



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Tartu Kolledž

NO₂ JA SO₂ KONTSESTRATSIOONID OTEPÄÄ LINNA VÄLISÕHUS

NO₂ AND SO₂ CONCENTRATIONS IN THE OUTDOOR AIR OF OTEPÄÄ TOWN
MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Terje Tammekivi

Üliõpilaskood: 163133NAEM

Juhendajad: Vanemteader Marko Kaasik (Tartu
Ülikool)
Lektor Jane Raamets (Tallinna
Tehnikaülikool)

Tartu 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“25” mai 2018.a

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“25” mai 2018.a

“25” mai 2018.a

Juhendaja:

/ allkiri /

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“25” mai 2018.a

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Tartu kolledž inseneriteaduskond
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Terje Tammekivi, 163133NAEM
Õppekava, peeriala: NAEM06/15, Tööstusökoloogia
Juhendaja: Marko Kaasik, vanemteadur, +372 5206174
Kaasjuhendaja: Jane Raamets, lektor, +372 55613344

Lõputöö teema:

NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid Otepää linna välisõhus
NO₂ and SO₂ concentrations in Otepää city outdoor air

Lõputöö põhieesmärgid:

1. NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonitasemete mõõtmine neljas erinevas kohas
2. Selgitada välja nelja mõõtmiskoha peamised saasteallikad . Tuua välja suurim saasteallikas Otepää linnas
3. Selgitada välja Otepää linnakodanike kütmişarjumused ja nende oletatav mõju mõõtmistulemustele

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	NO ₂ ja SO ₂ passiivkogujatega mõõtmine. Ankeetküsitlus	26.01.18
4.	Liiklusandmete, eramute, ankeetküsitluste andmete analüüs ja interpreteerimine	30.03.18
6.	AEROPOL i sisendfailide (NO ₂ suvi, NO ₂ talv, SO ₂ suvi, SO ₂ talv) loomine (liiklus, punktallikad, eramud, saunad, ankeetküsitlused)	30.04.18
8.	Arvutusliku meetodi tulemuste võrdlus otsese mõõtmistulemustega	10.05.18

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "28"05.2018.a

Üliõpilane: Terje Tammekivi "25 " mai 2018.a
/allkiri/

Juhendaja: Marko Kaasik "25 " mai 2018.a
/allkiri

Juhendaja: Jane Raamets "25 " mai 2018.a
/allkiri

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS.....	7
1. VÄLISÕHU OLEMUS	9
1.1 Varasemad välisõhu uuringud	10
1.1.1 Välisõhu seire Eestis	10
1.2 Õhusaaste	11
1.3 Saasteallikad	12
1.3.1 Õhusaasteluba omavad ettevõtted.....	12
1.3.2 Olmekütmise heide	15
1.3.3 Liiklusheide	16
2 METOODIKA KIRJELDUS.....	17
2.1 Uurimisala.....	17
2.1.1 Meteroloogiaandmed.....	18
2.2 NO ₂ ja SO ₂ välimõõtmised	19
2.2.1 Lisainformatsioon	21
2.3 Intervjuude läbiviimine.....	21
2.4 Õhusaaste mudeli AEROPOL sisendid	22
2.5 Mõõdetud ja modelleeritud meetodil saadud andmete võrdlus.....	24
4.5 AEROPOL 5.3.2 mudel.....	24
3 TULEMUSED.....	26
3.1 Ankeetküsimustik	27
3.2 Liiklusheitmed (modelleeritud andmed).....	29
3.3 Saunaheitmed (modelleeritud andmed)	30
3.4 Kontsentratsioonid punktallikatest (modelleerimismeetod).....	31
3.5 Kogu kontsentratsioon (modelleeritud andmed).....	32
3.6 Passiivmõõtmiste ja arvutusliku meetodi võrdluse tulemused	34
4 ARUTELU	36
5 JÄRELDUSED.....	38
KOKKUVÕTE	40

SUMMARY	42
KASUTATUD MATERJALID.....	44
LISAD	50

EESSÕNA

Tänapäeva ühiskonna trend on riigi jätkusuutlik ja säästev majanduskasv ning elatustaseme tõus. Fookuses on kestlik areng. Elukvaliteedi aluseks peab jääb looduse talumisvõime, puhas ja tervislik keskkond. Samas kiire majandustegevus, globaliseerumine ja urbaniseerumine põhjustavad taastumatute loodusvarade vähenemise ja suureneb taastuvate loodusvarade kasutamine. Elukeskkond saastub ning looduse mitmekesisus väheneb. Üheks põhjuseks on saasteallikatest emiteeruvate saasteainete hulga suurenemine välisõhus.

Õhusaaste ei ole ainult probleem õhus, selles sisalduvate saasteainete tahked osakesed sadestuvad ka maapinnale, mille tagajärgedeks näiteks on saastunud toit ja vesi. Antud töö peamine eesmärk on välja selgitada Eesti väikelinna Otepää piirkonnad, kus õhusaaste on kõige suurem ja kõige väiksem. Autori eesmärgiks on analüüsida ja sünteesida Otepää linna välisõhu paiknevate saasteainete lämmastikdioksiidi (NO_2) ja vääveldioksiidi (SO_2) kontsentratsioone ning lähtuvalt tulemusandmetest hinnata linna välisõhu kvaliteeti.

Magistritöö käsitleb Otepää linna välisõhku ja piirkonnas paiknevaid saasteallikaid, millest emiteerub NO_2 ja SO_2 . Lisaks kohalike inimeste rahulolu uuringut Otepää linna välisõhu kvaliteedi ning vastanute kütmişarjumiste kohta.

Töö käigus mõõdeti kahel korral (suvi ja talv) 30-päevase ajavahemikuga NO_2 ja SO_2 saastekontsentratsioone neljas erinevas kohas ning interpreteeriti mõõtmistulemusi. Lisaks uuris autor täpsemalt linnas paiknevaid saasteallikaid ja saaste levikut, kasutades atmosfäärifüüsikast lähtuvat arvutuslikku mudelit AEROPOL 5.3.2 Otepää linnas paiknevate saasteallikate põhjustatud NO_2 ja SO_2 kontsentratsioonide hindamiseks. Heitkoguste hindamise aluseks võeti Otepää linna majapidamised ja ankeetküsitlusega (Lisa 1) väljaselgitatud kütmişarjumused. Täiendavalt uuriti piirkonna suuremate teede liikluskoormust ning viit ettevõtet, kes omavad õhusaasteluba. Töö lõpptulemusena selgub Otepää linna erinevate piirkondade NO_2 ja SO_2 suurimad saasteallikad ja kontsentratsioonide erinevus suve ja talve perioodil. Võrreldakse mõõdetud ja modelleeritud saastetasemeid nimetatud neljas mõõtepunktis, et välja selgitada mudelarvutuse usaldusväärsus. Täna edukas koostöö eest juhendajat Marko Kaasikut ja Jane Raametsa, Eesti Keskkonnauuringute Keskuse OÜ Tartu osakonna raskmetallide labori juhatajat Ülis Sõukandit, Maanteeametit, Lõuna regiooni Keskkonnaametit, oma peret ja ankeetküsitluses osalenud Otepää linnaelanikke.

Märksõnad: AEROPOL, NO_2 , Otepää, passiivkoguja, SO_2 , magistritöö

SISSEJUHATUS

Tööstuse ja urbaniseerumise kiire kasv, eriti madala ja keskmise sissetulekuga riikides, on kaasa toonud paikkondade õhukvaliteedi halvenemise ning suurema riski elanike tervisele. Inimene vajab õhku hingamiseks ning oluline on, et saasteainete saastetasemed ei ületaks riigi poolt kehtestatud piirnorme. WHO 2016. aasta raportis tuli välja, et 92% maailma rahvastikust elab paikades, mis ei vasta WHO nõutavale ohutu õhukvaliteedi tasemele, mistõttu sureb otseselt õhusaaste tagajärjena igal aastal ligi 6 miljonit inimest (Geneva, 2016). Õhusaaste on kõigi ülemaailmsete terviseriskide seas neljandal kohal, jäädes tahapoole kõrgvererõhutõvest, ebatervislikust toiduvalikust ja suitsetamisest (Health Effects Institute, 2018). Orru (2007) on välja toonud, et ka Eesti linnades mõjutab õhusaaste inimeste tervist (Orru, 2007).

Õhusaaste kontrollimiseks on vaja teadmisi atmosfääris toimuvatest protsessidest, saasteainete allikatest, emissioonidest, leviku- ja eemaldumisprotsessidest. Nende andmete saamiseks teostatakse erinevaid õhusaaste seireid. Välisõhu seire annab ülevaate inimeste tervisele ja elukeskkonnale kahjulike saasteainete sisaldusest ja võrdluse kehtivate piirnormidega.

Eestis (pindala 45 227 km²) on kokku kaheksa riiklikku seirejaama (neli linnaõhu ja kolm taustjaama). Keskkonnaministeeriumi andmetel olemasolev seire tagab seadusandluses esitatud minimaalsed seirenõuded (Eesti Keskkonnaministeerium, 2017). Üldiselt on õhusaaste seirevõrk Eestis ebaühtlane nii territooriumi kui ka erinevate asustustüüpide ja -tiheduste mõttes: ühtegi jaama ei ole väikelinnades ega alevites, Lõuna-Eestis puuduvad maafoonijaamad, erinevat tüüpi jaamu linnapiirkondades on vaid Tallinnas (Reis, 2013). Linnades ja taustaaladel asuvad jaamad mõõdavad vastavalt õhukvaliteedi (Õhukvaliteedi hindamise kord, 2017) nõutele antud saasteaineid. Otepää linna lähim ilmavaatlusjaam asub Tartu Tõravere Observatooriumi (ca 24 km kaugusel) juures ja linnaõhu seirejaam Tartus Karlova linnaosas (ca 37 km kaugusel).

Otepää on kaasaegne spordi-, turismi- ja tööstuslinn. Mõõtmiselt peetakse Otepääd väikelinnaks, kuid turismi hooaegadel (suvi ja talv) peab linn mahutama ligi 3000 autot (Otrokova, 2011). Otepää linnal on nii elanikele kui küllastajatele palju üritusi pakkuda, aga kuidas see mõjutab üldist elukeskkonda?

Käesoleva magistr töö eesmärk on välja selgitada, kui kõrged on õhusaaste (NO₂ ja SO₂) tasemed Otepääl ja milliste saasteallikatest need emiteeruvad ning Otepää linna NO₂ ja SO₂ suurimad saasteallikad. Selleks kasutab autor nii mõõtmise (neljas erinevas kohas NO₂ ja SO₂ passiivkogujatega) kui ka modellerimise meetodit (kasutades õhusaaste leviku arvutuse tarkvara, saasteallikate andmebaaside, ilmavaatluse ja teadusartiklite andmeid).

Autor püstitas kolm hüpoteesi:

- Otepää linna NO₂ ja SO₂ tasemed on väga minimaalsed, sarnanevad teiste väikelinnade kontsentratsioonidest, kuid on tunduvalt väiksemad lähima suurlinna Tartu NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonidest
- Otepää linna suurim saasteallikas on suvel liiklus ja talvel olmekütmine
- Suvised saasteainete kontsentratsioonid on talvistest kontsentratsioonidest vähemalt kaks korda väiksemad

Lõppkokkuvõtteks analüüsib ja interpreteerib töö autor saadud andmeid, kasutades saasteaine leviku mudelit AEROPOL 5.3.2 (baseerub Gaussi mudelil) ja teeb omapoolded järeldused. Autor kasutab töö koostamisel kombineeritud meetodit, et saada olukorrast täpsem ülevaade ning suurendada tulemuste valiidsust ja usaldatavust. See töö on Eesti mastaabis ainulaadne, sest varasemalt puudub nii detailne lähenemine väikelinna välisõhus sisalduvate NO₂ ja SO₂ heitmetele ning annab tõuke tulevikus välisõhku edasi uurida.

Viitamisel kasutab töö autor APA viitamissüsteemi.

1. VÄLISÕHU OLEMUS

Välisõhk on õhk, mida me hingame väljaspool hooneid. Teaduslikus keeles nimetatakse õhukeskkonda üldiselt atmosfääriks, mis koosneb erinevate omadustega kihtidest (troposfäär, stratosfäär, mesofäär ja termosfäär). Tänapäevase atmosfääri õhus on ca 78% lämmastikku, 21% hapnikku ja 1% teiste gaaside segu (argoon, süsihappegaas, metaan vesinik jne). Lisaks veel väga vähesel hulgal teisi gaase, sealhulgas süsinikdioksiidi ja metaani. Samas leidub ka veeauru (Euroopa Keskkonnaagentuur, 2016). Enamus hapnikust ja veeaurust paikneb troposfääri kihis, mis on maapinnast alates kuni ca 10-12 km kõrguseni. Kiht, kus teadaolevalt eksisteerib ainukesena elu. Sellest järgmine on stratosfäär, mis paikneb 10-50 km kõrgusel, ning sisaldab natuke veeauru ja suhteliselt palju osooni. Mesofääri kiht paikneb 50-85 km kõrgusel ning ei sisalda veeauru. Paljud gaasimolekulid muutuvad päikesekiirguse mõjul ioonideks ja kiht neelab raadiolühilaineid. Termosfäär paikneb 85-860 km kõrgusvahemikus ning selles kihis tekivad Päikeselt saabuvate elektronide ja ioonide toimel virmalised (Frederick & Tarbuk, 2013).

Antud töös käsitletakse välisõhuna atmosfäärist ainult troposfääri kihti, kus on peamised komponendid elu eksisteerimiseks (Atmosfääriõhu kaitse seadus, 2017) ja sealseid saasteaineid NO_2 ja SO_2 , mis lähtuvalt Kemikaaliseadusest (Kemikaaliseadus, 2015) kuuluvad esmatähtsate saasteainete rühma:

- Vääveldioksiid (SO_2) on terava ärritava lõhnaga, mitte-plahvatusohtlik, vees lahustuv, värvitu mürgine gaas. Vääveldioksiidil on erinevad heiteallikaid ja peamiselt eraldub see gaas fossiilkütuse põletamisel, kuid on ka kõrvalsaaduseks nafta ning värviliste metallide sulamite saamise protsessist (Zallaghi *et al.*, 2011). Suuremad SO_2 allikad on autotransport, kohalikud tootmisettevõtted ja puidu põletamine soojusenergia saamiseks. Looduslikult paiskavad õhku SO_2 vulkaanid (EPA, 2018).

Mõju inimese tervisele: sisse hingamisel võib inimestel põhjustada hingamishäireid ja takistada hingamist. Pikaajaline kokkupuude vääveldioksiidiga võib põhjustada hingamishaigusi, mis omakorda võivad mõjutada põetavate südamehaiguste kulgu (EEA, 2015; EPA, 2016).

- Lämmastikoksiidid (NO_x) tekivad põlemisel kõrge temperatuuri juures, sest õhk sisaldab lämmastikku (Orru, 2007). NO_2 tekib üldiselt sekundaarse saasteainena inimtekkeliste ja looduslike lämmastikku sisaldavate ühendite oksüdeerumisel (WHO Europe, 2006). NO_2 tehisallikateks on peamiselt mootorsõidukite heitgaasid ning sooja ja elektrit tootvad jaamad. Looduslikest allikatest on biomassi põletamine. Suurem osa NO_x heitmetest on algselt lämmastikoksiidi (NO), kujul, mis reageerib õhuhapnikuga ($\text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{NO}_2$).

Mõju inimese tervisele: sisse hingamisel ärritab hingamisorganite limaskesta, mille tagajärjeks võib olla hingamisraskused, silma ärritus ja köha. Eriti tundlikud on astmahaiged. Võib olla üheks algpõhjuseks südame- ja veresoonehaiguste tekkeks (EPA, 2018).

1.1 Varasemad välisõhu uuringud

Õhusaaste on ülemaailmne probleem, mis hõlmab mitmeid valdkondi (majandus, sotsiaal, tervis jne). Kiire majanduskasv, urbaniseerumine ja industrialiseerimine arenenud ja arengumaades on halvendanud õhu kvaliteeti. Need tegevused suurendavad ümbritsevas keskkonnas saasteainete (nt. SO₂, NO₂, CO, O₃, PM) kontsentratsioone, avaldades kahjulikku mõju inimeste tervisele. Peamised ohustatud paigad on keskmise arengutasemega riigid (Kagu-Aasia ja Vaikse ookeani läänepiirkonna läänekalda ala (Maran, 2016). WHO 2016. aasta raportis on kirjas, et 2012. aastal suri hinnanguliselt Hiinas saastunud õhust tingitud haiguste tagajärjel 1 032 833 inimest, Indias 621 138 ja Venemaal 140 851 inimest. Teised riigid jäid alla 65 000 surma. Põhjuseks on toodud heitgaasid, jäätmete ja prügi põletamine, kivisöel töötavad elektrijaamad ja tööstustegevused, mille väljunditeks on ohtlikud ja piirnorme ületavad saastetasemed (Evans, 2016). Intensiivne õhureostus viib sudu (must suits) tekkimiseni, mille korral on nähtavus alla 10 km. Sudu korral leidub õhus väikesi piisakesi, milles sisaldub liikluse või tehaste poolt tekitatud saasteaineid. Ka Eestis on märgatud sudu olemasolu (Pedassaar, 2015). Kõige suurem probleem suduga on täheldatud Hiinas, kus aastal 2015. suri üle 1,1 miljoni inimese õhusaastest põhjustatud haigustesse ning riigis on peamiseks energia- ja soojaallikaks söe põletamine (Lee, 2017).

Lisaks on uuritud välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele Tallinna linnas. Uuringust selgub, et suremus kopsuvähki algab vanuses 38-47 ning üldiselt on suremus kõrgem nooremas eas. Üheks põhjuseks peetakse saasteainete kontsentratsiooni hulka välisõhus. Lisaks toob Orru välja fakti, et isegi kui saasteainete sisaldus Tallinna välisõhus jääb allapoole hetkel kehtivaid piirväärtusi, avaldab olemasolev õhusaaste inimeste tervisele negatiivset mõju (Orru, 2007).

1.1.1 Välisõhu seire Eestis

Aastast 2012 toimub riiklik välisõhu seire kolmes taustjaamas (Vilsandi, Lahemaa, Saarejärve) ja kuues linnajaamas (Tallinna kesklinn, Tallinna Õismäe, Tallinna Kopli, Tartu, Narva, Kohtla-Järve) (Keskkonnaagentuur, 2018), mis geograafiliselt paiknevad Eesti territooriumil üsna hõredalt. Lisaks toimus aastatel 2012-2014 üldhariduskoolidele suunatud keskkonnaprojekt, mille raames said kooliõpilased uurida lähemalt oma kodukoha õhusaastet (GLOBE Estonia, 2018). Uuringutega tegeleb ka Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK) projektide büroo (EKUK, 2018). Varasemad välisõhu kvaliteedi uuringud Otepää linna piirkonnas puuduvad, kuid aastal 2012-2014 on läbi

viidud GLOBE programmi raames Palupera kooli lähistel tahmamõõtmisi ja mõõtmisi passiivsete kogujatega (NO_2 , O_3 , SO_2 , NH_3) ning nende tulemustel tuli välja, et Palupera vallas õhusaasteprobleem puudub ja elukeskkond on hea (Silk, 2012).

Eesti riigi peamine seadusandlus õhusaaste valdkonnas lähtub Atmosfääriõhu kaitse seadusest (Atmosfääriõhu kaitse seadus, 2016).

1.2 Õhusaaste

Tootmise intensiivistumisega suureneb välisõhu saaste atmosfääris. Õhusaaste tekib, kui õhus esineb inimese tervisele või elusloodusele kahjulikke keemilisi ühendeid. Õhusaaste koosneb gaasilistest, vedelatest ja tahketest ainetest. Piisava kontsentratsiooni ja kestvuse korral teatavatel tingimustel häirib õhusaaste inimeste tervist ning heaolu, põhjustab keskkonnakahjustusi (Environmental Pollution Centers, 2017). Õhusaaste võib põhjustada ja süvendada hingamisteede haigusi, kliimamuutusi, kahjustada metsi, hapestada mulda, vett, vähendada põldude saagikust ning põhjustada ehitiste korrosiooni (Euroopa Keskkonnaagentuur, 2013). Õhusaaste mõjutab oluliselt ühiskondlikku heaolu, olles seega riikliku tähtsusega probleem. Riigi kulud probleemi ennetustegevustele on väiksemad võrreldes välisõhu saaste tagajärgede likvideerimisega. Saaste ei tunne piire ning tuuled kannavad õhusaasteaineid laiali. Osa Euroopas leitud õhusaasteainetest ja nende lähteainetest pärinevad Aasiast ja Põhja-Ameerikast (Euroopa Keskkonnaagentuur, 2013), mis tähendab, et õhusaaste probleem on ülemaailmne ning selle vähendamine nõuab kõigi riikide ühist panust.

Välisõhk on inimese tervise seisukohalt üks olulisemaid keskkonnamelemente ja selle kaitseks on välja töötatud eraldi regulatsioon (Atmosfääriõhu kaitse seadus, 2016), mille peamiseks meetmeks on välisõhu kvaliteedi tagamine läbi erinevatele saasteallikatele lubatud saasteainete kontsentratsioonide piirangute (õhukvaliteedi piirväärtus) seadmine. Õhukvaliteedi piirväärtus on saasteaine lubatav kogus välisõhu ruumalaühikus või pinnaühikule sadestunud saasteaine lubatav kogus, mis on kehtestatud teaduslike andmete alusel. Nimetatud koguse ületamise korral tuleb saavutada piirväärtus kindlaksmääratud aja jooksul ja edaspidi ei tohi enam ületada (Atmosfääriõhu kaitse seadus, 2017). Tabelis 1 on toodud antud töös uuritavate saasteainetele kehtivad piirväärtused lähtuvalt riikliku seire raames. Sulgudes on toodud arv, mitmel korral on lubatud vastavat piirväärtust aastas ületada.

Tabel 1. Saasteainetele (NO_x, NO₂ ja SO₂) kehtivad piirväärtused. (EKUK, 2018)

Saasteaine	Keskmine aeg (µg/m ³)			
	1 tund	8 tundi	24 tundi	Aasta
Vääveldioksiid (SO ₂)				30
Lämmastikdioksiid (NO ₂)	200 (18)			40
Vääveldioksiid (SO ₂)	350 (24)		125 (3)	40

Lähtuvalt keskkonnatasude seaduse sätetest on välisõhku saastavad käitised kohustatud oma tegevuse käigus välisõhku heidetud saasteainete eest tasuma riigile saastetasu (Valgamaa aastaraamat, 2016). Käitis on paikne või liikuv tehniline üksus, milles toimub tootmistegevus või tootmisega võrdsustatav, tootmisega otseselt liituv ja sellega tehnilist seost omav tegevus, millega kaasneb saastamine või saastatus (Keskkonnaseadustiku üldosa seaduse rakendamise seadu, 2014). 2016. aastal maksid Valgamaa käitised Eest riigile välisõhu saastamise eest saastetasu kokku üle 122 000 euro (Valgamaa aastaraamat, 2016).

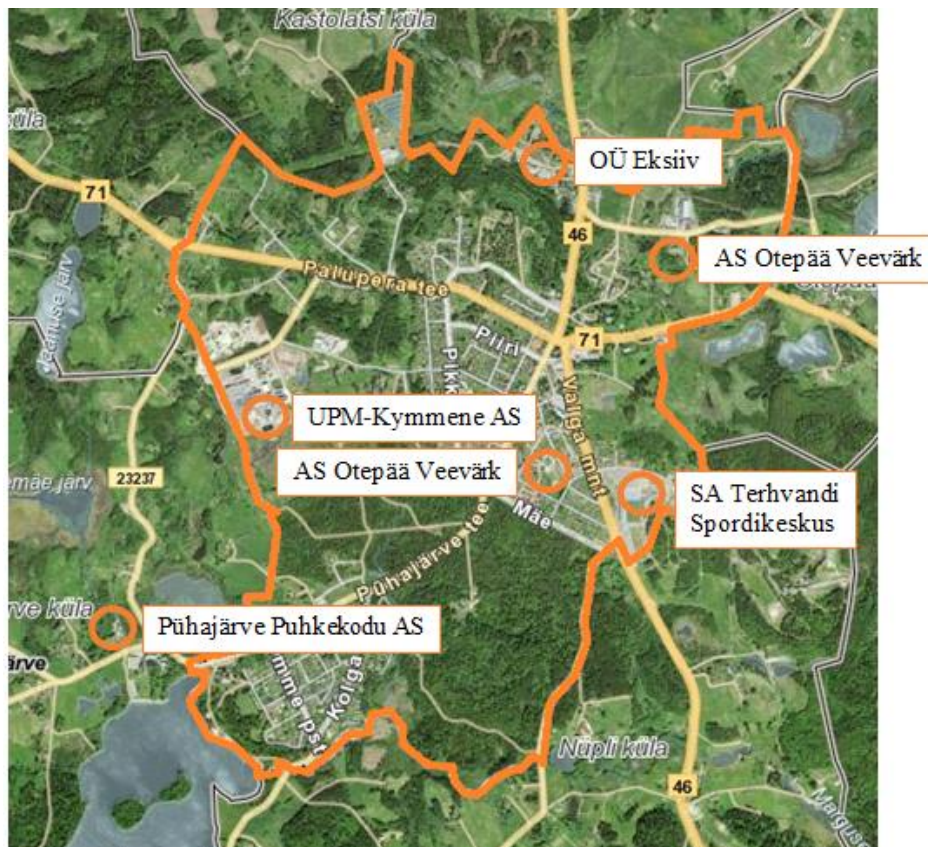
1.3 Saasteallikad

Atmosfääriõhu kaitse seaduse (Atmosfääriõhu kaitse seadus, 2016) kohaselt heiteallikas ehk saasteallikas on saasteaineid, müra, infra- või ultraheli välisõhku väljutav objekt. Õhusaasteloa kohustusega paikse heiteallika käitaja peab enne vastava heiteallika ehitusloa taotlemist omama õhusaasteloa (AÕKS § 79 lg 6). Õhusaasteluba ei pea omama kõik ettevõtted, vaid lähtudes ettevõtte saasteallika tegevuse künnisvõimsusest ja saasteainete heidete kogustest, millest alates tuleb ettevõttel taotleda õhusaasteluba (Keskkonnaministri määrus nr. 67, 2016) Õhusaasteloa väljastab piirkondlik keskkonnaamet tavaliselt määramatuks ajaks (v.a eriolukorrad). Lisaks tuleneb õhusaasteloa omamisest ettevõttel kohustus esitada keskkonnaametile iga aasta välisõhu saastamisega seotud tegevuse aruanne.

Antud töös autor analüüsib, sünteesib ja üldistab andmeid Otepää linnas paiknevate suuremate paiksete õhusaasteallikate heitmete kohta ja nende mõju välisõhu seisundile. Paiksete saasteallikate puhul tuuakse välja ettevõtete olemasolevad saastelubade normid ja saasteained (NO_x ja SO₂), mida antud luba võimaldab korstnast väljutada.

1.3.1 Õhusaasteluba omavad ettevõtted

Otepää linnas on ajalooliselt olnud olulisel kohal tööstus. Alates 1987. aastast tegutseb Otepääl kaks ettevõtet, kus töötab vähemalt 200 töötajat. 2018. aastal omavad 6 ettevõtet (2016. aastal põlengus hävis hotell Bernhard) õhusaasteluba (Joonis 1).



Joonis 1. Otepää linna paiksete saasteallikate (katlamajade) asukohad (autori joonis)

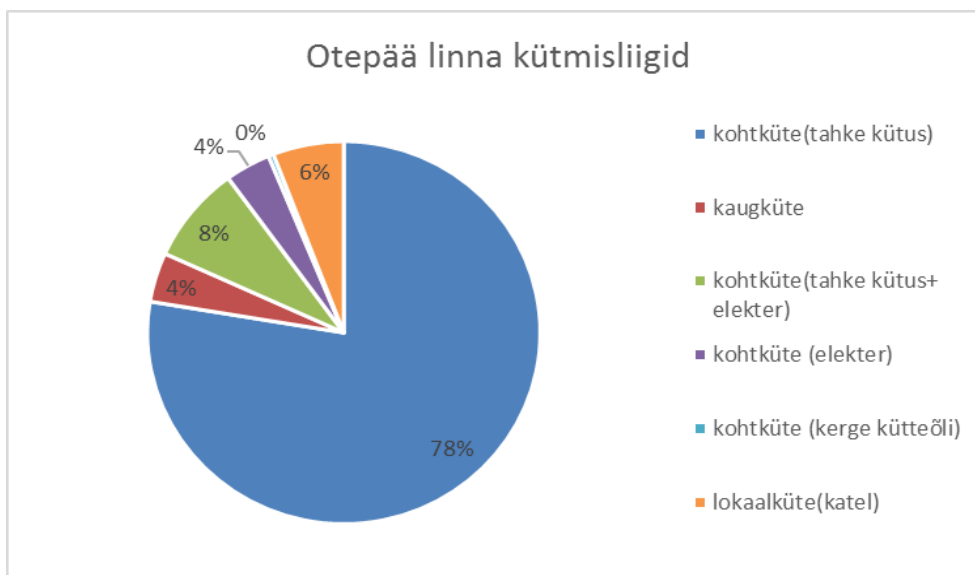
- UPM-Kymmene Otepää AS on Soome ettevõtte UPM Playwood tütarfirma, asutatud on 2000. aastal Otepää linna äärealal. 2017. aasta seisuga on ettevõttes 249 töötajat (Inforegister, 2018). Tootmisettevõtte põhitegevuseks on kasevineeri ja spoonitoodete tootmine. UPM- Kymmene Otepää AS on Valgamaa 2016. aasta parim tootmisettevõtte (Lõuna-Eesti ajaleht, 2016). Tehas on Valgamaa üks suuremaid töödandjaid, Eesti üks suurematest vineeritehastest ja tähtis eksportöör, müües piiri taha 95% toodangust (Õepa, 2016). Lähtudes UPM keskkonnakompleksloast L.KKL.VA-34605, ulatub ettevõtte õhusaaste mõjupiirkond kuni 1300 meetrini. Sellesse mõjupiirkonda jäävad mitmed kultuurimälestised (Otepää uus kalmistu, I maailmasõjas hukkunute ühishaud ja kalmistu). Ettevõtte territoorium piirneb läänest Otepää looduspargi kaitsealaga (keskkonnaregistrikood KLO1000559), mis on ühtlasi ka linnuala (keskkonnaregistrikood RAH0000103). Samuti jäävad mõjupiirkonda looduskaitseobjektid: III kategooria kaitsealused linnud (valge toonekurg, tõmmujuur, mustviies), erinevad II ja III kategooria kaitsealused taimed, I kategooria kaitsealune seeneliik (limatünnik) (Keskkonnakompleksluba L.KKL.VA-34605). Otepää keskväljakust asub UPM tootmistehasest ca 1450 m kaugusel.

- OÜ EKSIIV loodi 2005. aastal Otepää Alajaama piirkonda. Ettevõtte põhitegevusalaks on kruusaja liivakarjäärid ning kõrval tegevusaladeks auru ja konditsioneeritud õhuga varustamine, enda või renditud kinnisvara üürile andmine, käitus, majutus koos toitlustusega (e-krediidiinfo, 2018). Ettevõttele kuulub katlamaja, mis annab kaugküttena elamutele soojusenergiat. Katlamaja asub korter- ja eramajade läheduses (100-140 m). Katlamajale on paigaldatud katel Kalvis 720 M-1, võimsusega 0,72 MW ja kerge õli tipukatel Unikal võimsusega 0,23 MW kulutab 600 t puitu ja 5 t kütteõli aastas. Katlamajast paistakse õhku 20 t saasteaineid aastas (OÜ Märja Monte, 2012).
- AS Otepää Veevärk alustas tööd 1997. aastal Otepää linnas Kastolatsi tee 1 krundil. Ettevõtte kaks katlamaja asuvad Otepää linna südames (Kopli 6a krundil) ja Keskuses (Puidu maaüksus). Otepää Vallavalitsusele kuuluvad selle ettevõtte kõik aktsiad. Vallavalitsus oma korraldusega määrab iga kolme aasta järel AS Otepää Veevärk nõukogu. Ettevõtte põhitegevusalad on vee ja kanalisatsiooni majandus ning soojamajandus (Otepää Veevärk, 2018). Ettevõtte soojamajanduse piirkonnaks on kehtestatud ainult Otepää linn ja seetõttu teenindab ta Otepää linnas 1950 elanikku. Tarbijateks on korterelamud, lasteaed, Otepää Gümnaasium, asutused ja ettevõtted. Soojaenergiat müüakse 5300 MW. AS Otepää Veevärgis töötab 17 töötajat (Otepää Veevärk, 2018). AS Otepää Veevärk kasutab katlamaja kütmiseks aastas 4000 t puitkütust (hakkepuit ja saepuru) ja reservina 6 t põlevkivi kütteõli, tunnis kulub 590 kg puitkütust ja 75 kg põlevkivi kütteõli. Reservkatelt kasutakse peamiselt vastavalt vajadusele, eelkõige puitkatla remonditööde ajaks (õhusaasteluba L.ÕV/321165).
- Pühajärve Puhkekodu AS asub Otepää linnas Pühajärve kaldal endise Pühajärve rüütlimõisa kompleksis. Pühajärve mõis on ajaloolise tähtsusega, sest on üks vanimaid mõisakomplekse ümbruskonnas. Mõisat on esmamainitud 1376. aastal (Eesti mõisaportaali, 2018). Tegevusvaldkondadeks on hotellindus, konverentsiteenused- ja tehnika, majutusteenused, SPA- ja veekeskused (1182, 2018). 2003. aastal Keskkonnainvesteeringute Keskuse toetuse abil, valmis Otepää Puhkekodus keskkonnasõbralik küttesüsteem, kus vett soojendatakse päikesepaneelide abil, hoonet köetakse puithakke (900 t/a) ning halupuidu (350 t) põletamisega (Keskkonnainvesteeringute keskus.01.05.18). Pühajärve Puhkekodu koduleheküljel reklaamib oma asukohana kui looduslähedast puhkust koos erinevate tervisepakettidega.
- Sihtasutus Tehvandi Spordikeskus on loodud 2004. aastal. Ettevõttel on 88 töötajat (Inforegister, 2018). Tehvandi Spordikeskusele on omistatud kõige kõrgem litsents murdmaa- ja laskesuusatamise, kahevõitluse ja suusahüpete maailmakarikaetappide läbiviimiseks (SA Tehvandi Spordikeskus, 2018). Ettevõttel on kaks katlamaja (uurimistöös on arvestatud linnas paiknev katlamaja) ning mõlemal puuduvad püüdeseadmed. Ettevõtte kasutab kütusena kerget kütteõli (250 t/a) (välisõhusaaste luba L.ÕV/319904).

1.3.2 Olmekütmise heide

Olmeküte tähendab antud kontekstis elamute kütmist ainult talvisel perioodil (v.a saunad) kui välisõhk on jahe ning toatemperatuur langeb alla elaniku taluvuse piiri. Suvisel perioodil on Otepää linnas soe ning osa päevasest päikese soojusest talletub maja sisetingimustesse, mille tõttu puudub elanikul vajadus elamispinda täiendavalt kütta. Otepää linnas on ehitusregistris 708 elamut (üksikelamu, ridaelamu või kaksikelamu sektsioon, kahe või mitme korteriga elamu, kahe korteriga elamu, kolme või enam korteriga elamu, ridaelamu, muu kolme või enam korteriga elamu). Lisaks ettevõtted ja asutused.

Otepää linnas on mitmekülgne kütuse kasutusvaldkond. Kõige suurem osakaal on kohtküttel, mis on peamiselt tingitud vanadest nõukogude võimu ajal või veelgi varasematel aegadel ehitatud majadest (Joonis 2).



Joonis 2. Otepää linna kütmissliigid (autori joonis)

Tänapäevastes majades on ahju asemel rohkem kasutusel kamin ning kütteseadmeks on kas katel või elektter. Vähesel määral (0,6%) on Otepää linna uutes majades kasutusel kerge kütteõli. Valdav osa majapidamistest kasutab tahke kütusena puuhalge. Puit koosneb peamiselt tselluloosist, hemitselluloosist ja sideainest ligniinist ning selle peamine saasteaine on NO_x. Olmeheites on raske määrata, kui palju ja millistes kogustes linlane oma olemjäätmehid kodus põletab. 2013. aastal 3-liikmelises leibkonnas põletati keskmiselt 0,921 kg/a (Eesti Keskkonnauuringute Keskus, 2015). Mõõtmised näitavad, et kodude korstnatest võib lühikese aja jooksul kordi rohkem ohtlikke saasteaineid õhku paiskuda kui ühest prükipõletustehasest paljude aastate jooksul (Kikas, 2016). Vastavalt määrusele „Otepää valla korraldatud jäätmeveo rakendamise korrale“ on linnas kohustuslik liituda korraldatud jäätmeveoga, mis viib linlase krundilt minema olmeprügi (Otepää Vallavolikogu määrus nr. 2, 2013). 2018. aastal Otepää jäätmeveo piirkonnas osutab

jäätmete veoteenust Ragn-Sells AS. Lisaks on Valgamaa omavalitsuste ühine jäätmekava aastateks 2017-2025 (Valgamaa omavalitsuste ühine jäätmekava aastateks 2017-2025, 2017), mille peamine eesmärk on jäätmete kokku kogumise suurendamine olmeprügi põletamise vähendamiseks. Olmeprügi kõige ohtlikumad saasteained on peenosakesed ja tuhk, mis sadestub maapinnale ning lõpuks satub inimese toidulauale.

1.3.3 Liiklusheide

Otepää linn on ajalooliselt tuntud keskuslinnana, mida kasutatakse peamiselt läbisõiduks või küllastamiseks. Lähtuvalt maanteeameti geoportaalist, puuduvad Otepää linnas Eesti riigi põhimaanteed. Teede võrk koosneb kahest tugimaanteest (Tatra-Otepää Sangaste, Rõngu-Otepää- Kanepi) ja kõrvalteedest ning kohalikest teedest. Valdav osa teedest on asfalteeritud. Otepää linnas on vähe töökohti ja valdav osa elanikest käib tööle väljaspool Otepää linna.

Sõidukite summutitorust väljuvad tahm (C – süsinik lihtainena), vingugaas (CO), süsivesikud ja lämmastikuühendid (NO_x) suurtes kogustes on elanike tervisele kahjulikud. Sõiduvahendite kütus sisaldab vähesel määral väävlit, mis eraldub mootoris kütuse põletamisel vääveldioksiidina. Otepää linnas on kõige tihedam liiklus linna ainukese valgusfoori juures, kus läbisõitvate autode keskmine ööpäevane arv mööda Tartu maanteed ulatub üle 2000 (maanteeameti geoportaal). Teiste riigi tugimaanteede autode ööpäeva keskmine jääb 1200-1800 vahemikku. Suurema osa transpordivahenditest teedel moodustavad sõiduautod, kuid ca 14 % autorongid ja ca 5% veoautod. Antud töös on arvestatud bensiinil ja diislil sõitvate sõiduautodega, pakiautodega, veoautodega, autobusside ning autorongidega. Lähtunud on lisaks Otepää ülevaatuspunkti läbivate autode vanusest (ca 11 aastat). Arvesse ei ole võetud teekatete, rehvilikide heitekoguseid, sest ei käsitleta mõõtmisandmete puudumise tõttu tahkete osakeste heitmeid.

2 METOODIKA KIRJELDUS

Käesolevas magistritöös kasutati empiirilist ja kvantitatiivset uurimismeetodit. Töös võeti aluseks mõõtmis- ja intervjuu andmed. Töö eesmärk oli analüüsida, sünteesida, võrrelda ja üldistada NO₂ ja SO₂ saastet linna piires. Kas on märgata SO₂ ja NO₂ kõrgeenenud kontsentratsioone teatud kohtades? Kas kütuste põletamine eramajades võib mõjutada kohalikku õhku ning kuidas kohalikud elanikud on rahul linna õhukvaliteediga? Selgitada välja linnaelanike põhimured seoses paikkonna välisõhu kvaliteediga.

Eesti õhusaaste mõõtmise ja uurimisega väljaspool riigi poolt ette määratletud taust- ja linnajaamasid tegeleb aktiivselt mitmeid aastaid Eesti Füüsika Selts ja „GLOBE Eesti“ rahvusvahelise kooliõpilaste keskkonnaõppe programmi GLOBE raames. Selle töö mõõtmismetoodika juhindub GLOBE õhusaaste mõõtmiste juhendmaterjalist (GLOBE, 2018). Uurimise alla võeti NO₂ ja SO₂ saastetasemed (modelleeritud andmete puhul algselt NO_x, sest NO₂ tekib sekundaarainena NO_x). Otepää linnas. Valimi määravamaks kriteeriumiteks osutus rahastus ning juhendaja varasemad kogemused antud teema käsitluses ja töö autori enda teadmised, oskused ning kogemused. Samuti oli oluline passiivkogujate kättesaamise asukoht (Tartu).

Lisaks on antud töös kasutatud saasteainete hajumise modelleerimiseks tarkvara AEROPOL 5.3.2.

2.1 Uurimisala

Otepää linn asub Lõuna-Eestis Valga maakonnas Otepää vallas (Lisa 1 joonis 1). Otepää paikneb Eesti linnadest kõige kõrgemal üle merepinna (kõrgemal kui 100 m). Otepää kõrgustiku põhjaosa iseloomustab väike- ja keskmikkünklik moreen ning fluvio- ja limnomõhnade reljeef, kus maapinna suhtelised kõrgused võivad ulatuda 20 kuni 30 meetrini. Otepää kõrgustiku põhjaosas ulatub maapinna absoluutne kõrgus 160–165 meetrini. Otepää vald on tuntud oma kuppelmaastiku poolest.

Valla üldpindala on 217,29 km² ja elanike arv 6632 (seisuga 1. jaanuar 2018), millest linnas elab 2197 elanikku. Vallas elab 1 grusiin, 1 ingeri-soomlane, 2 inglasi, 2 juuti, 1 leedulane, 3 lätlasi, 1 moldovlane, 1 mustlane, 2 rumeenlast, 5 sakslasi, 28 soomlast, 1 tatarlane, 11 ukrainlast, 1 ameeriklane, 1 uus-meremaalane, 1 vadjalane, 85 venelast, 1 vepslane (Otepää teataja, 2018). Otepää linnas on 55 tänavat kogupikkusega 32 km. Ühendus Eesti teiste linnadega toimub läbi Otepää linna. Otepää linna läbib 2 Eesti riigi tugimaanteed (tee nr. 46 ja 71). Lähim raudteejaam asub 12 km kaugusel Paluperas.

Otepää linnas on kaks kooli (Otepää Gümnaasium ja eraspordikool Audentes Otepää filiaal) ja Rehabilitatsioonikeskus OÜ. Samuti on linnas kaks lasteaeda ja eralastehoid. Linnas on kolm

suuremat toidupoodi ja mitu söögikohta ning väike kaubanduskeskus. Otepää vallavalitsusele kuulub AS Otepää Veevärk, mille põhitegevus aladeks on vee- ja kanalisatsioonimajandus ning soojamajandus. Vee- ja kanalisatsiooni teeninduse piirkondadeks on Otepää linn, Sihva küla, Kannistiku küla ja Keskuse-Alajaama küla (Otepää veevärk, 18). Otepää valla võrguettevõteteks on AS Otepää Veevärk, AS Pühajärve Puhkekodu ja OÜ Eksiiv (kõik kaugküttena) (Otepää Vallavolikogu määrus nr. 16, 2017).

Otepää kohalik omavalitsus peab lähtuma ettevõtte tegevusloa andmisel atmosfääriõhu kaitse seadusest, mille peaeesmärk on välisõhu kvaliteedi säilitamine piirkondades, kus see on hea, ja välisõhu kvaliteedi parandamine piirkondades, kus see ei vasta seaduses sätestatud nõuetele.

Välisõhu saasteluba on väljastatud ettevõtetele AS Otepää Veevärk, AS Pühajärve Puhkekodu, Otepää Lihatööstus Edgar OÜ, SA Tehvandi Spordikeskus, OÜ Eksiiv, UPM- Kymmene Otepää AS (Kotkas, 2018). Kuid samas on saasteloata aktiivseid ettevõtteid, nt AS Parmet, Otepää Jäätmejaam, OÜ Otepää Ehitusgrupp, Otepää Metall AS, Techne Töökoda AS jne.

2.1.1 Meteroloogiaandmed

Kliima ehk ilmastu on mingi paiga ilmade pikaajaline korrapärane vaheldumine ehk režiim. Ilm on pidevalt muutuv atmosfääri seisund (Peede, 2018). Otepää kliima on suhteliselt mandriline ehk kontinentaalne (sademete suhteline vähesus ja õhutemperatuuri suur kõikumine). Ilm on oluline välisõhu saaste leviku mõjutaja. Paikkonna kliima mõjutab seega oluliselt pikaajalisi keskmisi saastetasemeid ja õhusaaste muutliikust. Nõrga tuulega ja temperatuurinversiooni olukorras (maapinna lähedal külmem kui kõrgemal) hajub õhusaaste halvasti ja kontsentratsioonid saasteallikate lähedal tõusevad. Vastupidi, soojenenud aluspinna ja tugevama tuulega õhusaaste hajub hästi ja kontsentratsioonid on madalamad. Vihm peseb saasteained õhust välja, alandades saastetasemeid. Mõjutajateks on lisaks ka teised ilmategurid (suhteline õhuniiskus, pilvisus, tuule suund jne). Selles töös käsitletakse Otepäele lähima kõiki vajalikke mõõtmisi teostava Riigi Ilmateenistuse Tartu - Tõravere vaatlusjaama õhutemperatuuri, sademete, tuule kiiruse ja suuna andmeid (Riigi Ilmateenistus, 2018).

Lähtuvalt passiivkogujate NO₂ ja SO₂ mõõtmisperioodist, on oluline selle perioodi ilm. Juuli-augusti perioodil keskmine õhutemperatuur oli 16 °C ja sademeid minimaalselt. Kõige soojem päev oli 28.07 keskmise temperatuuriga 20 °C ja kõige jahedam 20.07 keskmise temperatuuriga 13 °C (Lisa 3 Joonis 1). Antud perioodil olid domineerivad edela ja lääne tuuled kiirusega 0,2-8,2 m/s (Lisa 3 Joonis 3).

Talvine periood (27.01-26.02.18) oli suvisest perioodist tunduvalt jahedam. Mõnel üksikul päeval olid päevased (27.01-29.01, 02.02.18) keskmised õhutemperatuurid üle 0 °C, terve perioodi vältel

sademed praktiliselt puudusid. Perioodi kõige külmemate päevade keskmine temperatuur oli -15 °C (Lisa 3 Joonis 2). Antud perioodil olid domineerivad lõuna, kagu ja loode tuuled, kiirusega 0,1-8,1 m/s (Lisa 3 Joonis 4).

2.2 NO₂ ja SO₂ välimõõtmised

Mõõtmised passiivsete difusioonkogujatega viidi läbi 4 punktis Otepää linnas (Lisa 1 Joonis 1). Mõõtmised teostati suvisel (10.07-09.08.17) ja talvisel (27.01-26.02.18) perioodil. Kolm mõõtmispunkti asusid Otepää linna võimalikult saasterohkes alas ja üks mõõtmispunkt jäi linnast natuke eemale, kuid on samas populaarne koht sportimiseks (Lisa 1 Joonis 2). Mõõtmiskohtade peamine eesmärk oli katta linna piirkond nii geograafiliselt kui ka suurimate möjuallikate osas.

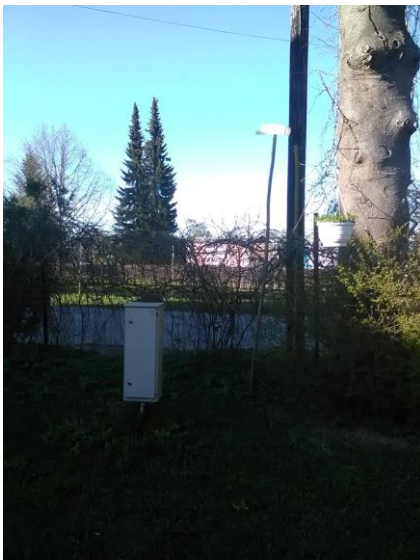
1. mõõtmispunkt (Valgusfoor) asus Otepää linna ainukese valgusfooriga ristmiku läheduses.
2. mõõtmispunkt (Kalda tänav) asus UPM-Kymmene vineeritehase asukohale kõige lähemal, kõrgema reljeefiga kohas ja tiheasustusosal.
3. mõõtmispunkti (Koolitare) valik lähtus linna katlamaja ja Otepää koolimaja lähedusest.
4. mõõtmispunkt (Tehvandi) asus Otepää linnast eemal rohealal. 20 m raadiusesse jääb metsatukk ja avalik tiik. See on populaarne koht sportlaste seas. Suvise NO₂ mõõtmistulemust sellest kohast ei saadud, sest passiivkoguja kadus mõõtetokilt ära.

Passiivsed difusioonkogujad väljastas Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu Labor õhukindlalt suletud plastikust topsides (kogujad hakkaksid alles mõõtmiskohtades topsi avamisel mõõtma). Passiivne proovikogumine põhineb uuritava aine kontsentratsioonide erinevusel uuritavas keskkonnaosas (õhus) ja koguja sees oleval kogumispinnal. Difusioonkoguja on polüpropüleenist torukujuline koguja, mille põhjas asub immutatud filterpaber, mis on kaitstud teflonmebraanfiltriga (Joonis 3). Toimub aine ülekandumine difusiooni teel välisõhust reaktiiviga immutatud filtrile. Saasteaine difundeerub koguja sees olevale kogumispinnale (immutatud filter), sest keemilise sidumise tõttu filtril on aine kontsentratsioon palju väiksem või koguni null (Sõukand, 2013). Kogujat kaitseb mehhaaniliste vigastuste eest peenike traatvõrk toru otsas. Kogujad paigaldatakse avatud otsaga (võrguga) allapoole. Passiivkogujad said järgmisel päeval peale laborist väljastamist mõõtekohtadesse üles pandud.



Joonis 3. Koguja ehitus. Vasakult paremale- tops, teflonmembraan, traatvõrk, reaktiividega immutatud filter ja ringikujulise avaga polüpropüleenist koguja korpus. Foto: Globe.ee

Autor ehitas ise mõõtmistoki, mille eesmärk on täita difusioonkoguja välimõõtmise tingimusi (2,4 m kõrgusel maapinnast, on kaitstud otsese päikesekiirguse ning vihma eest (Joonis 4).



Joonis 4. Passivkoguja mõõtmistokk (autori joonis)



Joonis 5. Mõõtmistoki valmistamise vahendid (autori joonis)

Autor kasutas valmistamiseks järgmisi vahendeid: 4 tk 2,7 m lepatokke (30 cm läheb tokk maa sisse), 2 tk 5 l destilleeritud vee kanistrit (lõigata kääridega lühemast küljest pooleks), 4 tk katusekrugi ja kahepoolset kleplinti Tesa (Joonis 5). Talvisel perioodil pidi tagama, et veekanistrid olid niiskusevabad, et kleplinti kleepuks (villase teki sees soojas).

Märkisin üles koguja tüübi (NO_2 ja SO_2) ja kogujate ülespanemise kuupäeva ning kellaaja. Mõlemal korral said õhtul üles ja hommikul (enne lõunat) maha võetud. Igas mõõtmispunktis läks aega ca 20-30 minutit.

Proovikogujate analüüsid teostas EKUK Tartu osakond. Lämmastikdioksiidi puhul on filtri immutuslahuseks NaOH ja KI lahus metanoolis. Reaktsioon filtris: Nitritiooni sisaldus määratakse spektrofotomeetriliselt, ning see annab N-1-naftüül-etüleendiamiiniga roosa lahuse, mida mõõdetakse lainepikkusel 540 nm. Vääveldioksiidi puhul on immutuslahuseks 0,01M naatriumkarbinaadi (Na_2CO_3) lahus. Naatriumkarbonaadi hüdrolüüsil saadakse hüdroksiidioonid ja aluseline keskkond: absorbeerunud SO_2 ekstraheeritakse 0,01M H_2O_2 -ga. Oksüdatsioonireaktsiooni tulemusel moodustunud määratakse ionkromatograafiliselt kasutades juhtivusdetektorit (Sõukand, 2013).

2.2.1 Lisainformatsioon

Antud NO_2 ja SO_2 mõõtmistulemustele on oluline määrata ka mõõtmisperioodi igapäevane keskmine õhutemperatuur ja tuule kiirus ning suund. Autor valis Tartus Tõravere Observatooriumi igatunnised meteoroloogiaandmed 10.07-09.08.17 ja 27.01-26.02.18 perioodi kohta (Riigi Ilmateenistus, 2018), sest see mõõtejaam oli Otepää linnale lähim, mis mõõtis ka tuulekiirusi ja –suundi vastavalt meteoroloogiliste vaatluste standardile lagedal alal 10 m kõrgusel.

2.3 Intervjuude läbiviimine

Kuna otepää linnas ei ole varem tehtud uuringuid kütuste kasutamise kohta, siis magistritöö raames viidi läbi elanike hulgas kohtküttel elamute ankeetküsitlus. Autor võttis aluseks juhendaja Marko Kaasiku poolt koostatud küsimustiku ja tegi sellest Otepää elanikele sobiva ankeetküsitluse vormi (LISA 2). Poolstruktureeritud ankeetküsitluse andmete kogumise eesmärgiks oli välja selgitada Otepää linnas peamised küttekolded, majade soojustus ja elanike rahulolu Otepää linna õhukvaliteediga. Ankeetküsitluse täitis töö autor, kes vajadusel seletas lahti küsimuse mõtte.

Küsitlus viidi läbi intervjuu vormis 35 majapidamises. Kindlaid kriteeriumeid valimi puhul polnud, oluline oli, et majapidamine asus Otepää linnas ning vastaja teadis oma kütumisharjumusi. Usaldusväärsete tulemuste saamise eesmärgil valiti empiiriliseks uuringuks erinevad majapidamised Otepää erinevates linnaosades, hõlmates nii kohtküttel üksikeramuid kui kortereid.

Küsimustik koosnes 22 küsimusest, mis sisaldas nii kvalitatiivseid kui kvantitatiivseid küsimusi. Vastajatele kõige raskemad küsimused olid soojusseadmete maksimaalvõimsus ja aastane kütuse kulu.

Ühe intervjuu peale kulus umbes 30 minutit. Kui vastaja ei olnud kindel oma teadmistes, tehti kohapealne visuaalne hinnang. Lisaks tuli vastajatel hindepalliskaalal (1-5) hinnata oma rahulolu kodulinna õhu kvaliteediga ning küsimusest lähtudes, kas ja mis neid kodulinna õhu kvaliteedi juures enim häirib. Antud ankeetküsitlusest saadud aastased kütusekogused ja köetava pinna suurused üldistati kogu linnale. Selleks võeti ehitusregistri andmebaasist Otepää linna eramute (v.a kaugküte, elektriküte) suletud netopind (m²) ehk köetav pind, soojavarustuse liik ja geograafilised koordinaadid (X,Y). Korterelamute puhul läks arvesse korterite arv ja suletud netopind. Ankeetküsitluste igale eramule arvutati saasteaine NO_x ja SO₂ heitkogused, võttes arvesse Keskkonnaministeeriumi määruse „Põletusseadmetest välisõhku väljutavate saasteainete heidete mõõtmise ja arvutuslikumääramise meetod“ (Keskkonnaministeeriumi määrus nr. 59, 2017) Lisaks Keskkonnaameti põletusseadmete eriheitmete dokument. Puidu kütteväärtus pärineb EKUK-i katsetest (Teinmaa *et al.*, 2013), arvestades et köetava puidu hulgas on nii kuiva kui märga leht- ja okaspuud (Tabel 2).

Tabel 2. Kütuseliigi kütteväärtus ja NO_x ning SO₂ eriheidet (Teinmaa, 2013)

Kütuseliik	Kütteväärtus (MJ/kg)	NO _x eriheidet(g/GJ)	SO ₂ eriheidet (g/GJ)
Turvas	9,5	300	200
Puit	13	100	10
Kerge kütteõli	42	100	100

2.4 Õhusaaste mudeli AEROPOL sisendid

Heitmete andmete kogumine seisnes NO_x(NO₂) ja SO₂ saasteallikate leidmises ning heitkoguste arvutamises, mille tulemusena saadi algselt kahe saasteaine (NO_x, SO₂) Otepää linna modelleeritud heitmete kogused nii suvisel kui talvisel perioodil. Andmed on vajalikud AEROPOL-i sisendiks.

Arvutatud NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid võrreldi mõõtmistulemustega, et võrrelda, kas arvutuslikul teel saadud tulemused on sarnased passiivkogujatega saadud tulemustega.

- Liiklusheitmest tingitud NO_x heitme modelleerimiseks kasutati maanteeameti andmebaasi, et saada 2017. aastal Otepää linna läbivate tugimaanteed ja kõrvalteede sõiduautode, veoautode ja autorongide ööpäevased liiklusvood. Arvestatud teelõigud ulatusid Otepää linna piiridest natuke kaugemale, sest ka mõned ettevõtted, mille heitmeid arvestati, asusid Otepää linna lähipiiril või natuke sellest eemal. Töös on oluline sõidukiirus teelõikudel (km/h) ning teelõikude pikkus (km). Hajumisarvutuseks on

vajalikud teelõikude otspunktide koordinaadid (X,Y). AEROPOL loeb spetsiaalses formaadis Exceli tööleheltsisse teelõikude otspunktide koordinaadid ja heitkogused. Antud töös on teelõikudel heitkoguste arvutamiseks kasutatud TU Gaz (2009) aruandes toodud autode heitmete koefitsientide (bensiin- ja diiselmootoriga sõiduautod, autorongid ja veoautod EURO kategooriate kaupa) (TU Gaz, 2009). Autoregistri statistika põhjal hinnati, et valdav osa sõidukitest on bensiinimootoriga (73%) ja väiksem osa diiselmootoriga 27%. Orru *et al* (2016) aasta uurimistööst on võetud sõidukite osakaalud EURO kategooriate kaupa andmed, Sõidukite osakaalud EURO kategooriate kaupa pärinevad Orru (2016) uurimistööst (Orru *et al.*, 2016).

- Punktasaasteallikatest ehk katlamajade korstnatest tingitud NO_x ja SO₂ heitmete väljalase andmed saadi Keskkonnaameti andmebaasist Kotkas õhusaastelubadelt, täiendavat informatsiooni Peeter Eksteinilt (Lõuna regiooni Keskkonnaameti välisõhuspetsialistilt). Maa-ameti geoportaalist saadi katlamajade (hoonete) mõõtmed, mida AEROPOL kasutab saastejoa hajumise arvutamisel. Olmekütmise NO_x ja SO₂ heitmete modelleerimiseks kasutati peamiselt ankeetküsitluse vastuseid ning ehitusregistrit. Lähtuti ka Kaasiku (2000) Kärkla linnas läbiviidud olmesaaste heitkoguste arvutamisemeetodist (Kaasik, 2000).
- Vastavalt vastajate käitumisharjumustest (tavaline tööpäev, tavaline puhkepäev, külm tööpäev ja külm puhkepäev) ning aastastest küttekogustest, tuli eraldi välja arvutada nende saasteainete heitkogused ühes tunnis vastavalt päevale, nädalale ning lõpuks ühele kuule ja aastale. AEROPOL-i sisendiks olid ankeetküsitlusest hinnatud kuu, nädalapäeva ja tunni koefitsiendid ning aastane heitkogus (t/a). Mõlemaid saasteaineid käsitleti eraldi ja kahel ajavahemikul vastavalt mõõtmisajale (soe aeg ehk suvi ja külm aeg ehk talv). Suvisel perioodil lähtus autor olukorrast, kus Otepää linnas puudub olmekütmine, välja arvatud saunad.
- Saunade kütmise NO_x ja SO₂ heitme määramiseks kasutati juhendaja Marko Kaasiku hinnangut, milles ta lähtus oma kodus tunni jooksul põletatavate küttehalgude tüüpilisest kaalust 5kg (toatemperatuur 20°C). Saunaheitmete puhul kasutati ankeetküsitlusest hinnatud nädalase ja ööpäevase käigu koefitsienti – nädalalõppudel ja õhtupoolikul toimub suurem osa saunakütmisest.
- Saarejärve taustjaama NO_x ja SO₂ kontsentratsioonide andmete arvestamine Otepää linna kogu heitmete arvutamisel. Taustjaama eesmärk on mõõta saastetasemeid suurtest saasteallikatest, sh. linnadest kauges kohas, iseloomustades seega suurema maa-ala taustakontsentratsioone, mida kujundavad hajussaasteallikad ja kaugkanne. Lähtutud on selle seirejaama valikus geograafilist asendit ja asustustihedusest. Saarejärve taustjaam

asub mõõdukalt asustatud maapiirkonnas (umbes 50 km Tartust põhjapool), kus ümberringi on kohtküttel taluhooned. See on Eesti taustajaamadest kõige lähedasem Otepää linnale geograafiliselt ja ümberkaudsete olude poolest. Saarejärve keskmine taustkontsentratsioon perioodil 10.07.-09.08.17 oli NO_x $0,815 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja SO_2 $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Talveperioodil (27.01.-26.02.18) NO_x $3,218 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja SO_2 $1,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.5 Mõõdetud ja modelleeritud meetodil saadud andmete võrdlus

Varasemalt modelleeritud meetodi tulemusena on saadud Otepää linna erinevate heitmete (liiklus, punktallikad, saun, olmeküte, Saarejärve fooniväärtus) NO_x ja SO_2 kontsentratsioonid. Et võrrelda mõõdetud ja modelleeritud meetodil saadud NO_2 tulemust, tuleb modelleeritud meetodil saadud heitmete NO_x koguväärtus teisendada NO_2 , sest teatud osa NO_x -st muundub välisõhus NO_2 -ks. Antud töös on võetud NO_2 kontsentratsiooniks 75% NO_x kogukontsentratsioonist, mis vastab Tartu (Karlova) seirejaamas mõõdetud suhtele. Mõõduka autoliikluse ja paljude kohtküttel elamute keskel asuv Tartu linnaseirejaam on eeldatavalt lähim Otepää oludele.

4.5 AEROPOL 5.3.2 mudel

Antud töös on kasutatud saasteainete hajumisarvutuste ja kontsentratsioonide hajumisarvutuseks tarkvara AEROPOL 5.3.2, mis põhineb Gaussi jaotusega saastejoa mudelil (Gaussi mudel), lähtudes keskkonnaministri 27.12.16 määruses nr 84 „Õhukvaliteedi hindamise kord“ esitatud nõuetest (Keskkonnaministri määrus nr. 84, 2016). Gaussi joa mudeli põhivalem on:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y u} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right],$$

kus nn. hajumisparameetrid $\sigma_y = (2K_y x/u)^{1/2}$ ja $\sigma_z = (2K_z x/u)^{1/2}$

C on saasteaine kontsentratsioon õhus,

Q on punktallika tugevus (heitkogus ajaühikus),

K_y, K_z on turbulentsse ülekande koefitsiendid ja u tuule kiirus,

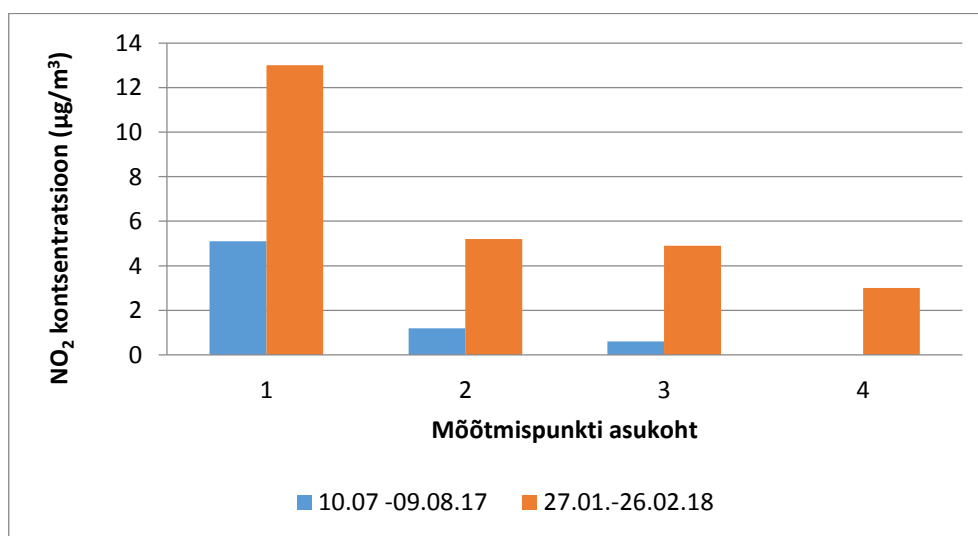
x, y, z on selle punkti koordinaadid (vastavalt allatuult, risti tuulega ja vertikaalis), milles kontsentratsiooni C arvutatakse (Kaasik.2000).

Mudelis AEROPOL on σ_y ja σ_z parametrizeeritud kirjanduses toodud poolempiiriliste valemite abil. Mudeli AEROPOL põhialustest annab ülevaate artikkel (Kaasik, 2004) ja hilisematest täiendustest (Kaasik, 2017).

3 TULEMUSED

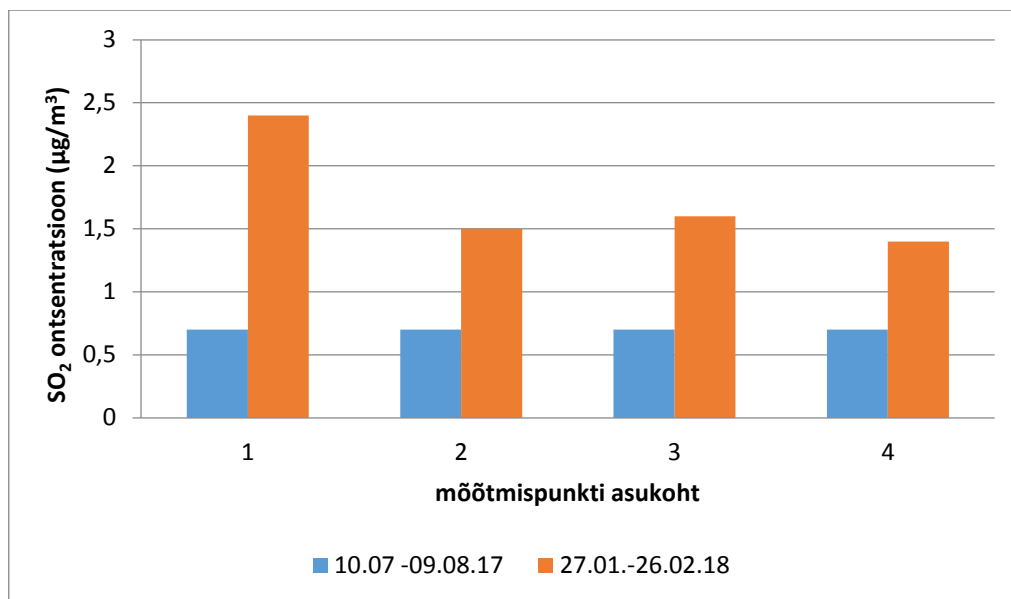
Antud töös on saadud NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid kahe meetodi abil (mõõtmine ja modelleerimine). Mõõdetud andmete kogumiseks kasutas autor passiivkogujaid, mis kogusid saasteaineid 30 päeva jooksul teatud mõõtekohas kindlal kõrgusel. Modelleeritud meetodi puhul võeti lähteandmed andmebaasidest, teadustöödest ja ankeetküsitlusest, lähtudes samast ajavahemikust, mis otsesel mõõtmisel (NO_x→ NO₂). Mudelarvutuses arvestati vastava ajavahemiku meteoroloogiaandmetega.

Passiivkogujad andsid oma mõõtmisperiodidel (suvi ja talv) selgelt eristuvad tulemused (Joonis 6). Antud joonisel on näha, et mõlemal perioodil kõige kõrgema kontsentratsiooniga NO₂ mõõtmiskohaks on valgusfoori ristmik, kus suveperioodil on NO₂ mõõtmistulemuseks 5,1 µg/m³ ja talvel 13 µg/m³. Kalda tänava lõpus mõõdeti suvisel perioodil 1,2 µg/m³ ja Koolitare tänaval 0,6 µg/m³. Tehvandil puudub suvine mõõtetulemus (koguja läks kaduma). Talvised kontsentratsioonid on suvistest mitu korda suuremad. Näiteks valgusfoori ristmikul suurenes kontsentratsioon natuke üle 2 korra. Otepää linna NO₂ suvine keskmine kontsentratsioon on 1,725 µg/m³ (välja on jäetud Tehvandi mõõtmiskoha tulemus, sest mõõtmisperiodil ei mõõdetud seda kohta) ja vastavalt talvel 4,125 µg/m³.



Joonis 6. Passiivkogujate NO₂ mõõtmistulemused (autori joonis)

SO₂ suvised kontsentratsioonid olid madalad, jäädes alla määramispiiri 0,7 µg/m³. Talvel tõusid kontsentratsioonid vähesel määral. Kõige kõrgema kontsentratsiooniga mõõtmiskoht on valgusfoori ristmiku juures, kus SO₂ kontsentratsioon ulatus 2,4 µg/m³. Ülejäänud kolme mõõtmiskoha kontsentratsioonid jäid vahemikku 1,4-1,6 µg/m³ (Joonis 7).

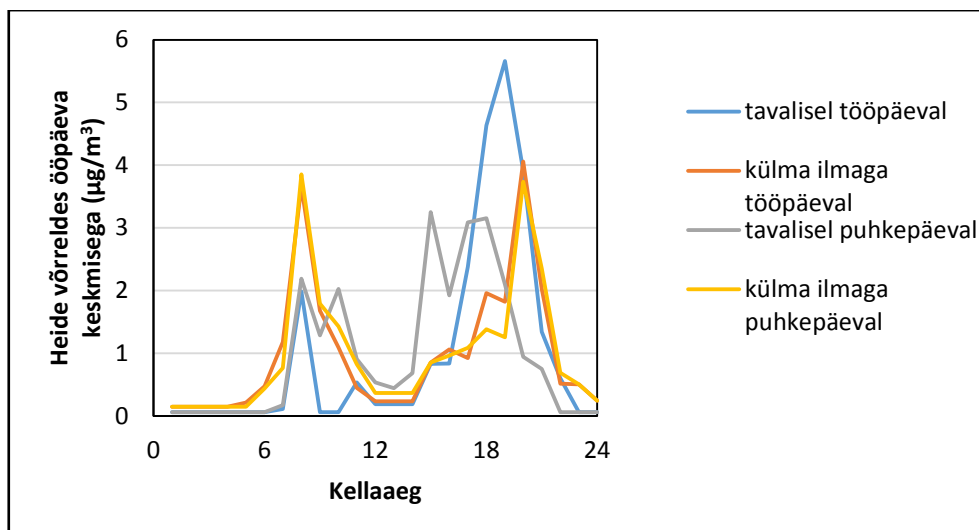


Joonis 7. Passiivkogujate SO₂ mõõtmistulemused (autori joonis)

Otepää linna SO₂ suvise mõõtmisperioodi keskmine kontsentratsioon on alla 0,7 µg/m³ (kõik näidud alla määramispiiri, milleks on 0,7 µg/m³) ja talvel 1,7 µg/m³.

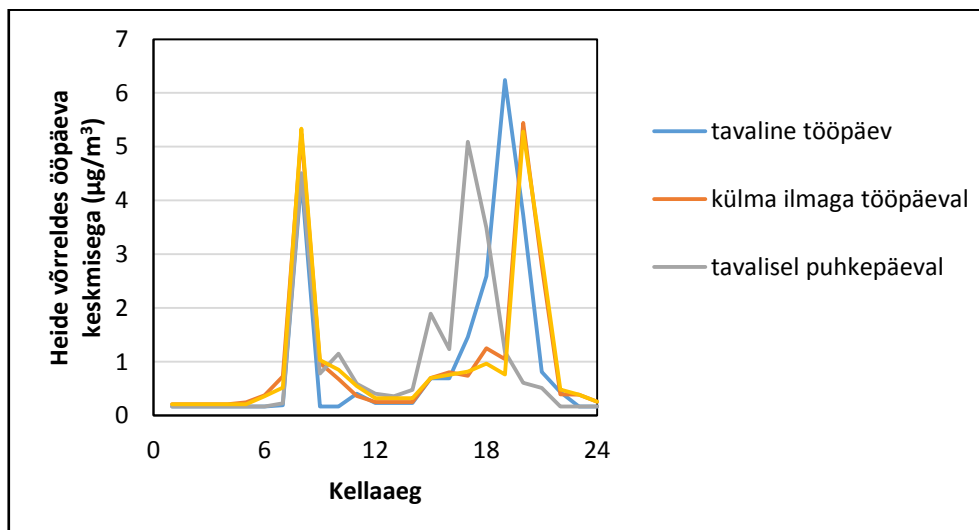
3.1 Ankeetküsimustik

Ankeetküsitluse käigus küsitleti 35 majapidamist, millest 8 on kohtküttega kortermaja ja 27 on eramud. Köetav pind majapidamises oli varieeruv: 37 m² kuni 200 m². Elamud, mis olid soojustamata, köeti peamiselt septembrist maikuuni ning soojustatud majad oktoobrist maikuuni. Valdavalt vastajatest kasutasid maja kütmiseks pliiti ja ahju. Kaasajastatud majadel oli keskküttekatel või elekterküte (õhksoojuspump, maasoojuspump, elektriradiaatorid). Antud töö puhul ei saanud kasutada soojusseadmete maksimaalvõimsust, sest seda teadis ainult üks majapidamine. Valdav osa kasutas kütmiseks puitu, kuid üks majapidamine kasutas kütusena kerget kütteõli ja kaks küttepudele täiendavalt turvast. Ankeetküsitlusest selgus, et väga külmal päeval köetakse enamasti kaks korda päevas (hommikul ja õhtul) ning tavalistel päeval ük kord päevas (valdavalt õhtuti). Lähtuvalt kütmissaegadest ja välisõhutemperatuurist (külm, tavaline) on NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid erinevad. Ankeetküsitluse vastajad kütavad tavalistel tööpäevadel pärast tööd ehk õhtuti kella 19.00 paiku ja osad ka hommikutundidel (Joonis 8). Vähem köetakse kell 10.00 kuni 14.00. Tööpäevadel ja puhkepäevadel köetakse küllaltki sarnaselt, 2-4 tundi päevas (v.a automatiseeritud katlasüsteemiga elamud). Puhkepäeval köetakse vastavalt olukorrale, aga tööpäeval enamasti peale tööd.



Joonis 8. NO_x heitkoguse ööpäevane käik võrreldes ööpäeva keskmisega (autori joonis)

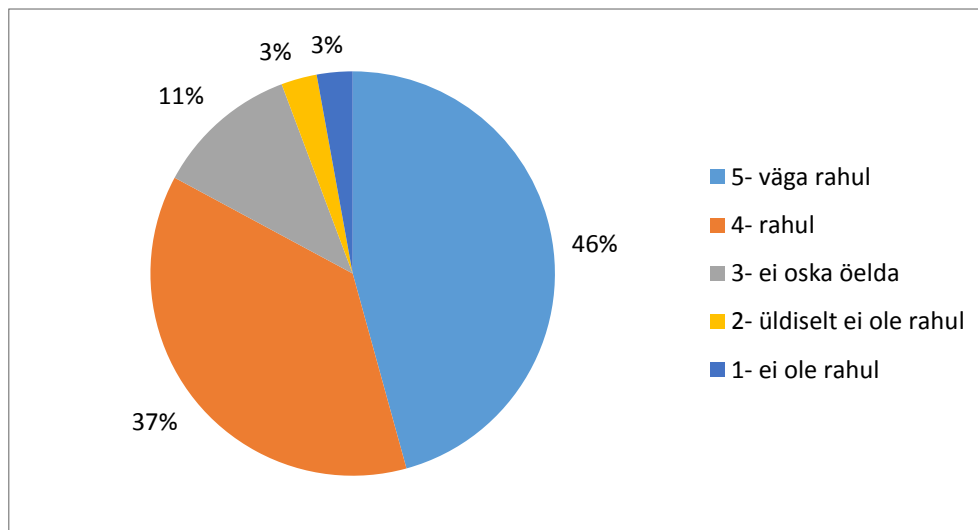
SO₂ heite ööpäevane käik on NO_x graafiku sarnane, kuid SO₂ puhul on hommikune heitemaksimum veidi kõrgem, mis tuleneb turbaga kütvate majapidamiste eripärast (turba põletamise SO₂ eriheide on kolm korda puidu omast suurem, vt. Tabel 1). Kõige rohkem SO₂ väljutatakse korstnast ankeetküsitluse valimist lähtudes kella 08.00 paiku ja ca kella 19.00 ajal (Joonis 9).



Joonis 9. SO₂ kontsentratsiooni ööpäevane käik võrreldes ööpäeva keskmisega (autori joonis)

Üldiselt on vastajad oma kütteseadmetega rahul (46% valmist olid väga rahul oma kütteseadmega), kuid võimalusel tahetakse juurde ühte ahju või pelletisüsteemi (Joonis 11). Mõni soovis kaasajastada küttesüsteemi päikesepaneelide või maakütte näol. 37% valimist on lihtsalt rahul oma põhilise kütteseadmega, kuid sooviksid lisaks maakütet. 3% valimist ei tea osanud

öelda, kas nad on rahul või mitte oma küttekoldega, aga sooviti võimalusel vahetada millegi kaasaegsema vastu (pellet, maaküte). 6% valimist ei ole rahul oma kütteseadmega ning sooviksid välja vahetada pelleti vastu (Joonis 10). Peamine põhjus, mis küttekoldeid välja ei vahetata, on majanduslik huvi ja puudulikud teadmised.



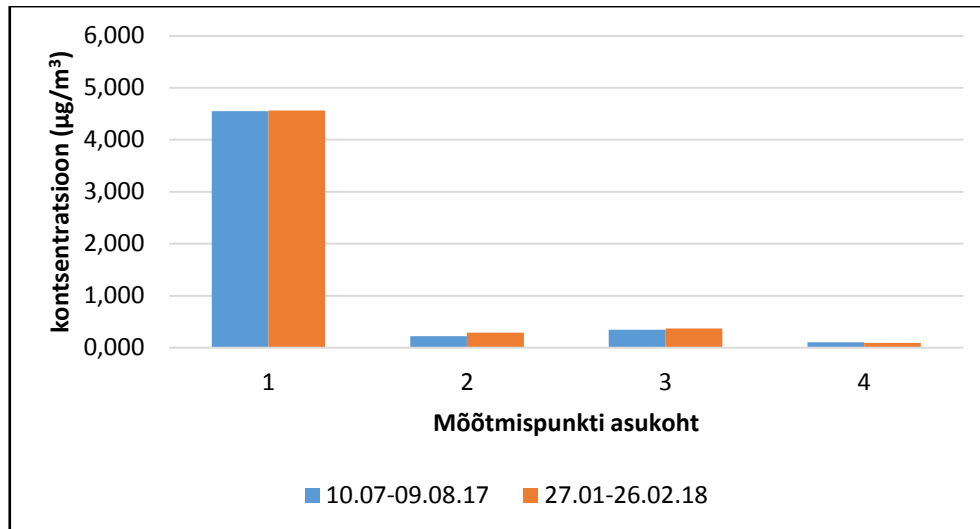
Joonis 10. Ankeetküsitluste küsitevate rahulolu oma küttekoldega (autori joonis)

Ankeetküsitlusest tuli välja, et enamus maju on mingil määral soojustatud, ca 8 % valimist olid elamud soojustamata ja sama protsent olid soojustatud ainult tuuletõkke ja akende vahetusega. Soojustatud on erinevate ehitusmaterjaldega. Soojustusmaterjalina on kasutatud tuuletõket, kivivilla, vundamendi soojustust vahtplastiga, isover villaga, Enerherm plaati (,5 cm), TEMPSi kiviplaati jt.

Õhukvaliteedi osas olid küsitlavad väga rahul või rahul. Üks inimene ei osanud öelda oma arvamust Otepää linna õhukvaliteedi kohta. Peamine nende murekoht oli naabriaias lõkete tegemine, tuulega leviv sade ja suits, tehislume tegemisel õhuniiskuse suurendamine, lumeudu, tuulega suurteede autode ving ja tolmutuuled ning katlamaja suits. Täheldatud on ka küsitlevate poolt müra kui saastegurit (Otepää-Kymmene vineeritehase poolt tulev müra, koera haukumine, veoautode tihe liiklus).

3.2 Liiklusheitmed (modelleeritud andmed)

AEROPOL-iga arvutati esmalt talvised ja suvised NO_x kontsentratsioonid liiklusest (Joonis 11), kus kõige kõrgema kontsentratsiooniga mõõtmispunkt on mõlemal perioodil valgusfoori ristmik, vastavalt suvel 4,55 µg/m³ ja talvel 4,56 µg/m³.

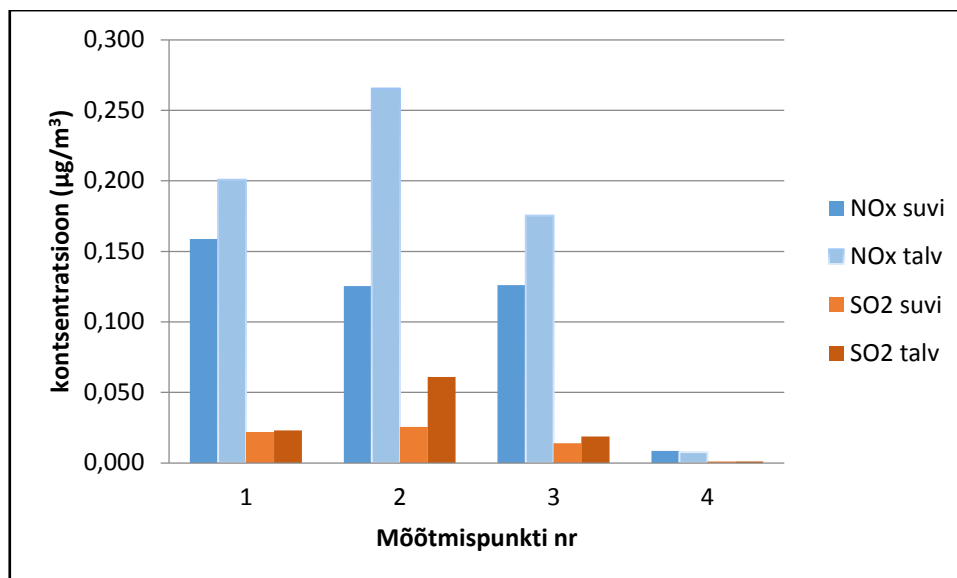


Joonis 11. NO_x arvutuslikud kontsentratsioonid liiklusest (autori joonis)

Mõõtmispunktide kohta arvatud talviste ja suviste kontsentratsioonide erinevused on väga minimaalsed. Kalda tänava mõõtmiskohas on NO_x suvised kontsentratsioonid 4,55 µg/m³ ja talvel 4,56 µg/m³. Koolitare mõõtmispunktis suvisel perioodil 0,34 (µg/m³) ja talvisel 0,37 µg/m³.

3.3 Saunaheitmed (modelleeritud andmed)

Ankeetküsitlusest selgub, et enamikul vastajatest omab kodus sauna (70% küsijatest), ning peamiselt köetakse kaks korda nädalas või kellel ainuke pesemisvõimalus, need kütavad ülepäeviti. Üks korterelamu kütab sauna ainult suvel ning ühel kodus on olemas saun, aga ei kasutata. Peamiselt köetakse puiduga, ca 11% sauna kütteallikaks on elekter. Andmed on üldistatud Otepää linnale (ehitusregistrist 708 elamut), millest SO₂ heitmed korstnast varieeruvad 0,000002-0,00044 g/s ning NO_x puhul 0,000000-0,00089 g/s. Lõpptulemusena saadi saunade NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid vastavalt mõõtmispunktidele ja passiivkogujate mõõtmisperiodile (suvi ja talv) (Joonis 12).

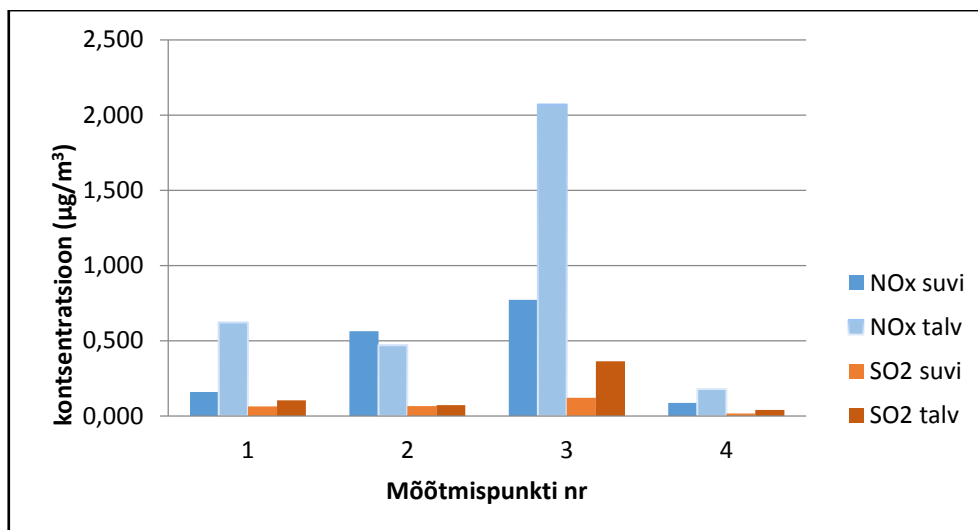


Joonis 12. NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid saunade heitmetest (autori joonis)

On näha, et saunade puhul on talvised arvutuslikud tulemused suuremad kui suvised. Kõige suurema NO_x kontsentratsiooni rajoon on Kalda mõõtmispunkt, kus talvel on 0,27 µg/m³ ja kõige väiksem on Tehvandi, kus modelleerimismeetodit kasutades tulid NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid ligikaudu 0,00 µg/m³. Valgusfoori mõõtmiskoha läheduses on SO₂ talvised ja suvised tulemused sarnased (vastavalt 0,03 µg/m³ ja 0,022 µg/m³). Erinevused tulenevad erinevatest ilmastikutingimustest, heitkogused saunadest on suvel ja talvel arvestatud samad.

3.4 Kontsentratsioonid punktallikatest (modelleerimismeetod)

Lähtuti 6 katlamajast (5 ettevõtet), kus kõige suurema saasteainete kontsentratsioonide väljutaja on UPM-Kymmene katlamaja (SO₂ 2,14 t/a ja NO_x 21,42 t/a) ja kõige väiksem Pühajärve Puhkekodu katlamaja (SO₂ kontsentratsioon 0,10 t/a ja NO_x 0,98 t/a) (Joonis 13). Kõigi ettevõtete katlamajade puhul on NO_x heide mitmeid kordi suurem SO₂ heitest ja sellest tulenevalt ka arvatud kontsentratsioonid.

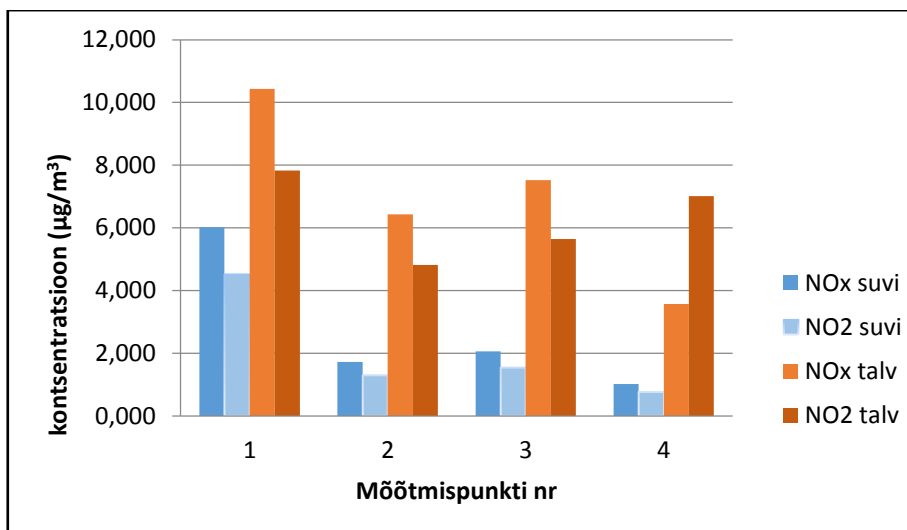


Joonis 13. NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid punktallikatest (autori joonis)

Jooniselt 13 on näha, et punktallikate mõju on kõige suurem Koolitare piirkonnas, kus NO_x talve kontsentratsioon on kõige kõrgem (2,07 µg/m³), NO_x suvel 0,77 µg/m³. Koolitare piirkonnas on suvel SO₂ kontsentratsioon 0,12 µg/m³ ja talvel 0,36 µg/m³. Kõige madalamate NO_x ja SO₂ kontsentratsiooniga ala on Tehvandi. Suured erinevused eri kohtades on põhjustatud erinevatest tuule suundadest: kui suvisel ajavahemikul olid ülekaalus läänekaarte tuuled, siis talvel kagust ja loodest (Lisa 3).

3.5 Kogu kontsentratsioon (modelleeritud andmed)

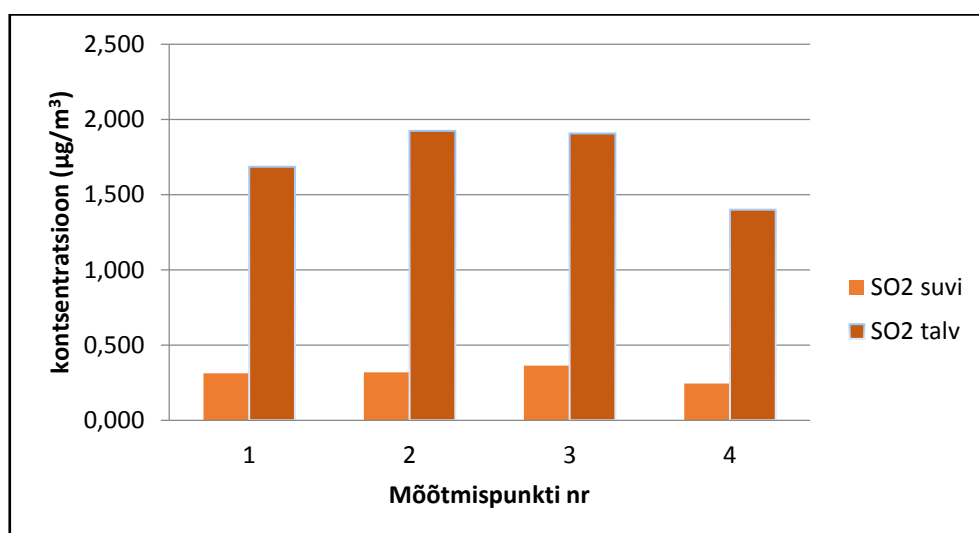
Töös on käsitletud talve perioodil Otepää linnas 5 heitmete allikat: liiklus, ettevõtete katlamajad (kes omavad õhusaasteluba), saunad ja elamud. Juurde on lisatud Saarejärve fooni NO_x ja SO₂ kontsentratsioonid vastavalt mõõtmisperioodile. Suvisel perioodil on üks heitmete allikas (elamud) välja jäetud, sest arvestatud on sooja ilma, mistõttu elamuid ei kõeta (10.07.-09.08.17 keskmine õhutemperatuur 16 °C). Joonis 14 demonstreerib NO_x andmeid ja sellest võetud 75% NO₂ tulemuste erinevusi.



Joonis 14. NO_x ja selles põhjal (75%) hinnatud NO₂ kontsentratsioonid (autori joonis).

Jooniselt 14 on näha, et kõige kõrgemate saasteainete kontsentratsiooniga on valgusfoori ristmiku piirkond, mille NO₂ koguväärtus ulatub suvisel perioodil 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja talvisel perioodil 7,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kalda täna piirkonnas on NO₂ suvine kontsentratsioon 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja talvisel perioodil 5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kalda tänaval on vastavalt 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 4,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tehvandi piirkonnas on NO₂ kontsentratsioon kõige madalam (suvel 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja talvel 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Otepää linna mõõdepunktide keskmine NO₂ kontsentratsioon suvel on 2,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja talvel 5,321 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

SO₂ kontsentratsioonid on talvel 5-6 korda kõrgemad kui suvel. Kalda tänaval on nii suvel kui talvel kõige kõrgemad kontsentratsioonid (vastavalt 0,318 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 1,922 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Joonis 15)).

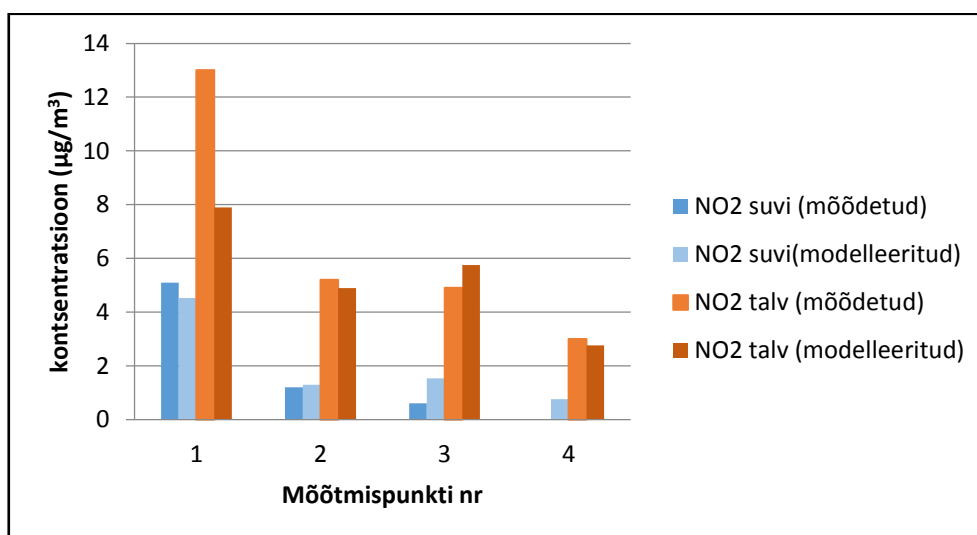


Joonis 15. SO₂ üldkontsentratsioonid, mudelarvutus (autori joonis)

Koolitare piirkonnas on talvel SO₂ kontsentratsioon 1,9 µg/m³ ja suvel 0,4 µg/m³, samas kui valgusfoori juures on vastavalt 1,7 µg/m³ ja 0,3 µg/m³. Kõige madalam SO₂ kontsentratsioon on Tehvandi piirkonnas, kus talvel oli 1,4 µg/m³ ja suvel 0,2 µg/m³. Otepää linna mõõtepunktide üldine keskmine SO₂ kontsentratsioon suvel on 0,307 µg/m³ ja talvel 1,73 µg/m³.

3.6 Passiivmõõtmiste ja arvutusliku meetodi võrdluse tulemused

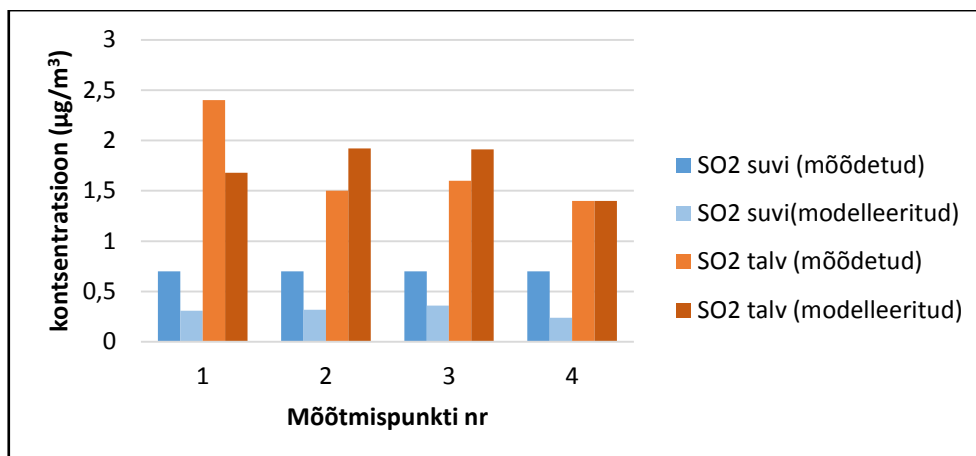
Passiivmõõtmist kasutatakse saasteainete kontsentratsiooni mõõtmiseks ning mudelarvutuse meetod lähtub hajumisest atmosfääris, kättesaadavatest heitmete andmetest ja ilmast. Edasises töös võrreldakse ainult NO₂ ja SO₂ andmeid. Joonisel 16 puhul on kõige suuremad kõikumised valgusfoori ja Koolitare piirkonnas. Valgusfoori juures NO₂ talvisel mõõdetud mõõtmisel saadi tulemuseks 13 µg/m³ ja modelleeritud mõõtmisel 7,9 µg/m³. Koolitare piirkonnas vastavalt 4,9 µg/m³ ja 5,7 µg/m³.



Joonis 16. NO₂ kontsentratsioonid mõõtmispaikades mõõdetud (mõõtmine passivkogujaga) ja modelleeritud (mudelarvutus) meetodil (autori joonis)

Kalda mõõtmiskohas oli NO₂ talvise mõõtmisandmete erinevuseks 0,31 µg/m³ ja Tehvandi piirkonnas 0,24 µg/m³. Ainult Koolitare mõõtmiskohas olid modelleeritud andmed mõõdetud andmetest suuremad.

SO₂ kontsentratsioonid olid kõigis mõõtepunktides suvisel perioodil alla 0,7 µg/m³ ning modelleeritud meetodil saadud tulemused olid kõigis mõõtepunktides alla 0,4 µg/m³, mis on väiksem 0,7 µg/m³ (Joonis 17).



Joonis 17. SO₂ kontsentratsioonid mõõtmispaikades mõõdetud (mõõtmine, passivkoguja) ja modelleeritud (mudelarvutus) meetodil (autori joonis)

Talvisel perioodil olid SO₂ kontsentratsioonidel väiksed erinevused. Suurem kõikumine on samuti Valgusfoori ristmiku piirkonnas, kus otsese mõõtmise tulemus on 2,4 µg/m³ ja kaudsel mõõtmisel 1,68 µg/m³. Kalda ja Koolitare mõõtmiskoha puhul olid suuremad modelleeritud andmed. Kalda mõõtmispunkti puhul oli SO₂ kontsentratsioon mõõdetud tulemuseks 1,5 µg/m³ ja modelleeritud meetodi puhul 1,92 µg/m³, Koolitare puhul vastavalt 1,6 µg/m³ ja 1,91 µg/m³. Tehvandi mõõtmispunkti kohal olid mõõdetud ja modelleeritud kontsentratsioonid võrdsed (1,4 µg/m³).

Modelleeritud meetodil saadud andmeid võib pidada usaldusväärseteks (Tabel 3) ning üldkokkuvõttes on mõõdetud ja modelleeritud kontsentratsioonid võrdlemisi sarnased, väiksemad Eesti Vabariigi poolt kehtestatud NO₂ ja SO₂ aasta keskmistest piirväärtustest (40 µg/m³ aastas).

Tabel 3. Mõõdetud ja modelleeritud NO₂ ja SO₂ keskmised mõõtmisandmed (µg/m³)

	NO ₂ suvi	NO ₂ talv	SO ₂ suvi	SO ₂ talv
Mõõdetud andmed	1,72	4,12	0,7	1,73
Modelleeritud andmed	2,03	5,32	0,31	1,73
Andmete vahe	-0,31	-1,20	0,39	0,0

4 ARUTELU

Eestis on varasemalt NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonide tasemeid suur- ja väikelinnas uurinud GLOBE Eesti (2012-2014), EKUK (2014,2017), Orru (2007). Võttes üheks võrdluseks eelmisel aastal, 2017, EKUKi pool läbiviidud uuringu välisõhu saasteainete NO₂ mõõdistused difusioontorudega suvise perioodi (suvi) Tartus, siis Otepääl mõõdetud valgusfoori ristmik (5,1 µg/m³) sarnaneb Tartu Raja 29 (5,6 µg/m³) mõõtmistulemustega, ülejäänud Tartu linna mõõtmiskoha NO₂ kontsentratsioonid varieerusid 6,0- 42,7 µg/m³ (EKUK, 2017). Talvise mõõtmisperioodi puhul sarnanes ka ainult valgusfoori ristmik Tartu kahe mõõtmispunktiga (Raja 29 11,8 µg/m³ ja Tamme Gümnaasium 13,4 µg/m³). Teised Tartu mõõtmispunktide tulemused olid vahemikus 16,6-51,7 µg/m³.

Võttes aluseks Eesti õhusaaste uurimise projekti (Kaasik, 2014), mille raames võrreldi passiivkogujatega 2012-2014. a. saadud NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonide tulemusi, siis 2012 a tulemustes on täheldatud, et NO₂ suvine kontsentratsioon valgusfoori ristmikul sarnaneb GLOBE projektis välja toodud väikelinna tüübile. Teised mõõtmiskohad sarnanevad rohkem küla (suurematest keskustest kaugel) või fooniala (metsas) tüübile. Lähtudes talve perioodi SO₂ kontsentratsioonidest, sarnaneb Otepää linna valgusfoori mõõtmiskoht hoopis keskmise linna keskpunkti või suure linna serva tüübile ja teised mõõtmiskohad väikse linna tüübile. Üldjoontes annab Otepää linna heitmed välja väikelinna NO₂ saastetaseme. SO₂ puhul on nii linna kese, väikelinna kui väikese linna kontsentratsioonid alla 0,7 µg/m³, mis sarnaneb Otepää mõõtmistulemustega. Talvise perioodi puhul oli Otepääl kõige kõrgem SO₂ kontsentratsioon valgusfoori ristmikul (2,4 µg/m³), mis on kõigis rühmadest madalam (v.a fooniala metsas), kuid kõik teised mõõtmistulemused sarnanesid GLOBE foonialaga metsas. Nendest tulemustest lähtudes võib oletada, et Otepää linna õhk on GLOBE rühmade „fooniala metsas“ ja „küla suurematest keskustest kaugel“ vahel.

Magistritöös tuli välja, et Otepää linna üks suuremaid saasteallikaid on liiklus. Linnas on küll ainult üks valgusfooriga ristmik, kuid seda läbib igapäevaselt vähemalt 2000 mootorsõidukit. Lisaks on sealsed elanikud mures tiheda liikluse ja tekitatud tolmu pärast. Põhja-Euroopa uurimuses (2009-2011) on osades linnades uuritud NO_x kontsentratsiooni kruntidel, kus elamu asus 0-300 m kaugusel peateest. Kui Otepää linna suve keskmine NO_x kontsentratsioon oli 2,71 µg/m³ ja talvel 6,99 µg/m³, siis näiteks Taani linnas Aarhusis keskmine NO_x tase oli 8,9 µg/m³, Norras Bergeni linnas varieerus 2,1-63,8 µg/m³. Eesti lähiriikides on kõige väiksem NO_x kontsentratsioon Rootsis Uppsala linnas (6,5 µg/m³) (Carlsen *et al.*, 2017). Ka naaberriikide linnadega võrreldes on Otepää linn peaaegu samal pulgal, mis tähendab, et on arenguvõimalusi muuta NO_x kontsentratsioonid veel madalamaks, sest kui meie uuringus oli liikluskoormuseks arvestatud alla 3000

mootorsõiduki ööpäevas, siis Euroopa uuringus arvestati üle 8000. Arvestada seda erinevust NO_x tasemete andmetes, siis mõnel naaberriigi linnal on NO_x tasemed Otepää linnaga võrreldes suhteliselt väiksemad. Otepää linnas on veel arenguvõimalus NO_x muuta kontsentratsiooni veel väiksemaks.

Käesoleva töö käigus saadud arvutuslikud andmed kui ka passiivkogujatega saadud tulemused olid omavahel märkimisväärselt kooskõlas ja seetõttu võib kaudsel meetodil (mudelarvutus) saadud tulemusi pidada usaldusväärseteks. Otepää linna NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonide arvutused lähtusid heitmete arvutamisel ehitusregistri andmebaasist, mida on teadolevalt esmakordselt Eestis kasutatud konkreetsete hoonete täpsusega.

Lähtudes direktiivist 2016/2284/EL on Eesti riigis kohustus SO₂ heitkoguste vähendamine ajavahemikul 2020-2029 vähemalt 32% ja alates 2030-aastast 68% (vähendamine võrreldes 2005 aastaga) (direktiivi 2016/2284/EL). NO_x heitkoguse vähendamise kohustus 2020-2029.a. on vähemalt 18% ja alates 2030. aastast 30%, mis tähendab, et ka Otepää linnas on veel vaja õhukvaliteeti parendada.

5 JÄRELDUSED

Antud magistritöö on väheste uurimistöode seas, mis uurib väikelinnade NO₂ ja SO₂ kontsentratsioone ja saasteallikaid, mistõttu on võrdlusmomenti teiste linnade või küladega peaaegu ei ole.

- Otepää linnas saasteainete tasemed on kõrgemad kui linnast väljas. Nii passiivkogujatega kui arvutuslikul meetodil saadud tulemused näitasid, et linnas on NO₂ kontsentratsioon kaks korda suurem Tehvandi mõõtmiskohast. See tähendab, et kõige suuremad saasteallikad asuvad linna sees või lähisaladel ning Tehvandi roheline ala ei ole antud heitmetest nii mõjutatud. Olulist rolli mängib ka tuule suund, mis mõõtmisperioodil oli suvel peamiselt läänest ja edelast ning talvel lõunast, kagust ja loodest.
- Passiivkogujatega saadud NO₂ ja SO₂ mõõdetud ning modelleeritud andmed näitasid, et kõige suurema saasteainete kontsentratsiooniga ala asub linna ainukesel valgusfooriga ristmikul. Sealse õhusaaste peamine allikas on linna kõige tihedama liiklusega ristmikku läbivad mootorsõidukite voog (ööpäevas kuni 2300 mootorsõidukit) ning ümberringi köetavad majapidamised. Ankeetküsitlusest selgus, et valgusfoori lähedal elavaid elanikke häiris tihe liiklus ning mootorsõidukite heitgaasid ja tolm.
- Otepää linnas ja lähiümbruses asub 6 töötavat katlamaja, millest 3 annavad kaugkütet linnas asuvatele elamutele (peamiselt korterelamud) ning kolm ettevõtte oma tarbeks (UPM-Kymmene, Tehvandi Spordikeskus ja Pühajärve Puhkekodu). Kõige rohkem saasteaineid väljutab UPM-Kymmene katlamaja korsten.
- Töös selgus, et Otepää linna oluline NO₂ saasteallikaks suveperioodil on transport (põhjustatud kontsentratsioon keskmiselt 1,3 µg/m³), mis võib olla tingitud Otepää tuntusest kui puhkamis- ja sportimiskuurordina ning suvistest tihedatest üritustest. Samas suvel, kus pered puhkavad, võidakse Otepää teid kasutada läbisõiduks. Määravaks on ka auto vanus, mis Otepää linnas on keskmiselt 11 aastat (enamikul autodest puudub EURO 6 nõue). Talvel on suuremaks saasteallikaks soojustamata elamud. Antud magistritöö tulemusena selgub, et Otepää linna elamute heitmetest põhjustatud keskmine NO₂ kontsentratsioon on 1,4 µg/m³. Valdav osa elamutest on soojustamata ning kasutatakse kütteallikana peamiselt puitu.
- Suurema osa SO₂ kontsentratsioonist suvel moodustab arvatavalt taustkontsentratsioon. Otepää saasteallikatest suurema saastetaseme andsid suvel ettevõtted, keskmiselt kontsentratsiooniga 0,07 µg/m³, mis on pea kolm korda väiksem Saarejärve fooniandmetest.

- Otepää linnas külmal aastaajal on SO₂ suurimaks saasteallikaks kohtküttega elamud, mille peamiseks kütteks on tahke kütus (põhiliselt puit). Kuna Otepää linn on kasvavas trendis (detailplaneeringud), nii ka küttesüsteemid, mis kasutavad taastuvaid loodusvarasid, siis võib arvata, et olmeküttest põhjustatud saasteainete kontsentratsioonid vähenevad. Muutumatuks võib jääda saunaheide, lähtudes inimeste harjumustest.
- Antud tööst selgub, et märkimisväärne mõju on saunade heitmetel. Aasta keskmisena suurendavad saunad üldise majapidamise saasteainete kontsentratsiooni ca viiendiku võrra ning suvel annavad suurema osa saastest liiklusteedest kaugel asuvates kohtades. Nii nagu elamu kütmise viisid on harjumuses kinni, on ka sauna kasutamine pesemisvõimalusena. Otepää elanikud, kellel on saun, käivad üldiselt kaks korda nädalas saunas ja kütavad selleks 2-4 tundi. Autori hinnangul saunaheitmete kontsentratsiooni ei ole võimalik vähendada, sest inimesed on harjunud eelistama pesemisvõimaluseks sauna.
- Otepää linna arengukavades on üheks eesmärgiks suurendada kaugkütte võrgustikku Otepää linnas ja selle ümbruses. Hetkel on enamus korter- ja ridaelamud ning ettevõtted kaugküttesüsteemiga liitunud (üksikud eramajad), kuid valdavalt suurem osa elamuid on kohtkütteil (tahke kütus).

Võrreldes Eesti Vabariigi kehtestatud saasteainete aasta keskmiste kontsentratsioonide piirväärtustega on Otepääl mõõdetud NO₂ ja SO₂ suvised ja talvised kontsentratsioonid umbes 10 korda väiksemad (v.a. otse valgusfooriga ristmiku juures). Järelikult võib täheldada, et Otepää linna välisõhu kontsentratsioonid ei mõjuta otseselt inimese tervist. Mõõtmistulemused näitavad, et Otepää linnas on küllaltki puhas õhukeskkond.

KOKKUVÕTE

Antud töös uurib autor Otepää linnas NO₂ ja SO₂ kontsentratsioone ja antud heitmete võimalikke saasteallikaid. Autor võrdleb õhusaaste hajumismudeliga arvatud kontsentratsioone läbiviidud passiivmõõtmise tulemustega. NO₂ ja SO₂ kontsentratsioone mõõdeti ja arutati kahel kindlal perioodil (10.07-09.08.17 ja 27.01-16.02.18), mis on õhutemperatuuride poolest vastandid (kõige soojem ja kõige külmem periood). Passiivkogujatega mõõdeti Otepää linnas 3 kohas ning üks mõõtmiskoht asus natuke linnast väljas roheluse keskel (Lisa 1, joonised 1 ja 2).

Otepää linna võimalikud suurimad saasteallikad on olmeküte ja sauna kütmine, liiklus ning ettevõtete katlamajad. Otepää linna NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid on talvel ca 2 korda suuremad suve mõõtmistulemustest, mis on peamiselt tingitud aktiivsest tahke kütuse (olmekütmine) kasutamisest soojatootmisel. Passiivkogujatega mõõdetud suvisel perioodil NO₂ kontsentratsioon 1. mõõtmispunktis oli 5,1 µg/m³, 2. mõõtmispunktis 1,2 µg/m³, 3. mõõtmispunktis 0,6 ja 4. mõõtmispunktis puudus tulemus (koguja läks kaduma). Talvise perioodil olid vastavalt 13 µg/m³, 5,2 µg/m³, 4,9 µg/m³ ja 3 µg/m³. SO₂ kontsentratsioonid suvisel perioodil olid kõigis mõõtmispunktides alla 0,7 µg/m³ ja talvisel perioodil 1. mõõtmispunktis 2,4 µg/m³, 2. mõõtmispunktis 1,5 µg/m³, 3. mõõtmispunktis 1,6 µg/m³ ja 4. mõõtmispunktis 1,4 µg/m³, mis on Eesti Vabariigi keskkonnaministri määrusega kehtestatud aastastest piirväärtustest palju kordi väiksemad.

Mõõtmistulemustest selgus, et kõige suuremate NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonide piirkond on Otepää linna ainukese valgusfooriga ristmik, mida ööpäevas läbib ca 2300 mootorsõidukit, ning selle ümbruses on ahiküttega korter- ja individuaalmajad. Kõige väiksema saasteainete kontsentratsiooniga ala on Tehvandi lähiste roheala. Antud töös selgus, et saunade kütmine on võrdlemisi tähtis, sest lisab majapidamiste heitmetele juurde viiendiku.

Passiivkogujate mõõdetud ja modelleerimise teel saadud kontsentratsioonid kinnitasid fakti, et Otepääl on saasteainete kontsentratsioonid minimaalsed ning võib väita, et linnas on kvaliteetne välisõhk (lähtudes NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonidest). Ankeetküsimustele vastajate põhimured (liiklusheitmed, tööstusheitmed) vastavad üldiselt mõõtmispunktides mõõdetud kontsentratsioonidele ning nende küsimuste lahendamiseks on vaja muuta infrastruktuuri või inimeste mugavusharjumusi (eelistada keskkonnasäästlikumaid küttelehendusi, kütust, transpordivahendeid, maja soojustamist jne).

Autor on arvamusel, et Otepääl on välisõhu kvaliteedi hindamiseks vaja teha ka teiste oluliste saasteainete (PM, CO, CH₄) mõõtmisi, sest saasteallikad on erinevad. Täiendavate uuringutega

saab tervikpildi Otepää linna välisõhus sisalduvate oluliste saasteainete kontsentratsioonidest ning nendest lähtuvalt arendada Otepää linna majandust ja elukeskkonda.

SUMMARY

In this thesis, the author studied the concentrations of NO₂ and SO₂ in the town of Otepää, as well as the potential sources of pollution which they are emitted from, and compared the concentrations that were computed using an air pollution dispersion model AEROPOL, with the results of passive sampling with diffusive samplers. The concentrations were measured and computed during two limited time periods (July 10 – August 9, 2017, and January 27 – February 16, 2018), representing opposites in air temperatures (the warmest and the coldest season). Passive samplers were set up in three places within Otepää and in one additional place chosen in the greenery area, a little further from the town.

The biggest potential pollution sources for the town of Otepää are domestic and sauna heating, traffic, and commercial boiler plants. Otepää's NO₂ and SO₂ concentration levels for winter were approximately twice higher than the summer sampling results, mainly due to the active use of solid fuels to produce heat (domestic heating). During the summer period, passive samplers gave the NO₂ concentration levels were measured as 5.1 µg/m³ at sampling site 1, 1.2 µg/m³ at sampling site 2, 0.6 µg/m³ at sampling site 3, and no results for sampling site 4 (the sampler got lost). For the winter period, the respective results were 13 µg/m³, 5.2 µg/m³, 4.9 µg/m³ and 3 µg/m³. The SO₂ concentrations for the summer period were below 0.7 µg/m³ in all sampling sites; during the winter period they were 2.4 µg/m³ at sampling site 1, 1.5 µg/m³ at sampling site 2, 1.6 µg/m³ at sampling site 3, and 1.4 µg/m³ at sampling site 4. All they were many times smaller than the yearly limit value stated by the regulation of the Minister of the Environment of the Republic of Estonia.

The work revealed that the highest levels of NO₂ and SO₂ concentration exist at Otepää's only intersection with traffic lights, servicing approximately 2,300 motor vehicles per day and surrounded by apartment buildings and residential houses with stove heating. The area with the lowest level of concentration was the green area near Tehvandi. Sauna heating also turned out to be fairly important proportionally, adding one fifth to the total of domestic emissions.

The passive sampler results and the results of computational sampling for this thesis confirmed the fact that in Otepää the pollutant concentration levels are minimal and that the outdoor air in the town can be said to have good quality (as far as NO₂ and SO₂ concentrations are concerned). The main problems coming up in questionnaires (traffic emissions, industrial emissions) generally correspond to the concentration levels measured at sampling points, and the solving of these problems would require changes in infrastructure or people's habits of comfort (favoring cleaner heating solutions/fuels and means of transport, thermal insulation of buildings, etc).

To the opinion of the author, the levels of other major pollutants (PM, CO, CH₄) would have to be measured as well, because the sources of pollution may vary. Additional research would give a complete overview of the concentration levels of major pollutants present in the outdoor air of Otepää, and thus, allow to develop the economy and living environment of the town.

KASUTATUD MATERJALID

Teadusartiklid

Carlsen, H., K., Bäck, E., Eneroth, K., Gislason, T., Holm, M., Janson, C., Jensen, S., S., Johannessen, A., Kaasik, M., Modig, L., Segersson, D., Sigsgaard, T., Forsberg, B., Olsson, D., Orru, H. (2017). Indicators of residential traffic exposure: Modelled NO_x, traffic proximity and self-reported exposure in RHINE III. *Atmospheric Environment*, 167, 416-425.

Kaasik, M., Geertsema, G., Scheele, R. (2017). Validation of Gaussian plume model Aeropol against Cabauw field experiment. *International Journal of Environmental Pollution*, 62 (2/3/4), 369-384.

European Environment Agency.(2018). Air quality in Europe 2017 (EEA report). Kättesaadav: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

Health Effects Institute.(2018). Over 7 Billion People Face Unsafe Air: State of Global Air 2018 (The annual report). Kättesaadav: https://www.healtheffects.org/cdn/farfuture/LcYY73c88s1LqbUIRD3iycEO6WQz1e_KKbPD0survg/mtime:1523978961/sites/default/files/soga2018-press-release_0.pdf 24.04.18

Kaasik, M. and Kimmel, V. (2004). Validation of the improved AEROPOL model against the Copenhagen data set, *International Journal of Environmental Pollution*, 20, (1–6), 114–120.

TU Graz. (2009). Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3 (Report nr. I-20/2009). Kättesaadav: http://www.hbefa.net/e/documents/HBEFA_31_Docu_hot_emissionfactors_PC_LCV_HDV.pdf

Zallaghi, E., Soleimani, Z., Heidari-Farsani, M., Goudarzi, G. (2015). Health risks caused by exposure to sulfur dioxide in the ambient air of three main cities of South Western of Iran during 2011. *International Journal Environmental Health Engineering*, 4, 9.

Raamatud

Lutgens, F.K., Tarbuk, E. J.(2013). *The atmosphere : an introduction to meteorology*. Environmental Science Tehnology. Boston: Pretnice Hall

EPA, U.(2016). *Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria (Second External Review Draft)* United States Environmental Protection. Report.Washington: DC

Kaasik, M.(2000). Parametrisation of atmospheric boundary layer in the numerical model of air pollution transport. Tartu:Tartu Ülikool kirjastus

Regulatsioonid

Atmosfääriõhu kaitse seadus. (2017). RT I, 30.12.2017, 26

Kemikaaliseadus. (2015). RT I, 10.11.2015, 2

Keskkonnaseadustiku üldosa seaduse rakendamise seadus. (2014). RT I, 08.07.2014, 3

Keskkonnaministri määrus nr. 59 „Põletusseadmetest välisõhku väljutavate saasteainete heidete mõõtmise ja arvutuslikumääramise meetod“. (2016). RT I, 29.11.2016, 6.

Keskkonnaministri määrus nr. 67 „ Tegevuse künnisvõimsused ja saasteainete heidete künniskogused, millest alates on käitise tegevuse jaoks nõutav õhusaasteluba“. (2016). RT I, 22.12.2016, 5.

Keskkonnaministri määrus nr. 84 „Õhukvaliteedi hindamise kord“. (2016). RT I, 29.12.2016, 6.

Keskkonnaministri määrus nr. 84 „Õhukvaliteedi hindamise kord“. (2017). RT I, 08.12.2017, 7.

Otepää Vallavolikogu määrus nr. 2 „Otepää valla korraldatud jäätmeveo rakendamise kord“. (2013). RT IV, 31.01.2013, 27.

Otepää Vallavolikogu määrus nr. 16 „Otepää valla kaugküttepiirkonna piirid, kaugküttevõrguga liitumise ning eraldumise tingimused ja kord, kaugkütte üldised kvaliteedinõuded, soojuse piirhinna kooskõlastamine ja soojusettevõtja arenduskohustus“. RT IV, 28.09.2017, 41.

Valgamaa omavalitsuste ühine jäätmekava aastateks 2017-2025.(2017)

Internetiallikad

Eesti mõisaportaal. Kodulehekülg. Kättesaadav: <http://www.mois.ee/>. (02.05.18)

EKUK. Eesti Välisõhu kvaliteet. Kättesaadav: <http://ohuseire.ee/>. (01.05.18)

EKUK. (2017). Välisõhu saasteaine NO₂ mõõdistused difusioonitorudega 2017. a I, II, III ja IV kvartalis. Kättesaadav: http://www.tartu.ee/sites/default/files/research_import/2017-12/Tartu6hk_2017.pdf.

EKUK.Õhukvaliteedi juhtimise osakond. Kättesaadav: <http://www.klab.ee/firma/ohukvaliteet/>
01.05.18.

Environmental Pollution Centers.(2017). What is Air Pollution? Kättesaadav:
<https://www.environmentalpollutioncenters.org/air>

EPA. Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution. Kättesaadav: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects> .(20.04.18)

EPA.Sulfur Dioxide (SO₂) Pollution.Kättesaadav: <https://www.epa.gov/so2-pollution>. (01.05.18)

Euroopa Keskkonnaagentuur.(2016). Õhk mida me hingame. Kättesaadav:
<https://www.eea.europa.eu/et/eka-signaalid/signaalid-2013/artiklid/ohk-mida-me-hingame>

Euroopa Keskkonnaagentuur.(2013). Õhk, mida me hingame. Euroopa õhu kvaliteedi
parendamine. Kättesaadav: <https://www.eea.europa.eu/et/publications/signaalid-2013-ohk-mida-me-hingame>

European Environment Agency.(2018). Improving air quality in European cities will bring major
health benefits. https://www.eea.europa.eu/highlights/improving-air-quality-in-european#_blank

Evans, K.(2016). More than 90% of World's population breathing unsafe air, says WHO.
Kättesaadav: <http://www.iflscience.com/environment/more-than-90-of-worlds-population-breathing-unsafe-air-says-who/all/>

EKUK.(2015). Tööstuslikest allikatest ja koduahjudest eralduvate välisõhu saasteainete
heitkoguste inventuuri-metoodikate täiendamine. Kättesaadav:
https://www.envir.ee/sites/default/files/aruanne_final030315.pdf

Geneva.(2016).WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact.
Kättesaadav: <http://www.who.int/en/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

GLOBE. Mõõtmiste läbiviimine passiivsete diffusioonkogujatega. Kättesaadav:
http://www.globe.ee/doc/OK_passiivne_tojuhend.pdf. (02.05.18)

Globe Estonia. Eesti õhusaaste mõõtmine ja uurimine. Kättesaadav:

<http://www.fyysika.ee/ohusaaste/>. (01.05.18)

Kaasik, M.(2014). Õhus sisalduva NO₂, SO₂, NH₃ ja O₃ mõõtmised koolides 2012. aastal. Projekti kokkuvõte. Kättesaadav: http://xn--fsika-kvaa.ee/wp-content/uploads/2013/03/Passiivkogujate_loppraport2012.pdf

Keskonnaagentuur. Välisõhu kvaliteedi seire.

http://seire.keskkonnainfo.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=2127&Itemid=440. (01.05.18)

Keskonnainvesteeringute keskus. Pühajärve puhkekodu sai päikesepaneelidega katlamaja.

Kättesaadav: <https://www.kik.ee/et/artikkel/puhajarve-puhkekodu-sai-paikesepaneelidega-katlamaja>. (01.05.18)

Keskonnaministeerium. (2018). Välisõhu kvaliteet ja seire. Kättesaadav:

<http://www.envir.ee/et/valisohu-kvaliteet>. (03.12.17)

Lee J, S.(2017). China's killer smog rolls in. <https://www.aljazeera.com/news/2017/12/china-deadly-smog-rolls-171223082432453.html>

Lõuna-Eesti ajaleht.(2016). Otepää vineeritehas valiti Valgamaa aasta ettevõtteks. Lõuna-Eesti

ajaleht Kättesaadav: <https://lounaestlane.ee/otepaa-vineeritehas-valiti-valgamaa-aasta-ettevotteks/>

Maran, K.(2016).WHO: õhusaaste põhjustab aastas 6,5 miljonit surma, ohustatud on 92%

inimkonnast. Kättesaadav: <https://tehnika.postimees.ee/3854601/who-ohusaaste-pohjustab-aastas-6-5-miljonit-surma-ohustatud-on-92-inimkonnast>

Otepää teataja.(2018). Otepää valla rahvastikusündmused. Kättesaadav:

http://teataja.otepaa.ee/463OTnr4_22022018.pdf

Otepää Veevärk. Ettevõttest. <http://www.otepvesi.ee/ettevottest/>. (01.05.18)

Otepää Veevärk. Kodulehekül. Kättesaadav: <http://www.otepvesi.ee>. (06.04.18)

Otrokova, M.(2011). Kohalik omavalitsus peaks tegema rohkem koostööd ülikoolidega.

Kättesaadav: <http://maaleht.delfi.ee/news/eestielu/arhiiv/kohalik-omavalitsus-peaks-tegema-rohkem-koostood-ulikoolidega?id=45632787>

- Orru, H. (2016). Tallinna kesklinna ja Vanasadama vahelise liikumisruumi õhusaaste modelleerimise ja tervisemõjude hindamine. Kättesaadav: <http://media.voog.com/0000/0038/5372/files/ER%201.1.1.%20%C3%83%C2%95husaaste%20modelleerimine.pdf>
- Orru, H. (2007). Välisõhu kvaliteedi mõju inimese tervisele Tallinna linnas. Kättesaadav: https://www.envir.ee/sites/default/files/hia_tallinn_ohk_arth.pdf
- Orru, H. & Merisalu, E. (2007). Õhusaaste linnades ja selle mõju inimeste tervisele. Eesti Arstide Liidu ajakiri. Kättesaadav: <https://eestiarst.ee/ohusaaste-linnades-ja-selle-moju-inimeste-tervisele/>
- Pedassaar, E. (2015). Sudu- kõige ohtlikum udu liik. Kättesaadav: <https://ilm.ee/index.php?45529>
- Peede, M.Kliima. Kättesaadav: http://cmsimple.e-ope.ee/eesti_turismigeograafia/?Eesti_looduskeskond:Kliima. (02.05.18)
- Pühajärve Spa & Puhkekeskus. Kodulehekülj. Kättesaadav: <https://www.pyhajarve.com/>. 03.05.18
- SA Tehvandi Spordikeskus. (2018). Parim talvepuhkus saab alguse tehvandil. Kättesaadav: <https://sport.postimees.ee/4436305/parim-talvepuhkus-saab-alguse-tehvandil>
- Silk, A.(2012). Lõppes õhusaaste kolmas mõõteperiood. Kättesaadav: <http://teataja.otepaa.ee/345%20OT%20nr.15.pdf>
- Sõukand, Ü.(2013). Osooni (O₃), ammoniaagi (NH₃), väeveldioksiidi (SO₂) ja lämmastikdioksiidi (NO₂) määramine välisõhus passiivsete difusioonkogujatega. Kättesaadav: http://fyysika.ee/ohusaaste/wp-content/uploads/2012/01/difusioonkogujad_teoreetiline_osa.pdf
- Teinemaa, E., Maasikmets, M., Vainumäe, K., Heinsoo, A., Arumäe, T., Lehes, L. (1013). Genfi piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni püsivate orgaaniliste saasteainete protokoll nõuete täitmine. Kättesaadav: https://www.envir.ee/sites/default/files/genfi_aruanne_final.pdf
- Õepa, A.(2016). Lõuna-Eesti hiigelinvesteering käivitus käratult. Ärileht. Kättesaadav: <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/louna-eesti-hiigelinvesteering-kaivitus-karatult?id=76245325>

WHO Europe.(2006). WHO Europe, Air quality guidelines: global update 2005. Kättesaadav:
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf

1182. Kättesaadav: <https://www.1182.ee/et/puhajarve-spa-hotell-puhajarve-puhkekodu-as>.
01.05.18

Muu

Kaasik, M. (2000). Kärdla linna õhusaaste hajumisarvutus. Tulemuste kokkuvõte.

Keskkonnaamet keskkonnalubade register Kotkas.

Maa-ameti geoportaal

OÜ Märja Monte.(2012). Otepää Alajaama katlamajast välisõhku eralduvate saasteainete lubatud heitkoguste (LHK) projekt-ettepanek.

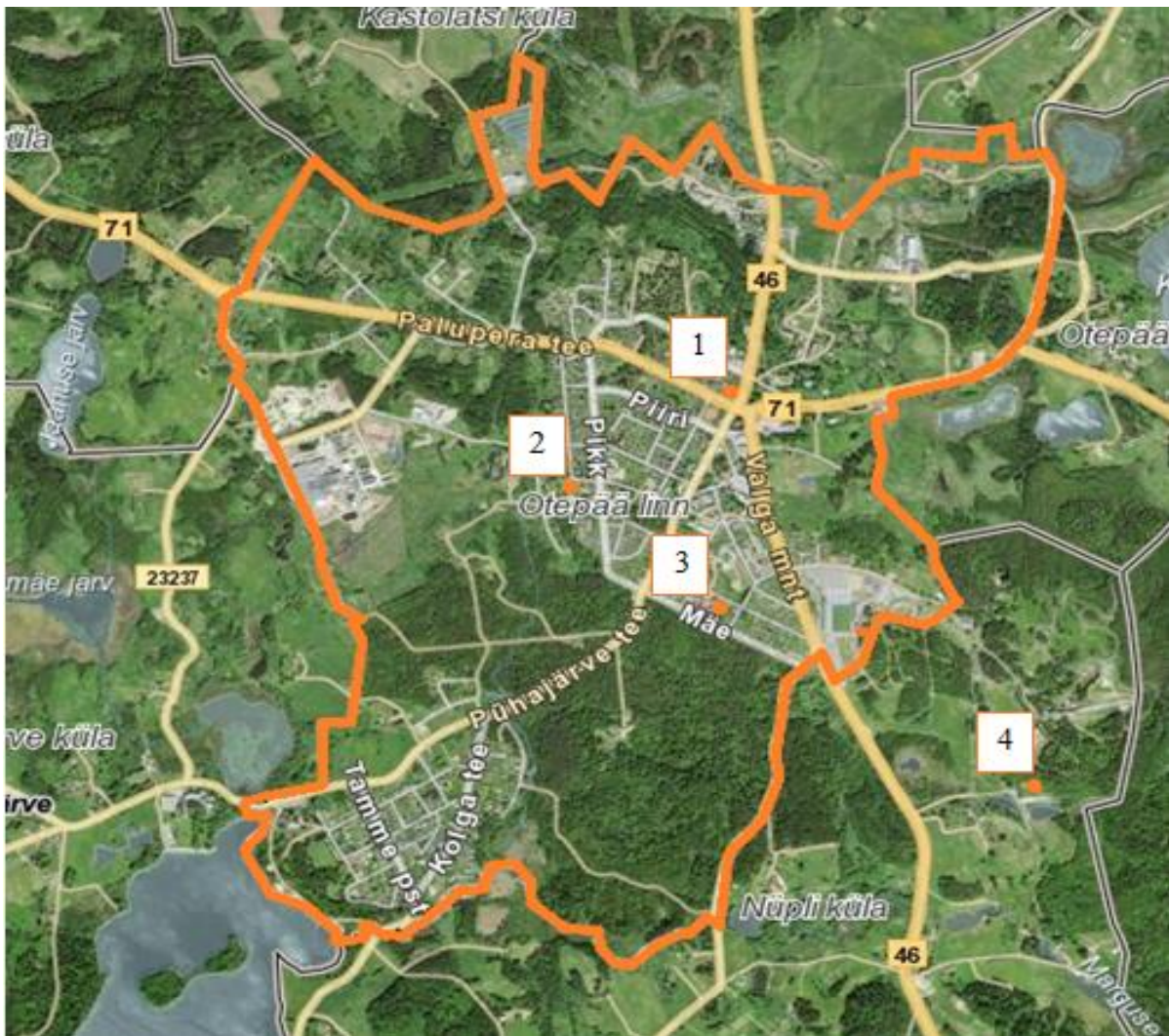
Reis, K.(2013). Kogu Eestit katva gaasiliste saasteainete ja tahma mõõtmiste võrdlus mudeli SILAM tulemustega. Kättesaadav:
http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/32741/ketlin_reis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Riigi Ilmateenistus

Valgamaa aastaraamat.(2016). Kättesaadav:
<http://www.valgamaa.ee/userfiles/valgamaa/aastaraamat/2016.pdf>

LISAD

LISA 1 Otepää linnapiirid kaardil koos mõõtmispunktidega ja vaated mõõtmiskohtadest



Joonis 1. Otepää linna piirid ja valitud mõõtmispunktid (Maa-ameti geoportaali aluskaart, autori joonis)

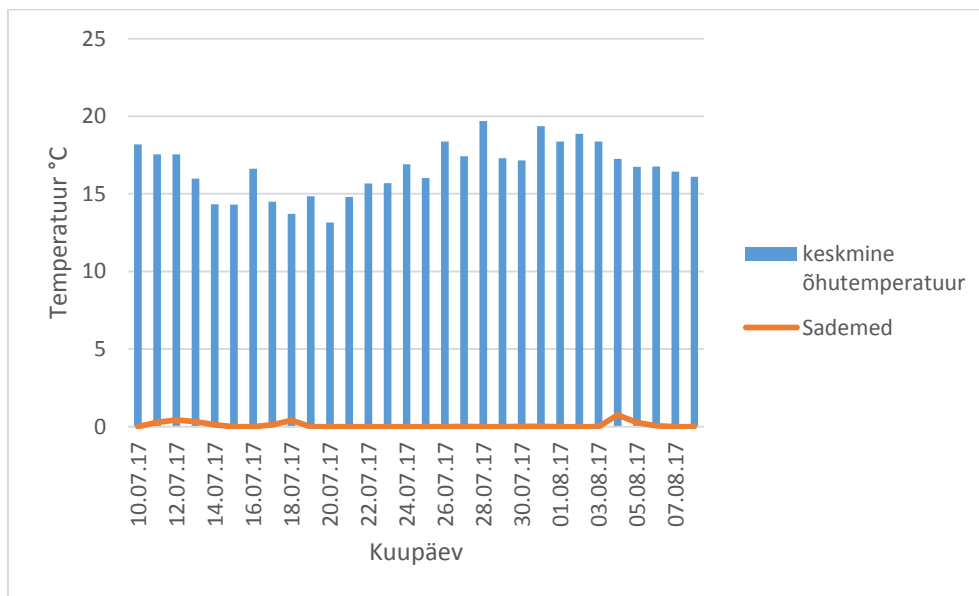


Joonis 2. Vaated mõõtmiskohtadest (autori pildid)

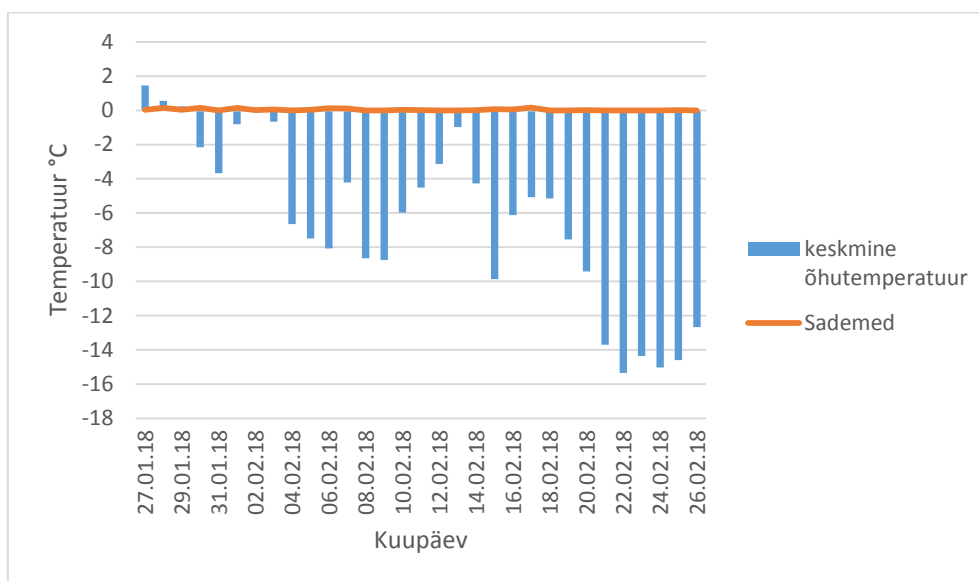
LISA 2. Otepää linna kütmişarjumused: küsitluse ankeet

1. Mis on Teie kodune aadress?
2. Kui palju reaalselt elab inimesi sellel eluruumil?
3. Mis on Teie elamu peamine kütteallikas ning kas kütate ise või kütab linn?
4. Kui suur on Teie elamu kőetav pind, m²?
5. Mis on Teie elamu kütmisperiood? Mis kuul alustate ja mis kuul lõpetate elamu kütmise?
6. Mis on Teie elamu kütteseadmed?
7. Kas Te teate öelda oma kütteseadmete maksimaalvõimsusi?
8. Millist kütust kasutate kütteseadmete kütmiseks?
9. Kui palju kütust Teil aastas kulub?
10. Mis kellaaegadel Te tavaliselt kütate põhilist kütteseadet tavalistel tööpäevadel? Ja kui kaua?
11. Mis kellaaegadel Te tavaliselt kütate põhilist kütteseadet tavalistel puhkepäevadel? Ja kui kaua?
12. Mis kellaaegadel Te tavaliselt kütate põhilist kütteseadet külmade ilmadega tööpäevadel? Ja kui kaua?
13. Mis kellaaegadel Te tavaliselt kütate põhilist kütteseadet külmade ilmadega puhkepäevadel? Ja kui kaua?
14. Kas Teil on saun?
15. Kui on saun, siis mis kütusega te kütate sauna ?
16. Kui tihti Te nädalas sauna kütate ja mis päevadel?
17. Mis kellaaegadel Te tavaliselt sauna kütete ja kui kaua sauna kőetakse?
18. Kas Te olete rahul oma kütteseadmetega? (5 hindeskaalapalli: 5- väga rahul, 4 rahul, 3- ei oska öelda, 2 üldiselt ei ole rahul, 1- ei ole rahul)
19. Millist (senisest erinevat) kütteseadet sooviksite edaspidi kasutada?
20. Kas Teie elamu on soojustatud? Kui jah, siis millega?
21. Kas olete rahul oma kodulinne õhukvaliteediga (5 hindeskaalapalli: 5- väga rahul, 4 rahul, 3- ei oska öelda, 2 üldiselt ei ole rahul, 1- ei ole rahul)
22. Mis Teie kodulinna õhu kvaliteedi juures enim häirib?

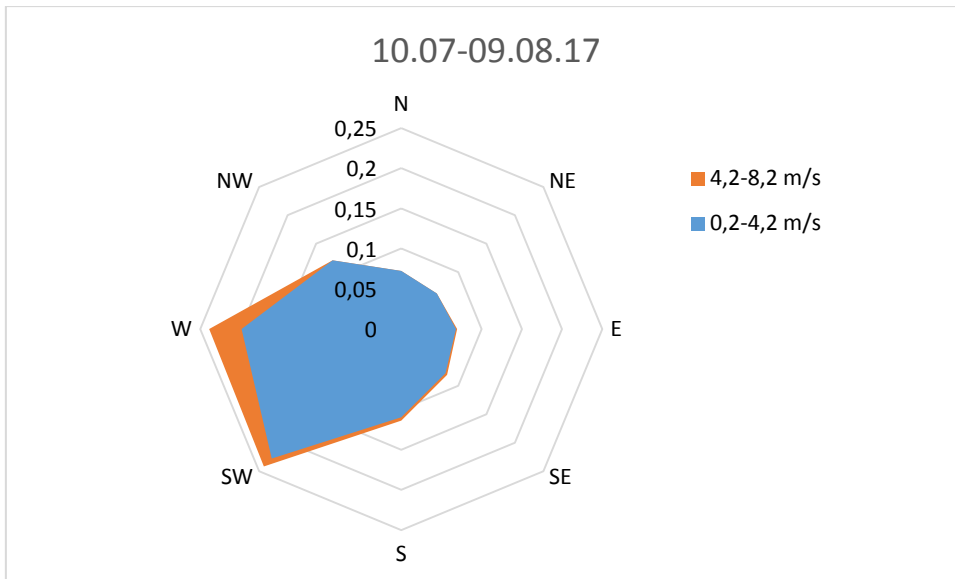
LISA 3. Tartu-Tõravere observatooriumi Meteoroloogiaandmed



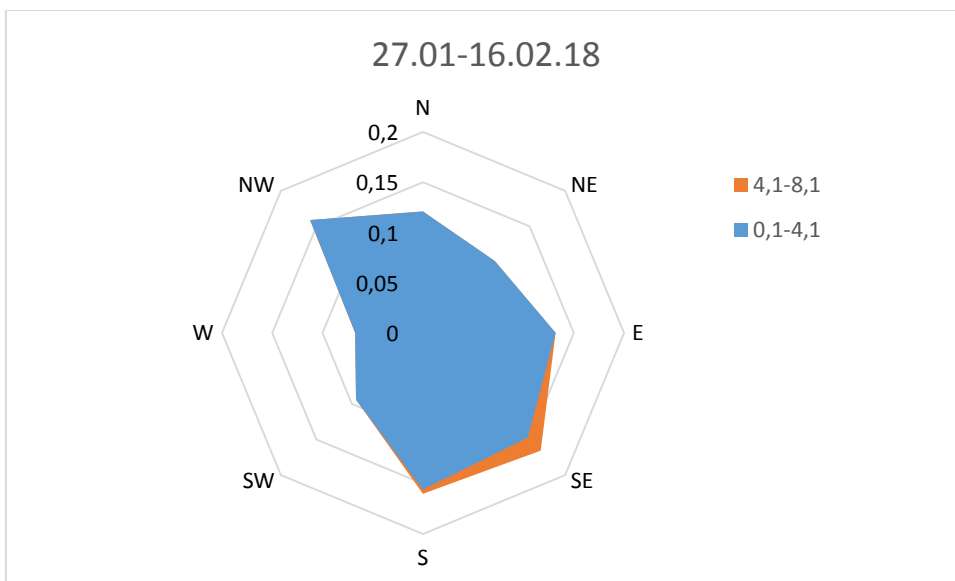
Joonis 1. Õhutemperatuur (°C) ja sademed (mm) suveperioodil Tartu-Tõravere vaatlusjaamas (Ilmateenistus, 2017; autori joonis)



Joonis 2. Õhutemperatuur (°C) ja sademed (mm) talveperioodil Tartu-Tõravere vaatlusjaamas (Ilmateenistus, 2018; autori joonis)



Joonis 3. Valdavad tuulesuunad suvisel mõõtmisperioodil Tartu-Tõravere vaatlusjaamas (Ilmateenistus, 2017, autori joonis)



Joonis 4. Valdavad tuulesuunad suvisel mõõtmisperioodil Tartu-Tõravere vaatlusjaamas (Ilmateenistus, 2018, autori joonis)