



KESKKONNAAGENTUUR

2021 Välisõhu kvaliteedi aruanne

Muutused Eesti välisõhu kvaliteedis aastatel
2010-2020

16. september 2021

www.keskkonnaagentuur.ee

Sisukord

Sissejuhatus	4
Metoodika	5
Välisõhu kvaliteedi riiklik seire.....	5
Sademete keemia seire	6
Välisõhu kvaliteedi kompleksuuringud Tahkusel	7
Inventuuri andmed.....	7
Ilmastiku andmed	7
Liikluse andmed	8
Andmete analüüs	8
Tulemused	9
Peenosakesed (PM ₁₀).....	9
Eriti peened osakesed (PM _{2,5})	13
Benso(a)püreen (B(a)P).....	16
Lämmastikoksiidid (NO _x)	18
Osoon (O ₃).....	24
Vääveldioksiid (SO ₂).....	27
Vesiniksulfiid (H ₂ S)	32
Lämmastiku sadenemiskoormus	35
Kokkuvõte	43



Aruanne

Aruanne valmis Keskkonnaagentuuris 2021. aastal. Aruande koostasid Laura Kütt ja Peep Jürmann. Tänu Marina Kiisler, Reet Pruul ja Heidi Koger Keskkonnaministeeriumist, Erik Teinemaa ja Marek Maasikmets Eesti Keskkonnauuringute Keskusest, Riho Marja, Natalija Kohv, Helen Heintalu, Elo Mandel ja Olga Zaitseva Keskkonnaagentuurist, Lembi Sillandi Tallinna Transpordiametist.

Aruande koostamiseks



Andmed koguti KESE, Airviro,
KOTKAS ja OSIS, Tallinna
Transpordiameti, Statistikaameti
infosüsteemidest

Sissejuhatus

Õhusaastel on oluline mõju nii inimeste tervisele kui ka meid ümbritsevale keskkonnale. Euroopas peetakse õhusaastet üheks peamiseks keskkonnaprobleemiks lisaks kliima soojenemisele. Õhu kvaliteedil on otsene mõju inimese tervisele, põhjustades nii enneaegseid surmasid kui ka hingamisteede haigusi. Lisaks mõjutavad õhu saasteained maismaa ja vee ökosüsteeme, põhjustades keskkonna eutrofeerumist ja hapestumist ning bioloogilise mitmekesisuse kadu.

Käesoleva analüüsi eesmärgiks on anda ülevaade Eestis viimase kümne aasta (2010–2020) jooksul toimunud muutustest ja peamistest teguritest, mis on mõjutanud välisõhu kvaliteeti. Selle töö raames keskendutakse õhukvaliteeti mõjutavale seitsmele olulisemale saasteainele, milledeks on peamiselt ahjude kütmisega kodumajapidamistes kaasnevad peenosakesed, eriti peened osakesed ja benso(a)püreen, põlemisprotsessidest, sh suuresti transpordist tekkivad lämmastikoksiidid, enamasti tööstusega kaasnevad saasteained nagu vääveldioksiid ja vesiniksulfiid ning õhku eraldunud saasteainete vahelistes edasistes keemilistes reaktsioonides tekkiv maapinnalähedane osoon. Lisaks vaadeldakse lämmastiku sadenemiskoormuseid, mis avaldavad mõju nii maismaa kui ka vee ökosüsteemide toitaineringele ning keskkonna hapestumisele. Lämmastiku sadenemiskoormustes aja jooksul toimunud muutuste jälgimiseks on kasutatud sademeteseire ning kompleksseire andmeid. Ülejäänud saasteainete ajalise trendi muutuste jälgimiseks on võrreldud riikliku õhuseire andmeid ning välisõhu inventuuri saasteainete heitkoguste andmeid. Välisõhu inventuuri andmed tuginevad mõõtmistel ja arvutuslikel meetodikatel ning on üle-eestilised, seepärast ei pruugi need alati peegelduda iga piirkonna seirejaamade andmetes tuulesuundade, saasteainete eraldumise kõrguste või muu määramatuse tõttu.

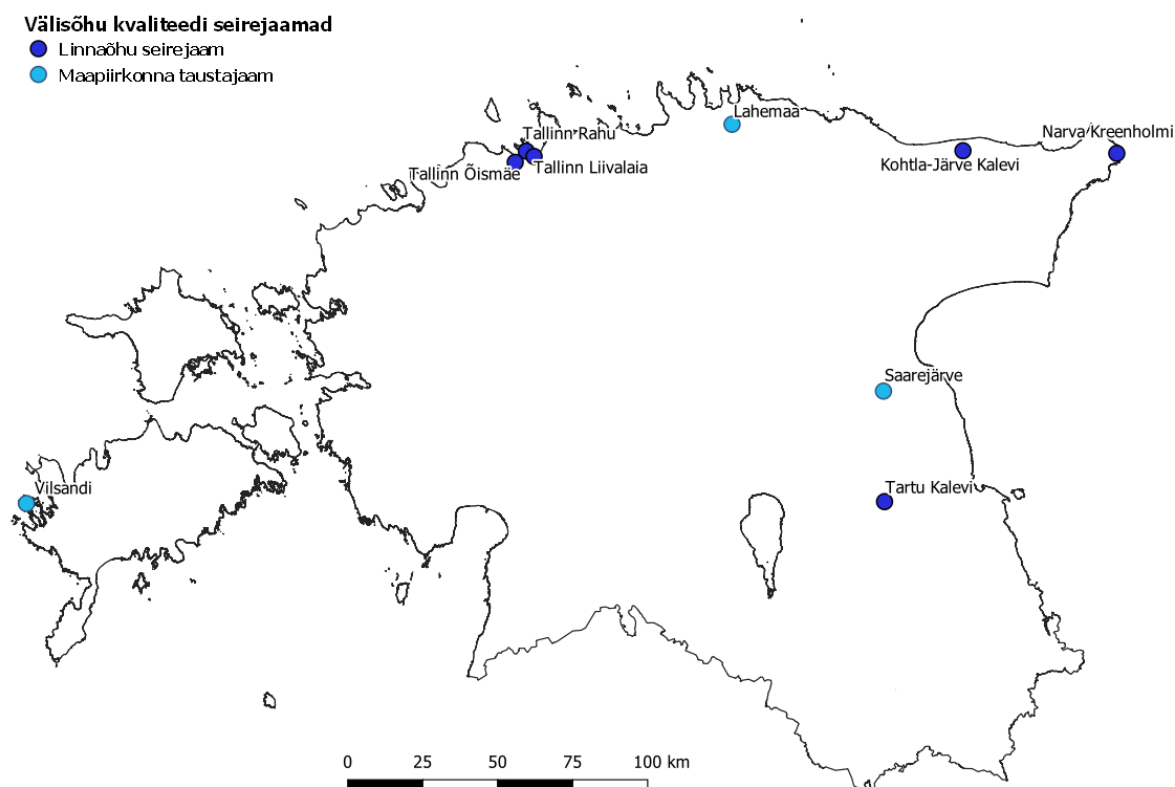
Mitmed rahvusvahelised ja Euroopa Liidu poolt välisõhu saasteainete kogustele kehtestatud normid ja piirväärtused on oluliselt kaasa aidanud Eesti õhukvaliteedi paranemisele. Kõige selgemalt ilmneb see energeetika- ja tööstussektoris, kus on võetud kasutusele tõhusamad suitsugaaside puhastusseadmed ning vähendatud seeläbi saasteainete heitkoguseid. Mõnede saasteainete osas saaks olukorda siiski veel parandada, nt lokaalsete kohtküttega seotud piirkondade peenosakeste ja benso(a)püreeni saaste puhul. Samuti saaks olukorda parandada piirkondades, kus on tihedama liikluse tõttu õhukvaliteet halvem. Siiski näitavad riikliku õhuseirejaamade mõõtmistulemused, et õhukvaliteet on viimastel aastatel enamike saasteainete osas paranenud või jäänud stabiilselt normidest madalamaks ning viimase kolme aasta jooksul pole ühegi saasteaine aastakeskmised kontsentratsioonid saasteainetele kehtestatud aastakeskmisi piir- ja sihtväärtusi ületanud. Inimesed saavad ise olulisel määral kaasa aidata kohaliku välisõhu kvaliteedi parandamisele, valides vähem õhku saastavaid transpordivahendeid või uuendades kodumajapidamiste küttesüsteeme ning vältides ebasobilike põletusmaterjalide kütteks kasutamist.

Metoodika

Välisõhu kvaliteedi riiklik seire

Euroopa Liidu direktiividest 2008/50/EÜ ja 2004/107/EÜ ning atmosfääriõhu kaitse seadusest lähtuvalt on Eestis kohustuslik viia läbi linnaõhu kvaliteedi seiret. Eestis viiakse riikliku õhuseiret läbi kuues linnajaamas ning kolmes maapiirkonna taustajaamas (joonis 1). Tallinnas asub kolm seirejaama: 1) Liivalaia tänava seirejaam, kus mõõdetakse transpordisaastet; 2) Kopli seirejaam (Rahu), kus mõõdetakse tööstuse ja kohtkütte saastet ning 3) Õismäe seirejaam, mis on linnaõhu taustajaam. Ida-Virumaal asub kaks jaama. Kohtla-Järve Kalevi tänava seirejaam mõõdab tööstussaastet ning Narva linna Kreenholmi tänava jaam on linnaõhu taustajaam. Lõuna-Eesti piirkonnas mõõdetakse linnaõhu kvaliteeti Tartu Kalevi tänava linnaõhu taustajaamas.

Maapiirkonna õhu kvaliteedi mõõtmise taustajaamad asuvad Vilsandil, Lahemaal ja Saarejärvel. Välisõhu kvaliteedi mõõtmise vajadus maapiirkonna taustajaamades Vilsandil ja Lahemaal tuleneb piiriülese õhusaaste kauglevi konventsioonist ning koostööprogrammist EMEP – "European Monitoring and Evaluation Programme".

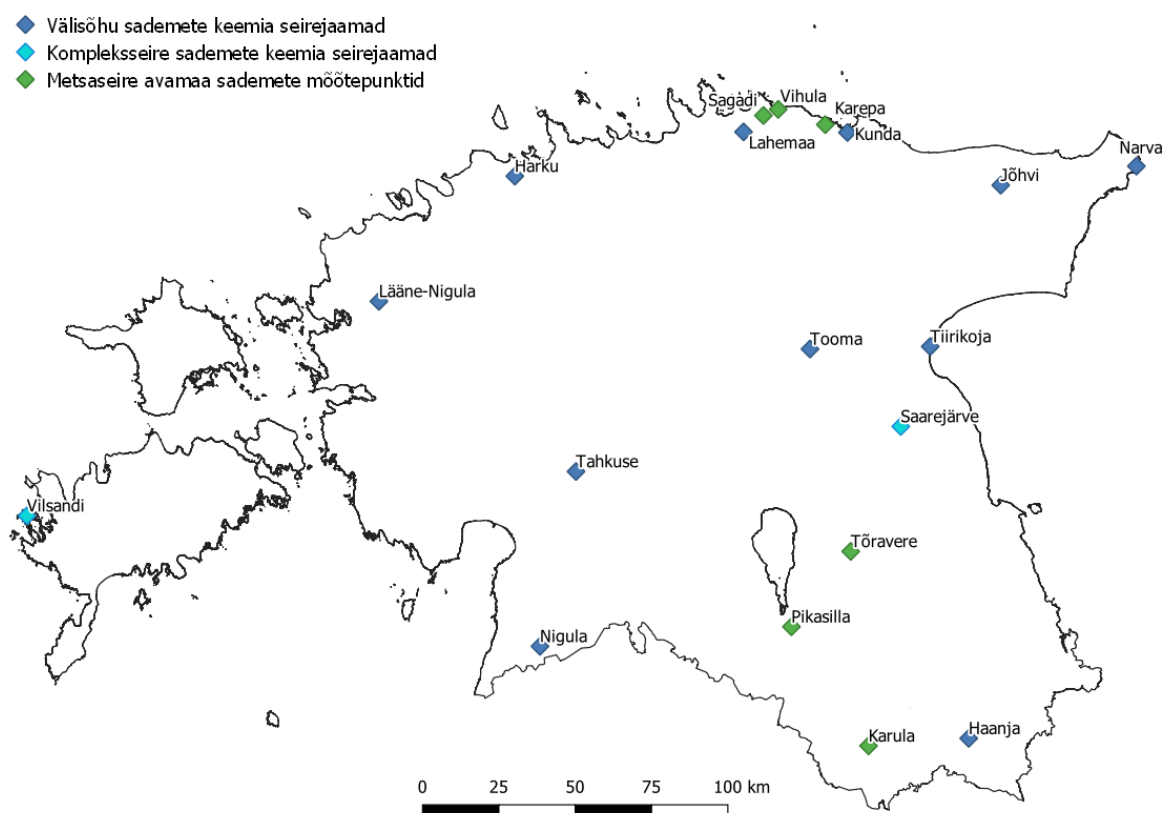


Joonis 1. Riikliku välisõhu kvaliteedi seirejaamade asukohad.

Käesoleva uurimistöö raames vaadeldi riiklikes välisõhu seirejaamades järgmisi saasteaineid: 1) peenosakesed (PM_{10}); 2) eriti peened osakesed ($PM_{2,5}$); 3) benzo(a)püreen (B(a)P); 4) lämmastikoksiidid (NO_x ja NO_2); 5) maapinnalähedane osoon (O_3); 6) vääveldioksiid (SO_2) ja 7) vesiniksulfiid (H_2S). Andmed välisõhu seirejaamades mõõdetud saasteainete kontsentratsioonide kohta on võetud Keskkonnaagentuuri KESE andmebaasist. Lisaks on käesolevas töös vaadeldud veel Muuga sadamapiirkonna kolme seirejaama vesiniksulfiidi andmeid (2010-2020), mis on võetud Airviro andmebaasist.

Sademe keemia seire

Sademevees sisalduvaid saasteaineid mõõdetakse sademete keemia seire raames 11 seirejaamas. Varasemalt on mõõtmised toimunud veel Matsalu, Saka, Alam-Pedja, Loodi, Otepää ja Karula jaamades, kuid alates 2019. aasta algusest neis seirejaamades proove enam ei koguta. Kuna neist seirejaamadest on puudu kahe viimase aasta andmed ning praegused 11 seirejaama katavad Eesti võrdlemisi ühtlaselt, siis käesolevas analüüsis nende seirejaamade andmeid ei vaadatud. Lisaks mõõdetakse sademete keemilist koostist veel kahes seirejaamas (Vilsandi ja Saarejärve), mis kuuluvad kompleksseire allprogrammi ning kuues metsaseire allprogrammi kuuluvas mõõtepunktis (joonis 2).



Joonis 2. Sademete keemia seire seirejaamade asukohad.

Käesoleva töö raames vaadeldi sademete keemia seire ning kompleksseire raames kogutud lämmastiku sadenemiskoormuse andmeid – ammoniumlämmastiku ($\text{NH}_4\text{-N}$) ja nitraatlämmastiku ($\text{NO}_3\text{-N}$) sisaldusi sademevees.

Kompleksseire raames võetakse Vilsandil ja Saarejärvel sademevee proove nii avamaalt kui puude võrast. Saarejärvel mõõdetakse sademevees sisalduvat ammonium- ja nitraatlämmastikku kolmest seirejaamast: Saarejärve kuusikust ja Saarejärve männikust võetakse proove puu võraveest ning Saarejärve intensiivalalt (EE02) avamaa sademeveest. Käesolevas töös on Saarejärve kohta esitatud nii avamaa kui ka võravee sademeveest mõõdetud $\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$ aastakeskmised sadenemiskoormused. Saarejärve kuusikust võeti proove kuni 2018. a., seepärast viimase kahe aasta andmed Saarejärve kuusikust puuduvad. Vilsandi puhul on samast mõõtekohast samuti esitatud nii avamaa kui ka võraveest mõõdetud $\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$ aastakeskmised sadenemiskoormused.

Välisõhu kvaliteedi kompleksuuringud Tahkusel

Välisõhu kvaliteedi kompleksuuringuid teostatakse Tahkuse õhuseirejaamas. Käesoleva töö raames vaadatakse Tahkusel mõõdetud saasteainetest vääveldioksiidi (SO_2), lämmastikoksiidi (NO_x) ja osooni (O_3) andmeid välisõhus. Tahkuse mõõtejaamas alustati saastegaaside mõõtmist 2015 a. juulikuust alates, seepärast on antud uuringusse kaasatud 2016–2020 a. andmed. Tahkusel mõõdetakse ühtlasi ka vesiniksulfiidi sisaldust välisõhus, kuid mõõtmistulemustes on aastatel 2016–2019 esinenud ülehindamisi analüsaatori nulli nihke tõttu, seepärast on Tahkuse H_2S andmed sellest analüüsist välja jäetud.

Inventuuri andmed

Käesolevas töös on kasutatud ka õhusaasteainete heitkoguste inventuuri andmeid. Inventuuri andmed hõlmavad nii paiksetest kui ka hajusallikatest õhku paisatud saasteainete heitkoguste andmeid neljas eri valdkonnas, milleks on energeetika ja tööstus, transport, põllumajandus ning kemikaalide kasutamine ja jäätmed. Käesolevas töös käsitletud õhusaasteainetest on inventuuris ülevaade olemas vääveldioksiidi (SO_2), lämmastikoksiidide (NO_x), peenosakeste (PM_{10}), eriti peenete osakeste ($\text{PM}_{2,5}$) ning benso(a)püreeni (B(a)P) heitkogustest. Osooni (O_3) ja vesiniksulfiidi (H_2S) heitkoguseid inventuuri andmetes ei käsitleta.

Transpordi valdkonna puhul arvestab inventuur maantee-, raudtee- ja siseveetranspordi sektorit, rahvusvahelist ja siseriiklikku lennutranspordi sektorit, tööstusmasinaid, äri sektori masinaid, kodumajapidamise masinaid ning põllumajanduse ja kalandusega seotud masinaid. Inventuuri andmetes ei kajastata rahvusvahelise meretranspordi sektori andmeid.

Ilmastiku andmed

Käesolevas töös vaadeldi ilmastiku andmetest kuu keskmist temperatuuri, kuu päikesepaiste hulka (mõõtühik h) ja sademete summat (mm). Selleks saadi andmed Keskkonnaagentuuri

ilmavaatlusjaamadest. Ilmastiku andmete puhul valiti välja sellised ilmajaamad, mis paiknevad välisõhu seirejaamadele võimalikult lähedal. Temperatuuri ja sademete andmed võeti Tallinn-Harku, Jõgeva, Jõhvi, Narva, Tahkuse, Tartu-Tõravere, Vanaküla ja Vilsandi jaamadest. Kuna päikesepaiste andmeid ei mõõdeta nii paljudes jaamades, sai päikesepaiste andmeid järgmiste jaamade kohta: Tallinn-Harku, Jõgeva, Jõhvi, Tartu-Tõravere, Pärnu ja Vilsandi.

Liikluse andmed

Tallinna liiklussageduse andmed saadi Tallinna Transpordiametilt, kes kogub andmeid mootorsõidukite sõitude arvu kohta. Kuna transpordisaastet mõõdab välisõhu seirejaamadest Tallinna Liivalaia tänaval paiknev seirejaam, siis käesoleva töö raames vaadeldi sõitude arvu andmeid Tallinna kesklinna piirkonnas. Tallinna Transpordiamet registreerib sõitude arvu erinevatel Tallinna linna ristmikel, kuid selle töö jaoks valiti välja Gonsiori-Laikmaa, Endla-Koidu-Suur-Ameerika ja Pronksi-Narva-Jõe ristmikud, mis on sobilikud Tallinna kesklinna piirkonna liikluse iseloomustamiseks. Vaadati nädala keskmist sõitude arvu, mis on leitud kolme ristmiku nädala sõitude arvu keskmisena. Tallinna Transpordiametil on oma andmebaasis täielikud sõitude arvu andmed 2016–2020 a. kohta, seepärast vaadeldi sellesse perioodi jäävaid andmeid.

Lisaks vaadeldi sõidukite arvu ja läbisõidu andmeid sõidukite Euroklasside lõikes, mis on juba varasemalt Keskkonnaagentuuri välisõhu inventuuri tööde raames välja arvutatud. Sõidukite arvu ja läbisõidu andmed on 2010–2019 a. kohta ning need hõlmavad eelpool toodud inventuuri andmete alampeatükis kirjeldatud transpordi sektorite andmeid.

Andmete analüüs

Ajaliste muutuste iseloomustamiseks seirejaamades mõõdetud saasteainete aastakeskmistes kontsentratsioonides vaadeldi 2010–2020 perioodi andmeid. Kuna vaadeldav periood on võrdlemisi lühike, siis viidi läbi kirjeldav analüüs. Sama kehtib ka inventuuri heitkoguste andmete kohta, millel on andmed 2010–2019 a. kohta. Seirejaamade mõõtmistes kajastub esmajärjekorras liiklusest ja kohtküttest tulenev mõju. Tööstuse mõju kindlakstegemine seirejaamades mõõdetud saasteainete kontsentratsioonide alusel on keerulisem, sest tööstuse mõju on lokaalne ning saaste paisatakse õhku enamasti kõrgetest korstnatest, mis asuvad seirejaamadest oluliselt eemal ja kõrgemal.

Saasteainete kuulise trendi ning saasteainete ja päikesepaiste hulga vaheliste seoste välja selgitamiseks kasutati statistilist analüüsi, lineaarse regressiooni meetodit. Seoste statistilise olulisuse välja selgitamisel lähtuti p väärtusest. Kui p väärtus jäi alla 0,05, siis loeti näitajate vaheline seos statistiliselt oluliseks.

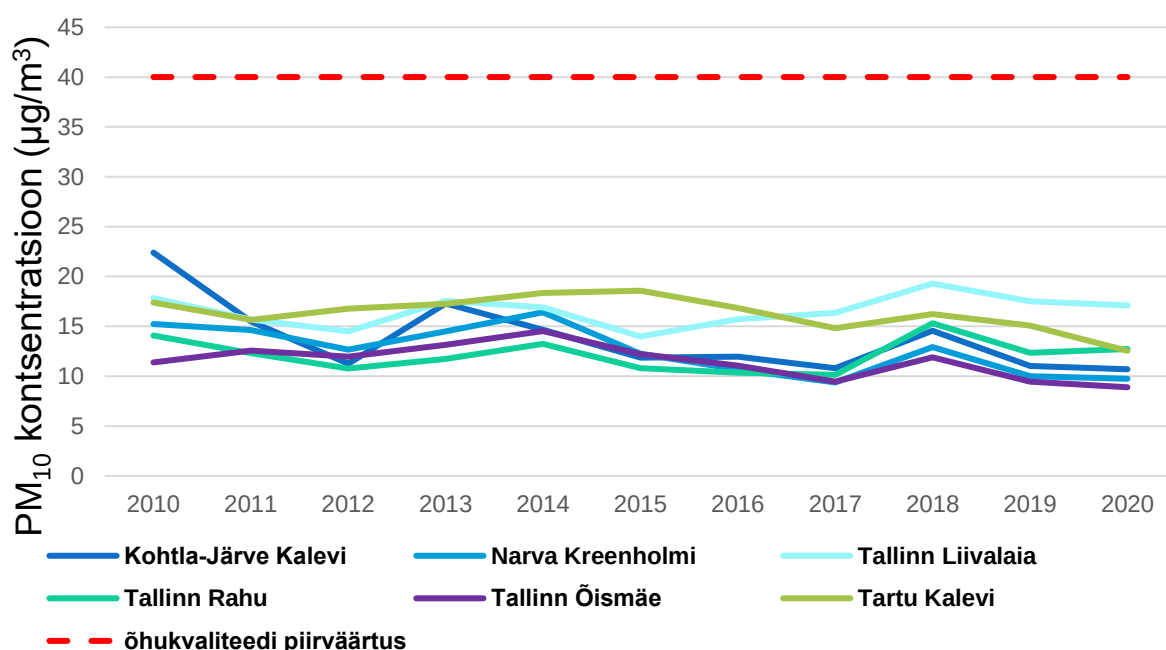
Kõik statistilised analüüsid viidi läbi statistikaprogrammis R (versioon 4.0.4).

Tulemused

Peenosakesed (PM₁₀)

Peenosakeste tekke allikad on nii antropogeensed kui ka looduslikud. Peamised peenosakeste tekke allikad Eestis on seotud puidu põletamisega kodumajapidamistes, mis moodustas 2019 a. 26% peenosakeste koguheitest (Keskkonnaagentuur 2021). Lisaks kodumajapidamistele kaasneb peenosakeste teke veel energia tootmisega (22%) ning ehitus- ja lammutustööde ja kemikaalide kasutamisega (17%) (Keskkonnaagentuur 2021). Looduslikest allikatest nagu metsapõlengud, õhus lendavad eosed ja tolmuterad ning muud taimsed jäänused panustavad pigem vähemal määral peenosakeste tekkesse (Guevera 2016). Viimastel aastatel on märgata peenosakeste heitkoguste vähenemist, mis tuleneb efektiivsemate põletus- ja püüdeseadmete tehnoloogia rakendamisest põlevkivi kasutatavates soojuselektrijaamades (Keskkonnaagentuur 2021). Näiteks uuendas Eesti Energia 2015. a. elektrijaamade elektrifiltreid, mis oluliselt vähendas lendtuha sattumist välisõhku (Eesti Energia 2015).

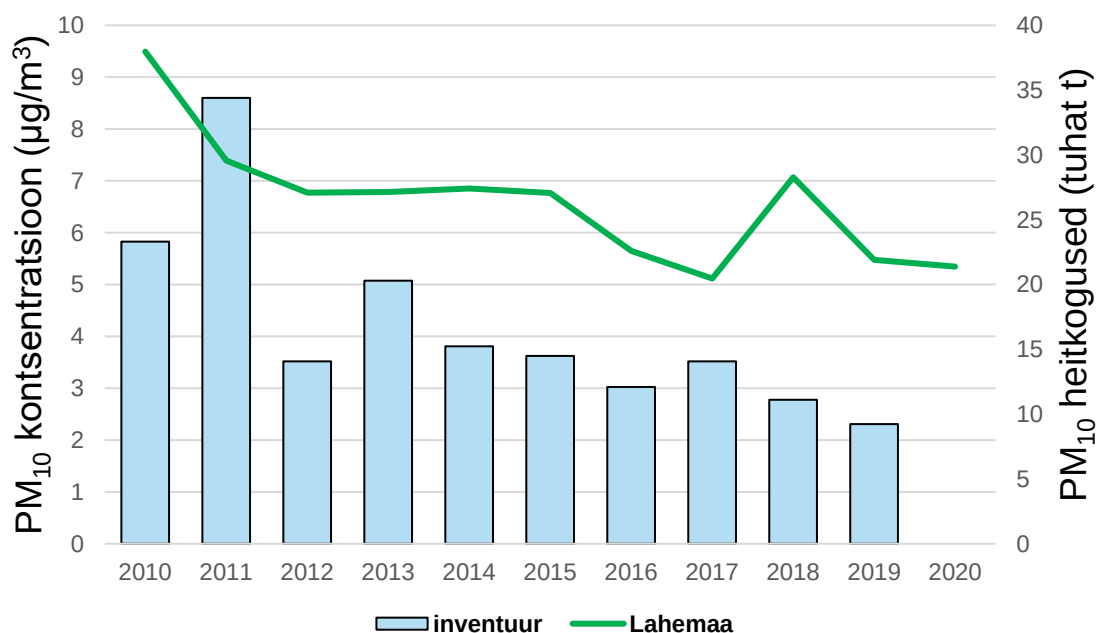
Peenosakeste aastakeskmised kontsentratsioonid on enamasti suurimad linnaõhus, Tartu Kalevi ja Tallinna Liivalaia seirejaamades (joonis 3). Kohtla-Järve ja Tartu puhul on aja jooksul PM₁₀ kontsentratsioonides märgata väikest langust, Tallinna Liivalaia tänava seirejaamas aga pigem tõusu. Samas on muutused kontsentratsioonides nii väikesed, et selget üldist suundumust välja tuua ei saa. Linna seirejaamade mõõtmisi mõjutavad eelkõike kohalikud saasteallikad, milleks on enamasti transport (EKUK 2021a), kuid Tartus ka kohtküte.



Joonis 3. Linnajaamades mõõdetud aastakeskmised PM₁₀ kontsentratsioonid ja seirejaamades kehtiv õhukvaliteedi piirväärtus.

Kõikides seirejaamades mõõdetud aastakeskmised peenosakeste kontsentratsioonid jäävad oluliselt alla kehtestatud aastakeskmist piirväärtust $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jäädes enamasti alla $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Samuti on aja jooksul vähenenud ööpäevakeskmist peenosakeste piirväärtust ületavate mõõtmiste arv, milleks on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ööpäevas ning lubatud ületamiste arv on 35 päeva aastas. Viimati oli probleeme ööpäevakeskmiste piirväärtuste ületamisega Kohtla-Järvel 2010 a., mil peenosakeste ööpäevakeskmised kontsentratsioonid olid 35 päeval piirväärtusest kõrgemad. Hiljem pole üheski seirejaamas nii palju ööpäevakeskmisi ületamisi olnud ning ületuste arv on enamasti jäänud alla kümne päeva aastas.

Taustajaamadest mõõdetakse välisõhust peenosakesi ainult Lahemaa seirejaamas. Linnajaamadega võrreldes on Lahemaal mõõdetud PM_{10} kontsentratsioonid madalamad ning viimastel aastatel väikeses langustrendis (joonis 4). Otsest seost riikliku välisõhu inventuuri PM_{10} heitkoguste ja Lahemaal mõõdetud aastakeskmiste kontsentratsioonide vahel märgata ei ole, kuigi Lahemaale võiks kaugkandega jõuda Ida-Virumaa tööstuspiirkondade PM_{10} heite mõju.

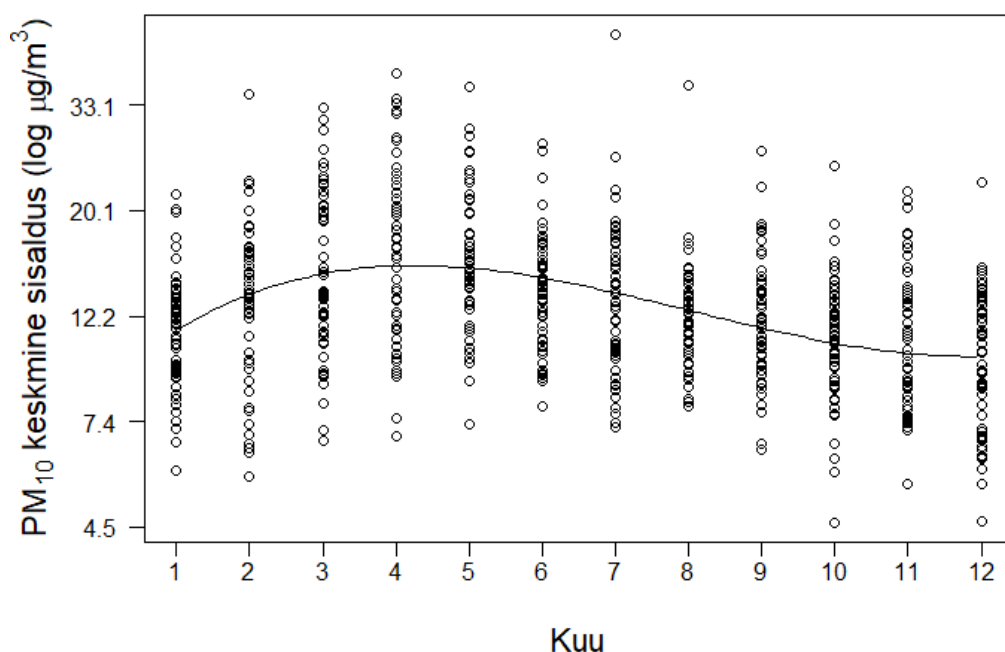


Joonis 4. PM_{10} arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile ja Lahemaal mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.

Vastavalt riiklikule õhusaasteainete heitkoguste inventuurile oli peenosakeste heitkogus 2011 a. oluliselt kõrgem, mille põhjustas elektritootmise suurenemine Balti elektrijaamas (Eesti Energia) ning sealse elektrijaama elektrifiltrite ebaefektiivne töötamine uuele tehnoloogiale üleminekuperioodil (Keskkonnaagentuur 2021). Balti elektrijaamale kõige lähemal asuvas Narva Kreenholmi õhuseirejaamas 2011 a. kõrgemad PM_{10} heitkogused ei kajastu, sest elektrijaama korstnad asuvad seirejaamast oluliselt kõrgemal ja piisavalt eemal, mistõttu elektrijaamast eralduv saastunud õhumass levib seirejaamaga võrreldes oluliselt kõrgemates õhukihtides. Väike langus peenosakeste heitkogustes 2016. a. on peamiselt põhjustatud heite vähenemisest energeetikasektoris ning ehitus- ja lammutustöodes (Keskkonnaagentuur 2018).

2017. a. põletati tööstuslikes katlamajades rohkem puitu, mis kajastus ka natuke kõrgemates peenosakeste heitkogustes (Keskkonnaagentuur 2019). 2018. a. PM_{10} heitkogused vähenesid seoses puidu põletuskoguste vähenemisega (Keskkonnaagentuur 2020).

2018 a. on kõigis seirejaamades märgata aastakeskmistes PM_{10} kontsentratsioonides väikest tõusu (joonis 3 ja 4), mida võiks seostada võrdlemisi kuiva aastaga (Eesti aastane sajusumma oli 512 mm, keskmine 42 mm kuus) ning suurema tolmu hulga õhus. Sellesse aastasse jääb ka üks viimase kümnendi suurimaid metsapõlenguid, mis hõlmas Vikipalus 200 hektari suurust ala. PM_{10} kontsentratsioonide puhul on näha olulist sesoonset trendi (kohandatud $R^2 = 0,18$; $p < 0,0001$), kus kõrgemad kontsentratsioonid läbi aastate ilmnevad kevadel märtsist maini (joonis 5). Peenosakeste kontsentratsioon on suurem kevadperioodil, kui välisõhus on palju kütumishooajal eraldunud ning linnakeskkonda sadenenud osakesi, mis kevadisel kuival ajal tuulega uuesti maapinnalt õhku tõstetakse. Osakeste kontsentratsioone välisõhus aitab oluliselt vähendada kevadine linnatänavate pesemine.

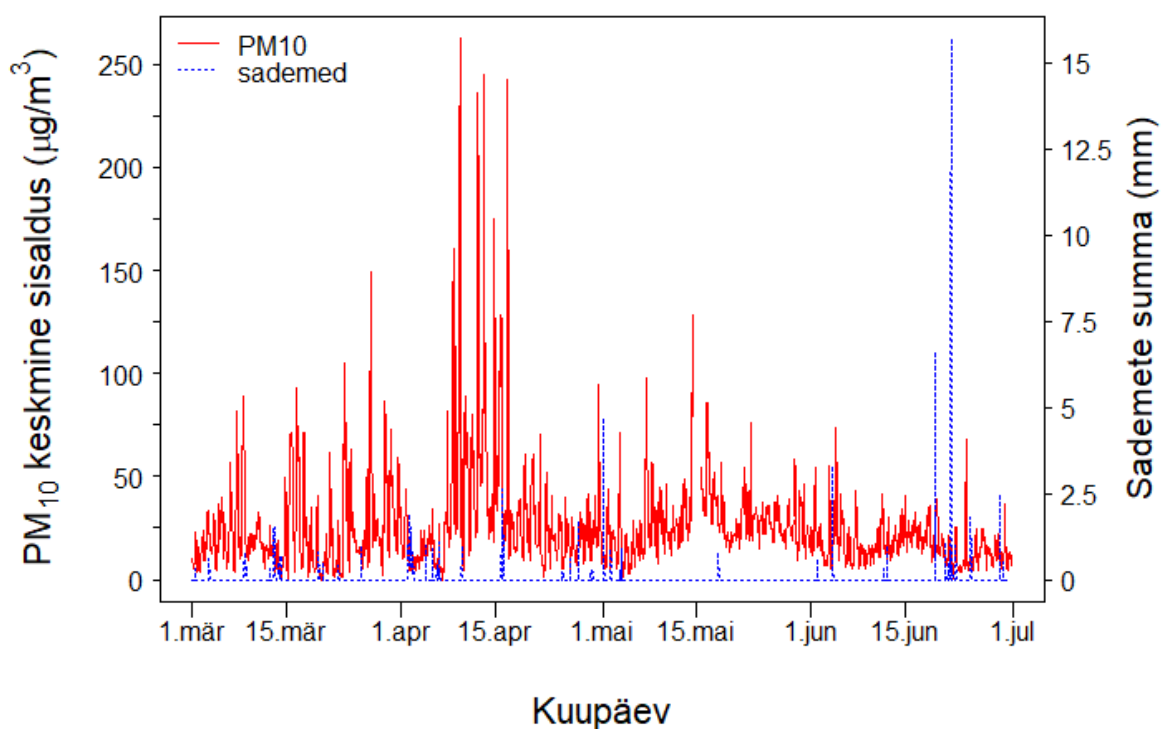


Joonis 5. PM_{10} sesoonne trend kõikide seirejaamade andmete alusel.

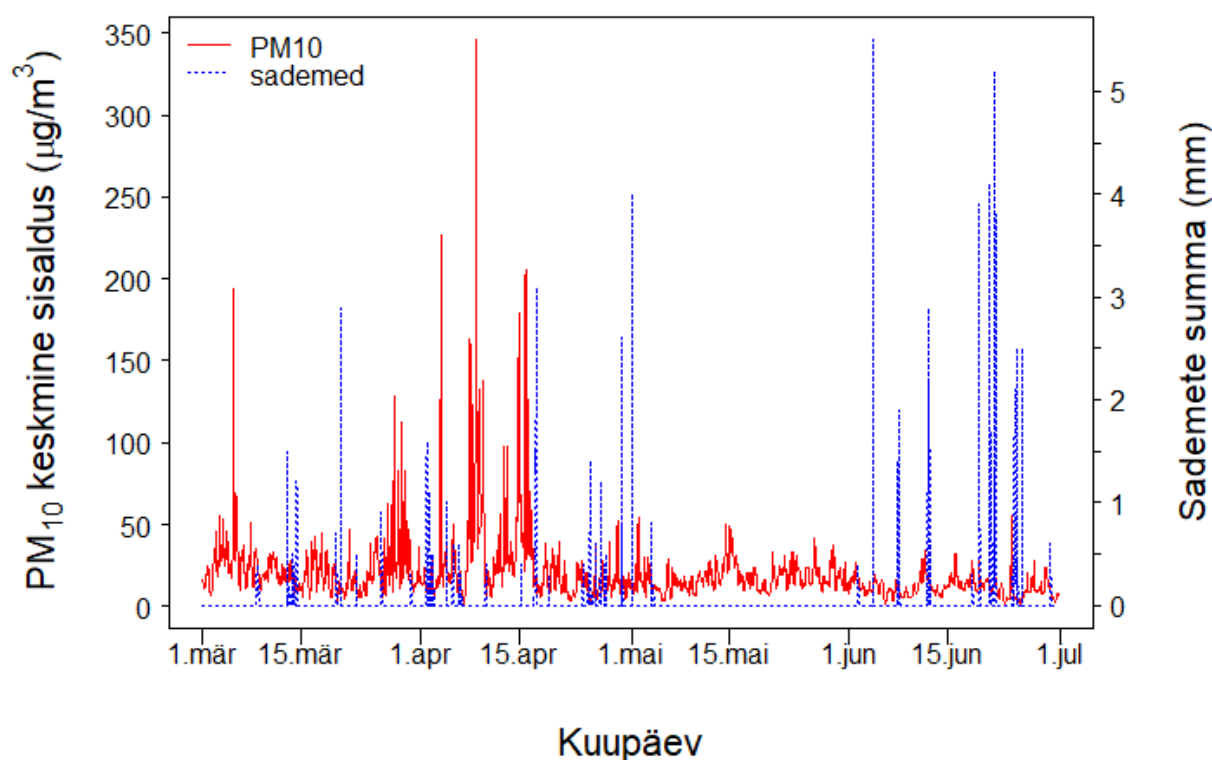
2018. a. kõrgeimad kuukeskmised PM_{10} kontsentratsioonid jäid samuti kevadesse, aprilli (Tartu, Tallinna Liivalaia seirejaam) ja mai kuusse (ülejäanud seirejaamad). Kuigi aprillikuu oli 2018 a. võrdlemisi niiske, Eesti keskmine aprilli sajuhulk oli 41 mm (134% normist), oli maikuu väga kuiv (keskmine sajuhulk oli 17 mm, mis on 41% normist). 2018. a. mõõdeti Tallinna Liivalaia seirejaamas kõrgeimad tunnikeskmsed PM_{10} kontsentratsioonid 9.-16. aprillil, mil sademete hulk oli minimaalne (joonis 6). Sarnaselt on 2018. a. Tartu Kalevi seirejaama tunnikeskmistes PM_{10} kontsentratsioonides näha suuremaid piike ajavahemikul, mil sademete hulk on madalaim (joonis 7). **Joonistelt 6 ja 7 on näha, kuidas sademed avaldavad mõju õhus oleva saaste vähenemisele.** Sademed pesevad osakesed õhust välja, kuid kuivade ilmadega ja sobivatel tingimustel lenduvad need uuesti välisõhku. **Lisaks mõjutavad sademed olulisel määral peenosakeste heidet teekattelt.** Niiske teekattega ei lendu teekatte kulumisel

tekinud osakesi ja samuti lendub vähem rehvide kulumisest tulenevaid osakesi. Eriti oluliselt mõjutab teekatte niiskus naastrehvide kasutamise ajal teekatte kulumisest pärinevate osakeste heitkoguseid. Seda on selgelt näha kevadisel kuival perioodil, kus peenosakeste tasemed võivad kerkida tavapärasest mitmeid kordi kõrgemale.

Peenosakeste tekkeallikad on mitmekesised ning on võimalik, et seirejaamades mõõdetud tulemustes ei kajastu nii selgelt ainult kütmisest tulenev mõju. Arvatavasti on oluline roll ka liikluses tekkival tolmul, millele viitavad kõrgemad kontsentratsioonid Tallinna Liivalaia tänaval (joonis 3).



Joonis 6. Tallinna Liivalaia seirejaamas mõõdetud tunnikeskmine PM₁₀ sisaldus ja sademete hulk Harku ilmajaamas 2018. a. kevadel.

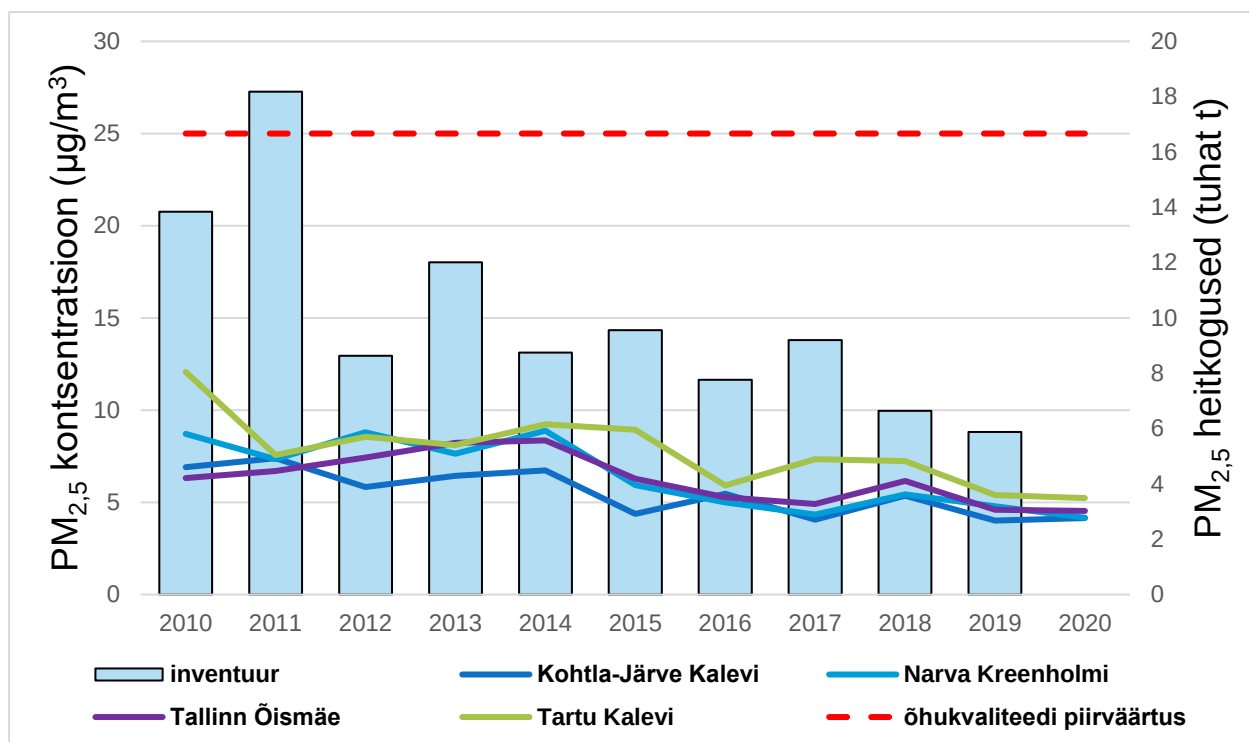


Joonis 7. Tartu Kalevi seirejaamas mõõdetud tunnikeskmine PM₁₀ sisaldus ja sademete hulk Tartu-Tõravere ilmajaamas 2018. a. kevadel.

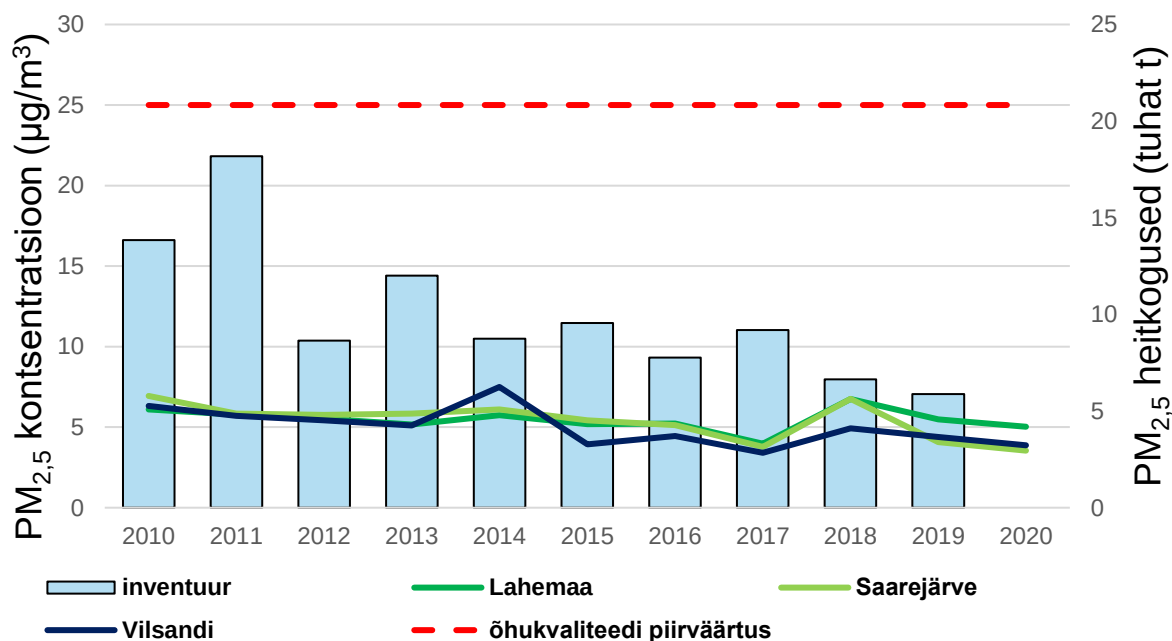
Eriti peened osakesed (PM_{2,5})

Eriti peened osakesed tekivad peamiselt põlemisprotsesside tagajärjel. 2019. a. tekkis enim eriti peeneid osakesi puidu põletamisega kodumajapidamistes (39%). Teised olulised allikad olid energia tootmine (23%) ning tööstuslik põletamine (21%). Tööstuslikul põletamisel tekib PM_{2,5} heide eelkõige biomassi põletamisest. (Keskkonnaagentuur 2021)

Eriti peenete osakeste heitkogustes on aja jooksul märgata tunduvalt suuremat langustrendi võrreldes seirejaamades mõõdetud kontsentratsioonidega (joonis 8 ja 9), millele on kaasa aidanud efektiivsemate põletus- ja püüdeseadmete paigaldamine põlevkivil töötavates soojuselektrijaamades ning elektri- ja soojuse tootmismahdade vähenemine (Keskkonnaagentuur 2021). Oluliselt kõrgem eriti peenete osakeste heitkogus 2011 a. on seletatav elektritoodangu kasvuga sel aastal, kuid peamiseks põhjuseks oli siiski Balti elektrijaama kahe energiaploki elektrifiltri ebaefektiivne töötamine tööstusheite direktiivi nõuetest tulenevalt uuele tehnoloogiale ülemineku perioodil (Keskkonnaagentuur 2021). Natuke kõrgemad eriti peenete osakeste heitkogused 2015 ja 2017 a. on seotud puidu põletamise suurenemisega tööstuslikes katlamajades, kuid enamasti on aja jooksul näha PM_{2,5} heitkoguste vähenemist, peamiselt soojuselektrijaamade põletus- ja püüdeseadmete efektiivsuse suurenemise tõttu (Keskkonnaagentuur 2019).



Joonis 8. PM_{2,5} arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile, välisõhu linnajaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid ning seirejaamades kehtiv õhukvaliteedi piirväärtus.



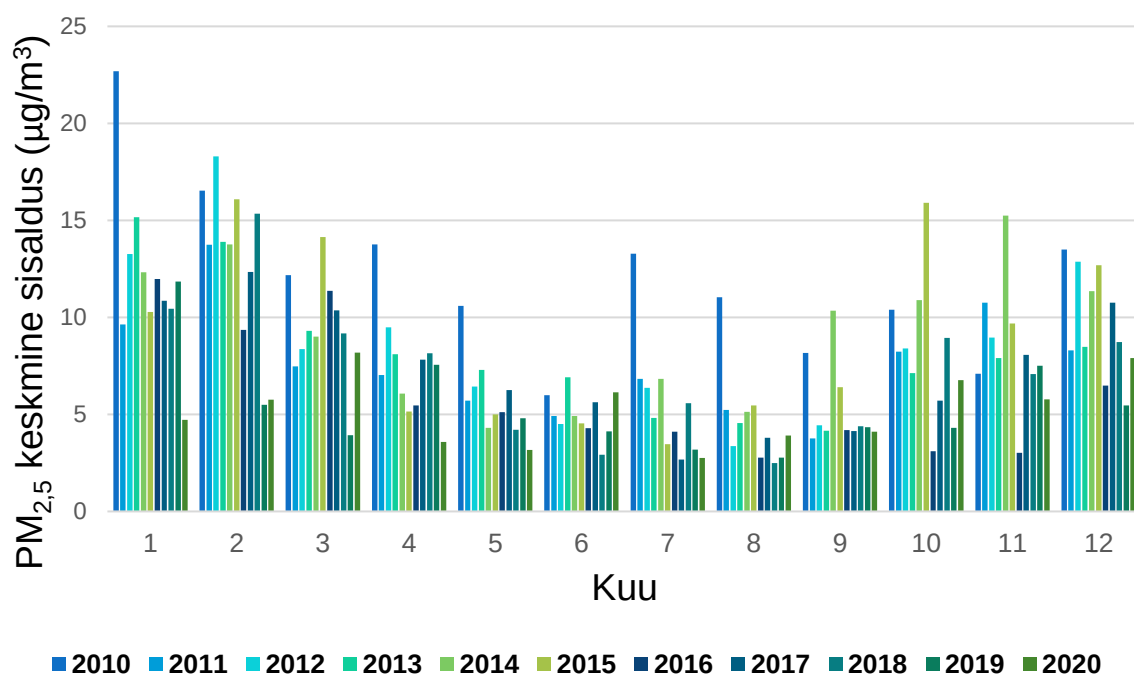
Joonis 9. PM_{2,5} arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile, välisõhu taustajaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid ning seirejaamades kehtiv õhukvaliteedi piirväärtus.

Linnaõhus olevad eriti peened osakesed on Maailma terviseorganisatsiooni (WHO) poolt määratletud kantserogeenseks saasteaineks ning nende sisaldus välisõhus vajab suurimat tähelepanu. Vajadus efektiivsemate ja keskkonnasõbralikemate tehnoloogiate järele energiatootmises tuleneb erinevate meetmetega kehtestatud karmimastest piirangutest eriti peenete osakeste heitkogustele. **2016. a. lõpus jõustunud NEC-direktiiviga 2016/2284 kaasnesid kohustused vähendada 2020. a. võrreldes 2005. a. baastasemega PM_{2,5} heitkoguseid 15% võrra. Need nõuded olid täidetud juba 2019. a. kui PM_{2,5} heitkoguseid oli võrreldes baasaastaga vähendatud rohkem kui kolm korda (55%)** (Keskkonnaagentuur 2021).

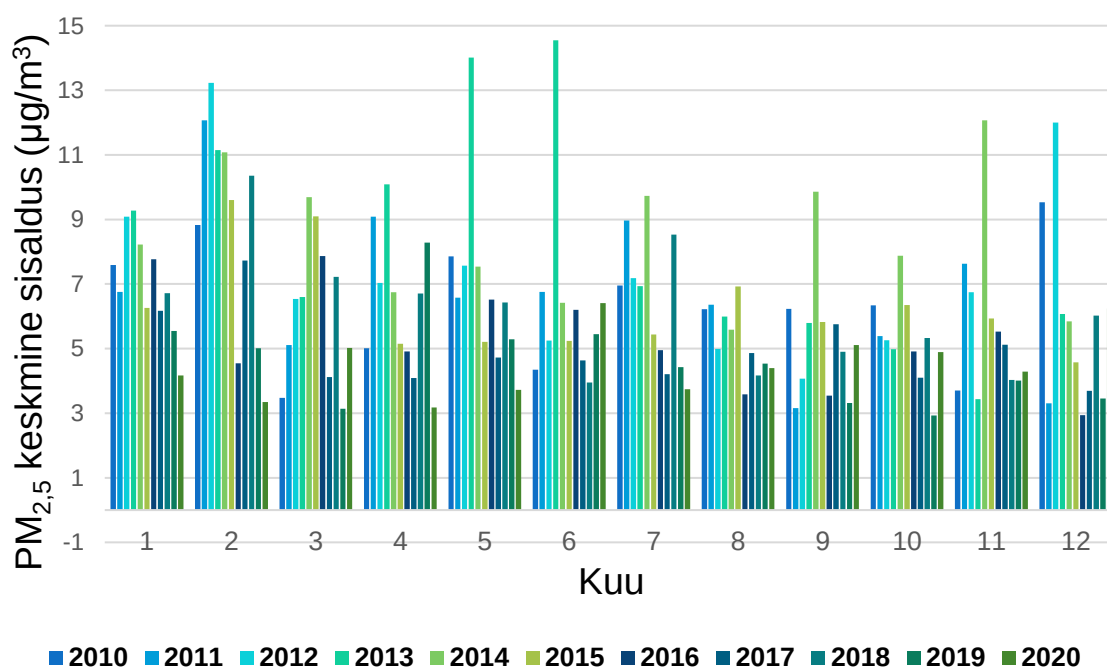
Seirejaamade PM_{2,5} mõõtmistulemused jäävad uuritava perioodil (2010–2020 a.) oluliselt alla aastakeskmist kehtestatud piirväärtust 25 µg/m³. Taustajaamade mõõtmistulemused on vaid veidike madalamad linnas mõõdetud PM_{2,5} kontsentratsioonidest, mis võib viidata kaugkande mõjule või inimtekkelistele allikatele taustaaladel või looduslikele allikatele linnades (EKUK 2021a).

Peamiseks eriti peenete osakeste allikaks võib pidada kohtküttest tulenevat mõju, mis tuleb kõige selgemalt esile Tartu Kalevi seirejaamas mõõdetud kõrgemates PM_{2,5} kuukeskmistes kontsentratsioonides talvekuudel, mil kütmine on kõige intensiivsem (joonis 10). Sarnast sesoonset trendi pole aga märgata Tallinna Õismäe seirejaama PM_{2,5} mõõtmistulemustes, kus kütmine toimub kaugküttega (joonis 11). Erinevused PM_{2,5} kuukeskmistes sisaldustes eri aastate vahel võivad olla mõjutatud nii madalatest temperatuuridest talvisel ajal kui sademete vähesusest. **Kõrgeimaid kuukeskmisi kontsentratsioone Tartus 2010. a. jaanuaris võib seostada eriti külma talvega ning sellest põhjustatud suurema kütmisvajadusega. Tartu 2010. a. jaanuarikuu on võrreldes kõigi hilisemate aastatega oluliselt külmem, kuukeskmise temperatuur -14°C, kõigil ülejäänud aastatel on jaanuari kuukeskmise temperatuur olnud alla -10°C (2020 a. +3°C). Ka Tallinnas Õismäel 2010 ja 2012 a. detsembrikuus mõõdetud kõrgemad PM_{2,5} kuukeskmised kontsentratsioonid tulenevad arvatavasti keskmiselt külmemast talvest ja suuremast kütmisest, sest neil mõlemal aastal on olnud detsembri kuukeskmise temperatuur madalam kui -6°C, samal ajal kui kõigil ülejäänud kaheksal aastal on see jäänud vahemikku -2°C kuni +3°C. 2014. a. kõrgemat PM_{2,5} kontsentratsiooni ei saa otseselt seostada madalamate temperatuuridega, pigem võib see olla tingitud madalamast sademete hulgast sel kuul (37 mm sademeid, teistel aastatel samas kuus 50-95 mm, 2018-2019 a. ka alla 30 mm). Õismäel 2013. a. mai- ja juunikuus mõõdetud kõrgeid PM_{2,5} kontsentratsioone võib mõningal määral samuti seostada sademete vähesusega (maikuus 21 mm, juunikuus 55 mm), samas esines veel vähem sademeid (alla 13 mm) 2016-2018 a. maikuus, kuid neil aastatel kõrgemaid PM_{2,5} kuukeskmisi sisaldusi märgata ei ole. Arvatavasti võib kohalikes heiteallikates aastati esineda teatud erisusi, mida ilmastiku tingimused seletavad vaid osaliselt.**

Õismäel jäävad PM_{2,5} kontsentratsioonid Tartu tasemetest siiski natuke madalamaks, mis näitab, et kohtkütteil on Tartus oluline roll PM_{2,5} heites. Kohtküttest tulenevat PM_{2,5} heitkogust saaks vähendada kodumajapidamiste ühendamisega kaugküttevõrgustikku.



Joonis 10. PM_{2,5} kuukeskmine kontsentratsioon Tartu Kalevi seirejaamas 2010-2020 a.



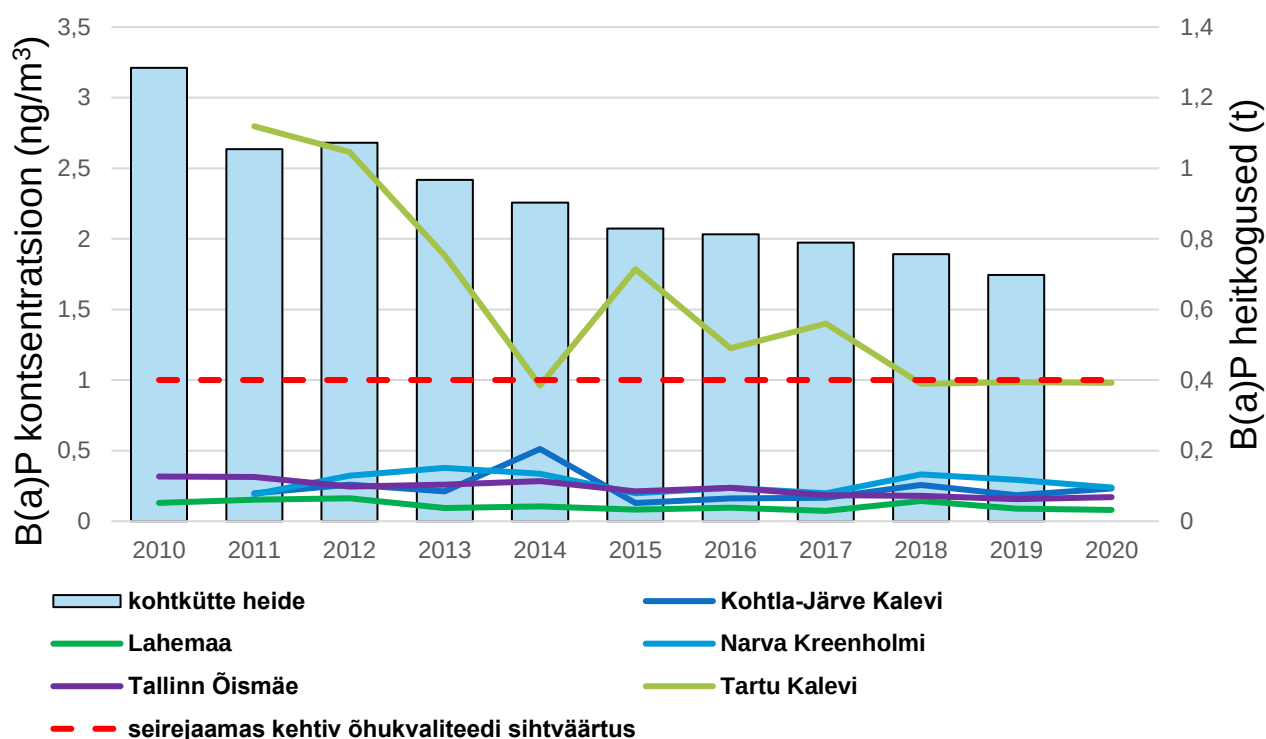
Joonis 11. PM_{2,5} kuukeskmine kontsentratsioon Tallinna Õismäe seirejaamas 2010-2020 a.

Benso(a)püreen (B(a)P)

Benso(a)püreen tekib fossiilsete kütuste (eriti diisli) ja puidu põletamisel. Benso(a)püreeni peamiseks saasteallikaks on puidu põletamine kodumajapidamistes. Välisõhu inventuuri andmetel moodustab kodumajapidamiste kütmine keskmiselt 84% kogu benso(a)püreeni

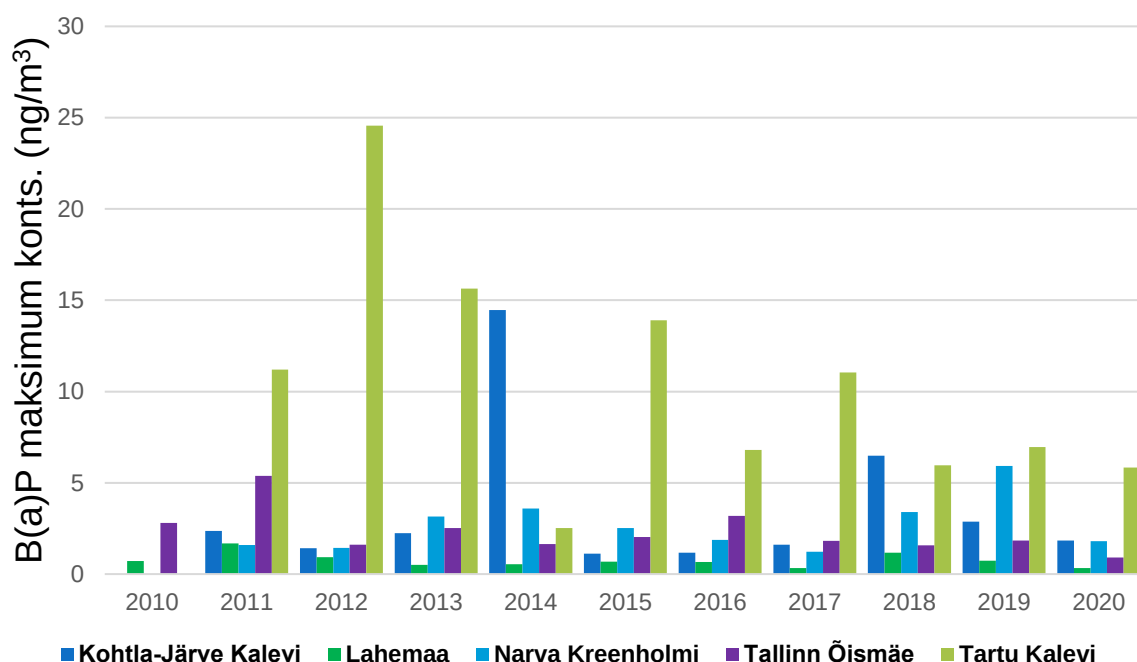
heitkogustest, kuid selle osakaal on aja jooksul natuke vähenenud (2010. a. võrreldes umbes 10%). Mõningal määral, kuid oluliselt vähem, tekib benso(a)püreeni ka energiatööstuses ja tööstusliku põletamise käigus. Tulenevalt energiatootmise vähenemisest ning uute efektiivsemate tehnoloogiate kasutuselevõtust on benso(a)püreeni heitkogused tööstuslikest allikatest aja jooksul vähenenud. (Keskkonnaagentuur 2021)

Benso(a)püreenile on välisõhus kehtestatud aastakeskmise sihtväärtus 1 ng/m^3 . **Varasematel aastatel on olnud pidevalt probleeme benso(a)püreeni aastakeskmiste sihtväärtuste ületamisega välisõhus Tartus** (joonis 12). Peamiseks B(a)P saasteallikaks Tartus on kohtküte ning oluliselt väiksem mõju on kohalikel suurtel punktreaostusallikatel ja linna transpordil (Tartu Linnavalitsus 2019). Ühtlasi viitavad ka kõrgemad mõõdetud benso(a)püreeni kontsentratsioonid külmemal talvisel ja varakevadisel ajal kütmisega seotud allikatele, sest B(a)P kontsentratsioonid on madalaimad suvel.



Joonis 12. B(a)P arvutuslikud kohtküttest põhjustatud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile ja seirejaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.

Võrreldes Tartuga on teistes linnaõhu seirejaamades mõõdetud benso(a)püreeni kontsentratsioonid tunduvalt madalamad. Selle erinevuse peamiseks põhjuseks on Tartu mõõdejaama paiknemine intensiivse kohtküttega piirkonnas. Ühtlasi asub Tartu linn jõeorus, mis tähendab kehvemaid hajumistingimusi. Tartust tunduvalt madalamad on ka teistes seirejaamades mõõdetud maksimaalsed ööpäevakeskmised B(a)P kontsentratsioonid (joonis 13). Samas on ka Tartu seirejaamas näha benso(a)püreeni maksimaalsete ööpäevakeskmiste kontsentratsioonide langust.



Joonis 13. Seirejaamades mõõdetud aasta maksimaalsed B(a)P päevased kontsentratsioonid.

Lämmastikoksiidid (NO_x)

Lämmastikoksiidide all mõeldakse enamasti lämmastikoksiidi (NO) ja lämmastikdioksiidi (NO₂). Peamiselt tekib kütuste põletamisel lämmastikoksiid, mis osooniga reageerides moodustab lämmastikdioksiidi. Peamiseks lämmastikoksiidide saasteallikateks Eestis on liiklus ja energiatööstus (EKUK 2021a). Eestis tekkis 2019 a. enim lämmastikoksiide transpordis (27%), energiatööstuses (24%) ning mittetööstusliku põletamise käigus (20%) (Keskkonnaagentuur 2021).

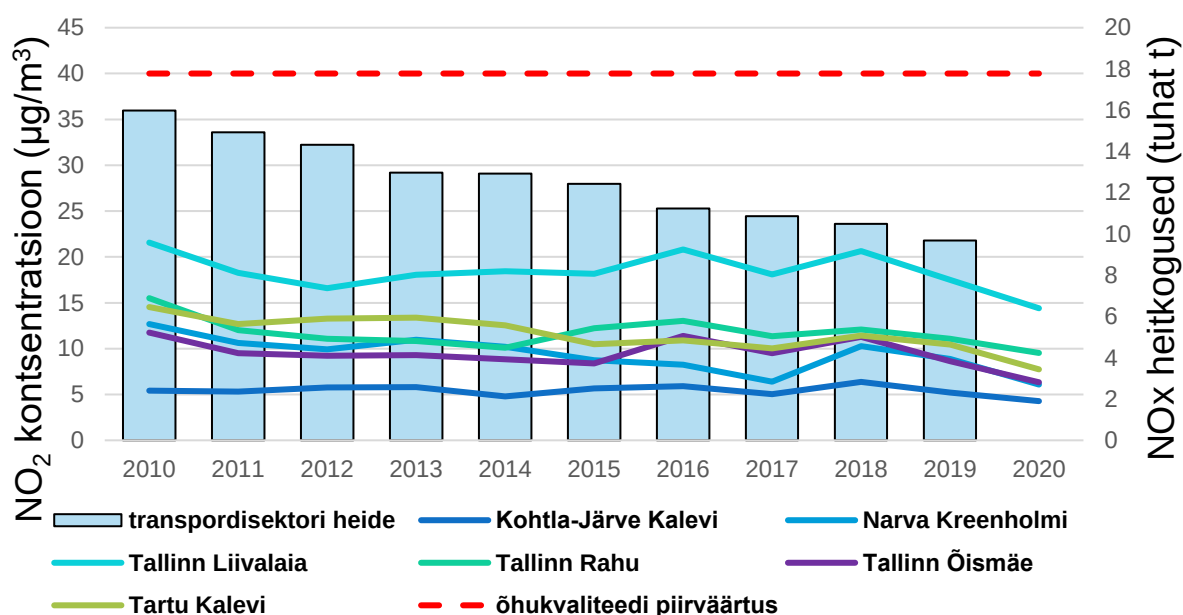
NEC-direktiivi 2016/2284/EL kohaselt peab baasaastaga (2005 a.) võrreldes lämmastikoksiidide heitkoguseid 2020 a. vähendama 18% võrra ning 2030. aastaks 30% võrra. 2005. a. võrreldes vähenesid NO_x heitkogused 2019. aastal 40% võrra. Lisaks on NO_x heitkoguste pikemaajalisele vähenemisele mõju avaldanud tööstusheite direktiiviga 2010/75/EL kehtestatud rangemad piirangud, mille kohaselt ei tohi suure põletusseadme heitgaaside NO_x kontsentratsioon ületada alates 2016 a. 200 mg/Nm³. Selle nõude täitmine on oluliselt vähendanud lämmastikoksiidide heidet, mistõttu elektritoodangu kasvu mõju ei ole heitele enam nii tugev kui varasematel aastatel (Keskkonnaagentuur 2019). Eesti Energia paigaldas 2012 a. lämmastiku püüdmissaadmed Eesti elektrijaamale (Keskkonnaagentuur 2020) ning jätkas oma elektrijaamades püüdmissaadmete paigaldamist 2013–2016 a. (Eesti Energia 2015, 2016). Selle tulemusel vähenesid Eesti Energia lämmastiku heitkogused varasemate aastatega võrreldes ligi kaks korda (Eesti Energia 2015, 2016). Lisaks on viimastel aastatel (2018–2019) elektri- ning soojustoodangu vähenemisega kaasnenud langus ka NO_x heitkogustes (Keskkonnaagentuur 2020, 2021).

Kuigi energiatööstuses tekib arvestataval määral lämmastikoksiidide heidet, ei kajastu see siiski nii selgelt linna seirejaamade mõõtmistulemustes. Selle peamiseks põhjuseks on asjaolu, et

elektrijaamades väljutatakse NO_x kõrgetest korstnatest ning see pigem ei mõjuta maapinnast 2,5-4 meetri kõrgusel olevat õhukvaliteeti, mida seiratakse õhuseirejaamades. Seepärast on linna seirejaamades olulisem vaadata transpordisektoris tekkivat NO_x heidet ja selle mõju mõõdetetulemustele.

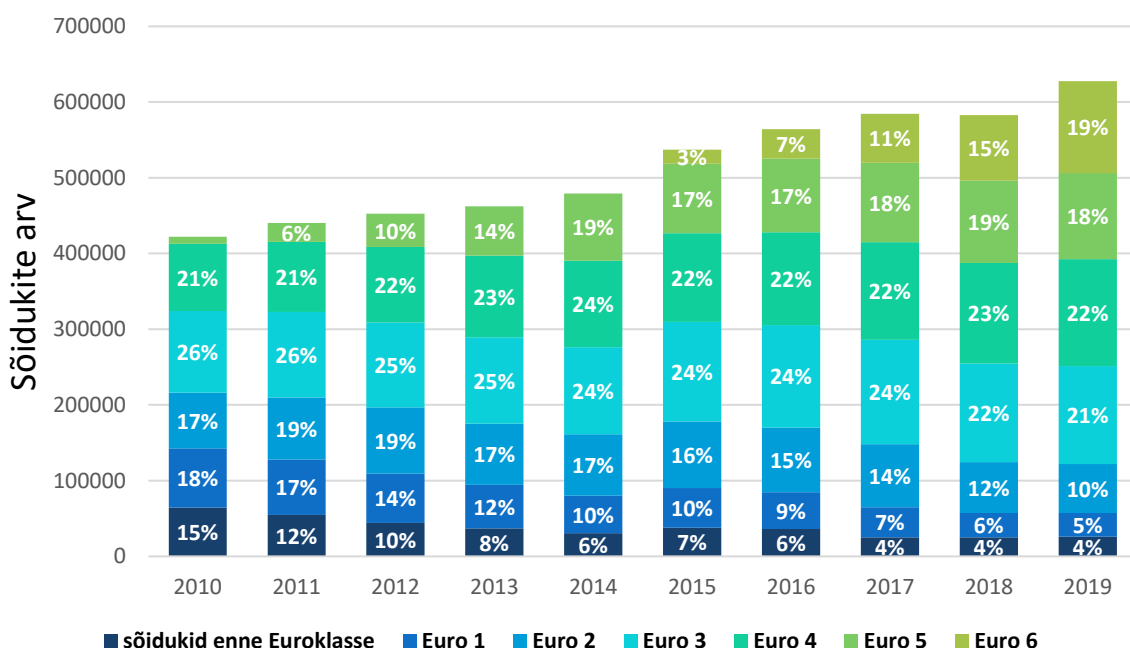
Transpordi mõju linnajaamades

Vaatamata sellele, et transpordisektorist tulenevad lämmastikoksiidide (NO_x) heitkogused on viimase kümne aasta jooksul vähenenud, pole linna seirejaamades lämmastikdioksiidi (NO₂) kontsentratsioonides langustrendi märgata, v.a paaril viimasel aastal (joonis 14).



Joonis 14. NO_x arvutuslikud transpordisektoris tekkivad heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile, linna seirejaamades mõõdetud NO₂ aastakeskmised kontsentratsioonid ning seirejaamades kehtiv õhukvaliteedi piirväärtus.

Kõige kõrgemad linnajaamades mõõdetud lämmastikdioksiidi kontsentratsioonid on Tallinna Liivalaia seirejaamas, kus mõõdetakse eelkõige transpordist pärit saasteainete sisaldusi välisõhus. Sealsed NO₂ kontsentratsioonid jäävad siiski oluliselt alla kehtestatud aastakeskmist piirväärtust 40 µg/m³. Samuti pole viimase kümne aasta jooksul mõõdetud ühtegi tunnikeskmist piirväärtust 200 µg/m³ ületavat NO₂ kontsentratsiooni. Alates 2019. aastast toimunud väikest langust seirejaamade NO₂ kontsentratsioonides võib eelkõige seostada autopargi püsivast uuenemisest tingitud mõjuga (joonis 15), peamiselt seoses üha karmimaks muutunud piirangutele sõiduautode heitgaasidele (Keskkonnaagentuur 2021), mis on esitatud tabelis 1.



Joonis 15. Eesti liikluses osalevate sõidukite arvu muutus aastatega Euroklasside lõikes.

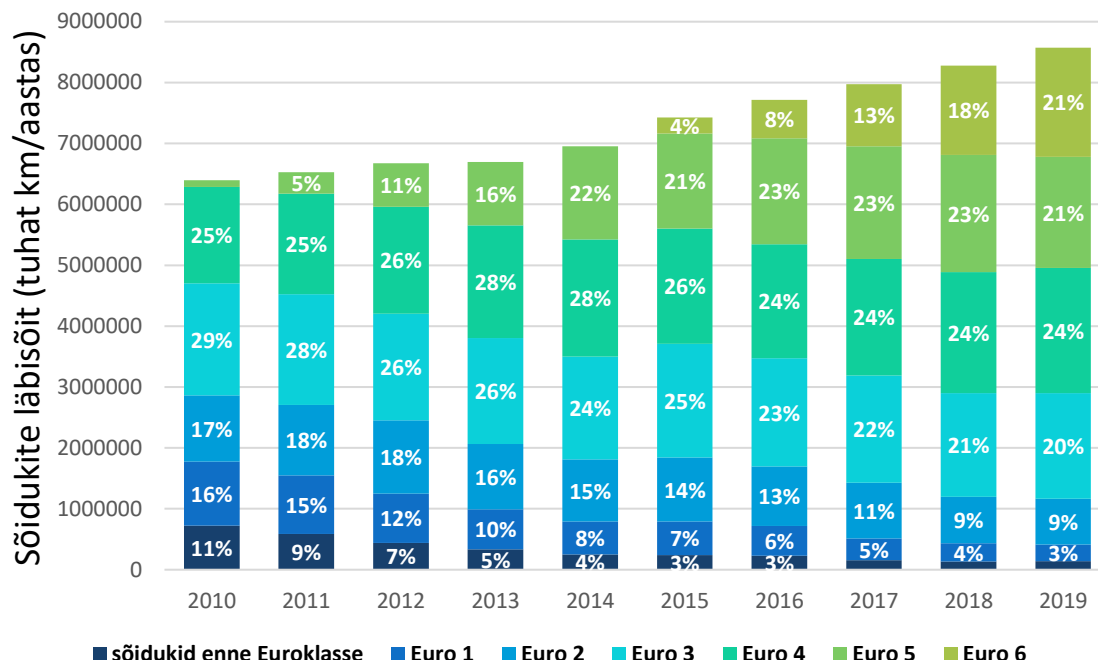
2016 a. Euroopa Keskkonnaagentuuri poolt koostatud transpordisektori saastet käsitlevas ülevaates on välja toodud, et bensiiniautode puhul on NO_x heitkogused karmistunud piirangute tagajärjel küll vähenenud, kuid diiselautodel pole sarnast langustrendi märgata (EEA 2016). Samas tuleb arvestada, et kuni Euro 6 standardini oli diiselsõidukitel lubatud NO_x heitkoguste piirväärtus kuni 3 korda kõrgem bensiiniautodele kehtestatud. Lisaks võivad Euro 6 standardile vastavad diiselautod tegelikes tingimustes seitse korda rohkem NO_x heitkoguseid toota kui testtingimustes (EEA 2016).

Tabel 1. Aastatega sõidukitele kehtestatud Euro heitestandardid (g/km) (Allikas EEA 2016).

Heite-standard	Jõustumise aeg	Bensiin			Diiseli		
		NO _x	PM	CO	NO _x	PM	CO
Euro 1	1992 juuli	-	-	2,72	-	0,14	2,72
Euro 2	1996 jaanuar	-	-	2,2	-	0,08	1,0
Euro 3	2000 jaanuar	0,15	-	2,3	0,50	0,05	0,64
Euro 4	2005 jaanuar	0,08	-	1,0	0,25	0,025	0,50
Euro 5	2009 september	0,06	0,005	1,0			
Euro 5a	2009 september				0,18	0,005	0,5
Euro 5b	2011 september				0,18	0,005	0,5
Euro 6	2014 september	0,06	0,005	1,0	0,08	0,005	0,5

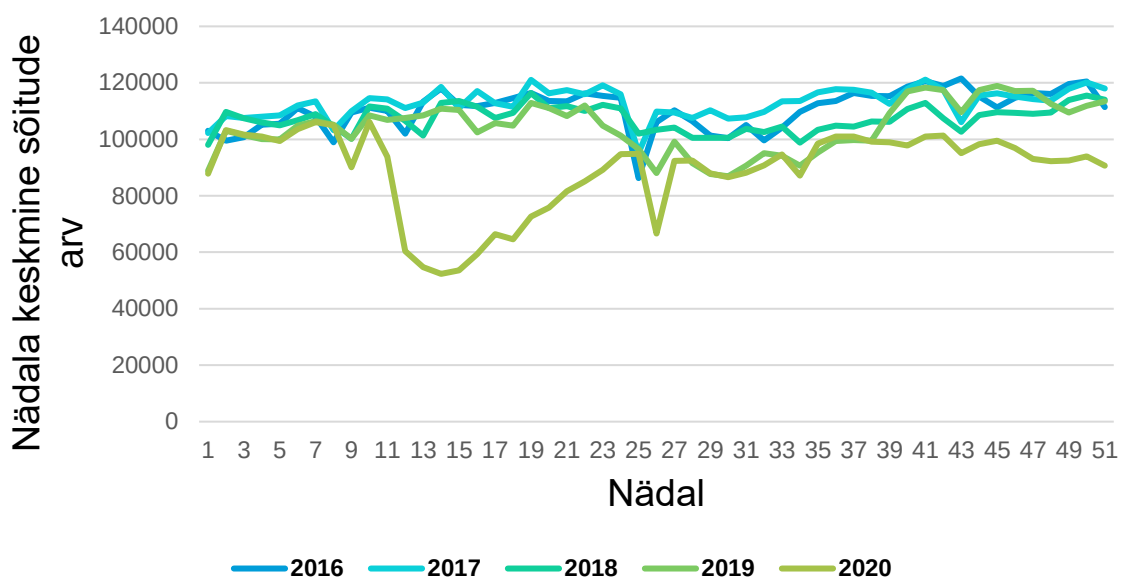
Ühtlasi peab sõidukitele kehtestatud üha karmimate standardite puhul arvestama, et üleminek uute sõidukite kasutamisele toimub järk-järgult ning muutused ei pruugi koheselt heitkogustes ning seirejaamade mõõtmistulemustes kajastuda. Uuematest Euroklassi sõidukitest suurenes

Euro 5 sõidukite arv ja läbisõidu osakaal alates 2014. a. Aasta hiljem tulid kasutusele Euro 6 sõidukid, mil nende osatähtsus autopargis oli veel marginaalne. Alates 2016 a. on Euro 6 sõidukite ning läbisõidu osakaal järjepidevalt kasvanud (joonis 15 ja 16).



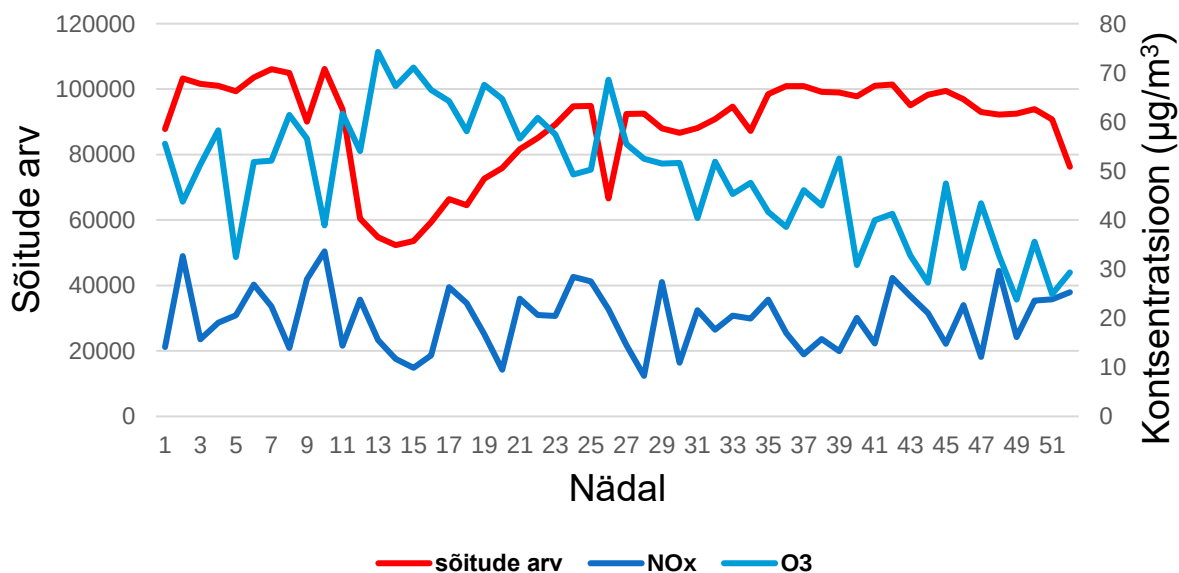
Joonis 16. Eesti liikluses osalevate sõidukite läbisõidu muutus aastatega Euroklasside lõikes.

Viimastel aastatel Tallinnas Liivalaia seirejaamas mõõdetud madalamad NO₂ kontsentratsioonid võivad olla põhjustatud ka mõningasest langusest liiklussageduses Tallinna kesklinna piirkonnas, eriti just 2020 a. (joonis 17). Joonis 15 ja 16 kohaselt on nii autode kui ka läbisõidetud kilomeetrite arv pidevas kasvutrendis, mistõttu läheb uuemate ja puhtamate autode kasutuselevõtu mõju õhukvaliteedile osaliselt kaduma. Samas võib osa suurenenud sõidukite arvust ning sõidetud kilomeetritest olla koondunud pigem linna serva. Kuigi sõidukite arv ja autode läbisõit on ajas kasvanud on keskmine kilomeetrite hulk auto kohta siiski kahanenud. Tugev langus 2020 a. sõitude arvus alates 12 nädalast võib seostada COVID-19 mõjuga, ja eriolukorra kehtestamisega Eestis. Sel perioodil olid inimesed sunnitud rohkem kodus viibima ning kasutasid vähem transporti.



Joonis 17. Tallinna kesklinna piirkonna keskmine sõitude arv nädalas.

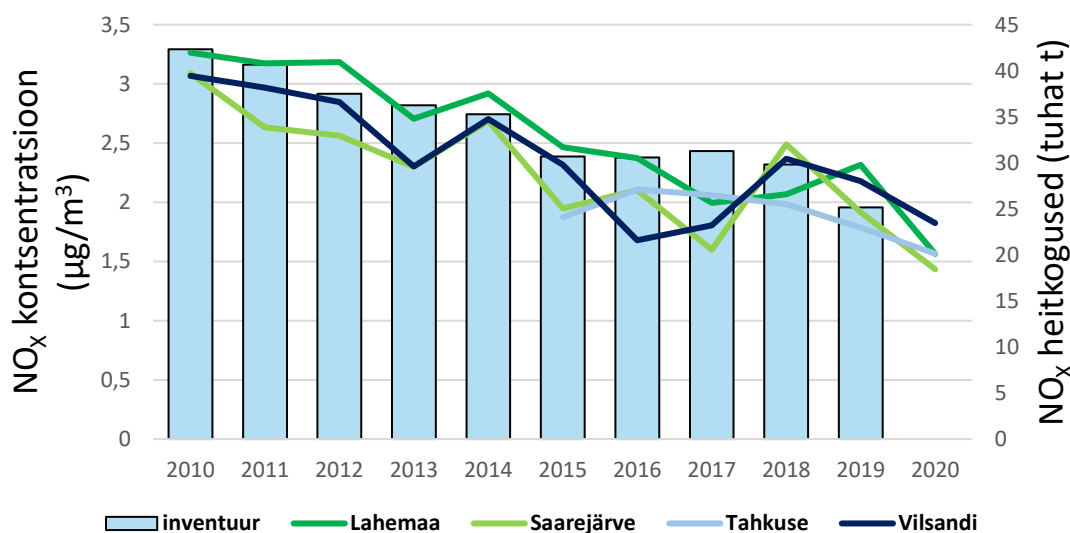
Tallinna kesklinna piirkonna liiklussageduse languse mõju on märgata ka mõõdetud madalamates NO_x kontsentratsioonides Tallinna Liivalaia seirejaamas samal perioodil (joonis 18). Ka mujal Euroopas oli sel ajal märgata NO_x kontsentratsioonide langust seirejaamades, mida seostatakse COVID-19 tulenevate piirangutega (EEA 2020). Ühtlasi on jooniselt 18 näha ka lämmastikoskiidide ja osooni omavaheline pöördvõrdeline seos, mida madalam on NO_x kontsentratsioon välisõhus, seda kõrgem osooni sisaldus.



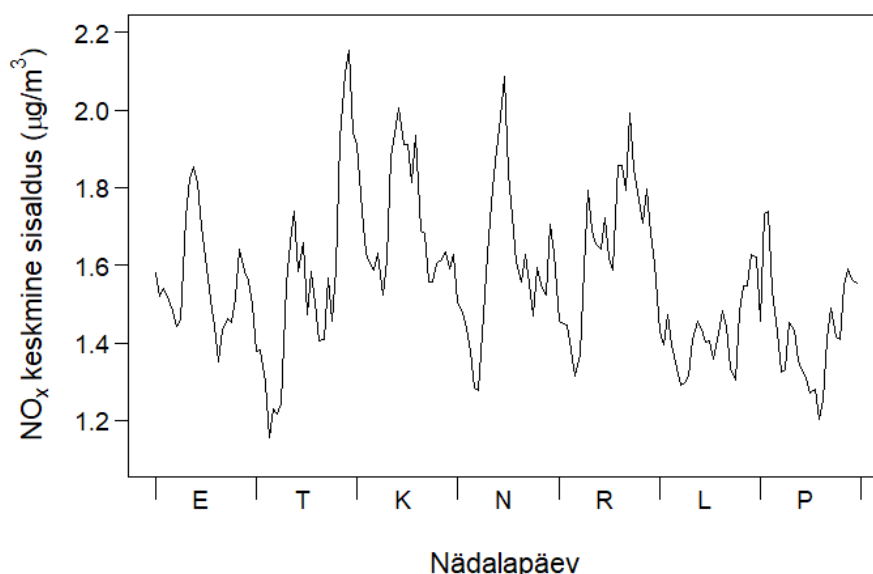
Joonis 18. Tallinna kesklinna piirkonna keskmine sõitude arv nädalas ja NO_x ja O_3 nädala keskmised kontsentratsioonid Liivalaia seirejaamas (2020 a.).

Maapiirkonna taustajaamad

Kõigis taustajaamades on lämmastikoksiidide tasemed tunduvalt madalamad võrreldes linnajaamadega ning aastakeskmised kontsentratsioonid jäävad oluliselt alla NO_x kehtestatud piirväärtust, 30 µg/m³ (joonis 19). Samas kajastub ka taustajaamades transpordist tulenev mõju, sest sarnaselt linna seirejaamadele on taustajaamades märgata lämmastikoksiidide kontsentratsioonides nädalast trendi, mil nädalavahetusesti on saastetasemed tunduvalt madalamad väiksema liikluse tõttu. Lahemaal on selgesti näha, kuidas linnade transpordist pärit saaste jõuab ka taustajaamadesse (joonis 20). NO_x taseme langus aastate lõikes on jõudnud ka taustajaamadesse, kontsentratsioonid on kõigis taustajaamades langustrendis.



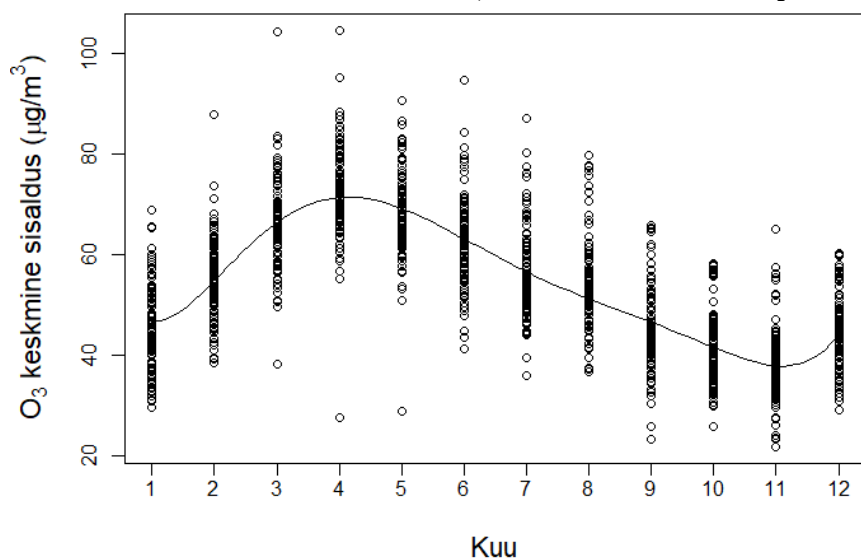
Joonis 19. NO_x arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile ja välisõhu taustajaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.



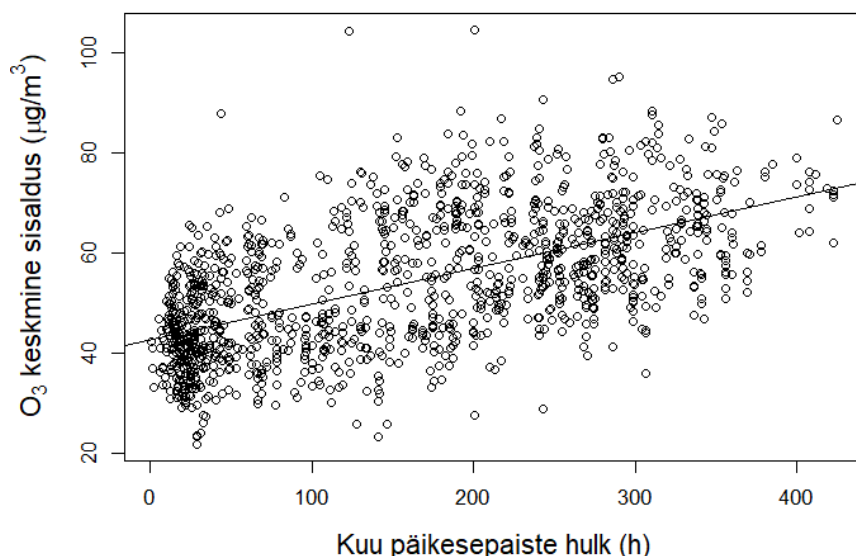
Joonis 20. NO_x tunnikeskiste kontsentratsioonide nädalane käik Lahemaal (2020 a.).

Osoon (O_3)

Maapinnalähedane osoon on sekundaarne saasteaine, mis tähendab, et see tekib koosmõjus päikesega teistest saasteainetest nagu lämmastikoksiidid (NO_x) ja lenduvad orgaanilised ühendid (LOÜ). Maapinnalähedase osooni kontsentratsioonid on tavaliselt kõrgemad piirkondades, kus välisõhus on arvestatav hulk NO_x ja LOÜ-sid ning osooni moodustumiseks soodsad ilmastikutingimused nagu suurem päikesepaiste hulk ja kõrgemad temperatuurid (EEA 2015). Kõrge temperatuur kiirendab fotokeemilisi reaktsioone ning osooni teket (EEA 2020). Seepärast on just kevadeti ja suvel osooni kontsentratsioonid õhus kõrgemad (EKUK 2021a). Ka seirejaamades mõõdetud kuu keskmistes kontsentratsioonides on osooni puhul märgata selget sesoonset trendi (kohandatud $R^2 = 0,63$; $p < 0,0001$), kõrgeimate väärtustega aprillis (joonis 21). Ka päikesepaiste hulga suurenedes suureneb seirejaamades mõõdetud osooni kontsentratsioon välisõhus oluliselt (kohandatud $R^2 = 0,34$; $p < 0,0001$) (joonis 22).

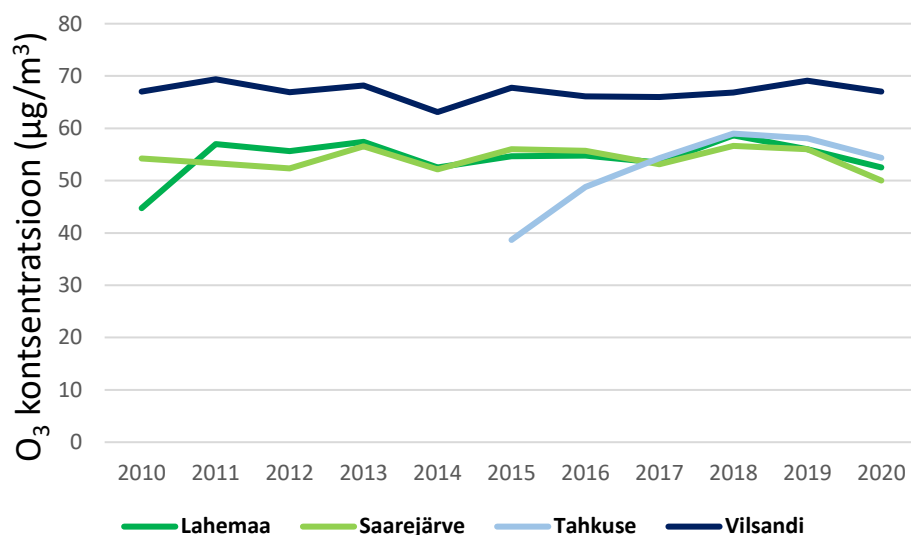


Joonis 21. Osooni kuuline trend kõigis seirejaamades mõõdetud kuukeskmiste kontsentratsioonide põhjal.

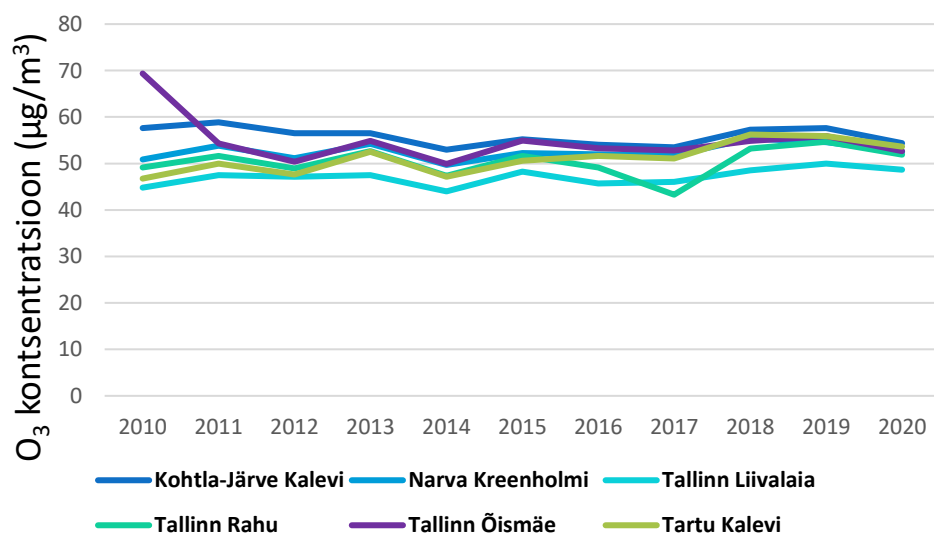


Joonis 22. Osooni kuukeskmise kontsentratsiooni sõltuvus päikesepaiste hulgast (algandmed kõikide seirejaamade kohta).

Nii tausta- kui ka linnajaamades on osooni aastakeskmised kontsentratsioonid ajas võrdlemisi stabiilsed, jäädes enamikul juhtudel vahemikku 40–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (joonis 23 ja 24). Kõigist seirejaamades on kõrgeimad aastakeskmised osooni sisaldused välisõhus mõõdetud Vilsandi taustajaamas (joonis 23). Teistes taustajaamades (Lahemaa, Saarejärve ja Tahkuse) jäävad osooni kontsentratsioonid linnaseirejaamades mõõdetutega samale tasemele. Reeglina ongi taustajaamade kontsentratsioonid kõrgemad, sest seal esineb vähem osooniga reageerivaid saasteaineid nagu NO_x ja lenduvad orgaanilised ühendid (EKUK 2021a). Lämmastikoksiide ja lenduvaid orgaanilisi ühendeid leidub eelkõige just linnades ning suurema liiklustihedusega piirkondades, kus sõidukite heitgaasides leiduvad ühendid reageerivad osooniga, mille tulemusel kontsentratsioonid langevad (EKUK 2021a). Taustaaladel sõltub osooni hulk peamiselt ilmast, eelkõige päikese intensiivsusest (EKUK 2021a).



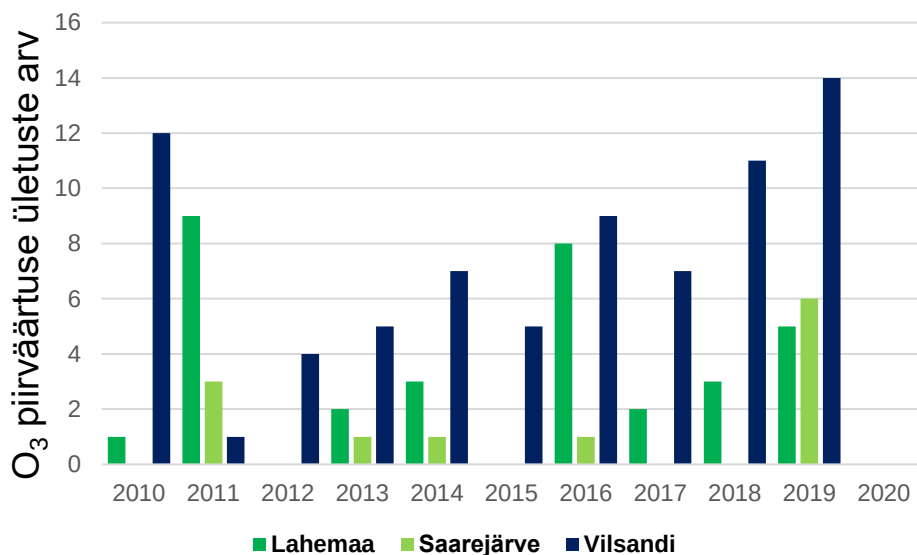
Joonis 23. Välisõhu taustajaamades mõõdetud osooni aastakeskmised kontsentratsioonid.



Joonis 24. Välisõhu linnajaamades mõõdetud osooni aastakeskmised kontsentratsioonid.

Osooni on kehtestatud 8 tunni libisev keskmine sihtväärtus $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ning lubatud ületamiste arv aastas on 25 päeva. Sihtväärtuse ületamiseks loetakse päev, kus vähemalt üks libisev 8 tunni keskmine on suurem kui $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Viimati oli linna seirejaamades probleeme osooni sihtväärtuse ületamisega 2010 a., mil Tallinnas Õismäel tuvastati 30 päeval 8 tunni keskmise kontsentratsiooni sihtväärtuse ületamist. Siiski on linnajaamades viimasel kümnel aastal osooni 8 tunni keskmise kontsentratsioonide sihtväärtuste ületamisi olnud enamasti väga vähe, jäädes alla kümne päeva aastas. Vaatamata sellele, et osooni 8 tunni keskmise sihtväärtuse ületamised on maapiirkonna taustajaamades ajas pigem kasvanud, eriti Vilsandil, pole taustajaamades ühelgi aastal ületatud kriitilist 25 päeva (joonis 25). 2020. a. ei tuvastatud taustajaamades ühtegi osooni 8 tunni keskmise sihtväärtuse ületamist.

Vilsandil mõõdetud kõrgemad osooni kontsentratsioonid ning sagedasemad sihtväärtuste ületused viitavad ka kaugkande mõjule, sest Vilsandi seirejaamas kajastuvad eelkõige Euroopast pärit saasteainete kontsentratsioonid. Euroopas olid kõrgeimad osooni kontsentratsioonid viimati 2015 ja 2018 a. (EEA 2020), mis on samuti näha nii Vilsandi kui ka teiste taustajaamade kõrgemates aastakeskmistes osooni kontsentratsioonides. **Ühtlasi olid 2015 ja 2018 a. ilmastiku tingimuste poolest väga soodsad osooni tekkeks, sest 2015 a. (koos 2019 a.) on Keskkonnaagentuuri ilmavaatlusjaamade andmetel üks soojemaid aastaid alates 1961 a., mil keskmine temperatuur on olnud normist $1,6^\circ\text{C}$ kõrgem. 2018. a. oli samuti soe (keskmine temperatuur $1,1^\circ\text{C}$ normist kõrgem) ning ühtlasi üks viimase aja päikserohkem aasta.** Kliima soojenemisega üha sagedasemaks muutuvate soojade ilmadega kaasnevad soodsamad tingimused ka osooni tekkeks.



Joonis 25. Osooni 8 tunni libiseva keskmise piirväärtuse ületuste arv taustajaamades.

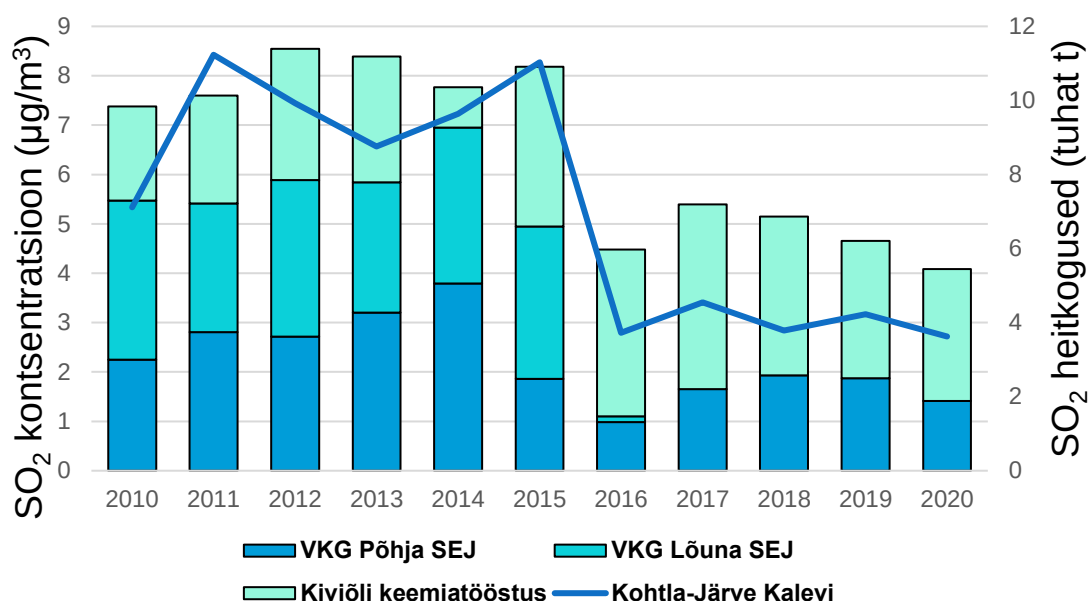
Vaatamata sellele, et osoon reageerib aktiivselt lämmastikoksiididega, mille kontsentratsioon on viimastel aastatel olnud langustrendis, pole osooni sisalduse olulist suurenemist välisõhus märgata (joonis 23 ja 24).

Vääveldioksiid (SO_2)

Vääveldioksiid on terava lõhnaga värvitu gaas, mis satub välisõhku peamiselt väävlit sisaldavate kütuste põlemisel. Eestis tekib kõige enam vääveldioksiidi energiatööstuses põlevkivi põletamise tagajärjel (Keskkonnaagentuur 2021). 2019. a. moodustas vääveldioksiidi heitkogustest 72% energiatööstus (Keskkonnaagentuur 2021). Teised saasteallikad toodavad SO_2 heitkoguseid tunduvalt vähem. Energiatööstuse saastele järgneb olulisuselt tööstuslik põletamine, mis moodustas 2019. a. 24% kogu heitkogusest (Keskkonnaagentuur 2021). Kuna tööstus on peamiselt koondunud Ida-Eestisse, siis on seal ka suurim vääveldioksiidi heide välisõhku. Ida-Virumaal eraldus paiksetest heiteallikatest 2019. a. välisõhku 91,7% kogu SO_2 heitkogusest. Linnades satub SO_2 välisõhku peamiselt katlamajadest ning sõidukite heitgaasidest (EKUK 2021a). Vaatamata sellele, et transpordist pärinev vääveldioksiidi heitkogus on võrreldes energiatööstusega marginaalne – 2019. a. moodustas maanteetransport vaid 1,2% ning muudest liikuvatest heiteallikatest tulenev saaste 1,3% SO_2 heitkogustest (Keskkonnaagentuur 2021) – võib seirejaamade mõõtmistes siiski transpordist tulenev SO_2 saaste mõningal määral kajastuda. Aastatega on SO_2 heitkoguste vähendamiseks rakendatud mitmeid meetmeid ning kehtestatud rangemaid piiranguid eelkõige tööstusheite direktiivi 2010/75/EL kaudu põletusseadmetele ning samuti laevakütuste väävlisisaldusele, mille positiivset mõju võib viimase 10 aasta jooksul märgata nii vääveldioksiidi heitkoguste vähenemises kui ka välisõhu seirejaamade SO_2 kontsentratsiooni langustrendis (joonis 26, 27, 28 ja 30).

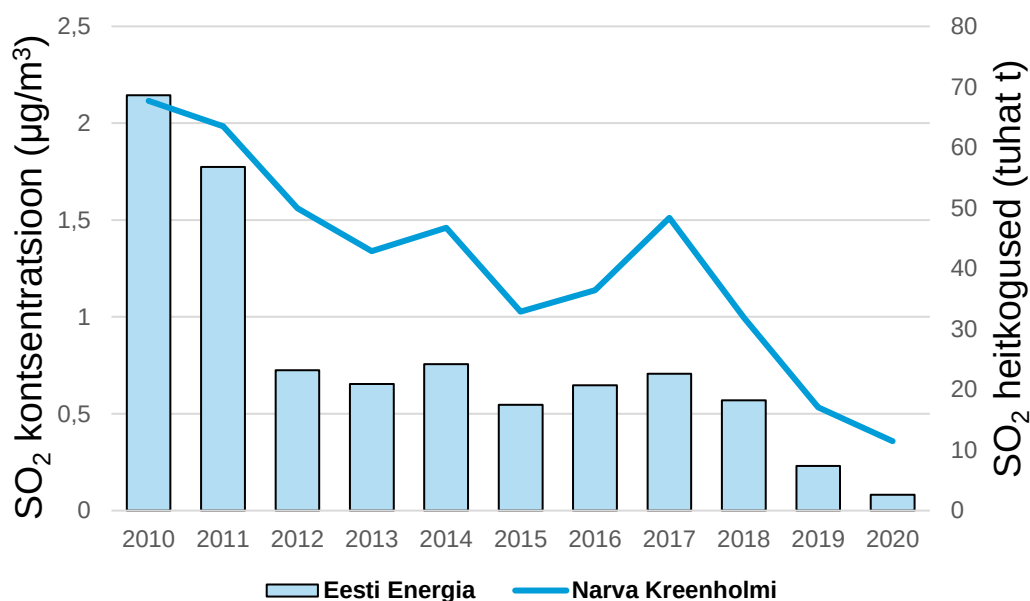
Tööstus

Peamine vääveldioksiidi saaste tuleb suurtest Ida-Virumaal asuvatest energiatootmise ettevõtetest. Kuigi ajalooliselt on olnud suurim vääveldioksiidi väljutaja Eesti Energia, siis on tema osakaal SO_2 heites aja jooksul kahanenud. Kohtla-Järvel on olulisteks SO_2 emisiooniallikateks Viru Keemia Grupp ning Järve Biopuhastus OÜ (EKUK 2007; EKUK 2021a). Võrreldes teiste seirejaamadega on Kohtla-Järvel mõõdetud SO_2 kontsentratsioonid olnud enne 2016. a. kuni neli korda kõrgemad (joonis 26), siiski võib neid kontsentratsioone pidada võrdlemisi madalaks. Suur langus 2016 a. vääveldioksiidi heitkoguses toimus seoses VKG Lõuna soojuselektrijaama sulgemisega sama aasta jaanuaris, mille mõju peegeldub otseselt ka SO_2 aastakeskmise kontsentratsiooni olulises languses Kohtla-Järve seirejaamas. Kohtla-Järvel on 2014. a. registreeritud ka üks ööpäevakeskmist piirväärtust ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ületav SO_2 kontsentratsioon. Rohkem ööpäevakeskmisi piirväärtuse ületamisi viimase kümne aasta jooksul üheski tööstuspiirkonna seirejaamas registreeritud ei ole. Samuti ei ole viimasel kümnel aastal esinenud ühtegi tunnikeskmise piirväärtuse ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ületust. Lisaks Kohtla-Järvele on oluliseks tööstuslike SO_2 heitkoguste allikaks kaks suurimat põlevkivi kasutavat Narva soojuselektrijaama – Balti ja Eesti (Keskkonnaagentuur 2019).



Joonis 26. VKG Põhja ja Lõuna soojuselektrijaamade ja Kiviõli keemiatööstuse SO₂ heitkogused ning aastakeskmised SO₂ kontsentratsioonid Kohtla-Järve Kalevi tänava seirejaamas.

Oluline ja suurim langus vääveldioksiidi heitkogustes toimus 2012. a, mis tulenes Eesti Energia soojuselektrijaamade SO₂ heitkoguse vähenemisest, mis kajastub ka Narva seirejaamas registreeritud madalamates SO₂ kontsentratsioonides (joonis 27). **Vähenemise põhjuseks on Eesti EL-ga liitumise lepinguga kokku lepitud kohustus vähendada alates 2012. a. põlevkiviküttel töötavate elektrijaamade SO₂ heidet 25 000 tonnini aastas** (Keskkonnaagentuur 2018). 2012. a. paigaldas Eesti Energia Narva elektrijaamades neljale tootmisplokile uued NID tehnoloogial põhinevad väävlipuhastusseadmed, mis vähendasid oluliselt SO₂ heitkoguseid (joonis 27) (Keskkonnaagentuur 2021). Lisaks paigaldas Eesti Energia oma Narva elektrijaamade vanematele energiablokkidele ka järgnevatel aastatel väävli- ja lämmastikupüüdmise seadmeid, mille tulemusel vähenes 2015. a. väävliheide kolm ja lämmastikuheide ligi kaks korda võrreldes varasemate aastatega (Eesti Energia 2015). Teise suure lükke SO₂ vähenemiseks andis väävliärastusseadmete paigaldamine Eesti Energia ja VKG kateldele aastast 2016, mis oli vajalik tööstusheite direktiivi 2010/75/EL nõuete täitmiseks. Samuti sulges VKG 2016. a. oma gaasigeneraatorjaamad ning 2016 a. jaanuaris suleti ka Lõuna SEJ (EKUK 2017a). **Pikemaajalisele langustrendile SO₂ heitkogustes on mõju avaldanud teatavate õhusaasteainete riiklike heitkoguste vähendamise direktiiv 2016/2284/EL (nn NEC-direktiiv), mille kohaselt tuleb baasaastaga (2005 a) võrreldes vähendada SO₂ heitkoguseid 32% võrra aastaks 2020 ning 68% aastaks 2030. Eesti on need nõuded edukalt täitnud, vähendades 2019. a. heitkoguseid võrreldes baasaastaga ligi 75% (Keskkonnaagentuur 2021).**

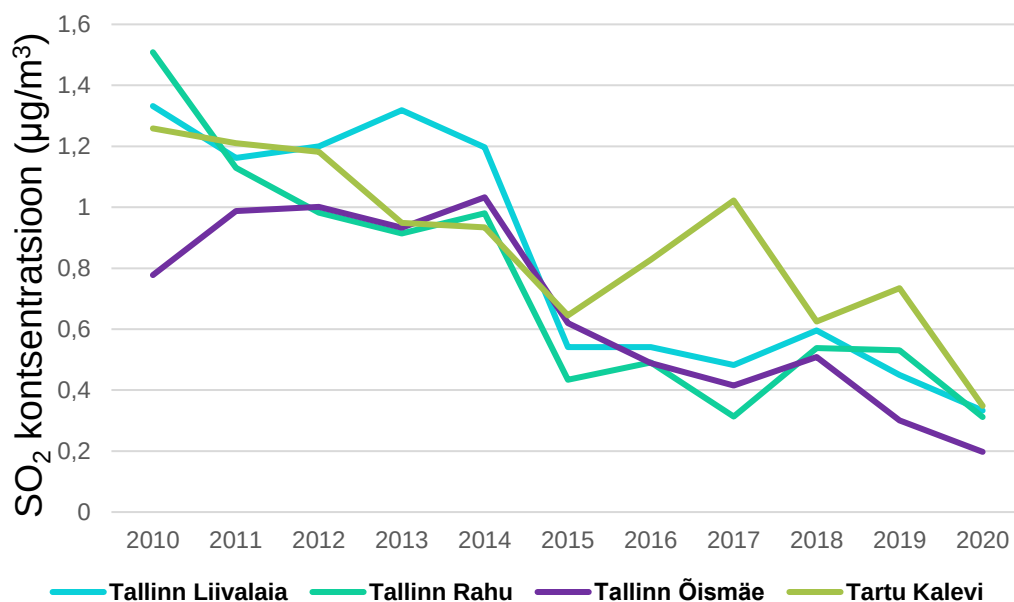


Joonis 27. Eesti Energia elektrijaamade SO₂ heitkogused ja aastakeskmised SO₂ kontsentratsioonid Narva Kreenholmi tänava seirejaamas.

2017. a. suurenesid SO₂ kogused seoses elektrijaamade elektritoodangu kasvuga (Keskkonnaagentuur 2019). 2018 ja 2019 a. on SO₂ heitkoguste vähenemise peamised põhjused seotud elektritoodangu müügi vähenemisega ning vähem saastavamate keevkihtkatelde kasutusaaja suurenemisega elektrijaamades (Keskkonnaagentuur 2021), mis kajastub ka seirejaamade mõõtmistulemustes. Arvatavasti avaldab vääveldioksiidi heitkoguste langusele ning madalamale mõõdetud SO₂ kontsentratsioonidele mõju ka mõningane elektrienergia toodangu vähenemine ja väiksem põlevkivi kasutus elektrienergia tootmisel. Võrreldes 2010. a. on 2019. a. Statistikaameti andmetel elektri tootmiseks kasutatav põlevkivi osakaal vähenenud 86%-lt 58%-le ning suurenenud on põlevkivigaaside kasutamise osakaal 10% võrra.

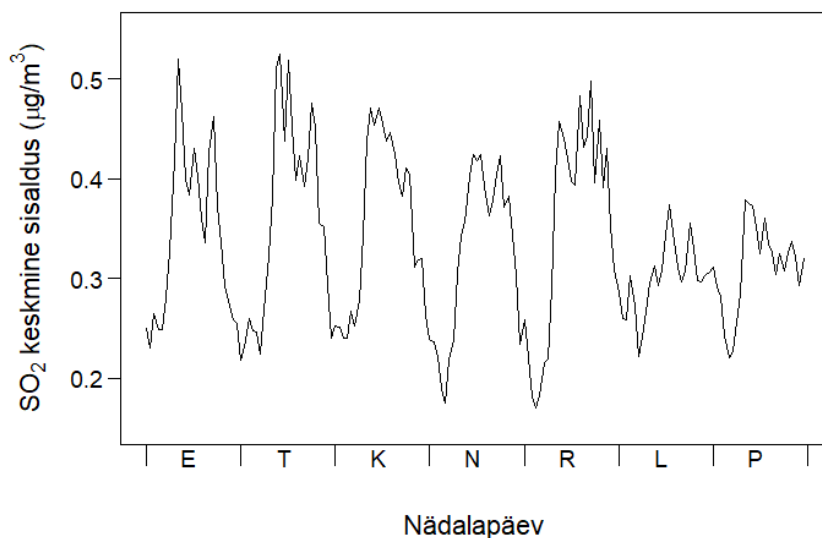
Linnajaamad

Tartu ja Tallinna seirejaamades on samuti näha olulist langustrendi vääveldioksiidi kontsentratsioonis, seda eriti just 2015. a. (joonis 28). Lisaks pole üheski linnajaamas viimasel kümnel aastal mõõdetud ühtegi tunnikeskmi ega ööpäevakeskmist piirväärtust ületavat SO₂ kontsentratsiooni.



Joonis 28. SO₂ arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile ja välisõhu seire linnajaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.

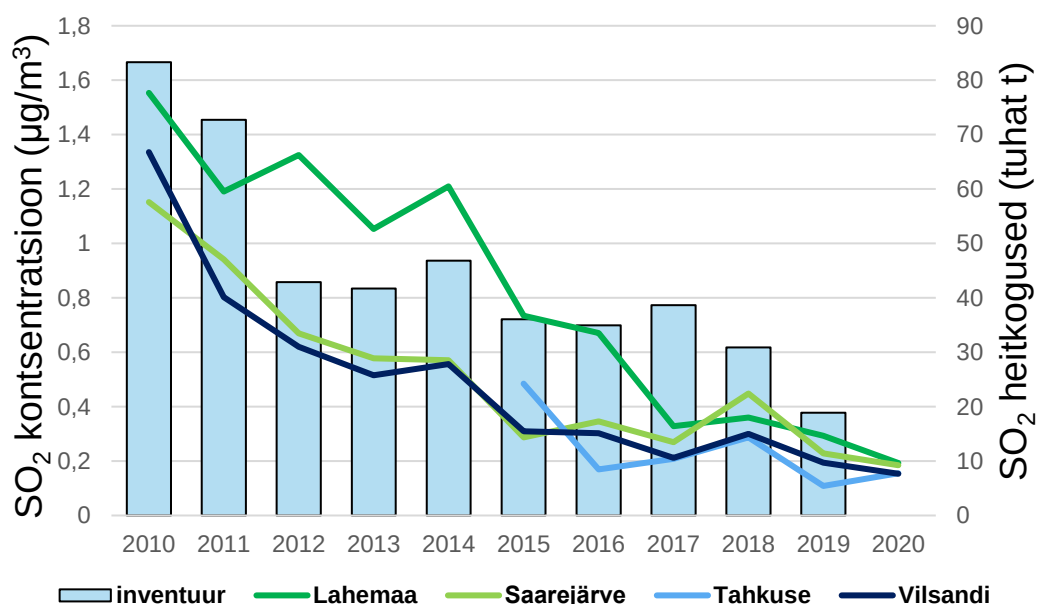
Võrreldes Ida-Virumaaga on teiste linnajaamade SO₂ kontsentratsioonid mõnevõrra madalamad, kuid mitte väga olulisel määral. Peamiseks SO₂ allikaks Tallinnas ja Tartus on transport ning mõningal määral ka olmeküte (EKUK 2021a). **Vääveldioksiidi kontsentratsioonide langusele 2015. a. linnajaamades avaldas olulist mõju 2015. a. jõustunud MARPOLi konventsiooni lisaga VI kehtima hakanud rangemad nõuded laevakütuste väävlisisaldusele (varasema 1,00% asemel 0,10%).** Kuna rahvusvahelise meretranspordi heitkoguseid, mis tekivad merel, inventuuri andmetes ei kajastata, siis inventuuri SO₂ heitkogustes MARPOL-i konventsioonist tulenev mõju ei avaldu, kuid merelt seirejaamadeni kanduv SO₂ mõju avaldub seirejaamade mõõtmistulemustes. Liiklusest pärit vääveldioksiidi mõju linna seirejaamade mõõtmistulemustele kajastub ka saasteaine nädalases dünaamikas, mille puhul on kõrgeimad SO₂ kontsentratsioonid mõõdetud päevasel ajal ning tipptundidel, mil liiklus on kõige tihedam (joonis 29).



Joonis 29. SO₂ tunnikeskiste kontsentratsioonide nädalane käik Tallinnas Liivalaia tn (2020 a.).

Maapiirkonna taustajaamad

Enamikes taustajaamades on SO₂ kontsentratsioonid linna seirejaamadega võrreldes madalamad, v.a mõningad aastad Lahemaal, kus avaldus Ida-Virumaa põlevkivitööstuse ja Kunda tsemenditööstuse väevliheite mõju. Sarnaselt tööstuspiirkonna ja linnajaamadele on SO₂ kontsentratsioonides märgata langustrendi, mis sarnaselt linnajaamadele langes 2015 a. (joonis 30). Maapiirkonna taustajaamades pole viimase kümne aasta jooksul registreeritud ühtegi tunnikeskist ega ööpäevakeskmist piirväärtuse ületamist.



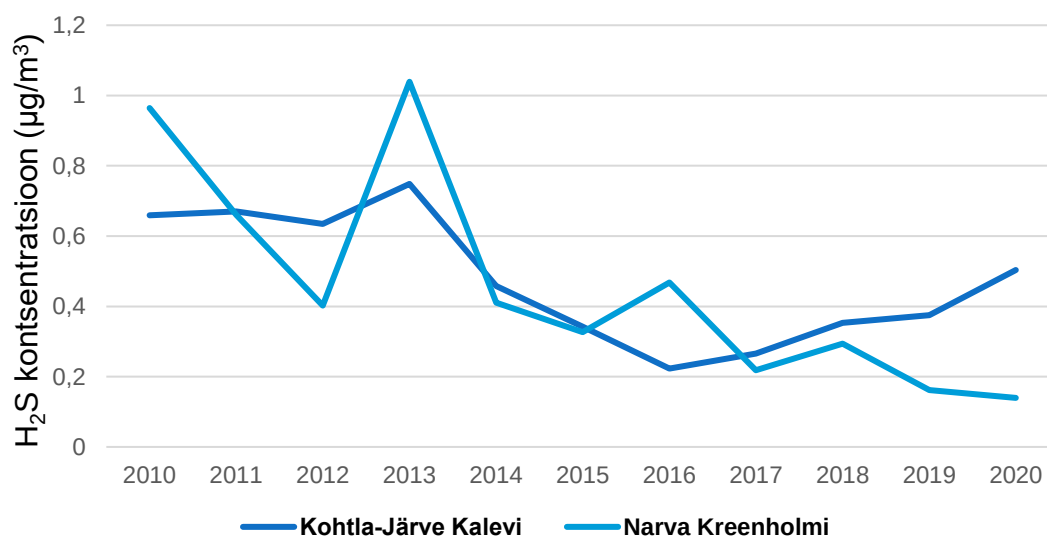
Joonis 30. SO₂ arvutuslikud heitkogused vastavalt riiklikule inventuurile ja välisõhu taustajaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.

Suurem osa Vilsandi, Lahemaa ja Saarejärve vääveldioksiidi saastest pärineb laevandusest, Kirde-Eestis paiknevatest tööstusettevõtetest ning linnade liiklusest, kuid Vilsandil on viimase mõju väiksem (EKUK 2021a). Vilsandi seirejaama mõõtmisi mõjutavad kohalikud saasteallikad väga vähe ning peamiselt iseloomustavad sealsed mõõdetud saasteainete kontsentratsioonid Lääne-Euroopast laevanduse- ja energeetikasektorist kaugkandega Eestisse jõudvaid saasteaineid (EKUK 2021a). Suur langustrend SO₂ kontsentratsioonides võib seega peegeldada üldisi Euroopa õhukvaliteedi trende, mida samuti iseloomustab püsiv SO₂ kontsentratsioonide langus alates 2009 a. (EEA 2020). Autotranspordi mõju Lahemaal ilmneb mõõdetud vääveldioksiidi kontsentratsioonide nädalases dünaamikas, kus nädala lõpu poole, neljapäeviti ja reedeti, suurenevad SO₂ kontsentratsioonid (EKUK 2021a). Kõikumised SO₂ kontsentratsioonides Tahkusel on põhjustatud pigem juhuslikest saasteepisoodidest, mis seostuvad kütmisega külmemal aastaajal, puude põletamisega ning metsapõlengutega (Tartu Ülikool 2020).

Vesiniksulfiid (H₂S)

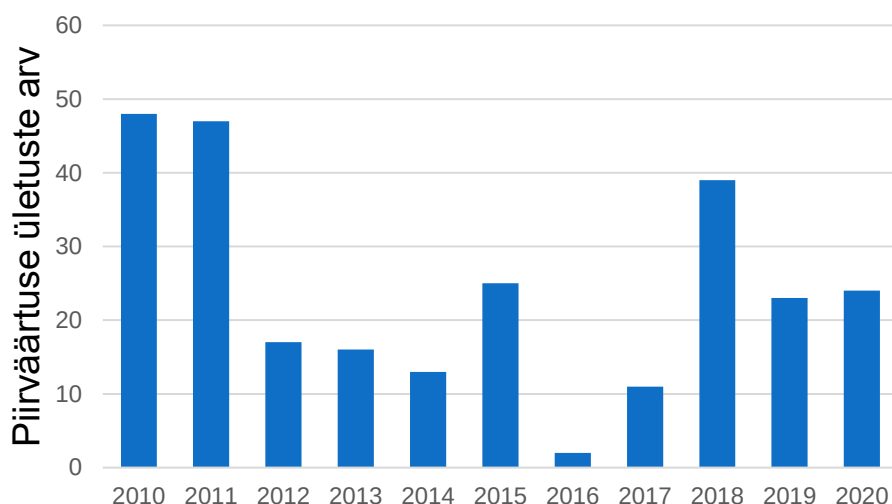
Vesiniksulfiid on ebameeldiva mädamuna lõhnaga gaas, mille kontsentratsioonid välisõhus võivad olla häirivad juba 1-2 µg/m³ juures, sõltuvalt konkreetse inimese lõhnatajust, kuid mille mõju tervisele avaldub alles oluliselt kõrgematel kontsentratsioonidel. Eestis kehtib vesiniksulfiidile tunnikeskmine piirväärtus 8 µg/m³. Peamised inimtekkelised vesiniksulfiidi allikad on seotud põlevkiviõli tootmisega ning raskete naftasaaduste fraktsioonide käitlemisega (nt masuudi, bituumeni laadimine ja kuumutamine vms), samuti reovee, nafta rafineerimise, (raua)maagi sulatamise, kivisöe põletamise, paberitööstuse ja põllumajandusega.

Riikliku õhuseire raames mõõdetakse vesiniksulfiidi ainult Kohtla-Järvel ja Narvas, kus paiknevad peamised H₂S saasteallikad. **Vesiniksulfiidi aasta keskmistes kontsentratsioonides on viimase kümne aasta jooksul märgata langustrendi, v.a 2013 a. Narvas (Kreenholmi tn) kui aasta keskmine H₂S kontsentratsioon oli 1 µg/m³ (joonis 31).**



Joonis 31. H₂S välisõhu seirejaamades mõõdetud aastakeskmised kontsentratsioonid.

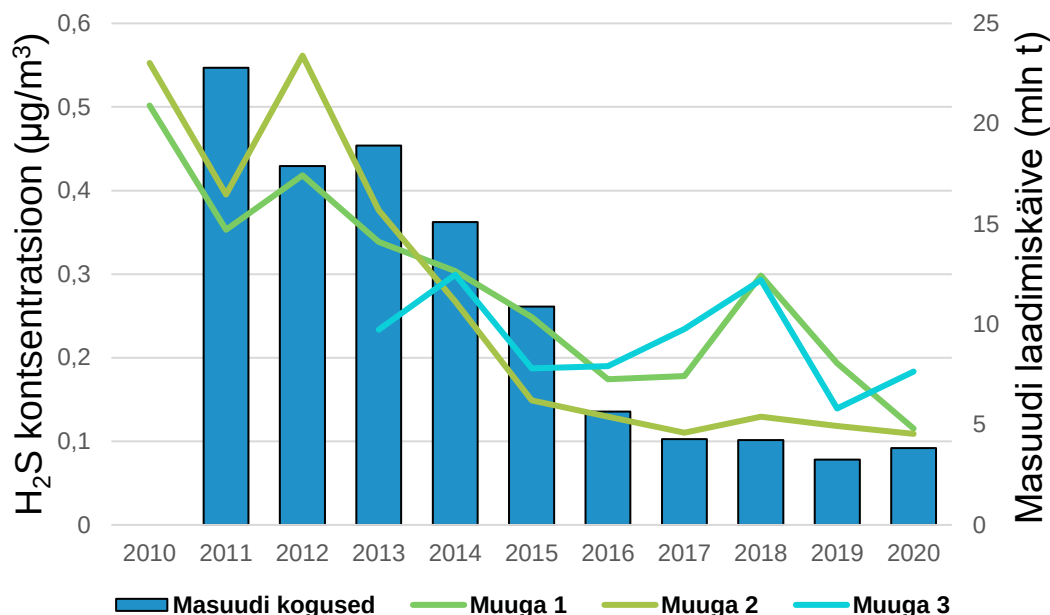
Kohtla-Järvel esineb sagedamini vesiniksulfiidi tunnikeskmise piirväärtuse $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ületamisi kui Narvas (joonis 32). Narvas ületati viimati vesiniksulfiidi tunnikeskmi piirväärtust 2016. a. kuuel korral, alates 2017. a. ühtegi tunnikeskmise piirväärtuse ületust Narvas registreeritud ei ole. Kohtla-Järvel esines rohkem tunnikeskmise piirväärtuse ületusi 2010 ja 2011 a., mil piirväärtuste ületusi oli peaaegu 50 korral aastas. Vaatamata sellele, et 2018 a. tõusis Kohtla-Järvel H_2S tunnikeskmise piirväärtuse ületuste arv 39 korrani aastas, on alates 2012 a. siiski märgata peaaegu poole vähem tunnikeskmise piirväärtuse ületusi. Kõrgem tunnikeskmise piirväärtuste ületamiste arv 2018. a. on arvatavasti põhjustatud nii soojuselektrijaamade kui õlitootmiseseadmete sagedasemast käivitamisest ja seiskamisest, millega sageli kaasneb kõrgendatud saasteainete heide. Kõrgemad vesiniksulfiidi kontsentratsioonid Kohtla-Järvel tekivad peamiselt põlevkivitööstusest ja reoveepuhastitest (EKUK 2017b). Peamised vesiniksulfiidi heiteallikad Kohtla-Järvel on Järve Biopuhastuse OÜ ning Viru Keemia Grupp (EKUK 2007).



Joonis 32. Tunnikeskmise H_2S piirväärtuste ületamiste arv Kohtla-Järvel Kalevi tänaval.

2016 a. langes Kohtla-Järve aasta keskmine H_2S kontsentratsioon oluliselt võrreldes varasemate aastatega, mida saab seletada sealse kohaliku keemiatööstuse Viru Keemia Grupp vanade gaasigeneraatorjaamade sulgemisega samal aastal (EKUK 2017a). Lisaks on VKG läbi mitmete meetmete panustanud oluliselt H_2S jt lõhnahäiringuid põhjustavate saasteainete nagu LOÜ vähendamisse, kuid poolkoksimägede kuumenemiskolletest pärinevad lõhnahäiringud on siiski jäänud püsima (VKG 2018). 2018–2019 a. tegi VKG lisainvesteeringuid, mille eesmärgiks oli lõhnahäiringuid vähendada veel 12% võrra (VKG 2018). Eesti Energia on samuti teinud olulisi investeeringuid, et vähendada lõhnahäiringuid tekitavate saasteainete välisõhku sattumist. 2017. a. uuendas Enefit140 õlithase seadmete lektorused ja põlevkivikuivati jahutussüsteemi ning rajas uue mahuti valmistoodangu jaoks (Eesti Energia 2017). Investeeringute tõttu on Ida-Virumaa vesiniksulfiidi saaste vähenenud ja välisõhu kvaliteet oluliselt paranenud (EKUK 2021a).

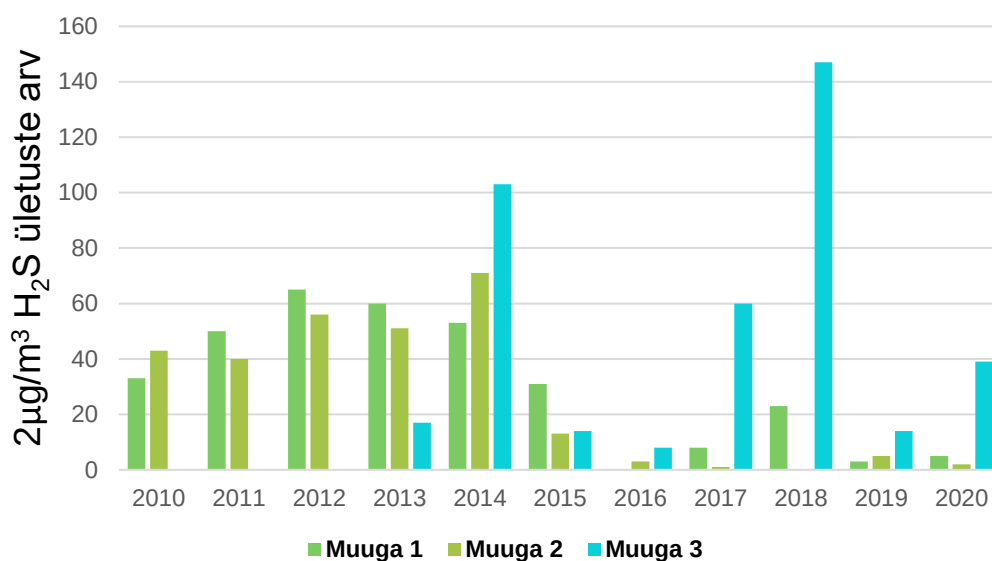
Sadamate tööstuspiirkonnad on samuti oluline vesiniksulfiidi allikas. Muuga sadamapiirkonnas on peamine H₂S ja sellega seoses tekkiva ebameeldiva lõhna allikas raskete kütteõlide, peamiselt masuudi laadimine (EKUK 2021b). **Aastakeskmised vesiniksulfiidi kontsentratsioonid kolmes Muuga sadama mõõtejaamas on olnud läbi aastate võrdlemisi madalad, jäädes alla 0,6 µg/m³ (joonis 33).**



Joonis 33. Muuga sadamapiirkonna kolme seirejaama H₂S aastakeskmised kontsentratsioonid ning masuudi laadimiskäive terminalides.

Ka tunnikeskmi vesiniksulfiidi piirväärtuse ületamisi on olnud Muuga sadamapiirkonnas läbi aastate võrdlemisi vähe. Mõõtejaamas Muuga 2 pole viimasel kümnel aastal ühtegi tunnikeskmi H₂S piirväärtuse ületust registreeritud ning Muuga 1 mõõtejaamas on viimasel kümnel aastal esinenud piirväärtuse ületamisi vaid kolmel korral. Kõige rohkem H₂S tunnikeskmi piirväärtuse ületamisi on olnud mõõtejaamas Muuga 3, kus 2018 a. ületati tunnikeskmi piirväärtust kaheksal korral. 2020 a. on mõõtejaamas Muuga 3 mõõdetud veel vaid ühel korral tunnikeskmi piirväärtuse ületamine.

Sõltuvalt inimeste lõhnatajust võivad häirivad olla juba 1–2 µg/m³ vesiniksulfiidi sisaldused välisõhus, mistõttu vaadeldi kehtestatud piirväärtustele lisaks veel tunnikeskmi 2 µg/m³ H₂S kontsentratsiooni ületavate mõõtmiste arvu aastas. Muuga mõõtejaamades 1 ja 2 on alates 2015 a. oluliselt vähenenud 2 µg/m³ ületavate H₂S kontsentratsioonide arv (joonis 34). Mõõtejaamas Muuga 3 on kõige enam 2 µg/m³ ületusi (147 korda), esinenud 2018 a., mil oli ka kõrge tunnikeskmi piirväärtuse (8 µg/m³) ületuste arv.



Joonis 34. Tinglikku $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tunnikeskmi H_2S taset ületavate episoodide arv Muuga kolmes mõõtejaamas, mis näitab õhukvaliteedi piirväärtusega ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{H}_2\text{S}$) kooskõlas olevat olukorda, mil võis siiski esineda lõhnahäiringut.

Aja jooksul on vesiniksulfiidi sisaldused Muuga sadamapiirkonna õhus tunduvalt vähenenud, millele on arvatavasti kaasa aidanud raske kütteõli kaubakoguste vähenemine (joonis 33). Parema ülevaate saamiseks muutustest Muuga sadamapiirkonna raske kütteõli kaubakogustes on joonisel 33 eri ettevõtete masuudi laadimiskäibed, peamiselt laevade tankimise ja erinevate mahutite täitmisega seotud tegevused, esitatud kõigi ettevõtete summana. Arvesse on võetud peamisi Muuga sadamapiirkonna masuudi laadimisega tegelevaid ettevõtteid nagu Liwathon E.O.S. AS Pakterminal ja Stivterminal, Liwathon E.O.S. AS Muuga sadama kaid 7, 9A ja 10A ning Vesta Terminal Tallinn OÜ (laadimiskäibe andmed on võetud andmebaasidest KOTKAS ja OSIS).

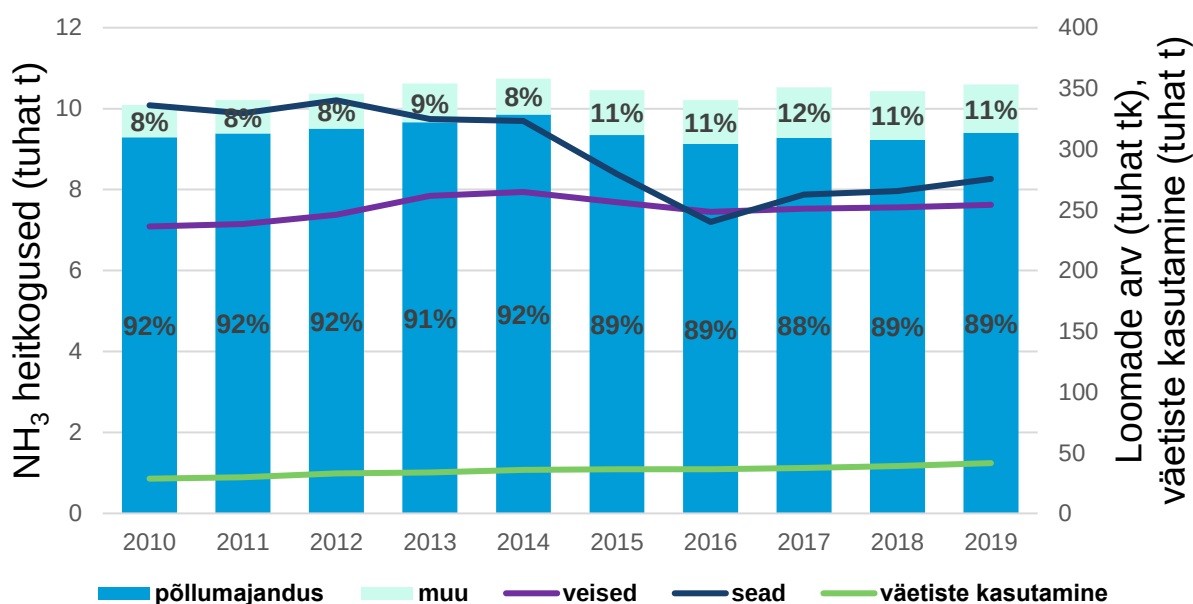
Lämmastiku sadenemiskoormus

Lämmastik on õhus valdavalt inertse gaasina (peamiselt N_2), mida enamus elusorganismid otse ei suuda omastada. Elusorganismide poolt on omastatav reaktiivne lämmastik, milleks on mitmed orgaanilised (uurea, amiinid jt) ning anorgaanilised redutseerunud (NH_3 , NH_4^+) või oksüdeerunud (NO_x , HNO_3 , N_2O ja NO_3^-) lämmastiku ühendid (Eurostat 2013). Inimtegevuse sekkumisel looduslikku lämmastikuringesse nagu nt loomakasvatus, lämmastikväetiste tootmine, tööstuslik põletamine jm on oluliselt suurendanud atmosfääri reaktiivse lämmastiku hulka, millega kaasnevad mitmed keskkonnaprobleemid (Erisman jt. 2015). Reaktiivse lämmastiku sadenemine häirib ökosüsteemide tasakaalu, sest keskkonda viiakse täiendavaid toitaineid ning lisaks sellele tekib muldade hapestumine.

Peamiseks lämmastiku sadenemise põhjustajaks looduslikes kooslustes Euroopas on ammoniaagi saaste, edestades isegi liiklusest pärit lämmastikoksiidide mõju elusloodusele (UNECE 2020). Ammoniaak põhjustab nii maismaa kui vee keskkonna eutrofeerumist ja

hapestumist, mis võib viia taimekoosluste kahjustamiseni ning bioloogilise mitmekesisuse vähenemiseni (Erisman ja Sutton 2007). Ammoniaak ning sellega kaasnev sekundaarse teke tahkete osakeste teke kahjustab inimeste hingamisteid, põhjustades astmat, hingamisraskusi, bronhiiti ning muid hingamisteedega seotud haigusi (Erisman jt 2013).

Valdav osa ammoniaagi saastest on pärit põllumajandusest, mis 2019. a. moodustas Eestis 89% kogu ammoniaagi heitest (joonis 35). Ammoniaaki tekib põllumajanduses enim loomakasvatustes, eelkõige sõnnikuhoidlatest ning mineraalväetiste kasutamisest. Vähemal määral tekib ammoniaaki ka muudest saasteallikatest nagu puidu põletamisest energaetikas (praegu üle vaatamist vajava metoodika kohaselt 8%), tahkete kütuste kaevandamisest ja laadimisest (1%) ning maanteetranspordist (1%). Viimastel aastatel on muude heiteallikate osakaal ammoniaagi heites natuke suurenenud, peamiselt puidu põletamise koguste suurenemise tõttu tööstussektoris, väetise kasutuskoguste suurenemise ning kolmeastmeliste katalüsaatorite suurema kasutuselevõtu tõttu uuemates sõidukites, millega kaasneb suurem NH_3 heide. Üldiselt on ammoniaagi heitkoguste ajaline trend olnud stabiilne ning viimasel kümnel aastal olulisi muutusi ammoniaagi heitkogustes märgata pole (Keskkonnaagentuur 2021).

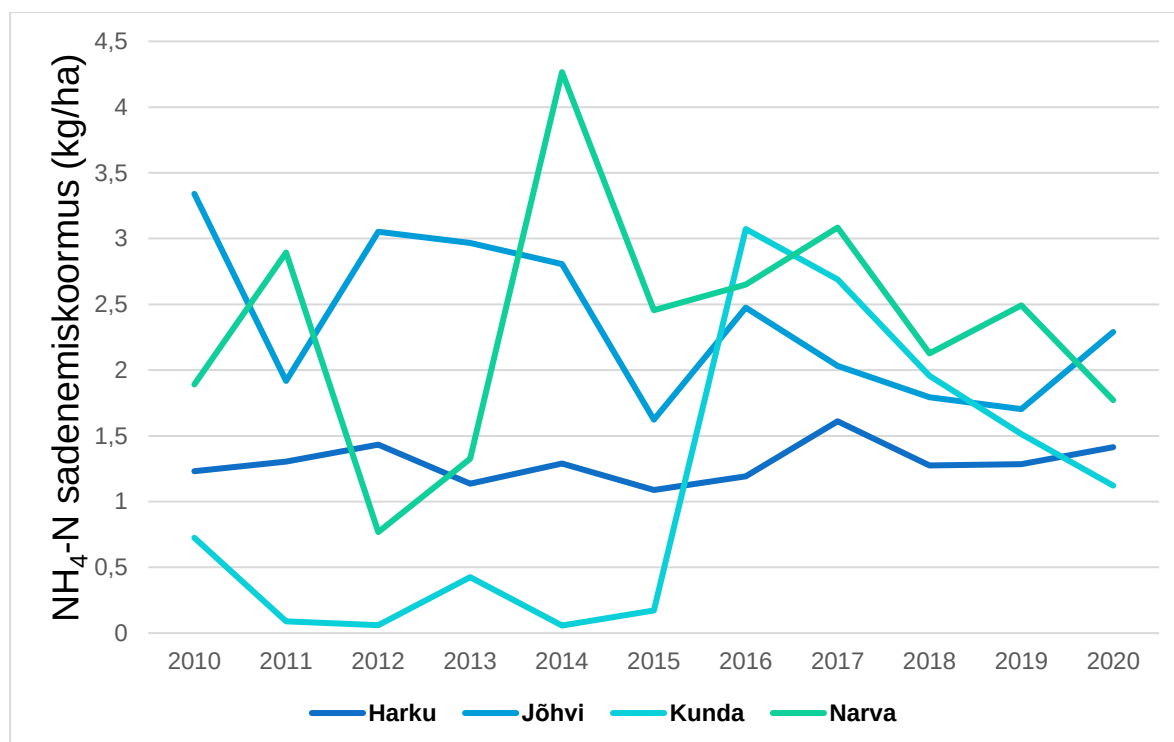


Joonis 35. Ammoniaagi heitkogused põllumajandussektorist ja muudest heiteallikatest (inventuuri andmed) ning veiste ja sigade arv ning väetiste kasutuskogused (Statistikaameti andmed).

Ammooniumlämmastik ($\text{NH}_4\text{-N}$)

Ammoonium (NH_4^+) pärineb enamasti põllumajanduses tekkivast ammoniaagist (Eurostat 2013), enim tekib $\text{NH}_4\text{-N}$ loomakasvatustes sõnnikuga. Veega reageerides moodustub atmosfääris ammoniaagist (NH_3) ammooniumioon (NH_4^+), mis sadeneb vihmaga ning tekitab keskkonna hapestumist ja eutrofeerumist. Kõrgema temperatuuri ja pH juures ammoniaagi lahustuvus vees oluliselt halveneb, seepärast on soojema ilmaga ammooniumiooni teke pärsitud ning protsess on ammoniaagi tekke suunas (Mattila, 2006).

Kõrgeimad ammooniumlämmastiku sadenemiskoormused tööstus- ja linnapiirkonnas on Jõhvis ja Narvas ning aastatel 2016–2018. a. mõõdeti ka Kundas kõrgemad kontsentratsioonid (joonis 36). Ammooniumlämmastiku sadenemiskoormused on enamasti seotud lokaalsete saasteallikatega, milleks on eelkõige läheduses paiknevad põllumajandusettevõtted, reoveepuhastid või tööstus (EKUK 2020).

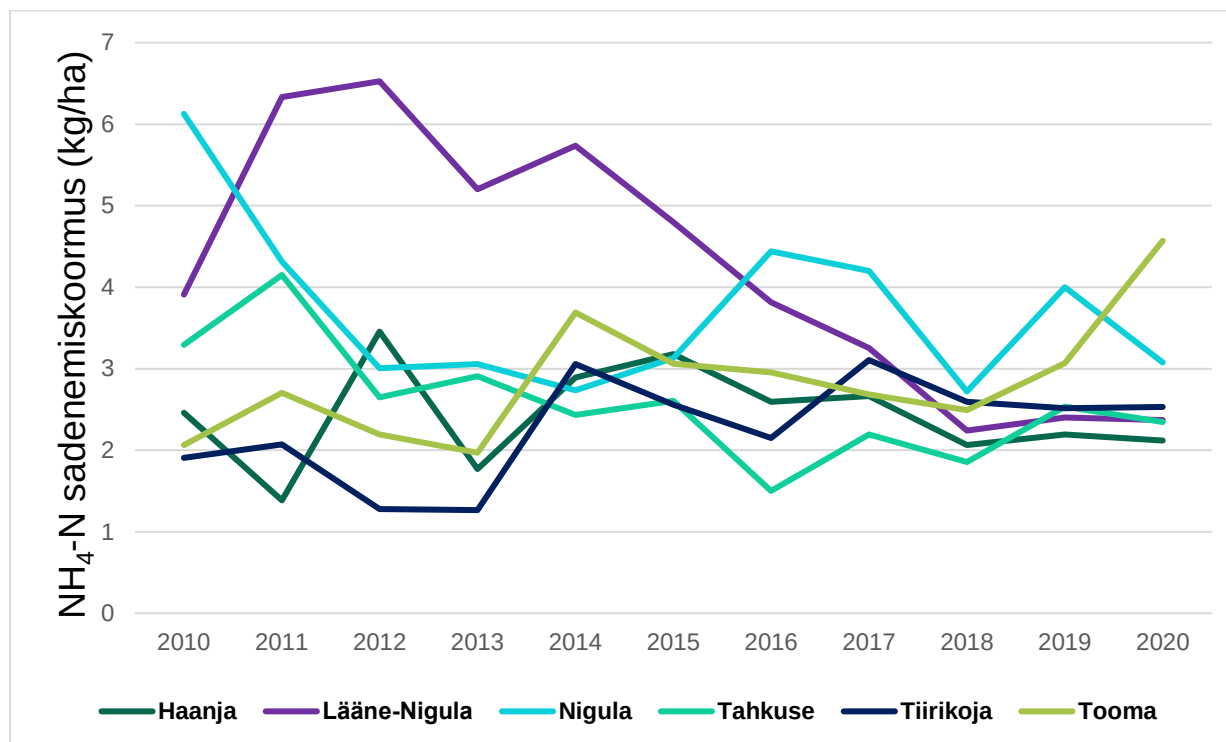


Joonis 36. Tööstus- ja linnajaamade aastakeskmised $\text{NH}_4\text{-N}$ sadenemiskoormused.

Kõrgemad ammooniumlämmastiku tasemed Jõhvis, Narvas ja Kundas tulenevad tööstuse mõjust (Ulm 2018). Harku sademeseirejaama sadenemiskoormused on aja jooksul olnud stabiilselt madalad. Harku jaama mõõtmistulemustes kajastub peamiselt Tallinna õhusaaste mõju (Ulm 2018). Arvestatav tõus 2016. a. Kunda jaama $\text{NH}_4\text{-N}$ mõõtmistulemustes võib mõningal määral olla seletatav asjaoluga, et 2015. a. oktoobrikuus koliti Kunda sademete kogumise seade ümber Kunda õhuseirejaama kõrvale ning vahetus ka proovide võtja (EKUK 2021c). Narva mõõtejaama tulemusi võib samuti mõjutada jaama asukoha muutus aastate jooksul. Kuni 2013. a. lõpuni toimus sademeseire Narva-Jõesuu jaamas, kuid alates 2014. a. algusest kolis sademeseirejaam tagasi Narva vanale lennuväljale (EKUK 2021c). 2015. a. juuli lõpus koliti Narva sademete kogumise seade oma endisest asukohast ümber Narva linna (EKUK 2021c).

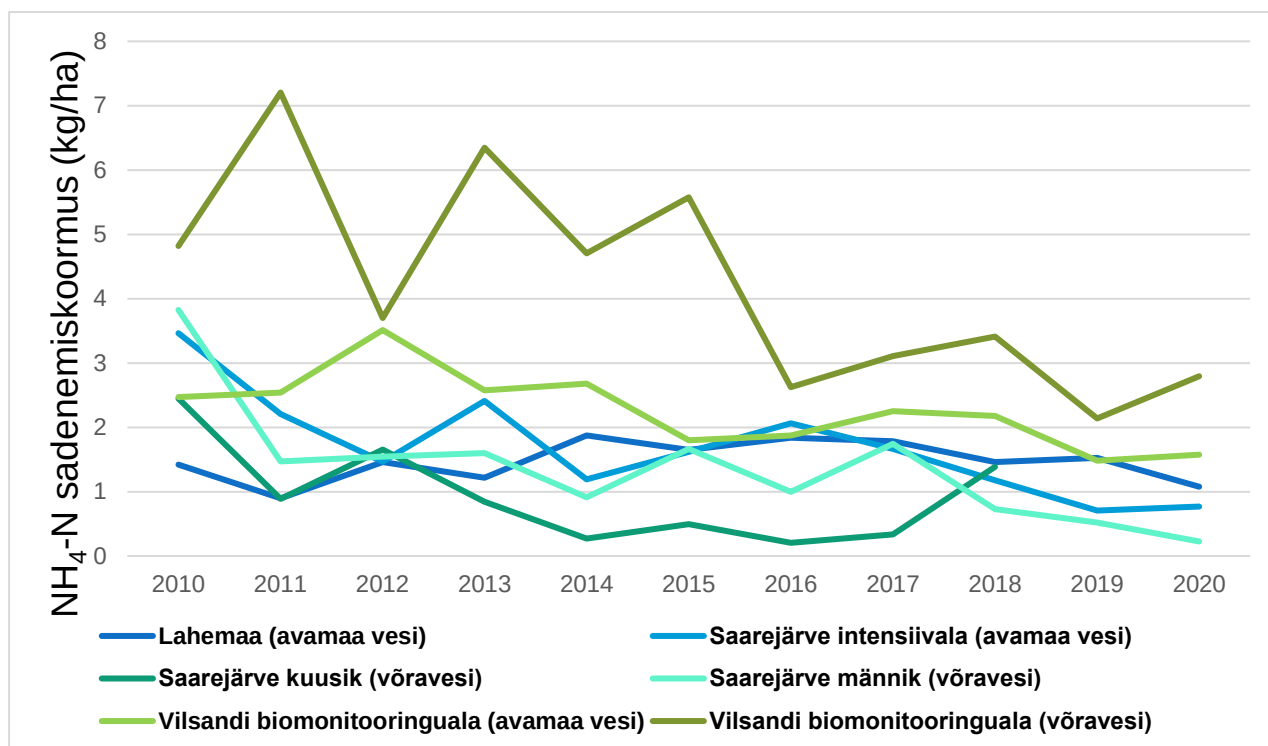
Võrreldes teiste jaamadega on ühed kõrgeimad $\text{NH}_4\text{-N}$ sadenemiskoormused mõõdetud Lääne-Nigula jaamas (joonis 37). Eriti tundlike ökosüsteemide puhul loetakse sadenenud anorgaanilise lämmastiku ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) lubatud kõrgeima koormuse piiriks 5 kg/ha (EKUK 2016). Lääne-Nigula jaama mõõtmistes kajastub Tallinna ja kaugkandest tulenev saaste (Ulm 2018), kuid alates 2014. a. on Lääne-Nigula $\text{NH}_4\text{-N}$ sadenemiskoormused oluliselt vähenenud (joonis 37). Samas on osades sademeseire jaamades nagu Tiirikoja ja Tooma, aja jooksul

märgata väikest tõusu ammooniumlämmastiku sadenemiskoormustes. Tooma jaama ümbruses asuvad sood ning sealseid mõõtmisi mõjutavad soode heitgaasid. Tiirikoja sademeseirejaama tulemusi mõjutab Eestisse kaugkandega Idast jõudev lämmastiku saaste (Ulm 2018).



Joonis 37. Maapiirkonna sademeseirejaamade aastakeskmised $\text{NH}_4\text{-N}$ sadenemiskoormused.

Enamikes taustajaamades on ammooniumlämmastiku sadenemiskoormused võrdlemisi madalad ning püsinud ajas samal tasemel või pigem natuke langenud (joonis 38). Erandiks on Vilsandi biomonitooringuala võraveest mõõdetud $\text{NH}_4\text{-N}$ kontsentratsioonid ja ammooniumlämmastiku sadenemiskoormused, kuigi alates 2016. a. on see tunduvalt langenud. Võrreldes avamaalt kogutud proovidega peaks võravee proovides olema pigem madalam lämmastiku sisaldus, sest puuvõras leiduvad samblikud jõuavad osa lämmastikust omastada juba enne proovide võtmist (EKUK 2011). Samas on Vilsandil märgata vastupidist tendentsi, sest võraveest mõõdetud $\text{NH}_4\text{-N}$ sisaldus ning sadenemiskoormus on oluliselt kõrgemad kui avamaalt kogutud proovides. Vilsandi kõrgem $\text{NH}_4\text{-N}$ sisaldus võrreldes Saarejärve proovidega võib mõningal määral tuleneda mere mõjust (EKUK 2019). Ühtlasi võib sadamete hulk mõjutada anorgaanilise lämmastiku sisaldust proovides, puu võrastikus on väiksem sademevee hulk ning ainete sisaldus proovides on seepärast rohkem kontsentreeritud (EKUK 2021d).

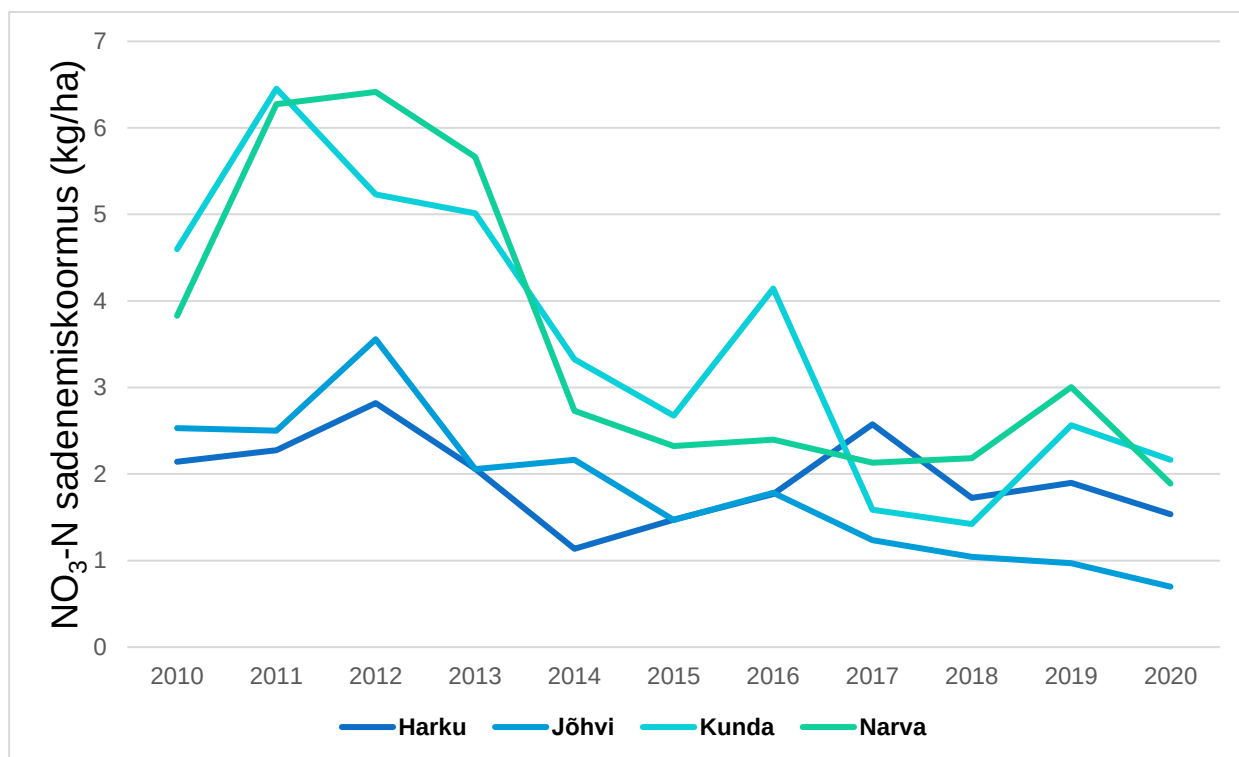


Joonis 38. Taustaalade sademeseirejaamade aastakeskmised $\text{NH}_4\text{-N}$ sadenemiskoormused.

Nitraatlämmastik ($\text{NO}_3\text{-N}$)

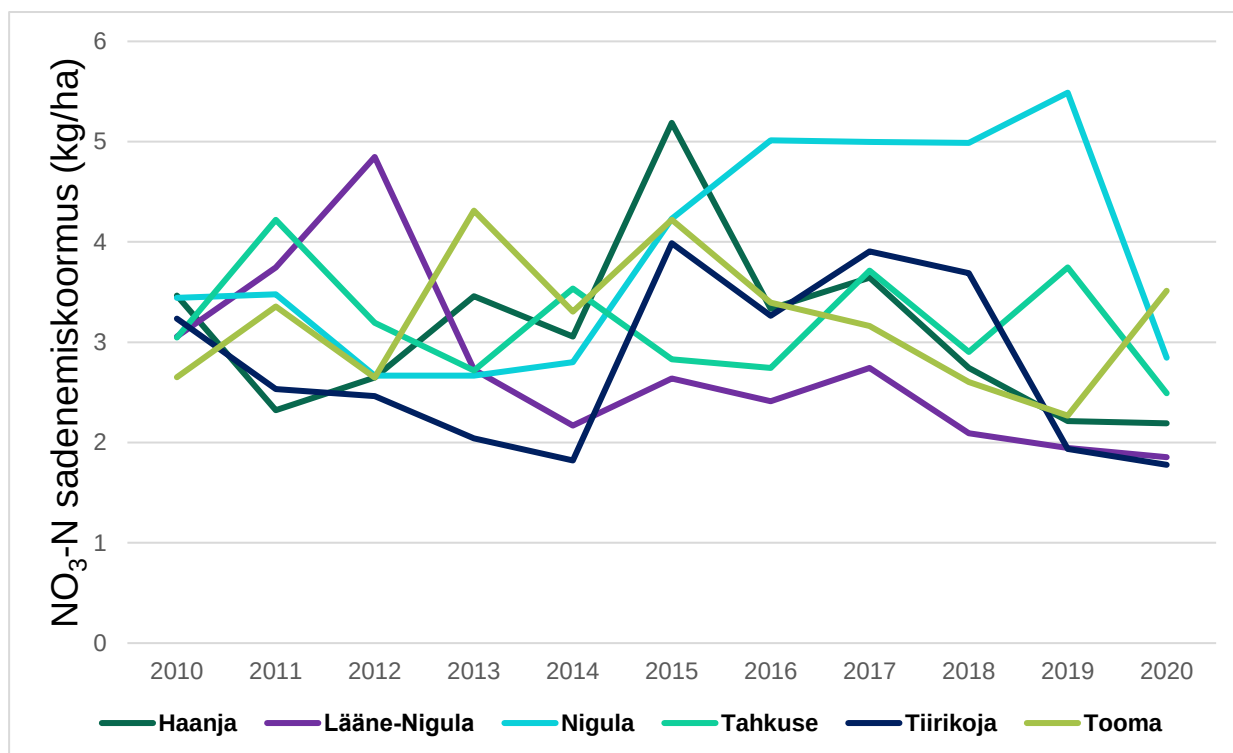
Tööstusest ja transpordist pärit lämmastikoksiidide (NO_2 ja NO_x) saaste põhjustab lämmastiku sadenemist keskkonda nitraadi (NO_3^-) ja lämmastikhappe kujul (HNO_3) (Eurostat 2013). Sarnaselt ammoniumlämmastikuga põhjustab ka nitraatlämmastik looduslike elukeskkondade eutrofeerumist ja hapestumist.

Nitraatlämmastiku kõrgeimad sadenemiskoormused linna- ja tööstuspiirkonna sademeseirejaamades on Kundas ja Narvas (joonis 39). Alates 2014. a. on mõlema jaama $\text{NO}_3\text{-N}$ sadenemiskoormused oluliselt vähenenud. Ka Jõhvi võrdlemisi madalad $\text{NO}_3\text{-N}$ sadenemiskoormused on aja jooksul veelgi alanenud. Arvatavasti on neis jaamades $\text{NO}_3\text{-N}$ sadenemiskoormuste vähenemisele oluliselt kaasa aidanud lämmastikoksiidide heitkoguste vähenemine energiatööstuses seoses uute lämmastiku püüdmissaadmetega paigaldamisega. Harkus on $\text{NO}_3\text{-N}$ sadenemiskoormused jäänud samale tasemele, mis viitab sellele, et Tallinna linna heitkogused pole aja jooksul oluliselt muutunud.



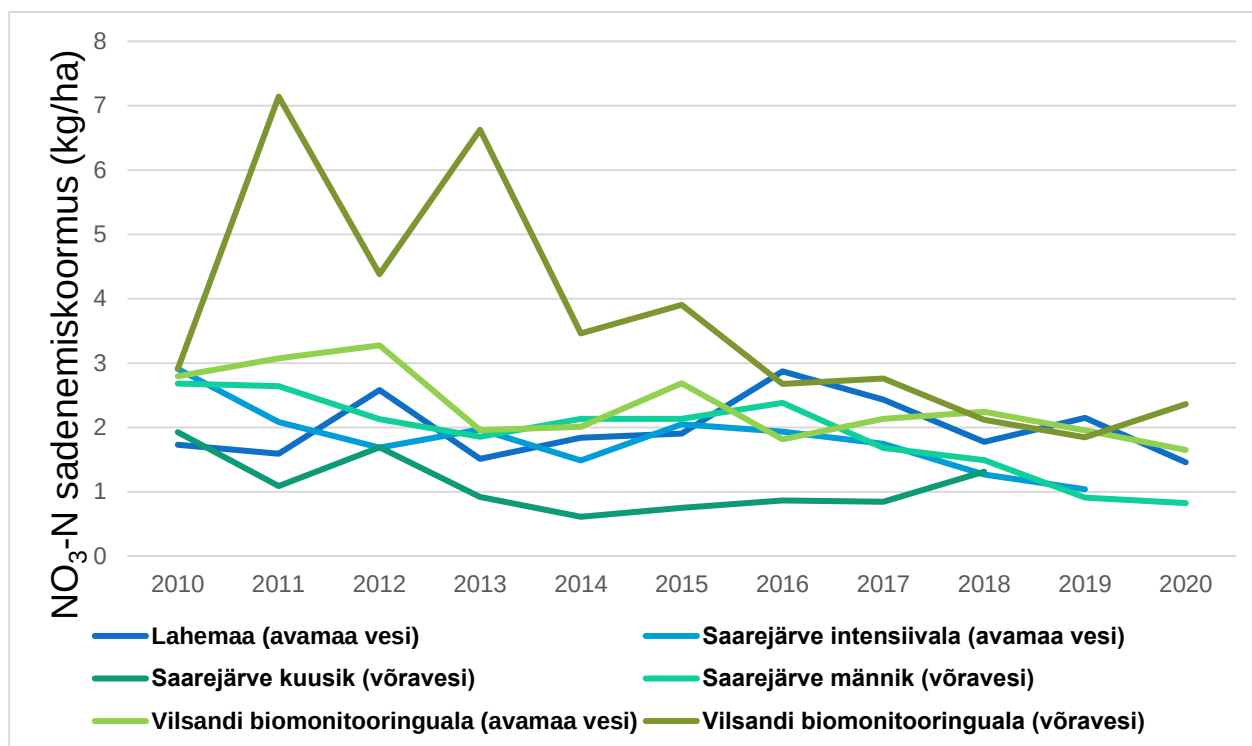
Joonis 39. Tööstus- ja linnajaamade aastakeskmised NO₃-N sadenemiskoormused.

Viimase viie aasta (2015–2019) kõrgeimad nitraatlämmastiku sadenemiskoormused on mõõdetud Nigulas (joonis 40). Nigulas on sarnaselt ammooniumlämmastikule näha tõusu nitraatlämmastiku sadenemiskoormustes alates 2016. a. Kuna Nigula läheduses pole suuri põllumajandus- ega tööstusettevõtteid, võib sealseid kõrgemaid sadenemiskoormuseid seostada pigem kaugkandega ning mere mõjuga (Ulm 2018). Vaid Lääne-Nigula sademeseire jaamas on aja jooksul näha NO₃-N sadenemiskoormustes selget langustrendi. Teistes jaamades nii selget trendi välja ei joonistu, kuid 2020. a. on pea kõigis sademeseire jaamades mõõdetud madalaimad NO₃-N sadenemiskoormused, v.a Toomas.



Joonis 40. Maapiirkonna sademeseirejaamade aastakeskmised NO₃-N sadenemiskoormused.

Taustaalade sademeseirejaamades on sarnaselt ammooniumlämmastikule kõrgeimad nitraatlämmastiku sadenemiskoormused Vilsandi biomonitooringuala võravees (joonis 41). Kõrgemaid NO₃-N kontsentratsioone võravees võib mõjutada väiksem sademete hulk puude võras, mistõttu on ained proovides rohkem kontsentreeritud (EKUK 2021d), samas jääb viimase 10 aasta kõrgeim võravees mõõdetud aastane sademete summa (üle 500 mm) Vilsandi biomonitooringualal 2012. ja 2013. aastasse (teistel aastatel keskmiselt 300–400 mm sademeid). Alates 2014. a. on NO₃-N sadenemiskoormused Vilsandi võravees oluliselt vähenenud. Teistes taustajaamades on NO₃-N sadenemiskoormused võrdlemisi madalad ning ajas suuremate muutusteta või pigem väikeses langustrendis.



Joonis 41. Taustaalade sademeseirejaamade aastakeskmised NO₃-N sadenemiskoormused.

Vaatamata sellele, et NEC-direktiivist 2016/2284/EL tulenevalt on Eesti kohustatud aastaks 2020 vähendama ammoniaagi heitkoguseid 1% võrra võrreldes baasaastaga (2005 a.), pole seda seni suudetud täita, sest 2019 a. NH₃ heitkogused suurenesid 4,9% (Keskkonnaagentuur 2021). Peamiseks põhjuseks võib pidada piimalehmade produktiivsuse suurenemist ning vedelsõnniku tehnoloogia laialdasemat rakendamist võrreldes tahesõnnikuga (Keskkonnaagentuur 2021). Ammoniaagi heitkogused looma kohta on ajas küll vähenenud, kuid loomade arvu tõusu tõttu pole ammoniaagi heitkogused oluliselt langenud. See võib seletada ka asjaolu, miks ammoonium- ja nitraatlämmastiku sadenemiskoormustes pole otseselt näha selget langustrendi. **Langustrend on märgatav tööstus- ja linnajaamade NO₃-N sadenemiskoormustes, mida võib selgitada tööstusest ja transpordist tuleneva lämmastikheite vähenemisega.** Samuti on võrdlemisi madalad lämmastiku (NH₄-N ja NO₃-N) sadenemiskoormused taustajaamades, v.a Vilsandi võraveses.

Kokkuvõte

Eesti õhu kvaliteet on ajaperioodil 2010–2020 mitmete välisõhu saasteainete osas paranenud. Energia- ja tööstussektoris on oluliselt suudetud vähendada õhku paisatavate saasteainete heitkoguseid, peamiselt põletus- ja püüdeseadmete efektiivsuse suurenemise tõttu. Tööstuspiirkondades (Kohtla-Järvel ja Narvas) on vähenenud vääveldioksiidi heitkogused ja kontsentratsioonid välisõhus. Linnajaamade SO₂ sisalduse vähenemisele on kaasa aidanud laevakütustele kehtestatud karmimad väävlisisalduse piirnormid. Sarnaselt vääveldioksiidile on Kohtla-Järve ja Narva ning lisaks veel Muuga sadama seirejaamades vähenenud ka vesiniksulfiidi sisaldused välisõhus. Suured tööstusettevõtted on teinud olulisi investeeringuid, et vähendada vesiniksulfiidist põhjustatud lõhnahäiringuid tööstuspiirkonnas.

Langust on märgata ka benso(a)püreeni sisalduses välisõhus Tartu seirejaamas, mis alles hiljuti (kuni 2018. aastani) ületas B(a)P aastakeskmistele kontsentratsioonidele kehtestatud sihtväärtust. Kuna benso(a)püreeni puhul on tegu kantserogeense saasteainega, siis on oluline jälgida, et selle sisaldus välisõhus uuesti ei tõuseks. Sellele saab kaasa aidata tõstes inimeste teadlikkust õigetest käitumisviisidest ja sobilike kütuste kasutamisest kodumajapidamistes ning küttesüsteemide hoolduse ja uuendamise vajalikkusest.

Õhukvaliteedi parandamiseks oleks mitme saasteaine osas, mille kontsentratsioonid on ajas püsinud ilma suuremate muutusteta, vajalik kontsentratsioone veel vähendada. Sellised saasteained on peamiselt transpordist tekkiv lämmastikdioksiid ning kohtküttest ja energia tootmisest pärit peenosakesed ja eriti peened osakesed. Inimesed saavad läbi isiklike valikute panustada kohalikku õhukvaliteedi tõstmisesse, valides alternatiivseid liikumisvõimalusi sõiduautodele. Samuti saavad inimesed õige käitumisviisi ja kütuse valikuga panustada kohtküttest tulenevasse peenosakeste ja eriti peenete osakeste heitkoguste vähendamisse. Ühtlasi pole olulist muutust toimunud maapinnalähedastes osooni kontsentratsioonides, mille sisaldus on olnud uurimisperioodi vältel stabiilne. Samas sõltub osooni teke selle eeldusainete (lämmastikoksiidide ning lenduvate orgaaniliste ühendite) sisaldusest välisõhus.

Selget langustrendi pole märgata ka ammoonium- ja nitraatlämmastiku sadenemiskoormustes, v.a mõnede taustaalade sademeseirejaamades. Samas tuleb arvestada, et sademeseire jaamade mõõtmistes kajastuvad eelkõige lokaalsete saasteallikate mõjud ning enamasti põllumajandusest pärinev lämmastiku saaste ei pruugi kõigis seirejaamade mõõtmistulemustes kajastuda. Nitraatlämmastiku sadenemiskoormustes on siiski märgata mõningast langustrendi tööstusjaamades, mis võib olla tingitud lämmastiku püüdmiseadmete paigaldamisest elektrijaamadele ning lämmastikoksiidide heitkoguste vähenemisest. Taustajaamade NH₄-N ja NO₃-N sadenemiskoormused on olnud võrdlemisi madalad ja uuritava perioodi vältel stabiilsed või osade sademeseirejaamade puhul ka väikeses langustrendis.

Kaustatud kirjandus

EEA (2020) Air quality in Europe — 2020 report.

EEA (2016) Explaining road transport emissions. A non-technical guide. Copenhagen.

EEA (2015) Overview of exceedances of EC ozone thresholds values for April-September 2014.

Eesti Energia (2017) Aastaaruanne 2017.

Eesti Energia (2016) Aastaaruanne 2016.

Eesti Energia (2015) Aastaaruanne 2015.

EKUK (2021a) Välisõhu kvaliteedi seire 2020. Koostaja: Maris Paju.

EKUK (2021b) Õhukvaliteedi mõõtmised Muuga sadamas 2020 (aastaaruanne). Koostaja: Maris Paju.

EKUK (2021c) Sademete seire. Töö autor: Naima Kabral.

EKUK (2021d) Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2020. a. Töö koostaja: Kairi Lõhmus.

EKUK (2020) Saasteainete sadenemiskoormuste, kriitiliste tasemete ja nende mõjude hindamine. Koostajad: Marek Maasikmets ja Kaisa Kesanurm.

EKUK (2019) Kompleksseire Saarejärvel ja Vilsandil 2018.a. Töö autor: Naima Kabral.

EKUK (2017a) Välisõhu kvaliteedi seire 2016. Koostajad: Katri Saare, Naima Kabral, Marek Maasikmets ja Erik Teinemaa.

EKUK (2017b) Väävelvesiniku (H₂S) välisõhu saastetasemete, riigisisese tähtsusega õhukvaliteedi piir- ja sihtväärtusi omavate saasteainete OSIS-es raporteeritud heitkoguste ülevaade. Koostajad: Marek Maasikmets, Erik Teinemaa.

EKUK (2016) Vilsandi kompleksseire. Töö autor: Naima Kabral.

EKUK (2011) Kompleksseire Vilsandil. Töö koostaja: Jelena Akimova.

EKUK (2007) Õhusaaste uuringud Ida-Virumaal II etapp. Koostaja: Kaisa Kesanurm.

Erisman, J. W., Dammers, E., Van Damme, M. & Schaap, M. (2015) Trends in EU nitrogen deposition and impacts on ecosystems. *J. Air Waste Manage.* 65, 31–35.

Erisman, J.W., Galloway, J.N., Seitzinger, S. jt. (2013) Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. *Phil. Trans. Roy. Soc.* 368 (1621), doi: 10.1098/rstb.2013.0116.

Erisman, J.W. & Sutton, M. (2007) Reduced nitrogen in ecology and the environment. In: *Ammonia emissions in agriculture*. Edited by: Gert-Jan Monteny & Eberhard Hartung.

Euroopa Parlamendi ja nõukogu 14. detsember 2016 direktiiv (EL) 2016/2284 mis käsitleb teatavate õhusaasteainete riiklike heitkoguste vähendamist.

Euroopa Parlamendi ja nõukogu 24. november 2010 direktiiv 2010/75/EL tööstusheidete kohta (saastuse kompleksne vältimine ja kontroll) (uuesti sõnastatud).

Euroopa Parlamendi ja nõukogu 21. mai 2008 direktiiv 2008/50/EÜ välisõhu kvaliteedi ja Euroopa õhu puhtamaks muutmise kohta.

Euroopa Parlamendi ja nõukogu 15. detsember 2004 direktiiv 2004/107/EÜ arseeni, kaadmiumi, elavhõbeda, nikli ja polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike sisalduse kohta välisõhus.

Eurostat (2013) Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg.

Guevara, M. (2016) Emissions of Primary Particulate Matter, in *Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health*, pp. 1-34. doi: 10.1039/9781782626589-00001

MARPOL 73/78 Annex VI - Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships (Regulation 14 -Sulphur oxides (SO_x) and Particulate Matter (PM). IMO (International Maritime Organization). ([https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx))

Keskkonnaagentuur (2021) Eesti õhusaasteainete heitkogused aastatel 1990-2018. Koostajad: Natalija Kohv, Helen Heintalu, Elo Mandel ja Kerli Rästa.

Keskkonnaagentuur (2020) Estonian Informative Inventory Report 1990-2018. Koostajad: Natalija Kohv, Helen Heintalu, Elo Mandel ja Ardi Link.

Keskkonnaagentuur (2019) Eesti õhusaasteainete heitkogused aastatel 1990-2017. Koostajad: Natalija Kohv, Helen Heintalu, Elo Mandel ja Ardi Link.

Keskkonnaagentuur (2018) Eesti õhusaasteainete heitkogused aastatel 1990-2016. Koostajad: Natalija Kohv, Helen Heintalu, Elo Mandel ja Ardi Link.

Keskkonnaministeeriumi 20.12.2016 määrus nr 73 „Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise metoodika“ RT I, 22.12.2016, 27.

Mattila, P. (2006) Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production. – Doctoral dissertation. Agrifood Research Reports 187, Jokioinen.

Tartu Linnavalitsus (2019) Tartu linna õhukvaliteedi parandamise kava benso(a)püreeni osas.

Tartu Ülikool (2020) Õhu kvaliteedi kompleksuuringud Tahkusel 2020. Koostajad: Urmas Hörrak, Hilja Iher, Aare Luts, Kaupo Komsaare ja Sander Mirme. Tartu, 2021.

Ulm, R. (2018) Magistritöö – Assessment Of Atmospheric Nitrogen Deposition In Estonia, TTÜ.

UNECE (2020) Assessment report on ammonia – 2020.

(https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/Final_Assessment_Report_on_Ammonia_v2_20201126_b.pdf)

VKG (2018) Ettekanne:“ Viru Keemia Grupp Lõhnaaine vähendamise kava“. Ettekande koostaja: Erika Sulg.



#Keskkonnateadlikud valikud iga ilmaga



KESKKONNAAGENTUUR

Kontakt

Keskkonnaagentuur
Mustamäe tee 33, Tallinn

Email : kaur@envir.ee

www.keskkonnaagentuur.ee