Teknillinen tiedekunta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Hyvä sisäilma ja rakennusterveys



Rakennusterveysseminaari 7.10.2026, Radisson Blu, Oulu

Rakennukset ja asukasterveys:
Melu, helle ja ulkoilman saasteet
Ulkoilman vaikutus sisäilman laatuun

2026-10-07 klo 11.00 -12.00

Otto Hänninen
FT, Dos., Tutkimusjohtaja
otto.hanninen@oulu.fi

Oulun yliopisto

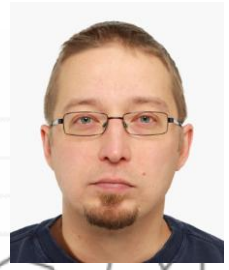
Ilmansaasteiden terveysvaikutukset

- Ulkoilman saasteet ovat tärkein ympäristöterveysriski
  - ne aiheuttavat ennenaikaista kuolleisuutta,
  - vakavia sairauksia kuten sydän- ja verenkiertoelimistön sairaudet
- Maailman laajuisesti
  - kehitysmaissa myös savupiiputon sisäpoltto on samaa suuruusluokkaa haitoiltaan
- Euroopassa ja Suomessa
  - vain tupakointi on suurempi; alkoholi on samaa suuruusluokkaa
  - sydän- ja verenkierto- ja hengityselimistön sairaudet, keuhkosyöpä, ennenaikainen kuolleisuus, ym.

$PM_{2.5}$ trendi Suomessa

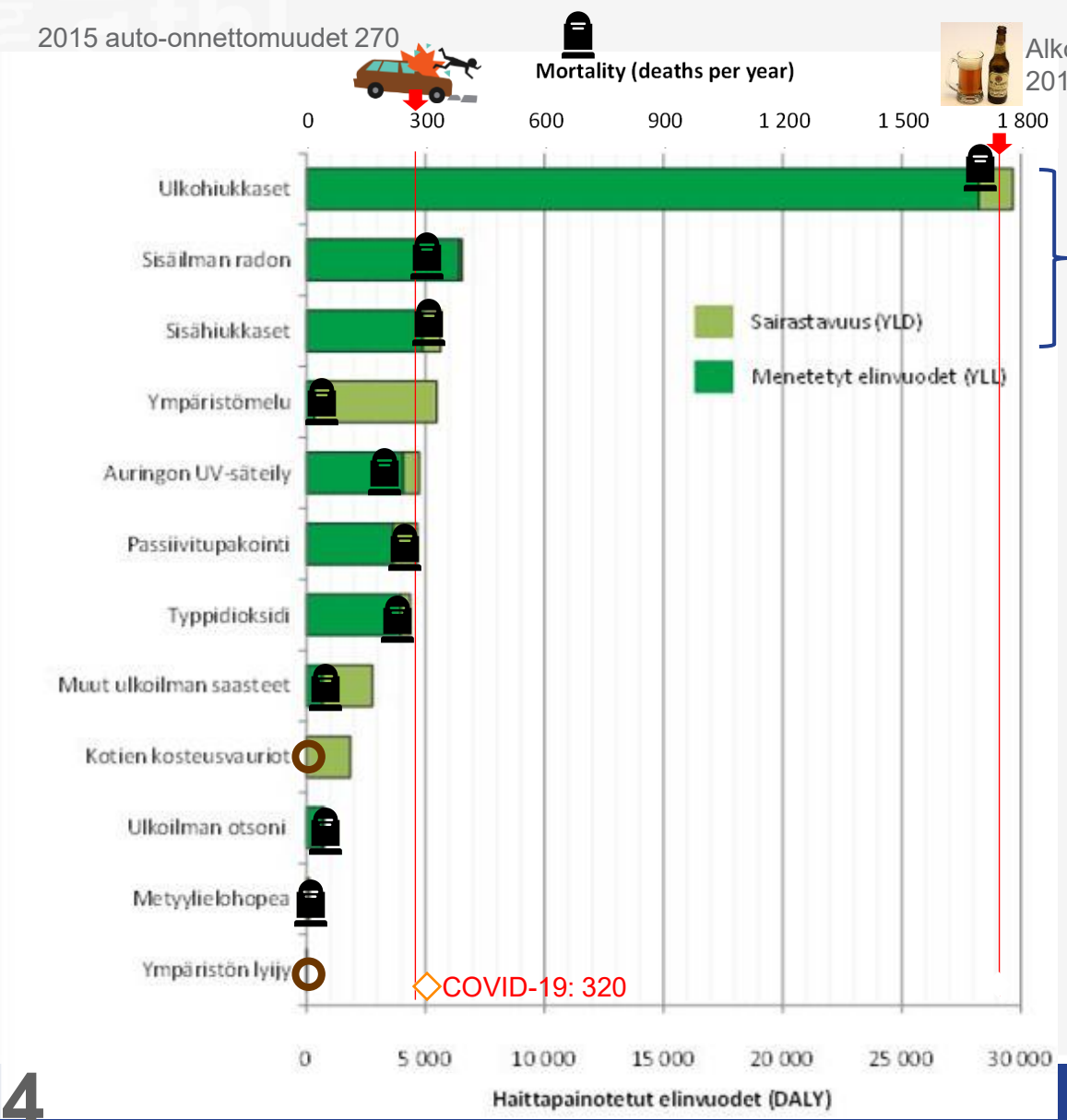
- Myönteinen kehitys 1970-luvulta lähtien: kaukolämpö
- 1990-luvulta: EURO-standardit ajoneuvoille

Antti Korhonen



Korhonen A, Rumrich IK, Roponen M, Frohn LM, Geels C, Brandt J, Tolppanen A-M, Hänninen O, 2024. Sources of PM2.5 exposure misclassification in three Finnish register-based study populations and the impact on attenuation of health effect estimates. Science of The Total Environment 954:176422. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176422

Ympäristöriskit, TOP12



Alkoholikuolleisuus
2015 oli 1700 (GBD)





Y&T 2020 nr 1

- ilmansaasteet kärjessä: TOP3 =
- ulkoilman hiukkaset, radon, sisälähteiden hiukkaset

- Yhteensä 3100 kuolemaa vuodessa,
- 53 000 menetettyä elinvuotta

- vs 270 liikenneonnettomuuksissa
  vs 1700 alkoholista
  vs 5000 tupakoinnista

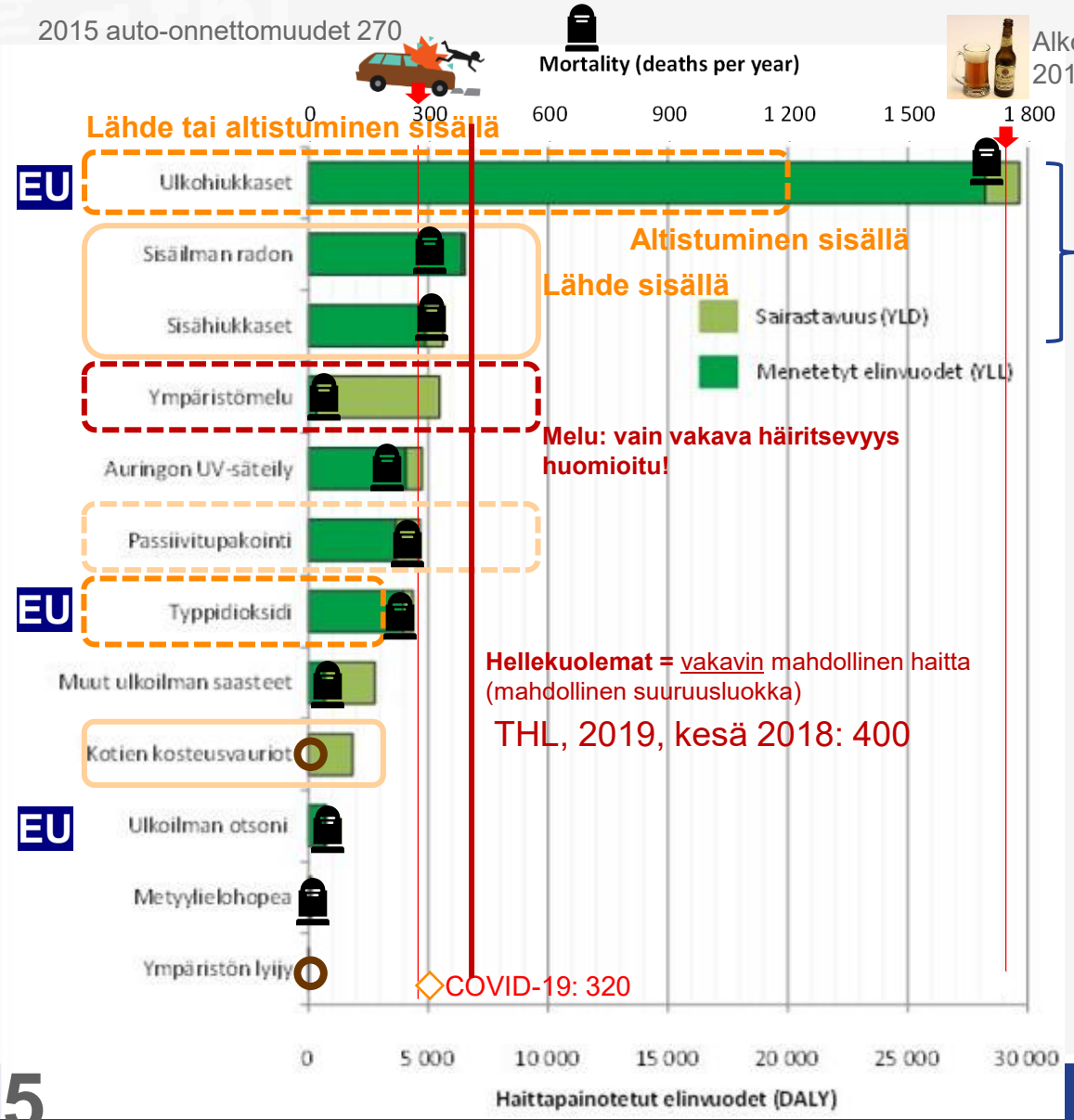
Hänninen O, Lehtomäki H, Korhonen A, **2020**. Ilmansaasteet ja kuolleisuus kärjessä, tautitaakka yli kaksinkertainen: Ympäristöaltisteiden kansanterveysvaikutukset. Ympäristö ja Terveys-lehti, 1/2020 ss. 6-13. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202002246282 (2020-02-24)

Ympäristöriskit, TOP12



Y&T 2020 nr 1

2015 auto-onnettomuudet 270



Alkoholikuolleisuus 2015 oli 1700 (GBD)

- ilmansaasteet kärjessä: TOP3 =
- ulkoilman hiukkaset, radon, sisälähteiden hiukkaset
- Yhteensä 3100 kuolemaa vuodessa,
- 53 000 menetettyä elinvuotta
- vs 270 liikenneonnettomuuksissa
  vs 1700 alkoholista
  vs 5000 tupakoinnista

Hänninen O, Lehtomäki H, Korhonen A, **2020**. Ilmansaasteet ja kuolleisuus kärjessä, tautitaakka yli kaksinkertainen: Ympäristöaltisteiden kansanterveysvaikutukset. Ympäristö ja Terveys-lehti, 1/2020 ss. 6-13. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202002246282 (2020-02-24)

Rakennuksen sisäilma

- Sisäilma on ulkoilmaa joka tuodaan/tulee rakennukseen ilmavuotojen ja ilmanvaihtojärjestelmän kautta
- Ilmanvaihtojärjestelmän suodattimet poistavat vaihtelevan osan hiukkasista mutta parhaatkaan suodattimet eivät auta ilmavuotojen osalta
- Rakennusten ilmatiiveyden parantuessa vuotojen merkitys on vähentynyt ja jatkaa vähentymistään
- Katsotaanpa näitä pointteja hiukan tarkemmin…

Epäpuhtauksien infiltraatio ulkoa sisälle

- Eniten on tutkittu pienhiukkasten ($PM_{2.5}$) kulkeutumista ulkoa sisäilmaan
- mutta myös PM_{10}, NO_2, ja O_3

- infiltraatiot suhtautuvat karkeasti

$NO_2 \approx PM_{2.5}$

$PM_{10} < PM_{2.5}$

$O_3 << PM_{2.5}$

Hänninen O, Goodman P, 2019. **Outdoor air as a source of indoor pollution**. Chapter 2 in Harrison RM, Hester RE (Eds.) Indoor Air Pollution. Issues in Environmental Science & Technology, Volume 48, pp. 35-65. Royal Society of Chemistry. ISBN 978-1-78801-514-1.

Table 3 Examples of infiltration studies for the most common outdoor air pollutants.

Study	Pollutant	Region(s)	*Finf* (or other respective parameters)	
Kousa *et al.*, 2001[17]	NO_2	3 cities	74% [ln(transformed slope)]	NO2
Wichmann *et al.*, 2010[18]	NO_2	Stockholm, Sweden	66%	
Meier *et al.*, 2015[19]	NO_2	Switzerland	55% (i/o median)	
Demirel *et al.*, 2014[20]	O_3	2 schools, Turkey	25–50%	O3
Grivas *et al.*, 2017[21]	O_3	Greece	13–15%	
Uchiyama *et al.*, 2015[22]	O_3	602 houses, Japan	5% in winter, 33% in summer	
Hänninen *et al.*, 2004[23]	$PM_{2.5}$	4 cities	0.59–0.70	PM
Allen *et al.*, 2007[26]	$PM_{2.5}$	108 residences, Seattle, USA	Recursive model; comparison against sulfur; *Finf* = 0.75	
Meng *et al.*, 2007[27]	$PM_{2.5}$	RIOPA study, USA	By particle type (mechanical 0.04, combustion 0.51, secondary 0.78)	
Hystad *et al.*, 2008[30]	$PM_{2.5}$	122 residences, by type	Medians 0.59–0.70	
MacNeill *et al.*, 2012[29]	$PM_{2.5}$ UFP BC[a]	43 residences, Ontario, Canada	0.25–0.36 (summer higher) 0.15–0.26 (no clear seasonality) 0.28–0.59 (winter higher)	
Clark *et al.*, 2010[31]	$PM_{2.5}$	66 homes, Toronto, Canada	Mean $PM_{2.5}$ 0.52	
Hänninen *et al.*, 2011[33]	$PM_{2.5}$	Europe	Seasonal variability in *Finf*	
Hänninen *et al.*, 2013[25]	$PM_{2.5}$	50 residences, Helsinki, Finland	0.2–0.8, mean 0.6 Particle size dependence of *Finf*	
Diapouli *et al.*, 2013[32]	$PM_{2.5}$	Review	0.4–0.85	
Kearney *et al.*, 2014[34]	$PM_{2.5}$	50 residences, Edmonton, Canada	0.28 in winter 0.69 in summer	
Logue *et al.*, 2015[35]	$PM_{2.5}$	Simulation, whole US housing stock	Overlapping ranges, 0.4–0.8.	
Rivas *et al.*, 2015[36]	$PM_{2.5}$	39 schools, Barcelona, Spain	Overlapping ranges for traffic and secondary particles	
Morawska *et al.*, 2017[37]	$PM_{2.5}$ PM_{10} PN[b]	Review: homes, schools, offices	Infiltration dominant for mass fractions at homes, number concentrations in schools, and all sizes in offices	
Zauli-Sajani *et al.*, 2018[38]	$PM_{2.5}$	1 apartment	Elemental infiltrations, seasonal differences	

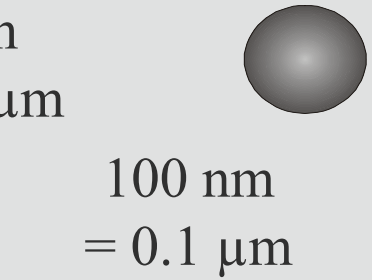
[a]UFP BC, ultrafine particle black carbon.
[b]PN, particle number.

1 µm = micrometre , 10^{-6} m
1 nm = nanometre, 10^{-9} m
1nm = 10 Å
1 Å ≈ molecular scale

Coarse soil particles

Long-range transported secondary particles

Ultrafine combustion particles



Pollen ~20 µm
Hair ~60 µm

Suodattimien tehokkuus

- Suodatusteho vaihtelee voimakkaasti (kuva)
- haastavin kokoalue ovat akkumulaatiohiukkaset (Dp ≈ 100-1000 nm)

- Rakennukseen tulee vaihetelevia (huomattavia!) määriä ilmaa muualta!

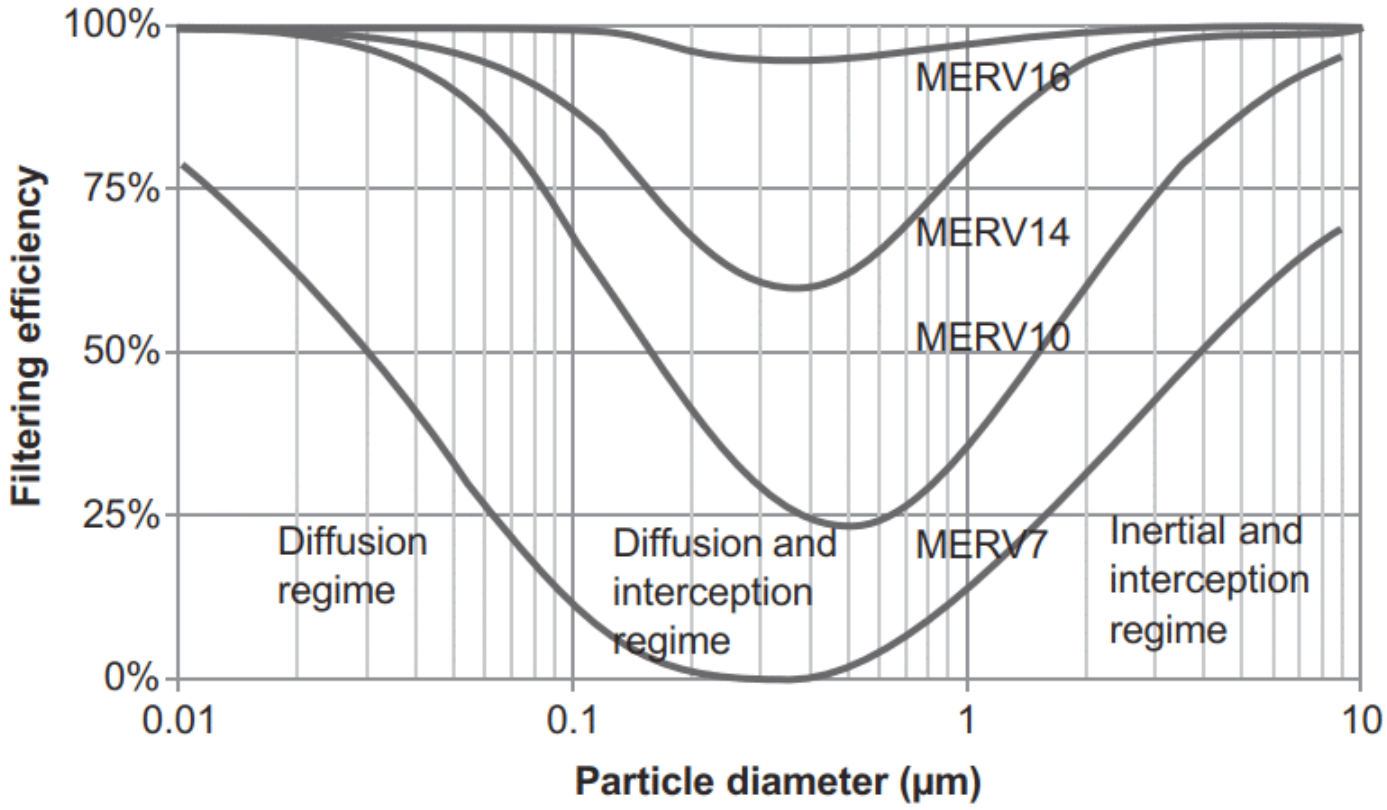
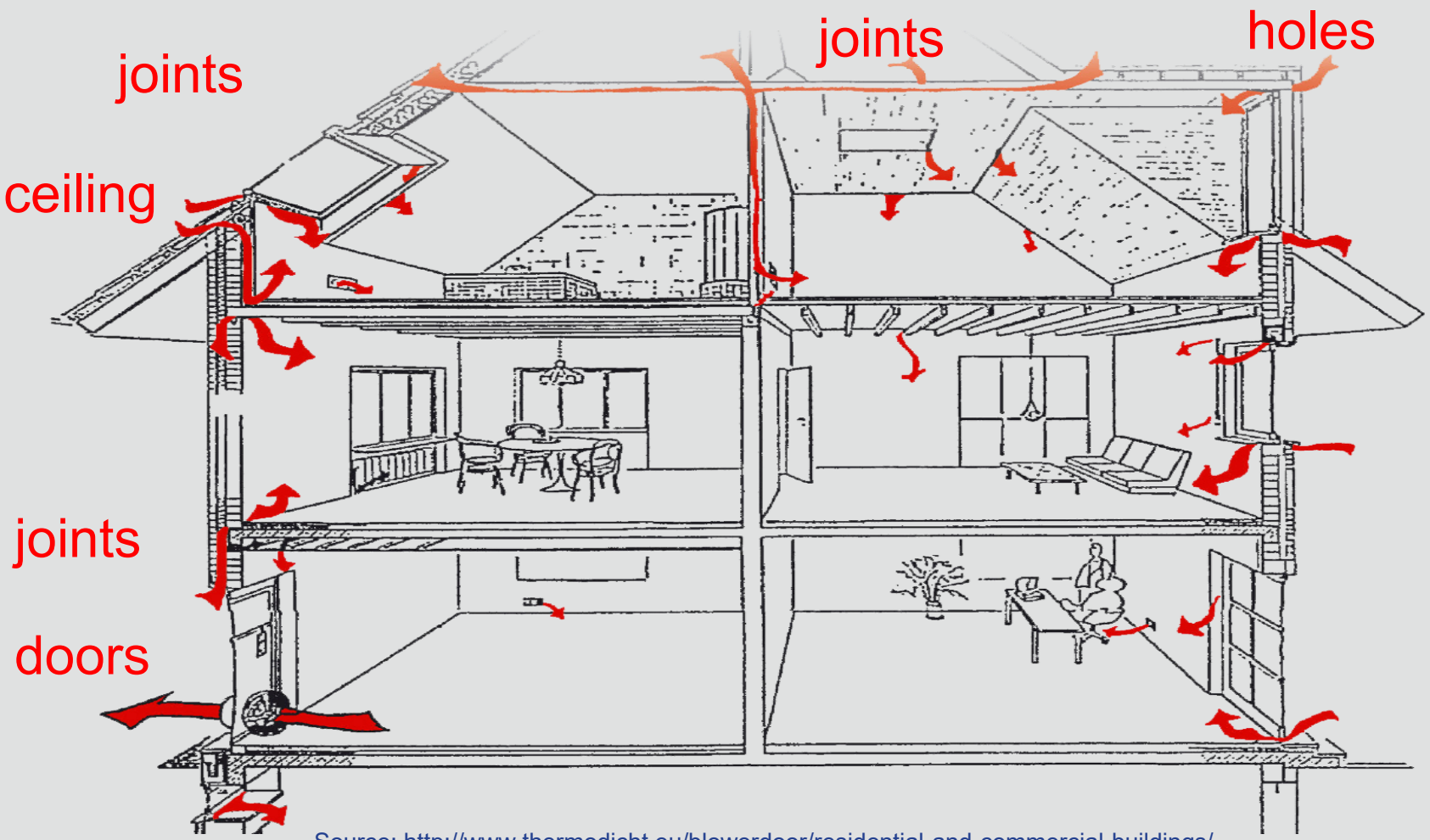


Figure 6 Typical dependences of filter efficiency on particle size (μm). Accumulation mode particles in the range from 100 nm to 1 μm are the most challenging for filtration.
Adapted from ref. 51 with permission from Elsevier, Copyright 2014.

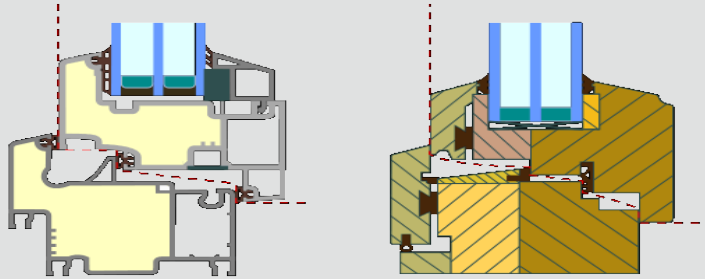
Hänninen O, Goodman P, 2019. **Outdoor air as a source of indoor pollution**. Chapter 2 in Harrison RM, Hester RE (Eds.) Indoor Air Pollution. Issues in Environmental Science & Technology, Volume 48, pp. 35-65. Royal Society of Chemistry. ISBN 978-1-78801-514-1.

Air permeability – points of leakage



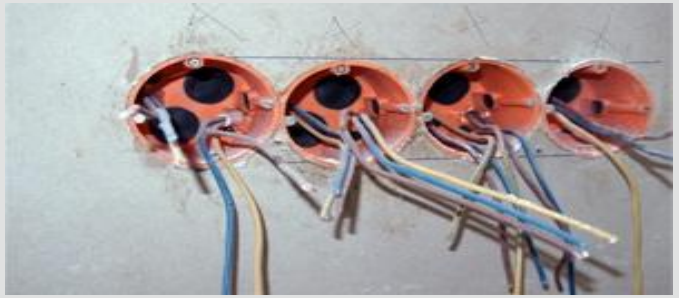
Source: http://www.thermodicht.eu/blowerdoor/residential-and-commercial-buildings/

window frames



https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house

electric outlets

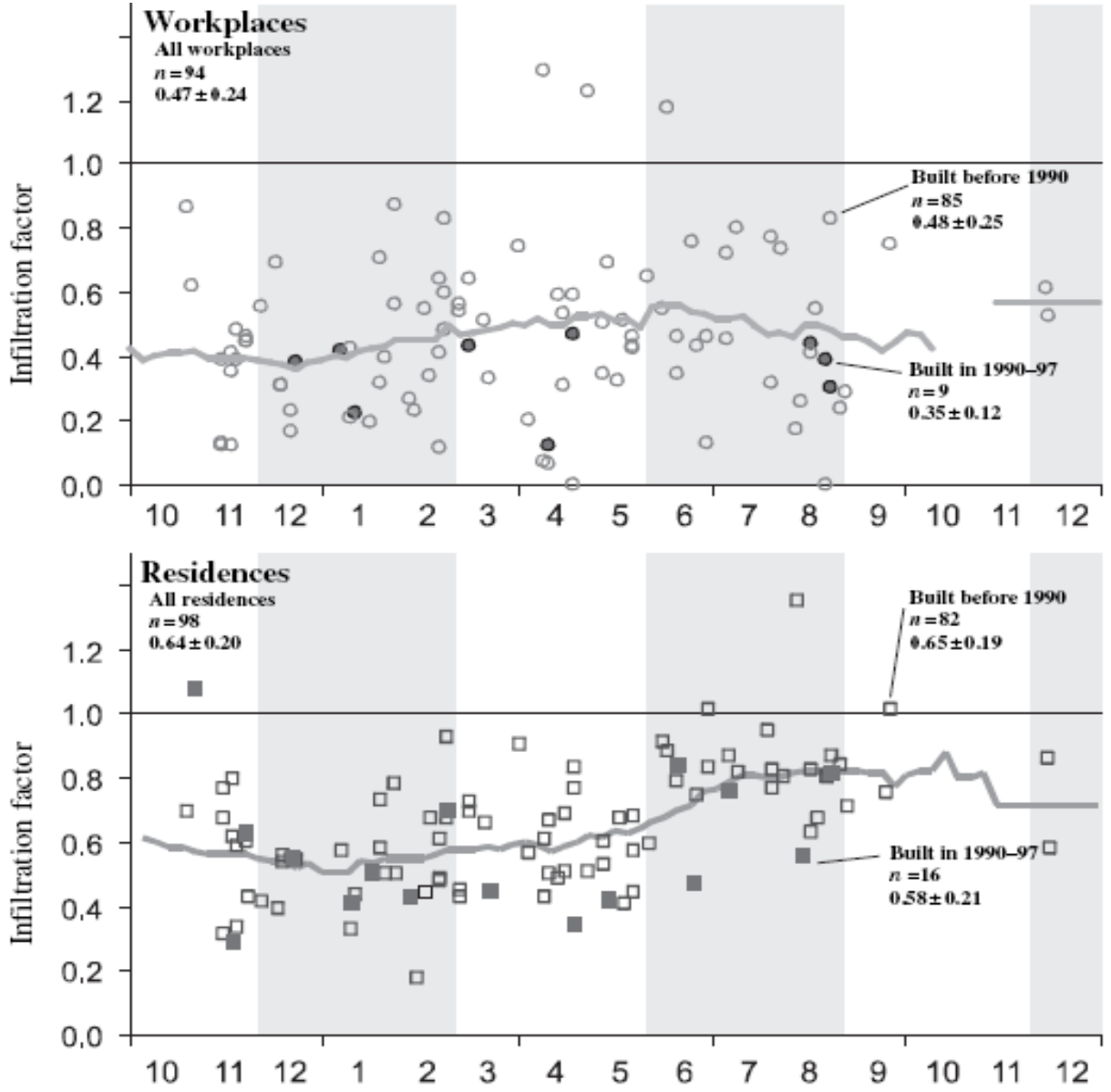


http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/passive-houses/

University of Oulu

$PM_{2.5}$, infiltraation vuodenaikaisvaihtelu

- EXPOLIS-tutkimus Helsinki 1996-1997
- 194 kotia joista alkuaineanalyysi 94 työpaikkaa ja 98 kotia
- Kesällä ikkunoita pidetään auki
- Uudemmat rakennukset tiiviimpiä



Observed infiltration trend in Helsinki

- Re-analysis of Helsinki building stock infiltration by building age (built decade) (Hänninen et al. 2017)

- Original EXPOLIS data, Hänninen et al., 2004

Hänninen O, Rumrich I, Asikainen A, **2017**. Challenges in estimating health effects of indoor exposures to outdoor particles: Considerations for regional differences. *Science of the Total Environment* (Sci Tot Env) 589:130-135. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.228

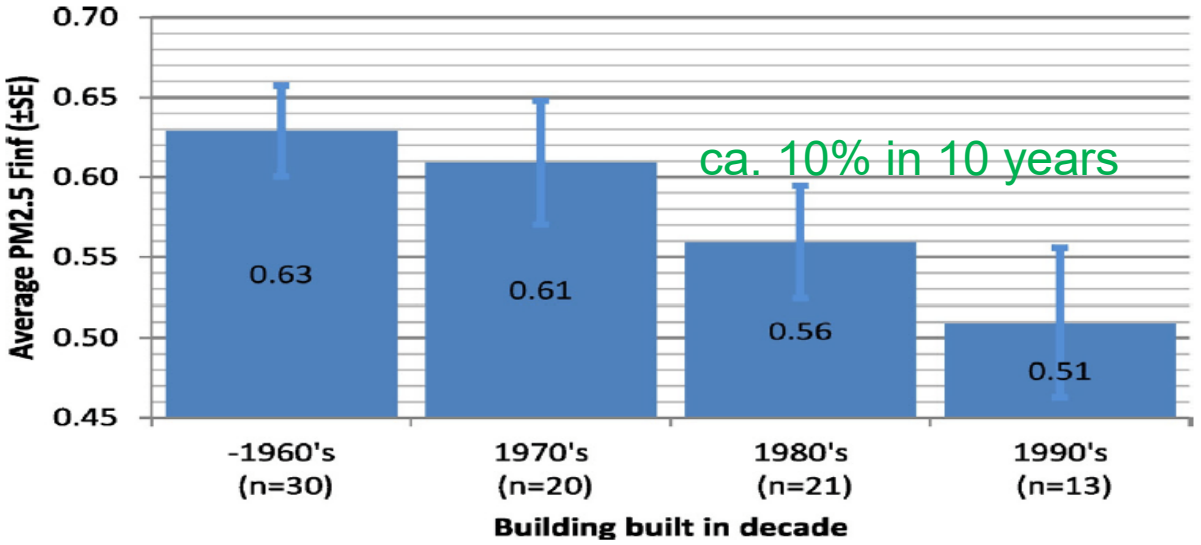


Fig. 3. Trend of $PM_{2.5}$ infiltration rate in the Helsinki metropolitan area building stock by building decade (original data, methods and study design Hänninen et al., 2004).

Mahdollisia toimenpiteitä?

- Rakennuksen ympäristöllä konkreettinen ja merkittävä vaikutus sisäilmaan ja sisäolosuhteisiin
- Ulkoympäristöön voidaan vaikuttaa kaupunkisuunnittelulla ym.
- mutta rakennuksella on myös keskeinen rooli hyvän sisäympäristön luomisessa

- Koneellinen ilmanvaihto ja tuloilma tehokas suodatus
- Meluvallit; parvekelasitukset
- Tuuletusikkunoiden suuntaaminen
- Varjostukset, pinnoitukset
- Aktiivinen viilennys/lämpöpumput

Kysymyksiä?



otto.hanninen@oulu.fi