

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Dmitri Pavlõtšev 204416IABM

Suitsugaaside seiremudel ettevõttes Enefit 140

Magistritöö

Juhendaja: Veroonika Shirokova

Tallinn 2022

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Dmitri Pavlõtšev

11.05.2022

Annotatsioon

Magistritöö teema on „Suitsugaaside seiremudel ettevõttes Enefit 140“.

Ettevõttes kasutatakse erinevaid tarkvarasid tööprotsessi parameetrite ja tehnoloogilise režiimi jälgimiseks. Samas puuduvad oskused ja võimalused õigeaegselt saada vajalikke parameetreid tehnoloogiliste protsesside analüüsimiseks.

Uuringu objektiks on Eesti Energia kontsernile kuuluv õlide keemilise tootmise suitsugaaside seiresüsteem Enefit 140. Magistritöö eesmärgiks on uurida ja analüüsida olemasolevaid suitsugaaside seiresüsteeme, et luua füüsiline intelligentne mudel reaalajas andmeedastuseks.

Töö on pühendatud aktuaalsele ja olulisele füüsikaliste suuruste muutuste reaalajas jälgimise küsimusele. Mudeli uurimisel saadud tulemused aitavad valida Enefit 140 tehase suitsugaaside seireks õigeid seadmeid.

Mudel on loodud Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži seadmete baasil. Kõik mudeli seadmed on registreeritud ühtsesse kõrgkooli võrku ning andmeid saab jälgida Wi-Fi kaudu.

Töös teostatud arvutused, analüüs ja andmetöötlus on tehtud kasutades Mobile tarkvara - Cassy 2 ja MatLAB.

Võtmesõnad: monitooring reaalajas, mõõtmiste täpsus, füüsikaline mudel, andmete visualiseerimine, MatLab

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 38 leheküljel, 3 peatükki, 30 joonist, 3 tabelit.

Abstract

The topic of the master's thesis is "Flue gas monitoring model in Enefit 140".

Companies use various software to monitor work process parameters and technological mode. At the same time, there are no skills and opportunities to obtain the necessary parameters for the analysis of technological processes in time.

The object of the research is the flue gas monitoring system for the chemical production of oils Enefit 140, owned by the Eesti Energia concern. The purpose of the master's work is to study and analyze existing flue gas monitoring systems, in order to create a physical intelligent model for real-time data transmission.

The work is devoted to the topical and important issue of real-time monitoring of changes in physical quantities. The results obtained from the study of the model will help to choose the right equipment for flue gas monitoring at the Enefit 140 plant.

The model was created on the basis of the equipment of Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledž. All devices of the model were registered in a single college network, and the data can be monitored via Wi-Fi. In the work, calculations, analysis and data processing were carried out using the Mobile software - Cassy 2 and MatLAB.

Keywords: real-time monitoring, measurement accuracy, physical model, data visualization, MatLab

The dissertation is written in Estonian and contains 38 pages of text, 3 chapters, 30 figures, 3 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

PM	Particulate Matter
H ₂ S	Hydrogen Sulfide
PCME	Particulate-Emission Monitoring Systems
TDLAS	Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy
ISO	International Organization for Standardization
CEMS	Continuous Emission Monitoring Systems
EPER	The European Pollutant Emission Register
Modbus	Sideprotokoll, mis põhineb ülem-alluv-arhitektuuril
PTC	Termistor
LEYBOLD	Kaubamärk
COM	Communications port

Sisukord

Sissejuhatus	9
1.PÕHIOSA.....	10
1.1. Ülevaade monitooringust.....	10
1.2. Seiresüsteemide tüübid ja eelised	12
1.3. Mõõtmist mõjutavad tegurid	14
1.4.Suitsugaaside jälgimise režiimid	15
1.5. Mõõtmistingimused töö ajal	16
2. Suitsugaaside seire uuring tootmises.....	17
2.1. Enefit 140-le paigaldatud seadmed.....	17
2.2. OPSIS orgaanilised mõõteseadmed.....	17
2.3. Seadmed tahkete osakeste mõõtmiseks.	18
2.4. Suitsugaaside hapniku mõõtmise seadmed.....	20
2.5. Seadmed vesiniksulfiidi mõõtmiseks	23
2.6. Automaatjuhtimis- ja reguleerimisseadmete valik	24
2.6.1. Seadmete süsteemi valik	24
2.6.2. Temperatuuri mõõtmise andur	24
2.7. Korstna rõhu mõõtmise seadmed	28
2.8. Andmete hankimise etapid	31
3. Monitooringu mudeli loomine	32
3.1. Eksperimentaalse seadistuse kokkupanek	32
3.2. Reaalajas jälgimine.....	33
3.3. Andmete kogumine, töötlemine ja visualiseerimine	37
Kokkuvõte	41
Kasutatud kirjandus.....	42
LISAD	46

Jooniste loetelu

Joonis 1. Põhilised lähenemisviisid keskkonnamõjude jälgimiseks [1].....	10
Joonis 2. Seirerežiim sõltuvalt piirnormi ületamise ohust [3].....	13
Joonis 3. Näited selle kohta, kuidas heitetasemed võivad aja jooksul muutuda [14].....	15
Joonis 4. OPSIS Varustusskeem.....	16
Joonis 5. Stack 602 seadme välimus	17
Joonis 6. Lineaarne seos signaali väljundi ja tolmu kontsentratsiooni vahel [38].....	18
Joonis 7. LaserGas 3 seadme välimus [41].....	19
Joonis 8. LaserGas 3 mõõtmise plokk skeem [41].....	19
Joonis 9. LaserGas 3 seadme välimus [28].....	20
Joonis 10. Gaasianalüsaatori üldvaade LaserGas II [28].....	21
Joonis 11. Instrumentide elektroonika plokk skeem [37].....	21
Joonis 12. Termistori tähistus diagrammil [19].....	23
Joonis 13. Termistori välimus [15].....	23
Joonis 14. Resistentsuse sõltuvus temperatuurist.....	23
Joonis 15. Termistori skeem [36].....	24
Joonis 16. Termistori jõudluse kontrollimine [15].....	24
Joonis 17. Suitsugaaside temperatuuri takistuse suhte graafik.....	25
Joonis 18. Membraani rõhuandur.....	26
Joonis 19. Rõhuanduri tööpõhimõte [29].....	26
Joonis 20. Mahtuvuslik mõõtmine [29].....	27
Joonis 21. Seiremudeli katseline seadistus.....	29
Joonis 22. Katse mudelivarustust.....	30
Joonis 23. Mõõtmisväljundid CASSY 2.....	31
Joonis 24. Seadme tüüp ja nuppude määramine.....	32
Joonis 25. Mõõtmisprotsess näide	33
Joonis 26. Andmete näitamine Cassy	33
Joonis 27. Teave allalaaditud andmete ja tulemuste kohta.....	35
Joonis 28. Parameetrite I, U, R, T monitooring.....	36
Joonis 29. Erinevate parameetrite monitooring reaajas.....	36
Joonis 30. Valgustuse mõõtmise ja andmete tulemused.....	37

Tabelite loetelu

Tabel 1. Maksimaalne lubatud kontsentratsioon.....	12
Tabel 2. AR600 analüsaatori mõõtmised.....	17
Tabel 3. AR650 analüsaatori mõõtmised.....	17

Sissejuhatus

Uurimisobjektiks on põlevkiviõlitehas Enefit Power Keemiatööstus AS Enefit 140 suitsugaaside seiresüsteem. Eesti Energia toodab põlevkivist aastas üle miljoni barreli põlevkiviõli. Kaks Enefit140 plokki, mis käivitati 1980. aastal, töötlevad aastas ligikaudu 1,6 miljonit tonni põlevkivi. Tehase maksimaalne aastane tootmisvõimsus on 240 000 tonni ehk 1,5 miljonit barrelit vedelkütust. Enefit140 toodab kolme fraktsiooni põlevkiviõli. Tehas kasutab õli tootmiseks umbes 1,9 miljonit tonni põlevkivi aastas.

Viimasel ajal on tugevdatud kontrolli suitsugaaside atmosfääri paiskamise üle. Tootmiskohas puudub nii hoiatussüsteem, kui ka reaajas andmete edastamine, et tehase töörežiime õigeaegselt muuta, vähendades seeläbi kahjulikke heitmeid atmosfääri. Seirenõuete lisamiseks kompleksloa nõuete hulka on kaks põhjust.

1. Loa nõuetele vastavuse hindamine: seire on vajalik rajatise toimivuse kindlakstegemiseks ja kvantifitseerimiseks, mis võimaldab ametiasutustel kontrollida asjakohaste tingimuste täitmist..
2. Kemikaalide tootmisest tulenevate heitmete keskkonnanaruandlus: seire on vajalik teabe saamiseks, mille alusel koostatakse aruandeid ettevõtete keskkonnanalaste õigusaktide nõuetele vastavuse kohta, näiteks Euroopa saasteainete heitkoguste registri (EPER) aruandluskohustuse täitmiseks [1].

Töö põhieesmärk on analüüsida ja hinnata olemasolevat heitgaaside kontrollisüsteemi ja muid saasteindikaatoreid, vaadata üle keemiatööstuses pideva heitgaasi seiresüsteemide (CEMS) rakendamise kogemused - töötada välja ja teha soovitusi suitsugaaside seire täiustamiseks süsteem Enefit 140 juures.

1.Põhiosa

Tööstusettevõtete tehnoloogilised protsessid on peamised keskkonnareostuse allikad. Kuna jäätmevabu tehnoloogiaid praktiliselt ei eksisteeri, on keskkonnakvaliteedi säilimise tagamiseks vaja mehhanisme ja tööriistu – nende ülesannetega tegeleb tootmise heitkoguste seiresüsteem.

1.1. Ülevaade monitooringust

Seire on tööstustegevusest eralduvate gaaside ja tahkete osakeste vaatlus ja analüüs.

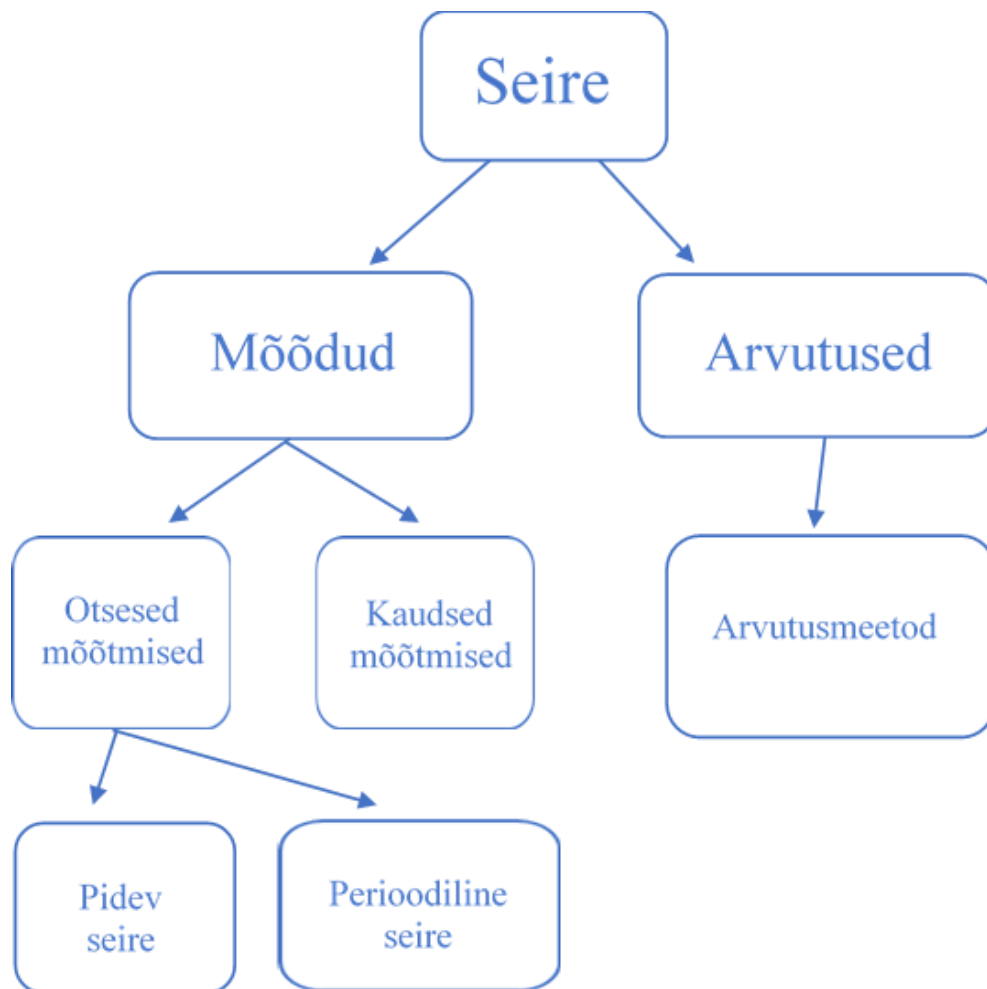
Oma igapäevases tegevuses tekitab enamik tootmisettevõteteid oma protsesside kõrvalsaadusena gaase ja tahkeid osakesi. Heitmete seire on muutunud ainsaks võimaluseks põlemist kontrollida, see tähendab kui kütuse ja hapniku segu põlemisprotsessis on optimaalsest väiksem, kajastab gaaside segu tekkivates heitmetes seda asjaolu. Seega annab heitmete monitooring kogu vajaliku informatsiooni, et põlemisprotsess oleks võimalikult tõhus. See omakorda toob kaasa saasteainete heitkoguste vähenemise.

Järelevalveprotsess sisaldab alati nelja põhietappi:

- 1) seireobjekti vaatlus;
- 2) seireobjekti tegeliku seisundi hindamine;
- 3) jälgitava objekti seisundi võimalike muutuste prognoos;
- 4) hinnang objekti prognoositavale seisundile.

Projekteeritavatele seiresüsteemidele tehniliste nõuete määramisel tuleks arvesse võtta vajalikku mõõtmisagedust ja saadud andmete keskmistamisega. Suurel määral just seiremeetodi valik määrab need näitajad.

Joonisel 1 on kujutatud seiresüsteemi korraldamise peamised lähenemisviisid.



Joonis 1. Põhilised lähenemisviisid keskkonnamõjude jälgimiseks [1].

Otseed mõõtmised tehakse mõõteriistade abil. Sellist lähenemist kahjulike heitmete kontrollile ja arvestusele võib pidada kõige lihtsamaks. See tagab mõõtmiste piisavalt kõrge täpsuse. Kui otsemõõtmiste korraldamine nõuab märkimisväärseid rahalisi kulusi, siis eraldi või koos otsemõõtmistega tuleb seiresüsteemi loomiseks kasutada muid lähenemisviise. Otseste mõõtmiste abil teostatud seire võib olla pidev või perioodiline.

1.2. Seiresüsteemide tüübid ja eelised

Pideval jälgimisel on mitmeid eeliseid ja võimalusi:

- andmemahu saamine;
- heitandmete kasutamine protsessi juhtimiseks;
- seiresüsteemi majandusliku efektiivsuse tõstmine;
- ülemääraste heitkoguste kontroll;
- avaliku usalduse suurendamine seiretulemuste suhtes.

Periodilist seiret saab kasutada siis, kui on vaja vähendada seire maksumust ja vajadusel korraldada lisakontrolli [3].

Kaudsed mõõtmised, mille käigus kontrollitavate parameetrite väärtuste mõõtmised määratakse soovitud parameetri ja muude otsemõõtmistel saadud parameetrite vahelise teadaoleva seose põhjal. Kaudsete mõõtmiste tulemuste kasutamine võimaldab vähendada seire materjalikulusid ja protsessiseadmetega koostoime määra. Samas ei võimalda kaudsed mõõtmised alati saada koguse absoluutväärtust ja andmete nõutavat täpsust. Lisaks on saadud mõõtmistulemused reeglina õiged vaid piiratud hulga tehniliste tingimuste ja tööparameetrite puhul [3].

Kaudsete mõõtmiste kasutamine annab mõnel juhul piisava ettekujutuse heitmete olemusest ja koostisest. Näiteks korstna väljalaskeava temperatuuriandmete põhjal on võimalik anda kvalitatiivne hinnang saasteainete emissioonile. Seetõttu on otseste ja kaudsete mõõtmiste kombineeritud kasutamisel võimalik saada piisavalt täielikku ja õiget teavet tehnoloogilise protsessi kohta [3].

Seega on hetkel riigi jaoks kõige sobivam lähenemine kemikaalide tootmise keskkonnamõju seiresüsteemi korraldamisel otseste ja kaudsete mõõtmiste kombinatsioon. Majandusliku efektiivsuse tõstmiseks ja protsesside optimeerimiseks otsemõõtmisi tuleb teha pidevalt.

Valides ühe neist seiremeetoditest, tuleb leida õige tasakaal meetodi kättesaadavuse, töökindluse, usaldusväärsuse, kulude ja keskkonnakasu vahel.

Selliste tehnoloogiate järgimist võib olla vaja jälgida kahel peamisel põhjusel:

1. veenduda, et tootmise heitkogused on piirides, näiteks hinnata keskkonnanõuetele vastavust;
2. selgitada välja konkreetse objekti panus üldisesse keskkonnareostusse, näiteks perioodilise keskkonnanõuete koostamise raames Eesti Keskkonnateenistuse käsitlusele [7].

Tabel 1. Maksimaalne lubatud kontsentratsioon

Enefit 140	
Aine nimetus	Lubatud kontsentratsioon (mg/Nm ³)
Dust (PM)	166,67
H ₂ S	180
SO ₂	416,67
NO _x	333,34
Fenool	>150 m
Alifaatsed süsivesinikud (CH ₄)	>1000

Suitsugaaside komponendid on loetletud allpool:

Tahkeid osakesi nimetatakse tolmuosakesteks, osakeste suurus varieerub sõltuvalt päritolust (mõnest nanomeetrist (nm) mõne mikronini (µm)).

Hydrogen Sulfide H₂S - kollase/rohelise värvusega tahke ja keemiliselt väga aktiivne aine .

Enne seirega alustamist peavad keemiatööstus ja Eesti Keskkonnateenistus selgelt määratlema, millised on selle seire eesmärgid. Lisaks peavad seire eesmärgid ja vastav süsteem olema arusaadavad kõikidele kaasatud kolmandatele isikutele, sealhulgas kolmandatest isikutest töövõtjatele ja teistele võimalikele mõõtmisandmete kasutajatele.

1.3. Mõõtmist mõjutavad tegurid

Heitkoguste piirnormide ületamise tõenäosust mõjutavad tegurid on toodud nende tegurite hindamise tulemuste kokkuvõttes lihtsal diagrammil heite piirnormide ületamise tagajärgede tõenäosuse ja tõsiduse seosena (Joonis 2) [8].

Olenevalt tulemuse asukohast riskipõhiseks analüüsiks kasutataval ruudustikul valitakse tehnoloogilise protsessi tavarežiimi jaoks sobivad seiretingimused [3].

Tõenäosus	Kõrge	3	4	4
	Keskmine	2	3	4
	Madal	1	2	3
1. Juhuslik 2. Tavaline 3. Sage 4. Intensiivne		Madal	Keskmine	Kõrge
Tagajärgede korrapära				

Joonis 2. Seirerežiim sõltuvalt piirnormi ületamise ohust [3].

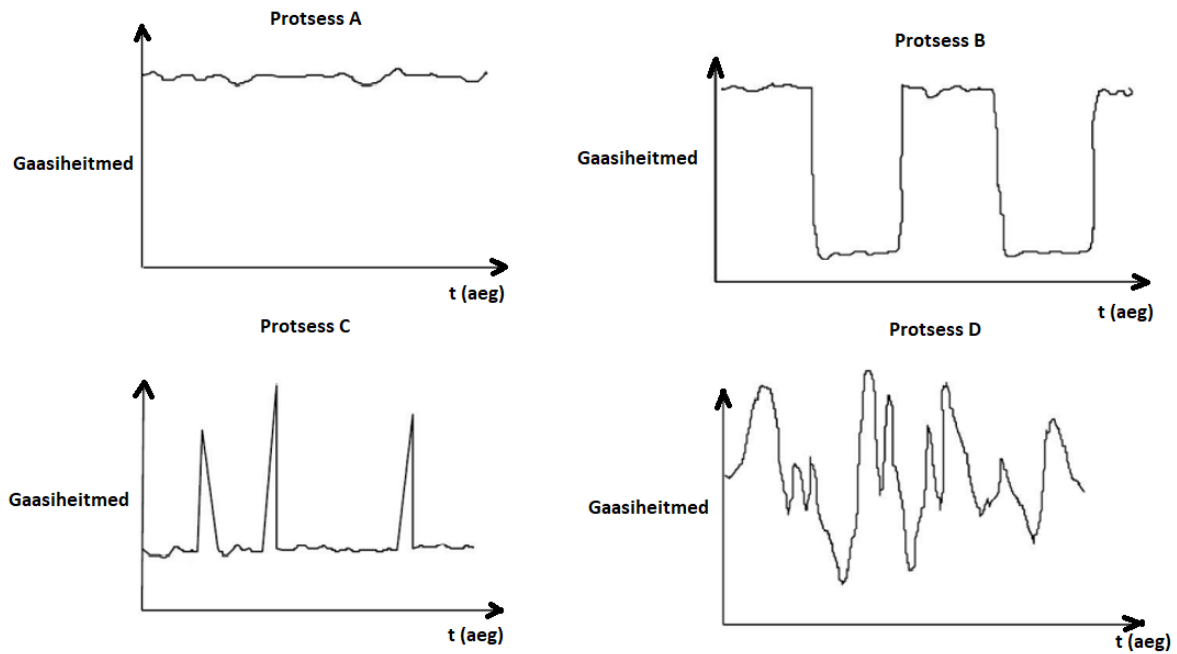
1.4.Suitsugaaside jälgimise režiimid

Sellest lähtuvalt kehtivad järgmised jälgimisrežiimid:

1. Episoodiline seire, mille põhieesmärk on kontrollida tegelikku heitkoguste taset prognoositud või tavatingimustes.
2. Regulaarsest sagedase režiimini (1-3 korda päevas kuni korrani nädalas): kõrge seiresagedus võimaldab tuvastada ebatavalisi seisundeid või eelseisvat jõudluse halvenemist ning alustada õigeaegselt parandusmeetmeid (diagnostika, remont, hooldus). Sel juhul võib soovitada proovide võtmist.
3. Regulaarsest sagedase režiimini (1 kord päevas kuni 1 kord nädalas): kogu seireahelas tuleb tagada suur täpsus ja võimalikult väikesed vead, et vältida keskkonnakahju.
4. Intensiivne (pidev): seda režiimi kasutatakse, kui näiteks ebastabiilsed protsessitingimused võivad põhjustada emissioonipiirangute ületamist. Seire eesmärk selles režiimis on heitmete parameetrite määramine reaajas või kindla aja jooksul ja saavutatud heitmetasemel. Näide olemasolevast lähenemisviisist, mis on kooskõlas riskipõhise valiku kontseptsiooniga, nimelt seirerežiimi valimine mis tahes allika jaoks sõltuvalt keskkonnakahjustuse ohust, on leitav Hollandi teadlaste poolt välja töötatud Hollandi õhuheite juhistes (Netherlands Emissions Guidelines for Air) [11].

1.5. Mõõtmistingimused töö ajal

Mõned näited (A, B, C ja D) selle kohta, kuidas heitkogused võivad aja jooksul muutuda, on toodud joonisel 3, kus horisontaaltelg (x-telg) tähistab aega ja vertikaaltelg (y-telg) heite taset.



Joonis 3. Näited selle kohta, kuidas heitmetasemed võivad aja jooksul muutuda [14].

Protsess A on väga stabiilne protsess. Mõõtmistulemused on samad, olenemata nende võtmise ajast. Perioodilised mõõtmised minimaalse sagedusega võivad olla piisavad. Protsess B on näide vahelduva, kuid stabiilse kõrge ja madala heitkogusega. Pidevate emissioonimõõtmiste korral saab üldist keskmist heitetaset või iga üksiku faasi heitetaset hõlpsasti kvantifitseerida. Protsess C on suhteliselt stabiilne protsess, millel on aeg-ajalt lühikesed, kuid kõrged haripunktid. Sarnane olukord protsessiga A - võib koosneda regulaarsetest tippudest, mis tekivad alati pärast teatud meetmete võtmist, näiteks pärast protsessi käivitamist pärast pikki tootmiseseisakuid, näiteks tootmisettevõtte korralisi remonditöid või kapitaalremonti. Protsess D on väga varieeruv protsess, mis siiski kujutab endast tõenäoliselt pidevat muutust emissiooniprotsessis [14].

2. Suitsugaaside seire uuring tootmises

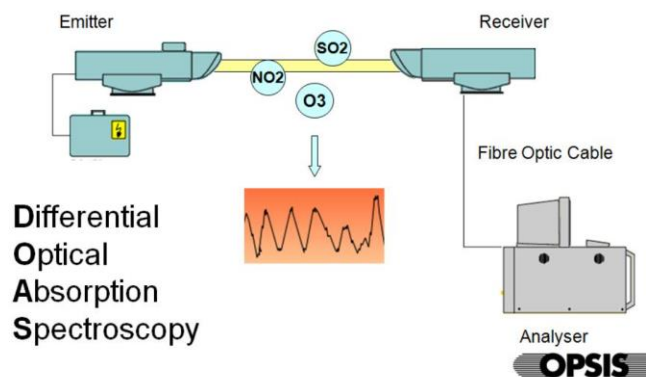
2.1. Enefit 140-le paigaldatud seadmed

Suitsugaaside seiresüsteemi põhieesmärk on mõõta Enefit-140 seadmetes suitsugaaside koostist. Suitsugaaside koostise mõõtmisel mõõdab see süsteem suitsugaasivoolu tolmu- ja saadust, temperatuuri ja rõhku.

Suitsugaaside koostise, tolmu- ja saaduse, temperatuuri ja korstna rõhu mõõtmiseks paigaldatakse järgmised seadmed.

2.2. OPSIS orgaanilised mõõteseadmed

Korstnal, 31 meetri kõrgusel maapinnast, asub suitsugaaside seiresüsteemi ruum, kus asuvad analüsaatorid ja OPSIS andmetöötlusplakk. Analüsaatori ruum on varustatud elektrikütte ja kliimaseadmega, mis tagavad ruumis normaalse mikrokliima. Korstnasse on paigaldatud optiline mõõtesead ER 060 Emitter ja Receiver Set OPSIS (emitter ja vastuvõtja). ER 060 Emitter seade on varustatud 150 W ksenoonlambiga, platvormid on ehitatud korstnale ja redelid, mis ühendavad sondidele ligipääsu. Mõõteseadmed ühendatakse vastuvõtjast analüsaatoritega spetsiaalse fiiberoptilise kaabli abil. Kiudoptilise kaabli ülesanne on kaitsta optoanalüsaatorit halva ilma, temperatuurimuutuste jms eest.



Joonis 4. OPSIS Varustusskeem.

OP SIS-süsteem koosneb valgusallikast, vastuvõtjast, fiiberoptilisest kaablist ja optoanalüsaatorist. Analüsaator koosneb interferomeetrist, detektorist, skanneri juhtelektroonikast, tuvastussüsteemist ning arvutist signaalide töötlemiseks ja arvutusteks [37].

Heitkoguste mõõtmiseks koosneb süsteem järgmistest analüsaatoritest:

AR600 ja AR650. Allolevates tabelites 2 ja 3 on loetletud komponendid, mida analüsaatorid suitsugaasides mõõdavad.

Tabel 2. AR600 analüsaatori mõõtmised

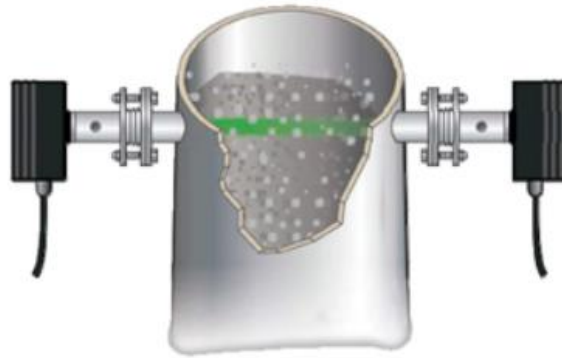
Komponent	Ühikud	Mõõtmispiirid
NO/NO _x	mg/Nm ³	0-2000
C ₆ H ₆	mg/Nm ³	0-1000
NH ₃	mg/Nm ³	0-1000
C ₆ H ₅ OH	mg/Nm ³	0-1000
SO ₂	mg/Nm ³	0-5000
NO ₂	mg/Nm ³	0-2000

Tabel 3. AR650 analüsaatori mõõtmised

Komponent	Ühikud	Mõõtmispiirid
CO	mg/Nm ³	0-100
CO ₂	% vol	0-100
H ₂ O	% vol	0-100
CH ₄	mg/Nm ³	0-10000

2.3. Seadmed tahkete osakeste mõõtmiseks.

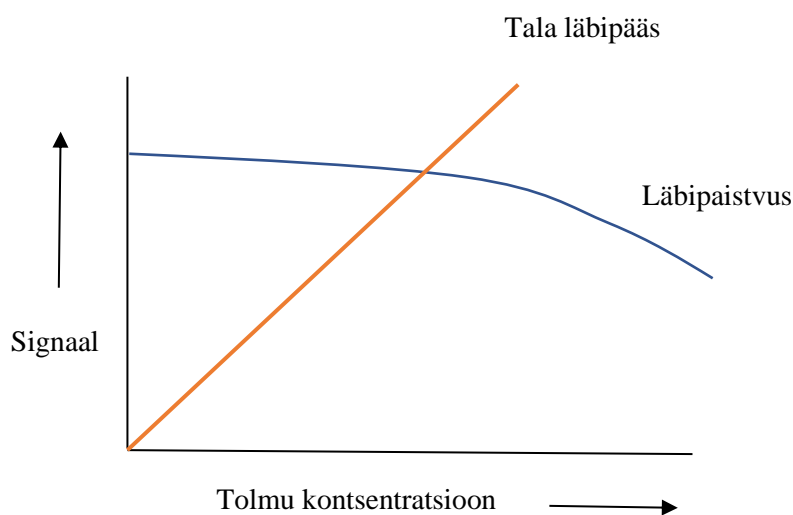
Tolmu kontsentratsiooni mõõtmiseks gaasireduktoris on paigaldatud optiline tolmu kontsentratsiooni mõõtja PCME SC602, mis mõõdab tolmuosakestest põhjustatud laserkiire hajumise intensiivsust. Analüsaator on paigaldatud 19 meetri kõrgusele maapinnast. Mõõtevahemik on 0-1000 mg/m³.



Joonis 5. Stack 602 seadme välimus.

PCME Stack 602 põhineb optilisel mõõtmispõhimõttel. See on paigaldatud horisontaalselt torusse, andmeedastus toimub vastavalt Modbusi protokollile. Seadmes on rakendatud ratiomeetriline läbipaistmatus mõõtmise tehnoloogia (DynamicOpacity™). Mõõdetakse valgusvoo muutuse dünaamilist komponenti tolmuosakeste läbimise ajal [35].

Sellel juhttehnoloogial koos täiustatud funktsionaalvõimalustega on võrreldes traditsiooniliste läbipaistmatus monitoridega märkimisväärsed töökindluse ja eraldusvõime eelised ning see ületab praktiliselt tavaliste monitoride objektiivsuse saastumise probleemi. Seade on võimeline töötama ka siis, kui läätse saastatus ületab 90%.

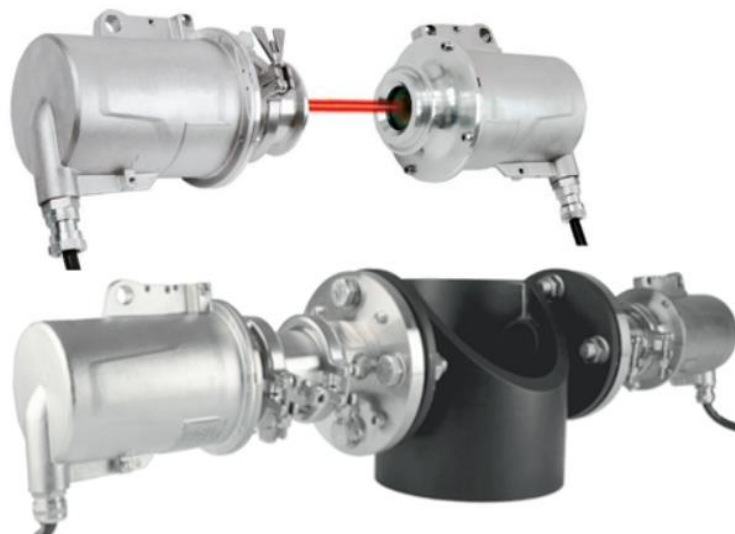


Joonis 6. Lineaarne seos signaali väljundi ja tolmu kontsentratsiooni vahel [38].

Erinevalt traditsioonilistest läbipaistmatuse monitoridest, mis mõõdavad valguskiire intensiivsust, mõõdab analüsaator 602 valguse intensiivsuse dünaamilisi kõikumisi, mis tulenevad osakeste jaotumise statistilistest kõikumistest õhuvoolus. Mida suurem on osakeste kontsentratsioon, seda suurem on võnke vahemik. Lineaarne seos seadme väljundsignaali ja tolmu kontsentratsiooni vahel võimaldab mõõta tolmu kontsentratsiooni vajalikes mõõtühikutes - mg/m³.

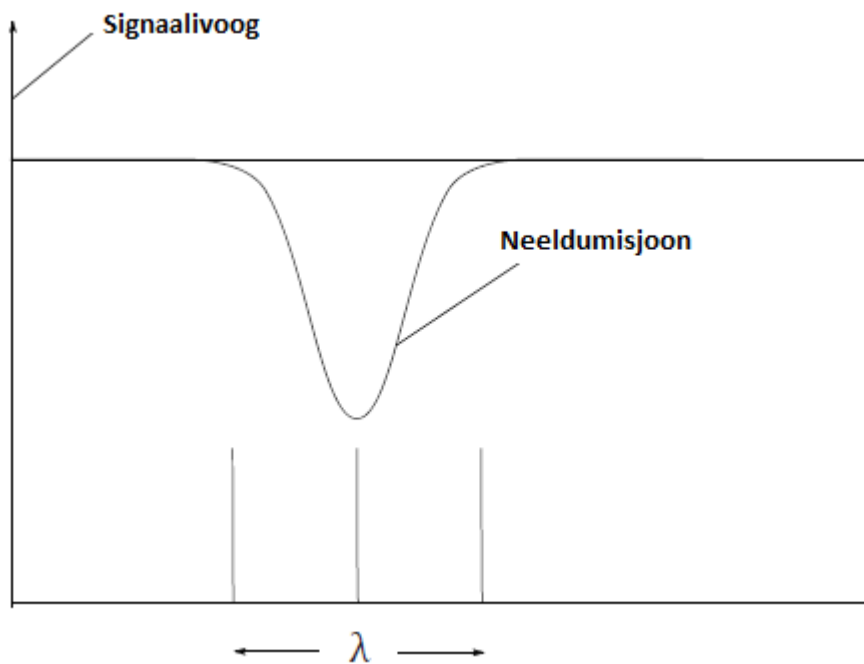
2.4. Suitsugaaside hapniku mõõtmise seadmed

Hapniku protsendi mõõtmiseks gaasireduktoris on Enefit 140 korstnale paigaldatud optiline LaserGas III SP arvesti firmalt NEOmonitor, mis mõõdab hapnikuosakestest põhjustatud laserkiire hajumise intensiivsust. Analüsaator on paigaldatud 19 meetri kõrgusele maapinnast. Gaasianalüsaatori mõõtepiirkond on 0–21%.



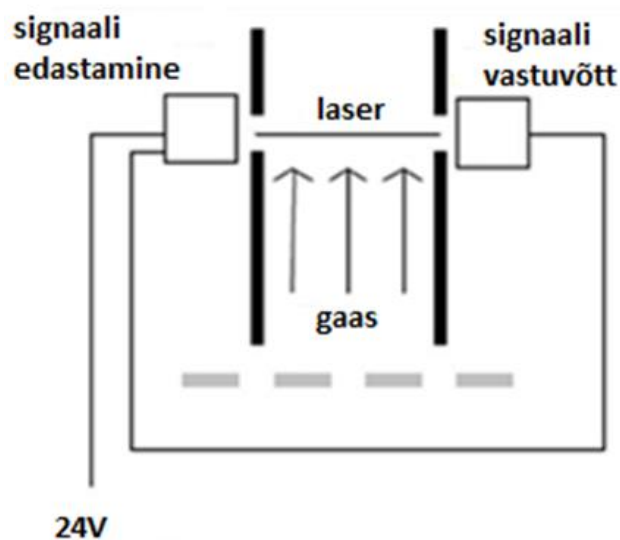
Joonis 7. LaserGas 3 seadme välimus.

LaserGas III optilise gaasianalüsaatori mõõtmispõhimõte on ühe lainepikkusega häälestatav diodlaseri absorptsiooni spektroskoopia (TDLAS) lähiiinfrapuna vahemikus 700...2400 nm (nanomeetrit), kiirgusallikaks on häälestatav diodlaser. Määratud komponendi selektiivset neeldumisjoont skaneeritakse diodlaseriga, kollimeeriva optikaga saatjaplokist tulev monokromaatiline kiirgusvoog läbib analüüsitavat gaasikeskkonda ja siseneb fookusläätsede kaudu vastuvõtjaplokki.



Joonis 8. LaserGas 3 signaaliliin.

Mõõdetud gaasi valitud neeldumisjoonelt loetakse laseri lainepikkus. Absorptsiooniliin on hoolikalt valitud, et vältida teiste taustgaaside häireid. Valguse intensiivsus muutub saatja ja vastuvõtja vahelisel optilisel teel sihtgaasi molekulide neeldumise tõttu laseri lainepikkuse funktsioonina [33].



Joonis 9. LaserGas 3 mõõtmise plokk skeem [28].

Vastuvõtja jälgib pidevalt valguse intensiivsust valitud lainepikkusel. Mõõdetud joone kujust eraldatakse nii neeldumisjoone amplituud, kui ka neeldumisjoone laius ja neid kasutatakse kontsentratsiooni arvutamiseks. See lähenemisviis tagab, et mõõdetud kontsentratsioon ei ole tundlik taustgaaside põhjustatud joone kuju muutuste suhtes.

Määratud komponendi sisalduse mõõtmise tulemus arvutatakse analüüsitava keskkonda läbinud infrapunakiirguse intensiivsuse mõõtmise põhjal, mida on korrigeeritud rõhu ja temperatuuri hetkeväärtustega.

Mudel LaserGas III SP gaasianalüsaatorid võtavad vastu 4-20 mA sisendsignaale välistest temperatuuri- ja rõhuanduritest.

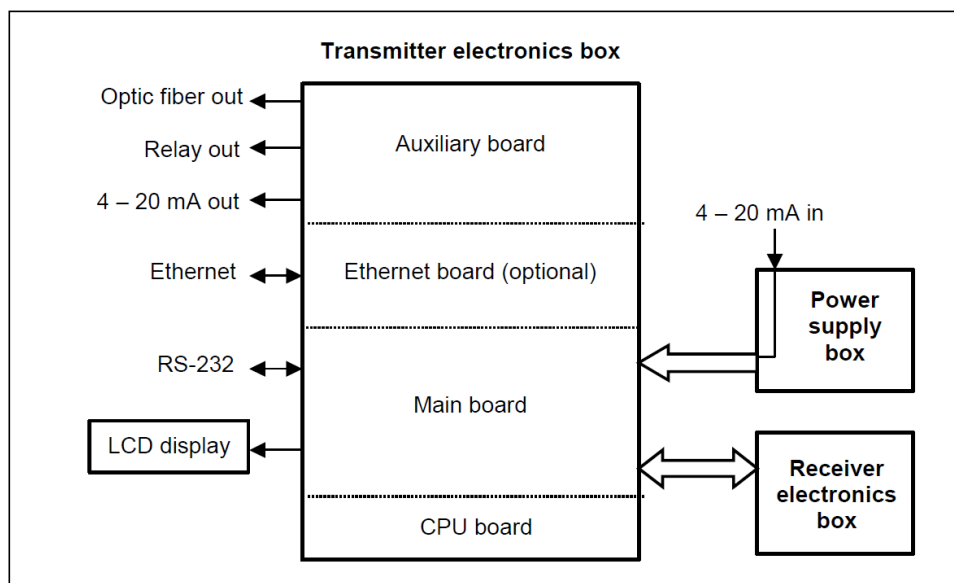
2.5. Seadmed vesiniksulfiidi mõõtmiseks

Vesiniksulfiid H_2S kontsentratsiooni (ühik mg/Nm^3) mõõtmiseks on gaasireduktorisse paigaldatud NEOmonitori optiline mõõtur LaserGas II SP, mis mõõdab vesiniksulfiidi osakeste põhjustatud laserkiire hajumise intensiivsust. Analüsaator on paigaldatud 19 meetri kõrgusele maapinnast. Mõõtevahemik on 0-400 mg/m^3 .



Joonis 10. Gaasianalüsaatori üldvaade LaserGas II [28].

Mõõtmispõhimõte on ühelainespektroskoopia (TDLAS) lähinfrapuna vahemikus 700–2400 nm, kiirgusallikaks on häälestatav diodlaser. Määratud komponendi selektiivset neeldumisjoont skaneeritakse diodlaseriga, kollimeeriva optikaga saatjaplokist tulev monokromaatiline kiirgusvoog läbib analüüsitava gaasikeskkonda ja siseneb fookusläätsede kaudu vastuvõtjaplokki. Selle seadme plokk skeemi on näha joonisel 11 [37].



Joonis 11. Instrumentide elektroonika plokk skeem [37].

Määratud komponendi sisalduse mõõtmise tulemus arvutatakse analüüsitavat keskkonda läbinud infrapunakiirguse intensiivsuse mõõtmise põhjal, mida on korrigeeritud rõhu ja temperatuuri hetkeväärtustega.

2.6. Automaatjuhtimis- ja reguleerimisseadmete valik

2.6.1. Seadmete süsteemi valik

Praegu toodab tööstus laias valikus andureid ja seadmeid. Konkreetset tüüpi seadme või anduri tellimisel tuleb vaid täpsustada, millist ühtset signaali sisendina või väljundina tahetakse kasutusele võtta. See võimaldab kasutada erinevate tootjate seadmeid ilma protsessi kvaliteeti kahjustamata.

2.6.1.1. Andurite valik

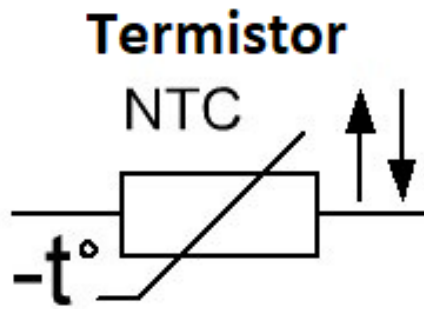
Tehnoloogiliste parameetrite ja muude teabe eraldamise andurite valimisel tuleb arvestada mitmete teguritega:

- lubatud viga;
- anduri inertis;
- garanteeritud täpsusega mõõtmispiir;
- kontrollitava ja keskkonna füüsikaliste parameetrite mõju[30].

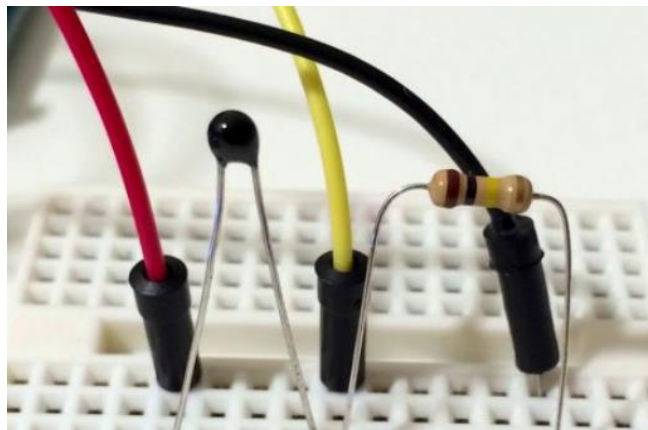
Andur valik toimub kahes etapis. Esimeses etapis määratakse anduri tüüp. Teine samm: määrata valitud anduri suuruse.

2.6.2. Temperatuuri mõõtmise andur

Termistor on mõõtemuundur, mille aktiivtakistus muutub temperatuuri muutusel. Termistor võib olla metallist või pooljuhttakistist. Skeemidel olev pilt on näidatud joonisel 12.

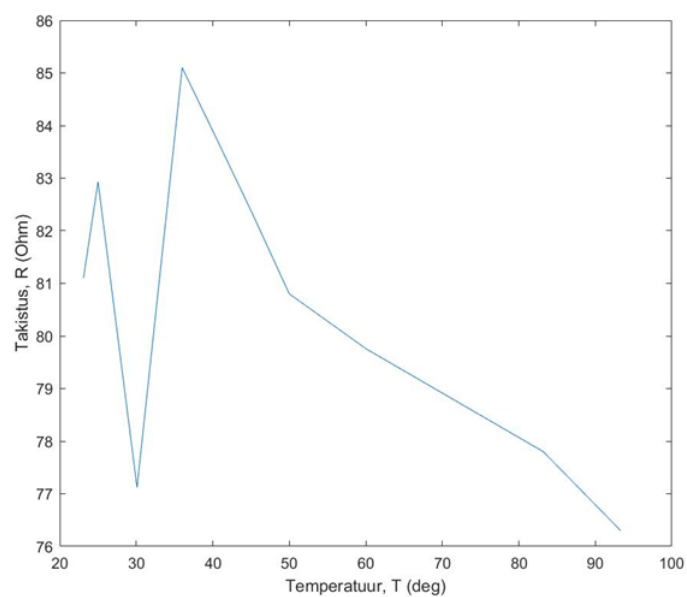


Joonis 12. Termistori tähistus diagrammil [19].



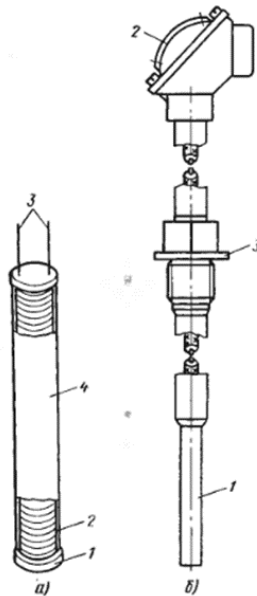
Joonis 13. Termistori välimus [15].

Termistoridega temperatuuriandureid nimetatakse takistustermistoriteks. Temperatuuri tõusmisel NTC termistori takistus väheneb (joonis 14).



Joonis 14. NTC takistuse sõltuvus temperatuurist.

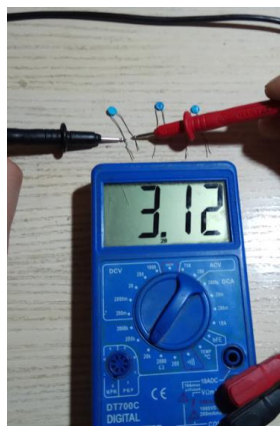
Platinatermostori muundusfunktsioon on mittelineaarne ja seda aproksimeeritakse tavaliselt ruuttrinoomiga. Füüsilisest vaatenurgast võib takistuse suurenemist temperatuuri tõusuga seletada kristallvõre sõlmede võnkumiste amplituudi suurenemisega, mis omakorda raskendab elektronide läbimist ehk takistus elektrivoolul suureneb [24].



Joonis 15. Termistori skeem [36].

Platinast termistoride valmistamisel kasutatakse kuumuskindlaid materjale.

takistuse termomeeter ja seda sekundaarse seadmega ühendavad juhtmed on ühendatud järjestikku, näiteks nagu joonisel 16 on näidatud termistori kontroll multimeetriga.



Joonis 16. Termistori jõudluse kontrollimine [15].

Tavaliselt kasutatakse vasktraate, mille takistus sõltub nende temperatuurist. Traadi takistuse temperatuurimuutused põhjustavad temperatuuri mõõtmise vigu.

Resistentsustermomeetrite sekundaarsed muundurid on konstrueeritud nii, et see viga oleks võimalikult väike. Kui on vaja temperatuuri mõõtmise suurimat täpsust, näiteks metroloogiatööl, kasutatakse kompensatsiooniahelat.

Selle skeemi kohaselt kasutatakse nelja klambriga plaatina termistoreid. Juhtmeid 1-1 kasutatakse voolu andmiseks ja ülejäänud kahte 2-2 kasutatakse temperatuuritundliku mähise pingelanguse U_t mõõtmiseks. Pingelang U_t mõõdetakse potentsiomeetriga. Mõõdetakse ka pingelang U_{t_0} näidismähisel R_0 [31].

Termistori takistus on siis:

$$R(t) = \frac{U(t)}{U_0} \cdot \frac{1 + \alpha_0 \Delta T_0 + \beta_0 \Delta T_0^2}{1 + \alpha_t \Delta T_t + \beta_t \Delta T_t^2} \cdot R_0, \quad (1)$$

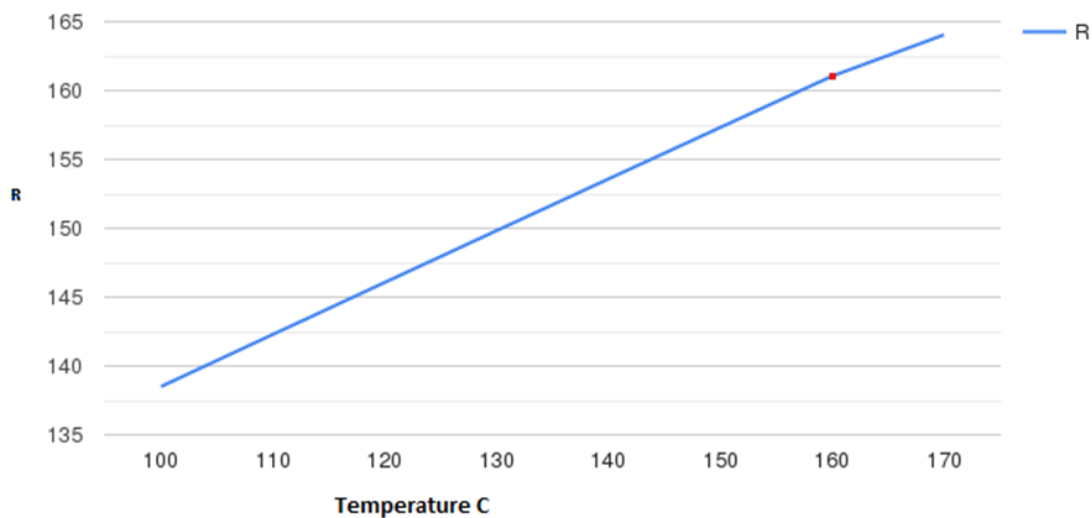
kus

α_0, β_0 – takistuse temperatuurikoefitsiendid R_0 , mis on kehtestatud selle takistuse temperatuurile

α_t, β_t – takistuse temperatuurikoefitsiendid R_t temperatuuril seirerežiimis.

$\Delta T_0, \Delta T_t$ – temperatuurivahemikud.

Tänu kompensatsioonimõõtmismeetodile ei esine termomeetrit potentsiomeetriga ühendavatel juhtmetel pingelangust ning nende takistus ei mõjuta mõõtmistulemust.



Joonis 17. Suitsugaaside temperatuuri takistuse suhte graafik.

Punane täpp näitab suitsugaaside töötemperatuuri, see varieerub vahemikus 160-170 °C, põhiliselt on töötemperatuur 163 °C (Joonis 17).

2.7. Korstna rõhu mõõtmise seadmed

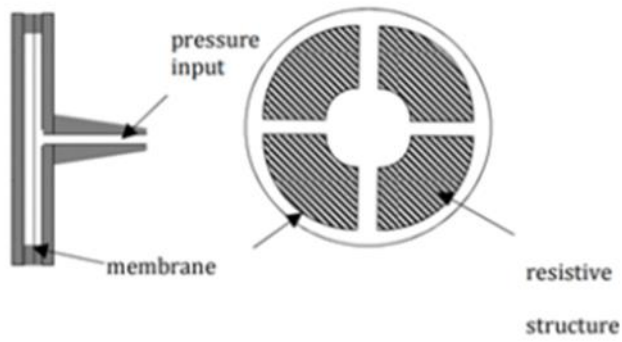
Rõhuandurid põhinevad vedeliku või gaasi rõhust põhjustatud diafragma painde (Joonis 18,19) põhimõttel. Membraan on kaetud väga õhukese juhtiva varjestatud kihiga, mis järgib membraani kõveraid. Seda painde saab mõõta kahel erineval viisil.

Membraanil olev juhtiv kiht ja anduri korpuses olev tugikiht moodustavad kondensaatori, mille plaatide deformatsioon põhjustab mahtuvuse muutust, mida on võimalik mõõta.

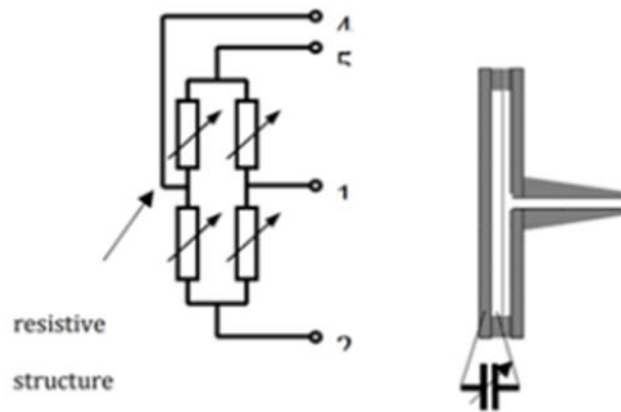
Membraani painutamisel muutub juhtivate kihtide takistus. Nelja takistusliku konstruktsiooni spetsiaalne mehaaniline paigutus moodustab stabiilse Wheatstone'i silla, mis on võrreldav klassikaliste tensomeetriliste mõõturitega [29].



Joonis 18. Membraani rõhuandur.



Joonis 19. Rõhuanduri tööpõhimõte [29].



Joonis 20. Mahtuvuslik mõõtmine [29].

Membraani paine on väga väike ($\ll 1$ mm), kuid siiski piisavalt suur, et võimaldada takistuse muutumist. Pinnal olevaid takistuslikke struktuure saab sõltuvalt membraani painde suunast kokku suruda või venitada. Kihi kokkusurumisel takistuse väärtus väheneb ja venitamisel suureneb. Praktikas tähendab see, et Wheatstone'i sild ei ole vastavalt positiivselt ja negatiivselt tasakaalus [22].

Sel juhul on varjestatud takistid tundlikud ka temperatuuri suhtes, mistõttu on vaja temperatuuri mõjusid kompenseerida.

Kõigil paigaldatud instrumentidel on 4-20mA analoogväljundsignaal.

Mõõtmis- ja seiretulemuste praktilise tähtsuse määravad kaks peamist tunnust:

1. töökindlus ehk tulemuste kindlustunne;
2. võrreldavus ehk võimalus võrrelda neid teiste ettevõtete, tööstusharude, piirkondade või riikide tulemustega.

Tõeliselt usaldusväärsete ja võrreldavate mõõtmis- ja seiretulemuste saamiseks on vaja järjestikku läbi viia teatud allpool kirjeldatud etapid, mis moodustavad andmete kogumise ahela.

Kõik need sammud tuleb läbi viia vastavalt vastava Rahvusvahelise Standardiorganisatsiooni (ISO) nõuetele või meetodispetsiifilistele juhistele, et tagada tulemuste kvaliteet ning ühtlustamine erinevate laborite ja mõõteseadmete vahel.

Usaldusväärsete ja võrreldavate tulemuste saamise oluline eeldus on jälgitava protsessi hea tundmine. Arvestades seire keerukust ja maksumust ning vajadust kasutada tulemusi seejärel otsuste tegemisel, tuleks astuda samme, et tagada vajaliku usaldusvääruse ja võrreldavusega andmete saamist.

Andmete usaldusväärst saab määratleda kui andmete täpsust või lähedust tegelikule väärtusele. Mõnel juhul on vaja ülikõrget andmetäpsust, see tähendab nende suurt lähedust tegelikule väärtusele, samas aga muudes olukordades piisab ligikaudsetest või hinnangulistest andmetest. Kogu andmetootmisahela kõrge kvaliteedi tagamiseks tuleks igas etapis tähelepanu pöörata kvaliteedi tagamise kõikidele aspektidele[9]. Teave andmetega kaasneva ebakindluse, samuti vastavate süsteemide abil saadud andmete täpsuse, vigade ja andmete valideerimise ja muu sellise kohta tuleks esitada koos seiretulemustega.

2.8. Andmete hankimise etapid

Enamikus olukordades saab andmete kogumise protsessi jagada kaheks järjestikuseks etapiks.

1. Esimene etapp on mõõtmine

Pärast mõõtmistulemuste saamist tuleb vastavaid andmeid töödelda ja hinnata. Kõik andmetöötlus- ja aruandlusmenetlused tuleks enne proovide analüüsimist kindlaks määrata ja kokku leppida käitajate ja pädevate asutuste vahel. Üks andmetöötluse elemente on heitkoguste ja -andmete kvaliteedi hindamine. Tavaliselt teevad seda tööd laboris kvalifitseeritud töötajad, kes kontrollivad, et kõiki protseduure on korralikult järgitud. Kvaliteedi hindamine võib nõuda põhjalikke teadmisi seiremeetodite ning riiklike ja rahvusvaheliste standardimise protseduuride (ISO) kohta ning võib hõlmata sertifitseerimismeetodite ja -protseduuride kvaliteedi tagamist. Üks kvaliteedi tagamise standardnõudeid võib olla tõhusate kontrolli- ja järelevalvemeetmete süsteemi loomine, mis näeb ette seadmete kalibreerimise ja laboritevahelise kontrollimise.

2. Teine etapp on aruandlus

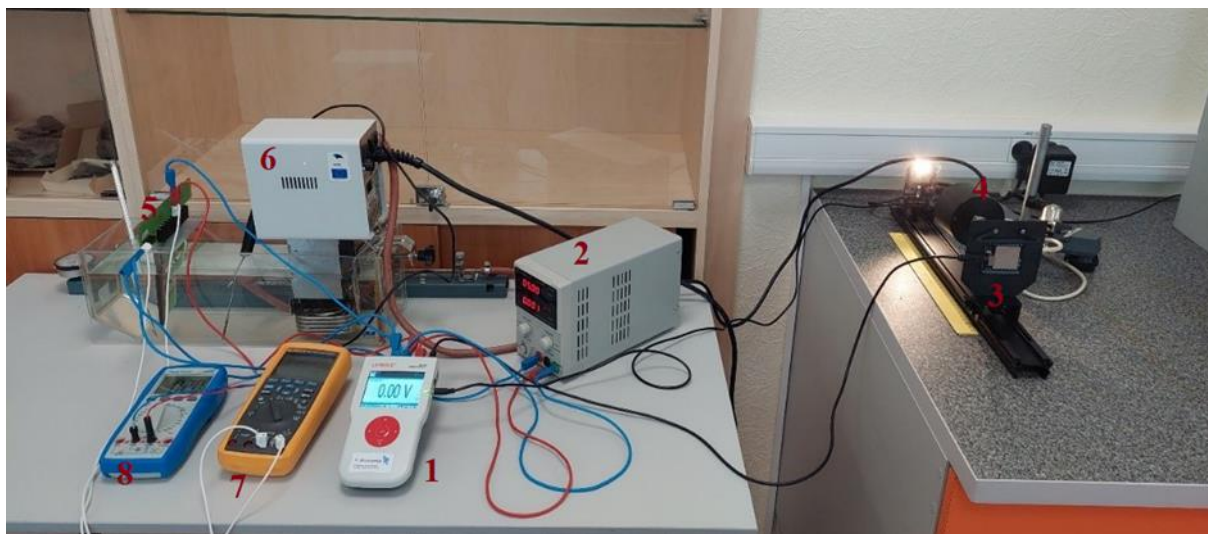
Antud parameetri jälgimisel saadud suure andmehulga alusel koostatakse tavaliselt teatud perioodi tulemuste kokkuvõte ja esitatakse see asjaomastele huvirühmadele. Aruandlusvormide standardimine hõlbustab asjakohaste andmete ja aruannete elektroonilist edastamist ja hilisemat kasutamist [11].

3. Monitooringu mudeli loomine

Töö põhieesmärk on luua reaaliajase reaalse füüsikaliste suuruste jälgimismudel, mis on osa Enefit 140 ettevõtte suitsugaaside seirest. Mudel võimaldab juhtida töökeskkonna temperatuuri, kasutades takistust NTC (resistor with negative temperature coefficient), samuti optilise süsteemi mudeli oleku radiomeetrilisi ja fotomeetrilisi hinnanguid suitsugaaside pidevaks jälgimiseks. NTC takisti on sulam. Sõltuvalt antud sulami koostisest saab olulisi takistuse muutusi saavutada ainult väikeses temperatuurivahemikus. Mudeli oleku fotomeetriliste hinnangutena kasutati valgussensorit Lux Sensor M. Anduri fotomeetrilist väljundsignaali mõõdetakse luksides (Lx) [27].

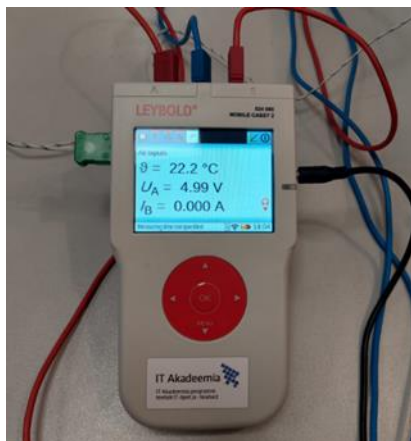
3.1. Eksperimentaalse seadistuse kokkupanek

Katse läbiviimiseks ja seiremudeli loomiseks koostati katseseade (Joonis 21).



Joonis 21. monitooringu füüsikaline mudel: 1) Mobile – CASSY 2; 2) pingeallikas; 3) valgustuse andur; 4) fotodetektor [46]; 5) Takistustega plaat; 6) termostaat; 7) ja 8) multimeetrid.

Seires täidab mälukaardi rolli Mobile-CASSY 2 (Joonis 22a) firmalt LEYBOLD. CASSY seadmel on (Joonis 22b) väljundid voolu ja pinge mõõtmiseks (sinine ja punane), ühine väljund (COM port 15 PIN) voolu ja pinge mõõtmiseks; 2 PS/2 väljundit andurite ühendamiseks (näiteks valgusandur); 2 väljundit DB-15F D-SUB voolu ja pinge ühendamiseks.



a



b

Joonis 22. Mobile – CASSY 2: a) andmete kogumine: pinge, vool ja temperatuur; b) väljundid.

Mobile-CASSY-1 on sisseehitatud mälu mõõtmisandmete salvestamiseks, mille sisu säilib ka pärast toite väljalülitamist. Neid andmeid saab hiljem lugeda tarkvara CASSY Lab abil. Vastuvõetud andmeid saab salvestada ka failidesse edasiseks andmetöötluseks. Kui Mobile-CASSY moodul on arvutiga ühendatud, kuvatakse see koos teiste ühendatud moodulitega vahekaardil CASSY. Samaaegselt lugemisega seatakse Mobile-CASSY kell automaatselt vastavalt arvuti süsteemiajale. Seetõttu peab veenduma, et arvuti aeg on õigesti seadistatud.

Mobiil - CASSY 2 toimib mälukaardina, mis võimaldab üheaegselt teha uuringuid ainult neljast samas võrgus asuvast arvutist. Kuid Wi-Fi või QR-koodi kaudu saab andmeid edastada kõigile registreeritud kasutajatele.

3.2. Reaalajas jälgimine

Katse alguses kalibreeriti temperatuuriandur. Termostaadi abil muudeti teatud intervalliga töökeskkonna temperatuuri ja registreeriti ülitäpse termomeetriga, mille täpsusklass oli 0,5. Töökeskkonda paigutati soojustakistusega tahvel. Ümbritseva õhu temperatuuri hoiti kliimaseadme abil. Mõõtmise viis läbi üks inimene. Laboris töötas ainult üks füüsiline mudel.

Antud katse käigus registreeriti soojustakistuse pingelanguse ja seda takistust läbiva voolu väärtused.

Termistori takistuse sõltuvust temperatuurist üldiselt väljendatakse järgmise valemiga:

$$R_t = R_{23}(1 + \alpha\Delta t + \beta\Delta t^2) \quad (2)$$

Kus

R_{23} - termistori takistus kalibreerimistemperatuuril 23°C

R_t - voolutakistus temperatuuril t

α, β - takistuse temperatuurikoefitsiendid, mis sõltuvad takisti kalibreerimistemperatuurist ja ka materjali koostisest

Δt – temperatuurimuutus

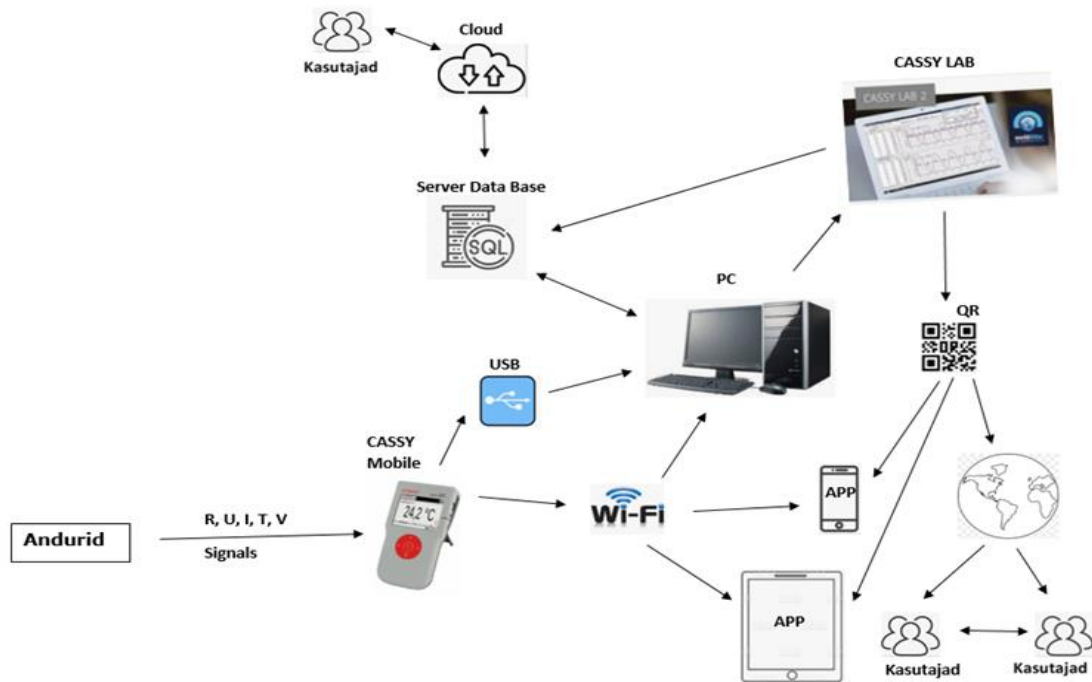
Kõige paremini lahendava funktsiooni parameetrid α ja β on saadud vähemruutude meetodi järgi, kasutades tarkvara MatLab. Arvutuskood on toodud joonisel 23.

```
T=[23.1,25,30.1,36,40,45.1,50,60.1,83.2,93.3]
R=[81.1,82.93,77.12,85.10,83.90,82.35,80.80,79.75,77.80,76.30]
R0=81.1
RR0=R./R0
DT=T-23
RR01=RR0-1
Y=RR01./DT
DTk=mean(DT)
Yk=mean(Y)
a=sum((DT-DTk).*Y)/sum((DT-DTk).^2)
b=Yk-a*DTk
Rnew=R0*(1+DT.*a+(DT.^2*b))
plot(DT,Rnew)
```

Joonis 23. Vähemruutude meetodi kasutamine (vt Lisa 1)

Pärast takistuse α ja β temperatuurikoefitsientide määramist mõõdeti töökeskkonna temperatuuri K-tüüpi termopaariga, mis oli ühendatud Mobile-CASSY 2-ga ning samaaegselt valgusanduriga, kasutades pinge- ja vooluallikatega ühendatud sisendeid.

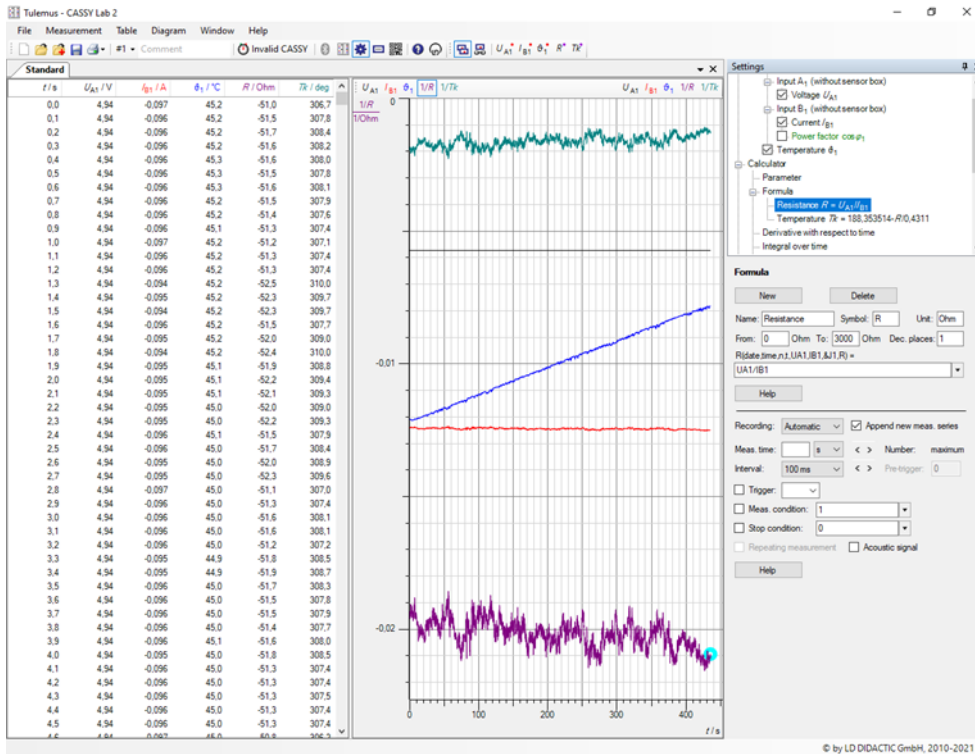
Joonisel 24 on toodud plokk-skeem, mis näitab protsessi jälgimist reaalajas, andmete kogumist ja visualiseerimist ning analüüsimist.



Joonis 24. Moonitooringu plokk-skeem.

Seireprotsess on näidatud joonisel 25. Andmed salvestatakse ja kuvatakse reaalajas tabelite kujul, mida saab salvestada Exceli formaadis edasiseks töötlemiseks MatLabi programmis.

QR-koodi abil on võimalik jälgida mõõtmisi reaalajas igast teisest avalikus võrgus asuvast arvutist. Seda koodi saab jagada ja kasutaja näeb mõõdetud andmeid kõikjal maailmas, kus on internetiühendus (vt joonis 26).



Joonis 25. Mõõtmisprotsess näide



Joonis 26. Andmete näitamine Cassy

Kuna CASSY mälukaardil on ainult üks väljund pinge mõõtmiseks ning valgusandur väljastab ka väljundis pinget, siis ei ole võimalik samaaegselt jälgida termistori pinget ja valgusanduri andmeid. Seetõttu on viidud valgustuse juhtimine läbi eraldi.

Mõõtmisprotsesside visualiseerimine viidi läbi MatLabi keskkonnas, kasutades System Identification Toolbox rakendust.

3.3. Andmete kogumine, töötlemine ja visualiseerimine

Saadud andmeid saab oma mõõtmisandmebaasi alla laadida ja genereerida, pilve üles laadida ja mistahes tarkvaras töödelda. Selles uuringus töödeldi andmeid MatLabi programmis.

Katse tulemusena saadi andmemassiivi, mis koosnes 12058 sisendparameetri väärtusest - aeg, väljundparameetrite väärtused - pinge, vool, takistus, temperatuur. Kuna mitme parameetri samaaegsel jälgimisel võib esineda vigu andmeedastuse täpsuses, siis kasutades temperatuuri koefitsiente α , β ja valemit 3.1 võrdlesime temperatuuri edastamise täpsust. Proovivõtu intervall (ajavahemikud, mille jooksul mõõdeti sisend- ja väljundväärtusi) katse ajal võrdub 0,1 s. Antud andmemassiv, kui seda hiljem System Identification Toolbox'i paketi kasutati, ühendati üheks failiks, mis sisaldas vajalikku teavet objekti sisend- ja väljundparameetrite ning nende väärtuste kohta.

Lähtetabelid andmetega laaditakse MATLAB-i tööruumi, kasutades käsku:

```
>> load datta
```

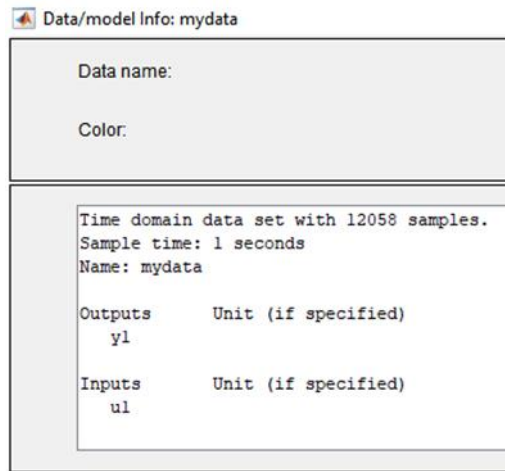
Käsu täitmise tulemusena tekkis tööruumi sisendmuutujate massiiv u ja väljundparameetrite massiiv y . Proovivõtu intervall määratakse täiendavalt:

```
>>ts=0,1;
```

Lähteandmete ühendamiseks üheks failiks on vaja kasutada käsku:

```
>> dan=iddata(y,u,ts)
```

Käsu täitmise tulemust kommenteerib järgmine MATLAB-fraas (joonis 27):



Joonis 27. Teave allalaaditud andmete ja tulemuste kohta.

Loodud fail näitab, et see sisaldab 12058 mõõtmise tulemusi proovivõtu intervalliga 0,1 s. Sisendmuutujaks on massiiv u1 ja väljundparameeter on y1.

Loodud faili selguse huvides on vaja selle struktuuri sisestada sisend- ja väljundandmete tähistused:

```
>> set(dan,'InputName','Temperature','OutputName','Resistance');
```

See käsk on samaväärne järgmiste käskudega:

```
>> dan.outputn = 'Resistance';  
>> dan.inputn = 'Temperature';
```

Andmefaili parameetrite mõõtmete määramiseks on vaja kasutada järgmisi käske:

```
>> dan.inputUnit = 'C';  
>> dan.outputUnit = 'Ohm';
```

Lõpuks genereeritud andmefail dan.m on järgmine aspekt:

Time domain data set with 12058 samples.

Sampling interval: 0.1

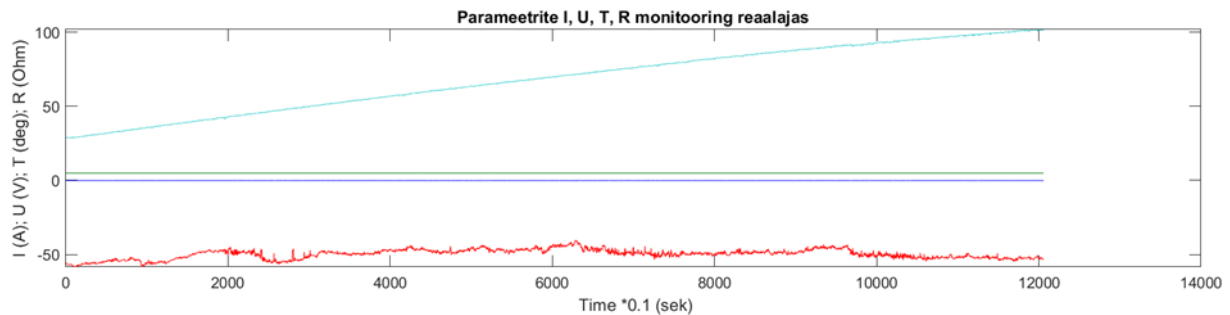
Outputs Unit (if specified)

Temperature C

Inputs Unit (if specified)

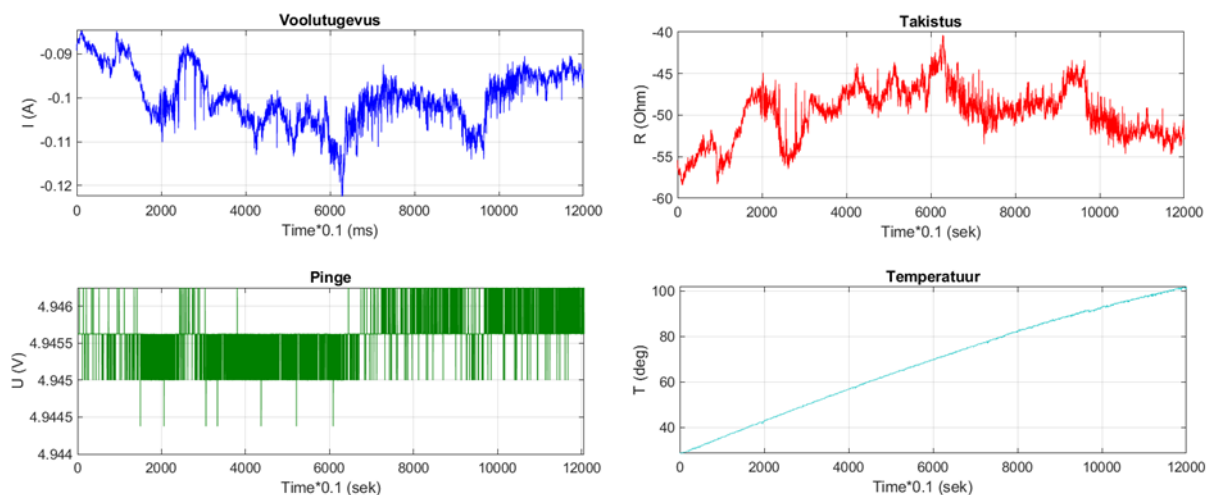
Resistance Ohm

Väljundparameetrite reaajas jälgimise tulemus: pinge, vool, takistus, temperatuur on näidatud joonisel 28.



Joonis 28. Parameetrite I, U, R, T monitoring.

Eraldi iga parameetri monitooringu on võimalik vaadata joonisel 29.



Joonisel 29. Erinevate parameetrite monitoring reaajas.

Ettevõttes saadaolevaid andureid on väga raske sobitada mälukaardi ühenduste tüübiga. Selleks kasutatakse uuritavas füüsilises mudelis fotodetektorit [43], mis võimaldab teisendada fotomeetrilisi suurusi radiomeetrilisteks. Selleks registreeriti paralleelselt valgustustiheduse hinnang luksides ja vastavad pingelangud teatud lainepikkusega valgust peegeldavatel fotoelementidel (joonis 30).



Kaugus l(cm)	U (mV)	kLx
3	131,78	10,95
6	105,56	4,76
9	100,17	2,3
12	90,72	1,38
15	85,68	0,85
18	79,3	0,61
21	72,01	0,44
24	67,09	0,35
27	60,28	0,28
30	56,48	0,23

Joonis 30. Valgustuse mõõtmise ja andmete tulemused.

Antud füüsiline mudel pole täiuslik. Kuna tulemusi saab samaaegselt jälgida ainult neljast samas võrgus asuvast arvutist. See tähendab, et seiret saab jälgida ainult neljast erinevast kohast. Kui küsitakse mitut andurit samaaegselt, sisaldab mõne füüsikalise suuruse hindamine mõõtemääramatuse väärtusi, mis mõnikord ületavad poole seadmete täpsusklassiga seotud usaldusvahemikust. Reaalses jälgimisrežiimis tuleks kasutada ülitäpseid ja mürakindlaid seadmeid.

Kokkuvõte

Käesolevas töös antakse ülevaade reaajas jälgimisprotsessiga seotud probleemidest Enefit 140 keemiatootmises. Konkreetsest protsessist lähtuvalt uuritakse võimalikke viise oluliste protsessiparameetritega seotud andmete edastamiseks. Uuritud materjali tulemuste põhjal on koostatud füüsiline intellektuaalne mudel andmete reaajas edastamiseks.

On tehtud valmistatud mudeli analüüs, esitletud saavutatud tulemused ja võimalused antud teema edasiseks arendamiseks. Töös demonstreeris autor Mobiel - CASSY 2 tarkvarapaketi kasutamist monitooringusüsteemi loomiseks, võimalikke mõõtmismeetodeid, andmete kogumist, samuti MatLab programmi kasutamist saadud andmete visualiseerimiseks. Töö käigus vaagiti meetodeid kokkupandud mudeli protsessi täiustamiseks. Pakutud mudel ja meetod suitsugaaside seire mõõtmisega kaasnevate näitajate mõõtmiseks on küllaltki tõhusad ning võimalusi nende parandamiseks on ka.

Seega analüüsi, katsete ja laboris keskkonnaseire mudeli loomise tulemusena võib järeldada, et süsteem on stabiilne. Töös on vaadeldud mudeli tugevaid ja nõrku külgi: üks mõõtmisandmete miinustest on see, et Mobile-CASSY 2 arvesti suudab korraga mõõta vaid kuni 4 parameetrit ja muidu on vaja eraldi mõõtjat. Kui hakatakse edastama andmeid korraga neljalt andurilt, siis võib-olla võib personaalarvuti mälu puudumise tõttu tekkida probleeme nende andmete edastamise täpsusega.

Kasutatud kirjandus

- [1] Kirill V. Gogolinskiy & Vladimir A. Syasko „Metrological Assurance and Standardization of Advanced Tools and Technologies for nondestructive Testing and Condition Monitoring”, 2020.
- [2] Balin J.S., Razenkov A.I. “Tööstuskeskuste õhubasseini aerosoolsaaste laserkontroll”, 1993.
- [3] S. Korellis, PE and Chuck Dene. “Evaluating the Use of CEMS for Accurate Heat Rate Monitoring and Reporting”, 2016.
- [4] Rainer Remus, Miguel A. Aguado-Monsonet. Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production”, JRC IPTS EIPPCB, 2013.
- [5] Richard Himes. “Optical Continuous Emissions Monitoring for Combustion Turbine Systems”, 2022.
- [6] Dr Andrew Farmer Broda, “Practicability and Enforceability of the IPPC Recast Proposal”, (Slovenia), 2008.
- [7] Riitta Pipatti, “National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, Submission to the European Union”, 2020.
- [8] Henk Warmer & Ronald van Dokkum, “Water pollution Control in the Netherlands”, 2001.
- [9] Best Practice in Compliance Monitoring IMPEL Network several authors English, 2001.
- [10] Federal Environment Agency (UBA) <https://qal1.de/en/index.htm> (11.12.2021).

- [11] Yang Geng, Zhongchen Zhang, Juan Yu, Hongzhong Chen, Hao Zhou, Borong Lin, Weimin Zhuang “An intelligent IEQ monitoring and feedback system: Development and applications”, 2021.
- [12] T.Barashokova, Rein Laaneots, “Mõõtmistulemuse määramatus” , TTU Kirjastus, 2003.
- [13] Mukun Li, Hongjian Ni, Ruihe Wang & Caiyun Xiao, “Comparative simulation research on the stress characteristics of supercritical carbon dioxide jets, nitrogen jets and water jets”, 2017.
- [14] Vishakha Pareek, “Handling non-stationarity in E-nose design: a review”, 2009.
- [15] Li, S., Simonian, A. and Chin, B.A., “Sensors for a gri culture and the food industry”, The Electrochemical Society Interface, 2010.
- [16] Zhang, L. and Zhang, D., “Domain adaptation transfer extreme learning machines”, En: Proceedings of ELM-2014 Volume 1. Springer, (New York),2015.
- [17] Wasewar, K. L., & Sarathi, J. V., “CFD modelling and simulation of jet mixed tanks. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics”, 2008.
- [18] Rui Xiong, “Co-Estimation of State of Charge and Capacity for Lithium-Ion Batteries with Multi-Stage Model Fusion Method”, 2021.
- [19] Jiachen Guo, Heng Jiang, Zhirong Zhong, Hongfu Zuo and Huan Zhang, “Online monitoring experiments of turbo-shaft engine based on electrostatic sensor”, 2011.
- [20] Powrie, H.E.G. and Novis, A., “Gas path debris monitoring for F-35 joint strike fighter propulsion system PHM”, IEEE aerospace conference, 2006.
- [21] Novis, A. and Powrie, H., “PHM sensor implementation in the real world-a status report”, 2006.
- [22] Fisher, C.E., “Gas path debris monitoring-a 21st/century PHM tool”, 2000.

- [23] Belõh L.I., Timofeejeva S.S., “Keskkonnaohutuse monitoring”, 2015.
- [24] <https://keskkonnaamet.ee/ru/ekologicheskiy-menedzhment> (16.02.2022)
- [25] Certified measuring, <https://qal1.de/en/index.htm> (19.02.2022)
- [26] Eesti Energia Aruanne, 2021.
- [27] Matti Vilkkko, “CO2 emission monitoring and measurement quality control”, 2012.
- [28] SICK AG. GHG-Control: “Measuring rather than calculating greenhouse gases”, 2012.
- [29] Senegacnik, A., Kustrin, I., Sekavcnik, M., “Accuracy improvement analysis of the standard indirect method for determining a steam boiler's efficiency”, 2008.
- [30] Linnerud, I., Kaspersen, P. & Jaeger, T., “Gas monitoring in the process industry using diode laser spectroscopy. Applied Physics B: Lasers and Optics”, 1998.
- [31] Kutichkaja E.A., Gubinskij M.V., Fedorov S.S., “Süsinikmaterjalide töötlemiseks kasutatava kõrgtemperatuurilise ahju heitgaaside puhastussüsteemi tõhususe pirandamine”, 2015.
- [32] Eesti põlevkivi energeetilise kasutamise parima võimaliku tehnika uuring, 2016.
- [33] Põlevkiviõli tootmisel tekkiva süsinikdioksiidi heitkoguse määramise meetodika uuring, (Tallinn), 2017.
- [34] Jan Erik Vinnem, “Faculty of Science and Technology Master’s Thesis”, (University of Stavanger), 2014.
- [35] Thomas Brinkmann, Ralf Both, ”JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations”, 2010.

- [36] Geoökoloogiline seire,(Tomsk), 2003.
- [37] Õhusaaste kontrolli juhend. M.: Goskomgidromet, 1991.
- [38] COM, “Reference Document on the General Principles of Monitoring”, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2003.
- [39] Saarinen, “Data production chain in monitoring of emissions, Finnish Environment Institute”, 1999.
- [40] Stationary source emissions - Predictive Emission Monitoring Systems (PEMS) - Applicability, execution and quality assurance, 2017.
- [41] NEOmonitors. User’s reference LasrGas 3, 2011.
- [42] NEOmonitors. User’s reference Lasergas 2, 2011.
- [43] Multitank system, MATLAB R2008a/b, R2009a/b, R2010a/b, R2011a/b, PCI versi
- [44] Kursuse loengud MatLab TalTech, 2021.
- [45] Opsis AB, “Technical Documentation for Eesti Energia”, 2017.
- [46] Pokatilov, Andrei; Parker, Martin; Kübarsepp, Toomas; Vabson, Viktor; Vendt, Riho; Ansko, Ilmar; Manoocheri, Farshid; “Method for obtaining linear spectral responsivity of InGaAs-photodetector in the NIR wavelength range”. In: 2016 15th Biennial Baltic Electronics Conference : proceedings of the 15th Biennial Baltic Electronics Conference (31–34). 2016 15th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC), October 3–5, 2016 Tallinn, Estonia. Tallinn, Estonia, October 3-5,: IEEE Xplore, 2016.

LISAD

Lisa 1. Takistuse α ja β temperatuurikoefitsientide arvutamine

```
T=[23.1,25,30.1,36,40,45.1,50,60.1,83.2,93.3]

T = 1x10
 23.1000  25.0000  30.1000  36.0000  40.0000  45.1000  50.0000  60.1000 ...

R=[81.1,82.93,77.12,85.10,83.90,82.35,80.80,79.75,77.80,76.30]

R = 1x10
 81.1000  82.9300  77.1200  85.1000  83.9000  82.3500  80.8000  79.7500 ...

R0=81.1

R0 = 81.1000

RR0=R./R0

RR0 = 1x10
 1.0000  1.0226  0.9509  1.0493  1.0345  1.0154  0.9963  0.9834 ...

DT=T-23

DT = 1x10
 0.1000  2.0000  7.1000  13.0000  17.0000  22.1000  27.0000  37.1000 ...

RR01=RR0-1

RR01 = 1x10
 0  0.0226 -0.0491  0.0493  0.0345  0.0154 -0.0037 -0.0166 ...

Y=RR01./DT

Y = 1x10
 0  0.0113 -0.0069  0.0038  0.0020  0.0007 -0.0001 -0.0004 ...

DTk=mean(DT)

DTk = 25.5900

Yk=mean(Y)

Yk = 8.7892e-04

a=sum((DT-DTk).*Y)/sum((DT-DTk).^2)

a = -5.3160e-05

b=Yk-a*DTk

b = 0.0022

Rnew=R0*(1+DT.*a+(DT.^2*b))

Rnew = 1x10
 81.1014  81.8178  90.2241  111.7354  133.5108  169.7029  213.3743  330.9043 ...

plot(DT,Rnew)
```

Quick Start Mobile-CASSY 2 LEYBOLD®

Make a selection touch

Switch on press

Switch off go to

Change display
Turn touchwheel, e.g. for changing to graph display

OK Activate selected quantity
Menu Measuring range, origin, ...

+ **OK**
Start and stop measuring series

+ **Menu**
Select measuring rate, set trigger

+ **Menu**
Evaluate data

Wiring plans

Measurement of the electrical voltage U

Measurement of the electrical current I

Measurement of U, I , electrical power P , electrical energy E

Lisa 3. Näide programmi Cassy Lab mõõtmiste tabelist

Time t / s	Voltage U_A1 / V	Current I_B1 / A	Resistor R_1 / Ohm
0	4,97375	0,08275	60,10574018
0,1	4,973125	0,0828125	60,05283019
0,2	4,973125	0,08275	60,09818731
0,3	4,973125	0,08275	60,09818731
0,4	4,973125	0,08275	60,09818731
0,5	4,973125	0,0826875	60,143613
0,601	4,973125	0,0826875	60,143613
0,701	4,973125	0,0826875	60,143613
0,8	4,973125	0,0826875	60,143613
0,901	4,973125	0,0826875	60,143613
1	4,973125	0,0826875	60,143613
1,099	4,973125	0,0826875	60,143613
1,199	4,973125	0,082625	60,18910741
1,299	4,973125	0,082625	60,18910741
1,4	4,973125	0,082625	60,18910741
1,5	4,973125	0,082625	60,18910741
1,6	4,973125	0,082625	60,18910741
1,7	4,973125	0,082625	60,18910741
1,8	4,973125	0,082625	60,18910741
1,9	4,973125	0,082625	60,18910741
2,001	4,973125	0,082625	60,18910741
2,101	4,973125	0,082625	60,18910741
2,2	4,973125	0,082625	60,18910741
2,3	4,973125	0,082625	60,18910741
2,399	4,973125	0,082625	60,18910741
2,499	4,973125	0,082625	60,18910741
2,6	4,973125	0,082625	60,18910741
2,7	4,973125	0,082625	60,18910741