



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# HÄLYTYSSUKELLUSTEHTÄVIEN JÄLKEISTEN HELIKOPTERILENTOJEN TURVALLISET LENTOKORKEUDET

Ohje Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselle

Juho Hämäläinen

Tuukka Peltola

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Hoitotyön koulutusohjelma  
Sairaanhoitajakoulutus



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Hoitotyön koulutusohjelma

HÄMÄLÄINEN JUHO & PELTOLA TUUKKA:

Hälytyssukellustehtävien jälkeisten helikopterilentojen turvalliset lentokorkeudet  
Ohje Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselle

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen vesisukeltajien työturvallisuutta ja toimintakyvyn säilymistä hälytyssukellustehtävien jälkeisillä helikopterilennoilla. Opinnäytetyön tehtävinä oli luoda taulukko hälytyssukellustehtävien jälkeisistä turvallisista lentokorkeuksista sekä etsiä tietoa sukeltajien tyypikuormaa pienentävistä hoitokeinoista. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda helppolukuinen taulukko, jonka käyttö olisi helppoa.

Sukeltaminen korkeassa paineessa aiheuttaa typen kertymistä elimistöön. Elimistöön kertynyt typpi muodostaa verenkiertoon typpikuplia, mikäli paine laskee liian nopeasti. Kuplien määrän ja koon kasvaminen aiheuttaa sukeltajantaudin. Sukeltajan elimistöön kohdistuva paine laskee niin veden alla kuin myös ilmaan noustessa. Alan tutkimukset painottuvat lentokonelentoihin sukeltamisen jälkeen ja helikopterin lentokorkeuksista on vain näistä tuloksista laskennallisesti laadittua tietoa. 100 % hapen antaminen kuljetuksen aikana on ensiapu sukeltajantautia sairastavalle potilaalle. Hapen hengittäminen vähentää typpikuplien määrää ja kokoa myös terveillä sukeltajilla. Ennen sukellusta tehtävän nestetankkauksen typpikuplia vähentävästä vaikutuksesta on vain vähäistä näyttöä, mutta sukeltajien on hyvä välttää sukeltamista kuivuneina.

Laajemman näytön puutteessa nykyistä ohjeistusta turvallisista lentokorkeuksista hälytyssukellustehtävien jälkeen ei ole syytä muuttaa. Nykyinen ohjeistus rajoittaa kuitenkin operatiivista toimintaa, joten lisätutkimusta aiheesta tarvitaan. 100 % hapen hengittäminen rutiininomaisesti sukellustehtävien jälkeen vähentää sukeltajien tyypikuormaa ja vähentää sukeltajantaudin syntymisen riskiä. Sukeltajien on syytä huolehtia myös riittävästä nesteytyksestä ennen hälytyssukellustehtäviä, mikäli se on mahdollista.

---

Asiasanat: sukeltaminen, lentäminen, sukeltajantauti, dekompressiotauti

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Nursing and Health Care

HÄMÄLÄINEN JUHO & PELTOLA TUUKKA:  
Safe Helicopter Flight Altitudes after Emergency Dives  
A Guideline for the Fire Department of Keski-Uusimaa

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 6 pages  
April 2018

---

The aim of this study was to produce a single table of safe flying altitudes after emergency dives for the divers in the Fire Department of Keski-Uusimaa. Another goal was to study the means for decreasing the amount of Nitrogen bubbles in a diver's body after emergency dives.

Diving under high pressure causes Nitrogen to build up in a diver's body. If the pressure diminishes too rapidly, the Nitrogen starts to form bubbles in the diver's blood veins. The bubbles grow in size and number as the pressure diminishes and eventually cause an outbreak of decompression sickness. Ascent from water, as well as taking off from the ground, lower the pressure on the diver's body. Most of the studies conducted focus on flying in an airplane after diving and the safe flying altitudes for helicopters have been calculated based on pressure chamber tests and the half-life of Nitrogen. 100 % Oxygen is used as the first aid treatment for patients with decompression sickness. Breathing Oxygen during a dive also decreases the number and size of Nitrogen bubbles among healthy divers.

The current guideline for flying after emergency dives should not be changed based on these findings. However, the guideline restricts the operational activity, and should be reviewed based on more extensive studies. Breathing 100% Oxygen after diving decreases the amount of Nitrogen in a diver's body and diminishes the chance of a decompression sickness outbreak.

---

Key words: diving, aviation, decompression sickness

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TEHTÄVÄ JA TAVOITTEET .....	9
3	TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT .....	10
4	SUKELTAJAN TURVALLISUUS .....	11
5	KESKI-UUDENMAAN PELASTUSLAITOKSEN JA VARTIOLENTOLAIVUEEN YHTEISTOIMINTA.....	12
	5.1 Pelastussukeltaminen .....	12
	5.2 Keski-Uudenmaan pelastuslaitos .....	12
	5.3 Aikaisempi yhteistoiminta .....	13
	5.4 Rajavartiolaitoksen vartiolentolaivue .....	13
	5.5 Yhteistoiminta vartiolentolaivueen kanssa .....	13
	5.6 Vesisukellustehtävien olosuhteet .....	14
6	SUKELLUSFYSIKKA .....	17
	6.1 Paine.....	17
	6.2 Ideaalikaasujen tilanyhtälö .....	18
	6.3 Daltonin laki .....	18
	6.4 Henryn laki .....	19
7	SUKELTAJANTAUTI .....	20
	7.1 Sukeltajantaudin patofysiologia.....	20
	7.2 Sukeltajantaudin oireet .....	21
	7.3 Sukeltajantaudin hoito .....	21
8	LENTÄMISEN VAIKUTUS SUKELTAJANTAUDIN SYNTYYN .....	23
	8.1 Lentokone lentojen vaikutus .....	23
	8.2 Helikopterilennot sukeltamisen jälkeen.....	23
	8.2.1 Nykyinen ohjeistus lentämisestä sukeltamisen jälkeen.....	24
	8.2.2 Yhdysvaltain Merivoimien ohjeistus .....	24
	8.2.3 Vertaus Rajavartiolaitoksen nykyohjeistukseen .....	26
	8.2.4 Lentämisen vaikutus sukeltajantaudista kärsiviin potilaisiin .....	26
9	TYPPIKUORMAA PIENENTÄVÄT HOITOMUODOT .....	28
10	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS .....	29
	10.1 Metodologiset lähtökohdat .....	29
	10.2 Opinnäytetyön eteneminen .....	29
	10.3 Tiedonhaku .....	30
	10.4 Helppolukuinen taulukko.....	31
	10.5 Taulukon valmistus.....	32
11	POHDINTA.....	35

11.1 Eettisyys ja luotettavuus .....	35
11.2 Johtopäätökset ja itsearviointi.....	36
11.3 Jatkotutkimuksen tarve .....	37
LÄHTEET.....	39
LIITTEET .....	43
Liite 1. Rajavartiolaitoksen nykyinen ohjeistus lentokorkeuksista poikkeustilanteissa kaaviona.....	43
Liite 2. U.S. Navy Diving manualin taulukko 9-6. ....	44
Liite 3. U.S. Navy Diving manualin taulukko 9-7 .....	45
Liite 4. Tiedonhakuprosessi .....	46

## LYHENTEET JA TERMIT

ADALS	Advanced diving accident life support. Sukellusonnettomuuden ensihoitoon keskittyvä kurssi.
Alttiinaoloaika	Korkeassa paineessa vietetty aika. Aika veden pinnan alla.
ARA	Airborne radar approach. Mittarilennosta merialukselle laskeutumiseen käytetty menetelmä.
Dekompressiotauti	Sukeltajantauti.
Diffuusio	Molekyyliden siirtyminen väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan.
Etappisuus	Nousu pintaan välipysähdyksin.
HEMS	Helicopter emergency medical services. Suomalainen lääkärihelikopteritoimija.
Hälytyssukellus	Pelastustoimen vesisukeltajien suorittamat ihmisten ja omaisuusien pelastukset, ympäristövahinkojen torjumiset sekä virka-apusukellukset.
Ideaalikaasu	Teoreettinen malli, jolla havainnollistetaan ja yksinkertaistetaan todellisten kaasujen käyttäytymistä.
IFR	Instrument flight rules. Mittarilento.
ILS	Instrument landing system. Mittarilennosta lentokentälle laskeutumiseen vaadittava laitteisto.
Jäännöstyyppi	Sukelluksen jälkeen elimistöön kertynyt tyyppi.
Kertausryhmä	Painealtistuksessa käytetty tunnus, joka kuvaa oletettua typpi-kuormaa. Vaikuttavina tekijöinä sukellussyvyys ja alttiinaoloaika. Käytetään sekä nousutaulukoissa että sukellusten jälkeisillä lennoilla.
Mekaniikan peruslaki	Mekaniikan kolme lakia, jotka määrittelevät kappaleen liikkeen ja siihen kohdistuvien voimien yhteyden. Käytetään myös nimeä Newtonin lait. Tässä työssä käsitellään kolmatta peruslakia, jonka mukaan, mikäli levossa olevaan kappaleeseen vaikuttaa jokin voima, vaikuttaa kappaleeseen myös jokin toinen yhtä suuri, mutta vastakkaissuuntainen voima.
Mittarilento	Lentäminen ilman lentäjän omia näköhavaintoja ympäristöstä, mittareiden varassa.

Molekyyli	Usean atomin yhdessä muodostama yksikkö. Esim. happi ja typpi esiintyvät ilmassa kahden atomin muodostamina molekyyleinä.
NEDU	Navy experimental diving unit. Yhdysvaltain Merivoimien sukeltamisen ja ylipainetoiminnan yksikkö.
NOAA	National oceanic and atmospheric administration. Yhdysvaltain kauppaministeriön alainen ympäristövirasto.
Nousutaulukko	Taulukko, jonka mukaan sukelluksen aikana tehtävät välipysähdykset suoritetaan. Tärkein keino sukeltajantaudin ennaltaehkäisyyn.
Nukleaatio	Ydintyminen. Nesteeseen liuennut kaasu muodostaa kuplia nesteeseen.
Osapaine	Kaasuseoksessa kullakin kaasulla on oma osapaineensa, joiden summa on koko kaasuseoksen paine
Paineilma	Paineistettua ilmaa säiliössä. Paineistettu kaasu mahtuu pienempään tilavuuteen, mikä mahdollistaa pidemmän käytön.
Patofysiologia	Oppi sairaan elimistön toiminnasta ja häiriöiden syntymekanismista.
Pilvikorkeus	Pilvien korkeus merenpinnasta.
Putoamiskiihtyvyys	Maapallolla Maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys, joka riippuu etäisyydestä Maan keskipisteeseen. Veden pinnan tasolla ja laskutoimituksissa käytetään vakiona $9,81\text{ m/s}^2$ .
Reaalikaasu	Luonnosta löytyvä kaasu. Ei täytä ideaalikaasun määritelmää.
SSLY	Suomen sukellus- ja ylipainelääketieteen yhdistys.
Suoranousu	Nousu pintaan ilman välipysähdyksiä.
THL	Terveysten ja hyvinvoinnin laitos.
Typykuorma	Elimistöön kertynyt typpi.
Vakio	Lukuarvo, joka pysyy samana, toisin kuin muuttuja.
Vaakanäkyvyys	Näkyvyys vaakatason suunnassa eteenpäin.
Vesisukeltaja	Erityiskoulutuksen saanut palomies, joka on kelpuutettu pelastustoimintaan veden alla.

## 1 JOHDANTO

Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen vesisukeltajat ovat aloittaneet yhteistyön Rajavartiolaitoksen Vartiolentolaivueen kanssa vuonna 2017. Yhteistoiminta koskee erityisesti hälytyssukellustehtäviin siirtymistä helikopterikuljetuksella (Keski-Uudenmaan pelastuslaitos & Rajavartiolaitos 2017; Laakso 2017). Tällainen yhteistyö on poikkeuksellista Suomessa ja vaatii vesisukeltajilta mukautumista uusiin olosuhteisiin. Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselta tehtävänannoksemme tuli etsiä tietoa turvallisista lentokorkeuksista sukelluksen jälkeen sekä keinoista, joilla voitaisiin ylläpitää vesisukeltajien terveyttä ja toimintakykyä sukelluksen ja sen jälkeisen lennon aikana kertynyttä typpikuormaa pienentämällä.

Sukeltamiseen liittyy monia vaaratekijöitä, joiden vaikutuksia sukeltajien toimintakykyyn on tutkittu paljon. Yksi merkittävimmistä vaaratekijöistä on sukeltajantauti eli dekompressiotauti, jossa liian nopeat ja suuret paineen vaihtelut aiheuttavat typpikuplien muodostumista sukeltajan verenkiertoon, mikä vakavissa tapauksissa voi johtaa jopa sukeltajan menehtymiseen. (Vikman 2007, 65.) Sukeltajantautitapauksia ilmenee vuosittain Suomessa noin 30 kappaletta (Vikman 2007, 140; Sipinen 2010; SSLY 2017). Veden alla sukeltajien terveyttä uhkaavia riskejä on tutkittu paljon ja niiden hallinta kuuluu sukeltajan perustaitoihin (Vikman 2007, 63–121; Vesisukelluskurssi 2014). Sukelluksen jälkeinen nouseminen maan pinnan tasoa korkeammalle sen sijaan on vähemmän tutkittu aihe.

Tarkoituksenamme on etsiä tutkittua tietoa sukellusten jälkeisten helikopterilentojen turvallisista lentokorkeuksista ja luoda päivitetty ohjetaulukko Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen vesisukeltajien käyttöön. Lisäksi selvitämme, löytyykö tutkittua tietoa sukeltajantautia ehkäisevistä hoitomuodoista, joita voisi hyödyntää sukeltamisen jälkeisillä lennoilla.

Opinnäytetyötä tehdessämme olemme saaneet apua Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen lisäksi Puolustusvoimien Sukelluslääketieteenkeskukselta, Rajavartiolaitoksen Vartiolentolaivueelta, Suomen sukellus- ja ylipainelääketieteen yhdistykseltä sekä Yhdysvaltojen Merivoimien Navy experimental diving unitilta. Yhteistyöllä näiden toimijoiden asiantuntijoiden kanssa olemme varmistaneet, että käytössämme on ajantasaisin tieto.



## 2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TEHTÄVÄ JA TAVOITTEET

Opinnäytetyömme tarkoituksena on parantaa sukeltajien työturvallisuutta ja toimintakyvyn säilymistä sukellustehtävien jälkeisillä helikopterilennoilla, ottaen huomioon sukeltajien työvuoron jatkumisen tehtävän jälkeen. Työ on tehty yhteistyössä Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen kanssa.

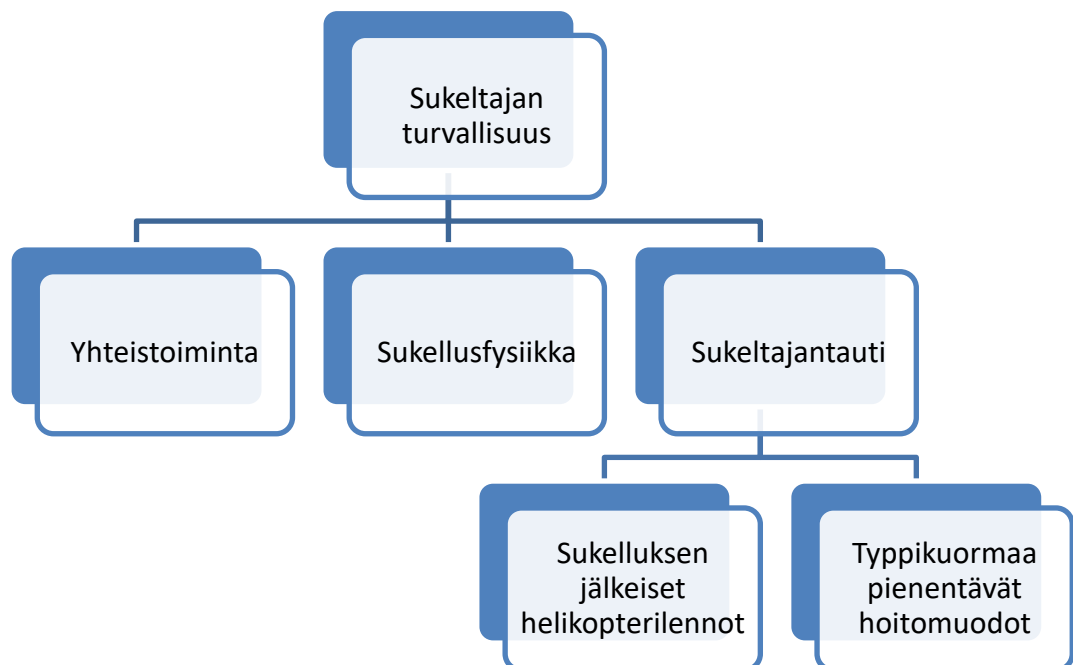
Opinnäytetyön tehtävä on luoda ohje sukellustehtävien jälkeisistä turvallisista lentokorkeuksista Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen käyttöön. Lisäksi selvitämme, löytyykö tutkittua tietoa sukeltajan tyypikuormaa pienentävistä hoitomuodoista, joita voisi hyödyntää sukellusten jälkeen sekä ennen lentoa että lennon aikana.

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa helppolukuinen taulukko turvallisista lentokorkeuksista, jotta sen käyttö on helppoa ja nopeaa tilanteesta ja olosuhteista riippumatta.

### 3 TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT

Pelastussukellukset ovat pelastuslaitosten suorittamia savu-, kemikaali- ja vesisukellusta (Sisäasiainministeriö 2007). Tässä opinnäytetyössä keskitymme työn tilaajan pyynnöstä ainoastaan vesisukellustehtäviin. Pelastustoimen vesisukellusten tehtävänä on ihmisten ja omaisuuksien pelastaminen, ympäristövahinkojen torjuminen sekä virka-apusukellukset muille viranomaisille (Sisäasiainministeriö 2007). Pelastustoimen vesisukeltaja on erityiskoulutuksen saanut palomies, joka on kelpuutettu pelastustoimintaan veden alla (Pelastusopisto 2007).

Opinnäytetyömme keskeinen lähtökohta on pelastushenkilökunnan turvallisuuden takaaminen sukellustehtävillä ja niiden jälkeen. Vedenalaisten vaaratekijöiden tunteminen on osa vesisukeltajien ammattitaitoa ja kuuluu olennaisena osana jo heidän koulutukseensa (Sisäasiainministeriö 2007; Vesisukelluskurssi 2014). Keskitymme tässä työssä niihin vaaratekijöihin, jotka vaikuttavat sukeltajien terveyteen myös sukeltamisen jälkeen tapahtuvilla helikopterilennoilla. Sukeltajan turvallisuuteen vesisukellustehtävän aikana vaikuttavat tekijät on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Teoreettinen viitekehys

## 4 SUKELTAJAN TURVALLISUUS

Sukeltajan turvallisuus on laaja käsite ja siihen vaikuttaa monia hallitsemattomia ja ennakkoimattomissakin olevia seikkoja kuten esimerkiksi vedenalaiset voimakkaat virtauspaikat. Tässä opinnäytetyössä käsittelemme vain niitä sukellusturvallisuuden elementtejä, jotka vaikuttavat sukelluksen jälkeiseen lentämiseen.

Timo Vikman (2007) käsittelee, Pelastusopiston pelastussukeltajien vesisukelluskurssilla oppikirjanakin käytettävässä, kirjassaan ”Sukellus” sukeltajan turvallisuuteen vaikuttavia asioita hyvin laajasti. Tämän kirjan, Suomen sukellus- ja ylipainelääketieteen yhdistyksen syksyllä 2017 Maltalla järjestämän sukellusonnettomuuden ensihoitokurssin (ADALS) sekä Pelastusopiston vesisukelluskurssin (2014) sisältöjen perusteella nostamme tässä työssä keskeiseksi vaaratekijäksi sukeltajantaudin, sillä lentäminen sukeltamisen jälkeen lisää tutkitusti sukeltajantaudin riskiä (Blumkin 1991; Vann, Gerth, Denoble, Pieper & Thalmann 2004; Vann, Pollock., Freiburger, Natoli, Denoble & Pieper 2007; Ruia 2015).

Turvallinen toiminta sukeltaessa takaa vesisukeltajien toimintakyvyn säilymisen sekä sukellustehtävän aikana että heidän lopun työvuoronsa aikana (Vesisukelluskurssi 2014). Sukellustehtäviin osallistuvien eri tahojen toimintaa, yhteistoimintaa sekä sukellustehtävillä vaikuttavia olosuhteita esittelemme luvussa 5. Sukellustehtävillä kertyvä typpi-kuorma purkautuu hitaasti eikä elimistöön kertynyt typpi aiheuta aina oireita. Avaamme syitä, miksi sukeltaessa ihmisen elimistöön kertyy typpeä sekä millaisia oireita tästä voi aiheutua luvussa 7. Esittelemme typen kertymistä selittävät fysiikan lainalaisuudet luvussa 6.

## **5 KESKI-UUDENMAAN PELASTUSLAITOKSEN JA VARTIOLENTOLAIVUEEN YHTEISTOIMINTA**

### **5.1 Pelastussukeltaminen**

Pelastustoimen vesisukelluksen tehtävänä on ihmisten ja omaisuuksien pelastaminen, ympäristövahinkojen torjuminen sekä virka-apusukellukset muille viranomaisille. Pelastustoimen vesisukeltaja on erityiskoulutuksen saanut palomies, joka on kelpuutettu pelastustoimintaan veden alla. (Pelastusopisto 2007.)

Pelastustoimessa on I- ja II-tason vesisukeltajia. Vapaapalokunnan toiminnassa voi olla mukana myös II-tason vesisukeltajia, mutta yhteistoiminnassa mukana olevat palomiehet ovat kaikki I-tason vesisukeltajia ja siksi tässä opinnäytetyössä keskitymme vain I-tason vesisukeltajiin. Päästäkseen I-tason pelastustoimen vesisukeltajaksi on täytynyt käydä pelastajakurssi. Sen lisäksi on pitänyt käydä joko Pelastustoimen vesisukelluskurssi, Puolustusvoimien Sukeltajakoulu tai olla ammattisukeltajan pätevyys. Kahden jälkimmäisen tapauksessa lisäksi on pitänyt saada perehdytys pelastussukellustoimintaan omalta pelastuslaitokselta. (Pelastusopisto 2007.)

### **5.2 Keski-Uudenmaan pelastuslaitos**

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos on Vantaan kaupungin hallinnoima pelastuslaitos. Se toimii kahdeksan eri kunnan alueella. Tällä alueella asuu yhteensä noin puoli miljoonaa ihmistä. Pelastuslaitoksen tehtäviä ovat hälytysten vastaanottaminen, väestön varoittaminen, uhkaavien onnettomuuksien torjuminen, onnettomuuksien ja vaarassa olevien ihmisten, ympäristön ja omaisuuksien suojaaminen, tulipalojen sammuttaminen ja vahinkojen raivaaminen sekä yllä oleviin tehtäviin liittyvät johtamis-, viestintä-, huolto- ja muut tukitoiminnot. (Keski-Uudenmaan pelastuslaitos 2018.)

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos tuottaa myös alueelleen välittömän sukellusvalmiuden. Välitön sukellusvalmius käsittää välittömästi lähtövalmiudessa olevan pelastusyksikön, jonka miehistöön kuuluu esimies, kaksi I-tason vesisukeltajaa sekä sukellusavustaja. (Sisäasiainministeriö 2007.)

### **5.3 Aikaisempi yhteistoiminta**

Ennen Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen ja Rajavartiolaitoksen aloittamaa vesisukellustehtäviin liittyvää yhteistoimintaa vesisukeltajien kuljetus sukellustehtäville tapahtui yhteistyössä Vantaalla päivystävän, silloisen Medi-helin, nykyisen Finnhems-lääkärihelikopteryksikön kanssa. 22 vuotta kestäneen yhteistoiminnan aikana hälytystehtävillä ei ilmennyt ainuttakaan sukeltajantautitapausta vesisukeltajien keskuudessa. (Suomen palopäälystöliitto 2017.) Tämä selittyy osittain sillä, että lääkärihelikopteri operoi pääasiassa sisämaan alueella, mikä tarkoittaa matalampia sukellussyvyyyksiä vesisukellustehtävillä, sekä sitä, että helikopterin lentäminen on tapahtunut pääasiassa hyvässä näkyvyydessä, mikä on antanut mahdollisuuden lentää matalammilla lentokorkeuksilla (Ahti 2018).

### **5.4 Rajavartiolaitoksen vartiolentolaivue**

Rajavartiolaitoksen alaisuudessa toimii vartiolentolaivue, joka toteuttaa Rajavartiolaitoksen lakisääteisen lentotoiminnan eli rajojen valvonnan, meripelastuksen sekä merellisen ympäristönvalvonnan. Vartiolentolaivue tukee myös muita viranomaisia etsintä- ja pelastustehtävissä, sairaankuljetuksissa, metsäpaloissa ja muissa virka-aputehtävissä. Vartiolentolaivueen meripelastushelikopterit on sijoitettu Rovaniemen, Turun ja Helsinki-Vantaan lentoasemille. (Rajavartiolaitos 2018.)

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos on aloittanut yhteistoiminnan Helsingin tukikohdassa päivystävän helikopterin kanssa. Meripelastushelikopterin hälyttämisestä vastaavat Meripelastuskeskus sekä Hätäkeskus. Meripelastushelikopterin käytöstä Suomenlahden alueella päättää Helsingin meripelastuslohkokeskus. (Harikoski 2017.)

### **5.5 Yhteistoiminta vartiolentolaivueen kanssa**

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos, Rajavartiolaitoksen Suomenlahden merivartiosto ja Vartiolentolaivue tekivät vuonna 2017 yhteistoimintamuistion. Muistiossa sovitaan pelastuslaitoksen sukeltajaresurssien kuljetuksesta helikopterilla vesipelastustehtäville. Yh-

teistoiminnan perusajatuksena on, että Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen sukeltajaresurssit ovat käytössä vesipelastustehtäviin sisävesillä ja merialueilla, pelastuslaitoksen alueesta riippumatta. (Keski-Uudenmaan pelastuslaitos & Rajavartiolaitos 2017.)

## 5.6 Vesisukellustehtävien olosuhteet

Opinnäytetyön tuotoksena syntyvän taulukon laatimisen kannalta on tärkeää kartoittaa vesisukellustehtävillä ja niiden jälkeisillä helikopterilennoilla vallitsevia olosuhteita. Verrattaessa Pelastustoimen vesisukelluksia urheilusukellukseen, merkittäviä eroja on useita. Pelastustoimella on usein kiire, sukelluksilla huono näkyvyys, vesi on kylmää sekä virtaavaa ja käytettävissä on vain vähän tietoa sukelluskohteesta. Vesipelastustehtävillä on mahdotonta etukäteen tietää sukelluksen syvyyttä tai tulevaa alttiinaoloaika. (Vesisukelluskurssi 2014.) Alttiinaoloajalla tarkoitetaan vedessä, paineen alaisena, vietettyä aikaa. Urheilusukelluksessa sukellukset ovat ennalta suunniteltuja ja ne tapahtuvat usein hyvissä olosuhteissa (Vikman 2007, 283–289). Lisäksi Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen käyttämät paineilmasäiliöt ovat 2x4 litraa tai 2x6 litraa, mikä osaltaan myös rajoittaa sukellusten maksimisyvyyttä ja -aikaa (Vesisukelluskurssi 2014; Laakso 2017). Urheilusukelluksessa on mahdollista käyttää isompia paineilmasäiliötä (Vikman 2007, 164). Sukellusten ollessa usein myös fyysisesti vähemmän rasittavia, tämä mahdollistaa urheilusukelluksilla pidemmät alttiinaoloajat kuin pelastussukelluksilla. Pelastussukelluksessa pyritään aina nousemaan suoranausulla, kun urheilusukeltajat saattavat suorittaa myös etappipysähdyksiä nousun aikana (Vikman 2007, 150–151; Vesisukelluskurssi 2014).

Taulukon suunnittelu aloitettiin määrittämällä tekijät, jotka vaikuttavat sukellustehtävien jälkeisiin suositeltaviin lentokorkeuksiin. Merkittävimmät tekijät ovat: syvyys, eli kuinka suuren paineen alla työskennellään; alttiinaoloaika, eli kuinka kauan ollaan suurenevan paineen alla; sukelluksen ja lennon välinen aika, eli kuinka kauan elimistöön kertynyttä typpeä poistuu hengityksen kautta ennen lentoa sekä lentokorkeus, eli kuinka paljon ympäröivä paine laskee vielä maanpinnan tasosta.

### Sukellustehtävän kesto

Sukelluksen kestoa rajoittavat paineilmasäiliöiden koko, sukelluksen fyysinen rasittavuus, sukeltajan hapenkulutus, sukellussyvyys, alttiinaoloaika sekä veden lämpötila (Ve-

sisukelluskurssi 2014). Sukellustehtävien arvaamattomuudesta johtuen hälytyssukelluksen alttiinaoloajan ennustaminen on käytännössä mahdotonta. Ottaen huomioon pelastussukelluksilla käytettävien paineilmasäiliöiden koon, sukelluksen fyysisen rasittavuuden sekä hukkuneen selviytymismahdollisuudet, päädyttiin työn tilaajan kanssa asettamaan taulukon maksimialttiinaoloajaksi 45 minuuttia (Laakso 2017).

### **Sukellussyvyys**

Pelastustoimen hälytyssukellustehtävien syvyyksistä ei ole olemassa tilastotietoa, mutta pelastustoimen I-tason vesisukeltajan koulutussyvyys on 30 metriä (Pelastusopisto 2007). Taulukon laadinnassa päätimme asettaa suurimmaksi syvyydeksi 33 metriä, koska Pelastustoimen vesisukelluksen turvaohjeessa (2007) mainitaan, että ”mikäli ihmishengen pelastaminen tai muu pakkotilanne niin vaatii, voidaan ohjeistuksesta tilanteen aikana poiketa edellyttäen, ettei sukeltajan terveyttä vaaranneta”.

### **Lentokorkeus**

Ilmailussa korkeusyksikkönä on yleisesti käytössä jalka (ft), joka vastaa SI-yksiköissä n. 0,3 metriä. Helikopterien mittaristot näyttävät lentokorkeuden usein nimenomaan jalkoina. Lisäksi välttääksemme sekaannusta taulukon lukemisessa sukellussyvyyksien ja lentokorkeuksien suhteen, käytämme tässä työssä lentokorkeuden yksikkönä jalkaa. Mittausreferenssinä helikopterit käyttävät keskimääräistä meren pinnan korkeutta. Helikopterin lentokorkeuteen vaikuttavat pääasiassa lentosäännöt sekä käytännön lentotoiminnassa maaesteet, vaakanäkyvyys ja pilvikorkeus. Tyypillinen hyvän kelin lentokorkeus on 1000 jalkaa. Pilvien ollessa matalampana, voidaan laskea lentokorkeutta aina 500 jalkaan asti. Matalin käytännöllinen lentokorkeus on 500 jalkaa, sillä korkeimmat esteet ovat 500 jalan korkeudella. Korkeat esteet eivät estä matalampana lentämistä, mutta hidastavat matkantekoa merkittävästi. (Harikoski 2017.)

Vartiolentolaiivueen meripelastushelikopteri pystyy lentämään mittarilentosääntöjen (Instrument flight rules, IFR) mukaisesti, mikä tarkoittaa, että lentäjät lentävät helikopteria mittareiden ja paikannusjärjestelmien avulla, ilman maanäkyvyyttä. Mittarilentoon siirtymistä harkitaan silloin, kun vaakasuora näkyväisyys laskee alle kolmeen kilometriin. Mittarilennolla matkalentokorkeus on 1100-1500 jalkaa. Mittarilennolla meripelastushelikopteri voi laskeutua lentokentälle jossa on lähestymislaitteet (Instrument landing system, ILS) ja lennonjohto tai merellä oleville aluksille tutkalähestymismenetelmällä (Air-

borne radar approach, ARA). Lennonjohto määrää helikopterin lentokorkeuden sen lähtiessä ja palatessa lentokentälle. Tämä on tyypillisesti 2000-3000 jalkaa Helsinki-Vantaan lentokentällä. Maksimilentokorkeus, johon vesisukeltajat saattaisivat joutua nousemaan, on 3000 jalkaa. (Harikoski 2017.)

### **Pinta-aika sukelluksen ja lennon välissä**

Vartiolentolaivueen ja Keski-Uudenmaan Pelastuslaitoksen yhteistoiminnasta ei ole ehtinyt karttua vielä kokemuksia, joten teemme tässä opinnäytetyössä oletuksen, ettei sukellukselta nousun ja lennon välillä ole merkittävää pinta-aikaa. Sekä työn tilaaja että Vartiolentolaivueen helikopteriryhmänjohtaja Timo Harikoski hyväksyivät näkemyksemme.



## 6 SUKELLUSFYSIKKA

### 6.1 Paine

Paine ja sen äkilliset muutokset ovat suurin yksittäinen tekijä sukeltajataudin synnyssä (Vikman 2007, 65). Paine ( $p$ ) on fysiikassa suure, joka kuvaa tietylle pinta-alalle kohdistuvaa voimaa (Young & Freedman 2004, 517):

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

SI-järjestelmän mukainen paineen yksikkö on pascal (Pa) (Young & Freedman 2004, 518). Muita yleisesti käytössä olevia yksiköitä ovat baari, 1 bar = 100 000 Pa, sekä normaali ilmanpaine eli ”atmosfääri”, 1 atm = 101 325 Pa.

Henkilöön kohdistuva paine voidaan mieltää hänen yläpuolellaan olevan massan painona. Samalla tavalla kuin Maa vetää ihmistä puoleensa, kohdistuu Maan gravitaatiovoima myös kaikkiin ilman tai veden molekyyliin (Young & Freedman 2004, 441). Veden alla kokonaispaine onkin summa ilmanpaineesta ja hydrostaattisesta paineesta, mikä voidaan siis laskea kaavalla:

$$p_{KOK} = p_{ATM} + \rho gh, \quad (2)$$

missä  $\rho$  = nesteen tiheys,  $g$  = putoamiskiihtyvyyden kiihtyvyyden vakio sekä  $h$  = nesteen syvyys (Young & Freedman 2004, 519). Nestemäinen vesi on ilmaa lähes 800 kertaa tiheämpää (MAOL 2000). Sukeltajaan kohdistuu jo noin kymmenen metrin syvyydessä kaksi kertaa suurempi paine kuin Maan pinnalla (Sipinen 2010; Vesisukelluskurssi 2014).

Yleisesti puhutaan kaasun paineesta, vaikka tarkoitettaisiinkin kaasuun kohdistuvaa painetta. Kaasun paine ja kaasuun kohdistuva paine ovat tasapainotilassa keskenään yhtä suuria, vaikkakin vastakkaissuuntaisia voimia. Mekaniikan kolmannen peruslain mukaisesti tasapainotilassa kappale, tässä tapauksessa siis kaasu, kohdistaa ympäristöönsä yhtä suuren, mutta vastakkaissuuntaisen voiman kuin siihen kohdistuu. (Young & Freedman 2004, 138.) Kappaleen ja ympäristön välinen pinta on sama, joten kaavan (1) perusteella myös paineen täytyy olla yhtä suuri.

## 6.2 Ideaalikaasujen tilanyhtälö

Idealikaasu on termi teoreettiselle mallille kaasusta, joka ei täysin vastaa mitään luonnossa esiintyvää kaasua (Zumdahl 2002, 171). Idealikaasulait ovat kuitenkin riittävän tarkkoja malleja laajan mittakaavan tarkastelussa ja ne ennustavat hyvin reaalikaasujen käyttäytymistä (Zumdahl 2002, 171). Idealikaasujen on todettu noudattavan yleistä tilanyhtälöä:

$$pV = nRT, \quad (3)$$

missä  $V$  = kaasun tilavuus,  $n$  = kaasun ainemäärä,  $R$  = kaasuvakio sekä  $T$  = kaasun lämpötila (Zumdahl 2002, 145; Young & Freedman 2004, 685–686). Tämä yhtälö kertoo mm. että vakiolämpötilassa ja -tilavuudessa kaasun paine on suoraan verrannollinen sen ainemäärään eli molekyylien lukumäärään. Täten esimerkiksi happipullossa, jonka paine on kaksinkertainen, on myös kaksi kertaa enemmän happimolekyylejä.

## 6.3 Daltonin laki

Hälytyssukellustehtävillä sukeltajat hengittävät paineistettua ilmaa (Laakso 2017). Ilma on kaasuseos, joka koostuu pääasiassa typestä ja hapesta (MAOL 2000). Typen osapaineen kasvu keuhkoissa aiheuttaa typen kertymisen sukeltajan elimistöön (Henry 1803). Koska ilma on kaasuseos, on selvittävää, miten paineen muutos vaikuttaa kaasuseoksen kaasujen osapaineisiin. Kaasuseoksen kaasujen osapaineet määräytyvät Daltonin (1802) lain mukaisesti siten, että kaasuseoksen kokonaispaine on summa sen jokaisen kaasun osapaineista:

$$p_{kok} = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

Mikäli kaasuseoksen kaasut ovat idealikaasuja, idealikaasujen tilanyhtälön, kaava (3), avulla voidaan todeta kaasun paineen, tai tässä tapauksessa osapaineen, olevan vakiolämpötilassa ja -tilavuudessa suoraan verrannollinen kaasun ainemäärään:

$$p_{kok} = \left(\sum_{i=1}^n n_i\right) \frac{RT}{V} \quad (5)$$

Kokonaispaineen muuttuessa jokaisen kaasuseoksen sisältämän kaasun osapaine muuttuu siis samassa suhteessa. Toisin sanoen kokonaispaineen kaksinkertaistuessa kaksinkertaistuu myös jokaisen seoksen kaasun osapaine.

#### **6.4 Henryn laki**

Henryn (1803) lain mukaan nesteen ja kaasun rajapinnalla nesteeseen liukenevan kaasun määrä ja liukenemisnopeus ovat suoraan verrannollisia kaasun osapaineeseen. Vapaata kaasua liukenee koko ajan nesteeseen ja toisaalta kaasua myös vapautuu nesteestä koko ajan, tasapainotilassa nämä tapahtuvat yhtä nopeasti (Zumdahl 2002, 818). Nesteessä sisällyttävän vapaan kaasun määrä kasvaa siis kyseisen kaasun osapaineen kasvaessa.

Paineen kasvaessa typpiä liukenee ilmasta nesteeseen siis runsaammin ja paineen pienentyessä sitä taas vapautuu nesteestä. Paineen pienentyessä nopeasti nesteessä tapahtuu lisäksi ydintyminen eli nukleatio, jolloin vapautuva kaasu muodostaa nesteeseen kuplia (Sear 2007).

## 7 SUKELTAJANTAUTI

### 7.1 Sukeltajataudin patofysiologia

Hengitysilma – sekä yleisimmin sukelluksissa käytetty paineilma (Jama 2017b) – ovat kaasuseoksia, jotka sisältävät 78 %:a typpeä ja 21 %:a happea (MAOL 2000). Keski-Uudenmaan pelastussukelluksissa hengitettävä kaasu on aina paineilmaa (Laakso 2017). Keuhkojen alveoleissa hengitysilman happi sitoutuu aktiivisesti veren hemoglobiiniin (Leppäluoto, Kettunen, Rintamäki, Vakkuri, Vierimaa & Lätti 2015, 209). Sisäänhengityksen aikana keuhkojen kautta verenkiertoon liukenee hengitysilmaasta myös vapaita kaasumolekyylejä (Leppäluoto ym. 2015, 209). Veden alla paine keuhkoissa kasvaa, jolloin Daltonin (1802) lain mukaisesti myös typpikaasun osapaine kasvaa ja edelleen Henryn (1803) lain mukaisesti sitä liukenee verenkiertoon runsaammin ja nopeammin kuin normaaleissa paineolosuhteissa. Verenkierrosta typpimolekyylit diffundoituvat, eli molekyylit siirtyvät suuremmasta konsentraatiosta pienempään, edelleen kudoksiin (Vikman 2007, 76; Sipinen 2010).

Normaaleissa paineolosuhteissa typpi ei kerry kudoksiin, sillä se poistuu verenkierrosta uloshengityksen aikana (Sipinen 2010). Mitä syvemmällä ja pidempään sukelletaan, sitä enemmän typpeä kertyy kudoksiin. Fyysinen työnteko lisää sukeltajan hapen tarvetta, mikä taas nostaa hengitystiheyttä. Hengitystiheyden kasvu taas edistää typen kertymistä kudoksiin (Pollock 2018).

Sukeltajantauti eli dekompressiotauti aiheutuu liian nopeasta siirtymisestä korkeasta paineesta pienempään (Vikman 2007, 123; Sipinen 2010). Näin käy esimerkiksi syvän sukelluksen jälkeen, kun pintaan nouseminen tapahtuu liian nopeasti. Paineen nopea lasku aiheuttaa verenkierrossa olevan typpikaasun ydintymisen, eli kaasukuplien muodostumisen (Balestra & Germonpré 2017). Sukeltajataudin oireet aiheuttavat verenkiertoon muodostuneet typpikuplat, jotka hidastavat ja estävät veren kulkua erityisesti pienissä verisuonissa (Sipinen 2010). Typpikuplien syntymekanismi on, vallitsevan käsityksen mukaan, kudoksista poistuvan typen kerääntymistä ensin pienemmiksi ns. mikrokupliksi laskimoiden seinämiin, jotka kasvavat suuremmiksi, mikroskoopilla havaittaviksi, kupliksi paineen laskiessa (Wienke 1989; Sipinen 2010). Kuplien määrän on empiirisesti havaittu olevan suurimmillaan n. 30 minuutin kuluttua sukelluksesta. Kuplien muodostumisen

huippuarvoja on kuitenkin mitattu vielä useita tunteja sukelluksen jälkeen. (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017.)

Typpikuplien, ja siten sukeltajantaudin, syntymistä ehkäistään nousemalla veden alla riittävän hitaasti, jolloin typpi ehtii poistua elimistöstä uloshengitysten aikana. Syvien tai pitkien sukellusten jälkeen suoritetaan myös painetta tasaavia välipysähdyksiä, jotka edelleen hidastavat paineen muutosta. Välipysähdysten suunnitteluun on käytössä nousu-  
taulukoita sekä sukellustietokoneita. (Vikman 2007, 123–138, 170)

Typpikuplien havaitseminen itsessään ei tarkoita vielä sukeltajantautia. Vasta oireiden ilmaannuttua aletaan puhumaan varsinaisesta sukeltajantaudista. Oireita voi kuitenkin olla vaikea havaita ja yhdistää sukeltajantautiin. (Vikman 2007, 141–142; Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017.)

## **7.2 Sukeltajantaudin oireet**

Sukeltajantaudin oireet alkavat yleensä tuntien kuluttua noususta. Oireiden kirjo on laaja ja riippuu usein siitä, minne typpikuplia on muodostunut. Yleisimpiä oireita ovat nivelkipu, kutina, pistely, kihelmöinti, sekavuus, väsymys ja huimaus. Oireet ovat usein epä-määräisiä, mutta hyvällä jälkiseurannalla hoito päästään aloittamaan ajoissa. (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017.)

Vakavissa tapauksissa sukeltajantauti voi aiheuttaa myös keuhko- ja sydänoireita, kuten yskää, hengenahdistusta tai rintakipua, kuplien määrän kasvaessa keuhkoverenkierrossa. Myös virtsaretentio on merkki vaikeasta sukeltajantautitapauksesta. Hoitamaton sukeltajantauti voi johtaa jopa sukeltajan kuolemaan. (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017.)

## **7.3 Sukeltajantaudin hoito**

Sukeltajantaudin ensihoitona käytetään välitöntä happihoitoa 100%, paineistamattomalla hapella. Tämän menetelmän toimintamekanismia käsittelemme tarkemmin luvussa 9.

Potilas siirretään mahdollisimman nopeasti painekammioon, jossa ylipaineen avulla pyritään estämään typpikuplien muodostuminen. Happihoito jatkuu koko kuljetuksen ajan. (Vikman 2007, 143–144; Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017.)

Tyks on ainoa sairaala Suomessa, jossa tehohoitoa vaativan potilaan ylipainehoito on mahdollista (Tyks 2018). Oulun pelastuslaitoksella ja Kuopion pelastusopistolla on myös painekammio, jossa ylipainehoitoa voidaan antaa. Puolustusvoimien sukeltajien käytössä on lisäksi Upinniemen painekammiokeskus. (SSLY 2018.)

## 8 LENTÄMISEN VAIKUTUS SUKELTAJANTAUDIN SYNTYYN

### 8.1 Lentokone lentojen vaikutus

Yhtä lailla kuin liian nopea nousu normaalia korkeammasta paineesta Maan pinnalle normaalipaineeseen, voi nousu normaalipaineesta matalampaan, esimerkiksi helikopterilennon aikana, aiheuttaa sukeltajantautia. Käytännössä pelkkä lentäminen helikopterien lentokorkeuksissa ei aiheuta sukeltajantautia, sillä nousu Maan pinnalta 10000 jalan, eli 3050 metrin, korkeuteen aiheuttaa yhtä suuren paineen muutoksen kuin sukellus neljän metrin syvyyteen. Sukeltamisen jälkeen lentäminen lisää kuitenkin sukeltajantaudin riskiä (Blumkin 1991). 8000 jalan korkeutta vastaavaan paineeseen paineistetuissa lentokoneiden matkustamoissa lentämisen on havaittu lisäävän typpikuplien kokoa ja määrää (Vann ym. 2004; Vann ym. 2007).

Divers Alert Networkin työpajassa (Sheffield & Vann 2002) on tehty voimassa oleva suositus lentokonematkustamisesta sukeltamisen jälkeen. Suosituksen mukaan lentäminen 18 tuntia viimeisen sukelluksen jälkeen on turvallista. Terveystieteiden tutkimuslaitoksen (THL) matkailijoille tehty suositus pohjautuu samaan suositukseen (Suvilehto & Holmström 2016). Uudemmissa tutkimuksissa sukeltajien verenkierron on kuitenkin havaittu kuplia vielä 24 tuntia viimeisen sukelluksen jälkeen ja tutkijat ovatkin kyseenalaistaneet nykyisen suosituksen (Cialoni, Pieri, Balestra & Marroni 2015).

Vaikka nousu sukelluksen aikana olisikin tehty määritettyjen nousutaulukoiden mukaisesti eikä sukeltajalla ole sukeltajantautiin viittaavia oireita, saattaa hänen verenkiertoonsa edelleen olla typen muodostamia mikrokuplia (Wienke 1989; Sipinen 2010). Lennon aikana nämä kuplat edelleen kasvavat ja voivat aiheuttaa sukeltajantaudin syntymisen (Vann ym. 2007; Ruia 2015).

### 8.2 Helikopterilennot sukeltamisen jälkeen

Alan tutkimukset keskittyvät pääasiassa lentokone lentoihin, mutta vaikka helikopterilla lentäminen eroaa suuresti lentokoneella lentämisestä, kriittisin sukeltajantaudin syntymi-

seen vaikuttava tekijä on paine, joten näiden liikkumismuotojen vertailussa voidaan keskittyä vain paineen vertaamiseen. Tyypillisissä vartiolentolaivueen yhteistoimintatehtävissä lentokorkeus on huomattavasti matalampi kuin lentokoneen matkustamon painetta vastaava 8000 jalkaa (Harikoski 2017). Tällöin myös paineen muutos ja siten sukeltajan taudin syntymisen riski on pienempi.

### **8.2.1 Nykyinen ohjeistus lentämisestä sukeltamisen jälkeen**

Rajavartiolaitoksen (2017) Vartiolentolaivueen lentotoimintakäsikirjan nykyinen ohjeistus ei anna lähtökohtaisesti lentää sukeltamisen tai painekammioaltistuksen jälkeen 48 tuntiin. Poikkeusolosuhteissa voi sukeltaja olla helikopterin matkustaja jo ennen 48 tunnin täyttymistä. Poikkeusolosuhteissakin lentokorkeuksiin sukelluksen jälkeen vaikuttaa sukellussyvyys sekä alttiinaoloaika. Jos sukellussyvyys on, alle 10 metriä ja alttiinaoloaika on alle 30 minuuttia voi sukeltaja lentää ohjeistuksen mukaan heti sukeltamisen jälkeen enintään 1000 jalan korkeudessa seuraavan 24 tunnin aikana. Mikäli sukellussyvyys on 10-20 metriä ja alttiinaoloaika on alle 10 minuuttia, voi sukeltaja lentää aikaisintaan 2 tunnin jälkeen enintään 1000 jalan korkeudessa. Kaikissa muissa sukellusprofiileissa saa lentää aikaisintaan 24 tunnin kuluttua. 24 tunnin jälkeen maksimi lentokorkeus on 1000 jalkaa. 48 tuntia sukeltamisen jälkeen kaikki lentäminen on sallittua. Poikkeuksena edellä mainitusta lentorajoitteista ovat sukellusonnettomuustilanteet, joissa painekammiohoitoa vaativa sukeltaja voidaan evakuoida hoitoon ilmaitse lentokorkeuden ollessa enintään 1000 jalkaa. (Rajavartiolaitos 2017.) Ohjeistus on peräisin Sukelluslääketieteenkeskuksesta, joka on pitäytynyt tässä ohjeistuksessa tarkemman tieteellisen tutkimusnäytön puuttuessa (Wuorimaa 2018). Ohjeistus kaavion muodossa on esitetty liitteessä 1.

### **8.2.2 Yhdysvaltain Merivoimien ohjeistus**

Ainoat löytämämme lähteet, jotka käsittelevät lentämistä helikopterin tyypillisissä lentokorkeuksissa, ovat tämän hetkinen Rajavartiolaitoksen (2017) lentotoimintakäsikirjan ohjeistus sekä U.S. Navy Diving manuaalit. U.S. Navy Diving manuaalit ovat Naval sea system commandin (1993, 2005, 2008, 2016) julkaisemia Yhdysvaltain Merivoimien käyttämiä sukelluksen ohjekirjoja. Niitä on julkaistu seitsemän eri versiota, joissa lentämistä koskeva ohjeistus on päivitetty kahdesti. Tässä opinnäytetyössä esittelemme nämä



kaikki kolme eri ohjeistusta. Päädyimme käyttämään taulukossamme toiseksi uusinta versiota eli U.S. Navy Diving manuaalia (Naval sea system command 2005), jonka helikopterilentoja sukeltamisen jälkeen koskevat taulukot 9-6 (Liite 2) ja 9-7 (Liite 3) on päivitetty vuonna 1999. Emme löytäneet tietoa, mihin ohjeistukseen tehdyt muutokset perustuvat uusimmassa versiossa. Lisäksi uusimmassa versiossa sallittiin korkeampia lentokorkeuksia kuin vuoden 1999 ohjeistuksessa (Naval sea system command 2005; Naval sea system command 2008).

Arvioimme U.S. Navy Diving manuaalin vakuuttavaksi lähteeksi, koska siihen viittaavat useat alan tutkimukset ja artikkelit (Pollock, Natoli, Gerth, Thalmann & Vann 2003; MacDonald, O'Donnell, Allan, Breeck, Chow, deMajo, Peerbaye, Sadawadsky & Wax 2006; Vann 2011). Sen lisäksi painekammiohoidoissa ympäri maailman käytetään U.S. Navy Diving manuaalin painekammiohoitotaulukkoja (Vann 2010; Sipinen 2010; Suvilehto, Arola & Valtonen 2016).

Vanhin ohjeistus oli Yhdysvaltojen Merivoimien ns. 2300ft rule. Tämä tarkoittaa, että ennen vuotta 1999 Yhdysvaltojen Merivoimat suosittelivat paineilmailla sukeltaessa odottamaan 2 tuntia suoranosusukelluksen tai odottamaan 12 tuntia etappisukelluksen jälkeen ennen reittilennolle lähtemistä. Ohjeistuksen mukaan, jos sukeltamisen jälkeinen lentäminen tapahtuu maksimissaan 2300 jalassa, voidaan lentää heti ilman pinta-aikaa minkä tahansa paineilmasukelluksen jälkeen. (Naval sea system command 1993.)

Seuraava päivitys sukeltamisen jälkeistä lentämistä käsitellään U.S. Navy Diving manuaalin osiossa ”Ascent to altitude after diving/ Flying after diving”. Otimme yhteyttä Yhdysvaltojen Merivoimien Navy experimental diving unit’iin (NEDU) selvittääksemme, mihin Diving manuaaleissa julkaistut taulukot perustuvat. NEDU:sta meille lähetettiin Edward Flynn’n (2004) artikkeli ”1999 U.S. Navy procedures for ascent to altitude after diving”. Kyseisessä artikkelissa avataan, miten taulukko 9-6 on luotu. Tutkimusmateriaalia taulukkoon on saatu Duken yliopistossa Richard Vann’n (2004) tekemistä painekammio tutkimuksista ”Experimental trials to assess the risks of decompression sickness in flying after diving. Tutkimuksen materiaali perustuu 495 koehenkilölle tehtyyn 802 painekammio kokeeseen. Kokeissa käytettiin lentokorkeutena pelkästään reittilennon maksimipaineistusta joka vastaa 8000 jalkaa. (Vann 2004.) Tulosten perusteella tehdyistä olettamuksista laskettiin matemaattisesti oletetun tyyppisen puoliintumisajan perusteella matalampien korkeuksien turvalliset pinta-ajat ennen lennolle lähtöä (Flynn 2004).

Taulukoita on kuitenkin päivitetty U.S. Navy Diving manuaalin revision 6:ssa, joka on ilmestynyt vuonna 2008. Päivityksen yhteydessä tarvittavia pinta-aikoja on lyhennetty alkuperäiseen taulukkoon verrattuna. (Naval sea system command 2005; Naval sea system command 2008). Emme saaneet tai löytäneet tietoa, miksi taulukoita on päivitetty vuonna 2008 riskialttiimpaan suuntaan, joten jätimme uusimman päivityksen vähemmälle huomiolle.

### **8.2.3 Vertaus Rajavartiolaitoksen nykyohjeistukseen**

Vertasimme U.S. Navy Diving manuaalin (Naval sea system command 2005) taulukoita Rajavartiolaitoksen nykyisen ohjeistuksen antamiin raja-arvoihin ja huomasimme niiden poikkeavan varsin merkittävästi toisistaan. Esimerkiksi Yhdysvaltain Merivoimien taulukko antaisi alle 10 metrin sukelluksella ja 30 minuutin altiinaoloajalla luvan lentää 8000 jalassa, kun Rajavartiolaitoksen nykyinen ohjeistus antaisi lentää vain 1000 jalan korkeudessa. 20 metrin sukelluksen ja 10 minuutin altiinaoloajan jälkeen taulukko antaisi lentää 8000 jalassa välittömästi, kun taas Rajavartiolaitoksen nykyinen ohjeistus antaisi lentää 1000 jalan korkeudessa kahden tunnin kuluttua. (Naval sea system command 2005; Rajavartiolaitos 2017.) Tästä yhteenvetona voidaan todeta Rajavartiolaitoksen nykyisen ohjeistuksen olevan erittäin pidättyväinen tai vastaavasti Yhdysvaltojen Merivoimien ohjeistuksen olevan siihen nähden hyvin riskialtis.

Rajavartiolaitoksen nykyisen ohjeistuksen pääongelma käy ilmi, jos ajatellaan tapausta, jossa ilmaisuusää vaatii mittarilentoa ja suoritetaan hälytyssukellus esimerkiksi 30 metrin syvyyteen 5 minuutin ajaksi, jonka jälkeen sukeltaja ei saa lentää kuin vasta 48 tunnin jälkeen (Rajavartiolaitos 2017). Vastaavasti U.S. Navy Diving manuaalin ohjeistus antaisi lentää välittömästi 9000 jalassa (Naval sea system command 2005).

### **8.2.4 Lentämisen vaikutus sukeltajantaudista kärsiviin potilaisiin**

Sukeltajantaudista kärsivien potilaiden siirtämisestä ilmateitse helikopterilla löytyy paremmin tilastotietoa kuin oireettomien sukeltajien lentämisestä. Japanissa vuosina 2009-

2013 28 sukeltajantautipotilasta on siirretty painekammiohoitoon 1000 jalan lentokorkeudessa (Oode, Yanagawa, Omori, Osaka, Ishikawa & Tanaka 2015). Lennon aikana potilaille annettiin neste- ja happihoitoa sekä heitä monitoroitiin jatkuvasti. Tilastojen analyysissä potilaiden vitaaliarvoissa ei huomattu merkittäviä muutoksia, mutta potilaista kahdeksan kuvasi oireidensa parantuneen lennon aikana. (Oode ym. 2015.)

Toisessa tutkimuksessa kuudesta potilaasta kolmen oireet pahenivat lentokorkeuden noustua 700:sta 1000 jalkaan. Toiset kolme potilasta ei kokenut voimissaan muutosta lentokorkeuden pysyessä alle 500 jalan. (Reddick 1978.)

Mainitut tutkimukset ovat varsin suppeita, eikä niiden perusteella voi tehdä perusteltuja johtopäätöksiä. Hälytyssukellustehtävien jälkeen vesisukeltajat voivat olla myös oireettomia pitkään, vaikka sukellus itsessään heille aiheuttaisi sukeltajantaudin (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017).

## 9 TYPPIKUORMAA PIENENTÄVÄT HOITOMUODOT

Opinnäytetyön tilaaja pyysi selvittämään myös, miten typen poistumista sukeltajan elimistöstä voisi nopeuttaa ennen lentoa tai lennon aikana. Tämä on tärkeää, sillä hälytys-sukelluksen jälkeen työvuorossa sukelluksen tehnyt palomies voi joutua tekemään suuriakin fyysisiä ponnistuksia muilla hälytystehtävillä. Sukeltamista koskevissa ohjeistuksissa kehoitetaan nimenomaan välttämään fyysistä ponnistelua sukelluksen jälkeen (Pelastusopisto 2007; SSLY 2017). Toisaalta elävää ihmistä vedestä pelastettaessa, pintaan pyritään nousemaan aina suoraan ilman painetta tasaavia välipysähdyksiä (Vesisukelluskurssi 2014). Tällöin vesisukeltajien riski sairastua sukeltajantautiin kasvaa ja typpikuormaa on syytä vähentää jo ennen oireiden ilmaantumista.

Selvittäessämme mahdollisia keinoja typpikuorman purkamiseksi haastattelimme ylilääkäri Timo Jamaa (2017a), joka kertoi, että ”100 % hapen hengittäminen heti sukelluksen jälkeen 30-60 min vähentää typpikuormaa ja sukeltajantaudin riskiä ennen lentoa, jos on aivan pakko lentää”. 100% happea käytetään myös sukeltajantaudista kärsivien potilaiden ensihoitona (Longprhre, Denoble, Moon, Vann & Freiburger 2007; Pelastusopisto 2007; Vikman 2007, 143; SSLY 2017). Hapen hengittäminen vähentää myös jäännöstypen määrää sukeltajantaudista kärsivän elimistössä (Castagna, Gempp & Blatteau 2009; SSLY 2017; Jama 2017a). Hapen hengittäminen sukelluksen aikana vähentää kuplien määrää myös terveiden sukeltajien elimistössä (Pontier & Lambrechts 2014).

Hapen kyky purkaa jäännöstyppeä, hengitysilmaa tehokkaammin, perustuu typen pienempään osapaineeseen keuhkoissa, jolloin typpeä poistuu verenkierrosta Henryn (1803) lain mukaisesti. Toinen vaikuttava tekijä on hapen kyky sulkea keuhkojen oikovirtausradat (AV-shuntit), vähentäen typpikuplien pääsyä laskimoista valtimoihin. (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017). Tutkimuksia, joissa olisi tutkittu 100% hapen käyttöä terveillä henkilöillä sukeltamisen jälkeen ennen lennolle lähtöä tai lennon aikana, ei löytynyt.

Kahdeksalla sukeltajalla suoritetun tutkimuksen mukaan sokeri-suolaliuoksen juominen ennen sukellusta vähensi typpikuplien määrää sukeltajien kehossa sukelluksen jälkeen. (Gempp, Blatteau, Pontier, Balestra & Louge 2009.) Näyttö aiheesta on kuitenkin vielä heikkoa. Toisaalta nestehukka lisää sukeltajantaudin riskiä (Sipinen 2010), joten vesisukeltajien on syytä varmistaa ainakin riittävä nesteytys ennen sukellustehtävää.

## 10 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

### 10.1 Metodologiset lähtökohdat

Opinnäytetyön tilaajan toiveena oli konkreettinen taulukko turvallisista lentokorkeuksista vesisukeltajille. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa konkreettinen tuotos, joten kyseessä on toiminnallinen opinnäytetyö (Vilka & Airaksinen 2003). Tuotos perustuu aina tutkittuun tietoon (Vilka & Airaksinen 2003). Tutkittua tietoa hankimme kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntijahaastatteluiden avulla.

Tuotoksen lisäksi keskeistä opinnäytetyön tekemisessä on raportointi, jossa esitetään tuotoksen perustana oleva teoria sekä tuotoksen syntyprosessi. Tekijöiden oma arvio ja pohdinta tuotoksesta ja sen tekemisestä sekä heidän saamansa palaute sekä tuotoksesta että yhteistyöstä työelämätahon kanssa ovat tärkeä osa ammatillista kehittymistä ja opinnäytetyön raporttia (Vilka & Airaksinen 2003.)

### 10.2 Opinnäytetyön eteneminen

Opinnäytetyöprosessi käynnistyi toukokuussa 2017 aiheen valinnalla. Opinnäytetyön aiheen saimme Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselta. Toukokuussa järjestettiin myös ope-  
tussuunnitelmaan kuuluva tiedonhakukoulutus, jossa pääsimme ohjatusti etsimään aiheeseen liittyvää teoretietoa.

Tapasimme elokuussa 2017 työelämäkontaktimme Vantaalla. Palaverissa saimme tarkan rajauksen siihen, mitä työn tilaaja meiltä toivoi: helppolukuinen taulukko turvallisista lentokorkeuksista sukeltamisen jälkeen sekä teoretietoa typpikuorman purkamiseen käytetyistä hoitomuodoista. Esittelimme työelämäpalaverissa saamamme tehtävänannon sekä aiheeseen liittyvää teoriaa Tampereen ammattikorkeakoululla järjestetyssä ideaseminaarissa syyskuun alussa. Palaverin ja ideaseminaarista saamamme palautteen pohjalta laadimme tutkimussuunnitelman opinnäytetyöprosessimme tukirangaksi. Prosessin aikana palasimme useasti tähän suunnitelmaan kyetäksemme rajaamaan työmme mahdollisimman tarkasti työn tilaajan toiveiden mukaisesti.

Lokakuussa 2017 kokoonnuimme jälleen Tampereen ammattikorkeakoululle suunnitelmaseminaariin, jossa esittelimme tutkimussuunnitelmamme. Seminaarista saamamme palautteen pohjalta teimme vielä tarvittavat muutokset suunnitelmaan ennen tutkimusluvan hakemista. Saatuamme tutkimusluvan vielä samassa kuussa, aloimme valmistella opinnäytetyön tuotosta. Suunnitelman tekovaiheessa oli meille jo käynyt selväksi, että varsinaisia tutkimusartikkeleita opinnäytetyömme aiheeseen liittyen on vähän ja pääasiassa englanninkielisiä. Alusta asti kiinnitimme erityistä huomiota lähteidemme luotettavuuteen ja pohdimme keskenämme usein siitä, millaisiin tutkimuksiin tuotoksemme perustuu.

Tammikuussa 2018 laadimme valmiin tuotoksemme synnystä ja perusteista lyhyen esitelmän, jonka lähetimme usealle suomalaiselle sukellusalan asiantuntijalle. Saamiemme vastausten perusteella täydensimme opinnäytetyön raporttia ja tiedotimme vastauksista myös työn tilaajaa.

Helmikuussa 2018 Tampereen ammattikorkeakoululla järjestetyssä käsikirjoitusseminaarissa esittelimme tuotoksemme, sen saaman palautteen sekä sen hetkisen raporttimme. Tämän jälkeen jatkoimme raportin työstämistä itsenäisesti.

### **10.3 Tiedonhaku**

Opinnäytetyöprosessin aloitimme etsimällä tietoa terveysalan tietokannoista. Tarkempi kuvaus tiedonhausta ja sen tuloksista löytyy liitteestä 4. Systemaattinen tiedonhaku ei tuottanut opinnäytetyöhömmme liittyviä artikkeleita lainkaan. Tamkin kirjaston informaatikkojen ja asiantuntijakontaktiemme avulla löysimme kuitenkin tässä työssä käyttämämme artikkelit. Kansainvälisessä sukelluksessa U.S. Navy Diving manual (Naval sea system command 2005) on luotettu lähde (Pollock, Natoli, Gerth, Thalmann & Vann 2003; MacDonald, O'Donnell, Allan, Breeck, Chow, deMajo, Peerbaye, Sadawadsky & Wax 2006; Vann 2011). Samasta Diving manualista löytyy myös taulukko turvallisista lentokorkeuksista sukelluksen jälkeen, johon myös tuotoksemme pohjautuu.

Löytämäämme tietoa täydensimme ja tarkensimme asiantuntijahaastatteluiden avulla. Haastattelut suoritimme kasvotusten tai sähköpostitse. Esittelimme kaikille haastateltaville itsemme, opinnäytetyömme tehtävän ja tarkoituksen sekä pyysimme luvan käyttää näitä haastatteluita lähdemateriaalina.

#### **10.4 Helppolukuinen taulukko**

Työn tilaajan toiveena oli, että haemme nykyaikaista tietoa lentämisestä sukeltamisen jälkeen ja muodostamme niistä mahdollisimman selkeästi luettavissa olevan taulukon. Oman taulukon kokoamisessa päätimme käyttää vuoden 2005 U.S. Navy Diving manuaalin tietoja, koska se oli ainoa taulukko, jonka taustat tiesimme. Käytimme oman taulukkomme luomisessa apuna U.S. Navy Diving manuaalin taulukoita 9-6 (Liite 2) ja 9-7 (Liite 3).

Taulukoita luetaan siten, että taulukosta 9-7 luetaan ensimmäisestä pystysarakkeesta sukellussyvyys ja siirrytään siitä oikealle, kunnes saavutetaan sukelluksen alttiinaoloaika. Ensimmäiseltä riviltä luetaan sitten alttiinaoloajan kohdalta kertausryhmää vastaava kirjain. Yhdistämällä taulukossa 9-6 tämä kertausryhmä aiottuun lentokorkeuteen luetaan taulukon vastaavasta solusta vaadittu pinta-aika. Taulukon käytön koimme työlääksi ja vaativan lyhyen tutustumisen, mikäli se ei ole jatkuvasti käytössä. Tavoitteenamme olikin tiivistää näiden kahden taulukon tieto yhteen taulukkoon, josta näkisi välittömästi mahdolliset lentokorkeudet ilman pinta-aikaa.

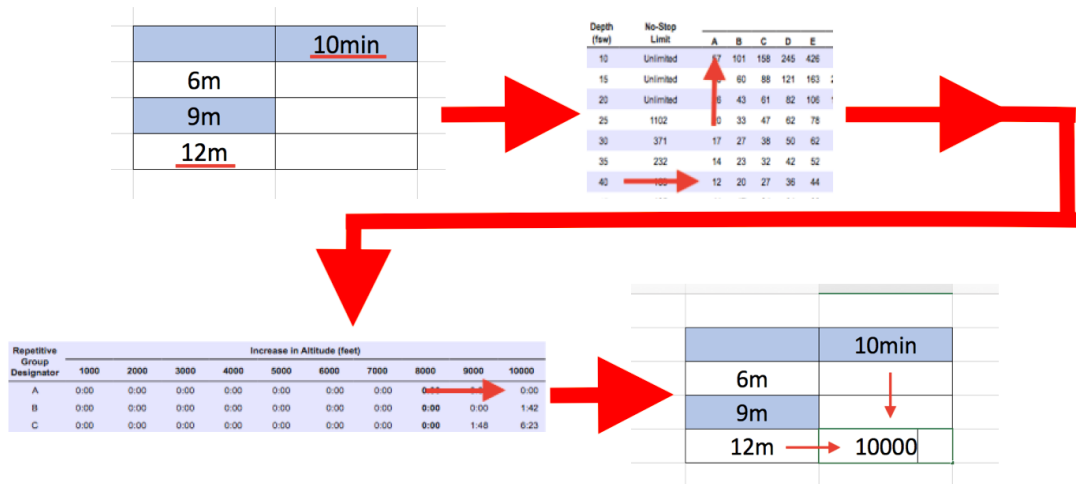
Yhteen taulukkoon ei mahdu yhtä paljon tietoa kuin kahteen, mutta koska vesisukeltajien pinta-aika pyritään lähtökohtaisesti minimoimaan, huomioimme taulukossa vain ne tapaukset, jolloin lentää saa välittömästi sukelluksen jälkeen. Mikäli sukelluksen jälkeen jouduttaisiin joka tapauksessa odottamaan ennen lentämistä, on tilanteessa oletettavista myös enemmän aikaa tarkistaa vaadittava odotusaika, eikä tilanteessa välttämättä tarvita tavoitteenamme olevaa nopeasti luettavissa olevaa taulukkoa.

Pohdimme myös muita vaihtoehtoja tiedon esittämiseksi. Erilaiset kuvaajat, kuviot ja kaaviot ovat tehokkaita ja nopeita tiedon välityksessä sekä kehityksen ja trendien havainnollistamisessa (Kuusela 2015). Graafisten ratkaisujen nopeus liittyy kuitenkin suurien tietomäärien hallintaan. Turvallisten lentokorkeuksien osalta ei haluta tietää kerrallaan

kuin yhden solun, taulukon ruudun, sisältö. Se, mikä vastaa juuri kyseisen sukelluksen syvyyttä ja alttiinaoloaika. Tällaisen tiedon esittämisessä taulukko on paras vaihtoehto (Kuusela 2015).

## 10.5 Taulukon valmistus

Aloitimme taulukon luomisen luomalla taulukolle raamit. Raamit taulukolle teimme asettamalla yläriville aikajanan, jossa alttiinaoloaika on merkitty 5 minuutin välein 45 minuuttiin asti. Jos 9-7 paineilmanousutaulukon alttiinaoloajat eivät osuneet 5 minuutin välein, käytettiin aina seuraavaa korkeampaa kertausryhmää. Pystysarakkeeseen teimme syvyysjanan, josta luetaan sukelluksen suurin syvyys. Laitoimme janan alkamaan 6 metristä ja merkkasimme syvyydet 3 metrin välein. Sama käytäntö on ollut myös muissa nousutaulukoissa (Vesisukelluskurssi 2014). Taulukon suurin syvyys on 33 metriä, 30 metrin ollessa pelastussukeltajien koulutussyvyys (Pelastusopisto 2007). Taulukkoon luotiin sisältö katsomalla taulukon raameista alttiinaoloaika ja syvyys, minkä jälkeen katsottiin U.S. Navy Diving manuaalin 9-7 ja 9-6 taulukoista näiden antama lentokorkeus.



Kuva 1. Taulukon rakentamisprosessi.

Taulukkoa luetaan katsomalla sukellustietokoneesta sukelluksen suurin syvyys sekä alttiinaoloaika. Yhdistämällä taulukossa nämä suureet saadaan suurin sallittu lentokorkeus jalkoina. Taulukon käyttö edellyttää hallittua sukelluksen nousunopeutta, joka on 10 metriä per minuutti (Pelastusopisto 2007; Vikman 2007, 124).



Asetimme taulukkopohjaan värit verrataksemme U.S. Navy Diving manuaalin pohjalta luomaamme taulukkoa Vartiolentolaiivueen nykyiseen poikkeustilanneohjeistukseen sukelluksen jälkeisestä lentämisestä seuraavasti: vihreä väri taulukossa kertoo, milloin vartiolentolaiivueen nykyisellä ohjeistuksella saa lentää välittömästi, maksimissaan 1000 jalassa. Keltainen väri kertoo, milloin sukeltaja saisi lentää aikaisintaan 2 tunnin kuluttua 1000 jalassa.

Taulukko 1. Vartiolentolaiivueen nykyisen ja U.S. Navy Diving manualin ohjeistusten vertailu.

	10min	15min	20min	25min	30min	35min	40min	45min
6m	10000	10000	10000	9000	9000	9000	9000	9000
9m	10000	9000	9000	9000	8000	8000	8000	7000
12m	9000	8000	8000	6000	5000	5000	4000	4000
15m	8000	6000	6000	5000	4000	4000	3000	3000
18m	8000	6000	5000	4000	3000	3000	2000	2000
21m	6000	5000	4000	4000	3000	3000	1000	No go
24m	6000	5000	4000	3000	2000	1000	No go	No go
27m	6000	4000	3000	2000	No go	No go	No go	No go
30m	5000	4000	3000	No go	No go	No go	No go	No go
33m	5000	3000	No go	No go	No go	No go	No go	No go

Värien avulla pyrimme havainnollistamaan, kuinka poikkeavia Rajavartiolaitoksen nykyinen ja Yhdysvaltojen Merivoimien ohjeistukset ovat toisistaan. Sininen pohjaväri taulukossa on vain rivien luvun helpottamiseksi. ”No go” tarkoittaa sitä, ettei sukeltaja voi lentää välittömästi sukeltamisen jälkeen, vaan on syytä harkita maakuljetusta.

Koska erot taulukoiden välillä ovat suuret, päätimme edelleen lisätä luomamme taulukon turvallisuutta puolittamalla lentokorkeudet. Taulukon maksimilentokorkeus 10000 jalkaa on myös huomattavasti suurempi kuin meripelastushelikopterin toimintakorkeus, joka on tyypillisesti 500-3000 jalkaa (Harikoski 2017). Puolittamalla arvot, lentokorkeudet vastaavat paremmin Suomen oloissa käytettäviä lentokorkeuksia. Samalla asetimme suurimmaksi syvyydeksi 24 metriä, koska 25 metrin sukelluksen jälkeen yli 90% sukeltajista löytyy laskimopuolelta typpikuplia (Jama 2017a; SSLY 2017). Näin loimme alla olevan taulukon 2.

Taulukko 2. Taulukon lentokorkeudet ovat puolet alkuperäisistä korkeuksista.

	10min	15min	20min	25min	30min	35min	40min	45min
6m	5000	5000	5000	4000	4000	4000	4000	4000
9m	5000	4000	4000	4000	3000	3000	3000	2000
12m	4000	3000	3000	1000	No go	No go	No go	No go
15m	3000	1000	1000	No go	No go	No go	No go	No go
18m	3000	1000	No go	No go	No go	No go	No go	No go
21m	1000	No go	No go	No go	No go	No go	No go	No go
24m	1000	No go	No go	No go	No go	No go	No go	No go
27m	No go	No go	No go	No go	No go	No go	No go	No go
30m	No go	No go	no go	No go	No go	No go	No go	No go
33m	No go	No go	no go	No go	No go	No go	No go	No go

Valmistelimme taulukon luomisesta lyhyen Powerpoint-esitelmän, jossa esitelimme ehdotuksemme uusista turvallisista lentokorkeuksista. Lähetimme esitelmän useammalle suomalaiselle sukellusasiantuntijalle.

Puolustusvoimien Sukelluslääketieteenkeskuksen vastauksessa ylilääkäri Tomi Wuorimaa (2018) kertoi käyneensä viime syksynä NOAA:n (National Oceanic and Atmospheric Administration) kurssilla, jossa oltiin asiantuntijoiden kesken tarkasteltu U.S. Navy Diving manualin, ”flying after diving”-taulukkoita. Ulkomaiset asiantuntijat olivat olleet yhtä mieltä siitä, että nykyinen 9-6 taulukko perustuu tiettyihin olettamuksiin, matemaattisiin malleihin ja pieneen määrään todellisia ihmiskokeita. Ottaen tämän huomioon turvallisempien lentokorkeuksien määritys on 9-6 taulukon perusteella hankalaa. Paras vaihtoehto olisi, jos pystyttäisiin välttämään lentämistä heti sukelluksen jälkeen, sillä laadukasta tutkimusnäyttöä asiasta ei ole. Uusien viranomaiskäyttöön tulevien taulukkojen pitäisi perustua laajempaan tutkimusnäyttöön. (Wuorimaa 2018.) Muut asiantuntijat eivät vastanneet ennen opinnäytetyön palauttamista.

Rajavartiolaitoksen nykyisen ohjeistuksen perustuessa myös vähäiseen tutkimustietoon, voidaan yhteenvetona todeta, ettei kyseistä aihetta ole tutkittu riittävästi, jotta turvallisia lentokorkeuksia sukellustehtävien jälkeen voitaisiin määritellä. Taulukoiden suuret erot saattavat osittain selittyä sillä, että Yhdysvaltojen Merivoimat sallivat toiminnassaan sukeltajantautitapauksia ilmenevän enemmän kuin monet muut organisaatiot (Vann 2010). Sukelluslääketieteenkeskus pyrkii luomaan mahdollisimman turvalliset ja vähäriskiset ohjeistukset (Wuorimaa 2018).

Luovutamme työn tilaajalle käyttöön kaikki tekemämme taulukot aiheesta ja heillä on käyttöoikeus niihin. Luovutuksen yhteydessä teemme työn tilaajalle selväksi taulukoiden taustalla olevan päälähteen epävarmuuden.

## 11 POHDINTA

### 11.1 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyön tuotoksena syntynyt taulukko perustuu ajantasaisimpaan käytössä olevaan tietoon. Kuitenkin tämä tieto perustuu kokeellisten tutkimusten tuloksista tehtyihin las-kutoimituksiin eikä varsinaista näyttöä näiden lentokorkeuksien turvallisuudesta ole. Tä-män opinnäytetyöprojektin alkuvaiheessa meille tuli jo selväksi, että joutuisimme – vaih-toehtojes puuttuessa – käyttämään valitsemaamme lähdeä, ja ainoastaan sitä, taulukon luonnissa. Siispä projektimme keskittyi pitkälti U.S. Navy Diving manualin luotettavuuden selvittämiseen. Olemme äärimmäisen kiitollisia siitä, että Sukelluslääketieteenkeskus ja NEDU selvittivät meille taulukoiden taustoja.

Erot Yhdysvaltain Merivoimien ja Suomen Rajavartiolaitoksen ohjeistuksissa olivat niin suuret, että aloimme itsekkin epäillä, ettei laatimamme taulukko tulisi saamaan suomalais-ten asiantuntijoiden hyväksyntää. Tästä johtuen päädyimme puolittamaan sallittuja lento-korkeuksia, ilman sen kummempaa näyttöä kuin, että matalalla lentäminen on aina tur-vallisempaa. Jälkikäteen ajateltuna tämä oli toki turhaa ja hyvän tutkimuseetiikan vastai-nen päätös. Arvojen puolittaminen ei kuitenkaan missään tapauksessa olisi heikentänyt vesisukeltajien turvallisuutta vaan pelkästään lisännyt sitä. Hyvän tutkimuskäytännön mukaisesti esitämme sen kuitenkin raportissa sellaisenaan, sillä tällaisena taulukon päi-vittämistä ehdotimme.

Toinen tämän opinnäytetyön tekijöistä työskentelee Keski-Uudenmaan pelastuslaitok-sella työn tilaajan alaisena. Olemme kuitenkin käsitelleet pelastuslaitokseen liittyviä asi-oita objektiivisesti. Työsuhte on vain helpottanut kommunikointia ja poistanut pitkää välimatkasta, työn tilaajan ja tekijöiden välillä, aiheutuvaa haittaa. Emme ole saaneet opinnäytetyön tekemisestä korvausta tai muuta etua. Olemme maksaneet itse työn teke-misestä aiheutuneet toimistokulut sekä matkat työelämäkontaktin tapaamiseen. Työn ti-laaja kustansi koulutusmatkan Maltalla järjestetyille ADALS-kurssille.

## 11.2 Johtopäätökset ja itsearviointi

Tämä raportti osoittaa, ettei aiheesta ole olemassa vakavasti otettavaa materiaalia. Opin- näytetyöprosessin aikana kävi selväksi, ettei täysin turvallista käytäntöä sukeltamisen jäl- keiseen lentämiseen ole käytössä (Jama, 2017a; Wuorimaa 2018). Sukeltajantaudin syn- tyyn vaikuttavat monet sukeltajien yksilölliset, fysiologiset ominaisuudet – eivät pelkäs- tään paineen vaihtelut (Cialoni, Pieri, Balestra & Marroni 2014). On myös raportoitu ta- pauksista, joissa sukeltajantauti on syntynyt, vaikka varsinainen sukellus on tehty luotet- tavien nousutaulukoiden mukaan (Vikman 2007, 142). Yhtä lailla kuin U.S. Navy Diving manualin taulukot perustuvat typen puoliintumisajasta laskettuun matemaattiseen mal- liin, niin perustuvat nämä nousutaulukotkin (Flynn 2004; Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017). Lopultahan ainut varma keino välttää sukeltajantautia on välttää sukeltamista tai korkeita painetiloja kokonaan.

Helppolukuisen taulukon luomisessa onnistuimme mielestämme hyvin ja saimme posi- tiivista palautetta taulukon ulkonäöstä sekä luettavuudesta Vartiolentolaivueen Timo Ha- rikoskelta sekä työn tilaajalta Raimo Laaksolta. Taulukon valmistusprosessissa onnis- tuimme mielestämme kiitettävästi, lukuun ottamatta sen lähteen epävarmuutta. Tästä ha- taruudesta tietoa ei tosin olisi ollut löydettävissäkään ilman asiantuntija-apua.

Näyttöä 100 % hapen hengittämisen hyödyistä sukellustehtävien jälkeen löytyi runsaasti (Longprhre ym. 2007; Pelastusopisto 2007; Vikman 2007, 138–143; Castagna ym. 2009; Pontier & Lambrechts 2014; Jama 2017a; SSLY 2017). Vesisukeltajien työn fyysisyys huomioiden, hapen käyttöä tulisi harkita erityisesti pitkien ja syvällä tapahtuvien sukel- lusten jälkeen (Vikman 2007, 138–143).

Prosessin aikana pohdimme useasti, miten tunnistaa luotettava, tutkittu tieto, kun se ei pohjaudu useisiin vertaisarvioituihin tutkimustuloksiin. Toki U.S. Diving manualin ei ole tarkoituksenmukaistakaan noudattaa tiedeyhteisön käytäntöjä tulosten julkaisemissa, mutta tutkimusten läpinäkyvyydessä on silti puutteita. Emme myöskään saaneet mitään tietoa, mihin tutkimuksiin uusin versio sukeltamisen jälkeisistä turvallisista lentokor- keuksista U.S. Diving manualissa perustuu. Mielestämme 495 henkilöllä tehty 802 pai- nekammiokekeilua kuulostaa kohtuullisen suurelta määrältä ja vaikka taulukkoa olikin

jatkettu alempiin lentokorkeuksiin matemaattisesti. Samalla tavoin nousutaulukotkin perustuvat aina johonkin oletettuun tyyppien puoliintumisaikaan (Räisänen-Sokolowski & Anttila 2017).

Yhteistyö opinnäytetyön tekijöiden välillä toimi mielestämme erittäin hyvin. Alusta asti meillä oli selkeä roolitus ja molemmilla omat vastuualueemme. Kuitenkin oman osiomme lisäksi luimme ja kommentoimme jatkuvasti myös toistemme tekstiä. Vastuualueet ja oimme omien vahvuksiemme mukaisesti hyödyntäen aiemmin hankkimaamme erityisosaamista vesisukeltajana sekä luonnontieteiden parissa. Loppuvaiheessa työn lopullisen muodon saavuttamista hankaloittivat pitkä välimatkamme sekä 8 tunnin aikaero, minkä vuoksi tavoitteenamme olikin ollut saada raportti valmiiksi jo tammikuussa 2018. Teimme työmme liiankin itsenäisesti, hyödyntämättä koulun tarjoamaa tukea. Aliarvioimme myös raportin tekemisen vaativuuden keskittyessämme pitkään vain tuotokseemme. Saatuaamme tietää, ettei tekemämme taulukko sitten tulisikaan käyttöön, hävisi motivaatio raportinkin tekemiseen pitkäksi aikaa, kunnes lähestyvä palautuspäivä sen jälleen palautti.

Oli upeaa huomata, miten Tampereen ammattikorkeakoulu antoi meille mahdollisuuden toteuttaa tämä opinnäytetyö, sillä kehitämme ammattiryhmän turvallisuutta terveyden näkökulmasta. Mielestämme on tärkeää, että hoitotyön koulutusohjelmassa voidaan käsitellä jatkossakin muitakin ammattiryhmiä kuin terveysalan ammattilaisia. Terveysalan ammattilaiselle tämä opinnäytetyö antaa perustietoa sukeltamisesta ja fyysisen paineen alaisena työskentelystä. Sairaanhoidajan työnkuva on hyvin laaja ja tässä opinnäytetyössä esitellään monia asioita, jotka on syytä tietää sukeltajaa tai mahdollisesti sukeltajantautia sairastavan hoidossa.

### **11.3 Jatkotutkimuksen tarve**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli edistää Keski-Uudenmaan vesisukeltajien turvallisuutta ja operatiivista toimintaa tutkittuun tietoon perustuen. Vaikka taulukon turvallisista lentokorkeuksista luomisessa epäonnistuimmekin, tuomme tässä raportissa esiin sen, miten ristiriidassa ohjeistukset tällä hetkellä ovat. Opinnäytetyö tuo samalla ilmi Rajavartiolaitoksen nykyisen ohjeistuksen ongelmat operatiivisen toiminnan sujuvuuden kannalta. Tuomme selkeästi ilmi tarpeen aiheeseen liittyville tutkimuksille.

Saamamme palautteen perusteella opinnäytetyömme on tuonut paljon hyviä näkökulmia Pelastuslaitoksen ja Vartiolentolaivueen yhteistoiminnasta molemmin puolin. Opinnäytetyötä tehdessämme olemme saaneet apua Keski-Uudenmaan pelastuslaitokselta, Puolustusvoimien Sukelluslääketieteenkeskukselta, Rajavartiolaitoksen Vartiolentolaivueelta, Suomen sukellus- ja ylipainelääketieteen yhdistykseltä sekä Yhdysvaltojen Merivoimien Navy experimental diving unitilta. Opinnäytetyö myös esittelee, millaisissa olosuhteissa pelastustoimen vesisukeltaja työskentelee, sekä korostaa miten tärkeää ohjeistuksen päivittäminen olisi.

## LÄHTEET

Ahti, S. HEMS-pelastaja. 2018. Medihelin toiminta. Sähköpostiviesti. [simo.ahti@ku-pelastus.fi](mailto:simo.ahti@ku-pelastus.fi). Luettu 12.4.2018.

Blumkin, D. 1991. Flying and diving – A unique health concern. *Human factors & aviation medicine* 38(5): 1-5.

Castagna, O., Gempp, E. & Blatteau, J-E. 2009. Pre-dive normobaric oxygen reduces bubble formation in scuba divers. *European Journal of Applied Physiology* 106(2): 167-172.

Cialoni, D., Pieri, M., Balestra, C. & Marroni, A. 2014. Flying after diving: in-flight echocardiography after a scuba diving week. *Aviation, space and environmental medicine* 85(10): 993-998.

Cialoni, D., Pieri, M., Balestra, C. & Marroni, A. 2015. Flying after diving: should recommendations be reviewed? In-flight echocardiographic study in bubble-prone and bubble-resistant divers. *Diving and hyperbaric medicine* 45(1): 10-15.

Dalton, J. 1802. On the expansion of elastic fluids by heat. *Memoirs of the literary and philosophical society of Manchester* 5(2): 595–602.

Flynn, E. 2004. 1999 U.S Navy procedures for ascent to altitude after diving. Flying after recreational diving workshop proceedings. 20-30.

Gempp, E., Blatteau, J-E., Pontier, J-M, Balestra, C. & Louge, P. 2009. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. *British journal of sports medicine* 43(3): 224-228.

Harikoski, T. helikopteriryhmänjohtaja, Rajavartiolaitos. 2017. Rajavartiolaitoksen helikopterin tyypilliset toimintakorkeudet. Sähköpostiviesti. [timo.harikoski@raja.fi](mailto:timo.harikoski@raja.fi). Luettu: 14.8.2017.

Henry, W. 1803. Experiments on the quantity of gases absorbed by water at different temperatures, and under different pressures. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 93: 29-274.

Jama, T. anesthesiologian ja akuuttilääketieteen erikoislääkäri. 2017a. Ohjeita turvallisista lentokorkeuksista sukelluksen jälkeen. Sähköpostiviesti. [tjama@welho.fi](mailto:tjama@welho.fi). Luettu 14.3.2017.

Jama, T. 2017b. Sukeltajan kaasut ja niihin liittyvät ongelmat. Luento. ADALS Malta 3.9.-10.9.2017.

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos. 2018. Keski-Uudenmaan pelastuslaitos. Luettu 3.2.2018. <https://www.ku-pelastus.fi/fi>

Keski-Uudenmaan pelastuslaitos & Rajavartiolaitos. 2017. Yhteistoimintamuistio.

Kuusela, V. 2015. Hyvin laadittu tilastokuvio. Luento. Metodifestivaali 20.8. 2015. Tampereen yliopisto. Luettu 12.4. 2018. <http://www.uta.fi/tutkijakoulu/metodifestivaali/2015/ohjelma/torstai20082015/visuaalinen/index/MEFE2015Kuusela20.8.2015moniste.pdf>

Laakso, R. palomestari, Keski-Uudenmaan pelastuslaitos. 2017. Haastattelu 10.10.2017. Haastattelija Hämäläinen, J. Vantaa.

Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lätti, S. 2015. Anatomia ja Fysiologia – Rakenteesta toimintaan. 3.-5. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Longprhre, J., Denoble, P., Moon, R., Vann, R. & Freiburger, J. 2007. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea & hyperbaric medicine* 34(1): 43-49.

MacDonald, R., O'Donnell, C., Allan, G., Breeck, K., Chow, Y., DeMajo, W., Peerbaye, Y., Sadawadsky, B. & Wax, R. 2006. Interfacility transport of patients with decompression illness: literature review and consensus statement. *Prehospital emergency care* 10(4): 482-487.

MAOL. 2000. MAOL-taulukot. 1.-2. painos. Helsinki: Otava.

Naval sea system command. 1993. U.S. Navy Diving manual. Revision 3.

Naval sea system command. 2005. U.S. Navy Diving manual. Revision 5. Luettu 6.1.2018. [http://everyspec.com/USN/NAVSEA/SS521-AG-PRO-010\\_4104/](http://everyspec.com/USN/NAVSEA/SS521-AG-PRO-010_4104/)

Naval sea system command. 2008. U.S. Navy Diving manual. Revision 6. Luettu 6.1.2018. [http://www.usu.edu/scuba/navy\\_manual6.pdf](http://www.usu.edu/scuba/navy_manual6.pdf)

Naval sea system command. 2016. U.S. Navy Diving manual. Revision 7. Luettu 6.3.2017. [http://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL\\_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393](http://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/SUPSALV/Diving/US%20DIVING%20MANUAL_REV7.pdf?ver=2017-01-11-102354-393)

Oode, Y., Yanagawa, Y., Omori, K., Osaka, H., Ishikawa, K. & Tanaka, H. 2015. Analysis of patients with decompression illness transported via physician-staffed emergency helicopters. *Journal of emergencies, trauma and shock* 8(1): 26-29.

Pelastusopisto. 2007. Turvaohje Pelastustoimen vesisukellukseen.

Pollock, N., Natoli, M., Gerth, W., Thalmann, E. & Vann, R. 2003. Risk of decompression sickness during exposure to high cabin altitude after diving. *Aviation, space and environmental medicine* 74(11): 1163-1168.

Pollock, N. 2018. Decompression sickness. Divers alert network. Luettu 4.2.2018. <https://www.diversalertnetwork.org/health/decompression>

Pontier, J-M. & Lambrechts, K. 2014. Effect of oxygen-breathing during a decompression-stop on bubble bubble-induced platelet activation after an open-sea air dive. *European journal of applied physiology* 114(6): 1175-1181.



Rajavartiolaitos. 2017. Lentotoimintakäsikirja.

Rajavartiolaitos. 2018. Vartiolentolaivue – turvana kaikissa oloissa. Luettu 7.2.2018. <http://www.raja.fi/vllv>

Reddick, J. 1978. Movement by helicopter of patients with decompression sickness. *Aviation, space and environmental medicine* 49(10): 1229-1230.

Ruia, S. Flying after diving: Finally, the facts (not just theory) DAN europe's diving safety laboratory. Päivitetty 27.7.2015. Luettu 2.12.2017. [https://alertdiver.eu/en\\_US/articles/flying-after-diving-finally-the-facts-not-just-theory](https://alertdiver.eu/en_US/articles/flying-after-diving-finally-the-facts-not-just-theory)

Räisänen-Sokolowski, A. & Anttila, M. 2017. Sukeltajantaudin patofysiologia ja dekompressioteoriat. Luento. Advanced diving accident life support -kurssi. 3.-10.9. 2017. Malta.

Räisänen-Sokolowski, A., Jama, T. & Suvilehto, J. 2017. Sukellusonnettomuuksien epidemiologiaa. Luento. Advanced diving accident life support -kurssi. 3.-10.9. 2017. Malta.

Sear, R. 2007. Nucleation: theory and applications to protein solutions and colloidal suspensions. *Journal of Physics: Condensed Matter* 19 (3).

Sheffield, P. & Vann, R. 2002. Flying after recreational diving: Workshop proceedings. Divers Alert Network 2.5. 2002. Durham, Yhdysvallat.

Sipinen, S. 2010. Sukeltajantauti. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 126(4): 435-442.

Sisäasiainministeriö. 2007. Pelastussukellusohje. Sisäasiainministeriön julkaisuja 48/2007.

SSLY. 2017. Advanced diving accident life support -kurssi. 3.-10.9. 2017. Malta.

SSLY. 2018. Painekammiot Suomessa. Luettu: 27.1.2018. <https://www.sukelluslaakarit.fi/tietoa/painekammiot-suomessa/>

Suomen palopäällystöliitto. 2017. Sukellusseminaari. 22.-23.10. 2017. Tallinna.

Suvilehto, J., Arola, O. & Valtonen, M. 2016. Ylipainehappihoito. Lääkärin käsikirja. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Päivitetty 29.11.2016.

Suvilehto, J. & Holmström, P. 2016. Sukellus. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos: Matkailijan terveysopas. Päivitetty: 28.6.2016. Luettu: 27.1.2018. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/ctl.mat?p\\_artikkeli=mat00220](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/ctl.mat?p_artikkeli=mat00220)

Tyks. 2018. Valtakunnallinen ylipainehappihoitokeskus. Päivitetty: 2.1.2018. Luettu: 3.2.2018. <http://www.vsshp.fi/fi/toimipaikat/tyks/osastot-ja-poliklinikat/Sivut/valtakunnallinen-ylipainehappihoitokeskus.aspx>

Vann, R., Gerth, W., Denoble, P., Pieper, C. & Thalmann, E. 2004. Experimental trials to assess the risks of decompression sickness in flying after diving. *Undersea & hyperbaric medicine* 31(4): 431-444.

Vann, R., Pollock, N., Freiberger, J., Natoli, M., Denoble, P. & Pieper, C. 2007. Influence of bottom time on preflight surface intervals before flying after diving. *Undersea & hyperbaric medicine* 34(3): 211-220.

Vesisukelluskurssi. 2014. Pelastusopisto, Kuopio.

Vikman, T. 2007. *Sukellus*. 7. painos. Helsinki: Sukeltajaliitto.

Vilkka, H. & Airaksinen, T. 2003. *Toiminnallinen opinnäytetyö*. Helsinki: Tammi.

Wienke, B. 1989. Tissue gas exchange models and decompression computations: a review. *Undersea Biomedical Research* 16: 53-89.

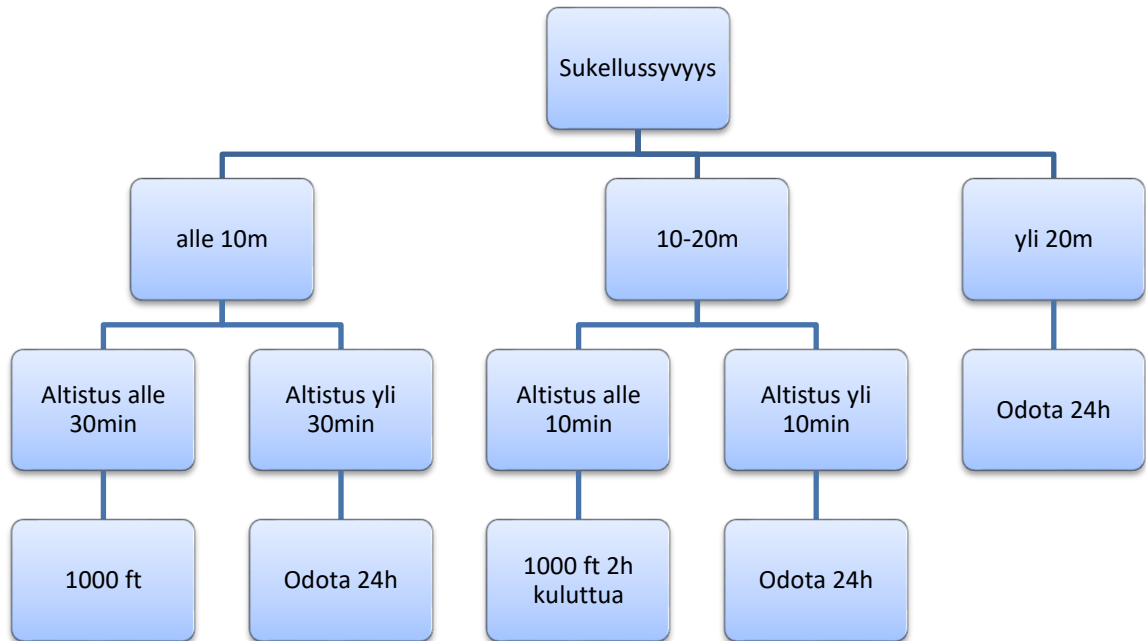
Wuorimaa, T. ylilääkäri, Sukelluslääketieteenkeskus. 2018. Ehdotus sukelluksen jälkeisestä lentokorkeuksista. Sähköpostiviesti. [tomi.wuorimaa@mil.fi](mailto:tomi.wuorimaa@mil.fi). Luettu 11.1.2018.

Young, H. & Freedman, R. 2004. *University Physics: with Modern Physics*. 11. painos. Boston, Yhdysvallat: Addison-Wesley.

Zumdahl, S. 2002. *Chemical Principles*. 4. painos. Boston, Yhdysvallat: Houghton Mifflin Company.

**LIITTEET**

Liite 1. Rajavartiolaitoksen nykyinen ohjeistus lentokorkeuksista poikkeustilanteissa kaaviona.



## Liite 2. U.S. Navy Diving manualin taulukko 9-6.

Tiedot kopioitu teoksesta: Naval sea system command. 2005. U.S. Navy Diving manual. Revision 5. Table 9-6.

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
A	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09
B	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	2:11
C	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	3:06	8:26
D	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:09	3:28	7:33	12:52
E	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:51	3:35	6:54	10:59	16:18
F	0:00	0:00	0:00	0:00	1:12	3:40	6:23	9:43	13:47	19:07
G	0:00	0:00	0:00	1:23	3:34	6:02	8:46	12:05	16:10	21:29
H	0:00	0:00	1:31	3:26	5:37	8:05	10:49	14:09	18:13	23:33
I	0:00	1:32	3:20	5:15	7:26	9:54	12:38	15:58	20:02	24:00
J	1:32	3:09	4:57	6:52	9:04	11:32	14:16	17:35	21:39	24:00
K	3:00	4:37	6:25	8:20	10:32	13:00	15:44	19:03	23:07	24:00

## Liite 3. U.S. Navy Diving manualin taulukko 9-7

Tiedot kopioitu teoksesta: Naval sea system command. 2005. U.S. Navy Diving manual. Revision 5. Table 9-7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
6.1m	25	50	75	100	135	180	240	325	390	917
9.2m	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205
12.3m	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110
15.3m		10	15	25	30	40	50	60	70	
18.4m		10	15	20	25	30	40	50	55	
21.5m		5	10	15	20	30	35	40	45	
24.5m		5	10	15	20	25	30	35	40	
27.6m		5	10	12	15	20	25	30		
30.6m		5	7	10	15	20	22	25		
33.7m			5	10	13	15	20			

## Liite 4. Tiedonhakuprosessi

Hakusanojen valinta:

	Käsite 1	Käsite 2	Käsite 3
Hakusana suomeksi (ns. oma sana)	sukeltaminen	lentäminen	sukeltajantauti
YSA	sukellus	lentäminen	dekompressiotauti
MeSH (englanniksi)	diving	aerospace medicine	decompression sickness
FinMeSH (suomeksi)	sukeltaminen	ilmailu	barotrauma
Hakusana englanniksi	diving	aviation	decompression sickness

Haut suoritimme 30.5. 2017.

Tietokanta	Hakulauseen kuvaus	Hakutyyppi/ muut hakuehdot	Hakutulosten lukumäärä	Valittuja teoksia
TAMK Finna	((Sukel* OR diving) OR (lent* OR ilmailu OR "aerospace medicine" OR aviation)) AND (sukeltajantau* OR "decompression sickness" OR dekompressiotau*)	Ei rajoituksia	0	0
TAMK Finna	sukelt* AND sukeltajantau*	Ei rajoituksia	0	0
MELINDA	((Sukel* OR diving) OR (lent* OR ilmailu OR "aerospace medicine" OR aviation)) AND (sukeltajantau* OR "decompression sickness" OR dekompressiotau*)	Ei rajoituksia	0	0
MELINDA	sukelt* AND sukeltajantau*	Ei rajoituksia	8	0
Medic	(Sukel* OR diving) AND (lent* OR ilmailu OR "aerospace	Ei rajoituksia	1	0

	medicine” OR aviation) AND (sukeltajantau* OR “decompression sickness” OR dekompressiotau*)			
Medic	((Sukel* OR diving) OR (lent* OR ilmailu OR “aerospace medicine” OR aviation) AND (sukeltajantau* OR “decompression sickness” OR dekompressiotau*))	2005 jälkeen	26	0
CINAHL	(Sukel* OR diving) AND (lent* OR ilmailu OR “aerospace medicine” OR aviation) AND (sukeltajantau* OR “decompression sickness” OR dekompressiotau*)	Ei rajoituksia	1	0
Journals@Ovid	diving and (ilmailu or aerospace medicine or aviation) and (decompression sickness or dekompressiotau*)	2005-	20	0
Google Scholar	(Sukel* OR diving) AND (lent* OR ilmailu OR “aerospace medicine” OR avia-	Ei rajoituksia	0	0

	tion) AND (sukeltajantau* OR “decompression sickness” OR dekompressiotau*)			
Google Scholar	((Sukel* OR diving) OR (lent* OR ilmailu OR “aerospace medicine” OR aviation)) AND (sukeltajantau* OR “decompression sickness” OR dekompressiotau*)	Ei rajoituksia	3	0