém se pohybuje včetně klimatických podmínek a aktuálního stavu atmosféry.

Fyzikálnímu modelování pohybu vozidel v terénu se věnuje řada autorů a institucí. 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 (Rybanský, 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) nebo jsou rozvíjené v NATO (JAYAKUMAR & DASCH, 2017)

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 (pásové, kola);
- počet a druh pneumatik, resp. šířka pásu a velikost jejich účinné plochy;
- stoupavost, překročivost, nájezdové úhly, podélný a příčný náklon a mnoho dalších.

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 (**Tab. 1**):

**Tab. 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 sítě

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. Výsledná modelová rychlost pohybu vozidla je kromě maximální rychlosti vozidla funkcí všech zmíněných koeficientů:

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

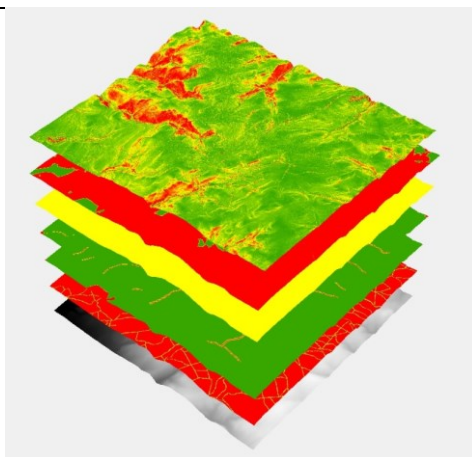
Pro analýzu vlivu geografických faktorů na pohyb techniky bylo nutné nejprve provést jejich detailní klasifikaci a stanovit výchozí hodnoty koeficientů zpomalení vlivem jednotlivých faktorů. Pro verifikaci této klasifikace byly postupně prováděny rozsáhlé testy v terénu zaměřené na měření únosnosti půd, 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) a (Hubacek, Kovarik, & Kratochvil, 2016).

### Matematický a informační model

Matematický model pohybu vozidel v terénu vychází z výše popsaného fyzikálního modelu a používaných podkladových dat. Na základě dat jsou stanovována kritéria, za jakých je dané vozidlo schopno parciální úsek terénu překonat bez obtíží, s obtížemi a za jakých podmínek je daný úsek nepřekonatelný. Celý komplexní matematický model je potom vytvořen jako multikriteriální analýza. Popis modelu a jeho realizace v prostředí GIS je možné je uveden v publikaci (Hofmann, Hoskova-Mayerova, Talhofer, & Kovarik, 2014), resp. (RYBANSKY, HOFMANN, HUBACEK, KOVARIK, & TALHOFER, 2015).

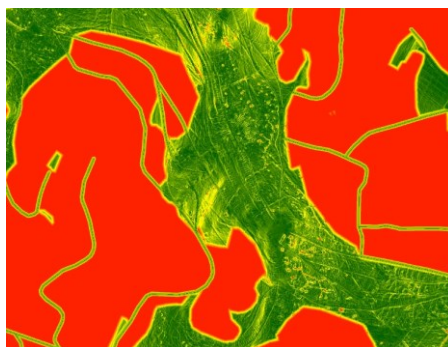
Vytvořený informační model v aktuální verzi používá standardní data resortu Ministerstva obrany ČR a je doplněný podklady z ČÚZK a České geologické služby.

Vlastní informační model byl zpracován v programovém systému ArcGIS verze 10.4 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. Na obrázku (**Obr. 1**) je schematická ukázka dílčích cenových map pro hlavní koeficienty zpomalení vypočítané pro kolový obrněný transportér PANDUR II z prostoru vojenského újezdu Libavá.



**Obr. 1** 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 Overlay vypočítána celková cenová mapa pro daný typ vozidla. Na následujícím obrázku (**Obr. 2**) je ukázka výřezu cenové mapy pro vozidlo PANDUR II z téhož prostoru.



**Obr. 2** Výřez cenové mapy pro vozidlo PANDUR II

Cenová mapa umožní zejména posoudit, zda je daný prostor pro danou techniku průchodný (odstíny zelené), obtížně průchodný (odstíny žluté) nebo neprůchodný (červená). 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.

Pro zjištění vlivu parametrů kvality různých dat, zejména výškopisných, byly použity jejich různé kombinace, které jsou uvedeny v následující tabulce (**Tab. 2**).

**Tab. 2** Kombinace použitých dat

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

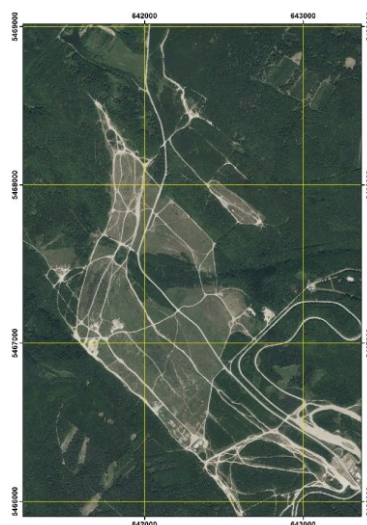
\* Pozn. Tato kombinace byla použita pouze pro vyhodnocení vlivu reliéfu terénu.

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.

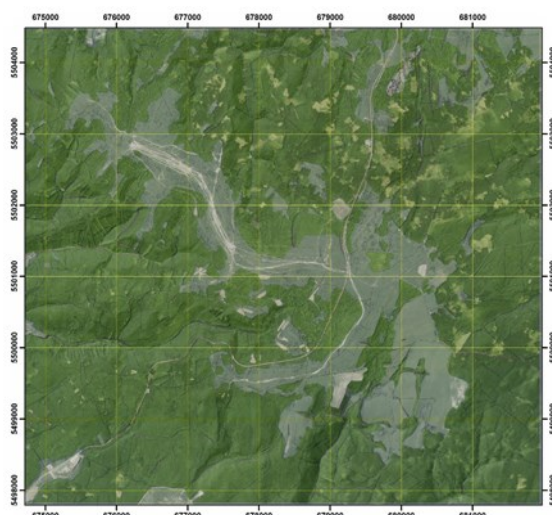
### Verifikace modelu

Aby bylo možné posoudit vytvořené komplexní modely pohybu vozidel, byly podrobeny zatím třem 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, 2017). Na následujících obrázcích jsou prezentovány testovací prostory.



**Obr. 3** Testovací prostor ve VÚj Březina (použitá podkladová data (ČÚZK, 2015))



**Obr. 4** 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.

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 (**Tab. 3**):

**Tab. 3** Vybraná takticko-technická data použitých vozidel (<http://www.acr.army.cz/technika/default.htm>)

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

Typ vozidla	UAZ	LR	T810	T815	PII	IV	BVP	T72
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 <sup>-1</sup> ]	105	129	101	85	95	110	65	61

Polní testy probíhaly 6. a 7. května 2014 (VÚj Březina) a 4. – 7. května 2015 a 10. – 14. dubna 2017 (VÚj Libavá). Během vlastního testu projíždělo každé vozidlo zadaným směrem několikrát v různých denních dobách a s rámcovým dodržováním vytýčené 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 – Geoploter XT, XT3000 a XT6000 vybavené software TerraSync (**Obr. 5**).



**Obr. 5** 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.

Celkově bylo zaznamenáno přes 2000 km tras převážně v otevřeném terénu s minimem zpevněných komunikací. Z korigovaných dat získaných měření GPS byly získány diskrétní body projetych 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.

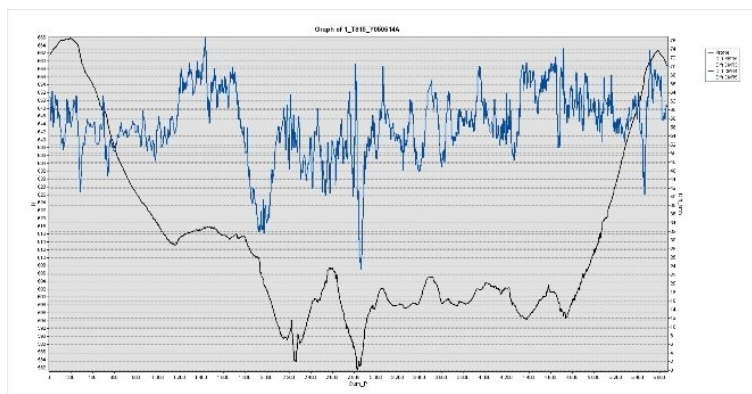
S využitím mapové algebry byly zjišťovány rozdíly mezi modelovanou a skutečnou rychlostí daného vozidla v dané kombinaci dat (v dané cenové mapě). K zobrazení prostorového rozložení odchylek rychlostí je možné použít graf odchylek se zobrazeným profilem reliéfu terénu. Jako příklad byla zvolena trasa 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 (**Obr. 6**).





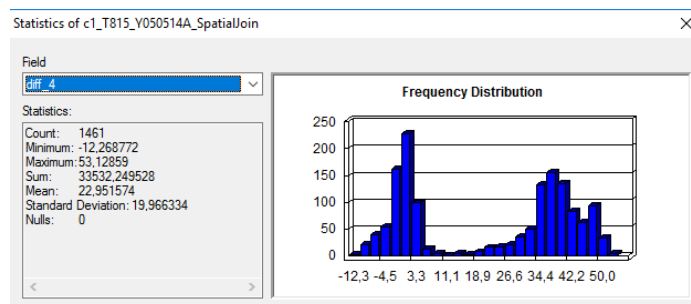
**Obr. 6** Zaznamenaná trasa vozidla T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá (podklad ortofoto (ČÚZK, 2015))

Na následujícím obrázku jsou uvedeny odchylky rychlostí pro jednotlivé kombinaci dat K4 - DMÚ25, DMR4 a ÚDP.



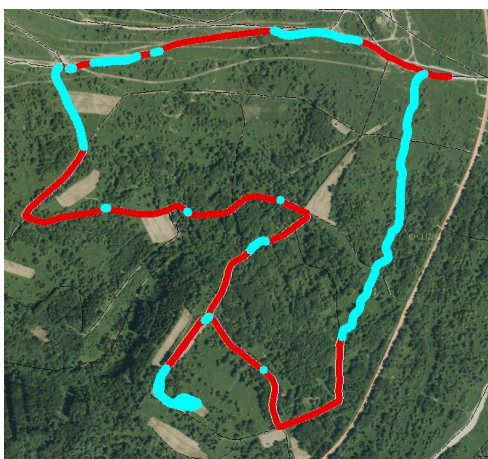
**Obr. 7** Odchylky modelových a skutečných rychlostí vozidla T815 v datové kombinaci K4

K pochopení příčin rozdílů je nutné zkoumat jejich statistické rozložení, jejichž ukázka je na následujícím obrázku (**Obr. 8**).



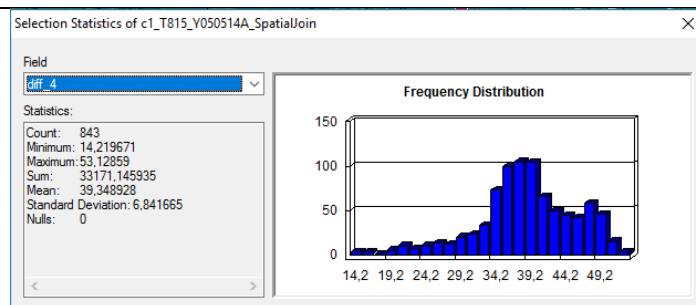
**Obr. 8** Histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí (T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá, kombinace dat K4)

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 (**Obr. 9**).

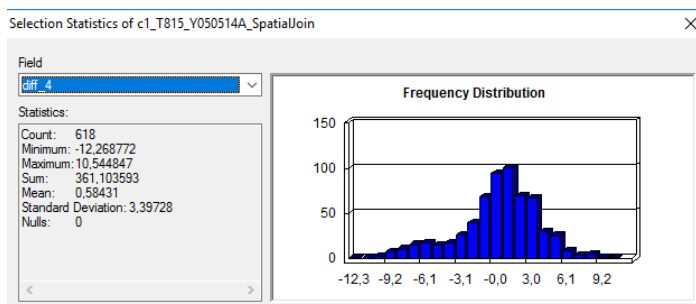


**Obr. 9** Úseky trasy vozidla T815 s různým povrchem – zpevněná cesta (červené body), volný terén s řídkými křovinami (modré body) (podklad ortofoto (ČÚZK, 2015))

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



**Obr. 10** Histogram rozdílů mezi modelovanou a skutečnou rychlostí na zpevněných cestách (T815, 5. 5. 2015, VÚj Libavá, kombinace dat K4)



**Obr. 11** 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.

## ZJEDNODUŠENÍ MODELU

Vzhledem k jeho složitosti a obtížnému způsobu nalezení jednotlivých vlivů ve výsledném modelu, se řešitelský tým rozhodl model rozdělit do dílčích částí a vliv geografických faktorů na pohyb vozidel ověřit po těchto částech s tím, že zbylé faktory budou fixovány. Další verze komplexního modelu bude adaptována nebo nově vytvořena až na základě výsledků dílčích analýz. Jako první byl modelován vliv komunikací, povrchu a sklonu reliéfu terénu.

První úprava modelu se týkala změny klasifikace komunikací. Stávající model je založen výhradně na datech z DMÚ25. Struktura těchto dat je však relativně často měněna a plně neodpovídá požadavkům na modelování pohybu vozidel. Zároveň je možné i v budoucnu očekávat další změny ve struktuře datového modelu. Pokud by do modelu vstupovala data z jiných zdrojů (například MGCP, ZABAGED apod.), bylo by nutné celý model poměrně komplikovaně přepracovávat. Proto se ŘT rozhodl přejít k vlastní klasifikaci komunikací používané pouze v modelu průchodnosti terénu. Tato klasifikace vychází ze stávající klasifikace komunikací podle katalogu objektů DMÚ25, ale upravuje ji tak, aby objekty obsahovaly pouze informace nutné k řešení analýzy pohybu v pevně dané datové struktuře jednotlivých objektů. V současné době je připravován postup transformace jiných datových struktur do této klasifikace.

Analýza pohybu vozidel byla potom rozdělena na dvě části:

- analýza pohybu vozidel po komunikacích
- analýza pohybu vozidel ve volném terénu

K analýze pohybu se dočasně nepoužil původní deterministický model, ale byla použita matematická statistika. V letech 2016 a 2017 byla průběžně doplněna databáze záznamů jízd ve volném terénu jízdami po zpevněných komunikacích (přes 8000 km) různými typy vozidel – osobními, mikrobusey, nákladními automobily se zátěží i bez ní apod. Ze všech naměřených dat z tras o celkové délce přes 10000 km byly zjišťovány funkční nebo statistické závislosti mezi rychlostí vozidla a geografickými podmínkami (sklon povrchu, typ povrchu, charakter komunikace, konfigurace komunikace.).

### Pohyb po komunikacích

Z analýzy dat záznamů pohybu vozidel po komunikacích je patrné, že rychlost vozidel je ovlivněna jak technickými vlastnostmi komunikací a jejich sklonem, tak i geometrií průběhu komunikací. Proto byl analyzován vliv množství a charakteru zatáček na rychlost vozidel pomocí počítaného parametru křivolakosti, resp. měřeného odklonu směru jízdy na komunikace. Na základě reálně zaznamenaných dat

byla provedena analýza vlivu rychlosti vozidla v závislosti na kategorii komunikace, šířce vozovky, odklonu a sklonu komunikace. Podle uvedených vlastností byly na komunikacích vymezeny homogenní úseky stejných vlastností, které byly analyzovány nástroji matematické statistiky. Z uvedených podkladových dat a naměřených hodnot rychlosti byly počítány závislosti rychlosti vozidla na vlastnostech komunikací. Vzhledem k nemožnosti testovat pásovou techniku na pozemních komunikacích s výjimkou nebezpečných cest, byly určovány funkční závislosti pouze pro kolovou techniku. Funkční závislosti byly počítány ve dvou hierarchických úrovních:

- vozidlo nákladní, nebo osobní
- konkrétní typ vozidla

Výsledkem analýzy jsou rozhodovací tabulky, ve kterých jsou uvedeny způsoby určení nebo výpočtu rychlosti pro danou kategorii vozidel nebo přímo pro daný typ vozidla v konkrétních geografických podmínkách. Podkladem pro uvedené tabulky jsou hierarchická schémata, ve kterých jsou uvedeny jak konkrétní hodnoty rychlostí, tak vyhodnocené funkční závislosti. Veškeré analýzy a přiřazení modelových hodnot rychlostí jsou prováděny ve vektorovém formátu.

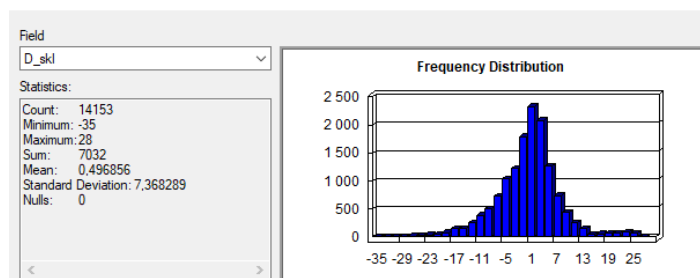
### Analýza pohybu vozidel ve volném terénu

Z analýz naměřených dat byly a dosud jsou pomocí statistických modelů upřesňovány i matematické modely rychlostí pohybu kolové i pásové techniky ve volném terénu. V zásadě se ukazuje, že sklon terénu začíná ovlivňovat pohyb vozidel (kolových i pásových) mimo komunikace zhruba až od  $10^\circ$ . Do tohoto sklonu je pohyb ovlivněn zejména drsností povrchu a mikroreliefními tvary. Při sklonu nad  $10^\circ$  se projevují již výkonové parametry daného vozidla.

Výsledky analýz jsou opět zahrnuty do rozhodovacích tabulek a hierarchických schémat, které slouží k výpočtu cenové mapy modelových rychlostí. Všechny tyto analýzy realizovány v rastrovém formátu s velikostí pixelu 5x5 metrů.

### Výsledky redukováného modelu

Redukovaný model byl zpracován opět v programovém systému ArcGIS 10.4. Podle testování funkčnosti modelu s využitím dat, ze kterých byl derivován, je zde předpoklad, že modelované hodnoty rychlostí budou mít vyšší spolehlivost, než jakých bylo dosaženo u komplexního modelu. Následující obrázek ukazuje rozložení četnosti odchylek mezi modelovou a skutečnou rychlostí vozidla T815 8x8 v prostoru Libavá - Strážisko. Odchytky rychlostí byly počítány ze všech projetých tras tímto vozidlem z testů v letech 2015 a 2017.



**Obr. 12** Rozdíly modelované a skutečné rychlosti pro vozidlo T815 8x8 v prostoru VÚJ Libavá.

Odchytky rychlostí T815 8x8 dokumentují lepší shodu redukováného modelu než u předchozího komplexního modelu. Je zde tedy předpoklad, že tento model být po jeho následující verifikaci použit jako základ pro další postupné doplňování zbylými faktory.

V dubnu 2017 bude tento model verifikován testy s vojenskou kolovou a pásovou technikou v prostoru VÚJ Hradiště.

### ZÁVĚR

Zjednodušený model dává šanci na podrobné zkoumání vlivu parciálních faktorů na celkovou průchodnost vozidel v terénu. Teprve po jeho detailní verifikaci bude možné zkoumat vlivy dalších faktorů, zejména vlastností povrchu a jeho vlhkosti i v souvislosti s klimatickými podmínkami a aktuálním stavem počasí. Tato otázka je rovněž v současné době řešena.

Celé modelování průchodnosti je zaměřeno na využití pro vojenskou bojovou i transportní techniku. Avšak vzhledem ke skutečnosti, že řada složek Integrovaného záchranného systému (IZS), zejména Hasičského



záchranného sboru (HZS), používá obdobnou nebo stejnou podvozkovou platformu jako armáda, může být tento model i adaptován pro podmínky použití i v IZS.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek prezentuje výsledky Dílčího záměru rozvoje organizace NATURENVIR podporovaném Ministerstvem obrany ČR.

## LITERATURA

ČÚZK. (2015). *Prohlížečící služba WMS - Ortofoto*. Načteno z

[http://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ORTOFOTO\\_PUB/WMSservice.aspx?](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?head\\_tab=sekce-02-gp&mode=TextMeta&text=dSady\\_uvod&menu=20&news=yes](http://geoportal.cuzk.cz/(S(rv2s41gi1o4yf0jpgzej2moj))/Default.aspx?head_tab=sekce-02-gp&mode=TextMeta&text=dSady_uvod&menu=20&news=yes)

Hofmann, A., Hoskova-Mayerova, S., & Talhofer, V. (2013). Usage of fuzzy spatial theory for modelling of terrain passability. *Advances in Fuzzy Systems*, 2013, 13.

Hofmann, A., Hoskova-Mayerova, S., Talhofer, V., & Kovarik, V. (2014). Creation of models for calculation of coefficients of terrain passability. *Quality & Quantity*(July 2014), p. 12.

Hubacek, M., Kovarik, V., & Kratochvil, V. (2016). Analysis of influence of terrain relief roughness on DEM accuracy generated from LIDAR in the Czech Republic territory. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B4*. 41, pp. 25-30. Prague: ISPRS. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B4-25-2016

JAYAKUMAR, P., & DASCH, J. (2017, 04). The Next Generation NATO Reference Mobility Model Development. *STO-MP-AVT-265(AC/323(AVT-265)TP/784)*. doi:10.14339/STO-MP-AVT-265-11-PDF

Kainz, W. (2007). *Fuzzy Logic and GIS*. Vienna, Austria: University of Vienna.

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., HOFMANN, A., HUBACEK, M., KOVARIK, V., & TALHOFER, V. (2015, NOV). Modelling of cross-country transport in raster format. *ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES*, 74(10), pp. 7049-7058. doi:10.1007/s12665-015-4759-y

VGHMÚř. (2015). Katalog topografických objektů DMÚ25. *Vydání 04 2015*. Dobruška: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (in Czech).

Zadeh, I. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, pp. 338 - 353.