

# TULOSSA PIAN SUKELLUSTIETOKONEESEEN LÄHELLÄSI

Nyt on kulunut 25 vuotta siitä, kun sukellustietokoneet yleistyivät. Tämän ajan aikana on moni asia muuttunut, ennen kaikkea tiede ja teknologia. Tästä huolimatta sukellustietokoneet ovat ytimeltään pysyneet oleellisen muuttumattomina. Kyllä, nykyään ne hallitsevat nitroksin ja trimiksin sekä niihin on lisätty useita hälyttämiä, mutta algoritmit, joita kaikki sukellustietokoneet käyttävät perustuvat edelleen Haldanen mallin itsenäisiin rinnakkaisiin osastoihin, malliin joka on ollut käytössä sata vuotta. ("Ei ikinä!" sanot sinä. "Entä kuplamallit?" Hyytävää, menemme niihin.)

Tämä ei olisi ongelma, jos Haldenin malli toimisi todella hyvin. Ovathan haitkin selvinneet oleellisesti muuttumatta ikiajoista lähtien ja ne mielletään, ei niin vanhentuneina vaan lähes täydellisiltä toiminnoiltaan ja selviytymiseltään. Haldanen malli ei ole edes kaukaisesti samassa sarjassa. Sen alkuperäinen houkuttelevuus on sen yksinkertaisuus. Ehdotuksia realistisemmin toisiinsa yhteydessä oleviin malleihin oli jo olemassa (oli ollut jo jonkin aikaa) kun ensimmäiset sukellustietokoneet kehitettiin. Mutta ensimmäiset sukellustietokoneet pystyivät käyttämään Haldanen mallia, monimutkaisemmat mallit olisivat olleet liikaa niiden muistille ja mikroprosessorivalmiuksille.

Nyt olemme tietenkin eri aikakaudella tietokoneiden tehon ja muistikapasiteetin osalta. Eivätkä itsenäiset rinnakkaiset osastot enää kestä lähempää tarkastelua.

On tehty useita lääketieteellisiä ja fysiologisia tutkimuksia, joissa on tutkittu eri aineiden - myös kaasujen - nopeutta sitoutua kehon kudoksiin ja huuhtoutua niistä pois. Yleinen johtopäätös? Tulokset eivät vastanneet Haldanen mallia, jossa osastot olivat erossa toisistaan, vaan näyttivät että eri kudokset näyttävät olevan yhteydessä toisiinsa.

Tässä muutamia "varoituksia" uudesta "toisiinsa yhteydessä olevasta mallista", joka todennäköisesti tulee olemaan osa tulevaisuuden sukeltamistamme<sup>1</sup>: Saulin ICM. [Kuva 1](#) havainnollistaa perusteet. Vasemmalla Haldanen malli ja oikealla Saulin ICM. Nuolet osoittavat missä kaasut menevät sisään osastoihin ja missä ne poistuvat, joten näiden kahden mallin väliset erot voidaan nähdä kuvassa. Vähemmän selvää on, mitä osastoa eri mallit edustavat. Haldanen mallissa jokainen osasto edustaa kudosta, joka voi aiheuttaa sukeltajan taudin (DCS). (Tämän vuoksi kaikki sen osastot ovat punaisia - vaara).

Kudokset, jotka eivät kärsi dekompressiovammasta eivät edusta mitään osaa Haldanen yksinkertaisessa mallissa. Vaikka kaikkien kolmen osaston riskit on sisällytetty Haldanen mallin laskelmiin, on riski käytännössä millä tahansa sukelluksella johtuu vain yhdestä osastosta ("kontrolloiva osasto"), muiden osastojen vaikuttaessa erittäin vähän. Toisaalta Saulin ICM-mallissa, vain keskellä oleva "riskialtis" osasto (punainen) edustaa kudosta jolla on dekompressiovamman riski. Muut osastot (vihreät) edustavat "passiivisia" kudoksia (kuten rasvakudos) joissa dekompressiovammaa ei tapahdu.

Niiden rooli sen sijaan on toimia ylimääräisen kaasun astioidena tai säiliöinä. Aluksi, puristuksen paineen lisääntyessä nämä kudokset toimivat "ylivuotovarastoina" lisäten kaasun määrää, joka voi sitoutua aiheuttamatta ongelmaa. Mutta sukelluksen jatkuessa ja kaasun imeytyessä yhä lisää on muistettava, että maksun aika tulee.

Sukellus päättyy ja alat pintautumisen. Ylimääräinen kaasu ei ole kadonnut. Kun paine pienenee täytyy riskiosaston eliminoida paisti siinä jo oleva kaasu, myös lisäkaasu joka nyt palaa muista osastoista. (Tämä muuten lisää hitaiden pintautumisten ja turvapysähdysten tärkeyttä.) Pieniriskisillä sukelluksilla paineen alla olon aikana imeytyisi tietenkin vain vähän kaasua sekä riskiosastoihin että muihin.

Kun varastoissa on vain vähän ylimääräistä kaasua on "takaisinmaksu" paineen alla erittäin hidasta ja koska riskiosasto luovuttaa omaa sisältöään saman aikaisesti on DCS:n riski pienempi kuin se muutoin olisi. Kaikki tämä on omalla tavallaan järkeen käypää kun tiedetään, kuinka keho toimii kokonaisuudessaan.

Mutta intuitiolla on rajattu käyttökelpoisuus. Oikea testi on siinä, kuinka hyvin malli itsessään toimii. Ja alkaa tulla selväksi, että tämä malli on paljon esiintyviä malleja parempi ennustettaessa sukeltajantaudin mahdollisuutta.

Mitä tarkalleen ottaen tarkoitan tällä? Mallit tietenkään eivät ole fysiologisia. Seuraavassa, kuinka vertailu toimii. Käytännössä mallit edustavat sarja yhtälöitä. Periaatteessa yhtälö on vain sarja matemaattisia operaatioita käyttäen numeroita joko muuttujina tai vakioina.

Sukellusmalleissa muuttujat ovat yleensä edustavat aikaa tai syvyyttä huolimatta siitä aiheuttiko sukellus "kirppuja" vai ei. Periaatteessa asioita, joiden tiedot vaihtelevat. Vakiot ovat lukuja jotka ovat osa yhtälöä itseään - ne säilyvät samana riippumatta mitä tietoa syötät. Ennen kuin voit käyttää mallia, joka alkaa periaatteessa teoreettisena perustyönä, on sinun sovitettava se oikeisiin tietoihin niin kuin toivot sen ennustavan.

Tätä kutsutaan kalibroinniksi. Mallin näytetietojen kalibroitiprosessin aikana asiat näyttävät hieman oudoilta. Muuttujat itse asiassa pysyvät muuttumattomina (koska mallin näyte ei muutu) samalla kun vakiot muuttuvat (koska yrität erilaisilla arvoilla päästä lähimmäs ennakoimaasi mallitiedostoa. Kun olet määrittänyt parhaat arvot vakioille, voidaan mallista tehdä toimiva algorytmi. Yksi ennustuskykyä koskeva mittari - alkeellisin - olisi nähdä kuinka hyvin malli sopii niihin tietoihin, joita kalibroinnissa käytettiin. Mutta tavallaan se on vähiten tärkeä mitta.

Se kertoisi kuinka hyvin ennustit menneisyyttä. Tiedät jo, mitä tapahtui ja rakensit mallin siten, että se hyväksyy tapahtuneen. Silti sillä on jotain arvoa. Jos et onnistu tämän mittarin kanssa on mallisi silti onnistunut, mutta ainoastaan lähtöpisteenä. Seuraava askel on nähdä kuinka hyvin malli suoriutuu erilaisten tietojen kanssa, jotka ovat samankaltaisia kuin kalibroititiedot. Nyt et enää ennusta menneisyyttä. Jos onnistut tässä testissä on teoriallasi jonkinlaista johdonmukaisuutta, vaikkakin rajallisesti. Useimmat mallit jotka tyydyttävät ensimmäisen tason tyydyttävät myös tämän tason.

Mutta mitataksesi mallin oikeaa voimaa tulee sinun nähdä kuinka hyvin se ennustaa riskin profiileilla, jotka ovat kokonaan kalibroitiprofiileissa edustetun riskin ulkopuolella. Eli kuinka hyvin kohtalaiselle riskille kalibroidut mallit soveltuvat, kun käytetään täysin erilaista sukellusta jonka sukeltajantautiriski on oleellisesti isompi? Mennäänpä ääritapaukseen. US Navyn tutkijat tarkastelivat sukeltajantautimääriä "älä- edes-mieti-yrittäväsi-tätä-itseksesi" rajoilla olevilla saturaatiosukelluksilla.

He tekivät tämän yrittääkseen määritellä suoran nousun riskit rikkoutuneesta sukellusveneestä. Koska

oletusarvona oli erittäin suuri riski, he käyttivät lähinnä rottia ja sikoja, mutta pystyivät laskemaan kuinka tuloksia eläimillä voitaisiin soveltaa ihmiseen. Pisteet näyttävät oletetun sukeltajantaudin riskin jokaiselle kolmelle profiilille. Kaikki olivat suoria nousuja ilmasaturaatiosta 33:n, 40:n ja 50:n jalan syvyydestä merivettä (fsw) (10m, 12m ja 15m). Katsotaanpa kuinka erilaiset mallit, jokainen kalibroitu pienemmän riskin tiedoilla pärjäävät todella saatuihin tuloksiin.

Piirroksiset näyttävät joitain melko silmään pistäviä eroja. Vertasimme seuraavia malleja: perinteinen Haldanean malli; LE1, Saulin ICM ja Saulin ICBM (Saulin ICM-mallin kuplaversio). LE1 muka lisää kuplien tehoa siihen, mikä muutoin on Haldanen malli. Kun katsomme kuvasta näemme, että Saulin ICM ja ICBM mallit ovat melko hyvin linjassa varsinaisten tulosten kanssa (mitkä nousivat nopeasti saturaatiosyvyydestä), kun molemmat kupliin perustuvat ja kupliin perustamattomat Haldanen mallit säilyttivät suurin piirtein tasaisen poistumisen radan joka selkeästi aliarvioi suurempien syvyyksien riskit.

Kun sekä toisiinsa liittyviin että itsenäisten osastojen malleihin lisättiin molempiin kuplia, saadaan ennusteisiin suhteellisen pieniä muutoksia, kun taas muutettaessa itsenäisistä toisiinsa liittyviin tilamalleihin on muutos valtava. Entä sitten kun verrataan malleja päinvastaiseen, erittäin pienen riskin mukaiseen tyypilliseen rentoon virkistyssukeltamiseen?

Kun tutkimme onnettomuusriskin olevan noin 10,000 ilmalla sukeltaessa (DANin Project Dive Exploration [PDE] tiedostossa), antavat toisiinsa yhteydessä olevat mallit lähimmän ennusteen todellisiin sukeltajantautitapauksiin verrattuna. Nämä sukellukset aiheuttivat vain kymmenen sukeltajantautitapausta.

Kun tehdään vähän muutoksia perustietoihin voitaisiin mitä tahansa viiden ja kahdeksantoista tapauksen välillä pitää kohtuullisena. LE1 malli ennustaisi 51:ntä tapausta, suora Haldanen malli 126:aa, ICM kymmentä ja ICBM yhtätoista. Taas toisiinsa yhteydessä olevat mallit päihittivät muut. Eli ne ovat tarkempia sekä erittäin korkean riskin että erittäin matalan riskin sukelluksilla. Mikäli katsot ainoastaan matalan riskin tuloksia saatat päätyä haukottelemaan ja ihmettelemään, miksi sinun pitäisi välittää. Esiintyvät mallit ennustavat liikaa sukeltajantautitapauksia - pikku juttu.

Eikö se sitten tarkoita, että ne ovat konservatiivisempia kuin toisiinsa liittyvät mallit? Ja eikö tämä pohjimmitaan ole hyvä juttu, mitä turvallisuuteen tulee? Vastaukset vastaavasti ovat: "ei" ja "se riippuu". Muista ne erittäin korkean riskin vertailuja, joita katsoimme aikaisemmin? Olemassa olevat mallit aliarvioivat riskit suuresti siellä, mikä tarkoittaa että ne eivät ole mitenkään turvallisia niillä profiileilla. Asiaa vaikeuttaa lisää se, etteivät niiden ennustemallit noudattaneet mitään selkeää linjaa. Tämä tekee todennäköiseksi sen, että niiden ennusteet on pahasti aliarvioitu myös sellaisissa kohtuullisen korkean riskin profiileissa, jollaisia sinä saattaisit harkita sukeltavasi.

Onko konservatiivisempi malli parempi (mikäli se, kuten olemme nähneet ei välttämättä vastaa tämän hetken malleja)? Mahdollisesti, olettaen että se on tarkka.

Suhteellinen riski, jonka sukeltaja hyväksyy on henkilökohtainen päätös, mutta ilman tarkkaa tietoa et pysty arvioimaan todellista riskitasoa. Haluatko turvallisimman vaihtoehdon vai oletko halukas sietämään hieman korkeampaa riskiä.

Vastaus siihen, että saat haluamasi on tarkkuudessa. Saulin mallit voivat antaa suuremman tarkkuuden, kuten olemme nähneet. (Tämä artikkeli voi tietenkin antaa vain lyhyen yleiskatsauksen mallista ja sen takana olevasta tutkimuksesta.

Saadaksesi täydelliset yksityiskohdat ja voidaksesi ladata äskettäin julkaistut lehtijutut vieraille kirjoittajan

nettisivulla.)

Oletan, että Saulin mallit tulevat esiintymään sukellustietokoneissa suhteellisen lähitulevaisuudessa ja että niistä aikanaan tulee sukelluksen uusi standardi.

Sillä aikaa on paras strategiasi jatkaa sukeltamista oman sukellustietokoneesi mukaisesti tietoisena sen rajoituksista. Mikäli se on ristiriidassa jonkin seikan kanssa, mitä saatat muistaa sukellustaulukoista valitse turvallisempi vaihtoehto.

Ja ennen kaikkea - älä koskaan jätä turvapysähdyksiä tekemättä.

## Figure 1



## ABOUT THE AUTHORS

**Saul Goldman**, a physical chemist, is Professor Emeritus at the University of Guelph and has published about 100 papers in some of the most prestigious journals in the field (see <http://www.chemistry.uoguelph.ca/goldman/>). Much of his research has dealt with liquids and solutions, particularly gases in liquids. He is also an avid diver who has logged almost 1000 dives. Since, like many physical chemists, he is somewhat “addicted” to equations, **Ethel Goldman** became involved to keep the material suitable for casual reading by nonphysical chemists and, in particular, to rigorously weed out equations and scientific jargon. When Saul insisted that equations were necessary, at least for background, Ethel “relented” but the only place you’ll find them is as background - literally.