

# ***Autonomisia piirteitä omaavat järjestelmät miinanetsinnässä***

Perttu Kuosmanen



*"Esimerkki COTS-järjestelmien suorituskyvyn hyödyntämisestä merisodankäynnissä"*

# Esityksen sisältö

1. Merivoimien käytössä olevat autonomisia piirteitä omaavat järjestelmät
2. Miinanetsinnän toteutusperiaatteet
3. Operatiivinen pohjankartoitus
4. Vedenalaisen toiminnan tukitietokeskus
5. Järjestelmien suorituskyvyn optimointi
6. Olemassa olevat suorituskyvyt
7. Olemassa olevien suorituskykyjen käyttömahdollisuudet tulevaisuudessa

# Merivoimien käytössä olevat autonomisia piirteitä omaavat järjestelmät

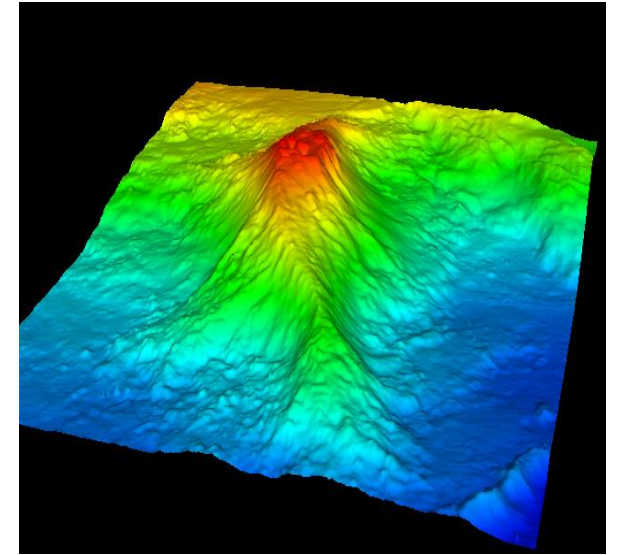


## Kongsberg HUGIN 1000

- Ohjelmoitava, itsenäisesti veden alla liikkuva etsintä ja pohjankartoitusjärjestelmä
- miinojen etsintä ja pohjankartoitus, laajat alueet
- kerää tarkkaa sonardataa ennaltaohjelmoidulta reitiltä/alueelta (inertia+GPS ohjaus), tehtävää voidaan päivittää ja seurata vedenalaisella linkillä (ACL ja ADL). Sonardatan käsittely jälkikäteen aluksella.
- vakaa sensorialusta, FLS ja väistöominaisuus
- erittäin korkealaatuiset sensorit (räätälöityissä)

## Hydroid REMUS 100

- Ohjelmoitava, itsenäisesti veden alla liikkuva etsintä ja pohjankartoitusjärjestelmä (tunnistus)
- miinojen etsintä ja pohjankartoitus, matalat ja kapeat alueet, esim. satama-alueet
- kerää tarkkaa sonardataa ennalta ohjelmoidulta reitiltä/alueelta (inertia+GPS sekä LBL transponder), sonardatan käsittely jälkikäteen kannettavalla tietokoneella (tai aluksella).
- helposti siirrettävissä.
- sensorit kompakteja ja heikompi tasoisia kuin isossa HUGIN 1000:ssa (räätälöityissä)



Monikeilain (MBES) / HUGIN



Viistokaikumittain (SAS / SSS)

# Esimerkkejä järjestelmille suunnitelluista tehtävistä

## Kaupalliset sovellukset:

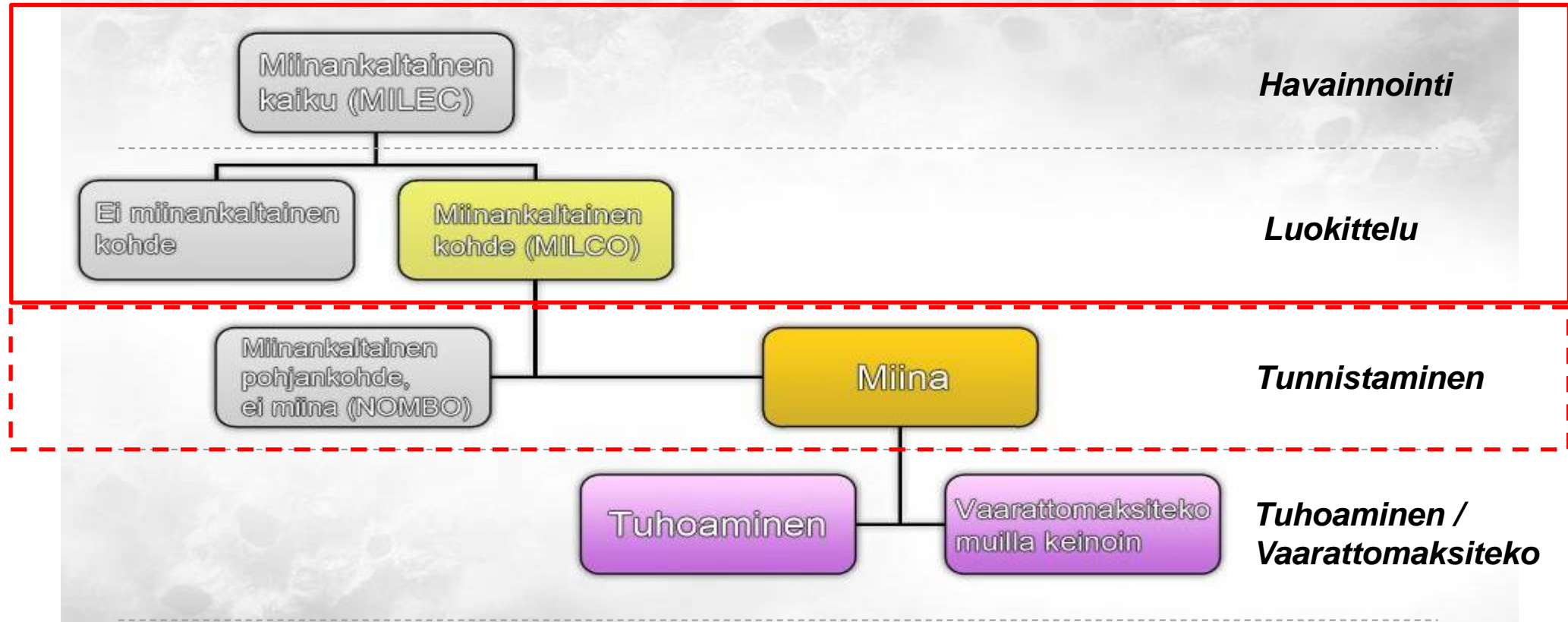
- pohjankartoitus
- ruoppaustöiden valvonta
- veden laadun valvonta
- merellinen arkeologia
- etsintäoperaatiot
- kaasu- ja öljyputkien valvonta
- rikospaikkatutkinta

## Sotilaalliset sovellukset:

- miinantorjuntaoperaatiot
- satama-alueiden tarkastaminen
- tiedustelu ja valvonta tehtävät
- maihinnousurantojen tarkastaminen

# Miinanetsinnän toteutusperiaate

AUV:t osana nykyään



**Kokonaisketjun toteuttaminen on hidasta -> Ennakkotiedon merkitys korostuu**

# Ennakkotiedon kerääminen

- Normaaliolojen aikana toteutettavaa toimintaa
- Tarpeet vuosittain Merivoimien tarpeesta
- Tavoitteena tietoylivoima ja omien suorituskykyjen painopisteinen käyttö poikkeusoloissa
- Olemassa oleva data miinantorjunnan referenssimateriaalina
  - Aikavoitto

**Kerätty data kokonaisvaltaiseen käyttöön -> Vedenalaisen toiminnan tukitietokeskus**

# Vedenalaisen toiminnan tukitietokeskus (MWDC = Mine Warfare Data Center)

- Kerää, analysoi ja taltioi vedenalaiseen toimintaan tarvittavan tiedon
- Tuottaa ja jakaa miinasodankäyntiin sekä muuhun vedenalaiseen toimintaan (ml. viranomaisyhteistyö) tarvittavat tukitietoaineistot
  - Ymmärrys tuotteiden hyödyllisyydestä eri toimijoilla kasvussa
  - Tuotteiden laadun taustalla paikannustarkkuus
- Miinantorjuntaoperaatioiden suunnittelun ja johtamisen tukeminen sekä analysointi
- MCMVs, KV yhteistoiminta, LIVI, GTK, SYKE ja Ilmatieteenlaitos

# REMUS 100 inertiaipaikannukseen muodostuva virhe

Järjestelmän käyttö tiedustelutehtävässä paljastumatta (inertianavigointi ja DR)

Laittevalmistajan ilmoittama virhe  
5m/1km

Paikannustarkkuuden vertaaminen  
tarkkaan tunnettuihin kohteisiin

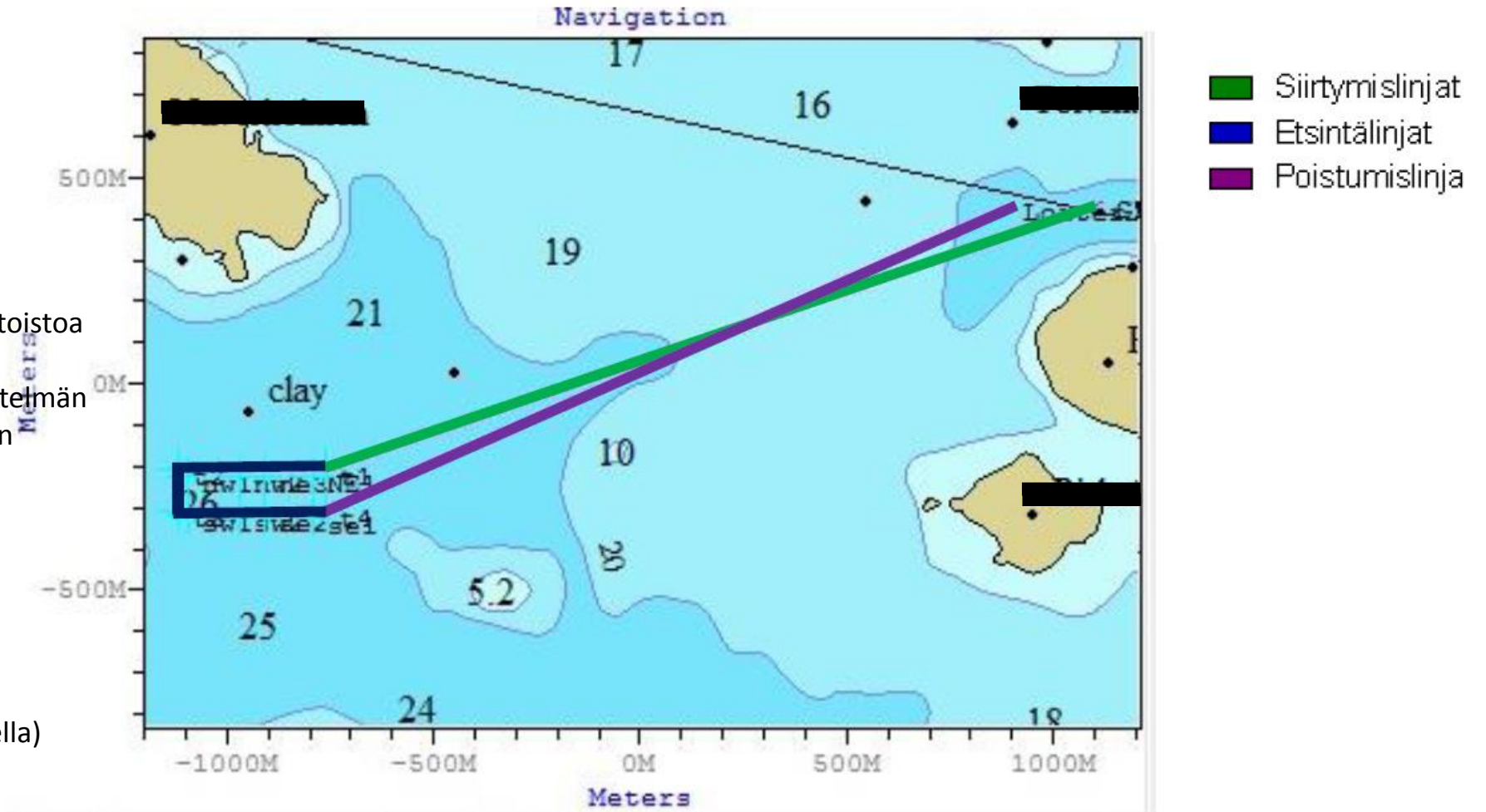
Vakioitu laskupaikka

Toteutus kahdella laitteella, yhteensä 12 toistoa

Mitattavia tekijöitä "lentoprofiilin", järjestelmän ja pohjan välisen etäisyyden sekä käytetyn nopeuden vaikutukset paikannusvirheen muodostumiseen.

Pohjanlaatu alueella resentti liejusavi

Äänennopeuden muutos kahden ja 16 metrin välillä 16 m/s  
(alt 3 ja alt 5 harppauskerroksen alapuolella)





# GPS-virhe dominoi siirtymislinjoilla



Kolme eri "lentoprofiilia" (suora, zig zag ja 2x360)

Vakioitu laskupiste

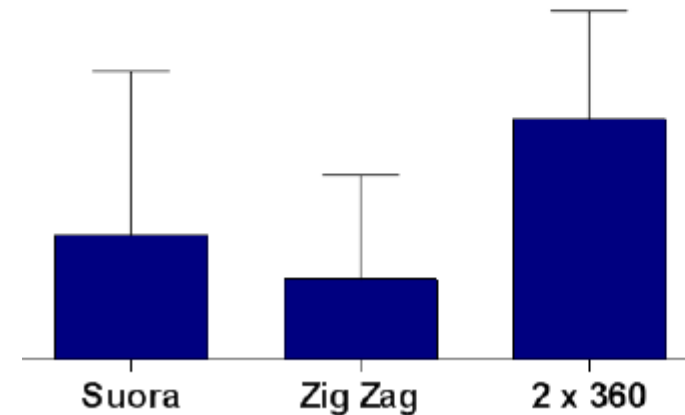
Siirtymislinjan pituudet, lentokorkeudet ja nopeus

- suora: 2030 metriä, etäisyys pohjasta 5 metriä ja nopeus 5 solmua
- zig zag: 2338 metriä, etäisyys pohjasta 5 metriä ja nopeus 5 solmua
- 2x360: 2150 metriä, etäisyys pohjasta 18 metriä ja nopeus 5 solmua

Laitteille ei sallittu GPS fix:ä siirtymislinjojen päätteeksi

Laitevalmistajan mukaan Doppler Velocity Log (DVL) toimii vielä keskimäärin 30-45 metrin etäisyydellä pohjasta

- Harppauskerros ja pohjanlaatu heikentävinä tekijöinä 2x360 "lentoprofiililla"



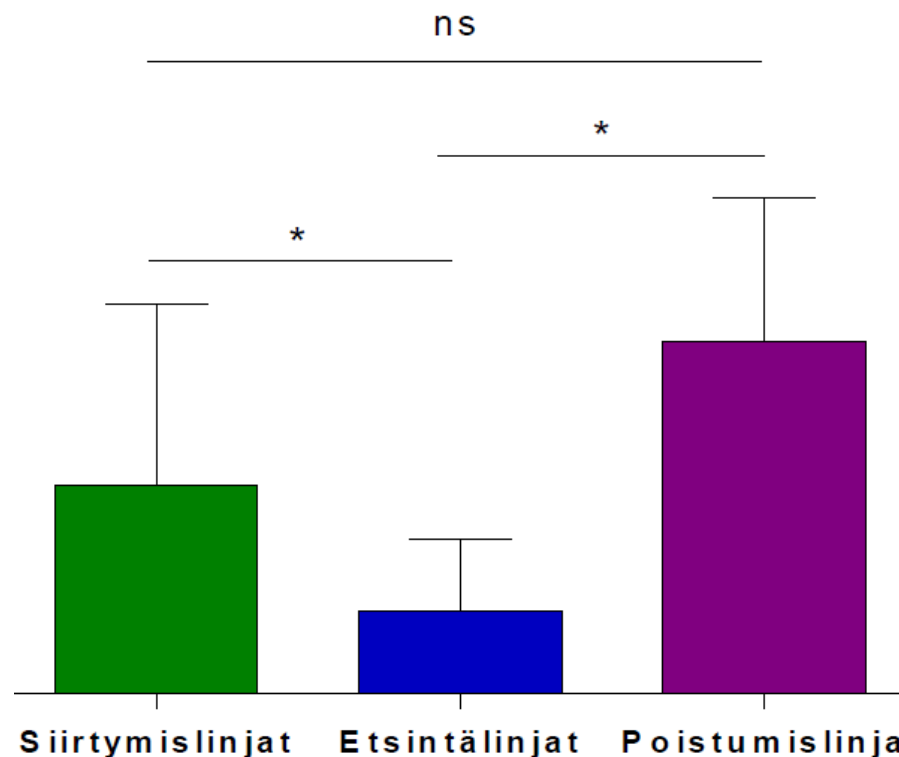
# Vaikutukset järjestelmien suorituskyvyn optimointiin

Etsintälinjoilla tarkkaa paikanmäärittystä. Kolmen metrin etäisyydellä pohjasta laitteen DVL saa lähes aina hyvän pohjalukituksen, jolloin inertipaikannuksen laatu säilyy hyvänä. Myös hitaampi, kolmen solmun nopeus edesauttaa DVL:n toimintaa.

Poistumislinjalla syntyy muihin osakokonaisuuksiin nähden suurin virhe (m) kilometriä kohden.

- Inertiapaikka vs. GPS:n antama paikka

Tämä on selitettävissä laitteen pintautumisesta aiheutuvalla paikannusvirheellä sekä suurella etäisyydellä pohjasta.



# Vaikutukset järjestelmien suorituskyvyn optimointiin

Tietoylivoiman kaksisuuntaiset hyödyt

- Käytössä olevat autonomisia piirteitä omaavat järjestelmät kykenevät itse seuraamaan niihin muodostuvaa paikannusvirhettä
  - Eivät osaa oppia ja reagoida säätelämällä etäisyyttään pohjasta sekä käytettävää nopeutta (harppauskerros ja pohjanlaatu)
  - Ennakkotieto mahdollistaa ajolinjojen optimaalisen suunnittelun
    - edelleen operaattorin käsissä
- Optimoinnilla suora yhteys datan laatuun ja sen käytettävyyteen niin käytännön operoinnissa kuin myös MWDC:n tuotteissa
- Haaste pienenee kun laitteille sallitaan GPS fix
  - Tiedustelutehtävissä tämä tulee suunnitella tähystykseltä suojaiseen paikkaan
  - Olosuhteiden ja ympäristön tunteminen mahdollistaa tämän toteuttamisen kauempana tehtäväalueesta ilman, että laatu kärsii

# Esimerkkejä, erikseen käytettävistä, olemassa olevista suorituskyvyistä

- Long baseline (LBL) -navigointi
  - LBL transponders
- Terrain referenced navigation osana paikannusjärjestelmää
  - Pohjan muutokset vs. kartoituksen tiheys
- Automaattinen kohteiden tunnistaminen / ATR
- Akustinen komento- ja datalinkki (ACL / ADL)
- Akustinen ja automaattinen kohteelle ohjaus
- Akkujen keston kasvu 24h -> 100h kuluneen kuuden vuoden aikana

# Olemassa olevien suorituskykyjen käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa

- Kasvanut navigointikyky ennakkotiedon myötä (Inertia + GPS + Terrain referenced navigation)
- Kasvanut toiminta-aika ja säde (akkukapasiteetti)
- Paikallinen navigointi parvessa
  - Suhteessa älykkäämpiin yksilöihin (LBL transponders)
  - Parven järjestelmien tilan seuranta (ADL)
  - Yksinkertaisten käskyjen antaminen (ACL)
  - Akustinen ja automaattinen kohteelle ohjaus (mahdollinen asevaikutus)
  - Yksilölliset ominaisuudet -> kustannustehokkuus
- Parviajattelu miinantorjunnassa
  - kyky havaita, luokitaa, tunnistaa ja tuhota (ATR)
- UUV järjestelmien käyttö harhauttamiseen ja valvontajärjestelmien kyllästämiseen
- Hyötykuorman toimittaminen kohteelle ja suora asevaikutus

# Lähteet

- Nuorteva, Jouko, Kankaanpää, Harri: Relocation of soft mud deposits: An example from the Archipelago Sea, Northern Baltic Sea
- Jörgen, Pihl: Underwater acoustics in the Baltic – A challenging research task
- Newman, Paul, Westwood, Rod, Westwood, John: Market Prospects for AUVs
- von Alt, Christopher, Stokey, Roger: Naval Special Warfare Support with REMUS
- Bell, Michael: Shallow Water Bathymetry using the REMUS 100 Autonomous Underwater Vehicle
- Teledyne RD Instruments: Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer
- Hakala, Arto, Pääkkönen, Elisa, Pitkänen, Markku, Kari, Mikko (toim.): *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025: STAE 2025. Osa 2, Puolustusjärjestelmien kehitys*, Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, Edita Prima Oy, Helsinki, 2008.
- Hakala, Arto, Pääkkönen, Elisa, Pitkänen, Markku, Kari, Mikko (toim.): *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025: STAE 2025. Osa 1, Puolustusjärjestelmien kehitys*, Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, Edita Prima Oy, Helsinki, 2008.
- Penttinen, Sari, tohtori, MWDC, Resentti liejusavi, sähköpostiviesti 17.8.2015, materiaali kirjoittajalla.
- Kenttäkoe, REMUS 100 AUV:n tekninen soveltuvuus rantautumisrantojen ja vararantojen vedenalaiseen tiedusteluun, kesäkuu 2015, materiaali kirjoittajalla.
- 4. Miinantorjuntalaivueen koulutusmateriaalit
- Appelqvist, Pekka: *Koneautonomian mahdollisuudet ja rajoitteet* – Johdatus teemaan ja avainhuomioita aiheesta, PP-esitys, maaliskuu 2015