



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Saarten suojavaikutuksen arviointi meritorjuntaohjuksia vastaan

Johannes Mäkinen

30.08.2019

Ohjaaja: *Juho Roponen*

Valvoja: *Ahti Salo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

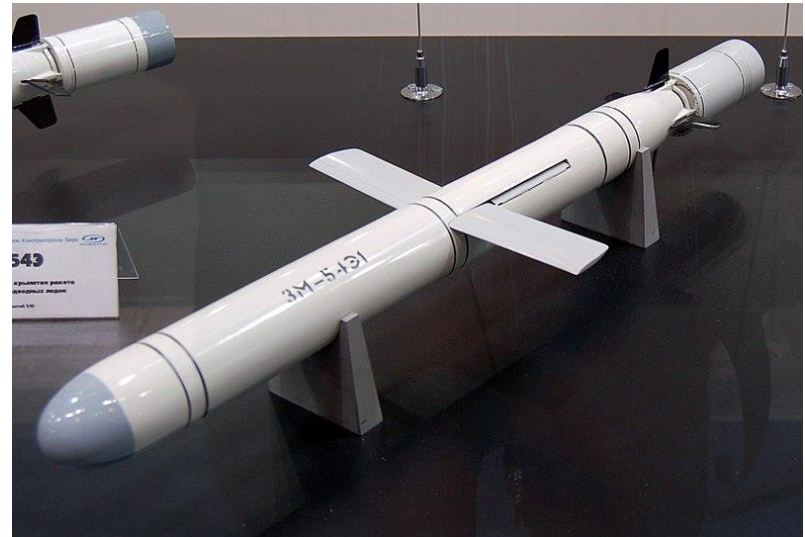
- Vastakkainasettelullinen riskianalyysi asejärjestelmien vaikuttavuusarvioinnissa
 - Varteenotettava lähestymistapa?
- Esimerkkitapaus: Aluksen täydennys saaristossa
 - Tehtävä selvittää, missä aluksen kannattaa täydentää varastojaan saaristossa
 - Tavoitteena vihollisen ilmatiedustelu-uhan minimointi

Tavoitteet

- Tavoitteenani oli luokitella mahdolliset täydennyspaikat turvallisuuden mukaan
 - Mahdolliset täydennyspaikat ja reitit ennalta määritelty (Olander 2018)
 - Minimoidaan vihollisen iskumahdollisuus
 - Saaret tarjoavat suojaa ohjuksilta

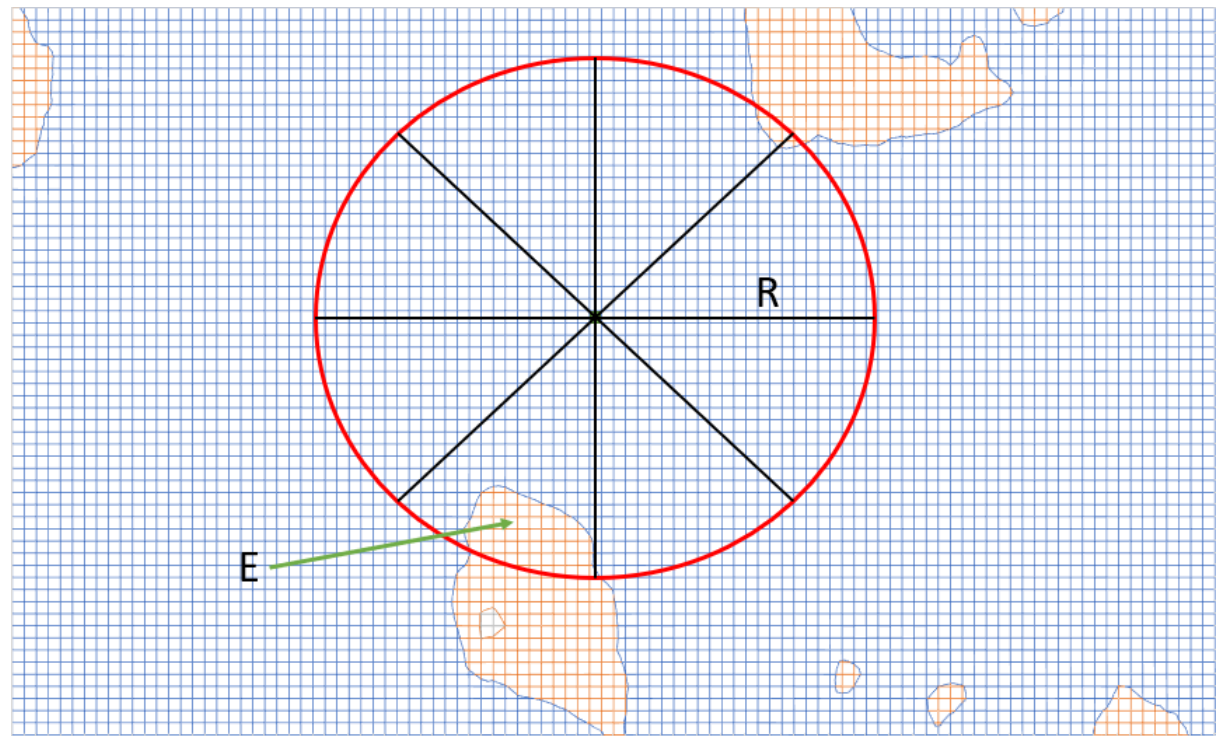
Meritorjuntaohjuksen toiminta

- Lentokorkeus alle 10m merenpinnasta terminaalivaiheessa
- Nopeus riippuu ohjustyypistä
 - Ali- ja yliääniohjuksia olemassa
 - Matalalla nopeasti liikkuvat ohjukset vaikea havaita
- 3M-54 Kalibr / SS-N-27 Sizzler
 - Lentokorkeus n. 5m
 - Nopeus Mach 0.8-3.0
 - Tarkkuus 3m



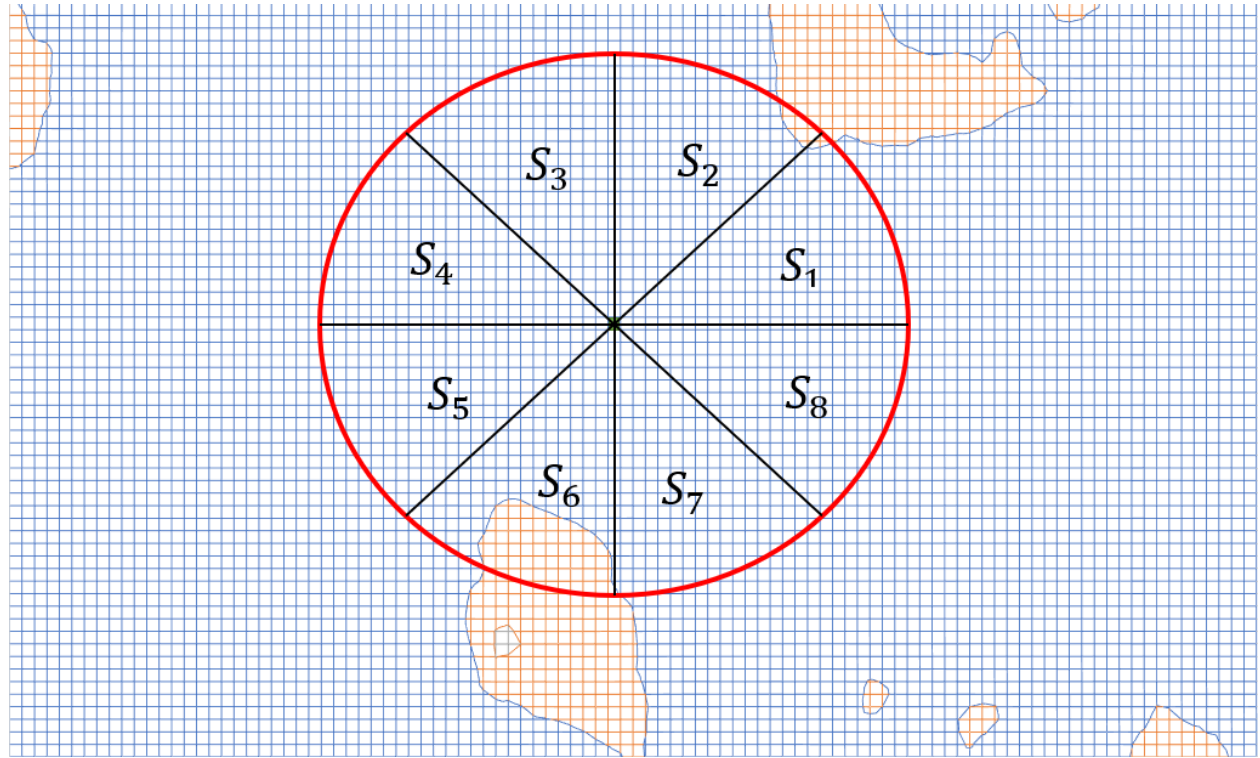
Kuva 1: 3M-54 Kalibr

Menetelmä



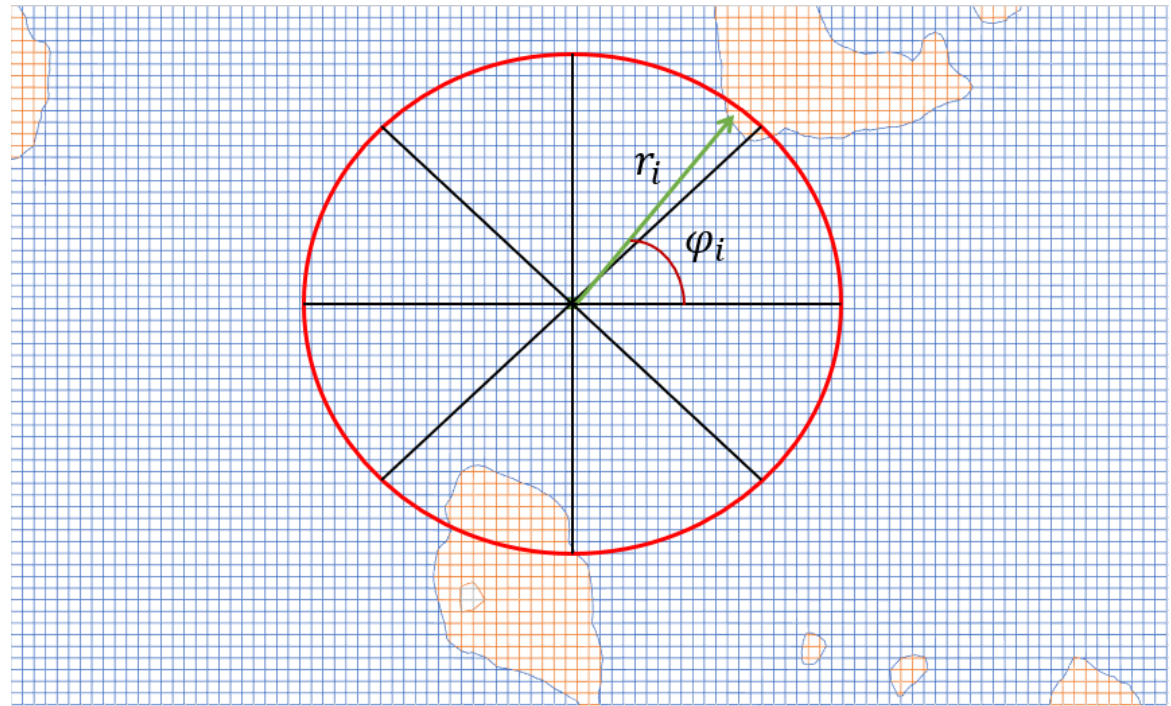
- Ympäröivä alue on R –säteinen ympyrä
 - Ohjus ei ehdi muuttaa lentorataansa
- Sisällä saarien elementtejä
 - E on minimikorkeus sille, että saaren elementti tarjoaa suojaa.

Menetelmä



- Ympäröivä alue jaettu sektoreihin
 - Edustavat suojattuja suuntia
- Sektorien lkm. määräytyy säteen avulla
 - $lkm. \geq \frac{2\pi R}{10}$

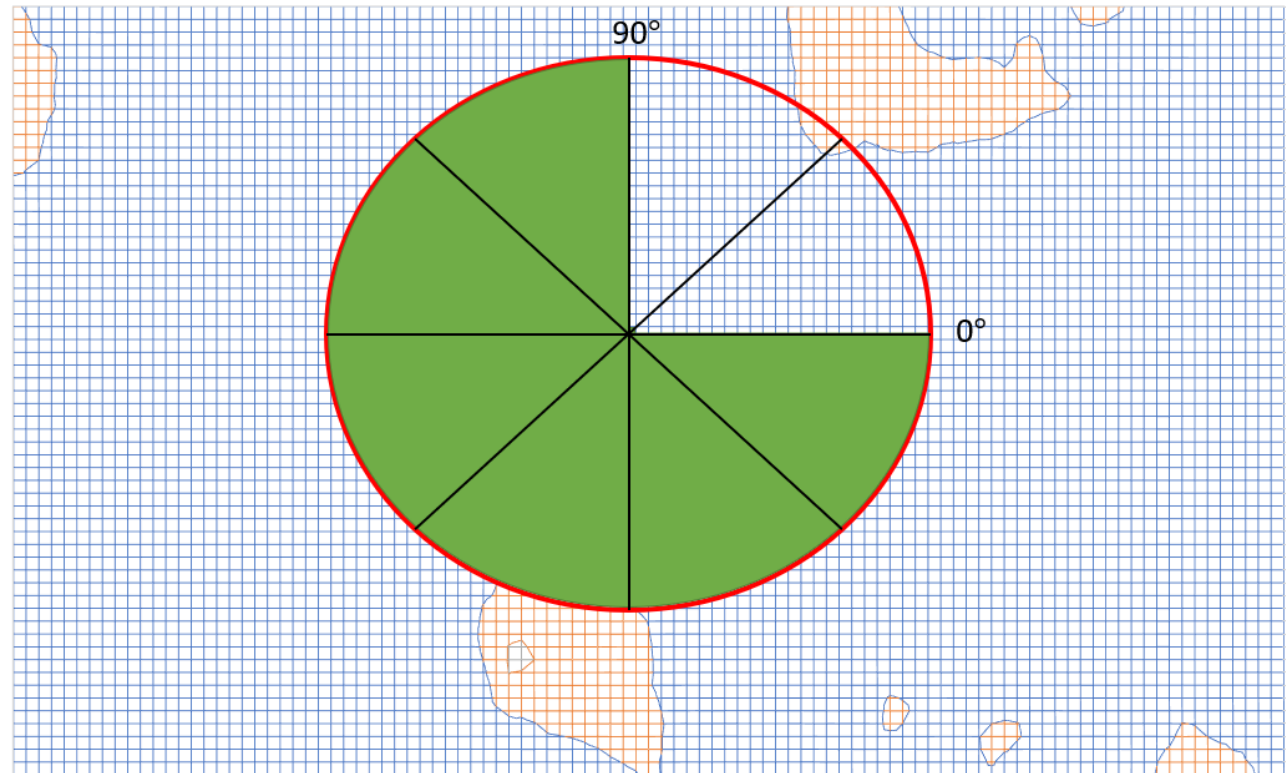
Menetelmä



- Jos saaren elementti on korkeampi kuin E:
 - Anna elementille polaarikoordinaatti (r_i, φ_i)
 - Kulma φ_i kertoo mihin sektoriin elementti kuuluu
 - Tämä sektori on suojattu
- Laske suojattujen sektorien kulmien summa

Menetelmä

- Parametri α kertoo uhkasektoria rajoittavat kulmat
- Muut sektorit suojattuja



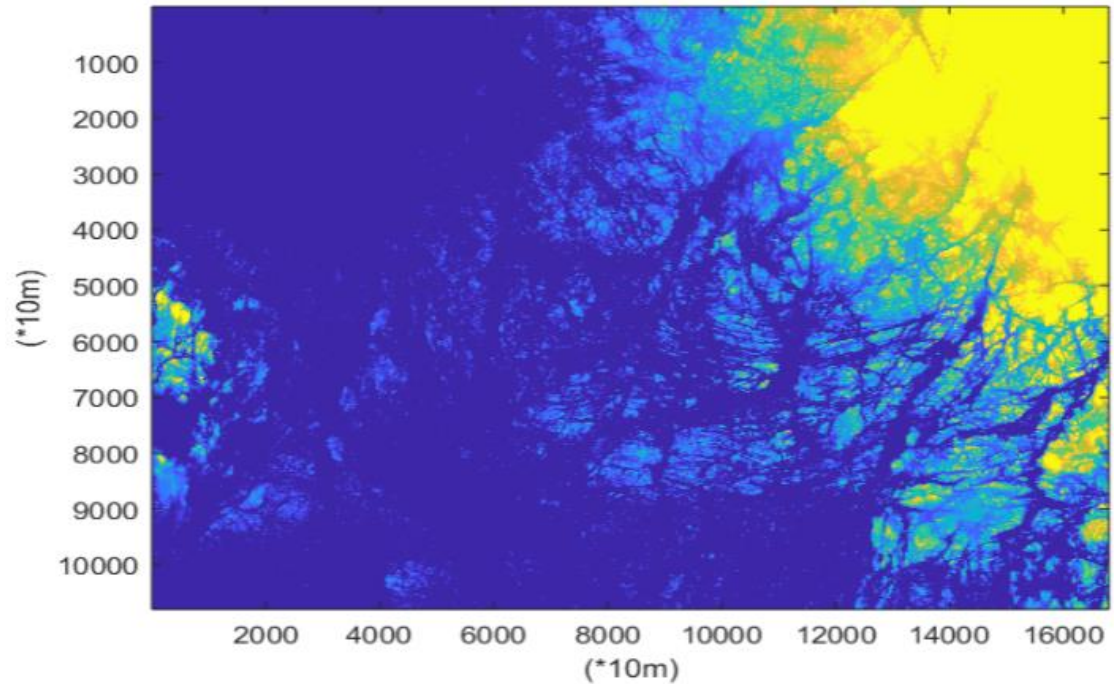
- Kuvassa $\alpha = [0 \ 90]$

Data

- Maanmittauslaitos tarjoaa korkeusdataa saaristosta
 - www.maanmittauslaitos.fi
- Leevi Olanderin mallinnus Suomen saaristosta antaa mahdolliset lokaatiot ja reitit täydennyksille.
 - Olander, L. (2018). Generating a Navigation Graph for Coastal Waters. Kandidaatintyö, Aalto-yliopisto, Matematiikan ja systeemianalyysin laitos.

Data

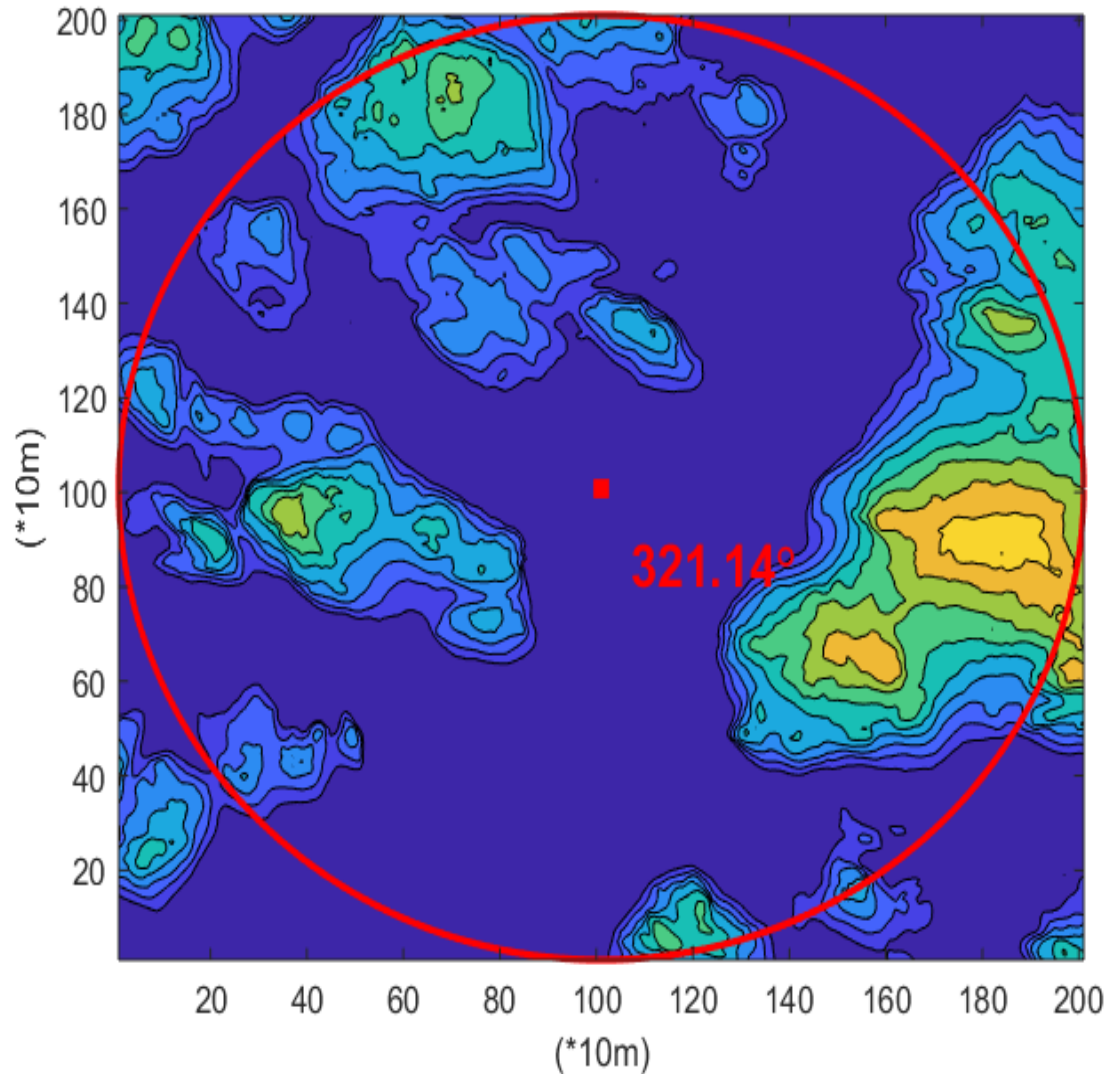
-0,09	-0,09	-0,09	0,46	1,66	1,65	1,69	2,1	...
-0,09	-0,09	-0,09	0,86	2,23	3,49	3,26	4,2	...
-0,04	0,68	0,51	1,34	2,46	3,65	4,95	6,66	...
-0,09	1,26	1,66	1,71	3,15	4,04	5,37	7,39	...
-0,06	1,73	2,81	2,55	3,8	5,11	5,92	7,5	...
-0,09	1,33	2,91	3,53	4,33	6,46	7,18	7,78	...
-0,09	1,28	2,89	4,71	4,88	7,71	8,15	8,4	...
0,2	0,95	2,54	4,02	5,53	8,88	9,61	10,3	...
0,59	1,1	2,73	4,34	5,69	8,16	9,82	10,8	...
1,22	1,64	3,71	4,27	5,22	8,15	10,4	11,9	...
1,99	2,31	3,54	5,02	5,75	8,72	11,3	12,4	...
2,69	3,34	3,47	4,58	5,74	8,75	10,9	12,5	...
4,04	4,12	4,05	4,16	5,16	7,43	10,5	11,2	...
4,63	4,72	4,23	4,57	5,38	7,08	10,2	11,3	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



- Saaristomeren alue
 - Alueen koko 108km x 168km
- Data matriisimuodossa
 - 10m x 10m elementit, joissa korkeusarvio
 - Alueessa 181.44 milj. elementtiä

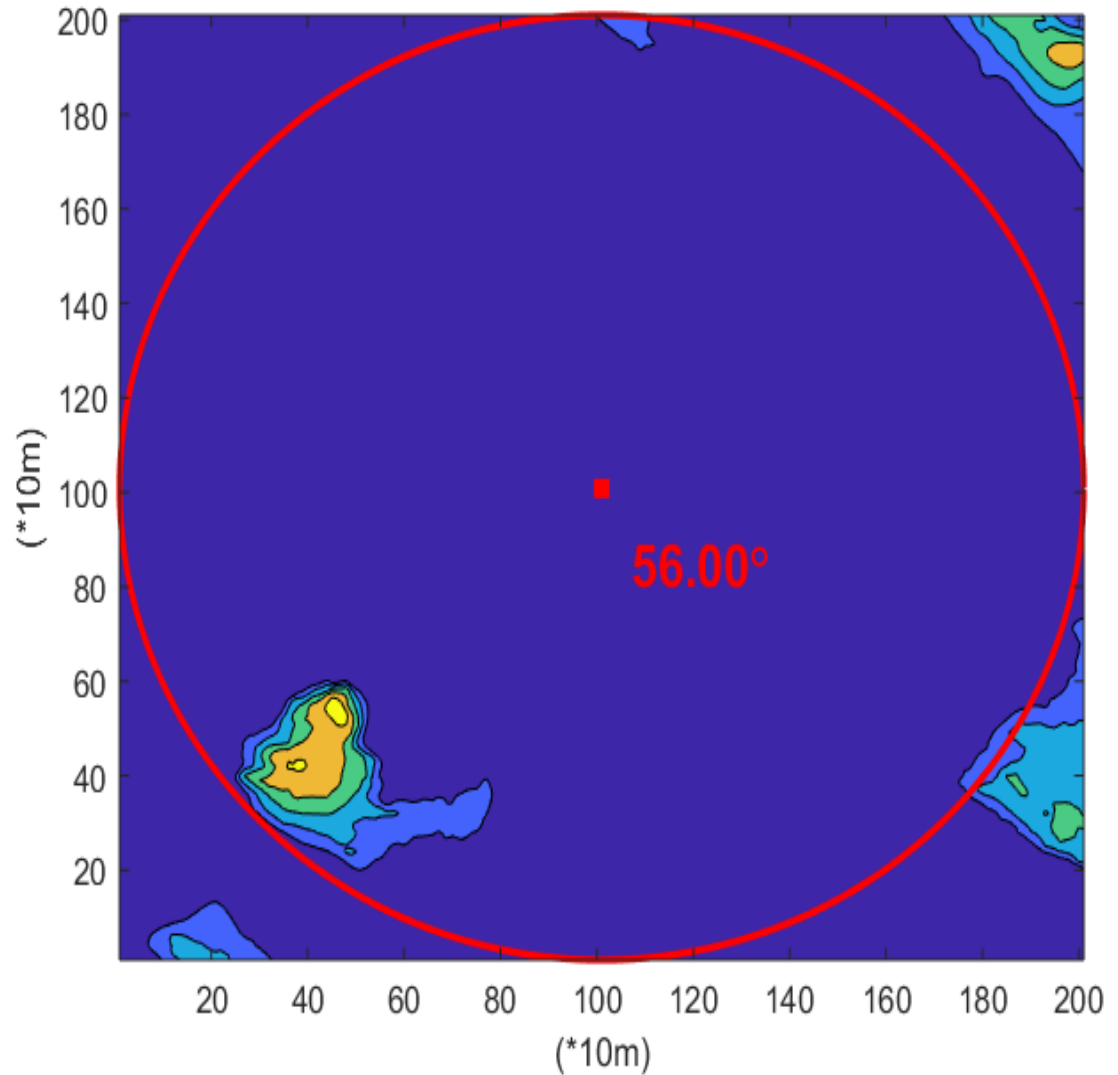
Tulokset

- Laskentaparametrit:
 - $R = 1000$ m
 - $E = 5$ m
 - Sektorien lkm. 630
- Hyvä piste suojattu lähes joka suunnasta



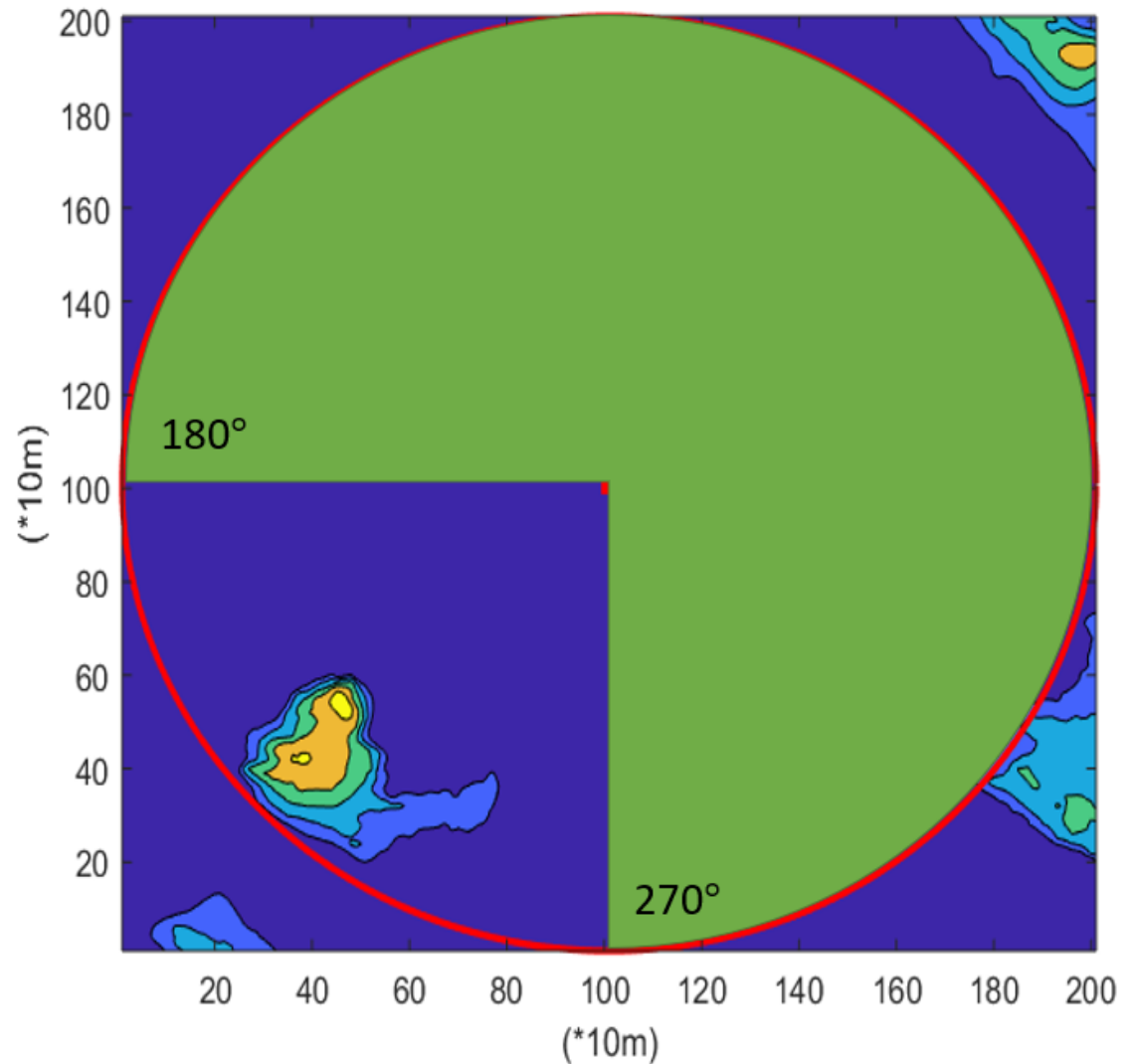
Tulokset

- Suojattomampi piste
- Vähän suojaavia saaria



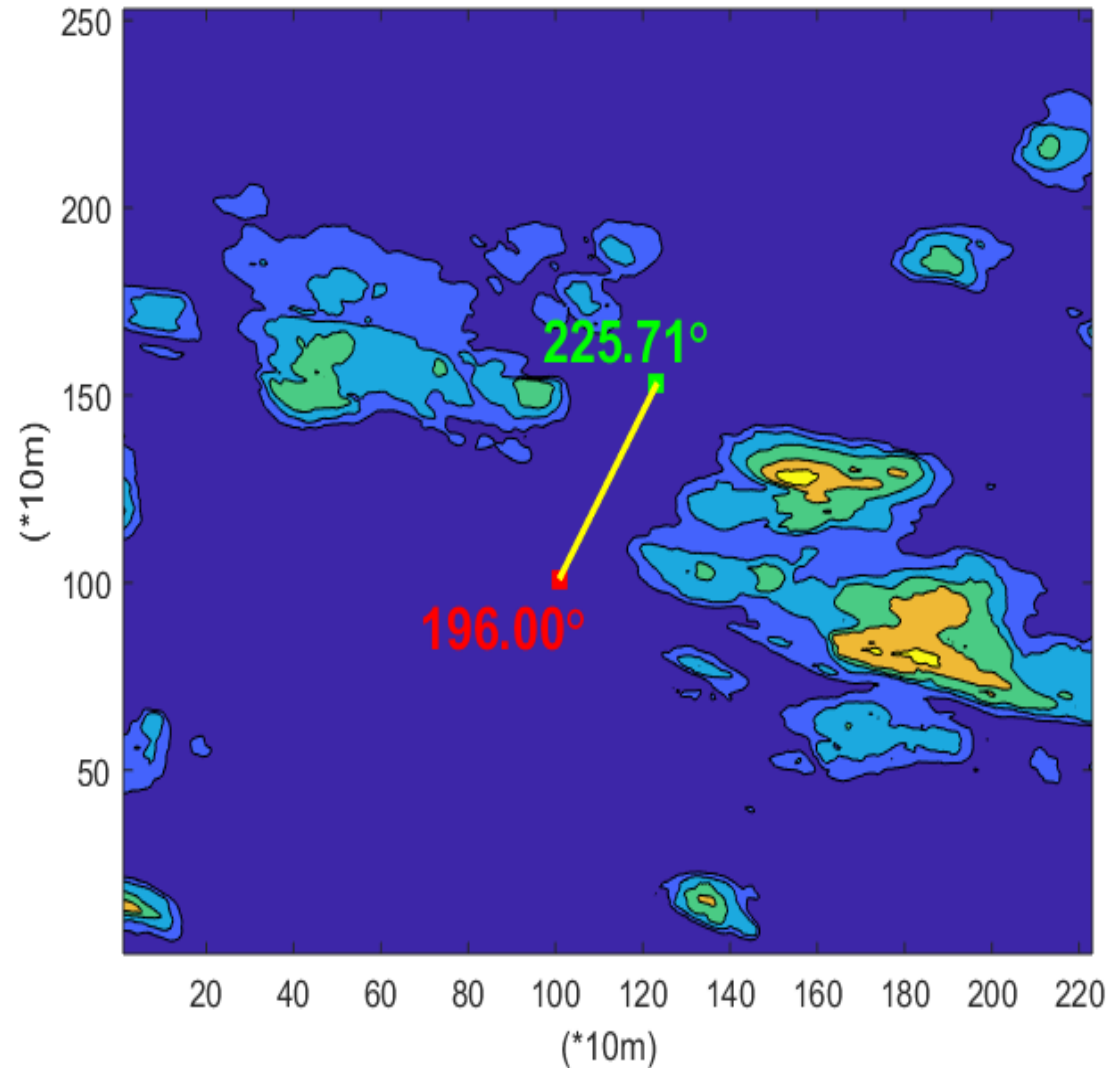
Tulokset

- Uhkasuunta $\alpha = [180 \ 270]$ tiedetään
- Suojaisuus 307°



Tulokset

- Suojaus pisteiden välillä approksimoidaan pisteiden keskiarvolla
- Kuvassa olevien pisteiden välin suojaus on 211°



Herkkyysanalyysi

- Laskenta-aika kasvaa säteen R kasvaessa
- Korkeusvaatimus E :n kasvu vähentää laskenta-aikaa
- Sektorien lukumäärä vaikuttaa hyvin vähän

Table 1: Computing times with different parameter values.

$R \backslash E$	5 m	10 m	15 m	$nSectors$
1 km	5.12 min	4.13 min	3.36 min	530
	5.76 min	4.67 min	3.94 min	630
	7.10 min	5.52 min	4.79 min	730
1.5 km	12.64 min	9.18 min	7.74 min	845
	13.67 min	10.33 min	8.28 min	945
	14.71 min	12.17 min	9.74 min	1045
2 km	27.89 min	18.72 min	15.04 min	1160
	28.14 min	20.31 min	16.60 min	1260
	30.93 min	22.10 min	17.08 min	1360

Herkkyysanalyysi

Table 2: Differences in protection per point.

$R \backslash E$	5 m	10 m	15 m	$nSectors$
1 km	0.98°	-26.31°	-44.21°	530
	0.00°	-26.97°	-44.63°	630
	-0.81°	-27.52°	-44.99°	730
1.5 km	30.67°	-4.23°	-29.07°	845
	29.89°	-4.81°	-29.47°	945
	29.18°	-5.32°	-29.83°	1045
2 km	55.24°	15.23°	-15.02°	1160
	54.60°	14.74°	-15.38°	1260
	54.03°	14.28°	-15.71°	1360

- Säde R:n kasvu kasvattaa suojaustasoa
- Korkeusvaatimus E:n kasvaessa suojaukset pienenevät
- Sektorien lukumäärä ei vaikuta merkittävästi suojauksiin

Johtopäätökset

- Menetelmä tuottaa käyttökelpoisia tuloksia
- Parametrien muokkaaminen helppoa

- Tarvitaan lisäanalyysia/kenttäkokeita
 - Miten hyvin saaret oikeasti suojaavat alusta?
- Menetelmä riippuu käyttäjän syötteestä
 - Käyttäjävirhe mahdollinen

Lähteet

- Roponen, J. and Salo, A. (2015). Adversarial risk analysis for enhancing combat simulation models. *Journal of Military Studies*, 6(2):82–103.
<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/jms.2015.6.issue-2/jms-2016-0200/jms-2016-0200.pdf>
- Olander, L. (2018). Generating a Navigation Graph for Coastal Waters. Kandidaatintyö, Aalto-yliopisto, Perustieteiden korkeakoulu.
http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/tola19_public.pdf
- Wikimedia Commons käyttäjä [Allocer](#) (2010), Kuva 1, 3M-54 Kalibr meritorjuntaohjus.
- Maanmittauslaitos (2019). Avoimien aineistojen tiedostopalvelu.
<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>