

Uusi sisäympäristön laadun laskentatyökalu – esimerkkinä pienhiukkasten pitoisuuksien mallintaminen

Niko Siilin, VTT (TP3)

24/08/2022 VTT – beyond the obvious

Sisältö

- Tausta ja tavoite
- Laskentatyökalun ominaisuudet
- Partikkelipitoisuuden laskentaprosessi lyhyesti
- Laskentaesimerkki: Tuloilmansuodatus
- Ajatuksia laskentatyökalun jatkokehitykseen

Tausta ja tavoite

- Sisäympäristön laatu vaikuttaa sekä terveyteen ja hyvinvointiin että työtehoon ja oppimiskykyyn
- Tarvitaan laskentamalleja sisäympäristön laadun ja erilaisten sisäympäristön laatua parantavien ratkaisujen arviointiin
 - Terveys- ja hyvinvointinäkökulmat
 - Ympäristönäkökulmat (esim. energiatehokkuus)
 - Ekonomiset näkökulmat (esim. investointien takaisinmaksuaika, operointikulut)
- Tämän työn tavoitteena on ollut kehittää laajennettavissa oleva työkalu sisäilman partikkelien sekä kaasumaisten epäpuhtauksien mallinnukseen

Laskentatyökalun ominaisuudet

Laskentatyökalun ominaisuudet (1/5)

- Työkalun mahdollistaa erilaisten sisäympäristöä parantavien ratkaisujen tehokkuuden arvioinnin ja erityyppisten ratkaisujen vertailun sekä suorituskyvyn että kustannusten näkökulmasta
- Tällä hetkellä työkalun ominaisuudet painottuvat sisäilmanlaadun arvioitiin
- Työkalu on toteutettu oliopohjaisella python-koodilla, mikä mahdollistaa
 - Erilaisten analyysien rakentamisen koodin luokkarakenteita hyödyntäen
 - Työkalun laajentamisen myöhemmässä vaiheessa
- Lähtötiedot luetaan laskentataulukosta ja analyysin tulokset kirjoitetaan laskentataulukkoon

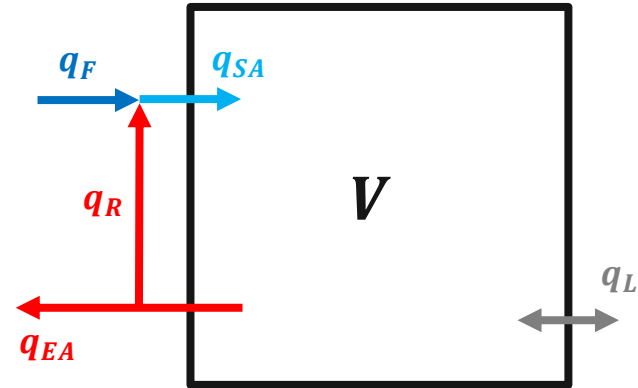
Laskentatyökalun ominaisuudet (2/5)

Laskentatyökalulle annettavat tiedot:

- Huoneen tilavuus, V
- Tuloilmavirta, q_{SA}
- Vuotoilmavirta, q_L
- Kiertoilmasuhte, R

Näiden perusteella voidaan laskea

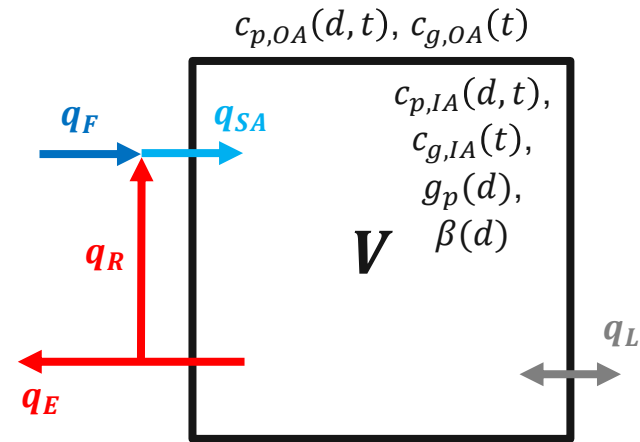
- Raitisilmavirta, q_F
- Kiertoilmavirta, q_R
- Poistoilmavirta, q_{EA}



Laskentatyökalun ominaisuudet (3/5)

Partikkeleihin ja kaasumaisiin epäpuhtauksiin liittyvä data

- Ulkoilman aikariippuva pitoisuusdata
 - partikkeleille, $c_{p,OA}(d, t)$
 - kaasumaisille epäpuhtauksille, $c_{g,OA}(t)$
- Partikkelien depositionopeus $\beta(d)$ ja partikkelien tuotto $g_p(d)$ tilassa voidaan huomioida lähdetermillä
- Sisäilman aikariippuva pitoisuusdata
 - partikkeleille, $c_{p,IA}(d, t)$
 - kaasumaisille epäpuhtauksille, $c_{g,IA}(t)$

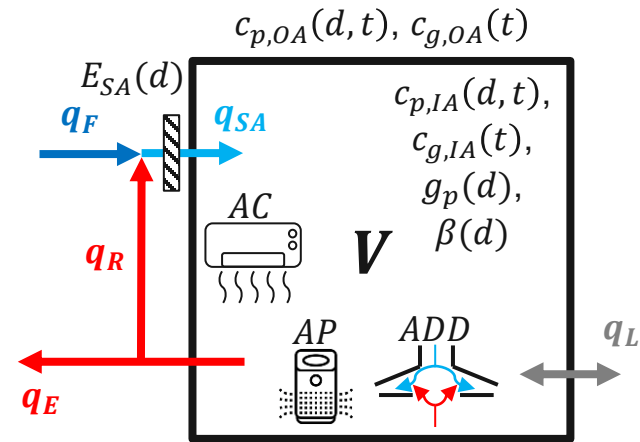


Yllä d viittaa riippuvuuteen partikkelikoosta ja t viittaa aikariippuvuuteen

Laskentatyökalun ominaisuudet (4/5)

Lisäksi laskentatyökalussa on mahdollista käyttää

- Ilmanpuhdistimia, AP
- Sisäilmaa puhdistavia ilmastointi- (AC) tai ilmanjakolaitteita (ADD)
- Suodattimia
 - Tuloilmalle, $E_{SA}(d)$
 - Puhdistimien yhteydessä



Yllä d viittaa riippuvuuteen partikkelikoosta ja t viittaa aikariippuvuuteen

Laskentatyökalun ominaisuudet (5/5)

Tulosten käsittely

- Laskennan tuloksena saadaan ajasta riippuva partikkeli- ja kaasumaisten epäpuhtauksien pitoisuudet, jotka tallennetaan laskentataulukon
- Pitoisuuksien lisäksi voidaan laskea mm. I/O-suhteet sekä partikkeleille että kaasumaisille epäpuhtauksille
- Lisäksi tulosten käsittelyä varten on kehitetty työkaluja esimerkiksi aikakeskiarvojen laskentaa ja tulosten visualisointia varten

Partikkelipitoi- suuden laskenta- prosessi lyhyesti

Laskentaprosessi partikkelipitoisuudelle

- Laskennassa sisäilman partikkelipitoisuudelle annetaan alkuarvo ja sen kehittymistä ratkaistaan käyttäen aikariippuvaa ulkoilman partikkelipitoisuutta
- Sisäilman aikariippuva partikkelipitoisuus voidaan laskea yhtälöstä

$$c_p(i+1) = c_p(i) + \Delta c_p(i), \text{ jossa}$$

$$\Delta c_p(i) = (f_{p,SA} - f_{p,EA} + f_{p,L} + g_p - f_{p,dep} - f_{p,AP}) \cdot \frac{\Delta t}{V},$$

$f_{p,SA}$ on tuloilman partikkelivuo,

$f_{p,EA}$ on poistoilman partikkelivuo,

$f_{p,L}$ on vuotoilman partikkelivuo,

g_p on partikkelilähdetermi, jolla kuvataan tilassa syntyviä partikkeleita,

$f_{p,dep}$ kuvaa partikkelien depositiota tilassa,

$f_{p,AP}$ kuvaa partikkelien poistoa ilmanpuhdistimella,

Δt on analyysin aika-askel, ja

V on huoneen tilavuus

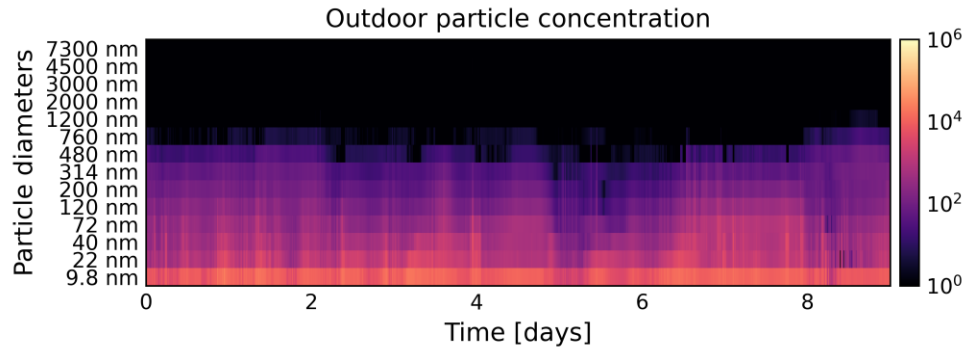
- Partikkelipitoisuusyhtälö ratkaistaan vektorimuodossa käyttäen partikkelikokojakaumaa ja sitä vastaavia suodattimien erotusasteita

Laskentaesimerkki: Tuloilmansuodatus

Laskentaesimerkki: Tuloilmansuodatus (1/3)

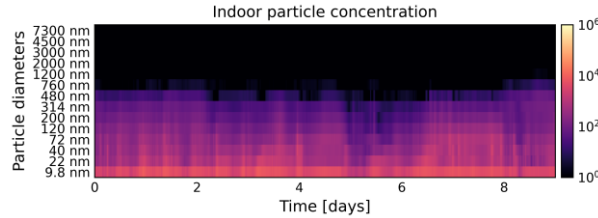
- **Tuloilmavirta:** 338.4 m³/h
- **Vuotoilmavirta:** 19.0 m³/h
- **Kiertoilmasuhde:** 0.6
- **Huoneen tilavuus:** 66.0 m³
- **Tuloilmansuodatusoptiot:** G4, F7, F8, F9, E10 & HEPA
 - Suodatin- ja partikkelikoko-kohtaiset erotusasteet luetaan laskentataulukosta
- Lähtötilanteessa sisäilman partikkelipitoisuudet oletettiin nolaksi
- Partikkelien depositionopeus annettiin erikseen jokaiselle partikkelikoolle

- Laskennan kesto määräytyi käytettävän ulkoilman partikkelipitoisuusdatan perusteella:

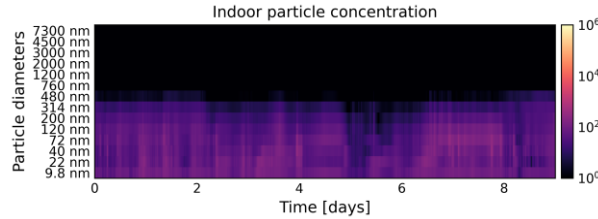


Laskentaesimerkki: Tuloilmansuodatus (2/3)

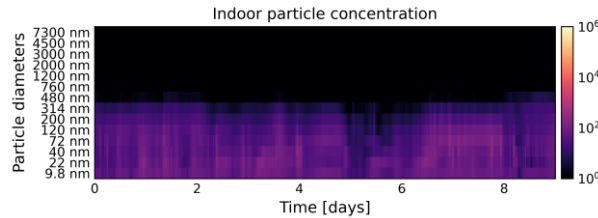
G4



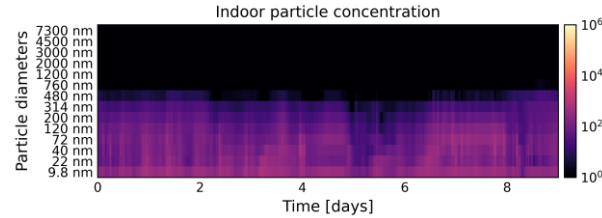
F8



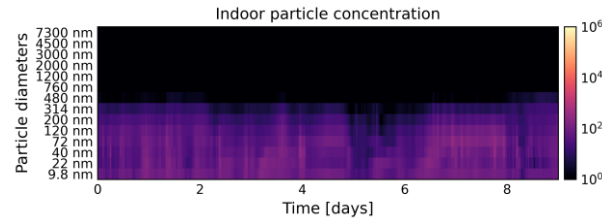
E10



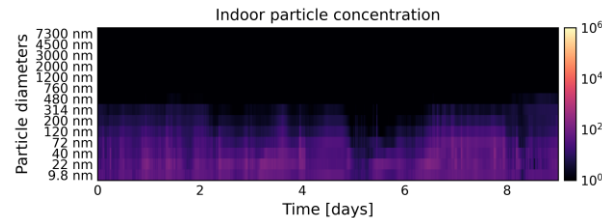
F7



F9



HEPA

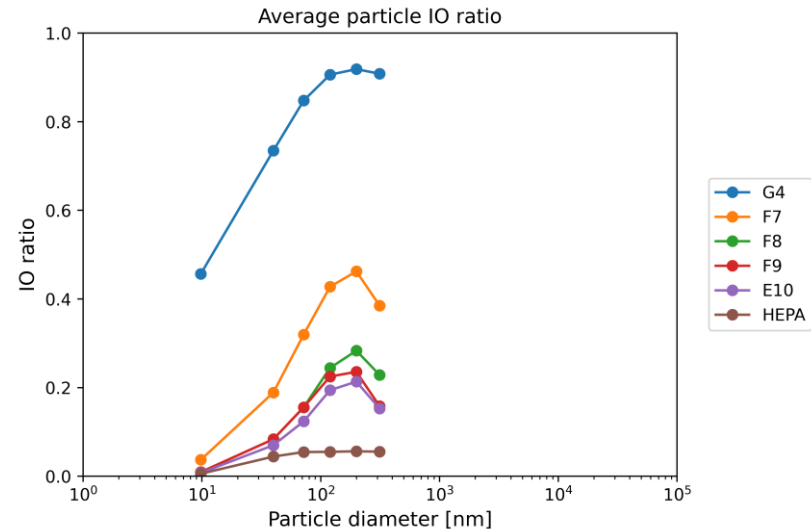


Laskentaesimerkki: Tuloilmansuodatus (3/3)

Keskimääräisten I/O-suhteiden vertailu eri tuloilmansuodatusoptioilla

Partikkelin halkaisija [nm]	I/O-suhde					
	G4	F7	F8	F9	E10	HEPA
9.8	0.456	0.037	0.009	0.009	0.007	0.005
22.0	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf
40.0	0.735	0.189	0.083	0.083	0.070	0.044
72.0	0.848	0.319	0.155	0.155	0.124	0.054
120.0	0.906	0.427	0.244	0.225	0.194	0.055
200.0	0.918	0.462	0.283	0.235	0.213	0.056
314.0	0.908	0.385	0.228	0.158	0.152	0.055
> 480.0	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf	Inf

Laskettu tyypillisillä erotusasteilla puhtaille suodattimille (Kowalski and Bahnfleth, 2014)





Ajatuksia laskentatyökalun jatkokehitykseen

Ajatuksia laskentatyökalun jatkokehitykseen

- **Tuottavuustarkastelutyökalujen jatkokehitys**
 - Partikkelien vaikutus
 - Sairaspoissaoloarvion laskenta kokonaismassapitoisuudella
 - Sairaspoissaoloarvion laskenta kokojakautta hyödyntäen
 - Kaasumaisten epäpuhtauksien vaikutus
 - Hiilidioksidi, formaldehydi, otsoni ja VOC
 - Investointi- ja operointikulujen huomioiminen tuottavuustarkasteluissa
 - Lämpöviihtyvyyssanalyysien yhdistäminen laskentatyökaluun
 - Energiatehokkuustarkastelujen lisääminen laskentatyökaluun
- **Data-analyysi- ja visualisointityökalujen kehittäminen**
- **Monihuonetilan laskentamahdollisuuksien kehittäminen epäpuhtauksien leviämisen mallintamiseksi**

bey⁰nd

the obvious

Niko Siilin
Research Scientist
niko.siilin@vtt.fi
+358 40 774 8716



@VTTFinland
@nikosiilin



www.vtt.fi