



# Modelování a simulace 2022/2023

Téma č. 8: Vojenské Simulátory

## **Vplyv kvality logistiky na bojaschopnosť armád** Technická správa

5. decembra 2022

Patrik Slovák (xslova21)  
Johann A. Gawron (xgawro00)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Kto sa podielal na práci . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor Témy</b>	<b>2</b>
2.1	Použité metódy a technológie . . . . .	2
2.2	Zdôvodnenie použitých technológií . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepcia</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných modelov a ich priebeh</b>	<b>7</b>
5.1	Postup experimentovania . . . . .	7
5.2	Jednotlivé postupy . . . . .	7
5.3	Závery Experimentov . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačných experimentov a záver</b>	<b>10</b>

# 1 Úvod

Táto práca sa zaoberá problematikou vplyvu kvality logistickej siete na bojaschopnosť armád. Zamerali sme sa na simuláciu jednotiek na úrovni batalionov (praporov). Tie sa pomocou zjednodušenej logiky pohybujú po mape a snažia sa dosiahnuť svoj cieľ. Cieľom práce bolo zoznámiť sa s problematikou zásobovania armád rovnako, ako aj si priblížiť problematiku fungovania moderných armád a ich logistiky.

## 1.1 Kto sa podieľal na práci

Autormi práce sú Johann A. Gawron a Patrik Slovák.

Pri tvorení práce sme konzultovali osobnú známosť Jakuba Marečka, ktorý pracoval na vývoji moderných vojenských simulátorov slúžiacich na tréning vojska pre firmu SAAB. Vďaka jeho vstupom sme dokázali zaujímavo nasmerovať prácu pri návrhu high-level designu modelu. Týmto by sme mu chceli vyjadriť vďaku za ochotu spolupracovať.

## 2 Rozbor Témy

Simulácia sa zaoberá modelovaním súbojov na zjednodušenej taktickej úrovni. Hlavnou jednotkou, s ktorou naša simulácia pracuje je batalión. Ten obsahuje jednotlivé companies (roty), ktoré si držia údaje o zásobách a stratách. Takto zorganizované batalióny vkladáme na generovanú mapu, kde sa následne správajú podľa logiky buď útočníka, alebo obrancu.

Každú hodinu sa sleduje stav bataliónov a podľa ich logiky sa pohybujú na mape. Útočníci sa pohybujú smerom ku obrannej línii obrancov a ak narazia na nepriateľskú jednotku, vyberú si najlepší vektor na útok a zaútočia. Obrancovia držia najvýhodnejšiu pozíciu a očakávajú útok. Ak obrancom klesne počet bojaschopných jednotiek pod definované percento, volajú posily. Predpokladáme, že posily môžu poslať len batalióny obrancov, ktoré nie sú v aktívnom súboji.

V prípade, že batalión obrancov stratí (percento?) bojaschopné jednotky, prestáva súboj s útočníkmi, ktorí tým pádom prerazili obrannú líniu a po uplynutí určitého času začnú sabotovať a negatívne ovplyvňovať zásobovacie linky obrancov. Ak batalión útočníkov stratí (percento?) bojaschopné jednotky, tak sa sťahuje na začiatok mapy, čo simuluje organizovaný ústup z boja.

Pre našu simuláciu sme zvolili rozsah časti bojovej línie, ktorá je obrancami držaná a útočníci sa ju snažia prelomiť. Na simulovanie jednotiek sme použili dáta z moderného armádneho zoskupenia krajín NATO.[3]

## 2.1 Použité metódy a technológie

Pre simulovanie modelu sú využité dve hlavné časti. Prvou je diskrétna simulácia, kde jeden krok sa rovná časovému úseku jednej hodiny a obsahuje všetku zložitejšiu logiku algoritmu. Druhou je jednoduchý celulárny automat, kde naše jednotky manévrujú. Implementovali sme ich v jazyku C++ s pomocou knižnice Simlib [2]. Využili sme najmä funkcie `Normal()`[2] pre normálne rozdelenie a `Random()`[2] pre generáciu pravdepodobnosti jednotlivých denných udalostí.

## **2.2 Zdôvodnenie použitých technológií**

Jazyk C++ je výbornou voľbou pre našu implementáciu, nakoľko nám umožňuje použiť objektovo orientovaný prístup k riešeniu problematiky a zároveň poskytuje veľké množstvo štandardných knižníc na prácu s dátami. Knižnicu Simlib sme zvolili na základe toho, že ponúka precízne spracované metódy na výpočet pravdepodobnostných rozložení. Taktiež sme boli schopný využiť funkcionality na generovanie náhodných udalostí v diskretnom čase napr. či sa bude batalion hýbať, ale bo pripravovať na útok a ak tak z ktorého pola. Tento fakt nám časovo uľahčil spracovanie problematiky a poskytol vzácny čas na experimentovanie.

### 3 Koncepcia

Vynechali sme pohyby po mape v jednotkách menších, ako batalióny pretože sa pohybujeme na políčkách 3x3km a po konzultácii sme došli k záveru, že pohyby na takejto malej škále nerobia veľké rozdiely pre naše výpočty. Keď sa jednotky bataliónu pohybujú po im pridelenej operačnej zóne, tak predpokladáme, že si zo sebou berú na dané misie zásoby. Rozhodli sme sa ich reprezentovať v rovniciach pri výpočte výsledku bitiek každú hodinu.

Ďalej sme zanedbali plnú simuláciu pohybu zásobovacích jednotiek v priestore za hlavnou frontou, ktorú predstavujú batalióny na mape a vyjadrili sme ju práve hodnotou armád `logistics_efficiency`. Táto hodnota predstavuje stav infraštruktúry a schopnosť armády prenášať bezpečne suroviny.

Taktiež sme zjednodušili akcie jednotlivých bataliónov na pohyb ku obrancom, útok a stiahnutie pre útočiacu armádu a volanie posíl, rozostavenie na obrannú líniu a protiofenzívu pre obrancov. Rozhodli sme sa takto z dôvodu, že simulovanie iných pohybov je pre preukázanie vplyvu kvality logistiky redundantné.

Celá simulácia pracuje s 3 typmi rôť: Pechotnými, Podpornými a Tankovými. Podporné rotý predstavujú medikov a technikov zodpovedných za udržiavanie bataliónu v chode.

Každú hodinu sa batalióny správajú podľa ich logiky. Útočníci postupujú ku obrannej línii a až k nej dorazia začnú z najlepšej pozície útočiť na obrancov. Súboj je najzložitejšia časť simulácie. Celá je postavená okolo nasledovného vzorca:

- DM - (damage) modifikátor útočnej sily armády
- AP - útočná sila batalionu - abstraktná hodnota, ktorá reprezentuje silu mužstva jednotlivých bataliónov
- AS - ammo\_saturation hodnota medzi 0-1, ktorá klesne pod 1 len ak nie je dostatok munície pre jednotky bataliónu
- ZN - zásah nepriateľa
- BC - bojové straty

Hodnota AP sa prepočítava každú hodinu simulácie, aby odzrkadlila reálny stav jednotiek v každom batalióne

$$AP = (\sum Infantry * 10 + \sum CombatSupportUnits * 10 + \sum Tanks * 250) * AS$$

Každú hodinu sa z AP dvoch, proti sebe stojacich bataliónov počítajú ich DM.

$$DM_{blue} = AP_{blue} / AP_{red}$$

$$DM_{red} = AP_{red} / AP_{blue}$$

Následne sa simulujú akcie každej bojaschopnej jednotky na bojisku. Tie môžu vyústiť v 4 rôzne výsledky: Kritický neúspech, neúspech, nestretol nepriateľa a zasiahol nepriateľa. Pričom neúspechy vyúsťia v stratu definovaného množstva munície a zásob, čo má simulovať netrafenie nepriateľa a prípadné poškodenie techniky, ktorú je následne nutno opraviť. Úspech naopak vedie ku zvýšeniu počítadla ZN. Avšak väčšinu času vojak nemá priamy kontakt s nepriateľom. [6]

Následne sa vypočítajú reálne straty nasledovným vzorcom:

$$BC_{blue} = ZN_{red} * DM_{red} * (normalizationConst - Cover_{blue})$$

Výsledná hodnota BC blue sa následne používa na výpočet strát bataliónu. Straty delíme na 2 typy: smrti a zranenia. Pomere smrť/zranenie je 0.18\*survival\_modifier%/zvyšok%. [7] Parameter survival\_modifier sa počíta následovne:

- P - profesionalizmus armády
- TL - technologická úroveň armády

$$survival\_modifier = ((TL_{norm} - 1) + P_{norm})$$

survival\_modifier predstavuje schopnosť armády sa starať o svoje zranené jednotky. Je produktom súčtu normalizovaných hodnôt armád (TL a P) na modernú dobu.

Technologická úroveň armády má definovanú škálu 1-4.99, kde armády 90tych a 00tych rokov sú reprezentované číslom 4, armádna technologická úroveň 2. svetovej vojny je na úrovni 3 atď. Keďže sme túto hodnotu nakoniec využili len na výpočet modifikátoru prežitia, zostala nastavená len podľa hodnôt z rešerše o bojových stratách. [7] [8]

Profesionalizmus predstavuje, ako meno napovedá, vzdelanosť jednotiek a velenia a ich schopnosť pod nátlakom robiť správne rozhodnutia. [10]

Jednotky, ktoré umreli v boji ďalej neriešime. Zaujímavá je však mechanika okolo jednotiek zranených. Aby sme simulovali všetky typy zranení, tak sme zvolili pomaly sa zvyšujúcu percentuálnu šancu na uzdravenie každý deň. Jednotky majú šancu 10% raz za deň sa vyliečiť. Táto šanca sa zvyšuje každým dňom, kedy prebehol pokus o ich liečenie. Ak teda nemá batalión zásoby, tak sa táto šanca nikdy nezvyší. Naopak, dobre zásobený batalión vie značne urýchliť proces uzdravovania svojich jednotiek. Opäť hodnoty boli aproximované. [7]

Roty volajú o zásoby ak hladina ich zásob klesne pod polovicu ich začiatkových hodnôt. Dĺžka transportu a množstvo doručených zásob závisí od logistickej efektivity armády. Tá má definovanú základnú hodnotu v config súbore, no pre obrancov sa môže meniť ak útočníci dobijú líniu a začnú sabotovať ich logistickú sieť zvnútra. Vďaka tomuto vznikajú situácie, kedy kvôli jednému slabému článku môže spadnúť celá reťaz opevnených pozícií.

Taktiež sme implementovali funkcie call\_backup, kedy môžu batalióny požiadať o posily z iných priateľských bataliónov, ktoré nie sú aktívnom súboji. Avšak počas experimentovania sme narazili na fakt, že to nerobí dostatočné rozdiely v našich výsledkoch, ktoré by sme vedeli efektívne interpretovať. Preto sme nakoniec túto funkcionálnu nedomplementovali.

## 4 Architektúra simulačného modelu

Simulačný model je implementovaný v jazyku C++ s použitím knižnice SIMLIB, ktorá obsahuje funkcie na generovanie náhodných čísel z rôznych typov rozložení.

- trieda Cell  
Predstavuje jedno políčko na mape, obsahuje informácie o tom, kde sa nachádza na mape, kto okupuje dané políčko a hodnotu Cover, ktorá obsahuje agregovanú hodnotu, ktorá predstavuje typ terénu, aké krytie poskytuje pri postupe a náročnosť cestovania skrz terén. Ak má nastavený príznak `is_fortified` tak hodnota Cover nadobúda maximálnu hodnotu 1 čo predstavuje maximálne možné krytie.
- trieda MyMap  
Abstrakcia terénu, ktorú je možno náhodne generovať zmenou generačného seedu v jej configu. Skladá sa z dvojrozmerného pola Cells a informácii o veľkosti mapy. Ďalej obsahuje funkcie na prístup ku dátam mapy.
- trieda Unit  
Je implementáciou jednotlivých vojakov v rotách, slúži na zaznamenávanie stavu vojaka pomocou štruktúry Enum {`healthy`, `wounded`, `dead`} a drží si hodnoty `time_of_last_injury` a `number_of_medical_procedures`, pomocou ktorých simulujeme uzdravovanie vojakov.
- trieda Company  
Reprezentuje štandardnú rotu o veľkosti okolo 100 jednotiek, drží si hodnoty zásob jedla, munície a vojenských zásob pre danú rotu, a teda predstavuje najnižšiu logistickú jednotku. Uchováva si hodnotu `DMG_taken` a uchováva dáta o svojich jednotkách, teda koľko ich umrelo, koľko bolo zranených a koľko uzdravených.
- trieda Battalion  
Trieda Battalion si drží zoznam companies, v ktorom má všetky pod seba priradené rotu. Ďalej si uchováva svoju aktuálnu pozíciu, útočnú silu, ukazateľ na nepriateľský batalión, s ktorým je práve v boji, a taktiež dôležitú sériu príznakov, ktoré udávajú aktuálne vykonávanú akciu.
- trieda Army  
Obsahuje dáta krajiny, ich suroviny, ktoré sú pridelené úseku fronty, logistickú efektivitu, profesionalizmus armády a jej technologickú úroveň. Taktiež má pridelené armyID, ktorým identifikujeme o ktorú armádu sa jedná pri niektorých funkciách. V rámci triedy Army je implementovaná aj funkcia, ktorá vracia ukazateľ bataliónu na danej pozícii a funkciu `report_stats`, ktorá vypisuje štatistiky celej armády.

Samotná simulácia sa je definovaná v súbore `sim.cpp`, triedy sú definované v súbore `classes.h` a implementované v `classes.cpp`. Generácia mapy v súboroch `mapgenerator`. Samotné štartovné hodnoty scenáru, rovnako ako aj počty generovaných bataliónov sú definovateľné v `scenario_config`.

## **5 Podstata simulačných modelov a ich priebeh**

Simulácia má za úlohu zobrazit' taktické súboje jednotiek na bojisku a ukázať, ako na tieto boje vplýva kvalita logistiky. Tieto výsledky slúžia na podloženie našej hypotézy, ktorá vznikla na základe nášho rešerše do témy vojenských simulátorov.

### **5.1 Postup experimentovania**

Prvotnými experimentami sme ladili celý náš simulátor. Slúžili teda primárne na overenie korektného správania modelu. Na základe výsledkov sme doladili najväčšie chyby a prešli sme do fázy napodobovania reality.

Následne sme prešli značným množstvom iterácií jemnej interpolácie parametrov simulácie a porovnávaním výsledkov s podloženými očakávaniami až dokým sme nezačali ostávať konzistentne zmysuplné dáta.

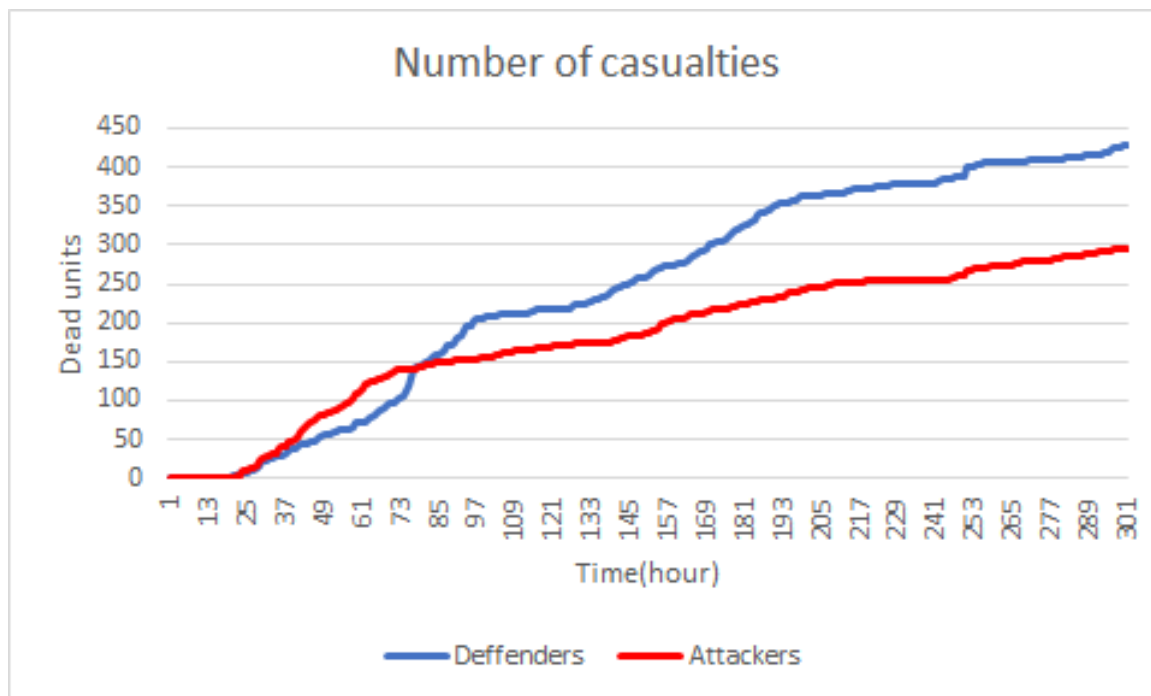
Na záver sme experimentovali s umelým upravovaním začiatkov scenárov tak, aby sme mohli sledovať interakcie jednotlivých mechaník simulácie. Zmeny s konfiguráciou sme robili s ohľadom na fakt, že pracujeme s obmedzenou vzorkou typov jednotiek a malým úsekom bojiska.

### **5.2 Jednotlivé postupy**

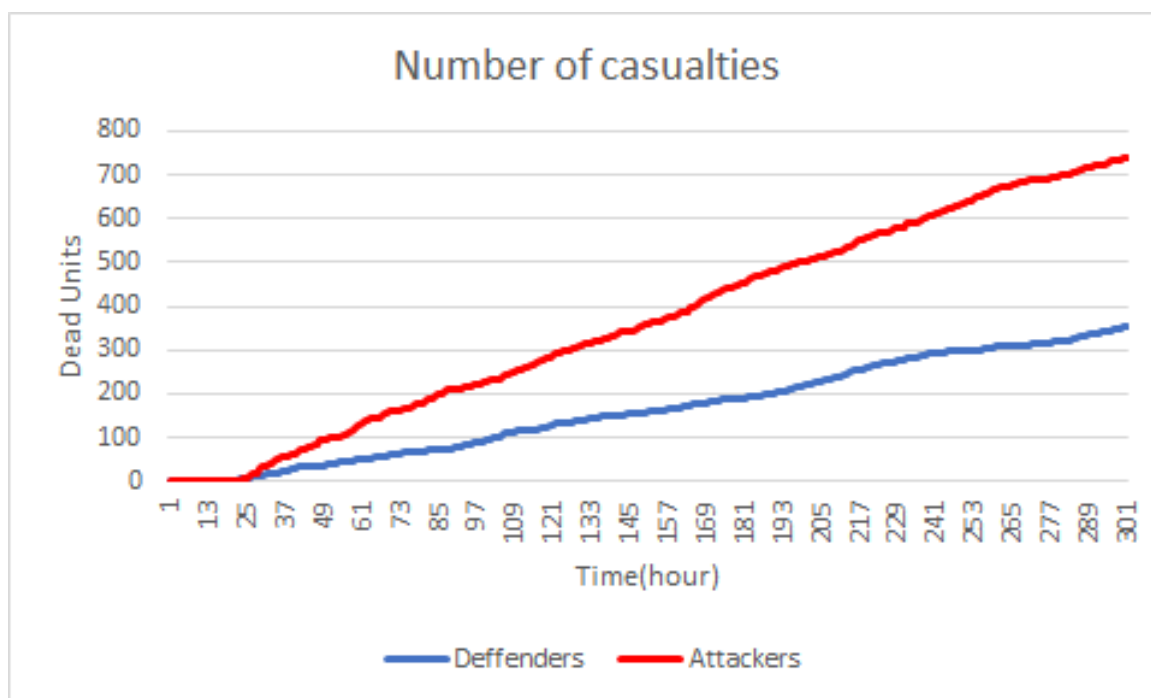
Spúšťali sme rôzne scenáre aby sme otestovali správne správanie sa modelu. Menili sme začiatkové parametre simulácie aby sme docielili otestovanie rôznych hypotéz. Base line nastavenie je proti sebe postupujúce batalióny s rovnakými hodnotami a množstvom jednotiek.

Na nasledujúcom grafe je možné vidieť scenár, kde obrancovia, ktorý majú taktickú výhodu, lebo držia dobre opevnenú pozíciu ale majú horšiu kvalitu logistiky. Zo začiatku je vidieť, že podľa smrtí obrancovia v inak vyrovnanom scenári vyhrávajú, no v momente keď im dôjdu zásoby tak začnú mať problémy s udrzovaním konzistentných výsledkov z dôvodu nedostatku zásob. Toto, v predĺženom konflikte, vyústi v ich porážku a stratu pozície na obrannej línii.

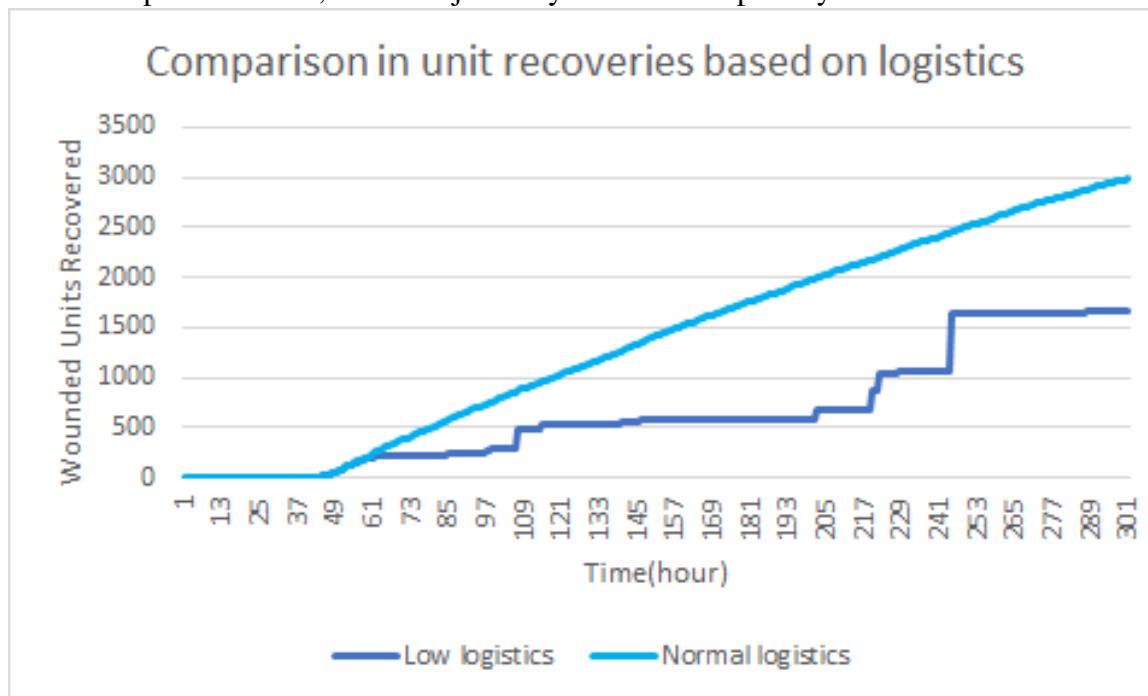




Na druhom obrázku vidíme rovnaký scenár, s tým rozdielom, že tentokrát má strana obrancov rovnakú úroveň logistiky, ako útočníci, a teda vďaka ich taktickej výhode lepšieho opevnenia môžeme vidieť čistý rozdiel v smrtiach na jednotlivých stranách, čo nakoniec skončí výhrou obrancov.



V treťom obrázku môžeme vidieť, aký vplyv má dobrá logistika na schopnosť liečiť svoje zranené jednotky. Pri nízkej logistike je jasne vidieť skoky, ktoré sú spôsobené nedostatočným dopĺňaním zásob čo vedie ku zníženiu schopnosti jednotiek v batalióne sa zotavovať. Tieto skoky vždy nastanú v momente doplnenia zásob, a inak sa jednotky liečia veľmi pomaly.



### 5.3 Závery Experimentov

V priebehu experimentácie sme spravili viac ako 60 experimentov, z toho viac ako polovica bola na vyladenie chýb v našom simulátore. Odstránili sme chyby, ktoré spôsobovali pretekanie uložených hodnôt a aj drobnú chybu, kde sme nepredávali správne referenciu a objekt sa nám neukladal čo spôsobilo, že útočníci sa nehýbali.

Na základe výsledkov môžeme odvodiť konzistentné správanie systému vo väčšine prípadov, avšak bolo by hodné upraviť konkrétne nedostatky okolo nefunkčnosti volania podpory a implementovať sklad na suroviny pridelené armáde na úseku, nie ich generovať zo vzduchu pri zasielaní zásob. Bez implementovania týchto rozšírení však nie je dôvod na pokračovanie v experimentálnom preverovaní.

## **6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver**

Z výsledkov experimentov môžeme odvodiť, že logistika ma ohromný vplyv na efektivitu a bojaschopnosť armád. Do určitej miery vie znížiť následky zhoršenej logistickej situácie práve dobre obránená pozícia, ktorá pozitívne vplýva na efektivitu spotreby strategických surovín ako munícia a vojenské zásoby.

Overenie validity modelu (str.37[1]) bolo dokázané porovnaním výsledného správania modelu (str.24[1]) ku hypotézou predpokladaným výsledkom a dátam z reálneho sveta. Správanie armády bolo navrhnuté pomocou ťažkej abstrakcie reálnych taktík[11] a empirického sledovania aktuálneho diania na Ukrajine.

V rámci projektu vznikol nastaviteľný simulátor útoku na obrannú líniu, ktorý vychádza z rozmanitého zdroja dát. Inšpiráciou pre systém boju boli aj viac abstraktné simulátory, ktoré je možno považovať za hry.[12]

## Literatúra

- [1] Modelování a simulace [www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf)
- [2] SIMLIB <http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB/>
- [3] NATO Organization <https://www.nato.int/cps/en/natohq/structure.htm>
- [4] Hill N, Fallowfield J, Price S, Wilson D. *Military nutrition: maintaining health and rebuilding injured tissue*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2011 Jan 27;366(1562):231-40. doi: 10.1098/rstb.2010.0213. PMID: 21149358; PMCID: PMC3013424.
- [5] Hirsch ES, Matthew Kramer F, Meiselman HL. *Effects of food attributes and feeding environment on acceptance, consumption and body weight: lessons learned in a twenty-year program of military ration research US Army Research*. Appetite. 2005 Feb;44(1):33-45. doi: 10.1016/j.appet.2004.04.010. Epub 2004 Nov 14. PMID: 15604032.
- [6] Rob V. <https://www.operationmilitarykids.org/what-percentage-of-the-military-sees-combat/>
- [7] Howard JT, Kotwal RS, Stern CA, Janak JC, Mazuchowski EL, Butler FK, Stockinger ZT, Holcomb BR, Bono RC, Smith DJ. *Use of Combat Casualty Care Data to Assess the US Military Trauma System During the Afghanistan and Iraq Conflicts, 2001-2017*. JAMA Surg. 2019 Jul 1;154(7):600-608. doi: 10.1001/jamasurg.2019.0151. Erratum in: JAMA Surg. 2019 May 1;: PMID: 30916730; PMCID: PMC6583837.
- [8] Pruitt BA Jr, Rasmussen TE. *Vietnam (1972) to Afghanistan (2014): the state of military trauma care and research, past to present*. J Trauma Acute Care Surg. 2014 Sep;77(3 Suppl 2):S57-65. doi: 10.1097/TA.0000000000000419. PMID: 25159363.
- [9] Benjamin M Knisely, PhD, James C Gaudaen, Andrew V Smith, SSG USA, Julie M Perta, MS, PA-C, Jeremy C Pamplin, MD, FCCM, FACP, Matthew T Quinn, Patricia M Schmidt, PhD, RN, *Evaluating Medic Performance in Combat Casualty Care Simulation and Training: A Scoping Review of Prospective Research*, Military Medicine, 2022;, usac250, <https://doi.org/10.1093/milmed/usac250>
- [10] Ouédraogo, Emile. "Principles of Military Professionalism." *Advancing Military Professionalism in Africa*, Africa Center for Strategic Studies, 2014, pp. 4–15. JSTOR, <https://www.jstor.org/stable/resrep19166.5>. Accessed 5 Dec. 2022.
- [11] Peter Thunholm Lars Henåker (2020) *A tentative model on effective army combat tactics, Comparative Strategy*, 39:5, 490-504, DOI: 10.1080/01495933.2020.1803713
- [12] Command: Modern Air Naval Operations <https://command.matrixgames.com/>