

# IMS – PROJEKT

## 8 Vojské simulátory

Adam Balušesku, Jan Řezníček  
xbalus01 xrezni29

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Program</b>	<b>2</b>
2.1	Preklad . . . . .	2
2.2	Použité knižnice (okrem štandardnej knižnice C++) . . . . .	2
2.3	Spustenie . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Fakty</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Hypotézy</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Spôsob riešenia</b>	<b>6</b>
5.1	Základné zložky systému . . . . .	6
5.1.1	Trieda loď . . . . .	6
5.1.2	Trieda Zbraň . . . . .	7
5.2	Stavy lode . . . . .	7
5.2.1	INITIALSTATE . . . . .	7
5.2.2	CHECKDISTANCESTATE . . . . .	7
5.2.3	CHECKSHOOTSTATE . . . . .	7
5.2.4	DESTROYED . . . . .	8
5.3	Spôsob fungovania radaru a dosahu zbrane . . . . .	8
5.4	Taktiky streľby torpéda . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Testovanie</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Záver</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Zdroje</b>	<b>13</b>

# 1 Úvod

Po preskúmaní rôznych vojenských simulátorov sme sa rozhodli implementovať simuláciu námorných konfliktov na vodnej ploche o zadanej veľkosti. V našej simulácii chceme zistiť účinnosť námornej techniky použitej v konfliktoch 2. svetovej vojny.

Skúmame, aký dopad majú technológie typu radar a zbrane rôznych palebných síl na bojové pole pri strete dvoch bojových flotíl. Pri tomto strete skúmame, aké koeficienty majú hlavný dopad na rozvoj boja, a ktoré faktory sú rozhodujúce pri vyvíjaní vhodnej bojovej stratégie. Skúmame tiež efektívnosť panciera daných lodí, ich obratnosť a rýchlosť na bojisku a počet možných prežitých zásahov.

## 2 Program

### 2.1 Preklad

Program sa preloží použitím príkazu `make`.

### 2.2 Použité knižnice (okrem štandardnej knižnice C++)

```
#include <queue>
#include <unistd.h>
#include<chrono> #include <random>
```

### 2.3 Spustenie

```
./a.out [-b SHIP_NAME TEAM SHIP_COUNT]
```

<code>-b</code>	delimiter, povinný oddeľovač
<code>SHIP_NAME</code>	názov lode [DD571,Z43,SS219,HA201]
<code>TEAM</code>	do ktorého tímu loď patrí
<code>SHIP_COUNT</code>	počet lodí daného typu

#### Príklad spustenia:

```
./a.out -b Z43 2 5 -b SS219 1 1 -b DD571 1 1 -b HA201 1 1
```

Program beží do  $t = 50000s$  a vykresľuje sa po 500s intervaloch

### 3 Fakty

Počas 1. a 2. svetovej vojny nastalo veľa stretnutí ponoriek s nepriateľským torpédom. Pri týchto stretnutiach môžeme pozorovať dopad rýchlosti ponorky na jej schopnosť prežitia situácie pri vyhýbaní sa prichádzajúcemu torpédu.

Na ochranu pred zásahom bol často v ponorkách a na lodiach využívaný protitorpédový bojový systém (anti-torpedo combat system). Loď, ktorá je torpédom zameraná, zistí pomocou radarového systému, že sa torpédo blíži a vypúšťa v tomto prípade návnady, ktoré majú za úlohu náľakať na seba torpédo a zaviesť ho nesprávnym smerom. Loď následne dostáva možnosť na únik. Viac o protitorpédových systémoch sa môžeme dočítať v článku [5].

Veľká časť 2. svetovej vojny bola dominovaná ponorkami, ktoré boli poháňané batériami v ponorenom stave. Tieto batérie museli byť nabíjané naftovými motormi a generátormi pri vynorení na povrch. Preto bola väčšina ponoriek dizajnovaná spôsobom, že v ponorenom stave bola ich rýchlosť výrazne menšia kvôli limitácii od batérie. S vynálezom šnorchľovacieho stožiara mohli ponorky nabíjať svoje batérie aj v ponorenom stave, a vďaka tomu sa zdvihla ich rýchlosť pod vodou. Vďaka tejto zvýšenej rýchlosti narastala šanca, že sa ponorka torpédu úspešne vyhne. [6]

Na základe vzdialenosti, na ktorú bolo torpédo vystrelené bola priemerná úspešnosť zásahu niekde v okolí 75%. Ďalšie aspekty, ktoré spôsobovali nižšiu percentuálnosť zásahov boli správnosť odhadu posádky pri mierení, rýchlosť lodí, na ktoré bolo torpédo vyslané a veľa ďalších, menej dôležitých faktorov.

Správnosť odhadu posádky bola ovplyvnená najmä obratnosťou cieľových lodí a nedostatkom času na vykonanie rozhodnutia (lode zvykli na bojisku využívať nepredvídateľný pohyb zo strany na stranu, aby boli náročným terčom). Tieto faktory znížili priemerný počet zásahov na 30%. Pozri tabuľku (1) a článok autora [3].

Year	Fired	Claimed Snk	JANACSnk	Hit%(1)	Source
1942	1442	274(240)	180	44% est	Blair 359
1943	3837	443	335	28,9%	Blair 551, 552
1944	6092	849	603	35,9% est	Blair 816, 818
1945	3277	160	125	12-18% est	Connell
Total	14748	1827	1314	30% est	Blair 877, 878

Tabuľka 1: Odhadované percento zásahov

<b>Range (YD)</b>	<b>Hit (%)</b>
500	65%
750	51%
1050	33%
1350	33%
1650	30,5%
1950	27,3%
2250	55%
2550	50%
2850	15%
3130	25%

Tabuľka 2: Percento zásahov torpéd podľa vzdialenosti cieľa (zdroj údajov: [3])

## 4 Hypotézy

Údaje o vzdialenosti, na ktorú vedeli ponorky detegovať nepriateľa, nie sú presne dohľadateľné. Budeme teda uvažovať odhadovanú dĺžku periskopu a počítat vzdialenosť dohľadu podľa vzorca (4).  $\Theta$  volíme implicitne 0,2 kvôli zjednodušeniu.

From Trigonometry:

$$\tan(\Theta) = (Mast\ Height)/(Range) \text{ both in feet}$$

$$Range = \frac{Mast\ height}{\tan(\Theta)}$$

Mast height is “guessed” by the sub skipper - usually around 100 feet

But  $\tan(\Theta^\circ) \sim \Theta/57.3$  where  $\Theta$  is in degrees

$$\text{So } Range = \frac{[(Mast\ height)*57.3]}{\Theta^\circ}$$

Vzorec na výpočet dohľadu (podľa [3])

Pri využití zbraní, ktoré nie sú torpédového typu uvažujeme poškodenie nepriateľskej lode hypoteticky (v konfliktoch väčšinou hrali hlavnú rolu výbušné zbrane, a preto nie sú zaznamenané presné štatistiky dopadu poškodenia dela na nepriateľskú loď). Poškodenie dávame implicitne na nízku úroveň. Určujeme ho na základe ráže dela - čím väčšia ráž, tým väčšie poškodenie. Údaje boli odhadované pomocou U.S. Navy War Damage Reports [4].

Spôsob vypočítania životov a počet poškodenia jednej munície je čisto hypotetický. Životy sme určili následovne: vedeli sme, že priemerná loď v 2. svetovej vojne vážila 2000 ton a zároveň sme vedeli zo štatistiky, že loď sa potopí pri 1,8 zásahoch torpédom, preto sme určili životy ako váhu lode/20 a poškodenie torpéda ako normálne rozdelenie so stredom v 65. Ostatné poškodenia zbraní sme určili podľa U.S. Navy War Damage Reports [4], čisto podľa nášho uváženia. Ich poškodenie oproti torpédu je o poznanie menšie.

## 5 Spôsob riešenia

Naša simulácia je spracovaná ako diskretná simulácia, ktorá využíva nasledujúce zložky:

**Čas** premenná  $t$  simuluje 1 sekundu v reálnom svete.

**Udalosť** simuluje udalosť, ktorá má nastať, má svoj aktivačný čas, kedy nastane, funkciu, ktorou udalosť vyvolá a prioritu, ešte sme pridali o akú udalosť sa jedná.

**Frontu udalostí** tá je implementovaná pomocou `priority_queue`, ktorá má vždy ako vrchol najväčší možný prvok. Frontu sme prerobili na to, aby vždy mala najmenší možný prvok na vrchole, veľmi jednoducho a to tým, že meníme znamienko na záporne pre všetky udalosti. Po tom, čo vrátime prvok na vrchole, znamienko vrátime späť a dostaneme ten najmenší.

**Generátor náhodných čísel** náš program používa na simulovanie pravdepodobnosti pseudonáhodné čísla.

V našej implementácii uvažujeme ponorky a torpéda, pre zjednodušenie využívame štatistiku percenta zásahov podľa článku *Torpedo Accuracy Achieved by WWII U.S. Submarines* [3].

### 5.1 Základné zložky systému

#### 5.1.1 Trieda loď

##### Parametry lode:

**Lokácia lode** aktuálna lokácia lode uložená v súradniciach typu `double`.

**ID** identické označenie lode.

**Životy** koľko životov má loď k výpočtu, viac v sekcii hypotézy.

**Tím** tím lode, hra má iba 2 tímy (1 alebo 2).

**Rýchlosť** konkrétna rýchlosť lode udaná v m/s zadaná rýchlosť je ešte prevedená na mierku mapy ako:

$$rýchlosť = \frac{zadaná\ rýchlosť\ v\ m/s}{veľkosť\ jedného\ poľa\ v\ m}$$

**Dosah radaru** konkrétny dosah radaru lode udaný v metroch zadaný dosah je ešte prevedený na mierku mapy ako:

$$dosah = \frac{zadaný\ dosah\ v\ m}{veľkosť\ jedného\ poľa\ v\ m}$$

**Typ** názov lode použitý pri vyplňovaní parametrov.

**Zbrane** pole zbraní, ktorými loď disponuje.

**Fronta** fronta udalostí, ktoré má špecifická loď vykonať.

##### Metódy lode:

**Pohyb** má vytvorené 4 metódy pre pohyb dopredu, dozadu, doľava, doprava. Každá z nich má detekciu konca mapy, či detekciu, či sa na mieste, kam chce ísť, nenachádza iná loď. Konkrétna dĺžka pohybu za jednotku času sa vypočíta ako:

$$\textit{nasledujuca lokacia} = \textit{aktuálna lokacia} (+/-) \textit{rýchlosť}$$

### 5.1.2 Trieda Zbraň

**Typ** torpédo alebo zbraň.

**Čas prebitia** počet jednotiek času, na ktorý je zbraň zablokovaná.

**Poškodenie** koľko životov zbraň uberá na jednu jednotku náboja. Pre torpéda sa dozviete viac v sekcii fakty a pre ostatné zbrane v sekcii hypotézy

**Presnosť** slúži k počítaniu pravdepodobnosti zásahu odlišných zbraní. Pre torpéda sa dozviete viac v sekcii fakty a pre ostatné zbrane v sekcii hypotézy

**Veľkosť zásobníkov** Ak je aktuálny počet nábojov v zásobníku rovný 0, aktivuje sa blokácia zbrane.

**Celkový počet zásobníkov** lodě mali obmedzenú nosnosť, typicky loď niesla rovnako torpéd, ako mala odpaľovacích turbín.

**Rýchlosť strely** rýchlosť strely udaná v m/s spôsob výpočtu je obdobný ako rýchlosť lode.

## 5.2 Stavy lode

Stavy lode sú implementované k urýchleniu simulácie. Nedáva zmysel napríklad kontrolovať dosah zbrane, keď na nepriateľskú loď ani nedosiahneme radarom.

### 5.2.1 INITIALSTATE

Je stav, kedy loď, **ak je fronta udalostí prázdna** generuje pseudonáhodnú sekvenciu pohybov. V ňom sa loď môže objaviť na základe dvoch nasledujúcich podmienok.

- Loď sa práve vytvorila
- Fronta udalostí lode je prázdna.

### 5.2.2 CHECKDISTANCESTATE

Je stav, kedy sa overuje, či radar lode dosahuje na nepriateľskú loď, ak áno, loď zamieria na najbližšiu nepriateľskú loď a pohybuje sa smerom ku nej. V ňom sa loď môže objaviť na základe nasledujúcich podmienok.

- Po každej sekvencii pohybov sa volá tento stav.

### 5.2.3 CHECKSHOOTSTATE

Je stav, kedy sa overuje, či zbraň lode dosahuje na nepriateľskú loď, ak áno, loď zamieri na najbližšiu nepriateľskú loď a začne na ňu útočiť. V ňom sa loď môže objaviť na základe nasledujúcich podmienok.



- Loď zamierila nepriateľskú loď a ide k nej.

#### 5.2.4 DESTROYED

Je stav, v ktorom loď uviazne a nič nerobí, iba sa označí ako zničená. V ňom sa loď môže objaviť na základe nasledujúcich podmienok.

- Loď má pod 0 životov.

### 5.3 Spôsob fungovania radaru a dosahu zbrane

Pre každú nepriateľskú loď, čo nie je v stave DESTROYED sa spočíta vzdialenosť na základe vzorca. Uvažujme, že  $x$  a  $y$  sú súradnice.

$$vzdialenosť = \sqrt{(nepriateľské\ x - tvoje\ x)^2 + (nepriateľské\ y - tvoje\ y)^2}$$

Následne zo všetkých vypočítaných vzdialeností určíme najmenšiu a tiež splňujúcu podmienku.

$$vzdialenosť < dosah\ radaru/zbrane$$

### 5.4 Taktiky streľby torpéda

Ak má loď možnosť vystreliť salvu, strieľa v jednej salve polovicu torpéd. Čas medzi paľbou prvej salvy a druhej salvy určujeme ako čas, za ktorý torpéda dorazia k lodi, po ktorej boli vypálené. Ak je v danom čase táto loď zničená, druhá salva sa vystrelí po ďalšej najbližšej lodi.

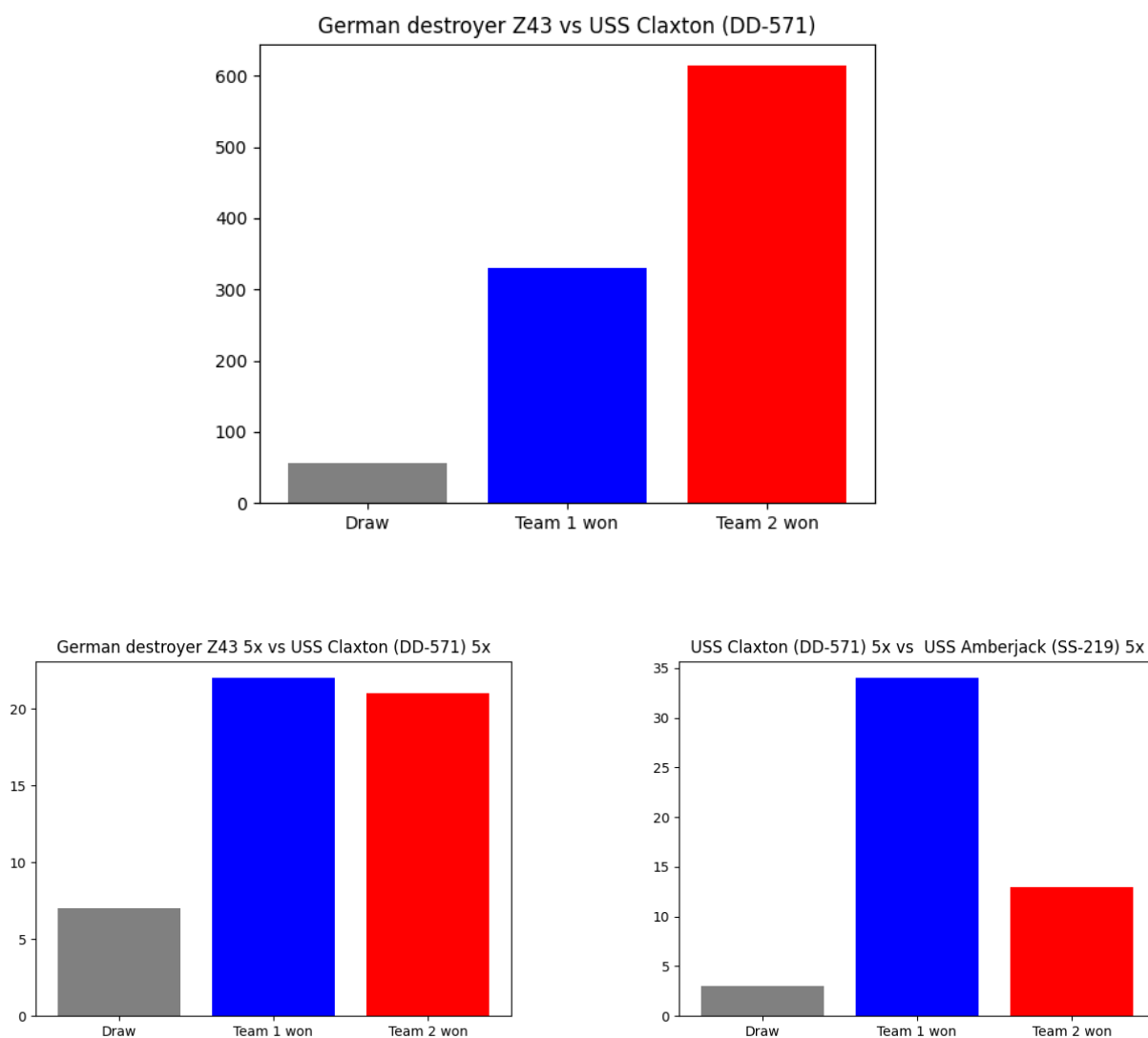
<b>Name</b> <b>Nation</b> <b>Radar+range</b>  <b>Speed</b> <b>Armament</b>	USS Claxton (DD-571) US SJ Radar; Main Sweep: 180 000 ft (54 864 m). Expanded Sweep 60 000 ft (18 288 m). Precision sweep on 120 000 ft (36 576 m). 35 knots (65 km/h; 40 mph) 5 × single 5 in (127 mm)/38 guns 2 × quintuple 21 in (533 mm) torpedo tubes
<b>Name</b> <b>Nation</b> <b>Radar+range</b> <b>Speed</b> <b>Armament</b>	German destroyer Z43 Nazi Germany FuMO 24 radar; range about 12 nmi (22 km; 14 mi) 35 knots (65 km/h; 40 mph) 5 × single 5 in (127 mm)/38 guns 2 × quintuple 21 in (533 mm) torpedo tubes
<b>Name</b> <b>Nation</b> <b>Mast height</b> <b>View range</b> <b>Speed</b> <b>Armament</b>	Ha-201-class submarine Japan 60 ft (18.28 m) 17 190 ft (5239 m) 11.8 knots (21.9 km/h) surfaced; 13.9 knots (25.7 km/h) submerged 2 × 533 mm (21 in) torpedo tubes; 4 × Type 95 torpedoes 1 × 7.7 mm machine gun
<b>Name</b> <b>Nation</b> <b>Speed</b> <b>Radar+range</b>  <b>Armament</b>	USS Amberjack (SS-219) United States 21 kn (39 km/h) surfaced, 9 kn (17 km/h) submerged SJ Radar; Main Sweep: 180 000 ft (54 864 m). Expanded Sweep 60 000 ft (18 288 m). Precision sweep on 120 000 ft (36 576 m). 10 × 21-inch (533 mm) torpedo tubes 6 forward, 4 aft 24 torpedoes; 1 × 3-inch (76 mm) / 50 caliber deck gun Bofors 40 mm and Oerlikon 20 mm cannon

Tabuľka 3: Ponorky a lode použité v našich simuláciách (zdroj údajov: [2])

\*Mast height a View range sú hypoteticky určené údaje

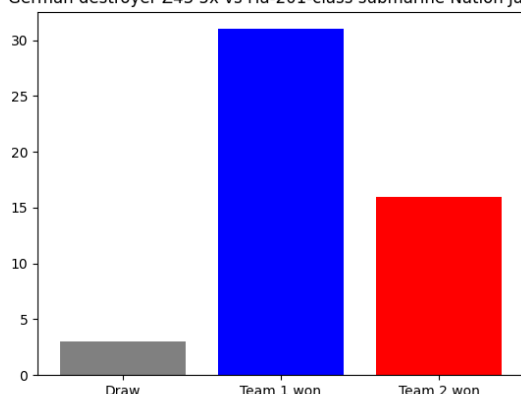
## 6 Testovanie

Program sme testovali tak, že sme proti sebe postavili 2 tímy s určitými typmi lodí a zisťovali, ktorý z nich vyhrá/prehrá, alebo či nastane remíza. Výhru označujeme ako prípad, kedy má daný tím viac lodí v nezničenom stave na konci simulácie. Po prevedení experimentov sme si všimli, že lode USS Claxton (DD-571) a nemecký destroyer Z43 sú veľmi vyrovnané silou, ale mierne vyššiu šancu na výhru má USS Claxton, pretože má vyšší dosah torpéd. Z43 je na druhú stranu mierne odolnejšia a jej zbraň na palube - 12.7 cm SK C/34 naval gun - má mierne vyšší dosah, než zbraň na palube USS Claxton. Dosah torpéda sa ale prejavil ako dôležitejší parameter (6).

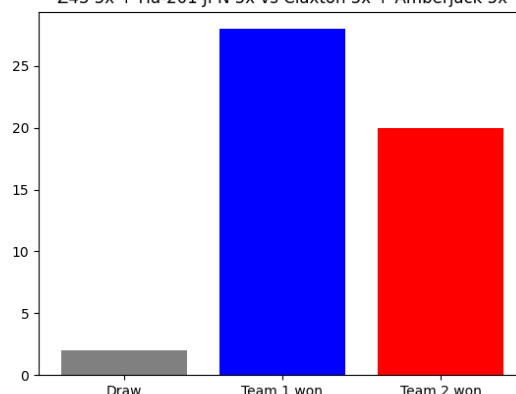


Tabuľka 4: Testy

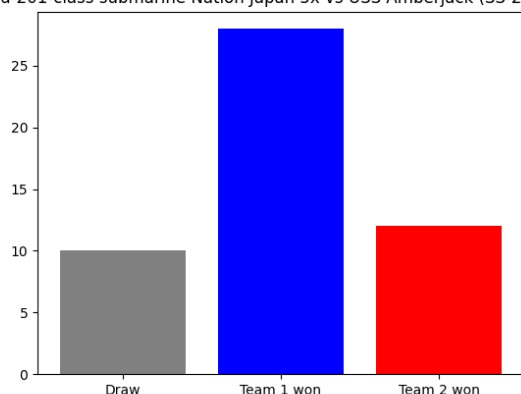
German destroyer Z43 5x vs Ha-201-class submarine Nation Japan



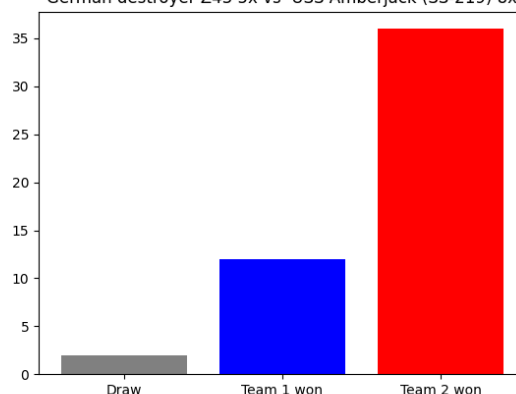
Z43 5x + Ha-201 JPN 5x vs Claxton 5x + Amberjack 5x



Ha-201-class submarine Nation Japan 5x vs USS Amberjack (SS-219) 5x



German destroyer Z43 5x vs USS Amberjack (SS-219) 8x



Tabuľka 5: Testy

### German destroyer Z43 5x vs USS Claxton(DD-571) 5x

Test, ktorým sme sa snažili zistiť, ktorý národ má silnejšiu loď typu destroyer. Keďže sme si po niekoľkých generovaniach testu všimli, že je to do istej miery náhodné, skúsili sme vygenerovať väčšie množstvo testov (1000) (graf 4).

### USS Claxton(DD-571) 5x vs USS Amberjack (SS-219) 5x

V tomto teste sme sa snažili zistiť silu americkej lode typu destroyer proti americkej ponorke (graf 4).

### German destroyer Z43 5x vs Ha-201-class submarine Nation Japan

Tu sa snažíme zistiť silu nemeckej lode typu destroyer proti japonskej ponorke (graf 5).

### German destroyer Z43 5x Ha-201-class submarine Nation Japan 5x vs USS Claxton(DD-571) 5x USS Amberjack (SS-219) 5x

Tu sa snažíme zistiť silu v spojení Japonska a Nemecka proti Amerike, testujeme ponorky aj destroyery (graf 5).

### Ha-201-class submarine Nation Japan 5x vs USS Amberjack (SS-219)

Tu sa snažíme zistiť silu amerických ponoriek proti japonským (graf 5).

### German destroyer Z43 5x vs USS Amberjack (SS-219) 8x

Tu sa snažíme zistiť, aký by mal vplyv nasadenia viacerých ponoriek proti lodi typu destroyer (graf 5).

## 7 Záver

Naša simulácia potvrdila, že lode typu destroyer boli značne efektívne v nasadení proti ponorkám. Keďže loď tiež disponuje torpédami a radarom, ktorý väčšina ponoriek nemala, bolo pomerne jednoduché ponorky zničiť. Ďalej v rámci našich testov bolo zistené, že japonská ponorka Ha-201-class submarine bola efektívnejšia, než americká USS Amberjack (SS-219). V reálnom svete by bolo ale značne obtiažne pre japonskú zamerať tú americkú, keďže nedisponovala radarom. Simulácia nám taktiež ukázala, že rolu hrá do istej miery aj náhoda, a to tak, že záleží na presnosti posádky - na tom, koľko torpéd sa nám podarí trafiť.

## 8 Zdroje

- [1] USS Pampanito - SJ, SJa, SJ-1 SUBMARINE SURFACE SEARCH RADAR. San Francisco Maritime National Park Association - Home [online]. Copyright © 2006, [cit. 03.12.2022]. Dostupné z: <https://maritime.org/tech/radiocat/sj.php>
- [2] Category:Navies — Military Wiki — Fandom. [online]. Dostupné z: <https://military-history.fandom.com/wiki/Category:Navies>
- [3] US Submarine Torpedo Accuracy in the WWII Pacific theater. Dionysus.biz home page covers travel, art, computers and naval games research [online]. Dostupné z: <https://www.dionysus.biz/torpedoaccuracy.html>
- [4] HyperWar: USN War Damage Report–index. The Public’s Library and Digital Archive [online]. Dostupné z: <https://www.ibiblio.org/hyperwar/USN/rep/WDR/index.html>
- [5] Seo K-M, Sang H, Jung S, Gon T. Measurement of Effectiveness for an Anti-torpedo Combat System Using a Discrete Event Systems Specification-based Underwater Warfare Simulator. The Journal of Defense Modeling and Simulation. 2011;8(3):157-171. doi:10.1177/1548512910390245
- [6] The Relationship Between a Submarine’s Maximum Speed And its Evasive Capability [online]. Dostupné z: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA382255>
- [7] Radar Equipment of the United States of America - NavWeaps. NavWeaps — Naval Weapons, Naval Technology and Naval Reunions [online]. Dostupné z: [http://navweaps.com/Weapons/WNUS\\_Radar\\_WWII.php#Mark\\_4](http://navweaps.com/Weapons/WNUS_Radar_WWII.php#Mark_4)