



wpd Finland Oy

Mielmukkavaaran tuulivoimahankkeen YVA -vaiheen
meluselvitys

 Competence. Service. Solutions.

PÖYRY

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisältö

1	YLEISTÄ	3
1.1	Tuulivoimalaitosten melu	3
1.2	Olostunturin esiselvitys	5
2	MELUN ARVIOINTITULOKSET	7
2.1	Melun leviämismallit	7
2.1.1	Nykytilanne	8
2.1.2	Rakentamisen aikainen melu	8
2.1.3	Käytönaikainen melu	9
2.1.3.1	Lähtöäänitasot	9
2.1.3.2	Keskiäänitason L_{Aeq} tulokset	10
2.1.3.3	Yöajan lyhyen ajan keskiäänitason $L_{Aeq,1-9h}$ tulokset	10
2.2	Melun häiritsevyys ja alueen äänimaisemamuutokset	12
2.3	Melun leviämislaskennan epävarmuus	12
2.4	Melun vaimennusmahdollisuudet	12
3	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	13
	KIRJALLISUUSVIITTEET	15

Liitteet

Liite 1	Laskenta-alueen karttaesitys ja yksittäislaskentapisteeet
Liite 2	Alueen tuulisuusstatistiikkaa
Liite 3	Melumallinnus – Alueen melun nykytila
Liite 4	Melumallinnus – 15 x 2.3MW ilman taustameluvaikutusta
Liite 5	Melumallinnus – 15 x 3.0MW ilman taustameluvaikutusta
Liite 6	Valtioneuvoston melun ohjeavot ulkona
Liite 7	Ääniaallon mittayksiköt ja ympäristömelu

Lyhenteet

L_{Aeq}	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso
L_{WA}	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso
K_I	Impulssimaisen äänen haitallisuuskorjaus L_{Aeq} -tasoon ohjeen NT ACOU 112 mukaan

1 YLEISTÄ

wpd Finland Oy yhdessä Metsähallituksen kanssa suunnittelee tuulivoimapuistoa Muonion Mielmukkavaaraan. Tässä selvityksessä tuulivoimapuiston meluvaikutuksia arvioidaan laskennallisin menetelmin. Tarkastelun kohteena on erityisesti Mielmukkajärven puoleinen osa vaaran itäpuolella, jossa sijaitsee useita lom asumiseen käytettäviä kiinteistöjä. Laskennan tarkkuutta on pyritty lisäämään vuoden 2009 aikana tehdyillä Olostunturin tuulivoimamamelun referenssimittauksilla.



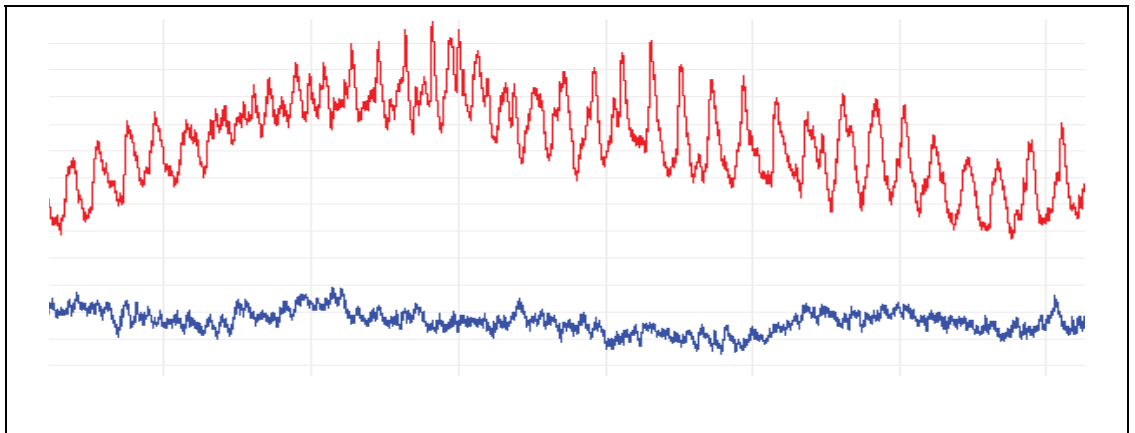
Kuva 1. Näkymä Mielmukkajärven pohjoispäästä Mielmukkavaaraan päin

Mielmukkavaaran järven puoleinen osa on metsän ja paikoin tiheän kasvillisuuden peittämä. Nykyisin lomakäytössä olevat kiinteistöt sijoittuvat järven rannan läheisyyteen pääsääntöisesti järven länsi- ja pohjoislaidalle. Länsilaidalla puusto estää näköyhteyden suoraan vaaran laelle. Tuulivoimalat sijoittuisivat vaaran laelle ja tässä selvityksessä on laskentaan huomioitu esisuunnitelman mukaiset 15 x 2.3 MW:n tai 3.0 MW:n tuulivoimalat (ks. Liite 1).

1.1 Tuulivoimalaitosten melu

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 100 - 2000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien meluista (mm. vaihteisto, generaattori sekä jäähditysjärjestelmät). Näistä aerodynaaminen melu on hallitsevin lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen ns. amplitudimoduloituneen äänen vuoksi, missä äänen

voimakkuus vaihtelee jaksollisesti lapojen pyörimistaajuuden mukaan (n. 1 - 1.2Hz) (kuva 2).



Kuva 2. Yhden tuulivoimalaitoksen mitattua yöajan käyntiääntä (punainen viiva) suhteessa saman paikan hiljaiseen taustameluun (sininen viiva) alatuulen puolella.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein viheltävänä tai kohinamaisena äänenä ja on puhtailla lapapinnoilla äänitasoltaan matalampaa, koska likainen pinta lisää rosoisuutta josta seuraa turbulenssin ja siten myös äänitason kasvu. Voimalan pyörievien mekaanisten osien värähtely tuottaa jonkin verran myös matalataajuuksista melua sekä infra-ääntä. Tasoltaan se voi vaihdella voimalatyypin mukaan ja värähtely voi olla jaksollista siipien pyörimistaajuuden mukaan. Kauempana laitoksesta (> 1km) matalat, alle 50 Hz:n taajuudet eivät ole välttämättä enää ihmiskorvan erotettavissa värähtelyn lähtöäänitasosta ja sen hetkisestä taustamelusta riippuen.

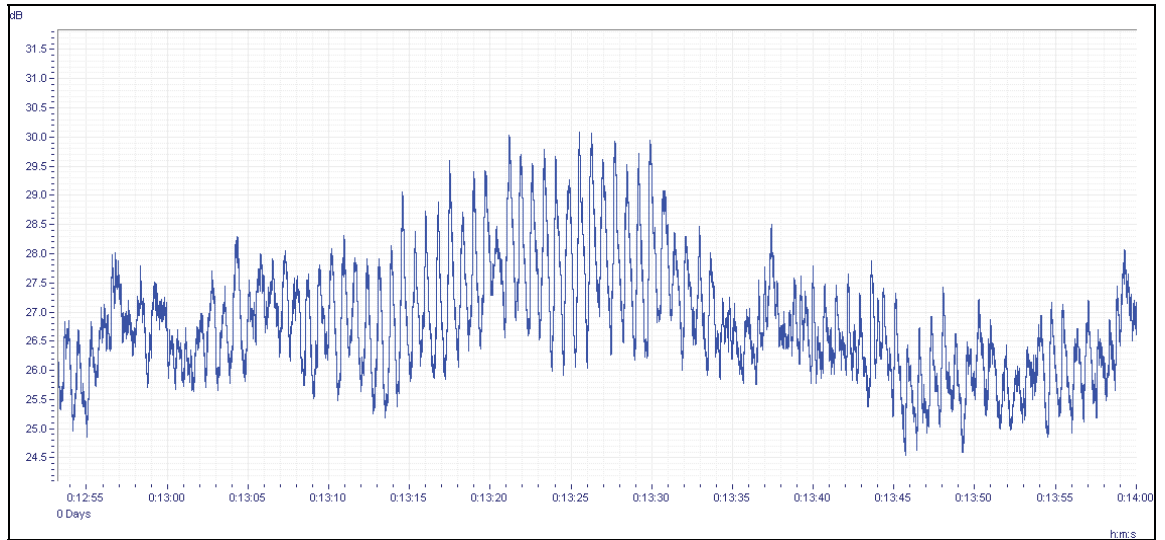
Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat pitkälti nk. ylätuulen puolen laitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörievän siivistön tuottama äänitason on ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta käsin katsottuna samalla etäisyydellä./1/ Lisäksi voimalan lähtöäänitason on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulennopeuksilla lähellä käyntiinlähtönopeutta on lähtöäänitason usein noin 10-15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla. Maksimi äänitehotason L_w saavutetaan kovilla tuulennopeuksilla, kun siipien pyörimisnopeus on maksimissaan (yleisesti napakorkeudella on jo yli 9 m/s). Tämän vuoksi todellinen pitkän aikavälin keskiäänitason L_{Aeq} on usein pienempi kuin laskennallisesti arvioitu melun keskiäänitason. Käyntiäänen vaihtelun ja äänen luonteen vuoksi melun keskiäänitason arvioinneissa käytetään kuitenkin yleisesti melutakuun mukaista äänitahotason arvoa, jota voidaan vielä korjata tuulisuusjakauman mukaan.

Äänen erottuvuuteen ympäröivästä taustamelusta vaikuttaa paljolti sen hetkinen taustamelun kokonaistason sekä havaitsijan sijainti suhteessa turbiiniin ja tuulensuuntaan. Tuulivoimalan käyntiääni voi kuitenkin erottua ympäröivästä taustamelusta jo alhaisilla äänitasoilla (≈ 30 dB(A)) melun jaksollisen luonteen sekä eri säätilojen johdosta /2/, /3/. Melun on myös todettu olevan subjektiivisesti häiritsevämpää kuin esim. saman äänenpainetason tieliikennemelu./2/

1.2 Olostunturin esiselvitys

Muonion Olostunturilla on viisi vuonna 1998 ja 1999 toimitettua 600kW:n sakkaussäätöistä tuulivoimalaa, joiden napakorkeus on 40 metriä ja lavan kärkiväli 44 m. Vuoden 2009 aikana Olostunturin juurella eri etäisyyksillä, eri paikoissa ja eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina suoritettiin referenssimelumittauksia (mittaussuunnitelma 60O05969.02.Q860-001 sekä väliraportti 60O05969.02.Q860-002), joiden tarkoituksena oli selvittää tuulivoimamelun erottuvuutta sekä äänitasoa mittaushetken tilanteissa. Mittausviikot oli valittu satunnaisesti ja kukin kolmesta mittausjaksosta kesti viisi arkipäivää. Yhteensä mittauksia suoritettiin 16 eri paikassa, joissa kussakin suoritettiin useita toisintoja. Mittausajat vaihtelivat 15 minuutista noin tunnin yhtäjaksoisiin mittauksiin ja mittausten aikana tallennettiin CD tasoista ääntä äänitallentimella koko mittauksen ajan. Säätila pysyi pääosin muuttumattomana yhden mittauksen aikana, mutta kokonaisuudessaan mittaukset kattoivat eri tuulennopeuksia ja -suuntia sekä lämpötiloja. Kunkin mittausviikon aikana mitattiin samanaikaisesti myös yhden valitun voimalan äänitehotasoa jatkuvatoimisesti standardin IEC 61400-11 mukaisella järjestelyllä. Tällöin suoritettiin myös satunnaisia voimalan pysäytyksiä äänitehotason tarkemman arvon selvittämiseksi.

Olostunturilla suoritettujen referenssimittausten tulosten mukaan tuulivoimalan jaksollinen käyntiääni voi erottua varsin kaukana laitoksesta, mutta erottuvuuteen vaikutti merkittävästi ympäröivän alueen taustamelu (mm. puiden kohina), tuulennopeuden ero voimalan napa- ja mittauskorkeudella sekä tuulensuunta (ks. kuva 3). Melun jaksollisuus oli selvästi suurempaa alatuulen puolella etenkin ilta- ja yöaikaan, mutta satunnaisesti sen pystyi erottamaan myös ylätuulen puolelta vielä varsin kaukana laitoksista (n. 1.4 km:n päässä). Sivutuulen puolella jaksollisuuden erottaminen äänitysdatasta oli paikoin mahdotonta, vaikka ääni oli heikosti kuultavissa. Tämä on todennäköisesti seurausta lavan äänilähteen suuntaavuudesta. Alatuulen puolella käyntiääni erottui 1-2 km:n päässä riippuen valitusta mittausjaksosta ja etenkin taustamelun tasosta.



Kuva 3. Melun jaksollisuutta 0.74 sekunnin välein (kolmen siiven pyörimistaajuus) n. 2 km:n päässä lähimmästä voimalasta alatuulen puolella matalan taustamelutason aikana. Mittauksen keskiäänitaso on noin 28 dB(A).

Melun jaksollisuutta ja sen impulssimaista luonnetta arvioitiin käyttäen yhteispohjoismaista normia NT ACOU 112 (”Prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq} ”). Mittaustulosten ja laskennan mukaan jaksollisuus voidaan olettaa varsin usein alatuulen puolella impulssimaiseksi, mutta vain noin +1-3 dB:n haitallisuuskorjauksella K_I . Ylätuulen puolen haitallisuuskorjaus jäi usein olemattomaksi äänenpainetason hitaan nousujan vuoksi. Määriteltäessä haitallisuuskorjausta pidemmän ajan keskiäänitasolle on jaksollisuuden esiintyvyyssajat otettava myös huomioon./4/

Oloksen alueesta tehtiin digitaalikärttäpohjaan melumallinnus käyttäen voimassa olevia yleisiä mallinnusalgoritmeja (lukuun ottamatta Nord2000 –mallia) , joita käytetään yleisesti Euroopassa tuulivoimalaitosten melun mallinnoiksi YVA –selvityksissä. Melumallinnustulosten mukaan yhden mittausjakson (15 min – 2 h) lyhytaikainen keskiäänitaso $L_{Aeq,1h}$ vastasi parhaiten ISO + Concawe sääkorjauksella tehtyjä mallinnustuloksia alatuulen puolella. Sivu- ja ylätuulen puolella pohjoismainen mallinnus antoi kohtalaisia tuloksia. Tulosten perusteella päädyttiin käyttämään korjattua pohjoismaista mallia, jossa otetaan paremmin huomioon äänen jaksollisuuden haitallisuuskorjaus K_I (vain yöaikaan) sekä tuulisuuskorjaus. Korjattu mallinnustulos voi laskea pohjoismaista mallia hieman suurempia arvoja (turbiinin äänitakuuta vastaavalla tuulenopeudella noin 10 m/s) tuulisuuskorjauksen mukaan sille puolelle, joka sijaitsee eniten alatuulen puolella. Yöajan mallinnustulos voi siten olla usein jo selvästi suurempi kuin todellinen pitkänajan keskiäänitaso L_{Aeq} kaikkien alueella havaittujen tuulenopeuksien (ja suuntien) osalta, mutta yleisesti jonkin verran pienempi kuin hetkellinen lyhyen aikavälin keskiäänitaso $L_{Aeq,1-9h}$ alatuulen puolella.

Oloksen alueelle sekä kahdelle muulle hiihtokeskukselle on tehty äänimaisemakartoitus vuonna 2006 opinnäytetyönä (Rovaniemen ammattikorkeakoulu), jossa melun leviämisen eri osatekijöihin ja alueen vallitseviin äänimaisemiin on paneuduttu teorian ja käytännön mittauksen pohjalta./5/ Raportissa todettiin että Oloksen tuuliturbiinien

melu oli kuultavissa etenkin alatuulen puolella (etelä-lounainen tuuli), jolloin hotellialueen puolella liikennemelu oli vastaavasti heikommin erottuvaa.

2 MELUN ARVIOINTITULOKSET

Tässä selvityksessä on tuulivoimalaitosten käytön aikaisia meluvaikutuksia arvioitu laskennallisesti melun leviämislaskennan kautta. Laskennan luotettavuutta on parannettu Olostunturilla suoritetuilla tuulivoimamelun referenssimittauksilla sekä tilastollisella arvioinnilla tuulisuusstatistiikasta. Laskennassa on hyödynnetty kahden eri voimalaitostyyppin äänitehotasoja, jotka on saatu suoraan voimalatoimittajien antamista äänitakuista. Äänitasot on annettu oktaavistaistoittain alkaen 63 Hz:stä.

2.1 Melun leviämismallit

Melun leviämistä maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteisia melun leviämiseen käytettäviä ohjelmistoja, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen 3D karttapohjaan äänenpaineeksi L_p immisio- eli vastaanottopisteessä. Mallissa otetaan huomioon maaston korkeuserot, rakennukset ja muut heijastavat pinnat sekä maanpinnan ja ilmakehän melun heijastus- ja absorptionvaikutus. Melulähteitä voidaan määrittellä piste, viiva tai pintalähteiksi. Melumallin leviämiskartta piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein valituilla lähtöarvoparametreilla.

Tässä työssä melun leviämisen laskennassa käytettiin suuntaavuuskorjattua yhteispohjoismaista teollisuus- ja tieliikennemelumallia kuvaamaan pitkänajan keskiäänitasoa L_{Aeq} laitoksen nimellisteholla sekä ISO standardia yhdessä Concawe -mallin sääkorjausalgoritmien kanssa kuvaamaan lyhyen aikavälin keskiäänitasoa $L_{Aeq, 1-9h}$ esim. yhden yön aikana alatuulen puolella.

Melun leviäminen pohjoismaisessa mallissa lasketaan tyypillisesti konservatiivisesti siten, että ympäristön tilapisteet ovat melun leviämisen kannalta suotuisat (mm. kevyt myötätuuli melulähteestä kuhunkin laskentapisteeseen). Tässä selvityksessä melumallien maanpinta on mallinnettu akustisesti kovaksi, jolloin se sisältää noin 3-5 dB takaisinheijastusta. Näin ollen mallinnettu maavaimennus on todellista Mielmukkavaaran maatyyppejä vähäisempi. Maavaimennus on taajuuskaistariippuvainen ja on usein matalilla taajuuksilla vahvistava. Käytetyt mallinnusalgoritmit eivät kuitenkaan ole validoitu täysin pitävästi näin pitkille etäisyyksille tai korkeille äänilähteille, jolloin konservatiivinen lähestyminen on perusteltua.

Concawe -mallin sääkorjauslaskenta antaa tuloksen kovemmilla tuulennopeuksilla ja todellisilla tuulensuunnilla (syöttöarvoja) Pasquillin-asteikon ilmakehän eri tasapainoluokkien mukaan. Yleisesti käytetään ilta- ja yöajalle luokkaa D tai E tuulennopeuden ollessa yli 6m/s.

Taulukko 1. Melumallien laskentaparametrit

Lähtötieto	
Mallinnusalgoritmit	1) Pohjoismainen teollisuus- ja tieliikennelaskentamalli 2) ISO 9613 + Concawe -malli lyhytaikaisen keskiäänitason määrittelyyn alatuulen puolella.

Sääolosuhteet	1) Ilman lämpötila 0 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 80 %. Tuulisuusjakauma, ks. liite 2. 2) Ilman lämpötila 0 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 80 %, tuulensuunta 90 astetta, tuulenoisuus 8 m/s, ilmakehän tasapainoluokka D.
Laskentaverkko	laskentapistet 10 x 10 metrin välein laskentaverkolla 2 metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan kovuus	Maa-absorptiovakioksi 0 kaikille alueille, joka vastaa kovaa maanpintaa tai vettä.
Objektien heijastuvuus	Kaikki rakennukset heijastavat arvolla 1 (täysin heijastava)
Heijastavuuslaskenta	Kertoimella 1 (yksi heijastussäde)
Jaksollisuus	Haitallisuuskorjauksella $K_1 + 0-3$ dB vain yöajan melumalleihin melulähteen suuntaavuuden mukaan.

2.1.1 Nykytilanne

Mielmukkavaaran melun nykytilanne on kartoitettu laskentamallin avulla, jossa on huomioitu päätien 21 sekä Kajankiin johtavan sivutien liikennelaskentamäärät vuodelta 2008. Laskentakartta on esitetty liitteessä 3. Lakialueella ja vaaran lähiympäristössä ei sijaitse teollisuuslaitoksia, ampumaratoja tai muita toimintoja, joista aiheutuisi selkeästi erottuvaa melua. Mielmukkajärven puolen ranta-alue on käytännössä loma-asukkaiden käytössä, jolloin ainoa merkittävä kesäajan melulähde voi olla alueelle johtavan autotien liikenne. Alueelle johtava hiekkapäälysteisen tien kunto on kuitenkin paikoin heikko, jolloin ajoneuvojen nopeudet ovat pääosin erittäin matalia. Satunnaisia melulähteitä alueella voivat olla metsänkaadon aiheuttaman äänen sekä talviaikaan Mielmukkajärven reunalla kulkeva moottorikelkkareitti.

Taulukko 2. Melun nykytilanne mallilaskennan mukaan, L_{Aeq}

Lähtötieto	Mielmukkajärven puoli, P1-P8	P9 Karila	P10 Niemelä
klo 07-22	11-15 dB(A)	50 dB(A)	49 dB(A)
klo 22-07	10 dB(A)	45 dB(A)	43 dB(A)

2.1.2 Rakentamisen aikainen melu

Tuulivoimalaitosten rakentaminen koostuu tieväylän, voimaloiden perustusten ja kaapeloinnin sekä voimaloiden pystytyksen työvaiheista. Melun kannalta merkittävimmät vaiheet ovat tiestön rakentamisen ja perustusten rakentamisen aikana, jolloin voi esiintyä myös vähäisissä määrin impulssimaista melua. Tässä selvityksessä ei ole erillisen karttapohjaisen melumallin avulla arvioitu rakentamisen aikaista melua, sillä työvaiheet voivat vaihdella ajallisesti voimakkaasti. Työvaiheiden melua on kuitenkin arvioitu loma-asuinkohteissa äänitehotasovertailulla suhteessa normaalikäytön voimalaitoksiin.

Mielmukkajärven puolen lomakiinteistölle erityisesti tuuliturbiinien TT1-2, TT8 ja TT14-15 rakennusvaiheet voivat kuulua matalan taustamelun aikana. Jotta loma-asutusalueiden päiväjän ohjearvo ylitetään 15 tunnin osalta (yksi työpäivä), tarkoittaisi se laitteiden osalta yhteisäänitehotasoa 115 dB(A) jatkuvatoimisesti, johon sisältyy + 5 dB:n impulssimaisuuskorjaus. Tämä voidaan arviolaskennan mukaan saavuttaa hetkellisesti maksimityövaiheen aikana (nosturin, traktorin, metsätyökoneen tai vastaavan suuren työkoneen täyskäyttö), mutta hyvin epätodennäköisesti keskiäänitasolla L_{Aeq} .

2.1.3 Käytönaikainen melu

Tuulivoimalaitosten normaalikäytön aikainen melu mallinnettiin taulukon 1. ja 2. mukaisilla lähtötiedoilla kahteen eri keskiäänitason tilanteeseen: pitkän aikavälin keskiäänitasoon L_{Aeq} äänitakuun mukaisella tuulisuudella ja keskimääräisellä kesäajan tuulusuusjakaumalla sekä lyhyen aikavälin yöajan keskiäänitasoon $L_{Aeq,1-9h}$ äänitakuun mukaisella tuulisuudella. Molempien laskentojen perustana toimivat Olostunturin referenssimittausten tulokset.

2.1.3.1 Lähtöäänitasot

Tuulivoimalaitosten A-painotetut äänitehotasot L_{WA} on saatu laitetoimittajien äänitakuista. Takuut on annettu standardin IEC 61400-11 mukaisten mittausten perusteella ja ne on laskettu standardituulenopeudelle 8 m/s 10 m:n korkeudella voimalan alatasosta laskettuna. Tämä vastaa noin 10 m/s tuulusuutta voimalan napakorkeudella 100 m maanpinnasta.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt tuulivoimalaitosten taatut A-painotetut äänitehotasot, L_{WA} (dB)

Voimalatyyppi	Oktaavikaistat, Hz									YHT
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2.3 MW	-	84	94	98	102	102	98	91	87	107
3.0 MW	-	91	100	103	100	98	96	90	80	107

Molemmat voimalatyyppit ovat kolmilapaisia vaihtuvanopeuksisia laitoksia, joiden napakorkeus on 100 m ja siiven kärkiväli 100 m. Voimalaitosten sijoittelu Mielmukkavaaralle on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 4. Haitallisuuskorjauksen KI, alueen tuuliruusun sekä turbiinin lavan jättöreunan melun suuntaavuuden vaikutus mallinnetun melulähteen suuntaavuuteen, pohjoinen suunta vastaa taulukossa 0°. [dB]

klo	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
07-22	+2.5	+1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+1.0

22-07	+4.0	+2.5	+1.0	+1.0	+1.0	+3.0	0	0	0	0	0	+2.0
-------	------	------	------	------	------	------	---	---	---	---	---	------

2.1.3.2 Keskiäänitason L_{Aeq} tulokset

Keskiäänitason L_{Aeq} yksittäislaskentatulokset päivä- ja yöaikaan on annettu Mielmukkajärven puolen lomakiinteistöjen tontin rajoilla sekä kahdessa pisteessä vaaran länsipuolelta. Laskentatulokset on annettu ilman taustameluvaikutusta sekä ilman epävarmuutta. Melun leviämiskartat on esitetty liitteissä 4 ja 5.

Taulukko 5. 2.3 MW:n voimalaitosten käytönaikainen melu mallilaskennan mukaan, L_{Aeq} , (dB)

Aika	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
klo 07-22	39	39	39	39	40	39	38	37	40	40
klo 22-07	40	40	40	40	41	39	39	38	39	40

Laskentatulosten perusteella pisteessä P5 voi melutakuun mukaisella äänitehotasolla yöajan keskiäänitaso ylittää loma-asutusalueiden yöajan ohjearvon ilman epävarmuustarkastelua.

Taulukko 6. 3.0 MW:n voimalaitosten käytönaikainen melu mallilaskennan mukaan, L_{Aeq} , (dB)

Aika	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
klo 07-22	41	41	41	41	42	40	40	39	41	41
klo 22-07	42	41	41	41	42	41	41	39	41	41

Laskentatulosten perusteella lähes kaikissa vaaran itäpuolen loma-asuinkohteissa voi melutakuun mukaisella äänitehotasolla yöajan keskiäänitaso ylittää loma-asutusalueiden yöajan ohjearvon 40 dB(A) ilman epävarmuustarkastelua.

2.1.3.3 Yöajan lyhyen ajan keskiäänitason $L_{Aeq,1-9h}$ tulokset

Suuntaavuus ja yöajan haitallisuuskorjattujen tulosten lisäksi on laskettu lyhyen ajan keskiäänitaso $L_{Aeq,1-9h}$ jolloin tuloksia peilataan suoraan Olostunturin referenssimittausten tuloksiin ja siten näitä tuloksia voidaan pitää pahimman mahdollisen tilanteen laskentatuloksina.

Lyhyen ajan keskiäänitason $L_{Aeq,1-9h}$ yksittäistulokset päivä- ja yöaikaan on annettu Mielmukkajärven puolen lomakiinteistöjen tontin rajoilla. Laskentatulokset on annettu ilman haitallisuuskorjausta KI tai melun kapeakaistakorjausta, ilman taustameluvaikutusta sekä ilman epävarmuutta. Melun leviämiskartat on esitetty

liitteissä 4 ja 5. Laskenta on kuitenkin suoritettu kovalle maanpinnalle, jolloin on todennäköistä että laskenta hieman yliestimoi äänitason tuloksia lomakiinteistöillä.

Taulukko 7. 2.3 MW:n voimalaitosten käytönaikainen melu mallilaskennan mukaan, $L_{Aeq,1-9h}$ (dB)

Aika	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
klo 22-07	43	43	43	43	43	42	42	40	31	32

Loma-asutusalueiden yöajan ohjearvo ylitetään pisteissä P1-P7 ilman epävarmuustarkastelua sekä muun tuulen aiheuttaman taustamelun peittovaikutusta länsituulella nopeudella 8 m/s ja ilman tasapainotilan D vallitessa.

Taulukko 8. 3.0 MW:n voimalaitosten käytönaikainen melu mallilaskennan mukaan, $L_{Aeq,1-9h}$ (dB)

Aika	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
klo 22-07	45	45	45	45	44	43	44	42	35	35

Loma-asutusalueiden yöajan ohjearvo ylitetään pisteissä P1-P8 ilman epävarmuustarkastelua sekä muun tuulen aiheuttaman taustamelun peittovaikutusta länsituulella nopeudella 8 m/s ja ilman tasapainotilan D vallitessa.

Alla olevaan taulukoon on laskettu teoreettiset ajat, jolloin kukin yksittäislaskennan piste sijaitsee alatuulen puolella suhteessa voimalaan heinäkuussa keskeisimmän kesälomakuukauden aikana. Taulukon lukuarvot ovat saatu Suomen Tuuliatlaksen Mielmukkavaaran alueen heinäkuun tuuliruusun käänteisarvosta (melun leviämissuunta) siten, että alatuulen puoli sisältää suunnat myös viereisiltä $\pm 30^\circ$ suunnilta tuulivoimalan melun suuntaavuuden mukaisesti. Nykyisessä Tuuliatlaksessa ei ole vielä saatavissa tuulisuusjakoa päivä- ja yöajan tilastoihin ja taulukkotiedot edustavat siten vain laskennallisia kuukausikeskiarvoja.

Taulukko 9. Tuulisuusstatistiikka, alatuulen arvioitu esiintyminen kussakin kohteessa äänitakuuta vastaavilla napakorkeuden tuulennopeuksilla (10 m/s), heinäkuun tuulisuusdata.

Aika	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Heinäkuu	16%	16%	16%	16%	17%	17%	17%	17%	8%	8%
Tunnit	116	118	118	118	123	123	123	123	54	54
vrk	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2

Laskennan mukaan pahin mahdollinen tilanne esiintyy keskimäärin 5 vrk yhden lomakuukauden aikana, jolloin Mielmukkajärven lomakiinteistöillä voidaan ylittää 40 dB(A):n yöajan ohjearvo 2.3 MW:n laitoksilla. Arviointi ei ota huomioon taustamelun peittovaikutusta, jota saattaa esiintyä vielä tämän ajanjakson sisällä.

2.2 Melun häiritsevyys ja alueen äänimaisemamuutokset

Melun leviämislaskennan mukaan Mielmukkejärven puolella alueen nykyinen taustamelutaso on erittäin alhainen etenkin yöaikaan, sillä pääväylä VT 21 sijaitsee vaaran vastakkaisella puolella. Myös Kajankiin johtava autotie kulkee pääosin Kylkirovan vaaran takana. Alueen alhainen taustamelutaso lisää voimalaitosten käyntiäänien erottuvuutta ja kuuluvuutta. Tuulivoimalaitosten melun erottuvuus muusta ympäröivästä melusta on todettu olevan korkeampi jaksollisen käyntiäänien johdosta, vaikka äänen jaksollisuus ei yleensä esiinny jatkuvasti sääolojen sekä useiden voimaloiden lappojen epäsynkronisen käynnin seurauksena. /2/, /3/ Olostunturin mittauksen perusteella tuulivoimalaitoksen käyntiäänien erottuvuus hiljaisessa ympäristössä voi alkaa jo alle 30 dB(A):n keskiäänitasolla. Laskennan mukaan on siten odotettavissa, että erityisesti loma-asuinkohteiden sijaitessa alatuulen puolella, voimaloista kantautuva ääni erottuu muusta taustamelusta selkeästi etenkin jos tuulisuusero lomakiinteistöjen alueella sekä voimaloiden napakorkeudella kasvaa suureksi. Tämän seurauksena alueen äänimaiseman voidaan katsoa muuttuvan, mutta muutos on ajallisesti voimakkaasti vaihtelevaa. Tuulensuunnan, tuulennopeusmuutosten ja alueen maaston seurauksena syntyy myös tilanteita, joissa tuulivoimalaitosten melua ei välttämättä kuulla lainkaan. Tarkka muutos voidaan kuitenkin todentaa vain suorittamalla alueella taustamelumittauksia ennen voimaloiden pystytystä sekä mittauksia normaalikäytön aikana, sillä puiden tuulikohinan ja järven aallokkomelun vaikutusta taustamelutasoon ja todelliseen tuulivoimamelun erottuvuuteen on tässä vaikea arvioida tarkasti. Melun leviämistä ja melun erottuvuutta estävät tiheä kasvillisuus ja puusto loma-asuinkohteiden ympäristössä.

2.3 Melun leviämislaskennan epävarmuus

Melun leviämislaskentojen epävarmuus muodostuu lähtöäänitason ja muiden mallilaskennan syöttötietojen epävarmuudesta, leviämislaskennan tuomasta epävarmuudesta (laskentastandardit ja algoritmit) sekä vastaanottopisteen todellisesta äänitasosta taustamelu ja muut tuulivoimamelun peittovaikutukset huomioiden. Tässä on arvioitu, että laskennan epävarmuus on suurimman meluarvon päässä noin +3 dB ja pienimmän meluarvon päässä noin -6 dB, johtuen tuulisuusstatistiikan sekä melun todellisen leviämisen epävarmuuksista. Suuremmat meluarvot tunnetaan paremmin, sillä melun lähtöäänitaso ei enää kasva olennaisesti melutakuuarvoja vastaavan tuulennopeuden jälkeen ja laskettuja arvoja on peilattu mitattuihin tilanteisiin. Epävarmuutta suurimman arvon arvioimiseksi tuovat kuitenkin hetkelliset siiven yli tapahtuvat ääntä lisäävät virtausmuutokset, tuulen vaikutus melun leviämiseen alatuulen puolella (esim. pienempi vaimentuminen ääniaallon kaareutumisen seurauksena), lappojen yhtäaikaiset pyörimistilanteet (synkronisuus) sekä arviot melun jaksollisuudesta ja siten melun haitallisuuskorjauksen KI käytöstä.

2.4 Melun vaimennusmahdollisuudet

Tuulivoimaloiden lähtöäänitasoa voidaan teknisesti rajata siten, että tiettyyn tuulensuuntaan voidaan asettaa maksimi tuotettu äänitehotaso siipien kohtauskulmaa muuttamalla. Asetus tehdään turbiinin säätöautomaattiin ja parametreiksi voidaan valita tehoasetusten lisäksi tuulen suunta, päivämäärä sekä kellonaika jolloin äänirajoitusajo kytkeytyy päälle. Tällöin kuitenkin tuotantoteho muuttuu alhaisemmaksi siipien hitaamman pyörimisnopeuden seurauksena, joten vaimennusta ei voida toteuttaa

ilman tuotannollisia tappioita. Tässä työssä on laskettu meluoptimoitu tilanne stabiilin ilmakehän mallin perusteella alatuulen puolelle, jossa äänitehotasoja on muokattu Mielmukkajärven puolen turbiineille oheisen taulukon mukaisesti:

Taulukko 10. Valittujen turbiinien meluoptimoidut äänitehotasot mallilaskennassa [dB(A)]

Malli	TT1	TT2	TT5	TT6	TT7	TT8	TT14	TT15
3.0 MW	101	103	103	103	101	101	99	99
Malli	TT2	TT6	TT7	TT8	TT14	TT15		
2.3 MW	103	103	103	102	101	101		

Mielmukkajärven puolella äänitasot ovat tällöin taulukon 11 mukaiset:

Taulukko 11. Äänitasot Mielmukkajärven puolella äänitehotasojen optimoinnin jälkeen [dB(A)]

Malli	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
3.0 MW	39	39	39	39	38	38	39	38
2.3 MW	39	39	39	39	38	37	37	37

3 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä selvityksessä on wpd Finland Oy:n ja Metsähallituksen Muonion Mielmukkavaaraan suunnitteleman tuulivoimapuiston meluvaikutuksia arvioitu laskennallisilla menetelmin. Laskennan pohjana on käytetty alueen digitaaliaineistoa sekä 2.3 MW:n että 3.0 MW:n laitokseen lähtöäänitasoja esisuunnitelman mukaisissa sijoituspaikoissa Mielmukkavaaran laella. Vuoden 2009 aikana on myös suoritettu tuulivoimamelman referenssimittauksia Muonion Olostunturilla, johon tämän selvityksen laskennan antamia tuloksia peilataan.

Laskentatulosten mukaan voimaloiden aiheuttama keskiäänitaso Mielmukkajärven puolen lomakiinteistöillä voi ylittää 40 dB(A):n loma-asutusalueen ohjearvon erityisesti tapauksissa, joissa tuulennopeus vastaa äänitehotakuun mukaista tuulennopeutta voimalan napakorkeudella, tuulensuunta on lännestä voimaloilta lomakiinteistöihin päin ja voimalan lähtöäänitaso on äänen taajuuksien osalta painottunut matalimpiin taajuuksiin. Näin erityisesti ilta- ja yöaikaan, jolloin tuulisuusero voimaloiden napakorkeuden ja lomakiinteistöjen korkeuden tasolla voi kasvaa suureksi. Voimaloiden lähtöäänitason vaihdeltaessa voimakkaasti tuulennopeuden mukaan ja erityisesti alueen kesäajan matalamman keskituulennopeuden vuoksi yöajan ohjearvon ylityksiä esiintyy laskennan ja tuulisuusstatistiikan mukaan vain noin 20 % kokonaisajasta heinäkuussa. Lisäksi ääntä vaimentavat lomakiinteistöjen ympärillä ja vaaran itälaidan tiheä puusto ja

kasvillisuus. Modernien tuulivoimalaitosten lähtöäänitasoa voidaan tarvittaessa rajoittaa laitoksen säätö- ja ohjausjärjestelmän avulla siten että äänitaso voidaan lomakiinteistöllä pitää alle 40 dB(A):n ohjearvorajan alatuulen puolen tilanteessa ilta- ja yöaikaan. Melurajoitusajon säätöparametreiksi voidaan tällöin valita tehoasetusten lisäksi tuulen suunta, päivämäärä sekä kellonaika.

Pöyry Finland Oy, tehokkuus- ja mittauspalvelut



Ilkka Heikkilä

Johtaja



Carlo Di Napoli

Konsultti, Teollisuusmeluselvitykset

KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ Oerlemans, S. Schepers, J.G. “Prediction of wind turbine noise directivity and swish”, *Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise*, Aalborg, Denmark, (2009)
- /2/ Pedersen, Eja. Noise annoyance from wind turbines - a review. Raport 5308, Naturvårdsverket, Sweden (2003)
- /3/ G.P. van den Berg, “The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise”, Doctoral Thesis, University of Groningen, Netherlands (2007)
- /4/ Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät”. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen oppaita 2003:1. Helsinki, (2003)
- /5/ Huusko, H. Kauppinen T. Tölli E. ” Äänimaisemakartoitukset Levin, Oloksen ja Ylläksen Matkailukeskuksissa.” Rovaniemen Ammattikorkeakoulu (2006)

LIITE 1

LASKENTA-ALUEEN KARTTA

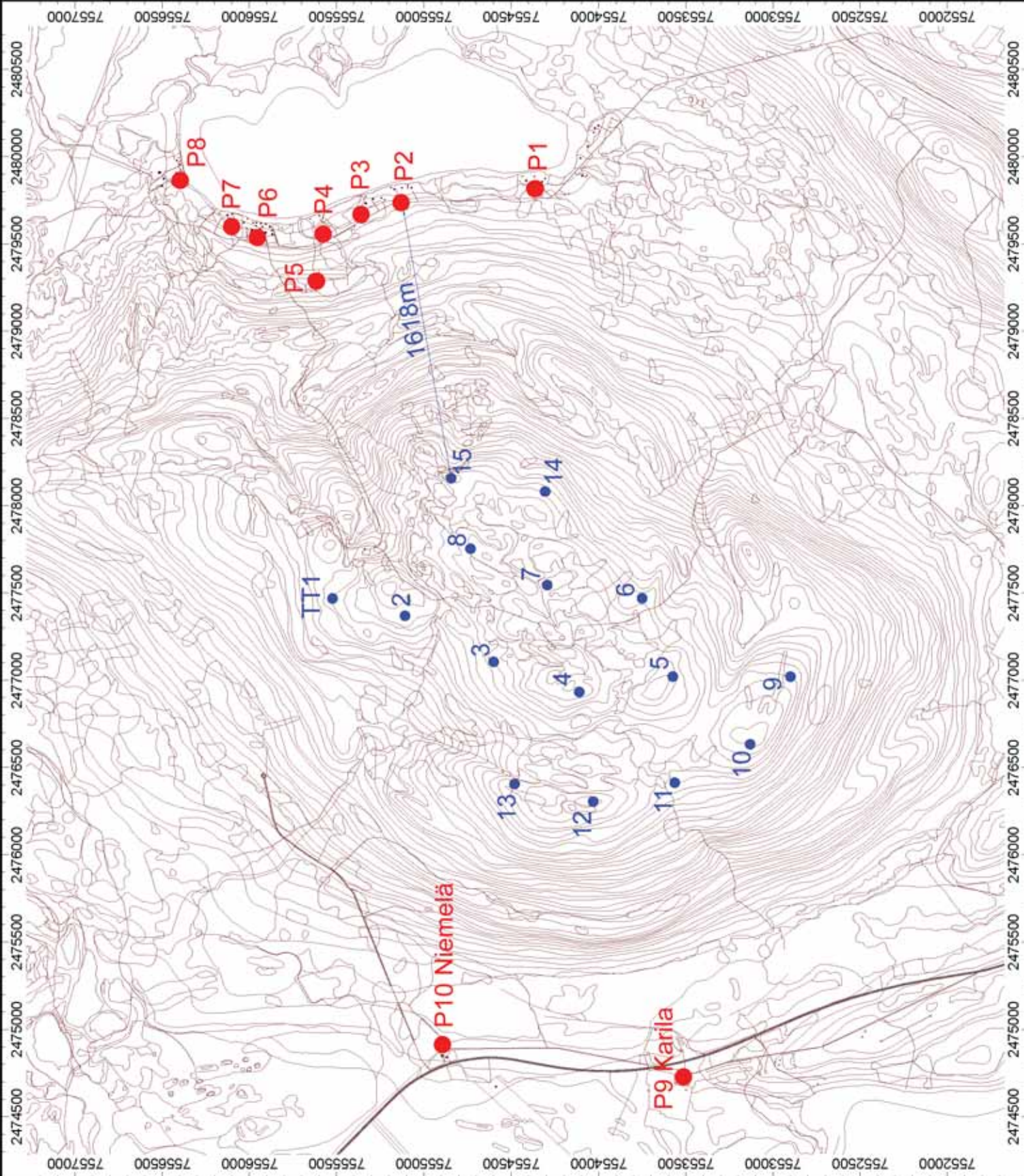


PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

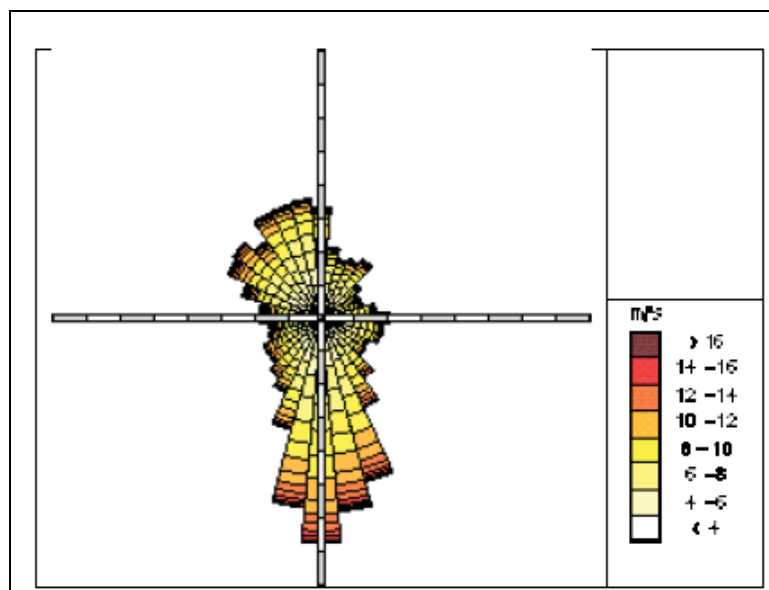
Yksittäislaskentapisteeet
P1 - P10



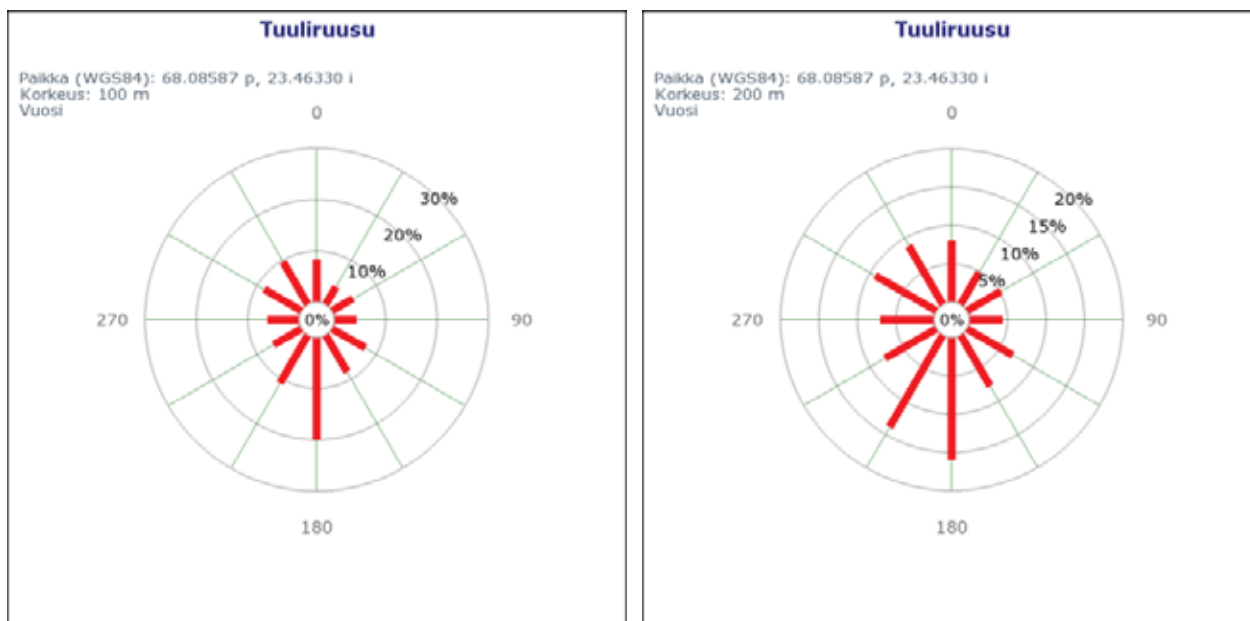
LIITE 2

ALUEEN TUULISUUSSTATISTIIKAA

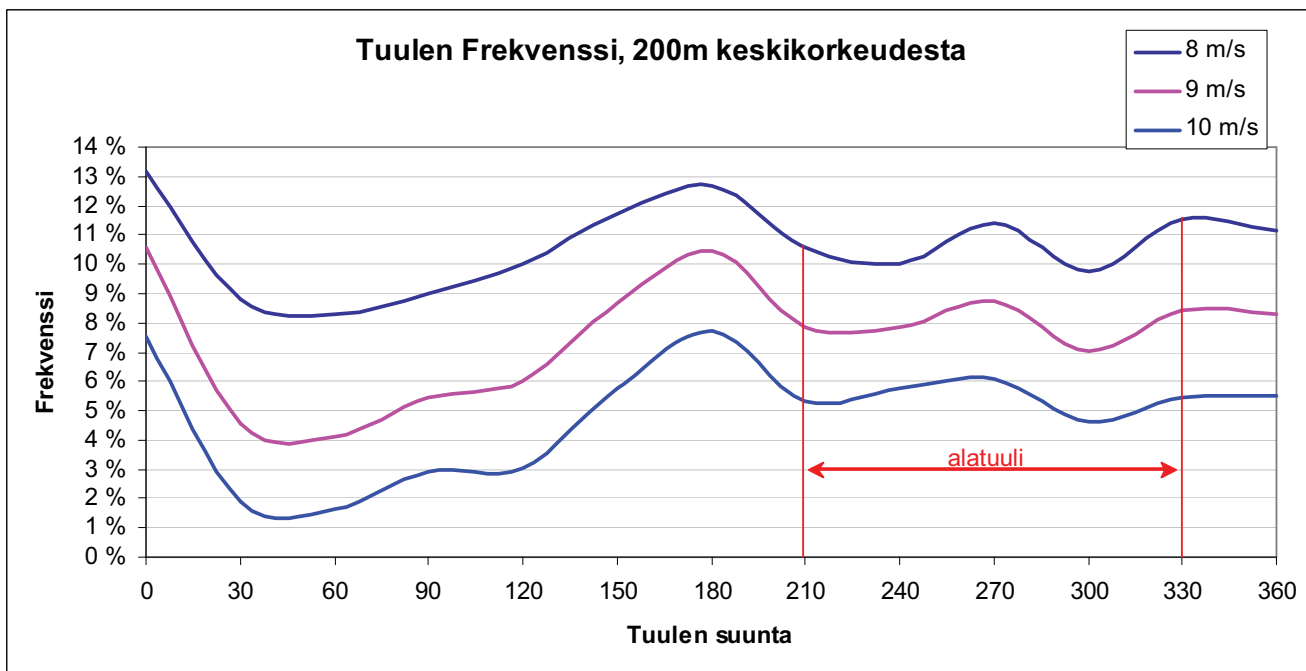
Liite 2. Alueen tuulisuusstatistiikka (Suomen Tuuliatlas, 12/2009 sekä VTT)



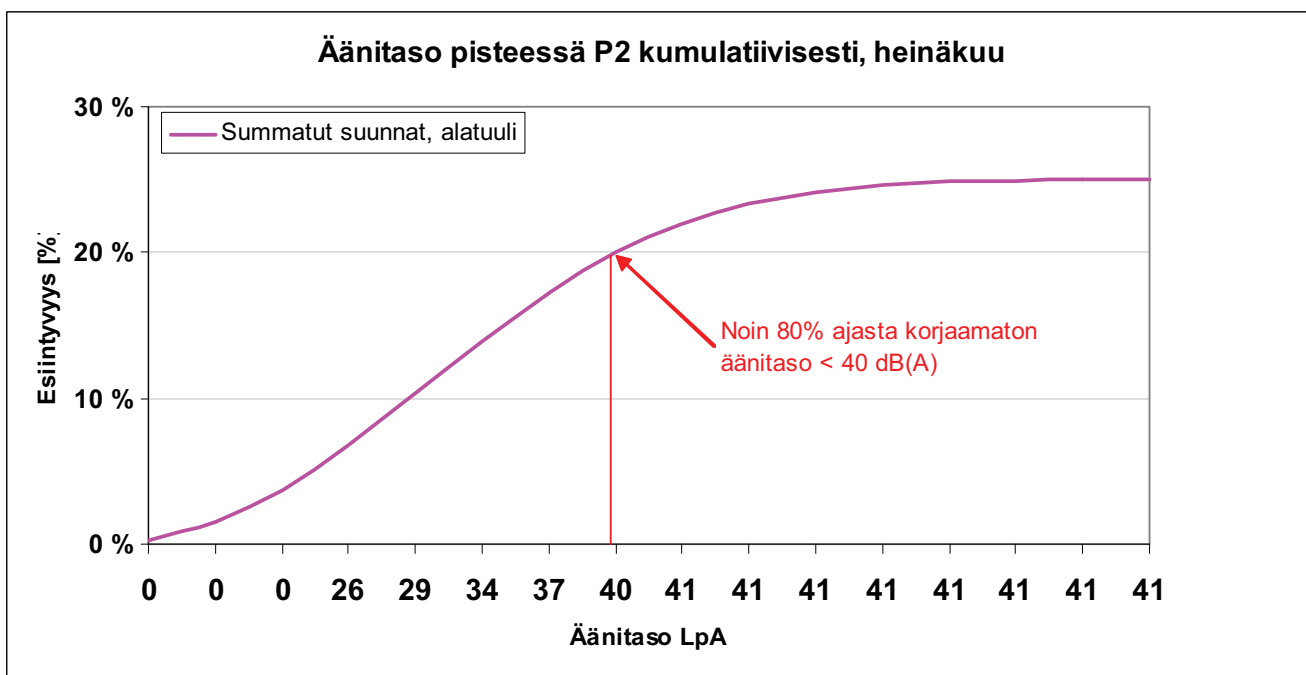
Kuva 1. Olostunturin jättövanan pyörrevapaa tuuliruusu (VTT)



Kuva 2. Mielmukkavaaran tuuliruusu, vuosidata, 100m ja 200m keskikorkeudesta



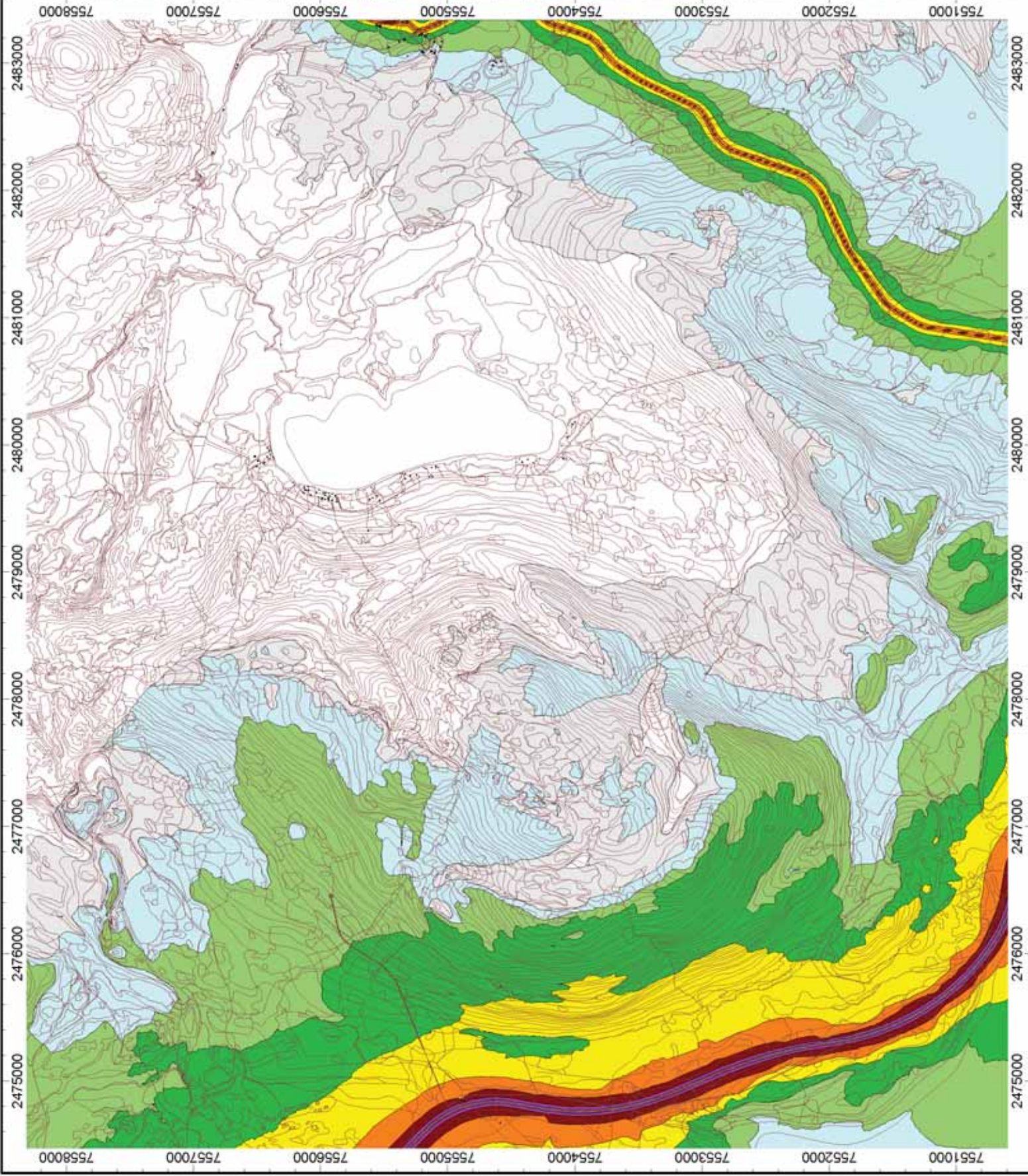
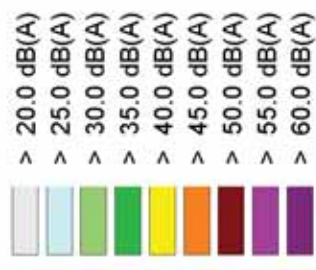
Kuva 3. Mielmukkavaaran tuulen frekvenssi 200m keskikorkeudesta, heinäkuu



Kuva 4. Piste P2 äänitason esiintyvyys heinäkuussa, ilmakehän tasapianotilan D mukainen äänen leviäminen, 15 x 3.0MW, P2 alatuulen puolella.

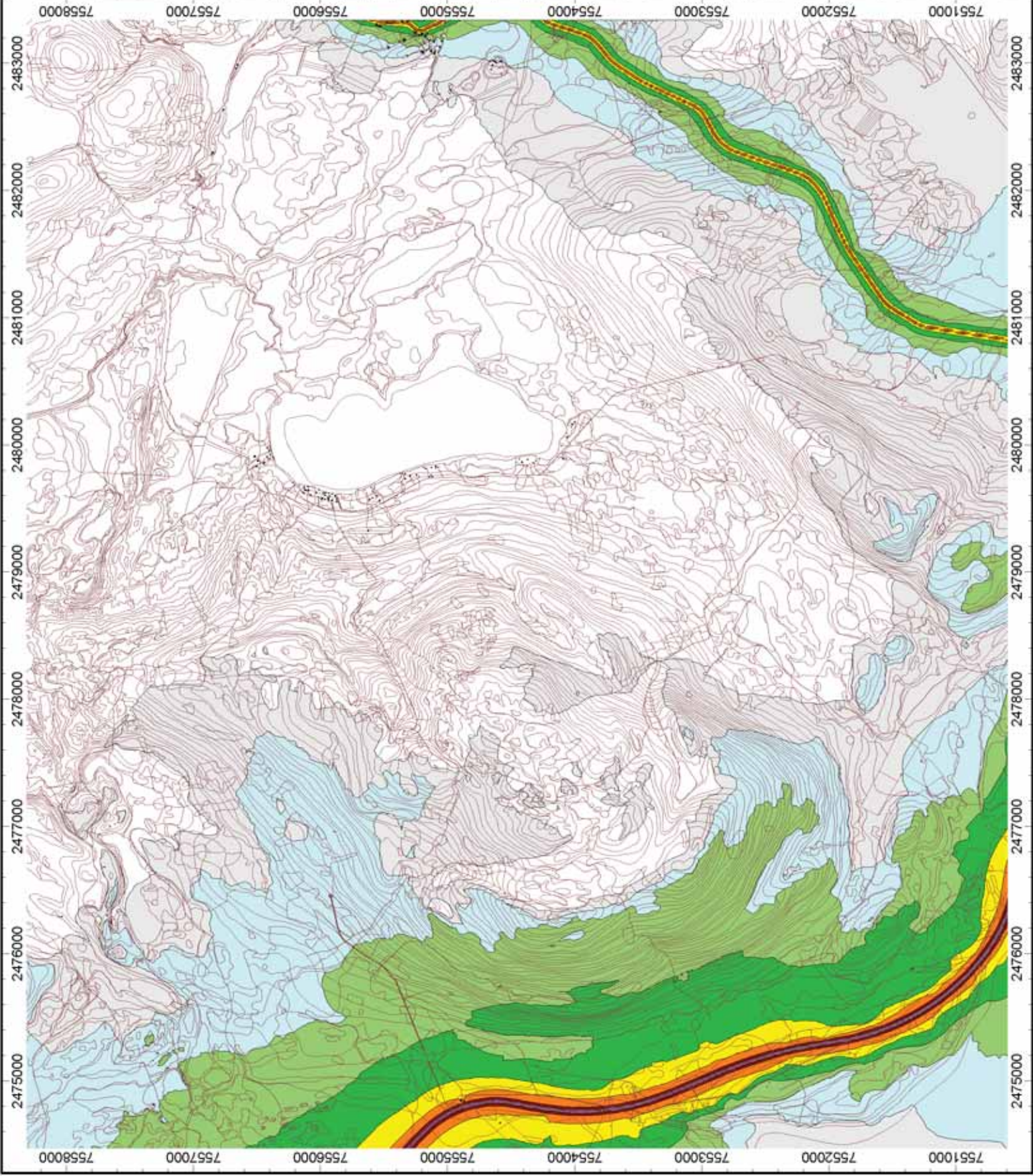
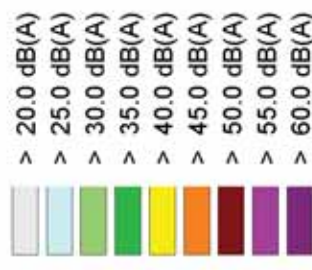
LIITE 3

MELUMALLINNUS – TAUSTAMELU



PVM	Nimi
14.12.2009	CDN
Tehnyt	

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon tiheys: 20 x 20 m



LIITE 4

MELUMALLINNUS – 15 x 2.3MW



PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

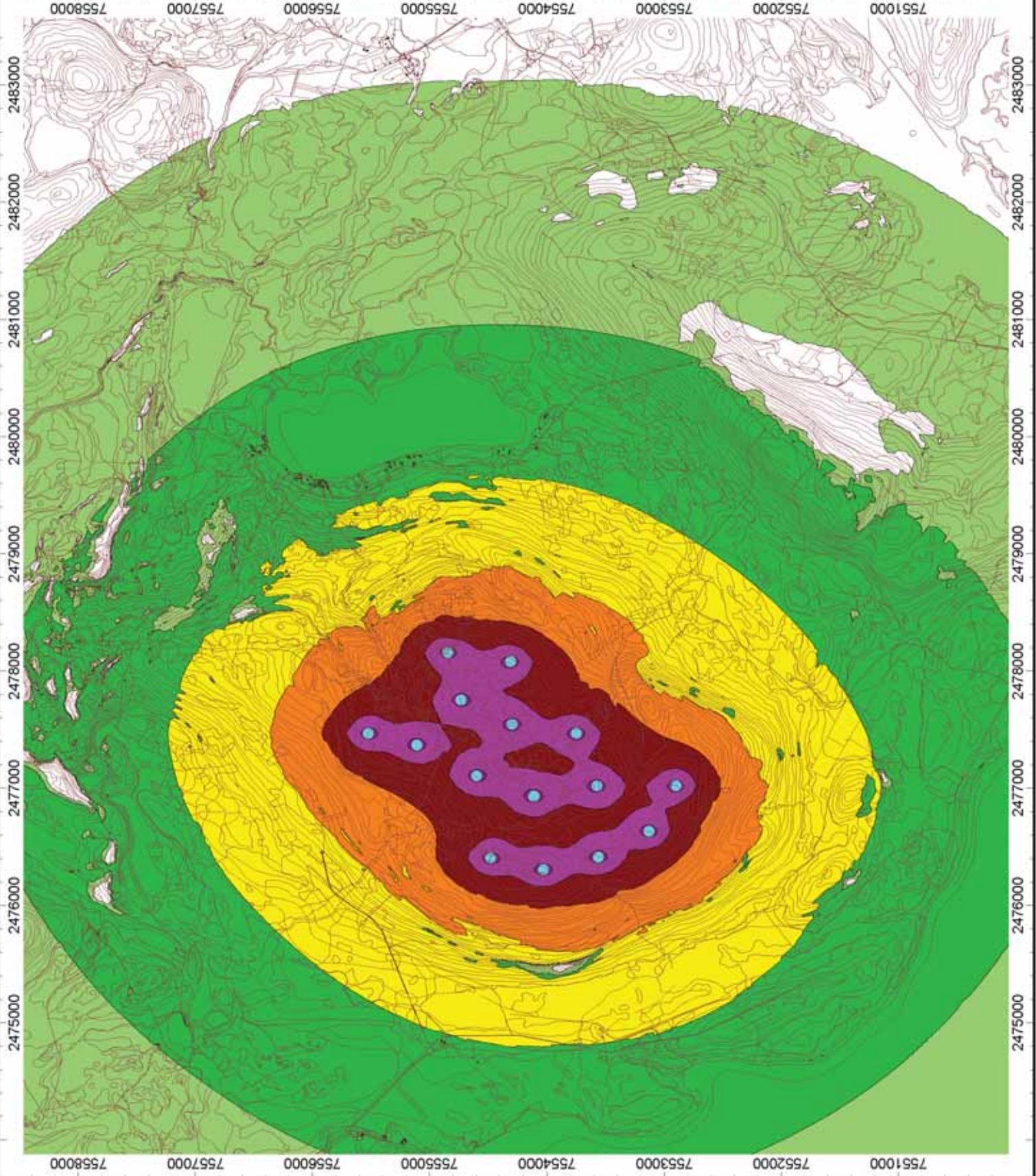
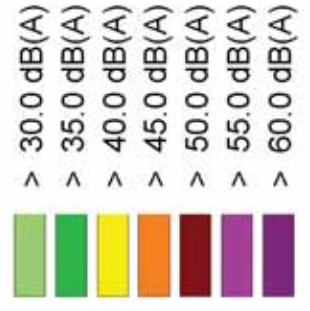
Päiväjajan keskiäänitaso
LAeq klo 07-22

15 x 2.3 MW

PVM	Nimi
11.12.2009	CDN

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon tiheys: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

Yöajan keskiäänitaso
LAeq klo 22-07

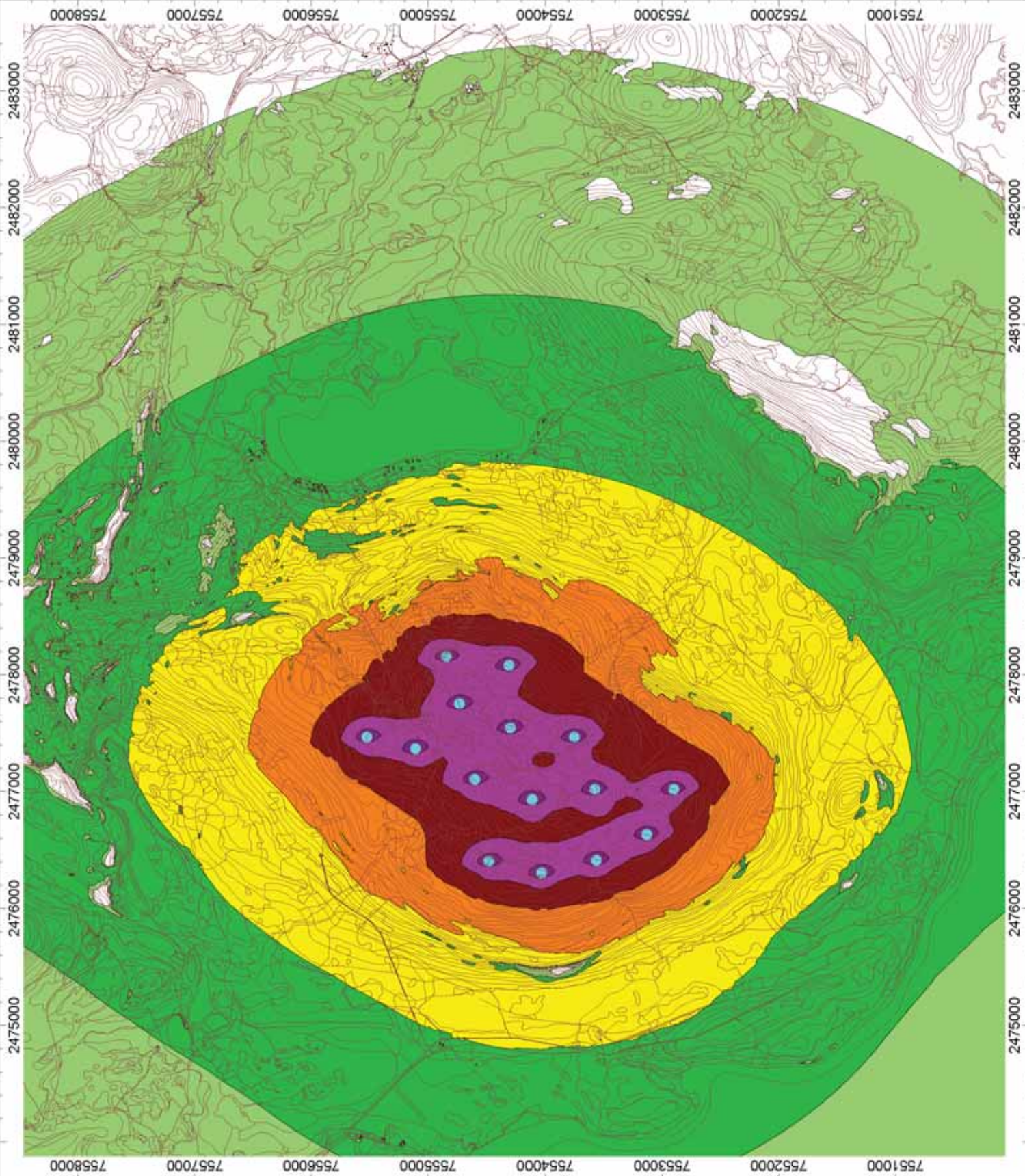
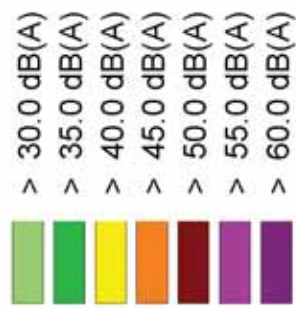
15 x 2.3 MW

PVM	Nimi
11.12.2009	CDN

Tehnyt

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon tiheys: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

Lyhyen ajan keskiäänitaso
LAeq, 1-9h klo 22-07
Ilmakehän tasapainoluokka D
Tuulen suunta 260°
Tuulennopeus 8 m/s

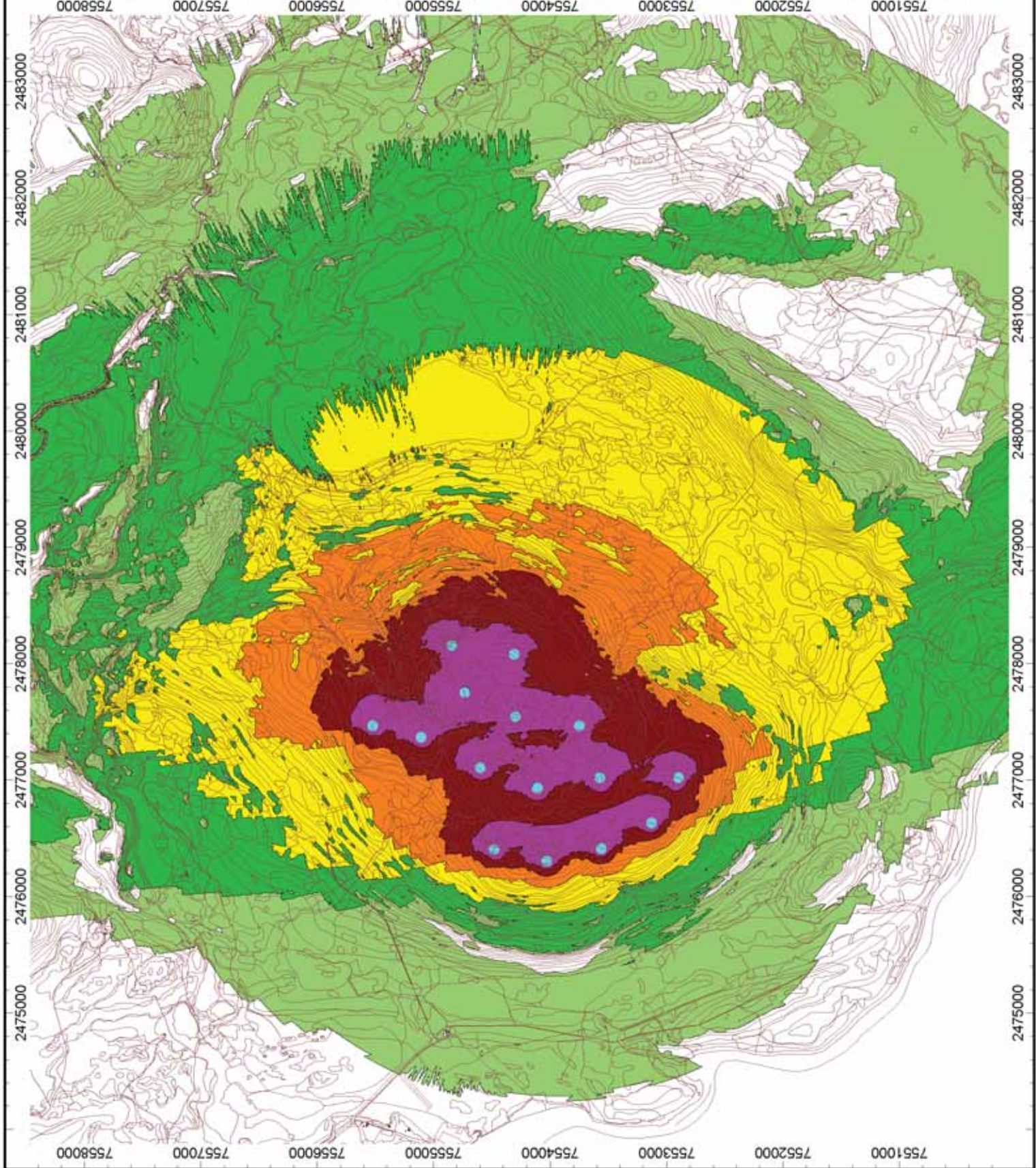
15 x 2.3 MW

PVM Nimi

Tehnyt 11.12.2009 CDN

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon liiheyttä: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUK

Lyhyen ajan keskiäänitaso
LAeq, 1-9h klo 22-07
Ilmakehän tasapainoluokka D
Tuulen suunta 260°
Tuulennopeus 8 m/s

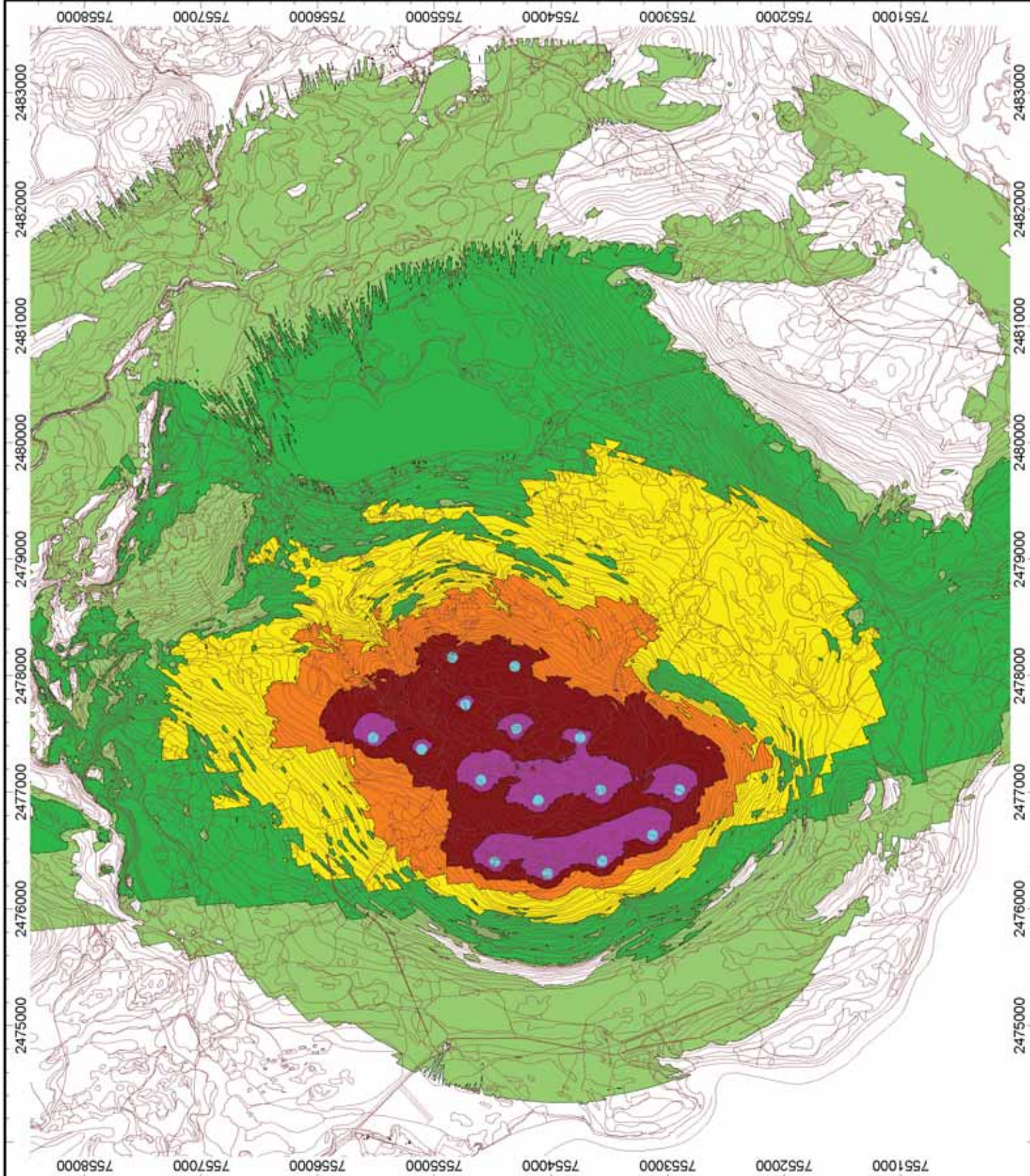
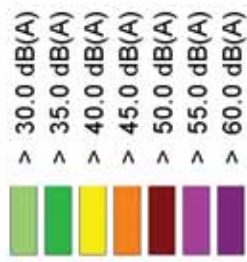
15 x 2.3 MW

PVM Nimi

Tehnyt 11.1.2010 CDN

OPTIMOIDUT ÄÄNITEHOTASOT

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon liiheyks: 10 x 10 m



LIITE 5

MELUMALLINNUS – 15 x 3.0MW



PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

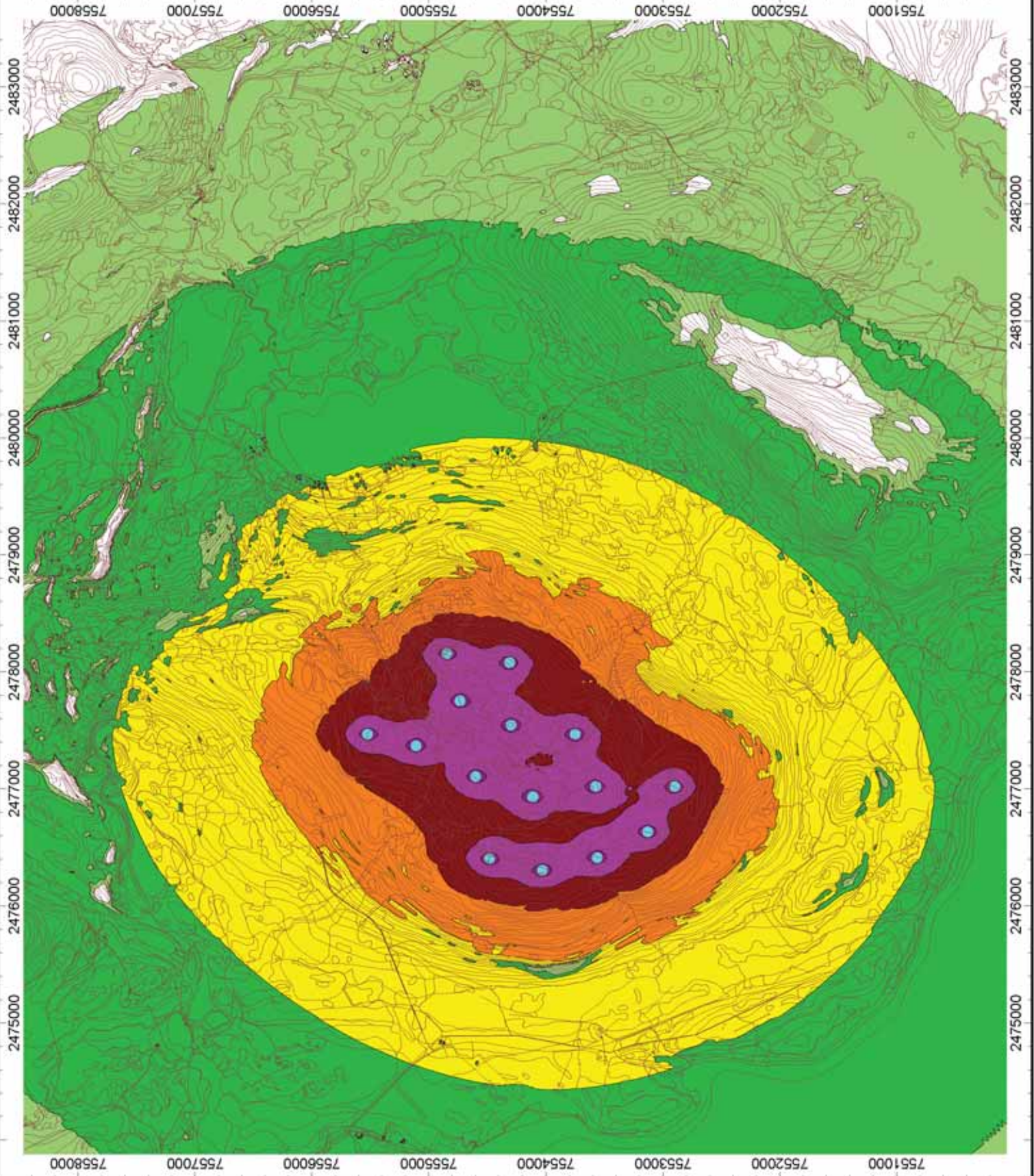
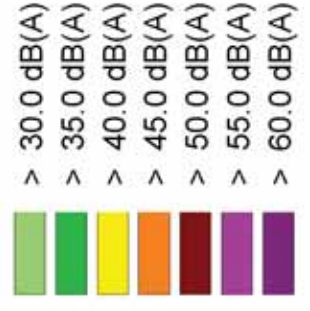
Päiväjajan keskiäänitaso
LAeq klo 07-22

15 x 3.0 MW

PVM	Nimi
11.12.2009	CDN
Tehnyt	

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon tiheys: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

Yöajan keskiäänitaso
LAeq klo 22-07

15 x 3.0 MW

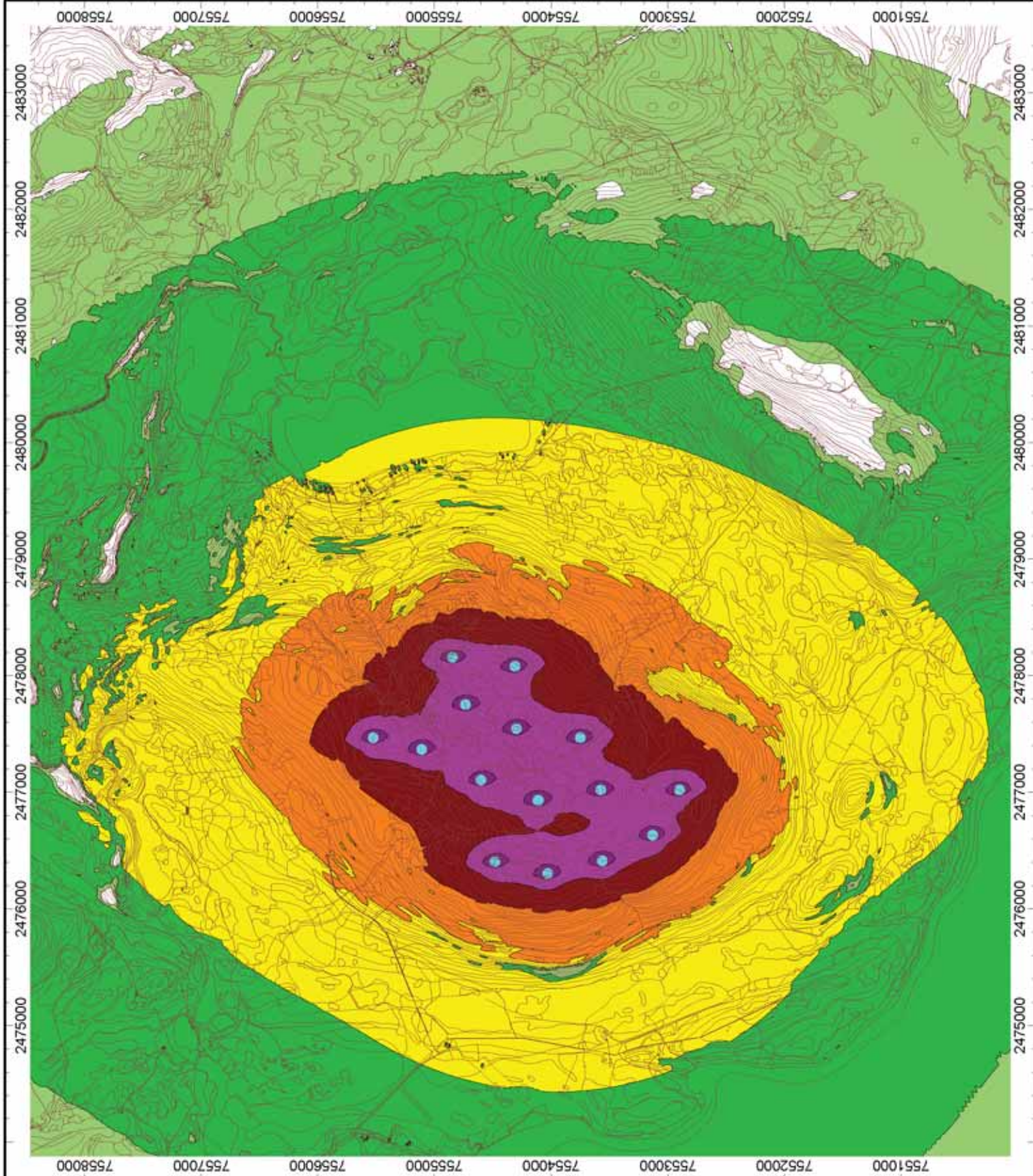
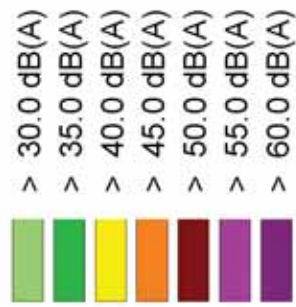
PVM Nimi

11.12.2009 CDN

Tehnyt

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon tiheys: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielimukkavaara

MELUMALLINNUK

Lyhyen ajan keskiäänitaso
LAeq, 1-9h klo 22-07
Ilmakehän tasapainoluokka D
Tuulen suunta 260°
Tuulennopeus 8 m/s

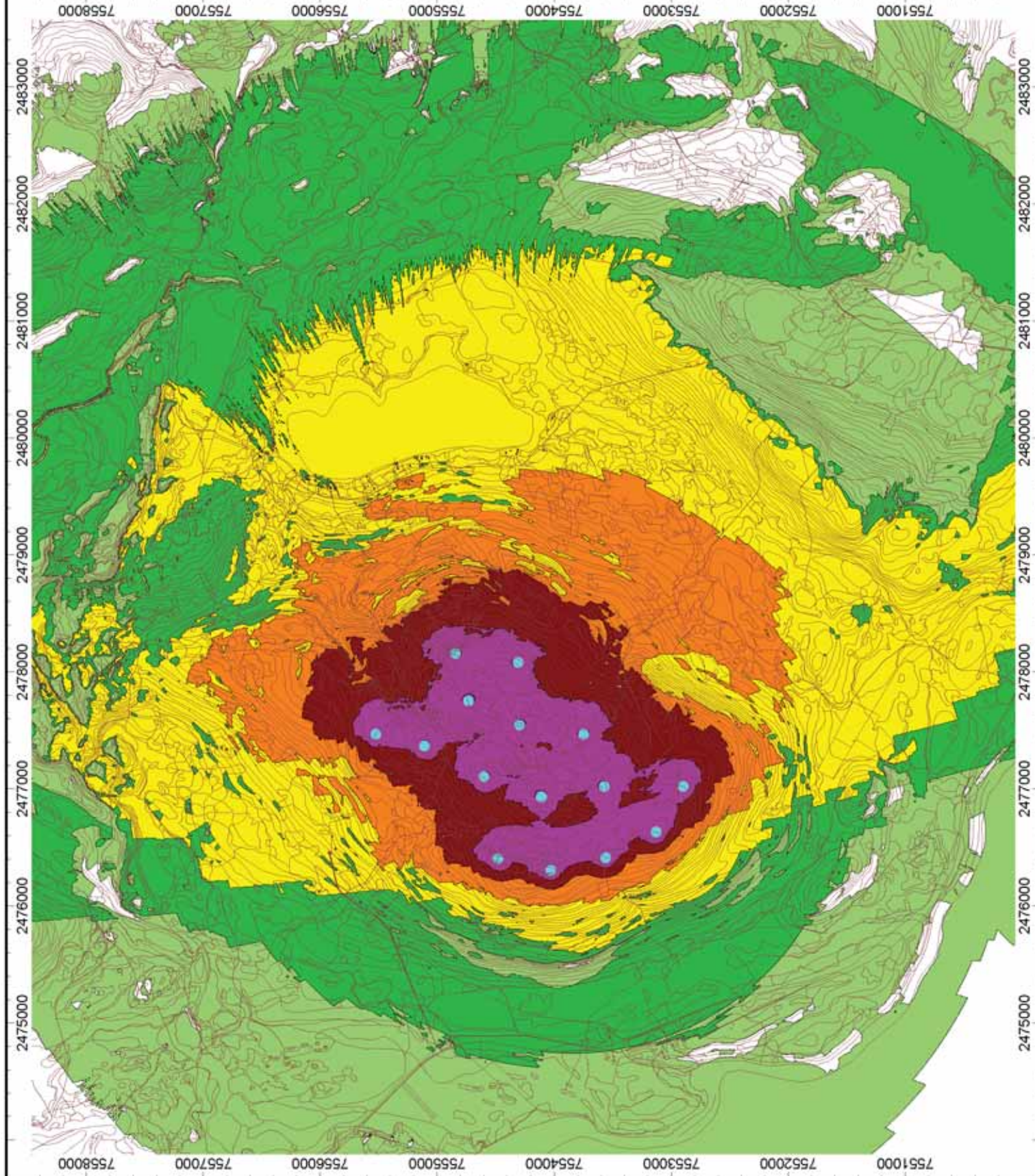
15 x 3.0 MW

PVM	Nimi
11.12.2009	CDN

Tehnyt

Äänitehotasolla LWA = 107 dB

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon liiheyks: 10 x 10 m





PÖYRY FINLAND OY

wpd Finland Oy
Mielmukkavaara

MELUMALLINNUS

Lyhyen ajan keskiäänitaso
LAeq, 1-9h klo 22-07
Ilmakehän tasapainoluokka D
Tuulen suunta 260°
Tuulennopeus 8 m/s

15 x 3.0 MW

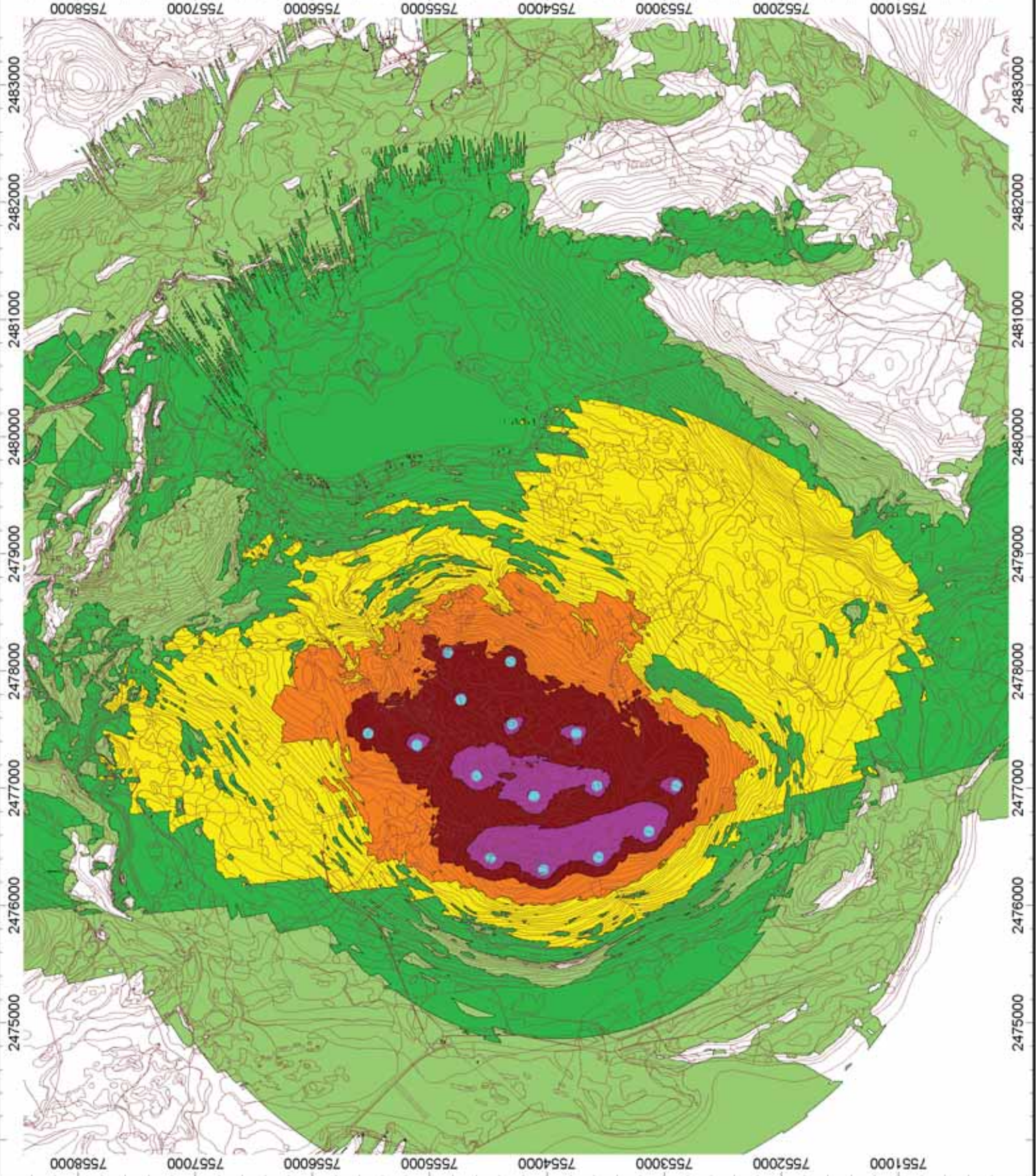
PVM Nimi

11.1.2010 CDN

Tehnyt

OPTIMOIDUT ÄÄNITEHOTASOT

Keskiäänitason tulos LAeq [dB(A)]
Laskentaverkon korkeus: 2 m maanpinnasta
Laskentaverkon liiheyks: 10 x 10 m



LIITE 6

VALTIONEUVOSTON MELUN OHJEARVOT

Liite 6. Valtioneuvoston melun ohjearvot

Ohjearvot ulkona	L_{Aeq}(07:00-22:00)	L_{Aeq}(22:00-07:00)
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- ja oppilaitoksia palvelevat alueet.	55 dB	45-50 dB ^{1), 2)}
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	45 dB	40 dB ^{3), 4)}
Ohjearvot sisällä		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Schools and meeting rooms	35 dB	-
Commercial and office rooms	45 dB	-

1) Uusilla alueilla melutason ohjearvo yöaikana on 45 dB

2) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjearvoa

3) Yöohjearvoa ei sovelleta sellaisilla luonnonsuljealueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä

4) Loma-asumiseen taajamissa voidaan kuitenkin soveltaa asumiseen käytettävien alueiden ohjearvoa

Mittaus- tai laskentatuloksen korjaaminen:

Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista edellä mainittuihin ohjearvoihin.

LIITE 7

ÄÄNIAALLON MITTAYKSIKÖT JA YMPÄRISTÖMELU

Liite 7. Ääniaallon mittausyksiköt ja ympäristömelu

Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpainelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle) käytetään referenssipainetta 20 µPa ilmalle sekä 1 µPa muille aineille.

Äänen voimakkuutta voidaan havainnollistaa seuraavalla taulukolla, jossa on esitetty kunkin äänenpainetaso muutosta vastaava desibelitaso tyypillisen äänilähteen luona mitattuna.

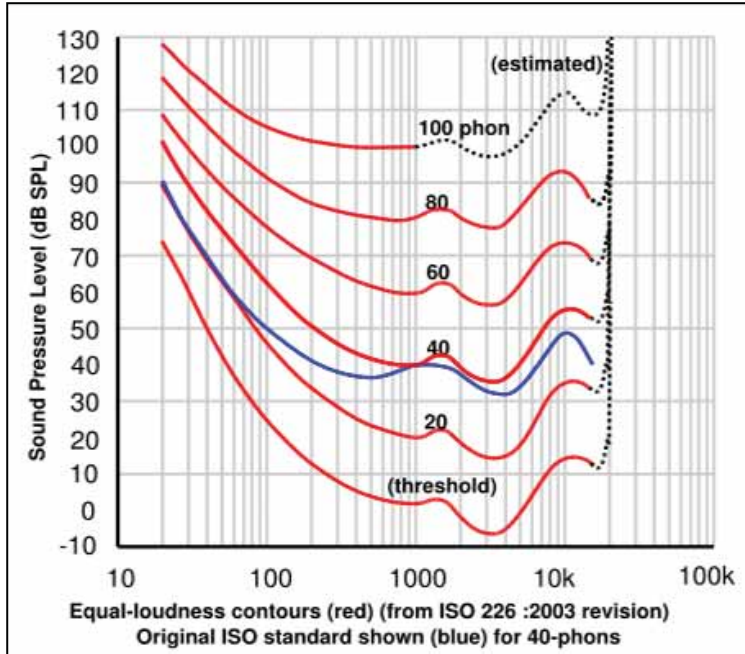
Äänenpaine, µPa	Tyypillinen äänilähde	Äänenpainetaso, dB
1 00 000 000	Suihkumoottori	134
10 000 000	Rock-konsertti	114
1 000 000	Suuri teollisuusmoottori	94
100 000	Yleistä toimistomelua	74
10 000	Toimistohuone	54
1 000	Hiljainen luontoalue	34
100	Erittäin hiljainen huone	14
20	Kuulokynnys	0

Ääni on aaltoliikettä, joka välittyäkseen eteenpäin tarvitsee aina väliaineen. Ilmassa äänellä on nopeus joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksien mukaan. Normaali ympäristömelu sisältää useiden kohteiden yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa. Mittauksin voidaan kuitenkin erotella melun hetkelliset komponentit esim. taajuustarkastelulla.

Melu on sen sijaan käsite, jolla ymmärretään äänen negatiivisia vaikutuksia, ei-toivottua ääntä josta seuraa ihmisille haittaa. Melu on siis fyysikaalisten mittareiden lisäksi myös hyvin pitkälti subjektiivinen käsite, jossa kuulijan omilla tuntemuksilla ja äänenerotuskyvyllä on ratkaiseva merkitys.

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen ja ilmaistaan usein A-kirjaimella dimension perässä, esimerkiksi dB(A).

Liite 7_1. Ihmisen kuulokynnyskäyrä ("Threshold" = minimitaso) sekä äänen taajuuspainotukset.



Äänen taajuuspainotuksia. Sininen viiva vastaa A-painotusta.

