

TARTU ÜLIKOOL
Füüsika-keemiateaduskond
Keskkonnanfüüsika instituut

Rainer Paat

AEROSOLIOSAKESTE SUURUSJAOTUSE KIIRE MÕÕTMINE

Magistritöö
keskkonnanfüüsika erialal

Juhendaja: vanemteadur, Ph.D. Aadu Mirme

Tartu 2006

SISUKORD

1 SISSEJUHATUS.....	3
2 ELEKTRILINE AEROSOOLISPEKTROMEETER EAS.....	5
2.1 Osakeste liikuvuse analüsaator.....	6
2.2 Osakeste elektrivoolude kogumine.....	7
2.3 EAS andmehõivesüsteem.....	9
2.4 EAS signaali mõõtmine ja juhtimine.....	10
2.5 Mõõdetud signaalide filtreerimine ja töötlemine.....	11
3 SPEKTROMEETRI SÜSTEEMI UUENDAMINE.....	13
3.1 Analoog-digitaalmuundite võrdlus.....	14
3.2 Kontroller FSDAS.....	16
4 AEROSOOLISPEKTRI KIIRED MÕÕTMISED JA TULEMUSED.....	19
4.1 Parasiitvoolude standardhälbed.....	19
4.2 Vooluimpulsid.....	21
4.3 Aerosoolispektri signaal-müra suhe.....	25
4.4 Signaal-müra suhte parendamine.....	26
5 KOKKUVÕTE.....	29
6 SUMMARY.....	30
7 KASUTATUD KIRJANDUS.....	31
8 LISAD.....	33
8.1 EAS'ga aerosoolispektrite mõõtmise plokk-skeemid.....	33
8.2 FSDAS kontrolleri skeemid.....	35
8.3 Analoogmultiplekserite plokk.....	41
8.4 Väljundregistrite plokk.....	42

1 SISSEJUHATUS

Definitsiooni järgi on aerosool kahefaasiline dispersne süsteem, mis koosneb gaasilisest keskkonnast selles hõljuvate tahkete ja/või vedelate osakestega [1]. Antud töös piirdume osakeste faasiga ja aerosooli all peame silmas tahkeid või vedelaid osakesi, mis hõljuvad/liiguvad gaasikeskkonnas. Definitsioonist lähtuvalt on meid ümbritsev õhk ja kogu Maa atmosfäär aerosool, sest sisaldab alati mingil hulgal osakesi. Atmosfääriaerosool on inimesele olulisim aerosooli liik. Atmosfääriaerosool mõjutab otseselt meie kliimat, ühelt poolt neelates ja peegeldades päikesevalgust ning sellega päikesekiirguse bilanssi, teiselt poolt on aerosooliosakesed otseselt pilved ja pilvede tekitajad.

Atmosfääriaerosooliosakesed võivad olla looduslikku päritolu või inimtekkelised. Loodusliku aerosooli allikaks on vulkaanipursked ja metsatulekahjud, kus osakesed paisatakse õhku otseselt – primaarne aerosool. Teine osa on nn. sekundaarne aerosool, mille korral osakesed tekivad keskkonnas ainete aurude kondenseerumise teel. Üheks oluliseks inimtekkelise aerosooli allikaks on näiteks autode heitgaasid.

Aerosooli omadused ja tema käitumine keskkonnas sõltuvad osakeste suurusest ja kontsentratsioonist. Aerosooliosakeste suuruste vahemik on lai, alates molekulide klastritest suurusega alla ühe nanomeetri (10^{-9} m) ja lõpetades suurematega üle 10 μ m. Kontsentratsioon algab praktiliselt nullist (nõutav näiteks elektroonikatööstuses puhastes ruumides) kuni 10^6 osakeseni kuupmeetris ja rohkem. Juba kõige väiksemad ühe nanomeetri suurusega osakesed etendavad looduses olulist rolli, kuna nad on allikaks suurematele osakestele. Osakesed saja nanomeetri piirkonnas on veetilkade tekkimise aluseks pilvedes. Samasse piirkonda tuleb põhiline osa ka autode mootoritest väljapaiskuvatest osakestest. Osakesed suurusega 100-200 nanomeetrit püsivad atmosfääris nädalaid ja võivad kanduda tuhandeid kilomeetreid ning on olulised saasteainete kaugtransportijad.

Lihtsaim viis aerosooli komplekselt kirjeldada on funktsiooniga osakeste kontsentratsiooni jaotusest osakeste suuruse järgi. Füüsiliselt saab jaotust mõõta jagades aerosooliosakesed fraktsioonidesse nende suuruse järgi ja mõõtes iga fraktsiooni

osakeste kontsentratsiooni. Nii mõõdetud jaotus on aerosooli spekter. Vastav mõõteseade on aerosoolispektromeeter.

Aerosoolispektromeetri rolli saab täita ka tavaline optiline mikroskoop. Valguse hajumisel põhinevad optilised aerosoolispektromeetrid (OAS). Nende tuntum esindaja on LASAIR [2]. Teine levinud klass aerosoolispektromeetreid põhinevad osakeste omadusel kanda elektrilaenguid. Tuntuim neist on firma TSI skanneeriv liikuvuse analüsaator SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*) [3].

Seoses autode hulga kasvuga ja Maa kliima probleemidega on eriti just viimasel ajal kasvanud huvi peenete aerosooliosakeste tekke / nukleatsiooniprotsesside vastu, et selgitada aerosooli osa kliima mõjutamisel ja selle päritolu kohta looduses. Üheks võimaluseks aerosooli tekkeprotsesse uurida on pöörise kovariatsiooni (ingl. k *eddy covariation*) meetodit kasutades [4]. Pöörise kovariatsiooni meetod vajab samuti kiireid mõõtmistulemusi (vähemalt 1 sek. intervalliga), et teha kindlaks aerosooliosakeste vertikaalne päritolu, kas nad tekivad atmosfääris või maapinnal. Seni on sarnastes uuringutes kasutatud CNC'd (*Condensation Nuclei Counter*) [5]. CNC ei suuda aga anda täpset informatsiooni aerosooliosakeste jaotuse kohta.

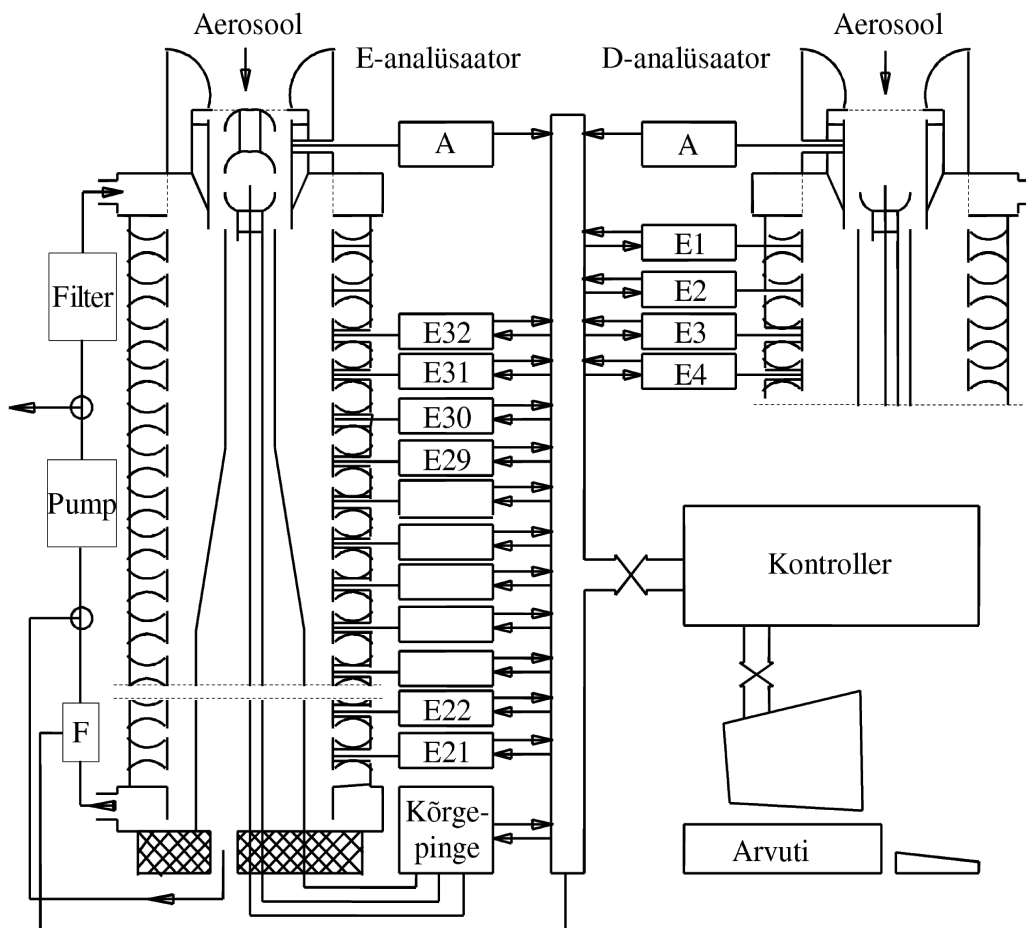
Selliste uuringute tegemiseks on vaja spektromeetrit, mis suudab mõõta laias piirkonnas ja võimalikult kiiresti. Aerosooli kiire mõõtmine on vajalik ka sisepõlemismootorite uurimisel. See aitaks paremini mõista auto mootorites toimuvaid protsesse.

Antud magistritöö ülesandeks oli uurida aerosoolispektrite mõõtmiskiiruse tõstmise võimalust. Töö aluseks on Tartu Ülikooli Keskkonnanfüüsika instituudis välja töötatud elektriline aerosoolispektromeeter – EAS [6]. Töös on rõhk asetatud mõõtmisaparatuuri infotehnoloogilisele täiustamisele eesmärgiga suurendada mõõtmiste paindlikkust, optimeerida spektri mõõtmise protsessi ning seeläbi saavutada parem signaal-müra suhe eriti just atmosfääriaerosooli aktiivsete nukleatsiooniprotsesside piirkonnas, kus osakeste suurused jäävad alla kümne nanomeetri.

2 ELEKTRILINE AEROSOOLISPEKTROMEETER EAS

EAS on paralleelse mõõteprintsibiiga paljukanaliline elektriline aerosoolispektromeeter (joonis 2.1). Johtuvalt elektrilisest aerosoolimõõtmise meetodist mõõdetav aerosool esmalt laetakse elektriliselt, mis tähendab, et aerosool suunatakse läbi ioniseeritud õhu piirkonna (laaduri). Selle tulemusena omandavad osakesed teatavad elektrilaengud, mis on otseselt seotud osakese suuruse ja laaduri omadustega.

Kuna atmosfääriaerosool võib olla erinevalt laetud, siis läbib aerosool esmalt eellaaduri, mille ülesandeks on neutraliseerida suured sisenevate aerosoolisakeste elektrilaengud, s.o. mõõdetav aerosool konditsioneerida. Selleks on eellaaduri ionide polaarsus vastupidine põhilaaduri omale.



Joonis 2.1. EAS'i põhimõtteskeem

Ioonid tekitatakse koroonalahendusega plaatinast elektroodi (traadi) tipust. Vajalik ioonide polaarsus saadakse elektroodile vastava polaarsusega elektripinge andmisega. Kuna üks laadimismehhanism ei võimalda korrektset mõõtmist kogu piirkonnas korraga, siis kasutatakse paralleelselt kahte erinevat laadimist: difusioonlaadurit (D) ja tugeva elektriväljaga laadurit (E). Laetud aerosool suunatakse analüsaatorisse, mis analüüsib aerosooliosakeste liikuvust elektriväljas.

Konstruksiooniliselt moodustavad analüsaator ja vastav laadur ühe terviku. Joonisel on nad tähistatud vastavalt kui D- ja E-analüsaator. Aerosooliosakeste poolt põhjustatud voolusid registreeritakse elektrometritega E1...E32, lisaks registreeritakse kõrgepingeploki väljundpinged, laadurite koroonavoolud (A) ja õhukulu (F).

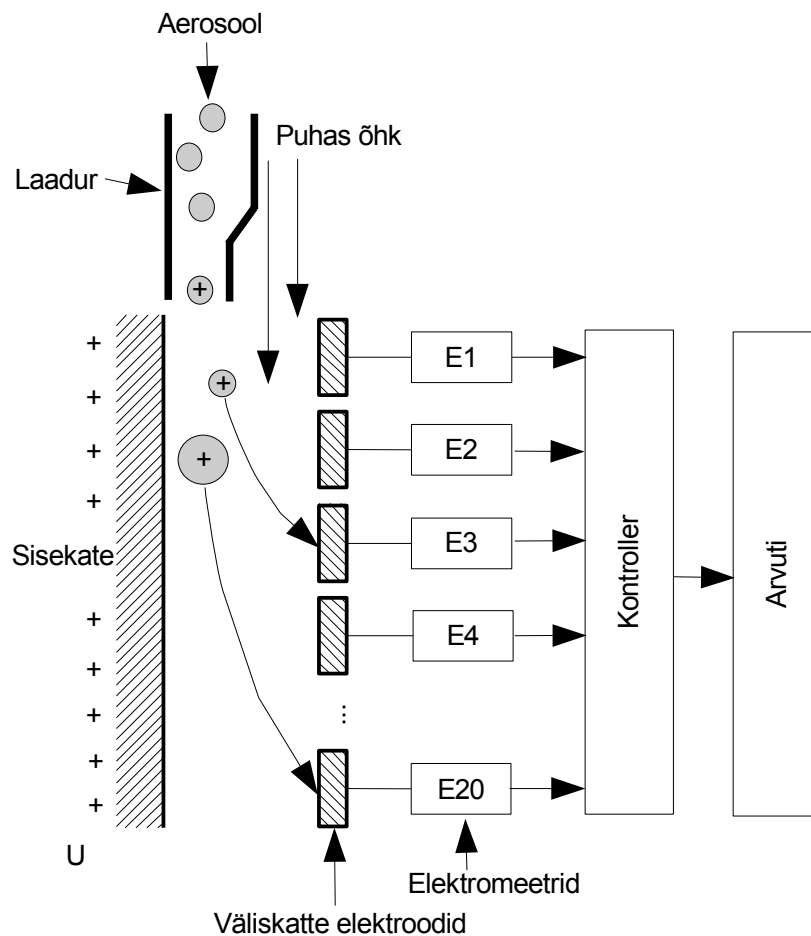
EAS'i iseloomustavad üldised parameetrid:

- lai mõõtevahemik, osakesed diameetriga 3.2 nm kuni 10 µm;
- resolutsioon kuni 8 fraktsiooni osakese diameetri dekaadi kohta;
- fraktsioonide (3.2-5.6) nm, (10-18) nm, (100-180) nm, (1000-1800) nm ja (5600-10000) nm korral mõõtetundlikkus vastavalt (10^2 - 10^6), (10^2 - 10^6), (10^1 - 2×10^4), (3×10^1 - 10^3) ja (2×10^2 - 5×10^1) osakest kuupsentimeetri kohta;
- õhukulu 0.8 l/sek.

2.1 Osakeste liikuvuse analüsaator

Analüsaatorid koosnevad sisemisest ja välimisest kattedest, millede vahele tekitatakse kuloniline elektriväli. Analüsaatorisse suunatakse laetud osakesed kitsa joana koos puhta õhu vahekihiga (joonis 2.2). Analüsaatoris sadenevad laengu omandanud aerosooliosakesed vastavalt liikuvusele elektrivälja mõjul väliskatte elektroodidele. Välised elektroodid on jaotatud silindrilisteks dielektriliselt eraldatud sektsioonideks – D-analüsaatoris vastavalt 20 ja E-analüsaatoris 12 sektsiooni. Sobivalt valitud laadimise korral on osakese liikuvusanalüsaatori väliskatte elektroodile sadenemise koht võrdlemisi üheses sõltuvuses osakese suurusest.

EAS on nn. paralleelse mõõtmisprintsiibiga spektromeeter, mille korral aerosool analüüsitakse paralleelselt paljudesse kanalitesse. Kanalite liikuvused on valitud ligikaudu kooskõlas osakeste suuruste skaalaga. Kanalisse sattuvad elektrilaengud



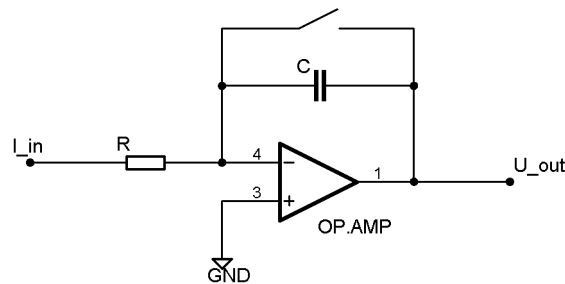
Joonis 2.2. Aerosooliosakeste detekteerimine analüsaatoris

indutseerivad vastavas kanalis voolu, mis on proportsionaalne antud kanalile vastavate osakeste kontsentratsioonile ja laaduris saadud elektrilaenguga. Elektroodidele indutseeritud laengud registreeritakse elektrometritega. Elektrometrid E1...E20 paiknevad vastavalt D-analüsaatoris ülevalt-alla ning E21...E32 E-analüsaatoris alt-ülesse.

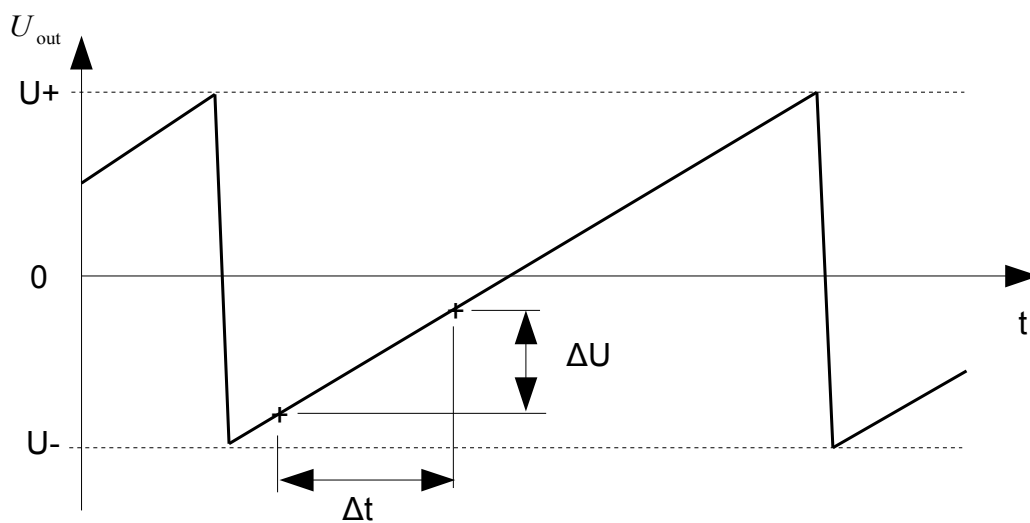
2.2 Osakeste elektrivoolude kogumine

Elektrometrina kasutatakse laengute kogumisel aktiivse tagasisidega integreerivat operatsioonvõimendiga ahelat, mille põhimõtteskeem on toodud joonisel 2.3. Selline elektromeeter ei mõõda vahetult elektroodidele kogunenud laenguid, vaid kogub need operatsioonvõimendi tagasisideahelasse ühendatud kondensaatorile mahtuvusega C . Elektrometri väljundiks on pinge antud kondensaatori klemmidel. Kuna pinge

kondensaatoril saab muutuda ainult toitepingega määratud pingete vahemikus, siis kasutatakse kondensaatoriga paralleelselt ühendatud ahelat, mis tühjendab kondensaatori automaatselt juhul, kui pinge on jõudnud teatud piirini. Takisti R ülesandeks on kaitsta operatsioonvõimendi sisendit kõrgepinge läbilöökidest, mis võivad tekkida ioniseeritud õhu korral sisekatte ja väliskatte elektrodide vahel. EAS's kasutatava integreeriva elektromeetri väljundpinge muutumist ajas kirjeldab joonis 2.4.



Joonis 2.3. Integreeriva elektromeetri põhimõtteskeem



Joonis 2.4. Elektromeetri väljundpinge muutumine ajas

Seda üleminekut, kui kondensaator tühjaks laetakse ja graafikul väljundpinge U_{out} muutub väärtuselt U_+ väärtusele U_- , nimetatakse elektromeetri lähtestamiseks (ingl k. *reset*). Reaalselt toimub selline elektromeetri automaatne lähtestamine keskmiselt kord ööpäevas. Elektromeetris kasutatakse operatsioonvõimendi tagasisides spetsiaalseid suure sisetakistusega ($>10^{15}\Omega$) polüstüreen-kondensaatoreid C mahtuvusega 33, 47 või 100pF – suuremaid mahtuvusi kasutatakse elektromeetrites, kus on oodata suuremat signaali.

Mõõtes elektromeetri väljundpinge kahel erineval ajahetkel, saame leitud pingete erinevuse ΔU ja ajavahemiku Δt järgi leida voolu I_{in} integraatori sisendis valemiga:

$$I_{in} = \frac{\Delta U}{\Delta t} C \quad . \quad (2.1)$$

Kuna vool integraatori sisendis oli otseselt põhjustatud laaduris laengu omandanud aerosooliosakeste poolt, siis saab selle järgi omakorda leida antud elektromeetri kattele sadestunud aerosooliosakeste arvu antud ajavahemikus.

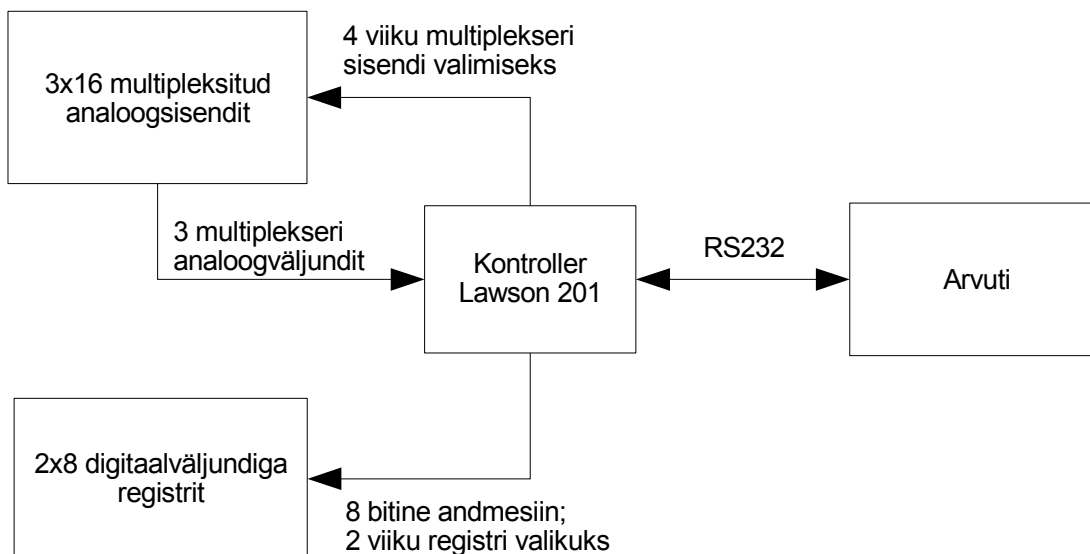
2.3 EAS andmehõivesüsteem

Andmehõivesüsteemi abil mõõdetakse elektromeetrite pinged ja edastatakse arvutisse analüüsimiseks ning juhitakse EAS'i üldist tööd vastavalt arvutist tulnud korraldustele. Füüsiliselt koosneb andmehõivesüsteem mõõtekanalite analoogsignaalide multiplekserite plokist, digitaalsignaalide registrite plokist ja kontrollierist. Andmevahetus arvutiga toimub üle RS232 jadapordi (joonis 2.5). EAS's on andmehõivesüsteemi keskmes analoog-digitaalmuundiga kontrollier Lawson 201 [7].

Lawson 201'l on 6 analoogsisendit, mis läbi sisemise multiplekseri on ühendatud 24-bitise delta-sigma analoog-digitaalmuundiga. Analoogsignaali suunatakse enne muundamist läbi võimendi ja madalpääsfiltri. Tarkvaraliselt on võimalik valida võimendustegur 1, 2, 4...128 ning filtri lõikesagedus 4, 40 või 400 Hz. Muundi sisendsignaali võib olla bipolaarne vahemikus -5...+5 V või unipolaarne 0...5 V.

Lisaks on Lawson 201'l 4 optiliselt eraldatud digitaalset väljundit, 8 digitaalset väljundit ja 8 digitaalset sisendit. Laienduspesa abil on võimalik digitaalsete väljundite arvu suurendada veel 16. võrra. Andmevahetus on tarkvaraliselt valitava kiirusega 300 kuni 9600 boodi.

Kuna kontrollieril on analoogsisendite arv piiratud, siis kasutatakse 32. elektromeetri ja 11. kontroll-kanali pingete mõõtmiseks välist, kolmest 16'ne analoogsisendiga multiplekserist koosnevat skeemi (vt. lisa 8.3, joonis 8.11). Kontroll-kanaleid kasutatakse diagnostikaks – registreeritakse laadurite pinged ning õhuvoolu kiirus.



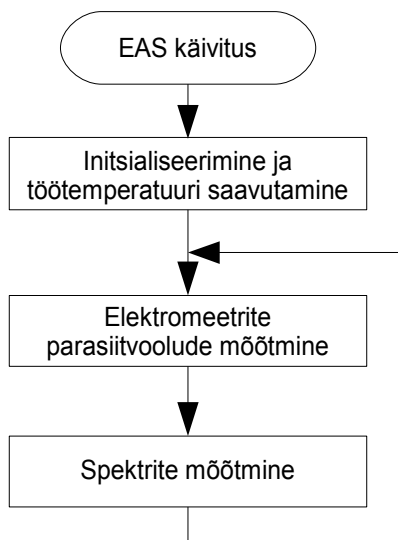
Joonis 2.5. EAS andmehõivesüsteem

EAS'i töörežiimi muutmiseks kasutatakse Lawson 201 laienduspesa ühendatavat väliste registre plokki (vt. lisa 8.4, joonis 8.12). Nende registre kaudu toimub õhupumba, laadurite ning elektromeetrite toitepingete sisse-välja lülitamine.

2.4 EAS signaali mõõtmine ja juhtimine

Aerosoolispektrite mõõtmine EAS'ga koosneb mitmest etapist: algkäivitus ja -soojenemine, elektromeetrite parasiitvoolude mõõtmine ning spektrite mõõtmine (joonis 2.6). Algakäivituse ajal, pärast EAS'i toite sisselülitamist, initsialiseeritakse kommunikatsioon kontrolleriiga, antakse kontrolleriile käsklus lülitada sisse õhupump ja eellaadurid ning oodatakse kuni pinge analüsaatori sisekatetel stabiliseerub. Pinge analüsaatori sisekatetel kasvab soovitud väärtuseni ca. 30 minutit, kuid umbes 60 sekundit pärast algkäivitust on see juba piisavalt aeglane, et saab hakata spektreid mõõtma.

Elektromeetrite parasiitvoolude mõõtmine on vajalik, kuna realselt ei ole olemas lõpmata suurt takistust ja alati eksisteerib laengute liikumisi läbi elektroode eraldavate isolaatorite kui ka elektroonika detailides läbi erinevate isolatsioonikihtide. Elektromeetrites mõõtmistes, kus mõõdetakse voolusid femptoamprites (10^{-15} A), ei saa selliseid lekkeid ignoreerida. Parasiitvoolude kohta võimalikult tõetruu hinnangu



Joonis 2.6. EAS'i üldise mõõtmise algoritm

saamiseks jäetakse mõõtmise ajaks tööle nii õhupump kui eellaadurid ning lülitatakse välja ainult põhilaadurid. Selle tulemusena omandavad aerosooliosakesed eellaaduris negatiivse laengu ja analüsaatoris ei sadene nad väliskatte elektrodidele, kuna elektriväli viib neid sellest eemale.

Parasiitvoolude mõõtmisele järgneb spektrite mõõtmine. Selle jaoks lülitatakse sisse põhilaadurid, mis annavad aerosooliosakestele positiivse laengu ning osakesed sadenevad elektrivälja toimel väliskatte elektrodidele.

Spektri mõõtmisel elektromeetrite registreeritud vool on parasiitvoolu ja osakeste poolt põhjustatud voolu summa. Eeldatakse, et eelnevalt leitud parasiitvoolud jätkavad sama trendi ka spektrite mõõtmise ajal ning spektrite mõõtmisel võib signaali leidmiseks piirduda parasiitvoolude lahutamisega.

EAS'ga mõõtmise detailsemad plokk-skeemid on toodud lisa 8.1.

2.5 Mõõdetud signaalide filtreerimine ja töötlemine

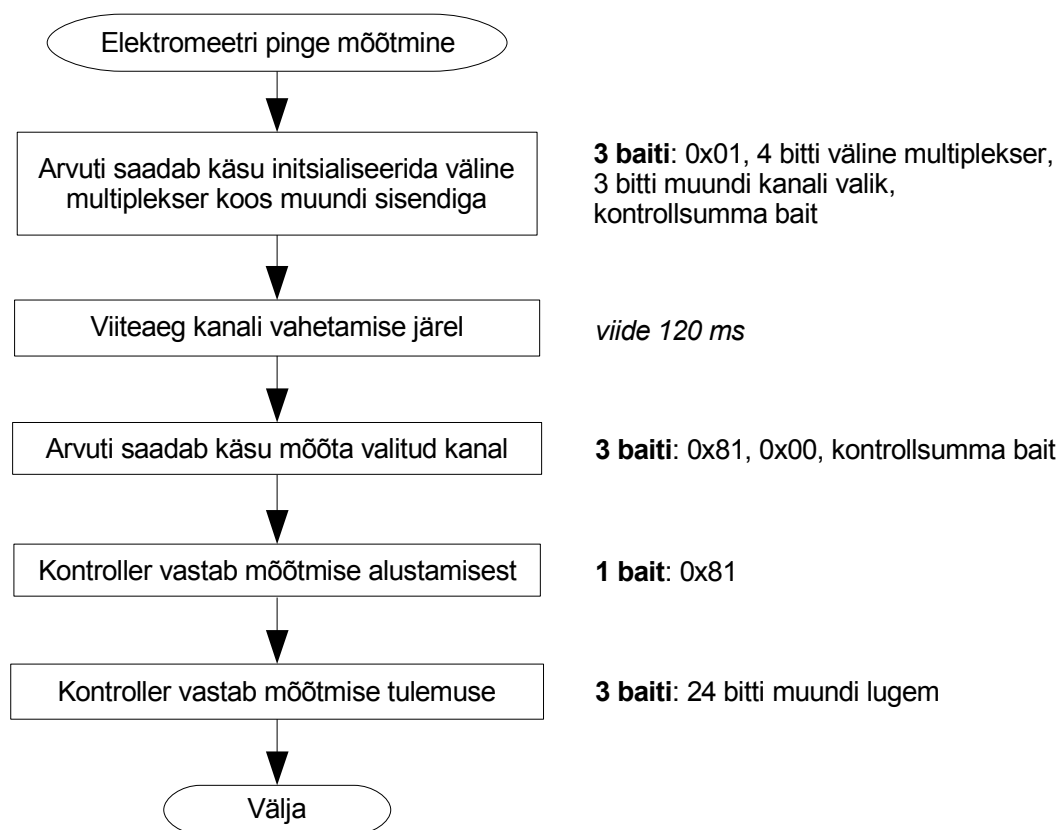
EAS'ga mõõdetud signaalide töötlemine aerosoolispektrite arvutamisel jaguneb järgmisteks etappideks:

1. elektromeetrite pingete kirjade lugemine kontrolleri- või sisendfailist mällu ühe parasiitvoolu, spektrite ja parasiitvoolude mõõtmise jagu;
2. kahe järjestikuse elektromeetrite pingekirje alusel voolukirjete arvutamine koos elektrometri lähtestamise tuvastamisega;
3. leitakse parasiitvoolude trend ning lahutatakse see nii parasiitvooludest kui ka spektri mõõtmistest leitud vooludest;
4. voolukirjete silumine erinevate korrektsiooni ja keskmistamise filtritega;
5. leitakse veelkord parasiitvoolude trend ning selle järgi iga elektrometri jaoks voolude dispersioonid;

6. voolu kirjetest aparaadimaatriksit ja Gauss-Markovi algoritmi kasutades lahendatakse pöördülesanne aerosoolijaotuse kirjete leidmiseks;
7. aerosoolijaotuse kirjete teisendamine vastavalt vajadusele arv-, pind-, ruumalakontsentratsiooni jaotuse kirjeteks;
8. tulemuste salvestamine väljundfaili.

3 SPEKTROMEETRI SÜSTEEMI UUENDAMINE

Aerosoolijaotuste kiire mõõtmise vajadus andis tõuke andmehõivesüsteemi moderniseerimiseks. Suurimaks kitsaskohaks osutus kontroller Lawson 201. Probleeme põhjustab delta-sigma muundi pikk stabiliseerumisaeg peale kanali vahetust $t_{Settling} = 120$ ms, mille tõttu 32. elektromeetri ja 11. diagnostika kanali pingete mõõtmine ühe spektri jaoks võtab aega üle 5. sekundi. Teiseks probleemiks on AD muundamise enda kiirus. Lawson 201 korral on see küll muudetav, kuid muundamise kiiruse tõstmisega väheneb AD muundi täpsus ja suureneb mõõtmise müratase. Suuremal kiirusel muutub veel üheks piirajaks Lawson 201 ja arvuti vahelise andmevahetuse kiirus. Joonisel 3.1 on toodud ühe elektromeetri pingete mõõtmise plokkskeem koos andmevahetuseks kasutatavate baitidega. Kokku 10 baiti ühe muundamise kohta, mis teeb võimalikuks arvutisse edastada 96 muundamist sekundis. Iseenesest Lawson 201 jaoks ei olegi see takistuseks, kuid kiiremate mõõtmiste korral oleks vaja suurendada nii jadapordi kiirust kui vähendada andmevahetuse protokollis täiendavate baitide



Joonis 3.1. Ühe elektromeetri pingete mõõtmise plokkskeem Lawson 201'ga

osakaalu.

EAS's Lawson 201'ga mõõtmisel toimub mõõtmisprotsessi juhtimine ja muundamiste ajastamine arvutiga. Kiirete mõõtmiste juures on täpse tulemuse saavutamiseks oluline ka muundamiste täpne ajastamine. Kaasajal personaalarvutites enamlevinud operatsioonisüsteemides, aga ei ole võimalik lihtsal viisil garanteerida millisekundilise täpsusega toimuvaid muundamiste ajastamisi, kuna samaaegselt võivad töötada mitmed programmid, mis kõik peavad saama oma osa protsessori ajast.

Kokkuvõttes uuele andmehõivesüsteemile esitatavad nõudmised:

- võtta kasutusele analoog-digitaalmuundi, mis oleks
 - kiire,
 - väiksemate omamüradega
 - ja millel oleks lühike kanali vahetuse järgne stabiliseerumisaeg;
- kasutada mikroprotsessorit, mis tegeleks ainult:
 - analoog-digitaalmuundi teenindamisega,
 - automaatse kanalite vahetamise ja mõõtmiste ajastamisega,
 - mõõtmistulemuste puhverdamise
 - ning kiire andmete edastamisega arvutile.

Nende tingimuste tätmiseks oli vaja analüüsida ja katsetada erinevaid lahendusi nii elektroonika kui ka tarkvara osas.

3.1 Analoo-digitaalmuundite võrdlus

Võrdlemise aluseks oli muundite omamüra erinevatel muundamise kiirustel. Omamüra on mõõtmiste standardhälbed sisendsignaali puudumisel. Välise müra vältimiseks muundite analoogsisendid lühistati. Omamüra standardhälbed hinnati kolmeminutiliste mõõtmisseeriade alusel.

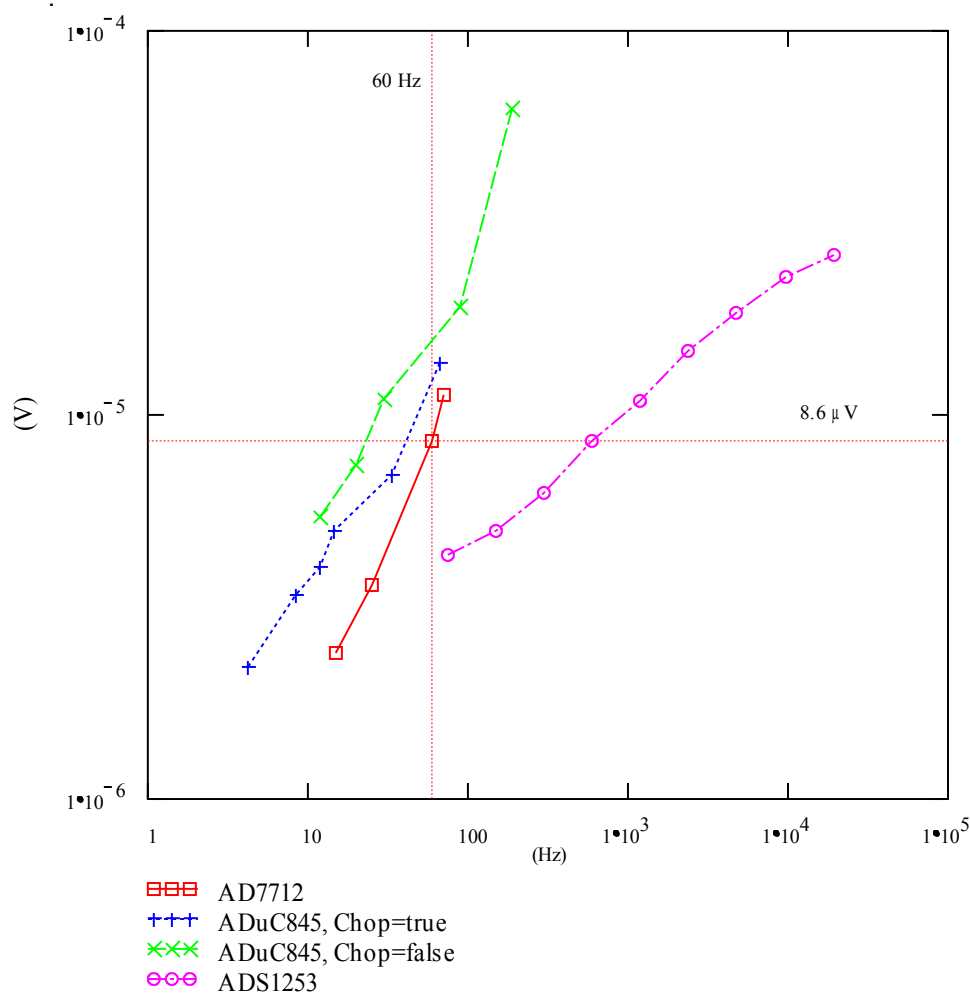
Võrreldi Texas Instrumentsi 24-bitist delta-sigma analoog-digitaalmuundit ADS1253 [8] ja Analog Device 8052-seeria mikrokontrollerisse integreeritud 24-bitist delta-sigma muundit ADuC845 [9]. Võrdluse kaasati ka Lawson 201'e delta-sigma muundi AD7712 [10].

Parameetrid kontrolleri Lawson 201'e muundi AD7721 omamürade mõõtmisel olid samad, mis EAS's kasutusel: madalpääsfiltri lõikesagedus 400 Hz, võimendustegur 1 ning mõõdeti bipolaarset signaali vahemikus -5...+5 V. Mõõtmisi sooritati päringu režiimis (*Polled Mode*) ja erinevatel muundamissagedustel (*Sample Rate*) 15 kuni 70 Hz. 70 Hz osutus ka suurimaks sageduseks, millega päringu režiimis oli võimalik mõõta.

Muundi ADS1253 analoogsisendid sobitati elektromeetrite väljunditega joonisel 8.6 toodud skeemi abil. Omamürade mõõtmiseks lühistati operatsioonvõimendite sisendid. Muundi referentspinge oli $V_{REF}=2.5$ V ning taktsagedus $f_{CLK}=7.3728$ MHz. Sellise konfiguratsiooniga muundi väljastab mõõtetulemusi 19200 korda sekundis. Väiksemate mürade saamiseks kasutati mõõtetulemuste keskmistamist üle 2, 4...256 lugemi, mis annab mõõtmise sagedusteks vastavalt 9600, 4800...75 Hz.

ADuC845'e testiti Analog Devices poolt välja antud arendussüsteemiga QuickStart™ Development System [11]. Referentspingeks kasutati välist $V_{REF}=2.5$ V allikat. Bipolaarses režiimis võimaldas see mõõta pingeid vahemikus -2.5...+2.5 V, millega seoses elektromeetri pingete mõõtmisel võrreldavate omamürade hinnangute saamiseks korrutati leitud standardhälbed kahega. ADuC845 muundi tööd saab muuta tarkvaraliselt registri SF ja režiimi biti CHOP abil. Register SF on delta-sigma muundi juures kasutatava digitaalse filtri parameeter, mis määrab otseselt muundamise sageduse ja täpsuse. Biti CHOP tõese väärtuse korral kasutatakse täiendavat nullnivoo korrigeerimist.

Joonisel 3.2 on toodud erinevate muundite omamürade mõõtmiste tulemused. Esitatud graafikul 60 Hz mõõtesageduse ja 8.6 μ V omamüra joonte lõikepunkt vastab Lawson 201'e EAS's kasutatavale mõõtmiste režiimile. Graafik võimaldab hinnata muundeid mõõtmiskiiruse ja omamüra järgi komplekselt. Joonest allapoole jäävad muundid suudavad mõõta täpsemini; joonest paremale – kiiremini.

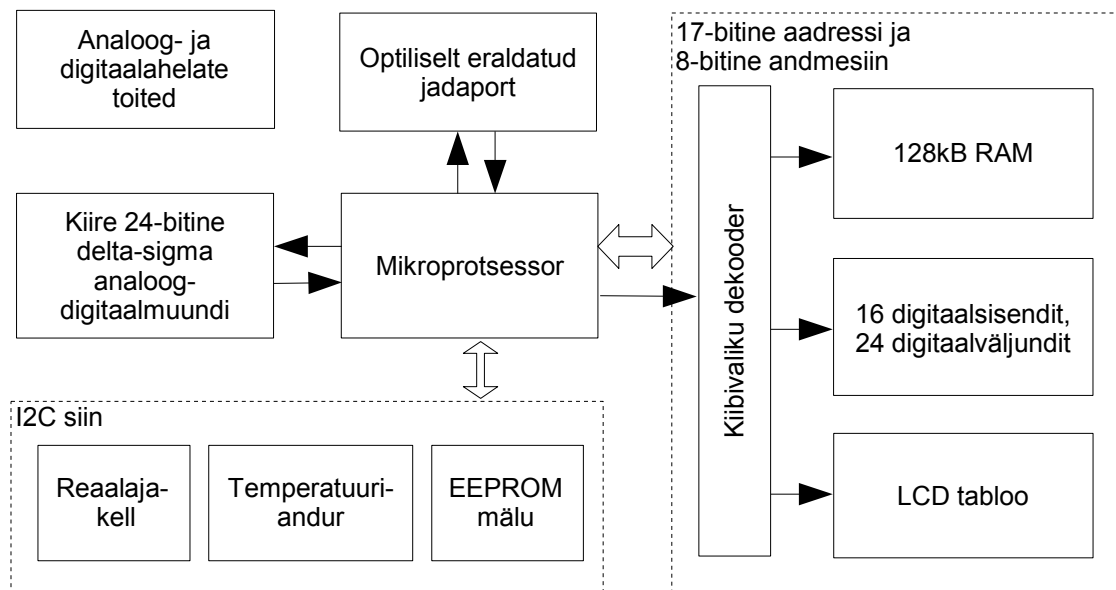


Joonis 3.2. Erinevate delta-sigma muundite omamürade standardhälbed sõltuvalt muundamise kiirusest

Graafikult on näha, et Lawson 201 muundi AD7712 omamüra on väga hea aeglastel mõõtmistel – mõõtmisagedusel 15 Hz. Lõikepunktist paremale ja allapoole jäävatel ADS1253 muundamissagedustel 75 Hz kuni 300 Hz leitud väiksemad omamürad kinnitavad, et kiirete mõõtmiste jaoks on võrreldustes sobivaim muundi ADS1253.

3.2 Kontroller FSDAS

EAS'i jaoks uue kiirema ja suuremate võimalustega kontrolleri FSDAS (*Fast Spectrometry Data Acquisition System*, joonis 3.3) disainis Toomas Bernotas. FSDAS sisendid ja väljundid olid disainitud selliselt, et minimaalse lisatöega asendada Lawson 201. Kontrolleri FSDAS detailsed skeemid, koos töö käigus tehtud muudatuste ja parandustega, on toodud lisas 8.2.



Joonis 3.3. FSDAS kontrolleri plokk-skeem

Joonisel 3.3 on FSDAS kontrolleri plokk-skeem jagatud järgmisteks üksusteks:

- analoog- ja digitaalhelate toide – skeemi digitaalosas kõrgsagedusliku müra komponentide analoogossa kandumise vältimiseks kasutatakse analoog- ja digitaalhelates eraldi stabiliseeritud toiteid. Süsteemi lubatud toitepinge 10..12 V (joonis 8.4).
- Mikroprotsessor – kogu süsteemi juhtimist haldav tuum. Kasutatakse Atmel'i AVR-seeria 8-bitist mikroprotsessorit ATmega8515 [12] (taktsagedus kuni 16 MHz, 8 kB välmälu programmi koodile, SRAM 512 baiti muutujatele, 512 baiti EEPROM, 35 sisend- / väljundviiku, 3 katkestus-sisendit, andmevahetus SPI ja RS232 liideste kaudu, täiendava kuni 64 kB SRAM välise mälu kasutamise võimalus). Protsessori liidestus ülejäänud skeemiga on toodud joonisel 8.5.
- 24-bitine delta-sigma analoog-digitaalmuundi – kasutatakse muundit ADS1253 koos sobituskeemiga lubatud mõõtepiirkonna suurendamiseks -5...+5 V (joonis 8.6).
- Optiliselt eraldatud jadaport. Arvutist ühendusjuhtmete kaudu levivate häirete ja mürade vältimiseks on kontrolleri poolne jadapordi osa muust skeemist

optopaaride abil elektriliselt lahti sidestatud (joonis 8.9). Jadapordi suurim kiirus 57600 boodi.

- I2C on universaalne siin, mille kaudu mikroprotsessoriga ühendatakse välised seadmed (joonis 8.8). FSDAS's kasutatakse I2C siinil:
 - reaajakella PCF8583 [13] – aja fikseerimiseks arvutist sõltumatus režiimis spektrite mõõtmisel;
 - temperatuuriandurit DS1621 [14];
 - EEPROM mälu – kontrolleri konfiguratsiooni ja muude mõõteparameetrite salvestamiseks.
- 17-bitist aadressi ja 8-bitist andmesiini kasutatakse, koos 3-8 dekodeerituga (joonisel 8.5 mikroskeemid *U6* ja *U7*) formeeritud juhtsignaalidega, kiireks andmevahetuseks:
 - välise 128 kB suuruse muutmäluga KM681000 [15] (joonisel 8.8 mikroskeem *U10*) – suuremat muutmälu kasutatakse aerosoolispektrite kiirel mõõtmisel analoog-digitaalmuundi lugemite puhverdamiseks;
 - digitaalsete sisend- ja väljundkanalitega (joonis 8.7) – väljundkanalite kaudu toimub välise analoogmultiplekserite juhtimine ja EAS'i mõõterežiimi muutmine;
 - teksti kuvamiseks välisele LCD tabloole.

Lähtuvalt kasutatavast muundist ADS1253 ja kasutatavast taktsagedusest, iseloomustab antud kontrolleri võimalus mõõta pingeid 19200 korda sekundis. Kanali vahetusel kulub lugemi stabiliseerumiseks 6 mõõtmist. Koos muundi analoogkanali vahetuse ja keskmistamisega üle $N = 2^k$ ($k = 0, 1, 2, \dots, 7$) lugemi, on võimalik antud kontrolleri mõõta analoogkanalite pingeid sagedusega:

$$f_{conv} = \frac{19200}{6 + N} \cdot \frac{1}{s} \quad (3.1)$$

Näiteks $N = 1$ korral on võimalik mõõta 32. elektromeetri ja 11. kontroll-kanali pinged kuni 63 korda sekundis.

4 AEROSOOLISPEKTRI KIRED MÕÕTMISED JA TULEMUSED

Kiirete mõõtmisvõimaluste uurimiseks asendati EAS's kontrolleri Lawson 201 FSDAS'ga. Mõõdeti 64 lugemi keskmistamise režiimis. FSDAS uurimisel ja andmete analüüsimisel kasutati andmete ümberstruktureerimise meetodit. Selleks sooritati toorandmete kogumine maksimaalse võimaliku kiirusega – kõikide elektromeetrite pinged registreeriti 0.125 sekundilise intervalliga.

Kuna EAS's elektromeeter integreerib voolu ja üksikmõõtmised on statistiliselt sõltumatud, siis saab madalama kiiruse mõõtmise parameetreid hinnata samade algandmete alusel. Soovitud kiirusel sooritatud pingete mõõtmised saab eraldada algandmetest vastavatel ajahetkedel. See võimaldab säästa aega ja parandab tulemuste võrreldavust.

Tulemusi võrreldi Lawson 201'ga, kui mõõtmise kiirus seda võimaldas. Lawson 201'ga mõõtmistel kasutati 60 Hz muundamissagedust ja 120 ms ooteaega muundi sisendkanali vahetumisel. Selle tulemusena kujunes välja spektri mõõtmise intervall 5.14 s.

4.1 Parasiitvoolude standardhälbed

Parasiitvoolude standardhälbeid kasutatakse spektrite arvutamisel elektromeetrite kanalite müra hindamiseks. Loetakse, et spektri mõõtmise müra on otseselt määratud kanali standardhälbega.

EAS'i elektromeetrite parasiitvoolusid mõõdeti FSDAS ja Lawson 201 kontrollritega laboris siseruumis erinevatel päevadel ligemale ühe ööpäeva vältel. Parasiitvoolude mõõtmised jagati kaheminutilisteks lõikudeks. Iga lõigu kohta leiti vähimruutude meetodiga voolu trend ning standardhälve. Erinevate spektri mõõtmise intervallide korral, üle kõikide lõikude keskmistatud standardhälvete väärtused femptoamprites on kantud tabelisse 4.1.

Tabeli read vastavad elektromeetritele E1 kuni E32. Veergudes tulevad järjest standardhälbed, mis on leitud FSDAS kontrollriga spektri mõõtmise intervallidega 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 ja 5.125 sekundit ning Lawson 201'ga 5.14 sekundit. Tabeli

viimasesse veergu on kantud ajavahemikul 12.05.2006 kuni 14.05.2006 Tartus linnaaerosooli spektrite mõõtmisel leitud keskmised voolud $\overline{I_{Spk}}$.

Tabeli andmetest on näha, et võrreldavatel kiirustel on FSDAS ja Lawson 201 kontrollrite hinnangud võrreldavad. Kehtib ruutjuur ajas reegel – intervalli suurendamisel 4 korda väheneb standardhälve ligikaudu 2 korda. Enamusel kanalitel ületab signaal müra taset alla ühe sekundilistel spektrite mõõtmistel. EAS'i esimestel (vastab osakeste suurusele ca. 3 nm) ja viimasel kanalil (vastab suurusele 10 μm) ületab

Elektro-meeter	FSDAS							Lawson 201	$\overline{I_{Spk}}$
	0.125 s	0.25 s	0.5 s	1 s	2 s	4 s	5.125 s	5.14 s	
E1	10.7	7.4	5.2	3.5	2.4	1.6	1.5	1.4	0.0
E2	9.9	6.7	4.6	3.1	2.2	1.5	1.4	1.4	0.1
E3	9.2	6.1	4.2	2.9	2.0	1.4	1.3	1.2	0.7
E4	10.9	7.4	5.1	3.6	2.5	1.7	1.6	1.5	1.4
E5	15.8	11.1	7.8	5.5	3.9	2.7	2.4	2.3	5.8
E6	19.2	13.6	9.6	6.8	4.7	3.3	3.0	2.7	15.2
E7	19.0	13.5	9.5	6.7	4.6	3.2	2.9	2.6	3.0
E8	18.2	12.9	9.1	6.4	4.5	3.2	2.9	2.3	17.7
E9	21.0	14.9	10.5	7.5	5.2	3.7	3.4	2.4	40.0
E10	15.2	10.7	7.5	5.2	3.7	2.6	2.3	1.9	71.1
E11	9.6	6.6	4.5	3.1	2.1	1.5	1.3	1.2	83.1
E12	7.0	4.6	3.0	2.0	1.3	0.9	0.8	0.8	98.0
E13	15.4	8.4	4.6	2.6	1.5	0.9	0.7	0.6	121.5
E14	33.1	17.5	9.6	5.3	3.0	1.6	1.3	0.5	123.4
E15	21.8	10.8	5.6	2.9	1.6	0.9	0.7	0.6	118.9
E16	13.9	7.0	3.7	2.0	1.1	0.7	0.6	1.2	101.4
E17	15.3	7.5	3.9	2.1	1.2	0.7	0.6	0.5	76.3
E18	14.8	7.1	3.7	2.0	1.1	0.6	0.5	0.4	46.4
E19	13.0	6.4	3.4	1.8	1.0	0.6	0.5	0.5	24.2
E20	15.2	7.9	3.6	1.9	1.1	0.6	0.5	0.4	7.1
E21	6.8	3.6	2.1	1.3	0.9	0.6	0.5	0.6	6.7
E22	6.8	3.7	2.2	1.4	0.9	0.6	0.6	0.6	9.7
E23	6.2	3.5	2.2	1.4	0.9	0.6	0.6	0.6	8.9
E24	7.8	3.9	2.4	1.5	1.0	0.7	0.6	0.6	10.3
E25	7.1	3.5	2.1	1.3	0.8	0.6	0.5	0.5	7.7
E26	7.2	3.4	2.0	1.2	0.7	0.5	0.4	0.5	6.1
E27	6.7	3.9	2.4	1.3	0.8	0.6	0.4	0.5	5.9
E28	6.6	3.8	2.1	1.1	0.7	0.4	0.4	0.4	2.6
E29	5.3	2.9	1.7	1.0	0.6	0.4	0.3	0.6	1.8
E30	6.3	3.2	1.9	1.2	0.7	0.5	0.4	0.5	1.9
E31	6.5	3.4	2.2	1.4	1.0	0.7	0.6	0.9	2.0
E32	6.1	3.9	2.6	1.7	1.2	0.8	0.7	0.7	0.4

Tabel 4.1. Elektrometrite parasiitvoolude standardhälbed erinevate spektri mõõtmise perioodide korral kontrollritega FSDAS ja Lawson 201. I_{Spk} on keskmine vool linnaaerosooli spektrite mõõtmisel (12.05.2006 kuni 14.05.2006). Kõik ühikud femptoamprites.

signaal müra taseme aeglasemate mõõtmiste korral. Need on aerosoolijaotuse äärepiirkonnad, kus normaalselt ongi signaal nõrk. EAS'i esimeste kanalite kolm korda kõrgem müra tase on arvatavasti seotud tema konstruktsiooni iseärasustega ja peaks olema parandatav.

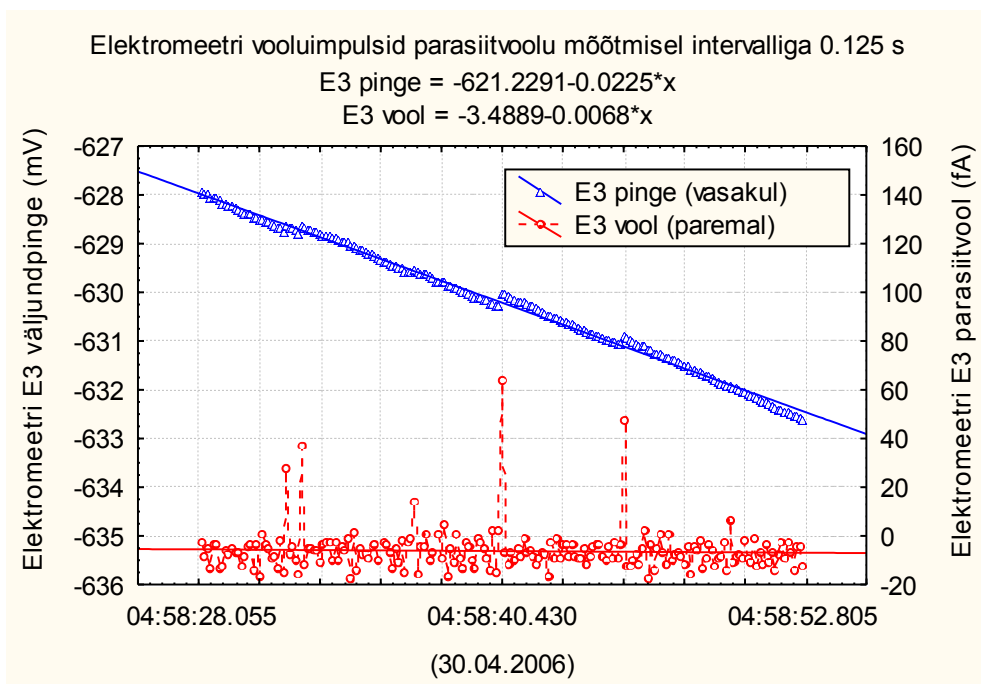
4.2 Vooluimpulsid

Kiiretel parasiitvoolude mõõtmistel ilmnesid uue senikirjeldamata efektina elektromeetri väljundpinge juhuslikud, kuni mitmete millivoltideni ulatuvad hüpped (joonis 4.1). Vooluks teisendatuna kujutavad need endast lühikesi suure maksimumväärtusega vooluimpulsse. Sellised impulsid eksisteerisid kõikides elektromeetrite väljundites – erinevusi võis täheldada nende esinemise sageduses. Elektromeetrite E5 kuni E10 väljundites esines selliseid impulsse enim, kus nende poolt põhjustatud pingemuutus oli võrreldav tavapärase elektromeetri tühjenemisega (vool ca. -4 fA) (joonis 4.2).

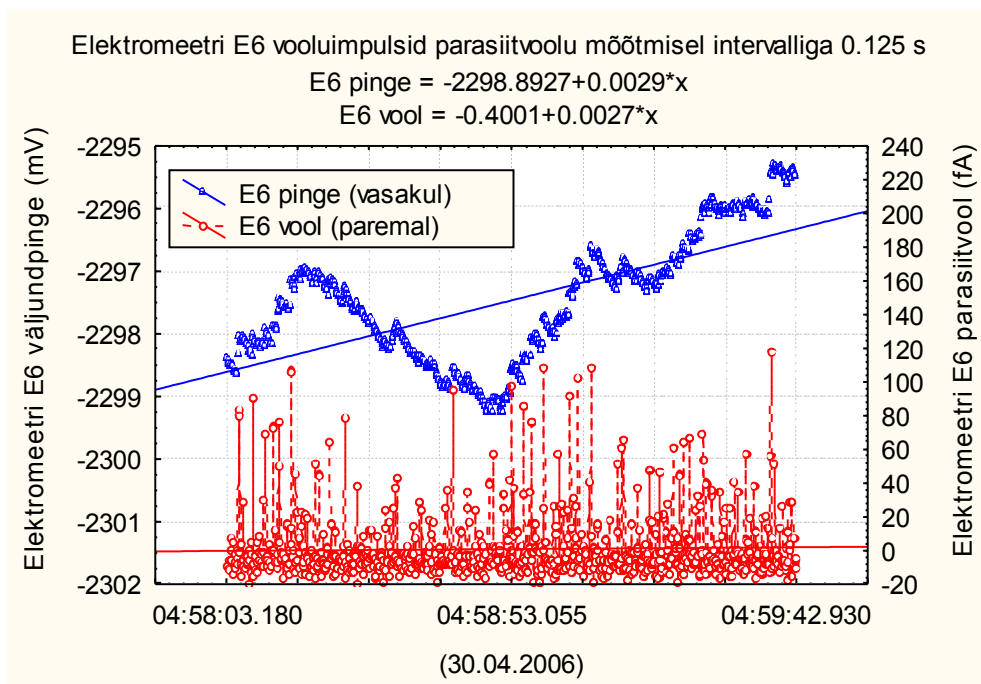
Kiiretel mõõtmistel põhjustab selline impulssmüra elektromeetri voolude olulisi kõrvalekaldeid normaaljaotusest. Aeglasematel spektrite mõõtmisel jäävad need märkamata. Joonistel 4.3 kuni 4.6 on toodud elektromeetrite E3 ja E6 histogrammid, 0.125 ja 4-sekundi spektrite mõõtmise korral, pärast trendi maha arvamist. Selline mürade iseloom tähendab, et andmetöötlus, mis on üles ehitatud tavapärasel normaalse jaotuse eeldusel, ei ole optimaalne kiirete mõõtmiste korral.

Impulsid eksisteerisid ka siis, kui EAS'i õhupump oli välja lülitatud. Kontrollimiseks vahetati omavahel elektromeetrid E3 ja E6 – vooluimpulsid jäid paika analüsaatori samadele katetele.

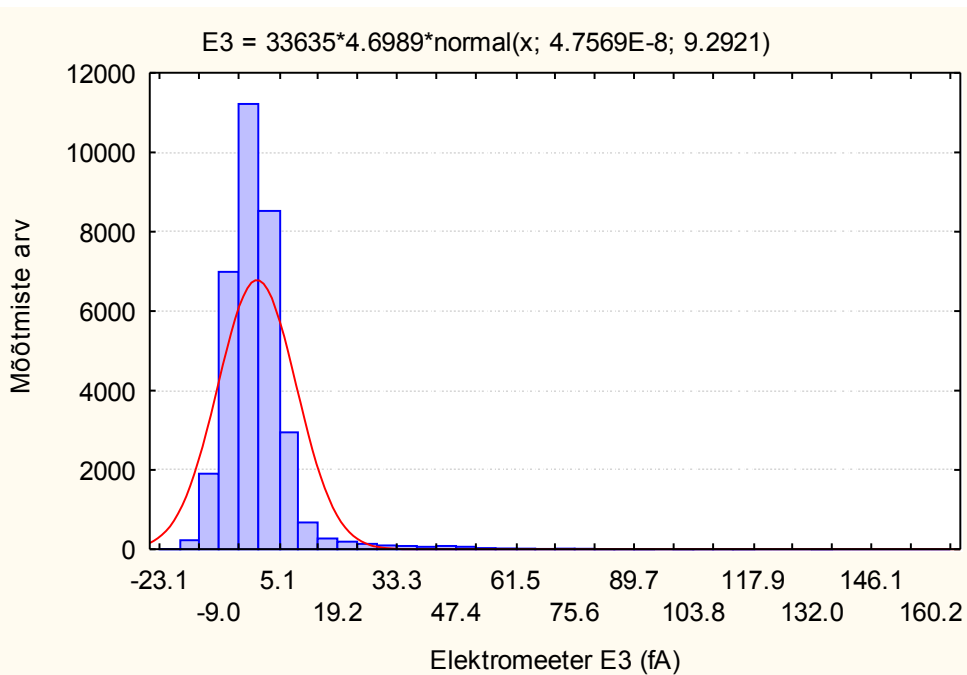
Eelneva põhjal saab järeldada, et vooluimpulsside tekitaja on seotud analüsaatori elektroodidega. Ühe seletusena võiksid sellised impulsid olla põhjustatud analüsaatori katetele sadestunud radioaktiivsete osakeste lagunemisest. Impulsside päritolu, ning nendest tingitud impulssmürade arvestamine spektrite arvutamisel, vajab täpsemat uurimist.



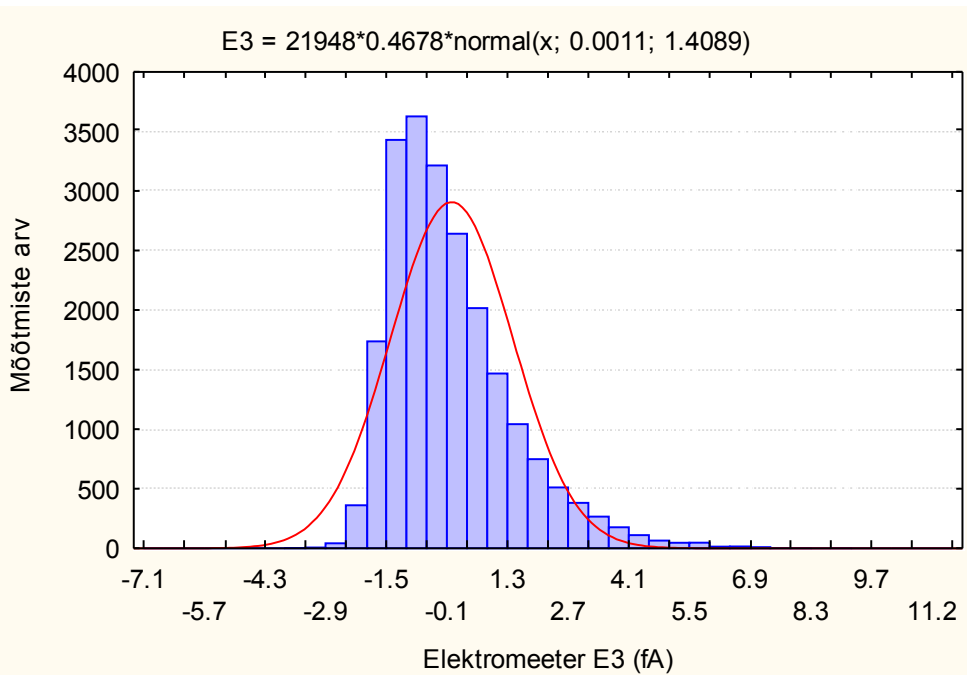
Joonis 4.1. Elektromeetri E3 väljundpinge ja vooluimpulsid parasitvoolude mõõtmisel intervalliga 0.125 s



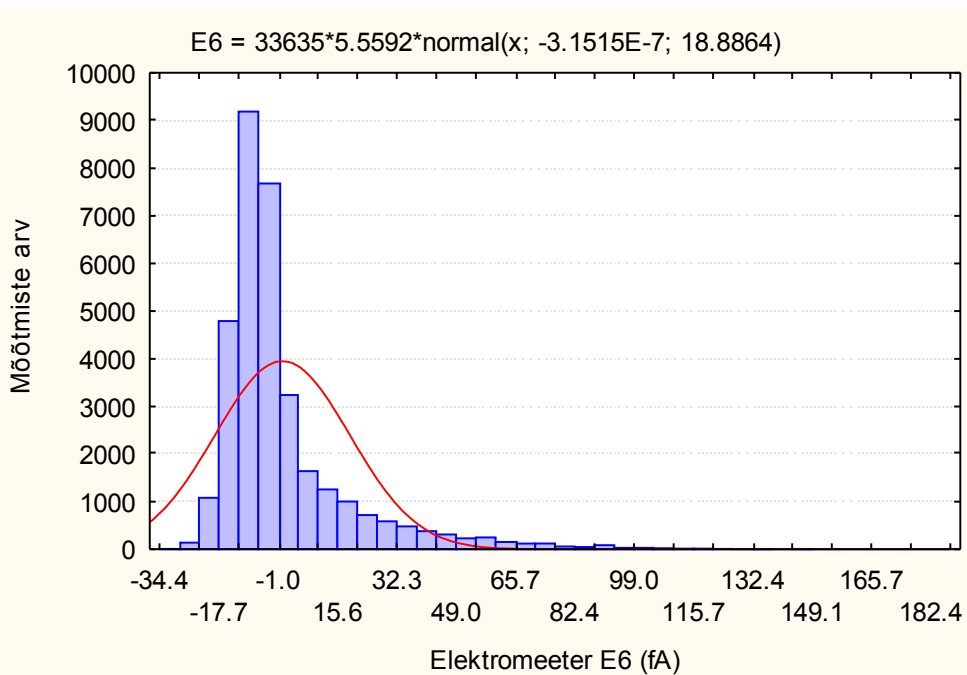
Joonis 4.2. Elektromeetri E6 väljundpinge ja vooluimpulsid parasitvoolude mõõtmisel intervalliga 0.125 s



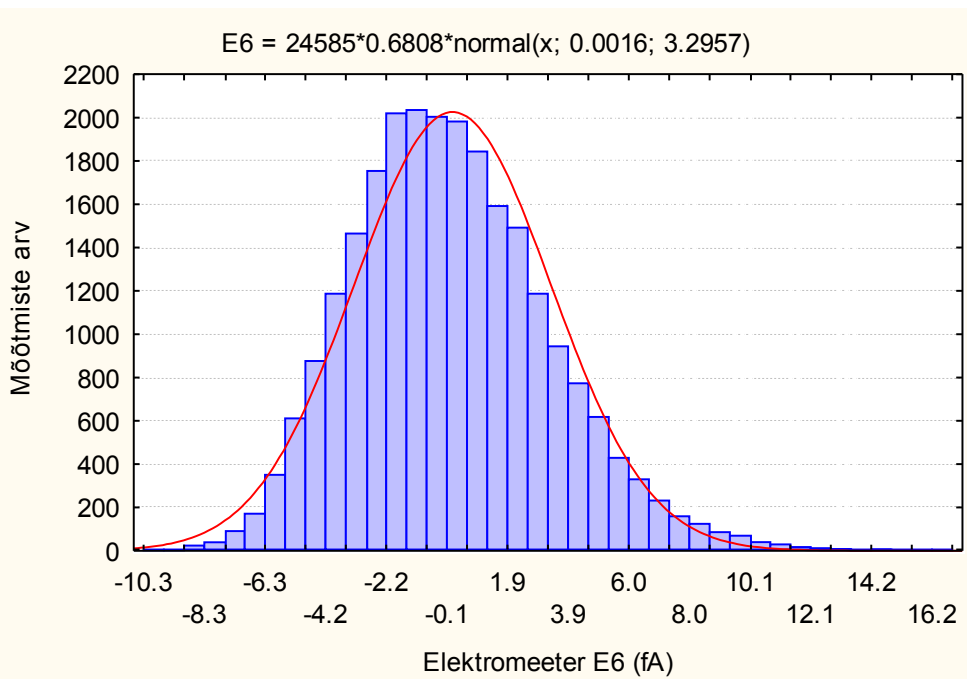
Joonis 4.3. Elektromeetri E3 parasitvoolude histogramm 0.125 s intervalliga mõõtmisel



Joonis 4.4. Elektromeetri E3 parasitvoolude histogramm 4 s intervalliga mõõtmisel



Joonis 4.5. Elektromeetri E6 parasitvoolude histogramm 0.125 s intervalliga mõõtmisel

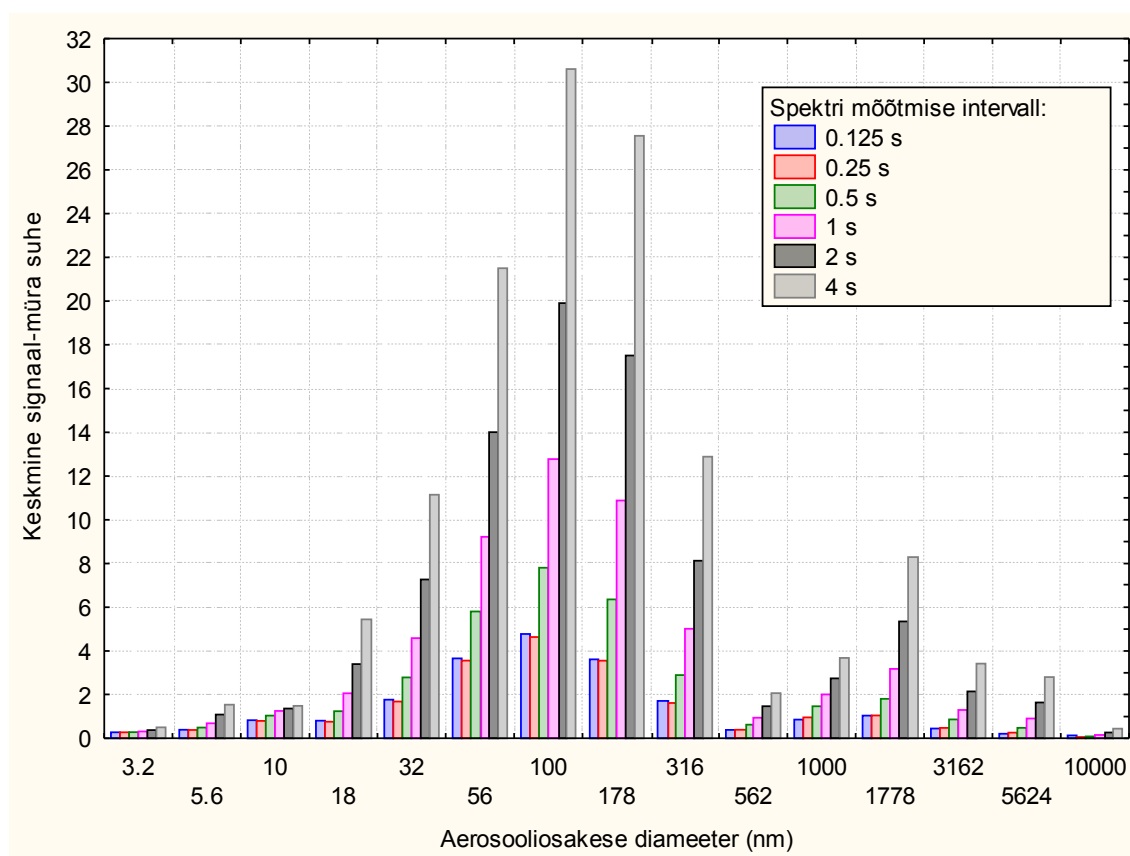


Joonis 4.6. Elektromeetri E6 parasitvoolude histogramm 4 s intervalliga mõõtmisel

4.3 Aerosoolispektri signaal-müra suhe

Ajavahemikus 12.05.2006 kuni 14.05.2006 mõõdeti linnaaerosooli spektreid EAS'ga, milles Lawson 201 kontrolleri oli asendatud FSDAS'ga. Mõõtmine toimus Keskkonnafüüsika instituudi aerosoolilaboris Tähe 4-208, umbes 150 meetri kaugusel linna põhitänavast. Aerosooli sissevõtuava asus maja välisseinas, ligikaudu 12 meetri kõrgusel maapinnast. Hilisemaks analüüsiks registreeriti toorandmetena elektrometrite väljundpinged intervalliga 0.125 s.

Toorandmete alusel leiti aerosoolispektrite signaal-müra suhe 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2 ja 4 sekundilise spektri mõõtmise perioodide korral. Tulemused on toodud joonisel 4.7.



Joonis 4.7. Keskmine aerosoolispektrite signaal-müra suhe erinevate spektri mõõtmise perioodide korral.

Jooniselt on näha, et pikemale spektrite mõõtmise perioodile vastab ootuspäraselt parem signaal-müra suhe. Signaal-müra suhe sõltub suuresti osakeste reaalsest kontsentratsioonist mõõtmise hetkel – suurema kontsentratsiooniga osakeste piirkonnas on kõrgem signaal-müra tase. Võttes signaali eristamiseks aluseks vähemalt kahekordse

müranivoo, selgub jooniselt, et ühesekundilise perioodiga oli võimalik väikeseid aerosooliosakesi registreerida vahemikus 18 kuni 316 nm.

4.4 Signaal-müra suhte parendamine

Eelmises punktis kirjeldatud spektrite mõõtmisi korrati FSDAS kontrolleri väiksema omamüraga – 256 lugemi keskmistamise režiimis. Loodetud signaal-müra suhte paranemist ei olnud märgata. Elektromeetritel mõõtmisel domineerivad elektromeetrite endi müra ja vooluimpulssidest tingitud häired.

Vooluimpulssidest tingitud mõju saab lihtsamal juhul vähendada libiseva aritmeetilise keskmistamisega koos ekstreemaväärtuste elimineerimisega üle N voolu lugemi:

$$x'_i = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_{t+i} - \min_{i=0..N-1} x_{t+i} - \max_{i=0..N-1} x_{t+i}}{N-2} \quad (4.1)$$

Valemi 4.1 rakendamisel suvalise $N > 2$ korral, tuleb signaal-müra suhete paranemist võrrelda N korda pikema perioodi spektrite mõõtmise tulemustega.

Elektromeetrite parasiitvoolude 0.125 sekundilise intervalliga mõõtmistele rakendati valmit 4.1 keskmistamisega üle 4, 8, 16, 32 ja 41 lugemi. Selle tulemusena saadi 0.5, 1, 2, 4 ja 5.125 sekundilise perioodiga mõõtmiste parasiitvoolude standardhälbed, mis on kantud tabelisse 4.2. Võrreldes tabeliga 4.1, on täheldatav kuni kahekordne müra vähenemine.

Elektromeetri E6 parasiitvoolu 0.125 sekundilise intervalliga mõõtmisel, valemi 4.1 rakendamisel $N=32$ korral, leitud voolude jaotus on toodud joonisel 4.8. Võrreldes joonistega 4.5 ja 4.6, on täheldatav jaotuse kuju lähenemine normaaljaotusele ning neljasekundilise intervalliga mõõtmisel on saavutatud väiksem standardhälve – 3.0 fA vs. 3.3 fA.

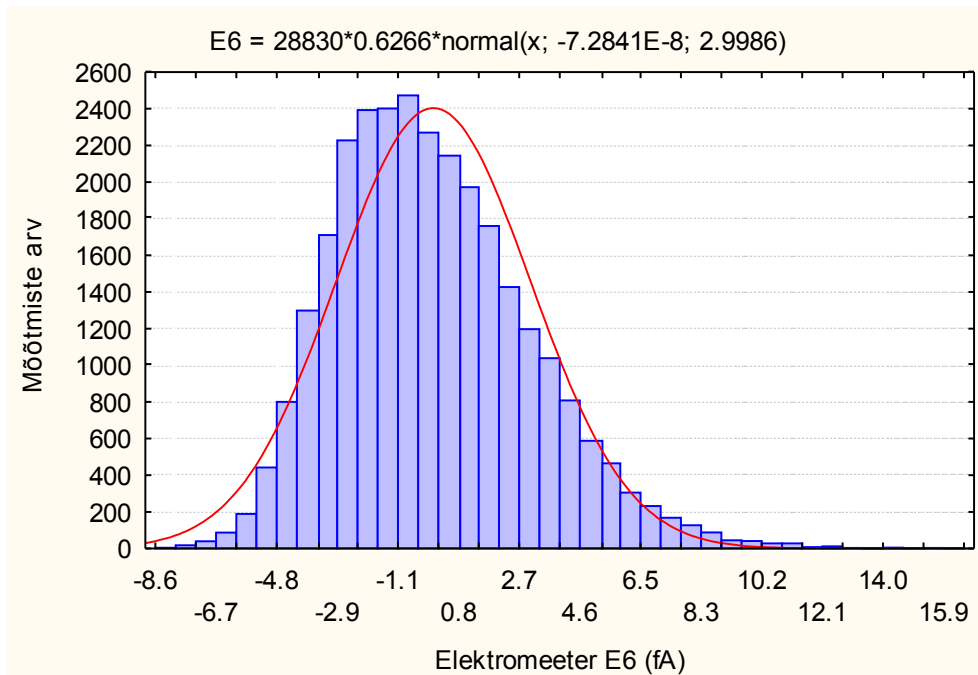
Joonisel 4.9 on leitud ühe- ja neljasekundiliste spektrite mõõtmiste perioodide korral ilma keskmistamiseta ja koos erinevate keskmistamise parameetritega signaal-müra suhted. $N=32$ ekstreemumite elimineerimisega keskmistamise kasutamine 0.125 sekundilise intervalliga mõõtmistele andis parema tulemuse, kui $N=8$ rakendamine 0.5

Elektro- meeter	FSDAS					Lawson 201	\overline{I}_{Spk}
	0.5 s	1 s	2 s	4 s	5.125 s	5.14 s	
E1	3.2	1.8	1.2	0.9	0.8	1.4	0.0
E2	2.9	1.7	1.2	0.9	0.8	1.4	0.1
E3	2.7	1.6	1.2	0.9	0.8	1.2	0.7
E4	3.1	1.9	1.4	1.1	1.0	1.5	1.4
E5	5.7	3.9	3.0	2.3	2.0	2.3	5.8
E6	8.0	5.5	4.1	3.0	2.7	2.7	15.2
E7	7.7	5.3	3.9	2.8	2.5	2.6	3.0
E8	7.0	4.8	3.7	2.8	2.5	2.3	17.7
E9	8.8	6.1	4.5	3.3	2.9	2.4	40.0
E10	5.2	3.5	2.6	2.0	1.8	1.9	71.1
E11	2.7	1.5	1.0	0.8	0.7	1.2	83.1
E12	2.3	1.2	0.7	0.4	0.4	0.8	98.0
E13	5.7	2.7	1.4	0.7	0.6	0.6	121.5
E14	10.8	5.3	2.9	1.6	1.3	0.5	123.4
E15	7.5	3.3	1.6	0.8	0.7	0.6	118.9
E16	5.0	2.2	1.1	0.6	0.5	1.2	101.4
E17	5.3	2.3	1.2	0.6	0.5	0.5	76.3
E18	5.2	2.3	1.1	0.6	0.5	0.4	46.4
E19	4.5	2.0	1.0	0.5	0.4	0.5	24.2
E20	5.1	2.3	1.2	0.6	0.5	0.4	7.1
E21	2.4	1.2	0.7	0.5	0.4	0.6	6.7
E22	2.4	1.2	0.7	0.5	0.4	0.6	9.7
E23	2.0	1.0	0.6	0.4	0.3	0.6	8.9
E24	2.3	1.2	0.7	0.4	0.4	0.6	10.3
E25	2.2	1.1	0.6	0.4	0.3	0.5	7.7
E26	2.3	1.1	0.6	0.3	0.3	0.5	6.1
E27	2.3	1.1	0.6	0.3	0.3	0.5	5.9
E28	2.2	1.1	0.6	0.3	0.3	0.4	2.6
E29	1.8	0.9	0.5	0.3	0.2	0.6	1.8
E30	1.9	0.9	0.5	0.3	0.3	0.5	1.9
E31	1.9	0.9	0.5	0.3	0.3	0.9	2.0
E32	1.7	0.9	0.5	0.4	0.3	0.7	0.4

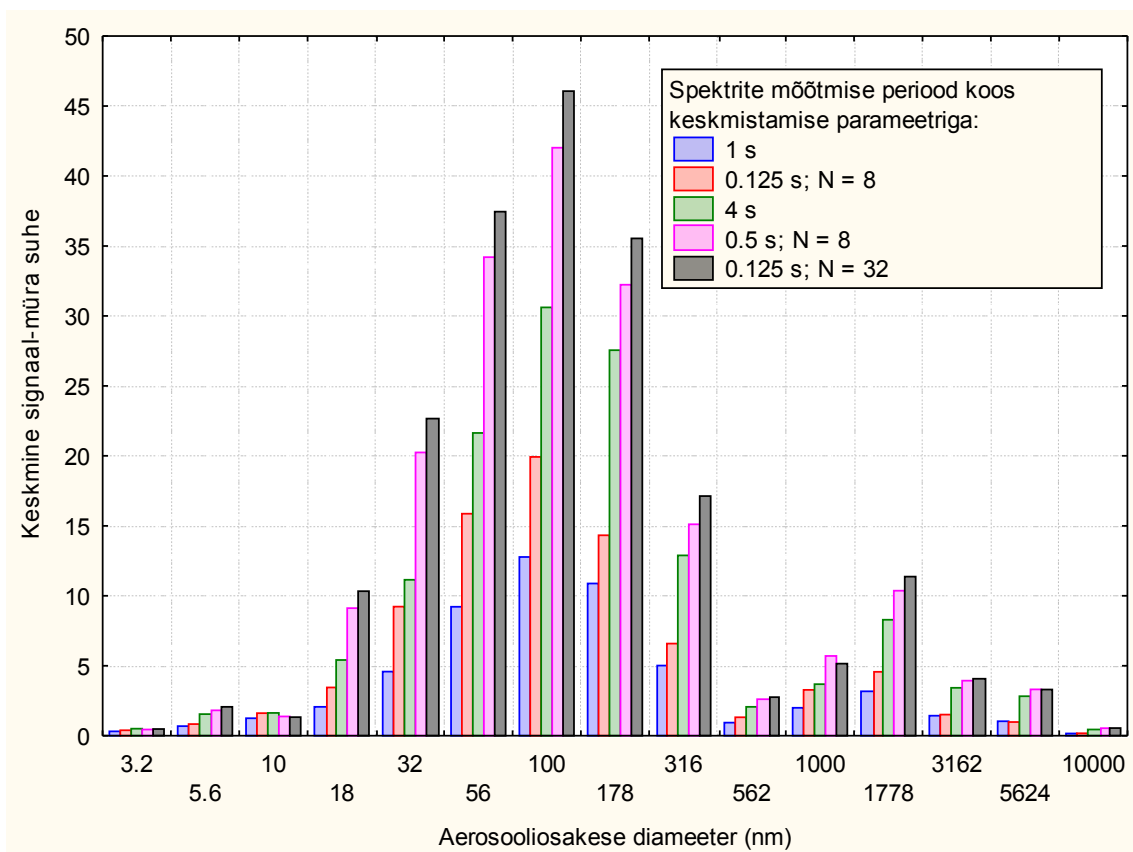
Tabel 4.2. Elektromeetrite parasiitvoolude 0.125 s intervalliga mõõtmiste ekstreemumite ellimineerimisega keskmistamisel saadud standardhälbed erinevate spektri mõõtmise perioodide korral kontrollritega FSDAS. Võrdluseks Lawson 201 ja keskmine vool linnaaerosooli spektrite mõõtmisel I_{Spk} . Kõik ühikud femptoamprites.

sekundilise intervalliga mõõtmistele. Võrreldes eelmiste ilma keskmistamata tulemustega, saavutati kuni 50% signaal-müra suhte paranemine.

Spektrite kiirem mõõtmine annab rohkem informatsiooni signaali jaotusest. Täpsem voolude jaotuse teadmine annab võimaluse rakendada sobivamaid filtreid ja seeläbi suurendada signaal-müra suhet.



Joonis 4.8. Elektromeetri E6 parasiitvoolude histogramm 0.125 sekundilise perioodiga spektrite keskmistamisel valemiga 4.1 üle $N=32$ mõõtmise



Joonis 4.9. Aerosoolispektrite signaal-müra suhted erinevate spektrite mõõtmise perioodide ning libiseva aritmeetilise keskmistamise rakendamisel koos ekstreemalväärtuste elimineerimisega

5 KOKKUVÕTE

Kiirete mõõtmiste teostamiseks ehitati ja programmeeriti tarkvara uuele kontrolleriile, mis suudab mõõta aerosooliosakeste jaotusi kiirusega kuni 60 spektrit sekundis. Uuritakse ja analüüsitakse spetsiifilisi, kiirete mõõtmistega seoses tekkivaid probleeme ning nende lahendusi. Võrreldi erinevate pingemuundite ja muundamiste režiimide müra, leiti moodus optimaalse režiimi valikuks sõltuvalt soovitud mõõtmise kiirusest. Uut kontrolleriit uuriti ja testiti labori tingimustes. Põhirõhk oli elektromeetrite parasiitvoolude ja omamürade vähendamisel. Leiti, et oluliseks müra allikaks on spetsiifiline impulssmüra, mis avaldub just kiiretel mõõtmisel.

Atmosfääriaerosoli jaotuse mõõtmisel leiti, et ühesekundilise sagedusega on võimalik mõõta aerosoolijaotusi alates 18 nm suurustest osakekestest.

Uus müra töötlemise algoritm võimaldas vähendada müra taset pea kaks korda ja viia mõõdetavate osakeste suuruste piiri 10 nm lähedale.

Edasine mõõtmiste parandamine on võimalik, kui kasutada mitut analoog-digitaalmuundit paralleelselt, parandada elektromeetrite juhtimist, arvestada müra impulss-iseloomu spektrite arvutamisel.

Töö teesid on avaldatud kogumikus *Journal of Aerosol Science, Abstracts of European Aerosol Conference, Budapest 2004, Volume II* [16], ette kantud Euroopa aerosoolikonverentsil Budapestis 2004 (stendiettekanne) ja rahvusvahelisel nukleatsioonialasel seminaril Pühajärvel 2004.

Käesolevat tööd on toetatud ETF grantidest 5387 ja 5855.

Suured tänud Toomas Bernotasele, kes disainis uue kontrolleri ja abistas erinevate tehniliste probleemide lahendamisel. Tänud ka AS Airelile, OÜ Vihmapuule ja kõigile teistele, kes aitasid kaasa antud töö valmimisele.

6 SUMMARY

Fast Measurements of the Aerosol Size Distribution

The goal of this work was to improve the measurement speed and sensitivity of the Electrical Aerosol Spectrometer (EAS), proprietary of the University of Tartu. A new controller, named FSDAS (Fast Spectrometry Data Acquisition System), was designed and built for the EAS data acquisition system.

Various speed and noise measurement tests were made with different analog-to-digital converters and the most suitable one was picked for the FSDAS.

EAS was equipped with the new fine tuned FSDAS controller and multiple experimental indoor and urban aerosol measurements were conducted. During these experiments EAS' electrometers output voltages were measured with reasonably high speed – 0.125 seconds per spectrum, and stored to computer hard disk as a raw data. The collected data was analysed later. As the voltage measurements were statistically independent and due to the nature of integrating electrometer measurement principle, it was possible to simulate longer aerosol spectra periods from the same collected data by picking up the voltage result from the raw data with the right timing.

A new information about the electrometers noise distribution allowed to implement a better signal processing filter. With this new filter and FSDAS controller the aerosol spectra measurement signal-to-noise ratio was improved up to 50%. It was possible to measure aerosol concentration with 1 second period for smaller particles with diameters from 18 nm to 316 nm.

7 KASUTATUD KIRJANDUS

- 1 E. Tamm, Aerosoolifüüsika konspekt,
http://ael.physic.ut.ee/KF_public/Oppetyy/AEROSOOLIFYYSIKA_internetis_Ed_Tamm.pdf
- 2 Particle Measuring Systems, Inc., Particle Counter: LASAIR II 110,
<http://www.pmeasuring.com/particleCounting/aerosol/mobile/L2110>
- 3 TSI Inc., Scanning Mobility Particle Sizer™ Spectrometers,
<http://www.tsi.com/Product.aspx?Pid=85>
- 4 D. Baldocchi, R. Valentini, S. Running, W. Oechels and R. Dahlman (1996), Strategies for measuring and modelling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems, *Global Change Biology* **2**, 159-168.
- 5 G. Buzorius, Ü. Rannik, J. M. Mäkelä, T. Vesala and M. Kulmala (1998), Vertical aerosol particle fluxes measured by eddy covariance technique using condensational particle counter, *J. Aerosol Sci.* **29**, 157 - 171.
- 6 H. Tammet, A. Mirme and E. Tamm (2002), Electrical aerosol spectrometer of Tartu University, *Atmospheric Research* **62**, 315-324.
- 7 Lawson Labs, Inc., MODEL 201 24-BIT DATA ACQUISITION SYSTEM,
<http://www.lawsonlabs.com/specExternal201.html>
- 8 Texas Instruments, 24-Bit, 20kHz, Low Power ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER, <http://www-s.ti.com/sc/ds/ads1253.pdf>
- 9 Analog Devices, Inc., ADUC845 - Precision Analog Microcontroller: 12MIPS 8052 Flash MCU + 10-Ch 24-Bit ADC + 12-Bit DAC,
http://www.analog.com/en/prod/0,,762_762_ADUC845,00.html
- 10 Analog Devices, Inc., AD7712 - CMOS, 24-Bit Sigma-Delta, Signal Conditioning ADC with 2 Analog Input Channels,
<http://www.analog.com/en/prod/0,,AD7712,00.html>
- 11 Analog Devices, Inc., EVAL-ADuc845QS Schematic,
http://www.analog.com/UploadedFiles/Associated_Docs/671728330ADuC_845_PC_B_0.pdf
- 12 Atmel Corporation, ATmega8515,
http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=2006
- 13 Philips Semiconductors, PCF8583; Clock/calendar with 240 x 8-bit RAM,
<http://www.semiconductors.philips.com/pip/PCF8583.html>
- 14 Maxim Integrated Products, Inc., DS1621 Digital Thermometer and Thermostat ,
http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2737
- 15 Samsung Electronics, KM681000E, 128K x 8 bit Low Power CMOS Static RAM,
<http://www.samsung.com/Products/Semiconductor/LowPowerSRAM/5V/1Mbit/KM681000E/KM681000E.htm>

- 16 R. Paat, T. Bernotas and A. Mirme (2004), Controller and Data Acquisition for Monitoring Fast Variations of Atmospheric Aerosol Spectrum, *J. Aerosol Sci.* (Abstr. European Aerosol Conf. 2004, Budapest, Suppl. 2), **35**, S845-S846.

8 LISAD

8.1 EAS'ga aerosoolispektrite mõõtmise plokk-skeemid

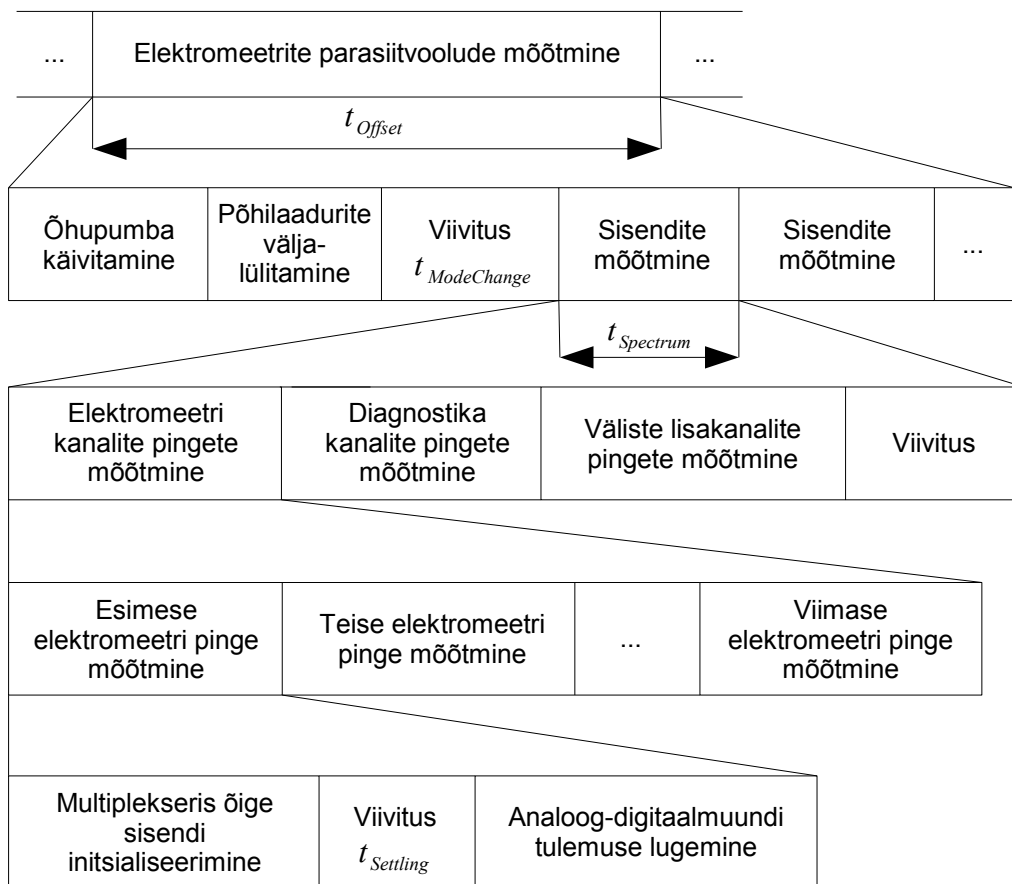
<i>Muutuja</i>	<i>Kirjeldus</i>	<i>Väärtus (s)</i>
t_{WarmUp}	elektrometrite, analüsaatorite ja laadurite kõrgepingeplokkide ning kontrolleri analoog-digitaalmuundi käivitamisel soojenemiseks ning töörežiimi saavutamiseks kuluv aeg	60
t_{Offset}	elektrometrite parasiitvoolude mõõtmise aeg	100
$t_{Measurement}$	aerosooli spektrite mõõtmise aeg	200
$t_{ModeChange}$	aeg, mis tuleb oodata pärast režiimi vahetust, et põhilaadurid jõuaksid sisse lülituda ja uuritav aerosool analüsaatoris välja vahetuda	12
$t_{Spectrum}$	kõikide elektrometrite ja diagnostika-kanalite mõõtmise periood	10*
$t_{Settling}$	pärast analoog-digitaalmuundi sisendi vahetamist lugemi stabiliseerumiseks kuluv aeg.	0.120*

* - kehtib kontrolleri Lawson 201

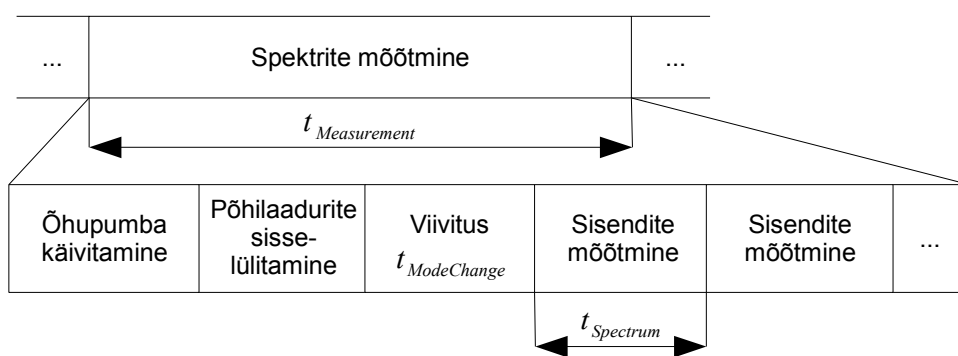
Tabel 8.1. Aerosoolispektrite mõõtmisel kasutatavate muutujate kirjeldused koos tüüpiliste väärtustega

Algkäivitus ja -soojenemine	Elektrometrite parasiitvoolude mõõtmine	Spektrite mõõtmine	Elektrometrite parasiitvoolude mõõtmine	Spektrite mõõtmine	...
Ühenduse loomine kontrolleri	Kontrolleri registrite initsialiseerimine	Õhupumba käivitamine	Eellaadurite sisselülitamine	Viiivitus t_{WarmUp}	

Joonis 8.1. Üldine mõõtmine

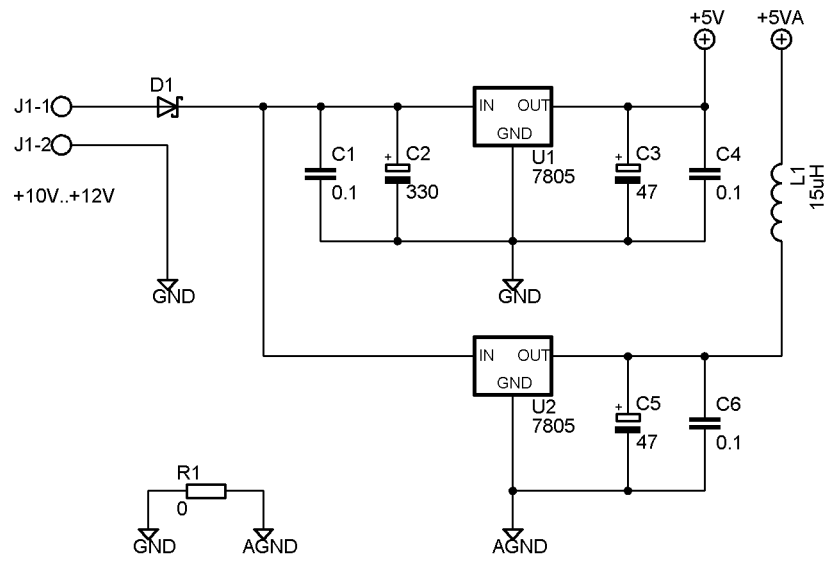


Joonis 8.2. Parasitvoolude mõõtmise plokk-skeem

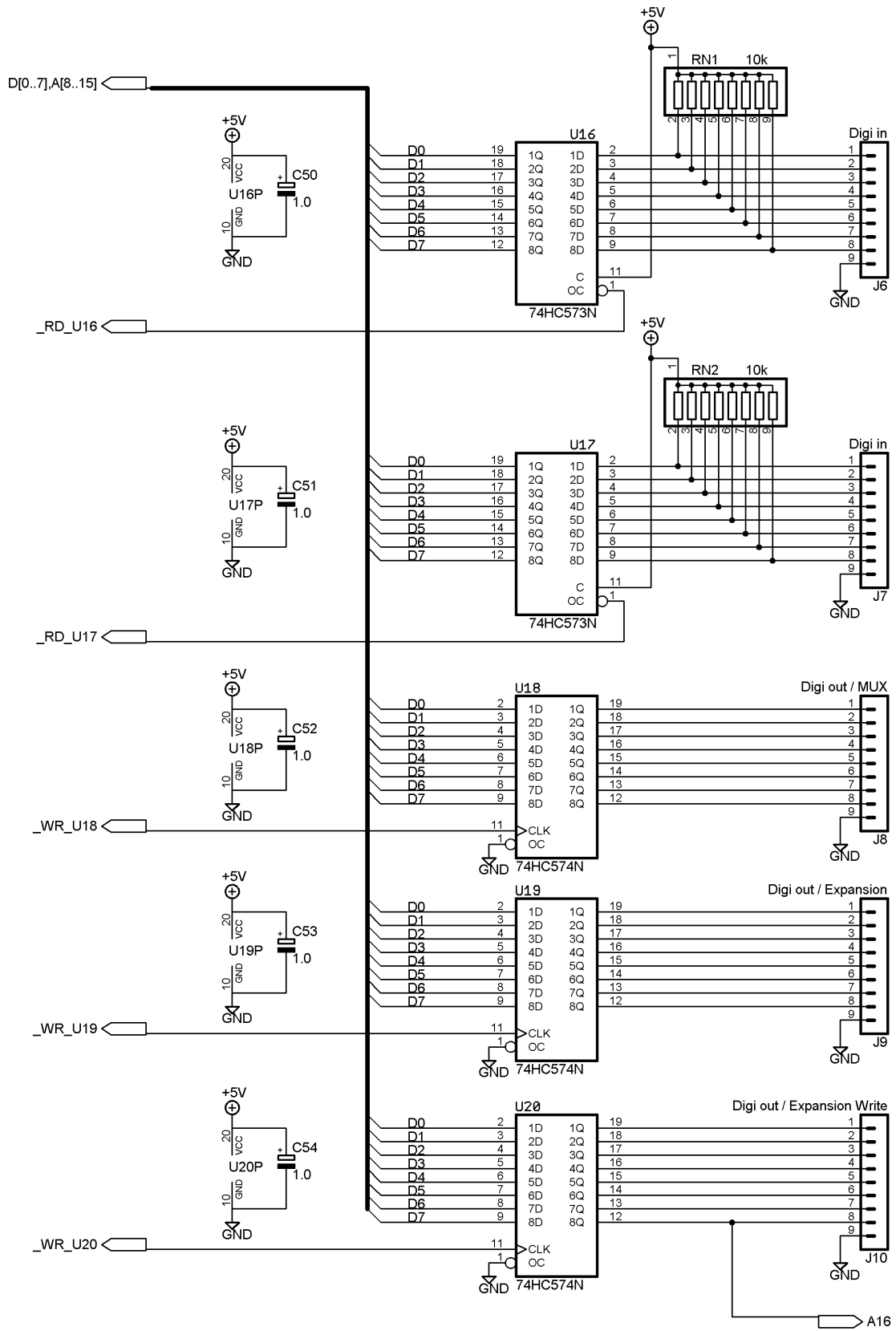


Joonis 8.3. Spektrite mõõtmise üldine plokk-skeem

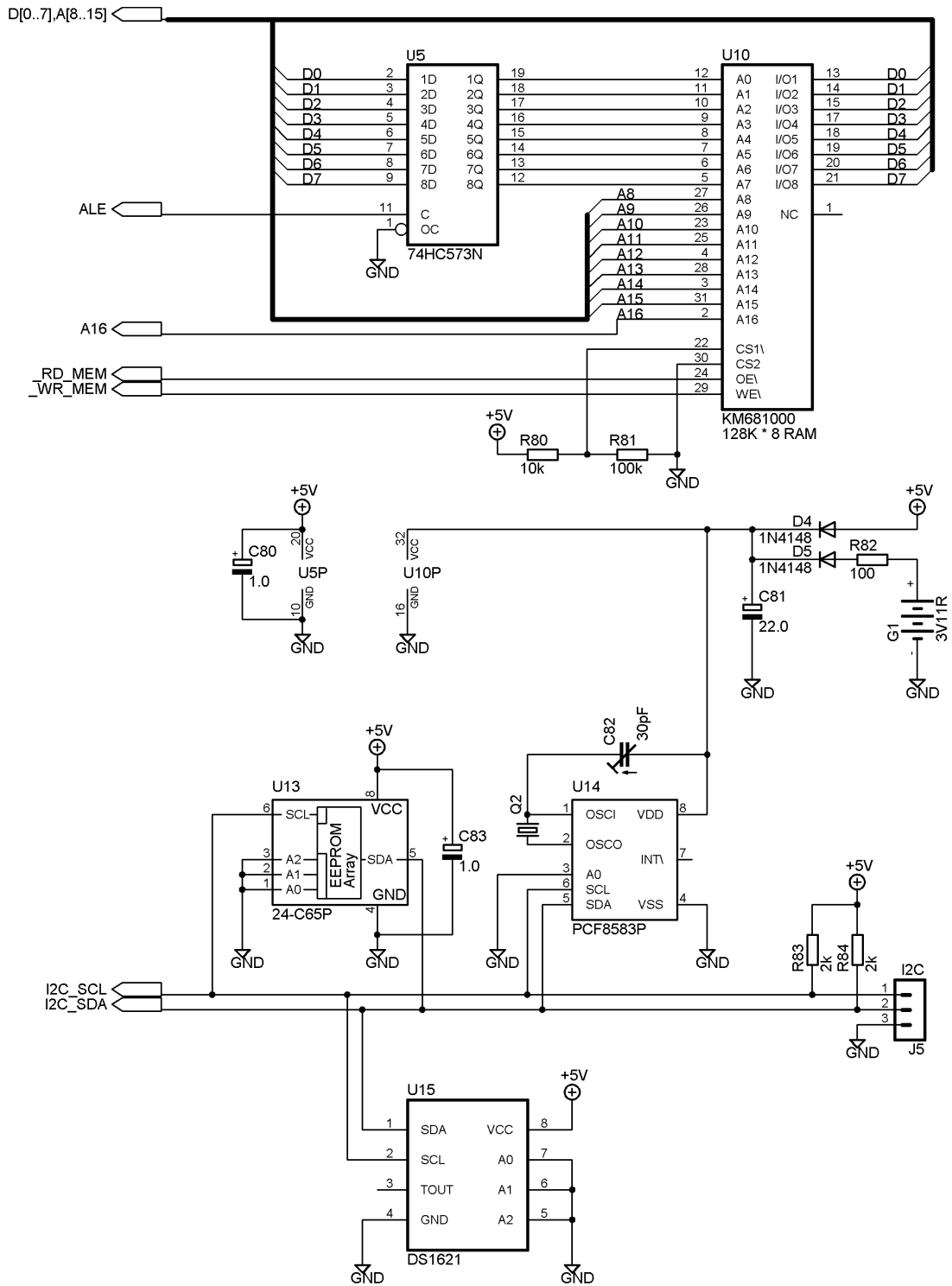
8.2 FSDAS kontrolleri skeemid



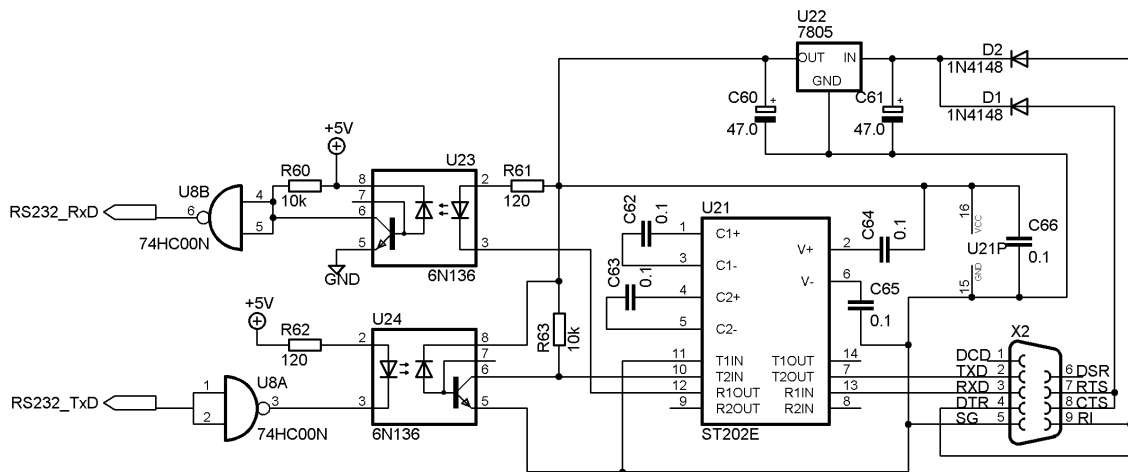
Joonis 8.4. Eraldi toited analoog- ja digitaalhelatele



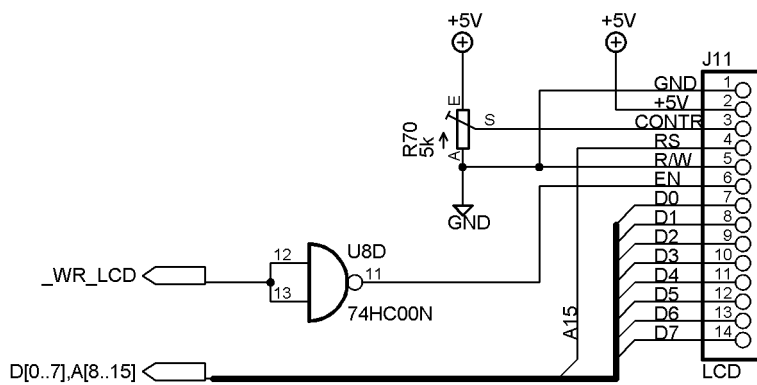
Joonis 8.7. Digitaalsed sisend- ja väljundkanalid



Joonis 8.8. Väline muutmälu ja I2C siinil EEPROM mälu, reaalaaja-kell ning termomeeter



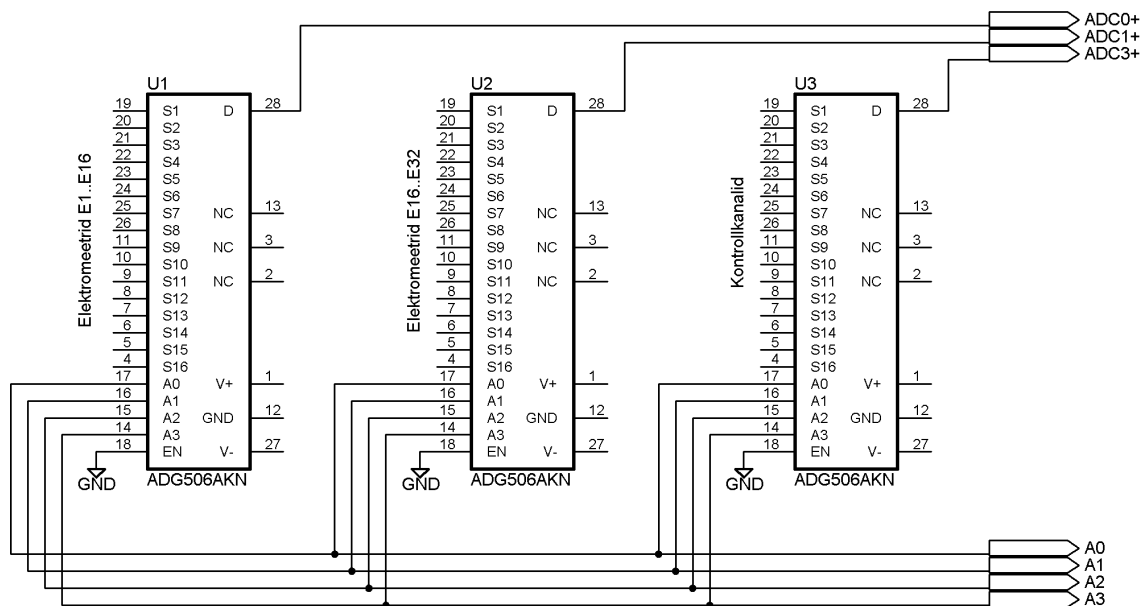
Joonis 8.9. Optiliselt eraldatud RS232 jadaliides



Joonis 8.10. LCD ekraani liides

8.3 Analoogmultiplekserite plokk

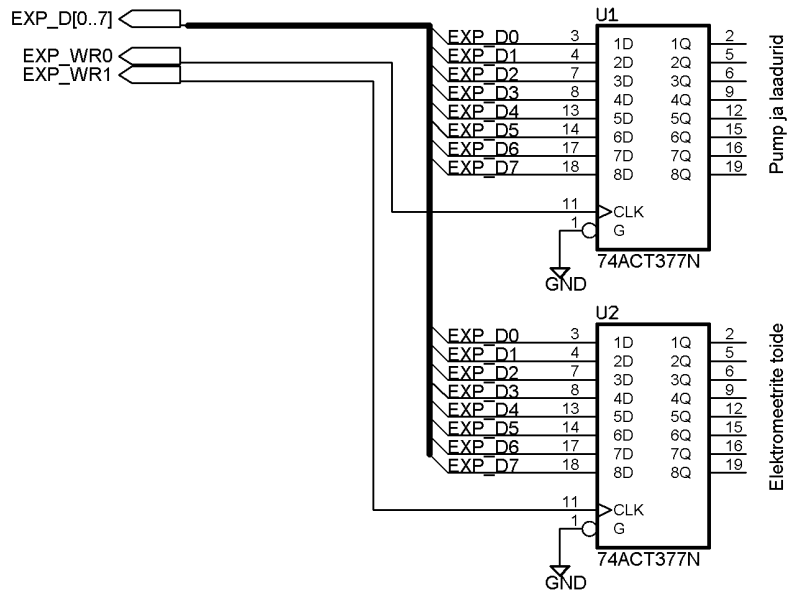
Multipleksereid kasutatakse analoogsisendite arvu suurendamiseks. Multiplekserite väljundid on ühendatud Lawson 201'ga vastvalt analoogsisendite ADC0+, ADC1+ ja ADC3+ viikudega. Multiplekseri sisendi valiku viigud A0...A3 on ühendatud Lawson 201'e optiliselt eraldatud digitaalväljunditega.



Joonis 8.11. Multiplekserite ühenduse plokk-skeem

8.4 Väljundregistrite plokk

Laiendatud väljundregistrite plokki kasutatakse EAS's töörežiimi muutmiseks. Lawson 201'ga ühendatakse laienduspesa.



Joonis 8.12. EAS töörežiimi registrid