

Aleksandra Daniela Tuomala

Alkuainehiilen määrittäminen luminäytteistä termo-optisella hiilianalyssaattorilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Laboratorioanalyttikko (AMK)

Laboratorioala

Opinnäytetyö

1.11.2018

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Aleksandra Daniela Tuomala Alkuainehiilen määrittäminen luminäytteistä termo-optisella hiilianalysaattorilla</p> <p>36 sivua + 6 liitettä 1.11.2018</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Laboratorioanalytiikka</p>
<p>Tutkinto-ohjelma</p>	<p>Laboratorioalan tutkinto-ohjelma (AMK)</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>yliopettaja, Jukka Niiranen tutkija, Jonas Svensson</p>
<p>Työ suoritettiin Helsingin Ilmatieteen laitoksen laboratoriossa aerosoliosastolla.</p> <p>Alkuainehiilen tiedetään jo alustavasti vaikuttavan ilmastomuutokseen, mutta on vielä epäselvää, miten paljon haittaa siitä on, missä sitä kerääntyy ja kuinka paljon.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää alkuainehiilen pitoisuus luminäytteistä, sekä mahdollisesti kehittää työvaiheiden tutkimusmenetelmiä. Menetelmäkehityksenä testattiin termo-optisen hiilianalysaattorin eri ohjelmia ja sitä miten tulokset erosivat toisistaan. Lisäksi tutkittiin puhdistusaineen ja näyteleikkureiden kontaminaatiokykyä sekä kontrollinäytteen toimivuutta. Päätaavoitteena kuitenkin työssä mitattiin luminäytteiden alkuainehiilipitoisuudet. Luminäytteitä on kerätty Sodankylästä, Intian Himalajasta ja Chilen vuoristosta.</p> <p>Luminäytteistä saatiin tuloksia, mutta niihin perustuvia päteviä johtopäätöksiä oli mahdotonta tehdä ilman lisätöitä ja testejä, sekä laajempaa tieto- ja viitelähdettä. Menetelmäkehitys sai muutaman päivityksen, mutta lisätyöstä on hyvä harkita tulevaisuudessa.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Alkuainehiili, EC, OC, termo-optinen hiilianalysaattori, luminäytteet</p>

Author Title	Aleksandra Daniela Tuomala Determination of elemental carbon from snow samples by a Thermo-Optical Carbon Analyzer
Number of Pages Date	36 pages + 6 appendices 1 November 2018
Degree	Bachelor of Laboratory Services
Degree Programme	Laboratory Sciences
Instructors	Principal Lecturer, Jukka Niiranen Researcher, Jonas Svensson
<p>Elemental carbon is known to cause climate change, but it is still unclear how much harm it causes, where it comes from and how much.</p> <p>The purpose of the study was to find out the elemental carbon content of snow samples, and possibly develop better working methods. As part of a method development, different programs of the Carbon Aerosol Analyzer were tested, and how their results differed from each other, the contaminant capacity of the cleaning agent and sample cutters and the effectiveness of the control sample. The main purpose was however measuring the snow samples. The samples were collected in Sodankylä, the Indian Himalayas and the Chilean mountains.</p> <p>The work was carried out at the Helsinki Meteorological Institute aerosol department.</p> <p>Results from snow samples were obtained but valid conclusions based on them were impossible to conclude without further work and tests, as well as a wider source of information and reference.</p> <p>The method development got a few updates, but further work is worth considering in the future.</p>	
Keywords	Black Coal, EC, OC, Thermo-Optical Carbon Analyzer, snow samples

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tavoite	1
2	Teoriaa	2
2.1	Alkuainehiili	2
2.2	Alkuainehiili, ilmasto ja terveys	4
2.3	Analyysimenetelmä	5
2.4	Näytteiden lähteet	5
2.4.1	Sodankylä	6
2.4.2	Intian Himalaja	7
2.4.3	Chilen vuoristot	8
3	Materiaalit	9
3.1	Analyysilaitte	9
3.2	Materiaali	13
3.2.1	Suodattimet	13
3.2.2	Leikkurit	13
3.2.3	Kemikaalit	15
4	Yleinen työsuorituskäytäntö	16
4.1	Luminäytteiden otto	16
4.2	Laitteen käynnistys	17
4.3	Nollanäyteajo ja kontrollitarkastus	18
4.4	Suodatinnäytteiden valmistus ajoa varten	18
4.5	Poltto ja ajo-ohjelmat	19
5	Analysointiin liittyvät haasteet	20
5.1	Työtila	20
5.2	Leikkaus	21
5.3	Pinsetit	22
5.4	Kontrollinäytteen luotettavuus	22
5.5	Näytteiden säilytyshistoria	22
5.6	Näytteiden epätasainen homogeenisyys	23

5.7	Irtonainen sekä suuri näytemäärä	23
5.8	Sähköisyys	25
5.9	Termo-optisen hiilianalysointilaitteen käsittely	25
5.10	Uusittavuus	26
5.11	Vertailuarvojen puute	26
6	Mittausten ja testien suoritus	26
6.1	Luminäytteet	26
6.2	Ajo-ohjelmien vertailu, EUSAAR2 ja Niosh870	26
6.3	2-propanolin kontaminaatiotesti	27
6.4	Kontrollinäytteen pätevyystestaus	27
6.5	Leikkureiden kontaminaatiotesti	27
7	Tulosten käsittely	27
7.1	Luminäytteet	27
7.2	EUSAAR2- ja Niosh870-ohjelmien vertailu	28
7.3	2-propanolin kontaminaatiotesti	30
7.4	Kontrollinäytteen toimivuus	31
7.5	Leikkureiden kontaminaatiotesti	33
8	Tulosten johtopäätökset	33
8.1	Luminäytteet	33
8.2	Ajo-ohjelmat	34
8.3	2-propanoli	35
8.4	Kontrollinäytteet	35
8.5	Leikkurit	35
9	Loppupäätelmät	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Sodankylän 28.11.2013 – 26.5.2017 luminäytetulokset	
	Liite 2. Sodankylän 28.11.2013 – 26.5.2017 graafiset luminäytetaulukot	
	Liite 3. Sunderdhungan ja Panutin tulokset	
	Liite 4. Sunderdhungan ja Panutin graafiset taulukot	
	Liite 5. Chilen tulokset ja graafinen taulukko	
	Liite 6. Kuvat Sunderdhungan ja Panutin lumikuopista ja kuvaukset	

Lyhenteet

EC	Elemental Carbon. Atomihiihi, joihiin lukeutuu alkuainehiili, puuhiili, hiili ja noki.
FID	Flame Ionization Detector. Liekki-ionisaatiodektektori.
OC	Organic Carbon. Orgaaninen hiili.
TC	Total Carbon. Kokonaishiilimäärä.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Opinnäytetyö suoritettiin Ilmatieteen laitoksella, Helsingissä. Yksikkö, jossa työ tehtiin, oli pienhiukkaslaboratorio, jossa tutkitaan ilmakehässä esiintyvien hiukkasten kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia sekä terveysvaikutuksia.

Ilmatieteen laitos tutkii ilmanlaatua ja muita meteorologisia ilmiöitä ympärivuorokautisesti. Tärkeimpiin toimialoihin kuuluu meteorologian ja meritieteen tutkimusohjelma, ilmastotutkimusohjelma ja avaruus- ja kaukokartoituskeskus. [1.]

Ilmastotutkimusohjelmassa suoritetaan erilaisia perustutkimuksia ja soveltavia tutkimuksia. Tutkimuskohteisiin kuuluvat eri aikojen ilmaston olotilan ja laadun tutkiminen, sekä sen koostumuksen ja vaikutusten selvittäminen ilmastomuutokseen ja ilmanlaatuun. Ilmastotutkimusohjelmassa myös pohditaan ja kehitetään toimintoja, kuten ilmanlaatumallien kehitystä, validointia ja sovellusta, kansainvälisten ilmanlaadun seurantaohjelmien toteuttamista sekä ilmanlaadun kansallisten vertailulaboratorion ylläpitoa. [1.]

1.2 Tavoite

Työn tärkeimpänä tavoitteena oli määrittää alkuainehiilen pitoisuus lumesta termooptisella hiilianalysointilaitteella. Tämä tapahtui keräämällä luminäytettä suodattamalla suodattimiin sulanutta lunta kohdepaikoista. Luminäytteen keruun jälkeen niistä pystyttiin leikkaamaan palasia, jotka sitten syötettiin termooptiseen hiilianalysointilaitteeseen analysointia varten.

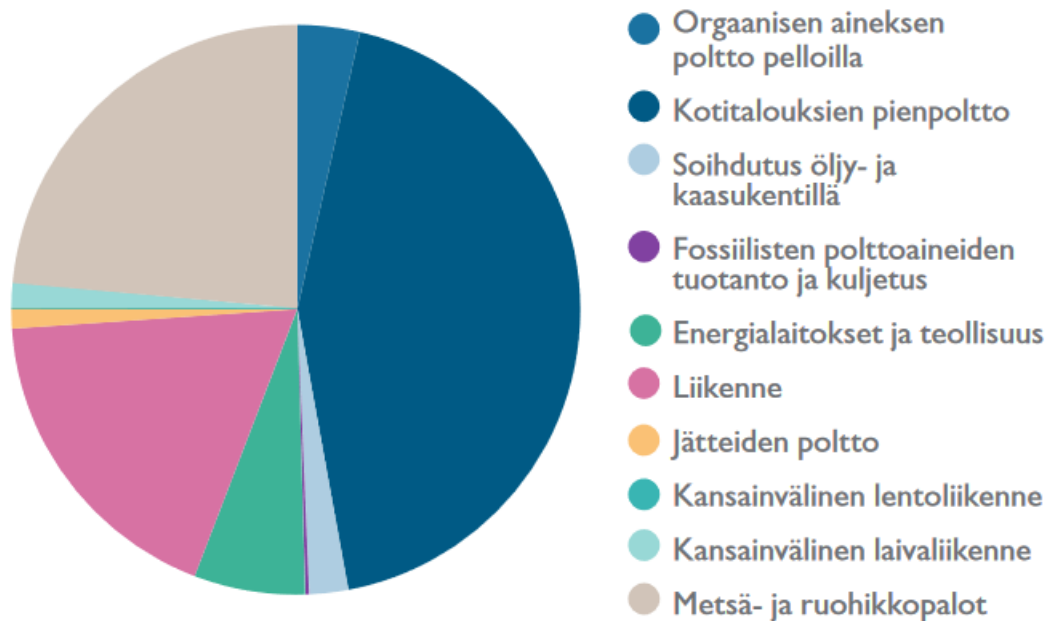
Työn tekoon kuului monta eri vaihetta näytteen käsittelystä tulosten tarkastukseen. Näistä monet vaiheet vaativat pientä parannusta. Näistä muodostuneet sivutavoitteet olivat pienet menetelmäkehitykset, joihin kuului ajo-ohjelmien vertailu, näyteleikkurin käyttökehitys, kontrollinäytteen toimivuustarkastus, sekä puhdistusvälineiden kontaminaatiotarkastus.

Työn merkitys on sinänsä suuri, sillä jatkuva alkuainehiilen vapautuminen ilmaan, monien muiden päästöjen lisäksi, huonontaa ilmanlaatua, ja tämä vaikuttaa suoraan ja epäsuorasti ihmisen terveyteen ja ympäristöön.

2 Teoriaa

2.1 Alkuainehiili

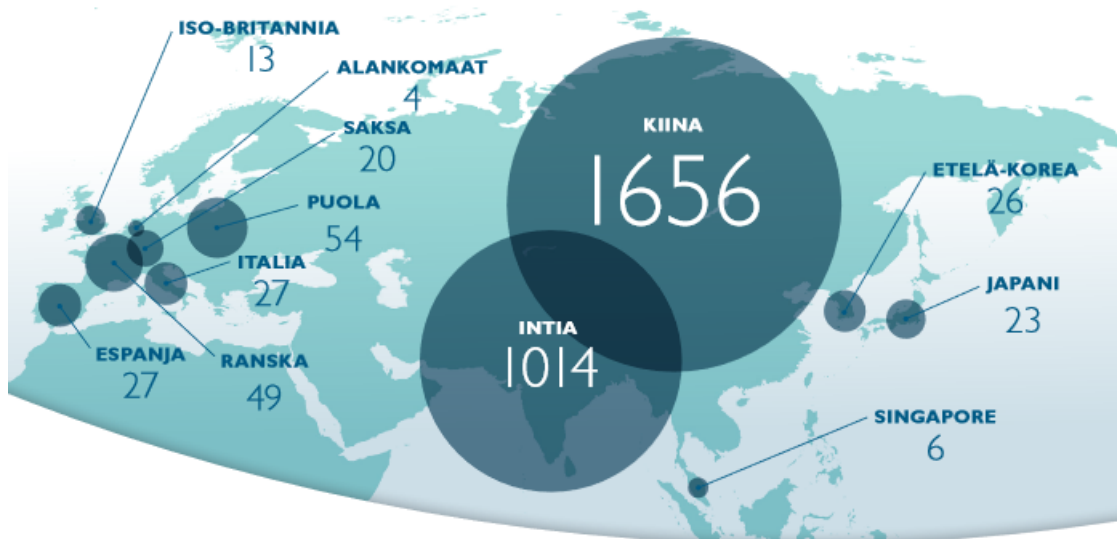
Alkuainehiiltä, (EC), muodostuu hiilivetyjen epätäydellisestä palamisesta. Sitä erittyy erilaisista lähteistä, kuten teollisuuspäästöistä, dieselautoista, fossiilisten polttoaineiden poltosta sekä metsäpaloista ja peltojen kulotuksesta. Kuvasta 1 näkee tarkemmin eri päästölähteet ja määrät. EC:tä syntyy myös soihduttamisesta, eli ylijäävän öljyn ja kaasun polttamisesta öljyteollisuudessa. Tätä ainetta esiintyy luonnossa nokena sekä maaperässä kasvien ravinteena.



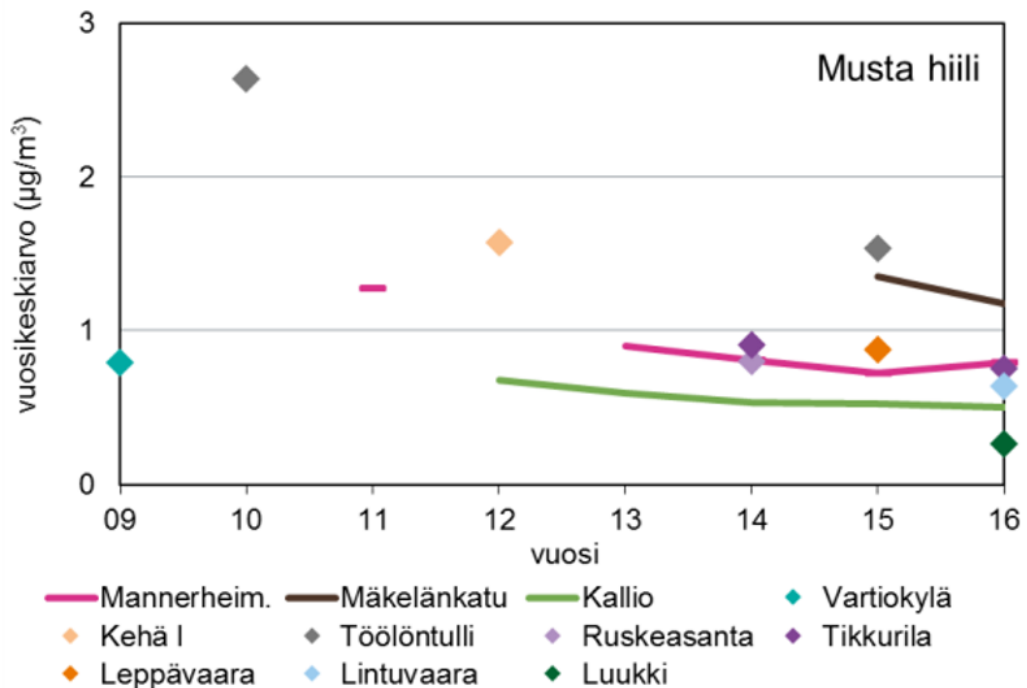
Kuva 1 Alkuainehiilen maailmanlaajuiset päästöjen suhteellinen osuus eri päästölähteistä vuonna 2010. Alkuainehiilen kokonaispäästöt ovat noin 10 000 gigagrammaa per vuosi. [2, s. 2]

EC:n erikoisominaisuus on sen voimakas kyky absorboida auringonvaloa, sitoen näin energiaa ja lämpöä, toisin kuin muut aineet, jotka heijastavat valoa pois. Tämä ominaisuus on hyvin haitallinen, koska tämä mahdollistaa kasvihuoneilmion vahvistumista. Pahin ilmiö on kuitenkin alkuainehiilen laskeutuminen lumeen, sillä sidottu energia purkautuu ja leviää, sulattaen näin lumen ympäriltään. [3;4;5;6;7;8;9.]

Maailmanlaajuisesti EC:tä erittyy eniten Aasian päästöistä, erityisesti Intiasta ja Kiinasta, niin kuin kuvasta 2 näkee. Suomessa EC-päästöjä tulee pääsääntöisesti liikenteestä ja pienpoltoista. Nämä pitoisuudet ilmakehässä ovat kuitenkin alhaisemmat kuin monessa muussa maassa (Kuva 3). Alkuainehiilelle ei ole kuitenkaan ohje- eikä raja-arvoa. [3.]



Kuva 2 Alkuainehiilen päästöt vuonna 2015 gigagrammoina. [2, s. 4]



Kuva 3 Alkuainehiilen vuosikeskiarvot vuosina 2009–2016 [1, s. 23]

Alkuainehiilen pitoisuudet tulevat todennäköisesti pieneneään dieselajoneuvojen tiukkojen hiukkaspäästövaatimusten ansiosta. Valitettavasti pienpolton päästöillä ei ole kuitenkaan tällä hetkellä päästölainsäädäntöä.[3.]

2.2 Alkuainehiili, ilmasto ja terveys

Alkuainehiili on hyvin merkittävä maapallon ilmaston lämpötilan säätäjä. Sen uskotaan olevan toiseksi merkittävin absorptiokomponentti heti hiilidioksidin jälkeen. Auringonvalon absorponti johtaa ilman lämpenemiseen sekä lumen sulamiseen, varsinkin jos alkuainehiili joutuu kosketuksiin lumen pinnan kanssa. Lumen sulaessa katoaa valkea heijastuspinta, jolla auringonvalo palaa takaisin ilmakehän kautta avaruuteen. Auringonvalon jäädessä Maan ilmakehään tämä aiheuttaa noidankehä-ilmion, jossa kuuma ilma sulattaa enemmän lunta, mikä jättää enemmän lämpöä maan ilmakehään. Alkuainehiili vaikuttaa siis suorasti lumeen ja epäsuorasti ilmakehän lämpötilaan.

Alkuainehiili itsessään pieninä pitoisuuksina ei lyhyessä altistumisessa aiheuta merkittäviä terveyshaittoja. Hengitys- ja sydänsairaudet ilmenevät vasta pitkän

altistumisen jälkeen monien vuosien päästä. Syynä ei välttämättä ole aina kuitenkaan alkuainehiili itse, vaan sen sitomat muut aineet kuten PAH-yhdisteet, orgaaniset hapot ja myrkylliset metallit, kuten arseeni. Riskialttiita kuolemalle ovat ne ihmiset, jotka asuvat maantien tai kovan liikenteen lähetyvillä, sekä kroonisesti sairaat, vanhukset ja lapset. [3.]

Vaikka alkuainehiili ei aiheuta vakavia haittoja suoraan ihmisen terveydelle, se epäsuorasti vaikuttaa ihmiseen ilmaston kautta. Korkeasta lämpötilasta aiheutuva lämpö nostattaa riskiä kuivumiselle, pilaten näin sadot ja kasvillisuuden. Ihminen voi myös väsyä ja laiskistua helteen alla, pienentäen näin tehokkuutta. Jäätiköiden sulettua ihmisasunnot ja heidän elinalueet painuvat veden alle, sekä hurrikaanien määrä nousee ja pahenee. [3;4;5;6;7;8;9.]

2.3 Analyysimenetelmä

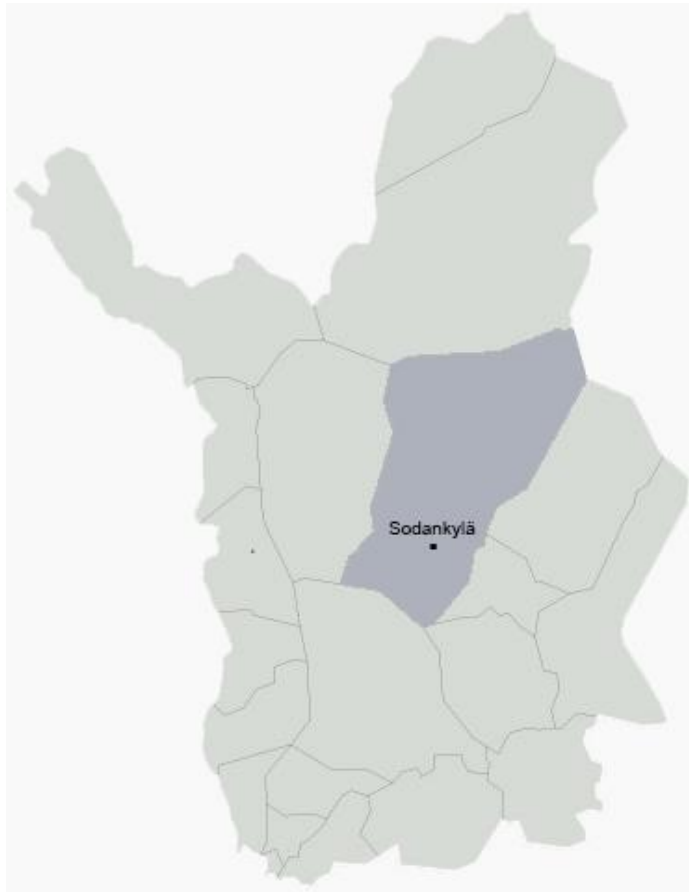
Alkuainehiilen määrä saadaan selville käyttämällä termo-optisen hiili-analysointilaitteen liekki-ionisaatiotekniikkaa, eli FID:iä (Flame ionization detector), jossa yhdisteet poltetaan vety-ilmaliekillä. Liekityksestä syntyneet ionit aiheuttavat muutoksen sähköjohtokykyyn, näin määrittäen kokonaismassan. FID:iä käytetään usein kaasukromatografiassa. Suodatinnäytteissä esiintyvät epäorgaaniset aineet ovat kuitenkin kiinteässä muodossa, eli ennen analysointia ne pitää muuttaa kaasumuotoon kuumentamalla suodatinta hapekkaassa ympäristössä, mistä kerrotaan tarkemmin luvussa 3.1. [10.]

2.4 Näytteiden lähteet

Luminäytteet ovat peräisin muutamasta eri lähteestä. Pääsääntöiset alueet ovat kuitenkin Sodankylä Suomesta (67°21'N 26°37'E), Intian Himalajan Sunderdhungan laakso (30°12' N, 79°51' E), Dhanoltin ja Chilen eri vuoristot.

2.4.1 Sodankylä

Sodankylä sijaitsee Lapin maakunnassa ja on Suomen toiseksi suurin kunta (12 417 km²) heti Inarin jälkeen. Alueelle on perustettu Ilmatieteen laitoksen yksikkö, Lapin ilmatieteellinen tutkimuskeskus. (Kuva 4)



Kuva 4 Sodankylä Lapin maakuntakartalla [11]

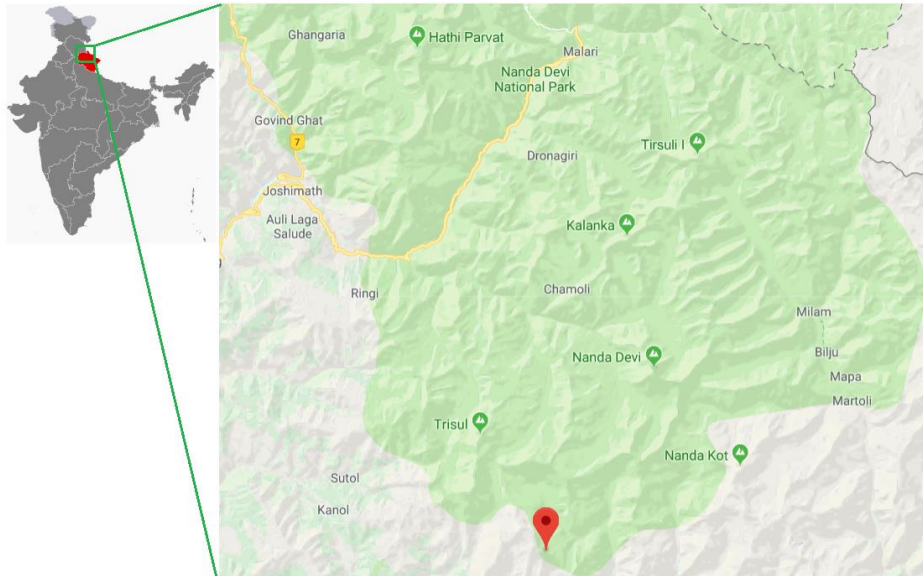


Kuva 5 Luminäytteenottoaika Sodankylän kartalla [12]

Sodankylä on melko harvaan asuttua Helsinkiin verrattuna, mikä antaa paljon tilaa retkeilyille. Tämän luulisi olevan hyväksi luonnolle pienten teollisuuspäästöjen takia, mutta alue on silti melko suosittu turistikohde. Luminäytteet on kerätty tästä paikasta vuoden 2013 talvesta vuoden 2017 kevääseen saakka. Kuva kartasta näkyy kuvassa 5.

2.4.2 Intian Himalaja

Intian Himalajan luminäytteet kerättiin Sunderdhungan laaksosta, Durga Kotista, joka sijaitsee Nanda Devin kansallispuiston rajalla Uttarakhandin osavaltiossa. Toinen paikka oli Dhanolti. Koko opinnäytetyön suorituksen aikana paikkaa kutsuttiin nimellä Panuti, samoin kuin kaikkia kyseisiä näytteitä.



Kuva 6 Luminäytteenottopaikka Intian kartalta, Sunderdhungan laaksolla [12;13]

Näytteenkeruupaikat olivat melko autoita ja asumattomia, lukuun ottamatta yhtä pientä kylää Sunderdhungan lähialueella. Luminäytteet on kerätty vuonna 2015 syyskuussa monsuunikauden jälkeisenä aikana, sekä vuonna 2016. (Kuva 6) Ilman laadun on kuvattu olevan puhdas. [14]

2.4.3 Chilen vuoristot

Chilen näytteet on kerätty monesta eri kohteesta, joihin kuuluvat seuraavat sijainnit. Volcan Villarrica, Volcan Osorno, Volcan Mocho-Choshuenco, Volcan Longquimay.



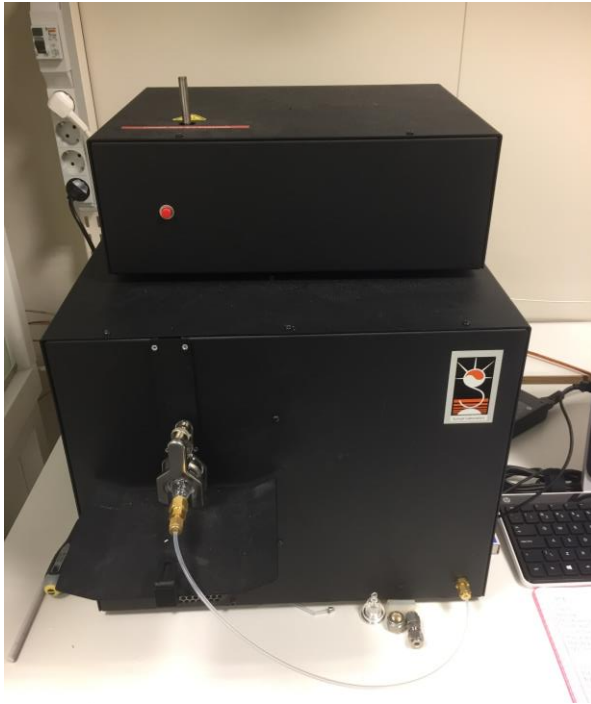
Kuva 7 Chilen luminäytteenottoaikat [12;14]

Näytteenottoaikat, jotka näkyvät kuvassa 7, olivat hyvin korkeita ja asuttomia vuoristoalueita. Luminäytteet on kerätty vuoden 2018 tammikuussa. [15.]

3 Materiaalit

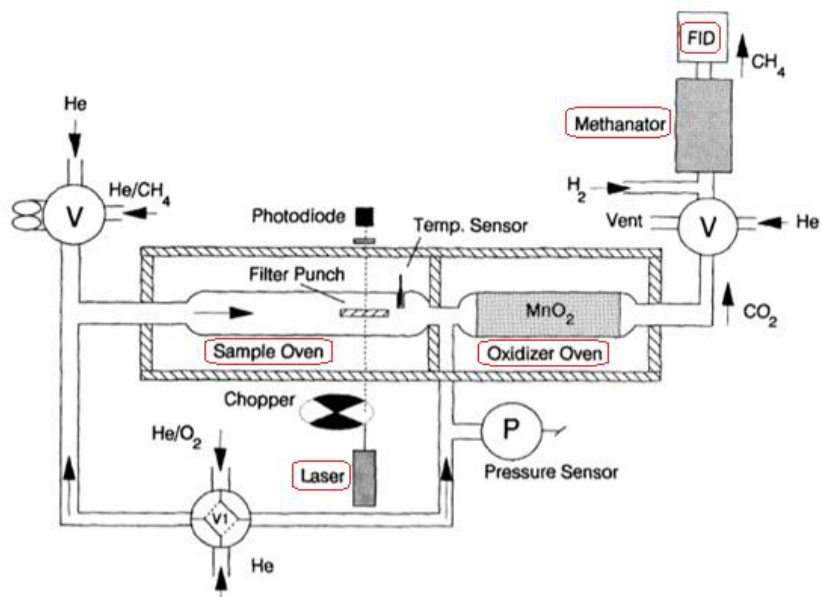
3.1 Analyysilaitte

Tärkein laite, jota käytettiin työnteossa, oli Carbon Aerosol Analyzer (termo-optinen hiili-aerosoli-analysaattori), jonka on valmistanut Sunset Laboratory Inc. (Kuva 8). Laite on usein osallistunut kansainvälisiin vertailumittauksiin. [16]



Kuva 8 Termo-optinen hiilianalysaattori.

Laite koostuu viidestä pääkomponentista: näyteuuni (sample oven), transmittanssi- eli valvontalaseri (laser), hapetusuuni (oxidizer oven), metanaattori (methanator oven) ja liekki-ionisaatiotektori (FID). Kuvassa 9 esitetään tarkemmin laitteen toiminto ja eri osat.



Kuva 9 Laitteen rakenne. Punaisella on ympyröity pääkomponentit.

Näyteuuni on se osa, johon näyte asetetaan analysointia varten. Näytepala asetetaan lasiselle kelkalle, näytteesyöttäjälle, niin kuin kuvassa 10 näytetään, ja työnnetään uunin sisään sulkien se tiiviisti. Maksimikokoinen näytepala saa olla 1,50 cm².



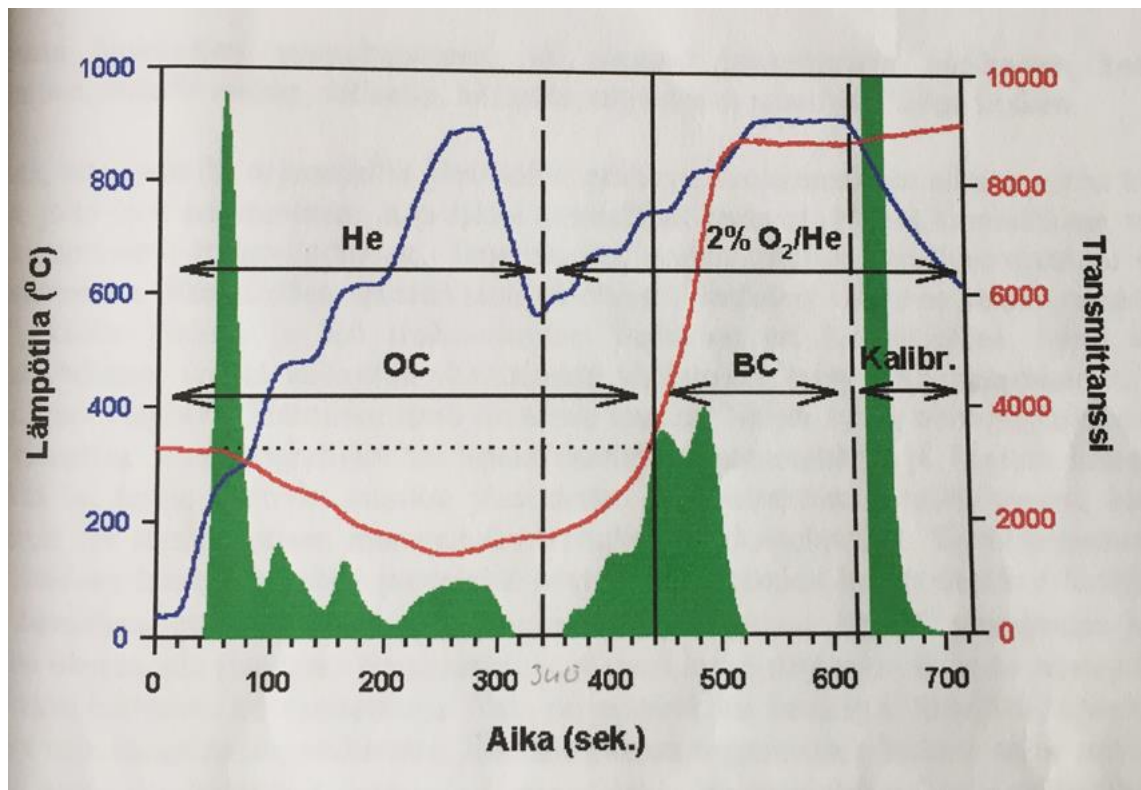
Kuva 10 Näytteesyöttäjä (pitkä lasinen tikku) jolla suodatinpalanen asetetaan näyteuuniin.

Kun näyte on uunin sisällä, laitteelle valitaan lämpöajo-ohjelma, joka asteittain kuumentaa uunia saavuttaen korkeimman lämpötilan 800–900 °C. Erilaisia lämpöajoohjelmia on lukuisia, ja ne eroavat toisistaan vain eri lämpötila-asteilla ja kestolla. Tyypillisesti yhteistä niissä on kaksi vaihetta, joilla erotetaan orgaanisen ja epäorgaanisen aineen mittaaminen.

Ensimmäisessä vaiheessa uuniin johdetaan pelkästään heliumia. Kun uuni kuumenee, orgaaninen hiili, OC, haihtuu näytepalasen pinnalta ja kulkeutuu kantokaasun, heliumin, mukana pois hapetusuunin läpi muuntuen CO₂:ksi. Kaikki orgaaninen aihe ei välttämättä aina haihtu, vaan se pyrolysoituu, eli hiiltyy. Tämä aine haihtuu toisessa vaiheessa, jonka pystyy erottamaan halutusta epäorgaanisesta aineesta transmittanssin avulla.

Noin ajon puolivälissä alkaa toinen vaihe. Uuni jäähtyy hieman ja siihen johdetaan happea sisään heliumin mukana. Helium-hapen (O₂/He) pitoisuus on noin 10 %. Hapen

avulla alkuainehiili, EC, sekä pyrolysoitunut musta hiili hapettuvat ja muuttuvat haihtuvaan muotoon.



Kuva 11 Yleinen kaavio uunin lämpenemisestä ja transmittanssista. Sininen kuvaa lämpötilaa ja punainen transmittanssia, eli laservalon läpäisevyyttä. Ensimmäinen pystysuora katkoviiva erottaa ensimmäisen ja toisen vaiheen. Toinen katkoviiva erottaa toisen ja kalibraatiovaiheen toisistaan.

Haihduttamisen jälkeen kantokaasu johdattaa kaikki aineet hapetusuuniin. Hapetusunissa oleva MnO_2 hapettaa aineet pinnallaan hiilidioksidiksi (CO_2) korkeassa lämpötilassa ($875\text{ }^\circ\text{C}$). Hapetuksen jälkeen hiilidioksidi johdatetaan metanaattoriin, jossa kuuma ilma ($500\text{ }^\circ\text{C}$) vedyn kanssa pelkistää sen metaaniksi ($\text{CO}_2 + 4\text{ H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{ H}_2\text{O}$). Metaani johdetaan eteenpäin liekki-ionisaatiotektoriin, jossa polton avulla määritetään näytteen EC-pitoisuus.

Pelkän liekki-ionisaatiotektorin avulla ei ole mahdollista määrittää alkuainehiilen määrää, sillä kokonaismäärä sisältää myös pyrolysoitunutta orgaanista ainetta. Tämän aineen pitoisuuden voidaan erottaa kokonaistuloksesta laserivalon valvontalaserin avulla. Koko ajon aikana näytepalasen läpi heijastetaan laseri, joka mittaa valon läpäisevyyttä. Ensimmäisen vaiheen aikana läpäisevyys pienenee sitä mukaa kun orgaaninen aine pyrolysoituu absorboiden johdetun valon itseensä. Toisen vaiheen

aikana arvo nousee hapettuneen orgaanisen aineen ja EC:n leijussa irti. Kun arvo saavuttaa saman luvun kuin alkutilassa, on saavutettu jakopiste, eli split-point. Kuvassa 11 sen voi nähdä pystysuorasta mustasta viivasta ja horisontaalisesta pisteviivasta. Split-point erottaa siis orgaanisen aineen ja epäorgaanisen aineen mittauksen toisistaan.

Ajon lopussa laite itsestään suorittaa näyteajokohtaisen sisäisen kalibraation injektoiden näyteuuniin tunnetun kalibraatiokaasua tilavuuden ja pitoisuuden, joka on 10 % metaania heliumissa.

3.2 Materiaali

Seuraavissa luvuissa luokitellaan muut käytettävät materiaalit ja kemikaalit. Osa näistä apuvälineistä ja liuoksista on testattu ja tutkittu opinnäytetyön tekemisen aikana.

3.2.1 Suodattimet

Sulatetut luminäytteet suodatettiin Munktellin valmistamiin kvartsisuodattimiin. (Munktell, 55mm, grade T 29). Suodattimet ovat hyvin lämpökestäviä ja paksuja, mutta hyvin hauraita. Nämä sopivat hyvin analyysimenetelmää varten niiden lämpökestävyyden takia, koska uuni pystyy kuumenemaan jopa 900 °C:seen.

3.2.2 Leikkurit

Leikkurit, tai näyteleikkurit, ovat teräväreunaiset työvälineet, joiden suut ovat kaikki erimuotoisia erikokoisten näytepalasten leikkausta varten. Kyseisillä työvälineillä ei ole virallista nimeä, joten niitä yksinkertaisesti kutsutaan leikkureiksi tai näyteleikkureiksi. Myöhemmin niitä kutsuttiin myös nimellä stanssit. [14]

Kuvassa 12 ovat kolme leikkuria, joita käytettiin työn aikana. Yleensä suodattimesta leikattiin 1,00 cm²:n kokoinen palanen, jotta siitä riittäisi näytettä muita analyyseja varten.



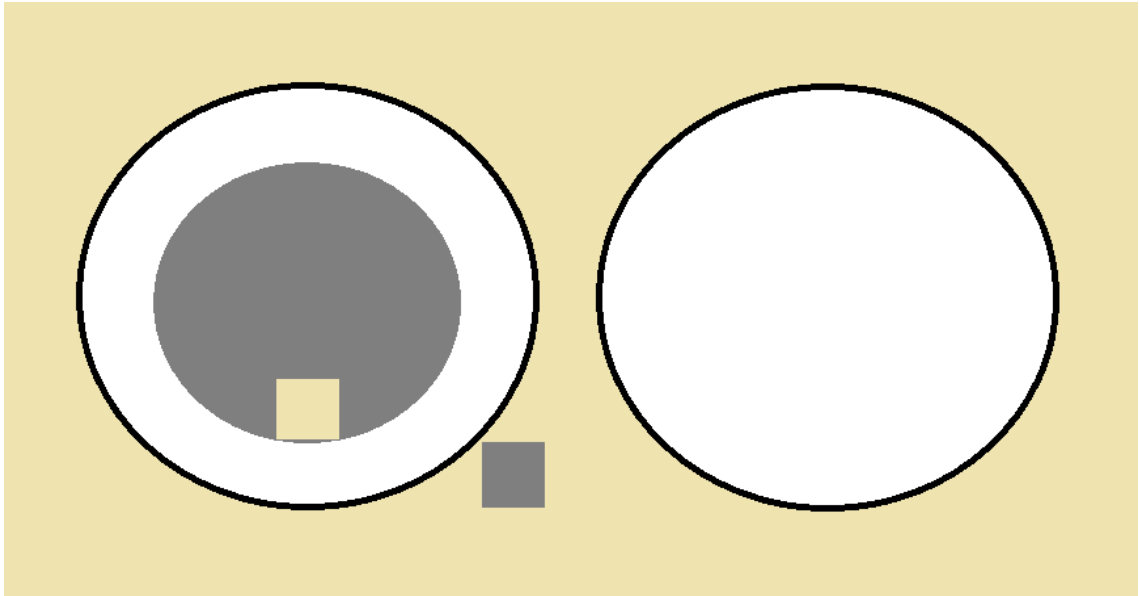
Kuva 12 Erikokoiset leikkurit: $1,5 \text{ cm}^2$, $1,00 \text{ cm}^2$ ja $0,64 \text{ cm}^2$

Jos kuitenkin suodatin silmämääräisesti näyttää hyvin tummalta, suodattimesta leikataan pienempi palanen pienellä leikkurilla. Eron isoimman ja pienimmän leikkurin välillä näkee kuvassa 13.



Kuva 13 $0,64 \text{ cm}^2$:n kokoinen pala verrattuna $1,5 \text{ cm}^2$:n kokoiseen palaan

Leikkureilla leikattiin vain näytealueelta, johon näyte kerääntyy, minkä takia on hyvin tärkeää olla huolellinen olla leikkaamatta tyhjältä alueelta. Esimerkki ja tarkempi selitys näkyy kuvasta 14.



Kuva 14 Vasemmanpuoleisesta esimerkisuodattimesta erottaa selkeästi sisäringin, johon lumesta peräisin olevan näyte kerääntyy. Selkeästä sisäringistä on helppo leikata näytepalanen reunaan myöten, säästäten näin pinta-alaa tulevia mittausanalyyssejä varten. Toisessa esimerkisuodattimessa ei erota sisärinkiä, minkä takia on hankalaa erottaa, mistä voi leikata ilman, että leikkaa vahingossa näytealueen ulkopuolista aluetta.

3.2.3 Kemikaalit

Käytettäviä kemikaaleja oli kaksi: sakkaroosiliuos ja 2-propanoli.

Sakkaroosiliuosta ($C_{12}H_{22}O_{11}$), jonka hiiliosuus on 42 %, käytettiin kontrollinäytteenä, jolla tarkastettiin termo-optisen hiili-analysaattorin kalibroinnin tarkkuutta ja laitteen kuntoa. Jos rinnakkaisten kontrollien mitatut arvot erosivat liikaa toisistaan, oli syytä epäillä laitteen olevan epäkunnossa. Tämä ei kuitenkaan aina päde, sillä liuos ja sen pipetoiminen voi myös olla virheellistä.

Sakkaroosiliuos valmistettiin punnitsemalla haluttu määrä kiinteää sakkaroosia ja liuottamalla se veteen. Vesi punnittiin sakkaroosin kanssa. Tästä saatiin kokonaisuudessaan.

Työssä käytetyn sakkaroosiliuoksen hiilipitoisuus 10:ssä millilitrassa oli 33,53 µg. Sallittu arvo jolla tulos saa poiketa on 5%, mikä asettaa eroavaisuusrajaksi 31,85 – 35,21 µg C. Arvo oli opinnäytetyöntekijän oma päättämä, kerta mitään virallista arvoa ei mainittu.[14]

2-propanoli oli kaikkia puhdistuksia varten käytettävä liuos, kuten pinsettien, leikkureiden ja pöytäpintojen puhdistukseen. 2-propanoli kuuluu alkoholiryhmään, mikä puhdistamisen kannalta on hyödyllistä, koska aine haihtuu helposti käytön jälkeen pinnoilta, estäen näin näytteiden kontaminaatiota.

4 Yleinen työsuorituskäytäntö

4.1 Luminäytteiden otto

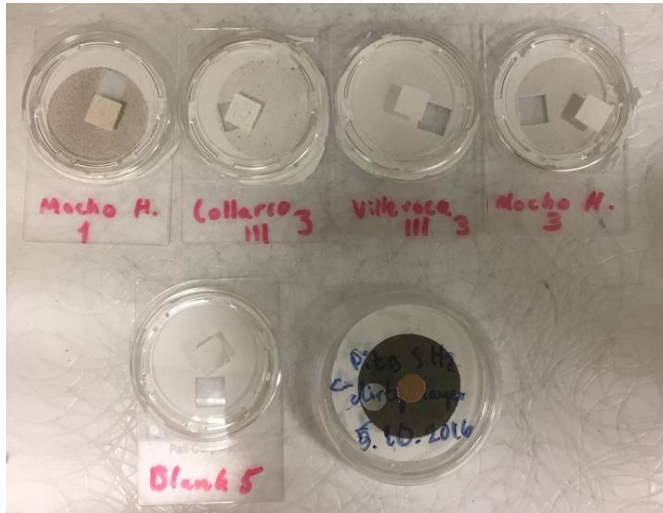
On huomioitavaa, että luminäytteet on kerätty työn ulkopuolella ilman mitään omaa vaikutusta. Seuraavat tiedot on saatu suullisesti tai kirjallisesti muista lähteistä.

Näytteet valmistettiin keräämällä satunnainen lumimäärä metallikauhalla Nasco Whirl-Pakkauspusseihin lumikuoppien eri syvyyksistä. Kuvassa 15 näkee Sunderdhungassa tehdyn lumikuopan, josta eri syvyyksistä otettiin luminäytettä. Kuvat kaikista viidestä lumikuopasta sekä kuvauksista löytyvät liitteessä 6. [7] [15]



Kuva 15 Luminäytteenottoa paikka B Sunderdhungan laaksossa.

Luminäytteet vietiin asemille, jonka jälkeen niistä sulatettu neste suodatettiin suodattimen läpi, kirjaten ylös samalla muodostuneen nesteen millilitralavuus. Muutama muodostunut suodatinnäyte kuvataan kuvassa 16.



Kuva 16 Muutamat valmiit suodattimet. Ensimmäisestä suodattimesta (Mocho H. 1) ja viimeisestä (tumma musta suodatin) erottaa selkeästi tumman sisäringin, josta näytelumi suodatetaan läpi ja vaalean puhtaan ulkoringin. Jokaisesta on leikattu laitetta varten sopiva näytepalanen.

Pienhiukkaset ja molekyylit kerääntyvät pieneksi ympyräksi suodattimien keskelle. Kun suodattimet on kuivatettu, ne pakattiin petriمالجoihin, sitten alumiinifolioon ja toimitettiin laboratorioon. Suodattimia säilytetään pimeässä kylmiössä alle 18 °C:ssa.

4.2 Laitteen käynnistys

Termo-optisen hiilianalysoitsattorin lämpötilaohjelmaa ohjataan tietokoneelta OCEC-ohjelmalla. Ajoista saadut ulokset tallentuvat samalle koneelle.

Termo-optinen hiilianalysoitsattori käynnistetään lepotilasta painamalla tietokoneohjelmasta Out-of-Standby-nappia. Kaasupulloista tulevat kaasut (O₂ ja He), joita käytetään ajoissa, päästetään virtaamaan sisään avaamalla venttiilit. Tämän jälkeen sytytetään tulitikulla liekki-ionisaatiotektoriin liekki lähellä detektorin suuaukkoa. Sytytys on onnistunut, jos tulitikun liekki sammuu ja suuaukosta tulee ulos vesihöyryä, jonka voi huomata asettamalla peili tai muu heijastava pinta suuaukolle.

4.3 Nollanäyteajo ja kontrollitarkastus

Ennen näytteiden analysointia suoritetaan tarkastus- ja puhdistusajo. Tässä tapauksessa käytetään nollanäytteenä puhdasta 1,5 cm²:n kokoista suodattimenpalasta. Näyte asetetaan sisään, syötetään tietokoneohjelmaan tiedot ja käynnistetään haluttu lämpötilaohjelma. Odotuksen jälkeen tarkistetaan saadut tulokset. Jos TC:n, eli kokonaishiilen, arvo on alle 0,07 µg/cm², eli liekki palaa ja uuni on puhdas, suodatinnäytteet voidaan alkaa asettaa laitteeseen. Jos TC-arvo ylittää 0,07 µg/cm², on hyvä käynnistää ohjelma uudestaan lisäpuhdistusta varten.

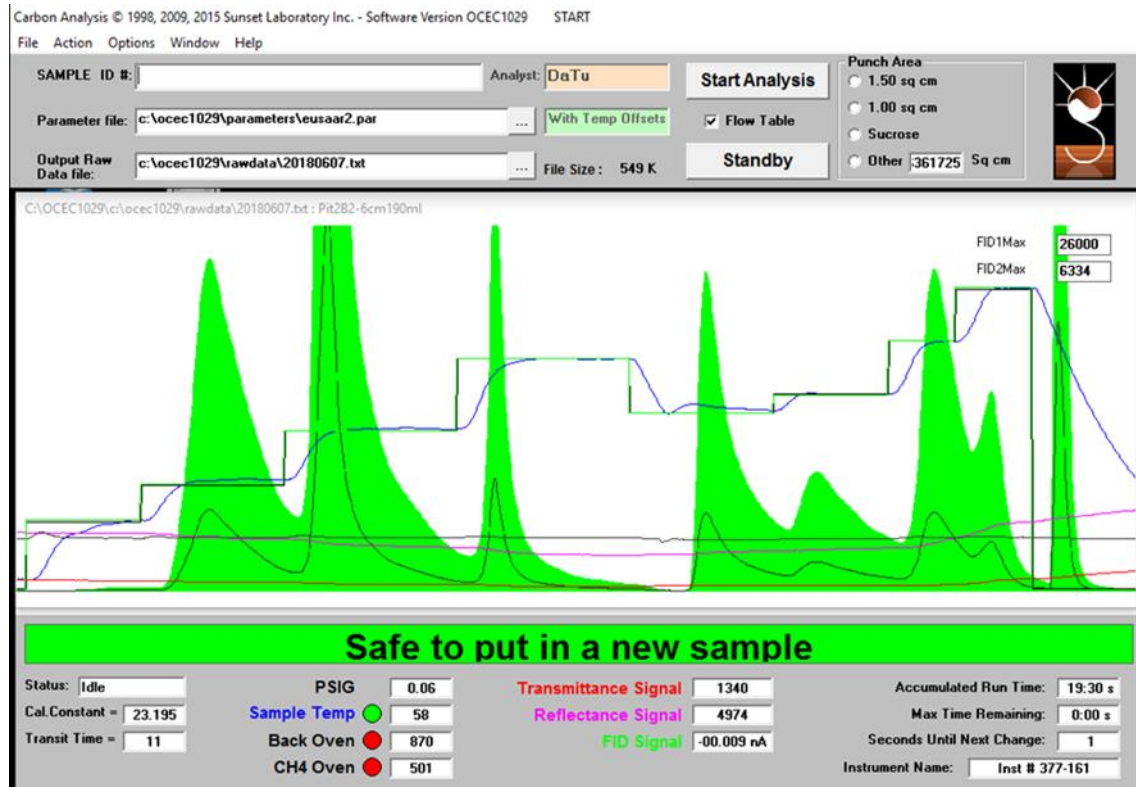
Kontrollitarkastuksessa mitataan sakkaroosiliuoksen avulla, toimiiko laite moitteettomasti ja että kalibrointivakio on validi. Huomattavasti poikkeavat arvot viittaisivat siihen, että analyysilaitte on epäkunnossa. Tässä vaiheessa vaaditaan myös työntekijän osalta huolellista työvälineiden käyttöä. Sakkaroosiliuospulla ravistetaan huolellisesti, jonka jälkeen siitä otetaan automaattipipetillä 10 µl liuosta ja pipetoitiin puhtaalle 1,5 cm²:n kokoiselle suodatinpalalle, esimerkiksi nollanäytepalaselle. Ennen kuin kontrollinäyte voidaan analysoida, se pitää kuivattaa "Dry Sample"-toiminnolla. Poltto-ohjelmalla käytetään EUSAAR2:ta. Sakkaroosia lisätään ja poltetaan kolme kertaa vertailua varten. Jos tulokset eivät poikkea liikaa, näytteitä on turvallista analysoida.

4.4 Suodatinnäytteiden valmistus ajoa varten

Suodattimista leikataan 1,00 cm²:n kokoinen palanen, joka juuri ja juuri mahtuu hiilianalysointilaitteen näytteensyöttäjälle. Jos näyte on huomattavan tumma ja runsasnäytteinen, se saattaa sekoittaa laitteen sensoreita. Tämän vuoksi käytetään pienintä leikkuria, joka halkaisee 0,64 cm²:n kokoisen alueen. Vaaleiden näytepalasten leikkaamisessa on suositeltavaa käyttää 1,50 cm²:n tai 1,00 cm²:n leikkuria. Leikatessa on hyvä olla huolellinen ettei leikkaa hajanaisesti, muuten suodattimesta ei riitä näytealuetta uusien analyysien varten. Ei ole myöskään suositeltavaa käyttää 0,64 cm²:n leikkuria, koska muuten laite ei välttämättä laske arvoa oikein pitoisuuden takia.

4.5 Poltto ja ajo-ohjelmat

Näyte asetetaan termo-optiselle hiilianalysointilaitteen näyttesyöttäjään, jonka jälkeen syötetään näytetiedot tietokoneohjelmaan. Tiedoissa mainitaan näytteen koko, ajon tekijä ja se, millä lämpötilaohjelmalla se käsitellään. (Kuva 17)



Kuva 17 OC/BC instrument program –ohjelma. Yläosaan kirjataan tiedot, nimetään näyte ja valitaan ohjelma. Alaosassa näkyy laitteen olosuhteet ja ajon kesto. Keskellä näkyy koko ajoprosessi.

Käytettäviä lämpötilaohjelmia ovat Niosh870 ja EUSAAR2. Nämä kaksi ohjelmaa eroavat vain lämpötilallaan ja kestollaan, jotka näkyvät taulukosta 1.

Taulukko 1 Niosh870 ja EUSAAR2 ohjelmien lämpötilat eri vaiheaikoina, kuvattu sekunteina. Esimerkiksi Nioshin ensimmäisessä vaiheessa syötetään pelkkää heliumia 10 sekunnin ajan lämpötilassa 1, sen jälkeen 80 sekunnin ajan lämpötilassa 310.

Niosh870			EUSAAR2		
Kaasunsyöttö/Toiminto	Aika (s)	Lämpötila	Kaasunsyöttö/Toiminto	Aika (s)	Lämpötila
Helium	10	1	Helium	10	1
Helium	80	310	Helium	120	200
Helium	80	475	Helium	150	300
Helium	80	615	Helium	180	450
Helium	110	870	Helium	180	650
Helium	45	550	Helium	30	1
Happi, Helium	45	550	Happi, Helium	120	500
Happi, Helium	45	625	Happi, Helium	120	550
Happi, Helium	45	700	Happi, Helium	70	700
Happi, Helium	45	775	Happi, Helium	80	850
Happi, Helium	45	850	Kalibraatio	110	1
Happi, Helium	110	870			
Kalibraatio	120	1			

Kun kaikki tiedot on syötetty, painetaan "Start Analysis" -nappia. Ajon voi keskeyttää Cancel-napilla, jos ilmenee ongelmia.

5 Analysointiin liittyvät haasteet

5.1 Työtila

Työn suorittamisen haasteina toimivat monet ulkoiset tekijät. Nämä olivat esimerkiksi lievästi epästeriilit ja hankalat työtilat. Työpöytänä toimiva laminaarikaapissa oleva teflonalusta oli epätasainen naarmuista, joihin on saattanut piiloutua pieniä kontaminaatioita, joita ei pyyhitty pois. Voimakas ilmavirta myös liikuttelee näytepalasia, ja sen lisäksi saattaa pyyhkiä pieniä ja keveitä pitoisuuksia näytesuodattimien pinnoilta.

Kun näyte siirretään pinseteillä laminaarikaapista termo-optiseen hiilianalysointin näytteensyöttäjälle, näyte joutuu kosketuksiin ulkoilman kanssa. Kontaminaatiota minimoidaan siirtämällä leikatut palat petri- tai näytemaljoissa, mutta jopa silloin ne joudutaan ottamaan ulkoilmaan näytesyöttäjään siirtämisen yhteydessä.

5.2 Leikkaus

Suodattimien leikkaus ei aina tapahdu tasaisesti. Materiaali voi olla sitkeämpää, tai pinnalla oleva näyte estää leikkuuta, jolloin pitää käyttää enemmän voimaa. Tämä taas usein johtaa hauraiden petrimaljojen murtumiseen paineen alla.

Leikkureita itsessään ei pesty näytteiden välillä vajaan ohjeistuksen takia. Tämä tuotti riskin tulosten käsittelyissä, sillä esimerkiksi nollanäyte voi näyttää hyvin virheellisen tuloksen kun sitä ennen on leikattu hyvin runsaspitoista suodatinnäytettä.

Joka leikkauskerralla palaset tarttuvat leikkurin sisään. Leikkurin sivussa olevasta pienestä reiästä voi kuitenkin työntää esimerkiksi neulan ja saada näyte ulos, niin kuin kuvassa 18 näkyy.



Kuva 18 Pieni kolo, josta näytepalan voi irrottaa neulalla

Tämä keino ei ole kuitenkin suotuisin, sillä se aiheuttaa tarpeetonta kontaktia ja mahdollista kontaminaatiota. Valitettavasti tähän saakka mahdollista parannusta ei ole vielä löytynyt.

Nollanäytteiden tai vaaleiden näytteiden kohdalla on vaikeaa erottaa näytealue, minkä takia usein joudutaan leikkaamaan melko keskeltä. Tällä menetelmällä tuhlataan näytealuetta muita analyysejä varten.

Näytepalaset leikattiin aina petrimaljoista, jossa suodattimet säilötään. On huomautettu, että muovisen petrimaljan pinnalta voi erittyä kontaminaatiota, jos näyte leikataan sen sisällä. [14]

5.3 Pinsetit

Kokonaiset suodattimet koostuvat sisäisestä kehästä, johon näyte kerääntyy, ja ulkoisesta, josta voi pitää kiinni pinseteillä, kun suodatinta siirrellään. Kun suodattimesta leikataan näytepalanen, koko palasen pinta koostuu analysoitavasta näytteestä. Kun palasta joudutaan siirtelemään, pinsetit vääjäämättä joutuvat kosketuksiin näytteen kanssa. Tästä seuraa kontaminaatoriski, sillä pinseteistä voi irrotta aineita näytteeseen. Sen lisäksi päinvastaisesti, pinsettien pintaan tarttuu näytettä, pienentäen näin kokonaisuutta. Pinsetit tulee puhdistaa 2-propanolilla, mutta tästäkin voi seurata kontaminaatiota, koska kaikki 2-propanoli ei välttämättä haihdu työvälineistä.

5.4 Kontrollinäytteen luotettavuus

Laitteen toimivuuden tarkastusta hankaloitti kontrollinäytteen, sakkaroosiliuoksen, epätarkka pitoisuus. Joka polttokerran jälkeen sakkaroosi usein ylitti sallitun, prosentuaalisen arvon, joka oli 5 %.

Liuos on valmistettu noin vuosi sitten ja sen aikana sitä on avattu useita kertoja. On mahdollista, että sakkaroosipitoisuus vaihteli niin radikaalisti ilmasta absorboituneiden orgaanisen hiilen takia, tai koska siitä on haihtunut vettä ilmaan.

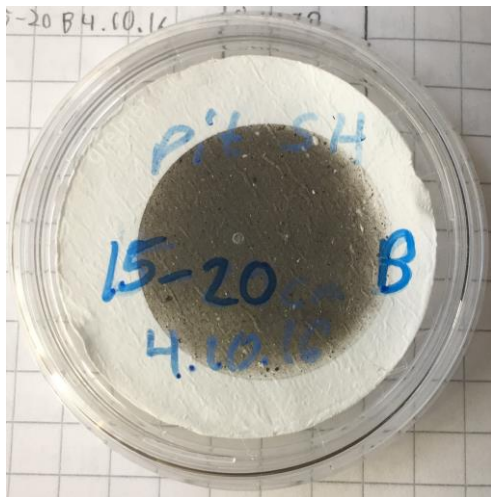
5.5 Näytteiden säilytyshistoria

Monet näytteet saattoivat olla monta vuotta vanhoja, kuten Intian Himalajan luminäytteet, jotka on kerätty syyskuussa 2015 ja Sodankylän näytteet vuoden 2013 talvella. Näytteessä olevat orgaaniset yhdisteet ovat saattaneet haihtua, tai niihin on voinut absorboitua orgaanisia kaasuja. Sen lisäksi ei ole varmaa tietoa, ovatko näytteet pysyneet täysin koskemattomina tai onko niitä säilytetty niille tarkoitetuissa olosuhdetiloissa.

Suodatinnäytteiden puhtaudessa myös kyseenalaistuttaa niiden säilytyspetrimaljat ja se, miten näytesuodattimet on asetettu niihin. Esimerkiksi Chilestä tulleet suodattimet olivat liian isoja pienille petrimaljoille, minkä takia kaikki suodattimet menettivät reunansa maljojen leikkaavien reunojen takia. Tästä osa näytealueista, jotka on suodatettu lähellä reunaa, joko kontaminoituvat tai suodattimet itse rypistyivät kelvottomiksi.

5.6 Näytteiden epätasainen homogeenisyys

Joskus näytteet ovat hyvin tasaisia ja yksivärisiä, mutta joskus suurin osa aineista keskittyy muutamalle alueelle, jättäen loput hyvin haaleiksi. Vastaavia esimerkkejä voi tarkastella kuvista 19 ja 20.



Kuva 19 Epätasainen väritys: osa näyteringin reunoista on tummia, osa vaaleita



Kuva 20 Epätasainen väritys: vaaleita pilkkuja

Epätasainen suodatus vääristää tuloksia, sillä leikattu alue ei vastaa koko suodattimen kokonaispitoisuutta laskelmien laatimisen jälkeen. Näytteet aina leikataan hyvin silmämääräisesti, mutta katse itsessään ei ole riittävä sen tarkistamiseksi, että näytepitoisuus on tasaisesti levittäytynyt.

5.7 Irtonainen sekä suuri näytemäärä

Joskus kohtaa suodattimia joiden näytealue on tasainen, mutta niiden pinnalta löytyy irtonaista ainetta, niin kuin kuvassa 21 näkyy.



Kuva 21 Tasainen harmaa väri suodattimen näytealueella, mutta pinnalta löytyy irtonaista ainetta (mustat pilkut).

Kyseinen irtomainen aine aina analysoitiin koko näytepalasen kanssa. Tämä käsittely kuitenkin osoittautui hankalaksi, kun aine saattoi irtoilla ja lentää pois ilmavirran vaikutuksesta.

Joskus pinnalle kertyneen aineen pitoisuus voi olla niinkin suuri, että se muuttaa koko suodattimen näytealueen mustaksi paksulla kerroksellaan. Seuraavassa kuvassa (Kuva 22) näytetään yksi tummimmista suodattimista.



Kuva 22 Suodattimen musta näytealue ja polton jälkeinen näytepalanen (oranssi ympyrä).

Suuri näytepitoisuus ei pelkästään tummenna suodattimen väriä, mutta lisää myös poltettavien aineiden määrää. Laite ei pysty kaikkia aineita mittaamaan, minkä takia se yksinkertaisesti vain ilmoittaa hiilipitoisuuden olevan liian suuri ja väärentää tuloksia.

Asian voi korjata leikkaamalla pienemmillä leikkureilla pienemmän palasen, jolloin mittaus ei rasi. Valitettavasti, jopa silloinkin, arvot saattavat olla vääristettyjä jos näytepitoisuus on vieläkin tumma.

5.8 Sähköisyys

Näytteet usein saavat sähkövarauksen, mikä tekee niistä hyvin tarttuvia ja hankalia käsitellä. Varautumisesta näytteet tarttuvat petrimaljojen ja pipettien pinnoille, josta ne on hankalaa poimia. Tämä on hyvin merkittävää, sillä suodatinpalasen näytepuoli saattaa tarttua pinnoille, kontaminoitua sen takia tai menettää osan hiukkasistaan. Parilla kerralla suodatinpalanen oli pudonnut irti hankalan käsittelyn vuoksi työpinoille.

Asetus näytteesyöttäjään itsessään vaati erityisosaamista. Syöttämisen aikana usein oli jouduttu käyttämään kahtakin pinsettiä irrottamista ja asettelua varten.

5.9 Termo-optisen hiilianalysointilaitteen käsittely

Jo alkuvaiheessa termo-optisen hiilianalysointilaitteen kanssa voi sattua ongelmia. FID:in liekki ei välttämättä aina syty epäoptimaalisten olosuhteiden takia, minkä takia toiminto pitää uusida ja yrittää sytyttää liekki uudestaan. Harvoin kesken näytteen polttoa liekki voi sammua ja näyttää virheellisiä lukemia. Tämän takia on erityisen tärkeää syöttää ennen virallisia ajoja joka kerta nollanäyte, jotta ei turhaan menetä rajallisia näytteitä.

Kun hyvin runsaspitoinen näytepalanen on mitattu, noin yli $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, uuni täytyy puhdistaa automaattisen toiminnon avulla. Ainoastaan pahimmassa tilanteessa, kuten jos totaalimassa on yli $175 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, uuni pitää puhdistaa kahdesti, mikä vie jonkin verran enemmän aikaa ennen kuin uuden näytteen voi syöttää.

5.10 Uusittavuus

Jos suodatinnäytettä on jo useasti leikattu, leikattava alue alkaa vähentyä eikä suodatimesta voi enää ottaa näytettä. Tämän takia on oltava erityisen säästeliäs ja huolellinen, ettei leikkaa miten sattuu, vaan aloittaa reunasta ja leikkaa melko läheltä jo leikatusta alueesta.

5.11 Vertailuarvojen puute

Laitteen antamat arvot olivat kyseenalaistettavia, koska käytettävissä ei ollut mitään vertailuarvoja. Johtopäätösten teko oli puutteellista niukkojen viite- ja lähdetietojen takia. Ilman raja- ja vertailuarvoja oli mahdotonta arvioida saatuja tuloksia ja päätellä, olivatko ne suuria vai normaaleja.

6 Mittausten ja testien suoritus

6.1 Luminäytteet

Luminäytteet mitattiin yleisellä työsuorituskäytännöllä. Kun nolla- ja kontrollinäytteet ajettiin, suodatinpalanen asetettiin termo-optisen hiilianalysaattorin sisään ja käynnistettiin ajo. Joka ajossa käytettiin EUSAAR2-ohjelmaa ja näytepalasten koko oli 1,00 cm² ja harvoin 0,64 cm².

6.2 Ajo-ohjelmien vertailu, EUSAAR2 ja Niosh870

Lämpötilaohjelmia verrattiin toisiinsa ajamalla samoja suodatinnäytteitä molemmilla ohjelmilla. Suodatinnäytteinä käytettiin erillisiä keinotekoisesti tehtyjä näytteitä, joiden alkuainehiilipitoisuus jo tunnetaan.

6.3 2-propanolin kontaminaatiotesti

Työn aikana käytettiin samaa nollanäytettä, pinsettejä ja 2-propanoliliuosta. Ensin nollanäyte poltettiin Niosh870-ohjelmalla, kunnes TC:n pitoisuus oli alle $0,02 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Tämän jälkeen nollanäyte vedettiin ulos koneesta ja heti kosketeltiin pinseteillä, jotka on puhdistettu 2-propanolilla ja annettu hetken kuivua. Nollanäyte poltettiin tämän jälkeen EUSAAR2-ohjelmalla. Joka ajon jälkeen nollanäyte puhdistetaan ajamalla se uudestaan varmistusta varten.

6.4 Kontrollinäytteen pätevyystestaus

Kontrollinäytteenä käytettävää sakkaroosiliuosta pipetoitiin $10 \mu\text{l}$ ja sitten tiputettiin puhdistettuun nollanäytteeseen. Ajo suoritettiin samalla tavalla kuin iso-propanolin testauksessa. Ennen ajoa näyte kuitenkin kuivattiin "Dry Sample"-ohjelmalla kaksi kertaa. Ajo-ohjelmalla käytettiin EUSAAR2:ta. Jokaisen ajon jälkeen nollanäyte puhdistettiin ajamalla näyte uudestaan.

6.5 Leikkureiden kontaminaatiotesti

Nollanäyte puhdistettiin käyttämällä Niosh870-ohjelmaa, kunnes tulos antoi vähemmän kuin $0,02 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Valitulla leikkurilla kosketeltiin pari kertaa hyvin runsasnäytteistä suodatinpalasta ja sen jälkeen ajettua nollanäytettä, joka heti käsittelyn jälkeen laitettiin ajoon. Lämpöohjelmalla käytettiin EUSAAR2:ta ja joka ajon jälkeen nollanäyte puhdistettiin Niosh870-ohjelmalla.

7 Tulosten käsittely

7.1 Luminäytteet

Kun ajo on suoritettu, luminäytteiden pitoisuudet saadaan kuvassa 23 esitettyssä OC/EC analysis program -tietokoneohjelmassa.

Pit1B0-2_230ml 07-Jun-18 12:48:40 PM

Sample ID: Pit1B0-2_230ml 07-Jun-18 12:48:40 PM
Instrument Name: Inst # 377-161

FID: FID1: OK FID2: OK

Organic C = 128.97 +6.55 ug/sq cm
Carbonate C = 0.00 +- ug/sq cm
Elemental C = 49.33 +-2.57 ug/sq cm
Total C = 178.30 +-9.11 ug/sq cm

Base Volatile area = **986384.0**
 Pyrolyzed area = **85272.0**
 Base EC area = **409923.0**
 Calibration area = **302966.0**
 FID2 Calibration area = **73841.0**

Manual peak: start = end = Manually Integrated Area =

Integrate to Baseline

FID1 FID2 Temperature Laser Absorbance 0-6

Kuva 23 OC/EC Analysis program, analyysiohjelma. Organic C kertoo orgaanisen hiilen määrän ja Elemental C kertoo alkuainehiilen määrän.

Pelkästä näytepalasesta ei saada selville koko orgaanisen ja epäorgaanisen, OC/EC:n, määrää. Tietokone antaa tuloksen, joka vastaan vain syötetyn suodatinpalasen kokoa. Haluttu EC ja OC pitoisuudet koko suodattimelle lasketaan luminäytteestä käyttämällä seuraavaa laskukaavaa, saaden näin esittelykelpoinen tulos muodossa µg/l.

$$\frac{EC/OC_{pala} * A_{suodatin}}{V_{vesi}} \quad (1)$$

Tässä laskussa saatu OC tai EC tulos(EC/OC_{pala}), ilmoitetaan muodossa µg/cm², kerrotaan $A_{suodatin}$, eli lukuun 9,62 cm², joka edustaa koko suodattimen näytealueen pinta-alaa. Tulos kerrotaan V_{vesi} -een, joka edustaa suodatetun sulatetun luminäytteen vesimäärää litroina. Tarkemmat lasketut tulokset näkyvät liitteissä 1 - 5.

7.2 EUSAAR2- ja Niosh870-ohjelmien vertailu

Pääsääntöisesti EUSAAR2:n ja Niosh870:n merkittävät erot näkyivät ajojen kestossa. EUSAAR2:n ajo kestää noin 22 minuuttia ja Niosh870:n 15 minuuttia. Silmämääräisesti ei voi todeta ajo-ohjelmien eroa ja luotettavuutta, joten sitä varten ajetaan samoja näytteitä molemmilla menetelmillä vertailua varten.

Kun ajot on suoritettu, tulokset käsitellään samalla tavalla kuin luminäytteissä käyttämällä seuraavaa kaavaa, jotta saadaan selville EC:n pitoisuus koko suodattimesta.

$$\frac{EC_{pala} * A_{suodatin}}{V_{vesti}}$$

(2)

Tämän laskun jälkeen tulokset vielä jaetaan vesimäärällä, joka suodatettiin suodattimien läpi, niin saadaan esittelykelpoiset arvot µg/l. Kaikkien vesimäärä oli 400 ml.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2) Kuvataan Niosh870:n ja EUSAAR2:n antamat arvot laskukaavan käyttämisen jälkeen. Näytteiden nimissä (xxML.(SOUP)) (#yy.xxBC) mainitaan todellinen pitoisuus muodossa µg/l, joissa xx vastaa BC:n tunnettua arvoa.

Taulukko 2 TC:n mittaustulokset Nioshilla ja Eusaarilla. Vihreällä merkittiin, kumpi tuloksista on lähimpänä mainittua, tunnettua pitoisuutta.

EC:n pitoisuus Nioshilla ja Eusaarilla in µg/l		
Näytteen nimi	Niosh	Eusaar
10ML.BC.	11,79629206	10,72194865
20ML.SOUP	12,6661293	16,65670161
30ML.SOUP	21,25012375	29,65974102
#7.20.SOUP	23,11375101	24,38724915
#10.20BC	27,88835339	24,13758089
#13.20BC	28,16197826	28,04763116
#8.30BC	31,64357567	31,69870473
#9.30BC	29,07858308	20,08560215
#11.30BC	44,9358849	39,30521624
#16.30BC	52,55187322	48,41125263
#6.40BC	51,29600339	51,67813052
#7.40BC	32,2523044	25,67635997
#14.40BC	38,32884017	64,17585488
#4.50BC	52,88844431	40,80466896
Arvo joka on lähimpänä mainittua	7	7

7.3 2-propanolin kontaminaatiotesti

Kun näytepalaset, jota oli koskettu 2-propanolilla pestyillä pinseteillä, on poltettu, saatiin seuraavat tulokset, jotka näkyvät taulukossa 3.

Taulukko 3. Iso-propanolin tulokset termo-optisella hiilianalysointilaitteella.

Näytteen nimi	TC, kokonaispitoisuus µg/sqcm
PROPANOL-TEST	0,29
PROPANOL-TEST 2	0,10
PROPANOL-TEST 3	0,17

2-propanolia varten testejä ei tehty tarpeeksi, mutta sillä määrällä, joka on kerätty, voi todeta, että 2-propanolista erottuu joitain pieniä määriä näytepalaseen. Määrä ei ole huomattavan suuri, mutta tähän ei saada varmennusta, koska mitään poikkeama-arvoja ei ole koskaan mainittu. Usein työnteossa mittaja saa itse päättää, mikä poikkeava määrä on suotuisaa. Näiden tulosten perusteella siis arvo ei ole vielä niin merkityksellinen.

7.4 Kontrollinäytteen toimivuus

Kontrollinäytteitä analysoitiin lähes päivittäin, kun näytteitä poltettiin. Muutaman kerran suoritettiin testejä, jossa tarkastettiin tarkemmin kontrollinäytteen esivalmistelut ja suoritettiin hieman poikkeavia toimintoja. Tulokset ja lisätiedot näkyvät taulukosta 4.

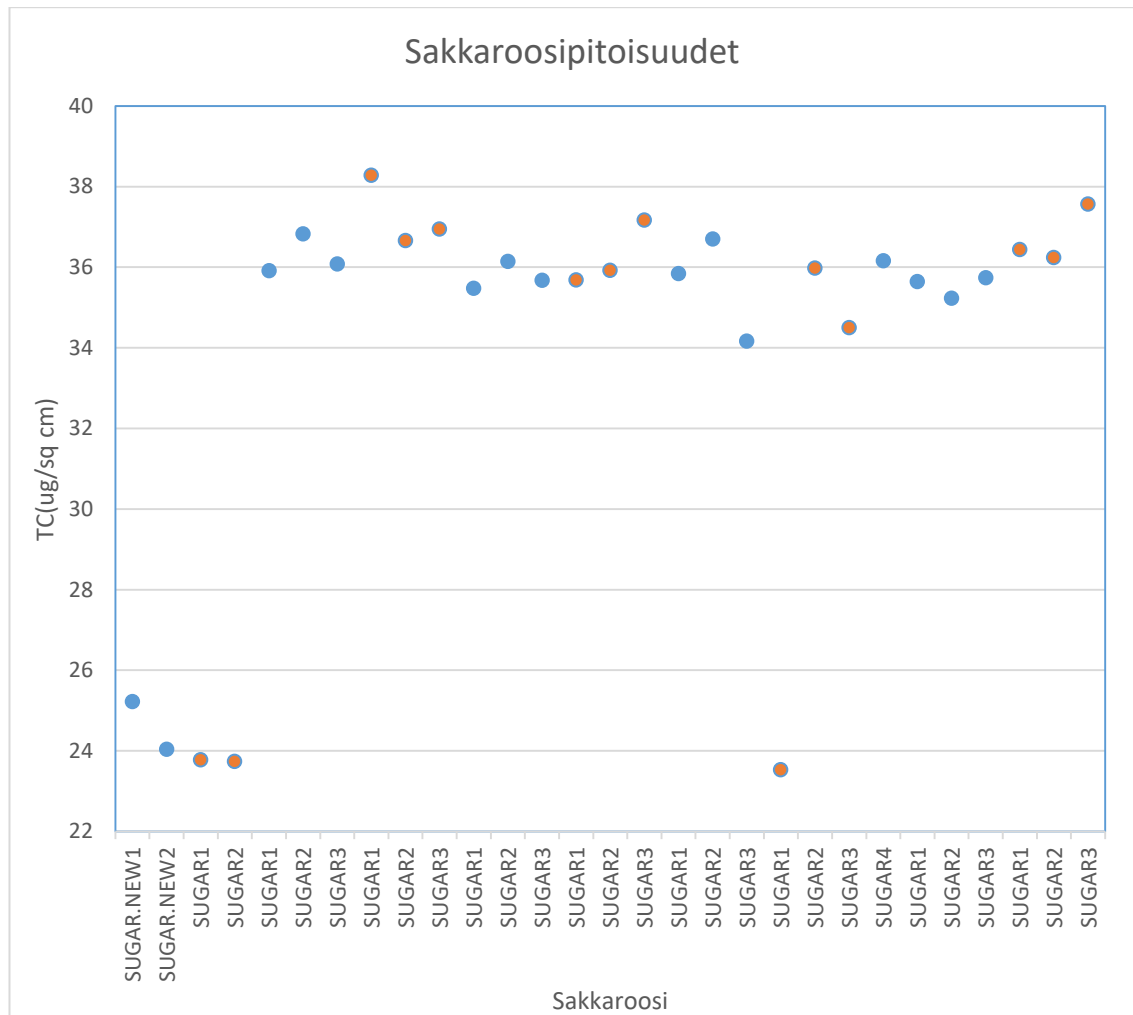
Taulukko 4. Sakkaroosipitoisuuksien tulokset, sekä lisätiedot ja jos raja-arvot ylitetään.

Päivämäärä	Nimi	TC(ug/sq cm)	Ylittää/Alittaa raja-arvon 5% (31.85-35.21 ug C)	Huomautukset, muutokset
26.4.18	SUGAR.NEW1	25,22781	TRUE Alittaa	
	SUGAR.NEW2	24,04181	TRUE Alittaa	
27.4.18	SUGAR1	23,77104	TRUE Alittaa	
	SUGAR2	23,73596	TRUE Alittaa	
16.05.18	SUGAR1	35,91256	TRUE Ylittää	
	SUGAR2	36,82684	TRUE Ylittää	
	SUGAR3	36,08043	TRUE Ylittää	
18.5.18	SUGAR1	38,27732	TRUE Ylittää	
	SUGAR2	36,65577	TRUE Ylittää	
	SUGAR3	36,94104	TRUE Ylittää	
21.5.18	SUGAR1	35,47657	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter
	SUGAR2	36,14595	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter
	SUGAR3	35,67673	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter
22.5.18	SUGAR1	35,68325	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter, ravista pullo
	SUGAR2	35,9158	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter, ravista pullo
	SUGAR3	37,16263	TRUE Ylittää	Kaksi kertaa Dry wet filter, ravista pullo
23.5.18	SUGAR1	35,8411	TRUE Ylittää	
	SUGAR2	36,7006	TRUE Ylittää	
	SUGAR3	34,16681		Pieni tilkka pipetin kärjessä
24.5.18	SUGAR1	23,52575	TRUE Alittaa	Ohjelma sammui kesken ajon
	SUGAR2	35,97685	TRUE Ylittää	
	SUGAR3	34,49606		
	SUGAR4	36,16294	TRUE Ylittää	
25.5.18	SUGAR1	35,64831	TRUE Ylittää	Pipetoitiin yksi alue
	SUGAR2	35,22824	TRUE Ylittää	Pipetoitiin kaksi aluetta
	SUGAR3	35,7436	TRUE Ylittää	Pipetoitiin kolme aluetta
29.5.18	SUGAR1	36,43392	TRUE Ylittää	
	SUGAR2	36,23835	TRUE Ylittää	
	SUGAR3	37,561	TRUE Ylittää	

Taulukosta 4 erottaa miten monet arvot ylittävät ja alittavat sallitun raja-arvon. Ylittävät arvot on väritetty punaisella, ja viisi näytettä, jotka alittavat raja-arvot, on väritetty keltaisella. Neljä ensimmäistä, 26.4.18 ja 27.4.18:n päivän näytteille ei ole selkeätä syytä poiketa niin radikaalisti. Ainoa hypoteesi on että ne on saatettu pipetoida väärin

ensimmäisillä kerroilla. 24.5.18 SUGAR1 näyte taas on raja-arvon alapuolella, koska ajo-ohjelma sammui tuntemattomasta viasta.

Vain kaksi pysyi raja-arvon sisällä, joista toinen (23.5.18 SUGAR3) mahdollisesti on menettänyt massaa pipetinkärjen sisään, mikä huomattiin myöhemmin. Sen voi todeta jopa taulukosta 4, josta huomaa, että näyte 23.5.18 SUGAR3 oli muita pienempi, jos ei lasketa neljä ensimmäistä näytettä ja 24.5.18 SUGAR1 näytettä jossa ohjelma sammui.



Kuva 24 Visuaalinen kuvaus sakkaroosipitoisuuksien pitoisuuksista. Eri analyysikerrat on merkitty eri väreillä: Sininen pariton, oranssi parillinen kerta.

Yleisesti mitään muita trendejä ei löydy kontrollinäytteen analyysien väliltä. Jopa päivämäärien 21.5.18 ja 22.5.18 näytteet eivät poikkea muista.

7.5 Leikkureiden kontaminaatiotesti

Kun näyte on poltettu puhtaaksi, eli laite ei havaitse siinä melkein ollenkaan aineita, sitä kosketetaan likaisilla leikkureilla. Ajojen jälkeen saatiin seuraavat tulokset, jotka näkyvät taulukosta 5.

Taulukko 5. Leikkureiden tulokset termo-optisella hiilianalysaattorilla

Näytteen nimi	TC, kokonaispitoisuus $\mu\text{g}/\text{sqcm}$
CUTTER-TEST	0,59
CUTTER-TEST 2	0,39
CUTTER-TEST 3	0,70

Näytepalasia ei ehditty analysoida tarpeeksi, joten nämä ovat ainoita tutkittavia tuloksia. Tulokset ovat kaksin kerroin isompia kuin esimerkiksi 2-propanolin kontaminaatiotesti. Samoin kuin 2-propanolitestissä, poikkeama-arvoja ei ole mainittu, joten tulokset voi arvioida vain silmämääräisesti.

8 Tulosten johtopäätökset

8.1 Luminäytteet

Sodankylän alkuainehiilen pitoisuudet olivat muihin mitattuihin lähteisiin nähden hyvin alhaisia. Aikavälien 12.11.2015 - 2.5.2016 ja 29.11.2016 - 26.5.2017 graafisista taulukoista, jotka voi tarkistaa liitteestä 2, huomaa yhden toistuvan trendin: kummassakin EC:n ja OC:n arvot pysyvät lopputalvesta alhaisina, mutta nousevat asteittain huhtikuun puolella. Todennäköinen syy vastaavalle ilmiölle voi olla lumen sulaminen pois, minkä seurauksena pinnalle jääneen EC:n ja OC:n pitoisuus suurenee.

Sunderdhungan lumikuopissa A ja B sekä Dhanoltin C yhteiseksi trendiksi löytyi EC:n ja OC:n korkea pitoisuus noin 9-20 senttimetrin syvyydessä. Dhanoltin lumikuopissa D ja E:ssä suurimmat pitoisuudet löytyvät noin 30:n ja 50:n senttimetrin syvyydestä.

Liitteessä 6 huomaa, että nämä pitoisuudet vastaavat melko hyvin lumikuoppien kuvailuja, joissa mainitaan tuore lumi, joka on melko puhdasta, sekä likainen lumi, josta löytyy suuria EC- ja OC-pitoisuuksia.

Todennäköinen selitys likaisille keskikerroksille voi olla lumen sulaminen, jolloin kaikki lika ja aineet laskeutuvat alas alemmille kerroksille. Kun uusi lumi sataa päälle, se kerää ilmasta lisää aineita, joita se edelleen pakkaa alimpiin kerroksiin sulamisen yhteydessä.

Chilen näytteitä oli melko vähän, minkä takia oli hankalaa löytää yhteisiä trendejä datasta ja graafisista taulukoista. Muutamia huomautuksia ovat kuitenkin esimerkiksi blank 1:n poikkeuksellisen korkea pitoisuus, mikä näkyy liite 6:n kuvasta. Syynä voi olla kontaminaatio, koska kaikkien Chile-näytteiden säilytysperimäljat olivat liian pieniä, leikaten näin suodattimien reunoja.

Kaikissa graafisissa taulukoissa voi huomata muutaman poikkeuksellisen korkean pylvään. Tämä voi johtua liian korkeista OC-pitoisuuksista suodatinpaloissa, joita laite analysoi väärin, merkiten split-pointin väärään kohtaan.

Tulevaisuudessa voisi harkita määrittää, kuinka runsaspitoisia näytteitä termo-optinen analysaattori pystyy analysoimaan, ennen kuin se vääristää tuloksia. Myös uusia leikkureiden hankintaa voisi harkita, tai kirurgiveitsen käyttöä, jolla suodatinpalaset voi leikata kahtia tai neljään osaan.

8.2 Ajo-ohjelmat

Niosh870- ja EUSAAR2-ohjelmat ovat saatujen tulosten perusteella tasoissa tarkkuutensa mukaan, minkä takia näiden kahden ohjelman välillä ei ole huomattavaa eroa.

Epäilyt tulosten tarkkuudelle ovat esimerkiksi se, että tekosuodatinnäytteet eivät välttämättä ole tuoreita, mikä saattaa selittää suurestikin poikkeavat tulokset. Suodatinnäytteitä oli tämän lisäksi vain neljätoista, minkä takia uusi testi on suositeltavaa toistaa uudestaan laajemmalla ja tuoreemmalla näytemäärällä.

Tähän saakka käytettävänä ohjelmana toimii kuitenkin pääasiassa Eusaar. Tulevaisuudessa voi kuitenkin suorittaa lisää testejä varmennusta varten.

8.3 2-propanoli

Silmämääräisesti vertaillen saatujen tulosten perusteella 2-propanolin kontaminaatoriski ei ole vielä niin merkittävä. 2-propanolia varten testejä ei tehty tarpeeksi, mutta sillä määrällä joka on kerätty, voi todeta, että 2-propanolista erittyy joitain pieniä määriä näytepalaseen. Määrä ei ole huomattavan suuri, mutta tähän ei saada varmennusta, koska mitään poikkeama-arvoja ei ole koskaan mainittu. Usein työnteossa mittaja saa itse päättää, mikä poikkeava määrä on suotuisaa. Näiden tulosten perusteella siis arvo on vielä kelpaava.

2-propanolin kontaminaatoriski ei ole niin suuri, joten sitä voi käyttää jatkossakin, mutta huolellisesti, sekä antaa liuokselle tarpeeksi aikaa haihtua pois pinsettien ja muiden työvälineiden pinnoilta.

8.4 Kontrollinäytteet

Todennäköinen syy sakkaroosiliuoksen ylittävän raja-arvoja voi olla, että nesteestä on haihtunut vettä tai absorboinut epäorgaanista ainetta ja sen takia liuos on muuttunut väkevämmäksi vuoden aikana, näin ylittävän opinnäytetyöntekijän omat päättämät raja-arvot 31,85-35,21 µg C. Kyseessä on siis systemaattinen poikkeama. Toinen syy voi olla myös työn suorittajan huolimattomuus tai eri pipetointitekniikka.

On myös mahdollista, että termo-optinen hiilianalysaattori pitää kalibroida. Jatkotehtäviksi voisi olla suositeltavaa joko valmistaa uusi liuos, suorittaa validointi sekä selvittää tarvitseeko laite uutta kalibrointia.

8.5 Leikkurit

Arvot ovat silmämääräisesti melko suuret, eli voi olettaa, että likaisilla leikkureilla voi olla vaikutusta näytepalasten kontaminoinnissa, varsinkin jos edelliset käsitellyt suodattimet olivat hyvin runsaspitoisia näytteestä, liaten näin leikkureiden pinnat. Tämän perusteella

yksi tehokkaista menetelmäkehityksistä olisi näytteiden ajaminen ja leikkaaminen järjestyksessä nollanäytteistä tummempisiin näytteisiin. Näin kontaminointiriski pienenee leikkausten aikana. 2-propanolia tulisi myös käyttää joka käytön jälkeen ja antaa puhdistettujen pintojen ehtiä kuivua tarpeeksi.

9 Loppupäätelmät

Työt on suoritettu hyvin ja huolellisesti. Päätyöstä saatiin suotuisia ja kattavia tuloksia, sekä sivutöistä saatiin uusia parannusideoita jatkoksi.

Saaduista luminäytetyöstä saatiin tuloksia mutta niistä tehtävät johtopäätökset jäävät niukoiksi ilman lisätutkimuksia. Jatkossa on hyvä tehdä kattavampaa luminäytteen keräämistä, jolloin kerättäisiin enemmän näytteitä, sekä huolehtia tarkoin niiden sterilisaatiosta. Ehdottomasti tärkeää on ajoissa löytää sopivan kokoisia petri- tai kuljetusmaljoja suodattimia varten, ettei tapahdu samalla tavalla kuin Chilen näytteille, jotka oli pakakattu liian pieniin petrimaljoihin. Myös laajemmat viite- ja tietolähteet olisivat hyödyllisiä. Kontrollinäytteeksi pitää tehdä joko uusi liuos tai laskelmoinnin avulla laskea nykyisen liuoksen uudet sallitut, poikkeavat raja-arvot.

Lähteet

- 1 Tutkimusta kolmella toimialalla. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/tutkimustoiminta>>. Luettu 28.6.2018
- 2 Hildén, Mikael; Kupiainen, Kaarle; Forsius, Martin & O.Salonen, Raimo. 2017. Mustan hiilen päästöjä vähentämällä jarrutetaan arktista lämpenemistä. Verkkoaineisto. SYKE POLICY BRIEF. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/228323/PB_mustahiili_FI_20171219.pdf?sequence=5>. Luettu 18.6.2018
- 3 2013. Uusi malli alkuainehiilen pitoisuuksien laskemiseen. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos <https://ilmatieteenlaitos.fi/tiedeutisten-arkisto/-/asset_publisher/1R4q/content/uusi-malli-alkuainehiilen-pitoisuuksien-laskemiseen> Luettu 28.6.2018
- 4 Kaski, Nelli. 2017. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2016. Verkkoaineisto. HSY Edita Prima Oy. <<https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/ilmanlaatu-paakaupunkiseudulla-2016.pdf>> Luettu 28.6.2018
- 5 Laaksonen, A; ym. MUSTA HIILI ILMASTOPAKOTTEENA: PÄÄSTÖJEN JA MAHDOLLISTEN PÄÄSTÖVÄHENNYSTEN GLOBAALIT JA ALUEELLISET VAIKUTUKSET. Verkkoaineisto. Suomen ilmastopaneeli. <file:///F:/Opinnäytetyö/Lähteet/Musta%20hiili%20ilmastopakotteena_Ilmastopaneelin%20raportti.pdf> Luettu 29.6.2018
- 6 Ilmastonmuutoskysymyksiä #1. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä#1>> Luettu 28.6.2018
- 7 Svensson, Jonas; ym. 2018. Light-absorption of dust and elemental carbon in snow in the Indian Himalayas and the Finnish Arctic. Tutkimustyöraportti. Finnish Meteorological Institute.
- 8 Birch, M. E & Cary, R. A. 1996. Elemental Carbon-Based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust Aerosol Science and Technology. Tutkimustyöraportti. Finnish Meteorological Institute.
- 9 Ruppel, Meri M. 2015. Musta hiili arktisen alueen lämmittäjänä. Verkkoaineisto. Ympäristötieteiden laitos. <http://www.geologinenseura.fi/geologi-lehti/4-2015/Geologi_4_2015_05mhiili.pdf>. Luettu 24.5.2018
- 10 Viidanoja, J. 2000. Hiiliaerosolinnäytteiden käsittely ja analyysi termo-optisella hiilianalyysaattorilla. Ilmatieteen laitos.
- 11 Kuva Sodankylän kartasta. Verkkoaineisto. Sodankylän oppimispalvelut. <https://blogi.eoppimispalvelut.fi/reittimerkinnat/sodankyla/>

- 12 Kuvat Sodankylän Sunderdhungan laakson ja Chilen luminäytteenottopaikoista. Verkkoaineisto. Google Maps. <<https://www.google.fi/maps/>>.
- 13 Kuva Intian kartasta. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Uttarakhand#/media/File:IN-UT.svg>>.
- 14 Kuva Chilen kartasta. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Chile_in_South_America_%28-mini_map_-_rivers%29.svg>.
- 15 Svensson, Jonas. 2018. Tutkija, Ilmatieteen laitos, Helsinki. Keskustelu 1.5.-30.8.2018
- 16 Aurela, Minna. 2018. Tutkija, Ilmatieteen laitos, Helsinki. Keskustelu 1.5.-30.8.2018

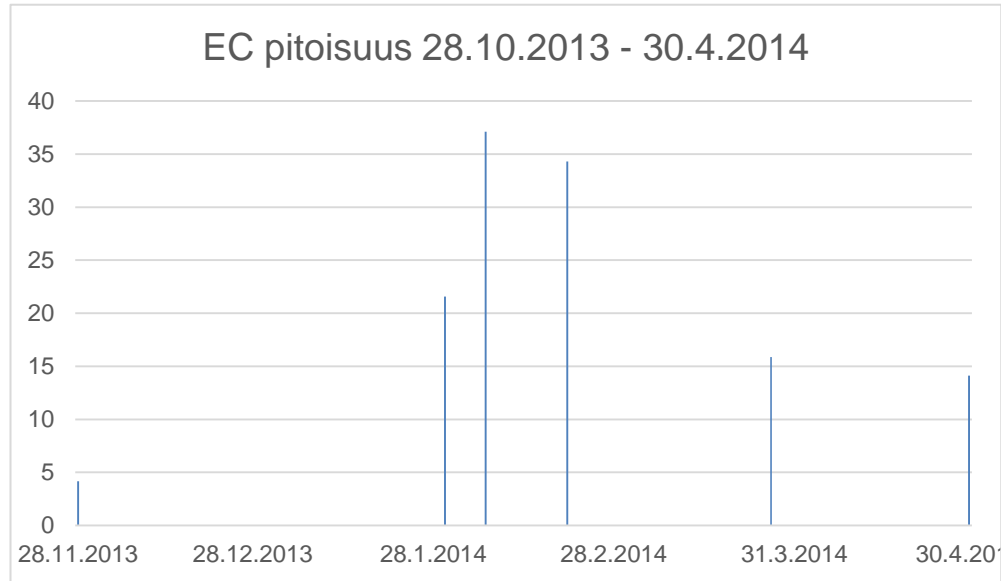
Sodankylä 28.11.2013-26.5.2017

Päivämäärä	Sodankylä	Näytepalasen määrä (ug)				Palasen koko(sqcm)	Koko suodatin (9,621127502sqcm)			Koko suodatin/vesimäärä ug/l			
		OC	EC	TC			OC	EC	TC	vesimäärä	OC	EC	TC
28.11.2013	FMI-ARC896ml(5)	45,75518	0,386626	46,141806	1	440,2164207	3,719778042	443,9361987	0,896	491,3129695	4,151537993	495,4645075	
30.1.2014	FMI-ARC1034ml(20)	148,6838	2,317357	151,001157	1	1430,505797	22,29558716	1452,801384	1,034	1383,467889	21,56246341	1405,030352	
6.2.2014	FMI-ARC1061ml(6)	23,43983	4,091968	27,531798	1	225,5175931	39,36934586	264,8869389	1,061	212,5519256	37,10588677	249,6578124	
20.2.2014	FMI-ARC960ml(4)	37,9969	3,421401	41,418301	1	365,5730196	32,91773526	398,4907548	0,96	380,8052287	34,28930756	415,0945363	
27.3.2014	FMI-ARC828+B3:B63ml(89,14521	1,364518	90,509728	1	857,6774316	13,12820166	870,8056333	0,828	1035,842309	15,85531601	1051,697625	
27.3.2014	FMI-ARC903ml(3)	100,0753	0,6204609	100,6957609	1	962,8372211	5,969533429	968,8067545	0,903	1066,264918	6,610778991	1072,875697	
30.4.2014	FMI-ARC277ml(2)	26,78183	0,4068069	27,1886369	1	257,6714012	3,913941054	261,5853422	0,277	930,2216649	14,1297511	944,351416	
12.11.2015	FMI-ARC888ml(5)	60,69883	1,236966	61,935796	1	583,9911827	11,9010076	595,8921903	0,888	657,6477282	13,40203559	671,0497638	
17.11.2015	FMI-ARC881ml(5)	30,75101	1,913401	32,664411	1	295,859388	18,40907498	314,268463	0,881	335,8222339	20,89565832	356,7178922	
17.11.2015	FMI-ARCBlank	4,666224	0,1258176	4,7920416	1	44,89433606	1,210507172	46,10484323					
27.11.2015	FMI-ARC754ml(4)	79,13045	0,6723477	79,8027977	1	761,3241487	6,468742947	767,7928917	0,754	1009,713725	8,579234678	1018,29296	
1.12.2015	FMI-ARC811ml(5)	31,46112	0,4507032	31,9118232	1	302,6914469	4,336272953	307,0277198	0,811	373,2323636	5,346822383	378,579186	
8.12.2015	FMI-ARC909ml(4)	32,90294	0,5168673	33,4198073	1	316,5633809	4,972846195	321,5362271	0,909	348,2545445	5,470677882	353,7252224	
18.12.2015	FMI-ARC797ml(11)	55,67075	0,666959	56,337709	1	535,6153839	6,416897578	542,0322815	0,797	672,0393775	8,051314401	680,0906919	
22.12.2015	FMI-ARC992ml(3)	15,0353	1,034302	16,069602	1	144,6565383	9,951151418	154,6076897	0,992	145,8231233	10,03140264	155,854526	
29.12.2015	FMI-ARC776ml(2)	135,9398	0,8994958	136,8392958	1	1307,894148	8,654163779	1316,548312	0,776	1685,430604	11,15227291	1696,582877	
8.1.2016	FMI-ARC647ml(5)	12,00606	0,5899122	12,5959722	1	115,5118341	5,675620491	121,1874545	0,647	178,5345194	8,77221096	187,3067304	
14.1.2016	FMI-ARC935ml(5)	14,67584	0,9507574	15,6265974	1	141,1981278	9,147358169	150,345486	0,935	151,0140405	9,783270769	160,7973112	
22.1.2016	FMI-ARC786ml(4)	31,04708	1,512842	32,559922	1	298,7079152	14,55524577	313,263161	0,786	380,0355156	18,51812439	398,55364	
27.1.2016	FMI-ARC754ml(5)	11,34931	0,4792615	11,8285715	1	109,1931586	4,611035998	113,8041946	0,754	144,8185127	6,115432358	150,9339451	
2.2.2016	FMI-ARC894ml(4)	24,81537	1,273254	26,088624	1	238,7518388	12,25013908	251,0019779	0,894	267,0602223	13,70261642	280,7628388	
10.2.2016	FMI-ARC767ml(4)	12,94385	0,5922945	13,5361445	1	124,5344312	5,698540903	130,2329721	0,767	162,3656209	7,429649157	169,79527	
16.2.2016	FMI-ARC799ml(6)	16,6008	1,098253	17,699053	1	159,7184134	10,56643214	170,2848456	0,799	199,8978892	13,22457089	213,12246	
23.2.2016	FMI-ARC1162ml(5)	34,39644	0,8407383	35,2371783	1	330,9325349	8,08885038	339,0213852	1,162	284,795641	6,961144905	291,7567859	
2.3.2016	FMI-ARC802ml(5)	60,82743	1,826145	62,653575	1	585,2284596	17,56957388	602,7980335	0,802	729,7112963	21,90719935	751,6184957	
9.3.2016	FMI-ARC713ml(6)	18,39692	2,624644	21,021564	1	176,999113	25,25203457	202,2511475	0,713	248,2456002	35,41659828	283,6621985	
17.3.2016	FMI-ARC1049ml(3)	245,2729	3,379626	248,652526	1	2359,801844	32,51581266	2392,317656	1,049	2249,572778	30,99696154	2280,569739	
22.3.2016	FMI-ARC1132ml(2)	269,3971	7,168925	276,566025	1	2591,903848	68,97314148	2660,876989	1,132	2289,66771	60,93033699	2350,598047	
29.3.2016	FMI-ARC503ml(1)	97,48766	1,00082	98,48848	1	937,9412067	9,629016827	947,5702236	0,503	1864,694248	19,14317461	1883,837423	
6.4.2016	FMI-ARC615ml(1)	62,36098	9,228224	71,589204	1	599,9829397	88,78591972	688,7688595	0,615	975,5820158	144,3673491	1119,949365	
7.4.2016	FMI-ARC646ml(1)	105,894	1,416868	107,310868	1	1018,819676	13,63186768	1032,451543	0,646	1577,120241	21,10196236	1598,222203	
8.4.2016	FMI-ARC757ml(1)	120,5454	2,031684	122,577084	1	1159,782663	19,54709081	1179,329754	0,757	1532,077494	25,82178442	1557,899279	
13.4.2016	FMI-ARC744ml(2)	240,3489	2,910823	243,259723	1	2312,427412	28,00539922	2340,432811	0,744	3108,10136	37,64166562	3145,743026	
14.4.2016	FMI-ARC386ml(1)	87,51424	1,240296	88,754536	1	841,9856613	11,93304596	853,9187072	0,386	2181,310003	30,91462683	2212,22463	
21.4.2016	FMI-ARC641ml(2)	35,53364	0,7464819	36,2801219	1	341,8736811	7,181997538	349,0556786	0,641	533,3442762	11,20436433	544,5486405	

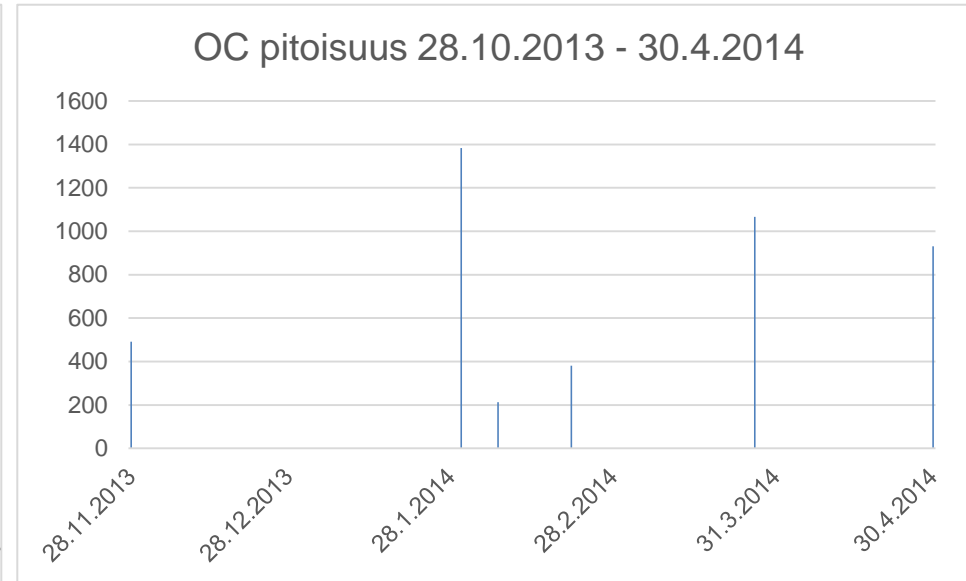
2 (2)

25.4.2016	FMI-ARC608ml(1)	31,02496	0,7282776	31,7532376	1	298,4950959	7,006851646	305,5019476	0,608	490,9458814	11,52442705	502,4703085
27.4.2016	FMI-ARC744ml(1)	151,3341	1,750994	153,085094	1	1456,004672	16,84653653	1472,851208	0,744	1956,995526	22,64319426	1979,63872
29.4.2016	FMI-ARC817ml(1)	285,9603	3,923237	289,883537	1	2751,260507	37,7459634	2789,00647	0,817	3367,51592	46,20068959	3413,71661
2.5.2016	FMI-ARC371ml(0,5)	155,6336	1,54594	157,17954	1	1497,370709	14,87368585	1512,244395	0,371	4036,039647	40,09079744	4076,130445
2.5.2016	FMI-ARC434ml(0,5)	132,3165	1,325522	133,642022	1	1273,033917	12,75301617	1285,786933	0,434	2933,257874	29,38482988	2962,642703
29.11.2016	FMI-ARC_BLANK	1,365445	3,63E-02	1,40170767	1,5	8,758080295	0,232591848	8,990672142				
29.11.2016	FMI-ARC906ml29.11.16	32,65956	0,9041228	33,5636828	1,5	209,4811939	5,799120491	215,2803144	0,906	231,2154459	6,400795244	237,6162411
7.12.2016	FMI-ARC946ml(5)	24,75714	1,175023	25,932163	1,5	158,7944003	7,536697401	166,3310978	0,946	167,8587742	7,966910571	175,8256847
28.12.2016	FMI-ARCml846ml(7)	11,25068	0,6550553	11,9057353	1,5	72,16281784	4,201580375	76,36439822	0,846	85,29883906	4,966407062	90,26524612
10.1.2017	FMI-ARC883ml(5)	44,25303	0,6107798	44,8638098	1,5	283,842696	3,917593554	287,7602895	0,883	321,4526568	4,436685792	325,8893426
17.1.2017	FMI-ARC1075ml(5)	22,95702	1,652323	24,609343	1,5	147,2482777	10,59814017	157,8464178	1,075	136,975142	9,858735043	146,8338771
25.1.2017	FMI-ARC739ml(3)	111,5662	1,191965	112,758165	1,5	715,5950901	7,645364829	723,2404549	0,739	968,3289446	10,34555457	978,6744992
7.2.2017	FMI-ARC932ml(3)	213,3174	9,318945	222,636345	1,5	1368,235936	59,77250535	1428,008441	0,932	1468,064309	64,13358943	1532,197898
22.2.2017	FMI-ARC906ml(5)	24,55677	1,413916	25,970686	1,5	157,5092101	9,068977409	166,5781875	0,906	173,8512253	10,00990884	183,8611342
8.3.2017	FMI-ARC945ml(6)	49,04562	2,057321	51,102941	1,5	314,5827756	13,19583177	327,7786074	0,945	332,8918261	13,96384314	346,8556692
17.3.2017	FMI-ARC850ml(4)	97,24001	0,6917678	97,9317778	1,5	623,7056897	4,43705747	628,1427471	0,85	733,7713996	5,220067612	738,9914672
21.3.2017	FMI-ARC746ml(3)	62,86345	0,3556271	63,2190771	1,5	403,2115118	2,281022448	405,4925342	0,746	540,4980051	3,057670842	543,5556759
21.3.2017	FMI-ARCblank0_21.3.17	1,822124	7,87E-02	1,90080652	1,5	11,68725822	0,504676371	12,19193459				
29.3.2017	FMI-ARC965ml(3)	422,5876	0,8771486	423,4647486	1,5	2710,512787	5,626105679	2716,138893	0,965	2808,821541	5,830161326	2814,651702
3.4.2017	FMI-ARC922ml(3)	436,6824	1,731981	438,414381	1,5	2800,918032	11,10907335	2812,027106	0,922	3037,872052	12,0488865	3049,920939
6.4.2017	FMI-ARC598mlJMK(1)	127,276	0,6457457	127,9217457	1,5	816,3590826	4,141867809	820,5009504	0,598	1365,148968	6,92620035	1372,075168
20.4.2017	FMI-ARC818ml(2)	139,3968	0,976253	140,373053	1,5	894,1029241	6,261769725	900,3646938	0,818	1093,03536	7,654975214	1100,690335
24.4.2017	FMI-ARC586ml(1)	39,1124	0,8651175	39,9775175	1,5	250,8702582	5,548937181	256,4191954	0,586	428,1062427	9,469176077	437,5754187
27.4.2017	FMI-ARC840ml(2)	124,5784	0,9506679	125,5290679	1,5	799,0564469	6,097664719	805,1541116	0,84	951,2576749	7,259124665	958,5167996
5.5.2017	FMI-ARC698ml(1)	368,8203	0,878098	369,698398	1,5	2365,644754	5,632195212	2371,27695	0,698	3389,175866	8,069047581	3397,244914
8.5.2017	FMI-ARC662ml(1)	300,7089	3,27472	303,98362	1	2893,158668	31,50649865	2924,665167	0,662	4370,330314	47,59289827	4417,923212
10.5.2017	FMI-ARC784ml(3)	435,6976	87,64848	523,34608	1	4191,902162	843,2772014	5035,179363	0,784	5346,813982	1075,608675	6422,422657
12.5.2017	FMI-ARC907ml(2)	621,3753	3,636863	625,012163	1,5	3985,553992	23,32714842	4008,88114	0,907	4394,216088	25,719017	4419,935105
15.5.2017	FMI-ARC663ml(1)	244,2817	1,171448	245,453148	1,5	1566,843588	7,513767047	1574,357355	0,663	2363,26333	11,33298197	2374,596312
17.5.2017	FMI-ARC712ml(1)	112,6224	1,274323	113,896723	1,5	722,3696467	8,173616041	730,5432627	0,907	796,4384197	9,011704566	805,4501243
19.5.2017	FMI-ARC912ml(1)	311,4671	2,703476	314,170576	1	2996,664682	26,01048729	3022,675169	0,912	3285,816537	28,52027116	3314,336808
22.5.2017	FMI-ARC914ml(1)	496,8183	2,568558	499,386858	1,5	3186,634806	16,47494934	3203,109756	0,914	3486,471342	18,02510869	3504,496451
24.5.2017	FMI-ARC660ml(1)	364,9265	1,848792	366,775292	1,5	2340,66959	11,85830904	2352,527899	0,66	3546,469076	17,96713491	3564,436211
26.5.2017	FMI-ARC738ml(1)	528,2888	2,123227	530,412027	0,6361725	7989,552995	32,11053241	8021,663527	0,738	10825,95257	43,51020652	10869,46277
										OC	EC	
									Average	1503,341369	35,83844213	
									Median	940,7396699	12,6367287	

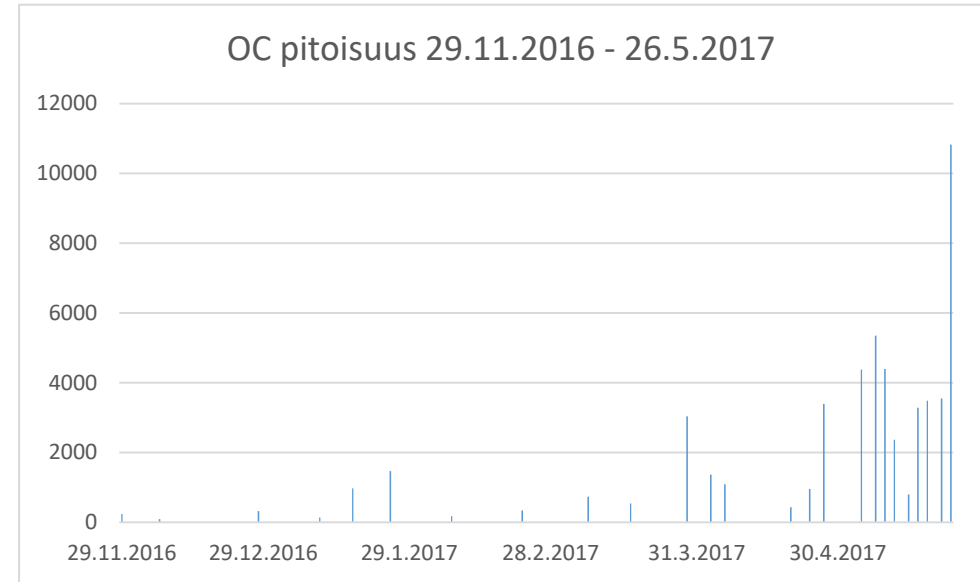
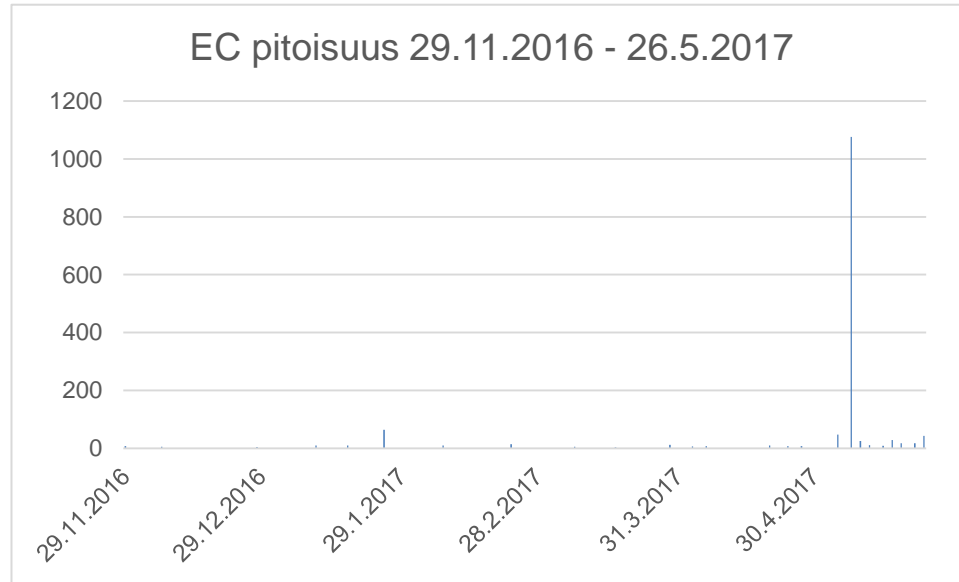
Sodankylän 28.11.2013-26.5.2017 graafiset taulukot



Keskiarvo	19,10072026
Mediaani	15,85531601



Keskiarvo	785,7809864
Mediaani	930,2216649



Keskiarvo 54,62613845
 Mediaani 9,858735043

Keskiarvo 2098,125775
 Mediaani 1093,03536

1 (3)

Sunderdhungan ja Dhanoltin tulokset

Syvyys	Sunderdhunga A	Näytepalasen määrä (ug)				Koko suodatin (9,621127502sqcm)			Koko suodatin/vesimäärä ug/l			
		OC	EC	TC	Palasen koko(sqcm)	OC	EC	TC	vesimäärä	OC	EC	TC
0-3	PitSH_0-3cm	43,23619	1,768161	45,004351	1	415,9808967	17,0117024	432,992599	0,38	1094,68657	44,767638	1139,45421
3-6	PitSH_3-6cm	7,630807	0,5412644	8,1720714	1	73,41696709	5,2075738	78,6245409	0,37	198,4242354	14,0745238	212,498759
6-9	PitSH_6-9cm	16,54661	1,81331	18,35992	1	159,1970445	17,4460867	176,643131	0,37	430,2622825	47,1515857	477,413868
9-12	PitSH9-12cm4.10.16	464,309	7,575464	471,884464	0,6361725	7021,957235	114,567205	7136,52444	0,15	46813,04824	763,781365	47576,8296
12-15	PitSH12-15cm_dirty_layer4.10.16	6794,613	-0,1703437	6794,442656	0,6361725	102758,0381	-2,57618564	102755,462	0,05	2055160,762	-51,5237127	2055109,24
15-20A	PitSH15-20cmA4.10.16	603,251	101,0281	704,2791	0,6361725	9123,24061	1527,89413	10651,1347	0,1	91232,4061	15278,9413	106511,347
15-20B	PitSH15-20cmB4.10.16	562,6406	72,05997	634,70057	0,6361725	8509,070968	1089,79586	9598,86683	0,09	94545,23298	12108,8429	106654,076
20-25A	PitSH20-25A4.10.16	13,97318	3,464956	17,438136	0,6361725	211,3227881	52,4021134	263,724901	0,12	1761,023234	436,684278	2197,70751
25-30	PitSH25-30cm4.10.16	23,30948	2,450352	25,759832	1	224,2634791	23,575149	247,838628	0,16	1401,646744	147,344681	1548,99143
30-35	PitSH30-35cm6.10.16	17,11712	3,104061	20,221181	1	164,685994	29,8645667	194,550561	0,11	1497,1454	271,49606	1768,64146
35-40	PitSH35-40cm4.10.16	21,47455	4,433679	25,908229	1	206,6093836	42,656991	249,266375	0,17	1215,349315	250,923476	1466,27279
40-45	PitSH40-45_4.10.16	10,01801	1,906755	11,924765	1	96,38455153	18,345133	114,729684	0,13	741,4196271	141,116407	882,536035
45-50	PitSH45-50cm4.10.16	11,39453	2,659035	14,053565	1	109,628226	25,5829148	135,211141	0,13	843,2940458	196,791652	1040,0857
50-60	PitSH50-60cm4.10.16	28,66176	5,328111	33,989871	1	275,7584474	51,2624353	327,020883	0,3	919,1948246	170,874784	1090,06961
60-70	PitSH60-70cm4.10.16	13,32553	1,742749	15,068279	1	128,2066232	16,7672103	144,973833	0,19	674,7717009	88,2484754	763,020176
	Sunderdhunga B											
0-3	PitB_SH2_0-3cm	16,3883	1,0467	17,435	1	157,6739238	10,0704342	167,744358	0,115	1371,077599	87,5689927	1458,64659
3-6	PitB_SH2_3-6cm	11,59908	0,57133	12,17041	1	111,5962276	5,49683878	117,093066	0,195	572,2883466	28,1889168	600,477263
6-9A	PitBSH2_6-9cmA5.10.16	90,75335	2,376791	93,130141	0,6361725	1372,504394	35,9452967	1408,44969	0,045	30500,09764	798,784371	31298,882
6-9B	PitBSH2_6-9cmB5.10.16	199,2059	4,288023	203,493923	0,6361725	3012,68188	64,8497318	3077,53161	0,045	66948,48621	1441,10515	68389,5914
9-12	PitBSH2A-dirty_layer_5.10.16	303,6169	8,540729	312,157629	0,6361725	4591,737157	129,165349	4720,90251	0,035	131192,4902	3690,43853	134882,929
9-12	PitBSH2B-dirty_layer5.10.16	44,07823	1,753685	45,831915	1	424,0822709	16,872427	440,954698	0,03	14136,0757	562,414233	14698,4899
9-12	PitBSH2C-dirty_layer5.10.16	393,3691	1,307958	394,677058	0,6361725	5949,100702	19,7808467	5968,88155	0,035	169974,3058	565,167048	170539,473
12-15	PitBSH2_94-97cm5.10.16	26,50692	4,398133	30,905053	1	255,026457	42,3149984	297,341455	0,085	3000,311259	497,82351	3498,13477
19-29	PitBSH2_80-90cm5.10.16	17,39236	3,328952	20,721312	1	167,3341131	32,0282716	199,362385	0,13	1287,185486	246,37132	1533,55681
29-39	PitBSH2_70-80cm5.10.16	21,82746	3,744125	25,571585	1	210,0047757	36,022704	246,02748	0,19	1105,288293	189,593179	1294,88147
39-49	PitBSH2_70-60cm5.10.16	16,4798	3,22401	19,70381	1	158,554257	31,0186113	189,572868	0,125	1268,434056	248,14889	1516,58295
49-59	PitSH2_60-50cm5.10.16	26,13253	3,026674	29,159204	1	251,4244031	29,1200165	280,54442	0,16	1571,402519	182,000103	1753,40262
59-69	PitSH2_50-40cm5.10.16	8,516781	1,393316	9,910097	1	81,94103591	13,4052709	95,3463068	0,13	630,3156608	103,117468	733,433129
69-79	PitSH2_40-30cm5.10.16	9,455956	1,543715	10,999671	1	90,97695833	14,8522788	105,829237	0,145	627,4272988	102,429509	729,856808

2 (3)

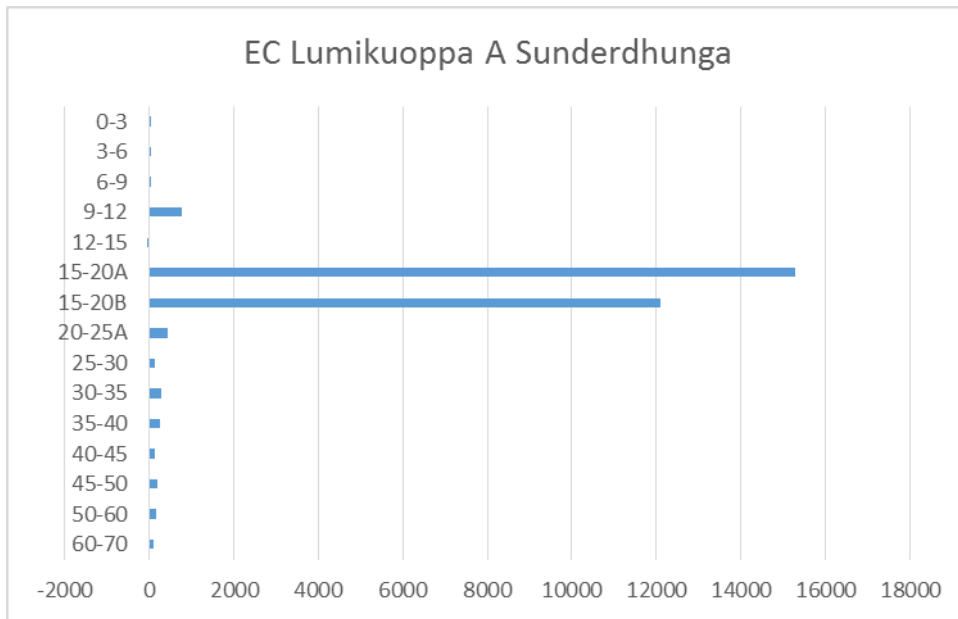
	Panuti C											
0-3	PanatiC153-156cm6.10.16	85,51618	7,4196	92,93578	1	822,7620713	71,3849176	894,146989	0,415	1982,559208	172,01185	2154,57106
3-6	PanatiC150-153cm6.10.16	10,17556	0,8657301	11,0412901	1	97,90036016	8,32929967	106,22966	0,21	466,1921913	39,6633318	505,855523
6-11	PanatiC150-145cm6.10.16	3,335567	0,3330242	3,6685912	1	32,0919154	3,20406829	35,2959837	0,095	337,8096358	33,7270346	371,53667
11-16	PanatiC140-145cm6.10.16	14,31228	1,890343	16,202623	1	137,7002707	18,187231	155,887502	0,195	706,1552345	93,2678514	799,423086
16-21	Panati(C)140-135cm6.10.16	17,45653	2,635864	20,092394	1	167,9515009	25,3599836	193,311484	0,18	933,0638937	140,888798	1073,95269
21-26	PanutiC130-135cm6.10.16	6976,143	97,79065	7073,93365	0,6361725	105503,3993	1478,9327	106982,332	0,065	1623129,22	22752,8107	1645882,03
26-31	Panati(C)130-125cm6.10.16	27,76788	2,50166	30,26954	1	267,1583139	24,0687898	291,227104	0,065	4110,127907	370,289074	4480,41698
31-36	Panati(C)125-120cm6.10.16	5,02726	0,6613524	5,6886124	1	48,36790945	6,36295576	54,7308652	0,08	604,5988681	79,5369471	684,135815
36-41	PanatiC115-120cm6.10.16	8,642025	1,713279	10,355304	1	83,1460244	16,4836757	99,6297001	0,11	755,8729491	149,851597	905,724546
41-46	Panati(C)110-115cm6.10.16	6,636061	1,575965	8,212026	1	63,84638899	15,1625602	79,0089492	0,12	532,0532416	126,354668	658,40791
46-56	PanatiC110-100cm6.10.16	17,34666	3,284889	20,631549	1	166,8944276	31,6043359	198,498763	0,23	725,6279461	137,410156	863,038102
56-66	PanatiC100-90cm6.10.16	17,20439	2,595141	19,799531	1	165,5256298	24,9681824	190,493812	0,16	1034,535186	156,05114	1190,58633
66-76	PanatiC90-80cm6.10.16	11,8001	2,476978	14,277078	1	113,5302666	23,8313212	137,361588	0,165	688,062222	144,432249	832,494471
76-86	Panati(C)80-70cm6.10.16	10,67169	1,419279	12,090969	1	102,6736902	13,6550642	116,328754	0,145	708,0944148	94,1728567	802,267272
86-96	PanatiC70-60cm6.10.16	8,338849	1,162967	9,501816	1	80,22912945	11,1890538	91,4181832	0,22	364,6778611	50,8593354	415,537197
96-106	PanatiC50-60cm6.10.16	8,26859	1,220199	9,488789	1	79,55315865	11,7396902	91,2928488	0,15	530,354391	78,264601	605,618992
106-116	PanatiC40-50cm6.10.16	8,637741	1,072194	9,709935	1	83,10480749	10,3157152	93,4205227	0,135	615,5911666	76,412705	692,003872
116-126	Panati(C)40-30cm6.10.16	4,24079	0,4343276	4,6751176	1	40,8011813	4,17872122	44,9799025	0,09	453,3464589	46,4302357	499,776695
126-136	Panati(C)30-20cm6.10.16	10,82119	1,007692	11,828882	1	104,1120487	9,69513321	113,807182	0,09	1156,800541	107,723702	1264,52424
	Panuti D											
0-3	Panati^87-90cm7.10.2016	14,13638	1,783238	15,919618	1	136,0079144	17,1567602	153,164675	0,135	1007,466033	127,087112	1134,55314
3-6	Panati^84-87cm7.10.16	15,32017	1,517756	16,837926	1	147,3973089	14,602524	161,999833	0,16	921,2331808	91,265775	1012,49896
6-9	Panati^81-84cm7.10.16	7,612015	0,5525553	8,1645703	1	73,23616686	5,31620499	78,5523719	0,175	418,4923821	30,3783142	448,870696
9-12	Panati^78-81cm7.10.16	10,40344	0,5475379	10,9509779	1	100,0928227	5,26793195	105,360755	0,13	769,94479	40,5225534	810,467343
12-15	Panati^75-78cm7.10.16	17,76191	1,47855	19,24046	1	170,8896008	14,2253181	185,114919	0,17	1005,232946	83,6783416	1088,91129
15-18	Panati^72-75cm7.10.16	6,753976	0,6697319	7,4237079	1	64,98086424	6,443576	71,4244402	0,2	324,9043212	32,21788	357,122201
18-21	Panuti^72-69cm7.10.16	15,18534	1,042854	16,228194	1	146,1000923	10,0334313	156,133524	0,17	859,4123077	59,0201841	918,432492
21-24	Panati^66-69cm7.10.16	4,418887	0	4,418887	1	42,51467524	0	42,5146752	0,155	274,2882274	0	274,288227
24-27	Panati^63-66cm7.10.16	3,727878	0,2901104	4,0179884	1	35,86638955	2,79118915	38,6575787	0,12	298,8865796	23,2599096	322,146489
27-30	Panati^60-63cm7.10.16	7,767515	0,5145444	8,2820594	1	74,73225219	4,95049728	79,6827495	0,18	415,1791788	27,5027627	442,681941
30-33	Panuti^60-57cm7.10.16	25,73709	16,54721	42,2843	1	247,6198244	159,202817	406,822642	0,17	1456,587202	936,48716	2393,07436
33-36	Panati^54-57cm7.10.16	22,27208	-7,29E-05	22,27200712	1	214,2825214	-0,00070122	214,28182	0,125	1714,260171	-0,00560973	1714,25456
36-39	Panuti^51-54cm7.10.16	82,17763	2,70726	84,88489	0,6361725	1242,809861	40,9431304	1283,75299	0,12	10356,74884	341,192754	10697,9416
39-41	Panuti^49-51cm7.10.16	544,7871	8,445176	553,232276	0,6361725	8239,064327	127,720257	8366,78458	0,03	274635,4776	4257,34189	278892,819
41-45	Panati^45-49cm7.10.16	45,06156	5,518256	50,579816	1	433,5430142	53,0918446	486,634859	0,05	8670,860284	1061,83689	9732,69718
45-50	Panuti^40-45cm7.10.16	28,82674	3,803903	32,630643	1	277,345741	36,5978358	313,943577	0,055	5042,649836	665,415196	5708,06503
50-55	Panati^35-40cm7.10.16	7,854288	1,205268	9,059556	1	75,56710629	11,5960371	87,1631434	0,05	1511,342126	231,920742	1743,26287
55-65	Panuti^25-35cm7.10.16	6,816807	1,141204	7,958011	1	65,5853693	10,9796692	76,5650385	0,085	771,59258	129,172579	900,765159

3 (3)

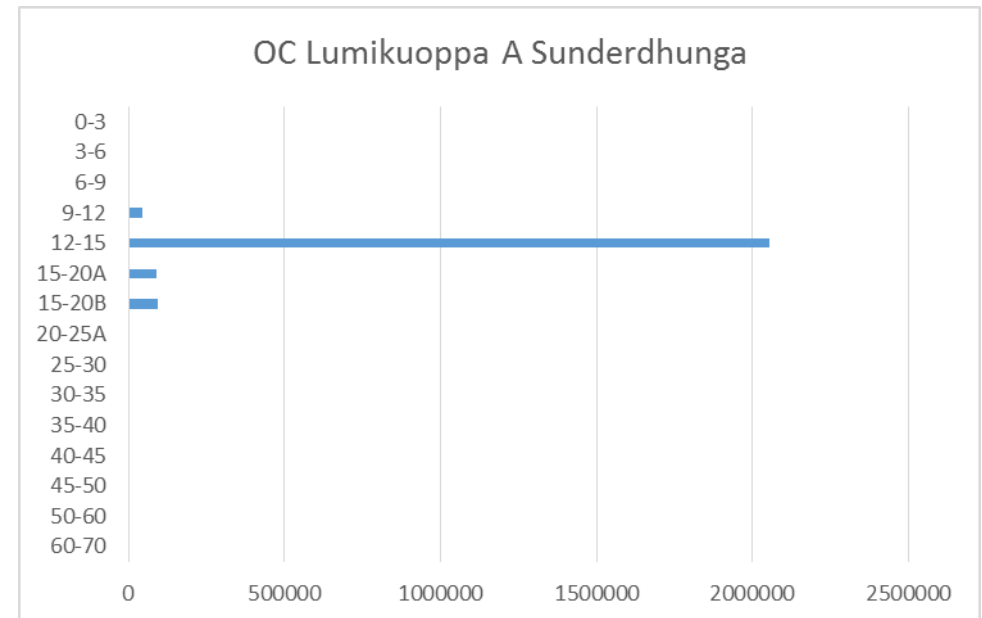
Panuti E												
0-3	PanatiE77-80cm8.10.16	13,90996	2,063736	15,973696	1	133,8294987	19,8554672	153,684966	0,155	863,4161207	128,099788	991,515909
3-6	PanatiE74-77cm8.10.16	5,221597	0,9142465	6,1358435	1	50,2376505	8,79608214	59,0337326	0,14	358,8403607	62,8291582	421,669519
6-9	PanatiE71-74cm8.10.16	11,35555	1,141115	12,496665	1	109,2531944	10,9788129	120,232007	0,135	809,2829215	81,3245401	890,607462
9-12	PanatiE68-71cm8.10.16	7,409832	0,5727244	7,9825564	1	71,29093844	5,51025448	76,8011929	0,135	528,0810255	40,8166998	568,897725
12-15	PanatiE65-68cm8.10.16	7,233685	0,7225364	7,9562214	1	69,59620569	6,95161483	76,5478205	0,095	732,5916389	73,1748929	805,766532
15-18	PanatiE62-65cm8.10.16	8,180382	0,3970859	8,5774679	1	78,70449824	3,82041407	82,5249123	0,11	715,4954385	34,731037	750,226476
18-21	PanatiE59-62cm8.10.16	4,19532	0,2886915	4,4840115	1	40,36370863	2,77753773	43,1412464	0,125	322,9096691	22,2203018	345,129971
21-24	PanatiE56-59cm8.10.16	4,955997	0,4014118	5,3574088	1	47,68227904	3,86203411	51,5443131	0,08	596,028488	48,2754264	644,303914
24-27	PanatiE53-56cm8.10.16	5,610775	0,619338	6,230113	1	53,98198166	5,95872986	59,9407115	0,12	449,8498472	49,6560822	499,505929
27-30	PanatiE50-53cm8.10.16	5,447971	0,943862	6,391833	1	52,41562362	9,08101665		0,14	374,3973116	64,8644046	439,261716
30-33	PanatiE47-50cm8.10.16	4,090529	0,6321423	4,7226713	1	39,35550106	6,08192167	45,4374227	0,115	342,2217483	52,8862754	395,108024
33-36	PanatiE44-47cm8.10.16	6,082169	0,2531722	6,3353412	1	58,51732344	2,43580202	60,9531255	0,095	615,9718257	25,6400212	641,611847
36-39	PanatiE41-44cm8.10.16	4,170545	0,372767	4,543312	1	40,1253452	3,58643884	43,711784	0,11	364,7758654	32,6039894	397,379855
39-42	PanatiE38-41cm8.10.16	8,708987	0,3886052	9,0975922	1	83,79027434	3,73882018	87,5290945	0,07	1197,003919	53,4117168	1250,41564
42-45	PanatiE35-38cm8.10.16	8,367798	0,5835334	8,9513314	1	80,50765147	5,61424924	86,1219007	0,075	1073,435353	74,8566566	1148,29201
45-48	PanatiE32-35cm8.10.16	4,104873	1,056575	5,161448	1	39,49350651	10,1654428	49,6589493	0,06	658,2251085	169,424047	827,649155
48-51	PanatiE32-29_8.10.16	5,201726	0,8881512	6,0898772	1	50,04646908	8,54501594	58,591485	0,065	769,9456781	131,461784	901,407462
51-54	PanatiE26-29_8.6.16	3,48425	0,3629611	3,8472111	1	33,5224135	3,49209502	37,0145085	0,06	558,7068916	58,2015837	616,908475
55-60	PanutiE?25-20/6	281,5302	7,858881	289,389081	0,6361725	4257,709898	118,85345	4376,56335	0,04	106442,7474	2971,33624	109414,084

1 (5)

Sunderdhungan ja Dhanoltin graafiset taulukot

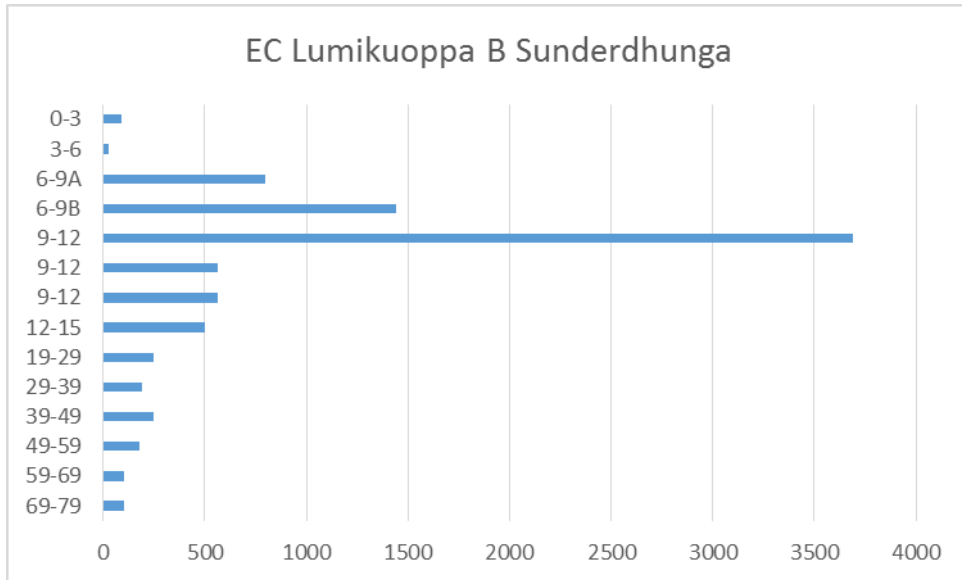


Keskiarvo 1993,967699
Mediaani 170,8747843

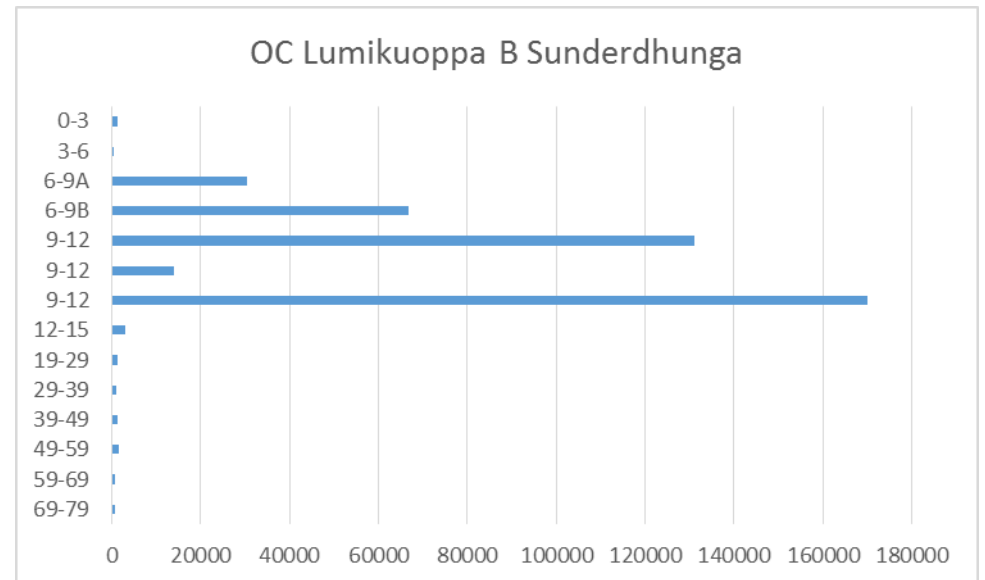


Keskiarvo 153235,24
Mediaani 1215,3493

2 (5)

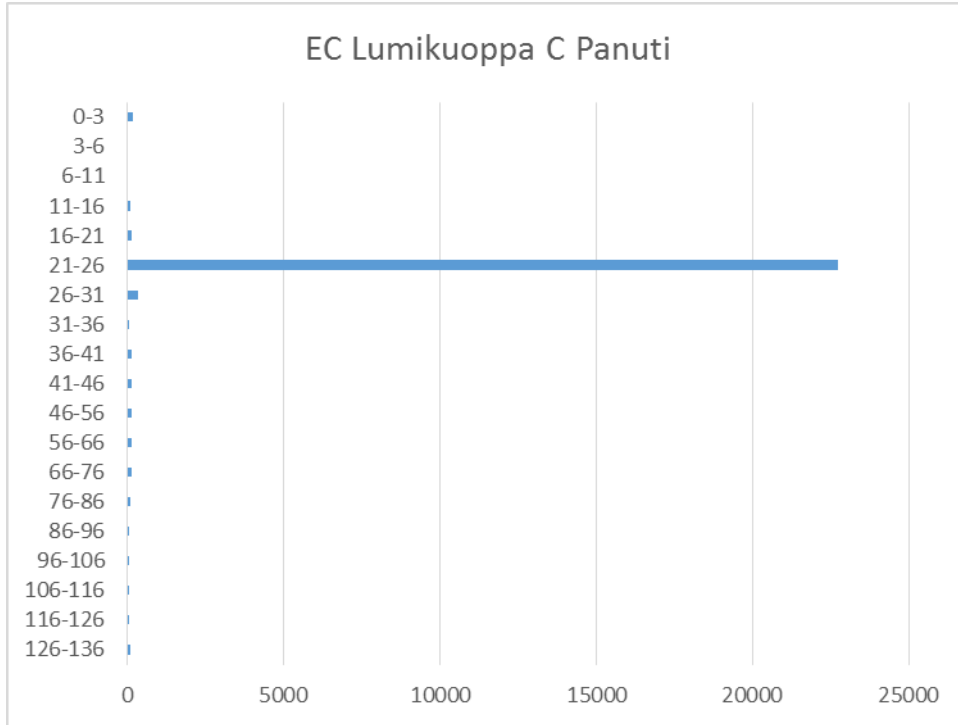


Keskiarvo 664,6709009
 Mediaani 248,1488902

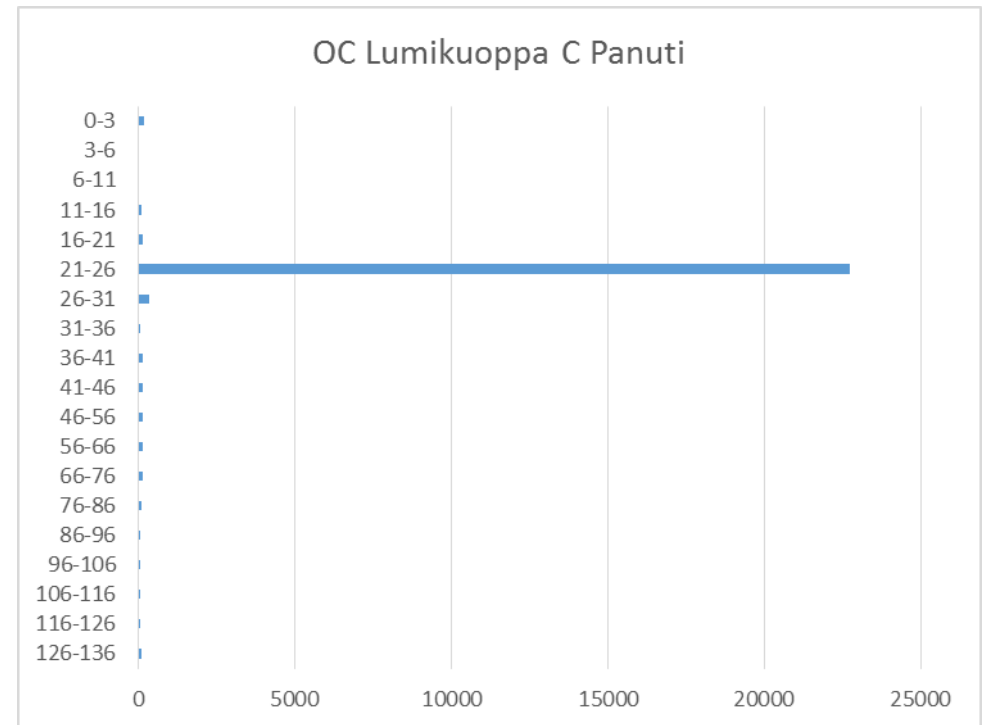


Keskiarvo 30298,942
 Mediaani 1471,2401

3 (5)

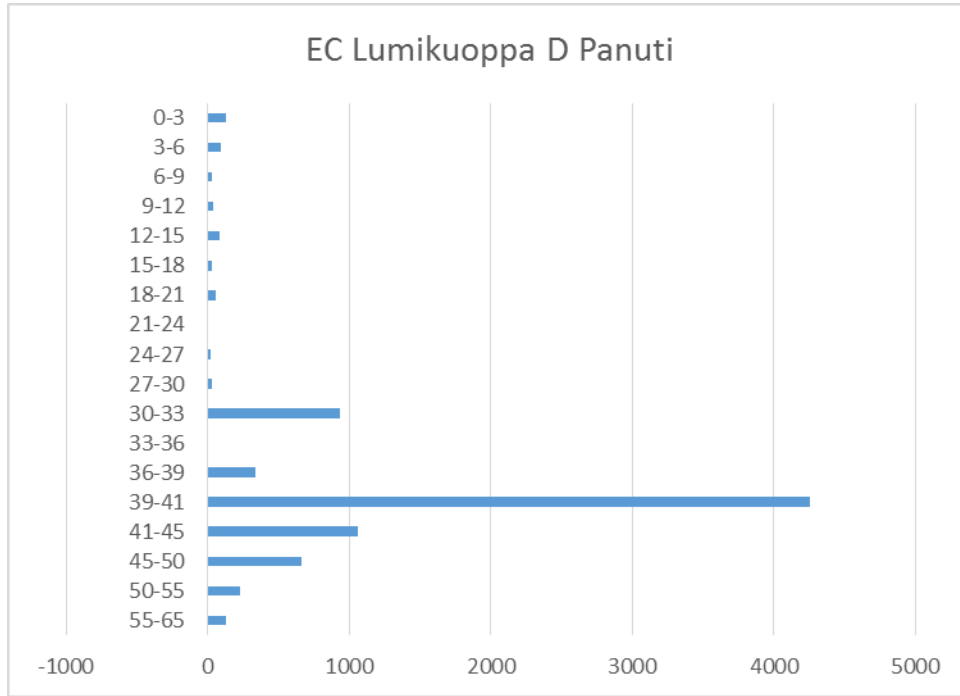


Keskiarvo 1307,903099
 Mediaani 107,7237024

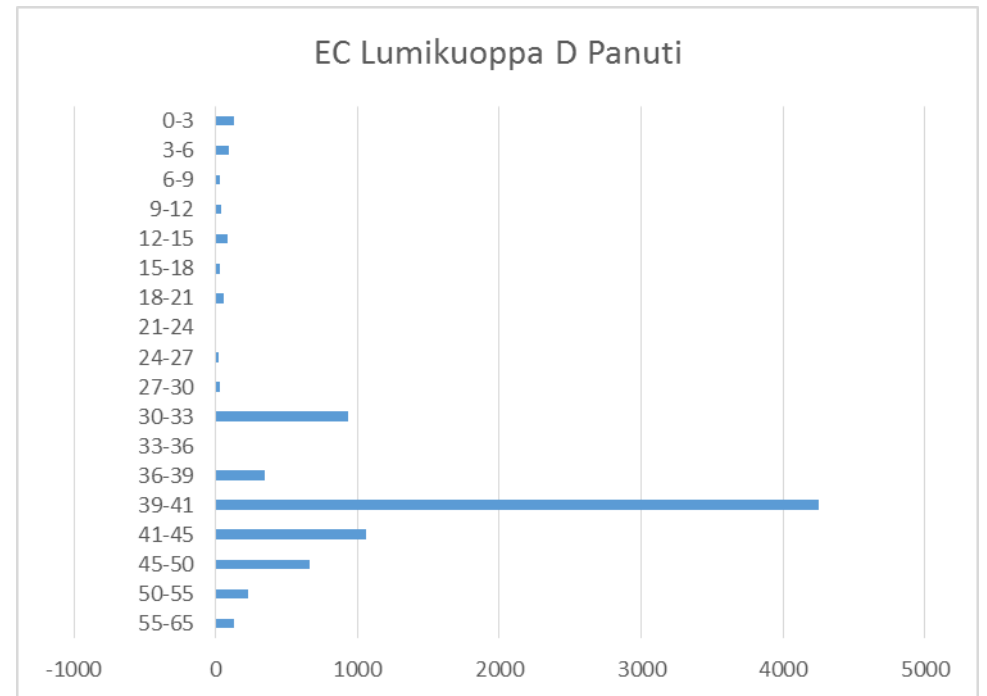


Keskiarvo 86307,092
 Mediaani 706,15523

4 (5)

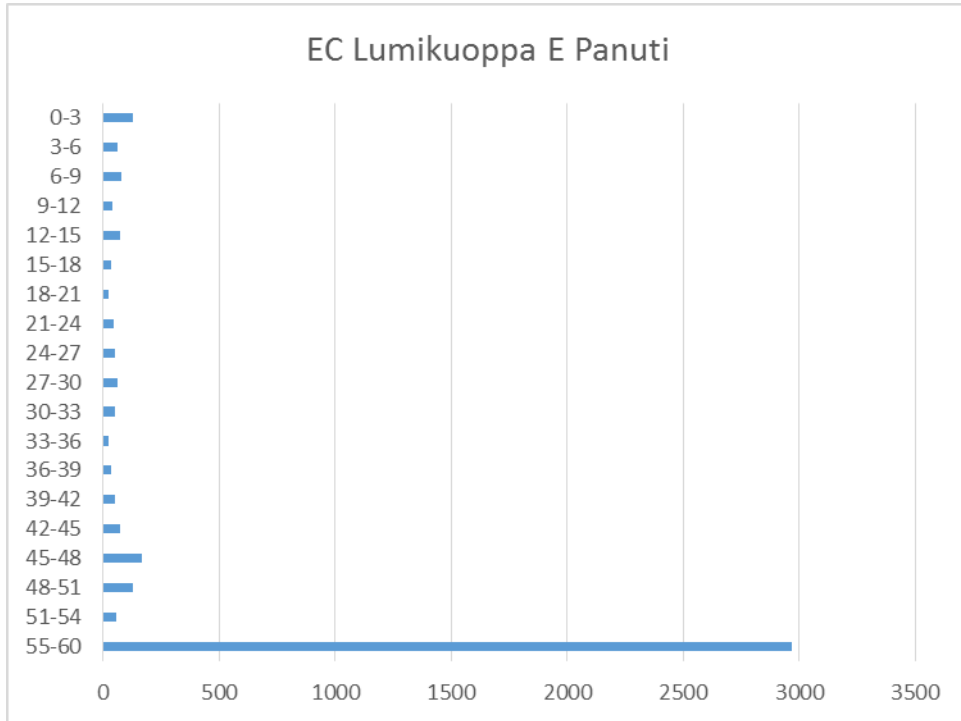


Keskarvo 452,1274688
 Mediaani 87,47205827

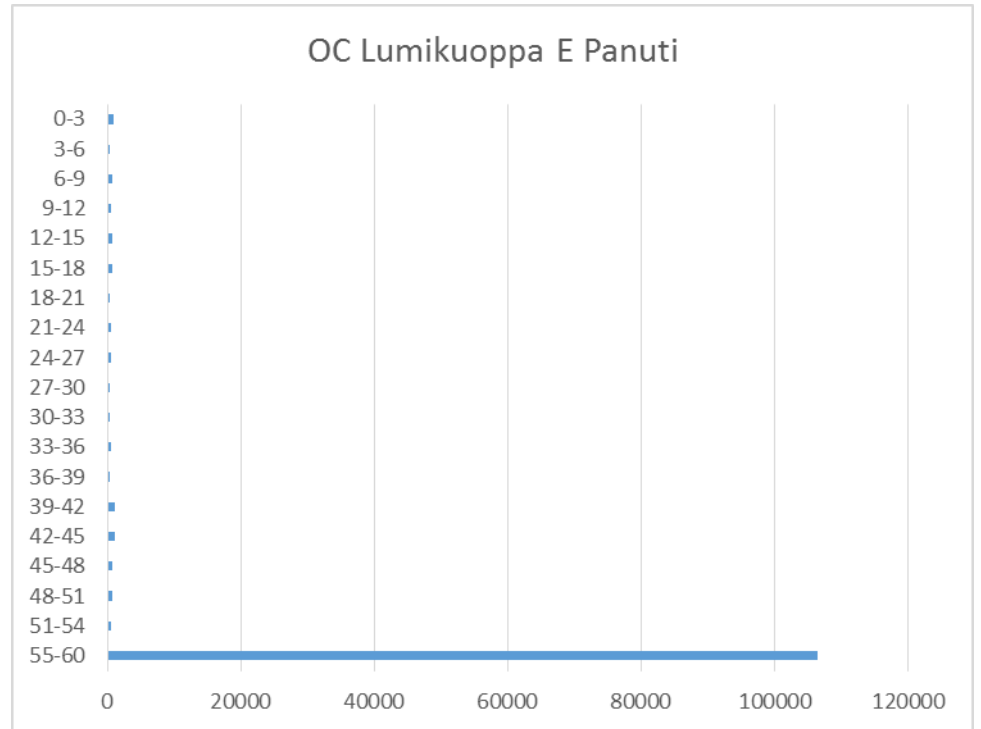


Keskarvo 17247,475
 Mediaani 963,23306

5 (5)



Keskiarvo 219,7797181
 Mediaani 58,20158369



Keskiarvo 6198,6277
 Mediaani 615,97183

Kuvat Sunderdhungan ja Dhanoltin lumikuopista ja kuvaukset



SNOWPIT A Sunderdhunga

83-65 cm

'Fresh snow' melt
freeze crust/crystals
(melt forms)

Ice layer at 70 cm

Dirty layer at 65 cm

64-51 cm hard layer firn/ice

51-0 cm same as above (not as hard)

Glacier ice at bottom



SNOWPIT B Sunderdhunga

cm

113-99

Fresh snow

99-97

Dirty layer

97-90

Ice layer

90-70

firn/hard melt
freeze particles

70-69

Ice lense

69-26

firn/hard melt
freeze particles

26-20

Ice layer

20-3

firn/hard melt
freeze particles

3-0

Ice glacier surface



SNOWPIT C Panuti	
	fresh snow/melt freeze
156-135	crystals
135-134	dirty layer
134-128	ice layer
128-122	snow/firn
122-118	ice layer
118-97	firn
	104 ice lense
	97 ice lense
97-53	firn
	53 ice lense
53-38	firn
	38 ice lense
38-0	firn



SNOWPIT D Panuti	
90-82	"Fresh snow" rounded polycrystals
82-73	softer layer
73-50	Fresh snow' rounded polycrystals
50-49	dirty layer
49-46	gradually turns into firn/ice
46-38	ice layer
38-0	firn



SNOWPIT E Panuti	
80-78	"fresh snow"
78-69	
69-66	soft layer
66-55	
55-52	soft layer
52-49	
49-48	soft layer
48-44	
44-41	soft layer
41-27	
27-25	dirty layer
25-0	firn