

Tartu 2012

**Osooni, ammooniaagi, vääveldioksiidi ja
lämmastikdioksiidi määramine välisõhus
passiivsete difusioonkogujatega**

Mõõtmisjuhend GLOBE koolidele

Õppevahend GLOBE programmis osalevatele koolidele.

Koostajad Marko Kaasik ja Ülis Sõukand

Keeleline toimetaja Stiina Kristal

Jaanuar 2012



Eesti Füüsika Selts

Tähe 4, Tartu 51010

Tel: +372 737 4623

Fax: +372 738 3033

e-post: efs@fyysika.ee

<http://www.globe.ee/>



Projekti toetab Keskkonnainvesteeringute Keskus

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Saasteained	5
2. Atmosfääri kihistumine ja õhusaaste hajumise tingimused.....	7
3. Eesti õhuseire	12
4. Mida see projekt teadusesse ja praktikasse juurde annab?	14
5. Tulemuste tõlgendamine	16
6. Mõõtmiste läbiviimine passiivsete difusioonkogujatega	18
7. Mõõtmiste läbiviimine maksimum-miinumum termomeetriga.....	24
Temperatuurimõõtmise protokoll passiivsete difusioonkogujate jaoks.....	28
Proovivõtuprotokoll passiivsetele difusioonkogujatele	29

Sissejuhatus

Wikipedia andmetel on õhu koostis troposfääris alljärgnev:

- Lämmastik (N_2) 780,840 ppmv (78.084%)
- Hapnik (O_2) 209,460 ppmv (20.946%)
- Argoon (Ar) 9,340 ppmv (0.9340%)
- Süsinikdioksiid (CO_2) 390 ppmv (0.039%)
- Neon (Ne) 18.18 ppmv (0.001818%)
- Heelium (He) 5.24 ppmv (0.000524%)
- Metaan (CH_4) 1.79 ppmv (0.000179%)
- Krüpton (Kr) 1.14 ppmv (0.000114%)
- Vesinik (H_2) 0.55 ppmv (0.000055%)
- Lämmastikoksiid (N_2O) 0.3 ppmv (0.00003%)
- Süsinikoksiid (CO) 0.1 ppmv (0.00001%)
- Ksenoon (Xe) 0.09 ppmv ($9 \times 10^{-6}\%$)
- Osoon (O_3) 0.0 to 0.07 ppmv (0% to $7 \times 10^{-6}\%$)
- Lämmastikdioksiid (NO_2) 0.02 ppmv ($2 \times 10^{-6}\%$)
- Jood (I) 0.01 ppmv ($1 \times 10^{-6}\%$)
- Ammoniaak (NH_3) väga väheses koguses

Seega on õhu põhikomponendid lämmastik, hapnik ja argoon. Süsinikdioksiid, mille kontsentratsioon on juba tunduvalt väiksem, on siiski ülioluline elu ja soojusrežiimi jaoks Maal. Oma osakaalu poolest peaks kuuluma õhu põhikomponentide hulka ka veeaur, kuid selle kontsentratsioon ehk absoluutne õhuniiskus varieerub väga suurtes piirides nii ajas kui ka ruumis. Selle põhjuseks on õhu erinev temperatuur ja aurustuva vee olemasolu (protsendi murdosast külma talveilmaga kuni 4 protsendini ekvatoriaalaladel). Atmosfääri standardkoostis antakse kuiva õhu kohta veeauru arvestamata. Veeaur on Maa soojusrežiimi ja õhumasse liigutavate jõudude kujunemisel õhu tähtsaim komponent.

Ehkki teiste gaaside kontsentratsioon õhus on väike, mängivad need siiski elustikku, inimese tervist ja Maa kiirgusbilanssi mõjutades olulist rolli. Enamik neist varieeruvad piirkonniti suurel määral nii looduslikest teguritest kui ka inimtegevusest tingituna. Peaagu kõik need on teatud piirist alates inimesele või elukeskkonnale ohtlikud, mistõttu neid tavatsetakse nimetada saasteaineteks.

1. Saasteained

Lämmastikdioksiid (NO_2) tekib peamiselt õhulämmastiku kuumutamisel, millisteks protsessideks looduses on välgulöögid ning inimtegevuses mootorite ja kütteseadmete töö. Seega on inimtegevusest tulenev NO_2 peamiselt linnalist või tööstuslikku päritolu, kusjuures selle kontsentratsioon võib kohati loodusliku fooni paljukordselt ületada. NO_2 esineb ka sekundaarse saasteainena, mis moodustub atmosfääris inimtekkelise või loodusliku NO , N_2O , NH_3 jt. lämmastikku sisaldavate ühendite oksüdeerumisel. Umbes 90% inimtekkelistest lämmastiku oksiididest (NO_x) on algselt lämmastikmonoksiidi NO kujul, kuid see oksüdeerub tundide ja päevade jooksul NO_2 -ks.

Osoon (O_3) on huvitav aine selle poolest, et sekundaarse saasteainena on selle kontsentratsioonid kõrgemad akuutsetest saasteallikatest eemal. Osoon tekib maalähedases õhukihis reaktsioonides, mille eeltingimus on NO_2 molekuli lagunemine päikesekiirguse toimel. Saasteallikate lähedal aga domineerib õhus NO , mis hoopis lagundab osooni. Öösel on ülekaalus osooni lagunemine kõikjal, mistõttu sellel saasteainel on kindel ööpäevane muutlikkus – öösel on seda õhus vähem kui päeval.

Vääveldioksiidi (SO_2) allikaid on looduses suhteliselt vähe, olulisim neist on vulkaanid, aga SO_2 on ka väävlit sisaldava orgaanilise aine lagunemise lõpp-produkt. Eestis pärineb SO_2 põhiliselt kaugkandest ning selle tase õhus on kaunis ühtlane ning ohtlikust tasemest suurusjärkude võrra madalam. Oluliselt kõrgeks saanud kontsentratsioone esineb vaid põlevkivitöötlemisettevõtete, sadamate ja laevateede lähedal (normid merelaevanduses kasutatavate kütuste väävlisisaldusele on palju leebemad kui maismaatranspordis). Vääveldioksiid on healumaades taanduv probleem, sest energeetikas jm. tööstuses on kasutusele võetud efektiivsed puhastusseadmed ja transpordis madala väävlisisaldusega kütused. Paraku kasvab väävlisaaste Kagu-Aasias ja mujal arengumaades, kus tööstuse kiire arendamise nimel ei hoolita keskkonnameetmetest.

Ammoniaak (NH_3) on väga muutliku kontsentratsiooniga lisandgaas, mis moodustub orgaanilise aine lagunemisel. Selle peamine inimtekkeline allikas on põllumajandus –

loomakasvatus ja sõnnikuga väetamine, aga ka heitvee puhastusseadmed. NH_3 oksüdeerub õhus kiiresti, mistõttu on tegemist kohaliku saasteainega. Ammoniaak on probleemne saasteaine, seda ka Eestis – loomafarmide lähedal esineb sageli seadusega kehtestatud piirväärtuste ületamisi välisõhus. Ammoniaagi eraldumist ei saa täielikult vältida, kuid eesmärgiks on hoida liiga kõrged saastetasemed tootmisterritooriumi piires, mille jaoks kehtivad kõrgemad piirnormid.

Lämmastiku oksiidid, sh. NO_2 , koos nendega tekkeliselt seotud osooniga on Euroopa Liidus ja mujal tehnoloogiliselt arenenud maades teravdatud tähelepanu all linnastumise ja autotranspordi kiire arenemise tõttu, mida heitgaaside puhastus ja muud keskkonnameetmed ei ole siiani täielikult kompenseerida suutnud.

2. Atmosfääri kihistumine ja õhusaaste hajumise tingimused

Atmosfääri kihistumine ehk *stratifikatsioon* määrab suuresti selle, kui hästi või halvasti õhku paiskunud saasteained hajuvad.

Teame, et enamasti on välisõhk kõrgemal külmem. See ei ole aga alati ja iga õhukihi korral nii. Õhurõhk langeb kõrgusega ja õhk muutub hõredamaks. Kui me toome kujuteldava õhupalli kiiresti (nii et soojusvahetust ei jõua toimuda) allapoole, siis õhk selles tõmbub kokku ja soojeneb, kui viime üles, siis see paisub ja jahtub. Kuiva õhu temperatuur muutub kõrgusega umbes 1 kraad iga 100 meetri kohta, kui aga õhk pallis on nii niiske, et see hakkab tõustes välja sadenema või on pallis veepiisad, mis soojenemisel aurustuvad, siis muutub temperatuur ainult 0,6 kraadi 100 meetri kohta – vee kondenseerumine annab teatavasti soojust juurde, aurustumine aga neelab seda.

Kui nüüd välisõhu temperatuur kahaneb kõrgusega sama palju kui meie pallis ehk 1 kraad kuiva ja 0,6 kraadi niiske õhu puhul, siis on õhk pallis alati sama tihedusega kui väljaspool seda. Kui pall ise ei kaaluks midagi, siis jääks see just sellele kõrgusele, kuhu see tuuakse. Niisugust olukorda nimetatakse **neutraalseks (ükskõikseks) kihistuseks**.

Kui välistemperatuur kahaneb kõrgusega kiiremini, siis ülesviidud pallis on õhk alati soojem ja hõredam kui ümbritsev õhk – seega tõuseb see järjest kiirenevalt nii kaua, kuni selle seinad paisumist kannatavad. Allatoodud pall on vastupidi aga külmem ja tihedam kui ümbritsev õhk ja jätkab langemist kuni jõuab maapinnale ja ei liigu sealt enam kuhugi. Seda nimetatakse **labiilseks (ebapüsivaks) kihistuseks**.

Kui välistemperatuur kahaneb kõrgusega aeglasemalt või hoopis tõuseb (ka seda esineb!), siis ülesviidud pall on ümbritsevast külmem – seega tihedam ja vajub alla. Allatoodud pall on soojem ja tõuseb üles. Tähelepanuväärne on see, et endisele kõrgusele tagasi jõudes võrdsustub õhu tihedus palli sees selle tihedusega väljas ja pall jääb sellele kõrgusele, kus see algselt oli. Seda nimetatakse **stabiilseks (püsivaks) kihistuseks**.

See jutt kehtib ideaalse palli korral, mille seinad on lõpmata elastsed ja kerged, st. need ei suru õhku tihedamaks ja ei kaalu midagi ja veelgi enam – ka temperatuurid selle sees ja väljas ei ühtlustu! Reaalselt on õhuga täidetud pallil tugev kalduvus maha tagasi langeda, nagu teame. Aga kui „palliks“ on ilma seinteta õhumass mõõtmega kümnetes või sadades meetrites, siis kehtivad need eeldused väga kenasti.

Labiilse kihistumise korral tekivad kergesti tõusvad ja laskuvad õhuvoolud, mis jõuavad kilomeetrite kõrgusele maapinnast. Teatud kõrgusele jõudes jahtub õhk niivõrd, et tõusvate õhuvoolude kohale moodustuvad pilved – ilusa ilmaga rünkpilved või äikesepilv, kui niiskust on palju ja õhuvool piisavalt tugev. Tüüpsituatsioon labiilseks kihistuseks on päikesepaisteline suvepäev (päike soojendab tugevalt maapinda ja seega saab õhk soojust altpoolt), kuid seda võib esineda ka suhteliselt pilvise ilmaga tsüklonites.

Stabiilse kihistuses on olukord vastupidine – iga vertikaalne õhuliikumine sumbub ja õhuvahetus kihtide vahel on väga aeglane. Tüüpsituatsiooniks on tuulevaikne selge öö – suvel jahtub päeval soojenenud õhk öö saabudes kiiresti ja maapinna lähedal võib temperatuur olla mitu kraadi jahedam kui mõnekümne meetri kõrgusel (*pinnainversioon*). Talvises kõrgrõhkkonnas võib meie laiuskraadil ja veelgi kaugemal põhjas kujuneda olukord, kus päevane päikesepaiste ei suuda alumist õhukihti piisavalt soojendada ning iga ööga muutub õhk maapinna lähedal külmemaks – on esinenud sedagi, et maapinna lähedal on külma 30 kraadi, 100 meetri kõrgusel aga vaid kümnekond kraadi. Koos tüüpiliselt väga nõrga tuulega on see lisandi hajumiseks õhus halvim olukord.

Neutraalse kihistuse tüüpolukord on tugeva tuule ja pilves või poolpilves taevaga – seda esineb Eesti kliimas väga sageli, eriti sügisel. Pilved ei lase päeval maapinnal soojeneda ega öösel jahtuda. Tugev tuul segab õhukihiid „jõuga“ läbi, takistades nii stabiilse kui ka labiilse kihistuse teket.

Sageli kasutatakse sünonüüme: stabiilse kihi kohta öeldakse (*temperstuuri*)*inversioon*, labiilse kohta *konvektsioon* ehk *konvektiivne* kiht.

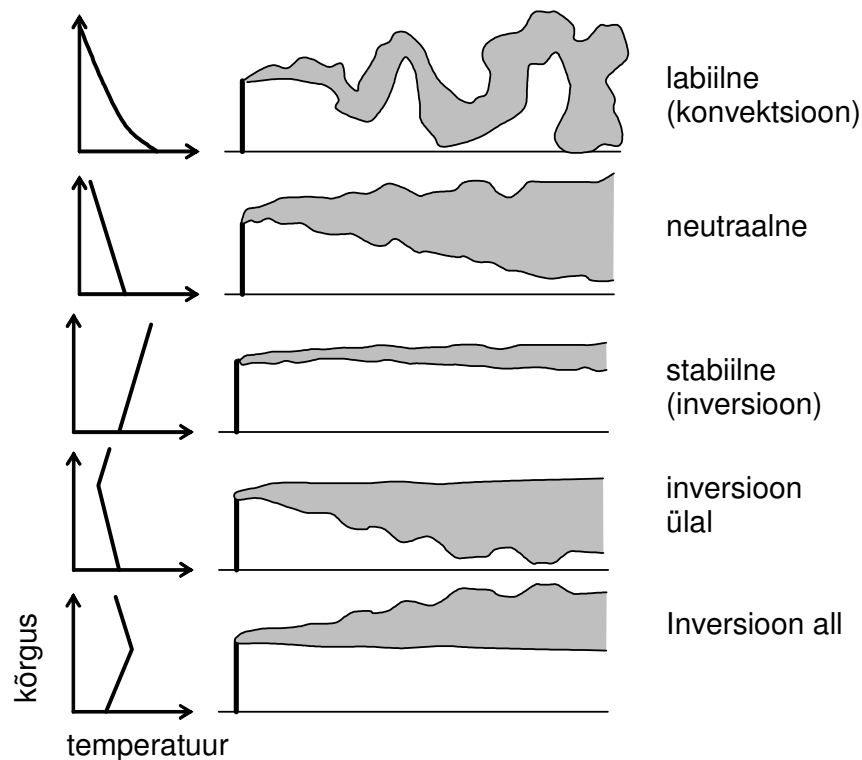
Kuidas need olukorrad mõjutavad õhusaaste hajumist, on nüüd juba aimatav (joonis 1).

- **Labiilse** atmosfääris seguneb õhku paisatud lisand kiiresti paksus õhukihis: maapinnalähedased saastetasemed jäävad küllaltki väikeseks, seda eriti saasteallikast kaugemal, kuid kõrgetest korstnatest pärinev saaste jõuab kiiremini maapinnale.
- **Neutraalse** atmosfääris seguneb saaste aeglasemalt, kuid enamasti hajutab seda piisavalt tugev tuul.
- **Stabiilse** atmosfääris (joonis 3) kuhjuvad näiteks autoliiklusest ja eramute kütmisest pärinevad saasteained maalähedases kihis ja võivad saavutada ohtlikke saastetasemeid, sest nii segunemine kui ka ärakanne tuulega on aeglane. Samas hajuvad ka kõrgetest korstnatest pärinevad ained aeglaselt ja jõuavad maapinna lähedale alles kaugel. Selle

ajaga võivad need rõhtsuunas päris palju hajuda ja neist põhjustatud maksimaalsed saastetasemed võivad jääda madalamaks kui labiilsel juhul.

Olulised on veel kaks erijuhtu.

- Inversioon ehk ülespoole soojeneva õhuga kiht (joonis 2) võib alata mitte otse maapinnalt, vaid mõnekümne meetri kõrguselt, selle all on neutraalne kihistus. Niiisugune olukord esineb sageli talvel. Siis segunevad hästi kõik saasteained, mis paisatakse õhku allpool inversioonikihti – liiklussaaste, madalamate korstnate suits. Inversioonikihti need ei läbi, vaid jäävad maapinna lähedale. Erinevus inversioonist otse maapinnal seisneb selles, et liiklussaaste mõju on vähem dramaatiline, kuid näiteks väikekatlamajad (korstnaots inversioonikihi all) mõjuvad seda tugevamalt.
- Teisel juhul võib olla otse maapinnal õhuke (10-20 meetrit) inversioonikiht, seda eriti suvistel öödel. Siis määravad maapinnal tajutava saaste peaaegu ainult madalad allikad, nagu näiteks liiklus. Stabiilsest kihist välja jäävate korstnate suits hajub hästi ja avaldab veelgi vähem mõju kui paksus inversioonikihis.



Joonis 1. Korstnast väljuva suitsujoa käitumine erinevatel hajumistingimustel. Vasakul on toodud temperatuuri käik kõrgusega iga juhu jaoks.

Niisiis on õhu temperatuur oluline näitaja selle kohta, kui hästi saasteained õhus hajuvad: isegi kui meil ei ole mõõtmisi mitmel kõrgusel, annab järsk temperatuuri langus öösel tunnistust stabiilsest kihist maapinna lähedal ja seega võimalikust kohaliku maapinnalähedase saaste kuhjumisest. Seetõttu on temperatuuri mõõtmine kohapeal oluline mõistmaks antud koha mikrokliimat ja seega ka saasteainete hajumise iseärasusi. Võrdlus meteoroloogilise vaatlusvõrgu jaamade, meteomastide ja mudelarvutuste andmetega (vt. ptk. 3) võimaldab täpsustada hajumistingimusi, mida nende andmete alusel määratletakse. Lisaks sõltuvad mitmed heitmed otseselt välisõhu temperatuurist: kütmist (tahm, SO₂, NO_x) on külmema ilmaga rohkem, bioloogilist lagundamist (NH₃) aga vähem.





Joonis 2. Eramute suitsu pärsitud hajumine kõrgemal paikneva inversioonikihi korral: esineb peamiselt talvel (a), kuid saunade kütmise tõttu ka suveõhtul (b). Marko Kaasiku fotod, pildistatud Nõo vallas Tartumaal.



Joonis 3. Suitsujuga stabiilses piirkihis: a) vaade allatuult; b) vaade kõrvalt; c) vaade vastutuult u. 3 km samast korstnast (Ropka katlamaja, Tartu); d) stabiilne kiht korstnast kõrgemal (Elva). Marko Kaasiku fotod, Jaanuar 2010.

3. Eesti õhuseire

Eestis teostavad välisõhu seire erinevaid aspekte Eesti Keskkonauuringute Keskus (EKUK) ja Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (EMHI).

Täpsemalt vt. <http://mail.klab.ee/seire/airviro/>, <http://www.emhi.ee/>.

EKUK haldab kuute linnaõhu seirejaama (Tallin-Viru, Tallinn-Rahu, Tallinn-Õismäe, Tartu, Kohtla-Järve, Narva) ja kolme (maa)fooniõhu seirejaama (Lahemaa, Saarejärve, Vilsandi). Linnajaamad on paigutatud hõlmamaks erinevat tüüpi saasteallikaid:

- Viru väljak – tihedaima liiklusega tänavate sõlmpunkt;
- Rahu – tööstuspiirkond reisisadama mõjuga;
- Õismäe – linnafoon elamupiirkonnas;
- Tartu – valdvalt ahiküttega madaltihe elamupiirkond (joonis 4 vasak);
- Kohtla-Jäve ja Narva – keskmise suurusega linn koos tööstusmõjudega.

Maafoonijaamadest asub Lahemaa (Palmse) suhteliselt hõredalt asustatud metsasel alal, Saarejärve tihedalt asustatud põllumajanduspiirkonnas ja Vilsandi keset rannikumerd.

Mõõdetavad saasteained hõlmavad lämmastikoksiide, vääveldioksiidi, süsinikoksiidi, osooni, ammoniaaki ja tahkeid osakesi, kuid kõigis jaamades ei ole kõik need esindatud. Mõõdetakse ka tuule kiirust, suunda ja temperatuuri umbes kolme meetri kõrgusel maapinnast.

Peale saasteainete seire on EKUK-i võrgus neli 24 meetri kõrgust meteomasti: Tallinna loomaaias, Pärnu lähedal Uulus, Virumaal Aseri lähedal (joonis 4 parem) ja Tartumaal Külitses. Mastides mõõdetakse kahel kõrgusel õhutemperatuuri, tuule kiirusi ja suundi. Seega saab nede andmete alusel otseselt määrata, kas kihistus on labiilne, neutraalne või stabiilne. Lisaks mõõdetakse õhu vertikaalset liikumist ja selle lühiajalist muutlikkust, mis võimaldab otseselt hinnata õhu läbisegunemise ja saasteainete hajumise kiirust.

Nii meteoroloogilised andmed mastidest kui ka saastetasemed ja meteoandmed seirejaamadest antakse tunnikeskistena.



Joonis 4. Vasakul Tartu Karlova seirejaam (foto: Marko Kaasik), paremal Aseri meteomast (foto: Jana Pavlenkova).

EMHI ilmavaatlusjaamad paiknevad tihedamalt kui EKUK-i mastid. Neis tehakse automaatseid temperatuuri, õhurõhu, tuule, sademete jm. vaatlusi maapinna lähedal, mõnedes ka spetsiifilisemaid mõõtmisi nagu näiteks päikese nähtav ja ultraviolettkiirgus (Tõravere, Tiirikoja).

EMHI üheks ülesandeks on ilmaennustusmudeli HIRLAM töös hoidmine ja täiustamine. Sellega arvatud õhumasside liikumisel põhineb ka saasteleviku mudel SILAM, mis praegu on veel arendusjärgus (<http://meteo.physic.ut.ee/silam>). Lühidalt öeldes saab see mudel lisaks meteoroloogilistele andmetele ka saasteallikate (tööstusettevõtted, liiklus, kütmine jm.) heitmete andmed üle Eesti ja lähiümbruse kohta ja arvutab selle alusel saastetasemed. Arvutatud saastetasemete võrdluse alusel EKUK-i seirejaamadega ja muude õhusaastemõõtmistega hinnatakse mudeli töökölblikkust.

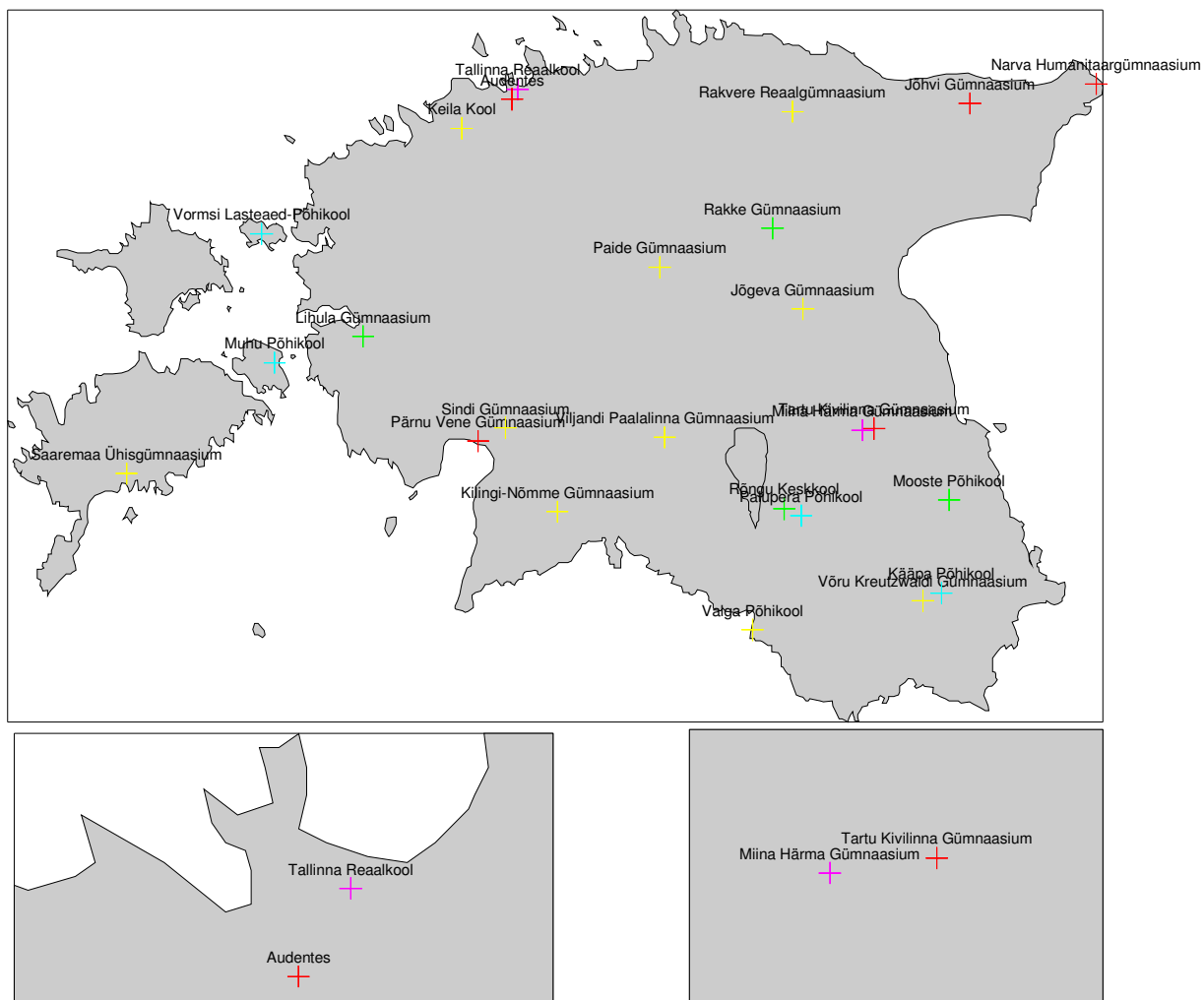
EKUK-i seiresüsteemi kuulub suuremate ja probleemsemate linnade (Tallinn, Tartu, Pärnu, Kohtla-Järve, Narva, Sillamäe) õhusaaste arvutus reaajas mudeliga AirViro (vt. <http://mail.klab.ee/seire/airviro/> → modelleerimine).

4. Mida see projekt teadusesse ja praktikasse juurde annab?

Nagu eelmiset peatükist nähtub, on õhusaaste seirevõrk Eestis ebahütlane nii territooriumi kaetuse kui ka erinevate asustuse tüüpide ja tiheduste mõttes: ühtegi jaama ei ole väikelinnades aga alevikes, Lõuna-Eestis ei ole maafooniaamu, erinevat tüüpi jaamu linnapiirkondades on vaid Tallinnas.

Selle projekti eesmärk on osaliselt neid lünki täita. Passiivsed kogujad ei võimalda määrata saastetasemeid reaalselt, küll aga kahe nädala keskmisena. Kahenädalased mõõtmised neli korda aastas võimaldavad aga küllaltki pädevalt aastakeskmisi ja aastaaegade keskmisi saastetasemeid määrata. Koolide valik on suunatud nii, et oleksid esindatud suuremad linnad (võrdluseks neis paiknevate seirejaamadega, seega meetoodika paikapidavuse „proovikivi“), väiksemad linnad, alevikud ja ka mõned väikesed külad. GLOBE koolide võrgust lähtuvalt on vaatluskohti tihedamalt just Lõuna-Eestis, kus pidevseirevõrk on hõre (joonis 5). Lääneranniku lähedased kohad võivad anda teavet merelaevade liiklusest tuleneva saaste kohta, Kagu-Eestis aga metsatulekahjustest Venemaal.

Võrreldes mõõtmistulemusi reaalselt töötavate mudelitega (SILAM, AirViro), saab peaaegu kogu Eestit hõlmavat teavet nende mudelite täpsuse kohta pikaajaliste keskmiste saastetasemete prognoosimisel. See on vajalik mõistmaks kui õigesti suudab mudel prognoosida saastetasemeid erinevates Eesti osades, erineva linnalisuse-maalisuse ja merelisuse-mandrilisusega aladel. Ilmnevad mudeli ja mõõtmise erinevused võimaldavad mõista, millised osad mudelist (arvutusprogrammist) ja saasteallikate andmebaasist vajavad täiustamist, et tegelikku olukorda täpsemalt hinnata ja prognoosida.



Joonis 5. Projektis osalevad koolid. Värvide järjestus helesinine – roheline – kollane – punane – purpur näitab subjektiivselt hinnatud asukohti maalisuse – linnalisuse skaalal (helesinine väikeses külas, purpur suurema linna keskmes). Suurendatult on välja toodud Tallinn ja Tartu.

5. Tulemuste tõlgendamine

Tulemuste tõlgendamisel on kõige tähtsam mõista kohalike saasteallikate (katlamajad, tööstusettevõtted, elamurajoonid, liiklussõlmed ja tiheda liiklusega teed-tänavad) ja kaugkande (Eesti, Euroopa) osakaale. Kohalike saasteallikate mõju eristamiseks on vaja võimalikult täpselt fikseerida mõõtmispunkti asukoht – see on väga oluline, kas mõõdetakse näiteks 50 või 500 meetri kaugusel tiheda liiklusega tänavast või maanteest, lämmastikoksiidide kontsentratsioon võib olla kordades erinev. See ei tähenda piinlikult täpset asukohakirjeldust, asustustiheduse, kohalike saasteallikate heitkoguste, asukohtade, kõrguste, liiklustiheduste jms. uurimust – need andmed on Eesti Keskkonnainfo, Eesti Statistika, Maa-ameti jm. andmebaasides reeglina täpsemalt ja ülevaatlikumalt saadaval.

Eeskätt on vaja määrata ja protokollida **mõõtmise koht** geograafilises (pikkus-laius) koordinaatsüsteemis ühe kaaresekundi ehk paarikümne meetri täpsusega. Seda saab teha kahel viisil: (1) GPS-iga kohapeal või (2) leida Maa-ameti kaardiserveris (<http://www.maaamet.ee> > geoportaal) kaardilt või aerofotolt täpne koht ja võtta koordinaadid. Asula nimi ja isegi tänava aadress ei anna üldjuhul piisavat täpsust.

Tähelepanu! Segaduste vältimiseks anda koordinaadid kraad-minut-sekund formaadis. GPS-ilt lugemisel pöörata sellele tähelepanu: mõnedel mudelitel on vaikimisi formaadis minuti murdosa – seega tuleks kas GPS ümber seadistada või teha ümberarvutus.

Nagu eespool öeldud, on temperatuuri mõõtmine oluline atmosfääri seisundi ja sellest lähtuvate hajumistingimuste määramiseks. Soovitav on teha nii käsitsi mõõtmisi päevasel ajal kindlatel kellaaegadel (näiteks kell 9.00, 13.00, 17.00) kui ka lugeda iga ööpäeva miinimum- ja maksimumtermomeetri näidud. Soovitavalt peaks temperatuuri mõõtma proovikogujate vahetus läheduses. Kui see ei ole võimalik, siis anda eraldi geograafilised koordinaadid ja kõrgus maapinnast ühe meetri täpsusega, lisaks lühike asukoha kirjeldus: kas maja sein küljes või eraldi, lagedal või aias/pargis/metsas.

Tähelepanu! Suurte moonutuste vältimiseks peab termomeeter olema vähemalt mõõtmiste aegadel ja vähemalt pool tundi enne seda otsese päikesekiirguse eest varjatud. Tuleb jälgida ka seda, et vähem kui meetri kaugusel ei oleks pinda, mis päikese käes tugevalt soojeneb, olgugi et termomeeter ise on varjus. Vältida tuleks ka soojust tootvate (näiteks väliahi) või neelavate seadmete (näiteks soojuspumba väline osa) lähedust. Kui koolil on meteovaatlusteks mõeldud väljak ja meteoroloogiline onn (spetsiaalne valgeks värvitud hea

loomuliku ventilatsiooniga väike kastike termomeetrite jaoks), siis teha mõõtmised seal.
Soovitav kõrgus maapinnast on umbes 2 meetrit.

6. Mõõtmiste läbiviimine passiivsete difusioonkogujatega

Kogujaid on 4 eri tüüpi: osooni (O_3), ammooniaagi (NH_3), vääveldioksiidi (SO_2) ja lämmastikdioksiidi (NO_2) kogumiseks õhust.

Kogumisaeg

Kogumisaeg on 2 nädalat.

Difusioonkoguja ehitus

Koguja paikneb enne üles panekut ja pärast maha võtmist topsis. Koguja on valmistatud polüpropüleenist. Selle ühes otsas on 2 cm läbimõõduga ringikujuline ava, mis on kaitstud teflonmembraani ja traatvõrguga. Koguja sees on keemiliste ühenditega immutatud filter (joonis 6).



Joonis 6. Koguja ehitus. Vasakult paremale - tops, teflonmembraan, traatvõrk, keemiliste ühenditega immutatud filter ja ringikujulise avaga polüpropüleenist koguja korpus



Joonis 7. Koguja kate ja kinnitus. Vasakult paremale – maasse löödav metalltoru koos pitskruviga, puust vars koos roosa kattega

Passiivsed difusioonkogujad asetsevad 2.4 m kõrgusel maapinnast ja on kaitstud otsese päikesekiirguse ja vihma eest (joonis 7). Kogujad kinnitatakse ilmastikutingimuste eest kaitset pakkuva kate alumisele poolele. Kate omakorda kinnitub puust varre otsa (joonis 8). Puust varr pannakse maa sisse löödud metalltoru sisse ja fikseeritakse pitskruviga.



Joonis 8. Koguja kate ja puust vars.

Katte, puust varre ja metalltoru paigaldavad Eesti Füüsika Seltsi koolitajad koolikülastuse käigus.

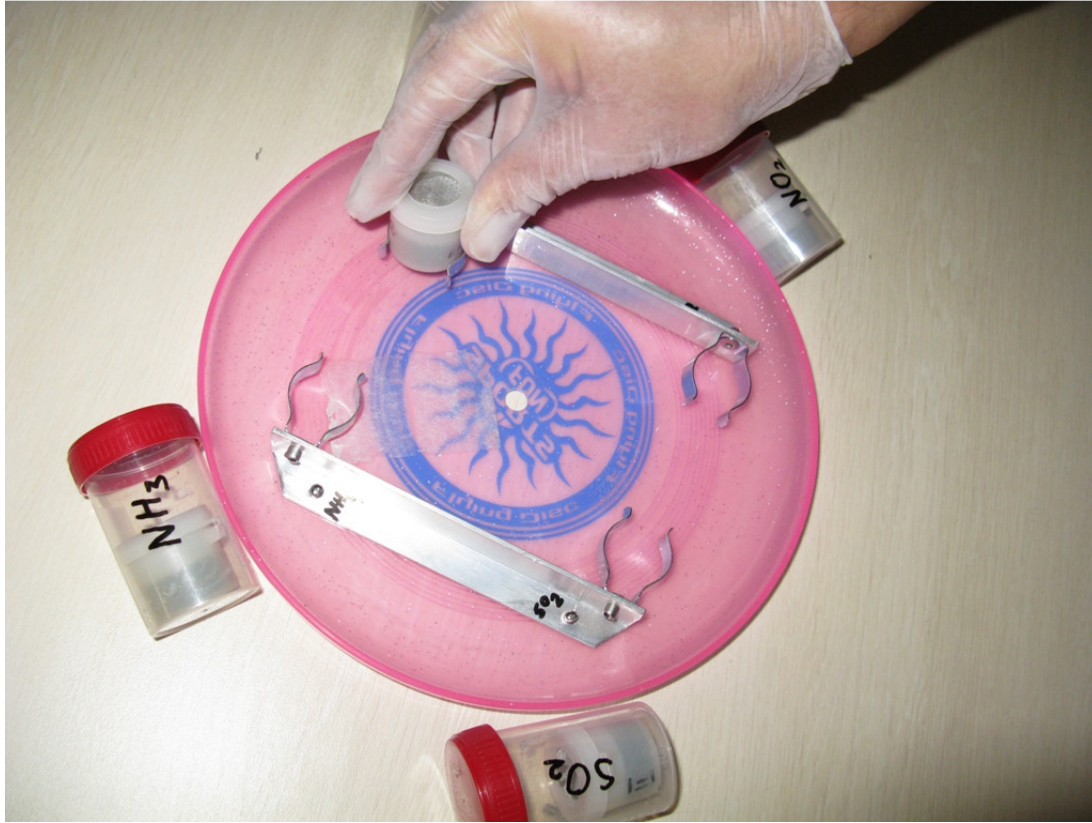
Difusioonkoguja kasutamine

Kogujad valmistatakse ette Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaali laboris. Iga uuritava näitaja (O_3 , NH_3 , SO_2 ja NO_2) kohta üks koguja. Koolidesse saavad kogujad postiga. Postisaadetises on 4 kogujat, proovivõtuprotokoll ja ümbrik kogujate tagasisaatmiseks. Iga koguja paikneb eraldi topsis.

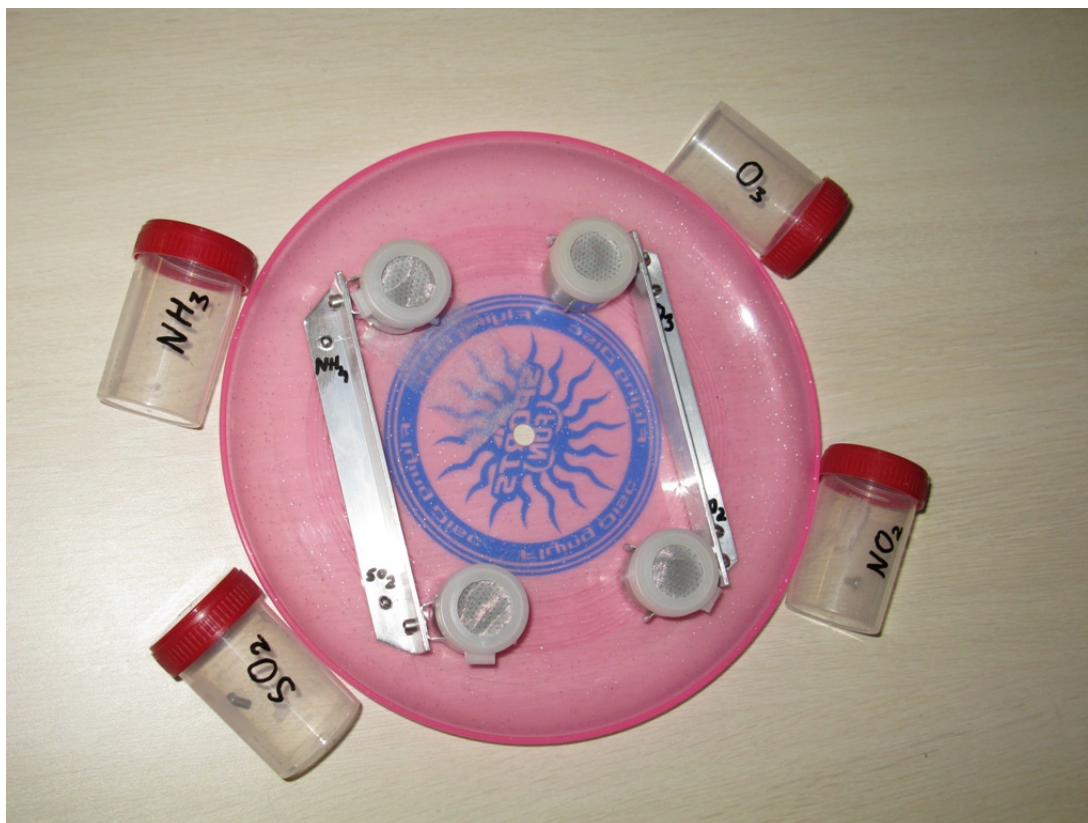
Koguja ülespanek

Kogujad viiakse proovivõtukohta, kuhu on eelnevalt paigaldatud maa sisse metalltoru, mille sees on puust vars ja varre otsas kate. Metalltoru küljes olev pitskrui keeratakse lahti ja vars võetakse alla, et oleks võimalik kogujaid paigaldada (joonis 9). Kogujad võetakse topsist välja ja kinnitatakse katte alumisele poolele, avaga maa suunas (joonis 10). **Topsid tuleb kindlasti**

alles hoida! Nüüd peab märkima proovivõtuprotokolli koguja tüübi (O_3 , NH_3 , SO_2 või NO_2) ja kogujate ülespanemise aja (kuupäev, kellaaeg).



Joonis 9. Kogujate kinnitamine katte külge



Joonis 10. Nii peavad olema kogujad katte külge paigaldatud

Koguja mahavõtmine ja laborisse saatmine

2 nädalat pärast kogujate ülespanemist tuleb minna tagasi proovivõtukohta ja metalltoru küljes olev pitskruvi lahti keerata ning vars koos kattega alla võtta. Seejärel tuleb kogujad katte küljest lahti võtta ja tagasi topsidesse paigutada. Proovivõtuprotokollile tuleb märkida koguja mahavõtmise aeg (kuupäev, kellaeg). Kui kogujaga juhtus midagi ebatavalist (kukkus maha, kadus ära, oli altpoolt jäätunud, oli katki läinud) tuleb see märkida proovivõtuprotokollile märkuste lahtrisse. Protokollile tuleb kindlasti kirjutada koguja paigaldaja/mahavõtja nimi ja kool, mida ta esindab. Kõik kogujad ja proovivõtuprotokoll tuleb postiga saata OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaali, Vaksali 17A, Tartu 50410.

Tulemused

Tulemused saadetakse kooli e-postiga. Õpilased kannavad tulemused andmebaasi.

Tulemustes sisaldub:

- kogumisaaja keskmine õhutemperatuur – ühik K (kelvini kraad)

- kogumisaja keskmine rõhk – Torr (torr)
- nelja gaasi kogumisaja tunni keskmine kontsentratsioon:

O_3 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NH_3 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$

SO_2 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NO_2 - $\mu\text{g}/\text{m}^3$

7. Mõõtmiste läbiviimine maksimum-miinum termomeetriga

Kuna õhulisandite (O_3 , NH_3 , SO_2 ja NO_2) kogunemise kiirus passiivsete diffusioonkogujatega on erinevatel temperatuuridel erinev, siis määratakse ka kogumisperioodi keskmine õhutemperatuur. Selle arvutamiseks määratakse 3 korda päevas õhutemperatuur ja ööpäeva maksimaalne ja minimaalne temperatuur.

Temperatuuri mõõtmine on oluline ka atmosfääri seisundi ja sellest lähtuvate hajumistingimuste määramiseks.

Temperatuuri mõõtmise aeg

Temperatuuri mõõdetakse kogujate üleval olemise ajal. Kokku 15 päeval (näiteks 10-24 kuupäeval). Mõõtmisi tuleb teha päevasel ajal kindlatel kellaaegadel (näiteks kell 7.30, 13.00, 17.00) samuti lugeda hommikuti termomeetrilt ööpäeva maksimaalne- ja minimaalne temperatuur.

Termomeetri tööpõhimõte

U-toru maksimum-miinum termomeeter (joonis 11) mõõdab maksimaalset ja minimaalset temperatuuri mingis ajavahemikus, samuti hetketemperatuuri. Temperatuuri näidud U-toru paremal pool kasvavad toru ülemise otsa suunas, näidud vasakul pool aga kahanevad.

Kui temperatuur tõuseb, siis lükkab elavhõbedasammas paremal pool asuva maksimum-indikaatori üles. Kui temperatuur uuesti kahaneb, siis jääb maksimum-indikaator püsima kõrgeimasse punkti, mis näitab maksimaalset temperatuuri.

Temperatuuri langedes lükkab elavhõbedasammas miinum-indikaatorit toru vasakus pooles ülespoole ja fikseerib eelkirjeldatud viisil minimaalse temperatuuri.

Termomeetri paigutamine

Soovitavalt peaks temperatuuri mõõdetama proovikogujate vahetus läheduses. Kui see ei ole võimalik, siis anda eraldi geograafilised koordinaadid ja kõrgus maapinnast poole meetri täpsusega, lisaks lühike asukoha kirjeldus: kas maja seina küljes või eraldi, lagedal või aias/pargis/metsas.

Kõige parem on paigutada termomeeter selleks ette nähtud kappi. Termomeetri ümber peab õhk saama liikuda ja see ei tohi kokku puutuda kapi seintega. Termomeeter peaks olema 2 m kõrgusel maapinnast.

Kui kappi ei ole, tuleb termomeeter paigutada kohta, kuhu päike mõõtmisaegadel (ja vähemalt pool tundi enne seda) peale ei paista. Tuleb jälgida ka seda, et vähem kui meetri kaugusel ei oleks pinda, mis päikese käes tugevalt soojeneb, olgugi et termomeeter ise on varjus. Vältida tuleks ka soojust tootvate (näiteks väliahi) või neelavate seadmete (näiteks soojuspumba väline osa) lähedust. Vajadusel annavad paigaldamiskoha kohta soovitusi OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaali töötajad.



Joonis 11. Maksimum-miinum termomeeter

Termomeetri kasutamine

Enne termomeetri kasutamist kontrollige, et elavhõbedasambas ei oleks tühimikke. Need võivad tekkida termomeetri transpordi käigus. Tühimikest vabanemiseks tuleb püstasendis termomeetrit ettevaatlikult raputada, kuni moodustub pidev elavhõbedasammas.

Mõõtmiste esimene päev (kokku 15 päeva)

Esimene temperatuurimõõtmine tuleks teha koos passiivsete difusioonkogujate paigaldamisega enne koolipäeva algust (iga päev samal ajal näiteks kl. 7.30). Temperatuuri mõõtmiste protokollile tuleb märkida kuupäev, kellaaeg ja hetketemperatuur. Hetketemperatuuri väärtus loetakse elavhõbedasamba ülemise serva järgi, märgi temperatuur 0.5 Celsiuse kraadi täpsusega (näit. 20.5; 21.5; -5.5). Võite kasutada samba mõlemat poolt. Seejärel tuleb termomeeter nullida. Kui teil on nupuga termomeeter, siis indikaatorite algseisu viimiseks (nullimiseks) vajutage nuppu termomeetri keskel. Algseisu viidud indikaatorid peavad asetsema elavhõbedasamba otste peal. Kui termomeetril nuppu ei ole, tõmmake magneti abil mõlemad indikaatorid alla nii kaugele kui võimalik.

Teine mõõtmine tuleks teha lõunaajal (igal päev samal ajal, näiteks kl. 13.00). Temperatuuri mõõtmiste protokollile tuleb märkida kellaaeg ja hetketemperatuur. Kindlasti ei tohi termomeetrit nullida, seda tehakse alles pärast hommikust mõõtmist!

Kolmas mõõtmine on vaja sooritada õhtul (igal päev samal ajal, näiteks kl. 17.00). Protokollile tuleb märkida kellaaeg ja hetketemperatuur. Termomeetrit nullida ei tohi!

Mõõtmiste teine kuni viieteiskümnes päev

Esimene temperatuurimõõtmine tuleb teha nagu eelmiselgi hommikul. Temperatuuri mõõtmiste protokollile tuleb märkida kuupäev, kellaaeg ja hetketemperatuur, kuid nüüd tuleb protokollile märkida ka maksimaalne ja minimaalne temperatuur.

Maksimumtemperatuur tuleb lugeda termomeetri paremal pool asuva maksimumindikaatori alumise serva järgi. Miinimumtemperatuur tuleb lugeda termomeetri vasakul pool asuva miinimumindikaatori alumise serva järgi. Seejärel tuleb termomeeter nullida nagu eelmiselgi päeval.

Teine temperatuuri mõõtmine tuleb sooritada lõuna ajal ja samamoodi nagu eelmiselgi päeval.

Kolmas temperatuuri mõõtmine tuleb läbi viia nagu eelmiselgi õhtul.

Protokollile märkuste osasse kirjutada, kui mõõtmisel tekkis mingeid probleeme.

Tulemused

Õpilased kannavad tulemused andmebaasi.

Tulemustes sisaldub:

- hommikune õhutemperatuur
- lõunane õhutemperatuur
- õhtune õhutemperatuur
- ööpäeva minimaalne temperatuur
- ööpäeva maksimaalne temperatuur
- temperatuuride määramise kellaajad
- temperatuuride määramise kuupäevad

Proovivõtuprotokoll passiivsetele difusioonkogujatele

OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaal

Vaksali 17a, Tartu 50410

Koguja tüüp (O ₃ , NH ₃ , SO ₂ , NO ₂)	Algus Kuup., Kellaeg	Lõpp Kuup., Kellaeg	Märkused

Koguja

paigaldaja/mahavõtja.....

..

Nimi, kool, amet

Laborisse (täidet. laboris).....

Kuup., kellaeg

Võttis vastu (täidet.laboris).....

Nimi, allkiri