

MALTILLISEN KYNTTILÄNPOLTTON VÄLITTÖMÄT VAIKUTUKSET OMAKOTITALON SISÄILMAN JA TOIMISTOTALON TYÖHUONEEN HIUKKASPITOISUUKSIIN

Kari Pasanen, Pekka Taimisto ja Raimo O. Salonen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Terveysturvallisuusosasto,
Ympäristöterveysyksikkö

TIIVISTELMÄ

Kohtuullisen kynttilämäärän poltto tuotti koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon omakotitalossa erikokoisten huoneiden sisäilmaan vilkasliikenteisen liikenneväylän ruuhkaa vastaavia pienhiukkasten ($PM_{2.5}$) ja mustan hiilen (BC) pitoisuuksia, ja jopa tätä suurempia ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuuksia (PNC). Liekin sammutuksen ja lepatuksen aikana hiukkaskoko suureni nopeasti, mikä näkyi PNC-pitoisuuden laskuna samanaikaisen $PM_{2.5}$ -pitoisuuden nousun kanssa. Yhteensä 58 – 350 min kestäneiden kynttilöiden polttoajan ja sammutuksen jälkeisen savun poistumisen aikana mitattuja $PM_{2.5}$ -, BC- ja PNC-keskipitoisuuksia hallitsi hiukkasten hidas, tyypillisesti 2-3 tuntia kestänyt poistuminen tutkituista huoneista. Tehostetun ilmanvaihdon toimistohuoneessa kynttilänpoltto kohotti hiukkaspitoisuuksia selvästi vähemmän.

JOHDANTO

Viime vuosina on kiinnitetty lisääntyvästi huomiota siihen, että pimeänä vuodenaikana yleinen kynttilänpoltto voi olla merkittävä sisäilman laatua pilaava polttoperäisten hiukkasten lähde. Ultrapienien hiukkasten suuren pitoisuusnousun /1, 2/ lisäksi on raportoitu varsin huomattavia pienhiukkasten ($PM_{2.5}$ – halkaisija alle 2,5 μm) /1/ ja PAH-yhdisteiden /3/ pitoisuusnousuja huoneilmassa. Kuopiossa kaukolämpöalueella lämmityskaudella tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kynttilänpoltton kohottavan vuorokausitasollakin omakotitalojen asuintilojen sisäilman $PM_{2.5}$ -keskipitoisuutta hieman enemmän kuin asukkaiden harjoittama toissijainen puulämmitys /4/.

On todennäköistä, että kynttilöiden koostumus ja laatu, samanaikaisesti poltettujen kynttilöiden määrä, huoneen tai asunnon tilavuus ja ilmanvaihdon tehokkuus vaikuttavat merkittävästi sisäilmaan muodostuvien, terveydelle haitallisten hiukkasten pitoisuuksiin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää suomalaisessa kodissa tavanomaisen, varsin maltillisen kynttilämäärän polton vaikutuksia hiukkaspitoisuuksiin, jotka syntyvät koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetun omakotitalon erikokoisiin huoneisiin. Ilmanvaihdon tehon vaikutusta $PM_{2.5}$ -, musta hiili (BC)- ja ultrapienien hiukkasten (PNC) pitoisuuksiin arvioitiin tekemällä kynttilänpolttokokeita myös toimistorakennuksen työhuoneessa, jonka täysin koneellistettu ilmanvaihto oli viranomaismääräysten mukaisesti paljon tehokkaampi huoneen tilavuusyksikköä kohti laskettuna kuin tutkitussa, Suomessa tyypillisessä 1990-luvun omakotitalossa. Kaikissa polttokokeissa kiinnitettiin erityistä huomiota polton eri vaiheisiin ja siihen aikaan, joka kului kynttilöiden sammutuksesta huoneilman laadun parantumiseen lähelle lähtötasoa.

MENETELMÄT

Tutkimusasetelmat

Polttokokeet toteutettiin vuonna 1990 valmistuneen omakotitalon kolmessa eri kokoisessa (pinta-ala 14–50 m², tilavuus 43–125 m³) huoneessa sekä vuonna 1990 valmistuneen toimistorakennuksen työhuoneessa (10 m²) talvikaudella 2018-2019. Kynttilöiden määrä ja sijainti mittauspisteeseen nähden vaihteli hieman eri tilanteissa. Olohuone/keittiö tilan mittauksessa oli eniten keskikokoisia kynttilöitä ja mittausetäisyys oli noin 2 m. Makuuhuoneessa ja ullakkohuoneessa taas oli pääosin pieniä tuikkukynttilöitä ja mittausetäisyys vajaa 1 metri kynttilöistä.

Omakotitalon 5-portainen tulo-poistoilmanvaihto oli olohuoneen ja makuuhuoneen mittauksissa asennossa 2 ja ullakkohuoneessa yhden tunnin ajan alusta asennossa 2 ja loppuajan asennossa 1. Olohuoneessa kaksi tuloilmaventtiiliä sijaitsivat huoneen takanurkkien lähellä, kynttilät huoneen keskivaiheella ja mittauspiste olohuoneen etuosassa lähellä keittiötilaa, missä oli poistoilmaventtiili. Makuuhuoneessa ja ullakkohuoneessa oli yksi tuloilmaventtiili ja niistä poistettava sisäilma kulkeutui ilmanvaihtokoneelle läheisten huoneiden poistoilmaventtiilien kautta.

Toimistohuoneessa tulo- ja poistoilmaventtiilit sijaitsivat huoneen oven yläpuolella ja tilassa oli normaali arkipäivän tehokas ilmanvaihto. Kynttilät olivat huoneen keskivaiheilla ja mittauspiste huoneen toisessa päädyssä noin 1,5 m etäisyydellä kynttilöistä.

Hiukkasten mittausmenetelmät ja tulosten laskeminen

Tutkimuksessa käytettiin PM_{2.5}-pitoisuuksien mittaamiseen TSI Dusttrak DRX 8533-hiukkasmonitoreita (TSI Inc., Shoreview, Maine, Yhdysvallat). BC-pitoisuutta mitattiin AE51-mikroetalometrillä (Aethlabs, San Francisco, Kalifornia, Yhdysvallat) ja PNC-pitoisuutta Oxility Nanotracer XP-hiukkaslaskureilla (Oxility BV, Best, Alankomaat).

Mitatut BC- ja PM_{2.5}-pitoisuudet korjattiin vertailumittalaitteen avulla yleiselle viranomaismittauksissa käytetylle tasolle. PNC -pitoisuuksiin ei sovellettu korjauskertoimia. Polton eri vaiheiden keskipitoisuudet laskettiin jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittausvälin tarkkuudella saaduista luvuista (10-60 sekuntia), mutta tulosten graafista esittämistä varten laskettiin 5 minuutin keskiarvopitoisuudet.

TULOKSET

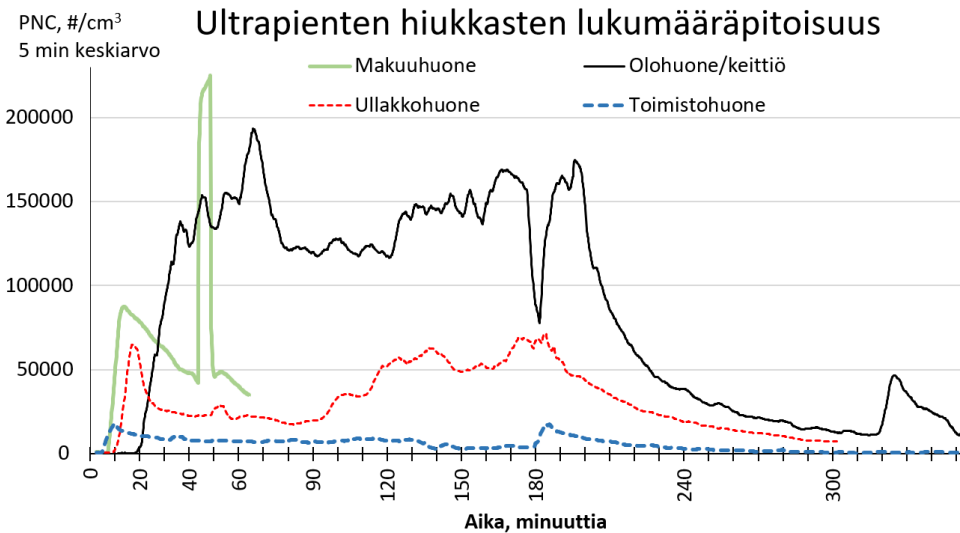
Polttokokeiden eri vaiheiden keskimääräiset PM_{2.5}-, BC- ja PNC-mittaustulokset on esitetty Taulukossa 1. PNC-pitoisuudet olivat yleisesti ottaen hyvin korkeita lukuun ottamatta tehokkaamman ilmanvaihdon toimistohuonetta (Taulukko 1 ja Kuva 1). Myös BC- ja PM_{2.5}-pitoisuudet olivat korkeita verrattuna lähtötilanteeseen ja tavanomaisiin sisäilmasta mitattuihin pitoisuuksiin ilman sisällä olevaa polttolähdettä.

Taulukko 1. Kynttilänpolton vaikutus pienhiukkasten ($PM_{2,5}$) ja mustahiilen (BC) massapitoisuuksiin ja ultrapientien hiukkasten lukumääräpitoisuuteen (PNC) polton eri vaiheissa. Polttokokeiden hiukkasmittaukset toteutettiin samalla tavalla omakotitalon eri huoneissa ja yhdessä toimistotalon työhuoneessa.

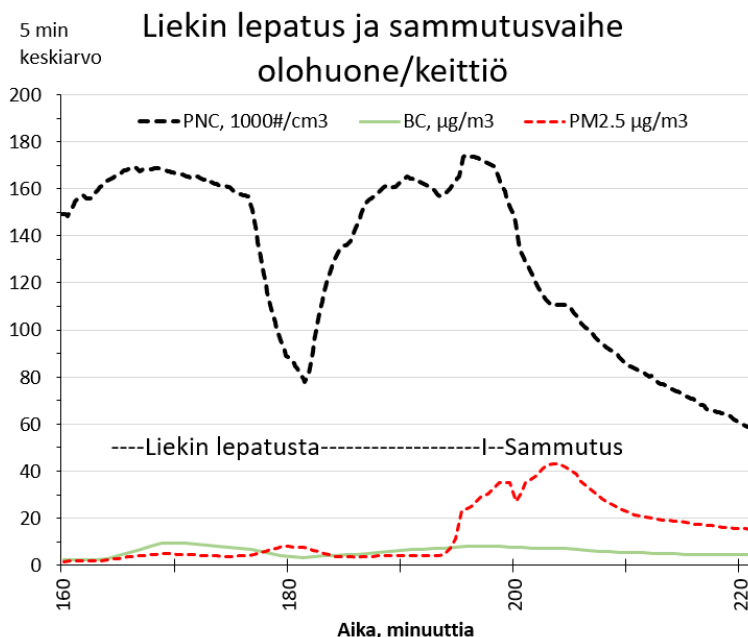
Huone, jossa polttokoe tehtiin	$PM_{2,5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	BC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PNC [$\#/ \text{cm}^3$]
1) Makuuhuone: 14 m ² , 43 m ³ 2 keskikokoista kynttilää + 5 pientä tuikkua sytytys kaasusytyttimellä, sammutus puhaltamalla, IV tasolla 2			
Lähtötaso	1,7	0	800
Sytytys, 0-5 min	5,5	3,2	50900
Palaminen, 0-35 min	6,9	3,1	63200
Sammutus, 23 min	106,1	2,4	85300
Huippupitoisuus, 5 min	183,4	3,6	225000
Koko mittausjakso, 58 min	46,6	2,8	71300
2) Olohuone/keittiö: 50 m ² , 125 m ³ 6 keskikokoista kynttilää 2 pisteessä sytytys tulitikulla, sammutus puhaltamalla, IV tasolla 2			
Lähtötaso	1,4	0	600
Sytytys, 0-15 min	5,9	1,4	62800
Palaminen, 0-182 min	3,5	2,2	140300
Sammutus alku, 20 min	27,6	7,0	118000
Sammutus loppu, 157 min	6,1	2,2	27300
Huippupitoisuus, 5 min	43,1	9,5	193200
Koko mittausjakso, 350 min	6,2	2,5	88100
3) Ullakkohuone: 26 m ² , 50 m ³ 1 keskikokoinen kynttilä, 6 pientä tuikkua, sytytys sähkösytyttimellä sammutus puhaltamalla, IV tasolla 1			
Lähtötaso	1,9		600
Sytytys, 0-5 min	2,1		5800
Palaminen, 0-197 min	2,0		37600
Sammutus alku, 20 min	36,6		56100
Sammutus loppu, 105 min	19,2		19000
Huippupitoisuus, 5 min	54,8		71600
Koko mittausjakso, 300 min	10,3		32400
4) Toimistohuone: 10 m ² , 30 m ³ , 2 keskikokoista kynttilää sytytys tulitikulla, sammutus puhaltamalla			
Lähtötaso	1,8	0	900
Sytytys, 0-15 min	15,0	0	12400
Palaminen, 0-180 min	4,6	0,8	7400
Sammutus alku, 20 min	25,5	2,0	12500
Sammutus loppu, 150 min	5,4	1,3	2600
Huippupitoisuus, 5 min	34,6	2,3	18100
Koko mittausjakso, 355 min	6,2	0,8	5600

PM_{2.5}-pitoisuus oli omakotitalon kaikissa huoneissa suurimmillaan sammutusvaiheessa, mutta myös huoneessa liikkumisen aiheuttama kynttiläliekin lepatus kohotti pitoisuutta (Taulukko 1 ja Kuva 2). Tulitikun sytytys (ja sammutus) nosti usein PM_{2.5}-pitoisuutta vähintään 5 minuutin ajaksi. PNC -pitoisuudet olivat yleensä korkeimmillaan heti sammutuksen jälkeen, mutta olohuoneen polttokokeessa PNC -pitoisuus oli korkea koko polton ajan. Sammutuksen ja lepattavan liekin aikana hiukkaskoko suureni nopeasti, mikä näkyi PNC-pitoisuuden laskuna samanaikaisen PM_{2.5}-pitoisuuden nousun kanssa. Omakotitalossa yhteensä 58 – 350 min kestäneiden kynttilöiden polton ja sammutuksen jälkeen mitattuja PM_{2.5}-, BC- ja PNC-keskipitoisuuksia hallitsi hiukkasten hidas, tyypillisesti 2-3 tuntia kestänyt poistuminen tutkituista huoneista (Taulukko 1, Kuvat 1 ja 2).

Toimistohuoneesta mitattuja PM_{2.5}-pitoisuuksia verrattiin yhteen vuonna 2017 tehtyyn noin tunnin mittaiseen polttokokeeseen (sytytys tulitikulla, sammutus puhaltamalla), jossa käytettiin yhtä melko suurikokoista kynttilää. Tuolloin samalla korjauskertoimella laskettu PM_{2.5}-pitoisuus oli sytytysvaiheessa (5 min) 22 µg/m³ ja sammutusvaiheessa (20 min) 16 µg/m³ sekä rauhallisen palamisen vaiheessa välillä 11-14 µg/m³. Koko polttokokeen keskimääräinen pitoisuus oli 14 µg/m³. Toimistorakennuksen koneellisen ilmanvaihdon toimintaa on parannettu tämän mittauksen jälkeen, mikä voi osaltaan selittää nyt mitatut yleisesti ottaen pienemmät PM_{2.5}-pitoisuudet (Taulukko 1).



Kuva 1. Ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuuksien (PNC) vaihtelut Taulukossa 1 kuvatuissa kynttilöiden polttokokeissa.



Kuva 2. Pienhiukkasten ja mustahiilen massapitoisuuden sekä ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuuden vaihtelut olohuoneen polttokokeen vaiheessa, jossa liekit lepattivat huoneessa liikkumisen vuoksi.

PÄÄTELMÄT

Runsas kynttilänpolto kohotti sytytys- ja sammutustavasta riippumatta omakotitalon kaikissa huoneissa erityisesti ultrapienien hiukkasten lukumääräpitoisuuden useiden tuntien ajaksi vähintään vilkkaan liikenneympäristön pitoisuuksien tasolle. Myös pienhiukkasten ja mustan hiilen massapitoisuudet nousivat kymmenien minuuttien tai yli tunnin ajaksi tavanomaisia liikenneympäristöjä korkeammalle tasolle etenkin, jos kynttilät sammutettiin puhaltamalla tai kynttilä savutti huonon laadun tai lähellä liikkumisen aiheuttaman ilmapirtauksen vuoksi. Tässä tutkimuksessa mitatut PNC- ja PM_{2.5}-pitoisuustasot olivat samaa suuruusluokkaa vastaavissa ulkomaisissa tutkimuksissa mitattujen pitoisuuksien kanssa /1,2/.

Tutkimuskohteena olleessa omakotitalossa oli koneellistettu tulo- ja poistoilmanvaihto, joka varmasti hillitsi polttoperäisten hiukkasten pitoisuuden kohoamista vieläkin suuremmiksi kuin mitä tutkimuksessa mitattiin. Pienissä vanhoissa kerrostaloasunnoissa, joissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, kynttilänpolton vaikutus sisäilman laatuun on todennäköisesti suurimmillaan. Kroonisista hengitys- ja sydänsairauksista kärsivien ja bakteerien aiheuttamia hengitystieinfektioita usein sairastavien on hyvä tietää, että usein toistuva kynttilöiden polton hiukkasille altistuminen asunnon sisätiloissa voi olla haitaksi heidän terveydelleen.

Terveysriskien arvioinnin kannalta olisi jatkossa tarpeen tehdä otospohjainen kysely kotitalouksien ja ravintoloiden kynttilänpolton yleisyydestä, polttotavoista ja ihmisten itsensä mahdollisesti havaitsemista näihin tilanteisiin liittyvistä oireista. Lisää tutkimuksia tarvittaisiin erityisesti vanhoissa, pienissä kerrostaloasunnoissa ja ravintoloissa toteutetun kynttilänpolton vaikutuksista polttoperäisten pienhiukkasten

pitoisuuksiin (PNC, BC, PAH-yhdisteet). Kynttilöiden poltto liittyy usein ihmisten sosiaalisiin kohtaamisiin, yhteisiin ruokailuihin ja kahvituksiin jne., jolloin istutaan niiden äärellä. Tämä maksimoi henkilökohtaisen altistumisen erityisesti polttoperäisille ultrapienille hiukkasille. Jo lyhyt aika voi vastata useiden tuntien oleskelua ulkona vilkasliikenteisen liikenneväylän äärellä. Vaihtoehtoisesti voisi sisällä käyttää ledikynttilöitä ja polttaa keskikokoisia ja isoja, helposti savuttavia kynttilöitä metallilyhdyssä kodin parvekkeella ja nauttia niiden antamasta valosta ikkunan läpi katsoen.

LÄHDELUETTELO

1. Pagels, J., Wierzbicka, A., Nilsson, E., Isaxon, C., Dahl, A., Gudmundsson, A., Swietlicki, E., Bohgard, M. (2009) Chemical composition and mass emission factors of candle smoke particles. *Journal of Aerosol Science* Vol. 40, 193–208.
2. Bekö, G., Weschler, C.J., Wierzbicka, A., Karotki, D.G., Toftum, J., Loft, S., Clausen, G. (2013) Ultrafine particles: exposure and source apportionment in 56 Danish homes. *Environmental Science & Technology* Vol. 47, 10240–10248.
3. Derudi, M., Gelosa, S., Sliepecevic, A., Cattaneo, A., Cavallo, D., Rota, R., Nano, G. (2014) Emission of air pollutants from burning candles with different composition in indoor environments. *Environmental Science and Pollution Research* Vol. 21, 4320–4330.
4. Siponen, T., Yli-Tuomi T., Tiittanen P., Taimisto P., Pekkanen J., Salonen R.O., Lanki T. (2019) Effects of wood stove use and other determinants of particulate air pollution and outdoor ozone on personal and indoor exposures among elderly persons in a northern suburb. *Indoor Air*, painossa.