

LIHULA GÜMNAASIUM

SIMO STAHLMAN

12. KLASS

**TAHM KUI ÕHU KVALITEEDI MÕJUTAJA LIHULA ÕHU
TAHMASISALDUSE NÄITEL. VÕRDLUS TEISTE EESTI
ASULATEGA**

JUHENDAJA MARJE LOIDE

KASUTATUD LÜHENDID

μm – mikromeeter

nm – nanomeeter

mg – milligramm

μg – mikrogramm

ng – nanogramm

U_p – fotomeetri pimenäit (pinge)

U_0 – fotomeetri näit puhta filtriga (pinge)

U_1 – fotomeetri näit tahmaga laetud filtriga (pinge)

mV – millivolt

$t_0; t_1$ – õhutemperatuur

$r_0; r_1$ – suhteline õhuniiskus

$P_0; P_1$ – õhurõhk

$\Phi_0; \Phi_1$ – õhuvoolu kiirus

Φ_{kesk} – õhuvoolu keskmine kiirus

N_m – tahma massikontsentratsioon õhus

SISSEJUHATUS

Uurimistöo teema valik tulenes osalemisest Eesti Füüsika Seltsi ja GLOBE Eesti üldhariduskoolidele suunatud rahvusvahelises keskkonnaprojektis „Eesti õhusaaste seire“, mille käigus tuli igal aastaajal kahenädalaste tsüklitena mõõta õhus sisalduvate tahmaosakeste hulka. Ühtlasi tekkis huvi võrrelda kodukoha tulemusi teiste projektis osalenute tulemustega.

Uurimistöo eesmärk on:

- 1) anda ülevaade sellest, mis on tahm;
- 2) leida tahma mõju inimeste tervisele ja loodusele;
- 3) mõõta tahmasisaldust Lihula õhus ning võrrelda seda Tartu, Saaremaa, Kilingi-Nõmme, Rakvere, Paide, Tallinna, Narva, Kääpa, Jõgeva ja Vormsi mõõtmistulemustega;
- 4) leida saadud mõõtmiserinevuste võimalikud põhjused.

Eesmärkide saavutamiseks püstitati järgmised hüpoteesid:

- 1) Lihula mõõtmispaiga õhk sisaldab vähem tahma kui sarnase suurusega või suuremate asulate uurimiskohad;
- 2) tahmasisaldus õhus on otseses seoses asula suurusega;
- 3) tahmasisaldus õhus sõltub kütmisest (ilmastikust).

Töö on jagatud kolmeks suuremaks osaks. Esimene osa annab ülevaate sellest, mis on tahm, kuidas see tekib ning milline on selle mõju keskkonnale ja inimeste tervisele. Teine osa kirjeldab lähemalt uurimistöo meetodeid ehk tahma teekonda õhust saadud andmeteni. Viimases osas on tehtud andmete analüüs koos võrdlustega ning kirjeldatud saadud erinevuste võimalikke põhjuseid.

Uurimuse käigus on kasutatud eelnevalt mainitud projekti raames välja antud seadmeid ning teiste koolide kogutud andmeid, mis paiknesid veebis.

Taustainfo kogumiseks kasutati enamjaolt interneti abi, peamised kirjanduse allikad olid GLOBE Eesti koduleht ning Vikipeedia. Innukalt abistasid oma teadmistega ka Lihula Gümnaasiumi õpetajad Hillar Laos, Peeter Hermik, Heli Raavel ja Liina Vaimla.

Lisades on erinevad diagrammid, kaardid ning pildid.

1. MIS ON TAHM

Tahm on peeneteraline amorfne aine, mis koosneb 95–99% ulatuses süsinikust. Ülejäänu moodustavad vesinik (0,3–0,8%) ja mineraalsed ained (0,1–0,5%). Tahma eripindala on 10–500 m²/g ning tihedus 1,8–1,95 g/cm³ (lisa 1). (Laos, Tahm, 2013)

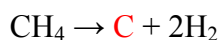
Tahm on süsiniku allotroopne vorm, mis esineb grafiidikristallidena. Struktuurilt koosneb grafiit tasandilistest lehtedest, millel süsinikuaatomid paiknevad korrapärase kuusnurkadena. Ühes kihis on aatomite kaugus üksteisest 0,142 nm, kihtide kaugus üksteisest on 0,335 nm (lisa 2). Samas kihis olevad aatomid on omavahel seotud kovalentsete sidemetega, kihtide vahel mõjuvad aga ainult nõrgad molekulidevahelised jõud. Seetõttu on grafiit suhteliselt pehme (kõvadus Mohsi skaalal 1–2), lagunedes mehaanilisel mõjutusel kergesti kihtideks. Niisuguse omaduse tõttu saab grafiiti kasutada näiteks pliiatsisüdämike materjalina või määrdeainetes. (Vikipeedia, 2013)

Tahma näeb inimese silm mustana, sest tahm neelab suurema osa saabuvast valgusest ning kiirguse peegeldumist peaaegu ei toimugi. Siiski eraldub toatemperatuuril tahmast soojuskiirgust, mida inimese silm tõlgendab musta värvusena. (Vikipeedia, 2013)

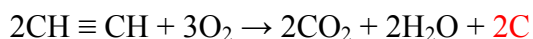
2. KUIDAS TAHM TEKIB

Tahm tekib maagaasi, koksigaasi ja etüüni, ka naftas ja koksitõrvas sisalduvate süsivesinike mittetäielikul põlemisel või termilisel lagunemisel. Näiteks alkaanid põlevad kahvatu leegiga:
 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (tahma teke on olematu)

Kuumutamisel 500 °C juures laguneb metaan siiski, kuid mõningal määral tekib ka tahma:



Etüüni põlemisel õhus tekib väga palju tahma:



Tahma eraldub palju, kui näiteks korstnad on külmad, küttepuid märjad, või auto käivitamise momendil, kui mootor ei ole töösoe. Karburaatoriga mootorid tahmavad alati, eriti kui kolvid ja kolvirõngad on kulunud või süütesüsteem ebaefektiivne. Mida halvemini on põlemise protsess reguleeritud, seda rohkem satub õhku tahma. (Laos, 2013)

Tahma paiskub õhku nii antropogeenselt (inimtekkeliselt) kui ka looduslikult, näiteks vulkaanipursete või metsatulekahjude korral. (Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Inimtekkelised tahmaallikad on sõltuvalt regioonist küllaltki erinevad. Läänemaailmas ja Aasia tööstusriikides on selleks peamiselt diiselkütet kasutavad autod, mis seoses süsinikdioksiidi emissioonide piiramisega viimasel ajal populaarsust kogunud on. Arengumaades eraldub tahm peamiselt algelisemates pliidides biomassi põletamisel ja kerosenlampide kasutamisel. Lisaks tekitab maailmas probleeme näiteks eramajades küttematerjalina söe kasutamine. (Koppel, 2013)

Tahma emiteerijad maailmas protsendiliselt:

- 1) **42%** avatud biomassi põlengud (metsade/savannide põlengud);
- 2) **18%** elamutes põletatud biokütus (ahju kütmine puudega, briketiga vms);
- 3) **14%** diiselmootorid transpordis;
- 4) **10%** diiselmootorid tööstuses;
- 5) **10%** tööstuslikud protsessid ja elektri tootmine;
- 6) **6%** elamutes kivisöe põletamine.

(Selts, GLOBE Eesti, 2012)

3. TAHMA MÕJU TERVISELE

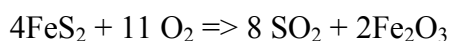
Mittetäielike põlemisprotsesside käigus eralduvad peenosakesed mõjutavad otseselt ka inimeste tervislikku seisundit, suurendades hingamisteede- ja südamehaiguste riski. (Koppel, 2013)

Tahmas sisalduv süsinik inimestele iseenesest ohtlik ei ole, kuid tervist kahjustava toimega on tahmas leiduvad orgaanilised põlemisjääd, eriti polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud. Nendest mitmed – bensopüreen ($C_{20}H_{12}$), bensoantratseen, bensofluoranteen – on tunnistatud kantserogeenseteks.

Näiteks prügipõletustehaste põletusjääkides leidub dioksiine. Kõige tuntum neist on 2,3,7,8-tetraklorodibenso-1,4-dioksiin, teratogeen ja kantserogeen, mis põhjustab laste väärarengut. (Laos, 2013)

Aerosoolide (teiste seas ka tahm) toimet tervisele on väga keeruline tuvastada, sest ühe aine mõju teise omast on raske eristada. Peened aerosoolid võivad põhjustada südame- ja kopsuhaigusi, astmahooge ja mitmeid teisi terviserikkeid. Eriti ohtlikud on väga väikesed saasteosakesed, need läbivad membraane ning kanduvad vereringega organitesse laiali, kahjustades kogu organismi. Praeguseks on näiteks tõestatud kahjulik toime epidemioloogilistes ja ka diiselmootori ülipeenete heitgaasiosakeste lühiajalise eksponeerimise mõju.

Londoni-tüüpi sudu on näide aerosoolide kahjulikkusest. Algselt pärineb nimetus 1905. aastast, mil Londonis söega kütmise tagajärjel eraldus korstnatest palju suitsu (tahma) ning vääveldioksiidi. Tahma aerosooli osakesed on kondenseerumistuumadeks õhuniiskuse ja udupiiskade jaoks. Tahmas leiduva raudsulfidi reaktsiooni õhuhapnikuga kirjeldab järgmine valem:



Tekkiv SO₂ on vees hästi lahustuv ning kogub selle tõttu enda ümber kondenseeruvat vett. Tahmas sisaldub ka metallijääke, mille katalüüsi abil muudetakse SO₂ edasi väävelhappeks. Tulemus on tervist kahjustav aerosool. (Vikipeedia, 2013)

4. TAHMA MÕJU KESKKONNALE

Aerosoolis sisalduv tahm mõjutab otseselt maakera kiirguslikku tasakaalu ja selle kaudu ka globaalset kliimat. Maa atmosfääri jõudnud päikesekiirgus neeldub ja hajub aerosoolis, mistõttu jõuab maapinnale vähem kiirgust ja aerosool ise soojeneb. Suurimad kiirguse absorbeerijad on osakesed, mis sisaldavad tahma (musta süsinikku) või pruunikaid rauaoksiide. Kiirgust neelava aerosooli peamised allikad on põlemisel eralduv tahm ja kõrбетолм. Päikesekiirguse hajumise tõttu suureneb tagasi maailmaruumi suunatava kiirguse hulk (tagasihajumine) ning pikeneb kiirguse teekond läbi atmosfääri.

Aerosoolid mõjutavad kaudselt kliimat pilveomaduste mõjutamise kaudu, sest aerosooliosakesed aktiveeruvad ja kasvavad pilvetilkadeks. Mida rohkem on aktiveeruvaid aerosooliosakesi (pilvede kondensatsioonituumasid), seda rohkem pilvetilku tekib ja pilvetilgad on väiksemad, sest veeauru hulk atmosfääris on limiteeritud. (Kikas, 2008)

Kondensatsioonituum on vedeliku või tahke keha, nt tolmu väike osake atmosfääris, mille pinnale kondenseerub veeaur väikeste veetilkade või jääkristallide kujul. (Vikipeedia, 2013)

1. Väiksematest tilkadest koosnevad pilved on heledamad, sest nende peegeldustegur on suurem. Selliste pilvede ülemine kiht peegeldab rohkem päikesekiirgust tagasi maailmaruumi. Seega suurendab aerosooliosakeste arvu kasv pilvetippude albeedot, vähendades atmosfääri ja maapinnale jõudvat kiirgust.

Albeedo on pinnaselt peegelduva ja pinnale langeva kiirgusenergia suhe. Albeedo iseloomustab pinna peegeldusvõimet. Ideaalselt peegeldava pinna albeedo on 100%, absoluutselt musta pinna albeedo on null. (Peil, 2013)

2. Kui aktiveeruvaid aerosooliosakesi on palju ja veeauru vähe, ei suuda pilvetilgad kasvada allasadamiseks vajaliku suuruseni (10–15 µm) ning suureneb mittedadavate pilvede hulk. Seega võib rohkem aerosooli põhjustada pilvisuse kasvu, mis omakorda nõrgendab maapinnale jõudvat kiirgust.

Enamik aerosooliefekte töötavad kasvuhoonegaasidele vastu ja pidurdavad kliima soojenemist, seevastu absorbeeriv aerosool (peamiselt biomassi põlemisest tulev tahm) tõukab globaalset kliimat soojenemisele nagu kasvuhoonegaasidki. (Kikas, 2008)

Lisaks õhus infrapunakiirguse neelamisele tumendavad tahmaosakesed maha langedes ka liustikke ja lumekatet, mis langetab omakorda viimaste albeedot. (Koppel, 2013)

Lume albeedo on tavaliselt üle 90%, mistõttu enamuse lumele peale langevast päikesekiirgusest peegeldub tagasi atmosfääri. Teadlased on leidnud Põhjanabalt tahmaosakesi, mis vähendavad lume pinna albeedot ning neelavad päikesekiirgust. See toob kaasa lume ja liustike sulamise ning veetaseme tõusu. (Gutro, 2005)

Lisaks võivad tahmaosakesed muuta piirkondlikke ilmaolusid, neist tähtsamana Kagu-Aasia mussoonvihmade tüüpilist esinemisaega, mis saagikasvatust raskendab. (Koppel, 2013)

5. UURIMISMETOODIKA

Tahmasisalduse määramiseks õhus kasutati isokineetilist proovivõtmise viisi. Tegemist on kõige vanema aerosooliseire meetodiga. Esimesed taolised mõõtmised tehti Suurbritannias juba 1920. aasta paiku. Need mõõtmised on tuntud „musta süsiniku“ (ingl *black carbon*) mõõtmistena, sest meetod võimaldab detekteerida peamiselt tahma, mille hulka hinnati filtri „mustenemise“ järgi, st mõõduks oli filtrit läbiva valgustugevuse vähenemine võrreldes puhta filtriga. Otseselt kaalumise teel filtrile kogunenud osakeste massi mõõta on kaunis lootusetu, sest näiteks ööpäeval ekspositsioonil õhu vooluhulgaga 1,5 l/min üsna kõrgel aerosoolikontsentratsioonil 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on kogutud mass ainult 0,1 mg. Filterpaberi tselluloosikiud paiknevad nii, et efektiivselt peetakse kinni umbes 5 μm -st suuremad osakesed. (Jürisaar, 1998)

Antud meetodi puhul imetakse mõõdetav õhk läbi õues paikneva spetsiaalse filtri ning hiljem mõõdetakse filtri „läbipaistvust“ fotoelektrilise seadmega, mis tuvastab filtrit läbiva valgustugevuse. Saadud andmeid võrreldakse puhta ja musta filtriga ning valemite abil leitakse tahmakogus (lisa 3).

Mõõtmisi tehti 2012. aastal regulaarselt iga 24 tunni järel kahenädalaste tsüklitena kõigil aastaegadel vastavalt projekti ajagraafikule. Filtreid vahetati õhtuti ajavahemikus 19.00–24.00. Projekt nägi ette mõõta õhu tahmasisaldust veebruaris, mais, augustis-septembris ja novembris-detsembris (lisa 4). See andis võimaluse võrrelda Lihula mõõtmistulemusi teiste projektis osalenute andmetega.

Mõõtmiseks vajalikud seadmed anti Eesti Füüsika Seltsi ja Globe'i projekti raames.

6. SEADMED/TARVIKUD

Mõõtmiseks kasutatavad seadmed (lisad 5, 6, 7 ja 8).

Pump. Pideva ühtlase õhuvoolu imemiseks läbi filtri kasutati akvaariumipumpa, millel olid kummist diafragmad eelnevalt ringi pööratud. See pani alguses akvaariumis mullide puhumiseks mõeldud pumba õhku imema.

Rotameeter. Seade, mis mõõdab gaaside või vedelike voolukiirust (liitrit minutis) suletud torus. Antud komplekti puhul oli rotameeter vajalik filtrist läbi imetud õhuhulga määramiseks.

Filtrihooldja. Õue paigutatav seade, mis fikseerib spetsiaalse filtri, et imetav õhk seda kindlasti läbiks.

Fotoelektriline seade. Seade, mis muudab mõõdetavat filtrit läbiva valguse elektrivooluks. Põhimõtteliselt on tegemist „toruga“, mille ühes otsas on lamp ning teises fotodiod (päikesepatarei). Lambi ja fotodiodi vahele asetatakse filter nii, et lambi tekitatud valgus läbib filtrit ning fotodiodi otstele tekkiv pinge väljendab valgusintensiivsust. Saadud väärtus voltides näitab, kui tahmane (läbipaistmatu) filter parasjagu on.

Digitaalne multimeeter. Elektrooniline mõõtmisseade, millel on mitu mõõtmisfunktsiooni. Tavaline multimeeter omab võimalust mõõta voolutugevust, takistust ja pinget. Multimeeter oli vajalik fotodiodi otstele tekkinud pinge leidmiseks.

Filter. Puhas valge spetsiaalsest keemiliselt neutraalsest materjalist ketas, mis filtreerib läbi süsteemi imetavast õhust tahmaosakesed.

Etalonketas. Läbipaistmatu, mustast kummitaolisest materjalist ketas, millega tehakse kindlaks võimalikud kalibreerimisvead fotomeetrilisel mõõtmisel.

Pisitarvikud. Pintsetid, voolikud seadmete omavaheliseks ühendamiseks.

7. LIHULA MÕÕTMISED

Järgnevalt kirjeldatakse üht mõõteprotsessi alates puhtast filtrist kuni paberil kirja pandud andmeteni.

Iga filtri jaoks tuli täita Eesti Füüsika Seltsi poolt koostatud küllaltki pikk ja põhjalik protokoll, mis hõlmas nii ilmavaatlusi ja fotomeetrilist mõõtmist kui ka lõppkontsentratsioonide arvutamist (lisa 9, 10).

1. Esmalt tuli täita protokolli algusosa (koht, mõõtjad, kuupäev, koordinaadid).
2. Teiseks pidi tegema fotomeetrilise mõõtmise puhta filtriga, et teada filtri algnäitu (läbipaistvust puhtana). Et arvestada fotoanduri parameetrite võimalike muutumistega

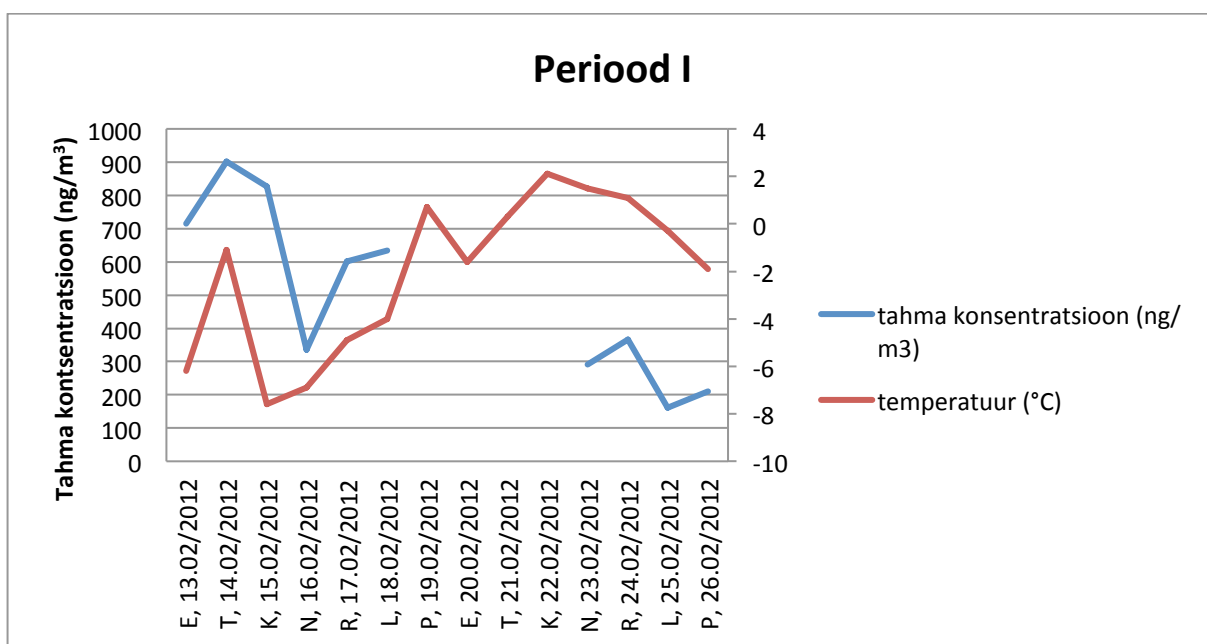
mõõtmistsükli kestel, pidi iga kord enne „õiget“ mõõtmist tegema kontrollmõõtmise pimevoolu (U_{p0}) etalonkettaga. See asetati fotoelektrilise seadme fotodiodi ja lambi vahele nii, et valgus ei pääseks fotodiodini (lisa 11). Saadud näit oli alati 0, mis näitas, et seadmed on kalibreeritud ning saadud näidud on usaldusväärsed. Pärast kontrollmõõtmist etalonkettaga tehti sama töösükkel, kuid sel korral juba mõõtmiseks vajaliku filtriga. Puhta filtri algnäidud (U_0) varieerusid 100 millivoldist (mV) kuni 130 millivoldini (lisa 12). Tulemused kanti protokollis.

3. Järgnevalt paigutati filter õues asuvasse filtrihoidjasse. Kuna õue on ööpäeva jooksul vaja minna vaid ühe korra, siis tehti samal hetkel ka ilmavaatlus [temperatuur (t_0), suhteline õhuniiskus (r_0), õhurõhk (P_0), tuule suund, sademed]. Pumba töölepaneku kellaeg ja rotameetri algnäit (Φ_0) fikseeriti ning kanti protokollis.
4. 24 tunni möödudes korrati kogu protsessi, ainuke erinevus oli see, et pärast puhta filtri fotomeetrist mõõtmist ning lõpphetke õhuvoolukiiruse (Φ_1) fikseerimist lülitati pump välja. Väljalülitamise kellaeg märgiti protokollis ning suunduti õue. Õues sooritati ilmavaatlus (temperatuur t_1 , suhteline õhuniiskus r_1 , õhurõhk P_1 , sademed) ja vahetati „must“ filter puhta vastu. Toas tuli pump vooluvõrku ühendada ja fikseerida rotameetri algnäit ning sisselülitamise kellaeg. Järgnevalt tehti fotomeetriselised mõõtmised tahmase filtriga (lisa 13).
5. Kahenädalase mõõtmistsükli lõpus täideti kõigi 14 protokollis viimased osad – arvutused. Selleks oli kaks võimalust, kas kasutada paberilehel valemisid või Füüsika Seltsi poolt välja antud Exceli faili, mis pärast andmete sisestamist vajalikud arvutused ise tegi (lisa 14).

8. LIHULA MÕÕTMISTULEMUSTE ANALÜÜS

Järgnevalt analüüsitakse iga perioodi tulemusi Lihulas ning tuuakse välja võimalikud tegurid, mis võisid muuta mõõtmistulemusi.

8.1. PERIOOD I



Joonis 1. Lihula 1. perioodi mõõtmistulemuste graafik

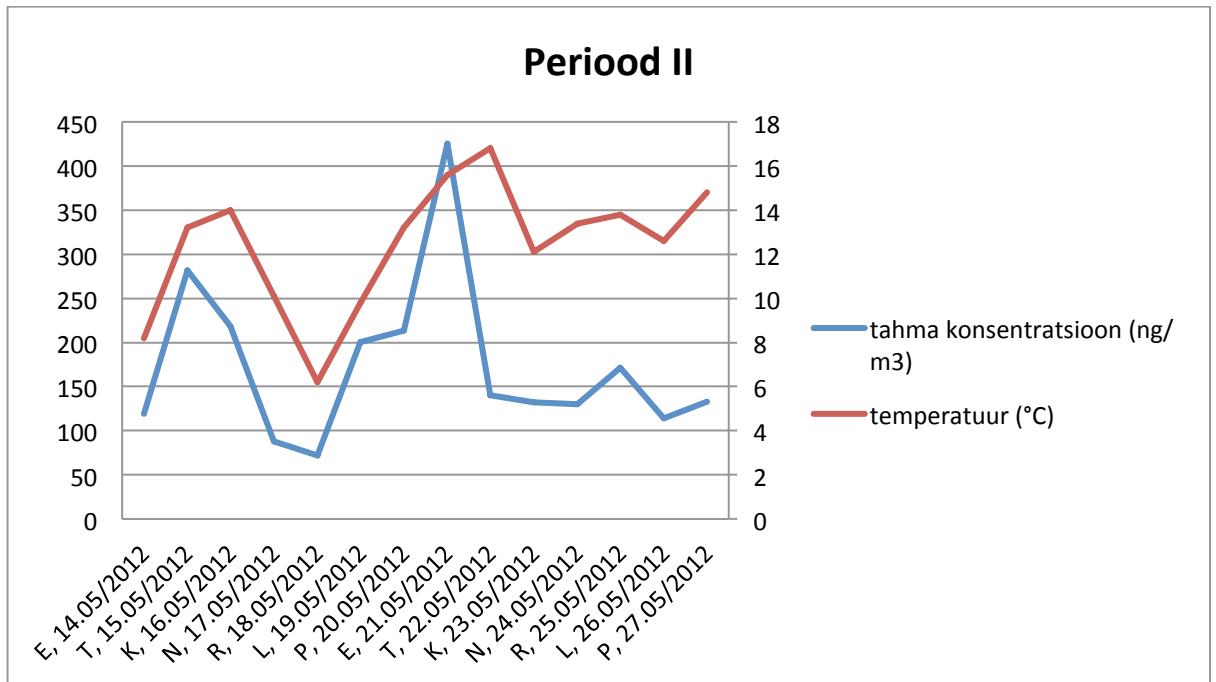
Esimene periood kestis 13. veebruarist 26. veebruarini. Sel ajal oli õhutemperatuur valdavalt allapoole nulli Celsiuse järgi (lisa 15). Mõõdetavas majapidamises köeti katel-tüüpi küttekollet nii hommikuti kui ka õhtuti vastavalt 2 ja 3 tundi ning ahi-tüüpi küttekollet korra päevas 2 tundi. Küttepuidena kasutati kasepuitu.

Kõige rohkem oli õhus tahma 14. veebruaril: 901,5 ng/m³. Eelneval ööl oli õhutemperatuur küllaltki madal (-6,9 °C), mistõttu köeti järgneval hommikul veidikene rohkem. Järgmisel päeval langes õhutemperatuur kuus kraadi, kuid vastupidiselt hüpoteesile langes ka tahma kontsentratsioon õhus peaaegu kolm korda (336,2 ng/m³). Sellise tulemuse võisid tingida kolmel päeval valdavalt kagusuunast puhuvad tuuled, mis kandsid tahmaosakesed korstnast loode poole ehk maja edelaküljel paiknevast filtrist eemale (lisa 16).

Kõige väiksem tahma kontsentratsioon esimesel perioodil oli 21. veebruaril: 90,9 ng/m³. Sel ajal oli õhtutemperatuur üle nulli ja tuul muutliku suunaga.

Kolmel päeval (19., 20. ja 22. veebruaril) tahma mõõtmiste kohta andmed puuduvad, kuna nendel päevadel olid filtrid juba filtrihoidikus purunenud ning mõõtmist ei saanud teha. Põhjus võis olla puudulikus sademetekaitstes, mis lasi veel filtrini jõuda ning filter ei pidanud pumba tekitatavale alarõhule vastu. Järgnevatel mõõtmisperioodidel täiustati vihmakaitset ning antud probleemi enam ei esinenud.

8.2. PERIOOD II

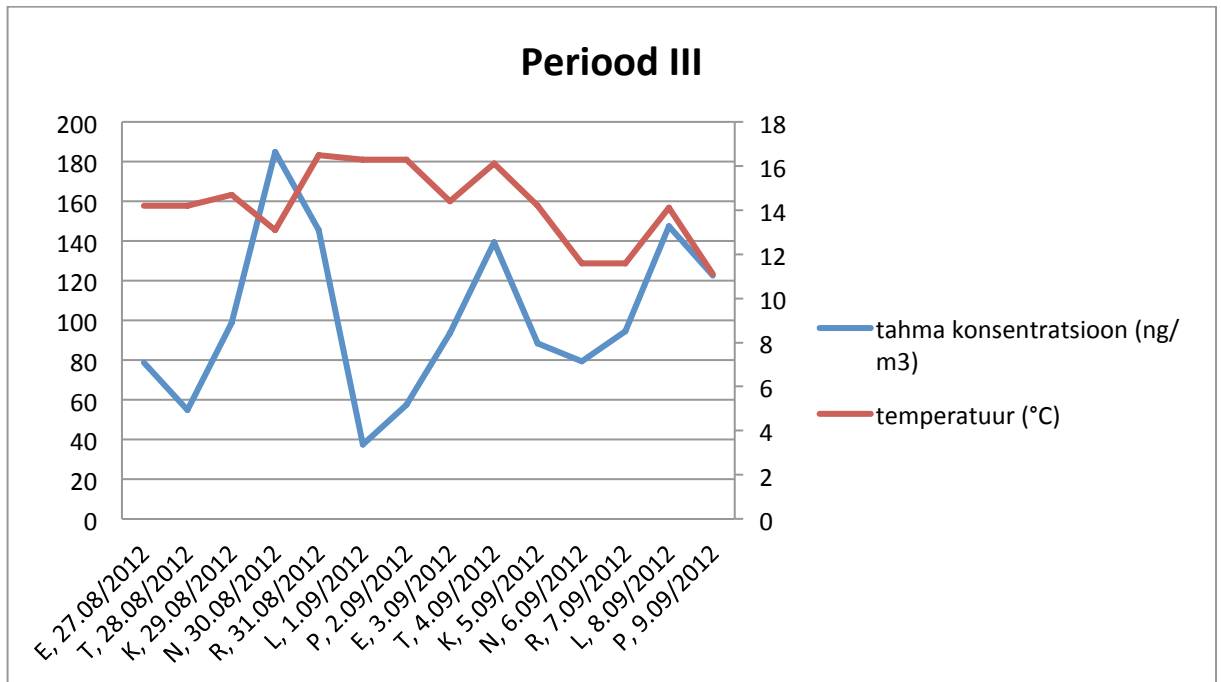


Joonis 2. Lihula 2. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Teine periood kestis 14. maist kuni 27. maini. Temperatuur jäi sel mõõtesessioonil 6,2 ja 16,8 °C vahemikku (lisa 17), mistõttu köeti õhtuti umbes üks tund katelt ning ülepäeviti ahju.

Kõige rohkem oli tahma õhus 21. mail: 425 ng/m³. Selle võis põhjustada eelnevate päevade madalam õhutemperatuur, mille tõttu köeti rohkem. Graafiku järsk langus (21.–22.05.2012) on võib-olla tingitud mõõtmisperioodi kõrgeimast õhutemperatuurist (16,8 °C). Järgnevatel päevadel püsis tahmasisaldus õhus 133 ng/m³ ja 171,5 ng/m³ piires, sest varem alanud soojalaine jätkus ning kütmisvajadus oli madal. Perioodi madalaim tahmasisaldus mõõdeti 18. mail: 71,8 ng/m³. Samal ajal mõõdeti ka mõõtmistsükli madalaim temperatuur (6,2 °C). See on vastuolus hüpoteesiga, kuid sellel ning järgneval päeval puhus läänetuul, mis kandis tahmaosakesed korstnast eemale. Öökülma enam ei esinenud ning see on nähtav ka tahmasisalduse langusest. Kõrgeimad tulemused võrreldes veebruari mõõtmistega olid langenud 901,5 ng/m³ vs 425 ng/m³. Keskmine õhutemperatuur tõusis 10,6 °C (–2 °C vs 12,6 °C). Seega on tahmakontsentratsiooni langus õhus ootuspärane.

8.3. PERIOOD III



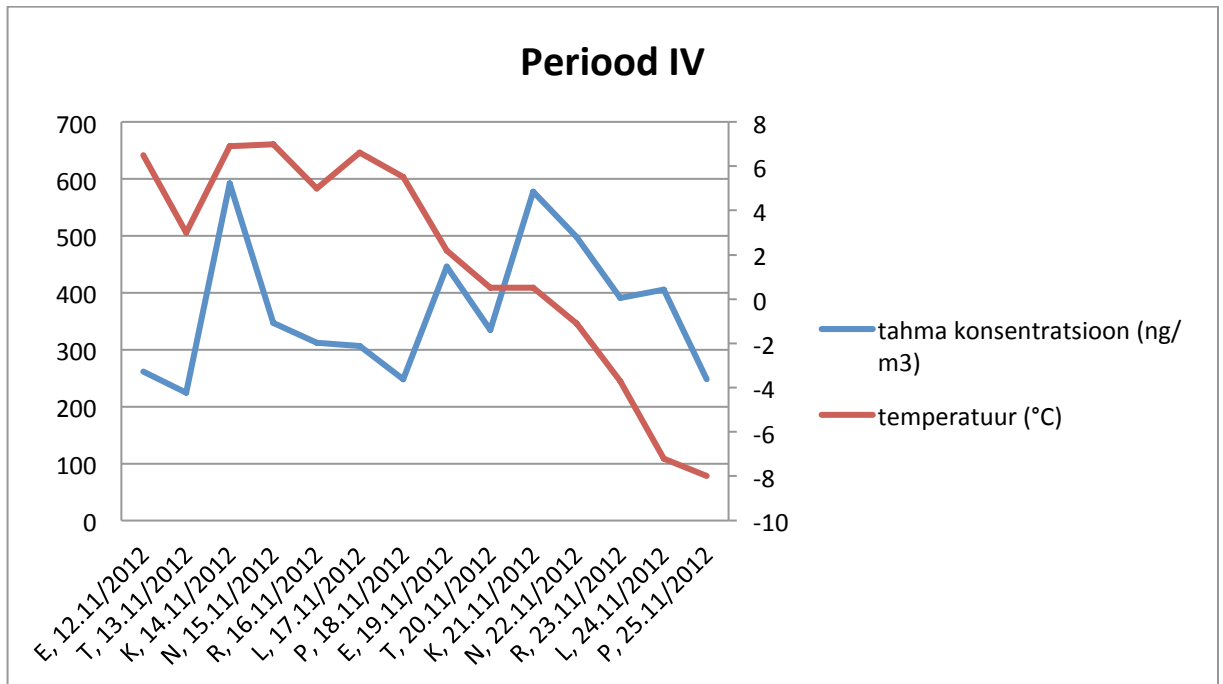
Joonis 3. Lihula 3. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Kolmas periood kestis 27. augustist 9. septembrini. Õhutemperatuur jäi mõõtmisperioodil 11,1 °C ja 16,5 °C vahemikku (mõõtmise moment kell 22) (lisa 18). Püsivalt sooja õhutemperatuuri tõttu kütmisvajadus puudus.

Kõige rohkem oli tahma õhus 30. augustil (184,9 ng/m³), sel päeval oli ka õhutemperatuur perioodi kõrgeim (16,5 °C). Madalaim tahmanäit õhus mõõdeti 1. septembril (37,5 ng/m³).

Sellele perioodile on iseloomulik tahmasisalduse tõus regulaarselt iga nelja päeva järel. Kuna tegemist oli sooja perioodiga, siis graafiku tahmanäidu maksimumid on tingitud muruniitmisest. Mõõdetavas majapidamises on kasutuses kaks bensiinimootoriga muruniitjat. Mõlemad on vanemad kui kümme aastat ning kolvirõngaste kulumisest tingituna tahmavad küllaltki palju.

8.4. PERIOOD IV



Joonis 4. Lihula 4. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Neljas periood kestis 12. novembrist 25. novembrini. Õhutemperatuur jäi mõõtmisperioodil 8 °C ja 7 °C vahemikku (lisa 19). Sel perioodil köeti nii ahju kui ka katelt õhtuti kaks tundi.

Kõige rohkem oli tahma õhus 14. novembril (592,6 ng/m³). Sel päeval tehti majast lõunapool lõket ning võib eeldada, et lõunatuuled kandsid lõkkest tulevad tahmaosakesed mõõtmispaigani. Alates 20. novembrist pöördus tuul lõunast kirde/idasuunda, mistõttu saadi 21. novembri mõõtmiste käigus ligikaudselt sama tulemus (577,2 ng/m³) mis 14. novembril.

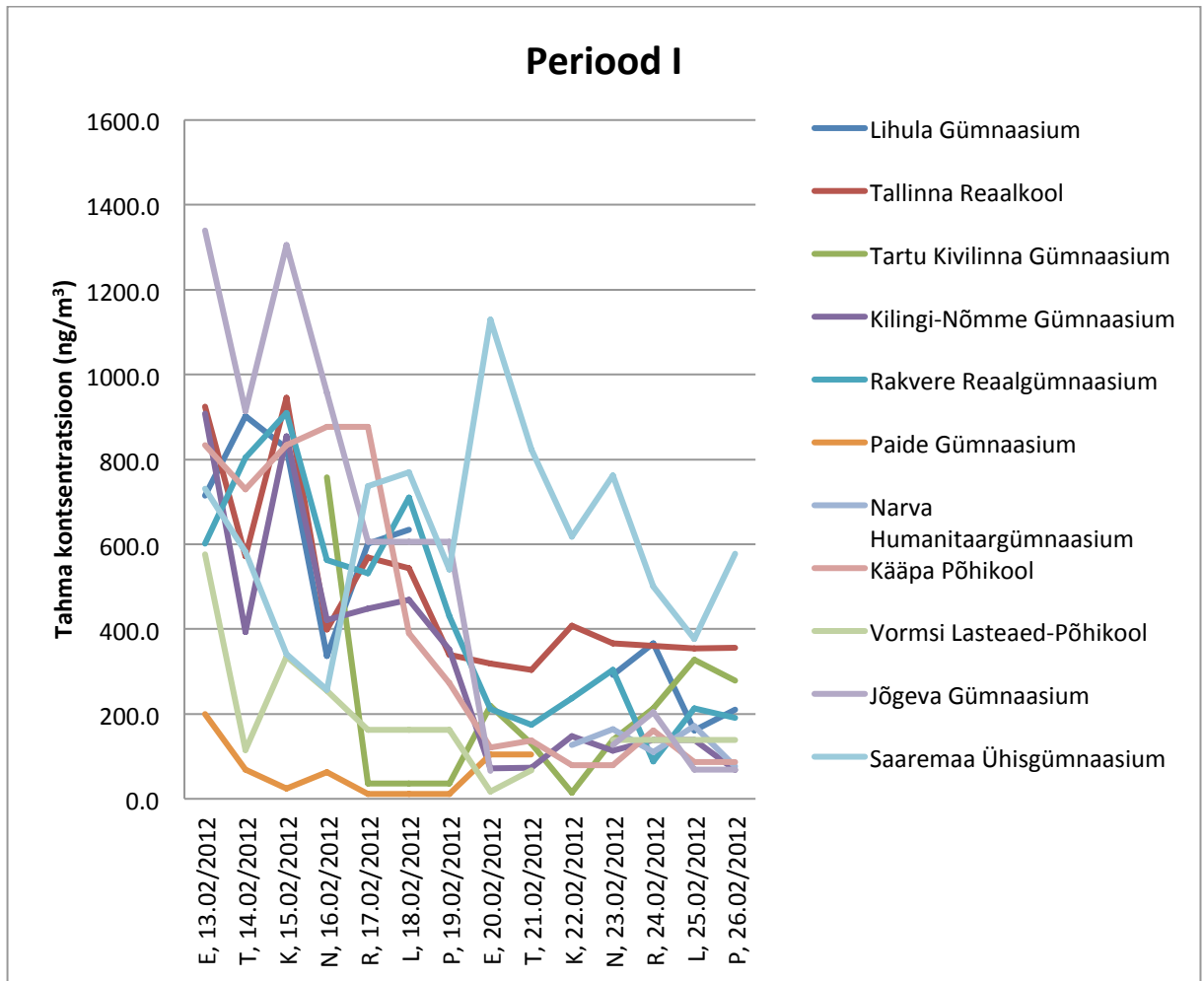
Madalaim tahmakontsentratsioon õhus mõõdeti 13. novembril (224,5 ng/m³). Sel ajal oli õhutemperatuur valdavalt termomeetri positiivsel poolel ning lõunast puhuvad tuuled kandsid tahmaosakesed korstnast põhja poole ehk filtrist eemale.

Alates 21. novembrist langesid nii tahma kontsentratsioon kui ka temperatuur märgatavalt. See on vastuolus hüpoteesidega ning seab kahtluse alla ilmaandmete täpsuse, sest sel ajal puhunud kirdetuuled oleksid pidanud tahmasisaldust õhus tõstma.

9. ÜLE-EESTILISTE ANDMETE ÜLEVAADE

Järgnevalt tuakse välja periooditi 11 erinevas Eesti paigas (lisa 20) kogutud andmete põhilised tulemused.

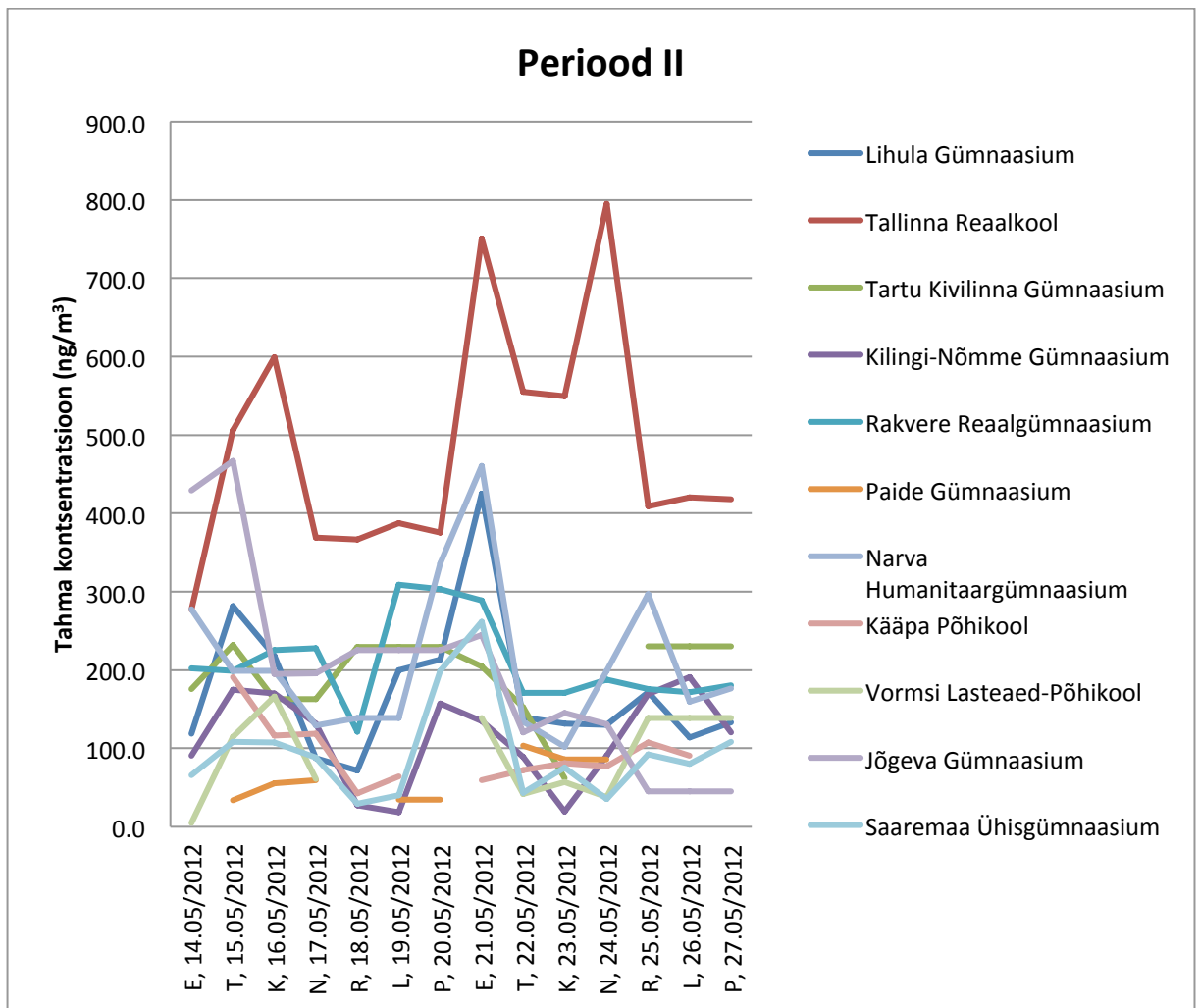
9.1. PERIOOD I



Joonis 5. Koolide 1. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Esimese mõõtmisperioodi graafikult võib välja lugeda järgmist: kõige madalam tahmakontsentratsioon õhus oli Paides 22. veebruaril ($11,4 \text{ ng/m}^3$). Tahmanäidud jäid vahemikku $11,4\text{--}200 \text{ ng/m}^3$. Teistel koolidel oli tahma kontsentratsioon õhus märksa kõrgem ($200\text{--}1340 \text{ ng/m}^3$). Kõige kõrgem tulemus saadi Jõgeval 13. veebruaril ($1339,8 \text{ ng/m}^3$). Alates 19. veebruarist erineb kõigist teistest Saaremaa Ühisgümnaasiumi graafiku kõver, mis vastupidiselt teistele tõuseb.

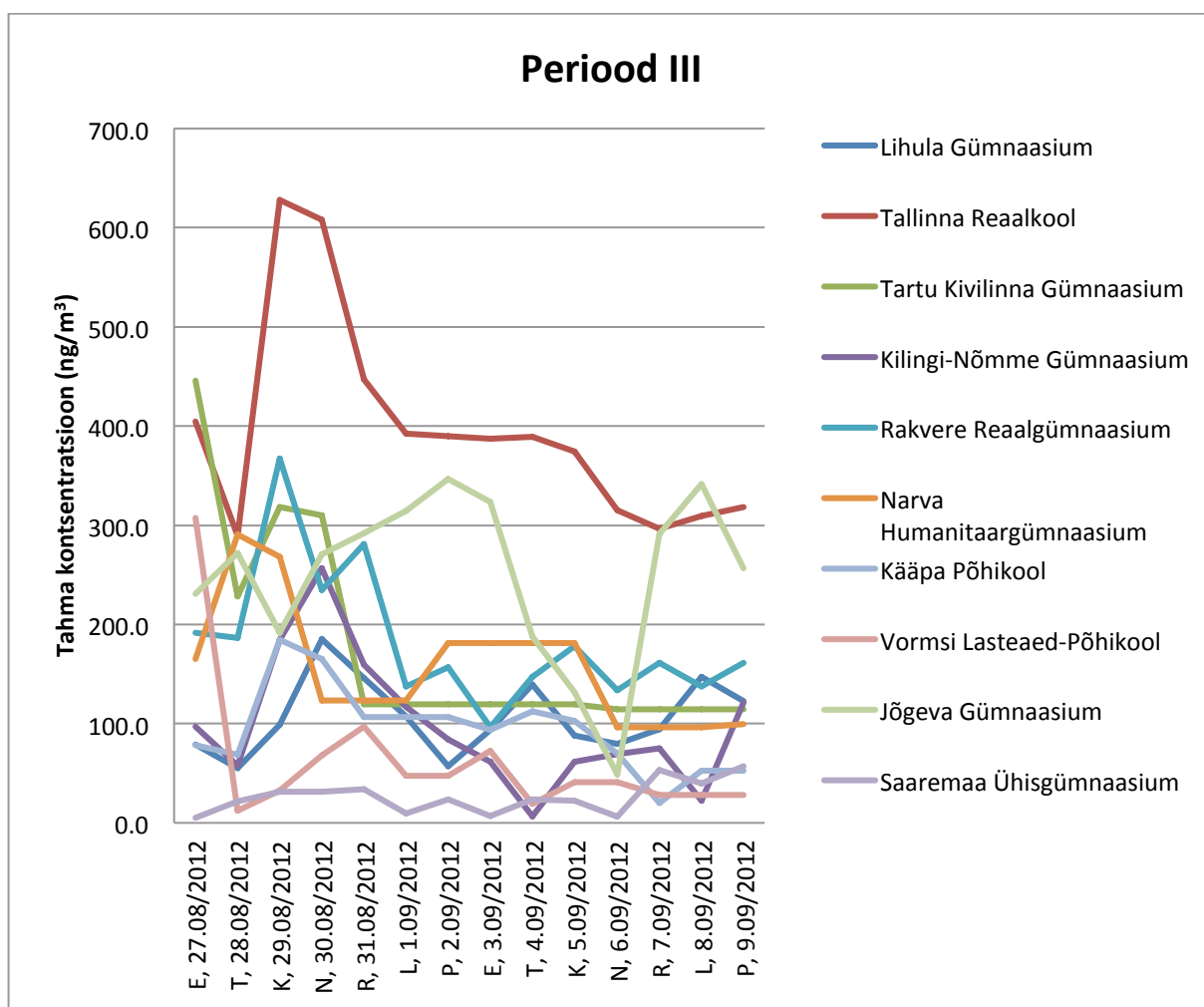
9.2. PERIOOD II



Joonis 6. Koolide 2. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Teise mõõtmisperioodi graafikult võib välja lugeda järgmist. Kõige madalam tahmakontsentratsioon õhus oli Paides 19. mail ($33,5 \text{ ng/m}^3$). Kõige kõrgem tulemus saadi 24. mail Tallinnas ($794,9 \text{ ng/m}^3$). Teise perioodi graafikult võib märgata kümne kooli tulemuste kõverate sarnasust, samas Tallinna Reaalkooli tahmakõver ei liigu teistega samas rütmis ning paikneb palju kõrgemal.

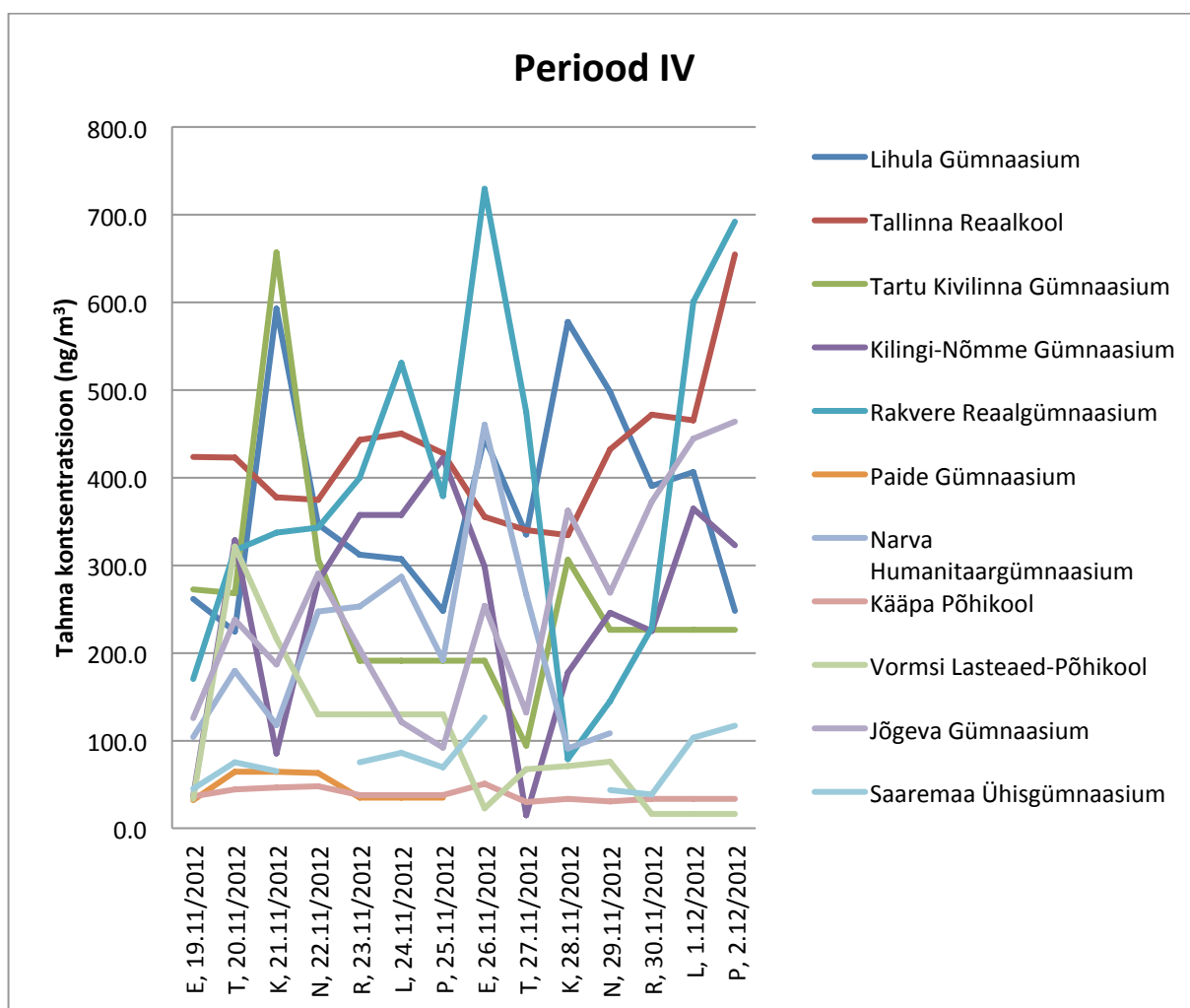
9.3. PERIOOD III



Joonis 7. Koolide 3. perioodi mõõtmistulemuste graafik

Kolmanda mõõtmisperioodi graafikult võib välja lugeda järgmist: kõige madalam tahmakontsentratsioon õhus oli Kuressaares 27. augustil ($5,1 \text{ ng/m}^3$). Kõige kõrgem tulemus saadi Tallinna Reaalkoolis 29. augustil ($627,6 \text{ ng/m}^3$). Kolmanda perioodi graafikul võib märgata peale Tallinna Reaalkooli teistest kõrgemal paikneva graafiku veel Jõgeva näitude maksimumide erinevat paiknemist, võrreldes ülejäänutega.

9.4. PERIOOD IV



Joonis 8. Koolide 4. perioodi mõõtmistulemuste graafik

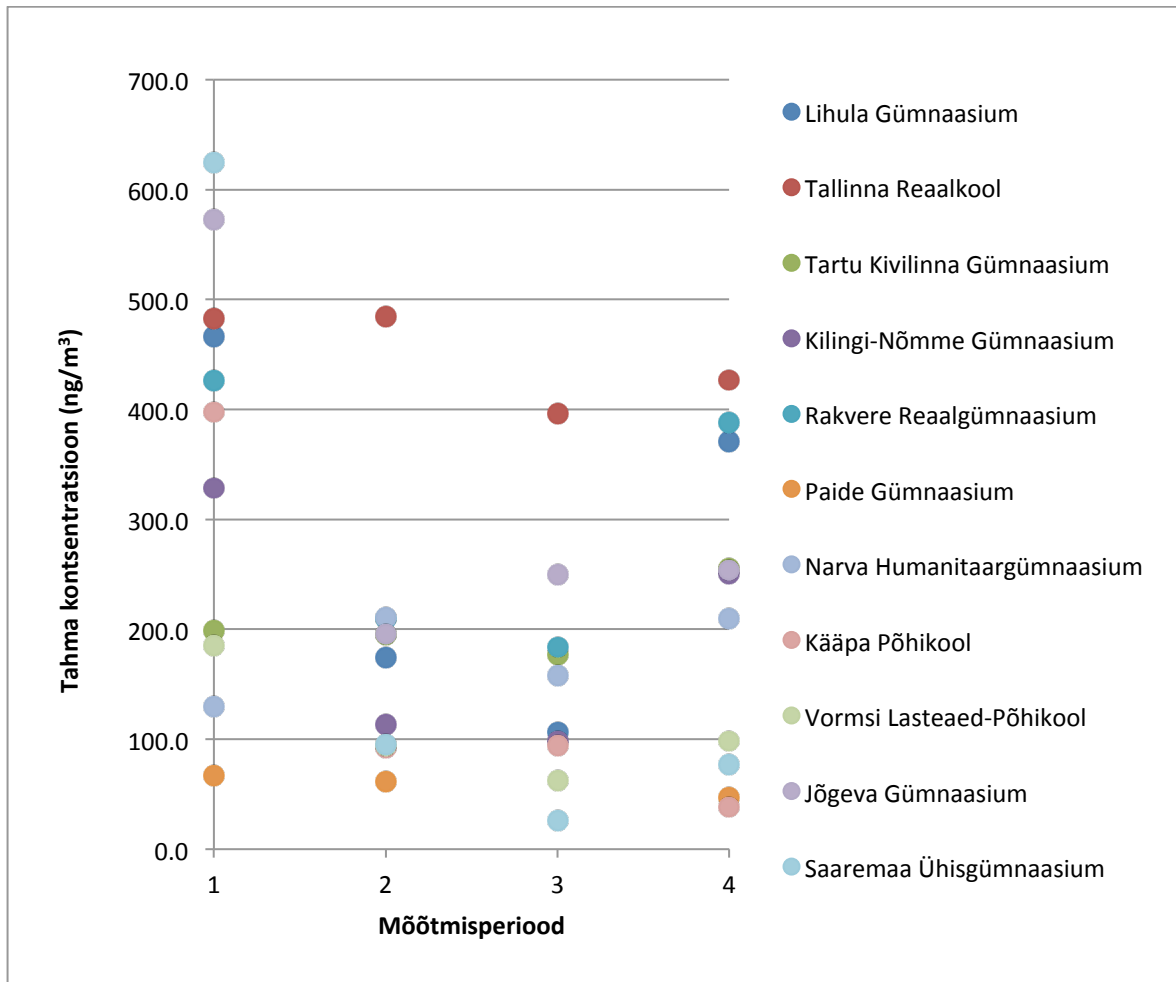
Neljanda mõõtmisperioodi graafikult võib välja lugeda järgmist: kõige madalam tahmakontsentratsioon õhus oli Vormsis 30. novembril ($16,3 \text{ ng/m}^3$). Kõige kõrgem tulemus saadi Rakveres 26. novembril ($692,3 \text{ ng/m}^3$). Neljanda perioodi graafikult jääb silma reaalkooli vähese amplituudiga graafik. Kääpa ning Paide graafikud on praktiliselt sirged.

Kõigi nelja mõõtmisperioodi kokkuvõttes olid kõige kõrgemad näidud Tallinna Reaalkoolil ning kõige madalamad Paides.

Graafikute võrdlemist raskendab asjaolu, et Saaremaa Ühisgümnaasiumi, Paide Gümnaasiumi ja Narva Humanitaargümnaasiumi andmed on puudulikud.

10. LIHULA TAHMASISALDUS ÕHUS VÕRRELDES TEISTE MÕÕTMISPAIKADEGA

Järgnevalt leitakse periooditi koolide mõõdetud keskmised tahmakontsentratsioonid ning määratakse Lihula paiknevus graafikul.



Joonis 9. Mõõtmisperiodide keskmine tahma kontsentratsioon õhus

Esimese mõõtmisperiodi keskmine tahmasisaldus Lihula õhus oli $466,8 \text{ ng/m}^3$, seevastu kõige kõrgem keskmine tahmasisaldus õhus oli Kuressaares $624,5 \text{ ng/m}^3$ ning kõige madalam Vormsil 185 ng/m^3 , mis paigutab Lihula teiste seas graafiku mõttelisest keskjoonest ülespoole.

Paide Gümnaasiumi mõõtmistulemused olid teiste koolide tulemustega võrdlemiseks puudulikud, mistõttu sealseid 1. perioodi tulemusi ei arvestatud.

Teise mõõtmisperiodi keskmine tahmasisaldus Lihula õhus oli $174,1 \text{ ng/m}^3$, seevastu kõige kõrgem keskmine tahmasisaldus õhus oli Tallinnas $484,3 \text{ ng/m}^3$ ning kõige madalam Paides $61,5 \text{ ng/m}^3$, mis paigutab Lihula teiste seas allapoole graafiku mõttelist keskjoont.

3. mõõtmisperioodi keskmine tahmasisaldus Lihula õhus oli 106 ng/m^3 , seevastu kõige kõrgem keskmine tahmasisaldus õhus oli Tallinnas 395 ng/m^3 ning kõige madalam Saaremaal 26 ng/m^3 , mis paigutab Lihula teiste seas allapoole graafiku mõttelist keskjoont.

4. mõõtmisperioodi keskmine tahmasisaldus Lihula õhus oli 370 ng/m^3 , seevastu kõige kõrgem keskmine tahmasisaldus õhus oli Tallinnas 426 ng/m^3 ning kõige madalam Kääpas 38 ng/m^3 . Lihula keskmine tahmasisaldus oli suuruselt kolmas pärast Tallinna ja Rakveret.

11. JÄRELDUSED

11.1. LIHULA

Esimene ja neljas mõõtmisperiood korraldati külmal aastaajal, mil elamute kütmine oli hädavajalik. Seetõttu olid ka õhu tahmasisalduse näitajad teisest ja kolmandast perioodist kõrgemad. Saadud tulemusi mõjutas märgatavalt tuul. Loodest, läänest, edelast, lõunast ja kagust puhuvad tuuled vähendasid tahmasisaldust saadud andmetes, kuid põhja-, kirde- ja idatuuled tõstsid. Sademed tulemusi ei mõjutanud.

Teine ja kolmas mõõtmisperiood toimus soojal aastaajal, mil kütmisest tekkiva tahma osatähtsus vähenes või puudus täielikult. Tahmasisaldus õhus langes võrreldes külmade perioodidega, sel ajal emiteerus tahm peamiselt muruniitmisest või mõõtmiskoha lähedal grillimisest.

11.2. LIHULA VÕRRELDES TEISTEGA

11 kooli mõõtmistulemuste võrdluse põhjal saab öelda, et soojadel perioodidel on vähem tahma õhus pigem väiksemates asulates, nagu Vormsi (Hullo), Kääpa, Paide, Kilingi-Nõmme ja Kuressaare.

Suuremates asulates, nagu Tallinnas ja Narvas, on tahmakontsentratsioon õhus suurem kui mujal. Teistest asulatest kõrgem on tahmasisaldus õhus ka Jõgeval.

Lihula tahmasisaldus õhus oli küll alla graafiku mõttelist keskjoont, kuid siiski suurem kui oluliselt suurema elanikkonnaga asulate tulemused. Põhjuste väljaselgitamiseks on kogutud andmed ebatäpsed ning kohati puudulikud või puuduvad üldse.

Külmadel perioodidel ei määra õhu tahmasisaldust mitte asula suurus, vaid kasutatav kütetüüp. Väiksemad asulad nagu Kuressaare, Kääpa, Lihula, Jõgeva ja Kilingi-Nõmme on pigem graafiku ülemises pooles ning kohati isegi kõrgemal kui suvise tabeli tipus olnud Tallinn ja Narva. Suurtes asulates on suurema tõenäosusega kasutusel keskküte, mille katlamajad paiknevad mõõtmispunktidest eemal ning omavad kõrget korstnat, mistõttu tahm

hajub enim maapinnale jõudmist. Väiksemates asulates on suurem hulk biokütusel köetavaid elamuid, mille korstnad on madalad ja küttekolded katlamajadest ebaefektiivsemad.

Lihula tahmasisaldus õhus külmadel perioodidel on ligilähedane Tallinnas mõõdetule. Arvestades Lihula suurust ning elanikkonda, on tahmakontsentratsioon õhus väga kõrge.

KOKKUVÕTE

Tahmasisalduse määramiseks kasutati isokineetilist proovivõtmise viisi, st tahmakogus õhus määrati filtri tumenemise järgi. Projekti raames kogutud andmeid kasutati Lihula õhu tahmasisalduse võrdlemiseks 11 erineva mõõtmiskohaga üle Eesti.

95–99% tahmast moodustab süsiniku allotroopne vorm, mis tekib süsivesinike mittetäielikul põlemisel või termilisel lagunemisel.

Puhas süsinik ei kujuta inimeste tervisele ohtu, küll aga põhjustavad tahmas leiduvad orgaanilised põlemisjääd hingamisteede- ja südamehaigusi, mitu neist on kuulutatud kantserogeenseteks. Aerosoolis sisalduv tahm mõjutab otseselt maakera kiirguslikku tasakaalu ja selle kaudu ka globaalset kliimat.

Kõige rohkem oli õhus tahma talvisel mõõtmisperioodil (veebruaris), mil õhutemperatuur oli väga madal ning ilm pilvitu. Külmadel perioodidel oli keskküttesüsteemidega varustatud asulates tahmasisaldus õhus madalam kui ahiküttega või väikese kohaliku madalakorstnalise katlamajaküttega väikeasulates. Madalaim näit mõõdeti suve lõpus (septembris) pärast kuiva ning palavat perioodi. Soojematel aastaegadel, kui kütmissvajadus on väiksem, oli tahma hulk õhus madalam maakohtades.

Töö käigus püstitatud hüpoteesid:

- 1) Lihula mõõtmispaiga õhk sisaldab vähem tahma kui sarnase suurusega või suuremate asulate uurimiskohad – ei leidnud kinnitust;
- 2) tahmasisaldus õhus on otseses seoses asula suurusega – leidis osaliselt kinnitust;
- 3) tahmasisaldus õhus sõltub kütmisest – leidis kinnitust.

Lihula õhu tahmasisaldus on murettekitavalt suur, arvestades Lihula suurust ning elanike arvu. Edasiseks uurimiseks tuleks suurendada mõõtmispunktide tihedust ning koguda enam andmeid mõõtmispaikade ning sealsete majade kütte ja elanikkonna kohta. Samuti tuleks teha ilmavaatlused mõõtmispaiga vahetus läheduses.

KASUTATUD KIRJANDUS

Gutro, R. (24. märts 2005. a). *NASA*. Kasutamise kuupäev: 4. september 2013. a

allikas: http://www.nasa.gov/vision/earth/environment/arctic_soot.html

Jürisaar. (1998). *Tartu Ülikooli Füüsika Instituut*. Kasutamise kuupäev: 12. november 2013. a

Kikas, Ü. (19. veebruar 2008. a). *Tartu Ülikool*. Kasutamise kuupäev: 14. aprill 2013. a

allikas: http://meteo.physic.ut.ee/kfi/index_files/huvilisele/aerosoolid/aerosooli_moju.html

Koppel, K. (2013). Tahm mängib kliimamuutustes arvatust suuremat rolli. *ERR*.

Laos, H. (12. aprill 2013. a). Tahm. (S. Stahlman, Intervjueerija)

Maa-amet. (24. aprill 2013. a). Kasutamise kuupäev: 12. oktoober 2013. a

allikas: <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGIS>

MRSEC Education Group. (5. november 2013. a). Kasutamise kuupäev: 15. november 2013.

a allikas: <http://education.mrsec.wisc.edu/143.htm>

Peil, I. (2013). *Saaremaa Ühisgümnaasium*. Kasutamise kuupäev: 20. november 2013. a

allikas: <http://syg.edu.ee/~peil/albedo/albedo.html>

Regio. (kuupäev puudub). *DELFI*. Kasutamise kuupäev: 12. oktoober 2013. a

allikas: <http://kaart.otsing.delfi.ee/>

Selts, E. F. (Veebruar 2012. a). *Globe*. Kasutamise kuupäev: 20. Aprill 2013. a.

allikas: http://www.globe.ee/doc/OK_tahm_protokoll.pdf

Selts, E. F. (1. Veebruar 2012. a). *GLOBE*.

Allikas: http://www.globe.ee/doc/OK_tahma_vahendid_ja_kasutamine.pdf

Selts, E. F. (2013). *Globe Eesti*. Kasutamise kuupäev: 12. Aprill 2013. a

allikas: http://www.globe.ee/ohusaaste/?page_id=556

Vikipeedia. (20. aprill 2013. a). Kasutamise kuupäev: 12. oktoober 2013. a

allikas: <http://et.wikipedia.org/wiki/Grafiit>

Vikipeedia. (25. august 2013. a). Kasutamise kuupäev: 12. oktoober 2013. a

allikas: <http://et.wikipedia.org/wiki/Aerosool>

Vikipeedia. (10. märts 2013. a). Kasutamise kuupäev: 8. august 2013. a

allikas: http://et.wikipedia.org/wiki/Absoluutselt_must_keha

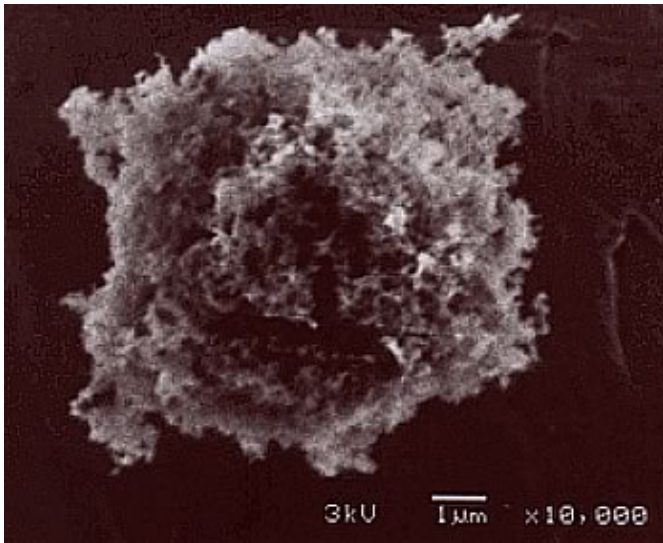
Vikipeedia. (14. märts 2013. a). Kasutamise kuupäev: 8. august 2013. a

allikas: <http://et.wikipedia.org/wiki/Kondensatsioonituum>

LISAD

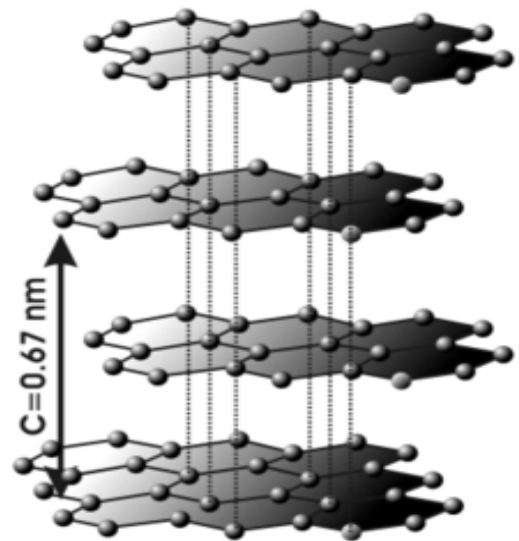
- Lisa 1. Suurendatud tahma osake
- Lisa 2. Grafiidi struktuur
- Lisa 3. Mõõtmiste teostamise skeem
- Lisa 4. Mõõtmiste ajagraafik
- Lisa 5. Mõõtmisseadmed (pump, rotameeter)
- Lisa 6. Mõõtmisseadmed (Filtrihoidja, fotoelektriline seade)
- Lisa 7. Mõõtmisseadmed/tarvikud (multimeeter, filter)
- Lisa 8. Mõõtmistarvikud (etalonketas)
- Lisa 9. Eesti Füüsika Seltsi poolt koostatud protokoll (1)
- Lisa 10. Eesti Füüsika Seltsi poolt koostatud protokoll (2)
- Lisa 11. Kontrollmõõtmine etalonkettaga
- Lisa 12. Fotomeetriline mõõtmine puhta filtriga
- Lisa 13. Fotomeetriline mõõtmine tahmase filtriga
- Lisa 14. Eesti Füüsika Seltsi poolt välja antud Exceli fail
- Lisa 15. Lihula I perioodi ilmavaatluste tabel
- Lisa 16. Lihula mõõtmispunkti asukoha skeem
- Lisa 17. Lihula II perioodi ilmavaatluste tabel
- Lisa 18. Lihula III perioodi ilmavaatluste tabel
- Lisa 19. Lihula IV perioodi ilmavaatluste tabel
- Lisa 20. Võrreldavate mõõtmispaikade kaart

Lisa 1. Suurendatud tahma osake



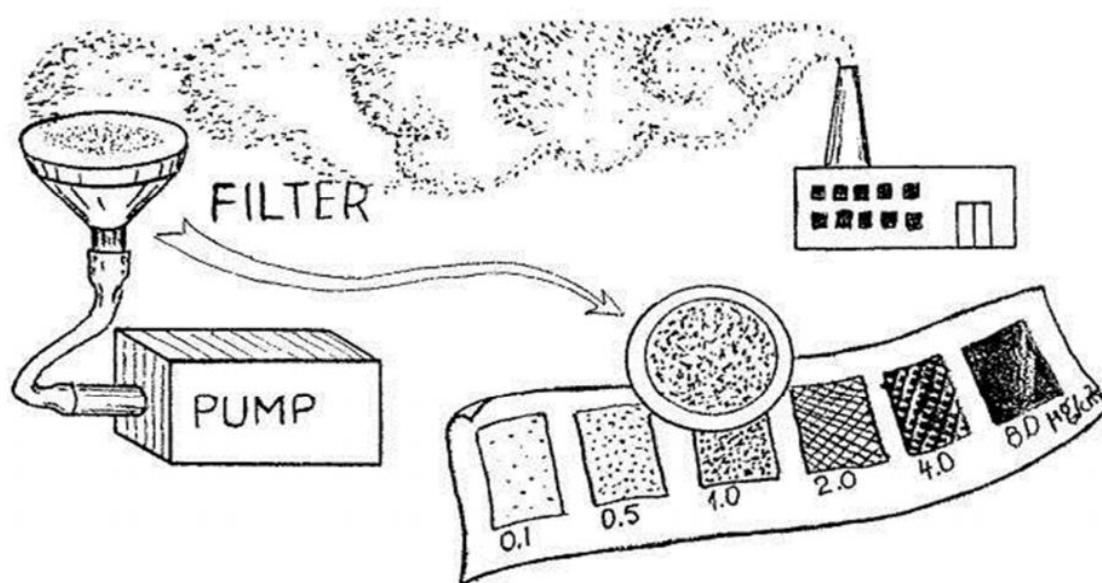
(Gutro, 2005)

Lisa 2. Grafiidi struktuur



(Vikipeedia, 2013)

Lisa 3. Mõõtmiste teostamise skeem



(Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Lisa 4. Mõõtmiste ajagraafik

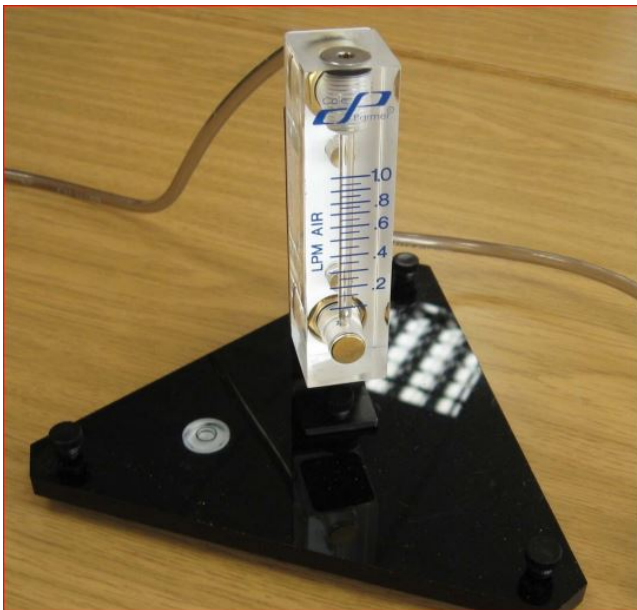
13.02–26.02.2012	I mõõtmisseeria
14.05–27.05.2012	II mõõtmisseeria
27.08–09.09.2012	III mõõtmisseeria
19.11–03.12.2012	IV mõõtmisseeria

(Selts, GLOBE Eesti, 2013)

Lisa 5. Mõõtmisseadmed (pump, rotameeter)



Pump filtrist õhu läbi imemiseks (Selts, GLOBE Eesti, 2012)

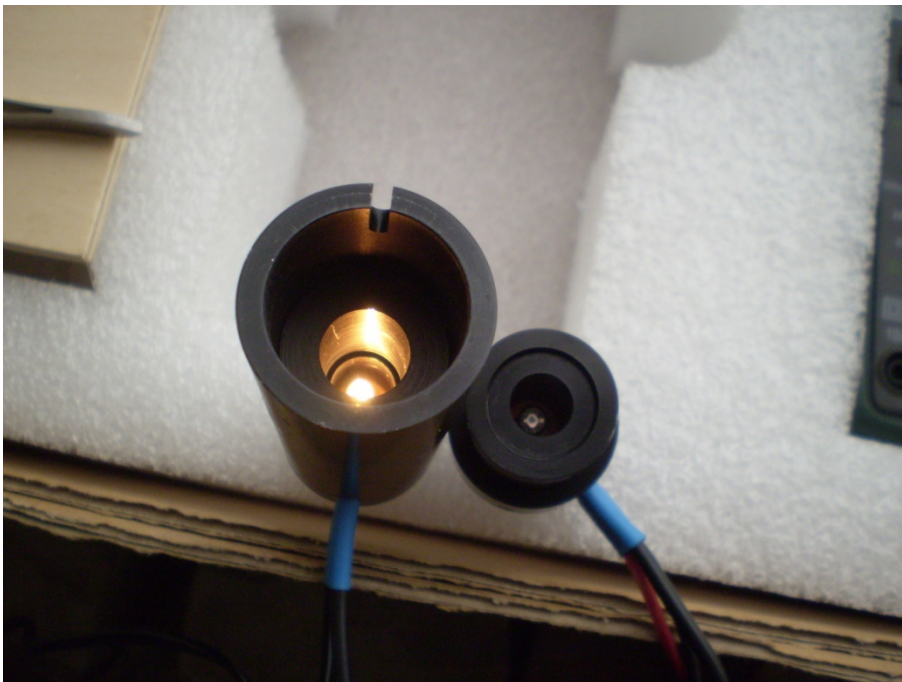


Rotameeter läbi imetava õhuhulga määramiseks (Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Lisa 6. Mõõtmisseadmed (filtrihoidja, fotoelektriline seade)



Õue paigutatav filtrihoidja (Autori foto) (Selts, GLOBE Eesti, 2012)



Fotoelektriline seade filtri läbipaistvuse mõõtmiseks (Autori foto)

Lisa 7. Mõõtmisseadmed/tarvikud (multimeeter, filter)

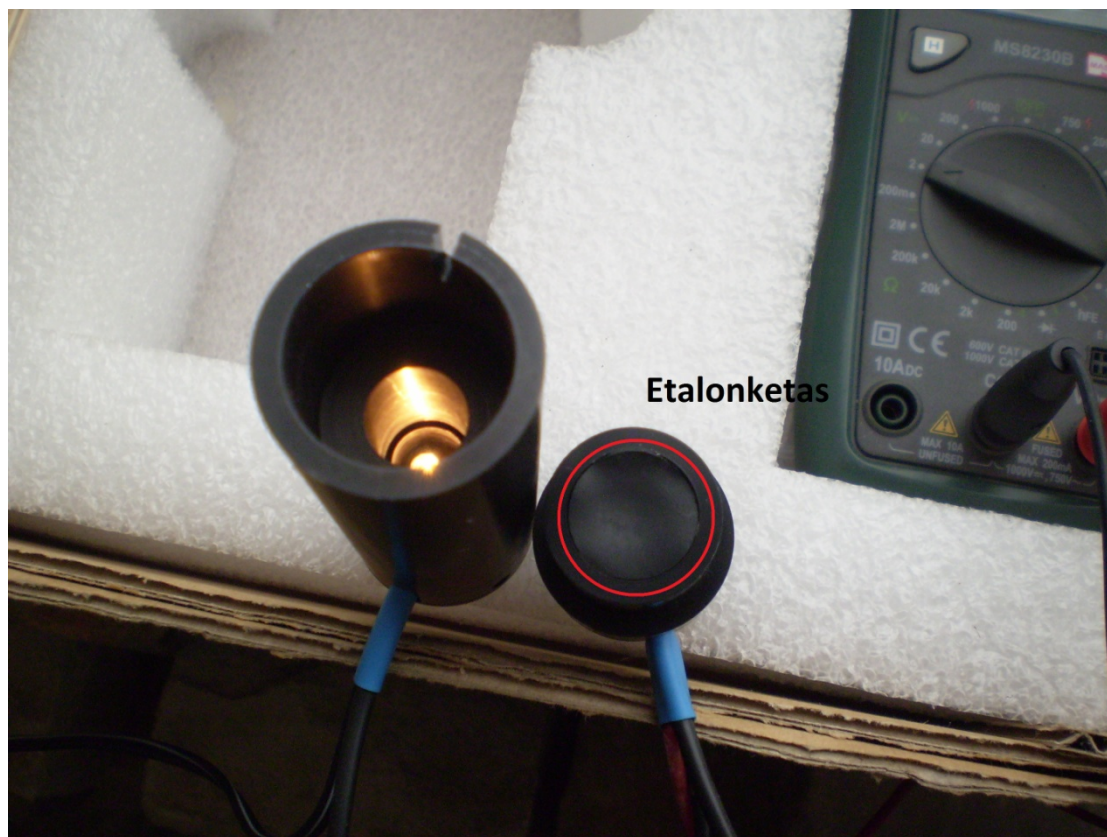


Digitaalne multimeeter pinge leidmiseks (Selts, GLOBE Eesti, 2012)



Keemiliselt neutraalsest materjalist filter (Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Lisa 8. Mõõtmistarvikud (etalonketas)



Etalonketas kalibratsioonivigade määramiseks (Autori foto)

Lisa 9. Eesti Füüsika Seltsi poolt koostatud protokoll (1)

GLOBE Eesti

Tahma (Black Carbon) määramise protokoll

Tahma (Black Carbon) määramise protokoll

A. Üldandmed (täiendus mõõtekoha kirjeldusele)

Kooli nimi:

Mõõtjate nimed:

Mõõtekoha nimi:

Mõõtekoha geograafilised koordinaadid: _____ N; _____ E; _____ m.

Tahmakomplekti number:

Tahmakomplekti kalibratsioonikonstant: $k = 22,5 \pm 0,7 \text{ ng/cm}^2$.

B. Puhta filtri fotomeetriline mõõtmine

Fotomeetri pimenäit $U_{\phi 0}$: _____ mV;

Fotomeetri näit puhta filtriga U_{ϕ} : _____ mV.

C. Ilmaandmed mõõtmise alguses

Temperatuur t_0 : _____ °C;

Suhteline õhuniiskuse t_0 : _____ %;

Õhurõhk P_0 : _____ hPa;

Tuule suund (ringita sobiv): N, NE, E, SE, S, SW, W, NW;

Sademekoguja näit: _____ mm;

Kas sajab? (ringita sobiv): jah/ei;

Sademete liik (ringita sobiv): vihm/rahe/lumi/lõrs.

D. Tahma kogumise algthetk

Pumba sisselülitamise aeg (DD:MM:HH:MM:YY):

Nr: 13. veebruar 2012 kell 09:46 on 1302094612.

Õhuvoolu kiirus algthetkel ϕ_0 : _____ l/min.

E. Tahma kogumise lõppthetk

Õhuvoolu kiirus lõppthetkel ϕ_1 : _____ l/min;

Pumba väljalülitamise aeg (DD:MM:HH:MM:YY):

Nr: 14. veebruar 2012 kell 08:26 on 1402082612.

F. Ilmaandmed mõõtmise lõpus

Temperatuur t_1 : _____ °C;

Suhteline õhuniiskuse t_1 : _____ %;

Õhurõhk P_1 : _____ hPa;

Tuule suund (ringita sobiv): N, NE, E, SE, S, SW, W, NW;

Sademekoguja näit: _____ mm;

Kas sajab? (ringita sobiv): jah/ei;

Sademete liik (ringita sobiv): vihm/rahe/lumi/lõrs.

G. Tahmaga laetud filtri fotomeetriline mõõtmine

Fotomeetri pimenäit $U_{\phi 1}$: _____ mV;

Fotomeetri näit tahmaga laetud filtriga U_{ϕ} : _____ mV.

Märkused:

(Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Lisa 10. Eesti Füüsika Seltsi poolt koostatud protokoll (2)

GLOBE Eesti

Tahma (Black Carbon) määramise protokoll

H. Arvutused ning lõpptulemus

Kasutage tulemuste kontrollimise/ arvutamise/abi. Olge tähelepanelikud ühikutega!

Tahma kogumise aeg: $\Delta t = t_1 - t_0 =$ min.

Õhukulu (õhuvoolu kiiruse) keskmine väärtus:

$$\phi_{\text{kesk}} = \frac{\phi_0 + \phi_1}{2} = \text{ l/min.}$$

Kui õhukulu vähenes üle 20% esialgselt, kasutage valemit:

$$\phi_{\text{kesk}} = \frac{\phi_0 - \phi_1}{1.5 \frac{\phi_0}{\phi_1}} = \text{ l/min.}$$

Valguse neeldumiskoeffitsient: $\alpha = 100 \ln \frac{I_0}{I_1} =$

Kui U_{p0} või U_{p1} erineb nullist, kasutage valemit: $\alpha = 100 \ln \frac{U_0 - U_{p0}}{U_1 - U_{p1}} =$

Tahma pindihedus filtril: $\sigma = k \cdot \alpha =$ ng/cm².

Filtrist läbiimetatud õhu ruumala: $V = \phi_{\text{kesk}} \cdot \Delta t =$ dm³ = m³.

Tahma massikontsentratsioon õhus: $n_m = \frac{\sigma \cdot S}{V} =$ ng/m³.

(Selts, GLOBE Eesti, 2012)

Lisa 11. Kontrollmõõtmine etalonkettaga



(Autori foto)



(Autori foto)

Lisa 12. Fotomeetriline mõõtmine puhta filtriga

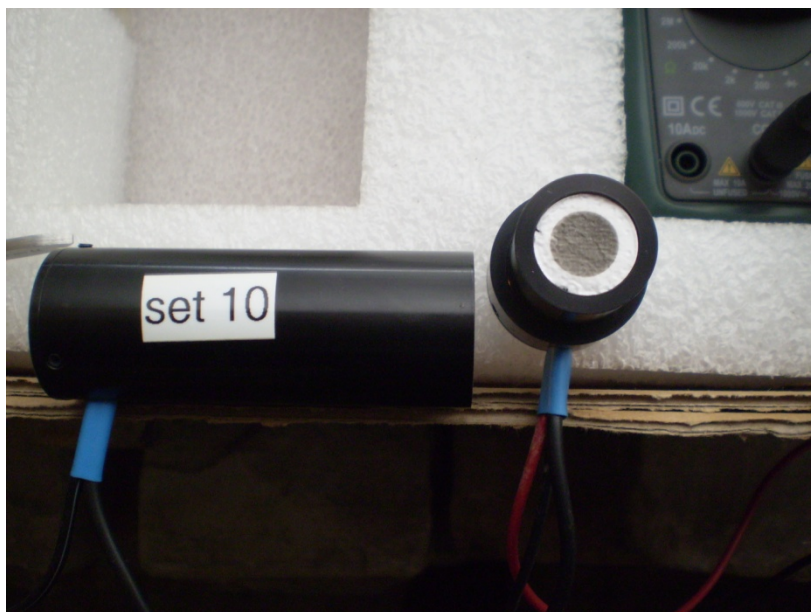


(Autori foto)



(Autori foto)

Lisa 13. Fotomeetriline mõõtmine tahmase filtriga

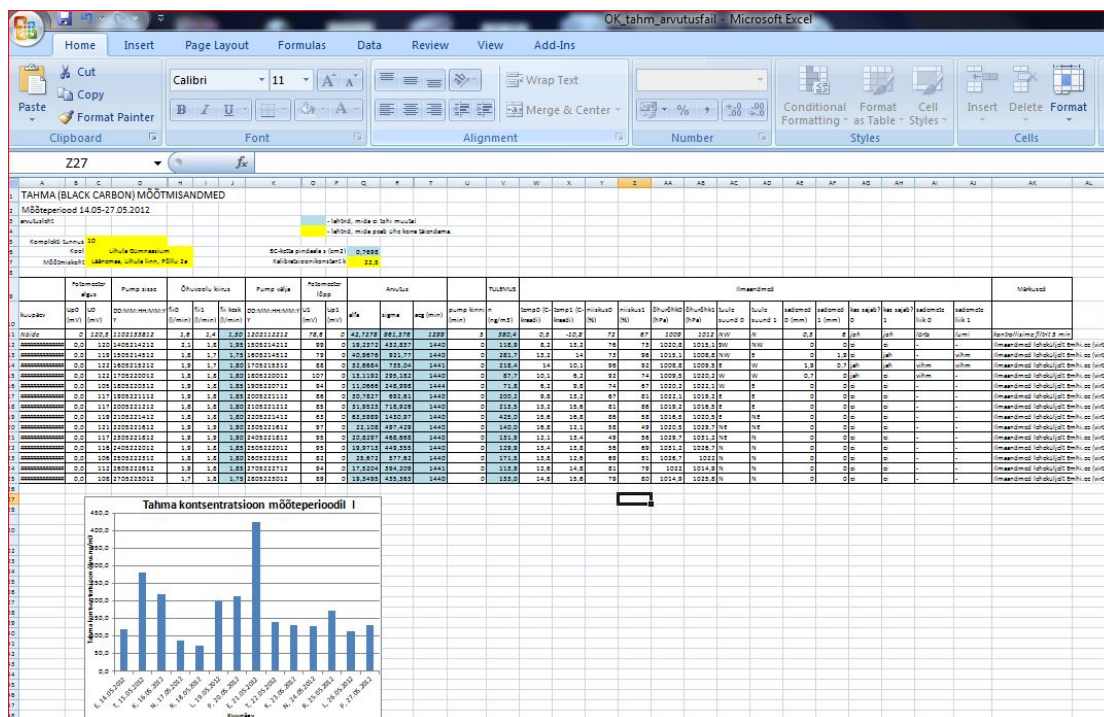


(Autori foto)



(Autori foto)

Lisa 14. Eesti Füüsika Seltsi poolt välja antud Exceli fail



(screenshot Eesti Füüsika Seltsi poolt välja antud Exceli failist)

Lisa 15. Lihula I perioodi ilmavaatluste tabel

kuupäev	Tahm (ng/m ³)	temp0 (C-kraadi)	temp1 (C-kraadi)	niiskus0 (%)	niiskus1 (%)	õhurõhk0 (hPa)	õhurõhk1 (hPa)	tuule suund 0	tuule suund 1	sademed0 (mm)	sademed1 (mm)	kas sajab? 0	kas sajab? 1	sademete liik 0	sademete liik 1
E, 13.02.2012	714,5	-6,2	-1,1	96	99	1014,4	996,8	NW	NE	0	1,1	ei	jah		lumi
T, 14.02.2012	901,5	-1,1	-7,6	99	86	996,8	1003,1	NE	NE	1,1	0	jah	ei	lumi	
K, 15.02.2012	825,8	-7,6	-6,9	86	77	1003,1	1014,4	NE	S	0	0	ei	ei		
N, 16.02.2012	336,2	-6,9	-4,9	77	94	1014,4	1010	S	SE	0	0,3	ei	jah		lumi
R, 17.02.2012	601,5	-4,9	-4	94	91	1010	1011,5	SE	SE	0,3	0	jah	ei	lumi	
L, 18.02.2012	634,1	-4	0,7	91	99	1011,5	1003,6	SE	S	0	0,1	ei	ei		
P, 19.02.2012	#DIV/0!	0,7	-1,6	99	90	1003,6	1016,7	S	SW	0,1	0	ei	ei		
E, 20.02.2012	#DIV/0!	-1,6	0,3	90	81	1016,7	1008,8	SW	NW	0	0	ei	ei		
T, 21.02.2012	90,9	0,3	2,1	81	100	1008,8	1000,4	NW	SW	0	0,4	ei	jah		vihm
K, 22.02.2012	#DIV/0!	2,1	1,5	10	99	1000,4	995,4	SW	NW	0,4	0	jah	ei	vihm	
N, 23.02.2012	291,4	1,5	1,1	99	100	995,4	989,8	NW	SE	0	0	ei	ei		
R, 24.02.2012	366,8	1,1	-0,3	10	96	989,8	996,5	SE	N	0	0	ei	ei		
L, 25.02.2012	161,2	-0,3	-1,9	96	83	996,5	1012,8	N	N	0	0	ei	ei		
P, 26.02.2012	210,2	-1,9	-4,8	83	91	1012,8	1018	N	S	0	0	ei	ei		

Lisa 16. Lihula mõõtmispunkti asukoha skeem



(Maa-amet, 2013)

Lisa 17. Lihula II perioodi ilmavaatluste tabel

kuupäev	n (ng/m ³)	temp0 (C-kraadi)	temp1 (C-kraadi)	niiskus0 (%)	niiskus1 (%)	õhurõhk0 (hPa)	õhurõhk1 (hPa)	tuule suund 0	tuule suund 1	sademed0 (mm)	sademed1 (mm)	kas sajab? 0	kas sajab? 1	sademete liik 0	sademete liik 1
E, 14.05.2012	118,9	8,2	13,2	76	73	1020,8	1015,1	SW	NW	0	0	ei	ei	-	-
T, 15.05.2012	281,7	13,2	14	73	96	1015,1	1008,8	NW	E	0	1,9	ei	jah	-	vihm
K, 16.05.2012	218,4	14	10,1	96	92	1008,8	1009,5	E	W	1,9	0,7	jah	jah	vihm	vihm
N, 17.05.2012	87,7	10,1	6,2	92	74	1009,5	1020,2	W	W	0,7	0	jah	ei	vihm	-
R, 18.05.2012	71,8	6,2	9,8	74	67	1020,2	1022,1	W	E	0	0	ei	ei	-	-
L, 19.05.2012	200,2	9,8	13,2	67	81	1022,1	1019,2	E	E	0	0	ei	ei	-	-
P, 20.05.2012	213,5	13,2	15,6	81	86	1019,2	1016,5	E	E	0	0	ei	ei	-	-
E, 21.05.2012	425,0	15,6	16,8	86	58	1016,5	1020,5	E	NE	0	0	ei	ei	-	-
T, 22.05.2012	140,0	16,8	12,1	58	49	1020,5	1029,7	NE	NE	0	0	ei	ei	-	-
K, 23.05.2012	131,9	12,1	13,4	49	56	1029,7	1031,2	NE	N	0	0	ei	ei	-	-
N, 24.05.2012	129,9	13,4	13,8	56	69	1031,2	1026,7	N	N	0	0	ei	ei	-	-
R, 25.05.2012	171,5	13,8	12,6	69	81	1026,7	1022	N	N	0	0	ei	ei	-	-
L, 26.05.2012	113,9	12,6	14,8	81	79	1022	1014,9	N	N	0	0	ei	ei	-	-
P, 27.05.2012	133,0	14,8	15,6	79	80	1014,9	1025,8	N	N	0	0	ei	ei	-	-

Lisa 18. Lihula III perioodi ilmavaatluste tabel

kuupäev	n (ng/m ³)	temp0 (C-kraadi)	temp1 (C-kraadi)	niiskus0 (%)	niiskus1 (%)	õhurõhk0 (hPa)	õhurõhk1 (hPa)	tuule suund 0	tuule suund 1	sademed0 (mm)	sademed1 (mm)	kas sajab? 0	kas sajab? 1	sademete liik 0	sademete liik 1
E, 27.08.2012	78,8	14,2	14,2	83	67	1010,1	1018,8	W	W	0	0	ei	ei	-	-
T, 28.08.2012	54,9	14,2	14,7	67	91	1018,8	1021,6	W	S	0	0	ei	ei	-	-
K, 29.08.2012	98,9	14,7	13,1	91	96	1021,6	1022	S	S	0	0	ei	ei	-	-
N, 30.08.2012	184,9	13,1	16,5	96	74	1022	1019,9	S	E	0	0	ei	ei	-	-
R, 31.08.2012	145,6	16,5	16,3	74	94	1019,9	1016,6	E	S	0	0	ei	ei	-	-
L, 1.09.2012	37,5	16,3	16,3	94	87	1016,6	1017,7	S	SW	0	0	ei	ei	-	-
P, 2.09.2012	57,4	16,3	14,4	87	94	1017,7	1014,6	SW	SW	0	0	ei	ei	-	-
E, 3.09.2012	93,5	14,4	16,1	94	92	1014,6	1008,5	SW	S	0	0	ei	ei	-	-
T, 4.09.2012	139,4	16,1	14,2	92	82	1008,5	1007,2	S	W	0	0	ei	ei	-	-
K, 5.09.2012	88,3	14,2	11,6	82	66	1007,2	1010,3	W	SW	0	0	ei	ei	-	-
N, 6.09.2012	79,4	11,6	11,6	66	84	1010,3	1005,4	SW	W	0	0	ei	ei	-	-
R, 7.09.2012	94,6	11,6	14,1	84	68	1005,4	1003,1	W	NW	0	0	ei	ei	-	-
L, 8.09.2012	147,3	14,1	11,1	68	83	1003,1	1018,2	NW	W	0	0	ei	ei	-	-
P, 9.09.2012	122,7	11,1	15,8	83	85	1018,2	1014,3	W	S	0	0	ei	ei	-	-

Lisa 19. Lihula IV perioodi ilmavaatluste tabel

kuupäev	n (ng/m ³)	temp0 (C-kraadi)	temp1 (C-kraadi)	niiskus0 (%)	niiskus1 (%)	õhurõhk0 (hPa)	õhurõhk1 (hPa)	tuule suund 0	tuule suund 1	sademed0 (mm)	sademed1 (mm)	kas sajab? 0	kas sajab? 1	sademete liik 0	sademete liik 1
E, 12.11.2012	261,5	6,5	3	93	93	1010	1021,4	S	S	0	0	ei	ei	-	-
T, 13.11.2012	224,5	3	6,9	93	91	1021,4	1023,8	S	S	0	0	ei	ei	-	-
K, 14.11.2012	592,6	6,9	7	91	84	1023,8	1027,1	S	S	0	0	ei	ei	-	-
N, 15.11.2012	346,6	7	5	84	84	1027,1	1021	S	S	0	0	ei	ei	-	-
R, 16.11.2012	311,9	5	6,6	84	97	1021	1022,7	S	S	0	0	ei	ei	-	-
L, 17.11.2012	306,6	6,6	5,5	97	97	1022,7	1019,1	S	SE	0	0,4	ei	jah	-	vihm
P, 18.11.2012	247,9	5,5	2,2	97	97	1019,1	1015,1	SE	S	0,4	0	jah	ei	vihm	-
E, 19.11.2012	445,7	2,2	0,5	97	97	1015,1	1013,7	S	E	0	0	ei	ei	-	-
T, 20.11.2012	334,8	0,5	0,5	97	98	1013,7	1010,7	E	E	0	0,2	ei	jah	-	vihm
K, 21.11.2012	577,2	0,5	-1,1	98	97	1010,7	1006,5	E	E	0,2	0,9	jah	jah	vihm	vihm
N, 22.11.2012	497,7	-1,1	-3,7	97	86	1006,5	999,7	E	E	0,9	0	jah	ei	vihm	-
R, 23.11.2012	390,4	-3,7	-7,2	86	86	999,7	1000,2	E	E	0	0	ei	ei	-	-
L, 24.11.2012	406,0	-7,2	-8	86	95	1000,2	1005,8	E	E	0	0	ei	ei	-	-
P, 25.11.2012	248,0	-8	-5,5	95	91	1005,8	1011,6	E	E	0	0	ei	ei	-	-

Lisa 20. Võrreldavate mõõtmispaikade kaart



(Regio)