

6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ja siis?

Kui palju näitab keskmine mass sellest, mida inimesed tegelikult sisse hingavad?

Marek Maasikmets · Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK) · 30. september 2026

Miks 2014. aasta Kohtla-Järve ja Kiviõli mõõtmised on **endiselt olulised**?

6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kohtla-Järve ja Kiviõli
keskmine, märts 2014

NR-PM_{2,5} + must süsinik

vs 3,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2025. a Kohtla-Järve keskmine

Üle 10 aasta tagasi tehtud mõõtmised olid paljuski oma ajast ees: lisaks massile mõõdeti reaalajas ka koostist ning eristati allikaid – suund, kuhu on liikunud ka uus õhukvaliteedi direktiiv

Allikas: Elser jt, PSI/EKUK mõõtearuanne 2014; Elser jt (2016), doi:10.5194/acp-16-7117-2016

Mida iga mõõtesuurus tegelikult näitab

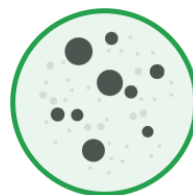


● tahm (must süsinik)

● soolad

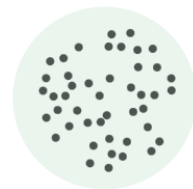
● orgaanika

● metallid



Mass $PM_{2,5}, PM_{10} \cdot \mu g/m^3$

Kui palju osakesed kaaluvad. Levinuim ja enim uuritud näitaja



Arvkontsentratsioon $osakest/cm^3$

Mitu osakest õhus on. Ülipeeneid on kõige rohkem



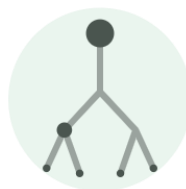
Pindala $\mu m^2/cm^3$

Kui suur pind puutub kopsuga kokku ja kannab kahjulikke aineid

Mida iga mõõtesuurus tegelikult näitab



Mass on kõige paremini uuritud näitaja, kuid tervisemõju võib sõltuda ka osakeste arvust, suurusest ja koostisest



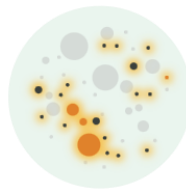
Suurusjaotus läbimõõt, μm

Kui suured osakesed on ja kui sügavale kopsu nad jõuavad



Keemiline koostis $\mu\text{g}/\text{m}^3$ või % massist

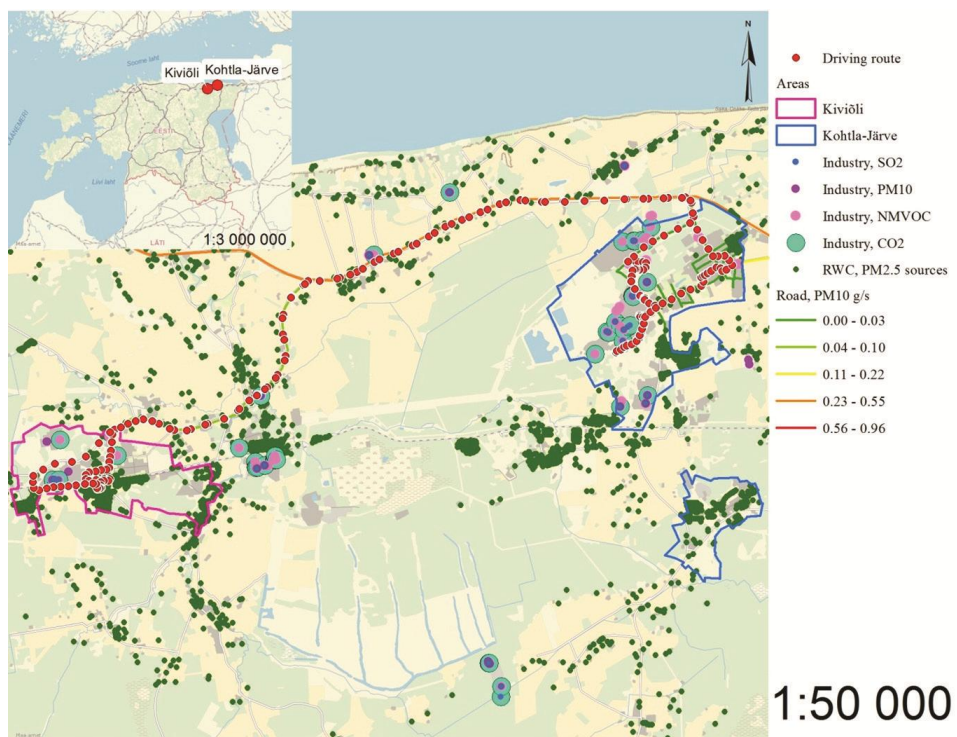
Millest osakesed koosnevad: tahm, orgaanika, soolad, metallid



Oksüdatiivne potentsiaal (OP)
 $\text{nmol}/\text{min}/\text{m}^3$

Võime tekitada oksüdatiivset stressi ehk kahjustada kudesid

Märts 2014: Kohtla-Järve ja Kiviõli



- Korduvad sõiduringid päeval ja öösel, ligi nädala jooksul
- Marsruut läbis põlevkivitööstuse heiteallikate lähedasi alasid
- Paikne öine taustapunkt asus Kohtla-Järve reoveepuhastis
- Enamik kortermaju on kaugküttel; puiduküte esines vaid piiratud alal Kiviõlis

Joonis: EAC 2017 poster (Maasikmets jt). Punane joon — sõidumarsruut; markerid — teadaolevad tööstuslikud heiteallikad.

Mobiillabor kui oma aja superseirejaam ratastel

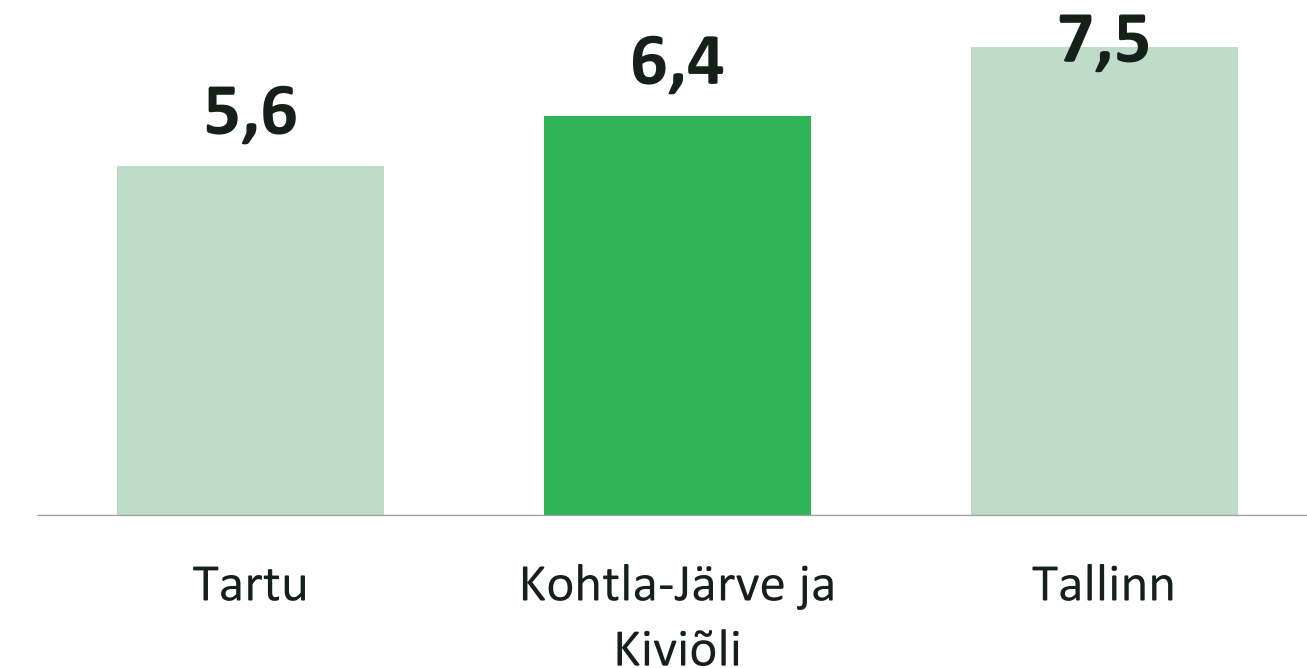


Mõõteseadmed ja ajaline lahutus

Auto liigub kiiresti. Seetõttu mõõdeti kõiki näitajaid sekundites

- 25 s** HR-ToF-AMS (aerosooli mass-spektromeeter): $\text{PM}_{2,5}$ keemiline koostis – orgaaniline aine, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- .
- 1 s** Seitsme lainepikkusega etalomeeter: must süsinik. Osakeste loendur: osakeste arvkontsentratsioon.
- 1–3 s** Gaasianalüsaatorid: ammoniaak (NH_3), süsinikmonooksiid (CO), süsinikdioksiid (CO_2) ja metaan (CH_4).
- 2 s** GPS-asukoht, temperatuur, suhteline õhuniiskus ja päikesekiirgus.

Kolm piirkonda, sarnane suurusjärk

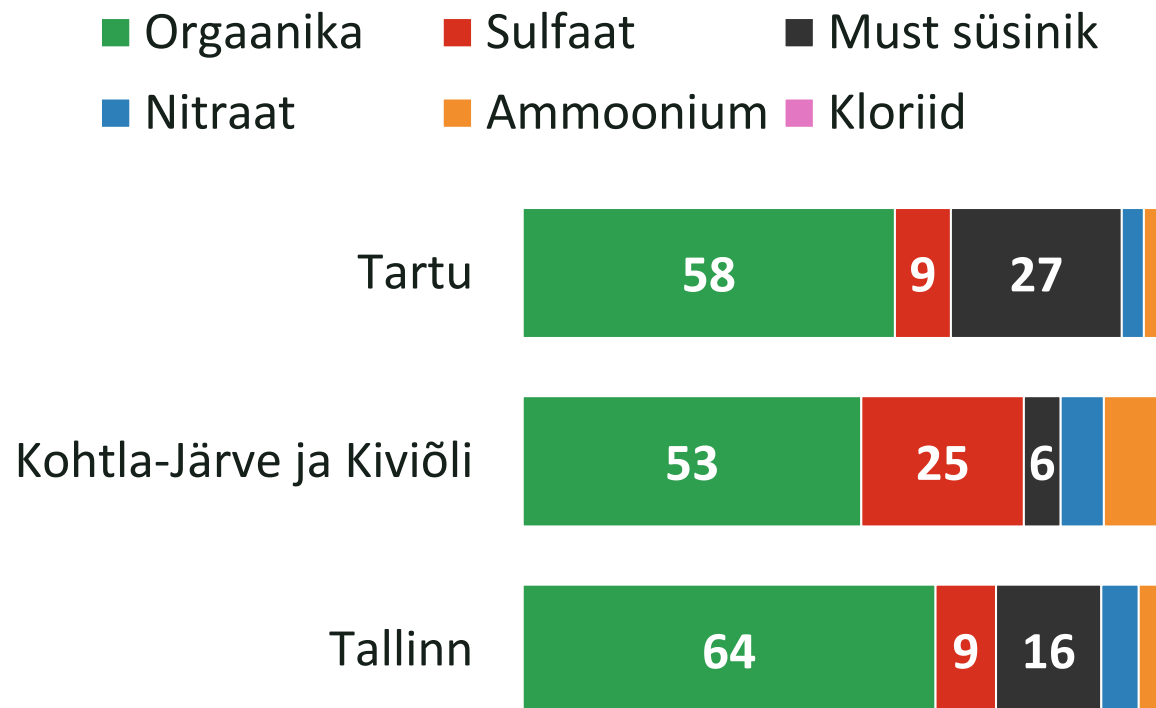


$\mu\text{g}/\text{m}^3$ · osakeste keskmine mass (NR-PM_{2,5} + BC), märts 2014

Keskmine osakeste mass oli kõigis kolmes piirkonnas samas suurusjärgus.

Kampaania keskmised, märts 2014 – mitte aastakeskmised ega võrreldavad piirväärtustega.

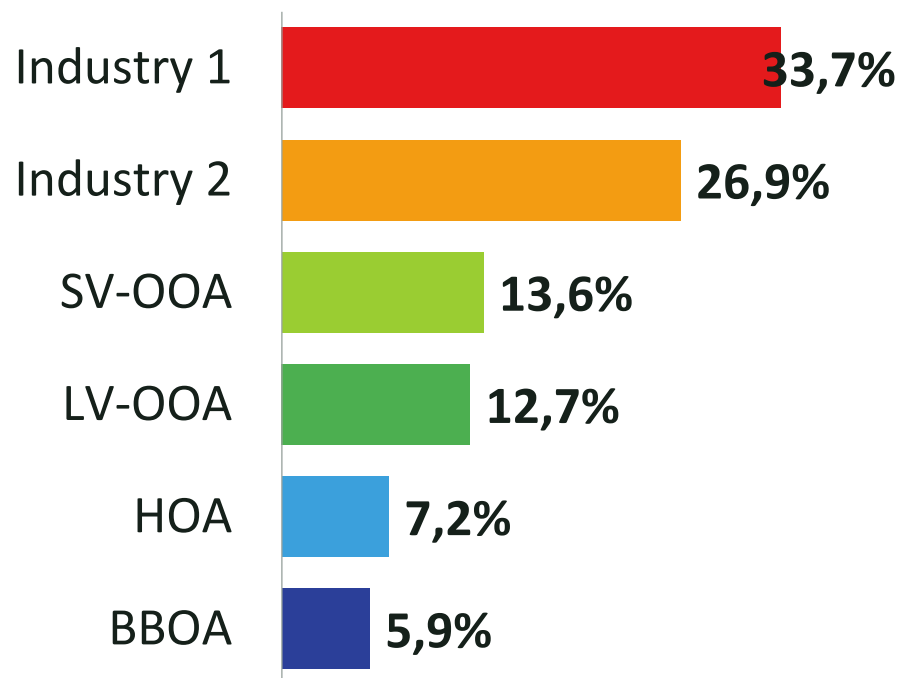
Sama suurusjärg, erinev koostis



- Tartus ja Tallinnas domineerisid orgaanika ja must süsinik (eBC)
- Kohtla-Järvel ja Kiviõlis lisandus orgaanilise aine kõrvale märkimisväärne sulfaadi osakaal

Orgaanika oli tööstuspiirkonnas keskmiselt 52–60% PM_{2,5} massist

Kuus allikat, kaks neist tööstuslikku

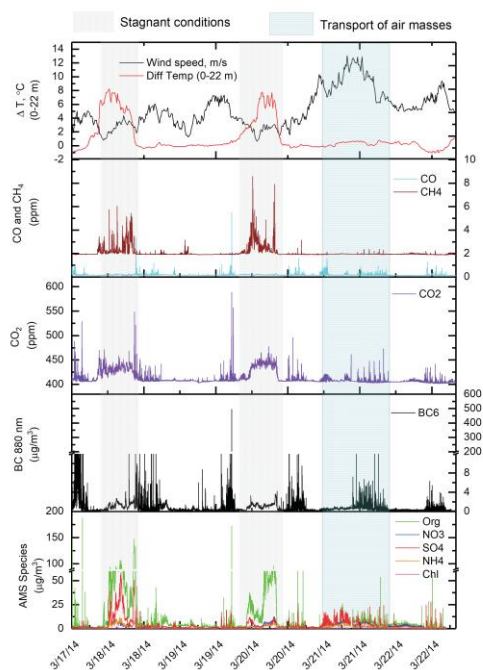


- PMF (Positive Matrix Factorization) eristas kaks tööstusfaktorit (Industry 1 ja 2), liikluse (HOA), biomassi põletamise (BBOA) ning kaks sekundaarset faktorit (LV-OOA ja SV-OOA)
- Faktorid seostusid eri protsessidega: põlevkiviõli tootmine ja energiatootmine

Kaks tööstusfaktorit moodustasid kokku ligikaudu 60% orgaanilise aerosooli massist

Joonis: EAC 2017 poster (Maasikmets jt). Orgaanilise aerosooli allikate keskmine jaotus, Kohtla-Järve ja Kiviõli.

Lühiajalised tipud ja ruumilised kontrastid



> 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Osakeste massi tipud sõitudel, kohalike allikate vahetus läheduses

8,6 ppm

Suurim metaanisisaldus (Kohtla-Järve ja Kiviõli); kampaania keskmine oli 2,0 ppm

Inversioon

Tuulevaiksetel öödel kuhjusid heited maapinna lähedale – see pole vaid Ida-Virumaa eripära

Joonis: EAC 2017 poster (Maasikmets jt). Hall taust — seisva õhu tingimused; sinine taust — õhumasside kaugkanne.

Need on lühiajalised lokaalsed tipud

Mitte piirkonna keskmise kokkupuute näitajad

Tippu ei tohi tõlgendada pikaajalise
kokkupuutena ega võrrelda
piirväärtusega

Massist koostise ja allikateni

2014. aasta kampaanias mõõdeti

- $PM_{2,5}$ mass ja koostis (25 s)
- orgaanika, sulfaat, nitraat, ammoonium, kloriid
- must süsinik (eBC), osakeste arv
- ammoniaak, CO, CO₂, metaan
- PMF: kaks tööstuslikku allikat

Direktiiv 2024/2881, superseirejaamad

- $PM_{2,5}$ mass ja keemiline koostis
- SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , EC ja OC
- ultrapeened osakesed (UFP), must süsinik, NH_3

Kattuvus on osaline: 2014. aasta aparatuur ei mõõtnud kõiki VII lisa aineid.

Allikas: direktiiv (EL) 2024/2881 välisõhu kvaliteedi kohta, art 10 ja VII lisa.

Nõutav, soovitatav ja piirväärtuseta

Nõutav

Keemiline koostis

Superjaamades tuleb mõõta $PM_{2,5}$ massi ja keemilist koostist VII lisa ulatuses.

See on kohustus, mitte soovitus.

Soovitatav

Oksüdatiivne potentsiaal (OP)

VII lisa tabel 3 soovitab OP-d superjaamades mõõta.

See ei ole kohustuslik.

Piirväärtust ei ole

OP ei ole normeeritud

Direktiiv määratleb OP-d kui osakeste võimet oksüdeerida sihtmolekule.

Piir- ega sihtväärtust pole seatud.

Allikas: direktiiv (EL) 2024/2881, art 4 p 16 (mõiste), art 10 ja VII lisa.

Osakestest OP tulemuseni

1

Osakese koostis

Metallid ja orgaanilised ühendid kogutuna filtrile



2

Laborikatse

Askorbiinhappe (AA) või ditiotreitooli (DTT) reagenti kulu



3

OP tulemus

Reagenti kulu ajaühikus



4

Tõlgendus

Koos massi, koostise ja allikajaotusega

Mida OP tulemusest **järeldada?**

1 Rakuväline laborinäitaja

Katse mõõdab, kui kiiresti osakesed kulutavad valitud reagenti.

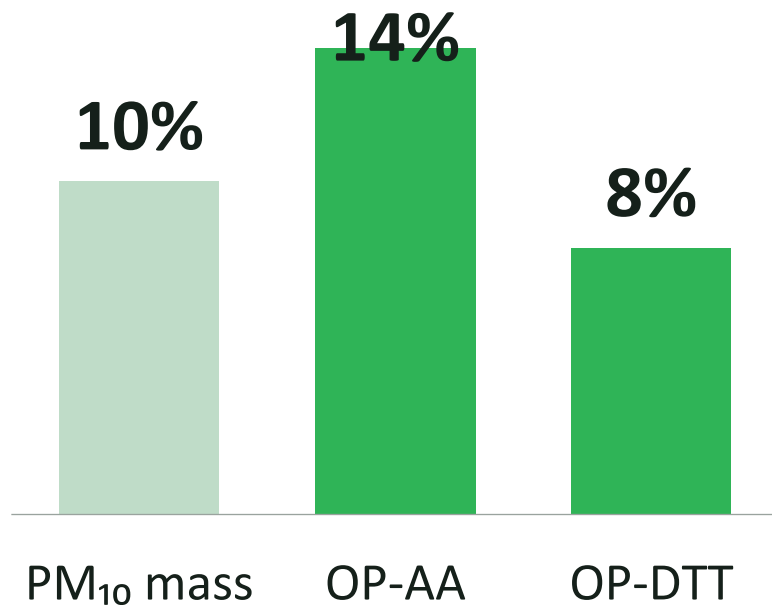
2 Sama mass, erinev OP

Tulemust saab esitada õhu ruumala või osakeste massi kohta. Sama mass võib anda erineva OP tulemuse.

3 AA ja DTT erinevad

Testid reageerivad eri koostisosadele. OP ei mõõda otsest tervisemõju.

10% massist andis 14% OP-AA-st



Kahe tsemenditehasega seotud
faktori panus kokku

Glojek jt (2024): PM₁₀ uuring Alpides

- PMF eristas kümme allikat; kaks seostusid tsemenditehase mõjualaga
- Nende ühine panus: 10% PM₁₀ massist, 14% OP-AA-st ja 8% OP-DTT-st
- Ühe testi järgi oli OP panus massipanusest suurem, teise järgi väiksem

Suurima OP panuse andis biomassi põletamine
Massi ja OP tulemusi tuleb vaadata koos

Allikas: Glojek jt (2024), Environment International 189, 108787; doi:10.1016/j.envint.2024.108787

OP Euroopas: mõõtmised ja modelleeritud tase

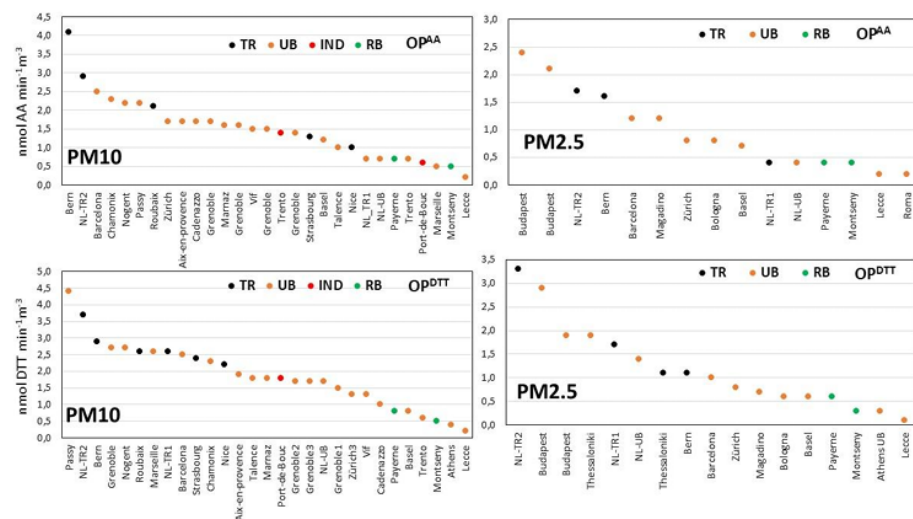


Figure 6. OP^{AA} and OP^{DTT} volume of PM mean values ($nmol min^{-1} m^{-3}$) in (mostly) urban sites, reported by Janssen et al. (2014), Argyropoulos et al. (2016), Visentin et al. (2016), Paraskevopoulou et al. (2019), Pietrogrande et al. (2019, and references therein), Weber (2021), Weber et al. (2021), Grange et al. (2022), Dominutti et al. (2023), In 't Veld et al. (2023) and Vörösmarty et al. (2023).

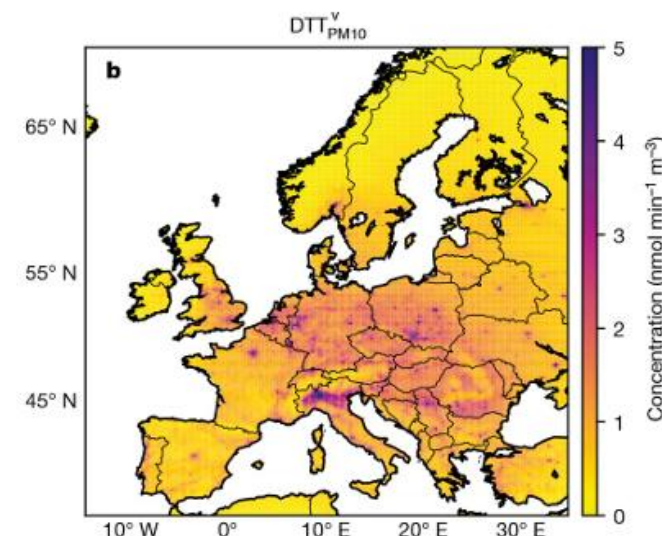


Figure 3. Levels of $OP^{DTT} v$ of PM10 in Europe. $OP v$ in Europe for the year 2011 (adopted from Daellenbach et al., 2020).

Allikas: Dominutti jt, „Guidance documents on measurements and modelling of novel air quality pollutants: Oxidative potential of particulate matter“.

Arendustööd 2023–2027

Õhukvaliteedi seirevõrgustik ja asukohapõhine terviseriski süsteem, mida tehakse (Erik juba rääkis):

- Täiendatakse paiksete seirejaamade võrku
- Mobiilsed seirejaamad konkreetsete heiteallikate ja probleemalade uurimiseks
- Üleriigiline modelleerimine, linnades kuni 100 m lahutusega
- Asukohapõhise terviseriski hinnangute süsteem
- Keemilise koostise ja uute parameetrite mõõtevõimekuse soetamine

Allikas: ERF projekt „Õhukvaliteedi seirevõrgustiku arendamine ja täiendamine ...“, air.klab.ee/seire/SF

2014. aasta mõõtmisi võiks korrata

- Toonaste andmete põhjal ei saa võrrelda osakeste OP-d ega heiteallikate panust sellesse, kuid on teada allikate struktuur ja osakaalud
- Milliste Ida-Virumaa heiteallikate osakesed annavad massiühiku kohta suurima OP näidu?

**Selleks tuleb mõõta
OP-d koos koostise ja
allikatega.**

Kolm järeldust

1 Mass ei võrdu koostis

Tartu 5,6 — Kohtla-Järve ja Kiviõli 6,4 — Tallinn 7,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sama suurusjärg, kuid erinev koostis ja päritolu.

2 Koostis ei näita üksi tervisemõju

Koostis ja allikajaotus aitavad allikaid eristada ja mehhanisme hinnata.

Otsest tervisemõju need üksi ei tõenda.

3 Mass + koostis + allikas + OP

Neli vaadet aitavad leida reaktiivsemad allikad.

Tervisemõju hindamine vajab ka kokkupuute- ja terviseandmeid.