

KUUMAT JA KYLMÄT PÄIVÄT ILMASTON LÄMMETESSÄ — TAUSTATIETOA JA LASKENTAMENETELMÄ

ACCLIM-hankkeen 2. osahankkeessa (T2) on arvioitu kuumien ja kylmien päivien esiintymistä nykyisessä ja tulevassa ilmastossa havaintotietojen ja maailmanlaajuisten ilmastomallien ennustamien lämpötilan muutosten perusteella. Arviot laadittiin 16 eri puolilla Suomea sijaitsevalle paikkakunnalle (taulukko 1). Laskentamenetelmä sisältää useita yksinkertaistavia olettamuksia, joten esitetyt arviot ovat pikemminkin suuntaa-antavia kuin tarkkoja. Laskelmat on tehty v. 2009 tammi-maaliskuussa, ja työn vastuuhenkilönä toimi Kimmo Ruosteenoja Ilmatieteen laitokselta. Tämän taustoittavan tekstin laadintaan on osallistunut myös Reija Ruuhela.

1 MILLAINEN PÄIVÄ ON “KUUMA” TAI “KYLMA”?

Havaintojen mukaan kuolleisuuden riippuvuus lämpötilasta on U-kirjaimen muotoinen. Lämpötilan molemmat ääripäät — helle ja kylmyys — lisäävät siten kuolleisuutta, ennen kaikkea sydän- ja hengitystieoireiden vuoksi. Kylmällä säällä verisuonet supistuvat, mikä nostaa verenpainetta. Kuumalla säällä taas veren viskositeetti kasvaa nestehukan vuoksi, mikä lisää verenkierron häiriöitten vaaraa. Ihmiset ovat sopeutuneet oman maansa ilmastoon, mikä näkyy siitä, että lämpimien maitten kansat ovat herkempiä kylmyydelle kuin esimerkiksi suomalaiset. Toisaalta helteen vaikutus kuolleisuuteen alkaa näkyä Suomessa

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt ilmastohavaintoasemat sekä kunkin aseman tunnusnumero (ns. lpnn-numero) ja sijainti (leveys- ja pituuspiiri). Vantaalta havaintotiedot puuttuvat v. 1986 huhtikuulta ja Muoniosta v. 1982 marraskuun ja v. 1983 tammikuun väliseltä ajalta.

	ASEMA	LPNN	LEVEYS	PITUUS
1	HELSINKI	304	60°10'	24°56'
2	VANTAA	301	60°19'	24°57'
3	TURKU	1101	60°31'	22°16'
4	JOKIOINEN	1201	60°49'	23°30'
5	UTTI	1501	60°54'	26°56'
6	PORI	1001	61°27'	21°47'
7	JYVÄSKYLÄ	2401	62°24'	25°40'
8	JOENSUU	3801	62°39'	29°36'
9	KUOPIO	3601	63° 1'	27°48'
10	KAUHAVA	3201	63° 6'	23° 2'
11	KAJAANI	4601	64°16'	27°40'
12	OULU	5401	64°56'	25°22'
13	KUUSAMO	6801	65°59'	29°13'
14	SODANKYLÄ	7501	67°22'	26°37'
15	MUONIO	8201	67°58'	23°40'
16	IVALO	9601	68°36'	27°25'

alhaisemmissa lämpötiloilla kuin lämpimämmässä ilmastossa. Kuolleisuudessa on nähtävissä selkeä vuodenaikainen vaihtelu siten, että kuolleisuus on meillä keskimäärin korkeampi talvipuolella vuotta kuin kesäaikana. Talvikauden suurempaa kuolleisuutta selitetään myös hengitystieinfektioilla ja niiden aiheuttamalla sydämen lisärasituksella. Suomen nykyisessä ilmastossa korkeitten lämpötilojen arvioidaan aiheuttavan vuosittain 100 - 200 ja kylmyyden 2000 - 3000 ylimääräistä kuolemantapausta (Näyhä, 2005).

Vaikka koko maapallon mitassa Suomen ilmasto on viileä, helle vaikuttaa ihmisten terveydentilaan meilläkin varsinkin kuumimpina kesinä. Esimerkiksi vuoden 1972 helleaallon arvioidaan lisänneen Suomessa kuolemantapauksien määrää 840:llä ja vuoden 2003 helteiden 250:llä (Näyhä, 2007). Kuolleisuus alkaa Suomessa kasvaa selvästi, kun vuorokauden keskilämpötila ylittää $+20^{\circ}\text{C}$. Tätä voidaan siten pitää luontevana “kuuman” päivän lämpötilarajana.

Vuoden 2003 kesän helleaallon seurauksena Euroopassa kuoli 30 000 – 45000 ihmistä, ja sen jälkeen alkoi voimaperäinen kuumuudesta varoittavien järjestelmien kehittäminen. Tällä hetkellä jo lähes kaikilla Länsi- ja Etelä-Euroopan mailla onkin käytössä helteestä ja kylmyydestä varoittava palvelu (HHWS eli Heat-Health-Warning-System). Yleensä varoituksen antamista edellyttävät lämpötilarajat perustuvat kussakin maassa havaittuihin äärimmäisiin lämpötiloihin ja niiden esiintyessä todettuun kuolleisuuden kasvuun. Myös Suomessa Ilmatieteen laitos on laatinut alustavat suunnitelmat tällaisen uuden säävaroitustajärjestelmän käyttöönotosta. Hellevaroituksia ruvettaneen antamaan parin vuoden sisällä. Riskiryhmään kuuluvat mm. vanhukset, lapset, sydänvikaiset ja hengitystieoireista kärsivät.

Alustavat hellevaroitusten lämpötilarajat on määritetty yleiseurooppalaiseen säävaroitustajärjestelmän, Meteoalarmin (www.meteoalarm.fi) kolmiportaisten vaaratasojen mukaisiksi ja Suomen ilmastoon sopiviksi. Käytännössä varoituksia annettaisiin ensimmäisinä vuosina “keltaisella” ja joskus jopa “oranssilla” tasolla, mutta myös pahimman eli “punaisen” tason rajat määritellään jo nyt ilmaston lämpenemiseen varaumiseksi. Laskelmiemme tarkoituksena on antaa tietoa näiden eritasoisten varoitusrajojen ylittymisestä ilmaston lämmitessä. Käytännössä hellevaroitusten kriteerit tulevat todennäköisimmin perustumaan vuorokauden ylimpiin ja alimpiin lämpötiloihin sekä kuuman jakson pituuteen. Pelkkä päivälämpötilan kohoaminen hellelukemiin ei siis tee päivästä vaarallisen kuumaa, jos yö on ollut helpottavan viileä. Tässä alustavassa selvityksessä tarkastellaan näitä ehtoja vastaavien vuorokauden keskilämpötilojen ylittymistä: $+20^{\circ}\text{C}$ vastaa “kuumaa”, $+24^{\circ}\text{C}$ “erittäin kuumaa” ja $+28^{\circ}\text{C}$ “sietämättömän kuumaa” päivää.

Kuumien päivien lukumäärän ohella arvioidaan myös, kuinka monta peräkkäistä kuumaa päivää esiintyy kesän pisimmän hellejakson aikana. Tämä tieto on hyödyksi esimerkiksi terveyspalveluita mitoittaessa.

Kesällä eri puolella Suomea esiintyvät korkeimmat lämpötilat eivät poikkea toisistaan kovin paljoa, joten päivän kuumuudelle voidaan käyttää samoja kynnyslämpötiloja koko maassa. Sen sijaan talvisin lämpötilaerot ovat suuret, ja etelän asukkaiden näkökulmasta

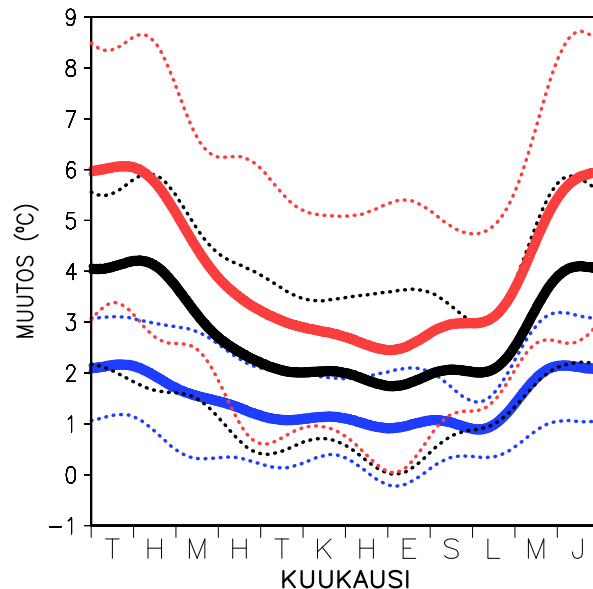
hyytävä kylmyys ei ole Lapissa vielä pakkasen eikä mikään. Sen tähden kovan pakkasen määritelmä on maan eri osissa erilainen. Eteläisimmässä Suomessa, johon sijoittuvat taulukon 1 asemat 1-5, kylmiksi luokitellaan sellaiset päivät joitten keskilämpötila on ollut kylmempi kuin -15°C . Etelä-Suomen pohjoisosassa ja Keski-Suomessa (asemat 6-10) kireän pakkasen raja on -20°C , kun taas Oulun ja Lapin lääneissä (asemat 11-16) vaaditaan 25 pakkasasteen ylitys. Näitä alueellisesti vaihtelevia kireän pakkasen rajoja käytetään myös Ilmatieteen laitoksen sääpalvelussa.

2 LASKENTAMENETELMÄ

1. Perusjakson (vuodet 1971-2000) ajalta laskettiin kuumat ja kylmät päivät kullakin asemalla suoraan havaittujen vuorokauden keskilämpötilojen perusteella.
2. Kuumien ja kylmien päivien esiintymistä tulevaisuudessa arvioitiin lisäämällä havaittuihin lämpötiloihin 19 maailmanlaajuisen ilmastomallin tulosten perusteella laskettu keskilämpötilan muutos (ns. delta-menetelmän eräs sovellutus). Lämpötilanmuutosta laskettaessa otettiin huomioon sekä kasvihuonekaasujen pitoisuuksien tulevasta kehitymisestä että ilmastomallien tulosten erilaisuudesta johtuva epävarmuus. Tällä tavoin saatiin laskettua kuukausikeskilämpötilojen muutokset epävarmuushaarukoineen kolmelle 30-vuotisjaksolle (2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099). Menetelmästä, kasvihuonekaasuskenaarioista ja käytetyistä ilmastomuutosmalleista on kerrottu tarkemmin Jylhän ym. (2009) raportissa. Lämpötilan nousulle on esitetty kolme arviota: mallien perusteella saatu todennäköisin arvio (ns. keski-kenaario) sekä erikseen ala- ja yläarvio.

Lämpötilan muutokset interpoloitiin Suomen ja lähialueet kattavaan 0.5×0.5 asteen hilaan. Kullekin asemalle (taulukko 1) käytettiin lämpötilan nousuna asemaa lähimmän hilapisteen arvoa.

3. Mallien ennustamista kuukausikeskilämpötilan muutoksista laskettiin Fourier-sarjakehitelmän avulla (Ruosteenoja ym., 2009) päivittäiset klimatologiset lämpötilan muutokset kullakin asemalla (kuvassa 1 on annettu esimerkkinä Jyväskylälle lasketut muutokset). Näin saatu lämpötilan muutos lisättiin havaittuihin päivittäisiin lämpötiloihin. Käytännössä kuvitteelliset päivittäiset lämpötilat vuodelle 2010 muodostettiin lisäämällä jaksolle 2010-2039 ennustettu lämpötilan nousu (kuva 1, sininen käyrä) vuoden 1971 päivittäisiin keskilämpötiloihin. Vastaavasti v. 2011 on sääsuhteiltaan vuosi 1972 lämmitettynä, jne., ja vuonna 2039 eletään ikään kuin vuotta 2000 samaisella lämpötilan nousulla höyrytettyinä. Vuonna 2040 palataan taas takaisin vuoteen 1971, mutta nyt käytetään jaksolle 2040-2069 laskettua lämpötilan



Kuva 1. Mallitietoihin perustuva keskilämpötilan muutos Jyväskylässä kunakin vuoden päivänä. Siniset käyrät esittävät lämpötilan muutosta jaksolle 2010-2039, mustat jaksolle 2040-2069 ja punaiset jaksolle 2070-2099. Vertailukohtana kaikissa on jakso 1971-2000. Paksu yhtenäinen käyrä kuvaa mallitiedoista johdettua lämpenemisen keskiskenaariota, ohuet pisteviivakäyrät ääriskenaarioita — kutakin alakäyrää pienemmän tai yläkäyrää suuremman muutoksen käytetyllä menetelmällä arvioitu todennäköisyys on 5%. Yläarvion toteutuessa lämpötila siis nousee sadassa vuodessa (1971-2000 → 2070-2099) talvella lähes 9 astetta, toisaalta ala-arvion mukaan lämpötila ei heinä-elokuun taitteessa kohoaisi juuri lainkaan. Lämpötilan nousu vaihtelee siis varsin varsin paljon kasvihuonekaasuskenaariosta ja ilmastomallista toiseen.

nousua (musta käyrä). Vuodesta 2070 eteenpäin päivittäisiä lämpötiloja vastaavasti kohotetaan jakson 2070-2099 lukemilla (punainen käyrä).

Näin saadut päiväkohtaiset keskilämpötilat eivät tietystikään osaa ennustaa juuri kyseiselle tulevalle päivälle oikeasti sattuvaa säätä. Sen sijaan näitten tietojen avulla voidaan arvioida tulevaa ilmastoa, esimerkiksi kuumien ja kylmien päivien esiintymistä, kun tarkastellaan lämpötilojen **pitkäaikaisia** tilastollisia ominaisuuksia. Tämä luonnollisesti perustuu siihen olettamukseen, että lämpötilat vain nousevat, ilman että niitten muut tilastolliset ominaisuudet muuttuvat. Tämä oletamus ei toki voi täsmälleen pitää paikkaansa (kappale 3).

4. Kuvitteellisista tulevista päivittäisistä lämpötiloista arvioitiin kuumien ja kylmien päivien esiintymistä jaksojen 2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099 aikana, samalla tavoin kuin todellisista jakson 1971-2000 havaintotiedoistakin. Lämpenemiselle käytettiin vaihtoehtoisesti joko keskiskenaariota, ala-arviota tai yläarviota (kuva 1).

3 VAROITUKSEN SANOJA

- Lämpötilan nousulle annettu todennäköisyysjakauma (kuva 1) on tulkittava pikemmin suuntaa-antavaksi kuin täsmälliseksi. Se perustuu kahteen melko rohkeaan olettamukseen:
 - Tulevat kasvihuonekaasujen päästöt noudattavat joko B1-, A1B- tai A2-skenaariota, ja kaikki kolme skenaariota on oletettu yhtä todennäköisiksi.
 - Työn pohjana käytetyt 19 ilmastomallia osaisivat keskimäärin kuvata ilmaston muutosta harhattomasti, ja malleja voitaisiin pitää ominaisuuksiltaan niin erilaisina, että niitten antamia tuloksia vertailemalla saadaan pääteltyä malleihin liittyvä epävarmuus.

Toisaalta pienten päästöjen B1- ja suurten päästöjen A2-skenaario ovat kyllä varsin ääreviä. Tuntuu hyvin uskottavalta, että kasvihuonekaasujen tulevat päästöt osuvat jonnekin näitten äärivaihtoehtojen välimaastoon. Lisäksi lämpenemisen ääriskenaarioita kuvaavat 5% ja 95% pisteet ovat kaukana jakauman reunoilla. Ei siis näyttäisi kovin todennäköiseltä, että tuleva lämpötilan nousu olisi ainakaan paljoa esitetyn ala-arvion alapuolella tai yläarvion yläpuolella.

- Delta-menetelmä olettaa, että tulevien 30-vuotisjaksojen kesät muutoin vastaavat oloiltaan perusjakson kesiä, paitsi että lämpötiloja on kohotettu. Todellisuudessa keskimääräisten lämpötilojen ohella myös lämpötilan vaihtelevaisuus — vuodesta ja päivästä toiseen — voi muuttua. Etenkin talvisin lämpötilojen vaihtelut luultavasti heikentyvät, jolloin kovat pakkaset vähenevät enemmän kuin mitä tässä käytetyn laskentamenetelmän perusteella voisi olettaa. Myös keskilämpötilojen tilastollisen jakauman muoto voi muuttua.
- Säätilojen tilastollista jakaumaa arvioitaessa 30 vuoden tarkastelujakso on aika lyhyt. Varsinkin Pohjois-Suomessa suuri osa kaikkein kuumimmista päivistä koettiin vuonna 1972. Mikäli tällaista hellekesää ei perusjakson 1971-2000 aikana olisi sattunut — tai jos vastaavanlaisia kesiä olisikin ollut useampia — kuumien päivien tilasto näyttäisi aika toisenlaiselta. Vastaavasti v. 1987 alkuun sattui Etelä-Suomessa harvinainen pitkä ja ankara pakkasjakso. Delta-menetelmää käytettäessä perusjakson tilastolliset ominaisuudet vaikuttavat myös tulevaisuutta koskeviin arvioihin.

Tilastollista merkitsevyyttä voitaisiin parantaa tarkastelemalla 30 vuoden asemesta pidempää jaksoa. Tällöin kuitenkin ilmasto ehtisi muuttua jakson sisällä huomattavasti, mikä vaikeuttaisi tulosten tulkintaa.

KIRJALLISUUSVIITTEITÄ

- Jylhä, K., ym., 2009: Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten — ACCLIM I -hankkeen tuloksia. Valmisteilla oleva raportti.
- Näyhä, S., 2005: Environmental temperature and mortality. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**, 451-458.
- Näyhä, S. 2007: Heat mortality in Finland in the 2000s. *Int. J. Circumpolar Health*, **66**, 418-424.
- Ruosteenoja, K., J. Räisänen ja P. Pirinen, 2009: Projected changes in thermal seasons and the growing season in Finland. (Tarkastettavana oleva artikkelikäsikirjoitus)