

# ALLVEEMAILMA AVASTAMAS

JUHAN ERNITS

71 protsenti Maast on kaetud ookeanidega ja võib öelda, et Kuu pinnast teame rohkem kui kilomeetrite sügavusel paiknevast ookeanipõhjast. Näiteks võib ajalehe The Times 15. augusti veebiväljaandest leida uudise, kus lehe ookeanikorrespondent Frank Pope kirjeldab, kuidas värskest valminud autonoomne süvaveerobot Autosub 6000 avastas oma esimesel missioonil Kanaari saarte juurest 4000 meetri sügavuselt suured veealused augud maakoos ja jälgi veealustest maailhetest. Järgnevas tuletame meelde, miks enamus veealust maailma on läbi uurimata, ja vaatame, kuidas on kulgenud autonoomse veealuse uurimisroboti Autosub ning selle suurendatud sügavustaluvusega järglase Autosub 6000 arendamine.

Üks peamine raskusmoment peale selle, et inimene pole õppinud vee all ilma abivahenditeta hingama, on ookeanisügavustes valitsev rõhk ja pimedus. Kahtlemata on ulmekirjanikud probleemi ammu lahendanud. Näiteks võib tuua Richard Setlowe'i teose "Eksperiment" või "Seiklusjutte maalt ja merelt" sarjast tuntud Aleksandr Beljajevi "Amfiibinimese", kus inimesele siirdati vee all toimetulekuks hai lõpused. Lisaks hingamise ebamugavusele on enamus vett ookeanide sügavamates kihtides ini-

mesele ebamugavalt külm, umbes 2–4 °C, ning isegi parima läbipaistvusega vees jätkub fotosünteesiks piisavalt päikeseenergiat vaid kuni 200 meetri sügavuseni. See ei tähenda siiski, et fotosünteesi sügavamal ei leiduks – 2005. aastal leidsid Arizona osariigi ülikooli teadlased Mehhiko ranniku lähedalt 2400 meetri sügavuselt kuumaveeallikad, kus ülikuum (u 350 °C) ja külm (u 2 °C) vee kokupuutepiiril tekkiva valguse kasutavad ära fotosünteesi tarvitavad bakterid. Siit lähtub kolmas ning ka tehisaparaatidele

kõrgeid nõudmisi seadev ja inimese füsioloogiaga vastuoluline asjaolu: vee sügavuse suurenedes rõhk suureneb väga kiiresti. Nimelt lisandub iga 10 meetri sügavusega ligikaudu üks atmosfääri normaalrõhk, ehk kümne meetri sügavusel on rõhk kaks korda suurem kui merepinnal, 20 meetri sügavusel kolm korda suurem jne. Seega on kuue kilomeetri sügavusel rõhk 600 korda suurem kui merepinnal! Võrdluseks tuleb kosmoseaparaatidel kaitsta meeskonnaruumides normaalrõhku vaakumi eest, mis tähendab, et taluda sama suurt rõhuvahet kui on veepinnal ja kümne meetri sügavusel vee all.

## VEEALUSED APARAADID

Aristotelese aegadest on jälgi tuukrikella põhimõtete teadmisest. Leonardo da Vinci tegi esimesed siiani säilinud joonised algelisest liikuvast allveelaevast. Hollandi leiutaja Cornelius van Drebbel olla 1620. aastal ehitanud esimese veekindlaks töödeldud nahaga kaetud puupaadist allveemasina. Seda varustasid õhuga



◀ Autosub 6000 prototüüp katsetusel Atlandi ookeanil 2007. aasta sügisel.

▲ Autosub 6000 Southamptonis Rahvuslikus Okeanograafiakeskuses. Eesosas näha olev topsik on USBL (Ultra-Short Baseline) transponder, mida kasutatakse akustiliseks positsioneerimiseks ja veeluseks sideks.

õhkujukitega voolikud ja liigutati edasi läbi nahkpolstri torgatud aerudega. Mõnevõrra hiljem, põhiliselt 20. sajandil, hakati ehitama batüskaafe, mille sees säilitatakse inimesele sobivat õhurõhku ning mille kere ja illuminaatorid suudavad vastu seista suurte sügavuste rõhule.

1960. aastatel avastati, et päris palju saab ära teha ka ilma inimest vee alla saatmata. Nimelt töötati siis välja esimesed kaugjuhitavad allveerobotid ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*), mida sai kasutada vee all ringi vaatamiseks ja ka keerulisemateks töödeks. Selline masin on pinnal ujuva uurimislaevaga ühendatud kaabliga, mille abil operaator aparati videosignaali ja anduritelt laekuvate andmete põhjal juhib. Teine liik erinevate veekihtide uurimiseks pruugitavatest seadmetest on laeva järel veetavad robotid TUV (*Towed Underwater Vehicle*), mis peavad automaatselt säilitama näiteks teatud sügavuse ja koguma parasjagu vajalikke andmeid. 1980. aastatel hakati laialdasemalt uurima autonoomsete allveemasinate AUV (*Autono-*

*mous Underwater Vehicle*) võimalusi, kuid siis jäid need riiklike programmide raames arendatud aparadid reeglina juhtme otsa.

### VEEALUNE KOSMOS

Teatavasti sumbuvad raadiolained vee väga kiiresti, seega raadiouhendus on juhtmeta allveerobotitega võimalik vaid viimase pinnal olles. Kui allveerobot laskub sügavustesse, siis on side sama raskesti teostatav nagu kosmoseaparatuuride puhul. Ainus teadaolev vee all kaugsidet võimaldav ühendus on sonaritehnoloogial põhinev, mille korral edasiantav info kodeeritakse helilaineteks. Info helilainetega vee all edasiandmine on aga väga aeglane, Autosub 6000-l kasutatav seade võimaldab vahetada 2400 bitti sekundis kuni 11 kilomeetri kaugusele. Kaugemal on allveerobot kuuleb juhtlaeva majakasignaale, kuid tema vastused juhtlaevani ei jõua. Sellised tingimused esitavad lisaks allveeroboti mehaanikale ja elektroonikale

kõrged nõudmised ka tarkvarale. Juba ainuüksi asukoha määramine hoovuste ja eri temperatuuride ning soolasisaldusega veekihtides on väga keeruline ülesanne, sest GPS on kasutatav vaid veepinnal. Lisaks ei ole sugugi alati selge, mida tuleks teha, kui programmis esineb ettenägematu veasituatsioon. Näiteks võib tuua jääalused uuringud, kus pinnale tõusmine tähendab jää alla kinnijäämist ja allveeroboti kaotsiminekut.

Samas on veelusest maailmast korralikult ja kättesaadavalt kaardistatud ehk vaid paar-kolm protsenti ja arvatakse, et salastatud sõjaväelisi andmeid kaasates vahest kuni kümnendik. Teaduslikult on uuritud ehk vaid miljondik maailma mere põhjast.

### AUTOSUB JÄÄ ALL

Aastakümnete pikkune arendustöö, arenenud akutehnoloogia ja oluliselt kasvanud arvutusvõimsused ning edasiarendatud juhtimisalgoritmid on muutnud autonoomsed robotid kättesaadavaks ka teadlastele. Järgnevalt vaatame, kuidas on kulgenud Autosub-nimelise autonoomse allveeroboti arendus Briti Rahvuslikus Okeanograafiakeskuses Southamptonis ehk NOCS-is (*National Oceanography Centre Southampton*).

“Autosub jää all” oli Briti Looduskeskkonna Uurimise Nõukogu ehk NERC (*Natural Environment Research Council*) toetatud ning aastatel 2000–2005 kestnud projekt, mille eesmärgiks oli uurida arktilise ja antarktilise jää all toimuvaid protsesse. Juba varasemast ajast arendamisel olnud Autosubi sukeldumissügavust suurendati 2500 meetrini ja tegevusraadiust 1000 kilomeetrini.

Autosubiga mõõdeti jää paksust Gröönimaal ja Antarktikas. Autonoomse allveerobotiga saadud andmete saamiseks puurimise teel oleks pidanud teema tuhandeid puurauke. Lisaks uurisid teadlased jäätumis- ja sulamisprotsesse liustike all, mõõtsid vee soolsust erinevates kihtides, avastasid uue hoovuse, ja kasutasid mõõtmisandmeid kolmemõõtmelise pildi saamiseks Kangerdlugssuaq'i fjordisüsteemist Edela-Gröönimaal, kus on selgelt näha jäljed, kus liustikust lahti murdunud jäämäed on põhja kriipinud.

Viimasel projektiplaanis olnud missioonil 2005. aastal Antarktikas jäi Autosub kadunuks. Kuna missioone peeti seadmele niikuinii ohtlikuks ning arvestati 50 protsendi võimalusega aparaat kaotada, siis ei tulnud halb uudis täiesti ootamatult. Juba 2005. aasta suveks oli asendus valmis. Uue roboti ehitamine

## TULEKUL ON ROBOTEX 2008

Robotex 2008 on Eesti populaarseim iga-aastane robotivõistlus, mida on korraldatud alates aastast 2001. Koostöös Tartu Ülikooli ja IT-Kolledžiga koordineerib üritust Tallinna Tehnikaülikool. Sel sügisel katsuvad robotid jõuda 5. detsembril TTÜ Spordihoones.

Robotex on robotivõistlus, kus igal aastal genereeritakse uus võistlusülesanne, mille edukamalt lahendanud võistkondi tunnustatakse. Seni on osalejad olnud Eestist, Rootsist ja Soomest.

2008. aasta ülesanne on koristada "tuba" – 2x3 meetri suurune ala, kus autonoomsed robotid peavad leidma üles kolm musta sokki ja kuus tühja 0,33-liitrist joogipurki ning viima need vastavatesse kogumisaladesse. Ülesande raskendamiseks on "toas" veel kolm ELFA kataloogi. Suurim väljakutse ongi panna robotid väljakul orienteeruma ning objekte eristama. Reeglitega on võimalik tutvuda Robotexi ametlikul veebilehel [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee). Väärib märkimist, et gümnaasiumidele antakse osalemissoovi korral juhendamise ja toetamise näol abikäsi kõigist kolmest korraldavast ülikoolist.

Tänavu muutub üritus märksa atraktiivsemaks nii küllastajatele kui ka osavõtjatele. Nimeilt on võimalik osaleda tehnikatöötubades, mis kujutavad endast eelkõige kooliõpilastele suunatud lihtsaid robotiehituse lühikursusi.

Varasemaga võrreldes on uudne ka samal ajal toimuv temaatiline tehnoloogiapäev. Sellele on osalema oodatud kõik ülikoolid, instituudid, tudengiteadusklubid, ettevõtted ja isegi üksikisikud, kel on olemas tehnoloogia- ja teadusala seotud innovaatiline ekspositsioon. Soovi korral on võimalus eksponeerida innovaatilisi roboteid, automaatikaseadmeid, infotehnoloogiaalaseid lahendusi, teadustöid, innovatiivseid projekte ning teisi tehnoloogia- ja teadusala seotud väljapanekuid. Näitusele registreerimiseks tuleb ühendust võtta korraldusmeeskonnaga, kelle kontaktid leiab kodulehelt [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee).

Praegu on kindlalt teada, et tehnoloogia- ja teadusala seotud Eesti tudengiteadusprojekti, TTÜ/ELIKO RobotSwarm projekt, TTÜ Biorobotika Keskus, tudengiteadusklubid TTÜ Robotiklubi, ITK Robotikaklubi ning firmad ABB ja JOT-Eesti. Tehnoloogia- ja teadusala seotud võimalkirja panna kuni 15. oktoobrini, aga enne 15. septembrit üles andnud osalejad saavad valida ekspositsioonipinna.

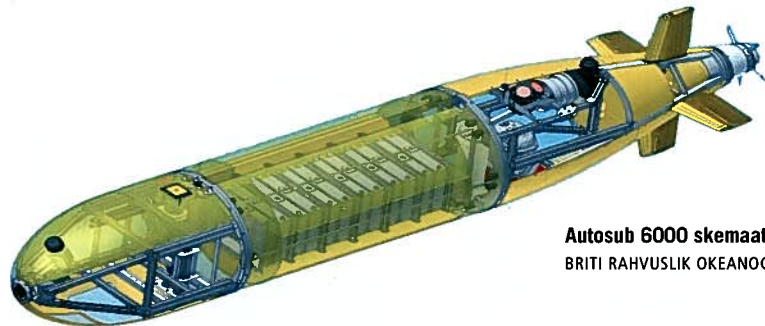
Tänavu tutvustatakse Robotexi ka rahvusvaheliselt, mistõttu on oodata, et tulijaid on rohkesti ka väljastpoolt Eestit, seda nii robotivõistlusele kui ka tehnoloogia- ja teadusala seotud näitusele.

Kõigil huvitatutel on võimalik jälgida Robotexi veebilehel [www.video.ttu.ee](http://www.video.ttu.ee). Samuti on otseülekannet võimalik vaadata samal ajal toimival noortemessil Teevit. Märkimist väärib seegi, et nende ürituste toimimiskohtade vahel sõidavad poole tunniste intervallidega eribussid.

Robotexi korraldusmeeskond

### LOE VEEL

Täpsustav informatsioon Robotex 2008 kohta: [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee).



Autosub 6000 skemaatiline joonis.  
BRITI RAHVUSLIK OKEANOGRAAFIAKESKUS

### AUTOSUB 6000 PARAMEETRID

- Pikkus: 5,5 meetrit
- Kaal (kuivalt): 2000 kilogrammi
- Tegevusraadius: 660 kilomeetrit kiirusel 1,6 m/s ehk 5,8 km/h ehk 3 sõlme
- Ruum lisatehnikale: 0,5 kuupmeetrit
- Lisatehnika kasutatav võimsus: maksimaalselt 250 vatti

läks maksma poolteist miljonit naela ehk praeguse kursiga umbes 30 miljonit krooni. Seejärel muudeti Autosub kättesaadavaks teadusprojektidele üle Ühendkuningriigi. Samal ajal alustati suuremaid sügavusi uurida võimaldava Autosub 6000 arendusega, mille esimesed katsetused toimusid 2007. aasta sügisel.

### AUTOSUB 6000

Autosub 6000 maksimaalne sukeldumissügavus on 6000 meetrit, mis tähendab sisuliselt peaaegu kogu maailmamerd, sest 6000 meetrist sügavamal on vaid üksikud lõhed ja süvikud, nagu näiteks Mariaani süvik, ja selliste sügavuste uurimiseks on tarvis ületada veel rohkem rõhust tingitud füüsikalisi takistusi.

Autosub 6000 avastas oma esimesel missioonil Kanaari saarte juurest 4000 meetri sügavusel suured vealused augud maakooses ja jälgis veelalustest maailmest. Artikli kirjutamise hetkel suundus Autosub 6000-ga varustatud uurimislaev RRS James Cook uurima Lissaboni 1755. aasta maavärina võimalikke põhjusi Portugali ranniku lähedal. 1755. aasta maavärin oli üks Euroopa teadaoleva ajaloo rängimaid, sest Lissabonis hukkus 10 000 inimest ja maavärina põhjustatud hiidlaine jõudis ka Lõuna-Inglismaa rannikuni.

Autosub 6000 on 5,5 meetri pikkune sigaritaoline seade, mille propellereid ajab ringi elektrimootor. Viimane omakorda saab energiat spetsiaalsetelt rõhukatalumatelt liitium-polümeerakudelt. Pinnale tõustes saadab robot oma GPS-koordinaadid uurimislaevale raadio teel, kuid vee all juhindub see lähestikku paigutatud vastuvõtumoodulitega sonarist USBL (Ultra-Short Baseline), mille transponder on robotil, ning mõõteseadel ehk transiiver laeva küljes. Seade töötab põ-

himõttel, et laevalt saadetakse signaal, millele roboti transponder vastab. Vasutuse saabumise viite järgi arvutatakse roboti kaugus laevast ning signaali saabumise nurk leitakse mitmesse lähestikku paigutatud vastuvõtumoodulisse saabunud signaali faasivahest. Arvutuse tulemused saadetakse sonariga allveerobotile.

Kindlasti kuuleme Autosub 6000 abil saadud teadustulemustest tulevikuski, sest projekti üheks eesmärgiks on aastaks 2012 välja töötada iseseisvalt ülipikiki vahemaid ehk tuhandeid kilomeetreid läbida suutev Autosub.

### TEADUSE TEENISTUSES ALLVEEROBOTID EESTIS

Ka Eestis tegeletakse autonoomsete allveerobotitega. Näiteks Tallinna Tehnikaülikooli Biorobotika Keskuses on koostöös TÜ Tehnoloogiainstituudiga üheks uurimissuunaks "tehiskala" ehitamine, millega saaks jälgida põhjataimestiku arengut madalas rannikuvees. 1980. aastate alguses töötati Eesti TA Termofüüsika Instituudis välja ja valmistati Eesti TA Spetsiaalse Konstrueerimise Büroo laeva järel veetat mõõteseadet, mida kasutati termokliini ehk järsult muutuva temperatuuri ja soolsusega veekihi uurimiseks Läänemeres. Aparaat suutis sukelduda kuni 150 meetri sügavusele ja kanda kahte sondi.

Kindlasti võiksid autonoomsed allveerobotid tulevikus olla rohkem abiks ka teadlastele, kes tegelevad maailma ühes saastatumas meres – Läänemeres – toimuvate protsesside uurimise ja olukorra jälgimisega. ■

### LOE VEEL

- Autosub Under Ice: <http://www.nerc.ac.uk/research/programmes/autosubunderice>
- Autosub6000 – UK Robot submarine successfully completes first science mission <http://www.noc.soton.ac.uk>

### AUTORIST

JUHAN ERNITS (1974) töötab Tallinna Tehnikaülikooli arvutiteaduse instituudis ja TTÜ Küberneetika Instituudis teadurina. Uurimistemaatikaks on tarkvaramahukate süsteemide mudelipõhine testimine.