

Marjariitta Saarivirta

AUTONOMISET SUKELTAVAT ROBOTIT
PÄHKINÄNKUORESSA

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
2018

AUTONOMISET SUKELTAVAT ROBOTIT PÄHKINÄNKUORESSA

Saarivirta, Marjariitta
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2018
Sivumäärä: 87

Asiasanat: AUV, Autonomous Underwater Vehicle, sukeltava robotti, autonominen,

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kirjallisuustutkimus autonomisesti sukeltavista roboteista eli Autonomous Underwater Vehicle (AUV). Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää viimeisimmät sukeltavien robottien edistysaskeleet, tutkimuslaitokset, yritykset sekä käyttökohteet. Työn tarkoitus oli tehdä kokonaislaatuinen tietopaketti satakuntalaisille yrityksille.

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla kattavasti sekä itsenäisesti että kauko-ohjatusti toimiviin sukeltaviin roboteihin sekä lähettämällä tiedetyille valmistajille sähköpostia, jossa pyydettiin tietoja heidän tuotteistaan. 46% valmistajista vastasi pyyntöön. Aineistona käytettiin yleisiä nettisivustoja, kirjoja sekä aiheesta kirjoitettuja artikkeleita. Valtaosa materiaaleista oli englanninkielistä ja materiaalia oli runsaasti, joten oli vedettävä raja siihen, miten paljon aiheesta kirjoitettiin. Opinnäytetyö toteutettiin osana aikaisena kesätyönä kesällä 2018.

Työssä havaittiin aiheen monimuotoisuus ja maailmanluokan kiinnostuneisuutta vedenalaisen maailman tutkimukseen ja hyödyntämiseen. Työssä huomattiin merkittävää potentiaalia kehittää Suomessa suunniteltu ja rakennettu AUV.

AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES IN A NUTSHELL

Saarivirta, Marjariitta

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation Engineering

October 2018

Number of pages: 87

Keywords: AUV, autonomous underwater vehicle, diving robot, autonomous

The purpose of this thesis was to make a literature study of autonomously diving robots, Autonomous Underwater Vehicles (AUV). The aim of the study was to find out about the latest advancements in diving robots, research institutes, companies and applications. The intent of this thesis was to make a complete overall data package for the companies in Satakunta.

The thesis began with familiarizing both independently and remotely-operated diving robots and sending all the known manufacturers e-mail asking them for information of their products. 46% of them answered. The material used was common websites, books and magazine articles. Most of the material was in English and it was abundant, so there had to be drawn a line as to how much to write. The thesis was carried out as a part-time summer job, in the summer of 2018.

The diversity of the topic and global interest for underwater research and utilization was detected. A great potential to design and construct a Finnish AUV was clearly found.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YLEISTÄ	9
3	HISTORIAA	11
3.1	Nykyisen meritieteen alku	11
3.2	Ensimmäiset sukeltavat robotit	11
4	MITEN ROV JA AUV EROAVAT TOISISTAAN?	15
4.1	ROV (Remotely Operated Vehicle).....	15
4.2	AUV (Autonomous Underwater Vehicle)	16
5	AUV	19
5.1	Perusteet.....	19
5.1.1	Materiaaleja	19
5.1.2	Painolastisäiliö.....	20
5.1.3	Virtalähteet	21
5.1.4	Navigointijärjestelmät	22
5.1.5	Ohjausjärjestelmä	25
5.1.6	Anturit	26
5.2	AUV:n etuja	26
5.3	AUV:n heikkoudet	27
5.4	AUV:n käyttökohteet	27
6	ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA JA MENEILLÄÄN OLEVISTA AUV-TUTKIMUKSISTA.....	31
6.1	LRAUV (Long Range Autonomous Underwater Vehicle) -tutkimus	31
6.2	NAVOCEANO-kiitäjät.....	31
6.3	Loch Nessin ASV- (Autonomous Surface Vehicle) / AUV-tutkimukset	32
6.4	Ruotsin ensimmäinen AUV-tutkimus.....	33
6.5	Australian Institute of Marine Science	34
6.6	Leijuva AUV.....	34
6.7	Robottikädellinen AUV	34
6.8	Horizon 2020	35
6.9	UNEXMIN-projekti.....	36
6.10	Kiinalaisten AUV polymetallisen sulfidin havainnointiin.....	37
6.11	Planktonia jäljittelevät AUV:t.....	38
7	ALAN TUTKIMUS- JA KEHITYSLAITOKSIA	39
8	LAITEVALMISTAJIA MAAILMALLA.....	43

8.1	Kongsberg Maritime, Norja	43
8.2	Eelume, Norja	44
8.3	OceanServer Technology, USA	45
8.4	Teledyne Gavia, Islanti	46
8.5	Bluefin Robotics, USA (General Dynamics Mission Systems).....	48
8.6	Atlas Elektronik, Saksa.....	50
8.7	ISE Ltd. Kanada.....	52
8.8	ECA SA, Ranska.....	54
8.9	SAAB Group, Ruotsi	55
8.10	OceanScan – Marine Systems & Technology Lda, Portugal.....	57
8.11	Liquid Robotics, USA.....	57
8.12	Lockheed Martin Corporation, USA.....	58
8.13	Gabri S.R.L, Italia.....	59
9	AUV-MARKKINAT.....	62
10	AUV TULEVAISUUDESSA	64
11	YHTEENVETO	68
12	POHDINTA.....	70
	LÄHTEET.....	76

1 JOHDANTO

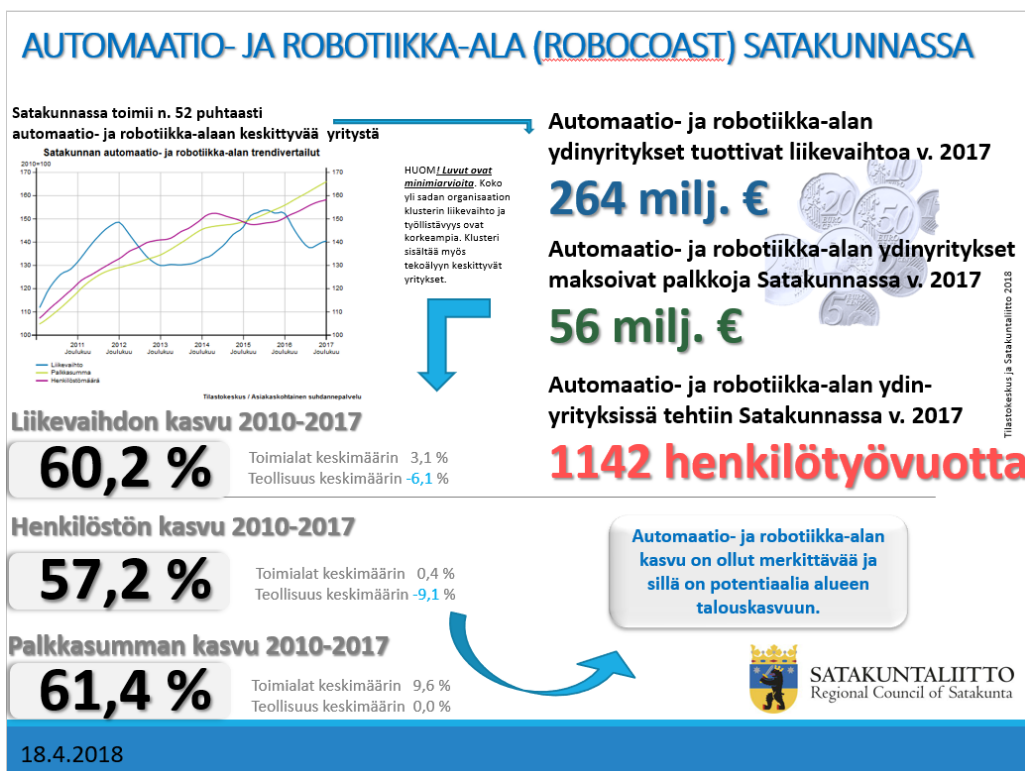
Robotit ovat kehittyneet viime vuosina huimasti ja ne ovat ottaneet yhä suurempia askeleita tullakseen osaksi jokaisen elämää. Roboteilla on tulevaisuudessa mahdollisuus selvittää ihmiskunnalle vielä arvoituksellisten paikkojen salaisuuksia.

Suomessa on monipuolinen meriteollisuus, johon kuuluu n. 1000 eri alan osaajaa sekä Satakuntaan sijoittunut automaatio- ja robotiikka-alan keskittymä, Robocoast, jossa puolestaan on n. 100 alan yritystä. Yksistään meriteollisuus työllistää n. 30 000 henkilöä 8 miljardin liikevaihdoillaan (2015) (Suomen meriteollisuus n.d; Vähäsantanen 2018.) Länsi-Suomessa on mahdollisuus yhdistää kaikki kehittymiseen tarvittava, Satakunnan meriklusteri, vahva automaatio- ja robotiikka alan osaaminen sekä tutkimus- ja koulutusmahdollisuudet Satakunnan ammattikorkeakoulun Porin ja Rauman kampuksella sekä Porin Yliopistokeskuksessa.

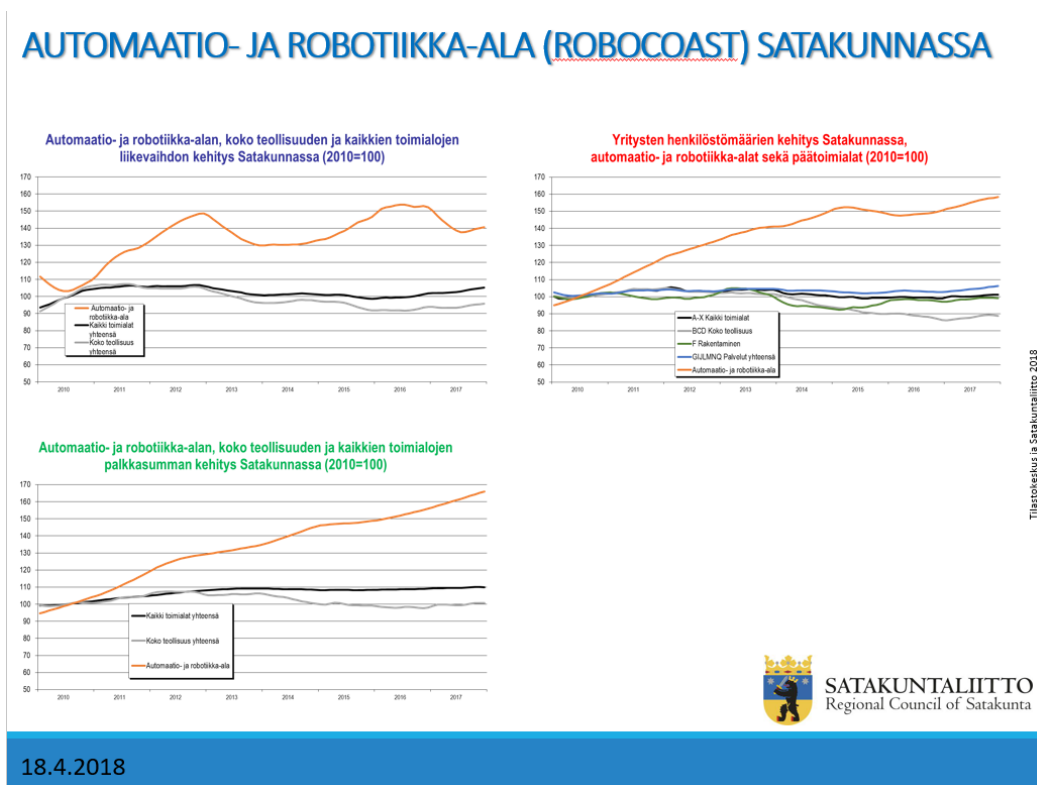
Yritykset uskovat Satakunnan kasvumahdollisuuksiin, sillä tulevat investoinnit ovat suuruudeltaan miljardiluokkaa ja jo toteutettavien tai lähiaikoina suunniteltavilla investoinneilla edesautetaan teollisuuden infrastruktuurin uusimista ja parannetaan kasvun edellytyksiä tulevaisuudessa (Satakunnan teollisuuden investoinnit... 2017).

Menneinä vuosina on ollut vahva suunta siirtää tuotantoa halvempien kustannusten maihin, mutta nyt automaation lisääntymisen myötä on ollut nähtävissä tuotannon vähitellen siirtyvän takaisin Suomeen. Robotit toimivat täälläkin ihan yhtä hyvin kuin maailman toisellakin laidalla. Miksi niitä ei siis kehitettäisi ja hyödynnettäisi kotimaassakin enemmän? Valmistava teollisuus luo n. 2,2 palvelualan työpaikkaa lisää, joka taas puolestaan hyödyttäisi Suomen talouspolitiikkaa merkittävästi (Vähäsantanen 2018). Myös nykyisen hallituksen strategiset tavoitteet eri kärkihankkeissa ja reformeissa tukevat omalta osaltaan osaamisen, kasvun, sekä työllisyyden kehittämistä (Hallitusohjelman toteutus ja kärkihankkeet 2018.)

Automaatio- ja robotiikka on Satakunnassa vahvassa nosteessa. Vuosien 2010-2017 välisenä aikana alan liikevaihto on kasvanut 60,2% (Kuvat 1 ja 2). Myös korkeakoulujen hakijamäärää on kasvussa (19.5.2017). (Vähäsantanen 2018.)



Kuva 1. Automaatio- ja robotiikka-alan kehitys Satakunnassa vuosina 2010-2017 (Vähäsantanen 2018)



Kuva 2. Automaatio- ja robotiikka-alan kehitys verrattuna koko teollisuuden kehitykseen (Vähäsantanen 2018)

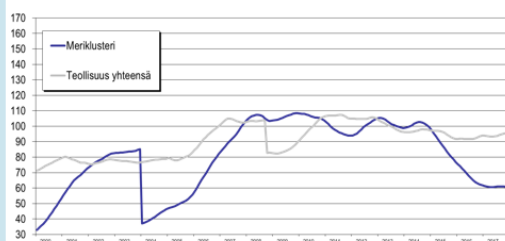
Yksinään Satakunnan meriklusteriin kuuluu 50 laitevalmistajaa ja telakkaa (Kuva 3). Meriteollisuus Satakunnassa on näyttänyt orastavaa nousua (Vähäsantanen 2018).



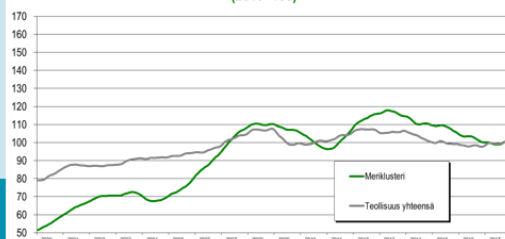
Satakunnan talouskehitys heinä–joulukuu 2017



Meriklusterin ja koko teollisuuden liikevaihdon kehitys Satakunnassa (2010=100)



Meriklusterin ja koko teollisuuden palkkasumman kehitys Satakunnassa (2010=100)



45

- Satakunnan meriklusteriin kuuluu 50 meriteollisuuden kone- ja laitevalmistajaa sekä telakkaa. Satakunnan meriteollisuuden pitkä alamäki näyttäisi vihdoinkin olevan historiaa, sillä liikevaihto kääntyi vuoden 2017 kesällä selvään kasvuun.
- Kaikenkokoiset yritykset nostivat liikevaihtoaan, mutta erityisen mainiosti loppuvuosi 2017 sujui 5–19 henkilön yrityksillä, joiden liikevaihto kohosi yli kolmanneksen. Pitkästä aikaa myös alan suuret toimijat pääsivät kasvuun kiinni.
- Kenties enää Technipin edelleen vaisu tilauskantojen kehitys hillitsee suurempien kasvulukujen syntymistä.
- Palkkasumma putosi edelleen viime vuoden lopulla liikevaihdon käännekohtasta huolimatta. Siten liiketoiminnan myönteisempi kehitys ei aivan ehtinyt heijastua henkilöstömääriin. Ainakin Technipin vaimea tilanne vaikuttanee asiaan.

Kuva 3. Satakunnan talouskehitys heinä–joulukuu 2017 (Vähäsantanen 2018)

2 YLEISTÄ

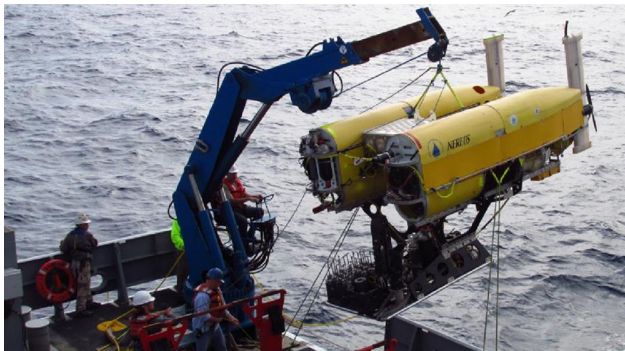
Ihminen on kautta aikain ollut utelias ja halunnut selvittää mitä, missä ja miksi. On selvitetty atomin rakenne ja matkattu kuuhun, valloitettu vuoret ja löydetty parannusmoniin elämää uhkaaviin sairauksiin, mutta maapallon syvimät salaisuudet piilevät vielä syvällä merten uumenissa.

Meri on ollut osa ihmisten elämää kautta aikojen. Se ohjaa säätä, tasapainottaa lämpötiloja ja ylläpitää kaikkia elämänmuotoja. Meri on ollut tärkeä osa kehitystä ja suuri inspiraation lähde. Tästä huolimatta siitä on tutkittu tähän päivään mennessä vain n. 5%. (How much of... 2018.) Merivirroilla on 800-kertainen energiantiheys tuuleen verrattuna ja sen valjastaminen hyötykäyttöön on valtava haaste, joka alentaisi merkittävästi ihmiskunnan riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Ottaen huomioon, että maapallon pinta-alasta n. 70 % on veden vallassa, kyseessä ei ole mikään ”pikku juttu”. (Dodge 2017.)

Merien tilanne alkaa olla hälyttävä. Niiden ekologinen tilanne pahenee jatkuvasti ja monet merien eliöt ovat vaarassa kadota pysyvästi. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa merten lämpenemistä, joka vuorostaan pakottaa kalat uusille levinneisyysalueille. Samalla hiilidioksidin imeytyminen veteen aiheuttaa koralliriuttojen vaurioitumista, muovit kerääntyvät valtaviksi saastelautoiksi ja mikroskooppiset muovihiukkaset sekä lääkeaineet, joita puhdistamot eivät pysty eliminoimaan luovat todellisen uhan maailman koko ekosysteemille. Siksi olisikin tärkeää, että tutkijat ja teollisuus yhdistäisivät voimansa ja puhaltaisivat yhteen hiileen, jotta saadaan pelastettua, mitä vielä on pelastettavissa.

Syvämeren tutkimuksen katsotaan olevan verrattain uusi alue verrattuna geofyysiseen tutkimukseen ja olevan todella haasteellista, sillä ihmisen uteliaisuudesta huolimatta kyky selvitä vedessä rajoittuu hapen saantiin ja paineen sekä kylmyyden sietokykyyn. Veden alla paine saattaa nousta niinkin suureksi kuin 1103 bar. Tosin silloin ollaan jo 10 000 m:n syvyydessä. Tähän mennessä vain Woods Hole Oceanographic Institution:n kehittämä miehittämätön alus NEREUS (Kuva 4) (HROV, Hybrid Remotely Operated Vehicle) on kyennyt sietämään niin valtavaa painetta. NEREUS, jota

ohjattiin kuituoptisella yhteydellä ja jolla oli myös kyky autonomiseen ohjautumiseen, tuhoutui vuonna 2014 Kermadec-haudan syvyyksissä, oletettavasti kovan paineen seurauksena. (NEREUS 2018.)



Kuva 4. NEREUS (Kuva: WHOI)

Usein 6000 m syvyyden katsotaan olevan riittävä, eivätkä valmistajat tai teollisuus huomioi syvempiä alueita, vaikka ne edustavat vain 80% kaikkien merien pinta-alasta (Braga 2014).

ROV:ien (Remotely Operated Vehicle) käyttöä rajoittavat kaapelien pituus, navigoijien vaisto, mereen laskemisesta syntyvät kustannukset sekä työmäärä. ROV:t eivät myöskään kykene vastaamaan lisääntyneeseen kysyntään. Jotta saataisiin syvyyksien salaisuuksista enemmän tietoa, on tieteen ja teknologian kehitettävä kestävämpiä ja älykkäämpiä ratkaisuja. Tästä syystä tutkijat ovat alkaneet kehittää AUV/UUV:eita (Autonomous Underwater Vehicle/ Unmanned Underwater Vehicle) eteenpäin (Kuva 5). AUV:t ovat ehkä ainoita riittävän käytännöllisiä ja yksityiskohtiin kykeneviä laitteita syvänmeren tutkimuksiin. (Fernandes & al. 2003.)



Kuva 5. AUV (ISE 2017)

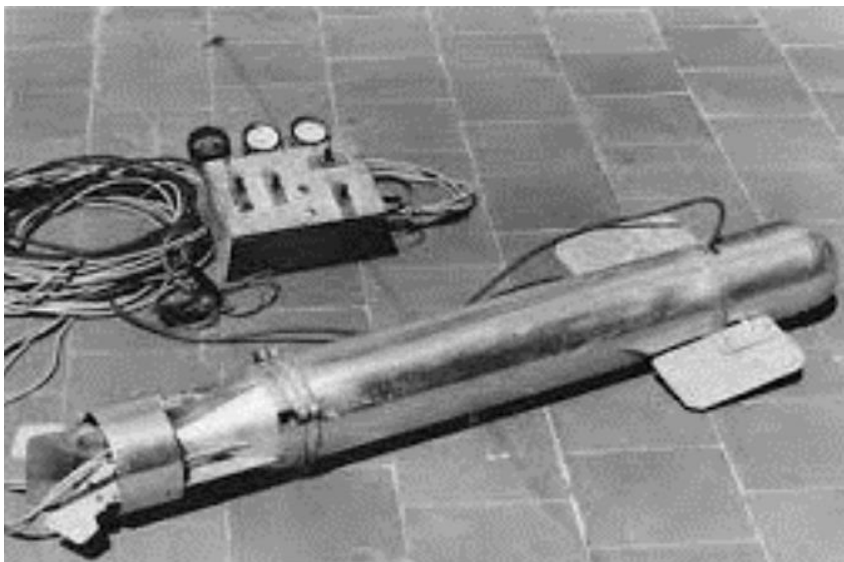
3 HISTORIAA

3.1 Nykyisen meritieteen alku

Englantilaisten HMS Challengerilla vuosina 1872-1876 suoritettu tieteellinen tutkimus loi tiettävästi perustan koko nykyaikaiselle meritieteelle. Edinburgin yliopiston Charles Wyville Thomson, Lontoon kuninkaallisen yhdistyksen sponsoroiduna, hankki aluksen Kuninkaallisilta merivoimilta ja muutti alusta niin, että siinä oli omat laboratorionsa sekä luonnontieteelle että kemialle. Tutkimusmatkan innoituksena toimi parempi meren ja sen elävien tuntemus. Huonoksi kakkoseksi ei toki jäänyt ajatus kaapeleiden vetämisestä mantereiden väliin. Tämä hanke vaati paremman merenpohjan tuntemuksen. Thomsonin johtama matka kesti neljä vuotta ja kiersi koko maapallon seilaten n. 70 000 meripeninkulmaa (130 000 km). Tutkimusretkestä kokoon saatu 29 500 sivuinen raportti oli korvaamaton ja sen täydellinen koostaminen kesti 23 vuotta. Matka ei vain auttanut ymmärtämään meriä, vaan myös vahvisti Charles Darwinin olettamuksia evoluutiosta ja innosti kansaa kiinnostumaan meren elämästä. (Challenger expedition 2018; The Voyage of... n.d.)

3.2 Ensimmäiset sukeltavat robotit

Ranskalainen Dimitri Rebikoff (Syntynyt Pariisissa 1921, kuollut Floridassa, USA 1997) oli ensimmäisen ROV:ksi tunnistettavan, POODLEn kehittäjä vuonna 1953 (Kuva 6). Hän asensi kameran ja kaapelin paineen kestävään, torpedoa muistuttavaan koteloon ja lisäsi siihen veden taittovirheitä korjaavan linssin, magnetometrin sekä kaikuluotaimen. (Chiles 2014; Mills 2017.)



Kuva 6. POODLE 1953, Dimitri Rebikoff (Mills 2017)

Ensimmäinen SPURV (Self-Propelled Underwater Research Vehicle) rakennettiin 1957 Washingtonin Yliopistossa, Yhdysvalloissa. Tutkimuksen ja kehityksen rahoitti ONR (Office of Naval Research). SPURV oli tehty alumiinista ja sekin muistutti torpedoa. Sen työskentelysyvyys oli 3000 – 3600 m ja se pystyi kulkemaan 4 - 5 solmun nopeudella n. 4 tuntia. Siinä oli ensisijaisena virtalähteenä akku, jossa oli kaksi 16 hopeasinkkikennon sarjaa rinnakkain diodien läpi yhdistettynä. Akku oli 24-volttinen ja 200 Ah. Toissijaisena virtalähteenä oli 4 puolijohdekonverterteria (Kuva 7).



Kuva 7. SPURV (University of Washington [www-sivut n.d.](http://www-nsr.riken.go.jp))

SPURV II kehitettiin vuonna 1973 suuremmalla kantamalla ja operointiajalla. Siinä oli suuri määrä sensoreita ja tallennusvälineitä. SPURV II:ta pystyttiin kontrolloimaan tietokoneella, joka oli sijoitettu meritieteelliselle alukselle. Molempia käytettiin 80-luvulle asti. (Exclusive content on... 2012-2017; Gafurov & Klochkov 2015, 142; SPURV 2017, 2018.)

Samoihin aikoihin vuonna 1974 ryhmä tutkijoita Venäjän Vladivostokissa sijaitsevassa Institute for Automation and Control Processes, Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences kehitti ”SCAT” nimisen AUV:n. Tästä kerätyn tiedon ja kokemuksen siivittäminä kehittyivät L-1 ja L-2. L-1 kykeni jo pääsemään 2000 m syvyyteen ja L-2 huimaan 6000 metriin. L-1 käytettiin AUV:n kehitykseen, kun taas L-2 käytettiin meritieteelliseen tutkimukseen. (Gafurov & Klochkov 2015, 142; Nyrkov & al. 2016, 1-2.)

Vuonna 1983 ISE Research Ltd. kehitti ARSC:n autonomisten sukeltavien alusten alustaksi (Kuva 8). Sponsoreita olivat Canadian Hydrographic Service, Kansallinen turvallisuusvirasto ja ISE Research. Sitä on käytetty vuodesta 1987 kehityksen ja autonomisten vedenalaisten teknologioiden esittelyyn. Aluksessa on 20 kWh:n nikkeli-kadmium-akku. Sillä on 10 tunnin akun kesto sekä 136 kg:n kantokyky. ARSC:ssä on autonominen ohjaus, suunnistus ja opastusmahdollisuus. Tänä päivänä ARCS:ää käytetään AUV-prototyyppien kehittämiseen. Mukaan lukien alumiinisten happikemien testaukseen. (AUV System Spec... 2018; Fernandes & al. 2003.)



Kuva 8. ARSC (AUVAC [www-sivu](http://www.sivu))

1990-luvun lopulla Russian Institute of Marine Technology Problems kehitti yhteistyössä AUSI:n (Autonomous Undersea System Institute) kanssa AUV:n, joka toimi aurinkopaneeleilla. Projekti sai nimekseen SAUV (Solar Autonomous Underwater Vehicle). AUSI kehitti aikaisempiin kokemuksiin perustuen SAUV II:n. Aurinkopaneelien tarkoituksena oli, että laite kykenisi suorittamaan tehtäväänsä muutamista viikoista kuukausiin, ilman huoltotoimenpiteitä tai ylläpitoa vain käymällä pinnalla latautumassa. (Gafurov & Klochkov 2015, 142.)

Vuonna 2001 Woods Hole Oceanographic Institututen, Oceanographic Systems Laboratory kehitti REMUS (Remote Environmental Monitoring Units). Se oli tarkoitettu meritieteellisen yhteisön tarpeisiin, tarkkuutta vaativiin tehtäviin rannikkoalueilla. Se oli pienen kokonsa vuoksi suhteellisen ainutlaatuinen. Standardikoko oli n. 160 cm ja halkaisija 19 cm, paino vain 37 kg. Siinä oli neljä litiumioniakkua ja se kykeni kolmen solmun nopeuteen n. 80 km:n kantamalla. Se oli suunniteltu toimimaan kannettavalla tietokoneella. (Moline & al. 2005; REMUS 2018.)

4 MITEN ROV JA AUV EROAVAT TOISISTAAN?

4.1 ROV (Remotely Operated Vehicle)

ROV:t ovat miehittämättömiä erilaisilla kaapeleilla emoalukseen kiinnitettyjä liikuteltavia videopelien joystick-ohjauksen tapaan ohjaittavia laitteita (Remotely operated underwater... 2018; ”ROV” stands for... 2018.) Ne ovat yksinkertaisempia ja turvallisempia käyttää kuin miehitetyt alukset tai sukellusoperaatiot, sillä käyttäjä pysyy turvassa joko meren pinnalla olevassa emoaluksessa tai lähistön maa-alueella (”ROV” stands for... 2018.)

Useimmissa ROV:eissa on ainakin videokamera ja valaisimet. Lisälaitteita voidaan asentaa tarpeen mukaan. Näitä laitteita voivat olla esim. kaikuluotain, magnetometri, kamera, manipulaattori sekä niihin asennettavat katkaisuterät. Niissä voi myös olla erilaisia näytteenottolaitteita, joilla veden kirkkautta, lämpötilaa tai valonläpäisykykyä voidaan mitata. (Shepherd 2001; What is an... n.d.)

ROV:ien koko voi vaihdella suuresti pienistä televisiolla varustetuista laitteista monimutkaisiin työyksiköihin. Suuritehoisissa ROV:eissa käytetään usein hydraulikkaa elektroniikan lisäksi ja niissä voi olla kaapelien vahvistuksia, jotta merestä voidaan nostaa raskaita laitteita tai haaksirikkojen löytöjä. Ne voidaan jakaa eri luokkiin painon, tehon, kykyjen tai koon mukaan. (Dasgupta 2017; What is an... n.d.)

Mikro-ROV on pienikokoinen ja painaa alle 3 kg (Kuva 9). Pienen kokonsa ansiosta sitä voidaan käyttää esim. pienten onkaloiden sekä putkistojen halkeamien tutkimiseen. Mini-ROV puolestaan painaa yleensä n. 15 kg ja sen ohjaitavuus esim. veneestä on helppoa. Näillä molemmilla päästään tutkimaan sukeltajalle vaikeapääsyisien paikkojen saloja. Kevyen luokan laitteissa on yleensä alle 50 hv (38 000 W) ollen näin kykenevä kantamaan useampia manipulaattoreita. Työskentelysyvyys on maksimissaan n. 2000 m. Raskaan luokan laitteet ovat alle 220 hv (162 000 W) kahdella manipulaattorilla. Näiden maksimisyvyys on n. 3500 m. (Dasgupta 2017.)



Kuva 9. Säteilysäädin Toshiba ja IRID (International Research Institute for Nuclear Decommissioning) kehittämä ROV. Halkaisija vain 13 cm, pituus 30 cm ja paino n. 2 kg. ROV kehitettiin tutkimaan Fukushimaa raunioita. (Toshiba Corporation www-sivut 2017.)

4.2 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)

AUV:t ovat robottimaisia, omalla virtalähteellä sekä tietyllä toiminta-ajalla (riippuen joidenkin sensorien virran kulutuksesta) varustettuja itsenäisesti liikkuvia laitteita. Niihin ohjelmoidaan ennalta määrättyjä toimenpiteitä, eivätkä ne vaadi ihmiseltä mitään kommunikointia tehtävää suorittaessaan. AUV:t lähettävät ympäristöstään kerättyä dataa eteenpäin langattomalla LAN:illa (Local Area Network). Näin ne sallivat tutkijoiden suorittaa muita tutkimuksia samanaikaisesti. Jotkin AUV:t kykenevät suorittamaan itsenäisiä päätöksiä tehtävän profiiliin ja ympäristön dataan perustuen. (General information; REMUS 2018.)

AUV:t ovat yleisesti ottaen suhteellisen pieniä ja hiljaisia laitteita, joita voidaan operoida ilman suuria kustannuksia ja riippumatta vallitsevista sääolosuhteista. Rakenne muistuttaa sukellusvenettä tai ohjusta. Torpedo-mallin on todettu olevan paras kompromissi koon, tilan, hydrodynaamisen tehokkuuden sekä käsiteltävyyden kannalta. Takaoissa on yleensä pieni potkuri, joka toimii työntövoimana ja sivuilla kalojen eviä muistuttavat vakauttajat toimivat myös suunnan muuttajina. Jotkut mallit ovat muunneltavissa niin, että käytettäviä apuvälineitä voidaan vaihdella. Tieteelliseen tutkimukseen suunnitellut AUV:t voivat paineensietokyvystään riippuen toimia jopa 6000 m:n syvyyksissä. Asennettujen sensorien avulla ne voivat määrittää syvyyden, nopeuden

sekä kestoajan. Lisäksi AUV:ssä voi olla kameroita, spottivaloja, kaikuluotain, kompassi, magnetometri, termistori sekä johtavuutta mittaava luotain. (Autonomous underwater vehicle 2018; Fernandes & al. 2003; Raunekk 2010; Wynn & al. 2014.)

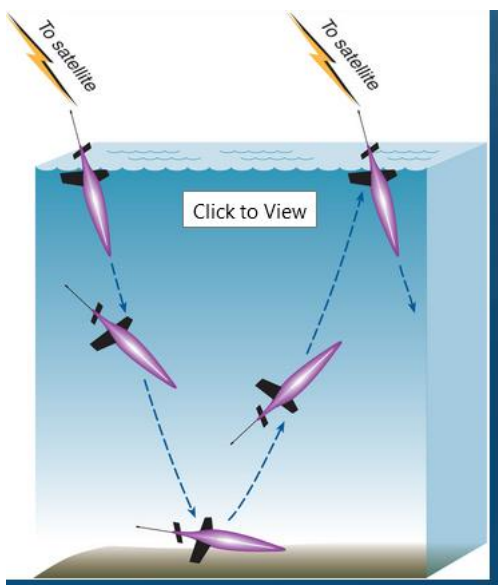
AUV:t käyttävät useita erilaisia kehittyneitä tekniikoita. Niissä on integroitu navigointi- ja ohjausjärjestelmä. Yleensä käytetään akustista paikannussysteemiä (Underwater Acoustic Positioning System), jossa joko merenpinnalla oleva alus tai ohjaus- ja monitorointikeskus otetaan referenssipisteeksi (paikkatieto), ja AUV-paikannus laskeaan GPS:n avulla. (Raunekk 2010.)

AUV:ien koot vaihtelevat kannettavasta suuriin, pituudeltaan yli 10 m laitteisiin ja niiden nopeus vaihtelee yhdestä neljään solmuun. Isojen laitteiden kestävyys ja anturikapasiteetti ovat pieniä parempia, kun taas pienten laitteiden etu on halvemmat logistiikkakustannukset. (Autonomous underwater vehicle 2018.)

Lisäksi ovat vielä hieman tavallisesta AUV:sta poikkeavat ”merikiitäjät” (Kuvat 10 ja 11), Seagliders, joita käytetään keräämään tietoa merien tilasta. Kiitäjät on suunniteltu jatkuvaan, pidempiaikaiseen käyttöön. Ne pärjäävät vähällä energialla ja kykenevät toimimaan vielä n. 1000 m syvyydessä. Potkurin tilalla niillä on horisontaaliset ”siivet”, kiinteä peräsin ja ne käyttävät nostetta saavuttaakseen etenevän liikkeen. Niiden runko puristuu sukeltaessa kokoon mukailen veden painetta. Se navigoi pinnalla tapahtuvien GPS-korjausten ja veden alla käytettävien anturien avulla. (Seaglider 2014; Seaglider n.d.)



Kuva 10. SeaGliderin sylinterimäinen runko koostuu sarjasta kaarevia anodisoituja alumiinipaneeleja, erotettuna rengaskehyksillä. Ympärillä on profiloitua lasikuitua, jolla saadaan pienempi vastus (Seaglider n.d.).



Kuva 11. Merikiitäjä voi kulkea loivasti 1:5 tai niinkin jyrkästi kuin 1:3 (Seaglider n.d.)

5 AUV

Merivesi on tiheämpää kuin ilma ja tiheys muuttuu lämpötilan, suolaisuuden sekä paineen vaihteluiden mukana, siksi siinä liikkuminen vaatii paljon enemmän energiaa ja työtä kuin maalla liikkuminen. Suuret paineet aiheuttavat laitteiden rikkoontumisia, suolaisuus puolestaan korroosiota ja vesi elektronisten laitteiden oikosulkuja. GPS (Global Positioning System) ei toimi syvällä meren uumenissa. Navigointi ja kommunikointi asettavat laitesuunnittelulle omat haasteensa. AUV:n suunnittelussa on siis otettava monia eri asioita huomioon.

5.1 Perusteet

5.1.1 Materiaaleja

Meriveden paineen vuoksi AUV:n rungon on oltava luja, mikä taas tekee siitä useimmiten paksun. Tämä taas lisää laitteen painoa, mikä puolestaan ei ole energiatehokkuuden kannalta suotavaa. AUV-materiaalien pitää olla kevyitä, kestäviä ja sietää hyvin korroosiota. (Hyakudome 2017.)

Vaikka AUV voi olla vedessä melkein painoton, aiheuttaa sen vesille lasku ja nosto huomattavaa dynaamista kuormitusta. Laitteessa saattaa olla osioita, jotka vedessä ollessaan ovat täyttyneet vedellä ja laitetta nostettaessa sen paino saattaa olla noussut jopa 50%. (Griffiths, 78.)

Yleisimmin käytetään alumiini- ja titaaniseoksia sekä ruostumatonta terästä. Lisänä tähän on tullut hiilikuituvahvistettu komposiitti (CFRP, Carbon Fiber Reinforced Polymer) sekä akryylimuovi. Hiilikuituvahvistettu komposiitti ansaitsee maininnan anisotrooppisten (suunnasta riippuva (Isotropia 2013.)) ominaisuuksiensa vuoksi. Sen vahvuus on suuresti riippuvainen säikeiden suunnasta suhteessa rasiituksen suuntaan. (Griffiths, 80.)

Alumiiniseos on kevyttä, kestävä ja kohtuuhintaista. Sillä on hyvä työstettävyys eikä se magnetisoidu. Sitä on myös helppo hitsata, mutta toisaalta se vaatii pintakäsittelyä

esim. anodisoinnin (pintakäsittely, jolla pinnasta saadaan luontaisesti paremmin ruostenkestävä (Anodisointi 2017.)) korroosion estoon. (Hyakudome 2017.)

Titaaniseos on kevyttä, lujaa ja huoltovapaata, mutta toisaalta se on kallista. Sillä on huono työstettävyys mutta sekään ei magnetisoidu. Titaaniseoksen sähkön- ja lämmönjohtavuus on alhainen. Sillä on hyvä korroosionkestävyys eikä se täten tarvitse pintakäsittelyä. (Hyakudome 2017.)

Ruostumattomalla teräksellä on hyvä korroosion kestävyys, joka perustuu sen sisältämään kromiin, mutta sekin voi kärsiä halkeamakorroosiosta oltuaan pitkiä aikoja alttiina suolavedelle. Lisäksi ruostumattomat teräshitsaukset voivat kärsiä kromisiirtymistä. Ruostumattoman teräksen hyviä puolia ovat vastaavasti hyvä kulutuksen- ja iskunkestävyys. Huonona puolena voidaan pitää suhteellisen korkeaa hintaa. (Talja 2006, 8-9.)

CFRP ovat kestäviä, korroosiottomia ja eivätkä ne magnetisoidu. Niiltä puuttuu metalleille ominainen helppo liitettävyys ja muokattavuus. Hinnaltaan hiilikuitukomposiitti on suhteellisen huokeaa. (Griffiths, 80.)

Akryylimuovin hyöty on siinä, ettei se ruostu ja sillä on hyvä lujuus-paino-suhde. Akryyli on läpinäkyvää ja niitä voidaan operoida jopa 1000 m syvyydessä.

AUV:hin, jotka liikkuvat vain muutamien kymmenien metrien syvyydessä voidaan käyttää myös PVC:tä, polyvinyylikloridia. Sen saatavuus on hyvä ja se on halpaa. (Wang & al. n.d, 132-133.)

5.1.2 Painolastisäiliö

Kulkeakseen meren syvyyksissä AUV hyväksikäyttää nostetta, joka on ylöspäin kohdistuva voima, jossa Arkhimedeen lain mukaan nosteen suuruus on sama, kuin esineen syrjäyttämän nestemäisen aineen paino (Noste n.d.). Tätä varten ne tarvitsevat omat painolastisäiliönsä, jotka voidaan täyttää jollakin kelluvalla materiaalilla kuten esim. syntaktisella vaahdolla, joka on onttoja piikarbamidikuulia sisältävä magnesiumseos (Luotola 2015) tai jopa vedellä, jolloin nostetta voidaan säätää veden määrää säiliöissä

säätelämällä (Rantanen 2016, 42). (Hyakudome 2017.) Eli kun AUV:n halutaan sukeltavan syvemmälle, lisätään painolastisäiliössä olevaa veden määrää ja haluttaessa sen taas nousevan pinnalle, vähennetään säiliössä olevaa vettä vastaavasti.

5.1.3 Virtalähteet

Virtalähde on yksi AUV:n tärkeimmistä osista, sillä veden alla ei ole mitään energianlähteitä. Se määrittää kuinka pitkälle ja kuinka kauan se voi tehtävänsä suorittaa. Valittaessa virtalähdettä on otettava huomioon koko, kyky toimia alhaisissa lämpötiloissa, värinä, melutaso, luotettavuus sekä huollon tarve. (Hyakudome 2017.)

Virtalähteet voidaan jakaa neljään eri ryhmään:

1. Vakioakkuja painesäiliön sisällä, jotka täten toimivat normaalipaineessa
2. Painetasatut akut, jotka toimivat ympäristön paineessa, mutta ovat eristettynä merivedeltä
3. Merivesiakut
4. Polttokennot

Ensimmäiseen kategoriaan kuuluvat esim. lyijy-, nikkeli-pohjaiset-, hopeasinkki-, sekä litiumakut. Toiseen kategoriaan kuuluvat litiumpolymeeripaineakut ja alumiinivetyperoksidiakut. Merivesiakut käyttävät ympäristöä hyväkseen tuottaakseen itse tarvittavan energian. (Størkersen & Hasvold 2004, 1.) Amerikkalainen MIT (Massachusetts Institute of Technology) on kehittänyt uuden Open Water Power (OPW) alumiinivesiakun, joka tuo veden alla toimivalle laitteelle kymmenkertaisen toimintaajan. Järjestelmässä akkuun tuotettu vesi halkaistaan katodilla hydroksidin anioneiksi ja vetykaasuksi. (Merivedellä toimiva akku 2017.) Polttokennoilla tuotetaan sähköä tehokkaasti eivätkä ne ole riippuvaisia säästä. Ne toimivat esim. vedyllä. (Polttokennot ja vety 2015.) Ohessa esimerkkejä erilaisista akkuvaihtoehdoista ja niiden valintaan vaikuttavista tekijöistä (Kuva 12).

Teknologia	Tyyppi	Energiatiheys	Kesto	Turvallisuus	Hinta	Ylläpito
		(Wh/dm ³)	tunteina			
Lyijy	Ladattava	10 - 20	4 - 8	Korkea	Alhainen	Alhainen
NiCd/NiMH	Ladattava	10 - 30	4 - 12	Korkea	Alhainen	Alhainen
HopeaSinkki	Ladattava	30 - 50	12 - 20	Korkea	Alhainen/Korkea	Alhainen
Litiumloni	Ladattava	40 - 70	16 - 28	Keskinkertainen	Keskinkertainen	Alhainen
LitiumPolymeeri	Ladattava	50 - 75	23 - 30	Keskinkertainen	Keskinkertainen	Alhainen
Alumiini-Happi	Puoli polttokenno	80 - 90	32 - 36	Keskinkertainen	Keskinkertainen	Korkea
Vety-Happi	Polttokenno	100+	40+	Alhainen	Keskinkertainen	Korkea
Litiumakut	Primääri	100 - 150	40 - 60	Alhainen	Korkea	Alhainen

Kuva 12. Tavallisimpia virtalähteitä (Størkersen & Hasvold 2004)

NASA (National Aeronautics and Space Administration) on kehittänyt tavan, jolla akkuja voidaan ladata käyttämällä aikaisemmin (sivulla 20) mainittua nostetta hyväksi, jolloin AUV kykenee olemaan pinnan alla jopa vuosia (Underwater Vehicle Propulsion... n.d). Lisäksi monet tahot ovat kehittämässä erilaisia latauspisteitä, joissa tarvittava energia tuotetaan paikan päällä, käyttämällä joko aurinko- tai aaltoenergiaa. Tällöin AUV voi tarvittaessa mennä itsenäisesti latautumaan. (Power Supply for UUV/AUV... 2018.)

Aiemmin mainittiin myös aurinkoenergialla toimivat SAUV-laitteet (Solar-powered Autonomous Underwater Vehicle), joiden on nouseva päivittäin pintaan latautuakseen. Niiden hyvänä puolena voidaan pitää aurinkoenergian rajatonta saatavuutta, toki ottaen huomioon, että voi olla aikoja, jolloin SAUV ei saa riittävästi auringonvaloa. Tähän vaikuttavat vuodenaajat, sääolot sekä leveysaste. Huonona puolena voidaan pitää niiden kykyä varastoida energiaa, minkä vuoksi niiden energian käytön on oltava tehokasta. Tämä rajoittaa antureiden käyttöä, sillä vaikka niiden energiantarvetta vähennetään jatkuvasti, tarvitsevat monet edelleen liikaa energiaa SAUV-käyttöön. (Griffiths 2002, 61-62.)

5.1.4 Navigointijärjestelmät

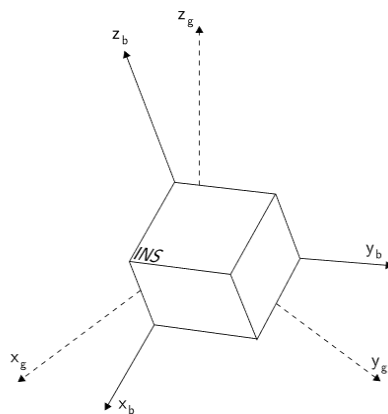
Jotta saadaan mahdollisimman ajantasaista ja tarkkaa tietoa AUV:n olinpaikasta ja sen keräämistä tiedoista, ovat paikannus ja yhteydenpito erittäin tärkeitä toimintoja. Vaikka radioaallot periaatteessa kulkevat valon nopeudella, estää vesi niiden kulun tehokkaasti. Erityisen haasteellisen siitä tekee meren suolavesi, sillä se johtaa sähköä

ja täten hajottaa radioaallot, ennen kuin vastaanottaja ehtii ne vastaanottaa. (Østergaard 2016, 58-61.) GPS (Global Positioning System) toimii vain AUV:n ollessa pinnan tuntumassa. Siksi tarvitaan muita tapoja paikantaa AUV.

Inertial Navigation System ja Doppler

Usein AUV:n navigointiin käytetään laitteeseen lisättyä INS-järjestelmää (Inertial Navigation System) ja nopeuslokia (Zhou & Wang 2014, 323). INS toimii käyttäen tietokonetta, liiketunnistimia, gyroskooppeja (pyörimisen vakauttaja (Gyroskooppi 2016.)) ja toisinaan jopa magneettisia antureita. Se laskee jatkuvasti merkintälaskulla (Dead Reckoning) paikkaa, suuntaa ja nopeutta. (Inertial navigation system 2018.)

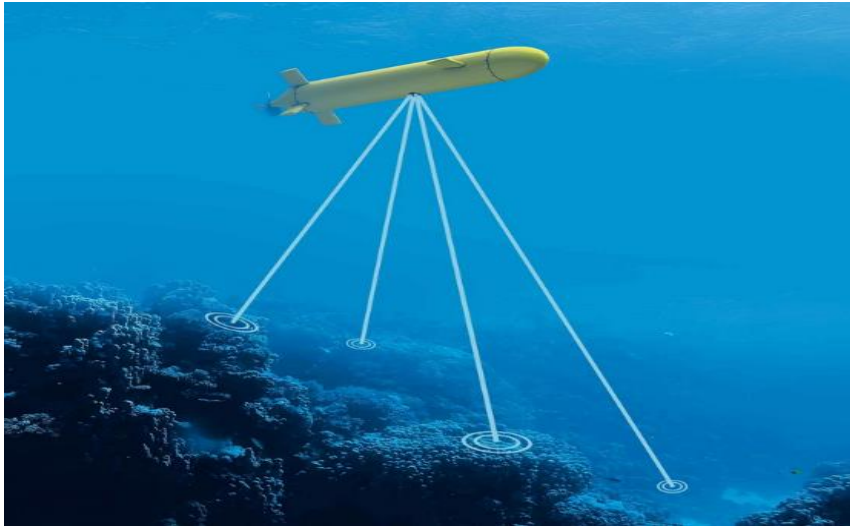
Tyypillisimmillään inertianmittausyksiköt (IMU, Inertial Measurement Unit) koostuvat kolmesta suorakulmaisesta nopeusgyroskoopista ja kolmesta kiihtyvyyssanturista, jotka mittaavat kulmanopeutta ja vastaavasti lineaarista kiihtyvyyttä (Kuva 13). (Woodman 2007, 5.)



Kuva 13. IMU-maailmankoordinaatisto (Woodman 2007,5)

Navigointi pitkiä aikoja ja vaaditulla tarkkuudella käyttäen vain IMU:a on hankalaa, sillä siihen sisältyy aina virhetekijä, joka kasvaa ajan myötä. Siksi AUV on hybridijärjestelmä, joka yhdistää INS:n ja nopeuslokin. Tähän voidaan käyttää DVL:ia (Doppler Velocity Log). DVL on akustinen anturi, joka arvioi nopeuden lähettämällä vähintään kolme eri suuntaan suunnattua pitkää sädettä merenpohjaan (Kuva 14).

Tämä tosin edellyttää, että AUV on DVL:n kantomatkan päässä merenpohjasta. DVL kykenee toimimaan jopa 6 000 m syvyydessä ja sen tarkkuus riippuu taajuudesta, jolla se operoi. Korkeat taajuudet antavat parempia tuloksia. Näiden kahden laitteen yhteiskäytössä kalibrointi on tärkeässä asemassa. Samaan aikaan, kun suunta- ja kallistusanturit keräävät tietoa, on laitteen kyettävä etenemään tasaisesti. (New to subsea...n.d; Seto 2012, 32.)



Kuva 14. DVL on tärkeä osa AUV:n navigointia. (New to subsea... n.d.)

Muita akustisia paikannustapoja

Akustiset paikannustavat antavat tiettyjen pisteiden välisiä paikka-arvioita. Akustinen telemetria on oikeastaan ainoa tehokas vedenalainen paikannustapa. (Hyakudome 2017.) Näitä tapoja ovat mm:

- LBL (Long baseline system) koostuu useasta pohjaan sijoitetusta transponderista. AUV tutkii niiden edestakaisen matkan viivettä ja kolmiomittaa niiden avulla paikkansa. Siinä on hyvä tarkkuus, mutta se vaatii pitkäaikaisen kalibroinnin.
- SBL (Short baseline system) on sarja lähekkäin kytkettyjä vastaanottimia asennettuna jollekin alustalle, josta voidaan monitoroida veden alta lähetetyt signaalit. Lähetysten aikaeroa käytetään paikannukseen.

- USBL (Ultra-short-baseline system) on pieni hydrofonien ryhmä, jota käytetään arvioimaan AUV:n lähettämän signaalin tulokulmaa (AoA, Angle of Arrival). AoA-tieto yhdistetään etäisyystietoon, jotta saadaan SBL:lla tarkempi paikannus.
- Kelluvat poijut toimivat samaan tapaan kuin LBL, mutta tässä referenssipisteet ovat pinnalla. Poijut ovat helpompia kalibroida kuin LBL.

Sovellukset tarvitsevat aina vain parempia toimintatapoja, siksi navigaatiota halutaan tutkia ja kehittää yhä eteenpäin. (Zhou & Wang 2014, 323.)

Vuonna 2013, EU (Euroopan komissio) antoi 4,000,000 € FP7 SUNRISE hankkeeseen, jonka tarkoituksena oli luoda yhtenäiset kommunikointitavat vedenalaisille roboteille, jotta ne voisivat toimia ryhmissä eli laivueina, tietäen koko ajan missä toinen robotti kulkee ja lähettää löydettyä tietoa pinnalla oleville tietokoneille. Tutkimuksen tavoitteena on luoda vedenalainen internet, IoUT (Internet of Underwater Things). Siinä tutkitaan robottien välistä kommunikointia niin, että ne äänitelevät keskenään kuten merinisäkkäät, mutta pienemmällä teholla ja taajuudella. Tämä siksi, etteivät nisäkkäät häiriintyisi. Tämä puolestaan tarkoittaa rajoitettua kaistanleveyttä ja hidasta siirtonopeutta. Nykyiset kommunikointilaitteet muistuttavat modeemeja, joita käytettiin yleisesti 1990-luvulla. Niissä digitaaliset viestit muutettiin äänitaajuuksiksi, jotka kulkivat modeemista toiseen. Äänisignaalien siirtonopeus, 20 kt/s on aivan liian hidas, joten nykyisellään robotit lähettävät vain yksinkertaisia tietoja. SUNRISE-tutkijoiden toiveena on saada robotit viestimään valon avulla, jolloin nopeus kasvaisi yli 500-kertaiseksi. SUNRISEN käyttämän LAUV:n (Light Autonomous Underwater Vehicle) pituus on 2,5 m. Se kykenee sukeltamaan 100 m:n syvyyteen ja kulkemaan yhdellä latauksella 100 km, 7 km:n tuntinopeudella. (Jayaraman 2017; SUNRISE: using underwater... 2014, 2015; Østergaard 2016, 58-61.)

5.1.5 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä on AUV:n tärkeimpiä järjestelmiä. Järjestelmän on kyettävä sopeutumaan muuttuviin olosuhteisiin, tekemään johtopäätöksiä ja päättämään toimenpiteistä antureiden antamien tietojen pohjalta, jopa kesken ennaltamäärätyn

tehtävän. Tietokone ohjaa antureita, käsittelee dataa, liikkeitä ja nopeutta. On tärkeää, ettei kaikki ole yhden CPU:n (Central Processing Unit) varassa, vaan ohjaus on hajautettuna eri osioihin. (Hyakudome 2017.)

5.1.6 Anturit

Jotta AUV voi toimia onnistuneesti, on sillä oltava erilaisia antureita, joiden avulla se liikkuu veden alla. Se, mihin AUV:a käytetään, määrittelee myös käytettyjen antureiden tarpeen. Ohessa AUV:n perusanturit:

1. Paineanturi, jonka avulla se mittaa veden aiheuttamaa ulkoista painetta. Näin AUV kykenee määrittämään syvyytensä vedessä.
2. Merkintälaskua varten tarvitaan kompassi ja vedennopeusanturi (anturissa on siipiratas, joka pyörii AUV:n edetessä ja kerää siten nopeustietoja (Veden nopeusanturi n.d.)).
3. Esteiden havainnointiin käytetään vedenalaisia kameroita ja kaikuluotaimia.

(Wang & al. n.d.)

5.2 AUV:n etuja

AUV:n etuja ovat vapaa liikkuvuus, jonka avulla voidaan luoda 3D-karttapohja halutusta alueesta, hiljainen käyntiääni, pieni kääntösäde sekä parantunut datan laatu. Optimaalinen anturien sijoittelu mahdollistaa liikkumisen vaikeakulkuisissa maastoissa ilman, että sääolosuhteet vaikuttavat siihen. AUV:lla on pienemmät käyttökustannukset kuin ROV:lla, koska ne eivät vaadi suuria tukilaitteita tai aluksia kuten ROV:t. AUV:t ovat vakaita ja kykeneviä suuriin nopeuksiin syvällä veden alla. Ne pystyvät käsittelemään monia järjestelmiä samanaikaisesti ja varajärjestelmän kantokyky poistaa ylimääräiset käyttöönottokustannukset. Operaatioihin liittyvät inhimillisen erehtymisen riskit vähenevät, koska AUV ei tarvitse ihmistä ohjaamaan sitä. AUV kykenee suoriutumaan myös ihmisille liian vaarallisista tehtävistä ja sen vaikutukset ympäristöön ovat pieniä. (About AUVs 2004-2007; Chua 2017.)

5.3 AUV:n heikkoudet

AUV:t ovat lain kannalta ongelmallisia, sillä Suomen nykyainsäädäntö ei tunne autonomista kulkuneuvoa (Ventä & al. 2016, 35.), tosin Liikenne- ja viestintäministeriön mukaan AUV-lainsäädäntö saattaa olla tulossa erityislainsäädännön puitteissa. Edes kansainvälinen lainsäädäntö ei tunne hyväksyttävää nimitystä kyseisille laitteille (Schmitt & Goddard 2017, 576-577). AUV:n lasku ja nosto huonoissa sääolosuhteissa voi olla hankalaa. (Fernandes & al. 2002.) Ongelmia voi myös olla useampien AUV:iden keskinäisissä kommunikoinneissa. Yleisesti ottaen ongelmat kommunikointiossa saattavat aiheuttaa koko laitteen lamautumisen ja jopa käyttökelvottomuuden, jolloin AUV painuu pohjaan, josta se voidaan noutaa, mikäli se ei ole uponnut liian syvälle. Pinnalla ollessaan AUV:t saattavat olla hankalasti havaittavissa. (Schmitt & Goddard 2017, 574.) AUV:a ei voida käyttää alueilla, joissa on paljon sotilas- lastaus- tai kalastustoimintaa, koska siellä saattaa olla akustisia häiriöitä. Myös törmäysriski ja verkkoihin sotkeutumisen mahdollisuus ovat olemassa kyseisillä alueilla. (Wynn & al. 2014, 452-453.)

5.4 AUV:n käyttökohteet

AUV:a käytetään monissa paikoissa, kuten esim. tulleissa, vedenalaisten kaapeleiden vedossa ja tarkkailussa, tavaroiden toimittamisessa esim. huumeiden salakuljetuksessa, tietoliikenteessä, haaksirikkojen löytämisessä, kalavesien tutkimuksessa, sekä kunnostus- ja pelastustöissä.

Tieteelliset käyttökohteet:

- Tutkimus
- Kehitys
- Opetus
- Käytännön toteutus
- Projektit

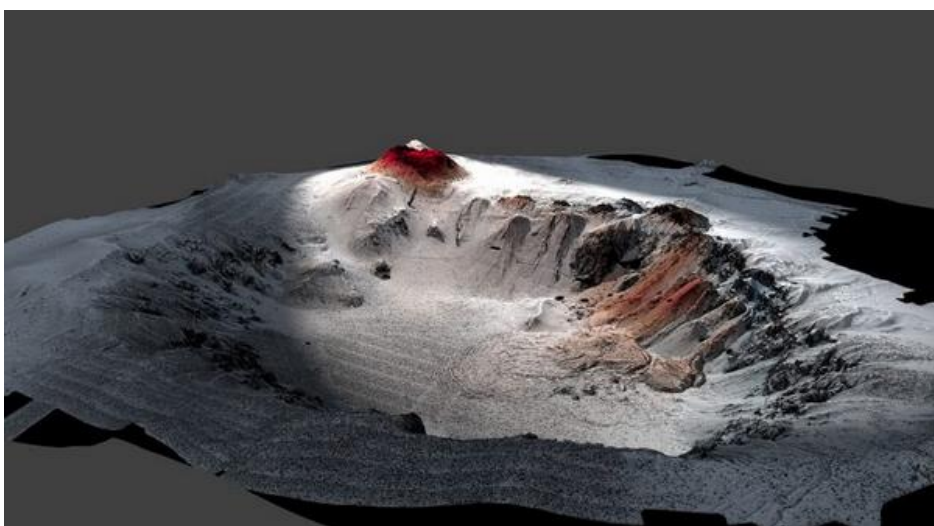
Armeijan ja maanpuolustuksen käyttökohteet:

- Miinojen etsintä ja niiden neutralointi
- Etsintä- ja pelastusoperaatiot
- Upponeiden laitteiden palauttaminen

Maantieteellisen tutkimuksen käyttökohteet:

- Maanjäristysten havainnointi ja seuranta
- Tsunamihavainnointi
- Suolaisuuden seuranta
- Merenpohjan sekä syvänmeren tutkimus
- Jäävuorien tutkimus
- Tulivuorien seuranta ja tutkiminen

Vuonna 2015 Tasmanian yliopisto ja Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI) sekä joukko muita tutkijoita käyttivät Sentry-nimistä AUV:tä ja Jason-nimistä ROV:a tutkiakseen vuonna 2012 purkautunutta Havre-tulivuorta (Kuva 15). Purkausta pidetään menneen vuosisadan suurimpana. Tutkijat huomasivat, että purkaus oli monimutkaisempi kuin aiemmin oli luultu, sillä se koostui hohkakiven lisäksi tuhkasta, laavakumpareista ja merenpohjan laavavirroista. (Kuva 15) (Autonomous Underwater Vehicle... 2018.)



Kuva 15. Havre tulivuori. (WHOI)

Öljy- ja kaasuteollisuuden käyttökohteet:

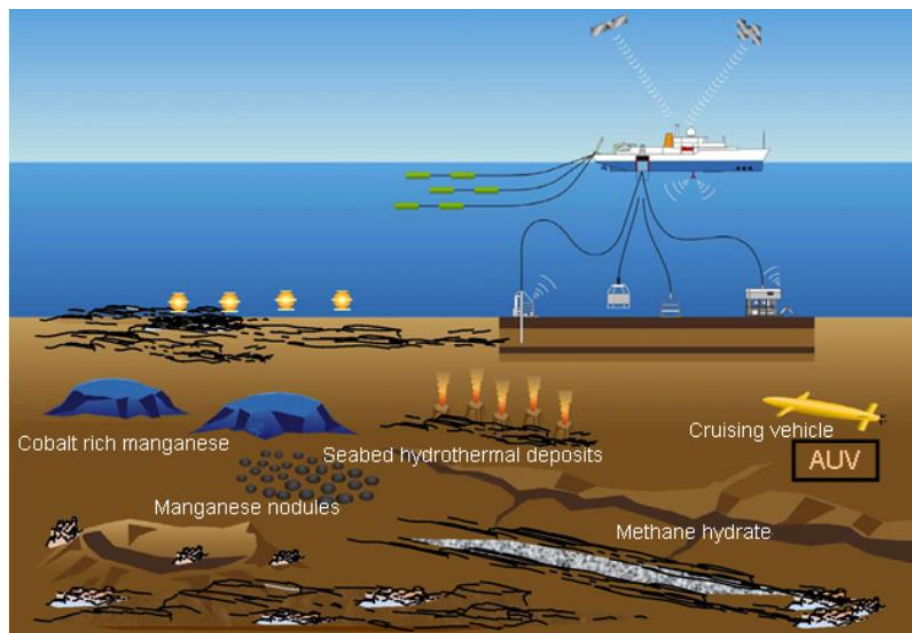
- Uusien porauspaikkojen etsiminen
- Putkistojen ja niiden kunnan tarkkailu

Käyttökohteet merten luonnonvarojen etsinnässä ja hyödyntämisessä:

- Öljy -ja kaasuesiintymien etsintä
- Kobolttirikkaan mangaanin etsintä
- Mangaani nystyjen kartoitus
- Kuumien vedenalaisten lähteiden etsintä

(Kuva 16)

- Biomateriaalien etsintä



Kuva 16. Merenalaiset luonnonvarat. (Wakita & al. 2010)

Meritieteellisen tutkimuksen käyttökohteet:

- Meribiologinen tutkimus
- Meritieteen opinnot
- Arkeologisten tutkimusten teko

Vuonna 2015 Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) ja MAC:n (Maritime Archaeology Consultants) tutkimustiimi aloittivat vuonna 1708 Kolumbian Cartagenan edustalla uponneen kaljuuna San Jose:n etsinnän. Kaljuunan sanotaan

olevan “uponneiden laivojen Graalin malja” ja sen löytämisellä on huomattava kulttuurinen- ja historiallinen merkitys Kolumbialle (Kuva 17). Etsinnöissä käytettiin konenäöllä varustettua REMUS 6000 AUV:a. San Josen löytämisen lisäksi REMUS löysi myös mm. Air Francen 447 lentokoneen hyllyn vuonna 2011. Sitä käytettiin myös Titanic:n kuvaamiseen vuonna 2010. (Carrol 2018; New details on... 2018.)



Kuva 17. REMUS 6000 ottama kuva San Jose:n kanuunoista. (WHOI 2018)

6 ESIMERKKEJÄ TOTEUTETUISTA JA MENEILLÄÄN OLEVISTA AUV-TUTKIMUKSISTA

6.1 LRAUV (Long Range Autonomous Underwater Vehicle) -tutkimus

Maaliskuussa 2018, SCOPE (Simons Collaboration on Ocean Processes and Ecology), MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute ja SOI (Schmidt Ocean Institute) laskivat Hawaijin aluevesillä tutkimusalus Falkorilta useita LRAUV:ta (Long Range Autonomous Underwater Vehicle) mereen. Ne keräsivät n. 250 m syvyydessä tietoa avoimen valtameren pyörteistä. Pyörteet ovat vesimassoja, jotka liikkuvat hitaasti Tyynellä valtamerellä, mahdollisesti vaikuttaen suuresti meren mikrobeihin. Useiden laitteiden samanaikainen käyttö sallii tiedemiesten kerätä tietoa näistä pyörteistä ja niiden klorofyllimaksimeista. LRAUV:t ovat vedessä melkein 100 tuntia kerrallaan ja mahdollistavat näin tiedemiesten tekemän 3D-mallinnuksen pyörteistä. Pyörteiden kartoittaminen avaruudellisesti ja ajallisesti, ei olisi mahdollista millään muulla alustalla. (Scientists Deploy AUVs... 2018.)

Hankkeen päätutkijat, meritieteen professorit Edward DeLong ja David Karl UH Mānoa's School of Ocean ja Earth Science and Technology (SOEST) ovat tutkineet näitä mikrobeja vuosikymmeniä. (Scientists Deploy AUVs... 2018.)

”Nämä uudet vedenalaiset dronit tulevat suuresti laajentamaan syrjäisten alueiden tutkimustavoitteitamme ja mahdollistavat näytteiden oton, meritieteellisten tapahtumien ja toimintojen tutkimisen jopa paikoissa, joihin laivat eivät pääse. Kaikkien näiden meren mikrobien päivittäinen seuraaminen autonomisesti ei ole ollut aikaisemmin mahdollista.” (DeLong 2018.)

6.2 NAVOCEANO-kiitäjät

Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO) laski keväällä (2018) mereen 50 kiitäjää samanaikaisesti. Littoral Battlespace Sensing (LBS) -kiitäjät (Kuva 18) keräävät dataa ympäristöstä, kuten esim. lämpötilaa, suolaisuutta, kirkkautta ja syvyyttä. Saatu tieto kerätään merestä luotuun mallinnukseen, josta saadaan sääennuste vedenalaiseen

maailmaan. Samaan tapaan kuin ilmastosta tehtävissä sääennusteissa. Ennusteet ovat tärkeitä monille laivasto-operaatiolle ja niillä on monia eri käyttökohteita, kuten sukeltajien turvallisuudesta huolehtiminen, sukellusveneiden havaitseminen sekä hurrikaanien ennustaminen. (Eckhoff 2018.)



Kuva 18. NAVOCEANO laski mereen 50 kiitäjää keväällä 2018. (Eckhoff 2018)

NAVOCEANO:n sivukonttorin johtajan, Bryan Mensin mukaan tavoitteena on saada 100 kiitäjää liikkeelle, jotta saadaan uusia tapoja toteuttaa automaatiota ja lisätä tehokkuutta. LBS-kiitäjät keräävät tuhansittain dataprofiileja ympäri maailmaa joka vuosi ja niiden käyttökustannukset ovat vain murto-osa siitä, mitä ne olisivat perinteisesti laivalla tehtynä. (Eckhoff 2018.)

6.3 Loch Nessin ASV- (Autonomous Surface Vehicle) / AUV-tutkimukset

Toukokuussa 2018, osittain Innovative UK:n rahoittamana, ASV Global (Unmanned marine systems), SeeByte, Sonardyne ja National Oceanography Centre (NOC) tekivät yhteistyössä kokeilua Skotlannin ylämailla, Loch Nessillä. Tutkimuksen nimi on Autonomous Surface and Sub-surface Survey System (ASSSS). Sen tarkoituksena on toimittaa integroitu järjestelmä rannikon matalikoille, käyttäen monia miehittämättömiä järjestelmiä. Projektin ideana on yhdistää ASV:n (Autonomous Surface Vehicle) ja

AUV:n käyttö, jolloin ASV seuraa AUV:a pinnalla ja vastaanottaa sen lähettämiä paikkatietoja parantaen näin merkintälaskun paikkansapitävyyttä, samalla kun se lähettää saamiaan tietoja eteenpäin tutkijoille. (ASV/AUV Survey System... 2018.)

”Päämääränä projektissa on saada aikaan laajempaa kiinnostusta miehittämättömiä järjestelmiä kohtaan ja mahdollistaa pitempiaikaisia, edullisia tutkimus- ja seurantaoperaatioita avomeren energiasovelluksille, syvänmeren kaivostoiminnalle sekä hiilidioksidin talteenotto- ja varastointivalvonnalle, CCS (Carbon Capture and Storage). Kunhan operoijat ja valvojat paremmin hyväksyvät miehittämättömät järjestelmät, vähentää se merkittävästi tarvetta lähettää ihminen vaaralliseen ympäristöön. Teknologian omaksuminen synnyttää todennäköisesti erilaisia mahdollisuuksia vierekkäisillä markkinaosuuksilla ja helpottaa verkkoteknologian siirtoa.” (ASV/AUV Survey System... 2018.)

6.4 Ruotsin ensimmäinen AUV-tutkimus

Kesäkuun 8. päivä 2017 Kongsberg AS teki sopimuksen AUV:n valmistamisesta kansalliseen infrastruktuuritutkimukseen. MUST (Mobile Underwater System Tools) on Göteborgin ja Tukholman yliopistojen sekä Chalmers:n yhteinen projekti. Uuden AUV:n avulla on tavoitteena suorittaa yksityiskohtaisia tutkimuksia syvemältä merien pohjista ja päästä tutkimaan Etelämantereen sekä Pohjoisen jäämeren jäiden alle jääviä alueita. Näiden tutkimusten tekeminen on ollut aikaisemmin hyvin haasteellista. Uuden AUV:n odotetaan kykenevän sukeltamaan 3000 m:n syvyyteen ja tutkimaan 200 – 300 km laajuisia alueita. Siinä on uusinta uutta olevat navigaatiolaitteet sekä laitteita, joilla voidaan tutkia laajoja alueita merenpohjasta ja jäästä. Laite on myös varustettu kaikuluotaimella, joka läpäisee merenpohjan ja paljastaa menneisyyden sedimentaation. Tällä tiedolla voidaan päätellä, kuinka ilmasto on muuttunut vuosien varrella ja miten jäätikön reuna on vuosien saatossa siirtynyt. MUST rahoitetaan Knut ja Alice Wallenberg säätiön apurahalla ja sitä hallinnoi projektiryhmä, jossa on edustaja kaikista eri yliopistoista. (First Swedish autonomous... 2017; Great opportunities for... 2017.)

6.5 Australian Institute of Marine Science

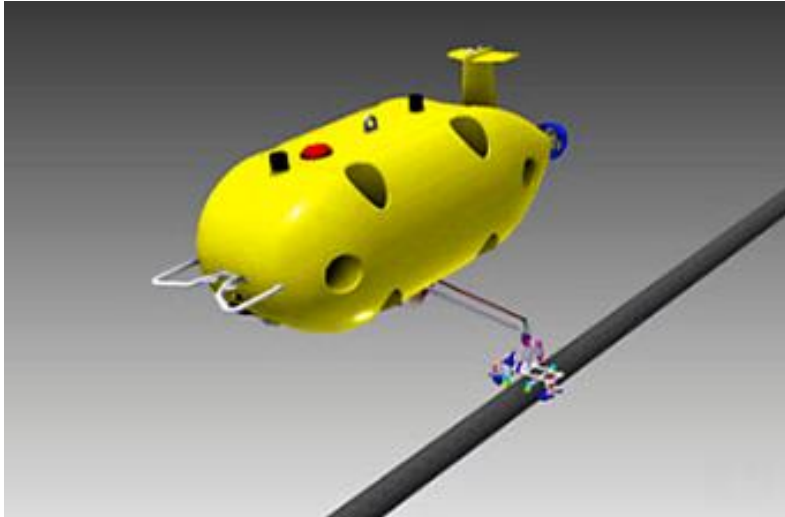
Koralliriuttojen matalissa pyörteisissä vesistöissä kehitystyötä tekevä AIMS (Australian Institute of Marine Science) työskentelee ratkaistakseen nykyisten tarjolla olevien AUV-laitteiden navigointiongelmia. Monet näistä alueista ovat sukeltajille vaarallisia ja vaihtoehtoisia ratkaisuja tarvitaan. Maalla on suoritettu prototyyppitestejä, joissa on parannettu algoritmeja ja yhteistyö kumppaneiden kanssa on käynnissä. (Autonomous underwater vehicles 2018.)

6.6 Leijuva AUV

Southamptonin yliopisto Englannissa, kehittää pientä, kannettavaa AUV:a, jolla voidaan tutkia järviä ja rannikkovesiä. Delphin2:ssa on kaksi sivuttaista ja kaksi pystysuoraa moottoria, jotka mahdollistavat ohjauksen pienillä nopeuksilla. Takaosan potkuri hoitaa leijumisen. Alle 60 kg paino ja 2 m pituus mahdollistavat sen, että sen käyttöön tarvitaan vain kaksi ihmistä. Kehittelyn ensisijaisena tavoitteena on tarjota testialusta AUV:n ohjauksen tutkimiseen. Siksi alusta käytetään usein paikallisissa järvissä, joissa se suorittaa erilaisia liikkeitä. Laitteen kehittäminen on edennyt vaiheeseen, jossa sen suoritus on sekä luotettavaa että toistettavissa. (Research project: Development... 2018.)

6.7 Robottikädellinen AUV

Kawasaki Heavy Industries (KHI) ja Skotlannin The Underwater Centre (TUC) ovat sopineet käsivarrellisen AUV-prototyypin (Kuva 19) testauksesta. Testaus on tarkoitus suorittaa lokakuussa 2018. Testin tarkoitus on varmistaa robottikäsivarren kyky sopeutua AUV:n liikkeisiin merivirtojen mukana sekä jatkuvaan putkistojen seurantaan. (Japan to test... 2018; Kawasaki Tests Its... 2018.)

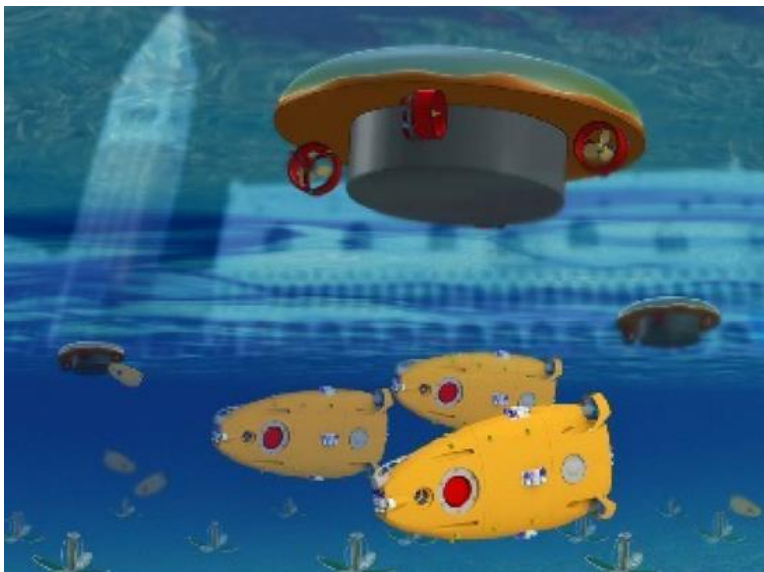


Kuva 19. Kawasaki Heavy Industriesin robottikäsiarrellinen AUV-prototyyppi (Japan to test... 2018)

6.8 Horizon 2020

Horizon 2020 on suurin EU:n (Euroopan Unioni) tutkimus- ja innovointiohjelma liki 80 miljardin rahoituksella vuodesta 2014 vuoteen 2020. SubCULT nimisessä hankkeessa tiedemiehet kehittivät 120 robotin parven, joka koostuu kolmesta erilaisesta robotista, joilla jokaisella on oma tehtävänsä. Robotit ovat nimeltään ”aFish”, ”aMussels” ja ”aPads” (Kuva 20). Niiden tarkoitus on tutkia Venetsian laguuneja. (Submarine cultures perform... 2016.)

aFish toimii tiedonvälittäjänä aPadsin ja aMusselsin välillä, samalla seuraten ympäristöään. aMussels on kokonaan uudenlainen vedenalainen robotti, joka tekee toisiinsa yhteistyötä muiden robottien kanssa ja toimittaa dataa aFish:lle sekä tutkii entistä kattavammin merenpohjaa. aMussels voi ankkuroida itsensä merenpohjaan ja käydä välillä pinnalla latautumassa aPads:lla. Se kykenee myös keräämään energiaa ympäristöstään. aPads (keinotekoinen lumpeenlehti) on näiden kahden muun (aFish ja aMussels) laturi, joka kykenee tarttumaan robottiin ja pitämään sen paikoilleen kytkettynä latautumiseen tarvittavan ajan. SubCULT rahoitus on 4 milj. euroa ja tutkimusaika huhtikuusta 2015 maaliskuuhun 2019. (Submarine cultures perform... 2016.)



Kuva 20. AFish, AMussels ja APads (Submarine cultures perform... 2016.)

6.9 UNEXMIN-projekti

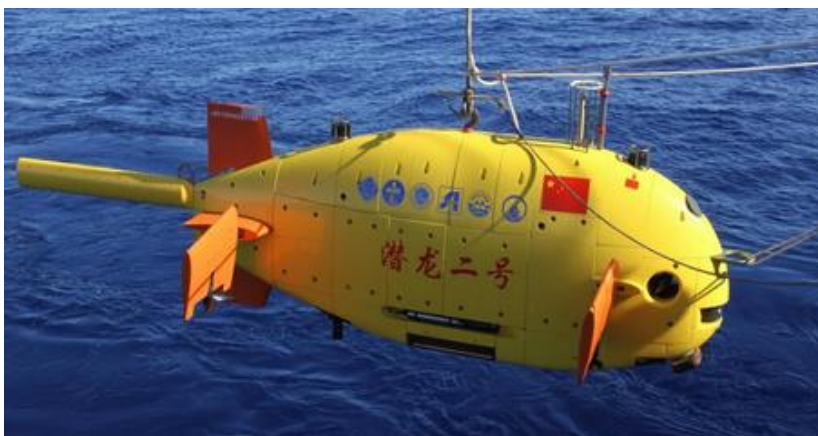
Tämäkin on Horizon 2020 -hanke, mutta tässä projektissa tutkitaan, voiko entisiä kaivoksia, joita Euroopassa on n. 30 000, avata uudestaan. UNEXIN-projekti on nelivuotinen hanke, joka aloitettiin vuonna 2016 ja jossa on mukana 13 organisaatiota seitsemästä eri maasta. Hankkeen budjetti on viisi miljoona euroa. Projektissa suunnitellaan ja rakennetaan kolme UX-1 nimistä AUV:a (Kuva 21). 112 kg painava AUV tekee kaivoksesta kolmiulotteisen mallin ja ottaa samalla vesinäytteitä, jotta kaivoksen kemiallisista olosuhteista saadaan tarvittavaa tietoa. AUV:n toimita-aika on viisi tuntia ja se kykenee sukeltamaan 500 m syvyyteen. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa robotti tutki Etelä-Pohjanmaalla Kuortaneen Lentilässä sijaitsevaa Kaatialan kaivosta ja tarkoitus on siitä jatkaa kolmella kenttätestillä, jotka tehdään Sloveniassa, Portugalissa ja Englannissa. Hankkeessa on mukana Tampereen Teknillinen yliopisto ja projekti-päällikkönä toimii Jussi Aaltonen. (Siirilä 2018.)



Kuva 21. UX-1 robotti (Merja Siirilä / Yle 2018)

6.10 Kiinalaisten AUV polymetallisen sulfidin havainnointiin

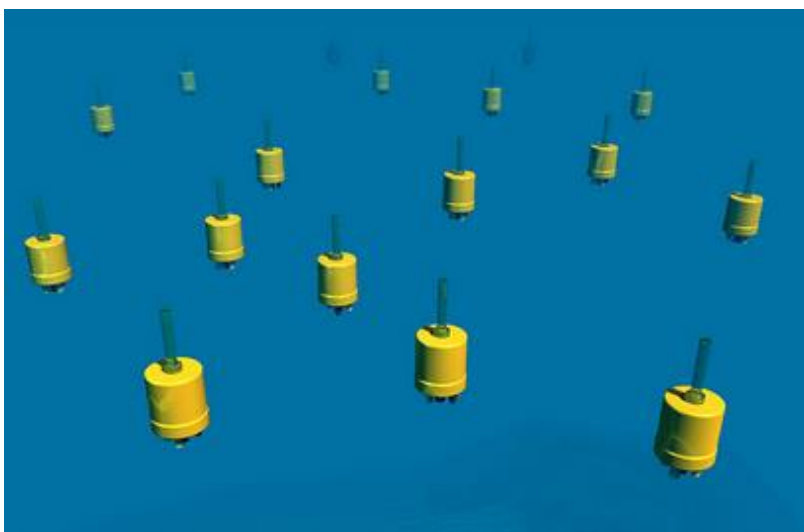
Kiinalaisten tiedemiesten suunnittelema 3.5 m pitkä ja 1.3 m korkea AUV Qianlong No. 2 on ”sukeltava lohikäärme” (Kuva 22), jonka sukellussyvyys on jopa 4500 m. Tutkimusten toisella osuudella AUV teki viisi testisukellusta ollen näin osa maan 49:stä meritutkimuksesta lounaisella Intian valtamerellä. AUV:lla voidaan havaita syvällä valtameressä olevia sulfidikerrostumia, jotka sisältävät erilaisia metalleja sekä valokuvata sulfidia, basalttia ja meren eliöitä. Päivitetyin Qianlong No.3:n testaus oli ajoitettu huhtikuuhun 2018. (China’s 4,500-meter Submersible... 2018.)



Kuva 22. Kiinalaisten suunnittelema AUV, Qianlong No.2 (China’s 4,500-meter Submersible... 2018.)

6.11 Planktonia jäljittelevät AUV:t

Scripps Institution of Oceanography Kalifornian yliopistossa San Diegossa kokeili 2017 alussa ensimmäistä kertaa greipinkokoista AUV:a joka jäljittelee planktonia. Sen tarkoitus on tutkia merien virtoja ja pieneliöitä, jotka kulkeutuvat niiden mukana. Laite sai nimekseen M-AUE (Miniature Autonomous Underwater Explorer) (Kuva 23) ja se käyttää hyväkseen nostetta pysyäkseen halutussa syvyydessä. (Reisewitz 2017.)



Kuva 23. Parvi M-AUE:eita, jotka jäljittelevät planktonia (Jaffe Lab for Underwater Imaging/Scripps Oceanography 2017)

7 ALAN TUTKIMUS- JA KEHITYSLAITOKSIA

- **Scripps Institution of Oceanography/AUVAC (Autonomous Undersea Vehicle Applications Center), USA**

AUVAC:n tavoitteena on kehittää, hyödyntää ja integroida AUV-järjestelmiä. AUVAC pyrkii jakamaan tietoa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. AUVAC tarjoaa laajan tietokannan, jollaista ei ole muualla. (AUV Community News 2018.)

- **JAMSTEC (Japan agency for marine-earth science and technology), JAPAN**

JAMSTEC:n päämääränä on edesauttaa akateemista tutkimista meritieteen ja teknologian osalta. JAMSTEC tekee laajaa AUV-tutkimusta ja -yhteistyötä kotimaisten sekä ulkomaisten yliopistojen, tutkimuslaitosten ja valmistajien kanssa. (About JAMSTEC n.d)

- **University of Hawaii (UH) Marine Operations, USA**

UH:lla on keskittynyt AUV-ylläpitoon ja sillä on monia tutkimuksia ja projekteja, joissa käytetään eri AUV:eita (University of Hawaii www-sivut 2018).

- **Flinders University, Australia**

Flinders University kehittää AUV:ta meritieteelliseen tutkimukseen ja seurantaan (Autonomous Underwater Vehicles 2018).

- **MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute), USA**

Voittoa tavoittelematon merentutkimuslaitos, jossa tutkitaan merien jokaista osaa rannikkojen matalikoista aina syvänmeren syvänteisiin. MBARI kehittää AUV:eita jotta merentutkimuksen kustannuksia saataisiin alemmas. (Autonomous underwater vehicles 2017.)

- **SOI (Schmidt Ocean Institute), USA**

SOI on yksityinen, voittoa tavoittelematon säätiö, jonka tavoitteena on edesauttaa meren tutkimusta ja tietoisuutta ja joka käyttää AUV:ta kehittääkseen laitteiden

keskinäistä yhteistyötä ja kommunikointia muiden autonomisten laitteiden kanssa (Our Vision 2018).

- **Stanford University, USA**

Stanford on yksi maailman johtavista tutkimustyötä tekevästä yliopistoista, joka merentutkimuksen ohella myös kehittää AUV:ta (Stanford University www-sivut 2018).

- **The University of Sydney, Australia**

Australian Centre for Field Robotics (ACFR) tekee töitä, jotta robotiikkaa ja havaintokykyä veden alla voidaan parantaa käyttäen apunaan erilaisia AUV:ta (The University of Sydney www-sivut n.d.).

- **Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), USA**

Woods Hole Oceanographic Institute toimii kaikkialla maailmassa, käyttäen apunaan erilaisimpia merentutkimusrobotteja, joilla se suorittaa monenlaisia tehtäviä aina kulloisenkin tutkimustarpeen mukaan. WHOI on maailman johtava voittoa tuottamaton merentutkimuslaitos, joka myös kehittää omaa AUV:ia. (WHOI www-sivut 2014.)

- **Widener University, USA**

Yliopisto, jossa opiskelijat suunnittelevat ja rakentavat omaa AUV:ta (Designing Cutting-Edge Technology 2018).

- **Harvard University, USA**

Harvardin John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences on palkintoja voittanut yliopisto, joka tutkii ja kehittää erilaisia vedenalaisia robotteja (Harvard University www-sivut 2018).

- **Centro E. Piaggio (Bioengineering and Robotics Research Center), Italia**

E. Piaggio on Italian Interuniversity Center Integrated Systems For Marine Environment (ISME) jäsen, joka kehittää pieniä erikoisvalmisteisia AUV:eita.

SEALab on 2015 perustettu tutkimuslaboratorio, joka keskittyy sekä heterogeenisiin että autonomisiin merellisiin järjestelmiin. Se toimii yhteistyössä ISME:n ja

Naval Experimentation and Support Center (CSSN) kanssa. (Centro e. Piaggio www-sivut 2017; ISME www-sivut 2018.)

- **Australian Institute of Marine Science (AIMS)/ Australian Government**
AIMS tarjoaa laaja-alaista ja pitkäikäistä tutkimustyötä hallituksille, teollisuudelle ja yhteisöille, jotka edesauttavat Australian vesistöjä. Kehittelee itse samalla toimivampia AUV:eita. (Autonomous underwater vehicles 2018.)

- **University of Southampton, Iso-Britannia**

Southampton on opetukseen, tutkimukseen ja yrittäjyyteen keskittynyt yliopisto, joka kuuluu maineikkaan Russell Groupin yliopistoihin. Yliopistossa kehitetään omia AUV:ta tutkimuksien suorittamiseen. (University of Southampton www-sivut 2018.)

- **Far Eastern Federal University (FEFU), Venäjä**

FEFU on itäisen Venäjän perinteikäs yliopisto, jolla on oma robotiikkainsinöörien ryhmä, joka kehittää omaa AUV:ta (FEFU www-sivut, 2018).

- **National Oceanography Centre (NOC), Iso-Britannia**

National Oceanography Centren tavoitteena on tulla yhdeksi maailman kolmesta huippu meritieteellisestä tutkimuslaitoksesta. NOC kehittää parhaillaan neljää erilaista AUV:ta. (NOC www-sivut 2018.)

- Autosub2KUI
- ecoSUB
- Autosub Long Range 1500
- BRIDGES deep glider -projekti, johon he ovat saaneet Euroopan Unionilta Horizon 2020 ohjelmasta 8 milj. € rahoituksen yhdessä yhdeksän muun maan julkisten ja yksityisten laitosten kanssa.

- **Phoenix International Underwater solutions worldwide, USA**

Phoenix Underwater solutions on työntekijöiden omistama holding-yhtiö, joka on Management System-sertifioitu ja tarjoaa vedenalaisia meriteknologiapalveluita

merentutkimuksesta AUV:eiden kehitykseen (Phoenix International www-sivut 2016).

- **Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), USA**
Voittoa tavoittelematon organisaatio, joka keskittyy robotiikkaan ja tarjoaa opiskelijoille mahdollisuuden luoda itselleen uran alalla. Järjestää robotiikkakilpailuja, joissa opiskelijat pääsevät hyödyntämään insinööritaitojaan ja kehitellä uusia AUV:eita. (About us 2014.)

- **ETH Zurich Autonomous Systems Laboratory (ASL), Sveitsi**
ETH kehittää ja suunnittelee älykkäitä robotteja ja ratkaisuja autonomisiin järjestelmiin maalla, merellä ja ilmassa (Autonomous Systems Lab 2018).

- **Fraunhofer IOSB, Saksa**
Fraunhofer IOSB tuottaa innovatiivisia ja käytännönläheisiä ratkaisuja sähkö- ja vesiteollisuudelle. Se tutkii autonomisia vedenalaisia laitteita. Siellä on kehitetty mm. ABS-muovista tehty DeDAvE:n (Deep Diving AUV for Exploration), jota on helpompi käsitellä kuin perinteisiä AUV:ta. (Fraunhofer IOSB www-sivut 2018.)

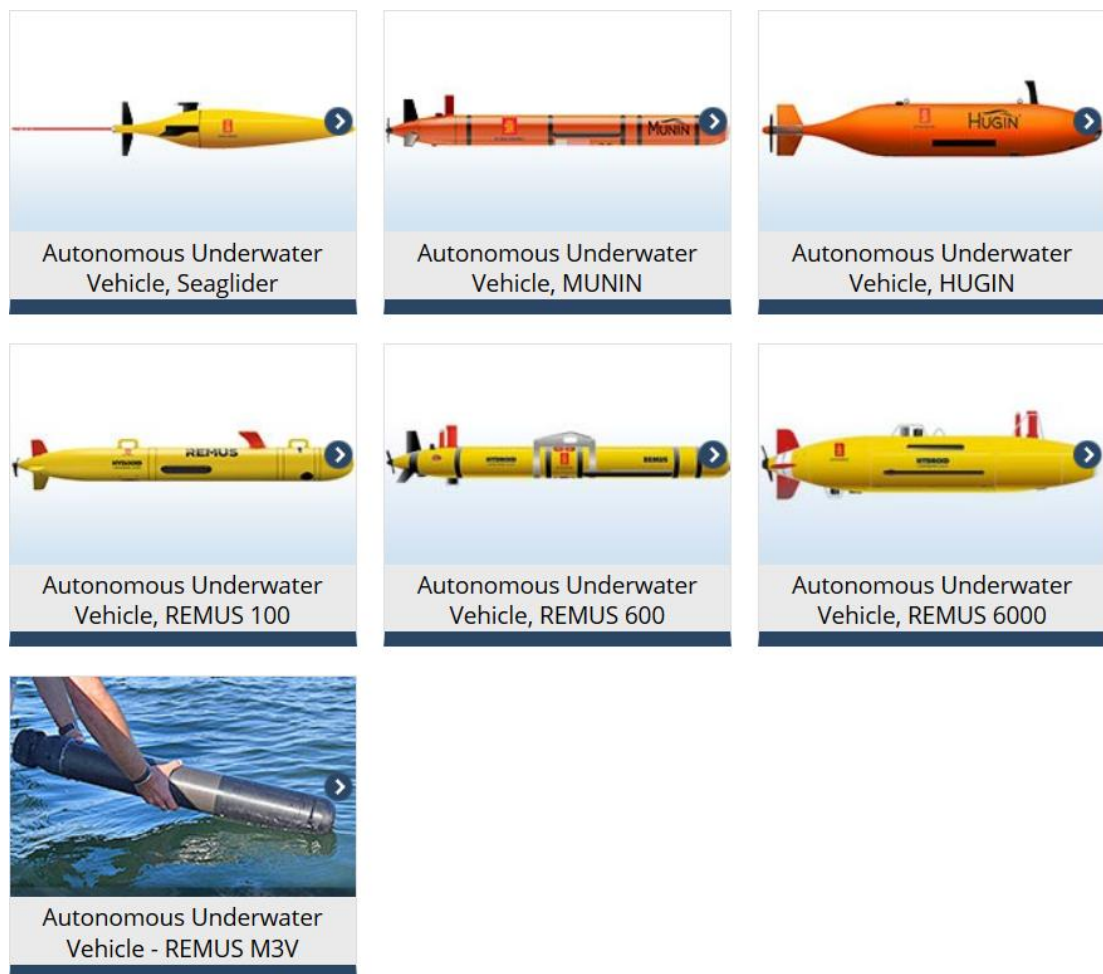
- **Boston Engineering Advanced Systems Group (ASG), USA**
ASG kehittää erilaisia kehittyneitä miehittämättömiä ja autonomisia teknologioita, kuten vedenalaisia ohjausjärjestelmiä UAV (Unmanned Underwater Vehicle), kiinniotto- ja kääntymisjärjestelmiä, integroitua tunnistusta ja paljon muuta. (Boston Engineering www-sivut 2018.)

8 LAITEVALMISTAJIA MAAILMALLA

8.1 Kongsberg Maritime, Norja

Kongsberg on kansainvälinen teknologiakonserni, joka toimittaa luotettavia ja pitkälle kehitettyjä ratkaisuja monimutkaisiin, äärimmäisissä olosuhteissa suoritettaviin operaatioihin (Our Corporate story 2018).

Kongsberg tuottaa useita erilaisia AUV:tä (Kuva 24):



Kuva 24. Kongsbergin valmistamat AUV:t (Kongsberg www-sivut 2018)

APPLICATIONS	HUGIN	MUNIN	SEAGLIDER	REMUS 100	REMUS 600	REMUS 6000
OFFSHORE (OIL & GAS)						
Baseline Environmental Assessment	x	x	x	x		
Geophysical Survey	x	x				
Pipeline Survey	x	x		x		
Debris/Clearance Survey	x	x		x		
ENVIRONMENTAL MONITORING						
Emergency Response	x	x		x	x	x
Water Quality	x		x	x	x	x
Ecosystem Assessment	x	x	x	x	x	x
HYDROGRAPHY						
Route Survey	x	x		x	x	
Habitat Mapping	x					
Deep Sea Mining	x					x
Charting	x			x	x	
EEZ Survey	x				x	x
Pre/Post Dredging Survey	x	x		x	x	
SEARCH & RECOVERY						
Asset Location	x	x		x	x	x
Marine Archaeology	x			x	x	x

Kuva 25. Kongsbergin AUV:eiden soveltuvuuksia eri käyttötarkoituksiin. (Kongsberg www-sivut 2018)

8.2 Eelume, Norja

Eelume toimii yhteistyössä Kongsbergin kanssa ja on perustettu vuonna 2015 Norwegian University of Science and Technologyn (NTNU) sivutuotteena. EELUME on vasta kehittänyt alkuvaiheissa.

Eelumen EELY500 (Kuva 26) on pieni, käärmemäinen, neljän solmun nopeuteen kykenevä, monista erilaisista moduuleista kasattava AUV. Se kykenee säilyttämään ohjattavuutensa ja paikkansa jopa kovissakin merivirroissa. Anturit ja työkalut voidaan sijoittaa joustavan rakenteen mihin tahansa osaan. Se kykenee toimimaan 500 m syvyyksissä ja pääsee alueille, joihin pääsy ennen oli mahdotonta. Pituutta laitteella on n. 3 metriä ja sen halkaisija on 20 cm. (The Eelume Concept n.d.)



Kuva 26. EELUME käärme-AUV (Google.com www-sivut n.d)

8.3 OceanServer Technology, USA

Massachusettsissa sijaitseva OceanServer valmistaa ensimmäisiä kaupallisesti kehitettyjä ja edullisia AUV:eita. Iver sopii erinomaisesti rannikkoalueille, tutkimukseen, pinnanalaiseen turvallisuuden ja ympäristön seurantaan. Kaikki Iverit voidaan ohjelmoida nopeasti ja lähettää tutkimusmatkalle hyvin lyhyessä ajassa. (OceanServer www-sivut 2018.)

Standardi Iver3 (Kuva 27) on helppokäyttöinen AUV, jossa on valittavana erilaisia korkean resoluution kaikuluotaimia ja jonka akuston voi vaihtaa. Sen maksimisukelussyvyys on 100-200 m. (OceanServer www-sivut 2018.)



Kuva 27. Standard Iver3 (OceanServer www-sivut 2018)

Iver3 avoimella järjestelmällä (Kuva 28) tarjoaa mahdollisuuden etähallintaan ja anturien kehittämiseen. Siinä on yksinkertainen API (Application Programming Interface) eli ohjelmointirajapinta, jonka kautta eri ohjelmat voivat kommunikoida keskenään sekä useita hyötykuormavaihtoehtoja laitteen nopeaan kasaamiseen. (OceanServer www-sivut 2018.)



Kuva 28. Open system Iver3 (OceanServer www-sivut 2018)

Iver4 PW (Kuva 29) kykenee pitkäkestoiseen toimintaan, eikä sillä ole kuljetuksellisia rajoituksia. Aluksessa on standardina johtava teollisuuden seuranta- ja turvallisuuskommunikointi. Sen maksimisukellussyvyys on 300 m. (OceanServer www-sivut 2018.)



Kuva 29. Iver4, PW (OceanServer www-sivut 2018)

8.4 Teledyne Gavia, Islanti

Teledyne marine on tällä hetkellä meriteknologian laajin valmistaja. Yhtiö valmistaa AUV:eiden lisäksi myös mm. ASV:eita (Autonomous Surface Vehicles), ROV:eita (Remotely Operated Vehicle) sekä paljon muuta. (Teledyne marine www-sivut 2018.)

Slocum G3 Glider (Kuva 30) käyttää hyväkseen nostetta ja liikkuu sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. Pitkän kantaman ja keston vuoksi Slocum-kiitäjät ovat juuri sopivia vedenalaisten näytteiden ottoon. Ne kykenevät kantamaan monia eri antureita ja ne voidaan ohjelmoida viikoiksi kerrallaan. Slocum tarvitsee operointiin vain 1 – 2 käyttäjää ja Slocumeita voidaan muunnella tarpeiden mukaan. (Slocum G3 glider n.d.)



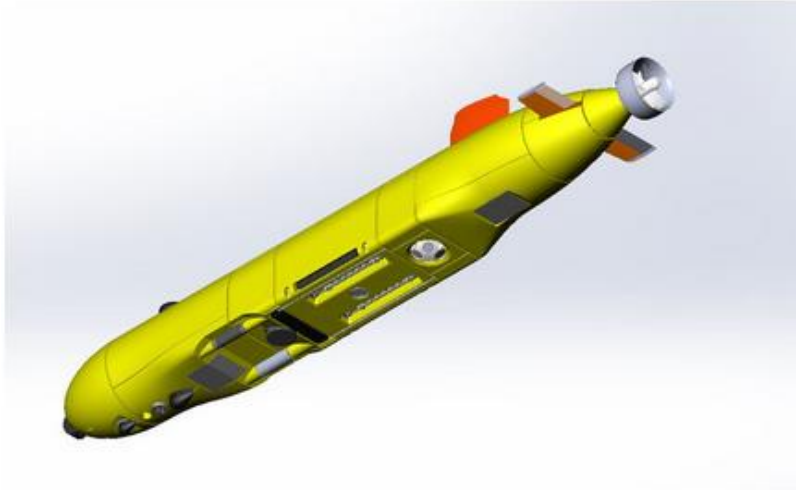
Kuva 30. Slocum G3 Glider (Slocum G3 glider n.d.)

Gavia (Kuva 31) on AUV, joka on tehty ”plug-and-play” -periaatteella. AUV koostuu erilaisista moduuleista, jotka voidaan kasata paikan päällä. Moduuleita on saatavana 500 m ja 1000 m syvyyteen ja ne ovat keskenään täysin vaihdeltavissa. Kaikki moduulit on suunniteltu halkaisijaltaan 20 cm kokoiseen kantaan. Pituus ja paino riippuvat valituista kaikuluotaimista, navigaatiosta, lisäakuista yms. Standardina Gaviassa on OAS (Obstacle Avoidance Sonar), GPS (Global Positioning System), Iridium-satelliittiyhteys ja langaton LAN-yhteys tiedon siirtoon. (Autonomous underwater vehicles...n.d.)



Kuva 31. Gavia (Autonomous underwater vehicles...n.d.)

SeaRaptor (Kuva 32) on suunniteltu toimimaan valtameren jopa 3000 – 6000 m syvyyksissä. Laite on muunneltavissa ja voidaan varustaa erilaisilla antureilla vakioiden lisäksi. AUV on varustettu monilla turvallisuusjärjestelmillä ja kaikilla välttämättömillä navigaatiojärjestelmillä. (Searaptor AUV n.d.)



Kuva 32. SeaRaptor (Searaptor AUV n.d.)

8.5 Bluefin Robotics, USA (General Dynamics Mission Systems)

Bluefin Robotics valmistaa ja suunnittelee tuotteita maalle, merelle, ilmaan, avaruuteen sekä lisäksi tietoverkkoja.

Bluefin-21 (Kuva 33) on muunneltavissa ja kykenee kantamaan monia antureita- ja hyötykuormia samanaikaisesti. Sillä on suuri energiakapasiteetti, joka mahdollistaa sen operaatiot jopa 4500 m syvyyksissä. Standardivarustettuna, kolmen solmun nopeudella, se kykenee toimimaan 25 tuntia. (Bluefin-21 Autonomous Underwater... 2018.)



Kuva 33. Bluefin-21 (Bluefin-21 Autonomous Underwater... 2018)

Bluefin SandShark (Kuva 34) on edullinen ja avoin, mikro-AUV. Se on pienikokoinen, kannettava AUV, joka hyödyntää pienoisantureita ja jota voidaan käyttää seuraavan polven kehitysympäristönä. SandShark kykenee 200 m syvyyteen ja sen nopeus on 2 – 4 solmua. (Bluefin SandShark Autonomous... 2018.)



Kuva 34. Bluefin SandShark (Bluefin SandShark Autonomous... 2018.)

Knifefish UUV (Kuva 35) on keskiluokan miinanraivaaja, Mine Countermeasure (MCM). Se tarjoaa parannetun miinanetsintäominaisuuden havaitsemalla, tunnistamalla ja luokittelemalla sekä haudatut että häiriöisissä ympäristöissä olevat miinat. (Knifefish Unmanned Undersea... 2018.)



Kuva 35. Knifefish miinanraivaaja (Knifefish Unmanned Undersea... 2018.)

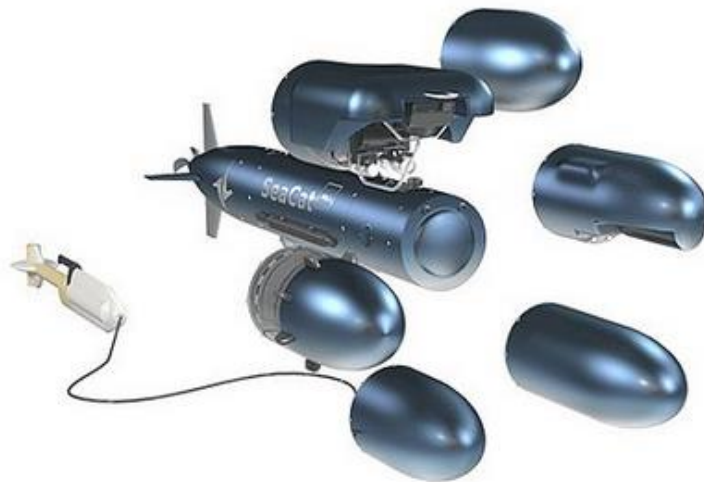
8.6 Atlas Elektronik, Saksa

Atlas Elektronik on yksi maailman johtavista merielektroniikan toimittajista, jolla on sivuhaara myös Suomessa. Yhtiö valmistaa taistelujärjestelmiä ja kaikuluotaimia sukellusveneille, miinanetsintäjärjestelmiä, AUV:eita sekä kattavan valikoiman muita palveluita. (Atlas Elektronik www-sivut 2018.)

SeaCat on keskikokoinen AUV (Kuva 36), jota voidaan muokata erilaisiin tarpeisiin käyttämällä ns. SwapHead:a eli vaihdettavaa kärkeä. (Kuva 37). SwapHead on vaihdettavissa minuuteissa ja sallii näin optimoidun tehtävän suorituksen. SeaCat kykenee korkeimpien standardien mukaiseen hydrografiaan. Sen operointialue ulottuu 2 – 600 m. Mikäli syvyys on alle 2 m, toimii se vain veden pinnalla. Maksiminopeus on 6 solmua ja 20 tunnin toiminta-ajalla 3 solmua, ja se kykenee leijutoimintoon sekä peruuttamaan yhden solmun nopeudella. (SeaCat, One AUV...n.d.)



Kuva 36. SeaCat (SeaCat, One AUV...n.d.)

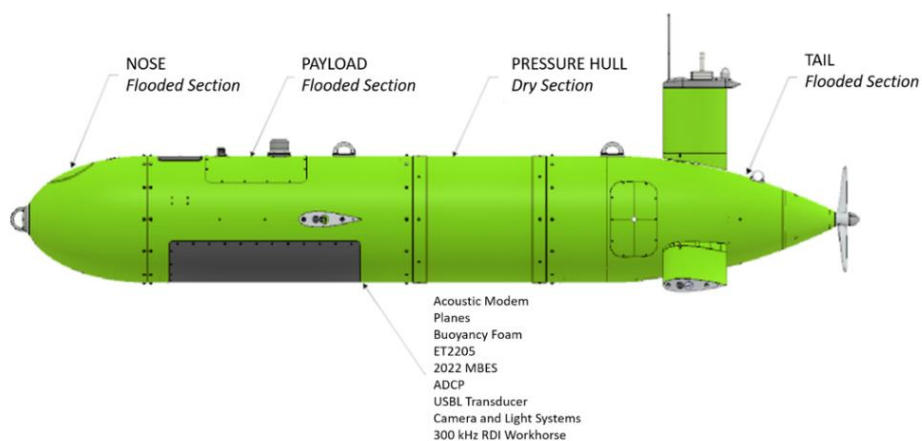


Kuva 37. SwapHead eli AUV:n vaihdettava kärkiosa. (SeaCat, One AUV...n.d.)

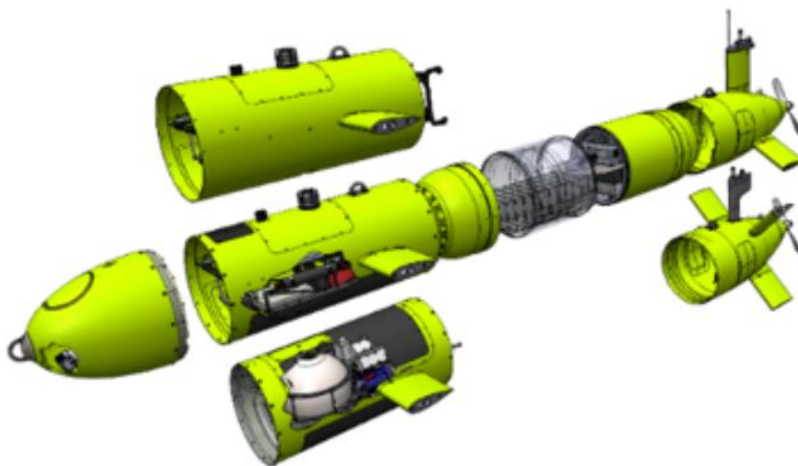
8.7 ISE Ltd. Kanada

International Submarine Engineering (ISE) Ltd. on yksi maailman johtavista autonomisten ja kauko-ohjattujen laitteiden suunnittelijoista ja integroijista. Yhtiö mm. kehittää, valmistaa ja huoltaa AUV:ta. (About us 2018.)

EXPLORER (Kuva 38) on muunneltava AUV, jossa on edessä vapaasti vettä päästävä osio, täysinmittainen painerunko ja vapaasti vettä uittava perä. Laite on suunniteltu päivitettäväksi, jolloin se voidaan konfiguroida uusien vaatimusten täyttämiseksi ja toimimaan pitkään vain yhdellä latauksella. Sitä on saatavana monissa eri kokoonpanoissa (Kuva 39) riippuen syvyysvaatimuksista, jotka voivat vaihdella 300 – 6000 m. EXPLORER on tunnettu pienistä operointikustannuksista, joustavuudesta sekä poikkeuksellisen pitkästä autonomisesta kantamasta. (Explorer AUV 2018.)



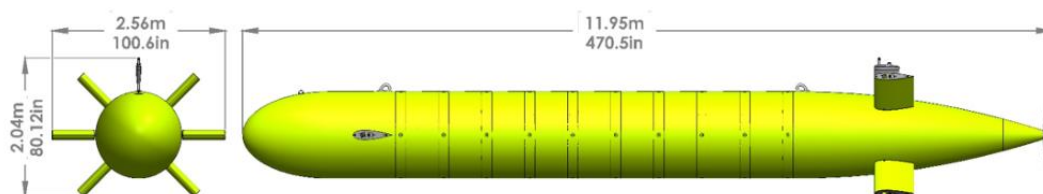
Kuva 38. EXPLORER. (Explorer AUV 2018.)



Kuva 39. EXPLORER osissa (Explorer AUV 2018.)

Theseus on erilaisiin tehtäviin sopeutuva ja muunneltava AUV (Kuva 40). ISE aloitti sen kehittämisen vuonna 1992 yhteistyössä Kanadan puolustusministeriön kanssa osana USA:n ja Kanadan Spinnaker projektia. Kehittelyn ideana oli saada asetettua pitkiä kuituoptiikoita arktisen jään alle. Projektissa asennettiin 220 km kaapelia AUV:n ollessa 600 m syvyydessä. Theseus työskenteli 2,5 metrin syvyisen jään alla 60 tuntia. Projekti saatiin onnistuneeseen päätökseen vuosina 1995-1996.

AUV:n maksimisyvyys on 1000 m ja sen nopeus on 4 solmua. (Theseus AUV 2018.)





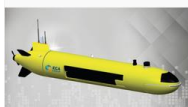



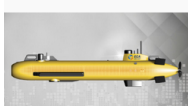












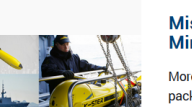
Kuva 40. Theseus (Theseus AUV 2018.)

ISE käytti Arctic Explorer AUV:iin Sciaky Inc:n valmistamaa 3D-tulostettua muuttuvaa titaanista painolastitankkia. 3D-tulostus toteutettiin elektronisuihkutulostuksena, jossa metallista pulveria tai -lankaa sulatetaan ja yhdistetään elektronisäteellä. Tavanomaisella valmistustavalla aikaa painolastitankin tekemiseen olisi mennyt 16 viikkoa, 3D-tulostuksella se valmistui kahdeksassa viikossa. ISE aikoo käyttää 3D-tulostusta jatkossakin. (Electron-beam additive manufacturing 2018; Kasprzak 2017.)

8.8 ECA SA, Ranska

ECA-yhtymä valmistaa robotteja, automaatiojärjestelmiä, simulaatioita sekä teollisuusprosesseja. He ovat suunnitelleet AUV:eita, jotka voivat toimia sekä matalikossa, että syvässä vedessä jopa 3000 m asti ja joilla on pitkä käyttöaika. ECA yhtymällä on monia erilaisia AUV:eita erilaisiin käyttötarkoituksiin (Kuva 41). (ECA Group www-sivut 2018.)

	<p>A18-E / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A18-E is the imaging configuration of ECA Group A18 Autonomous Underwater Vehicle, AUV, family. IHO S44 compliant...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>A18-TD / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A18-TD is ECA Group twin hull Autonomous Underwater Vehicle, AUV, for deep water applications. Its architecture is...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>A18-M / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A18-M is the military configuration of ECA Group A18 Autonomous Underwater Vehicle, AUV, family. STANAG 1364...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>A18D / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A18-D is ECA Group mid size Autonomous Underwater Vehicle, AUV, for deep water applications. It is dedicated to...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>A18-S / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A18-S is the imaging configuration of ECA Group A18 Autonomous Underwater Vehicle, AUV, family. It is designed to...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>A27-E / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>The A27-E is the configuration of ECA Group A27 Autonomous Underwater Vehicle, AUV, family for civil applications....</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>A27-M / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>The A27-M is the configuration of ECA Group A27 Autonomous Underwater Vehicle, AUV, family for military applications....</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>A9-S / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A9-S is the configuration of ECA Group A9 man portable Autonomous Underwater Vehicle, AUV, dedicated to seabed...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>A9-E / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A9-E is the configuration of ECA Group A9 man portable Autonomous Underwater Vehicle, AUV, for environmental...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>Alistar 3000 / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>ALISTAR 3000 is the right solution for the challenging deepwater survey and inspection operations. This long...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>

	<p>A9-M / AUV / Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>A9-M is the configuration of ECA Group A9 man portable Autonomous Underwater Vehicle, AUV, dedicated to military...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>Autonomous Underwater Vehicle for Pipeline Inspection</p> <p>ECA Group has designed and produced a comprehensive unmanned underwater system based on Autonomous Underwater...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>Autonomous Underwater Vehicle For Platform surveillance</p> <p>Underwater infrastructures, offshore equipment, pipelines, communication cables...can be threatened by terrorist...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>Harbor and coastal surveillance AUV</p> <p>ECA Group</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>AUV for Search and Rescue</p> <p>Whatever the theater of operations, the Autonomous Underwater Vehicle has already demonstrated its capability to...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>Intelligence Autonomous Underwater Vehicle</p> <p>Easy to deploy, A9 AUV is an appreciated partner by clearance divers and swimmers in ISR operations. It is able to...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>Detection and Classification with AUV</p> <p>Autonomous Underwater Vehicle, AUV, improve detection and classification performances due to the use of highly stable...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>MCM Mission Module for Coastal Mine Warfare</p> <p>Small Man Portable AUV, the A9-M is a very efficient mean to accurately detect and localize underwater seabed targets...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>
	<p>Mid Size AUV for Covert REA</p> <p>Collecting data and intelligence before military operations is an important challenge. With its A18 midsize...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>		<p>Mission Module for Oceanic Mine Warfare</p> <p>More and more navies are looking for MCM package which can be easily fitted onboard non MCM dedicated Navy platform...</p> <p>READ MORE 📞 ✉️</p>

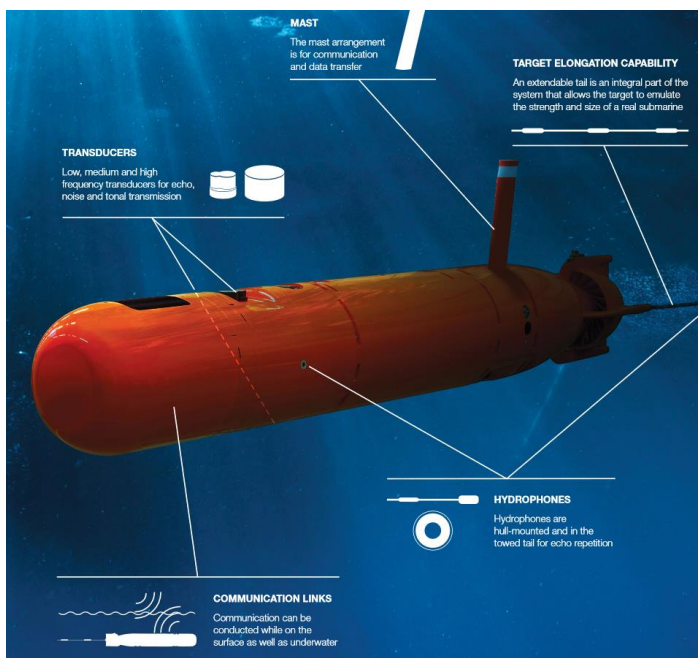
Kuva 41. Ote ECA-yhtymän AUV-tarjonnasta (ECA Group www-sivut 2018)

8.9 SAAB Group, Ruotsi

SAAB toimii globaaleilla markkinoilla, tarjoten maailman johtavia tuotteita ja palveluita aina puolustusvoimien ja siviilien turvallisuusratkaisuja myöden.

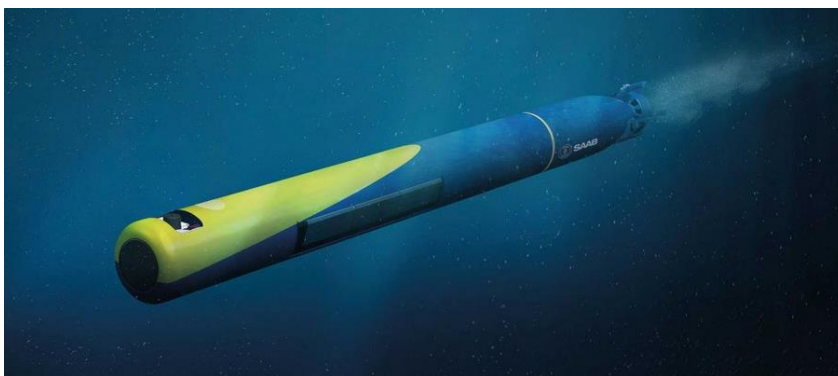
AUV62-AT (Kuva 42) on sopeutuva ja joustava AUV, joka voi toimia monilla eri tavoilla. Se voi tuottaa realistisia sukellusveneen ääniä ja kaikuja. AUV62-AT on varustettu muuntuvalla hännöksellä, joka peilaa sukellusveneen fyysisiä ominaisuuksia realistisen harjoittelun aikaansaamiseksi. Hännys kykenee hämäämään minkä tahansa

torpedojärjestelmän. AUV:n maksiminopeus on 12 solmua ja operointisyvyys 300 m. Toiminta-ajat vaihtelevat riippuen käyttönopeudesta. (Target simulation for...n.d.)



Kuva 42. AUV62-AT (SAAB Group www-sivut 2018)

AUV62-MR (Kuva 43) on täysin sotilaskäyttöön varustettu autonominen AUV, joka soveltuu nykyaikaiseen miinanetsintään, Mine Countermeasures (MCM). (AUV system for... n.d.)



Kuva 43. AUV62-MR (AUV system for... n.d.)

8.10 OceanScan – Marine Systems & Technology Lda, Portugal

OceanScan suunnittelee, rakentaa ja operoi LAUV:ta (Lightweight Autonomous Underwater Vehicle) yhteistyössä Porto yliopiston kanssa.

LAUV:n (Kuva 44) maksiminopeus on viisi solmua ja se kestää 100 m syvyyden. Kolmen solmun nopeudella operoiden sen toiminta-aika on n. 8 tuntia. Se on yhden käyttäjän operoitavissa ja siihen voidaan helposti integroida uusia välineitä, toimilaitteita, algoritmeja sekä käyttäytymismalleja. LAUV on kustannustehokas ja se on suunnattu meritieteelliseen-, hydrografiseen-, turvallisuus- ja tarkkailututkimukseen. (Light Autonomous Underwater... n.d.)



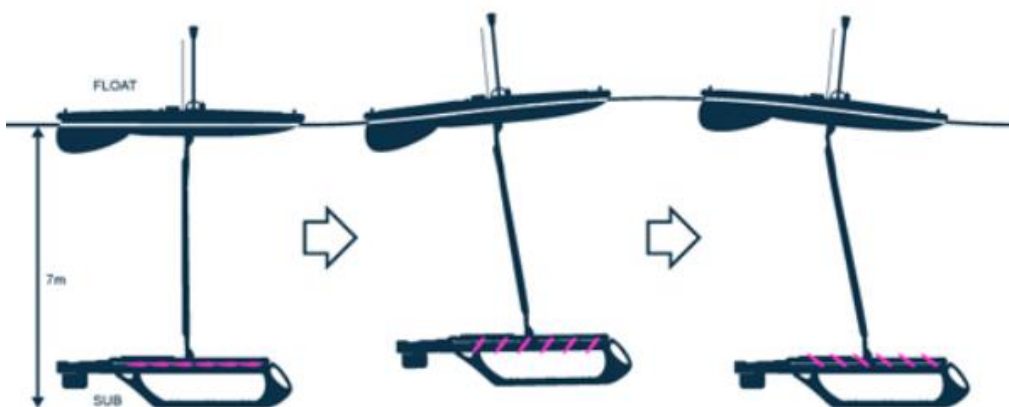
Kuva 44. LAUV (OceanScan www-sivut 2018)

8.11 Liquid Robotics, USA

Liquid Robotics on meritietopalvelujen kehittäjä ja tarjoaja. Se on kehittänyt maailman ensimmäisen Wave Gliderin (Kuva 45). Wave Glider käyttää vain meren omaa aaltoenergiaa (Kuva 46). (Liquid Robotics 2018.)



Kuva 45. Wave Glider (AUVAC www-sivut 2018)



Kuva 46. Wave Glider käyttää vain aaltojen omaa energiaa (AUVAC www-sivut 2018)

8.12 Lockheed Martin Corporation, USA

Lockheed Martin on maailmanlaajuinen avaruus- ja turvallisuusyhtiö, joka on keskittynyt tutkimukseen, suunnitteluun, tuotantoon ja erilaisiin teknologiajärjestelmiin ja palveluihin.

Lockheed Martinin Marlin-AUV (Kuva 47) on kolmemetrinen AUV, joka kykenee sukeltamaan 1000 m syvyyteen ja työskentelemään yhtämittaisesti n. 18 h. Sen nopeus on neljä solmua. Sillä voidaan 3D-simuloida vedenalaisia rakenteita esim. öljynpoorauslaitoista. (Lockheed Martin www-sivu 2018.)



Kuva 47. Marlin AUV (Lockheed Martin Corporation)

8.13 Gabri S.R.L, Italia

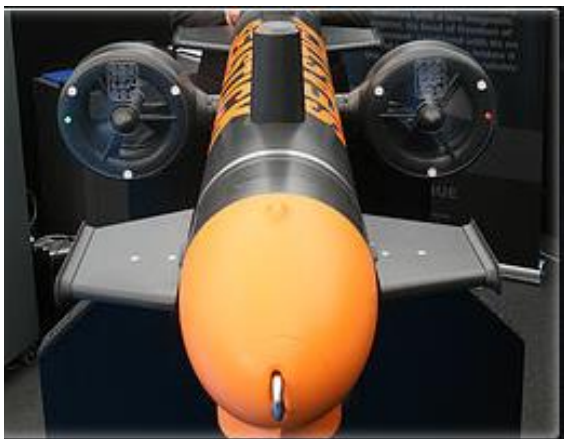
Gabri on vuonna 2004 perustettu elektroniikkaan, robotiikkaan, automaatioon ja tietotekniikkaan sekä insinööritoimintaan keskittynyt yhtiö, joka valmistaa AUV:eita. (Seastick project n.d.)

A.U.V.INO (Kuva 48) on 24 kg painava 1.2 metrinen AUV, joka kykenee 100 m syvyyteen 4-6 tunnin toiminta-ajalla. (A.U.V.INO n.d.)

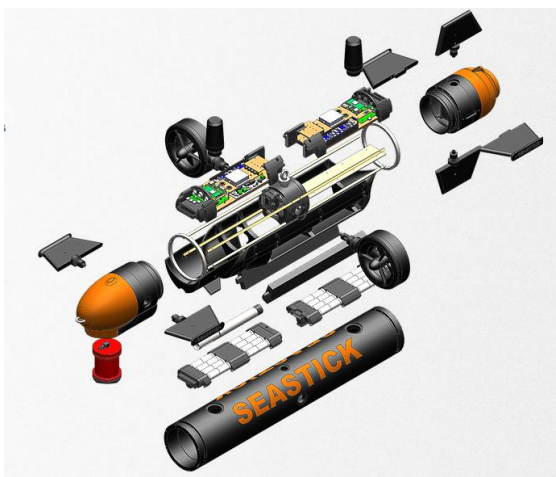


Kuva 48. A.U.V.INO (Gabri S.R.L)

SEASTICK 300 AUV (Kuvat 49 ja 50) on 1.2 kWh akulla varustettu 82 kg painava AUV, jonka toiminta-aika on 10 tuntia. Sen pituus on 1.9 m. (Seastick 300 AUV n.d.)



Kuva 49. SEASTICK 300 (Gabri S.R.L)

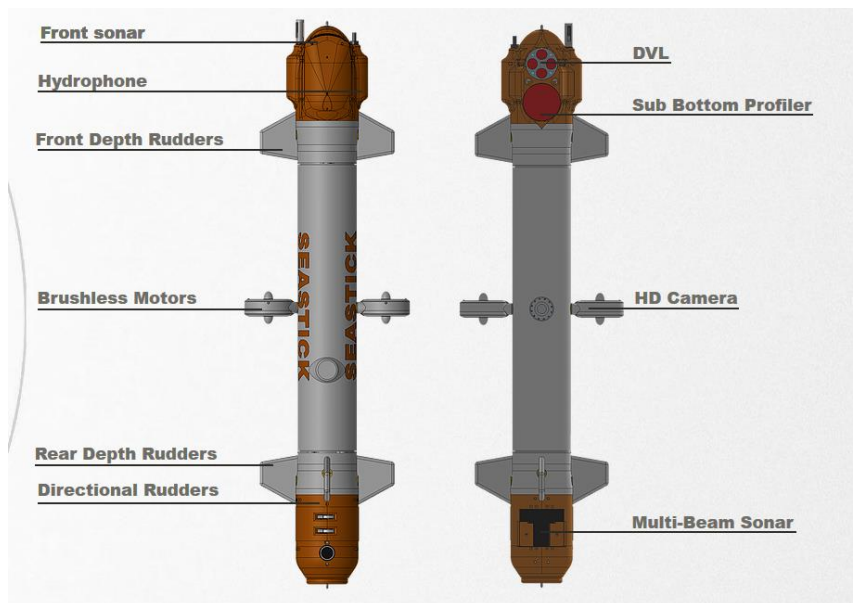


Kuva 50. SEASTICK 300 osissa (Gabri S.R.L)

SEASTICK 1000 AUV (Kuvat 51 ja 52) on 2.97 m pitkä, 197 kg painava AUV, jossa on 1.4 KWh akku ja 8-10 tunnin kestävyys. Se kykenee sukeltamaan 1000 m syvyyteen ja sen maksiminopeus on n. 4.5 solmua. (Seastick 1000 AUV n.d.)



Kuva 51. SEASTICK 1000 AUV (Gabri S.R.L)



Kuva 52. SEASTICK 1000 osina (Gabri S-R. L)

9 AUV-MARKKINAT

ReportLinkerin ja BCC Researchin mukaan globaalit AUV-markkinat ylsivät vuonna 2017 671 milj. dollariin. Arvio perustuu valmistajien liikevaihtoon. Vuoteen 2022 mennessä markkinoiden odotetaan kasvavan 835 milj. dollariin. Tästä summasta 441.8 milj. dollaria kohdistui kaupalliseen AUV-myyntiin ja sen odotetaan kasvavan 537.2 milj. dollariin vuoteen 2022. Puolustusvoimain osuus oli 170.6 milj. \$ vuonna 2017 ja sen puolestaan odotetaan kasvavan 229 milj. dollaria vuoteen 2022 mennessä. Research and markets:n mukaan AUV-myynti voi nousta vuoteen 2025 mennessä jopa 3.99 miljardiin dollariin. Odotukset kohdistuvat enimmäkseen kaupalliseen myyntiin, lähinnä avomeren öljy- ja kaasuteollisuuteen, hydrografiaan sekä jo olemassa olevien putkilinjojen tutkimukseen. (Autonomous Underwater Vehicle... 2018; Report: AUV Market... 2018; Unmanned Underwater Vehicle... 2018.)

Pohjois-Amerikka hallitsee AUV-markkinoita maailmanlaajuisesti, pääasiallisesti militääriteknologian ansiosta Euroopan tullessa hyvänä kakkosena. Afrikkaan ja Latinalaiseen-Amerikkaan ennustetaan suurinta kasvua syvänmeren öljy- ja kaasuesiintymien vuoksi. Aasian kysyntä tulee lisääntymään Japanin tutkimustoiminnan sekä Intian, Indonesian ja Malesian syvänmeren tutkimuksen vuoksi. Lisäksi tulevat vielä Kiinan mahdolliset sotilaalliset investoinnit sekä Lähi-idän, kuten Saudi Arabian kasvava kiinnostus. (Report: AUV Market... 2018; Unmanned Underwater Vehicle... 2018.)

AUV:t ovat maailmanlaajuisesti tulossa hyväksytyiksi hyödyllisinä meritieteellisen tiedon kerääjinä. AUV:eiden kantamat ja syvyydet tulevat aina vain paranemaan kehittyvän akkuteknologian, propulsiotehokkuuden ja paineensietotekniikan kehityksen myötä. Myös yhä kehittyneemmät erilaiset anturit tulevat vaikuttamaan AUV:eiden kysyntään ja niiden tuleviin käyttötarkoituksiin. (Autonomous Underwater Vehicle... 2018; Unmanned Underwater Vehicle... 2018.)

Hiljattain Kongsberg osti Rolls-Roycen Marine-ryhmän n. 565 milj. eurolla. Marine-ryhmän vetäjän Mikael Mäkisen mukaan digitaalinen teknologia muuttaa merenkul-

kua ja hän sanoo uskovansa, että bisnes tulee kukoistamaan tulevaisuudessa. (Rantanen 2018.) Meriteollisuuden kysyntä on kasvanut ja teknologian kehitys ja innovoinnit ovat avainasemassa sanoo Kongsbergin hallituksen puheenjohtaja Eivind Reiten (KONGSBERG has entered... 2018).

10 AUV TULEVAISUUDESSA

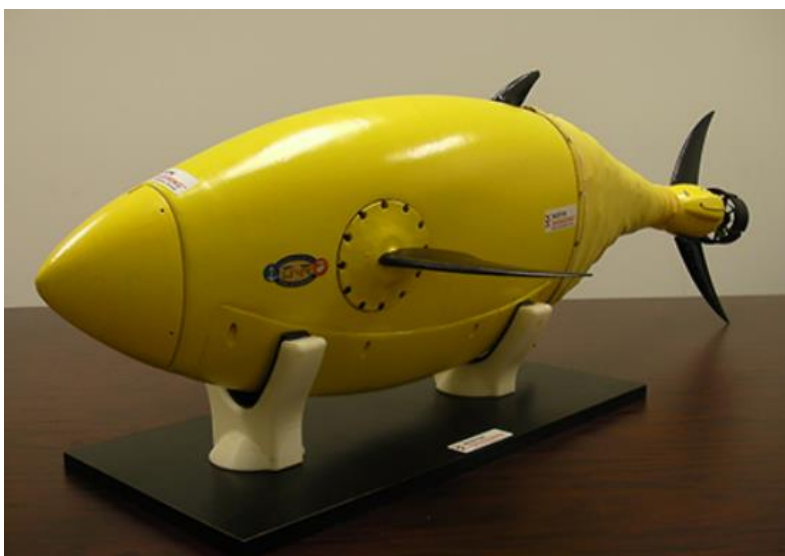
Merien pohjissa on mittaamattomat luonnonvarat, jotka halutaan saada käyttöön tavalla tai toisella. Maailman väestönkasvu ja lisääntyvä kulutus vaativat etsimään uusia hyödynnettäviä alueita. Jotkin malmit ovat joko loppumassa tai jo kokonaan loppuneet (Rantanen 2018).

Metalliseoksiin ja puolijohdeisiin tarvittavaa telluuria (tinalta näyttävä, kemiallisilta ominaisuuksiltaan seleeniä ja rikkiä muistuttava alkuaine (Telluuri 2018)) on laskelmien mukaan löydetty Atlantissa sijaitsevasta Tropic Seamount-nimisestä vuoresta n. 6270 tonnia. Merten syvyyksistä on paljastunut monia arvokkaita metalleja ja biomateriaaleja. Näiden löytämisessä auttavat AUV:t, jotka toimivat tiedustelijoina tehtävään etsiä hyödyke ja lähettää tieto eteenpäin. Näin jättiläismäiset kaivosrobotit (Kuva 53) pääsevät töihin, sillä vanhat maan päällä toimivat tekniikat eivät toimi meren pohjassa. Kaivosrobotit on valmistanut Kanadalainen Nautilus Minerals, mutta niiden käyttö saa vielä odottaa, sillä merenalaisen kaivostoiminnan kustannukset voivat kasvaa moninkertaisiksi verrattuna kuivan maan kustannuksiin. Jättiläismäisillä kaivosroboilla on myös ympäristön näkökannalta merkittäviä, ehkä kauaskantoisinkin vaikutuksia. Massachusettsin teknisen yliopiston opiskelijat arvioivat, että vuonna 2040 merien pohjissa toimii useampia kaivoksia maailmanlaajuisesti, koska luonnolle helppempää tekniikkaa ollaan kehittämässä. (Hambling 2018; Rantanen 2018, 38-43)



Kuva 53. Merenpohjan kaivosrobotit (Nautilus minerals)

Boston Engineering Advanced Systems Group (ASG) on kehittänyt BIOSwimmerin (Kuva 54), joka on suunniteltu matkien tonnikalaa. Robottikalalla on joustava ”pyrstö” ja sopiviin paikkoihin sijoitetut ”evät”. Se on suunniteltu vaikeasti tavoitettaville alueille, kuten laivojen pilssit ja tankit. Robottikalalan kokoonpano eroaa muista AUV:eista nivelöidyn peränsä vuoksi ja se kykenee n. 74 km tuntinopeuteen. (Boston Engineering www-sivut 2018.) Seuraavatko muut valmistajat kenties perässä luonnon moninaisuudesta mallia ottaen, kuten on jo tehty lentävien laitteiden osalta?



Kuva 54. BIOSwimmer (Boston Engineering 2018)

Myös BOSS Manta Ray (Kuva 55) on saanut inspiraationsa luonnosta. Paholaisrauskuua muistuttava joustava runko on ainutlaatuinen. Suuret ”siivet” luovat erinomaisen syvyyskontrollin, ollen samalla erittäin energiatehokas ja sallien pitkät matkat ja pitkän käyttöajan. BOSS Manta Rayn ovat kehittäneet Evologics, Sea & Sun Marine Tech sekä Fach Hochschule Lübeck, Saksan talous- ja energiaministeriön (BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) tukemana. BOSS Manta Ray:tä on kehitetty vuodesta 2013. (Bazzolo 2017; BOSS Project- Manta... n.d.)



Kuva 55. BOSS Manta Ray (Bazzolo 2017)

WYSS Instituutti ja Harvard SEAS ovat kehittäneet hybridirobotin, joka on saanut inspiraationsa mehiläisestä, RoboBee (Kuva 56). Robotti pystyy lentämään, tarttumaan seinään ja sukeltamaan veteen ja lisäksi se saa itsensä vedestä ylös takaisin kuivalle maalle. (Burrows 2017.) Ehkä jonain päivänä nämäkin robotit toimivat täysin itsenäisesti.



Kuva 56. Harvardin robotti mehiläinen (WYSS instituutti www-sivut 2017)

Woods Hole Oceanographic Institutionin tutkijaryhmä on alkanut käyttää “uteliaita” robotteja, jotka ottavat valokuvan havaitsemastaan kiinnostavasta asiasta. Roboteista

kehitetään enemmän itsenäisesti toimivia ja ajattelevia eli tekoälyä aletaan yhdistää myös merellä toimiviin robotteihin. (Dodge 2017.)

FESTO on kehittänyt AquaJelly nimisen meduusan (Kuva 57), jolla on kahdeksan lonkeroa. Siinä on läpikuultava puolipallo ja vesitiivis runko. Puolipallossa on rengasmäinen ohjauskortti, jossa on integroidut paine- valo- ja radioanturit. Se kykenee latautumaan veden pinnalla olevalla laturilla. Nämä laturit kykenevät kommunikoimaan meduusojen kanssa niin, että jokainen saa tarvitsemansa määrän energiaa. Latausaika on n. kolme tuntia. (AquaJelly n.d.)



Kuva 57. FESTON Aquajelly (Walter Fogel)

11 YHTEENVETO

Autonomisesti kulkevat laitteet ovat tulevaisuutta. Halu tutkia ja hyödyntää merenalaista maailmaa ajaa teknologian kehitystä ja innovointiin kannustetaan. Suurin osa meritieteentutkijoista ja robotiikka-alan asiantuntijoista uskoo alan mullistavan tietämyksemme merten ekosysteemistä ja, että sen avulla voidaan auttaa meren eläviä sekä ihmiskuntaa selviytymään tulevaisuuden haasteista. (Dodge 2017).

AUV rakentuu pääasiassiallisesti paineen- ja ruosteenkestävästä metallirungosta, johon saadaan liitettyä haluttuja antureita vaadittujen tarpeiden ja olosuhteiden mukaan. Yksi erittäin tärkeä komponentti robotissa on akku ja sen kestävyys. Akkujen jatkuva kehitys luo mahdollisuuden pidempiaikaiseen toimintaan veden alla. Kehittyvät tietotekniset ominaisuudet parantavat autonomisia ominaisuuksia ja tuloaan tekevä tekoäly mahdollistaa ihmismäisen toimimisen myös ennalta arvaamattomissa tilanteissa ja vaarallisissa olosuhteissa. Yksi kehitystyön alla olevista osa-alueista ovat paikannus- ja yhteydenpitovälineet. AUV on suuresti riippuvainen siitä, miten se saa muodostettua yhteyden pinnalle tai toisiin laitteisiin. Niiden kehityksen edelläkävijä saattanee saada hyvänkin jalansijan AUV-markkinoilla.

Autonomisilla sukeltavilla roboteilla voidaan kartoittaa ja etsiä merenalaisia aarteita kuten mineraaleja ja jalometalleja sekä öljy- että kaasuesiintymiä. Niillä voidaan luoda 3D-mallinnuksia merenpohjasta ja seurata merivirtojen muutoksia ja magneettisia esiintymiä. Satamissa ja telakoilla voidaan suorittaa kunto- sekä tullitarkastuksia ja suorittaa maan rajojen turvallisuusvalvontaa. AUV:eita voidaan käyttää merenalaisten kaapeleiden laskuun ja niiden kunnan seuraamiseen. Niillä voidaan etsiä kadonneita lentokoneita ja haaksirikkoutuneita laivoja sekä mahdollisesti tehdä merkittäviä arkeologisia löydöksiä. Näistä mielenkiintoisista roboteista on siis moneksi.

Robotit tekevät tuloaan myös harrastekäytössä. Markkinoilla on myynnissä esim. kalanpaikannukseen tarkoitettuja robotteja kuten PowerVisionin PowerRay. Se havaitsee kalat ja houkuttelee ne paikalle. (Rasmussen 2017.) Tänä kesänä PowerVision toi markkinoille PowerDolphinin, jolla voi mm. kalastaa, tutkia ja meripelastaa (Sukel-

lusrobotteja valmistava kiinalaisfirma... 2018). Nämä harrastekäyttöön tarkoitetut robotit tosin ovat vielä kauko-ohjattavia, mutta ajan saatossa sekin todennäköisesti tulee muuttumaan.

AUV:t ovat osoittautuneet erittäin käyttökelpoisiksi ja kustannustehokkaiksi. Niiden markkinoiden odotetaan kasvavan 4,5% vuosivauhdilla CAGR:llä (Compound Annual Growth Rate) laskettuna. AUV:t edustavat merkittävää käänteentekevää vaihtoehtoa nykyisin kalliille ja monimutkaisille järjestelmille sekä teollisuuden, tieteen että militäärisektorin näkökulmasta. Niiden helppokäyttöisyys, autonomisuus sekä käyttökustannukset ovat tärkeitä tekijöitä valittaessa työmetodia. Kehityksen mukanaan tuomien materiaalivalikoimien kustannusten lasku luo mahdollisuuden tehdä vedenalaisista roboteista uusi lentävien dronien kaltainen hitti.

Suomessa ja varsinkin Satakunnan alueella on hyvät mahdollisuudet kehittää AUV:eihin tarvittavaa tietotaitoa ja tuoda osaamistaan esille. Alueelle on rantautumassa mm. akkutehdas ja Satakunnan Ammattikorkeakouluun tuleva Robocoast-tutkimuskeskus. Ne ovat merkittävä voimavara, mikäli halutaan saada osuus AUV-markkinoista. Suomalaisella tietotaidolla ja osaamisella on hyvä maine maailmalla. Kansainvälinen kauppa luo investointeja ja työpaikkoja Suomeen. *”Suomalaisten hyvinvointi nojaa teknologiayritysten kansainväliseen kilpailukykyyn.”* (Hyvinvointia Suomelle 2018.)

12 POHDINTA

Olen tässä projektissa päässyt tutustumaan autonomisesti toimiviin vedenalaisiin robotteihin, niiden historiaan ja käyttökohteisiin sekä saanut siinä samalla välähdyksen maailman merien tilanteesta ja siitä, miten tiede ja teknologia voivat muuttaa niitä. Autonomiset robotit herättivät mielenkiintoni merenalaiseen maailmaan. Meressä on paljon enemmän kuin ikinä osasin kuvitella.

Valtaosa materiaalista oli englanninkielistä ja materiaalia löytyi yllättävän paljon. Aiheeseen liittyvää kirjallisuutta löytyy laidasta laitaan. Jouduin jonkin verran työssäni rajaamaan aihealueita ja miettimään miten kokonaisvaltaisesti asiaa lähden tutkimaan. Päätin jättää tarkemmat rakenneselvitykset, anturien yksityiskohdat yms. pois, koska siitä olisi jo saanut vaikka väitöskirjan aikaiseksi. Keskityin siis mielestäni vain olennaisiin asioihin, joista minulta oli selvitystä pyydetty.

Ympäri maailmaa mietitään miten selvitä pelätystä ilmastonmuutoksesta, vesien säästymisestä sekä liikakansoituksesta. Jotta maailmaa pystytään parantamaan, on tehtävä tieteellisiä tutkimuksia ja otettava teknologisia kehitysaskelaita. Pohjois-Amerikka on panostanut eniten AUV-kehitykseen ja -tutkimukseen. Siellä on useita korkeakouluja ja valmistajia, jotka tekevät tärkeää kehitystyötä. Meillä on täällä Suomessakin loistava mahdollisuus päästä kehitykseen mukaan jo olemassa olevilla resursseilla esim. Tampereella sijaitseva Tevo-Lokomon valimo, joka valmistaa jo nyt sukelluspalloja ja jossa palloja tehtiin jo 1980-luvulla. Nyt pitäisi tilanteesta ottaa koppia ja sukeltaa kehitykseen mukaan. Tietoa ja vinkkejä tuntui internet olevan pullollaan. Halukkaat voisivat varmasti tehdä ihmeitä. Pohdinnassa esitän näkemyksiä siitä, miten näitä hyvin mielenkiintoisia laitteita voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa.

Maailma on muutoksen edessä. Ilmastonmuutos aiheuttaa napajäätiköiden sulamista, kuivuutta, rankkasateita ja äärimmäisiä luonnonilmiöitä. Väestön liikakasvu luo paineita innovoida uusia tapoja tuottaa ravintoa jatkuvasti kasvavaan tarpeeseen. Merten syvyyksissä on valtava potentiaali ja mahdollisuudet erilaisiin hyötykäyttöihin. Vesiviljely on kasvava tuotantoala, jolla halutaan tätä kasvavaa ravinnontarvetta täyttää. Luonnon oma kalantuotanto ei enää tahdo riittää ja siihen varaudutaan perustamalla

kalankasvattamoja. Hyvänä lisänä tähän on kehitetty myös erilaisten levien kasvatus. Tässä voitaisiin tulevaisuudessa ottaa käyttöön AUV:t, jotka kartoittaisivat otolliset kasvatusalueet ja olosuhteet. Niitä voitaisiin myös valjastaa merilevän keräämiseen ja kuljettamiseen rannikolle, josta levä olisi helpommin otettavissa talteen. Sen lisäksi, että merilevä on hyvin proteiini-, C-vitamiini- ja kalsiumpitoinen, se parantaa vedenlaatua absorboimalla typpeä, fosforia ja hiilidioksidia. (Gertz 2017.)

Vesien lämpeneminen on antanut Aasian valtamerien leijonakalalle mahdollisuuden levitä alkuperäisiltä asuinalueiltaan Atlantiin ja Välimereen. Kalalaji lisääntyy uhkaavasti tuottamalla n. 2 milj. mätimunaa vuodessa eikä sillä ole luonnollista vihollista. Myrkkypiikkien suoman turvan avulla ne myös syövät monia eri kalalajeja ja äyriäisiä. Leijonakalan leviäminen aiheuttaa kansainvälisen luonnonsuojeluliiton UICN:n (International Union for the Conservation of Nature) mukaan ekologisia, terveydellisiä ja taloudellisia vaaroja. Robots in Service of the Environment (RSE) on kehittänyt Guardian LF1 -nimisen vedenalaisen robotin (ROV), joka pyydystää leijonakaloja tainnuttamalla ja keräämällä ne säiliöön, jonka täytyttyä se nousee pintaan tyhjennystä varten. (Rees 2017; Wallius 2016.) Tästä herääkin kysymys olisiko mahdollista kehittää AUV, joka itsenäisesti tunnistaisi leijonakalan, tainnuttaisi petokalan, jolloin kala nousisi pintaan, jossa autonomisesti toimiva kalastusalus suorittaisi keräyksen? Näin robotin ei tarvitsisi nousta välillä pintaan ja käyttää akkukapasiteettiaan nousuihin ja laskuihin. Autonomisten laivojen tehdessä tuloaan tämä ei liene mikään mahdottomuus. Toki tästä herää kysymys, miten pinnalla oleva pyydystysalus tietää mihin kohtaan merivirta leijonakalan ajaa.

Pirkanmaan Ely-keskus on pyytännyt ilmoittamaan sammaleläinhavainnoista Suomen vieraslajiportaaliin. Nämä kyseiset sammaleläimet tukkivat putkenpäitä aiheuttaen haittaa esimerkiksi jätevedenpuhdistamoille. Lisäksi ne toimivat lohikalojen loisien isäntinä aiheuttaen lohille maksasairauksia. (Pajula 2018.) Entäpä jos AUV:t valjastettaisiin hyytelömäisten sammaleläinten havaitsemiseen ja tuhoamiseen? Ne voisi ohjelmoida tunnistamaan sammaleläin ja mikäli AUV:lle saadaan kehitettyä sopiva tarttuja se voisi tuoda ne pinnalle, josta ne voidaan siirtää kuivalle maalle kuivumaan. Tarttuja ei ehkä välttämättä tarvitsisi kestää vastaavia olosuhteita kuin merissä, sillä nämä vieraseläimet asustelevat makeissa vesissä, joissa ei ole aivan samankaltaisia olosuhteita.

Kokonaisuudessaan vieraslajit eri merialueilla alkavat olla haitallinen ilmiö ja se huolestuttaa monia kuten esim. merikeskuksen johtavaa tutkijaa Maiju Lehtiniemeä Suomen ympäristökeskuksesta. Tällä hetkellä Olkiluodon ydinvoimalaitoksen tulo- ja purkuvesiputkien lähistölle on pesiytynyt mm. liejutaskurapu, valesinisimpukka ja kaspianpolyyyppi ja uusimpana tulokkaana mustatäplätokko. Lehtiniemi aikoo vaatia muutosta siihen, etteivät vieraslajien seurantaan keskittyneet tutkijat pysty toimimaan voimalaitoksen alueella ydinturvalainsäädännön vuoksi. (Jokinen 2017.) Voisiko tässäkin asiassa olla apuna AUV, joka kuvaa teollisuusalueiden vesiympäristöjä ja tekoäly ohjelmoitaisiin analysoimaan saatua dataa? Silloin ei olisi tarvetta vaarantaa ihmisiä ja nämä väärin paikkoihin eksyneet vieraslajit saataisiin kuriin.

Mietin myös olisiko mahdollista tehdä vedenalaisista autonomisesta roboteista vastaavanlainen tutkimus kuin AAWA-projektissa (Advanced Autonomous Waterborne Applications). Tekes rahoitti vuosina 2015-2017 hankkeen, jossa mukana oli Turun yliopiston tutkijoita. Projektissa tutkittiin autonomiaan liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia monista eri näkökulmista. Yrityskumppaneina olivat Rolls-Royce, DNV GL, NAPA, Deltamarin ja Inmarsat. Tutkimuskumppaneita puolestaan olivat Turun yliopisto, Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Åbo Akademi sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 6,5 milj. euroa. (AAWA n.d.; Merenkulku automatisoituu – Turun...2016.)

Maailmalla tapahtuu ja kuohuu. Autonomia tekee tuloaan maalla, merellä ja ilmassa. Eri puolilla maapalloa järjestetään tapahtumia, kuten esimerkiksi Robonation, robotics company, joissa halutaan kehittää autonomisia sukeltavia robotteja. Se on voittoa tavoittelematon organisaatio, joka järjestää Robosub-nimisen kilpailun, jonka sponsoroijina ovat mm. Autodesk, AUVSI, BlueRobotics, Fisher connectors, General Atomics, MathWorks, Siemens ja NVIDIA. Kilpailussa lukioiden ja korkeakoulujen opiskelijat ympäri maailmaa voivat esitellä suunnittelemaansa ja rakentamiaan AUV:eita. Vuonna 2019 kilpailu pidetään San Diegossa, Kaliforniassa. Voittavat korkeakoulut saavat muutamien tuhansien dollarien palkinnot. (Robosub 2018.) Uskoisin, että nämä erilaiset kilpailut maailmalla ovat omiaan lisäämään mielenkiintoa innovoida erilaisia uusia AUV:eita. AUV:eita joiden ei tarvitse olla riippuvaisia historiasta tai muista rajoitteista. Ehkä jonain päivänä joku kehittää tekoälyllä toimivan AUV:n, joka on 3D-

tulostettu pehmeästä joustavasta materiaalista ja joka muistuttaa meduusaa kuten Festo on tehnyt.

Myös IEEE Oceanic Engineering Society (IEEE EOS) järjestää, joka toinen vuosi konferenssin, jossa kaikki alalla töitä tekevät voivat kokoontua. Tänä vuonna konferenssi järjestetään Portossa, Portugalissa (2018 IEEE OES... 2018). Kaikki tämä viittaa vahvasti siihen, että AUV:t ovat vahvasti kehittymässä ja suuressa murroksessa. Mitä enemmän vastaavia tapahtumia järjestetään, sitä paremmin ihmiset saavat tietoa autonomisesti sukeltavista roboteista ja niiden eri käyttömahdollisuudet laajenevat. Materiaaleista tulee moninaisempia ja osien halventuessa niiden valmistus tulee edullisemmaksi, mikä omalta osaltaan tulee lisäämään AUV:eiden käyttöä.

Marseillen World Trade Centerissä pidettiin Subsea Connect EMEA 2018, (10.6.-11.7.2018). Viime vuonna tapahtuma keräsi 248 osallistujaa 100 eri yrityksestä, 31 maasta. Tapahtumassa pohdittiin uusia mahdollisuuksia ja haasteita koko ekosysteemin kannalta. Subsea Connect antaa mahdollisuuden strategiseen ja tekniseen analyysiin ja tapaustutkimuksiin. (Subsea Connect EMEA... 2018.) Koska merenalainen kaapelointi ja internet-yhteydet ovat kasvavassa määrin yhä tarpeellisempia, tarvitsevat ne myös yhä enemmän valvontaa ja ylläpitoa, johon jälleen kerran voidaan hyödyntää AUV:ta. Mikäli Kawasakin suorittama kokeilu marraskuussa 2018 ”kädellisellä” AUV:lla onnistuu, uskon sen olevan merkittävä virstanpylväs matkalla kohti autonomisten vedenalaisten robottien vallankumousta.

Luin myös One Sea Autonomous Ecosystem -projektista, jossa haetaan yhteistyökumppaneita tutkimustyöhön kehittämään uutta teollisuusstandardia merenkulkuun, jotta vuoteen 2025 mennessä olisi kehitetty itsenäisesti toimivien alusten ekosysteemi. Projektissa ovat mukana jo mm. Wärtsilä, ABB Rolls-Royce sekä Turun Meyer. Yhteishenkilöinä projektissa toimivat Päivi Haikkola sekä Jukka Merenluoto. (One Sea www-sivut 2017.) Voisivatko Satakunnan automaatio- ja robocoast osallistua hankkeeseen? Kenties yhdistäen AUV:t kyseiseen autonomiahankkeeseen?

Lääkejäämät ja mikromuovit ovat todellinen uhka maailman ekosysteemille ja niiden vesistöihin pääsyn estäminen on hankalaa, ellei jopa mahdotonta tämänhetkisellä teknologialla ja tietämyksellä. Olisiko mahdotonta ajatella, että joku innostuisi hakemaan

EU:n (Euroopan Unionin) Horizon hankkeesta rahoitusta ja alkaisi määrätietoisen tutkimustyön, jonka tavoitteena olisi näiden haittojen tunnistaminen ja systemaattinen poisto? Kunhan olisi saatu tuo monessa mielessä elintärkeä vedenpuhdistustoiminto paremmalle tolalle, voisi AUV toimia toteuttajana, joka havaitsisi haitta-aineet ja ”saa-listaisi” ne erilliseen säiliöön, jota se voisi kuljettaa mukanaan. Säiliön täytyttyä se kävisi suorittamassa vaihdon uuteen säiliöön jollain ennalta määrättyllä alueella.

Vähän samaan ajatukseen pohjautuu myös ideani fosforin keräämiseen vesistöistä. Fosforin pääseminen vesistöihin aiheuttaa niiden rehevöitymistä, joka puolestaan johtaa sameuteen, happikatoon, erilaisiin muutoksiin ym. haitallisiin tapahtumiin vesistöissä. Kiteyttämällä tai saostamalla saataisiin fosfori painumaan veden pohjaan, josta oikeanlaisella imurilla ja tunnistusjärjestelmällä varustettu AUV voisi imeä fosforin pois auttaen näin vesistöjä tervehtymään.

Lueskellessani tämän vuoden Tiede-lehteä nro. 4 törmäsin mielenkiintoiseen asiaan: avaruusasema ISS sai käyttöönsä pallonmuotoisen robotin nimeltä CIMON (Crew Interactive Mobile Companion). Robotti puhuu, näkee ja ymmärtää, koska siinä on IBM:n tekoälytekniikka. Voisiko vastaavaa ideaa toteuttaa merten syvyyksissä? AUV:ta ”avustaisi” oma pieni seuralainen, joka vastaanottaisi tiedot ja kuljettaisi ne pinnalle, jossa esim. lentävä UAV (Unmanned Aerial Vehicle) vastaanottaisi datan ja toimittaisi eteenpäin esim. tutkimusalukseen tai -laitokseen. AUV saisi näin mahdollisuuden jatkaa omaa tutkimustyötään meren pohjassa ilman pinnalle nousun aiheuttamaa keskeytystä. Tällä avustavalla sukelluspallolla voisi myös olla käyttöä siten, että sillä olisi vaikka pieni avautuva ”luukku”, johon AUV voisi laittaa pieniä näytteitä merestä löytyneistä organismeista. Tämä idea lähti siitä, että luin tiedemiesten uskovan näiden merenantimien olevan apu monien lääketieteellisten ongelmien kanssa. Varsinkin neurotiedemiehet ovat kiinnostuneita bioluminesenssin käytöstä ihmisen aivojen tutkimisen yhteydessä, mutta heillä ei ole tarvittavia välineitä tai mahdollisuutta päästä tutkimaan merten eliöitä alkuperäisessä ympäristössä. Vihreän *Aequorea victoria* -meduusasta saatavan fluoresentin proteiinin avulla on voitu seurata hermosolujen kehitystä aivoissa. Nämä ja monet muut proteiinit vain ovat kovin syvällä merten syvyyksissä, sanoo Vincent Pieribone, YALEn yliopiston lääketieteen professori. Ongelmana on robotin heikko näkökyky. (Greenemeier 2014.) Niiden syvänmeren näkökykyyn ei ole vielä panostettu parhailla mahdollisilla konenäköjärjestelmillä. Tampereen Tevo-

Lokomollahan on jo valmiiksi osaamista sukelluspallon tekemisestä (Manninen 2017), joten ehkä heidän sukelluspallostaan voitaisiin kehittää AUV:n ”pikku apulainen”?

Leijuvaa AUV:a voisi kehittää tutkimaan satamien vedenalaisten laiturirakenteiden ja reunamuurien kuntoa. AUV voisi etsiä poikkeamat ja ottaa niistä valokuvat, jotka voidaan myöhemmin tietokoneanalysoida. Työministeriön päätös vuodelta 1996 vaatii, että tarkastussukellukseen ja valvontaan alle 30 m syvyydessä vaaditaan kevytsukeltajan tutkinto. Mikäli tarkastus tapahtuu yli 30 m syvyydessä tulee sukeltajalla olla ammattitutkinto. Lisäksi toimintaan tarvitaan vielä sukellusavustajia. (RIL 236- 2006 Satamalaitureiden kunnonhallinta 2006.) Näitä työvaiheita voitaisiin karsia käyttämällä AUV:a ja samalla se voisi tutkia satamassa olevien laivojen runkoja.

Samaan tapaan voitaisiin tutkia myös vedenalaisia siltarakenteita. Suomessa on 630 huonossa kunnossa olevaa siltaa ja kun tähän lisätään vielä 76 000 kilon painoiset rekat, voidaan vain kuvitella mitä tuleman pitää. Nykyisin rakenteet tarkastetaan vain, mikäli vedenpinnan päällisissä osissa näkyy vauriota tai rakenteisiin on kohdistunut erityistä rasitusta. (Pietarinen & al. 2018; Söderqvist 2017.) AUV:a käyttämällä tarkistuksia voitaisiin tehdä pienemmillä resursseilla ja nopeammin. AUV voisi kaiku-luodata siltojen rakenteita ja toimittaa keräämänsä datan analysoitavaksi, jolloin mahdollisesti analysoinnin tuloksena löytyvien vikojen perusteella voitaisiin korjausrakentaminen aloittaa ensi tilassa. AUV voisi samalla myös valvoa satamien turvallisuutta ja raportoida havaitsemistaan tapahtumista valvontayksikköön.

Entäpä sodanaikaisten räjähteiden, kuten miinojen tai kranaattien jäämät Itämeressä? Itämeren syvyyksissä on arvioitu olevan n. 1.6 milj. tonnia taisteluvälineitä ja 220 000 tonnia kemiallisia aseita. Saksassa asiaan on jo herätty ja Fraunhofer-instituutin tutkijat sekä alan erikoisyrietykset ovat rakentaneet laitteen, joka purkaa räjähteet veden alla ja toimittaa ne vaarattomina pinnalle. (Junttila 2018.) Voisiko Suomella, tarkemmin sanoen Satakunnalla olla mahdollisuus kehittää omat autonomiaa käyttävät sukellusrobotit, jotka toimisivat Suomen aluevesillä ja mahdollisesti sisävesilläkin?

LÄHTEET

AAWA. n.d. Viitattu 15.8.2018. <https://www.utu.fi/en/units/tse/units/marketing/research/research%20projects/Pages/AAWA.aspx>

About AUVs. 2004-2007. Viitattu 2.7.2018. <http://www.iurs.org/aboutauv.html>

About JAMSTEC n.d. Viitattu 3.8.2018. <http://www.jamstec.go.jp/e/about/>

About us. 2014. Viitattu 9.8.2018. <https://web.archive.org/web/20150511002558/http://www.auvsifoundation.org:80/aboutus>

About us. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://ise.bc.ca/our-company/about-us/>

Anodisointi. 2017. Viitattu 30.8.2018. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Anodisointi>

AquaJelly. n.d. Viitattu 30.8.2018. http://auvac.org/uploads/configuration_spec_sheets/Festo_AquaJelly_en.pdf

ASV/AUV Survey System on Trials in Loch Ness. 2018. Viitattu 5.7.2018. <https://subseaworldnews.com/2018/05/17/asv-auv-survey-system-on-trials-in-loch-ness/>

Atlas Elektronik www-sivut, n.d. Viitattu 3.8.2018. <https://www.atlas-elektronik.com/>

Autonomous underwater vehicles. 2018. Viitattu 2.8.2018 <https://www.aims.gov.au/advanced-observation-technologies/autonomous-underwater-vehicles>

Autonomous underwater vehicles. 2017. Viitattu 6.8.2018. <https://www.mbari.org/at-sea/vehicles/autonomous-underwater-vehicles/>

Autonomous underwater vehicle. 2018. Viitattu 15.6.2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle

Autonomous underwater Vehicles. n.d. Viitattu 3.8.2018. http://www.flinders.edu.au/science_engineering/csem/research/programs/auv.cfm

Autonomous Underwater Vehicle explores underwater volcanic eruption. 2018. Viitattu 14.8.2018. https://safety4sea.com/autonomous-underwater-vehicles-explores-underwater-volcanic-eruption/?utm_source=ReviveOldPost&utm_medium=social&utm_campaign=ReviveOldPost

Autonomous underwater vehicles n.d. Viitattu 2.8.2018. <http://www.teledynemarine.com/autonomous-underwater-vehicles-auvs/>

Autonomous Underwater Vehicle Market to Reach \$835.0M by 2022. 2018. Viitattu 2.8.2018. [https://www.bccresearch.com/pressroom/ias/autonomous-underwater-vehicle-market-to-reach-\\$8350m-by-2022](https://www.bccresearch.com/pressroom/ias/autonomous-underwater-vehicle-market-to-reach-$8350m-by-2022)

- Autonomous Systems Lab. 2018. Viitattu 9.8.2018. <http://www.asl.ethz.ch/>
- AUV Community News. 2018. Viitattu 3.8.2018. <http://auvac.org/>
- AUV System Spec Sheet. ARCS configuration. 2018. Viitattu 12.6.2018. http://auvac.org/configurations/view/57?from_search=1
- AUVAC www-sivut. 2018. Viitattu 10.8.2018. <http://auvac.org/platforms/view/250>
- A.U.V.INO n.d. Viitattu 16.8.2018. <https://www.seastick.net/copia-di-sealink-r-o-v>
- Bazzolo. G. 2017. Game of Drones: Underwater bionic Manta Ray. Viitattu 13.8.2018. <https://www.bebee.com/producer/@www-qudron-com/game-of-drones-underwater-bionic-manta-ray>
- Bluefin SandShark Autonomous Underwater Vehicle. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://gdmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-sandshark-autonomous-underwater-vehicle>
- Bluefin-21 Autonomous Underwater Vehicle (AUV). 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://gdmissionsystems.com/products/underwater-vehicles/bluefin-21-autonomous-underwater-vehicle>
- BOSS Project- Manta Ray AUV with Fin Ray Effect. n.d. Viitattu 13.8.2018. <https://www.evologics.de/en/products/Research-and-Development-Projects/Glider/index.html>
- Boston Engineering www-sivut. 2018. Viitattu 10.8.2018. https://www.boston-engineering.com/?option=com_content&view=article&id=490&Itemid=91
- Braga M. 2014. Designing Underwater Robots for Deeper Dives. Viitattu 29.5.2018. <https://www.tested.com/science/464265-designing-underwater-robots-deeper-dives/>
- Burrows. L. New RoboBee flies, dives, swims, and explodes out of the water. Viitattu 13.8.2018. <https://wyss.harvard.edu/new-robobee-flies-dives-swims-and-explodes-out-the-of-water/>
- Carroll J. 2018. Vision-guided autonomous underwater vehicle discovers holy grail of shipwrecks. Viitattu 14.8.2018. <https://www.vision-systems.com/articles/2018/06/vision-guided-autonomous-underwater-vehicle-discovers-holy-grail-of-shipwrecks.html>
- Challenger expedition. 2018. Viitattu 1.6.2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Challenger_expedition
- Centro e. Piaggio www-sivut. Viitattu 3.8.2018. Centro e. Piaggio www-sivut. Viitattu 3.8.2018. <http://www.centropiaggio.unipi.it/>

Chiles. J. The Inhuman history of ROV's: Part 2. 2014. Viitattu 1.6.2018. <http://disaster-wise.blogspot.com/2014/04/the-inhuman-history-of-rovs-part-2.html>

China's 4,500-meter Submersible Shows New Deep-sea Power. 2018. Viitattu 14.8.2018. http://english.cas.cn/newsroom/news/201803/t20180306_190493.shtml

Chua A. 2017. Autonomous underwater vehicles: strengths and limitations. Viitattu 2.7.2018. <http://www.adozenautomobilesandkites.com/auvs-strengths-and-limitations.html>

Dasgupta S. 2017. What is Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV)? Viitattu 14.6.2018. <https://www.marineinsight.com/tech/what-is-remotely-operated-underwater-vehicle-rov/>

Designing Cutting-Edge Technology. 2018. Viitattu 3.8.2018. <http://www.widener.edu/feature-story/2018/robotics.aspx>

Dodge A. 2017. Robots in the World: Underwater Bots Advancing Marine Research. Ozobot.blog. Viitattu 29.5.2018 ja 13.8.2018. <https://blog.ozobot.com/2017/12/19/robots-in-the-world-underwater-bots-advancing-marine-research/>

ECA Group www-sivut. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://www.ecagroup.com/>

Eckhoff. R. B. 2018. NAVOCEANO Forges Ahead, Surpassing Unmanned Systems Milestone. Viitattu 3.8.2018. <http://www.navy.mil/submit/display.asp?sto>

Electron-beam additive manufacturing. 2018. Viitattu 17.8.2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Electron-beam_additive_manufacturing

Exclusive content on unmanned naval systems. 2012-2017. Viitattu 12.6.2018. <http://www.navaldrone.com/SPURV.html>

Explorer AUV. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://ise.bc.ca/product/explorer/>

FEFU www-sivut. 2018. Viitattu 9.8.2018. <https://www.dvfu.ru/en/about/mission-statement/>

Fernandes P. G., Stevenson P. & Brierley A. S. 2002. AUVs as research vessels: the pros and cons. Viitattu 3.7.2018. https://www.researchgate.net/publication/267711308_AUVs_as_research_vessels_the_pros_and_cons

Fernandes P. G., Stevenson P., Brierley A. S., Armstrong F. & Simmonds E. J. 2003. Autonomous underwater vehicles: future platforms for fisheries acoustics. ICES Journal of Marine Science, Volume 60, Issue 3. Viitattu 29.5.2018 ja 15.6.2018. [https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(03\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00038-9)

First Swedish autonomous underwater vehicle for research. 2017. Viitattu 2.8.2018. <https://www.chalmers.se/en/departments/see/news/Pages/First-Swedish-autonomous-underwater-vehicle-for-research.aspx>

Fraunhofer IOSB www-sivut. 2018. Viitattu 9.8.2018. <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/15004/>

Gabri S. R. L. n.d. Viitattu 16.8.2018. <https://www.seastick.net/>

Gafurov S. A. & Klochkov E. V. 2015. Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. Procedia Engineering. Volume 106, 142. Viitattu 12.6.2018. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.017>

General Information. 2018. Viitattu 15.6.2018. <http://auvac.org/tools-resources/general-information>

Gertz, 2017. Vertical ocean farms that can feed us and help our oceans. Viitattu 24.8.2018. <https://ideas.ted.com/vertical-ocean-farms-that-can-feed-us-and-help-our-seas/>

Google.com www-sivut, n.d. Viitattu 3.8.2018. https://www.google.com/search?q=eelume&safe=active&client=firefox-b&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwix06bolpTdAhUE_SoKHS-IBCDkQ_AUICigB&biw=1279&bih=625#imgrc=oCeCVctgYZOJgM

Great opportunities for marine research with new underwater vehicle. 2017. Viitattu 2.8.2018. <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/06/170620094545.htm>

Greenemeier L. 2014. Iron Man-like exosuit could expand ocean exploration. Viitattu 13.8.2018. <https://www.nature.com/news/iron-man-like-exosuit-could-expand-ocean-exploration-1.14822>

Griffiths G. 2002. Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles. London. Taylor & Francis 2003. Viitattu 25.6.2018 ja 27.6.2018. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/detail.action?docID=178702#>

Gyroskooppi. 2016. Viitattu 29.8.2018. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Gyroskooppi>

Hallitusohjelman toteutus ja kärkihankkeet. 2018. Viitattu 19.6.2018. <https://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus>

Hambling D. 2018. Giant Robots Are the Future of Underwater Mining. Viitattu 9.8.2018. <https://www.popularmechanics.com/technology/robots/a16674275/underwater-robot-mining-nautilus-solwara-1-papua-new-guinea/>

Harvard University www-sivut. Viitattu 3.8.2018. <https://www.harvard.edu/>

How much of the ocean have we explored? 2018. Viitattu 29.5.2018. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/exploration.html>

Hyakudome T. 2017. Design of Autonomous Underwater Vehicle. Viitattu 25.6.2018. <https://doi.org/10.5772/10536>

Hyvinvointia Suomelle. 2018. Viitattu 1.9.2018. <https://teknologiateollisuus.fi/fi/hyvinvointia-suomelle>

Inertial navigation system. 2018. Viitattu 29.6.2018 https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_navigation_system

ISME www-sivut. Viitattu 3.8.2018. http://www.isme.unige.it/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=59

Isotropia. 2013. Viitattu 29.8.2018. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Isotropia>

Japan to test world's first autonomous underwater vehicle on Scotland. 2018. Viitattu 13.8.2018. <https://www.the-eic.com/News/NewsStory/Japan-to-test-world%E2%80%99s-first-autonomous-underwater-vehicle-in-Scotland.aspx?ArticleID=4573&tabid=766>

Jayaraman R. 2017. Beyond IoT: Internet of Underwater Things to Network the Oceans. Viitattu 29.6.2018. <https://prescouter.com/2017/06/internet-of-underwater-things/>

Jokinen J. 2017. Lauhdevedet ovat vierasvesien mieleen – Olkiluodosta löytyvät Itämeren pohjoisimmat liejutaskuravut. Viitattu 30.8.2018. <http://ls24.fi/uutiset/lauhdevedet-ovat-vieraslajien-mieleen-olkiluodosta-loytyvat-itameren-pohjoisimmat-liejutaskuravut>

Kasprzak. S. 2017. Sciaky 3D Prints Tank Used in ISE's Arctic Explorer Autonomous Underwater Vehicle. Viitattu 17.8.2018. <https://www.ecnmag.com/news/2017/01/sciaky-3d-prints-tank-used-ises-arctic-explorer-autonomous-underwater-vehicle>

Kawasaki Tests Its New AUV in the Underwater Centre. 2018. Viitattu 9.8.2018. <https://subseaworldnews.com/2018/07/05/kawasaki-tests-its-new-auv-in-the-underwater-centre/>

Knifefish Unmanned Undersea Vehicle. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://gdmissionsystems.com/underwater-vehicles/knifefish-unmanned-undersea-vehicle>

KONGSBERG has entered into agreement to acquire Rolls-Royce Commercial Marine. 2018. Viitattu 9.8.2018. <https://kongsberg.com/en/kog/news/2018/july/kongsberg%20has%20entered%20into%20agreement%20to%20acquire%20rolls-royce%20commercial%20marine/>

Light Autonomous Underwater Vehicle. n.d. Viitattu 3.8.2018. <http://www.oceanscan-mst.com/>

Liquid Robotics. 2018. Viitattu 10.8.2018. <http://auvac.org/people-organizations/view/521>

Lockheed Martin www-sivut. 2018. Viitattu 15.8.2018. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/index.html>

Luotola J. 2015. Kelluva metalli tekee laivoista uppoamattomia. Viitattu 25.6.2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metalli/2015-05-15/Kelluva-metalli-tekee-laivoista-uppoamattomia-3260628.html>

Manninen J. Suomessa aletaan valmistaa sukellupalloja – viimeisin yritys aiheutti suurvaltaselkkauksen. Viitattu 27.8.2018. <https://www.satakunnankansa.fi/kotimaa/suomessa-aletaan-valmistaa-sukellupalloja-viimeisin-yritys-aiheutti-suurvaltaselkkauksen-200406737/>

Merenkulku automatisoituu – Turun yliopiston tutkimus vauhdittaa globaalia murrosta. 2016. Viitattu 13.8.2018. <https://www.utu.fi/fi/Ajankohtaista/Uutiset/Sivut/Digitalisaatio-mahdollistaa-autonomisten-ja-etaohjattujen-laivojen-kehittamisen-.aspx>

Merivedellä toimiva akku. 2017. Viitattu 27.6.2018. <https://www.uusiteknologia.fi/2017/06/29/merivedella-toimiva-akku/>

Mills. R. 2017. Eelume: The Next Evolution in Underwater Robotics. Viitattu 1.6.2018. <https://aogexpo.com.au/wp-content/uploads/2017/03/MILLS-Richard-Introducing-Eelume-A-resident-swimming-robot-for-IMR.pdf>

Moline. M. A., Blackwell S. M., von Alt C., Allen B., Austin T., Case J., Forrester N., Goldsborough R., Purcell M. & Stokey R. 2005. Remote Environmental Monitoring Units: An Autonomous Vehicle for Characterizing Coastal Environments. Journal of atmospheric and oceanic technology. Viitattu 12.6.2018. <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JTECH1809.1>

NEREUS (underwater vehicle). 2018. Viitattu 29.5.2018. [https://en.wikipedia.org/wiki/Nereus_\(underwater_vehicle\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Nereus_(underwater_vehicle))

New Details on Discovery of San Jose Shipwreck. 2018. Viitattu 12.6.2018 ja 14.8.2018. <http://www.whoi.edu/news-release/new-details-on-discovery-of-the-san-jose-shipwreck>

New to subsea navigation? n.d. Viitattu 29.6.2018. <https://www.nortekgroup.com/insight/nortek-wiki/new-to-subsea-navigation>

NOC www-sivut. 2018. Viitattu 9.8.2018. <https://www.noc.ac.uk/>

Noste. n.d. Viitattu 27.6.2018. <https://peda.net/valkeakoski/opetuspalvelut/pk/tyry/opiaineet/ma/fysiikka/fy-sir%C3%A9n/efysiikka-82/25-noste>

Nyrkov A. P., Zhilenko A. A., Korotkov V. V., Sokolov S. S., & Chernyi S. G. 2016. Development of underwater robotics. Journal of Physics: Conference Series, 1-2. Viitattu 12.6.2018. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/803/1/012108/pdf>

OceanServer www-sivut. 2018. Viitattu 2.8.2018. <https://ocean-server.com/about-us/>

One Sea www-sivut. 2017. Viitattu 27.8.2018. <https://www.oneseaecosystem.net/contact/>

Our corporate story. n.d. Viitattu 3.8.2018. <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0237.nsf/AllWeb/3C5E1CF4700CDA8CC12579A000476522?OpenDocument>

Our Vision. 2018. Viitattu 6.8.2018. <https://schmidtocean.org/about/>

Pajula K. 2018. Hyytelöpallerot tukkivat putkia, kiusaavat kalastajia ja leviävät kuin rutto – ely-keskus ohjeistaa: ”Ilmoita havainto ja tuhoa eliö”. Viitattu 24.8.2018. <https://www.satakunnankansa.fi/kotimaa/hyytelopallerot-tukkivat-putkia-kiusaavat-kalastajia-ja-leviavat-kuin-rutto-ely-keskus-ohjeistaa-ilmoita-havainto-ja-tuhoa-eli-201123643/>

Phoenix international www-sivut. 2016. Viitattu 9.8.2018. <http://www.phnx-international.com/phnx/>

Pietarinen E., Kanerva J., Parviala A. 2018. Suomessa on 630 huonokuntoista siltaa- Katso Ylen siltakoneesta, kuinka moni niistä osuu sinun reiteillesi. Viitattu 27.8.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-10361316>

Polttokennot ja vety. 2015. Viitattu 27.6.2018. <https://www.vtt.fi/palvelut/liiketoiminnan-kehitt%C3%A4minen/pilot-laitokset-ja-t-k-infrastruktuuri/kone-ja-kuljetusv%C3%A4lineiden-tutkimusymp%C3%A4rist%C3%B6t/polttokenno-ja-vetyteknologioiden-kehitys>

Power Supply for UUV/AUV Recharge Station. 2018. Viitattu 27.6.2018. <http://wind-carrier.com/boltwavepower/power-applications/power-supply-uuvauv-recharge-station/>

Rantanen J. 2018. Rolls-Roycen potkuribisnes myydään Kongsbergille. Viitattu 9.8.2018. <https://ls24.fi/uutiset/rolls-roycen-potkuribisnes-myydaan-kongsbergille>

Rantanen K. 2016. Robotti sukeltaa mereen. Tiede 2, 40-45.

Rantanen, K. 2018. Nyt etsitään sinistä kultaa. Tiede 7, 38-43.

Rasmussen H. D. 2017. Kalamiehen oma sukellusrobotti paikantaa saaliin. Viitattu 31.8.2018. <https://kotimikro.fi/yhteiskunta/uusi-tekniikka/kalamiehen-oma-sukellus-robotti-paikantaa-saaliin>

Raunekk. 2010. Autonomous Underwater Vehicle – A Deep Sea Robot. Viitattu 15.6.2018. <https://www.brighthubengineering.com/naval-architecture/69930-autonomous-underwater-vehicle-a-deep-sea-robot/>

Rees M. 2017. New Unmanned Undersea Robot Hunts Invasive Lionfish. Viitattu 24.8.2018. <http://www.unmannedsystemstechnology.com/2017/04/new-unmanned-undersea-robot-hunts-invasive-lionfish/>

Reisewitz A. 2017. Swarm of Underwater Robots Mimics Ocean Life. Viitattu 13.8.2018. https://ucsdnews.ucsd.edu/pressrelease/swarm_of_underwater_robots_mimics_ocean_life

Remotely operated underwater vehicle. 2018. Viitattu 14.6.2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle

REMUS. 2018. Viitattu 12.6.2018. <http://www.whoi.edu/main/remus>
Report: AUV Market Reaches \$ 671M in 2017. 2018. Viitattu 5.7.2018. <https://subseaworldnews.com/2018/02/14/report-auv-market-reaches-671m-in-2017/>

Research project: Development of a Hover Capable Autonomous Underwater Vehicle. n.d. Viitattu 2.8.2018. https://www.southampton.ac.uk/engineering/research/projects/development_of_a_hover_capable_autonomous_underwater_vehicle.page#project_overview

RIL 236-2006 Satamalaitureiden kunnonhallinta. Viitattu 27.8.2018. <http://www.ril.fi/kirjakauppa/ohjeet-ja-normit/ril-236-2006-satamalaitureiden-kunnonhallinta-p-8.html>

Robosub. 2018. Viitattu 13.8.2018. <https://www.robonation.org/competition/robosub>

ROV www-sivut. n.d. Viitattu 12.6.2018. <http://www.rov.org/index.cfm>

”ROV” stands for remotely operated vehicle; ROVs are unoccupied, highly maneuverable underwater robots operated by someone at the surface. 2018. Viitattu 14.6.2018. <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/rov.html>

SAAB Group www-sivut. n.d. Viitattu 3.8.2018. <https://saabgroup.com/>

Satakunnan teollisuuden investoinnit miljardiluokkaa. 2017. Viitattu 31.5.2018. <https://ls24.fi/uutiset/satakunnan-teollisuuden-investoinnit-miljardiluokkaa>

Schmitt M. N. & Goddard D. S. 2016. International law and the military use of unmanned maritime systems. Viitattu 3.7.2018. <https://www.icrc.org/en/international-review/article/international-law-and-military-use-unmanned-maritime-systems>

Scientists Deploy AUVs for Record-Breaking Research. 2018. Viitattu 5.7.2018. <https://subseaworldnews.com/2018/04/12/scientists-deploy-auvs-for-record-breaking-research/>

SeaCat, One AUV – Many Tasks. n.d. Viitattu 3.8.2018. <https://www.atlas-elektronik.com/solutions/unmanned-naval-systems/seacatr.html>

Seaglider. 2014. Viitattu 19.6.2018.
[https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/3DB608B825D76BFBC1257B9F00392305/\\$file/Seaglider_product_specification.pdf](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/3DB608B825D76BFBC1257B9F00392305/$file/Seaglider_product_specification.pdf)

Seaglider. n.d. Viitattu 19.6.2018.
<http://www.apl.washington.edu/project/project.php?id=seaglider>,

<https://web.archive.org/web/20051028165153/http://www.apl.washington.edu/projects/seaglider/summary.html>

Searaptor AUV. n.d. Viitattu 2.8.2018. <http://www.teledynemarine.com/searaptor-auv?ProductLineID=15>

Seaproject project. n.d. Viitattu 16.8.2018. <https://www.seastick.net/gabri-s-r-l->

Seastick 300 AUV. n.d. Viitattu 16.8.2018. <https://www.seastick.net/seastick-300>

Seastick 1000 AUV. n.d. Viitattu 16.8.2018. <https://www.seastick.net/copia-di-seastick-300>

Seto. M. L. 2012. Marine Robot Autonomy. New York. Springer 2013. Viitattu 2.7.2018. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/detail.action?docID=1081972>

Shepherd K. 2001. Remotely Operated Vehicles (ROVs). Viitattu 14.6.2018. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00302-7>

Siirilä. M. 2018. Sukellusrobotti menee sinne, mihin ihminen ei pääse – vedellä täyttyneistä kaivoksista etsitään arvomineraaleja. Viitattu 17.8.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-10256058>

Slocum G3 glider. n.d. Viitattu 2.8.2018. <http://www.teledynemarine.com/slocum-glider?ProductLineID=14>

SPURV. 2018. Viitattu 12.6.2018. <https://en.wikipedia.org/wiki/SPURV>

Stanford University www-sivut. n.d. Viitattu 9.8.2018. <https://engineering.stanford.edu/>

Submarine cultures perform robotic exploration of the Venice lagoon. 2016. Viitattu 13.8.2018. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/submarine-cultures-perform-robotic-exploration-venice-lagoon>

Subsea Connect EMEA 2018. 2018. Viitattu 5.7.2018. <https://subseaworld-news.com/events/subsea-connect-emea-2018/>

SUNRISE: using underwater robots for a better understanding of the underwater world. 2014. Viitattu 29.6.2018. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/sunrise-using-underwater-robots-better-understanding-underwater-world>

SUNRISE: using robots for a better understanding of the underwater world. 2015. Viitattu 29.6.2018. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/sunrise-using-robots-better-understanding-underwater-world>

Sukellusrobotteja valmistava kiinalaisfirma asettui Espooseen. 2018. Talouselämä. Viitattu 1.9.2018. <https://www.talouselama.fi/uutiset/sukellusrobotteja-valmistava-kiinalaisfirma-asettui-espooseen/606e8bf3-aa82-3f11-b4fc-fdb6b7da5305>

Suomen meriteollisuus n.d. Viitattu 31.5.2018. <https://meriteollisuus.teknologiateollisuus.fi/fi/meriteollisuus-ry/suomen-meriteollisuus>

Størkersen N. & Hasvold Ø. 2004. Power sources for AUVs. Viitattu 27.6.2018. <https://www.ffi.no/no/Publikasjoner/Documents/Power%20Sources%20for%20AUVs.pdf>

Söderqvist M-K. 2017. Siltojen ylläpito lausuntoversio 2.5.2017. Viitattu 27.8.2018 http://ril.easypage.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/ri179_6_siltojen_yllapito-lausuntoversio-2.5.2017.pdf

Talja A., Törnqvist J., Kivikoski H., Carpén L. & Nippala E. 2006. Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. Viitattu 25.6.2018. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W65.pdf>

Target simulation for realistic asw training. n.d. Viitattu 3.8.2018. https://saab.com/naval/underwater-systems/autonomous-underwater-vehicles/auv62_at/

Teledyne marine www-sivut. n.d. Viitattu 2.8.2018. <http://www.teledynemarine.com/vehicles/>

Telluuri. 2018. Viitattu 27.8.2018. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Telluuri>

The Eelume Concept n.d. Viitattu 3.8.2018. <https://eelume.com/#system-and-product>

The University on Sydney www-sivut. n.d. Viitattu 9.8.2018. <https://sydney.edu.au/engineering/our-research/robotics-and-intelligent-systems/australian-centre-for-field-robotics.html>

The Voyage of HMS Challenger. n.d Viitattu 1.6.2018. https://interactiveoceans.washington.edu/story/HMS_Challenger

Theseus AUV. 2018. Viitattu 3.8.2018. <https://ise.bc.ca/product/theseus-auv/>

Tiede 4, 2018, 37.

Toshiba www-sivut. 2017. New Toshiba and IRID Robot Will Inspect Interior of Primary Containment Vessel at Fukushima Daiichi 3. Viitattu 19.6.2018. http://www.toshiba.co.jp/about/press/2017_06/pr1501.htm?from=RSS_PRESS&uid=20170615-4933e

Underwater Vehicle Propulsion and Power Generation. n.d. Viitattu 27.6.2018. <https://technology.nasa.gov/patent/NPO-TOPS-28>

University of Hawaii. 2018. Viitattu 3.8.2018. <http://www.soest.hawaii.edu/UMC/cms/>

University of Southampton. 2018. About. 9.8.2018. <https://www.southampton.ac.uk/about.page>

Unmanned Underwater Vehicle (UUV) Market to 2025 – Global Analysis and Forecasts by Types and Applications. 2018. Viitattu 16.8.2018. https://www.researchandmarkets.com/research/j56rnw/global_unmanned?w=12

Veden nopeusanturi. n.d. Viitattu 4.9.2018. <https://buy.garmin.com/fi-FI/Fl/p/102460>

Ventä O., Lehtinen H., Lempiäinen J., Kurki V., Röning J., Siren A., Latokartano J., Lumiaho A., Kutila M., Andersson C., Kaivo-oja J., Linturi R. & Kuittinen O. 2016. Robotiikan taustaselvityksiä. Viittaus 3.7.2018. <https://www.lvm.fi/documents/20181/877203/Robotiikan+taustaselvityksi%C3%A4/>

Vähäsantanen S. 2018. Infograafeja Satakunnasta. Viitattu 31.5.2018. Päivitetty 1.8.2018. <http://www.satakuntaliitto.fi/infograafeja-satakunnasta>

Wakita N., Hirokawa K., Ichikawa T. & Yamauchi Y. 2010. 74. Viitattu 2.8.2018 <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e473/e473073.pdf>

Walius, 2016. Kaunis mutta myrkyllinen – vaarallinen tulokas leviää lämpenevällä Välimerellä. Viitattu 24.8.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-8999491>

Wang W. H., Engelaar R. C., Chen X. Q. & Chase J. G. n.d. The State-of-Art of Underwater Vehicles -Theories and Applications.n.d. Viitattu 3.7.2018. https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/4130/12612285_State-of-Art%20of%20Underwater%20Vehicles.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WHOI www.sivut. 2018.Viitattu 14.8.2018. <http://www.who.edu/>

What is an ROV? n.d. Viitattu 12.6.2018. http://www.rov.org/rov_overview.cfm

Woodman. O. J. 2007. An introduction to inertial navigation. Viitattu 29.6.2018. <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>

Wynn R. B., Huvenne V. A. I., Le Bas T. P., Murton B. J., Connelly D. P., Bett B. J., Ruhl H. A., Morris K. J., Peakall J., Parsons D. R., Sumner E. J., Darby S. E., Dorrell R. M. & Hunt J. E. 2014. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): Their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience. Viitattu 15.6.2018, 3.7.2018 ja 2.8.2018. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.012>

Zhou S. & Wang Z. OFDM for underwater Acoustic Communications. Chichester. John Wiley & Sons Ltd. 2014. Viitattu 29.6.2018. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/detail.action?docID=1658810>

Østergaard M. 2016. Robotit saavat internetin veden alle. Tieteen Kuvalehti 16, 58-61.

2018 IEEE OES Autonomous Underwater Vehicle Symposium. 2018. Viitattu 13.8.2018. <https://auv2018.lsts.pt/>