



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Metoodikate väljatöötamine seadmel Phywe Cobra 3  
neutraliseerimise, aurustamise ja sulamise entalpia  
määramiseks kalorimeetrilise meetodi abil**

**Development of methodologies for the determination of the  
enthalpy of neutralisation, of vaporization and melting enthalpy  
by the calorimetric method by using Phywe Cobra 3 equipment**

KEEMIASTEHNOLÓGIA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Olga Kornõljeva

Üliõpilaskood: 182591EDKR

Juhendaja: Moonika Ferschel,  
keemiainsener

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“01” juuni 2022.

Autor: Olga Kornõljeva

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele  
“01 ” juuni 2022.

Juhendaja: Moonika Ferschel

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“08 ” juuni 2022.

Kaitsmiskomisjoni esimees: Antonina Zguro

/ nimi ja allkiri /

## **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Olga Kornõljeva (sünnikuupäev: 27.04.1979)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

*Metoodikate väljatöötamine seadmel Phywe Cobra 3 neutraliseerimise, aurustamise ja sulamise entalpia määramiseks kalorimeetrilise meetodi abil*, mille juhendaja on Moonika Ferschel,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

# TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Olga Kornõljeva, 182591EDKR

Õppekava, peeriala: EDKR16/17 Keemiatehnoloogia

Juhendaja(d): Keemiainsener, Moonika Ferschel, moonika.ferschel@taltech.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Metoodikate väljatöötamine seadmel Phywe Cobra 3 neutraliseerimise, aurustamise ja sulamise entalpia määramiseks kalorimeetrilise meetodi abil*

(inglise keeles) Development of methodologies for the determination of the enthalpy of neutralisation, of vaporization and melting enthalpy by the calorimetric method by using Phywe Cobra 3 equipment

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Võimalike metoodikate leidmine, organisatsiooni teooriaga tutvumine ja teoreetilise ülevaate koostamine
2. Uute metoodikate väljatöötamine ja koostamine vastavalt nõuetele
3. Väljatöötatud metoodikate alusel laboratoorsete tööde juhendite koostamine ja analüüsimine
4. Lõputöö koostamine ja vormistamine

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teoreetilise ülevaate koostamine ja metoodikatega tutvumine	15.03.2022
2.	Uute metoodikate väljatöötamine ja tulemuste analüüsimine	30.03.2022
3.	Katseandmete põhjal metoodika koostamine	18.04.2022
4.	Laboratoorsete tööde koostamine uute metoodikate järgi	30.04.2022
5.	Lõputöö koostamine ja kirjutamine	10.05.2022



# SISUKORD

EESSÕNA .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. METOODILISTE JUHENDITE JA PRAKTIKUMIDE VÄLJATÖÖTAMISE TEOREETILISED ALUSED.....	10
1.1 Metoodilise juhendi mõiste ja selle koostamise struktuur .....	10
1.2 Laboratoorne praktikum: mõiste ja selle vajalikkus.....	11
1.3 Laboratoorse praktikumi ülesanded ja planeerimise eripärasused .....	12
2. KALORIMEETRILINE MEETOD ENTALPIA MÄÄRAMISEKS .....	14
2.1 Moodustumise entalpia (neutraliseerimine).....	17
2.2 Faasisiirde entalpia .....	17
2.3 Soojusmahtuvus .....	19
3. PRAKTILINE OSA .....	22
3.1 Kalorimeetri seadistuse ja mõõtmisprotsessi kirjeldus .....	22
3.2 Kalorimeetriliste katsete läbiviimine.....	24
«Phywe Cobra 3» seadme abil.....	24
3.3 Katsete läbiviimine ja metodika väljatöötamine neutraliseerimise entalpia määramiseks .....	27
3.3.1 Neutraliseerimise entalpia määramise töökäik.....	29
3.3.2 Neutraliseerimise entalpia andmete töötlemine .....	32
3.4 Katsete läbiviimine ja metodika väljatöötamine puhta aine sulamisentalpia määramiseks .....	35
3.4.1 Sulamisentalpia määramise töökäik .....	37
3.4.2 Sulamisentalpia andmete töötlemine .....	41
3.5 Katsete läbiviimine ja metodika väljatöötamine aurustumisentalpia määramiseks .....	46
3.5.1 Aurustumisentalpia määramise töökäik .....	48
3.5.2 Aurustumisentalpia andmete töötlemine.....	51
KOKKUVÕTE .....	55
SUMMARY.....	56

KASUTATUD KIRJANDUS .....	58
LISAD .....	60

## EESSÕNA

Lõputöö on tehtud Tallinna Tehnikaülikooli Virumaa kolledži tellimusel. Lõputöö teema valikuga aitasid Virumaa kolledži keemiatehnoloogia programmijuht ja Virumaa kolledži rakenduskeemia keemiainsener.

Lõputöö eesmärgiks on uute meetodikate väljatöötamine (neutraliseerimise, aurustamise ja sulamise entalpia määramine kalorimeetrilise meetodi abil) kasutades Phywe Cobra 3 seadet koos tarkvaraga. Iga meetodika väljatöötamise jaoks viidi läbi vastavad katsed. Katsetest saadud tulemused analüüsiti ja tulemuste põhjal tehti vajalikud arvutused ja graafikud.

Autor on väga tänulik lõputöö juhendajale Moonika Ferschelile konsulteerimise ja juhendamise eest.

Võtmesõnad: moodustumise entalpia, faasisiire entalpia, soojusmahtuvus, kalorimeetriline meetod, Phyme Cobra 3 seade, diplomitöö.



## SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö teema on seotud füüsikalise keemia haruga, mida nimetatakse termokeemiaks. Tegemist on termodünaamika haruga, mis uurib keemiliste reaktsioonidega kaasnevaid termilisi nähtusi. Reaktsiooni soojusefekt on pöördumatu reaktsiooni käigus vabanenud või neeldunud soojuse hulk, kui reaktsiooniproductide ja lähteainete temperatuur on sama.

Konstantsel temperatuuril ja rõhul reaktsiooni soojuse mõju nimetatakse reaktsioonisoojuseks  $Q_p$ . Väärtust, mis kirjeldab süsteemi oleku muutust ning on vastupidise märgiga, nimetatakse reaktsiooni entalpiaks  $\Delta H$ . Moodustamise entalpiad on teada mitme tuhande aine jaoks, mis võimaldab arvutuslikult määrata erinevate protsesside energiamõju.

Käesoleva lõputöö teema aktuaalsus seisneb selles, et TalTech Virumaa kolledži keemialaboratoorium on saanud uue Phywe Cobra 3 seadme, mis tuleb õppetöös kasutusele võtta.

Käesoleva lõputöö eesmärk on töötada välja meetodikad puhta aine neutraliseerumise, sulamise ja vedeliku aurustumisentalpia määramiseks, kasutades seadet Phywe Cobra 3, TalTech Virumaa kolledži keemialaboratooriumi jaoks.

Metoodikate koostamiseks ja kirjutamiseks on tarvis uurida seadet, selles sisalduvate plokkide tööpõhimõtet, teostada katsed, saada tulemused ja vormistada arvutused, mille põhjal oleks võimalik töötada välja meetodikad entalpiate määramiseks.

Käesolev lõputöö koosneb kolmest osast. Esimeses peatükis kirjeldatakse metodilise juhendi ja selle põhitüübi mõisteid ja struktuuri, mida kasutatakse käesolevas lõputöös. Kirjeldatakse ka laboratoorse praktikumi ja selle koostamise eripärasid.

Teine peatükk sisaldab kirjanduse ülevaadet ja analüüsi kalorimeetrilise meetodi ja süsteemi, moodustumisentalpia ja faasisiirde entalpia ning soojusmahtuvuse mõiste kohta.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse kalorimeetrilist süsteemi ja Phywe Cobra 3 seadme entalpiate määramist kalorimeetrilise meetodi abil. Selles analüütilises osas kirjeldatakse entalpiate määramise töökäiku ning meetodite kohandamist olemasolevale Phywe Cobra 3 seadmele. Antud osas esitatakse ka andmete analüüs, mis saadakse katsete käigus. Nende põhjal tehakse arvutused ja saadud tulemuste kohta esitatakse tabelid.

Tulemuste alusel koostatakse laboratoorsed tööjuhendid, mida hakatakse kasutama laboratoorses praktikumides.

# **1. METOODILISTE JUHENDITE JA PRAKTIKUMIDE VÄLJATÖÖTAMISE TEOREETILISED ALUSED**

## **1.1 Metoodilise juhendi mõiste ja selle koostamise struktuur**

Metoodilise süsteemi väljatöötamine on süsteemi komponentide ja selle sisemiste ja väliste seoste teoreetiline konstrueerimine ning selle hilisem rakendamine tegelikus õppeprotsessis. [1]

Metoodiline juhend on metoodilise toodangu tüüp, mis sisaldab erilisel viisil süstematiseeritud materjali, mis omakorda teeb õppekursuse olemuse selgeks ja sisaldab õppekursuse eripärasid ja meetodeid. Tavaliselt sisaldab metoodiline juhend lisaks teoreetilisele materjalile ka ulatuslikku didaktilist materjali, mis on esitatud illustatsioonide, tabelite, diagrammide, jooniste ja dokumentide näidistest, mis on välja töötatud vastavalt esitatud teemale. [2]

Metoodilise juhendi eesmärk on praktilise abi osutamine õppejõududele ja üliõpilastele nii teoreetiliste kui praktiliste teadmiste äraõppimisel ja omandamisel. [3]

### **Metoodilise juhendi tüüpiline struktuur:**

- 1) Sissejuhatus, milles esitatakse juhendi eesmärk ja ülesanded. Näidatakse ära, millisele konkreetsele õpilasrühmale juhend on mõeldud ning milliseid konkreetseid tulemusi võib juhendi kasutamine anda.
- 2) Teoreetiline osa, milles esitatakse lühidalt (vajaduse korral viitega asjakohastele allikatele) juhendi sisus olevaid teaduslikke ja pedagoogilisi põhiseadusi ning kirjeldatakse autori enda metoodilist positsiooni seoses üliõpilaste täiendõppega.
- 3) Praktiline osa, milles süstematiseeritakse ja klassifitseeritakse tegelikku materjali ja lisatakse praktilisi soovitusi ning tuuakse näiteid erinevatest töövormidest ja meetoditest.
- 4) Didaktiline osa, mis sisaldab illustreerivad praktilisi materjale (skeeme, tabelleid, jooniseid).

Metoodikajuhendi koosseis võib sisaldada erinevaid vajalikke normatiivdokumente, mille kasutamise võimaldab õppejõududel või üliõpilastel korraldada oma tööd vastavalt kehtivatele nõuetele. [4]

Metoodiliste juhendite väljatöötamisel teostatakse teoreetilise materjali võrdlus ja hindamine. Keerulise struktuuriga ja pikkade lausetega töö raskendab materjali analüüsi, mis omakorda nõuab rohkem aega sünevemiseks. Metoodilise juhendi autor on võimeline ajama liigsete lünedite ja ebaselgete viidetega lugeja segadusse. Seetõttu on koostatud ühised metoodiliste juhendite väljatöötamise nõuded: [5]

- struktuur peab olema lugejale maksimaalselt selge;
- töö teema peab vastama sisule;
- materjali järjestus peab olema struktureeritud. [5]

Laboratoorne praktikum on üks meetodiliste juhendite tüüpidest, mis on antud lõputöö põhieesmärgiks. Antud tüüpi meetodilise juhendi kasutamine võimaldab välja töötada ja uurida meetodeid, mida on võimalik edaspidi laboratoorses praktikumis rakendada.

## **1.2 Laboratoorne praktikum: mõiste ja selle vajalikkus**

Laboratoorne praktikum on tegevus, mille käigus üliõpilased õpivad konkreetseid meetodeid mingi distsipliini uurimiseks, õpivad eksperimentaalseid analüüsimeetodeid ja oskust töötada kaasaegsete seadmetega.

Labori praktikum hõlmab keeruliste õppeülesannete lahendamist ja nõuab, et üliõpilane rakendaks nii erinevatest kursustest saadud teoreetilisi teadmisi kui ka praktilisi oskusi. Seda tüüpi õpe sisaldab kursuse põhiteemalisi laboratoorseid töid koos tööjuhendiga, mis sisaldavad: töö eesmärki ja ülesandeid, laboratoorse töö algoritmi, terminite sõnastikku (kui töö teema seda nõuab), kirjanduse loetelu, mis on abiks töö sooritamisel. [6] Laboroorse praktikumi peamiseks eeliseks on võimalus omandada oskusi ja töövõtteid.

Praktiline töö on potentsiaalselt kõige olulisem ja mõjukam osa inseneriteaduste, üld- ja tehnikaalase eriala- ja erivälajõppe komponent, mille eesmärk on omandada oskused reaalsete seadmetega töötamiseks, mille analoogidega võib tulevane spetsialist kokku puutuda oma praktilises tegevuses. [7]

Laboratoorsed praktikumid toimuvad tavaliselt spetsiaalsetes laboratooriumides. Seda tüüpi koolituse tõhusus sõltub suuresti õppeasutuse võimalustest, tulevane tehniline spetsialist peab olema koolitatud inseneriekspirimendi seadistamise ja läbiviimise tehnikas. Just tema loob uurimisseadmed uute füüsikaliste protsesside uurimiseks, laboratoorsed katsestendid uute tehniliste toodete kvaliteedi hindamiseks ja tehnoloogilised stendid tehaste seeriatoodete katsetusteks. [7]

Just lihtsate ja mitmekesisete õpiobjektide puhul peaks õppija omandama insenerikatsetuse korraldamise oskuse ja rakendama seda oskust kompetentselt oma praktilises tegevuses uute ja keerulisemate objektide loomisel, mille puhul olemasoleva mudelikirjeldus on väga ebatäpne. [8]

Laboratoorse praktikumi väljatöötamine koosneb järgmistest ülesannetest:

- omandada teoreetilised teadmised ja teostada nende praktiline tugevdamine;
- omandada oskusi iseseisvaks tööks reaalsete seadmetega;
- tehnoloogilise eksperimendi planeerimine ja seadistamine;

- eksperimendi jaoks vajalike seadmete valimine;
- eksperimendi tulemuste töötlemine ja selgitamine;
- teoreetilise analüüsi tulemuste võrdlemine eksperimentaalsete andmetega. [8]

Laboratoorse praktikumi käigus peab üliõpilane õppima:

- eksperimendi asjatundlikku läbiviimist, st optimaalse mõõtmistehnika valimist, katsetingimuste kontrollimist, seadmete õiget kasutamist;
- hindama tehtud mõõtmiste täpsust ja seostama hilisemate arvutuste täpsusega;
- mõõtmistulemuste ratsionaalset (st sisuliselt põhjalikult ja vormiliselt kokkuhoidlikult) registreerimist töö aruandes;
- koostama arusaadavat ja põhjalikku aruannet tehtud eksperimendi kohta, mis vastab nõuetele. [9]

Tuleb meeles pidada, et läbiviidud katse aruandluse ettevalmistamine on oluline osa labori praktikumist. [9]

### **1.3 Laboratoorse praktikumi ülesanded ja planeerimise eripärasused**

Laboratoorne praktikum peaks vastama järgmistele eesmärkidele:

- 1) Saadud teoreetiliste teadmiste praktiline kinnistamine.  
Lisaks füüsikalise protsessi enda mõistele on vaja näha ka selle ilmumist tegelikus tehnilises seadmes. Ainult selline ühtsus peaks aitama kaasa uurimisobjekti võimalikult täielikule ja terviklikule vaatele.
- 2) Iseseisva töö oskuste omandamine reaalsel seadmetel.
- 3) Tehnilise eksperimendi planeerimine ja läbiviimine.
- 4) Eksperimendi läbiviimise jaoks vajalike seadmete valik.
- 5) Eksperimendi tulemuste töötlemine ja selgitamine.
- 6) Teoreetilise analüüsi tulemuste võrdlus saadud eksperimentaalsete andmetega. [10]

Laboroorse praktikumi planeerimise põhijooned on seotud didaktilise osaga. Praktikumi peamine didaktiline eesmärk on varem omandatud teoreetiliste teadmiste eksperimentaalne kinnitamine. [10]

Vastavalt peamisele didaktilisele eesmärgile võiks laboratoorse praktikumi sisu olla järgmine:

- valemite kontrollimine;
- meetodikate kontrollimine;
- arvutuste kontrollimine;
- seaduspärasuste leidmine ja kinnitamine;
- meetodikaga tutvustamine;

- eksperimentide läbiviimine;
- aine omaduste kindlaks määramine;
- kvalitatiivsete ja kvantitatiivsete näitajate määramine;
- nähtuste arengu jälgimine. [11]

Laboratoorse praktikumi sisu ja ulatuse valikul tuleb arvesse võtta järgmisi tegureid:

- õppematerjali omandamise keerukus;
- õpitud teoreetiliste aluste asjakohasus eelseisva ametialase karjääri jaoks;
- konkreetse laboratoorse praktikumi olulisus tööde kogumikus ja selle tähtsus kursuse sisu terviklikkuse kujundamisel. [11]

Laboratoorse praktikumi teema vastab selles praktikumis õpitavale teemale ja sellega seonduvatele aspektidele. Praktikumi eesmärk näitab valitud teema uurimise praktilist suunitlust. Laboratoorse praktikumi eesmärgid kajastavad oskusi, mida üliõpilane püüab omandada töö jooksul.

## 2. KALORIMEETRILINE MEETOD ENTALPIA MÄÄRAMISEKS

Kalorimeetria on meetodite kogum erinevate füüsikaliste ja keemiliste protsessidega kaasnevate soojusefektide mõõtmiseks. Kalorimeetria ülesanne on meetodite väljatöötamine kõige olulisemate termodünaamiliste suuruste, nagu ainete moodustumise entalpia, reaktsioonide entalpia, faasisiirete entalpia ja soojusmahtuvuse määramiseks. Vajalik kalorimeetriline meetod valitakse sõltuvalt protsessi iseloomust (kestus, soojusefekti suurus, temperatuur, rõhk ja mõõtmise täpsus). [12]

Mõõtmise klassifikatsiooni kohaselt liigitatakse kalorimeetria termofüüsikalise mõõtmise alla. Teaduslikus mõttes - eksperimentaalse termodünaamika alla. Kalorimeetrias mõõdetud suurused on teatud liiki energia, eelkõige soojuse vorm ja energiaga seotud soojusmahtuvus. [13]

Kalorimeetrilise mõõtmise käigus määratud füüsikalise suuruse tüüp sõltub valitud termodünaamilise süsteemi parameetritest - temperatuur, rõhk, ruumala. Seega on suletud termodünaamilisele süsteemile rakendatav soojus konstantse ruumala juures võrdne süsteemi siseenergia suurenemisega  $(dU)_{Vn}=dQ_V$  ja suletud süsteemile rakendatav soojus konstantse rõhu juures võrdne entalpia  $H$  suurenemisega:

$(dH)_{Pn}=dQ_P$ . Entalpia esmane tähtsus tuleneb asjaolust, et erinevate protsesside soojusefekte (mida nimetatakse ka reaktsiooni soojusefektideks) mõõdetakse enamasti konstantsel rõhul. [13]

Entalpiat, mis on määratletud võrrandiga  $H=U+p\cdot V$ , võib vaadelda kui süsteemi uut omadust, mis on sisemise energia  $U$  ja "mahuenergia" summa. Entalpia füüsikaline tähendus seisneb selles, et entalpia erinevus ( $H_2$ -lõplik entalpia ja  $H_1$ -alg entalpia) süsteemi kahe oleku vahel on võrdne isobaarse protsessi soojusefektiga:

$$Q_P=H_2-H_1=\Delta H \quad (2.1)[ [14]$$

Soojuse mõju konstantsel rõhul  $Q_P = \Delta H$  nimetatakse reaktsiooni entalpiaks ja  $\Delta H$  võib olla suurem kui null ( $\Delta H > 0$ ) endotermiliste reaktsioonide puhul ja väiksem kui null ( $\Delta H < 0$ ) eksotermiliste reaktsioonide puhul. 1836. aastal tegi H. I. Hess kindlaks, et protsessi termiline efekt ei sõltu vahepealsetest etappidest, vaid on määratud ainult süsteemi alg- ja lõppseisundiga. Üldine valem näeb välja järgmiselt:

$$\Delta H^0 = \sum \Delta H(\text{produktid}) - \sum \Delta H(\text{lähteained}) \quad (2.2)[ [14]$$

Hessi seadus on otsene eksperimentaalne kinnitus energia säilimise seaduse kohaldatavusele keemiliste reaktsioonide energia suhtes. Ainete moodustumise entalpiad standardtingimustes on nende peamised energiaomadused ja need suurused on leitavad termodünaamika käsiraamatutest, mida kasutatakse mitmesuguste reaktsioonide entalpiate arvutamiseks. [14]

Võrdluses ja termodünaamilistes arvutustes on reaktsioonide soojuse mõju alati viidatud standardtingimustele ja tähistatud  $\Delta H^0$ -ga. Standardtingimuste kehtestamine on tingitud termilise mõju sõltuvusest (temperatuurist ja rõhust), kuigi vähesel määral. Tavaliselt kasutatakse standardtingimustena termiliste mõjude väärtusi  $P=1$  atm ja  $t=25$  °C juures. Reaktsioonide soojusmõjud on eri väärtused.

Soojuslike mõjusid eristatakse:

- massiühiku kohta –  $\Delta H_m$  [J/g];
- aineühiku kohta (molaarsed entalpiad) –  $\Delta H_n$  [J/mol];
- ruumalaühiku kohta –  $\Delta H_v$  [J/m<sup>3</sup>]. [13]

Soojuse mõju mõõdetakse kalorimeetriga, mida kasutatakse soojuse koguse määramiseks. Mõiste "kalorimeeter" leiutas A.L. Lavoisier 1780. aastal. Kalorimeeter koosneb kestast temperatuuriga ( $T_{ke}$ ) ja kalorimeetrisest süsteemist temperatuuriga ( $T_{ka}$ ). Kalorimeetriselise mõõtmise põhimõte seisneb selles, et protsessi läbiviimisel kalorimeetris jälgitakse kalorimeetrisest süsteemi oleku muutust ja selle muutuse suuruse järgi hinnatakse protsessi käigus eraldatud (või neeldunud) soojuse kogust. Kalorimeetri konstruktsiooni määrab temperatuurivahemik, nõutav täpsus ja mõõdetava soojusefekti tüüp. Kaasaegsed kalorimeetrid töötavad temperatuurivahemikus 0,1 kuni 4000 K suudavad mõõta soojushulka täpsusega 0,01-10 %. On olemas madala temperatuuriga ( $\leq 90$  K), keskmise temperatuuriga ( $90 \leq T \leq 500$  K) ja kõrge temperatuuriga ( $T \geq 500$  K) kalorimeetrid. [13]

Kalorimeetrisüsteem on kehade kogum, mille vahel jaotub mõõdetav kogus soojust. Kalorimeetrisest süsteemi ümbritsevad seadmed, mis on ette nähtud soojusülekanne reguleerimiseks — kalorimeetri kestad. Kalorimeetrisest süsteem koosneb kalorimeetrisest anumast (milles toimub uuritav protsess), temperatuuri mõõteseadmest (termomeeter, termopaar, termistor) ja elektrisoojendist. Kalorimeetrisest süsteem on kaitstud ekraanidega või kestadega, mille eesmärk on reguleerida selle soojusvahetust keskkonnaga. Kestad jagunevad isotermilisteks ja adiabaatilisteks kestadeks. Elektriküttega varustatud korpuse temperatuuri reguleeritakse automaatselt elektrooniliste seadmete abil. [15]

Kalorimeetrite klassifikatsioon võib olla väga erinev. Mõõdetava suuruse tüübi järgi võib kalorimeetrid klassifitseerida: kosmiliste osakeste energia määramiseks (ionisatsiooni kalorimeetrid), röntgeni ja radioaktiivse kiirguse energia mõõtmiseks, keemiliste reaktsioonide entalpiate mõõtmiseks, soojusmahtuvuse ja faasisiirete soojuse mõõtmiseks. [14]

Kõik kalorimeetrid võib jagada muutuva temperatuuriga, konstantse temperatuuriga ja soojuse juhtivkalorimeetriteks vastavalt soojuse koguse mõõtmise põhimõttele.

Kõige levinumad on muutuva temperatuuriga kalorimeetrid, milles soojuse kogust hinnatakse kalorimeetrisüsteemi temperatuuri muutuse järgi ja nende hulgas võib eristada järgmist:

- vedelikud, milles uuritava protsessi soojus kantakse üle kalorimeetrilisse anumasse asetatud "kalorimeetrilisele vedelikule";
- massiivsed, milles soojus kantakse üle sobiva suurusega ja kujuga metallploki;
- konteinerkalorimeetrid, mis on väikese suurusega õhukese seinaga metallist anumad, millesse asetatakse uuritav aine;
- kahekordsed kalorimeetrid - erineva konstruktsiooniga vedelik- või metallkalorimeetrid. [12]

Vähem levinud on konstantse temperatuuriga (isotermilised) kalorimeetrid, mida kasutatakse kõige sagedamini pikaajaliste protsesside uurimiseks. Nendes kasutatakse vabanenud või neeldunud soojuse hulga hindamiseks ainet, mis on muutnud oma agregaatolekut. Nende hulka kuuluvad sulava tahke ainega (jäät, difenüülmetaan, difenüüleeter) või aurustuva vedelikuga (vedel lämmastik, vesinik, heelium) kalorimeetrid. [12]

Soojust juhtivad kalorimeetrid on kasutusel soojusvoogude kalorimeetrias, mille puhul vabanenud (neeldunud) soojuse määramine põhineb soojusvoogude võimsuse  $dQ/dt$  mõõtmisel (Tian-Calveti mikrokaloreetria ( $dQ/dt=f(t)$  kui  $t=const$ )). [12]

Kalorimeetrite kaasaegne klassifikatsioon põhineb kolmel tunnusel: mõõtmismeetod, mõõtmisviis ja seadme konstruktsiooni põhimõtte. Klassifitseerimise mõõtmismeetodite hulgas on: faasisiirde kompenseerimine, kompenseerimine termoelektrilise efekti abil, temperatuuri erinevuse mõõtmine ja lokaalse temperatuuri erinevuse mõõtmine. Samaks eesmärgiks mõeldud mõõtmisrežiimide hulgas on: isotermiline ( $T_{Ke}$  ja  $T_{Ka}=const$ ), isoperiboolne ( $T_{Ke}=const$ , aga  $T_{Ka}=\varphi(P)$ ), adiabaatiline ( $T_{Ke}=T_{Ka}$ ) ja skaneeriv ( $T_{Ke}=\varphi(Z)$ ). Vastavalt ehituspõhimõttele on olemas ühe kalorimeetrisüsteemiga või kahe kalorimeetrisüsteemiga kalorimeetrid. [12]

Kalorimeetrilise vedelikuna võib kasutada inertseid vedelikke, mis uuritavates protsessides ei osale, või vedelikke, mis on mõõdetava protsessi koostisosa ja mille soojust tuleb mõõta. Selliste protsesside näidete hulka kuuluvad: vesilahuste või mittevesilahuste moodustumise protsessid, niisutamine, paisumine. Kalorimeetriline vedelik võib olla vesilahus, mittevesilahus või mõni muu reaktiiv. Reeglina kasutatakse inertseks kalorimeetriliseks vedelikuks destilleeritud vet, sest sellel on mitmeid eeliseid: kättesaadavus, puhastamise lihtsus ja koostise muutumatus. Puudusteks on suhteliselt kõrge küllastunud aururõhk isegi toatemperatuuril ja kõrge aurustumissoojus. [13]

Käesoleval ajal on teada palju eksperimentaalseid uuringuid, milles vee asemel on



kasutatud muid kalorimeetrilisi vedelikke. Nitrobenseeni, etüülalkoholi, süsiniktetrakloriidi ja muid vedelikke, mida võib kasutada toatemperatuuril. Metalsüsteemide kalorimeetrilisteks mõõtmisteks kõrgetel temperatuuridel kasutatakse kalorimeetrilise vedelikuna sulatatud tina. [13]

Termokeemia põhiseadust (tuntud kui Hessi seadus) kasutatakse selliste reaktsioonide soojuse mõju määramiseks, mida ei saa otseselt mõõta. Teatud tüüpi reaktsioonide puhul kasutatakse termini "reaktsiooni soojusefekt" asemel erimõisteid: faasisiirdesoojus, moodustumise soojus, põlemissoojus. [13]

## 2.1 Moodustumise entalpia (neutraliseerimine)

Standardne moodustumise entalpia ( $\Delta_f H^\circ_T$ ) – on ühe mooli aine moodustumise reaktsiooni soojusefekt lihtsatest aine, mis toimub konstantsel rõhul. Lihtainete moodustumise entalpia on võrdne nulliga ja moodustumise entalpia nullväärtus viitab agregatsiooni olekule, mis on stabiilne temperatuuril  $T = 298 \text{ K}$ . [16]

Kui tugev hape neutraliseeritakse tugeva alusega, toimub olenemata happe aniooni ja aluse katiooni olemusest sama protsess - vee molekuli moodustumine vesinik- ja hüdroksiidioonist. See protsess vastab termilisele efektile, mida nimetatakse neutraliseerimissoojuseks. Nõrkade hapete neutraliseerimine tugevate alustega või tugevate hapete neutraliseerimine nõrkade alustega kaasab nõrga elektrolüüdi samaaegse dissotsiatsiooni. Dissotsiatsioonisoosus  $\Delta H_{dis}$  vabaneb või neeldub, mis sõltub molekulide ionideks lagunemisel neeldunud soojusest, ionide hüdratsiooni soojusest lahusti molekulide poolt. Dissotsiatsioonisoosus võib olla kas positiivne või negatiivne. Niisiis nõrkade hapete ja aluste neutralisatsioonisoosus koosneb kahest väärtusest: ionidest vee moodustumise soojusest ja nõrga elektrolüüdi dissotsiatsiooni soojusest:

$$\Delta H^\circ_{nõrk\ el.\text{neut.}} = \Delta H^\circ_{tug.\text{el.}} + \Delta H^\circ_{dis} \quad (2.3)$$

где:  $\Delta H^\circ_{nõrk\ el.\text{neut.}}$  – nõrga elektrolüüdi neutraliseerimise soojus;

$\Delta H^\circ_{tug.\text{el.}}$  – tugeva elktrolüüdi neutraliseerimis soojus;

$\Delta H^\circ_{dis}$  – nõrga elektrolüüdi dissotsiatsioonisoosus. [16]

## 2.2 Faasisiirde entalpia

Faasisiirde soojus jaguneb sõltuvalt faasiülemineku tüübist järgmiselt: sulamise (kristalliseerumise), aurustumise (kondenseerumise), sublimatsiooni soojusteks.

Faasiülemineku standardentalpia on aine füüsikalise oleku muutumisel toimuv standardentalpia muutus. Temperatuur, mille juures toimub faasi muundumine - üleminekutemperatuur.

Käsiraamatutes toodud faasisiirde standardmolaarentalpiad kujutavad endast entalpia muutusi, mis tulenevad 1 mol aine faasiüleminekust standardseisundis üleminekutemperatuuril ja normaalsel atmosfäärirõhul. Vastastikuste protsesside, näiteks aurustumise ja kondenseerumise puhul on molaarsed entalpiad absoluutväärtuselt võrdsed, kuid vastupidise märgiga, nii et käsiraamatutes on esitatud ainult üks väärtustest. Näiteks on käsiraamatutes esitatud vee aurustumise molaarne entalpia  $\Delta H_{aur} = 40,66$  kJ/mol. See tähendab, et 1 mol vee muutmiseks veeauruks kulub 40,66 kJ soojust temperatuuril 398,15 K (100 °C) ja rõhul 101,3 kPa. Positiivne  $\Delta H_{aur}$  näitab, et protsess on endotermiline. Vastupidise eksotermilise kondensatsiooni protsessi tulemusena vabaneb 1 mol vee puhul 40,66 kJ soojust ja seega  $\Delta H_{kond} = -40,66$  kJ/mol. [17]

Standard sulamisentalpia  $\Delta H^{\circ}_{sul}$  on entalpia muutus, mis kaasneb antud aine 1 mol sulamisega tema sulamistemperatuuril ja 101,3 kPa rõhu juures. [17]

Sulamissoojus - üleminek tahkest ainest vedelikuks - on alati positiivne. Vedelfaasi maht (mol, spetsiifiline) ( $V_{ved} = V_2$ ) võib üldjuhul olla suurem või väiksem kui sama koguse tahke faasi maht ( $V_{tahke} = V_1$ ). Võrrandist (2.4) tuleneb, et  $dP/dT$  või  $dT/dP$  pöördväärtus, mis iseloomustab temperatuuri muutust rõhu suurenemisel, võib olla positiivne või negatiivne. See tähendab, et sulamistemperatuur võib rõhu kasvades tõusta või langeda. [17]

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{siirde}}{T_{siirde}(V_2 - V_1)} \quad (2.4) [17]$$

kus:  $\Delta H_{siirde}$  – faasisiirde entalpia [J/mol];  
 $T_{siirde}$  – faasisiirde temperatuur [°C];  
 $V_2 - V_1$  – mahuerinevus [cm<sup>3</sup>/mol]. [17]

Näiteks benseeni puhul ( $T_{sul} = 5,4$  °C;  $\Delta H_{sul} = 9986$  J/mol;  $V_{ved} = 87,28$  cm<sup>3</sup>/mol;  $V_{tahke} = 86,27$  cm<sup>3</sup>/mol saame võrrandist (2.4)):

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{sul}}{T_{sul}(V_{ved} - V_{tahke})} = \frac{9986}{278,5 \cdot (87,28 - 86,27) \cdot 10^{-6}} = 35,50 \cdot 10^6 \text{ Pa/K} [17]$$

Pöördväärtus  $dT/dP = 0,0282 \cdot 10^{-6}$  K/Pa. Seega, kui rõhk suureneb sulamistemperatuuri lähedal, suureneb benseeni sulamistemperatuur. Suure hulga ainete puhul on  $dT/dP$  väärtus positiivne. See väärtus on negatiivne ainult vee, vismuti ja mõne muu aine puhul, mille vedeliku tihedus sulamistemperatuuril on suurem kui tahke aine tihedus ja  $(V_{ved} - V_{tahke}) < 0$ . [17]

Standardne aurustumisentalpia  $\Delta H^{\circ}_{aur}$  on entalpia muutus, mis kaasneb 1 mol aine aurustumisega, selle keemistemperatuuril ja ühe atmosfääri rõhu juures.

Aurustumissoojus ( $\Delta H_{aur}$ ) - üleminek vedelast faasist gaasiliseks faasiks - on positiivne. Sel juhul on gaasi ruumala (spetsiifiline, molaarne) alati suurem kui vedeliku vastav ruumala, st võrrandis (2.4) on alati  $V_2 > V_1$ . Seetõttu on  $dP/dT$  ja seega ka  $dT/dP$  alati positiivsed. Järelikult tõuseb aurutemperatuur alati koos rõhu suurenemisega. [17]

Kriitilisest temperatuurist kaugel asuvates temperatuurides on küllastunud auru tihedus mitu korda väiksem kui vedeliku tihedus ja selle pöördväärtus, st auru molaarne (spetsiifiline) maht on mitu korda suurem kui vedeliku molaarne (spetsiifiline) maht. Seetõttu võib võrrandis (2.4) esitatud väärtuse  $V_1 = V_{ved}$  tähelepanuta jätta ja see omandab vormi: [17]

$$\Delta H_{aur} = T \frac{dP}{dT} V_{gaas} \quad (2.5) [17]$$

Kui kriitilisest temperatuurist kaugel olevat küllastunud auru temperatuuri võib pidada ideaalgaasiks, siis  $V_{gaas} = RT/P$  ja võrrand (2.4) avaldub järgmiselt:

$$\Delta H_{aur} = RT^2 \frac{dP}{dT} \cdot \frac{1}{P} = RT^2 \frac{d \ln P}{dT} \quad (2.6) [17]$$

Vedelike aurustumissoojus varieerub koos temperatuuriga. Keskmise temperatuuri juures ei vähene märkimisväärselt ning vastupidi, väheneb väga palju kriitilise temperatuuri lähedal, millel  $\Delta H_{aur} = 0$ . [17]

## 2.3 Soojusmahtuvus

Protsessi soojusefekt on soojushulk  $Q$ , mis vabaneb või neeldub antud temperatuuril ja konstantse rõhu või mahu juures toimuva protsessi tulemusel, ilma et tekiks mingit kasulikku tööd. Isohoorilistes ja isobaarilistes protsessides on soojusefekt võrdne vastavalt süsteemi siseenergia  $\Delta U$  ja entalpia  $\Delta H$  muutusega. Sellisel juhul kehtib Hessi seadus, mille kohaselt ei sõltu protsessi (sealhulgas keemilise reaktsiooni) termiline mõju vahepealsetest etappidest, vaid on määratud ainult lähte- ja lõppainete olemusest ja agregaatolekust, tingimusel, et lähte- ja lõpptemperatuurid on ühesugused. Kuna protsessid toimuvad tõenäolisemalt konstantsel rõhul, väljendatakse termilisi mõjusid tavaliselt  $\Delta H$ -ga, mida järgnevalt kasutatakse kaudselt. Enamik füüsikalisi-keemilisi arvutusi nõuab teadmisi ainete soojusmahtuvuse, lahustumisprotsesside, faasimuutuste ja keemiliste reaktsioonide soojuse mõju kohta. Neid väärtusi saab mõõta eksperimentaalselt. Kui soojuse mõju ei ole võimalik määrata otsese eksperimendi abil (näiteks, ühendite moodustumise soojuse puhul lihtsatest ainetest), arvutatakse see Hessi seadusest ja selle tagajärjedest lähtuvalt abikalorimeetriliste katsete tulemuste põhjal. Toatemperatuurile lähedastel temperatuuridel kasutatakse tavaliselt kalorimeetrilist meetodit. Kalorimeetrilistes katsetes määratakse protsessi soojusefekti  $Q$  väärtus ja kalorimeetri temperatuuri  $\Delta t$  muutuse alusel (ilma soojuskadudeta): [18]

$$Q = (\sum g_i \cdot C_i) \cdot \Delta t = C_w \cdot \Delta t \quad (2.7) [18]$$

kus:  $g_i$  – katsetatavate ainete mass, kalorimeeter ja tarvikud (segisti, ampull, termomeeter) [g];

$C_i$  – katsetatava aine, kalorimeetri ja abiseadmete erisoojusvõimsused [J/g];

$C_w$  – süsteemi summaarne soojusmahtuvus on süsteemi kõigi soojusvahetuses osalevate osade soojusmahtuvus [J/K]. [18]

Võrrandit (2.7) võib kirjutada järgmiselt:

$$Q = (g_1 \cdot C_1 + K) \cdot \Delta t \quad (2.8) [18]$$

kus:  $K$  – kalorimeetrikonstant, st soojusvahetuses osalevate kalorimeetri osade ja abiseadmete soojusmahtuvus [J/K];

$C_1$  – kalorimeetri sisu soojusmahtuvus;

$g_1$  – kalorimeetri sisu mass;

$\Delta t$  – protsessi temperatuurimuutus, mis toimub kalorimeetri ja keskkonna vahelise soojusvahetuse puudumisel. [18]

Soojusmahtuvus on süsteemi soojendamise (või jahutamise) inertsuse mõõt ja on arvuliselt võrdne soojuse kogusega, mis tuleb süsteemi anda, et tõsta selle temperatuuri ühe kraadi võrra isobaarse ( $p = \text{konst}$ ) või isohoorse ( $V = \text{konst}$ ) kuumutamise protsessis. [18]

Eristatakse keskmist ja tegelikku soojusvõimsust. Süsteemi keskmine soojusmahtuvus temperatuurivahemikus  $T_1 - T_2$  arvutatakse valemitega:

$$\bar{C}_v = \frac{Q_v}{T_2 - T_1} = \frac{Q_v}{\Delta T} \quad \bar{C}_p = \frac{Q_p}{T_2 - T_1} = \frac{Q_p}{\Delta T} \quad (2.9) [19]$$

kus:  $\bar{C}_v$  – isohoorse kütte soojusmahtuvus ( $V = \text{konst}$ );

$\bar{C}_p$  – isobaarse kütte soojusmahtuvus ( $p = \text{konst}$ );

$Q$  – soojushulk, mis on vajalik süsteemi temperatuuri tõstmiseks temperatuurilt  $T_1$  temperatuurini  $T_2$  isobaarse ( $Q_p$  arvestades, et  $p = \text{konst}$ ) või isohoorse ( $Q_v$  arvestades, et  $V = \text{konst}$ ) kuumutusprotsessi käigus. [19]

Tegelik soojusmahtuvus määratakse sarnaste võrranditega nagu (2.9), kuid piiridega temperatuurivahemikus  $\Delta T \rightarrow 0$ . Need piirväärtused on võrdsed entalpia ja siseenergia tuletistega:

$$C_v = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{Q_v}{\Delta T} \right) = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta U}{\Delta T} \right) = \frac{\partial U}{\partial T}; \quad C_p = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{Q_p}{\Delta T} \right) = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta H}{\Delta T} \right) = \frac{\partial H}{\partial T} \quad (2.10) [19]$$

Selge, et kui temperatuurivahemik väheneb, kaldub keskmine soojusmahtuvus tegeliku soojusmahtuvuse suunas, sest võrrandid (2.9) muutuvad piirväärtuses (2.10). Isegi

ideaalse kalorimeetriga (kui mõõtmise toimub 0,05% täpsusega) pole võimalik eristada  $\Delta T \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$  juures tegelikku ja keskmist soojusmahtuvust. Kalorimeetri temperatuuri muutmisel  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ulatuses arvestatakse soojusmahtuvus tegelikuks väärtuseks. Kui rõhk kalorimeetrisüsteemis püsib katse ajal konstantsena (avatud kalorimeetris on see atmosfääriline), siis arvutatakse protsessi määratud soojusefektist  $Q_p$  soojusmahtuvus konstantsel rõhul  $C_p$  (isobaarne soojusmahtuvus), kasutades võrrandeid (2.9) ja (2.10). Kui kalorimeetrisüsteemi ruumala jääb konstantseks ja rõhk muutub katse ajal, arvutatakse soojusmahtuvus konstantse ruumala juures  $C_v$  (isohoorne soojusmahtuvus) protsessi  $Q_v$  määratud soojusefektist, kasutades võrrandeid (2.9) ja (2.10). Isotermilise kestaga kalorimeeter tagab soojusvahetuse keskkonnaga, mis võimaldab arvutada katsele vastava temperatuuri muutuse  $\Delta t$  ilma soojusvahetuseeta. [19]

### 3. PRAKTILINE OSA

#### 3.1 Kalorimeetri seadistuse ja mõõtmisprotsessi kirjeldus

Kalorimeeter on seade, mida kasutatakse erinevate füüsikaliste ja keemiliste protsesside soojuslike mõjude mõõtmiseks ja soojusmahtuvuse määramiseks. Lihtsaim kalorimeeter on anum (klaas), mis on paigutatud teise, suurema läbimõõduga anumasse, kus on väike õhuvahe soojusülekanne vähendamiseks. Anuma ülaosa on suletud kaanega, mille kaudu seadistatakse segisti ja termomeeter. Kalorimeetris on vee temperatuur aurustumise tõttu madalam kui õhu temperatuur. [20]

Kehade kogumit, mille vahel mõõdetud soojushulk jaotub, nimetatakse kalorimeetrisüsteemiks ja seda ümbritsevaid seadmeid, mis on mõeldud soojusvahetuse reguleerimiseks, nimetatakse kalorimeetri kestadeks.

Kalorimeetriline süsteem koosneb järgmistest osadest (joonis 3.1):

- kalorimeetri anum (klaasanum), milles uuritav protsess toimub;
- temperatuuri mõõtevahendid (elavhõbedatermomeeter, takistustermomeeter, termopaar, termistor);
- elektrikütteseade;
- magnetsegaja koos magnetiga.



Joonis 3.1 Kalorimeetriline süsteem

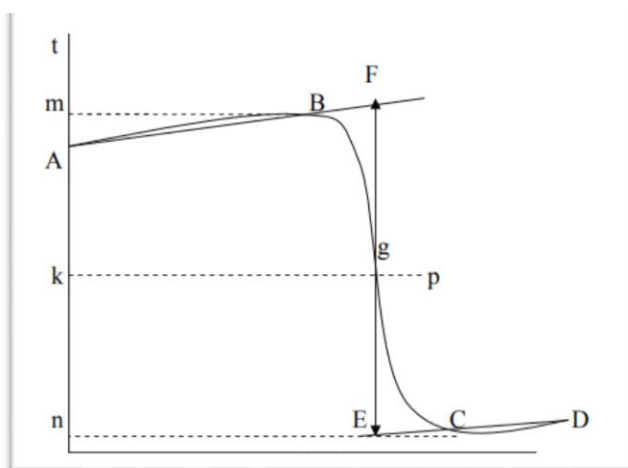
Kalorimeetriline süsteem on kaitstud ekraanide või ümbrikestega, mis on ette nähtud selle soojusvahetuse reguleerimiseks keskkonnaga. Elektrikütteseadmega varustatud kesta temperatuuri reguleeritakse automaatselt elektrooniliste seadmete abil. [20]

Kalorimeetrid on kahte peamist tüüpi: isotermilised ja adiabaatilised. Esimest tüüpi kalorimeetris kulub kogu vabanev soojus selles sisalduva aine agregeeritud oleku muutmiseks (tahke aine sulamine või vedeliku aurustumine); temperatuur jääb

kalorimeetris konstantseks, sest esimest tüüpi faasiire toimub ühekomponentses süsteemis konstantsel rõhul isotermiliselt. Teist tüüpi kalorimeetrite puhul on iseloomulik, et katse ajal muutub temperatuur ja osa mõõdetavast soojusest võib kaduda soojusvahetuse teel keskkonda, mida tuleb arvesse võtta. [20]

Ühine ja kohustuslik kõigi termokeemias tehtavate praktikumi tööde puhul on temperatuuri täpne määramine kalorimeetrilise katse ajal. Kalorimeetris tehtavate kalorimeetriliste mõõtmiste käigus toimub soojusvahetus keskkonnaga, mille tulemuseks on soojuskadu keskkonda. Seetõttu erineb uuritava protsessi alg- ja lõpptemperatuuri erinevus tavaliselt protsessitemperatuuri muutusest, mis on määratud tingimustes, mis välistavad soojuskadusid. Kalorimeetrilisel mõõtmisel saadud andmete põhjal saab tegelikku temperatuurimuutust määrata kahel viisil - analüütiliselt ja graafiliselt. [20]

Graafiline meetod on lihtsam, sama täpne kui analüütiline meetod ning võimaldab protsessi paremini mõista. Tegelikku temperatuuri muutuse määramisel graafilise meetodi abil registreeritakse kalorimeetris oleva vedeliku temperatuur tööks ettevalmistatud kalorimeetrisse asetatud klaasis seni, kuni temperatuurimuutus on ühtlane ja ebaoluline või kuni temperatuurimuutust ei täheldata (vähemalt 5 minutit). Seda loetakse esialgseks perioodiks. Seejärel algab termokeemiline katse ilma temperatuuri salvestamist katkestamata, mida nimetatakse põhiperioodiks. Põhiperioodi lõpus, kui temperatuurimuutus on taas ühtlane ja ebaoluline, jätkatakse temperatuuri registreerimist veel 5 minutit, mille järel loetakse katse lõppenuks ja seda täheldake kui lõppperioodi. Vedeliku segamine segisti abil hõlbustab kiiret termilist tasakaalu kalorimeetris. [20]



Joonis 3.2 Graafik temperatuuri muutuse määramiseks [20]

Kasutades katseandmeid, joonistatakse graafik temperatuuri-aja koordinaatidega. Saadud graafik (endotermilise protsessi puhul) on järgmine (joonis 3.2). Aega, mis viitab lõigule AB, nimetatakse "algusperioodiks", BC "põhiperioodiks" ja CD

"lõppperioodiks". Tegelikult  $\Delta T$  määramiseks tõmmatakse jooned läbi punktide, mis registreerivad alg- ja lõpuperioodide AB ja CD ühtlast temperatuurimuutust. Põhiperioodi algus on protsessi algus, mille järel temperatuur hakkab järsult muutuma, ja põhiperioodi lõpp on punkt, mis langeb esimesena joonele CD. Punktid B ja C projitseeritakse ordinaatteljele, leitakse lõigu mn keskpunkt ja tõmmatakse sirge joon kp. Vertikaalne joon tõmmatakse läbi punkti g. Ekstrapoleeritakse vertikaalsed lõigud AB ja CD kuni lõikepunktini vertikaaliga punktides E ja F. Segment EF vastab tegeliku temperatuurimuutusele  $\Delta T$  kalorimeetriselises katses koos soojusülekanne korrektsiooniga. BS järskus sõltub uuritava termilise protsessi olemusest ja tingimustest. AB ja CD järskus sõltub keskkonnaga toimuva soojusvahetuse iseloomust ja tingimustest. Seega saab ABCD kõvera tüübi järgi hinnata tehtud katse kvaliteeti ja arvestada selle puudustega järgmiste katsete läbiviimisel. Oluline: termilisest protsessist tingitud  $\Delta T$  määramise täpsus on peamine tegur, mis määrab lõpptulemuse täpsuse (soojusmahtuvuse või termilise mõju arvutamine). [20]

Kalorimeetrites katsetes on soojuse mõju määramiseks vaja teada süsteemi  $C_w$  summaarset soojusmahtuvust. See väärtus arvutatakse katseandmete põhjal, rakendades süsteemi teadaolevat soojusekogust  $Q$  ja määrates  $\Delta t$  graafiliselt. Teatud koguses soojust saab suunata süsteemi, rakendades elektrienergiat või lahustades teadaoleva lahustumissoojusega soola. [20]

### **3.2 Kalorimeetrite katsete läbiviimine «Phywe Cobra 3» seadme abil**

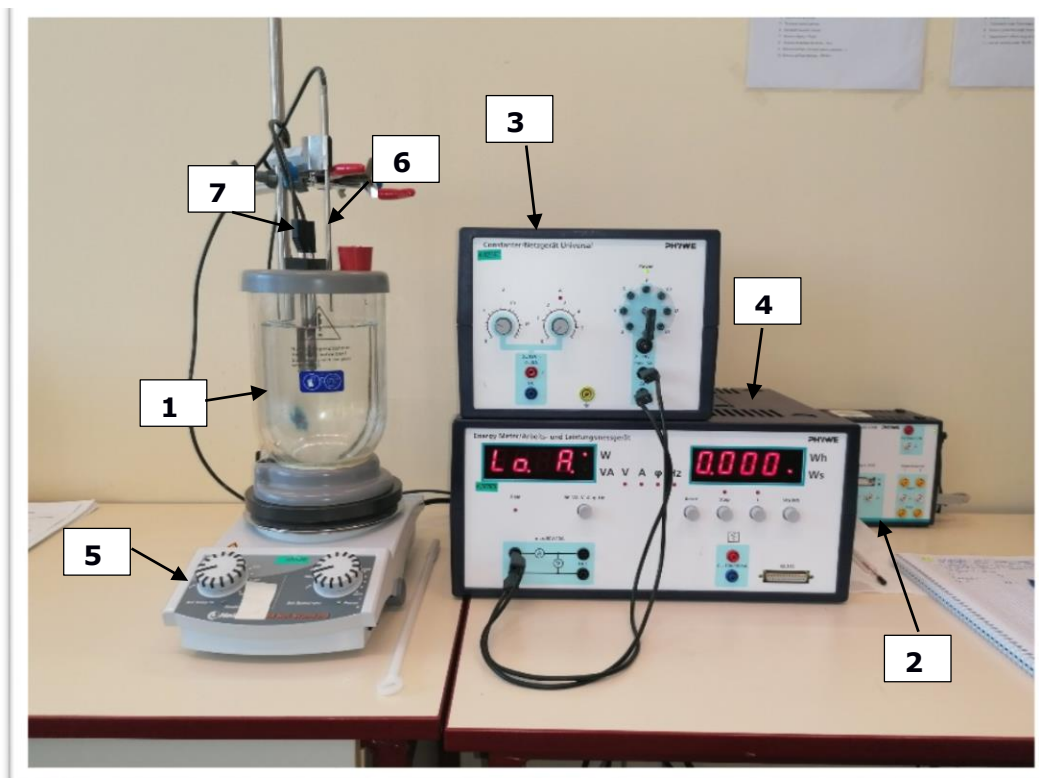
Käesoleva lõputöö eesmärk on kirjutada metoodiline juhend, kasutades Phywe Cobra 3 seadet. Seadme kasutamiseks on vaja uurida selle struktuuri ja tööpõhimõtet.

Phywe Cobra 3 kalorimeetiline seade, mida kasutati kalorimeetrite katsete tegemiseks neutraliseerimise, aurustumise ja sulamisentalpiaie määramise meetodite välatöötamiseks on näidatud all (joonis 3.3). Selle seadme peamised osad on järgmised:

1. kalorimeeter Phywe;
2. põhiseade Phywe;
3. toiteallikas Phywe;
4. energiaplokk Phywe;
5. magnetsegaja;
6. temperatuuriandur;
7. kütteelement.

Kalorimeeter, põhiseade, toiteallikas ja energiaplokk tuleb üksikasjalikumalt läbi vaadata.





Joonis 3.3 Kalorimeetriline seade Phywe Cobra 3

**Kalorimeeter Phywe** (joonis 3.1) koosneb klaasist Dewar-kolbist (mahuga 1200 ml) koos kaane ja alusega. Kaanes on kaks auku, mida kasutatakse täitmiseks ja temperatuurianduri, kütteelemendi või aurustusanuma paigaldamiseks. Kalorimeetriga määratakse reaktsiooni entalpia, latentne soojus või erisoojusvõimsus. Väikese soojusmahtuvusega hästi isoleeritud anum as põhjustab sisse- või väljavõetud soojuse hulk temperatuuri muutuse, mida saab täpselt mõõta ja mille põhjal saab arvutada



Joonis 3.4 Põhiseade Phywe

soovitud muutuja, kui muud katsetingimused on teada. Kalorimeeter on läbipaistev, nii et on võimalik jälgida tüüpilisi värvimuutusi, agregaatoleku muutusi või sademeid, mis sageli esinevad keemiliste reaktsioonide käigus. [21]

**Põhiseade Phywe** (joonis 3.4) (Cobra3 Basic-Unit) on mõõtmise, juhtimise ja reguleerimise liides. See võib töötada kas arvuti või spetsiaalse juhtimisseadmega (COM-üksus).

Seadmel on 3 analoogsisendit (1 mooduliport, 2 anduriporti), 1 analoogväljund, 3 digitaalset juhet, 2 taimeri/loenduri sisendit ja fikseeritud pingeväljund. Vajaduse korral saab sisendite ja väljundite arvu suurendada, ühendades täiendavaid põhimooduleid. Seade on ümbritsetud põrutuskindla plastkorpusega ja varustatud reguleeritavate jalgade, erinevate paigaldusvõimaluste ja külgmiste ühendustega lisamoodulite

ühendamiseks. Käesoleva lõputöö kalorimeetrilistes katsetes kasutati antud lisaseadeldist temperatuuriplokina.



Joonis 3.5 Toiteallikas Phywe

**Toiteallikas Phywe** (joonis 3.5) on universaalne suure koormusega toiteallikas, mida saab kasutada ka alalisvoolu toiteallikana koolides, laborites ja töökodades. Toiteplokk on ümbritsetud löögikindla plastikorpusega. Seadme toe külge kinnitatud osa saab kallutada tagasi, et hoida seadet kallutatud asendis. Kummist jalad tagavad stabiilsuse ja suurema libisemiskindluse, kui seadmed on üksteise peale laotud.

Omab järgmisi tehnilisi näitajaid:

- alalisvooluallikas: stabiliseeritud, reguleeritav alalisvoolu väljundpinge, mis on pidevalt reguleeritav vahemikus 0...18 V;
- reguleeritav voolu piirväärtus vahemikus 0...5 A;
- pidev kaitse lühiste ja välise pinge eest;
- alternatiivne pingeväljund;
- mitmeastmeline transformaatoreid 2...15 V, galvaaniliselt vooluvõrgust eraldatud;
- täielik kandevõime (5 A), isegi kui samaaegselt toidetakse alalisvooluga;
- lühisvoolukaitse ülevoolukaitseülilülit. [22]



Joonis 3.6 Energiaplokk Phywe

**Energiaplokk Phywe** (joonis 3.6) on mikroprotsessoriga juhitud seade, mida kasutatakse mõõtmisperioodi jooksul kulutatud elektrilise võimsuse ja energia mõõtmiseks. Võimsus ja energia kuvatakse kõrvuti asuvatel ekraanidel, mille järgi saab jälgida nende suuruste vahelist seost. Seade mõõdab pinge- ja vooluväärtusi ning seda kasutatakse ka koguvõimsuse ja sageduse arvutamiseks.

Seda kasutatakse energia (Ws või Wh) mõõtmiseks aja (s või h) abil. Kõiki neid väärtusi saab ka kuvada. Sobib mitte ainult pinge, voolu, võimsuse ja energia vaheliste seoste leidmiseks ja tõhususe määramiseks, vaid ka graafiliste või sageduskarakteristikute määramiseks.

Kõik seadmed on ühendatud arvutiga, millel on Phywe tarkvara. Programm ise registreerib näidud ja koostab nende põhjal graafiku. See programm asub töölaual ja kannab nime "Measure" ning pärast selle avamist valitakse vahekaardilt "Gauge" tööriist "Cobra3 Temperature". Siin määratakse iga laboratoorse praktikumi jaoks vajalikud mõõteparameetrid. On vaja sisestada kalorimeetrise termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus või toatemperatuuri väärtus, seejärel kalibreerida ja oodata, kuni saavutatakse esialgne temperatuuritasakaal ning alustatakse mõõtmist, vajutades nuppu "Start".

Alustatakse neutraliseerimise, aurustumise või sulatamise protsessi, kui see on lõppenud oodatakse taas temperatuuritasakaalu. Järgmise sammuna määratakse kalorimeetri summaarne soojusmahtuvus, selle leidmiseks lülitatakse sisse energiaploki pinge ning tarbitakse teatud koguses energiat. Seejärel kirjutakse üles järgnevate arvutuste jaoks vajalikuid väärtused ja oodatakse kolmandat temperatuuritasakaalu. Kui see on saavutatud, lõpetatakse kõik mõõtmised, vajutades nuppu "Stop". Seejärel kuvatakse ekraanile graafik.

Samuti tuleb märkida, et iga neutraliseerimise, aurustumis- ja sulamisentalpia määramise meetodika läbiviimiseks ja väljatöötamiseks tuleb käesolevat kalorimeetri seadet täiendada vajalike tarvikute ja seadmetega, mis on ettenähtud vastava töö jaoks.

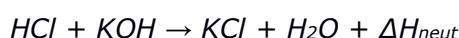
### **3.3 Katsete läbiviimine ja meetodika väljatöötamine neutraliseerimise entalpia määramiseks**

Neutraliseerimise entalpia määramise meetodika on välja töötatud Phywe käsiraamatu alusel, mis on koostatud eksperimentaalselt Phywe Cobra 3 seadmel. Käsiraamat kuulub Phywe seadmega kokku.

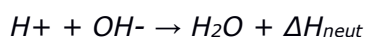
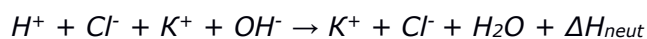
Meetodika väljatöötamise peamine eesmärk on kavandada ja kohandada katsete kulgu, et määrata neutraliseerimise entalpia Phywe Cobra 3 seadmel. Koostada põhjalik meetodika tehtud katsete ja arvutuste põhjal laboratoorse praktikumi läbiviimise jaoks ja rakendada seda seejärel õppetöös.

Töö eesmärk: määrata tugeva aluse neutraliseerimise entalpia tugeva happe poolt.

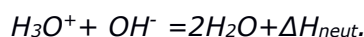
Neutraliseerimise entalpia on soojusefekt, mida võib täheldada, kui 1 mol tugevat alust neutraliseerib 1 mol tugevat hapet. Kui vaatleme tugeva happe neutraliseerimise reaktsiooni tugeva alusega, siis on see järgmine:



Kuna komponendid on täielikult dissotsieerunud, on neutraliseerimisreaktsiooni võrrand kujul (iooniline vorm):



Seega toimub tugeva happe neutraliseerimisel tugeva alusega, sõltumata happe aniooni ja aluse katiooni olemusest, sama protsess - vee molekuli moodustumine vesinikioonist ja hüdroksiidioonist. Sama protsess vastab samale termilisele efektile - neutraliseerumisreaktsiooni termilisele efektile  $\Delta H_{neutr}$ . Õigemini võiks neutraliseerumisreaktsiooni tähistada võrrandiga: [16]

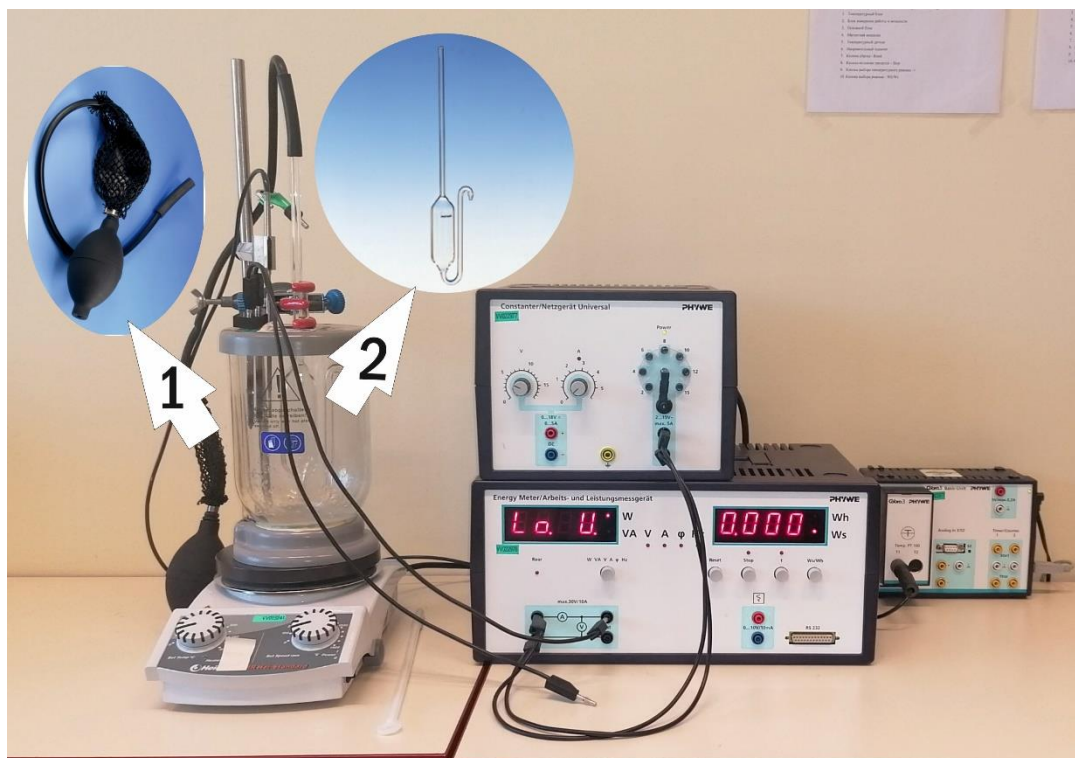


Tugeva happe ja tugeva aluse lahjendatud vesilahuste vahelise neutraliseerumisreaktsiooni molaarne entalpia on alati sama, kuna sidemeid ei ole vaja lõhkuda ja H-O sidemete tekkimine  $H_2O$ -s vabastab energiat (sidemete lõhkumine on endotermiline protsess ja sidemete moodustamine on eksotermiline protsess). [23]

$$\Delta H_{neut} = -55,90 \text{ kJ/mol [23]}$$

Seda väärtust võrdleme katsete tulemustega, et määrata neutraliseerimise entalpia.

### **Seadmed, tarvikud ja reaktiivid**



Joonis 3.7 Neutraliseerimise entalpia määramise seade

Neutraliseerimise entalpia seade sisaldab joonis 3.3 näidatud seadmeid ning joonis 3.7 näidatud lisatarvikuid.

### Lisatarvikud ja seadmed:

- kalorimeetriline seade;
- pipett kalorimeetri jaoks, 50 ml (**2**);
- pipetipump;
- kummipirn, topelt (**1**);
- vedruklamber, laius 15 mm;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- mõõtekolb, 500 ml - 2 tk;
- keeduklaas, 100 ml, kõrge;
- keeduklaas, 600 ml, kõrge;
- arvuti koos tarkvaraga.

### Reaktiivid:

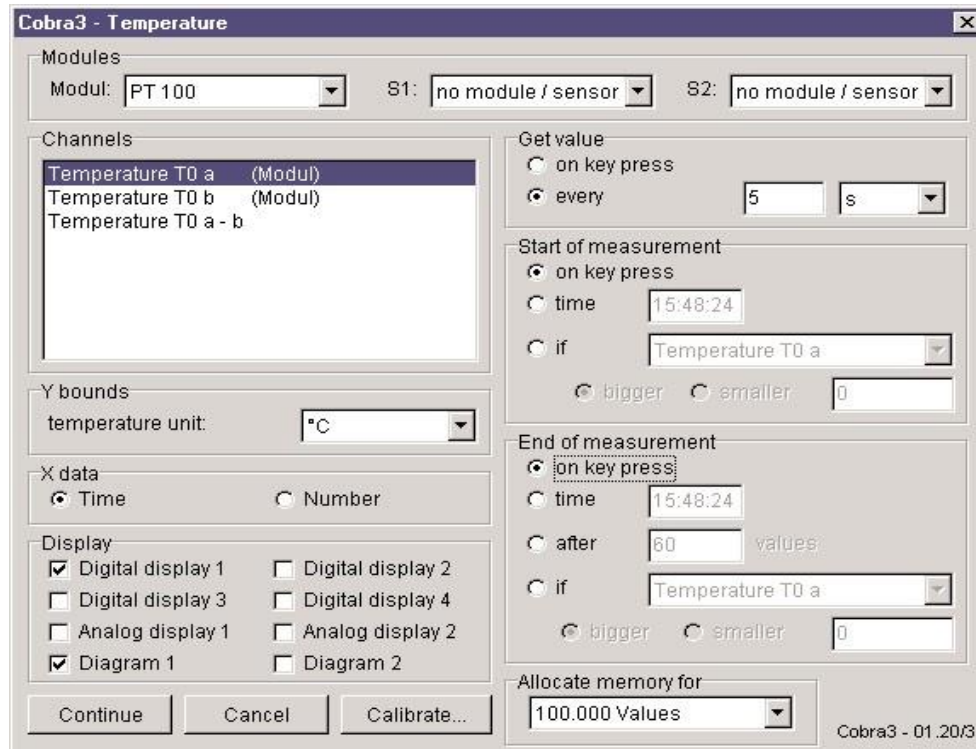
- KOH 2M lahus;
- HCl 2M lahus;
- destilleeritud vesi.

Nende reaktiivide käitlemisel tuleb olla ettevaatlik ja järgida ohutusnõudeid. KOH (lisa 1) ja HCl (lisa 2) ohutuskaardid on lõputöö lisas.

### 3.3.1 Neutraliseerimise entalpia määramise töökäik

- 1) Panna kokku kalorimeetriline seade (joonis 3.7), ühendada temperatuuriandur (6) mõõtmise mooduliga (2). Kütteelemendi (7) töö- ja võimsuse mõõtmise mooduliga ühendust ei nõuta.
- 2) Valmistada KOH ( $c_{\text{HCl}}=2 \text{ mol/l}$ ) lahus, viia 1 M KOH fiksaanal 500 ml mõõtekolbi ja täita veega miniskini. Valmistada teises 500 ml mõõtekolvis soolhappe lahus, kasutades selleks 1M HCl fiksaanali täpse kontsentratsiooniga lahuse valmistamiseks ( $c_{\text{HCl}}=2 \text{ mol/l}$ ).
- 3) Käivitada arvuti töölaual programm "Measure", valida vahekaardil "Gauge" tööriistaks "Cobra3 Temperature" ja seadistada mõõtmisparameetrid (joonis 3.8).
- 4) Täita kalorimeeter 750 g destilleeritud veega kasutades selleks mõõtsilindrit. Kaaluda lahusti tehnilistel kaaludel (0,1 g täpsusega) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale. Tuleb arvestada kadusid.
- 5) Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse

all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».

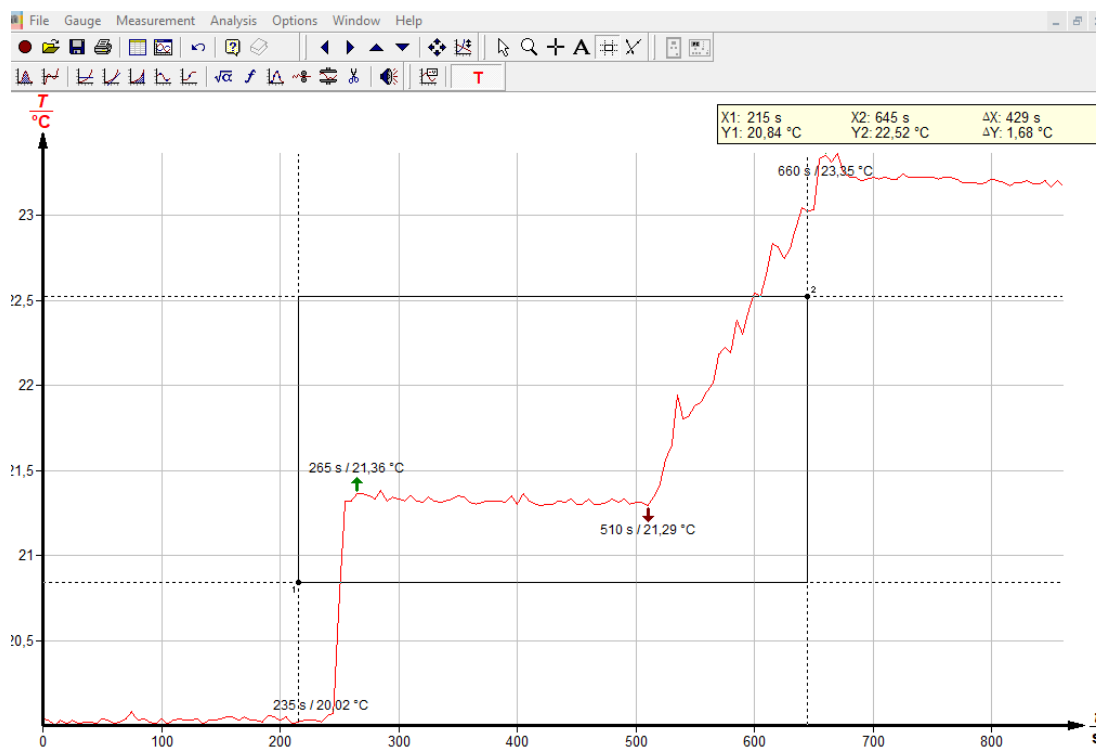


Joonis 3.8 Neutraliseerimise mõõtmise parameetrite seadistused

- 6) Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu "Continue". Avanevas aknas kuvatakse hetkel olev temperatuur, mis viitab et tasakaal on seadistatud.
- 7) Kaaluda 60 g kaaliumhüdroksiidi lahust (täpsus 0,1 g) ja valada see kalorimeetrisse. Kasutades kalorimeetripipetti, millele on kinnitatud pipetipump, võtta kõrgest keeduklaasist (600 ml) umbes 50 ml 2 M HCl. (Asetada pipett (vt joonis 3.7 positsiooni 2) täidetud keeduklaasi vertikaalselt põhja. Pumba abil tõmmata lahus külgoosa kaudu sisse. Jätkata täitmist kuni pipeti ots jääb lahusest välja). Kalorimeetripipetiga võetud HCl täpne mass arvutatakse täidetud ja tühja kalorimeetripipeti erinevuse põhjal (täpsus 0,1 g).
- 8) Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pöört minutis. Asetada pipett kalorimeetri anumasse, kinnitades topeltkummipirn kalorimeetripipeti külge ja pigistada voolik vedruklambriga kinni. Kinnitada pipett statiivi külge nii, et selle ots oleks kalorimeetri vedeliku tasemest kõrgemal ja segisti saaks vabalt pöörlelda.



- 9) Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.
- 10) Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja seejärel pipeteerida HCl kalorimeetris olevasse KOH lahusesse. Jätkata mõõtmist, kuni saavutatakse uus temperatuuritasakaal. Registreerida temperatuur  $T_2$ .
- 11) Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 3) toitepinge 10 V peale. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja). Süsteem soojeneb nüüd pidevalt ja seade näitab tarnitud energia kogust  $W$  (energiaploki 4 ekraanil), mis on võrdne  $Q_{cal}$ .
- 12) Kui temperatuur süsteemis tõuseb umbes 2 °C võrra, registreerida tarnitud energia kogus  $W$  (plokk 4), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja (eemaldada kütteelemendi energiaploki 4 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 3. Pärast 3 minutit peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.
- 13) Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt temperatuuri muutuste graafiku (joonis 3.9). Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ja sundkuumutusaaeg, mis on vajalik arvutuste tegemiseks.



Joonis 3.9 Neutraliseerimise entalpia graafik

### 3.3.2 Neutraliseerimise entalpia andmete töötlemine

Selle metoodika kohaselt viidi läbi viis katset (1 proovikatse ja 4 põhikatset), saadi andmed ja arvutati tulemused. Katsete käigus saadud andmed on esitatud tabelis (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Andmed neutraliseerimise entalpia määramiseks

	Proovikatse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4
$m_{1(H_2O)}$ , g	1545,56	1546,02	1545,60	1545,51	1545,47
$m_{2(H_2O)}$ , g	796,56	796,52	796,50	796,50	796,72
$m_{(H_2O)}$ , g	749,00	749,50	749,10	749,01	748,75
$m_{1(KOH)}$ , g	56,68+ 60,05	58,15+ 60,05	71,67+ 60,04	58,96+ 60,05	52,33+ 60,02
$m_{2(KOH)}$ , g	56,88	58,73	71,93	59,04	52,64
$m_{(KOH)}$ , g	59,85	59,83	59,78	59,97	59,71
$m_{1(HCl)}$ , g	164,17	164,52	164,49	164,79	164,12
$m_{2(HCl)}$ , g	113,54	113,63	113,66	113,56	113,61
$m_{(HCl)}$ , g	50,63	50,89	50,83	51,23	50,51
$T_1$ , °C	23,16	23,82	23,38	21,39	20,02
$T_2$ , °C	24,57	25,09	24,75	22,75	21,36
$T_3$ , °C	26,65	27,14	26,82	24,85	23,35
$W$ , J	48,41	47,76	47,47	45,62	45,64
$\Delta t$ , s	630- 430=200	640- 430=210	610- 455=155	745- 560=185	670- 510=160

Tabel 3.1 kasutatavad tähised:

- $m_{1(H_2O)}$  – tühja silindri mass + vajalik kogus destilleeritud  $H_2O$ , g;
- $m_{2(H_2O)}$  – tühja silindri mass + destilleeritud  $H_2O$  jäägid, g;
- $m_{1(KOH)}$  – tühja silindri mass + vajalik kogus KOH, g;
- $m_{2(KOH)}$  – tühja silindri mass + KOH jäägid, g;
- $m_{1(HCl)}$  – tühja mõõtekolvi + kalerimeetripipeti + vajalikus koguses HCl mass, g;
- $m_{2(HCl)}$  – tühja mõõtekolvi + kalorimeetripipeti mass, g;
- $T_1$  – temperatuuri algväärtus, °C;
- $T_2$  – temperatuuri väärtus pärast neutraliseerimisprotsessi lõppu, °C;
- $T_3$  – temperatuuri väärtus pärast sundkuumutamist, °C;
- $W$  – kütteks kulutatud energia väärtus, J;
- $\Delta t$  – sundkütmise aeg, s.



### Neutraliseerimise entalpia leidmise üldvalem on esitatud järgmiselt:

$$\Delta H_n = -\frac{\rho_{HCl}}{C_{HCl} \cdot m_{HCl}} Q_{exp} \quad (3.1)_1$$

kus:  $\Delta H_n$  – molaarne neutraliseerimise entalpia, kJ/mol;

$Q_{exp}$  – neutraliseerimise soojus, kJ;

$m_{HCl}$  – sisestatud HCl mass, g;

$C_{HCl}$  – HCl kontsentratsioon (= 2 mol/l);

$\rho_{HCl}$  – HCl tihedus (= 1,0344 g/ml 2 M HCl puhul 20 °C juures).

Neutraliseerumiseentalpia leidmiseks sooritatakse alljärgnevad arvutused:

Arvutuste selgeks tegemiseks kasutatakse katse nr 4 andmeid, mille graafik on näidatud joonis 3.9.

1) Määratakse  $Q_{cal}$  (elektitöö, J)

$$Q_{cal} = W \cdot \Delta t \quad (3.2)$$

$$Q_{cal} = 45,64 \text{ J} \cdot (670 \text{ s} - 510 \text{ s}) = 7302,4 \text{ J}$$

2) Leitakse temperatuuri erinevus ( $\Delta T_{exp}$ ) neutraliseerimisprotsessi ajal

$$\Delta T_{exp} = T_2 - T_1 \quad (3.3)$$

$$\Delta T_{exp} = 21,36 \text{ °C} - 20,02 \text{ °C} = 1,34 \text{ °C}$$

3) Määratakse temperatuuri erinevus sundkütmise ajal ( $\Delta T_{cal}$ )

$$\Delta T_{cal} = T_3 - T_2 \quad (3.4)$$

$$\Delta T_{cal} = 23,35 \text{ °C} - 21,36 \text{ °C} = 1,99 \text{ °C}$$

4) Arvutatakse neutraliseerimissoojus ( $Q_{exp}$ , J), kasutades juba varem leitud elektrilist tööd ja temperatuuri erinevust neutraliseerimise ja sundkütmise vahel

$$Q_{exp} = Q_{cal} \frac{\Delta T_{exp}}{\Delta T_{cal}} \quad (3.5)$$

$$Q_{exp} = 7302,4 \text{ J} \cdot \frac{1,34 \text{ °C}}{1,99 \text{ °C}} = 4917,194 \text{ J}$$

5) Leitakse neutraliseerimise entalpia vastavalt valemile (3.1)

$$\Delta H_n = -\frac{1034,4 \text{ g/l}}{2 \text{ mol/l} \cdot 50,51 \text{ g}} \cdot 4917,194 \text{ J} = -50,35 \text{ kJ/mol}$$

Käesoleva töö punktis 3.3 mainiti, et olemasolevat võrdlusväärtust  $\Delta H_n = -55,90 \text{ kJ/mol}$  tuleb võrrelda iga arvutatud väärtusega. Tegemist on 1 kilogrammi massi kohta arvutatud väärtusega. Kuna kasutatud lahuse mass on väiksem kui 1 kilogramm, alustatakse tegeliku lahuse massi leidmisega.

6) Määratakse  $\Delta H_n$  punktis X  $m_{(lahus)}$ . Kui 1 kilogrammi juures on

neutraliseerumisentapia = -55,90 kJ/mol, siis peaks määrama, milline on entalpia väärtus meie tegeliku lahuse massi juures. Selleks tuleb kõigepealt leida saadud lahuse mass

$$m(\text{lahus}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{KOH}) + m(\text{HCl}) = 748,75 \text{ g} + 59,71 \text{ g} + 50,51 \text{ g} = 858,97 \text{ g}$$

- 7) Järgmise sammuna leitakse võrdlusentalpia neutraliseerumise kohta antud lahuse massi arvestades

$$\Delta H_{nx} = \frac{-55,90 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 0,859 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = -48,016 \text{ kJ/mol}$$

- 8) Võrreldakse lahuse massile 858,97 g saadud standardväärtust katses saadud andmete põhjal arvatud neutraliseerumisentapia väärtusega

$$\Delta H_{nx} = -48,016 \text{ kJ/mol}, \text{ aga } \Delta H_n = -50,35 \text{ kJ/mol}$$

Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leiti, et arvatud väärtus ei erine märkimisväärselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

- 9) Vea määramiseks tuleks kasutada järgmist valemit

$$\% = \frac{\Delta H_{\text{teor}} - \Delta H_{\text{prak}}}{\Delta H_{\text{teor}}} \cdot 100 \% \quad (3.6)$$

$$\% = \frac{-48,016 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 50,35 \text{ kJ/mol}}{48,016 \text{ kJ/mol}} \cdot 100\% = 4,86 \%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 4,86% võrra ja seega võib öelda, et tehtud arvutused on õiged.

Kõigi tehtud katsete arvutused on samuti tehtud samm-sammult ja käsitsi ning selguse huvides sisestatud ja kokkuvõtlikult esitatud lõppväärtustena tabelis (tabel 3.2). Toodi välja keskmised väärtused, millest arvutati moodustumisentapia keskmine väärtus, mida võrreldi tabelis esitatud andmetega ja määrati hälve.

Tabel 3.2 Neutraliseerimise entalpia arvutamine tehtud katsete põhjal

	Proovikatse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4	Keskmine väärtus
<b>Q<sub>cal</sub>, J</b>	9682,00	10029,60	7357,85	8439,70	7302,40	8562,31
<b>ΔT<sub>exp</sub>, °C</b>	1,41	1,27	1,37	1,36	1,34	1,35
<b>ΔT<sub>cal</sub>, °C</b>	2,08	2,05	2,07	2,1	1,99	2,058
<b>Q<sub>exp</sub>, J</b>	6563,28	6213,46	4856,45	5465,70	4917,19	5605,02
<b>ΔH<sub>n</sub>, kJ/mol</b>	-67,05	-63,15	-49,42	-55,18	-50,35	-57,03
<b>m(lahus), g</b>	859,48	860,22	859,71	860,22	858,97	859,72
<b>ΔH<sub>nx</sub>, kJ/mol</b>	-57,62	-54,32	-42,48	-47,47	-48,02	-49,98

Edaspidi võrreldakse saadud lahuse massi keskmist standardväärtust, mis on võrdne keskmise massi väärtusega 859,72 g, ja eksperimendi käigus saadud andmete põhjal arvutatud neutraliseerumisentalpia keskmist väärtust:

$$\Delta H_{rx} = -49,98 \text{ kJ/mol, ja } \Delta H_n = -57,03 \text{ kJ/mol}$$

Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leitakse, et arvutatud väärtus ei erine märkimisväärselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

Määratakse arvutatud neutraliseerumisentalpia keskvaertuse hälve, kasutades valemit (3.6).

$$\% = \frac{-49,98 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 57,03 \text{ kJ/mol}}{49,98 \text{ kJ/mol}} \cdot 100\% = 14,10\%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 14,10% võrra, mille alusel võib öelda, et tehtud arvutused on õiged. Sellest tulenev ebatäpsus võib olla tingitud seadme ebatäpsest seadistamisest, seadme ebapiisavast tundlikkusest, niiskusest ja muudest välistest teguritest.

### **3.4 Katsete läbiviimine ja metoodika väljatöötamine puhta aine sulamisentalpia määramiseks**

Sulamisentalpia määramise metoodika on välja töötatud Phywe käsiraamatu alusel, mis on koostatud eksperimentaalselt Phywe Cobra 3 seadmel. Käsiraamat kuulub Phywe seadmega kokku.

Metoodika väljatöötamise peamine eesmärk on kavandada ja kohandada katsete kulgu sulamisentalpia määramiseks Phywe Cobra3 seadmel. Koostada põhjalik metoodika tehtud katsete ja arvutuste põhjal laboratoorse praktikumi läbiviimiseks ja rakendada seejärel õppetöös.

Töö eesmärk: määrata puhta aine sulamisentalpia pärast kristalliseerumist ja sellele järgnevat sundkuumutamist.

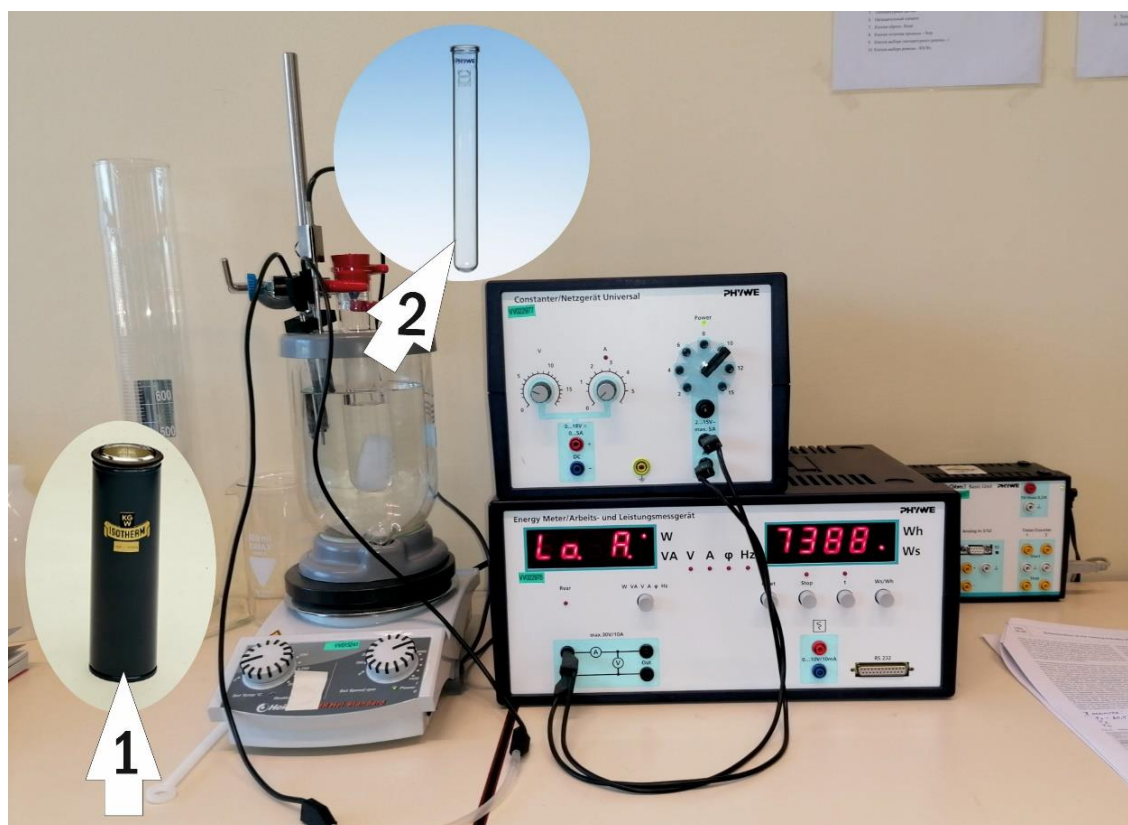
Sulamisentalpia määramiseks kasutati puhta ainenäuna 1,4-dioksaani, mis valiti füüsikaliskemiliste omaduste alusel. Omadused on toodud välja tabelis (tabel 3.3).

Tabel 3.3 1,4-dioksaani füüsikalis-keemilised omadused

<b>Molekulaarne valem</b>	$C_4H_8O_2$
<b>Molaarmass</b>	88,0524 g/mol
<b>Sulamistemperatuur</b>	12 °C
<b>Kristalliseerumise temperatuur</b>	10,5-11,5 °C
<b>Keemistemperatuur</b>	131,7 °C ja 760 mmHg

Katse on ajaliselt piiratud, seetõttu tuleb pöörata tähelepanu aine füüsikalise-keemilistele omadustele, käesoleval juhul kristalliseerumistemperatuurile ja sulamistemperatuurile. Kuna katse nõuab, et aine oleks võimaline ühe tunni jooksul jäätuma, sobib 1,4-dioksaan ideaalselt oma kristalliseeruvate omaduste poolest. Temperatuur, mille juures 1,4-dioksaan hakkab sulama, on samuti ideaalne selle katse jaoks.

### Seadmed, tarvikud ja reaktiivid



Joonis 3.10 Puhta aine sulamiseentalpia määramise seade

Sulamisentapia seade sisaldab joonis 3.3 näidatud seadmeid ning joonis 3.10 näidatud lisatarvikuid.

### Lisatarvikud ja seadmed:

- kalorimeetriline seade;
- Dewari kolb, 300 ml (**1**);
- katseklaas,  $d=30$  mm,  $l=200$  mm – 2 tk (**2**);
- kummist kork,  $d=26/32$  – 2 tk;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- keeduklaas, 100 ml, kõrge;
- pipett;
- arvuti koos tarkvaraga.

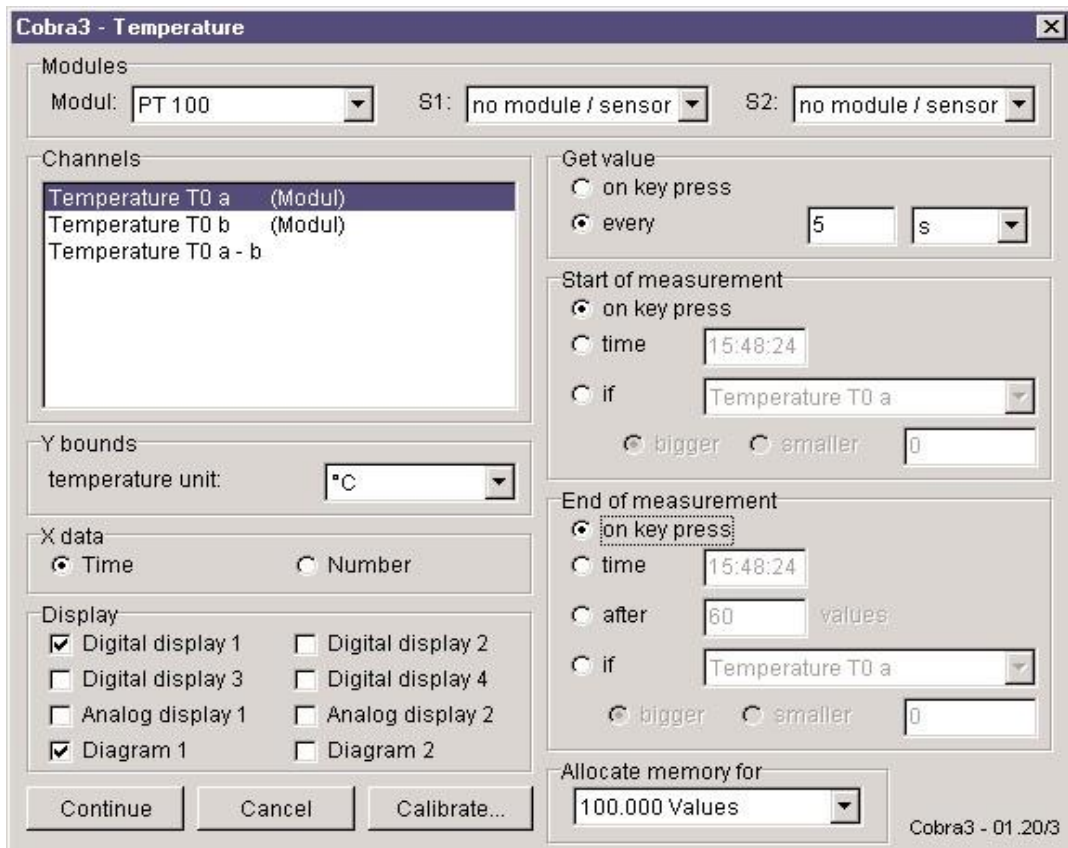
### Reaktiivid:

- 1,4-dioksaan, 15 ml;
- Destilleeritud vesi.

Nende reaktiivide käitlemisel tuleb olla ettevaatlik ja järgida ohutusnõudeid. 1,4-dioksaani (lisa 3) ohutuskaart on toodud lõputöö lisas.

#### 3.4.1 Sulamisentalpia määramise töökäik

- 1) Panna kokku kalorimeetriline seade (joonis 3.10), ühendada temperatuuriandur (6) mõõtmise mooduliga (2). Kütteelemendi (7) töö- ja võimsuse mõõtmise mooduliga ühendust ei nõuta.
- 2) Kaaluda 44,05 g (0,5 mol) 1,4-dioksaani 30 mm läbimõõduga katseklaasis (täpsusega 0,01 g) ja sulgeda korgiga.
- 3) Täita Dewari kolb jää ja jääveega, asetada 1,4-dioksaani sisaldav katseklaas Dewari kolbi jahutavasse segusse ja lasta umbes 1 tund kristalliseeruda.
- 4) Käivitada töölaualt programm "Measure", valida vahekaardil "Gauge" tööriistaks "Cobra3 Temperature" ja seadistada mõõtmisparameetrid vastavalt joonis 3.11.
- 5) Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».



Joonis 3.11 Sulamise mõõtmise parameetrite seadistused

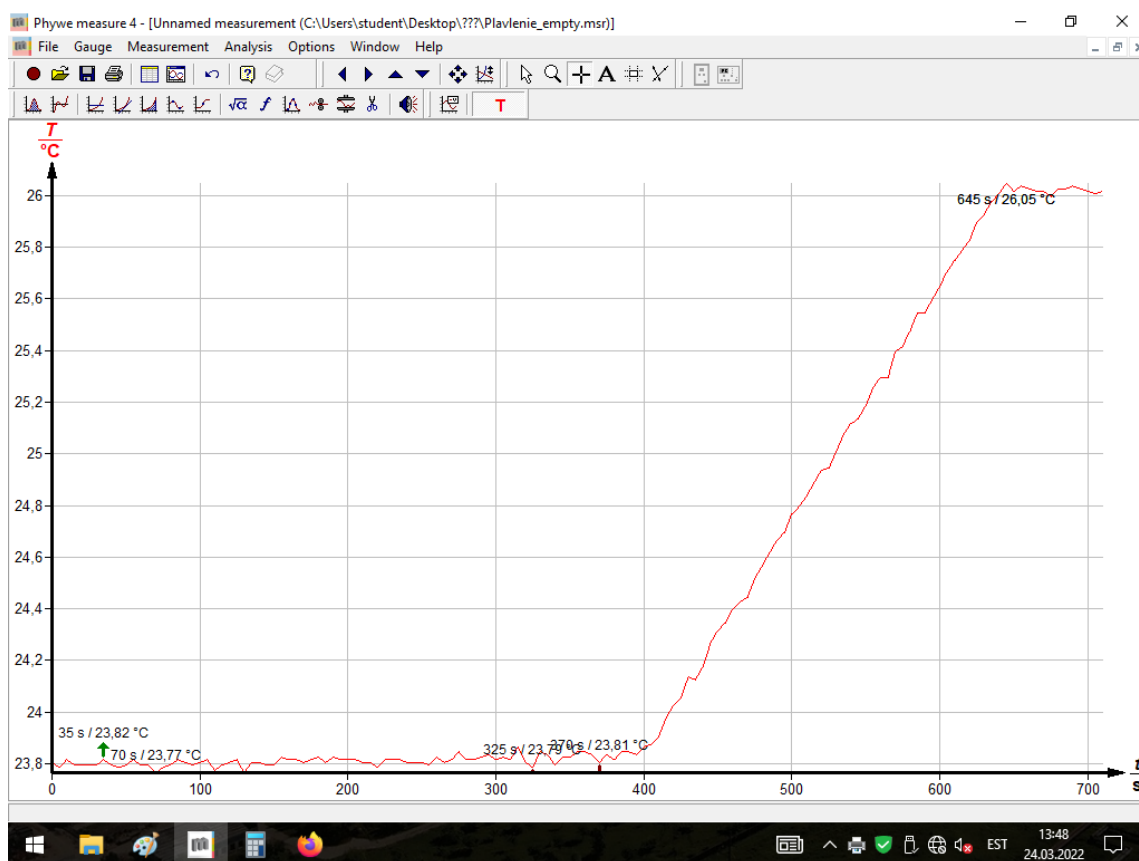
- 6) Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu "Continue". Avanevas aknas kuvatakse keskkonna temperatuur, mis viitab et tasakaal on seadistatud.
- 7) Täita kalorimeeter 850 g destilleeritud veega, kasutades selleks mõõtsilindrit. Kaaluda lahusti tehnilistel kaaludel (0,1 g täpsusega) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale. Tuleb arvestada kadusid. Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pööret minutis. Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.
- 8) Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja märkida üles  $T_{empty}$ . Tühi katseklaas diameetriga  $d=30$  mm sulgeda korgiga ja asetada kalorimeetrisse. Jätkata mõõtmist umbes 5 minutit, kuni saavutatakse uus temperatuuritasakaal. Registreerida temperatuur  $T_{empty}$ .
- 9) Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 3) toitepinge 10 V peale. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja). Süsteem soojendab pidevalt, mida näitab tarnitud energia kogus  $W$  (energiaploki 4 ekraanil).
- 10) Jätkata mõõtmist umbes 5 minutit ja seejärel registreerida tarnitud energia kogus

W (plokk 4), vajutades nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja (eemaldada kütteelement energiaploki 4 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 3.

11) 3 minuti möödudes peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements", registreerida temperatuur  $T_{3empty}$ . Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab tarkvara automaatselt temperatuuri muutuste graafiku (joonis 3.12). Leida graafikult temperatuurid  $T_{1empty}$ ,  $T_{2empty}$ ,  $T_{3empty}$ .

12) Tühjendada kalorimeetri anum ja eemaldada katseklaas.

Kuna  $T_{1empty}$  ja  $T_{2empty}$  ei erine üksteisest oluliselt, on peamised määratavad näitajad temperatuur ( $T_{3empty}$ ) ja sundkütmise aeg.

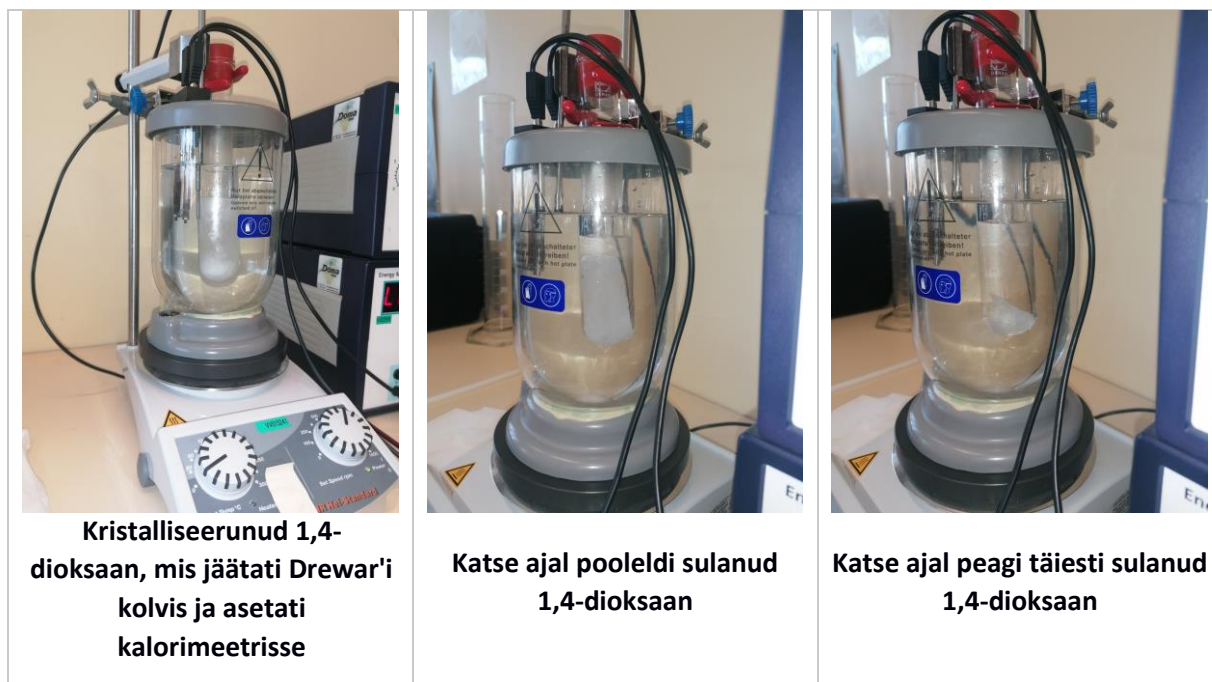


Joonis 3.12 Sulamissoojuse graafik tühja katseklaasi kasutamisel

13) Jälgida 1,4-dioksaani jäätumise aega. 45 minuti möödumisel täita kalorimeeter 850 g destilleeritud veega kasutades mõõtesilindrit (0,1 g täpsusega) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale. Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pööret minutis. Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.



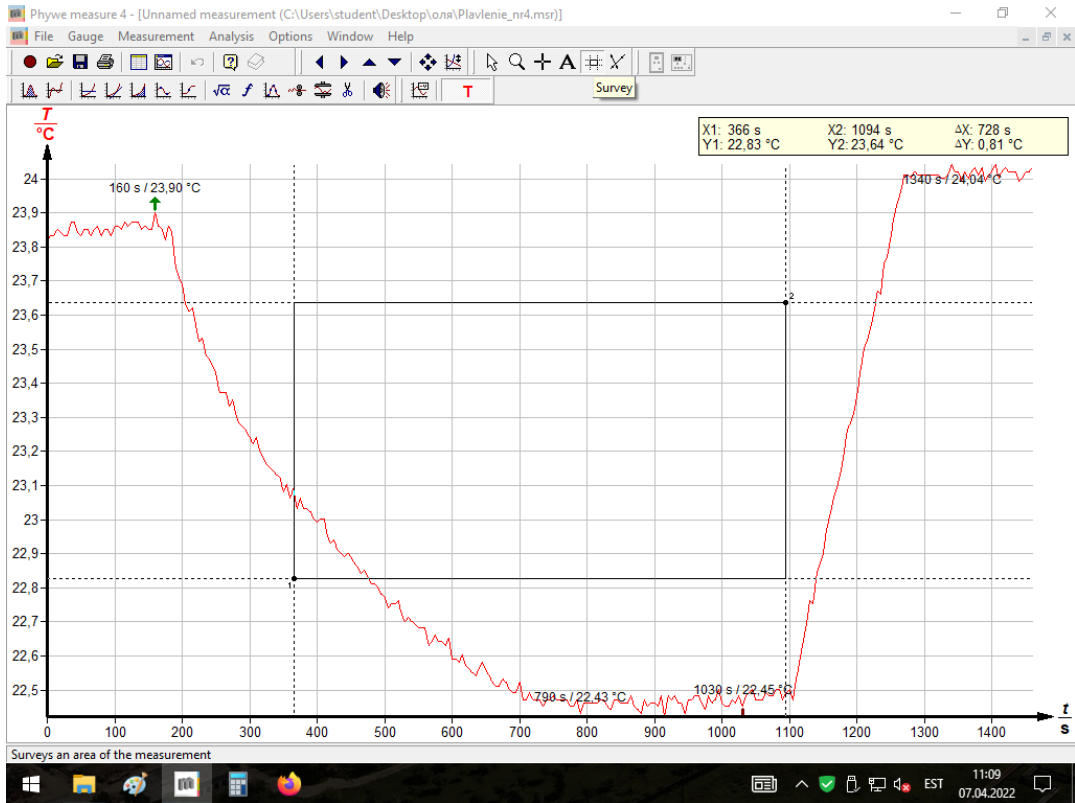
- 14) Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja registreerida temperatuur  $T_1$ . Seejärel eemaldada 1,4-dioksaani sisaldav katseklaasi Dewari kolvist, pühkida kuivaks ja panna kalorimeetrisse. Veetase kalorimeetris peab olema 1 cm kõrgem kui 1,4-dioksaani tase katseklaasis.
- 15) Kui dioksaan on täielikult sulanud ja temperatuuritasakaal on saavutatud, jätkata temperatuuri mõõtmist veel umbes 5 minutit. Registreerida temperatuur  $T_2$ . 1,4-dioksaani sulamisetappe võib täheldada allpool (joonis 3.13).



Joonis 3.13 1,4-dioksaani sulamisetapid

- 16) Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 3) toitepinge 10 V peale. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja). Süsteem soojeneb pidevalt, mida näitab tarnitud energia kogus  $W$  (energiaploki 4 ekraanil).
- 17) Kui temperatuur süsteemis jõuab algväärtuseni ( $T_1$ ), siis registreerida tarnitud energia kogus  $W$  (plokk 4), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada välja kütmine (eemaldada kütteelement energiaploki 4 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 3.
- 18) Pärast 3 minutit peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.
- Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt temperatuuri muutuste graafiku (joonis 3.14). Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ja sundkuumutusaeg, mis on vajalik arvutuste tegemiseks.





Joonis 3.14 Graafik 1,4-dioksaani sulamisentalpia määramiseks

### 3.4.2 Sulamisentalpia andmete töötlemine

Selle metodika kohaselt viidi läbi viis katset (1 proovikatse ja 4 põhikatset), saadi andmed ja arvutati tulemused. Katsete käigus saadud andmed on esitatud tabelis (tabel 3.4).

Tabel 3.4 Andmed sulamisentalpia määramiseks

	<b>Proovikatse</b>	<b>Katse 1</b>	<b>Katse 2</b>	<b>Katse 3</b>	<b>Katse 4</b>
<b>m<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>, g</b>	850,12	850,96	850,06	850,80	850,09
<b>m<sub>1(1,4-dioksaan)</sub>, g</b>	114,45+ 44,10	114,45+ 44,10	139,95+ 44,07	139,95+ 44,07	114,45+ 44,08
<b>m<sub>2(1,4-dioksaan)</sub>, g</b>	114,83	114,83	140,111	140,11	114,85
<b>m<sub>(1,4-dioksaan)</sub>, g</b>	43,27	43,27	43,91	43,91	43,68
<b>T<sub>1,empty</sub>, °C</b>	23,98	23,98	23,98	23,82	23,82
<b>T<sub>2,empty</sub>, °C</b>	24,01	24,01	24,01	23,79	23,79
<b>T<sub>3,empty</sub>, °C</b>	27,13	27,13	27,13	26,05	26,05
<b>W<sub>empty</sub>, J</b>	36,45	36,45	36,45	34,37	34,37
<b>m<sub>pty</sub>, s</b>	340	340	340	275	275
<b>T<sub>1</sub>, °C</b>	24,02	24,14	23,68	23,90	23,57
<b>T<sub>2</sub>, °C</b>	22,73	22,64	22,48	22,43	21,67
<b>T<sub>3</sub>, °C</b>	24,29	24,37	24,63	24,04	23,71
<b>W, J</b>	36,42	36,28	35,52	34,44	37,12
<b>Δt, s</b>	165	190	400	255	220

Tabel 3.4 - kasutatavad tähised:

- **m<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>** – eksperimendi läbiviimiseks vajaliku destilleeritud H<sub>2</sub>O mass, g;
- **m<sub>1(1,4-dioksaan)</sub>** – tühja silindri mass ja Dioksaani vajalik kogus, g;
- **m<sub>2(1,4-dioksaan)</sub>** – silindri mass + Dioksaani jäägid, g;
- **T<sub>1empty</sub>** – algne temperatuur tühja katseklaasi eksperimendi puhul, °C;
- **T<sub>2empty</sub>** – temperatuur sulatamisprotsessi lõpus koos tühja katseklaasiga, °C;
- **T<sub>3empty</sub>** – temperatuur sundkuumutusprotsessi lõpus tühja katseklaasi puhul, °C;
- **W<sub>empty</sub>** – sundkütteenergia tühja katseklaasiga, J;
- **Δt<sub>empty</sub>** – sundkütmise aeg tühja katseklaasiga, s;
- **T<sub>1</sub>** – algne temperatuur 1,4-Dioksaani sulamisprotsessi käigus, °C;
- **T<sub>2</sub>** – temperatuur sulatamisprotsessi lõpus, °C;
- **T<sub>3</sub>** – temperatuur sundkuumutusprotsessi lõpus, °C;
- **W** – sundkütteenergia, J;
- **Δt** – sundkütmise aeg, s.

**Sulamisentralpia arvutamise üldvalem:**

$$\Delta H = \frac{Q}{n} \quad (3.7)$$

kus:  $n$  – kogus, mol;

$\Delta H$  – molaarne sulamisentralpia, kJ/mol;

$Q$  – sulamissoojus, J.

**Sulamisentropia arvutamise üldvalem:**

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{TF} \quad (3.8)$$

kus:  $\Delta S$  – sulamisentropia, J/(mol·K);

$TF$  – 284,9 K.

Sulamisentralpia leidmiseks sooritatakse alljärgnevad arvutused:

Arvutuste tegemiseks kasutatakse katse nr 3 andmeid, mille graafik on joonis 3.14.

- 1)  $W_{empty}$  määratakse valemiga (3.2), mis on vajalik tulevase  $Q_{empty}$  leidmiseks

$$W_{empty} = W_{empty} \cdot \Delta t_{empty} = 34,37 \text{ J} \cdot 275 \text{ s} = 9415,75 \text{ Js}$$

- 2) Arvutatakse  $\Delta T_{expempty}$ , mis leitakse valemi (3.3) abil:

$$\Delta T_{expempty} = T_{1empty} - T_{2empty} = 23,82 \text{ s} - 23,79 \text{ s} = 0,03 \text{ s}$$

- 3) Leitakse  $\Delta T_{calempty}$  valemiga (3.4):

$$\Delta T_{calempty} = T_{3empty} - T_{2empty} = 26,05 \text{ s} - 23,79 \text{ s} = 2,26 \text{ s}$$

- 4) Eelnevate arvutuste põhjal määratakse  $Q_{empty}$ . Selle väärtuse leidmiseks kasutatakse valemit (3.5):

$$Q_{empty} = W_{empty} \cdot \frac{\Delta T_{expempty}}{\Delta T_{calempty}} = 9415,75 \text{ J} \cdot \frac{0,03 \text{ s}}{2,26 \text{ s}} = 124,98 \text{ J}$$

- 5) Arvutatakse  $W_{el}$ , kasutades valemit (3.2)  $Q_{empty}$  leidmiseks

$$W_{el} = W \cdot \Delta t = 34,44 \text{ J} \cdot 255 \text{ s} = 8782,20 \text{ J}$$

- 6) Määratakse  $\Delta T_{exp}$ , mis leitakse valemi (3.3) kasutamisel

$$\Delta T_{exp} = T_1 - T_2 = 23,90 \text{ s} - 22,43 \text{ s} = 1,47 \text{ s}$$

- 7) Järgmisena arvutusteks  $\Delta T_{cal}$  valemiga (3.4)

$$\Delta T_{cal} = T_3 - T_2 = 24,04 \text{ s} - 22,43 \text{ s} = 1,61 \text{ s}$$

- 8) Teades kõiki vajaminevaid väärtusi leitakse  $Q_{exp}$ . Selle leidmise jaoks on vaja kasutada valemit (3.5)

$$Q_{exp} = W_{el} \cdot \frac{\Delta T_{exp}}{\Delta T_{cal}} = 8782,20 \text{ J} \cdot \frac{1,47 \text{ s}}{1,61 \text{ s}} = 8018,53 \text{ J}$$

9) Arvutatakse soojushulk  $Q$  kasutades alljärgnevat valemit

$$Q = Q_{exp} - Q_{empty} \quad (3.9)$$

$$Q = 8018,53 \text{ J} - 124,98 \text{ J} = 7893,55 \text{ J}$$

10) Järgvelat leitakse 1,4-dioksaani moolarv.  $M_{(1,4\text{-dioksaan})} = 88,0524 \text{ g/mol}$  (tabel 3.3), ja võetakse arvutamiseks mass  $m_{(1,4\text{-dioksaan})}$  (tabel 3.4) (katse 3)

$$n = \frac{m}{M} = \frac{43,91 \text{ g}}{88,0524 \text{ g/mol}} = 0,499 \text{ mol}$$

11) Määratakse sulamisentalpia, kasutades valemit (3.7)

$$\Delta H = \frac{Q}{n} = \frac{7893,55 \text{ J}}{0,499 \text{ mol}} = 15818,74 \text{ J/mol}$$

Võrreldakse tabelis esitatud sulamisentalpiat  $\Delta H = 13,6 \text{ kJ/mol}$  arvutatud väärtusega  $\Delta H = 15,8 \text{ kJ/mol}$ . Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leiti, et arvutatud väärtus ei erine oluliselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

12) Vea määramiseks kasutatakse järgmist valemit (3.6)

$$\% = \frac{13,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 15,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{13,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot 100\% = 16,18\%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 16,18% võrra. Veamarginaal on üle 10 %, mis on arvutuste puhul piisavalt suur hälve.

13) Järgmisena määratakse sulamisentroopia valemi (3.8) abil.

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{TF} = \frac{15818,74 \text{ J/mol}}{284,9 \text{ K}} = 55,52 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

Võrreldakse tabelis esitatud sulamisentalpiat  $\Delta S = 47,7 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$  arvutatud väärtusega  $\Delta S = 55,52 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ . Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leiti, et arvutatud väärtus ei erine oluliselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

14) Vea määramiseks kasutatakse valemit (3.6)

$$\% = \frac{47,7 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} - 55,52 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}}{47,7 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}} \cdot 100\% = 16,4\%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 16,4% võrra. Veamarginaal on üle 10 %, mis näitab küllaltki suurt hälvet.

Kõigi tehtud katsete arvutused on samuti tehtud samm-sammult ja käsitsi ning selguse huvides sisestatud ja kokkuvõtlikult esitatud lõppväärtustena tabelis (tabel 3.5). Toodi välja keskmised väärtused, millest arvutati sulamisentalpia ja sulamisentroopia

keskmised väärtused, mida võrreldi tabelis esitatud andmetega ja määrati hälve.

Tabel 3.5 Sulamisentalpia ja entroopia arvutamise tulemused tehtud katsete põhjal

	Proovikatse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4	Keskmine väärtus
$W_{empty}, J$	12393	12393	12393	9415,75	9415,75	11202,1
$\Delta T_{expempty}, ^\circ C$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$\Delta T_{calempty}, ^\circ C$	3,12	3,12	3,12	2,26	2,26	2,776
$Q_{empty}, J$	119,16	119,16	119,16	124,98	124,98	121,488
$W_{el}, J$	6009,30	6893,20	14208	8782,20	8166,40	8811,82
$\Delta T_{exp}, ^\circ C$	1,29	1,5	1,2	1,47	1,9	1,472
$\Delta T_{cal}, ^\circ C$	1,56	1,73	2,15	1,61	2,04	1,818
$Q_{exp}, J$	4969,23	5976,76	7930	8018,53	7605,96	7134,76
$Q, J$	4850	5857,60	7810,88	7893,55	7480,98	7013,27
$n, mol$	0,491	0,491	0,4987	0,499	0,496	0,49514
$\Delta H, kJ/mol$	9,878	11,930	15,662	15,82	15,08	14,164
$\Delta S, J/(mol \cdot K)$	34,67	41,87	54,975	55,52	52,94	49,716

Järgnevalt võrreldakse saadud keskmist sulamisentalpia  $\Delta H$  väärtust, mis määrati arvutuste abil, saadud eksperimentaalsete andmetega millest selgub, et see on  $\Delta H_{kesk} = 14,164 \text{ kJ/mol}$  võrdlusväärtusele  $\Delta H_{sul} = 13,6 \text{ kJ/mol}$  ligilähedane.

Määratakse arvutatud sulamisentalpia keskväärtuse hälve, kasutades valemit (3.6):

$$\% = \frac{13,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 14,164 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{13,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot 100\% = 4,14 \%$$

Saadud keskmine väärtus, mis on arvutatud katseandmete põhjal, erineb teatmiku väärtusest 4,14% võrra. Leitud sulamisentalpia keskmisest väärtusest tulenev hälve on väiksem kui üksiku katse põhjal leitud hälve.

Järgmisena võrreldakse eksperimentaalsete andmete põhjal arvutatud sulamisentroopia  $\Delta S$  keskmist väärtust teatmiku väärtusega. Sulamisentroopia saadud väärtus on  $\Delta S_{kesk} = 49,716 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$  ja teatmiku väärtus  $\Delta S_{sul} = 47,7 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ .

Määratakse arvutatud sulamisentroopia keskväärtuse hälve, kasutades valemit (3.6):

$$\% = \frac{47,7 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} - 49,716 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}{47,7 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \cdot 100\% = 4,23 \%$$

Katseandmete põhjal arvatud keskmine väärtus erineb teatmiku väärtusest 4,23 % võrra. Leitud sulamisentroopia keskmisest väärtusest tulenev hälve on väiksem kui üksiku katse põhjal leitud hälve.

Väikesed vead võivad olla tingitud seadme ebatäpsest seadistamisest, seadme ebapiisavast tundlikkusest, ruumi niiskusest ja muudest välistest teguritest.

### **3.5 Katsete läbiviimine ja meetodika väljatöötamine aurustumisentalpia määramiseks**

Aurustumisentalpia määramise meetodika on välja töötatud Phywe käsiraamatu alusel, mis on koostatud eksperimentaalselt Phywe Cobra 3 seadmel. Käsiraamat kuulub Phywe seadmetega kokku.

Metoodika väljatöötamise peamine eesmärk on kavandada ja kohendada katsete kulgu aurustumisentalpia määramiseks Phywe Cobra3 seadmel. Koostada põhjalik meetodika tehtud katsete ja arvutuste põhjal laboratoorse praktikumi läbiviimiseks ja rakendada seejärel õppetöös.

Töö eesmärk: määrata vedeliku aurustumisentalpia vaakumpumba ja sellele järgneva sundkuumutamise abil.

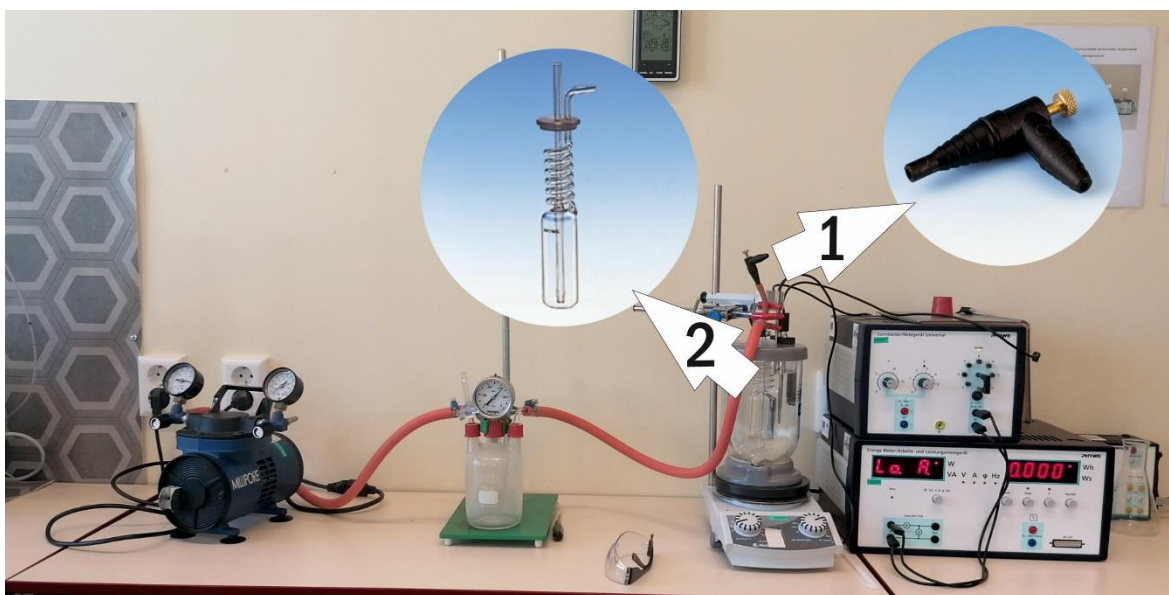
Katse on ajaliselt piiratud, seetõttu tuleb pöörata tähelepanu aine füüsikalise-keemiliste omadustele, käesoleva töö raames ka keemistemperatuurile. Esiolgu katsetati määrata isopropüülalkoholi aurustumisentalpia. Protsess kulges väga aeglaselt, mistõttu otsustati füüsikalise-keemiliste omaduste põhjal teha katse, kasutades aurustumisvedelikuna dietüületrit. Dietüüleetri keemistemperatuur on pea 2,5 korda madalam kui isopropüülalkoholi oma, mis sobis omaduste poolest antud katse jaoks paremini. Edasistes katsetes ja hilisemates arvutustes kasutati aurustumisvedelikuna dietüületrit.

Allpool (tabel 3.6) on esitatud dietüüleetri ja võrdluseks isopropüülalkoholi füüsikalise-keemilised omadused.

Tabel 3.6 Dietüüleetri ja isopropüülalkoholi füüsikalise-keemilised omadused

	<b>Dietüüleeter</b>	<b>Isopropüülalkohol</b>
<b>Brutovalem</b>	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O</b>
<b>Molaarmass, kg/mol</b>	74,123	60,096
<b>Sulamistemperatuur, °C</b>	-116,3	-87,87
<b>Keemistemperatuur normaalrõhul, °C</b>	34,43	82,26
<b>Kriitiline temperatuur, °C</b>	193,55	235,16

## Seadmed, tarvikud ja reaktiivid



Joonis 3.15 Vedeliku aurustumisentalpia määramise seade

Aurustumisentalpia seade sisaldab joonis 3.3 näidatud seadmeid ning joonis 3.15 näidatud lisatarvikuid.

### **Lisatsrvikud ja seadmed:**

- kalorimeetriline seade;
- kalorimeetri aurustumisreservuaar (**2**);
- laboratoorne statiiv,  $h=500$  mm;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- kaitseanum koos manomeetri ja 3-suunalise ventiiliga;
- vaakumpump;
- keeduklaas, 500 ml;
- keeduklaas, 50 ml;
- vaakumkummitorud,  $d=6$  mm;
- kummitorud,  $d=6$  mm;
- kummiotsikud;
- toruklamber,  $d=12\text{...}20$  mm – 5 tk;
- õhureguleerimisventiil (**1**);
- süstal, 20 ml;
- süstlanõel,  $0.9\times 70$  mm;
- kruvikeeraja;

- arvuti tarkvaraga.

**Reaktiivid:**

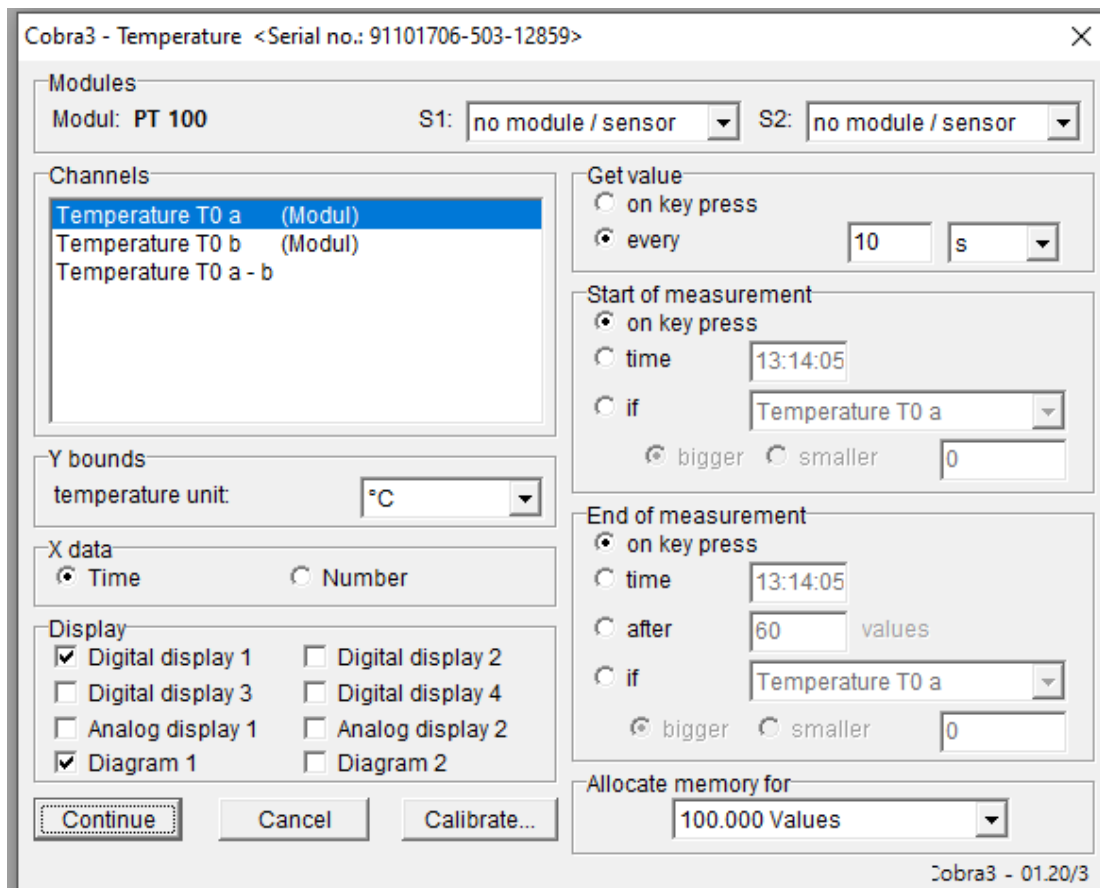
- Dietüüleeter, 15 ml;
- Destilleeritud vesi.

Nende reaktiivide käitlemisel tuleb olla ettevaatlik ja järgida ohutusnõudeid. Dietüüleeter (lisa 7) ohutuskaart on lõputöö lisades.

**3.5.1 Aurustumisentalpia määramise töökäik**

- 1) Panna kokku kalorimeetriline seade (joonis 3.15), ühendada temperatuurianduri (6) temperatuuri mõõtmise mooduliga (2) Kütteelemendi (7) töö- ja võimsuse mõõtmise mooduliga ühendust ei nõuta.
- 2) Täita kalorimeeter 900 g destilleeritud veega kasutades selleks mõõtesilindrit. Kaaluda lahusti tenilistel kaaludel (täpsusega 0,1 g) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale. Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja reguleerida segisti kiiruseks 500 pööret minutis. Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.
- 3) Käivitada töölaual programm "Measure", valida vahekaardil "Gauge" tööriistaks "Cobra 3 Temperature" ja seadistada mõõtmisparameetrid (joonis 3.16).



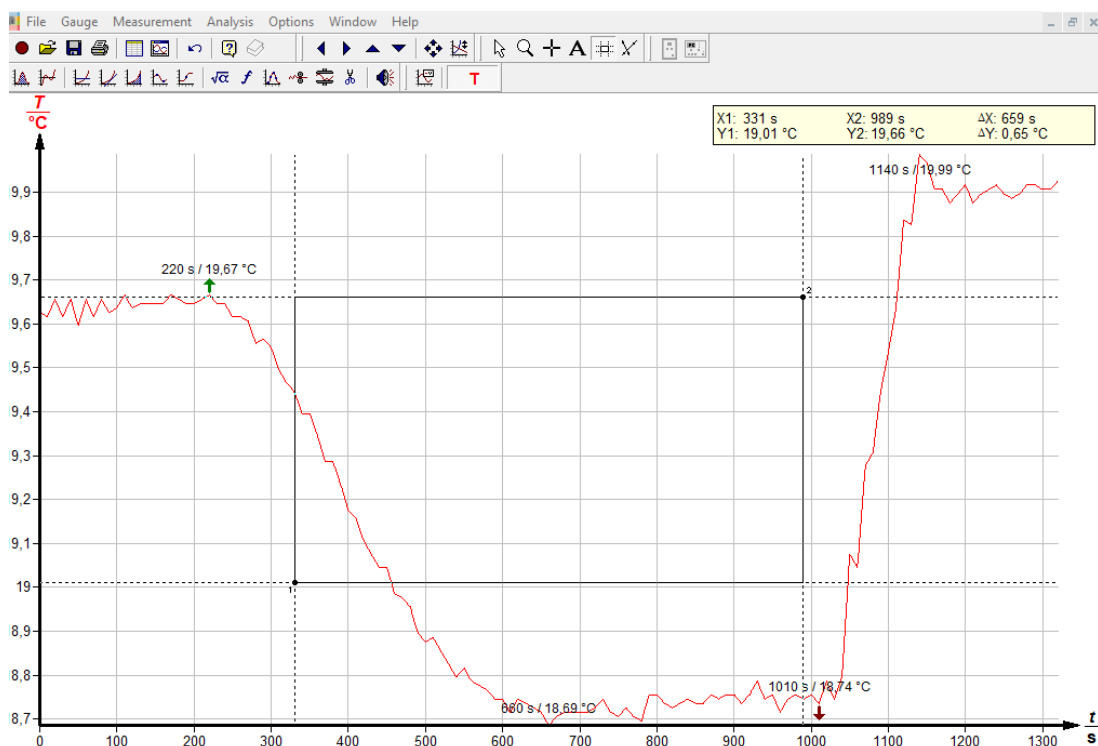


Joonis 3.16 Aurustumise mõõtmise parameetrite seadistused

- 4) Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».
- 5) Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu "Continue". Avanevas aknas kuvatakse keskkonna temperatuur ning toimub temperatuuritasakaalu seadistamine.
- 6) Keeduklaasis kaaluda aurustumisreservuaar koos sellele kinnitatud: oranži värvi kummist toruga, läbipaisteva kummist toru ja klambriga ning õhureguleerimisventiiliga.
- 7) Seejärel kinnitada läbipaistev klambriga toru mahuti küljel oleva avause külge. Võtta süstlaga 15 ml dietüületrit ja süstida aurustumisreservuaari läbi oranži toru. Pärast eetri sisestamist mahutisse kinnitada ülatoru külge õhureguleerimisventiililt.
- 8) Dietüületriga täidetud aurustumisreservuaar tuleb uuesti kaaluda.

- 9) Asetada aurustumisreservuaar kalorimeetrise ja kinnitada see käpa abil. Eemaldada läbipaistev klambriga toru ja ühendada reservuaar vaakumvoolikuga pumba külge. Ohutuse tagamiseks seadistada pumba ja kalorimeetri vahele kaitseanum koos manomeetriga.
- 10) Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Veenduda, et temperatuuritasakaal on saavutatud, märkida üles  $T_1$ .
- 11) Lülitada pump sisse, keerata 3-suunaline ventiil soovitud asendisse ja käivitada aurustumisprotsess, avades väga ettevaatlikult kontrollventiili. Vältida tugevat pritsimist ja keemist. Veenduda, et rõhumõõtuuri näit oleks -400 hPa piires.
- 12) Kui temperatuur on langenud umbes 1 °C võrra, sulgeda kontrollventiil, lülitada pump välja (lasta õhk kaitseanumasse!). Koheselt eemaldada vaakumtoru aurustumisreservuaari õhu väljalasketoru küljest ja asendada see läbipaistva, klambriga varustatud toruga ning sulgeda.
- 13) Jätkata süsteemi temperatuuri mõõtmist kuni uue tasakaalu saavutamiseni ja registreerida temperatuur  $T_2$ .
- 14) Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 3) toitepinge 10 V peale.
- 15) Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja). Süsteem soojendab nüüd pidevalt ja seade näitab tarnitud energia kogust  $W$  (energiaploki 4 ekraanil).
- 16) Jätkata mõõtmist kuni 4000 Ws tarbimiseni, registreerida tarnitud energia kogus  $W$  (plokk 4), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada välja kütmine (eemaldada kütteelement energiaploki 4 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmel 3.
- 17) 3 minuti pärast peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.
- 18) Võtta välja aurustumisreservuaar, kuivatada salvrätikutega, asetada keeduklaasi ja kaaluda kõigi lisatarvikutega uuesti.

Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt temperatuuri muutuste graafiku (joonis 3.17). Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ja sundkuumutusaeg, mis on vajalik arvutuste tegemiseks.



Joonis 3.17 Graafik dietüüleetri aurustumisentalpia määramiseks

### 3.5.2 Aurustumisentalpia andmete töötlemine

Selle meetodika kohaselt viidi läbi viis katset (1 proovikatse ja 4 põhikatset), saadi andmed ja arvutati tulemused. Katsete käigus saadud andmed on esitatud tabeline (tabel 3.7).

Tabel 3.7 Andmed dietüüleetri aurustumisentalpia määramiseks

	Proovikatse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4
<b>m<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>, g</b>	900,07	900,17	900,04	900,63	900,00
<b>m<sub>1(eeter)</sub>, g</b>	100,11	99,79	99,78	99,81	99,81
<b>m<sub>2(eeter)</sub>, g</b>	110,78	110,71	111,06	110,76	112,76
<b>m<sub>3(eeter)</sub>, g</b>	100,65	99,90	100,13	100,70	99,84
<b>m<sub>(eeter)</sub>, g</b>	10,13	10,81	10,93	10,40	10,92
<b>T<sub>1</sub>, °C</b>	21,66	20,05	20,05	22,84	19,67
<b>T<sub>2</sub>, °C</b>	20,74	19,16	19,06	21,79	18,74
<b>T<sub>3</sub>, °C</b>	21,83	20,34	20,24	23,02	19,99
<b>W<sub>s</sub>, J</b>	4043	4046	4035	4485	4047
<b>W, J</b>	34,17	35,22	33,48	42,23	43,07
<b>Δt, s</b>	140	170	140	130	130

Tabel 3.7 kasutatavad tähised:

- $m_{1(\text{eeter})}$  – aurustumisereservuaar+voolik+klaamber+ventiil+eeter, g;
- $m_{2(\text{eeter})}$  – aurustumisereservuaar+voolik+klaamber+ventiil, g;
- $m_{3(\text{эфир})}$  – aurustumisereservuaar+voolik+klaamber+ventiil+eetri jäägid, g;
- $T_1$  – algne temperatuur, °C;
- $T_2$  – temperatuur aurustumise protsessi lõpus, °C;
- $T_3$  – temperatuur sundkuumutusprotsessi lõpus, °C;
- $W_s$  – sundkütteenergia sekundis, J;
- $W$  – sundkütteenergia, J;
- $\Delta t$  – sundkütmise aeg, s.

**Aurustumisentalpia arvutamise üldvalem:**

$$\Delta vH = \Delta vS \cdot Tv \quad (3.10)$$

kus:  $\Delta vS$  – aurustumisentroopia, J/(mol·K);

$\Delta vH$  – aurustumisentalpia, kJ/mol;

$\Delta Tv$  – keemistemperatuur, °C

**Aurustumisentroopia arvutamise üldvalem:**

$$\Delta vS = \frac{\Delta vH}{Tv} \quad (3.11)$$

Aurustumisentalpia leidmiseks sooritatakse alljärgnevad arvutused:

Arvutuste selgeks tegemiseks kasutatakse katse nr 4 andmeid, mille graafik on näidatud joonis 3.17.

1) Leida temperatuuri erinevus süsteemi kütmisel, kasutades valemit (3.4)

$$\Delta T_{el} = T_2 - T_3 = 18,74 \text{ °C} - 19,99 \text{ °C} = -1,25 \text{ °C}$$

2) Arvutada temperatuuri erinevus aurustumisprotsessi käigus, kasutades valemit (3.3)

$$\Delta Tv = T_1 - T_2 = 19,67 \text{ °C} - 18,74 \text{ °C} = 0,93 \text{ °C}$$

3) Määrata sundkütte energiatarbimine, kasutades valemit (3.2)

$$W_{el} = W \cdot \Delta t = 43,07 \text{ J} \cdot 130 \text{ s} = 5599,10 \text{ J}$$

4) Leida dietüüleetri aurustumisentalpia. Arvutamiseks kasutada tabel 3.6 esitatud molaarmassi väärtust ja tabel 3.7 arvutatud dietüüleetri massi väärtust

$$\Delta H = - W_{el} \cdot \frac{\Delta T_V}{\Delta T_{el}} \cdot \frac{M}{m} \quad (3.12)$$

$$\Delta H = -5599,10 \text{ J} \cdot \frac{0,93 \text{ }^\circ\text{C}}{(-1,25 \text{ }^\circ\text{C})} \cdot \frac{74,123 \text{ g}}{10,92 \text{ g}} = 28276,23 \text{ J/mol}$$

Võrrelda dietüüleetri aurustamisentalpia teatmiku väärtust  $\Delta H=25,6$  kJ/mol arvestatud entalpia väärtusega  $\Delta H=28,28$  kJ/mol. Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leiti, et arvutatud väärtus ei erine märkimisväärselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

Vea määramiseks tuleb kasutada järgmist valemit (3.6)

$$\% = \frac{25,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 28,8 \text{ kJ/mol}}{25,6 \text{ kJ/mol}} \cdot 100\% = 12,5 \%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 12,5 % võrra. Veamarginaal on üle 10 %, mis on piisavalt suur hälve.

5) Leida dietüüleetri aurustamisentroopia. Arvutamiseks tuleb kasutada dietüüleetri keemistemperatuuri väärtust  $T_{\text{keem}}=307,7$  K ja selle jaoks peab kasutama järgmist valemit (3.11)

$$\Delta S = \frac{28276,23 \text{ J/mol}}{307,7 \text{ K}} = 91,90 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

Analüüsotakse dietüüleetri aurustamisentroopia teatmiku väärtust  $\Delta S=83,2$  J/(mol·K) ja arvutatud entroopia väärtust  $\Delta S=91,9$  J/(mol·K). Võrreldes saadud väärtust teatmiku väärtusega leiti, et arvutatud väärtus ei erine märkimisväärselt. Tulemuse õigsuse tagamiseks teostatakse vea arvutus, mida kasutatakse järelduste tegemiseks.

Vea määramiseks tuleb kasutada järgmist valemit (3.6)

$$\% = \frac{83,2 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} - 91,9 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}}{83,2 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}} \cdot 100\% = 10,45\%$$

Saadud tulemus erineb teatmiku väärtusest 10,45% võrra. Veamarginaal on üle 10 %, mis on piisavalt suur hälve arvutuste jaoks.

Kõigi tehtud katsete arvutused on samuti tehtud samm-sammult ja käsitsi ning selguse huvides sisestatud ja kokkuvõtlikult esitatud lõppväärtustena tabel 3.8.

Toodi välja keskmised väärtused, millest arvutati moodustumisentalpia keskmine väärtus, mida võrreldi tabelis esitatud andmetega ja määrati hälve.

Tabel 3.8 Katsete põhjal saadud aurustumisentalpia ja entroopia arvutustulemused

	Proovikatse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4	Keskmine väärtus
$\Delta T_{el}, ^\circ\text{C}$	-1,09	-1,18	-1,18	-1,23	-1,25	-1,186
$\Delta T_v, ^\circ\text{C}$	0,92	0,89	0,99	1,05	0,93	0,956
$W_{el}, \text{J}$	4783,8	5987,4	4687,2	5489,9	5599,1	5309,48
$M/m, \text{mol}^{-1}$	7,32	6,86	6,78	7,13	6,79	6,976
$\Delta H, \text{kJ/mol}$	29,56	30,98	26,66	33,41	28,29	29,78
$\Delta S, \text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	96,05	100,68	86,65	108,6	91,92	96,78

Võrreldakse arvutuste teel saadud keskmist aurustumisentalpia  $\Delta H$  väärtust saadud eksperimentaalsete andmetega, selgub et see on  $\Delta H_{kesk} = 29,78 \text{ kJ/mol}$ , mis on ligilähedane teatmiku väärtusele  $\Delta H_{auru} = 25,6 \text{ kJ/mol}$ .

Arvutatakse aurustumisentalpia keskväärtuse hälve, kasutades valemit (3.6):

$$\% = \frac{25,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 29,78 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{25,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \cdot 100\% = 16,33\%$$

Saadud keskmine väärtus, mis on arvatud katseandmete põhjal, erineb teatmiku väärtusest 16,33% võrra. Leitud aurustumisentalpia keskmisest väärtusest tulenev hälve on suurem kui üksiku katse põhjal leitud hälve.

Järgnevalt võrreldakse eksperimentaalsete andmete põhjal arvatud aurustumisentroopia  $\Delta S$  keskmist väärtust teatmeväärtusega. Arvutuslik väärtus on  $\Delta S_{kesk} = 96,78 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  ja teatmiku väärtus  $\Delta S_{auru} = 83,2 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ .

Määratakse arvatud aurustumisentroopia keskväärtuse hälve, kasutades valemit (3.6):

$$\% = \frac{83,2 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} - 96,78 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}}{83,2 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}} \cdot 100\% = 16,32\%$$

Saadud keskmine väärtus, mis on arvatud katseandmete põhjal, erineb teatmiku väärtusest 16,32% võrra. Leitud aurustumisentalpia keskmisest väärtusest tulenev hälve on suurem kui üksiku katse põhjal leitud hälve.

Hälve esinemise põhjuseks on asjaolu, et seade ei pruugi olla täpselt paigaldatud, seadme tundlikkus on ebapiisav, ruumi niiskus ja muud välistegurid.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk on töötada välja meetodikad neutraliseerimise, puhta aine sulamise ja vedeliku aurustumisentalpia määramiseks kasutades seadet Phywe Cobra 3, mis on omandatud TalTech Virumaa kolledži keemialaboratooriumi jaoks.

Metoodikate koostamiseks olid õpitud selgeks kalorimeetrilise süsteemi ja Phywe Cobra 3 seadme struktuur ja tööpõhimõtted.

Seadmel Phywe Cobra 3 koostati entalpia määramise meetodid, viidi läbi katsed ja arvutused ning määrati alljärgnevad entalpia väärtused:

- neutraliseerimise entalpia  $\Delta H_n = -57,03$  kJ/mol hälvega 14,10%;
- puhta aine sulamisentalpia  $\Delta H = 14,164$  kJ/mol hälvega 4,14%, sulamisentroopia väärtus  $\Delta S = 49,716$  J/(mol·K) hälvega 4,23%;
- vedeliku aurustumisentalpia  $\Delta H = 29,78$  kJ/mol hälvega 16,33%, aurustumisentroopia väärtus  $\Delta S = 96,78$  J/(mol·K) hälvega 16,32%.

Katse käigus saadud entalpia kokkulangevus tetamiku väärtustega:

- neutraliseerimise entalpia hälvet (14,10%) 10-15 % piires võib pidada rahuldavaks;
- puhta aine sulamisentalpia hälvet (4,14%) 0-5 % piires võib pidada usaldusväärseks;
- vedeliku aurustumisentalpia hälvet (16,33%) 10-17% piires võib pidada rahuldavaks.

Vead võivad olla tingitud järgmistel põhjustel: ebatäpne mõõteriistade paigaldamine; ebapiisav mõõteriistade tundlikkus; näitude ebatäpsusest tingitud juhuslikud vead ja inimfaktor.

Tööd on teostatud neutraliseerimise, sulamise ja aurustumisentalpia määramise meetodite usaldusväärse kinnitamiseks. Lõputöö on koostatud praktilise osa ja sellest tulevate arvutuste põhjal. Tulemuseks võib öelda, et koostatud meetodikate abil saadud entalpia väärtusi võib pidada rahuldavaks ja usaldusväärseks.

Lõputöö tulemuste alusel on koostatud laboratoorsete tööde juhendid, mida on võimalik kasutada aine „Füüsikalise keemia“ laboratoorsetes praktikumides.

## SUMMARY

The topic of this thesis is related to a branch of physical chemistry (thermochemistry). Thermochemistry studies the thermal phenomena, which are accompanied by the release of heat. The heat effect of a reaction is the amount of heat released or absorbed during an irreversible reaction, if the reaction products and starting substances have the same temperature.

The heat effect of a reaction, measured at constant temperature and pressure - the heat of reaction  $Q_p$ . The value that describes the change in state of the system and opposite in sign, the reaction enthalpy  $\Delta H$ . The enthalpies of formation are known for several thousand substances. This allows the energy effects of different processes to be calculated.

The relevance of the topic of the thesis lies in the fact that the Taltech Virumaa kolledž chemistry laboratory has received new equipment Phywe Cobra 3, which needs to be introduced into the educational process.

The purpose of this thesis is to develop methodologies for the determination of the enthalpy of neutralisation, enthalpy of melting of a pure substance and enthalpy of vaporization of a liquid on Phywe Cobra 3 equipment, which was purchased by Virumaa kolledz laboratory.

The device and the principle of operation of the Phywe Cobra3 laboratory unit were studied for the compilation of the methodologies.

Methodologies for the determination of the enthalpy using a Phywe Cobra unit were compiled, experiments were done and calculations were made and enthalpy values determined:

- neutralisation  $\Delta H_n = -57,03$  kJ/mol, and calculated an error equal to 14,10%;
- melting enthalpy of a pure substance  $\Delta H = 14,164$  kJ/mol and calculated an error equal to 4,14%, melting entropy value  $\Delta S = 49,716$  J/mol·K and calculated an error equal to 4,23%;
- vaporization enthalpy of liquid  $\Delta H = 29,78$  kJ/mol, and calculated an error equal to 16,33%, vaporization entropy value  $\Delta S = 96,78$  J/моль·K, and calculated an error equal to 16,32%.

Matching the enthalpy obtained from the experiment:

- neutralisation (14,10%) within 10-15% error with reference data can be considered satisfactory;
- melting enthalpy of a pure substance (4,14%) within 0-5% error with reference



data can be considered reliable;

- vaporization enthalpy of liquid (16,33%) within 10-17% error with reference data can be considered satisfactory.

Errors may have arisen due to: imperfect instrumentation; inaccurate instrument installation; insufficient instrument sensitivity random errors caused by inaccuracies in the readings, which any experimenter can unwittingly allow.

Work has been carried out to confirm the methodologies for the determination of the enthalpy of neutralisation, enthalpy of melting and enthalpy of vapourization. The work was carried out on the basis of experiments carried out which resulted in the data obtained in the calculations. It is shown that the enthalpy values obtained from these methodologies can be considered satisfactory and reliable.

The results of the thesis have resulted in the methodologies that will be used in a laboratory practicum on the subject of physical chemistry.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Н. П. Ячина, „Теоретические основы обучения учительской профессии,“ Казань, 2016 [Kasutatud 27 märts 2022].
2. С. В. Кадникова, Муниципальное учреждение дополнительного образования «Центр развития творчества детей и юношества», 2017. [https://crtdu.my1.ru/2019\\_crtdu/other/metod-doc/metodicheskaja\\_razrabotka-metodicheskaja\\_produkcij.pdf](https://crtdu.my1.ru/2019_crtdu/other/metod-doc/metodicheskaja_razrabotka-metodicheskaja_produkcij.pdf). [Kasutatud 27 märts 2022].
3. В. Л. Сафонов, „ПОЛОЖЕНИЕ об учебно-методическом комплексе к дополнительной общеобразовательной программе Муниципального автономного учреждения дополнительного образования "Детско-юношеский центр Орион",“ 2014. [http://www.orionnvkz.ru/e107\\_files/public/localact/pologUMK.pdf](http://www.orionnvkz.ru/e107_files/public/localact/pologUMK.pdf). [Kasutatud 9 aprill 2022].
4. М. В. Рогачева, Рекомендации по технологии создания учебно-методических изданий, Москва, 2016. [Kasutatud 9 aprill 2022]
5. И. В. Гайнуллина, „Правила и требования оформления методической разработки,“ 2010. <https://docplayer.com/26016477-Metodicheskoe-posobie.html>. [Kasutatud 9 aprill 2022].
6. Н. Ю. Милютинская, Лабораторный практикум как вид самостоятельной аудиторной работы, Тамбов: Грамота, 2012. [Kasutatud 9 aprill 2022]
7. А. В. Маслов, „StudFiles,“ «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Машиностроительный институт, 2016. <https://studfile.net/preview/6220596/page:3/>. [Kasutatud 6 aprill 2022].
8. С. И. Маслова, Информация образования направления средства технологии, Москва: МЭИ, 2004. [Kasutatud 12 aprill 2022]
9. П. Д. Агрба, Задачи лабораторного практикума, Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2015. [Kasutatud 12 aprill 2022]
10. В. Е. Зашихин, „Разработка лабораторного практикума по дисциплине "Системы электроснабжения",“ Институт инженерно-педагогического образования, Екатеринбург, 2018.[Kasutatud 12 aprill 2022]
11. С. А. Семенова, Г. С. Шатило, „Методические рекомендации по планированию, организации и проведению лабораторных работ и практических занятий,“ Мурманский индустриальный колледж, Мурманск, 2017.[Kasutatud 12 aprill 2022]
12. Л. Н. Зеленина, Практикум по физической химии. Химическая термодинамика. Применение калориметрии растворения для теплоты образования, Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. [Kasutatud 14 aprill 2022]
13. А. И. Походун, А. В. Шарков, Экспериментальные методы исследований. Измерения теплофизических величин, Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный

университет информационных технологий, механики и оптики, 2006. [Kasutatud 14 aprill 2022]

14. Г. В. Булидорова, Ю. Г. Галяметдинов, Х. М. Ярошевская, В. П. Баранов, Основы химической термодинамики, Казань: Казанский государственный технологический университет, 2011. [Kasutatud 17 aprill 2022]
15. М. М. Попов, Термометрия и калориметрия, Москва: МГУ, 1954. [Kasutatud 17 aprill 2022]
16. Ю. П. Коврига, Б. М. Стифатов, „Термохимия. Определение теплоты гидратообразования в нейтрализации.“ Самарский государственный технический университет, Самара, 2017. [Kasutatud 17 aprill 2022]
17. Helpiks.org, „Фазовые переходы первого рода. Плавление. Испарение.“ 2015. <https://helpiks.org/3-55807.html>. [Kasutatud 25 aprill 2022].
18. „Термохимия,“ Российский Химико-технологический университет имени Менделеева, Москва, 2020. [Kasutatud 17 aprill 2022]
19. Е. В. Нефедова, Физическая химия. 1 часть. Химическая термодинамика: лабораторный практикум, Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет, 2012. [Kasutatud 17 aprill 2022]
20. П. А. Николайчук, Лабораторный практикум по физической химии. Химическая термодинамика., Челябинск: Челябинский государственный университет, 2016. [Kasutatud 22 aprill 2022]
21. Phywe, „Phywe excellence in science,“ 2008. [https://www.phywe.com/ru/fizika/termodinamika/kalorimetriya/1200\\_780\\_1711/](https://www.phywe.com/ru/fizika/termodinamika/kalorimetriya/1200_780_1711/) [Kasutatud 22 aprill 2022].
22. Phywe, „Phywe excellence in science,“ 2008. [https://www.phywe.com/equipment-accessories/power-supplies/stabilised-or-regulated-power-supply-units/phywe-power-supply-universal-dc-0-18-v-0-5-a-ac-2-4-6-8-10-12-15-v-5-a\\_2165\\_3096/](https://www.phywe.com/equipment-accessories/power-supplies/stabilised-or-regulated-power-supply-units/phywe-power-supply-universal-dc-0-18-v-0-5-a-ac-2-4-6-8-10-12-15-v-5-a_2165_3096/). [Kasutatud 22 Aprill 2022].
23. Ausetute, „Ausetute,“ 2017. [Vörgumaterjal]. <https://www.usetute.com.au/heatneutral.html>. [Kasutatud 27 aprill 2022].



9. Kummipirn, topelt
10. Tühistamise nupp – Reset
11. Protsessi peatamise nupp – Stop
12. Temperatuuri valimise nupp – t
13. Režiimi valimise nupp – Wh/Ws

**Terminid:** neutraliseerimise entalpia, kalorimeetria, soojusmahtuvus

**Peamised põhimõtted:** Kui tugev hape neutraliseeritakse tugeva alusega lahjendatud lahuses, vabaneb alati sama palju soojust. Kui reaktsioon toimub isobaarilistes tingimustes, nimetatakse seda soojust neutraliseerumise entalpiaks. Keemiline reaktsioon, mille käigus see soojus vabaneb on prootonite ja hüdroksiidioonide reaktsioon, mille käigus moodustub dissotsieerumata vesi. Järelikult vastab see nendest ionidest vee moodustumise entalpiale.

**Eesmärgid:**

- mõõta temperatuuri muutust, kui kaaliumhüdroksiidi lahus neutraliseeritakse soolhappega;
- arvutada neutraliseerimise entalpia.

**Mõõtevahendid ja seadmed:**

- kalorimeetriline seade;
- pipett kalorimeetri jaoks, 50 ml;
- pipetipump;
- kummipirn, topelt;
- vedruklamber, laius 15 mm;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- mõõtekolb, 500 ml x 2 tk;
- keeduklaas, 100 ml, kõrge;
- keeduklaas, 600 ml x 2 tk, kõrged;
- arvuti tarkvaraga.

**Reaktiivid:**

- KOH 2M lahus;
- HCl 2M lahus;
- destilleeritud vesi.

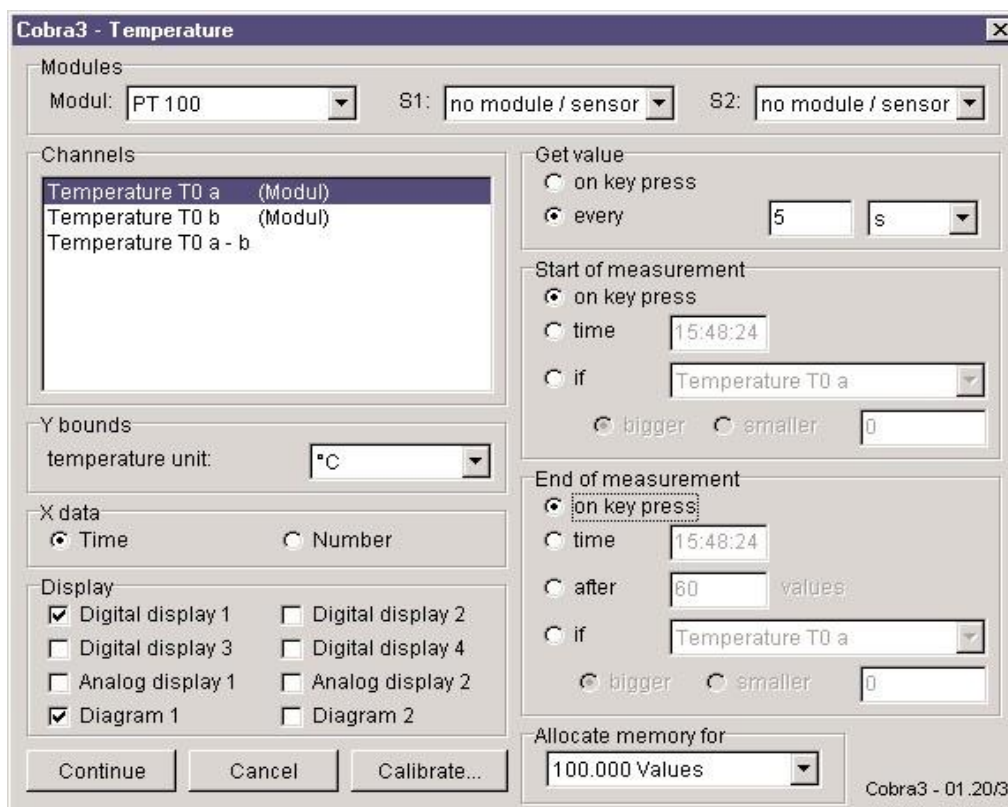
**Töö käik:**

1. Panna kokku kalorimeetriline seade nagu näidatud joonisel 1. Ärge ühendage kütteelemendi (6) töö-ja võimsuse mõõtmise mooduliga.

2. Valmistada KOH ( $C_{\text{KOH}}=2 \text{ mol/l}$ ) lahus, viia 1 M KOH fiksanaal 500 ml mõõtekolbi ja täita veega miniskini. Valmistada teises 500 ml mõõtekolvis soolhappe lahus, kasutades selleks 1M HCl fiksanaali täpse kontsentratsiooniga lahuse valmistamiseks ( $C_{\text{HCl}}=2 \text{ mol/l}$ ).

NB! Kaaliumhüdroksiid ei pruugi olla ampullides, vaid tahke aienena (pulbrina), mis nõuab õige kontsentratsiooniga lahuse saamiseks määrata õige kogus kaaliumhüdroksiidi (g), võttes arvesse puhtuse protsenti (märgitud pudelil). Lahust tuleb alati valmistada tõmbekapis, järgides ohutusnõudeid (kaaliumhüdroksiid lahustub eksotermiliselt).

3. Ühendada temperatuurianduri (5) temperatuuri mõõtmise mooduliga (1).
4. Käivitada töölaual programmi «Measure», valida vahekaardil «Gauge» tööriistaks «Cobra 3 Temperature» ja seadistada mõõtmisparameetrid vastavalt joonisele 2.



Joonis 2. Neutraliseerimise mõõtmise parameetrite seadistused

5. Täita kalorimeeter 750 g destilleeritud veega kasutades selleks mõõtsilindrit. Kaaluda lahusti tehnilistel kaaludel (0,1 g täpsusega) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale.
6. Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada

nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».

7. Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu «Continue». Avanevas aknas sisestada keskkonna temperatuur selleks, et seadistada temperatuuri tasakaal.
8. Kaaluda 60 g kaaliumhüdrosiidi lahust (täpsusega 0,1 g) ja valada see kalorimeetrisse. Kaaluda silinder koos KOH jääkidega.
9. Kasutades kalorimeetripipetti, millele on kinnitatud pipetipump, võtta kõrgest keeduklaasist (600 ml) umbes 50 ml 2 M HCl. Kalorimeeterpipetiga võetud HCl täpne mass arvutatakse täidetud ja tühja kalorimeeterpipeti erinevuse põhjal (täpsus 0,1 g).

NB! Tühi kalorimeetripipett koos pipetipumbaga kaaluda kõrges 600 ml keeduklaasi ja samas keeduklaasis kaaluda ka täidetud kalorimeetripipett.

10. Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pööret minutis. (**Ärge lülitage** magnetsegaja kütmist).
11. Seadistada kalorimeetripipett kalorimeeteranumasse (eemaldades enne pipetipumba). Kinnitada topeltkummipirn kalorimeetripipeti otsikule ja panna topeltkummipirni torul olev vedruklamber kinni. Kinnitada pipett statiivi külge nii, et külgotsik oleks vedeliku tasemest kõrgemal ja segisti saaks vabalt pöörelda.
12. Seadistada kütteelemendi (6) ja temperatuurianduri (5) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.
13. Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja seejärel pipeteerida HCl kalorimeetris olevasse KOH lahusesse. Selleks keera pirni vooliku vedruklamber kinni, täida pirni ülemine balloon vajutades alumist ja seejärel ava pirni vedruklamber. Jätkata mõõtmist, kuni saavutatakse uus temperatuuritasakaal. Registreerida temperatuur  $T_2$ .
14. Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada toitepinge "Power" töö- ja võimsuse mõõteseadmel (seade 2) 10 V peale (joonis 3).



Joonis 3

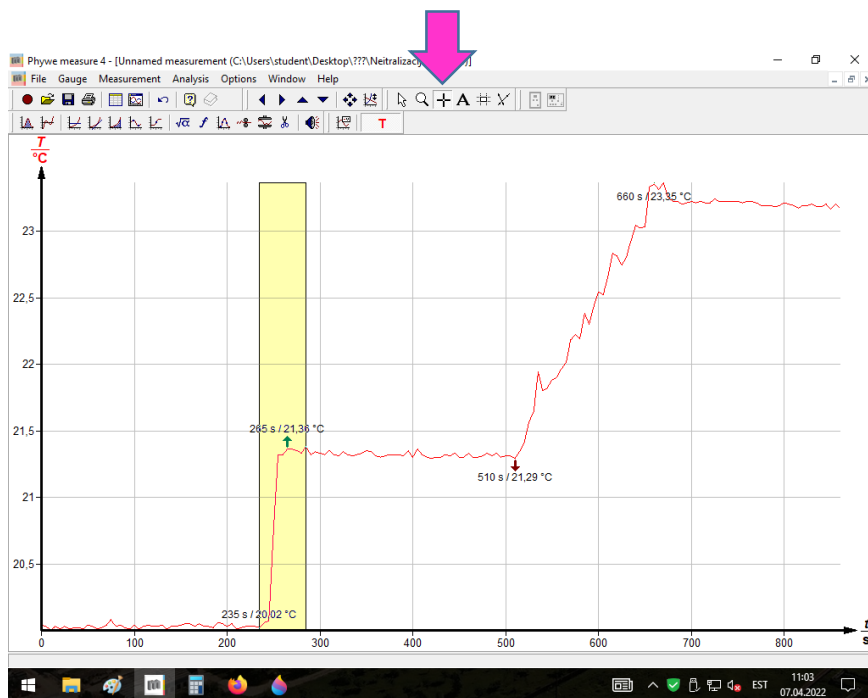


Joonis 4

15. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 (joonis 4) pistikupesadesse (välja). Süsteem soojeneb nüüd pidevalt ja seade näitab tarnitav energia kogust  $W$  (energiaploki 3 ekraanil), mis on võrdne  $Q_{cal}$ .
16. Kui temperatuur süsteemis tõuseb umbes  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  võrra, siis registreerida tarnitud energia kogus  $W$  (plokk 3), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja (eemaldada kütteelement energiaploki 3 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 2.
17. 3 minuti pärast peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.
18. Määrata saadud graafikul temperatuurimuutused. Selleks valida vahekaardil Analysis (Analüüs) vahekaart peak analyses ja märgistada linnukesega. Temperatuuriandmed ilmuvad graafikule.

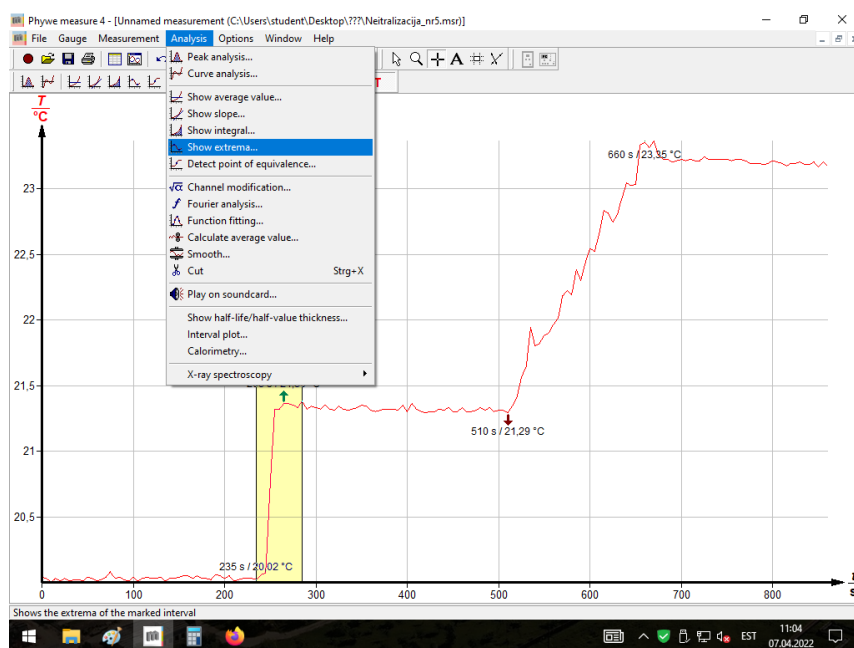
Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt ekraanile temperatuuri muutuste graafiku. Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ . Selle jaoks on vaja valida tööriistaribal nupp "Mark" (tähistatud roosa noolega) ja valitud tööriistaga märkida graafikul (joonis 5) temperatuurimuutuse tsoon pärast HCl lisamist (tsoon on näidatud kollase värviga).





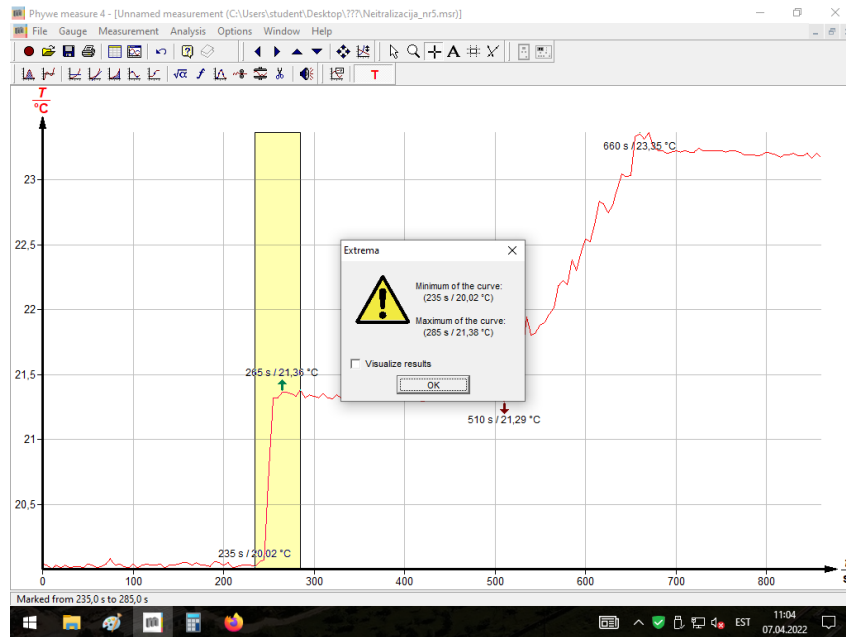
Joonis 5. Temperatuurimuutuste tsooni esiletõstmine, kasutades nuppu Mark

Valitud tsoonil klõpsata vahekaardile Analysis ja valida Show extrema (joonis 6), graafikule ilmub hüpikaken, mis näitab miinimum- ja maksimumväärtusi selles tsoonis, nii temperatuuri kui ka muutumisaega.



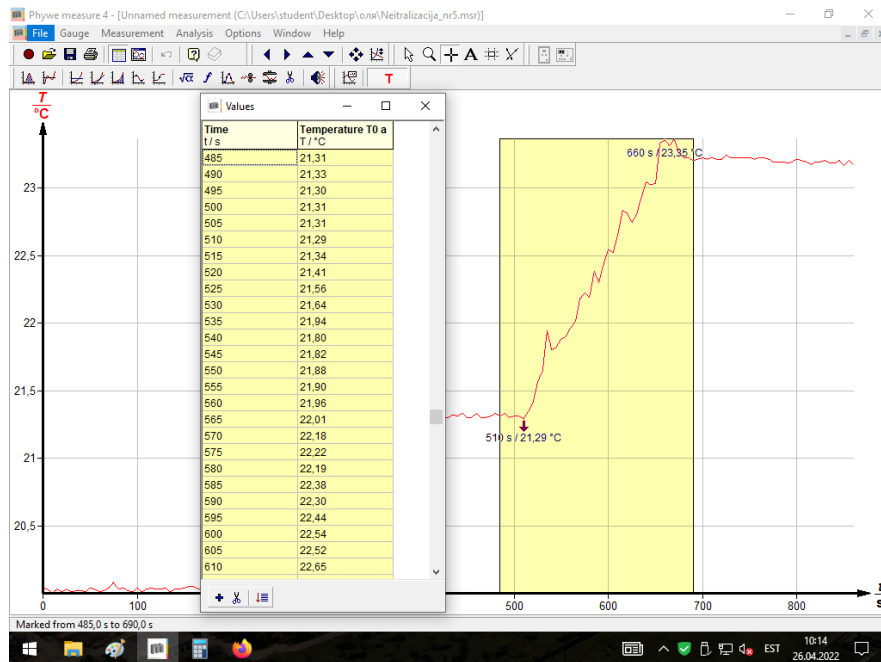
Joonis 6. Show extrema nupp

Ekstreemväärtuste visualiseerimiseks on vaja hüpikaknas (joonis 7) panna linnukese Vizualize results vastas. Järgnevalt on vaja leida temperatuuri ja aja väärtus sundkuumutamisel. Selleks tõstetata esile vastav tsoon ja leitakse  $T_3$ , kasutades nuppu ekstreemide leidmiseks.



Joonis 7. Ekstreemide visualiseerimine

Graafiku järgi on vaja leida sundkütmise aega, selleks tuleb valida sundkütmise tsoon (joonis 8), teha paremklõps tabeli Data table osas. Graafiku põhjal lahutatakse valitud tsooni esimene väärtus (joonis 8) (kollane värv) viimasest väärtusest (s).



Joonis 8. Nupp Data table ja tabeli andmete ilmumine

19. Printida graafik.

**Arvutused:**

## 1. Kalorimeetrise viidud lahused

Nimetus	Väärtus
m(tühi silinder+destil. H <sub>2</sub> O)	
m(silinder+ H <sub>2</sub> O jäägid)	
m(H <sub>2</sub> O)	
m(tühi silinder+KOH)	
m(silinder+ KOH jäägid)	
m(KOH)	
m(keeduklaas+pipett+pipetipump)	
m(keeduklaas+pipett+pipetipump+HCl)	
m(HCl)	

## 2. Temperatuuri väärtused

Nimetus	Väärtus
Algne temperatuur (T <sub>1</sub> )	
Temperatuur neutraliseerimise lõpus (T <sub>2</sub> )	
Temperatuur sundkuumutamise lõpus (T <sub>3</sub> )	

3. Kütteks kulutatud energia väärtus (W).....

4. Sundkütmise aeg (ΔT).....

5. Neutraliseerimise entalpia määramine

$$Q_{exp} = Q_{cal} \cdot \frac{\Delta T_{exp}}{\Delta T_{cal}}$$

$$\Delta H = \frac{Q_{exp}}{n}$$

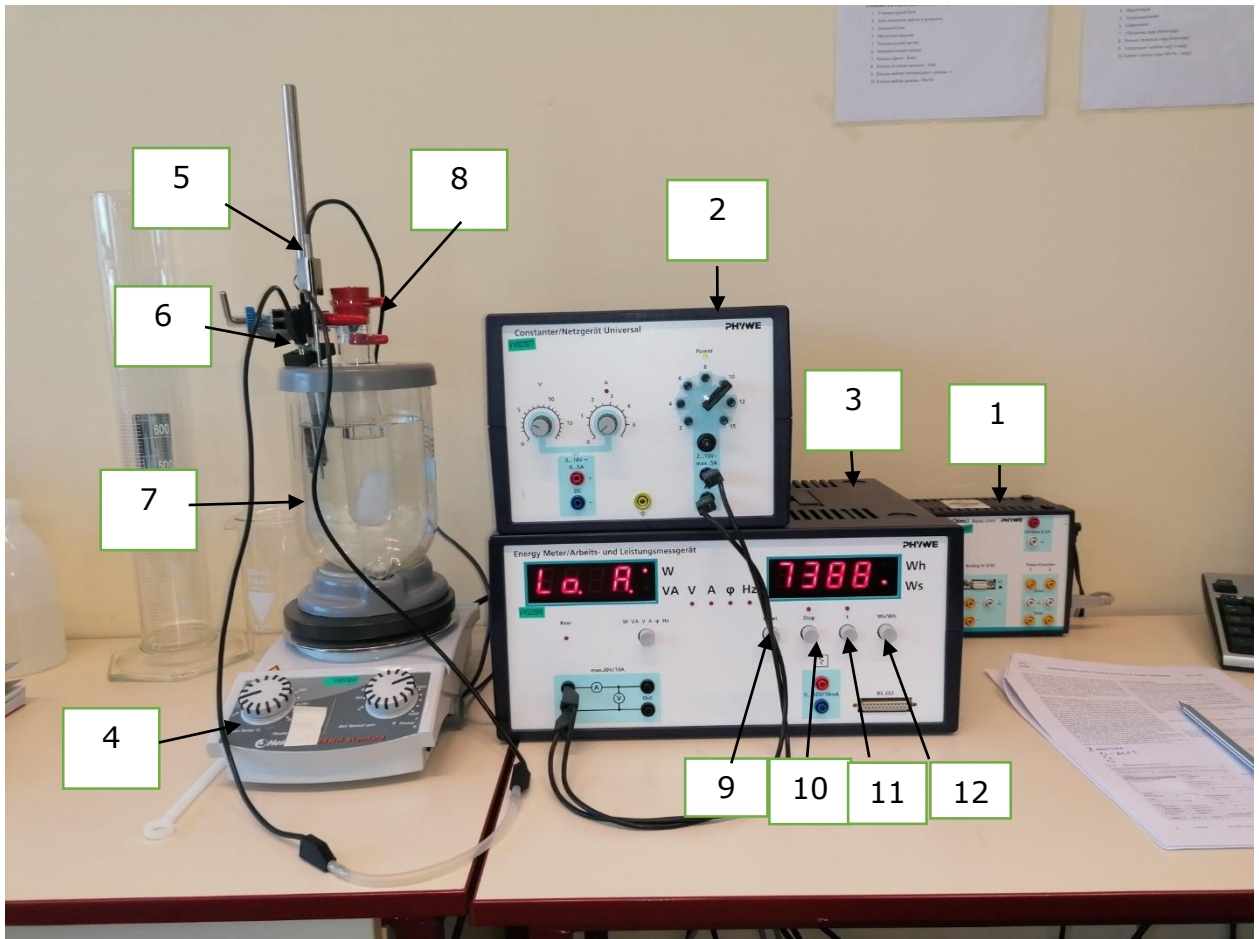
kus :  $Q_{exp}$  – neutraliseerimise entalpia, κJ/mol $Q_{cal}$  – elektritöö, κJ/mol $\Delta T_{exp}$  – temperatuuri erinevus neutraliseerimisprotsessi ajal ( $\Delta T_{exp} = T_2 - T_1$ ), °C $\Delta T_{cal}$  – temperatuuri erinevus sundkütmise ajal ( $\Delta T_{cal} = T_3 - T_2$ ), °C $n$  – soola hulk, mol; $\Delta H$  – molaarne neutraliseerumisentlialpia, κJ/mol

## LISA 2 Laboratoorne töö 2 „Sulamisentalpia määramine“

### Laboratoorne töö

#### «Puhta aine sulamisentalpia määramine»

**Töö eesmärk:** määrata puhta aine sulamisentalpia pärast kristalliseerumist ja selle järgnevat sundkuumutamist



Joonis 1. Seade puhta aine sulamisentalpia määrmiseks

#### Sulamisentalpia määramise seadme osad:

1. Temperatuuriplokk
2. Töö ja võimsuse määramise plokk
3. Põhiplokk
4. Magnetsegaja
5. Temperatuuriandur
6. Kütteelement
7. Kalorimeetriline seade
8. Aurustus katseklaas

9. Tühistamise nupp – Reset
10. Protsessi peatamise nupp – Stop
11. Temperatuuri valimise nupp – t
12. Režiimi valimise nupp – Wh/Ws

**Terminid:** soojusmahtuvus, sulamisentalpia, kalorimeetria, Gibbsi faasireegel, sublimatsiooni entalpia, aurustumisentalpia

**Peamised põhimõtted:** Tahke aine sulamisel on kristallvõre lagundamiseks vaja energiat. Aine, mille sulamistemperatuur on veidi alla toatemperatuuri, jahutatakse kõigepealt tahkeks ja sulatatakse seejärel kalorimeetris. Sulamisentalpia arvutatakse kalorimeetris sulamisprotsessi tulemusena toimuva temperatuuri languse põhjal.

**Eesmärgid:**

- joonistada temperatuuri-aja diagramm dioksaani sulamisprotsessi kohta;
- arvutada 1,4-dioksaani sulamisentalpia ja entroopia.

**Mõõtevahendid ja seadmed:**

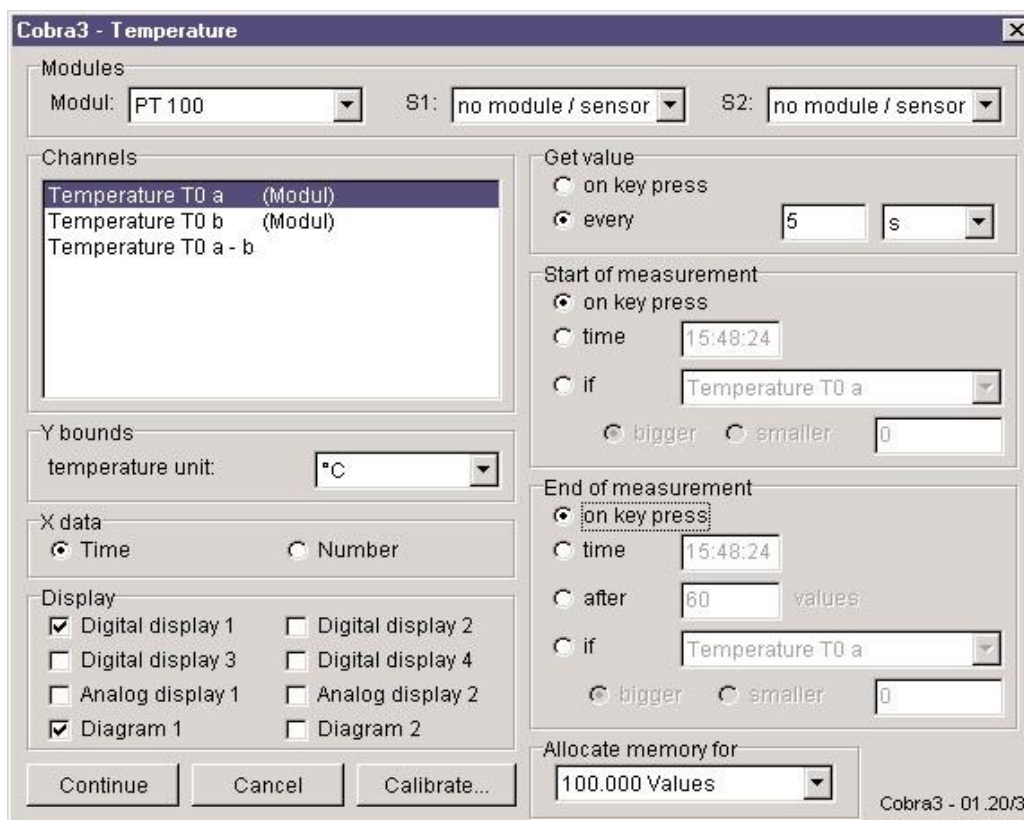
- kalorimeetriline seade;
- Dewari kolb, 300 ml;
- katseklaas,  $d=30$  mm,  $l=200$  mm x 2 tk;
- kummist kork,  $d=26/32$  x 2 tk;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- keeduklaas, 100 ml, kõrge;
- pipett;
- arvuti tarkvaraga.

**Reaktiivid:**

- 1,4-dioksaan, 50 g;
- destilleeritud vesi.

**Töö käik:**

1. Panna kokku kalorimeetriline seade nagu näidatud joonisel 1. Ärge ühendage kütteelemendi (6) töö- ja võimsuse mõõtmise mooduliga.
2. Ühendada temperatuurianduri (5) temperatuuri mõõtmise mooduliga (1).
3. Käivitada töölaual programm «Measure», valida vahekaardil «Gauge» tööriistaks «Cobra 3 Temperature» ja seadistada mõõtmisparameetrid vastavalt joonisele 2.



Joonis 2. Sulamisentalpia parameetrite seadistused

4. Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».
5. Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu «Continue». Avanevas aknas märkida keskkonna temperatuur ja seadistada temperatuuri tasakaal.
6. Kaaluda 44,05 g (0,5 mol) 1,4-dioksaani katseklaasis läbimõõduga 30 mm (täpsusega 0,01 g) ja sulgeda korgiga.
7. Täita Dewari kolbi jää- ja jääveega, asetada 1,4-dioksaani sisaldav katseklaas Dewari kolbi jahutavasse segusse ja lasta umbes 1 tund kristalliseeruda.
8. Sel ajal täita kalorimeeter 850 g destilleeritud veega, mis mõõdetakse silindriga kaalul (0,1 g täpsusega), ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale. Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pööret minutis (**Ärge lülitage sisse kütet!**). Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada käpaga.

9. Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja märkida üles  $T_{1empty}$ . Tühi katseklaas diameetriga  $d=30$  mm sulgeda korgiga ja asetada kalorimeetrisse.
10. Jätkata mõõtmist umbes 5 minutit, kuni saavutatakse uus temperatuuritasakaal. Registreerida temperatuur  $T_{2empty}$ .
11. Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 2) toitepinge Power 10 V peale (joonis 3).
12. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja) (joonis 4). Süsteem soojeneb nüüd pidevalt ja seade näitab tarnitud energia kogust W (energiaploki 3 ekraanil).
13. Jätkata mõõtmist umbes 5 minutit, siis registreerida tarnitud energia kogus W (plokk 3), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja (eemaldada kütteelement energiaploki 3 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 2.



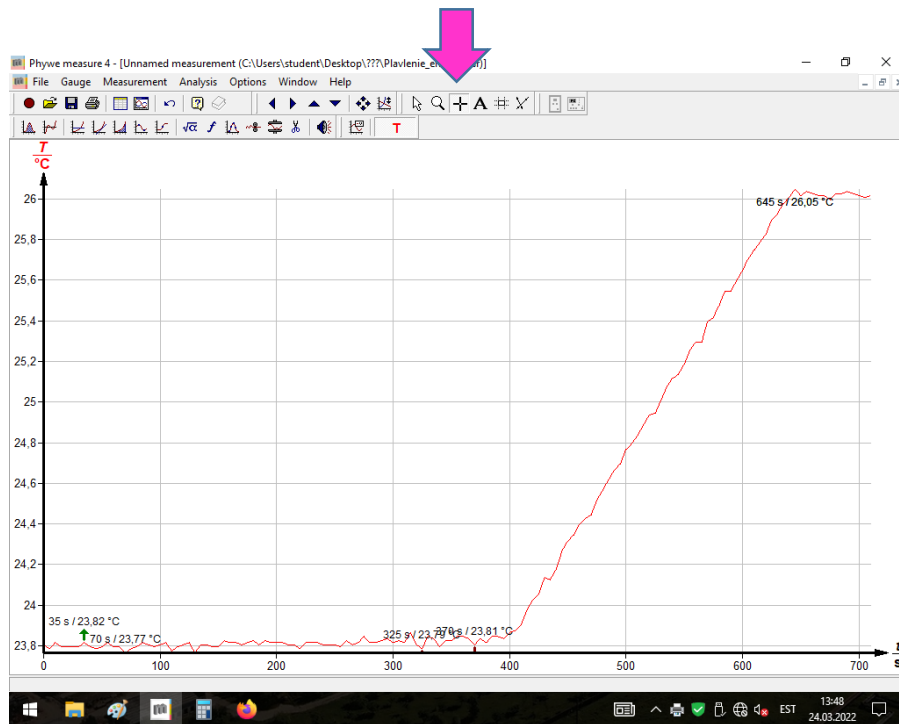
Joonis 3



Joonis 4

14. 3 minuti pärast peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements", panna kirja temperatuuri väärtus  $T_{3empty}$ . Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab tarkvara automaatselt temperatuuri muutuste graafiku.
15. Tühjendada kalorimeeter.
16. Määrata saadud graafikul temperatuurimuutused. Selleks valida vahekaardil Analysis vahekaart peak analyses, panna märgi selle vastas. Temperatuuriandmed ilmuvad graafikul.

Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt ekraanile temperatuuri muutuste graafiku. Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ . Selle jaoks on vaja valida tööriistaribal nupp "Mark" (tähistatud roosa noolega) ja valitud tööriistaga märkida terve graafiku (joonis 5) (tsoon on näidatud kollase värviga).



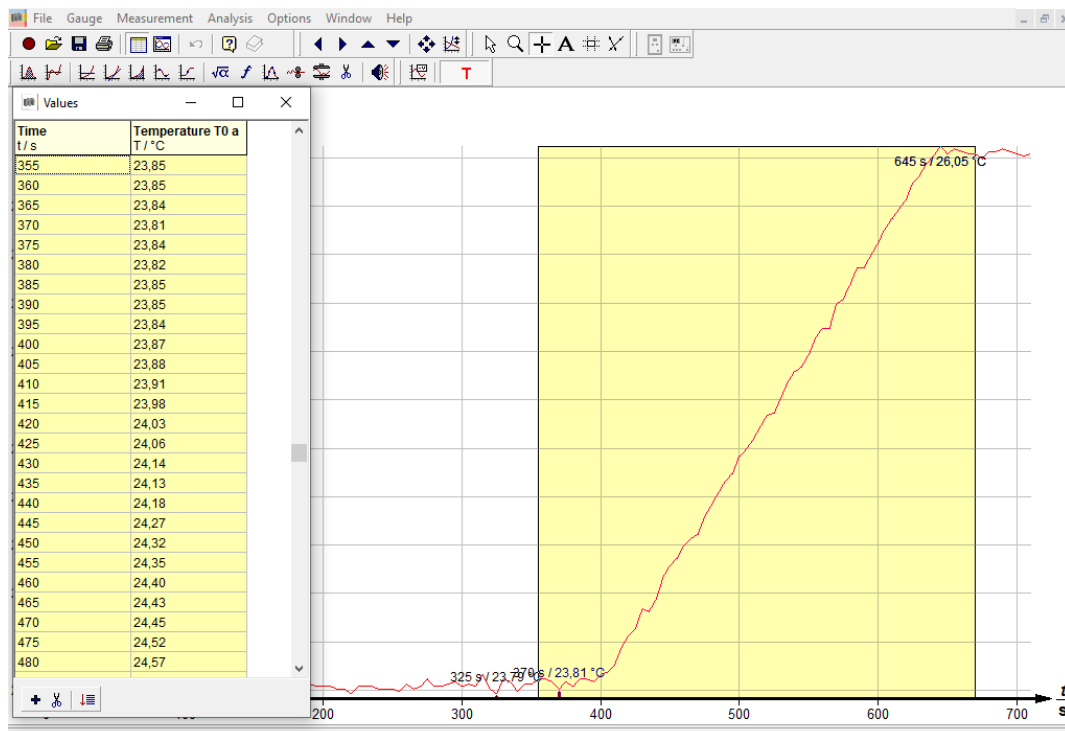
Joonis 5. Temperatuurimuutuste tsooni esiletõstmise, kasutades nuppu Mark

Valitud tsoonil klõpsata vahekaardile Analysis ja valida Show extrema (joonis 8), graafikule ilmub hüpikaken, mis näitab miinimum- ja maksimumväärtusi selles tsoonis, nii temperatuuri kui ka muutumisaega.

Ekstreemväärtuste visualiseerimiseks on vaja hüpikaknas (joonis 9) panna linnukese Vizualize results vastas.

Kuna  $T_{1\text{empty}}$  ja  $T_{2\text{empty}}$  ei erine üksteisest palju, on peamised näitajad, mida tuleb määrata, temperatuur ( $T_{3\text{empty}}$ ) ja sundkütmise aeg. Temperatuuri ( $T_{3\text{empty}}$ ) ja kütteaaja väljaselgitamiseks on vaja märkida sundküttetsoon (joonis 6) ja parema nupuga valida Data table. Valida temperatuuri väärtuseks ( $T_{3\text{empty}}$ ) maksimaalne väärtus, mis on esitatud kollase värviga tähistatud tabelis (joonis 6). Kuumutusaja leidmiseks lahutatakse viimasest väärtusest (s) - esimene väärtus (joonis 6) kollaselt esile tõstetud alal (avatava tabeli esimene veerg).





Joonis 6. Nupp Data table ja tabeli andmete ilmumine

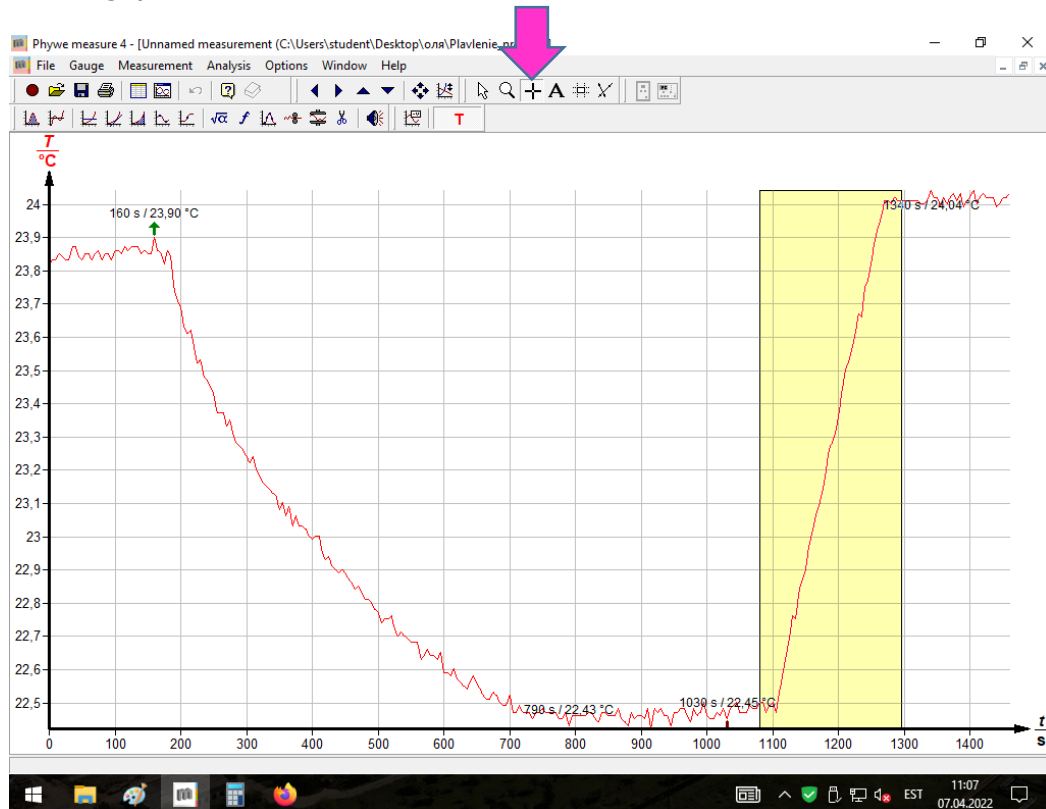
17. Jälgida 1,4-dioksaani jäätumise aega. 45 minuti möödumisel täita kalorimeeter 850 g destilleeritud veega kasutades mõõtesilindrit (0,1 g täpsusega) ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale (**Ärge lülitage sisse kütet!**). Asetada magnet täidetud kalorimeetrisse ja seadistada segisti kiiruseks 750 pöört minutis. Seadistada kütteelement (7) ja temperatuuriandur (6) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada need käpaga.
18. Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Oodata 3-4 minutit ja kirja panna  $T_1$ . Seejärel eemaldada 1,4-dioksaani sisaldav katseklaasi Dewari kolvist, pühkida see kuivaks ja panna kalorimeetrisse. Veetase kalorimeetris peab olema 1 cm kõrgem kui 1,4-dioksaani tase katseklaasis.
19. Kui dioksaan on täielikult sulanud ja temperatuuritasakaal on saavutatud, jätkata temperatuuri mõõtmist veel umbes 5 minutit. Registreerida temperatuur  $T_2$ .
20. Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 2) toitepinge Power 10 V peale (joonis 3).
21. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja) (joonis 4). Süsteem soojeneb nüüd pidevalt, mida näitab tarnitud energia kogust W (energiaploki 3 ekraanil).
22. Kui temperatuur süsteemis jõuab algväärtuseni ( $T_1$ ), siis registreerida tarnitud energia kogus W (plokk 3), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja

(eemaldada kütteelement energiaploki 3 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmest 2.

23. 3 minuti pärast peatada temperatuuri mõõtmine, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.

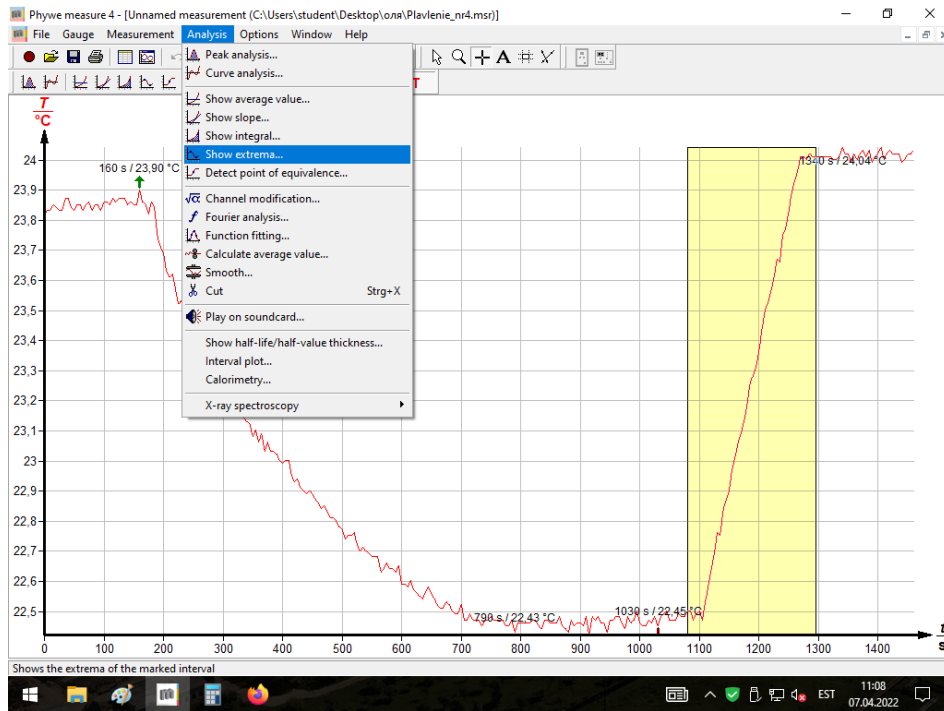
24. Määrata saadud graafikul temperatuurimuutused. Selleks valida vahekaardil Analysis vahekaart peak analyses, panna linnukese selle vasta. Temperatuuriandmed ilmuvad graafikule.

Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt temperatuuri muutuste graafiku ekraanile. Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ . Selle jaoks on vaja valida tööriistaribal nupp "Mark" (tähistatud roosa noolega) ja valitud tööriistaga märgita sundkütmise tsoon graafikul (joonis 7) (tsoon on näidatud kollase värviga).



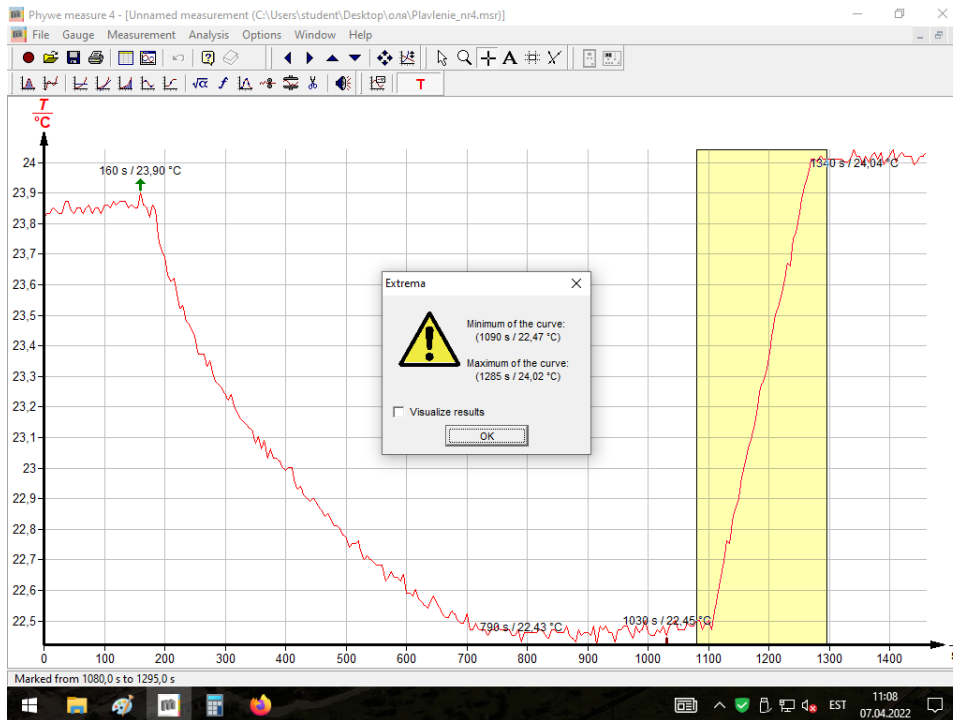
Joonis.7. Temperatuurimuutuste tsooni esiletõstmine, kasutades nuppu Mark

Valitud tsoonil klõpsata vahekaardil Analysis ja valida Show extrema (joonis 8), graafikule ilmub hüpikaken, mis näitab miinimum- ja maksimumväärtusi selles tsoonis, nii temperatuuri kui ka muutumisaega.



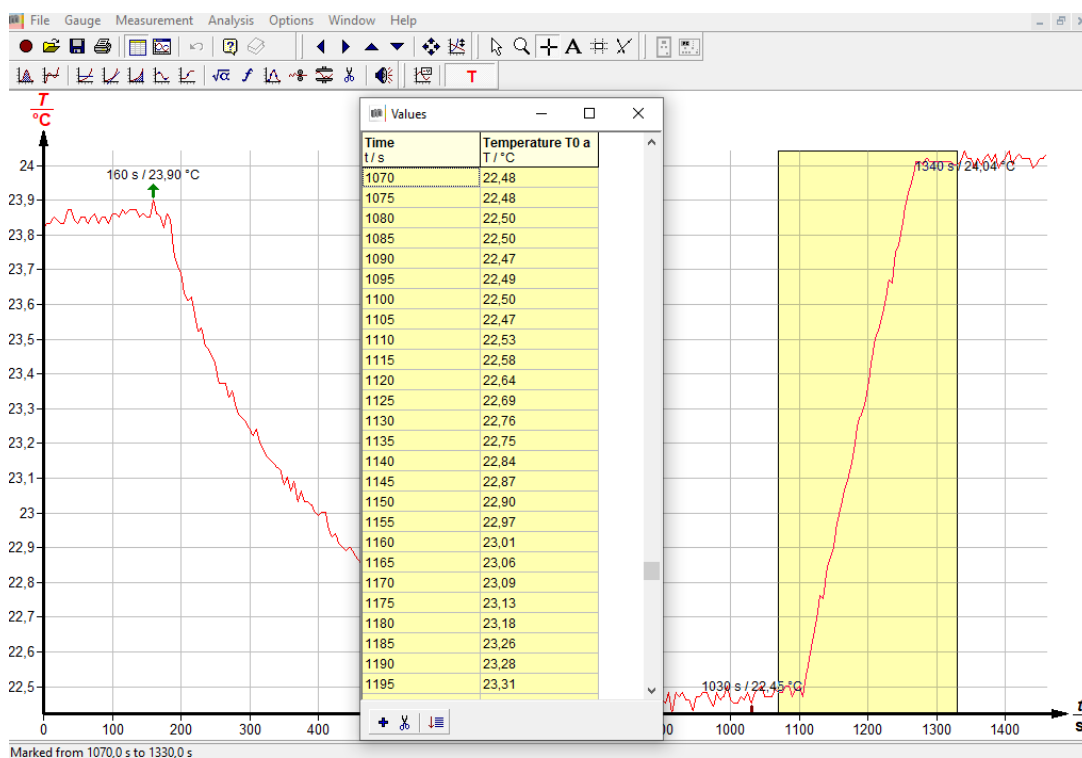
Joonis 8. Nupp Show extrema

Ekstreemväärtuste visualiseerimiseks on vaja hüpikaknas (joonis 9) panna Vizualize results vastas linnukese.



Joonis.9. Ekstreemide visualiseerimine

Graafiku järgi on vaja leida sundkütmise aega, selleks tuleb valida sundkütmise tsoon (joonis 10), teha paremklõps tabeli Data table osas. Graafiku põhjal lahutatakse valitud tsooni esimene väärtus (joonis 10) (kollane värv) viimasest väärtusest (s).



Joonis 10. Nupp Data table ja tabeli andmetega ilmumine

25. Printida graafik.

**Arvutused:**

1. Laboratoorseks tööks vajalikud reaktiivid

Nimetus	Väärtus
m(tühi silinder+dest. H <sub>2</sub> O)	
m(tühi silinder+1,4-dioksaan)	
m(silinder+1,4-dioksaani jäägid)	
<b>m(1,4-dioksaan)</b>	

2. Temperatuuriväärtused (tühi katseklaas)

Nimetus	Väärtus
Algne temperatuur (T <sub>1,empty</sub> )	
Temperatuur sulamise lõpus (T <sub>2,empty</sub> )	
Temperatuur sundkuumutamise lõpus (T <sub>3,empty</sub> )	

3. Temperatuuri väärtused (katseklaas 1,4-dioksaaniga)

Nimetus	Väärtus
Algne temperatuur ( $T_1$ )	
Temperatuur sulamise lõpus ( $T_2$ )	
Temperatuur sundkuumutamise lõpus ( $T_3$ )	

4. Kütteks kulutatud energia väärtus, tühi katseklaas ( $W_{empty}$ ).....
5. Sundkütmise aeg, tühi katseklaas ( $\Delta T_{empty}$ ).....
6. Kütteks kulutatud energia väärtus ( $W_{el}$ ).....
7. Sundkütmise aeg ( $\Delta T$ ).....
8. Puhta aine sulamisentalpia määramine

$$Q = Q_{exp} - Q_{empty}$$

$$Q_{exp} = -Ck * \Delta t_{exp}$$

$$W_{el} = Ck * \Delta t_{cal} = Q_{cal}$$

$$Q_{exp} = W_{el} \cdot \frac{\Delta T_{exp}}{\Delta T_{cal}}$$

$$Q_{empty} = W_{el, empty} = \frac{W_{el} * \Delta T_{exp, empty}}{\Delta T_{cal, empty}}$$

kus:  $Q_{exp}$  – sulamise soojus, kJ/mol;  $Q_{cal}$  – elektitöö, kJ/mol;

$\Delta T_{exp}$  – temperatuuri erinevus sulamise protsessi ajal ( $\Delta T_{exp} = T_1 - T_2$ ), °C;

$\Delta T_{cal}$  – temperatuuri erinevus sundkütmise ajal ( $\Delta T_{cal} = T_3 - T_2$ ), °C;

$$\Delta H = \frac{Q}{n}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{TF}$$

kus:  $n$  – 1,4-dioksaani hulk, mol;

$\Delta H$  – molaarne sulamisentalpia, kJ/mol;

$\Delta S$  – sulamisentroopia, J/(mol·K)

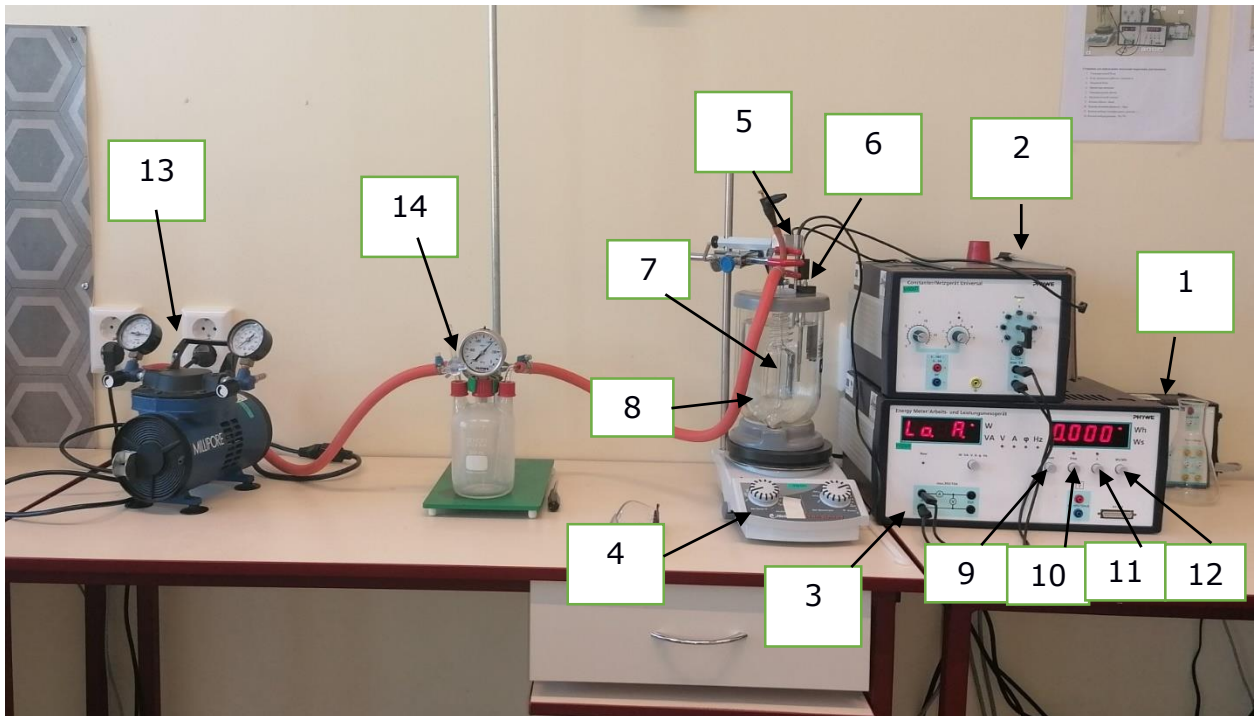
TF – 284,9 K

# LISA 3 Laboratoorne töö 3 „Aurustumisentalpia määramine“

## Laboratoorne töö

### «Vedeliku aurustumisentalpia määramine»

**Töö eesmärk:** vedeliku aurustumisentalpia määramine vaakumpumba ja selle järgneva sundkuumutamise abil



Joonis 1. Seade vedeliku aurustumisentalpia määramiseks

#### Aurustumisentalpia seadme osad:

1. Temperatuuriplokk
2. Töö ja võimsuse määramise plokk
3. Põhiplokk
4. Magnetsegaja
5. Temperatuuriandur
6. Kütteelement
7. Aurustumisreservuaar
8. Kalorimeetriline seade
9. Tühistamise nupp – Reset
10. Protsessi peatamise nupp – Stop
11. Temperatuuri valimise nupp – t
12. Režiimi valimise nupp – Wh/Ws

13. Vaakumpump

14. Kaitseanum koos manomeetri ja 3-suunalise ventiiliga

**Terminid:** aurustumisentalpia, kondensatsiooni entalpia, sublimatsiooni entalpia, gaasirõhk, aurustumisentroopia, Clapeyron-Clausiusi võrrand, termodünaamika seadused, kalorimeetria.

**Peamised põhimõtted:** vedeliku aurustumine toimub koos soojuse neeldumisega. Aurumisentalpia määramiseks aurustub teadaolev uuritava vedeliku mass spetsiaalses anuma õhuvoolus. Neeldunud soojuse kogus vastab aurustumisentalpiale.

**Eesmärgid:**

- määrata dietüüleetri aurustumise molaarne entalpia;
- arvutada aurustumise molaarsed entalpiad ja entroopiad.

**Mõõtevahendid ja seadmed:**

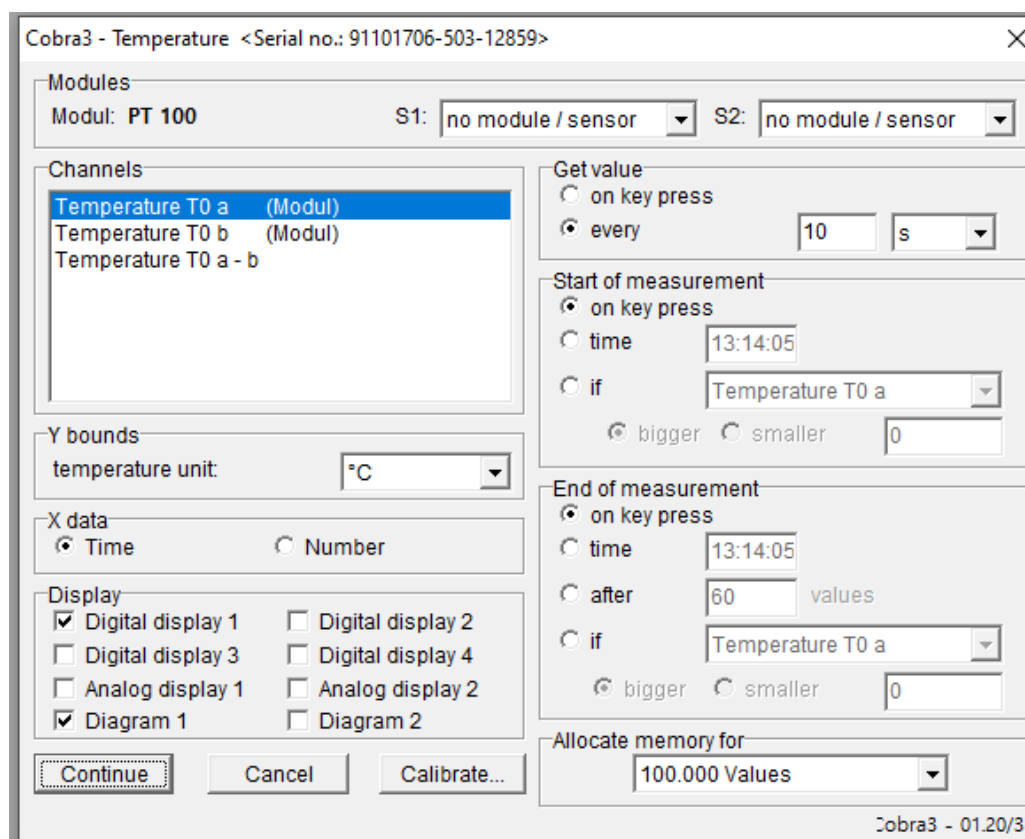
- kalorimeetriline seade;
- kalorimeetri aurustumisreservuaar;
- laboratooriumi statiiv,  $h=500$  mm;
- tehnilised kaalud täpsusega 0,1 g;
- kaitseanum koos manomeetri ja 3-suunalise ventiiliga;
- vaakumpump;
- keeduklaas, 500 ml;
- keeduklaas, 50 ml;
- kummitorud, vakuum,  $d=6$  mm;
- kummitorud,  $d=6$  mm;
- kummiotsad;
- toruklamber,  $d=12\text{...}20$  mm – 5 tk;
- õhureguleerimisventiil;
- süstal, 20 ml;
- nõel süstli jaoks,  $0.9\times 70$  mm;
- kruvikeeraja;
- arvuti tarkvaraga.

**Reaktiivid:**

- Dietüüleeter, 15 ml;
- Destilleeritud vesi.

## Töö käik:

1. Panna kokku kalorimeetrilise seade vastavalt joonisele 1. Ühendadust kütteelemendi (6) töö-ja võimsuse mõõtmise mooduliga ei nõuta.
2. Ühendada temperatuurianduri (5) temperatuuri mõõtmise mooduliga (1).
3. Täita kalorimeeter 900 g destilleeritud veega, mis mõõdetakse silindriga kaalul (0,1 g täpsusega), ja asetada veega täidetud kalorimeeter magnetsegajale, asetada täidetud kalorimeetrise magnet ja seadistada segisti kiiruseks 750 pööret minutis (**Ärge lülitage sisse kütmist**). Seadistada kütteelemendi (6) ja temperatuurianduri (5) läbi kalorimeetri kaanes oleva ava ja kinnitada neid käpaga.
4. Käivitada töölaual programmi «Measure», valida vahekaardil «Gauge» tööriist «Cobra 3 Temperature» ja seadistada mõõtmisparameetrid vastavalt joonisele 2.



Joonis 2. Aurustumisentalpia parameetrite seadistused

5. Avanevas dialoogiaknas valida jaotuse alt Temperature T0 moodul, seejärel valida Display jaotuse alt Digital display 1 ja avanevas dialoogiaknas valida Temperature T0a. Seejärel panna märk "Diagramm 1" vastas ja valida hüpikaknas Mode jaotuse all Auto range ja vajutada OK. Jaotuses Get value panna ajaks 5 sekundit. Vajutada nuppu "Calibrate", sisestada kalorimeetris oleva termomeetri poolt mõõdetud temperatuuri väärtus ilmuvasse dialoogiaknasse ja vajutada nuppu "Calibrate" ning



oodata, kuni kalibreerimine on lõpetatud. Kui kalibreerimine on lõpetatud, klõpsata OK ja panna kinni dialoogiaken «Calibrate».

6. Kui kõik seadistused on tehtud, vajutada nuppu «Continue». Avanevas aknas näidatakse keskkonna temperatuur, millele järgneb temperatuuritasakaalu seadistamine.
7. Keeduklaasis (500 ml) kaalutakse: aurustumisreservuaar, millele on kinnitatud oranži värvi kummist toru, läbipaistev kummist toru koos klambriga ja õhureguleerimisventiil.
8. Seejärel kinnitada läbipaistev klambriga toru mahuti küljel oleva avause külge. Võtta süstlaga 15 ml dietüületrit ja süstida aurustumisreservuaari läbi oranži toru. Pärast eetri sisestamist mahutisse kinnitada ülatoru külge õhureguleerimisventiilt.
9. Dietüüleetriga täidetud aurustumisreservuaari tuleb nüüd uuesti kaaluda.
10. Asetada aurustumisreservuaar kalorimeetrisse ja kinnitada see käpa abil. Eemaldada läbipaistev klambriga toru ja ühendada reservuaar vaakumvoolikuga pumba külge. Ohutuse tagamiseks seadistada pumba ja kalorimeetri vahele kaitseanum koos manomeetriga.
11. Kui temperatuuritasakaal on saavutatud (umbes 10 min), alustada mõõtmist, vajutades nuppu "Start measurement". Veenduda, et temperatuuritasakaal on saavutatud, märkida üles  $T_1$ .
12. Lülitada pump sisse, keerata 3-suunaline ventiil soovitud asendisse ja käivitada aurustumisprotsess, avades väga ettevaatlikult kontrollventiili. Vältida tugevat pritsimist ja keemist. Veenduda, et rõhumõõtuuri näit oleks -400 hPa piires.
13. Kui temperatuur on langenud umbes 1 °C võrra, sulgeda kontrollventiil, lülitada pump välja (lasta õhk kaitseanumasse!).
14. Koheselt eemaldada vaakumtoru aurustumisreservuaari õhu väljalasketoru küljest ja asendada see läbipaistva, klambriga varustatud toruga ning sulgeda.
15. Jätkata süsteemi temperatuuri mõõtmist kuni uue tasakaalu saavutamiseni ja registreerida temperatuuri  $T_2$ .
16. Kalorimeetri summaarse soojusvõimsuse määramiseks lülitada töö- ja võimsuse mõõteseadme (seade 3) toitepinge 10 V peale (joonis 3).



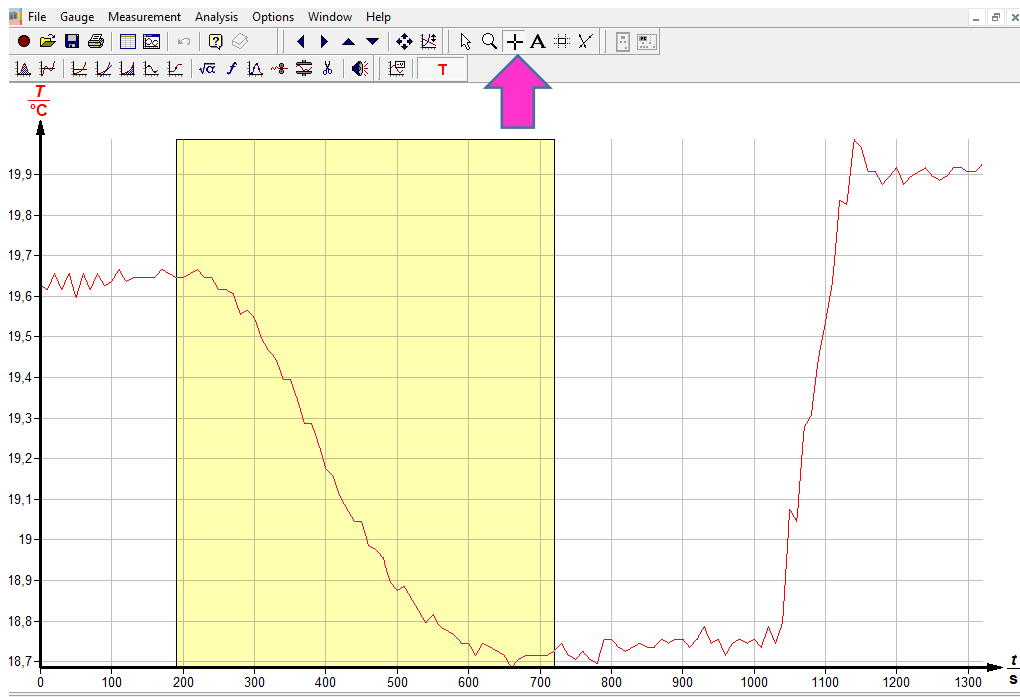
Joonis 3



Joonis 4

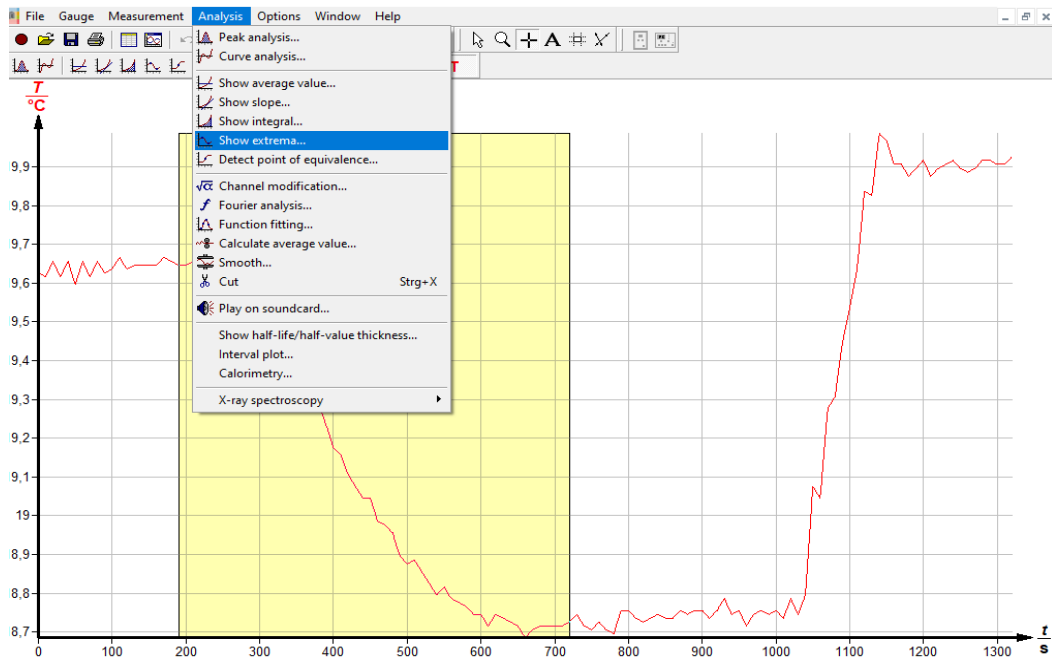
17. Vajutada nuppu "Reset" ja ühendada kütteelemendi lahtised otsad toiteallika 3 pistikupesadesse (välja) (joonis 4). Süsteem soojendab nüüd pidevalt ja seade näitab tarnitud energia kogust W (energiaploki 4 ekraanil).
18. Jätkata mõõtmist kuni väärtuseni 4000 Ws, registreerida tarnitud energia kogus W (plokk 4), vajutada nuppu "Stop". Seejärel lülitada kütmine välja (eemaldada kütteelement energiaploki 4 pistikupesast) ja eemaldada pinge seadmelt 3.
19. 3 minuti pärast peatada temperatuuri mõõtmise, vajutades programmi dialoogiaknas nuppu "Stop measurements". Kui mõõtmine on peatatud, kuvatakse töö ajal toimunud temperatuuri muutuse graafik.
20. Võtta välja aurustumisreservuaar, kuivatada salvrätikutega, asetada keeduklaasi ja kaaluda kõigi lisatarvikutega uuesti.
21. Määrata saadud graafikul temperatuurimuutused. Selleks valida vahekaardil Analysis vahekaart peak analyses, panna sellele vastas linnukese. Temperatuurandmed ilmuvad graafikule.

Pärast nupu "Stop Measurements" vajutamist kuvab programm automaatselt temperatuuri muutuste graafiku ekraanile. Selle graafiku põhjal leitakse temperatuurid  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ . Selle jaoks on vaja valida tööriistaribal nupp "Mark" (tähistatud roosa noolega) ja valitud tööriistaga märgida terve graafiku (joonis 5).



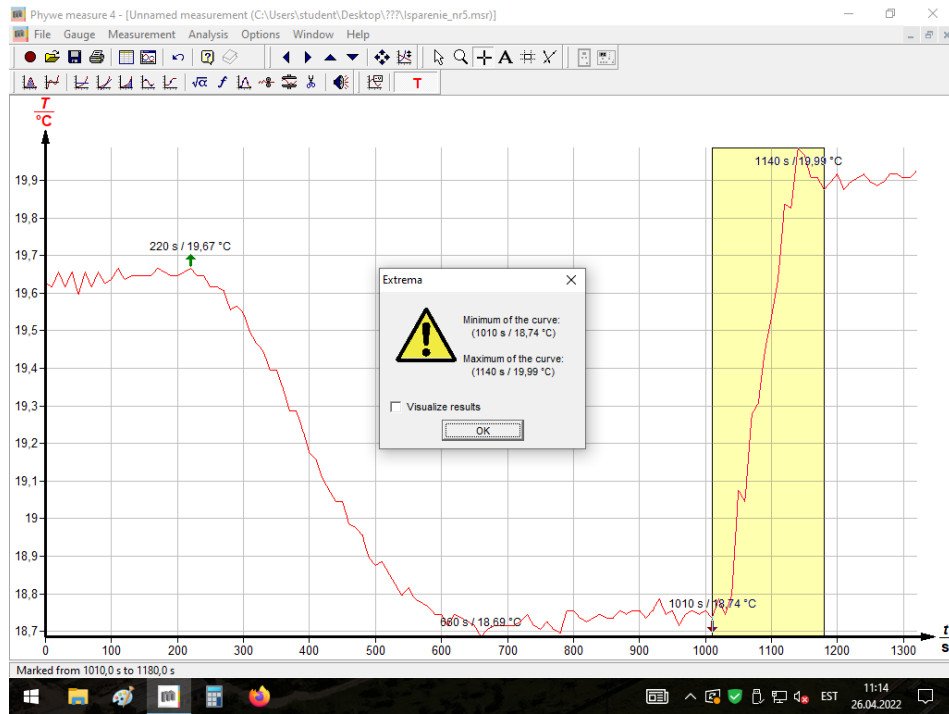
Joonis 5. Temperatuurimuutuste tsooni esiletõstmine, kasutades nuppu Mark

Valitud tsoonil klõpsata vahekaardil Analysis ja valida Show extrema (joonis 6). Graafikule ilmub hüpikaken, mis näitab miinimum- ja maksimumväärtusi selles tsoonis, nii temperatuuri kui ka muutumisaega.



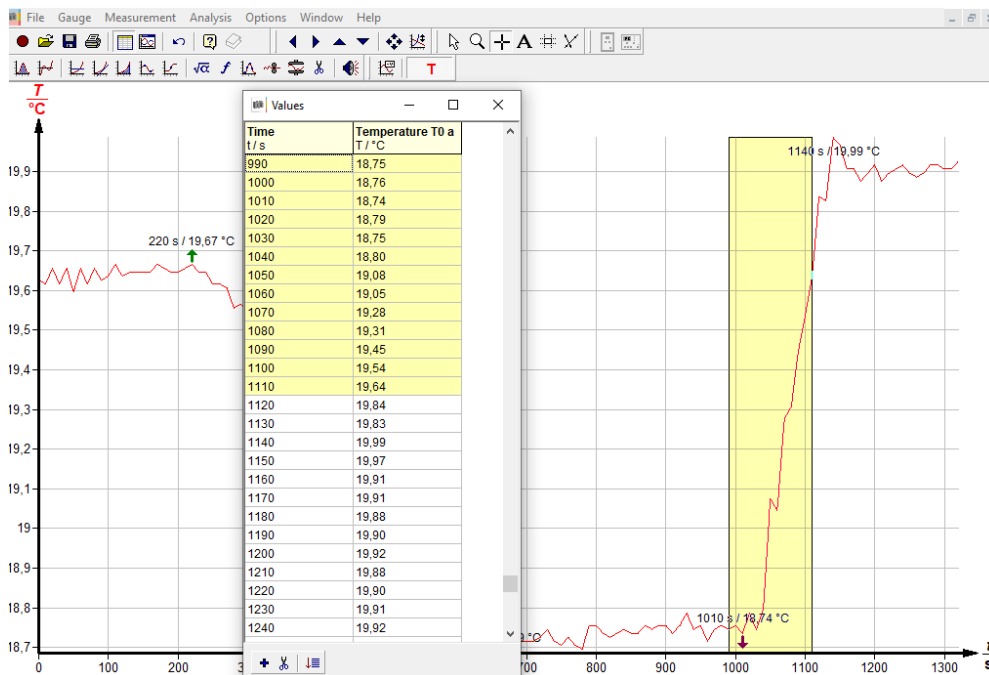
Joonis 6. Nupp Show extrema

Ekstreemväärtuste visualiseerimiseks on vaja hüpikaknas (joonis 7) panna Vizualize results vasta linnukese.



Joonis 7. Ekstreemide visualiseerimine

Graafiku järgi on vaja leida sundkütmise aega, selleks tuleb valida sundkütmise tsoon (joonis 8), teha paremklõps tabeli Data table osas. Graafiku põhjal lahutatakse valitud tsooni esimene väärtus (joonis 8) (kollane värv) viimasest väärtusest (s).



Joonis 8. Nupp Data table ja tabeli andmete ilmumine

22. Printida graafik

**Arvutused:**

1. Laboratoorseks tööks vajalikud reaktiivid

Nimetus	Väärtus
m(tühi silinder+dest. H <sub>2</sub> O)	
m(keeduklaas+aurustumisreservuaar+oranž toru+läbipaistev toru klambriga+õhureguleerimisventiil)	
m(keeduklaas+aurustumisreservuaar täidetud dietüüleetri+oranž toru+läbipaistev toru klambriga+õhureguleerimisventiil)	
m(keeduklaas+aurustumisreservuaar dietüüleetri jäägid+oranž toru+läbipaistev toru klambriga+õhureguleerimisventiil)	
<b>m(dietüüleeter)</b>	

2. Temperatuuride andmed

Nimetus	Väärtus
Algne temperatuur (T <sub>1</sub> )	
Temperatuur aurustumise lõpus (T <sub>2</sub> )	
Temperatuur sundkuumutamise lõpus (T <sub>3</sub> )	

3. Kütteks kulutatud energia väärtus (W).....

4. Sundkütmise aeg (Δτ).....

5. Vedeliku aurustumisentalpia määramine

$$\Delta vS = \frac{\Delta vH}{Tv}$$

$$\Delta vH = \Delta vS * Tv$$

$$\Delta vH = \frac{\Delta v h}{n}$$

$$\Delta v h = - Ck * \Delta Tv$$

$$Ck = \frac{W_{el}}{\Delta T_{el}}$$

$$\Delta vH = - Ck * \Delta Tv * \frac{m}{M}$$

$$\Delta vH = - W_{el} * \frac{\Delta Tv}{\Delta T_{el}} * \frac{m}{M}$$

kus: ΔT<sub>v</sub> – temperatuuri erinevus aurustumise ajal (ΔT<sub>v</sub>= T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>), °C

ΔT<sub>el</sub> – temperatuuri erinevus sundkütmise ajal (ΔT<sub>cal</sub> = T<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>), °C

W<sub>el</sub> – kütteks kulutatud energia väärtus

n – dietüüleetri hulk (m/M)

ΔvH – aurustumisentalpia

ΔvS – aurustumisentroopia

# LISA 4 Ohutuskaart KOH

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### Kaaliumhüdroksiidi lahus ROTI®Volum 0,1 mol/l - 0,1 N

toote number: **CN53**  
Versioon: **1.0 et**

koostamise kuupäev: 18.08.2021

## 1. JAGU: Aine/segu ning äriühingu/ettevõtja identifitseerimine

### 1.1 Tootetähis

Aine identifitseerimine	<b>Kaaliumhüdroksiidi lahus ROTI®Volum 0,1 mol/l - 0,1 N</b>
Toote number	CN53
Registreerimisnumber (REACH)	mitte tähtsust omav (segu)

### 1.2 Aine või segu asjaomased kindlaksmääratud kasutusalaad ning kasutusalaad, mida ei soovitata

Asjaomased kindlaksmääratud kasutusalaad:	Laborikemikaal Laboratoorne ja analüütiline kasutus
Kasutusalaad, mida ei soovitata:	Mitte kasutada pritsimiseks või pihustamiseks. Mitte kasutada toodetel, mis satuvad nahaga otsesesse kontakti. Mitte kasutada toodetel, mis satuvad toiduainetega kontakti. Mitte kasutada isiklikel eesmärkides (majapidamises).

### 1.3 Andmed ohutuskaardi tarnija kohta

Carl Roth GmbH + Co KG  
Schoemperlenstr. 3-5  
D-76185 Karlsruhe  
Saksamaa

**Telefon:** +49 (0) 721 - 56 06 0  
**Faks:** +49 (0) 721 - 56 06 149  
**e-kiri:** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)  
**Veebilehekülg:** [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Ohutuskaardi koostamise eest vastutava pädev isik: :Department Health, Safety and Environment

**e-post (pädev isik):** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

**Tarnija (importija):**  
Akrom-Ex Inc.  
Vee 2, Märja  
61406 Tartumaa  
+372 5520624  
-  
[akro@akrom.ee](mailto:akro@akrom.ee)  
[www.akrom.ee](http://www.akrom.ee)

### 1.4 Hädaabitelefoni number

Nimetus	Tänav	Sihtnumber/linn	Telefon	Veebilehekülg
Mürgistusteabekeskus	Paldiski 81	10617 Tallinn	16662	<a href="http://www.16662.ee">http://www.16662.ee</a>

### 1.5 Importija

Akrom-Ex Inc.  
Vee 2, Märja  
61406 Tartumaa  
Eesti

**Telefon:** +372 5520624  
**Faks:** -  
**e-Kiri:** [akro@akrom.ee](mailto:akro@akrom.ee)

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



Kaaliumhüdroksiidi lahus ROTI®Volum 0,1 mol/l - 0,1 N

toote number: CN53

Veebilehekülg: www.akrom.ee

## 2. JAGU: Ohtude identifitseerimine

### 2.1 Aine või segu klassifitseerimine

Klassifitseerimine määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

Jagu	Ohuklass	Kategooria	Ohuklass ja ohukategooria	Ohulause
2.16	Metalli söövitav aine või segu	1	Met. Corr. 1	H290
3.2	Nahasöövitus/-ärritus	1A	Skin Corr. 1A	H314
3.3	Raske silmakahjustus/silmade ärritus	1	Eye Dam. 1	H318

Lühendite täistekstid: vt 16. JAGU

**Kõige olulisemad kahjulikud füüsikalised-keemilised mõjud, mõju inimeste tervisele ja keskkonnale**

Nahasöövitus tekitab pöördumatu nahakahjustuse, st nähtava marrasknahast kuni pärisnahani ulatava nekroosi.

### 2.2 Märgistuselemendid

Märgistus määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

#### Tunnussõna

Ettevaatust

#### Piktogramm

GHS05



#### Ohulause

H290

Võib söövitada metalle

H314

Põhjustab rasket nahasöövitus ja silmakahjustusi

#### Hoiatuslaused

##### Hoiatuslaused - ennetamine

P280

Kanda kaitsekindaid/kaitseprille/kaitsemaski

##### Hoiatuslaused - reageerimine

P303+P361+P353 NAHALE (või juustele) SATTUMISE KORRAL: kõik saastunud rõivad viivitamata seljast võtta. Loputada nahka veega [või loputada duši all]

P305+P351+P338 SILMA SATTUMISE KORRAL: loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Eemaldada kontaktläätsed, kui neid kasutatakse ja kui neid on kerge eemaldada. Loputada veel kord

P310

Võtta viivitamata ühendust MÜRGISTUSTEABEKESKUSE/arstiga

**Ohtlikud koostisained märgistamiseks:**

Kaaliumhüdroksiid

Selliste pakendite märgistamine, mille maht ei ületa 125 ml

Tunnussõna: Ettevaatust



# Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



## Kaaliumhüdroksiidi lahus ROTI®Volum 0,1 mol/l - 0,1 N

toote number: **CN53**

Sümbol(id)



H314 Põhjustab rasket nahasöövitust ja silmakahjustusi.  
P280 Kanda kaitsekindaid/kaitseprille/kaitsemaski.  
P303+P361+P353 NAHALE (või juustele) SATTUMISE KORRAL: kõik saastunud rõivad viivitamata seljast võtta. Loputada nahka veega või loputada duši all.  
P305+P351+P338 SILMA SATTUMISE KORRAL: loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Eemaldada kontaktläätsed, kui neid kasutatakse ja kui neid on kerge eemaldada. Loputada veel kord.  
P310 Võtta viivitamata ühendust MÜRGIKUSTEABEKESKUSE/arstiga.  
sisaldab: Kaaliumhüdroksiid

### 2.3 Muud ohud

#### Püsivate, bioakumuleeruvate ja toksiliste ning väga püsivate ja väga bioakumuleeruvate omaduste hindamine

Segu ei sisalda püsivaks, bioakumuleeruvaks ja toksiliseks PBT ega väga püsivaks ja väga bioakumuleeruvaks vPvB hinnatud aineid.

## 3. JAGU: Koostis/teave koostisainete kohta

### 3.1 Ained

mitte tähtsust omav (segu)

### 3.2 Segud

#### Segu kirjeldus

Aine nimetus	Tootetähis	Kaalu-%	Klassifitseerimine GHS kohaselt	Piktogrammid	Märkmed
Kaaliumhüdroksiid	CASi nr. 1310-58-3  EÜ nr 215-181-3  Indeks nr. 019-002-00-8  Reg. nr REACH 01-2119487136- 33-xxxx	10 – 25	Met. Corr. 1 / H290 Acute Tox. 4 / H302 Skin Corr. 1A / H314 Eye Dam. 1 / H318		

Aine nimetus	Tootetähis	Konkreetsed sisalduse piirväärtused	Korruptuste gurid	ATE	Kokkupuute viis
Kaaliumhüdroksiid	CASi nr. 1310-58-3  EÜ nr 215-181-3  Indeks nr. 019-002-00-8	Skin Corr. 1A; H314: C ≥ 5 % Skin Corr. 1B; H314: 2 % ≤ C < 5 % Skin Irrit. 2; H315: 0,5 % ≤ C < 2 % Eye Dam. 1; H318: C ≥ 2 % Eye Irrit. 2; H319: 0,5 % ≤ C < 2 %	-	333 mg/kg	suukaudne

Lühendite täistekstid: vt 16. JAGU



## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### HCl alkoholi lahus 0,75% HCl etanoolis, kasutamiseks valmis, histoloogia jaoks

toote number: **9969**  
 Versioon: **1.0 et**

koostamise kuupäev: 15.09.2021

## 1. JAGU: Aine/segude ning äriühingu/ettevõtja identifitseerimine

### 1.1 Tootetähis

Aine identifitseerimine	<b>HCl alkoholi lahus 0,75% HCl etanoolis, kasutamiseks valmis, histoloogia jaoks</b>
Toote number	9969
Registreerimisnumber (REACH)	mitte tähtsust omav (segu)

### 1.2 Aine või segu asjaomased kindlaksmääratud kasutusala ning kasutusala, mida ei soovitata

Asjaomased kindlaksmääratud kasutusala:	Laborikemikaal Laboratoorne ja analüütiline kasutus
Kasutusala, mida ei soovitata:	Mitte kasutada toodetel, mis satuvad toiduainetega kontakti. Mitte kasutada isiklikele eesmärkides (majapidamises).

### 1.3 Andmed ohutuskaardi tarnija kohta

Carl Roth GmbH + Co KG  
 Schoemperlenstr. 3-5  
 D-76185 Karlsruhe  
 Saksamaa

**Telefon:** +49 (0) 721 - 56 06 0  
**Faks:** +49 (0) 721 - 56 06 149  
**e-kiri:** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)  
**Veebilehekülg:** [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Ohutuskaardi koostamise eest vastutava pädev isik: :Department Health, Safety and Environment

**e-post (pädev isik):** [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

**Tarnija (importija):** Akrom-Ex Inc.  
 Vee 2, Märja  
 61406 Tartumaa  
 +372 5520624  
 -  
[akro@akrom.ee](mailto:akro@akrom.ee)  
[www.akrom.ee](http://www.akrom.ee)

### 1.4 Hädaabitelefoni number

Nimetus	Tänav	Sihtnumber/linn	Telefon	Veebilehekülg
Mürgistusteabekeskus	Paldiski 81	10617 Tallinn	16662	<a href="http://www.16662.ee">http://www.16662.ee</a>

### 1.5 Importija

Akrom-Ex Inc.  
 Vee 2, Märja  
 61406 Tartumaa  
 Eesti

**Telefon:** +372 5520624  
**Faks:** -  
**e-Kiri:** [akro@akrom.ee](mailto:akro@akrom.ee)  
**Veebilehekülg:** [www.akrom.ee](http://www.akrom.ee)

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



HCl alkoholi lahus 0,75% HCl etanoolis, kasutamiseks valmis, histoloogia jaoks

toote number: 9969

## 2. JAGU: Ohtude identifitseerimine

### 2.1 Aine või segu klassifitseerimine

Klassifitseerimine määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

Jagu	Ohuklass	Kategooria	Ohuklass ja ohukategooria	Ohulause
2.6	Tuleohtlik vedelik	2	Flam. Liq. 2	H225
2.16	Metalli söövitav aine või segu	1	Met. Corr. 1	H290
3.3	Raske silmakahjustus/silmade ärritus	2	Eye Irrit. 2	H319

Lühendite täistekstid: vt 16. JAGU

**Kõige olulisemad kahjulikud füüsikalised-keemilised mõjud, mõju inimeste tervisele ja keskkonnale**

Toode on süttiv ja võib süttida potentsiaalsete sütteallikate tõttu.

### 2.2 Märgistuselemendid

Märgistus määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

#### Tunnussõna

Ettevaatust

#### Piktogramm

GHS02, GHS05



#### Ohulause

H225  
H290  
H319

Väga tuleohtlik vedelik ja aur  
Võib söövitada metalle  
Põhjustab tugevat silmade ärritust

#### Hoiatuslaused

##### Hoiatuslaused - ennetamine

P210 Hoida eemal soojusallikast, sädemetest, lekidest, kuumadest pindadest. Mitte suitsetada  
P233 Hoida pakend tihedalt suletuna  
P280 Kanda kaitsekindaid/kaitseprille

##### Hoiatuslaused - reageerimine

P305+P351+P338 SILMA SATTUMISE KORRAL: loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Eemaldada kontaktläätsed, kui neid kasutatakse ja kui neid on kerge eemaldada. Loputada veel kord

Selliste pakendite märgistamine, mille maht ei ületa 125 ml

Tunnussõna: Ettevaatust

Sümbol(id)



## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### HCl alkoholi lahus 0,75% HCl etanoolis, kasutamiseks valmis, histoloogia jaoks

toote number: 9969

#### 2.3 Muud ohud

##### Püsivate, bioakumuleeruvate ja toksiliste ning väga püsivate ja väga bioakumuleeruvate omaduste hindamine

Segu ei sisalda püsivaks, bioakumuleeruvaks ja toksiliseks PBT ega väga püsivaks ja väga bioakumuleeruvaks vPvB hinnatud aineid.

### 3. JAGU: Koostis/teave koostisainete kohta

#### 3.1 Ained

mitte tähtsust omav (segu)

#### 3.2 Segud

##### Segu kirjeldus

Aine nimetus	Tootetähis	Kaalu-%	Klassifitseerimine GHS kohaselt	Piktogrammid	Märkmed
Etanool	CASi nr. 64-17-5  EÜ nr 200-578-6  Indeks nr. 603-002-00-5  Reg. nr REACH 01-2119457610- 43-xxxx	35 – 70	Flam. Liq. 2 / H225 Eye Irrit. 2 / H319		GHS-HC IARC: 1
Vesinikkloriidhape . . . %	CASi nr. 7647-01-0  EÜ nr 231-595-7  Indeks nr. 017-002-01-X  Reg. nr REACH 01-2119484862- 27-xxxx	0,75	Met. Corr. 1 / H290 Skin Corr. 1B / H314 Eye Dam. 1 / H318 STOT SE 3 / H335		B(a) GHS-HC IOELV

##### Märkmed

B(a): Klassifikatsioon viitab vesilahusele

GHS-HC: Harmoniseeritud klassifikatsioon (aine klassifikatsioon on vastavuses sissekandega nimekirjas 1272/2008/EÜ, VI lisa kohaselt)

IARC: 1: IARC grupp 1: inimestele kantserogeenne (Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuur)

IOELV: Töökeskkonnas leiduva soovitusliku ühenduse piirnormiga aine

Aine nimetus	Tootetähis	Konkreetsed sisalduse piirväärtused	Korrutuste gurid	ATE	Kokkupuute viis
Vesinikkloriidhappe . . . %	CASi nr. 7647-01-0  EÜ nr 231-595-7  Indeks nr. 017-002-01-X	Met. Corr. 1; H290: C ≥ 0,1 % Skin Corr. 1B; H314: C ≥ 25 % Skin Irrit. 2; H315: 10 % ≤ C < 25 % Eye Dam. 1; H318: C ≥ 25 % Eye Irrit. 2; H319: 10 % ≤ C < 25 % STOT SE 3; H335: C ≥ 10 %	-	-	

Lühendite täistekstid: vt 16. JAGU

# LISA 6 Ohutuskaart 1,4-DIOXANE

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### 1,4-Dioksaan ROTISOLV® HPLC, stabiliseerimata

toote number: **X949**  
Versioon: **4.0 et**  
Asendab versiooni: 05.08.2021  
Versioon: (3)

koostamise kuupäev: 04.11.2016  
Muudetud: 15.10.2021

## 1. JAGU: Aine/segude ning äriühingu/ettevõtja identifitseerimine

### 1.1 Tootetähis

Aine identifitseerimine	<b>1,4-Dioksaan ROTISOLV® HPLC, stabiliseerimata</b>
Toote number	X949
Registreerimisnumber (REACH)	01-2119462837-26-xxxx
Indeksnumber CLP-määruse VI lisas	603-024-00-5
EÜ number	204-661-8
CASi number	123-91-1
Alternatiivne(sed) nimetus(ed)	1,4-Dietüleendioksiid

### 1.2 Aine või segu asjaomased kindlaksmääratud kasutusala ning kasutusala, mida ei soovitata

Asjaomased kindlaksmääratud kasutusala:	Laborikemikaal Laboratoorne ja analüütiline kasutus
Kasutusala, mida ei soovitata:	Mitte kasutada toodetel, mis satuvad toiduainetega kontakti. Mitte kasutada isiklikel eesmärkides (majapidamises).

### 1.3 Andmed ohutuskaardi tarnija kohta

Carl Roth GmbH + Co KG  
Schoemperlenstr. 3-5  
D-76185 Karlsruhe  
Saksamaa

Telefon: +49 (0) 721 - 56 06 0  
Faks: +49 (0) 721 - 56 06 149  
e-kiri: [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)  
Veebilehekülg: [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Ohutuskaardi koostamise eest vastutava pädev isik:

:Department Health, Safety and Environment

e-post (pädev isik):

[sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

Tarnija (importija):

Akrom-Ex Inc.  
Vee 2, Märja  
61406 Tartumaa  
+372 5520624  
-  
[akro@akrom.ee](mailto:akro@akrom.ee)  
[www.akrom.ee](http://www.akrom.ee)

### 1.4 Hädaabitelefoni number

Nimetus	Tänav	Sihtnumber/linn	Telefon	Veebilehekülg
Mürgistusteabekeskus	Paldiski 81	10617 Tallinn	16662	<a href="http://www.16662.ee">http://www.16662.ee</a>



## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### 1,4-Dioksaan ROTISOLV® HPLC, stabiliseerimata

toote number: **X949**

#### 1.5 Importija

Akrom-Ex Inc.  
Vee 2, Märja  
61406 Tartumaa  
Eesti

Telefon: +372 5520624

Faks: -

e-Kiri: akro@akrom.ee

Veebilehekülg: www.akrom.ee

## 2. JAGU: Ohtude identifitseerimine

#### 2.1 Aine või segu klassifitseerimine

Klassifitseerimine määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

Jagu	Ohuklass	Kategooria	Ohuklass ja ohukategooria	Ohulause
2.6	Tuleohtlik vedelik	2	Flam. Liq. 2	H225
3.3	Raske silmakahjustus/silmade ärritus	2	Eye Irrit. 2	H319
3.6	Kantserogeensus	1B	Carc. 1B	H350
3.8R	Mürgisus sihtelundi suhtes - ühekordne kokkupuude (hingamisteede ärritus)	3	STOT SE 3	H335

#### Täiendav ohuteave

Kood	Täiendav ohuteave
EUH019	võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide
EUH066	korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist

Lühendite täistekstid: vt 16. JAGU

#### Kõige olulisemad kahjulikud füüsikalised-keemilised mõjud, mõju inimeste tervisele ja keskkonnale

Toode on süttiv ja võib süttida potentsiaalsete sütteallikate tõttu.

#### 2.2 Märgistuselemendid

Märgistus määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

##### Tunnussõna

##### Ettevaatust

##### Piktogramm

GHS02, GHS07,  
GHS08



##### Ohulaused

H225  
H319  
H335  
H350

Väga tuleohtlik vedelik ja aur  
Põhjustab tugevat silmade ärritust  
Võib põhjustada hingamisteede ärritust  
Võib põhjustada vähktõbe

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH) kohaselt



### 1,4-Dioksaan ROTISOLV® HPLC, stabiliseerimata

toote number: **X949**

#### Hoiatuslaused

##### Hoiatuslaused - ennetamine

P210	Hoida eemal soojusallikast, kuumadest pindadest, sädemetest, leekidest ja muudest süüteallikatest. Mitte suitsetada
P261	Vältida udu/auru/pihustatud aine sissehingamist
P280	Kanda kaitsekindaid/kaitseprille/kaitsemaski

##### Hoiatuslaused - reageerimine

P304+P340	SISSEHINGAMISE KORRAL: toimetada isik värske õhu kätte ja hoida asendis, mis võimaldab kergesti hingata
P305+P351+P338	SILMA SATTUMISE KORRAL: loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Eemaldada kontaktläätsed, kui neid kasutatakse ja kui neid on kerge eemaldada. Loputada veel kord
P308+P313	Kokkupuute või kokkupuutekahtluse korral: pöörduda arsti poole

Üksnes kutsealaseks kasutamiseks

##### Täiendav ohuteave

EUH019	Võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide.
EUH066	Korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist.

Selliste pakendite märgistamine, mille maht ei ületa 125 ml

Tunnussõna: **Ettevaatust**

Sümbol(id)



H350	Võib põhjustada vähktõbe.
P280	Kanda kaitsekindaid/kaitseprille/kaitsemaski.
P308+P313	Kokkupuute või kokkupuutekahtluse korral: pöörduda arsti poole.
EUH019	Võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide.
EUH066	Korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist.

### 2.3 Muud ohud

#### **Püsivate, bioakumuleeruvate ja toksiliste ning väga püsivate ja väga bioakumuleeruvate omaduste hindamine**

Hindamistulemuste kohaselt ei ole see aine püsiv, bioakumuleeruv ja toksiline PBT ega väga püsiv ja väga bioakumuleeruv vPvB.

## 3. JAGU: Koostis/teave koostisainete kohta

### 3.1 Ained

Aine nimetus	1,4-Dioksaan
Molekulivalem	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Molaarmass	88,11 g/mol
Reg. nr REACH	01-2119462837-26-xxxx
CASi nr.	123-91-1
EÜ nr	204-661-8
Indeks nr.	603-024-00-5

# LISA 7 Ohutuskaart DIETÜÜLEETER

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH kohaselt, muudetud 2015/830/EL)



### Dietüüleeter $\geq 99,5\%$ , Ph.Eur. stabiliseeritud

toote number: **8810**  
Versioon: **2.1 et**  
Asendab versiooni: 28.01.2020  
Versioon: (2)

koostamise kuupäev: 07.12.2015  
Muudetud: 02.04.2020

## 1. JAGU: Aine/seguga ning äriühingu/ettevõtja identifitseerimine

### 1.1 Tootetähis

Aine identifitseerimine	Dietüüleeter
Toote number	8810
Registreerimisnumber (REACH)	01-2119535785-29-xxxx
Indeks nr.	603-022-00-4
EÜ number	200-467-2
CASi number	60-29-7

### 1.2 Aine või segu asjaomased kindlaksmääratud kasutusalaad ning kasutusalaad, mida ei soovitata

Kindlaksmääratud kasutusalaad:	laborikemikaal laboratoorne ja analüütiline kasutus
--------------------------------	--------------------------------------------------------

### 1.3 Andmed ohutuskaardi tarnija kohta

Carl Roth GmbH + Co KG  
Schoemperlenstr. 3-5  
D-76185 Karlsruhe  
Saksamaa

Telefon: +49 (0) 721 - 56 06 0

Faks: +49 (0) 721 - 56 06 149

e-kiri: [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

Veebilehekülg: [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Ohutuskaardi koostamise eest vastutava pädev isik: : Department Health, Safety and Environment

e-post (pädev isik): [sicherheit@carlroth.de](mailto:sicherheit@carlroth.de)

### 1.4 Hädaabitelefoni number

Nimetus	Tänav	Sihtnumber/linn	Telefon	Veebilehekülg
Mürgistusteabekeskus	Paldiski 81	10617 Tallinn	16662	<a href="http://www.16662.ee">http://www.16662.ee</a>

## 2. JAGU: Ohtude identifitseerimine

### 2.1 Aine või segu klassifitseerimine

Klassifitseerimine määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

Klassifitseerimine GHS kohaselt			
Jagu	Ohuklass	Ohuklass ja ohukategooria	Ohulause
2.6	tuleohtlik vedelik	(Flam. Liq. 1)	H224
3.10	äge mürgisus (suukaudne)	(Acute Tox. 4)	H302
3.8D	mürgisus sihtelundi suhtes – ühekordne kokkupuude (narkootiline toime, unisus)	(STOT SE 3)	H336

## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH kohaselt, muudetud 2015/830/EL)



Dietüüleeter  $\geq 99,5\%$ , Ph.Eur. stabiliseeritud

toote number: 8810

### Täiendav ohuteave

Kood	Täiendav ohuteave
EUH019	võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide
EUH066	korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist

### Kõige olulisemad kahjulikud füüsikalised-keemilised mõjud, mõju inimeste tervisele ja keskkonnale

Narkootiline toime.

## 2.2 Märgistuselemendid

Märgistus määruse (EÜ) nr 1272/2008 (CLP) kohaselt

### Tunnussõna

Ettevaatust

### Piktogramm

GHS02, GHS07



### Ohulaused

H224 Eriti tuleohtlik vedelik ja aur  
H302 Allaneelamisel kahjulik  
H336 Võib põhjustada unisust või peapööritust

### Hoiatuslaused

#### Hoiatuslaused - ennetamine

P210 Hoida eemal soojusallikast, kuumadest pindadest, sädemetest, leekidest ja muudest süüteallikatest. Mitte suitsetada.  
P243 Rakendada abinõusid staatilise elektri vältimiseks.  
P261 Vältida tolmu/suitsu/gaasi/udu/auru/pihustatud aine sissehingamist.

#### Hoiatuslaused - reageerimine

P303+P361+P353 NAHALE (või juustele) SATTUMISE KORRAL: kõik saastunud rõivad viivitamata seljast võtta. Loputada nahka veega [või loputada duši all].  
P304+P340 SISSEHINGAMISE KORRAL: toimetada isik värske õhu kätte ja hoida asendis, mis võimaldab kergesti hingata.  
P312 Halva enesetunde korral võtta ühendust MÜRGISTUSTEABEKESKUSEGA/arstiga.

### Täiendav ohuteave

EUH019 Võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide.  
EUH066 Korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist.

Selliste pakendite märgistamine, mille maht ei ületa 125 ml

Tunnussõna: Ettevaatust

Sümbol(id)



H224 Eriti tuleohtlik vedelik ja aur.



## Ohutuskaart

määruse (EÜ) nr 1907/2006 (REACH kohaselt, muudetud 2015/830/EL)



**Dietüüleeter ≥99,5 %, Ph.Eur. stabiliseeritud**

toote number: **8810**

P210	Hoida eemal soojusallikast, kuumadest pindadest, sädemetest, leekidest ja muudest süüteallikatest. Mitte suitsetada.
P243	Rakendada abinõusid staatilise elektri vältimiseks.
P303+P361+P353	NAHALE (või juustele) SATTUMISE KORRAL: kõik saastunud rõivad viivitamata seljast võtta. Loputada nahka veega või loputada duši all.
EUH019	Võib moodustada plahvatusohtlikke peroksiide.
EUH066	Korduv kokkupuude võib põhjustada naha kuivust või lõhenemist.

### 2.3 Muud ohud

Lisainformatsioon puudub.

## 3. JAGU: Koostis/teave koostisainete kohta

### 3.1 Ained

Aine nimetus	Dietüüleeter
Indeks nr.	603-022-00-4
Registreerimisnumber (REACH)	01-2119535785-29-xxxx
EÜ number	200-467-2
CASi number	60-29-7
Molekulivalem	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Molaarmass	74,12 g/mol

Lisandid ja lisaained, klassifikatsioon EL eeskirja kohaselt

Aine nimetus	Tootetähis	Kaalu-%	Klassifitseerimine 1272/2008/EÜ kohaselt
Butüülhüdroksütolueen	CASi nr. 128-37-0  EÜ nr 204-881-4	0,1	Aquatic Acute 1 / H400 Aquatic Chronic 1 / H410

## 4. JAGU: Esmaabimeetmed

### 4.1 Esmaabimeetmete kirjeldus



#### Üldmärkused

Võtta saastunud rõivad seljast.

#### Pärast sissehingamist

Tagada värske õhk. Kahtluse korral või kui sümptomid ei kao, pöörduda arsti poole.

#### Pärast kokkupuudet nahaga

Loputada nahka veega/loputada duši all.

#### Pärast silma sattumist

Loputada mitme minuti jooksul ettevaatlikult veega. Kahtluse korral või kui sümptomid ei kao, pöörduda arsti poole.