

S. G. ŠAPOVALENKO, D. A. EPŠTEIN  
ja L. A. TSVETKOV

KEEMIA ÕPETAMINE  
KOOLIS  
POLÜTEHNILISE ÕPETUSE  
ÜLESANNETE VALGUSEL

MATERJALE ÕPETAJALE



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1953

1101

2/21919

R-19894

Sündeksemplar

S. SAPOVALENKO, D. EPSTEIN JA L. TSVETKOV

KEEMIA ÕPETAMINE  
KOOLIS  
POLÜTEHNILISE ÕPETUSE  
ÜLESANNETE VALGUSES

MATERJALE ÕPETAJALE

ARHIIVKOGU

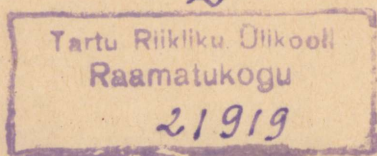
EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1953

Originaali tiitel:

С. Г. ШАПОВАЛЕНКО, Д. А. ЭПШТЕЙН И Л. А. ЦВЕТКОВ  
Преподавание химии в школе в свете задач политехнического  
обучения.

*Tõlkinud R. Trass*

2



ARHIIVKOGU

## EESSÕNA

Käesoleva materjali on koostanud abiks keskkooli keemiaõpetajaile VNFSV Pedagoogiliste Teaduste Akadeemia Õppemeetodite Instituudi Keemia meetoodika laboratooriumi kaastöötajad.

Selles raamatus tehakse katset valgustada keemia õpetamise iseärasusi koolide kogemuste üldistamise alusel seoses polütehnilise õpetuse ülesannete teostamisega, mida seadis keskkoolide ette NLKP 19. kongress. Sealjuures arvestatakse, et 1953/54. õ.-a. toimub õpetamine programme järgi, mis on lühendatud võrreldes senini kasutusel olevatega.

Raamatus selgitatakse polütehnilise õpetuse üldiseid ülesandeid ja teostamise teid keemia õpetamise protsessis; keemia süstemaatiline ja kindel omandamine ja selle rakendamine tööstuses, õpilaste tutvumine keemiatööstusega kui sotsialistliku tööstuse ühe tähtsama haruga; keemiliste ainete käsitlemise ja keemia-alaste praktiliste oskuste arendamine õpilastes; demonstratsioon- ja laboratoorseid katsete laialdane kasutamine keemia käsitlemise protsessis, praktilised tööd, ekskursioonid, kinofilmide ja diapositiivide näitamine, klassivälise töö laialdane kasutamine keemia õpetamise protsessis, kõik need avardavad ja täiendavad tundides saadud teadmisi.

Lähtudes sellest, et kõige raskemaks küsimuseks tunnis on teadmiste andmine keemiatööstusest, on sellele küsimusele pööratud erilist tähelepanu. Raamatus on antud tundide kirjeldusi, mis on pühendatud õpilaste tutvustamiseks mõnede tööstustega: väävelhappe, ammoniaagi, äädikhappe tootmisega, nafta keemilise ümbertöötlemisega, malmi ja terase tootmisega.

Nende ja mõnede teiste ainete tootmise tehnoloogia ja tehnikaga tutvumine aitab kaasa üldise ettekujutuse saamiseks tänapäeva keemiatööstusest ja meie kodumaa rahvamajanduse kemiseerimisest.

Teadmisi keemiatööstusest omandavad õpilased süsteemiliselt ja järjekindlalt kogu keemiakursuse vältel, mis toetuvad tööstuse aluseks olevatele keemiliste reaktsioonide eksperimentaalsele õppimisele. Neid teadmisi peab kinnistama ekskursionidega koolile lähedalolevatesse keemiatööstustesse. Eksperiment avab õpilastele need konkreetsed seadusepärased ainetes muutmisel, mida inimene kasutab, et organiseerida vajalike saaduste saamist ja juhtida tööstust. Praktilised eksperimentaalsed tööd relvestavad õpilasi oskusega teostada ainetes keemilisi muutusi ja käsitleda aineid. Ekskursionid annavad konkreetse ettekujutuse sotsialistlikust tööstusest.

Raamatus toodud tootmisprotsesside skeemid on otstarbekohane valmistada õpilaste abiga suurendatud mõõdetes, et kasutada neid tundides.

Siin soovitatavad vahendid polütehnilise õpetuse elluviimiseks keemia õpetamise protsessis on koostatud selleks, et tõsta keskkooli sotsialistlik-kasvatustlikku tähtsust ja luua keskkooli lõpetajatele tingimused vabalt valida elukutset.

Autorid tänavad Moskva koolide õpetajaid P. A. Gloriovit, E. M. Kovitskajat, L. N. Netšajevat, V. A. Poljakovat, N. I. Putškovat, K. K. Raevskajat, M. L. Teterini, kes vaatasid läbi töö ja andsid väärtuslikke juhendeid.

Ettepanekuid raamatu kohta saata aadressil: Moskva, Lobnovski per. maja nr. 5/16. VNFSV Ped. Teaduste Akadeemia Õppemeetodite Instituut, Keemia meetoodika laboratoorium.

## KEEMIAKURSUSE SISU POLÜTEHNILISE ÕPETUSE ÜLESANNETE VALGUSES

NSVL arendamise viienda viisaastaku direktiivides andis Nõukogude Liidu Kommunistliku partei XIX kongress juhendi alustada polütehnilise õpetuse teostamist keskkoolis ja teostada ümberkorraldused, mis on vajalikud üleminekuks üldisele polütehnilisele õpetusele.

Üldhariduslikes koolides tuleb polütehnilise õpetuse all mõista niisugust õpetust, mis tutvustab õpilasi õpetamisprotsessis teaduste alustega, teaduste rakendamise ja kasutamisega tööstuses ja põllumajanduses; annab neile tähtsamate tööstusharude materjalide alusel üldise ettekujutuse tänapäeva tööstusest ja selle peaelementidest (energeetikast, masinatest, tootmise tehnoloogiast ja selle organiseerimisest); relvastab neid mõnede oskuste ja vilumustega, mis on vajalikud tulevaseks praktiliseks tegevuseks; soodustab õppetöö seost õpilaste ühiskondlikult kasuliku tööga, mis on allutatud kooli õppekasvatusele eesmärkidele.

Polütehniline õpetus on ühiskonna liikme füüsiliste ja vaimsete võimete igakülgse arenemise üheks vahendiks, on üheks niisuguse hariduse saamise vahendiks, mis on küllaldane selleks, et ühiskonna liikmed võiksid saada aktiivseteks osavõtjateks kommunistlikust ülesehitustööst, et neil oleks võimalus vabalt valida elukutset ja mitte olla köidetud kogu eluks mingisuguse ühe elukutse külge. NLKP XIX kongress näitas ära, et polütehnilise õpetuse teostamine keskkoolis peab tõstma tema sotsialistlikkasvatusele tähtsust.

Seoses polütehnilise õpetuse teostamisega seab keemia õpetamine keskkoolis endale ülesandeks anda õpilastele kindlaid, teadlikke ja süstemaatilisi teadmisi keemia alalt

ja arusaamist keemia-alaste teadmiste rakendamisesest töötuses, anda õpilastele ettekujutuse keemiatööstusest kui ühest tähtsamast sotsialistliku tööstuse harust ja tutvustada õpilasi NSVL rahvamajanduse kemiseerimise edusammudega ja ülesannetega, anda õpilastele oskusi ja vilumusi keemiliste ainete käsitlemisel, keemiliste reaktsioonide läbiviimisel, ning samuti oskuse omandada uusi teadmisi ja neid rakendada praktikas; ühendada keemia õpetamine ühiskondlikult kasuliku tööga, mis on allutatud kooli õppe-kasvatustlikule eesmärgile.

Keemiatööstuse mõistmiseks on vajalik kindel ja süstemaatiline keemia faktide, seaduste ja teoreetiliste üldistuste omandamine ning samuti matemaatikas, füüsikas, ajaloo ja teistes loodusteaduslikes ja ühiskonnateadustes saadud teadmiste kasutamine.

Keemiatööstuse koosseisu kuuluvad arvukad tööstusharud. Iseendastmõistetavalt ei ole võimalust tutvustada õpilasi kõigi nende keemiatööstuse liikidega. See pole ka vajalik, sest polütehniline printsiip ei nõua kõige õpetamist, vaid nõuab tööstuse aluste õpetamist üldiselt. Seejärel tutvuvad õpilased ainult nende tööstustega, mis on kõrgel tehnilisel tasemel, on kogu rahvamajanduse arenemise aluseks, kindlustavad selle kemiseerimist.

Tutvumine sarnaste tööstustega peab andma mõiste keemiatööstuse üldistest printsiipidest ja valmistama õpilasi ette peale kooli lõpetamist teadmiste omandamiseks teistest keemiatööstuse harudest.

Praegu kehtiv programm näeb ette õpilaste tutvumist järgmiste aladega, mis kuuluvad keemiatööstuse hulka:

VII klassis — vee puhastamine, lubja tootmine, kütuse põhiliigid ja nende ära kasutamine, malmi saamine.

VIII klassis — soolhappe ja väävelhappe tootmine.

IX klassis — ammoniaagi ja lämmastikhappe saamine, kütuse gaasistamine, nafta ümbertöötlemine, äädikhappe saamine, kivisöe koksistamine.

X klassis — alumiiniumi, malmi ja terase tootmine.

Iga ülaltähendatud tootmise tundmaõppimisel on vajalik kindlustada, et õpilased omandaksid järgmised küsimused: a) toote koostis ja omadused, b) tooraine koostis ja omadused, d) keemilised reaktsioonid, millede alusel toimub antud toote tootmine, e) tootmise skeem, g) tüüpiliste aparaatide ehitus ja töötamine.

Tutvumine keemiatööstusega ja keemiliste toodete kasutamise peab õpilastele andma efektiivset maa rahvamajanduse kemiseerimisest.

Keemiatööstuse tundmaõppimisel on vajalik näidata, et siin, nagu teisteski sotsialistliku tootmise harudes, rakendatakse elektrifitseerimist, mehhaniseerimist, mehhanisatsiooni ja automatiseerimist, pidevvoolumetodit, energia ratsionaalset kasutamist, standardiseerimist, teostatakse sidet teiste tootmisharudega, massilist sotsialistlikku võistlust ja leiutamist, tööliste kultuur-tehnilise taseme tõstmist insener-tehniliste töötajate tasemeni. Need printsiibid kindlustavad kõrgeima tehnika maksmapanemise ja ära kasutamise, mille alusel teostub sotsialistliku tootmise pidev kasv ja täiustumine, et maksimaalselt rahuldada sotsialistliku ühiskonna pidevalt tõusvaid materiaalseid ja kultuurseid tarvidusi. Nende printsiipidega tuleb õpilasi tutvustada nii koolitundidel, kui ka ekskursioonidel keemiatööstustes.

Õpilasi tuleb ka järk-järgult tutvustada keemiliste reaktsioonide kiirendamise ja reageerivate ainete täiusliku ära kasutamise saavutamise teaduslike printsiipidega, milliseid tootmises rakendatakse tööviljakuse tõstmiseks ja toote omahinna alandamiseks.

Need on järgmised printsiibid: tooraine rikastamine, reageerivate ainete pindala optimaalne suurendamine, optimaalsete temperatuuride ja rõhumiste tarvituselevõtmine, katalüsaatorite, vastuvooluse, reageerivate ainete tsirkuleerimise jne. kasutamine.

Juba soolhappe tootmise näitel võib õpilasi tutvustada tootmisprotsessi jagunemisega faasidesse, pidevvoolusega, vastuvoolusega, keemiatööstuse harude omavahelise seosega. Väävelhappe tundmaõppimisel avaneb võimalus ülal toodud printsiipide arusaamist süvendada, selgitada õpilastele uut; reageerivate ainete pindala optimaalset suurendamist, optimaalsete temperatuuride kasutuselevõtmise, keemiliste protsesside energia ratsionaalset ära kasutamist, katalüsaatorite kasutamist, tootmiste kombineerimist. Õpilaste tutvustamine ammoniiaagi tööstusliku sünteisiga võimaldab keemiatööstuse kõikidest ülalnimetatud üldistest printsiipidest arusaamist süvendada ning minna samm edasi uute printsiipide selgitamisele, nagu optimaalse rõhumise kasutamine, reageerivate ainete tsirkulatsioon ja teised. Leeliste ja alumiiniumi elektrokeemilise tootmisviisi

tundmaõppimisel õpilased tutvuvad elektri kasutamisega keemiatööstuses. Nende üldiste printsiipide omandamine jääb didaktiliseks aluseks teiste programmis ettenähtud keemiatööstuste tundmaõppimisel.

Kuna probleemid keemiatööstusest võivad arusaadavad olla ainult vastavate keemia-alaste teadmiste juures, tuleb neid teadmisi õpilastele anda keemia aluste süstemaatilise ja järjekindla käsitlemise protsessis.

Käesoleval ajal kehtiv programm võimaldab õpilastele anda ka mõned praktilised oskused ning kogemused.

Nagu teada on programmis näidatud terve rida laboratoorseid katseid. Ühe osa laboratoorsete katsete läbiviimine iseseisvate praktiliste töödena (eksperimentaalsete ülesannete rakendamisega) on otsustavaks sammuks eksperimentaalse vilumuse kujunemisel.

Juba VII klassis võib alata õpilaste ettevalmistamist järgnevate teadmiste ja vilumuste kogumiseks: soojendamisseadeldiste kasutamine; katseklaaside, kolbide, men-suuride, aurutamiskausside, klaaspurkide, lehrtrite käsitamine; metallist statiivide käsitamine; kõige lihtsamate aparaatide koostamine valmis osadest ja nende proovimine; vedeliku mahu mõõtmine mõõtesilindritega; keha kaalu mõõtmine tehnilisel ja apteegi kaalul; selliste keemiliste operatsioonide läbiviimine, nagu kõvade ainete peenendamine, tahkete ainete lahustamine, soojendamine, filtreerimine, aurutamine, destilleerimine, gaaside kogumine õhu väljasurumisel, nõude pesemine peale katset; hapniku, vesiniku, süsihappegaasi, hapete ja leeliste äratundmine; hapete, leeliste ning soolade käsitamine. VIII, IX ja X klassis jätkatakse õpilaste praktiliste teadmiste ja vilumuste täiendamist, mida nad on omandanud VII klassis. Ühtlasi algab uute teadmiste ja vilumuste kujunemine: VIII klassis — kristallisatsiooni läbiviimine, sademete pesemine filtris, gaaside lahustamine ja neeldumine, soolhappe ja väävelhappe soolade tundmaõppimine iseloomustavate reaktsioonide abil; IX klassis — ammoniaagi ja süsihappe soolade kvalitatiivne määramine; väetiste kvalitatiivne määramine; X klassis õpilased õpivad kaltsiumi, alumii-niumi ja raua ionide määramist, reaktsioonide teostamist, mis on iseloomulikud uuritavate ainete tundmaõppimisel, ainete saamist mitmel viisil, sealhulgas vahe-produktide kaudu.

Vastavate sisseseadete olemasolul tuleb õpilastele õpe-

tada korkide valikut, kokkusurumist ja puurimist; klaas-  
torude lõikamist, sulatamist, painutamist ja venitamist;  
seadeldiste kokkupanemist.

Nende vilumuste omandamine aitab õpilasi tulevikus  
ratsionaalselt kasutada aineid ning praktikas kasutada  
keemilise reageerimise meetodeid.

Praktiliste tööde õige korralduse juures — süstemaatili-  
selt lülitades nendesse eksperimentaalseid ülesandeid,  
uurimise elemente, õpetajate range nõudlikkus töö täpsuse  
ja puhtuse suhtes, õige planeerimise ja selle läbiviimise  
juures õpilaste poolt, aruande selge koostamise juures jne.  
— õpetajal on võimalus arendada õpilastes töö sotsialist-  
likku kultuuri, teadmishimu, initsiatiivi, loomingulist suhtu-  
mist asjasse, iseseisvust, teaduslike teadmiste rakendamise  
oskust.

Keemia õpetamise protsessis tuleb võimaluste piires  
õpetamist siduda ühiskondlik-kasuliku tööga, mis vastab  
kooli õppe ning kasvatuslikule eesmärgile. Sarnase ühis-  
kondlik-kasuliku töö näiteks võib olla: maapinna väetamine  
kooli katsepõllul ja kolhoosis, võitlus põllumajanduses  
taimehaiguste ja kahjuritega insektofungitsiidide tarvi-  
tamise teel, näitlike vahendite valmistamine (tabelid, mude-  
lid, riistad jne.) kabinetis, töötoas ja muud.

## ESIMESED SAMMUD POLÜTEHNILISE ÕPETUSE TEOSTAMISEL KEEMIA ÕPETAMISE PROTSESSIS

Küpsuseksamid ning tähelepanekud keemia õpetamisest  
mitmesugustes koolides eelmistel aastatel on näidanud,  
et õpilased on omandanud äärmiselt ebarahuldavaid tead-  
misi keemiatööstuse alalt. Ebarahuldav oli ka praktiliste  
teadmiste ja kogemuste omandamine.

1952/53. õppeaastal olukord veidi muutus. Täites NLKP  
XIX kongressi direktiive polütehnilise õpetuse kohta, hak-  
kasid õpetajad enam tähelepanu pöörama tootmisküsi-  
muste tundmaõppimisele ning õpilastes praktilisi kogemusi  
arendama, ning eesrindlikud õpetajad on selles osas juba  
esimesi positiivseid tulemusi saavutanud.

Nii Jaroslavi linnas 37. kooli õpetajanna O. U. Ruka-  
višnikova, käsitledes keemia põhialuseid, süstemaatiliselt  
valgustab keemia rakendamist praktikas, tutvustab õpilasi

üksikute keemiatööstustega, maa kemiseerimise edusamude ja ülesannetega. Keemia tundides ta selgitab nende keemiatööstuste tehnoloogiat ja tehnikat, millede tundmaõppimine on ettenähtud kooli programmis. Ettekandele kaasnevad demonstratsioonid ja laboratoorsed katsed, samuti mitmesuguste koolis valmistatud näitlike vahendite näitamine.

Laialdaselt teostatakse ekskursioone keemiatööstustesse. Ekskursioonid tutvustavad õpilasi keemia-alase tootmise organiseerimisega, annavad konkreetse ettekujutuse nõukogude keemiatööstusest. Igas klassis viiakse läbi praktilised tööd, mis annavad õpilastele praktilist vilumust, keemiaringsid õpilased süvendavad oma teadmisi keemia ja keemia-alase tootmise alalt. Koolis korraldatakse keemia õhtuid ja loenguid, mis laiendavad õpilaste polütehnilist silmaringi. Pole juhuslik, et mitmed selle kooli lõpetajad valivad omale keemiku kutse.

Samasuguseks positiivseks näiteks polütehnilise õpetuse teostamises on õpetajate K. G. Kolosova (Leningrad), E. V. Akimova (Orjol), P. A. Gloriosovi ja D. S. Sagu-daevi (Moskva) ja teiste katsed.

Seletades keemiatööstuse produktide tootmisest ja kasutamist mitmesuguste NSVL rahvamajanduse harudes, kasutavad mõned õpetajad osavalt demonstratsioonkatseid, tehnoloogiliste protsesside skeeme, keemiatööstuse produktide kasutamise skeeme, aparaatide mudelid ja teisi näitlikke vahendeid, mis on õpilaste poolt ringsid valmistatud.

Nii sooritas Moskva 315. kooli õpetaja M. L. Teterin möödunud aastal edukalt seeria demonstratsioonkatseid, mis selgitavad soolhappe sünteetilise tootmisviisi teaduslikke aluseid, väävelhappe tootmist kontaktmenetlusel, kivi-sõe koksistamist ja muud. Sarnased demonstratsioonid võetakse õpilaste poolt suure rahuldustundega vastu ja on neile asendamatuks abiks vastavate tootmisprotsesside põhialuste täielikul arusaamisel.

Sama kooli õpetaja N. J. Putškova juhtis õppeaasta jooksul keemiaringsi, milles õpilased tutvunesid väävelhappe, ammoniaagi, lämmastikhappe ja teiste ainete tootmisega, kasutades vabriku sisseseade mudelid. Töö selles ringis äratas õpilastes suurt huvi ja aitas neil tõsta tehnoloogilise materjali käsitlemise kvaliteeti keemia tundides.

Moskva 528. koolis õpetaja V. A. Poljakova kasutas sel aastal uute keemiatööstuse mudelite ja tehnoloogiliste protsesside skeemide demonstratsiooni ja sai veenva kinnituse, et nende vahendite demonstratsioon aitab kaasa teadusliku ettekujutuse saamiseks keemiatööstuse tehnoloogiast ja tehnikast. Mudelite valmistamist ja nende demonstratsioone teostasid tundides edukalt ka õpetajad: B. J. Krotkov (Kuibõšev), D. J. Rjabova ja F. D. Nikolajev (Moskva) G. E. Šmarakov (Leningrad) ja teised. Käesoleval aastal hakkasid mitmed keemiaõpetajad laiemalt teostama ekskursionsioone keemia ettevõtteisse, et anda õpilastele konkreetset ettekujutust keemiatööstusest (Moskva kooliõpetajad S. P. Novaševski, A. A. Gvazdetskaja, M. J. Koboseva, Orjoli linna 26. kooli õpetajanna A. S. Trufanova, Sverdlovski linna 9. kooli õpetaja P. V. Suško ja teised). Kõik need õpetajad tutvusid tootmisega esialgselt ise, siis selgitasid nad õpilastele tootmise protsesside kemismist ning tegid õpilastele ülesandeks ekskursionsiooni ajal pöörata tähelepanu teatud tootmise osadele. Ekskursionsiooni materjalid üldistati klassitundides. Nendeks tundideks valmistati kolleksioonid, stendid ja teised vahendid ekskursionsiooni materjalidega. Üksikud õpetajad korraldasid peale ekskursionsiooni keemia õhtud, kus õpilased kõnelesid ekskursionsiooni tulemustest ning demonstreerisid oma poolt valmistatud näitlikke vahendeid. Kõik ekskursionsioone läbi viinud õpetajad märgivad nende suurt õpetus-kasvatustlikku tähtsust ja suurt osa õpilaste ettevalmistuses elukutse valikuks.

Üksikud õpetajad on saavutanud mõningaid positiivseid tulemusi ka praktiliste tööde läbiviimisel ning õpilaste praktiliste teadmiste ja kogemuste tõstmisel. Moskva linna 477. kooli õpetaja L. M. Netšaeva on hästi sisustanud keemia kabineti ning teostab selles edukalt praktilisi töid õpilastega. Õpilased valmistavad end töödeks ette kodus ja töötavad klassis individuaalselt, koostavad siis aruanded, mida õpetaja läbi vaatab. Teadmisi ja vilumusi arvestatakse iga töö juures. Selle kooli õpilased omavad praktilisi eksperimentaalseid kogemusi.

Hästi on sisustatud keemia kabinet Moskva 557. koolis õpetaja E. A. Gorškova poolt. Laudade juurde on tõmmatud elektrijuhtmed, mis lubab sooritada katseid elektri-vooluga, teostada keemilisi reaktsioone. Praktiliste tööde jaoks IX ja X klassi õpilased saavad abinõud kahe peale

kokku, aga katseid teevad nad individuaalselt. Tunni lõpul hinnatakse nende õpilaste töö, kelle töö oli vaatluse all. Hästi on organiseeritud frontaalsed tööd Moskva 113. koolis õpetaja A. N. Morosova poolt. Erilist tähelepanu pöörab tööde täielikule arusaamisele ja laboratooriumi sisseseade ja reaktiivide käsitamise oskuse omandamisele.

Väärtuslikke katseid kvantitatiivsete ja kvalitatiivsete tootmisprotsessi sisuga ülesannete rakendamisega on teinud õpetaja A. J. Kondraševa (Orjol).

Meie ei hakka edasi kirjeldama positiivseid kogemusi, mis sel aastal õpetajate poolt on kogutud õpilaste keemiaalaste teadmiste kvaliteedi tõstmise ja polütehnilise õpetuse alal. Toetudes nendele kogemustele, võib juba teha esimesi üldistusi polütehnilise õpetuse organiseerimisest ja meetoditest, mis on toodud allpool.

Möödunud 1952/53. õppeaastal on tehtud vaid esimesed sammud õpilaste tutvustamiseks keemiatööstusega ning praktiliste vilumuste omandamisel. Asuda polütehnilise õpetuse teostamisele keskkoolis täies ulatuses — see ülesanne seisab nüüd kõikide keemiaõpetajate ees.

## KEEMIA ÕPETAMISE ORGANISEERIMINE JA MEETODID POLÜTEHNILISE ÕPÉTUSE ÜLES- ANNETE VALGUSES

Kinnistamine ja edaspidine õppe-kasvatusliku töö kvaliteedi tõstmine keemia alal on esmajärguline ülesanne õpetajale, kes teostab polütehnilist õpetust. Õpetaja peab meelles pidama, et «igasugune katse eemalduda kooli polütehniliseerimisest, süstemaatilistest ja kindlast teaduse põhi-  
aluste omandamisest, eriti füüsika, keemia, matemaatika alal — kujutab enesest polütehnilise kooli idee jämedaimat moonutamist.»<sup>1</sup>

Keemiaõpetaja peab kõrvalekaldumatult täitma seda Partei Keskkomitee ajaloolist juhendit, peab võitlema teadmiste konkreetseuse, täieliku arusaamise, süstemaatiliseuse, kindluse, ideoloogilise printsibiikindluse eest, mida õpilased keemia alal omandavad. On vajalik igal viisil ära hoida õpilaste mahajäävus ja teiseks aastaks jäämine. Kindlate ja süstemaatiliste teadmistega rikastumise kõrval

<sup>1</sup> ÜK(b)P KK määrus 5. sept. 1931. a. alg- ning keskkooli kohta.

on vajalik kõrvalekaldumatult tõsta tööd õpilaste ideoloogilise kasvatamise alal.

Sellepärast jäävad kehtima juhendid, mis Haridusministeerium varem on andnud keemia õpetamise alal seitsmeklassilistes ja keskkoolides ning neid peab õpetaja kasutama ka käesoleval ajal. Kuna aga varem antud juhendites polnud küllaldaselt valgustatud küsimused, mis puudutavad keemiatööstusega tutvunemist ning praktiliste teadmiste ja vilumuse omandamist õpilaste poolt, siis selles raamatus pööratakse peatähelepanu nendele küsimustele.

Põhivõrmiks õppetöö organiseerimisel koolis on tund. Tunnis õpetaja tutvustab õpilasi mitte ainult faktidega, keemiaseadustega ja teoreetiliste üldistamisega, vaid ka keemia rakendamisega praktikas, üksikute keemia tootmisviisidega ja maa kemiseerimise küsimustega. Tunnis õpetaja viib läbi praktilisi töid, harjutab õpilastes praktilist vilumust, õpetab neid iseseisvalt teadmisi omandama ja neid elulis-praktiliste ülesannete lahendamiseks rakendada. Tunni täiendamiseks teostatakse ekskursioone ja töid väljaspool klassi.

Keemiatööstusalaste teadmiste süstemaatiline ja järjekindel käsitlemine tunnis peab olema seotud katsete, tootmisprotsessi skeemide, aparaatide mudelite, kinofilmide, diapositiivide demonstreerimisega, ühes praktiliste tööde läbiviimisega ning praktilise sisuga ülesannete lahendamisega.

Keemiatööstusalaste teadmiste käsitlemisele tuleb asuda peale õpilaste tutvustamist ainete koostisega, füüsikaliste ja keemiliste omadustega ning ainete kasutamisega.

Nii näiteks soolhappe tootmise õppimisele peab eelnema õpilaste tutvustamine soolhappe koostisega, füüsikaliste ja keemiliste omadustega, tema kasutamisega tööstuses. Selgitanud soolhappe tähtsust rahvamajanduses õpetaja läheb üle füüsikalise-keemiliste protsesside uurimisele, millele alusel toimub sünteetiline soolhappe saamine tööstuses. Peale seda antakse seletusi toorainest tootmisprotsessi jagunemisest staadiumidesse, aparaatide ehitusest ja tähtsamate aparaatide tegevuse printsiipidest, soolhappe tootmise seosest teiste tootmisharudega. Seejuures õpetaja ei pea oma seletusi tehniliste üksikasjadega üle koormama.

Enne kui tunnis seletada üksikute ainete tootmist, tuleb õpilastele näidata katseid, mis avastavad keemiatööstuse teaduslikud alused. On vajalik näidata õpilastele sarnaseid

katseid, nagu soolhappe saamist sünteetilisel teel, väävelhappet kontaktmeetodil, lämmastikhapet ammoniaagi happendamise teel, lämmastikhapu-ammooniumit — ammoniaagi otsese ühendamise teel lämmastikhappega, superfosfaati — fosforiitide töötlemise teel väävelhappega, leeliseid ja kloori — elektrolüüsi teel. On vajalik näidata samuti nafta destilleerimist ja krakkimist, kivisöe koksistamist, puidu kuivdestillatsiooni ja teisi.<sup>1</sup> Need katsed on õpilastele abiks arusaamisel tehnoloogilise protsessi kemist, tema jagunemisest staadiumidesse, aparaatide ehitusest, sest et tootmisprotsess on tingitud kõigepealt keemilistest reaktsioonidest, mis on tema aluseks.

Peale katsete peab keemiatööstuse tootmise käsitlemisel laialdaselt rakendama tehnoloogiliste protsesside skeeme, tüüpiliste aparaatide ja üksikute sisseseadete mudelite näitamist.

Neid mudeleid võivad õpilased valmistada keemiatööstuse tootmise õpperingides. Õpilaste tutvustamisel keemiatööstuse tootmisega tuleb ka laialt kasutada diapositiivide ja kinofilmide demonstratsiooni.

Kuna esitusviis tunnis on kõige tähtsam moment teadmiste andmises keemiatööstuse tootmise kohta, siis anname allpool, lõigus «Õppetunnid keemiatööstusega tutvustamiseks», õpetajale üksikasjalikud seletused üksikute tundide sisu kohta.

Väljapaistva tähtsuse konkreetsete ettekujutuste ja arusaamise kujunemisel keemiatööstusest omavad ekskursioonid. Ekskursioone võib teha keemiatehastesse, kohaliku tööstuse ettevõttesse, näitustele, muuseumidesse, samuti metallitööstuse, tekstiilitööstuse ja teiste ettevõtete keemiaosakondadesse. Otstarbekohane on igas klassis aasta jooksul korraldada üks ekskursioon. Ekskursioone võib juhtida järgmistele objektidele: VII klassis — veepuhastamisjaama, lubjaahjude ja kõrgahjude juurde; VIII klassis — hapniku tsehhi, soolhappe tehasesse, väävelhappe tehasesse; IX klassis — mineraalväetiste tehasesse, nafta destilleerimise tehasesse, koksikeemilise, puidukeemilise, hüdrolüüsi, peedisuhkru, seebikeetmise, gaasi ja teistesse tehasesse; X klassis — tsemendi, klaasi ja metallurgia vabrikutesse, tsehhi, kus metallid kaetakse elektrolüütilisel teel.

<sup>1</sup> Nende katsete kirjeldus on antud raamatutes, mis käsitlevad keemiliste eksperimentide tehnikat ja meetodikat.

Enne ekskursiooni tuleb õpilasi õppetunnis tutvustada tootmise keemilis-tehnoloogiliste alustega. Siis saavad õpilased ekskursioonil aru, kuidas teostub protsess, kuidas on ehitatud ja töötavad aparaadid. Ekskursioone ei tohi tootmise üksikasjadega üle koormata; tähtis on valgustada ainult neid küsimusi, mis olid näidatud iga keemia-tööstuse tundmaõppimiseks (lk. 7), lisades neile töö organiseerimise ja tootmise küsimuste kokkuvõtte, mis valgustab antud ettevõtte erisust kui sotsialistliku tööstuse ettevõtet, ning tutvustab tootmise põhiliste kutsealadega. Järgneval õppetunnil peale ekskursiooni viiakse läbi saadud teadmiste üldistamine; klassivälise töö korras võib organiseerida skeemide, mudelite, kollektsioonide ning teiste vahendite valmistamist antud tööstusest.

Nii näiteks teostab õpetaja E. A. Krišnevskaja ekskursiooni koksikeemilistesse tehastesse.

Ekskursioon võetakse ette siis, kui kivisöe kuivdestillatsiooni (ilma õhu juurdevooluta) protsessi põhialused on õpitud ning õpilased on üldiselt tutvunud koksikeemilise tootmise tehnoloogilise protsessiga. Ekskursiooni algul antakse õpilastele küsimused uurimiseks ning selgitatakse ekskursiooni teekond.

Ekskursiooni vältel õpilased tutvunevad koksikeemilise tootmise peamiste järkudega:

- 1) kivisöe ettevalmistus koksistumiseks;
- 2) koksiahjude täitmine, koksistamise protsess ja «koksipiruka» väljalükkamine;
- 3) kivisöe kuivdestillatsioonist tekkinud gaasitaoliste ja vedelate ainete saamine;
- 4) vedelate ainete jaotamine.

Ekskursioonil õpilased algul tutvunevad näitlikult materjali ettevalmistamise protsessiga (söe peenestamine, mitmete söe sortide segamine teatud proportsioonis), koksiahjude ehitusega ja nende tegevusega, koksiahju mehhaniseeritud täitmise protsessiga ning kuulavad ekskursiooni-juhi — inseneri — seletusi toore bensooli saamise meetoditest koksigaasist ja tema fraktsioonidest destilleerimisel. Õpilased saavad selge ettekujutuse kivisöetõrvast kui väärtuslikust keemilisest aineist, millest fraktsioneeritud destilleerimise teel võib saada uusi tähtsaid aineid. Ekskursiooni vältel õpilased koguvad huvitavaid andmeid tehase tekkimise ja arenemise ajaloost ning kohtuvad eesrindlike inimestega, kes jutustavad oma tootmise edusammudest.

ratsionaliseerimise ettepanekutest, oma õpinguist, tehnika valdamisest. Sarnased kohtumised panevad õpilasi mõtlema oma tegevusele pärast kooli lõpetamist ja aitavad neil aru saada sotsialistliku ettevõtte erisusest.

Peale ekskursiooni koostavad õpilased aruandeid antud küsimuste kohta, korraldavad tehases saadud materjalid kollektsioonideks, skeemideks, diagrammideks, joonistusteks ning viimaks, jutustavad õppetunnil, mida nad nägid tehases ja mida nad koksikeemilisest tootmisest teada said, missuguse mulje see neile jättis. Ettekannetel demonstreeritakse õpilaste poolt valmistatud näitlikke vahendeid.

See ekskursioon mitte ainult ei soodusta programmi küsimuse «kivisöe kuivdestillatsioon» paremat omandamist, vaid aitab tõsta ka õpilaste huvi keemia vastu, tutvustab neid tööliste ja inseneride töö iseloomu ja tingimustega sotsialistlikus tehases.

Teaduslik-tehnilise mõtlemisviisi ettevalmistamisel ja arendamisel õpilaste juures omab suurt tähtsust tootmis-sisuga keemiliste ülesannete lahendamine. Nende ülesannete tüübid ja liigid on toodud S. G. Šapovalenko brošüüris: «Преподавание химии и подготовка учащихся к практической работе».

Sarnaste ülesannete näiteid võib õpetaja leida kogumikus J. Goldfarb, L. Smorgonski: «Keemia ülesannete ja harjutuste kogu».

Tuleb samuti ekskursiooni materjalide alusel koostada ülesandeid ja õpilastega lahendada.

Tähtsaks vahendiks teadusalaste teadmiste edasiandmises õpilastele ning praktilise vilumuse harjutamises on laboratoorsed katsed ja praktilised tööd. Allpool on antud praktiliste tööde temaatika klasside järgi, millede läbi viimiseks igal õpetajal tuleb jõupingutusi teha.

Iga töö täitmine on arvestatud kahe õppetunni peale. Nii, näiteks, esimesel tunnil õpilased puhastavad, teisel — destilleerivad vett; esimesel — hapniku saamine, teisel — vesiniku saamine jne.

## PRAKTILISTE TÖÖDE TEEMAD.

### VII klass.

1. Ainete puhastamise viisid.
2. Hapniku ja vesiniku saamine ja nende omadustega tutvumine.
3. Neutraliseerimisreaktsioon.
4. Vase- ja rauavitrioli saamine.
5. Eksperimentaalsed ülesanded teema kohta «Tähtsamad happed, alused ja soolad».
6. Süsinikdioksüüdi saamine ning tema omadustega tutvumine. Kaltsiumoksüüdi omadustega tutvunemine.

### VIII klass.

1. Protsendiliste ja molaarsete lahuste valmistamine.
2. Soolhappe saamine ja tutvumine tema omadustega.
3. Halogeenide omadustega tutvumine.
4. Väävelhappe omadustega tutvumine.
5. Soolhappe- ja väävelhappe soolade saamine ning soolade puhastamine kristallisatsiooni teel ja pesemisega filtril.
6. Eksperimentaalsed ülesanded teemadel «Halogeenid», «Hapnik ja väävel».

### IX klass.

1. Ammoniaagi ja tema soolade saamine ja omadused.
2. Tutvumine lämmastikhappe omadustega. Lämmastikhapendite saamine ja omadused.
3. Mineraalväetiste määramine.
4. Metaani, etüleen ja atsetüleen saamine ja omadused.
5. Piirituste, aldehüüdide ja karboonhapete omadused.
6. Tutvumine süsivesikute ja rasvade omadustega. Eksperimentaalsed ülesanded teemal «Süsinik, orgaanilised ained».

### X klass.

1. Fenooli, nitrobensooli, aniliini omadused. Valkude omadused.
2. Vahetusreaktsioon elektrolüütide lahustes.
3. Metallide keemilised omadused.

4. Leelismetallide ja leelismuldmetallide ühendite omadused.
5. Alumiiniumi, raua ja nende ühendite omadused.
6. Eksperimentaalsed ülesanded keskkooli keemia kursuse ulatuses.

Ülaltoodud praktiliste tööde kogumik abistab õpilasi laboratoorsete teadmiste ja vilumuse omandamisel.

Praktilised tööd tuleb reeglipäraselt teostada pärast seda, kui on läbi võetud kursuse küsimused, mis kindlustavad arusaamise eksperimendist. Iga töö peavad õpilased täitma võimalikult individuaalselt. Praktilisteks töödeks valmistavad end õpilased varakult ette kodus; kordavad vastavad küsimused õpiku järgi, tutvunevad instruksiooniga, koostavad tööplaani jne. Praktilistel töödel õpilased viivad katsed läbi iseseisvalt ning koostavad kirjalikud aruanded. Õpetaja on kohustatud varustama õpilasi vajalike materjalide, reaktiivide, nõude, riistade ja abinõudega ning õigeaegselt näitama töövõtteid.

Praktiliste tööde tegemisel on õpetaja kohustatud jälgima tööde täitmist, ära hoidma ning parandama keemilisi vigu, valvama keemiliste operatsioonide õige läbiviimise üle.

Tööde käigus, samuti peale töö lõpetamist õpetaja vestleb õpilastega, et kontrollida arusaamist tehtud tööst. Õpilaste tööde vaatluse, nendega vestlemise, teostatud katsete kontrollimise alusel õpetaja hindab praktiliste tööde täitmist ning teeb vastavad märkmed klassi päevaraamatusse. Ühtlasi arvestatakse tingimata õpilaste edusammud praktilise vilumuse omandamises.

Kõik tööd laboratooriumis peavad olema korraldatud nii, et õpilased töötaksid puhtalt ja täpselt, ökonoomselt tarvitsid aineid, hoolsalt käsitsid riigivara, hindaksid tööaega, julgelt ületaksid raskused, viiksid algatatud töö lõpuni. See arendab õpilastes individuaalseid omadusi, mis on iseloomustavad sotsialistliku tootmise töötajaile.

Märgatav osa kooli polütehneerimisel on klassivälistel töödel. Kõige esmalt tuleb suurt tähelepanu pöörata tööde organiseerimisele ja süstemaatilisele läbiviimisele keemia ringis, kus õpilaste poolt klassis saadud teadmised keemia ja keemiatööstuse alal laienevad ja süvenevad, kus huvi keemia ja keemiatööstuse vastu võib põhjalikult süveneda ning kinnistuda. Keemilis-tehnoloogilisi küsimusi arutatakse selles ringis populaarteadusliku kirjanduse lugemise

teel, eksperimentaalsete tööde ja ekskursioonide läbiviimisega. Töö käigus õpilased valmistavad näitlikke vahendeid keemia kabinetile (tootmisprotsesside skeemid, aparaatide mudelid jne.), annavad välja keemia bulletin või keemia žurnaali.

Klassivälise töö massürituste hulgas, mis õpilaste poliitehnilist silmaringi laiendavad, võib nimetada inseneride ja tootmisnovaatorite loenguid keemilis-tehnoloogilistel teemadel, pioneeride temaatilisi koondusi, keemiaõhtuid, lugejate konverentse, olümpiaade, õpilaste kohtamisi keemiatööstuse, uurimise instituutide ja kõrgemate õppeasutuste keemilis-tehnoloogiliste töötajatega jne.

Tööd ringides, samuti kokkutulekuid ning õhtuid võib läbi viia järgmistel teemadel: VII klassis — «Vesi ja tema kasutamine tootmises», «Põlemise reaktsioon ja tema tähtsus rahvamajanduses», «Malmi tootmine»; VIII klassis — «Keemia põhitööstus», «Soolhappe tootmine ja kasutamine», «Hapniku tootmine ja tema kasutamine rahvamajanduses», «Väävelhappe tootmine ja kasutamine»; IX klassis — «Ammoniaagi ja lämmastikhappe tootmine», «Väetisainete tööstus NSV Liidus», «Põllumajanduse kemiseerimine», «Kivisöe keemiline ümbertöötlemine», «Nafta destilleerimine ja krakkimine», «Puidu keemiline ümbertöötamine», «Kautšuki, plastmassi, kunstlike kiudude ja teiste uute materjaliliikide süntees»; X klassis — «Elektri kasutamine keemiatööstuses», «Malmi ja terase tootmine», «Klaasi, tsemendi ja keraamikasaaduste tootmine».

Keemiaõhtuteks valmistatakse ette õpilaste ettekanded, näitlikud vahendid ja katsed, vestlused-ülesanded jne. Õhtutel õpilased kõnelevad oma iseseisvast tööst, demonstreerivad seejuures näitlikke vahendeid ja katseid. Pioneeride koondustele ja keemiaõhtutele kutsutakse insenere ja tootmisnovaatoreid. Nende esinemisel on suur kasvatuslik tähtsus. Tähtsa koha klassivälises töös peavad omandama lugejate konverentsid, mis on pühendatud populaarteaduslik-tehnilise kirjanduse arutamisele.

Vormiks, mis näitab õpilaste saavutusi teaduse aluste teoreetilises ja praktilises omandamises ning tutvumises tootmisega, võivad olla olümpiaadid, mis koolis korraldatakse kahes voorus: a) kirjalikud vastused küsimustele, b) praktilised tööd laboratooriumis.

Klassiväliseid töid tuleb organiseerida ja läbi viia nii, et ei juhtuks õpilaste ülekoormatust.

Jõuks, mis õpilaste loovat aktiivsust klassivälises töös tõstab ja aitab õpetajat seda süvendada, on kooli pioneeride ja kommunistlike noorte organisatsioonid.

Ülalpool toodud õppetundide, praktiliste tööde ja klassiväliste tööde läbiviimisest on näha kui suurt tähtsust polütehnilise õpetuse juures omab keemia kabineti ajakohane sisseseade. On vajalik igati parandada koolides keemia kabinettide sisseseadet ja seal kus nad puuduvad, tuleb asuda nende organiseerimisele. Ühes kabineti üldise sisseseade parandamisega (lauad õpilastele, demonstratsioonilaud, kapid ja muud), tema täiendamisega reaktiividega, nõudega, riistadega NSVL Ministrite Nõukogu poolt kinnitatud nimekirja järgi, on vajalik suurt tähelepanu pöörata omal jõul seadete ja näitlike vahendite valmistamisele, mis soodustavad edukat keemia aluste ja praktiliste kogemuste omandamist.

Otsustavaks teguriks kooli polütehniseerimisel on õpetajate kaader. Nendest ripub ära õige tee teaduste aluste õppimisel, nende rakendamine tootmise alal, klassiväliste tööde organiseerimine, edukas kooli sisustamine ja muud. Kuid mitmed keemiaõpetajad pole küllaldaselt ettevalmistatud polütehnilise õpetuse ülesannete lahendamiseks praktiliste tööde ja ekskursioonide läbiviimiseks, ei oma vastavaid teadmisi keemilise tehnoloogia alustes, ei valda küllaldaselt praktiliste tööde läbiviimise metoodikat, metoodikat teadmiste käsitlemiseks keemiatööstusest.

Polütehnilist ettevalmistust võib õpetaja omandada võttes osa spetsiaalsetest seminaridest, kursustest, tootmisekursioonidest, tehnilis-laboratoorsetest praktikumidest, mis korraldatakse täiendusinstituutide poolt õpetajaile, samuti ka isetäiendamise teel.

Teadmiste täiendamine keemiatööstuse alal iseõppimise teel tuleb läbi viia keemia ja keemilise tehnoloogia kirjanduse uurimise alusel (vaata lisa raamatu lõpus), iseseisva eksperimentaalse tööga laboratooriumis, riistade, mudelite, skeemide, tabelite jne. valmistamisega.

Kooli polütehniseerimise ülesande lahenduse edu on seda suurem ja tundavam, mida paremini uuritakse ning levitatakse õpetajate eesrindlikke kogemusi.

## ÕPPETUNNID ÕPILASTE TUTVUSTAMISEKS KEEMIA TÖÖSTUSEGA

Käesoleval ajal on kõige raskemaks küsimuseks õpetajale keemiatööstuse käsitlemine õppetunnis. Selle tõttu tuuakse allpool tunni kirjeldus rea programmis ettenähtud tootmiste kohta.

Ettekande aluseks on võetud polütehnilise õpetuse seminari katse, mis on läbi viidud Õppemeetodite Instituudi Keemia metoodika laboratooriumi poolt 1952/53. õppeaastal. Seminarist võtsid osa 38 metoodikut ja õpetajat Moskvast. Ettekannetega seminari töös esinesid keemikud-tehnoloogid, metoodikud ja õpetajad.

Õppetundide kirjeldustesse ei ole sisse võetud üldtuntud didaktilisi nõudmisi, kuid iga õpetaja peab neid õppetunnil kõrvalekaldumatult täitma. Reeglipäraselt algab tund õpilaste küsitlemisega ning nende teadmiste hindamisega eelmiste tundide materjalidest. Küsimusi ja ülesandeid selliseks küsitlemiseks võib võtta nende hulgast, mis on näidatud iga tunni kirjelduse lõpus. Enne uue materjali käsitlemist on vaja näidata tunni eesmärk. Käsitletav materjal tuleb jagada enamvähem iseseisvatesse osadesse ning peale iga osa käsitlemist küsitleda õpilasi saadud teadmiste paremaks omandamiseks. Tunni lõpul on vaja jätta veidi aega, et peale 3—4 küsimust üldistada ja kinnistada seda, mis on tunnis antud. Seda tuleb teha eriti sellepärast, et õpperaamatus õpilased ei leia vajalikku materjali tundides käsitletud materjali meelepidamiseks. Selle tõttu tuleb õpilastelt samuti nõuda kõige tähtsama üleskirjutamist vihikutesse ning kõige esmalt seda, mis õpetaja kirjutab klassis tahvlile. Üleskirjutused võivad sisaldada järgmisi andmeid:

a) toormaterjal (nimetus, keemiline koostis, operatsiooni nimetus toormaterjali ettevalmistuses tema kasutamiseks antud tootmises);

b) keemilised reaktsioonid, millede alusel toimub tootmise protsess, ning nende käigu tingimused (reaktsioonide nimetused, nende võrrandid, reaktsioonide käigu tingimuste loetelu);

d) tootmisprotsessi skeem (staadiumide nimetus, tähtsamate aparaatide nimetus);

e) tootmise üldprintsüübid;

g) tootmise rahvamajanduslik tähtsus (toote kasutamise alade loetelu, tootmise tähtsuse üldformulatsioon).

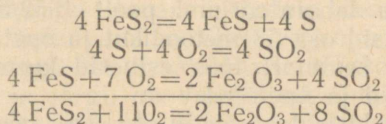
Nii, näiteks, väävelhappe tootmise juures on kohane järgmine üleskirjutuse vormistamine:

Väävelhappe tootmine.

1. Toormaterjal — harilik uraali rauarähk ( $\text{FeS}_2$ ). Flotatsiooni rähk. Flotatsioon, killustamine.

2. Keemilised reaktsioonid, mis teostuvad tootmises:

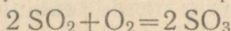
a) Räha põletamine:



Temperatuur umbes  $850^\circ$ .

Ohku 1,6 korda rohkem, kui kulub reaktsiooni võrrandi järgi.

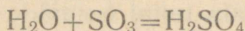
b) Väävlishapendi hapendamine väävelhapendiks



Temperatuur  $600^\circ - 450^\circ$ .

Vanaadiumi katalüsaator ( $\text{V}_2\text{O}_5$ )

d) Väävelhapendi absorbeerimine:



Lahustamine 98% väävelhappes.

3. Tootmisprotsess;

a) väävlishapendi tootmine (räha põletamine mehaanilises ahjus, gaaside puhastamine elektrifiltris);

b) väävlishapendi hapendumine väävelhapendiks (gaasi täiendav puhastamine pesemistornides ja elektrifiltrites, lisanditest, mis rikuvad katalüsaatori; gaasi kuivatamine kuivatustornis; gaasi soojendamine soojusevahetajas;  $\text{SO}_2$  hapendumine  $\text{SO}_3$  kontaktaparaatides; kontaktaparaatidest väljuvate gaaside jahutamine);

d) väävelhapendi absorbeerimine absorbeerimistornides.

4) Üldised väävelhappe tootmise printsiibid: side teiste tootmisaharudega, tooraine rikastamine, mehhaniseerimine, elektrifitseerimine, pidevvoolus, reageerivate ainete pindala optimaalne suurendamine, optimaalsete temperatuuride kasutamine, vastuvooluse ja katalüsaatorite kasutamine.

5. Väävelhappe tootmise rahvamajanduslik tähtsus.

Pole peaaegu ühtki tootmisharu, kus ei kasutata väävelhapet. Väävelhappe mängib erakordselt suurt osa maa kemiseerimisel.

Õppetundide kirjeldustes on vaja suurt tähelepanu pöörata eksperimendile, mis avastab tootmise aluseks olevate keemiliste reaktsioonide seadusepärasuse. Need katsed tulevad läbi viia enne õppematerjali käsitlemist tootmisest. Peale selle tuleb tarvitusele võtta abinõud, et läbi viia ekskursioone nendesse tootmistesse, mis on koolile lähedal.

Ainult siis, kui demonstreeritakse tootmissisuga katseid, viiakse läbi ekskursioone, organiseeritakse praktilisi töid, teadmiste käsitlemine keemiatööstusest saavutab vastava põhilise aluse ning jõuab eesmärgile.

Haridusministeeriumi poolt läbi viidud programmi lühendamise 1953/54. õppeaastaks jätab aega selleks, et tutvustada õpilasi keemiatööstusega ning anda neile vajalikud teadmised.

Vastavalt teaduse keemilis-tehnoloogiliste teadmiste seisule on uuesti kavasse võetud mitmete tootmisküsimuste käsitlemine, mida varem koolis käsitleti.

Sellepärast on pühendatud tähelepanu soolhappe tootmisele sünteetilisel meetodil, väävelhappe tootmisele kontaktmeetodil jne.

### Õppetunnid VII klassis.

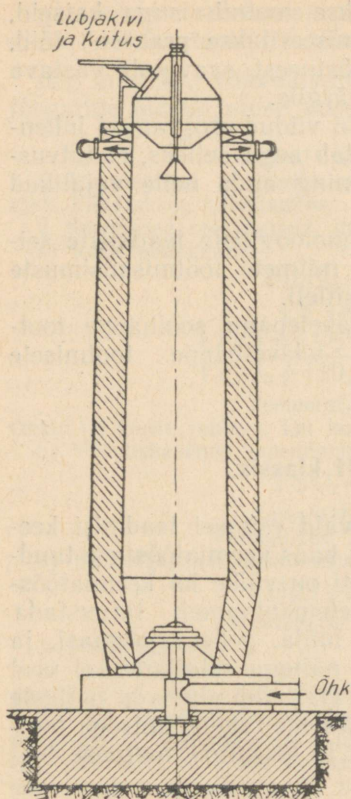
VII klassis saavad õpilased vaid esimesi teadmisi keemias. Selle tõttu on ka teaduslik baas keemiatööstuse tundmaõppimiseks veel väike. Samuti on väike ka keemiatööstuste arv, milledega võiks elementaarselt tutvustada VII klassi õpilasi. Need on — lubja, generaatorgaasi, ja malmi tootmine. Lubja tootmise näitega selgitame, et veel vähest teadmiste baasil keemia alal võib alustada õpilaste esialgset tutvustamist keemia seaduste rakendamisega tootmises, tehnoloogia elementidega ja keemilise tootmise tehnikaga.

#### Õppetund õpilaste tutvustamiseks lubja tootmisega.

Lubja tootmise tundmaõppimiseks tuleb kulutada üks õppetund peale seda, kui on antud mõiste tähtsamatest hapenditest ja leelistest.

Tunni lõpul, mis eelneb õppetunnile kus käsitlemisele tulevad teadmised lubja tootmisest, tuleb õpilastele teatada, et järgmisel korral arutatakse lubja tootmise küsimust ning et selleks praegu alustatakse keemilist katset, mis lõpetatakse õpilaste juuresolekuta; katse tulemuste analüüs teostatakse järgmisel tunnil.

Lubjakivi või marmori ( $\text{CaCO}_3$ ) tükid asetatakse tiigli kujulisse elektriahju kuumutamiseks või ühte nõusse hõõ-



Joonis 1. Lubjapõletamise ahi.

guvate sütega (ning õpilased lastakse koju), kuumutamine kestab kolm tundi.

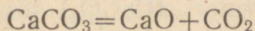
Järgmisel tunnil laseb õpetaja meelde tuletada, kuidas katse teostati ning asub siis tema tulemuste analüüsimsiele.

Portselankaussi asetatakse lubjakivi või marmori tükikesi ning valatakse vett peale. Mingisuguseid keemilise reaktsiooni tundemärke pole näha. Siis korratakse sama katse kuumutatud lubjakivi või marmori tükikestega teises portselankaussis. Nähtub energiline reageerimine aine ja vee vahel, millele kaasneb rikkalik soojuste eraldumine. Tükikesed lagunevad.

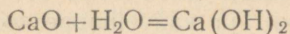
Esimesse kaussi marmori või lubjakivi tükikestega, millele on valatud vett, valatakse juurde fenoolftaleiini lahust. Mingisuguseid muutusi pole näha. Siis korratakse sama kaussi sisuga. Fenoolftaleiin muutub helepunaseks. Õpilastel on teada, et sarnane muudatus fenoolftaleiiniga teostub leelise mõjul.

Nende katsete alusel tehakse järeldus, et marmori või lubjakivi kuumutamisel nemad muutuvad mingisuguseks uueks aineks, mis veega reageerimisel muutub leeliseks. Esimest ainet nimetatakse kustutamata lubjaks, teist — kustutatud lubjaks. Kustutamata lubja koosseis väljendatakse valemiga  $\text{CaO}$ , kustutatud lubjal —  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Õpetaja teatab õpilastele, et lubjakivi või marmori kuumutamisel peale kustutamata lubja saadakse veel  $\text{CO}_2$ , seejärel võib reaktsiooni sisuliselt väljendada võrrandiga:



Kustutamata lubja niisutamisel veega toimub nende ainete ühinemine ning tekib kustutatud lubi:



Nüüd, kus on avastatud keemilised alused kustutamata ja kustutatud lubja saamisel, tuleb õpilastele seletada, et neid aineid kasutatakse ehitustöödel ja teistes rahvamajanduse tööstusharudes (neid nimetada).

On vajalik selgitada õpilastele, milleks ja kuidas kasutatakse lubja ehitustöödel. Kuna lubja kasutatakse nii suures hulgal, siis loomulikult tuleb teda ka toota, sest et looduses teda ei leidu (selgitada miks).

Kuidas saadakse lubja tööstuses?

Lubja saamise aluseks on ülalpool äraõpitud keemiliste reaktsioonide kohaldamine. Lubja tootmiseks kasutatakse lubjakivi või kriiti, mis oma koosseisus sisaldavad  $\text{CaCO}_3$ . Lubjakivi kuumutamine toimub lubjapõletamisahjudes. Lubjapõletamisahi (joonis 1) kujutab endast kõrget (ligi 20 m) ehitist, mis on tehtud tulekindlast telliskivist. Ahju ülemises otsas asub täite sisseseade, alumises — avaus õhu juurdevooluks ning liikuv rest saadud lubja väljalaskmiseks. Üheaegselt lubjaga tekkiv süsihappegaas juhitakse välja eraldi toru kaudu, mis asub ahju ülemises osas.

Ahi täidetakse lubjakiviga ja kütusega (koksiga või antratsiidiga) tükkides, millede suurus on 5—10 cm läbimõõduk. Kõige kiirem lubjakivi lagunemine teostub ahju keskmises osas, kus temperatuur kütuse põlemise tagajärjel tõuseb  $1200^\circ$ . Ahju alumises osas saadud lubi annab oma soojuse edasi sissetungivale õhule ja kuumendab seda. Ahju ülemises osas toimub lubjakivi kuivatamine ja soojendamise kuumade gaaside soojuse arvel, mis ahjust väljuvad. Ahi töötab pidevalt.

Teadmiste paremaks meelespidamiseks lubja tootmisest on kasulik lahendada järgmised ülesanded: 1) Kui palju kustutamata lubja võib saada 500 t lubjakivi põletamisel, kui tema sisaldab 5% lisandeid? 2) Kui palju vett astub keemilisse reaktsiooni 20 t kustutamata lubjaga reageerimisel, mis sisaldab 90%  $\text{CaO}$ ?

## Õppetunnid VIII klassis.

VIII klassis õpilased tutvunevad soolhappe tootmisega sünteetilisel meetodil ja väävelhappe tootmisega kontaktmeetodil. Sellega algab õpilaste tutvumine keemia rasketööstusega, millel on otsustav tähtsus NSVL rahvamajanduse kemiseerimisel. Väävel- ja soolhappe õppimise protsessis pannakse alus õpilaste tutvustamiseks üldiste teaduslike printsiipidega keemilisest tootmisest: tootmisprotsessi jagunemisega faasidesse, pidevvooluga, vastuvooluse kasutamise, optimaalsete temperatuuridega, katalüsaatoritega jne.

Vaatleme õppetundide sisu õpilaste tutvustamiseks väävelhappe tootmisega.

Väävelhappe omab väga suurt tähtsust meie maa rahvamajanduse kemiseerimisel, sest et ta leiab kasutamist peaaegu kõikides tootmisharudes. Sellepärast õpilaste tutvustamine väävelhappe kasutamise ja tootmisega annab võimaluse selgitada õpilastele sarnaseid polütehnilise silmaringi kujundamiseks tähtsaid küsimusi, kui põhiline keemiatööstus, NSVL rahvamajanduse kemiseerimine, väävelhappe tootmise tähtsus maa rahvamajanduses.

Õpilaste tutvustamiseks väävelhappe kasutamise ja tootmisega eraldatakse neli õppetundi. Esimesel tunnil õpilased tutvunevad väävelhappe kasutamise, teisel tunnil — vääveldioksiüdi tootmisega, kolmandal tunnil — väävelhappe anhüdrüidi ja väävelhappe saamisega laboratooriumis ja neljandal tunnil — väävelhappe anhüdrüidi sünteesiga ning väävelhappe saamisega tehastes. Õpilased tutvuvad ainult väävelhappe saamisega kontaktmenetlusel, sest, et tornmenetluse keemiline külg on liiga keeruline arusaamiseks VIII klassi õpilastele.

**E s i m e n e t u n d.** Peale väävelhappe omaduste tundmaõppimist tuleb õpilasi tutvustada väävelhappe kasutamise ja tema rahvamajandusliku tähtsusega. Ettekandega käib kaasas saaduste näitamine, mis valmistatud väävelhappe osavõtul ja tabeli demonstratsioon, mis tema tähtsust iseloomustab (vaata tabel). See tabel valmistatakse õpilaste poolt suurele paberi poognale. Selgitades õpilastele väävelhappe kasutamise küsimust, on väga tähtis viia neid arusaamisele sellest, missugustes tootmisharudes ja miks kasutatakse väävelhapet ja mis tähtsus on temal maa kemiseerimisel.

## VÄÄVELHAPPE KASUTAMINE.

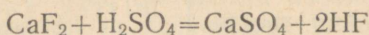
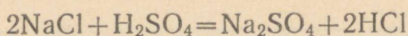
Keemilises tootmises	Teistes tootmisharudes
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Väetisainete tööstus (superfosfaadi, pretsipitaadi, ammoniumsulfaadi tootmine)</li> <li>2. Naftatööstus (naftasaaduste puhastamine)</li> <li>3. Keemia põhitööstus. Hapete tootmine: soolhape, fosforhape, fluorgesinikhape. Soolade tootmine: vasevitriol, tsinkvitriol, naatriumsulfaat, alumiiniumsulfaat, nikkelsulfaat, seatinasulfaat ja teised</li> <li>4. Koksikeemiline tööstus (ammooniumsulfaadi saamine)</li> <li>5. Aniliinvärvide ja farmatseutiline tööstus (värvide ja arstimate valmistamine)</li> <li>6. Metallurgia (rafineerimine, s. o. metallide puhastamine, näiteks vask).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masinaehitus (metallide pinna puhastamine enne katmist nikliga, kroomiga, vasega)</li> <li>2. Energeetika (akumulaatorite täitmine)</li> <li>3. Tekstiiltööstus (kangaste pleegitamine, viimistlemine ja värvimine)</li> <li>4. Toiduainete tööstus (kartuliisirupi tootmine).</li> </ol>

Küsimuse käsitlemist tuleb alata seletusega väävelhappe kasutamisest keemiatööstuses ning eelkõige väetisainete tööstuses, sest viimane on tema peatarbija. Väävelhapet kasutatakse määratusuurtes hulkades sarnaste laialt tarvitatavate väetisainete valmistamiseks, nagu superfosfaat, pretsipitaat, ammoniumsulfaat ja teised.

Suurel hulgal tarvitab väävelhapet naftatööstus, kus teda kasutatakse bensiini, petrooleumi ja teiste produktide puhastamiseks. Väävelhapet kasutatakse laialt keemia põhitööstuses. Põhi- ehk keemia rasketööstuses — on tööstus, mis valmistab happeid, leeliseid ja sooli. Ta annab poolvalmissaadused, mida tarvitatakse mitmesugustes tööstusharudes ning põllumajanduses. Väävelhappe tootmine kuulub keemia põhitööstuse alla. Keemia põhitööstuses kasutatakse väävelhapet mitmesuguste hapete ja soolade valmistamiseks.

Õpilastele esitatakse mõtlemiseks küsimus, millele on rajatud väävelhappe kasutamine hapete tootmisel. See on rajatud sellele, et väävelhape on odav, kange ja samal ajal vähelenduv hape, mis teisi happeid nende sooladest välja tõrjub.

Näiteks:

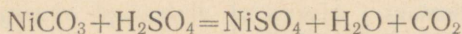
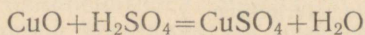


Kasulik on nende reaktsioonide keemilised võrrandid kirjutada tahvlile.

Edasi esitatakse õpilastele mõtlemiseks küsimus, missuguste väävelhappe omaduste tõttu kasutatakse teda soolade tootmiseks. See põhineb sellel, et väävelhape, kui kange ja kahealuseline hape, energiliselt reageerib mitmete metallide, aluseliste hapendite, aluste ja sooladega, moodustades hapusid ja neutraalseid vees lahustuvaid ja lahustumatuid sooli.

Siin on jälle tähtis üles kirjutada mõned näited, mis toodud seletust illustreerivad.

Näiteks:



Happed ja soolad, mis on valmistatud väävelhappe osavõtul omavad väga suurt tähtsust rahvamajanduses. Seda arvamist tõendab rida näiteid. Nii näiteks naatriumsulfaati kasutatakse klaasi valmistamiseks, soolhapet — värvide ja arstimite valmistamiseks, vase- ja rauavitrioli — võitluseks kahjuritega põllumajanduses taimehaiguste vastu kui insektofungisiide jne.

Väävelhapet kasutatakse ka koksikeemilises tööstuses (ammooniumsulfaadi saamine), värvainete ja arstimite tootmisel, metallurgias (metallide puhastamine) ja teistes tööstusharudes.

Need on peamised väävelhappe kasutamise juhused keemiatööstuses. Ei ole ühtki keemiatööstusala, kus otse või kaudselt ei tarvitata väävelhapet.

Väävelhapet kasutatakse ka teistes põhilistes tootmisharudes. Masinate ehitusel teda kasutatakse metallide pinna puhastamisel, nende nikeldamisel, kroomimisel, vasetamisel jne., energeetikas ja transpordis — akumulaatorite täitmisel, tekstiiltööstuses tarvitatakse väävelhapet pleegitamiseks, kangaste viimistlemiseks ja värvimiseks, toidu- ja maitseainete tööstuses — kartulisiiirupi valmistamiseks, millest tehakse kompvekke. Täie õigusega võib ütelda, et väävelhapet kasutatakse peaaegu kõikides tootmisharudes.

See on tingitud tema füüsikalistest ja keemilistest omadustest, samuti tootmise odavusest.

Uute keemiatehaste ehitamist, keemiatööstuses valmistatud saaduste tarvituselevõtmist mitmesugustes tootmis- harudes, materjalide ümbertöötamisel keemiliste meetodite kasutuselevõtmist — nimetatakse rahvamajanduse kemi- seerimiseks. Väävelhape mängib tohutut osa meie maa rahvamajanduse kemiseerimisel. Sellest on arusaadav kui suur on väävelhappe laialdase tootmise vajadus.

#### Küsimused ja ülesanded:

1. Vasevitrioli kasutatakse võitluses põllumajanduskahjurite vastu, vase värvide ja mitmesuguste vaseühendite valmistamiseks. Tema tootmises lähtutakse vasest. Kuidas saadakse vasevitriol? Mispärast kasutatakse harva otsest reageerimist vase ja väävelhappe vahel vase- vitrioli saamiseks?

2. Väävelhappu tina tarvitatakse kui söövitajat. Tekstiiltööstuses, tema valmistamiseks kasutatakse metalset tina või tinakloriidi. Arvake, kuidas saadakse väävelhappu tina.

3. Väävelhappu elavhõbeda saamiseks metalne elavhõbe töödeldakse kontsentreeritud väävelhappega kuumutamise juures. Kirjutage üles antud reaktsiooni keemiline võrrand.

4. Metalleemete nikeldamisel kasutatakse väävelhappu niklit. Seda valmistatakse süsihappu niklist. Arvake kuidas saadakse väävelhappu nikkel.

5. Väävelhappu seatina valmistamiseks kasutatakse lämmastikhappu või äädikhappu seatina ja väävelhapet. Kuidas saadakse väävelhappu seatina?

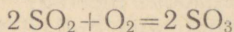
6. Valge värvi «LITOPON» valmistamiseks lähtutakse väävelhappu baariumist ja väävelhappu tsiingist. Kuidas saadakse «LITOPON», kui ta kujutab endast vääveltsingi ja väävelhappu baariumi segu?

7. Fosforhappe saamiseks kasutatakse fosforhappu kaltsiumi ja vää- velhapet. Kirjutage üles fosforhappe saamise reaktsiooni keemiline võrrand. Arvutage välja, kui palju tuleb kulutada väävelhapet, et saada üks tonn fosforhapet.

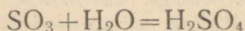
8. Fluorvesinikhappe saadakse fluorvesiniku lahustamisel vees. Kui- das saada fluorvesinikhapet kasutades kaltsiumfluoriidi (sulapagu)?

Teine õppetund algab väävelhappe tootmise põhi- staadiumide selgitamisega kontaktmenetlusel.

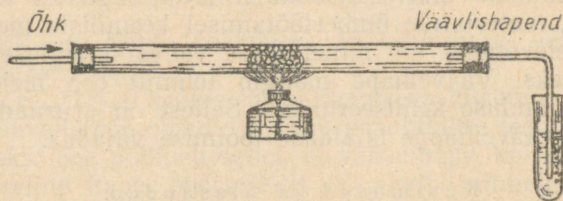
Esmalt saadakse mõnedest väävlit sisaldavatest loodus- likest ainetest vääveldioksüüd, mis siis hapendatakse vää- velhappe anhüdriidiks.



ning viimaks, hüdreeritakse väävelhappe anhüdriid.

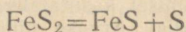


Edasi teatatakse õpilastele tööplaani järgneva kolme tunni. Antud tund pühendatakse tutvumisele vääveldioksiidi tootmisega.

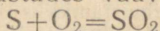


Joonis 2. Seadeldis räha põletamiseks (särdamiseks).

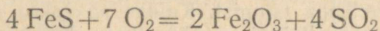
Tulekindlasse klaastorru (joonis 2) mahutatakse tatra-terade suurused raudräha (püriidi) tükikesed (püriiti õpilastele näidata), siis ühendatakse üks toru ots gasomeetriga, milles on õhk ja teine ots katseklaasiga, milles on vesi. Avades õhu voolu gasomeetris, kuumutatakse kõvasti raudrähka torus. Umbes 600° temperatuuri juures hakkab raudrähk lagunema, eraldades väävli.



Väävel põleb, moodustades vääveldioksiidi:



Väävelraud reageerib samuti õhu hapnikuga ning tekib raudhapend ja vääveldioksiid.



Nii saadakse nende reaktsioonide tulemusena vääveldioksiid ja raudhapend (vääveldioksiid avastatakse tema lõhna järgi).

Ülaltoodud reaktsioonid on vääveldioksiidi saamise aluseks väävelhappe tehastes.

Tooraineks vääveldioksiidi saamisel on raudrähk. Kui raudrähk sisaldab kõrvalainena rohkem kui 1,5% vaske, siis on kasulik temast eelnevalt eraldada vaseühendid, nende ümbertöötamiseks vaseks. Vasesulatamise tehastes teostatakse raudräha eraldamine vaseühenditest flotatsiooni meetodil.

Milles seisneb flotatsiooni meetod?

Flotatsiooni meetodiga võib õpilasi tutvustada järgmise katsega. Paberilehe peal valmistatakse peenike väävli ja liiva segu. Klaaspurki veega valatakse vähe taimeõli ning sellesse segusse juhitakse gasomeetrist õhku (klaastoru

lastakse peaaegu purgi põhjani), et tekiks vaht; kui gasomeetrit käepärast pole, puhutakse õhku pulverisaatoriga. Katkestamata õhu puhumist, visatakse vedelikku näputäie haaval väavli ja liiva segu. Väavli osakesed tõusevad lahuse pinnale, kuna liiv osaliselt sadeneb põhja, osaliselt jääb teatavaks ajaks segusse ja siis sadeneb. Toimub väavli eraldumine liivast. Eraldumine on põhjendatud sellega, et liiv märgub vees ja sadestub põhja, kuna väavel vees ei märgu, tema külge kleepuvad õlis peidetud õhumullikesed ja tõstavad väavli vedeliku pinnale. Nähtust, mida selle katsega demonstreeritakse, nimetatakse flotatsiooniks. Flotatsioon seisab selles, et vees märguvaid aineid lahutada vees mittemärguvatest ainetest.

Flotatsioon on toormaterjali rikastamise meetod, s. o. temas selle aine sisaldavuse tõstmine, millest lähtub keemiline protsess.

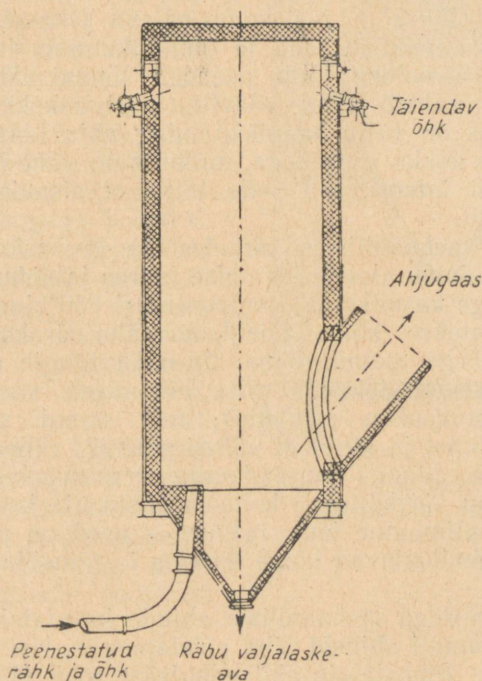
Flotatsiooni kasutatakse laialt kaasaegses keemiatööstuses ja metallurgias.

Püriidi eraldamiseks vaseühenditest väavliga purustatakse vase maak peenikeseks tolmuks ja puistatakse siis flotatsioonimasinatesse. Masina reservuaar täidetakse veega ühes lisanditega, mis vahtu tekitavad (männiõli, tõkat ja teised), ja ainete lisanditega, mis raskendavad vaske sisaldavate mineraalide märgumist ning kergendavad püriidi märgumist vees. Õhu puhumisel läbi selle segu kleepuvad tema üleõlitatud mullikesed vees mittemärguvate mineraalide külge ja tõstavad need üles. Püriit aga sadeneb põhja. See sade korjatakse kokku ja kuivatatakse. Saadakse peenelt purustatud rauarähk — flotatsiooni saba. Värvilise metallurgia tehastes flotatsiooni sabad on tootmise jäätmed, aga väavelhappe tööstuses on nad väärtuslikuks tooraineks. Kui väavelhappe tehas kasutab harilikku rähka (s. o. tükkides rähka sel kujul, nagu ta esineb looduses), siis teda algul purustatakse. Purustamisel saadakse räha pinna suurenemine, mis soodustab paremat väavli põlemist kuumutamisel. Reageeruvate ainete pinna suurendamine — on põhilisi printsiipe keemiatööstuses.

Vääveldioksüüdi saamiseks peenendatud rähk ja flotatsiooni rähk, segus või eraldi, põletatakse mehaanilistes ahjudes. Vaatleme VKT (Voskresenski keemiatehas) ahju ehitusviisi ja töötamise printsiipi; ahi on ehitatud nõukogude inseneride poolt.



Ahi (joonis 3) kujutab endast terasest silindrit 1, mis on seestpoolt vooderdatud tulekindlate tellistega 2. Ahi on tellistest võlvidega jaotatud 3 korrusesse, mis on omavahel ühendatud avade kaudu 7, millised asetsevad ahju seinte või võlvi tsentrumi juures. Ahju tsentrumis ülevalt alla käib õõnes võll 4, mis pöörleb ühes kammidega 5 ja piidega 6. Piid kammides kinnitatakse erisuguste nurkade all nii, et ühel korrusel rähk liigub tsentrumist seinte poole, teisel vastupidi.



Joonis 4. Räha tolmu põletamise ahi.

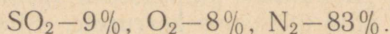
Peenestatud harilik rähk (või flotatsiooni) tõstetakse ahju peale ning puistatakse punkrisse 8 (suurde lahtrisse), kust ta jookseb ahju ülemisele korrusele. Siin rähk kuivab ning korjatakse kammidega tsentrumis avause juurde, kust ta langeb järgmisele korrusele. Sellel korrusel algab

väävli põlemine. Kammide liikumise tõttu rähk seguneb (mis soodustab paremat põlemist), liigub avause poole ahju seina ääres ning siit puistatakse teisele korrusele, kus väävli põlemine jätkub. Põlemine toimub edasi ka järgmistel korrustel. Alt väljatulev räha tuhk heidetakse vagonetti. Põlemiseks vajalik õhk tungib ahju alt avause kaudu 1,6 korda suuremas hulgas, kui tarvis, tänu sellele saavutatakse üleküllane õhu kontsentratsioon, mis soodustab paremat räha põlemist. Põlemine toimub umbes 850° temperatuuri juures. Kõrgema temperatuuri juures laguneb ahi kiiresti. Õhk käib üle kogu põleva räha pinna. Nii teostatakse vastupidine räha ja õhu liikumine s. o. vastuvoolus. Vastuvooluse tõttu peaaegu lõpuni läbipõlenud rähk, mis sisaldab vähe väävlit, puutub kokku, värske õhuga, milles on palju hapnikku, ning ahju langev rähk, kuigi puutub kokku gaasidega, milledes on vähe hapnikku, põleb samuti intensiivselt selle tõttu, et sisaldab suurel hulgal väävlit.

Nii, VKT mehaanilistes ahjudes 1) peenestatud räha põletamine toimub alalise segamise juures ja pidevalt optimaalse (kõige kasulikuma) temperatuuri 850° juures, millega saavutatakse kõige täielikum räha ärakasutamine ning ahju kõrge tootmisvõime; 2) õhku tungib ahju üleküllases kontsentratsioonis räha liikumisele vastupidises suunas (vastuvooluse printsip), mis samuti soodustab kõige täielikumat ja kiiremat väävli põlemist rähas. Pidevoolus, räha pinna suurendamine, vastuvoolus, odava materjali õhu ülekülluse kontsentratsiooni kasutamine, põletamise optimaalne temperatuur — need on põhiprintsiibid, mis kindlustavad kõige kiirema ja täiuslikuma räha põlemise.

Peale korrustega mehaaniliste ahjude kasutatakse käesoleval ajal samuti ahjusid räha põletamiseks, kus rähk esineb tolmuna. Pihustajate abil puhutakse tolm ühes õhuga ahju (joonis 4) ning põletatakse. Täiuslikuks põletamiseks puhutakse ahju ülemisse ossa täiendavalt õhku (teistkordne õhk). Sel tingimusel läheb põlemine väga kiiresti.

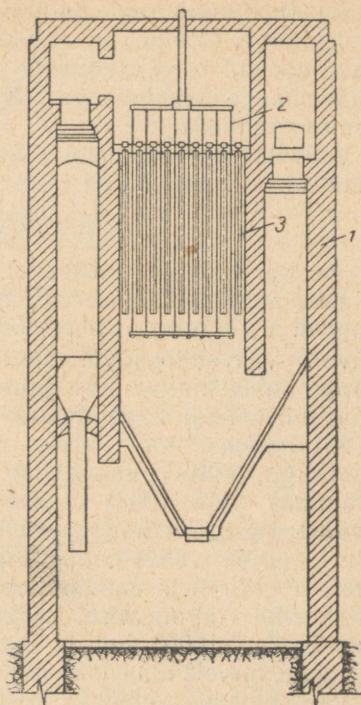
Ahjust saadud gaasi nimetatakse ahjugaasiks. Tema koostis on umbes järgmine:



Peale nende ainete sisaldab ahjugaas veel tolmu ja mitmesuguseid lisandeid: vee aur, väävelhappe anhüdriid,

arseeni ja seleeni ühendeid. Viimased tekivad rähas sisaldavatest lisandeist. Tolm, arseeni ja seleeni ühendid on gaasi kahjulikud lisandid, mis hapet rikuvad.

Ahjugaasi puhastamine tolmust toimub elektrifiltritel (joonis 5). Elektrifilter on kamber 1, mis ehitatud tellistest. Kambri sisse on tõmmatud ülalt alla peenikesed kroomnikli traadid 2 ja nende vahel asuvad metallvõred 3. Läbi traatide juhatakse alaline vool pingega 50 000 V. Metallvõred on ühendatud maaga. Gaasides peituvad tolmukübemed, sattudes elektriväljale, saavad laengu ning külgetõmmatud peamiselt võrede poolt, sadestuvad nende peal. Perioodiliselt lülitatakse vool välja ning tolm puhastatakse võredelt automaathamrite koputamisega. Kambris peetakse kinni 90—98% gaasis peituvast tolmust.



Joonis 5. Elektrifilter ahjugaasi puhastamiseks tolmust.

### Küsimused ja ülesanded.

1. Missuguseid aineid kasutatakse toorainena vääveldioksüüdi tootmiseks? Kirjutage reaktsioonide võrrandid, mis toimuvad räha põletamisel.

2. Kuidas on ehitatud räha põletamise ahi?

3. Kuidas teostatakse räha põletamist?

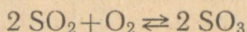
4. Missugune on põletamise või ahjugaasi koostis?

5. Kuidas teostatakse gaasi puhastamist?

6. Nimetage vääveldioksüüdi tootmise põhiprintsiibid.

Kolmandal tunnil, peale õpilaste käsitlemist eelmise õppetunni materjalide alusel käsitletakse vääveldioksüüdi väävelhappe anhüdriidiks hapendamise teaduslikke aluseid ja väävelhappe anhüdriidid hüdratatsiooni ühes väävelhappe tekkimisega. Käsitlemise aluseks on katse demonstratsioon.

Väävelhappe anhüdriid saadakse vääveldioksüüdi hapendumisel õhu hapnikuga:

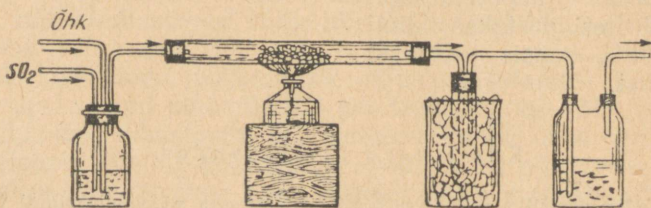


See on pöörduv reaktsioon.

Juba ammu oli tähele pandud, et raudhapend, vanaadiumhapend  $\text{V}_2\text{O}_5$  ning eriti peeneks purustatud plaatina kiirendavad vääveldioksüüdi hapendumise reaktsiooni väävelhappe anhüdriidiks. Need ained esinevad katalüsaatoritena vääveldioksüüdi hapendumise reaktsioonis.

Nii näiteks,  $400^\circ$  juures platineeritud asbestiga (s. o. asbestiga, mille pinnale on kantud peeneks purustatud plaatina) ligi 100% vääveldioksüüdi oksüdeerub õhu hapnikuga väävelhappe anhüdriidiks. Kõrgema temperatuuri juures väävelhappe anhüdriidid väljatulek kahaneb, sest, et kiireneb vastupidine reaktsioon — väävelhappe anhüdriidid lagunemise reaktsioon vääveldioksüüdiks ja hapnikuks.  $1000^\circ$  juures laguneb väävelhappe anhüdriidid peaaegu tervelt oma lähteaineteks.

Pärast nende andmete teatamist õpetaja alustab väävelhappe anhüdriidid saamise katse demonstreerimist. Seletatakse seade koostamine (joonis 6). Näidatakse gasomeeter



Joonis 6. Seadeldis vääveldioksüüdi oksüdeerimiseks.

õhuga, seadeldis vääveldioksüüdi saamiseks, anum väävelhappega gaaside kuivatamiseks, kontaktoru, katalüsaator, destilleerimise kolb või katseklaas väävelhappe anhüdriidid kogumiseks, jahutamise segu lumest ja soolast ning kahe

kaelaga klaasnõu kontsentreeritud väävelhappega, et ära hoida veeauru pääs väävelhappe anhüdriidi kogumise nõusse. Pööratakse tähelepanu sellele, kuidas on ühendatud seade osad. Katalüsaatoriks võib olla kuumendatud raudhapend, põletatud telliskivi, vanaadiumhapend, kuumendatud platineeritud asbest. Peale õpilaste tutvustamist seadega juhitakse seadesse väga aeglane vääveldioksüüdi ja õhu vool. Ühtlasi kuumutatakse katalüsaatorit (plaatina katalüsaatorit umbes 450 kraadini, vanaadiumi katalüsaatorit 500 kraadi juures ja 600 kraadini raudhapendi ja tellise tarvitamisel katalüsaatoritena). Õhuvoolu seatakse nii, et ta oleks 2—3 korda kiirem, kui vääveldioksüüdi vool. On vaja jälgida, et väävelhappe anhüdriidi koguja saaks hästi jahutatud. 8—12 minuti pärast kuumendamine lõpetada ning gaaside vool sulgeda. Väävelhappe anhüdriidi koguja lahti võtta kontaktorust ja väävelhappe nõust. Toimida ettevaatlikult, et käsi mitte määrida väävelhappe anhüdriidiga nii, et tema tilgad ei puudutaks nägu. Väävelhappe anhüdriidi koguja torude otsad ühendada kummivoolikuga. Kontaktoru ühendada korgiga, millest läbib klaastoru kummist tõkkega (mida laual varuks hoida) ja kahekaelalise klaasnõuga, milles on väävelhappe. Kolb või katseklaas väävelhappe anhüdriidiga võtta kaelast kinni, välja tõsta jahutaja segust, kiiresti ära kuivatada rätikuga ning näidata õpilastele. Kirjeldatud katse juures võib tekkida tahke või vedel väävelhappe anhüdriid või valge «suits». Kõik ripub ära katalüsaatorist ja teistest katse tingimustest.

Väävelhappe anhüdriidi koguja tuleb avada ja õpilaste tähelepanu pöörata raske valge suitsu eraldumisele. See peab toimuma tõmbekapis või, kus tõmbekapp puudub, akna all lahtise õhuakna juures. Pika kuiva klaastoriga ettevaatlikult võtta vähe väävelhappe anhüdriidi, ning lasta seda klaasi, milles on vesi. On tunda siset ja soojenemist. Valada klaasi veidi violettvärvi lakmuse lahust. See muutub punaseks. Kolb või katseklaas väävelhappe anhüdriidiga jätta tõmbe alla või aknaraamide vahele. Pöörata õpilaste tähelepanu sellele, et mõne aja järele tahke väävelhappe anhüdriid muutub vedelaks.

Õpilased peavad kõik need katsed hoolsalt läbi töötama ning ära õppima.

Toetudes nendele katsetele käsitleb õpetaja väävelhappe saamise kontaktmenetluse teaduslikke aluseid. Seda menet-

lust nimetatakse sellepärast nii, et väävelhappe saamiseks vajalik väävelhappe anhüdriid saadakse vääveldioksüüdi ja hapniku kokkupuutumisel (kontaktil) katalüsaatoritega.

Katalüsaatori kasutamine on esimene tingimus, mis täidetakse väävelhappe tootmisel sel menetsusel. Et kindlustada lähteainete (vääveldioksüüdi ja õhu hapniku) võimalikult täielikumat muutumist väävelhappe anhüdriidiks, süntees teostatakse optimaalse temperatuuri juures. Kuna praegu meie tehastes kasutatakse vanaadiumi katalüsaatorit, protsess viiakse läbi 450—600° temperatuuri juures, kindlustades hapendumise lõpu temperatuuri juures mitte üle 480°. Ahjugaas puhastatakse ja kuivatatakse hoolikalt, sest, et arseeni ja seleeni ühendite ning veeauru lisandid gaasides teevad katalüsaatori mitteaktiivseks (rikuvad katalüsaatori).

Väävelhappe anhüdriid absorbeerub 98% väävelhappes. Väävelhappe anhüdriidi absorbeerumiseks ei saa kasutada vett ega lahjendatud väävelhappe lahust, sest et nende peal on alati veeaur. Viimane reageerib väävelhappe anhüdriidiga, kusjuures tekib udusarnane väävelhappe, see aga ei absorbeeru mingisugustes vedelikes.

#### Küsimused ja ülesanded.

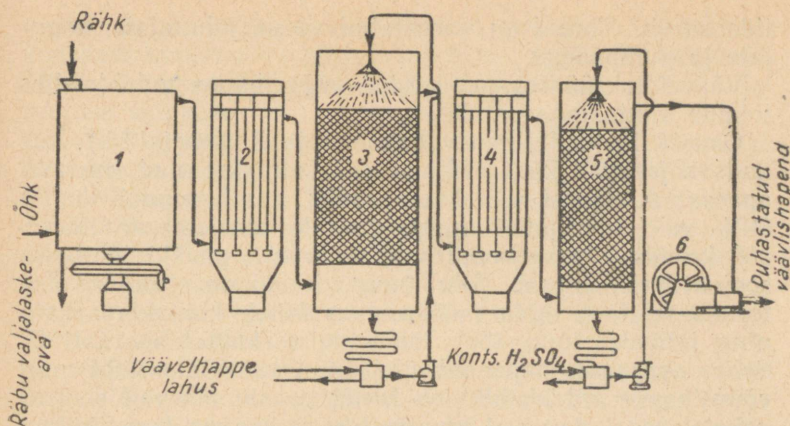
1. Kirjutage väävelhappe saamise reaktsioonide võrrandid, lähtudes vääveldioksüüdist.
2. Missugustel tingimustel toimuvad need reaktsioonid?
3. Missugused omadused on väävelhappe anhüdriidil?

Neljandal tunnil õpilased tutvuvad väävelhappe tootmise kontaktmenetsuse tehnikaga. Tootmise protsess jagatakse järgmistesse staadiumidesse: 1) vääveldioksüüdi täiendav puhastamine, 2) vääveldioksüüdi hapendumine väävelhappe anhüdriidiks kontaktparaadis, 3) väävelhappe anhüdriidi absorbeerumine 98% väävelhappes.

Demonstreeritakse tootmisprotsessi skeem (joon. 7 a, b ja c).

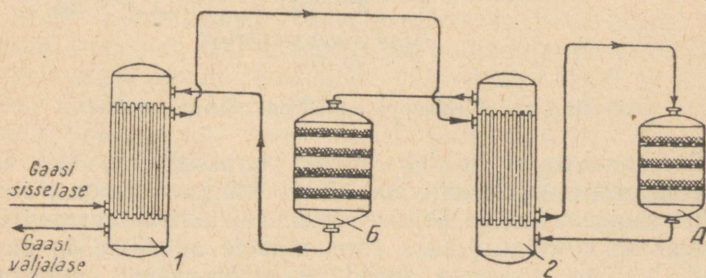
Ülalpool kirjeldatud elektrifiltris ahjugaas tolmust täielikult ei vabane. Pealeselle sisaldab ta aineid, mis rikuvad katalüsaatori. Selle tõttu juhitakse gaas täiendavaks puhastamiseks esmalt tornidesse 3, mis niisutatakse väävelhappe lahusega.

Demonstreeritakse pesemistorni ehituse skeemi. Siin kasutatakse samuti vastuvoolu printsiipi. Ahjugaas liigub alt ülespoole, kuna happe pitsitakse sisse ülevalt ning



Joonis 7 a. Põletamise gaasi saamine ja puhastamine.

jookseb keraamilistest rõngastest koosnevaid astmeid mööda alla. Astmed suurendavad gaasi kokkupuute pinda happega. Tolmust puhastatud, jahutatud ning niisutatud gaas läheb läbi elektrifiltri 4 puhastamiseks arseenishappe anhüdriidist  $As_2O_3$ , mis on eriti ohtlik mürk katalüsaatorile. Siin toimub ka gaaside puhastamine udusarnasest väävelhapest. Edasi juhitakse gaasid kuivatustorni 5, mis on niisutatud kange väävelhappega; viimane, nagu teada, absorbeerib hästi niiskust. Kuivatustornidest lähevad gaasid kompressorisse 6, mis neid läbi teiste seadeparaa-

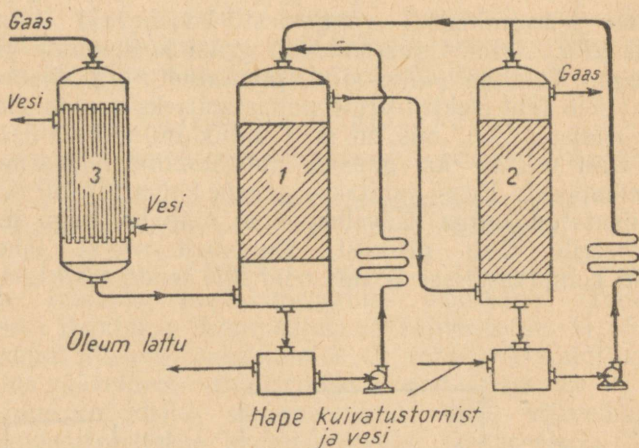


Joonis 7 b. Vääveldioksüüdi oksüdeerimine.

tide surub. Tornid on varustatud veega jahutajate, kogujate ja pumpadega.

Vääveldioksüüdi hapendamine väävelhappe anhüdriidiks toimub kontaktaparaatides.

Gaasid läbivad soojusvahetaja 1 ja 2 (joonis 7 b), kus nad soojenevad kuni  $450^{\circ}$ , ja siis juhitakse nad kontaktaparaati A. Sellest kontaktaparaadist, kus hapendub umbes 80% vääveldioksüüdi ning gaaside temperatuur tõuseb  $580$  kraadini (reaktsiooni soojuse arvel), gaasid juhitakse soojusvahetajasse 2. Siin annavad nad oma soojuse ära torude seintele, mida mööda gaas läheb kontaktaparaati, ning jahtudes kuni  $450^{\circ}$  läheb teise kontaktaparaati B. Selles aparaadis hapendub ülejäänud vääveldioksüüd ning väävelhappe anhüdridi sisaldavad gaasid lähevad soojusvahetajasse 1, kus nad oma soojusega kuumendavad külma gaasi, mis läheb kontaktaparaati.



Joonis 7 c. Väävelhappe anhüdridi absorbeerimine.

Soojusvahetaja kujutab endast terassilindrit, mis on kaetud mittesoojustjuhtivate ainete kihiga (demonstreeritakse soojusevahetaja ehituse skeem ja lahtivõetav mudel). Temas on kinnitatud kaks võre, millede avadesse on pandud lahtiste otsadega torud. Kontaktaparaati minevad gaasid liiguvad torude vahel, kontaktaparaadist tulevad gaasid aga liiguvad torudes ning annavad oma soojuse

torude seinte kaudu ära külmadele gaasidele. Sellest ka aparaadi nimetus — soojusevahetaja. Aparaaadi ehitusviis hoiab ära gaaside segunemise, kindlustades samal ajal soojuse vahetuse.

Kontaktaparaat (demonstreeritakse ehituse skeem ja kontaktaparaadi lahtivõetav mudel) kujutab endast terasest silindrikujulist katelt riulisarnaste võrede sissehitustega.

Väävelhappe anhüdriidi absorbeerimine toimub tornides (joon. 7 c). Soojusvahetajast gaasid lähevad jahutajasse 3, ja siis kahte järjekorras ühendatud absorbeerimistorni 1 ja 2 (demonstreeritakse sarnase torni ehituse skeem). Tornid valmistatakse terasest ja vooderdatakse seest happekindla tellisega. Kokkupuute pinna suurendamiseks tornid täidetakse keraamiliste rõngastega. Esimeses tornis väävelhappe anhüdriid absorbeerub oleumis, teises tornis 98% väävelhappes. Tornid on varustatud kogujate, pumpane ja vee jahutajatega. Nii siis väävelhappe anhüdriidi tootmise ja tema absorbeerumise põhiprintsiibid on pidevvoolumine, optimaalsete temperatuuride kasutamine, katalüsaatorite kasutamine, vastuvooluline, soojusevahetamine, reageerivate ainete pinna suurendamine.

Tunni lõpus tuleb mainida tornmenetlust, seletades, et siin vääveldioksiid oksüdeerub tornides lämmastikhapendite toimel. Nendes tornides saadakse ka väävelhapet.

Tuleb näidata õpilastele, et kogu töö väävelhappe tehastes on rajatud teaduslikele alustele. Laboratoorium uurib mitmesuguseid viise ja võtteid, seal hulgas ka automaatseadete ja analüsaatorite abil, toorainet, produktide koostist mitmesugustes tootmise staadiumides, saaduste kvaliteeti jne. Toetudes nende analüüsides andmeile, juhitakse üldiselt aparaatide tööd ja tehnilist protsessi.

Enne revolutsiooni väävelhappetööstus Venemaal ei olnud arenenud, sest et tööstus ja põllumajandus olid äärmiselt mahajäänud. Nõudmine väävelhappe järgi oli selle tõttu äärmiselt väike. 1913. a. toodeti kõigest 110 tuhat tonni väävelhapet. Peale Suurt Sotsialistlikku Oktoobri-revolutsiooni, kui algas tööstuse ja põllumajanduse sotsialistlik rekonstrueerimine, hakkas tõusma ka väävelhappe tootmine. Viisaastakute vältel on NSV Liidus loodud võimas väävelhappe tööstus, mis annab väävelhapet mitukümmend korda rohkem kui enne revolutsiooni.

NLKP XIX kongressi direktiivide kohaselt toimub väävelhappe tootmise edaspidine kasv.

Väävelhappe tootmine on tähtis faktor meie maa rahvamajanduse kemiseerimisele, tootmise pidevale kasvule ja täiendamisele kõrgema tehnika baasil.

### Küsimused ja ülesanded.

1. Kirjutage väävelhappe saamise reaktsioonide võrrandid kontaktmenetlusel. 2. Missugustel tingimustel toimub vääveldioksüüdi hapendumine väävelhappe anhütriidiks? 3. Nimetage põhifaasid, milledeks jaguneb väävelhappe saamise tootmisprotsess kontaktmenetlusel. 4. Nimetage tooraine vääveldioksüüdi saamiseks. 5. Missugune koostis on uraali rähal? Mis on flotatsiooni rähk ja kuidas teda saadakse? 6. Missugune side on väävelhappe tehastel värvilis-metallurgia tehastega? 7. Mitu tonni vääveldioksüüdi võib saada 1 t räha põletamisel, mis sisaldab 48% väävlit, kui tuha koostisse jääb 1,5% väävlit? 8. Kuidas on ehitatud puhastamise tornid, kontaktparaat, soojusevahetaja, absorbeerimise tornid? 9. Loetlege väävelhappe saamise tootmisprotsessi põhiprintsiibid.

### Õppetunnid IX klassis.

Õppides teemasid «Lämmastik ja fosfor» ja «Süsinik, orgaanilised ained, räni», IX klassi õpilased tutvuvad ammoniaagi, lämmastikhappe, lämmastik- ja fosforväetiste tootmisega, kütuse gasifitseerimisega, nafta ümbertöötlemisega, äädikhappe ja teiste ainete tootmisega. Nende tootmistega tutvumine annab võimaluse süvendada õpilastes teadmisi keemiliste reaktsioonide seadusepärasusest, tootmisprotsesside teaduslikest printsiipidest, NSVL rahvamajanduse kemiseerimise edusammudest.

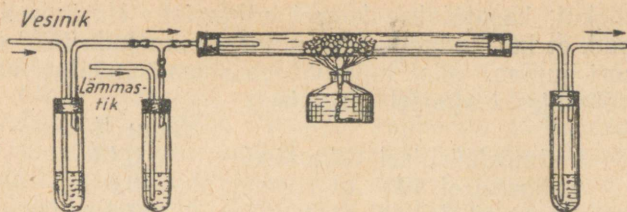
### Õppetunnid õpilaste tutvustamiseks ammoniaagi tootmisega.

Õpilaste tutvustamiseks ammoniaagi tootmisega eraldatakse kaks tundi.

Esimene tund viiakse läbi peale ammoniaagi keemilise koostise, füüsiliste ja keemiliste omaduste ja tema rahvamajanduses kasutamise tundmaõppimist.

Ammoniaagi saamise aluseks tööstuses on lämmastiku ja vesiniku ühinemisreaktsioon.

Õpetlik on näidata katset ammoniaagi saamiseks lämmastiku ja vesiniku segust. Vesinik saadakse Kipp'i aparatis; lämmastikku võib saada, segades ekvivalentsed hulgad naatriumnitraadi ja ammooniumkloriidi lahust ning soojendades lahust vee vannis.



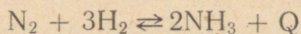
Joonis 8. Seadeldis sünteetilise ammoniaagi saamiseks.

Reaktsioon viiakse läbi hariliku õhurõhumise all, temperatuuri juures umbes 400—500 kraadi, katalüsaatori toimel. Katalüsaator väikeste rautükikeste näol asetatakse toru (joonis 8) keskossa, mille läbi juhitakse lämmastiku ja vesiniku segu. Katalüsaatorit võib saada raua redutseerimisel hapenditest (rauamaakidest), kuumutades neid vesiniku voolus. Võib kasutada samuti terase laaste. Peale õhu täielikku väljasurumist seadeldisest, hakatakse kuumutama katalüsaatorit piirituse lambi leegiga. Näidatakse (kasutades indikaatoreid, reaktsiooni kloorvesinikuga ja teisi viise), et aparaadist väljuv gaasi segu sisaldab ammoniaaki. Peab tähelepanu pöörama sellele, et ammoniaaki tekib väga vähe.

Siis juhitakse sama toru kaudu ja samadel tingimustel ammoniaagi vool, mida saadakse ammoniaagi vesilahuse soojendamisel. Tekib lämmastiku ja vesiniku segu. Vaba vesiniku väljatulekut võib tõendada gaasi põlema süütamisega; kui põleva gaasi leeki katta klaasnõuga, siis ilmuvad nõu seintele vee tilgakased (gaasi süütamine peab toimuma harilikult ettevaatusega).

Nii tõestatakse, et hariliku õhu rõhumisel ja 400°—500° temperatuuri juures toimub mitte ainult otsene ammoniaagi sünteesi reaktsioon, vaid ka vastupidine reaktsioon — tema lagunemine.

Selle tõttu lämmastiku reageerimine vesinikuga väljendatakse võrrandiga:



Ammoniaagi tootmiseks on tähtis muidugi otsene reaktsioon. See on eksotermiline reaktsioon. Et kindlustada tema teostumist ning saavutada küllaldaselt ammoniaagi

väljatulekut, kasutatakse kõrget rõhumist. Uurimised on näidanud, et kui ammoniaagi sünteesi toimetada 500° temperatuuri juures, siis muutub tema maksimaalne väljatulek rõhumise tõstmisel järgmiselt:

	mahu %-des
atmosfäärilisel rõhumisel	0,13
rõhumisel 100 at	10,6
rõhumisel 1000 at	57,5

Järelikult, isegi 1000 at rõhumise juures lämmastiku ja vesiniku ühinemise reaktsioon ei jõua lõpuni ning kaunis suur osa lämmastiku ja vesiniku segust ei muutu ammoniaagiks.

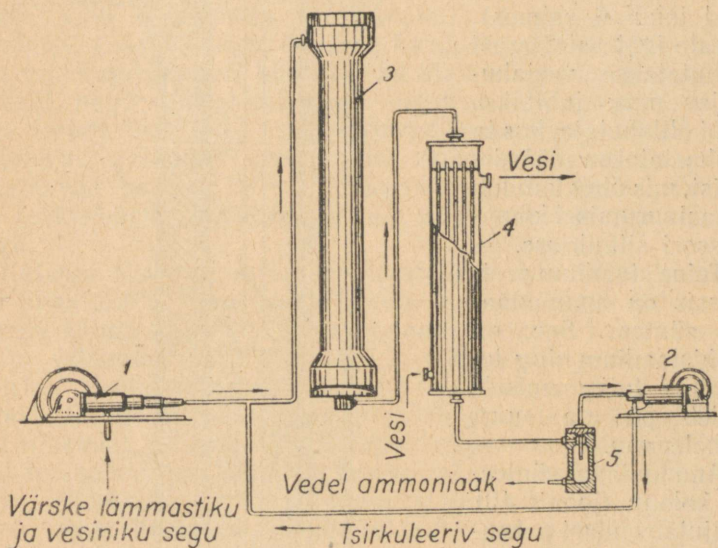
Tööstuses teostatakse ammoniaagi sünteesi rõhumise all mitte vähem kui 100 at. On olemas sisseseadeid, mis töötavad 1000 at rõhumise all. Katsesisseseadetes kasutatakse veel kõrgemat rõhumist — kuni 2500 at.

Kasutades kõrget temperatuuri (500°), katalüsaatorit ja tugevat rõhumist (kuni 1000 at), siiski ei lähe korda, nagu nägime, muuta kohe ammoniaagiks kogu lämmastiku ja vesiniku segu. Kuid ei tohi kaotada seda reaktsioonist mitte osavõtnud segu, kuna lämmastik ja vesinik on kallid ained. Sellepärast seisab tootmisülesanne selles, et võimalikult täiel määral lämmastikku ja vesinikku ära kasutada sünteetilise ammoniaagi tootmiseks (saavutada kõrge ammoniaagi väljatulek). See ülesanne lahendatakse nii: saadud ammoniaak eraldatakse lämmastikust ja vesinikust ning reaktsioonist mitte osavõtnud gaaside segu kasutatakse uuesti ammoniaagi sünteesiks, lastes seda tsirkuleerida läbi tootmisaparaadi. Tsirkulatsiooni printsip võimaldab saavutada täiuslikust lähteainete kasutamises. Et eraldada ammoniaak lämmastikust, kasutatakse lämmastiku omadust kergesti muutuda vedelaks kõrge rõhumise all hariliku temperatuuri juures. Seda omadust ei esine samadel tingimustel ei lämmastiku ega vesiniku juures.

#### K ü s i m u s e d.

1. Missugust reaktsiooni kasutatakse ammoniaagi saamisel tehastes? 2. Missuguseid tingimusi kasutatakse ammoniaagi sünteesil? 3. Miks ammoniaagi süntees teostatakse kõrge temperatuuri ja tugeva rõhumise juures ning katalüsaatori osavõtul? 4. Milles seisab tsirkulatsiooni skeemi sisu? 5. Miks teda kasutatakse ammoniaagi sünteesil? 6. Kuidas lahutada lämmastiku ja vesiniku segu ammoniaagist?

Teine tund pühendatakse ammoniaagi tootmise tehnika küsimuste käsitlemisele. Sünteetilise ammoniaagi tootmise tehnika selgitamisel kasutatakse vastavaid tabeleid ning võimaluse järgi ammoniaagi sünteesi tsehhi lahtivõetavat mudelit. Nende vahendite valmistamiseks võib kasutada siin toodud jooniseid. Otstarbekohane on valida kõige lihtsam skeem ning sisse võtta temasse ainult põhilised aparaadid. Joonisel 9 on kujutatud ammoniaagi sünteesi seade skeem, kus kasutatakse rõhust 750 at. (Valitud on protsessi skeem, mis viiakse läbi kõrge rõhu-



Joonis 9. Sünteetilise ammoniaagi tootmise seadeldise skeem.

mise all, sest ta on lihtsam kui madalama rõhumise all läbiviidava protsessi skeem.)

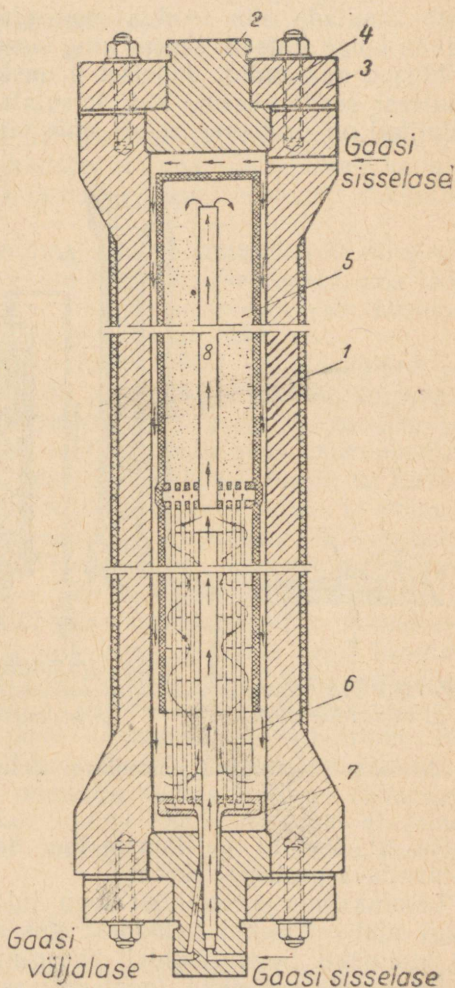
Lämmastiku ja vesiniku segu tuleb pidevalt ammoniaagi sünteesi tsehhi tsehhidest, kus saadakse lämmastikku ja vesinikku. Segu sisaldab ühe g-moli lämmastiku kohta kolm g-moli vesinikku (vastavalt reaktsiooni võrrandile). Seoses sellega, et ammoniaagi süntees on katalüütiline protsess, lämmastiku ja vesiniku segu ei tohi sisaldada lisandeid, mis katalüsaatorit rikuvad. Sarnasteks mürki-

deks on hapnik, hapniku ja väävli ühendid. Sellepärast puhastatakse hoolikalt sissetulevaid gaase.

Esimene staadium protsessis on gaasi kokkusurumine mitmeastmelises kompressoris 1 kuni 750 at. Peatamata kompressori ehitusel, tuleb märkida, et kokkusurumisel gaas soojeneb. Et ära hoida temperatuuri liigset tõusu, gaasi surutakse mitmes astmes (antud juhul 6 astmes). Peale igat astet gaasi jahutatakse veejahutajas ning juhitakse läbi õlilahutaja, kus ta puhastatakse määrdeõlist, mis ühes kandub gaasi surumisel kompressori silindrisse.

Teine staadium protsessis on ammoniaagi süntees. See on põhistaadium ning temaga tutvunemisele tuleb pöörata suurt tähelepanu.

Ammoniaagi sünteesi kolonn (joonis 10) kujutab endast paksuseinalist silindrit 1, mis on mõlemast otsast massiivsete peadega 2 suletud; flantsid kinnitatakse kolonni keha külge poltidega 4. Kolonni siseses on nõndanimeetatud juurdeehitus, mis koosneb kahest põhiaparaadist: katalüsaatori karbist 5 ja soojusevahetajast 6.



Joonis 10. Ammoniaagi sünteesi kolonn.

Gaaside segu juhatakse kolonni kahe vooluna. Peamine gaaside mass tuleb ülevalt ning liigub allapoole kolonni seinte ja juurdeehituse vahe kaudu. See gaaside vool tungib alt-poolt soojusevahetajasse, kus ta soojeneb, liikudes keerukat teed mööda torudevahelises ruumis. Soojenemine toimub nende gaaside soojuse arvel, mis katalüsaatori karbist väljuvad ning lähevad soojusevahetaja torudesse.

Teatav gaasi osa, mis võrreldes peamise massiga on väike, juhatakse kolonni alt ning läheb soojusevahetaja tsentraaltoru 7 kaudu otse katalüsaatori karpi. Suurendades või vähendades gaaside hulka, mis sel teel sisse lastakse, võib reguleerida katalüsaatori temperatuuri. Soojendatud gaasid tõusevad toru 8 kaudu katalüsaatori karpi, kus nad katalüsaatori kihi läbivad ülalt allapoole. Kuumad gaasid, nagu eelpool märgitud, liiguvad läbi soojusevahetaja torude ülalt alla ning väljuvad ammoniaagi sünteesi kolonnist, jahtudes umbes 200 kraadini. Need gaasid sisaldavad umbes 20% ammoniaaki, ülejäänud 80% on reaktsioonist mitte osavõtnud lämmastiku ja vesiniku segu.

Kolonni sisemise seina temperatuur ei ole väga kõrge (ei ületa 200°), kuna seina mööda pidevalt liigub kolonni tungiv külma gaasi vool: paksuseinalise kolonni keha satub kõrge rõhumise mõju alla, kuid ei soojene kõrge temperatuurini. Tema valmistamiseks tarvitatakse erikõvadusega terast. Juurdeehituse seintele avaldab gaas umbes ühetoalist rõhumist, sellepärast valmistatakse juurdeehitus õhuketest terasplaatidest ning õhukeseseinalistest torudest. Kuna aga juurdeehitus on kõrge temperatuuri mõju all, kasutatakse tema ehitamiseks kuumusekindlat terast.

Ammoniaagi sünteesi kolonni tutvustamisel tuleb õpilastele meenutada lähteainete ja reaktsiooni produktide soojusevahetamise ning vastuvooluse printsiipi.

Kolmas staadium on ammoniaagi eraldamine reaktsioonist mitteosavõtnud lähteainetest. Seda eraldamist saavutatakse ammoniaagi veeldamise teel. Et ammoniaaki vedelaks muuta, on vaja gaaside segu jahutada temperatuurini, mis on lähedane normaalsele temperatuurile (gaaside segu on ju 750 at rõhumise all). Ammoniaagi sünteesi kolonnist juhatakse gaaside segu veejahutajasse 4 (joonis 9). Selles liigub gaas torudes ülalt alla, vesi aga torudevahelises ruumis vastuvoolusena. Gaas jahtub 40—50 kraadini. Siinjuures kondenseerub ammoniaak. Vedel ammoniaak

eraldatakse gaasist separaatoris (gaasilahutajas) 5. Gaas väljub separaatorist rõhumise all umbes 730 at.

Protsessi viimane staadium on separaatorist väljuva gaasi segu kokkusurumine kuni 750 at tsirkulatsiooni pumbas 2 ning tema tagasijuhtimine ammoniaagi sünteesi kolonni. Vedel ammoniaak läheb lattu. Teda tarvitatakse külmetusseadmetes. Suur osa ammoniaaki töötatakse ümber lämmastikhappeks, ammoonium- ja lämmastikhappe sooladeks, mida tarvitatakse väetistena. Nii siis tootmise põhiprintsiibid, millele on rajatud ammoniaagi tööstuslik süntees, on: protsessi jaotamine staadiumidesse, pidevus, reageerivate ainete tsirkulatsioon, vastuvoolumine, soojusevahetus, katalüütiliste reaktsioonide tehnilise teostamise printsiibid.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Mitu kuupmeetrit lämmastiku ja vesiniku segu on vaja 1 tonni ammoniaagi saamiseks, kui üldine ammoniaagi väljatulek on 95%?
2. Missugune maht on normaalsetes tingimustes ühel tonnil ammoniaagil?
3. Missugustesse staadiumidesse jagatakse ammoniaagi tootmisprotsess?
4. Kuidas on ehitatud ammoniaagi sünteesi kolonnid?
5. Missugustes tingimustes toimub ammoniaagi süntees?
6. Kuidas eraldatakse ammoniaak lämmastiku ja vesiniku segust?
7. Mis on lämmastiku ja vesiniku tsirkulatsioon ja miks teda kasutatakse?
8. Missugustele printsiipidele on rajatud sünteetilise ammoniaagi tootmise meetod?

Õppetund õpilaste tutvustamiseks tahke kütuse gasifitseerimisega. Tahke kütuse gasifitseerimisele pühendatakse üks tund. Selle tunni eesmärgiks on õpilaste tutvustamine väga tähtsa meetodiga, kuidas tahke kütus muutub gaasiliseks kütuseks ning tahkest kütusest saadakse lähteaineid keemiatööstusele (ammoniaagi, piirituste, vedelkütte ja teiste produktide tootmine).

Esmalt selgitatakse mõiste «gasifitseerimine»: gasifitseerimine on protsess, milles tahke kütus muutub gaasitaoliseks kütuseks hapendajate — hapniku (õhu), veeauru või nende segu — mõjutusel kõrge temperatuuri juures.

Tahke kütuse kõiki liike gasifitseeritakse: looduslik kütus — puud, turvas, põlevkivi, pruun- ja kivisüsi ning kunstlik kütus — puusüsi ja kivisöe koks. Nõnda on gasifitseerimine universaalmeetod gaasitaolise kütuse saamiseks tahkest. Gasifitseerimise juures saadud gaasi nimetatakse

generaatorgaasiks, ning aparaat, milles teostatakse gasifitseerimist — gaasigeneraatoriks.

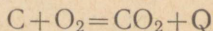
Siis tuleb peatada gasifitseerimise tähtsuse juures rahvamajanduses, loetledes paremused, mis saavutatakse gaasikütuse kasutamisel ja märkida, et teda tarvitatakse laialt tööstuses, näiteks klaasi ja terase sulatamisel.

Generaatorgaas leiab üha suuremat kasutamist kütusena sisepõlemismootorites vedelkütuse asemel. Gaasigeneraatori seadeldistega varustatakse veoautod, traktorid ja viimasel ajal isegi mootorvedurid raudteetranspordis. Mitmed viimastel aastakümnetel loodud keemiatööstuse harud on rajatud generaatorgaaside kasutamisele. Võib märkida, et näiteks, vesinikku ja lämmastikku ammoniaagi sünteesiks mitmes tehases saadakse tahke kütuse gasifitseerimisega õhu ja veeauru mõjutusel.

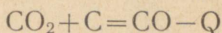
Edasi käsitletakse gasifitseerimise protsessi keemilisi aluseid.

Lihtsustatult võib seda protsessi väljendada järgmiste reaktsioonidega.

Kütuse süsiniku ja hapniku reageerimisel tekib süsihappegaas:

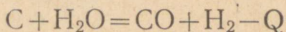


mida redutseeritakse hõõguva söega:



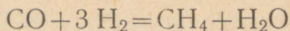
Kui puhumiseks kasutatakse õhku, siis saadakse nõnda nimetatud õhugaas. Tema koostisse kuuluvad süsinikoksiid, lämmastik ja süsihappegaas.

Kütuse süsiniku reageerimisel veeauruga kõrge temperatuuri juures tekib süsinikoksiidi ja vesiniku segu:



Seda segu nimetatakse vesigaasiks.

Tekivad gasifitseerimise produktid, reageerides osaliselt oma vahel, annavad metaani:

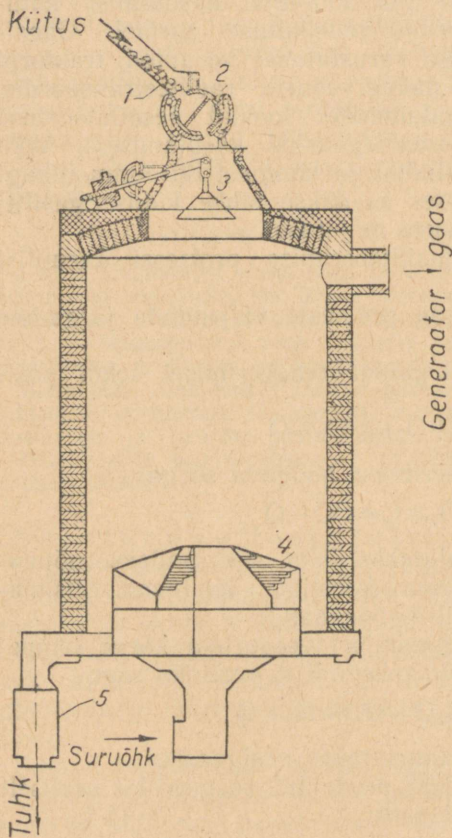


Tuleb lühidalt iseloomustada tingimusi, mis on vajalikud gasifitseerimise protsessi läbiviimiseks.

Et saada võimalikult suur süsinikoksiidi ja vesiniku väljatulek, on vajalik protsess läbi viia kõrge temperatuuri juures — üle 1000°. Rõhumise tõstmisel suureneb metaani

sisaldavus. Protsessi kiirus tõuseb sedamööda, kuidas suureneb tahke kütuse tükikeste kokkupuutumise pindala gaasiliste ainetega.

Tööstuses ja transpordis kasutatakse mitut tüüpi generaatoreid. Tuleb piirduda ühe generaatori ehituse vaatlamisega, mis on kujutatud joonisel 11. See on pidevalt töö-



Joonis 11. Gaasigeneraator.

tav aparaat, kus kütus ja puhumine liiguvad vastupidises suunas (vastuvoolus), mehhaniseeritud kütuse täitmise ja tuha väljahitamisega. Kütus liigub renni 1 mööda pöörlevasse trumliisse 2, mis on varustatud vaheseinaga. Sel ajal kui üht trumli jaotust täidetakse, langeb kütus teisest jaotusest generaatorisse. Koonus 3, mida võib paigutada mitmesugusele kõrgusele, reguleerib kütuse jaotamist. Tuhk eemaldatakse generaatorist pöörleva resti 4 abil, mis on eraldi kujutatud joonisel 12. Resti aeglasel pöörlemisel koguneb tuhk generaatori seinte juurde ja sealt punkritesse, kust ta perioodiliselt välja võetakse. Tuleb rõhutada, et kirjeldatud generaator kujutab enesest täiuslikult mehha-

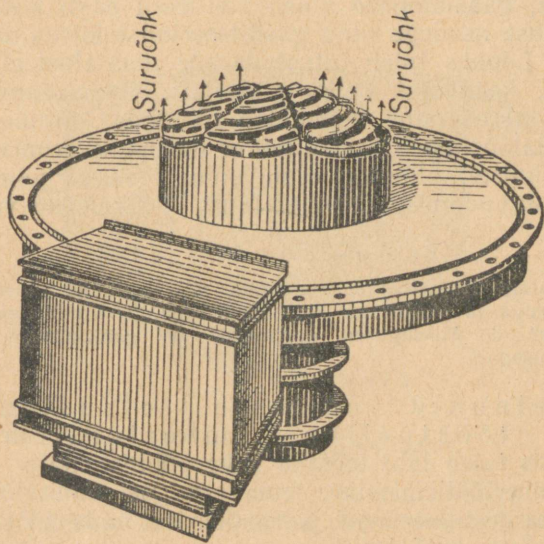
niseeritud aparaati. Generaator varustatakse automaatseadistega, näiteks alaline temperatuur hoitakse suruõhus automaatse reguleerimise teel.

Lõpuks on vaja peatuda viimasel ajal saavutatud tehni-

listel edusammudel gasifitseerimise alal ja gaasitööstuse asutamisel meie maal.

XIX partei kongress näitas vajadusele kasutada laialt hapnikku tahke kütuse gasifitseerimiseks.

Et selgitada kasulikkust, mis ilmneb õhu asendamisel hapnikuga gasifitseerimise juures, võib vaadelda vesigaasi tootmisprotsessi. Kuna reaktsioon süsiniku ja veeauru vahel on endotermiline, teostatakse protsess järgmiselt: kütuse kihi läbi juhitakse õhku, kusjuures tema temperatuur tõuseb kuni  $1100^{\circ}$ . Siis katkestatakse õhu andmine gene-



Joonis 12. Pöörlev tuhaest.

raatorisse ning hakatakse andma veeauru. Algab vesigaasi tekkimine. Siinjuures jahtub aga kütus ja selle tõttu lastakse generaatorisse uuesti õhku. Seega protsess koosneb kahest vahelduvast staadiumist — õhu ja veeauru puhumisest. See teeb protsessi käsitamise väga keerukaks. Protsess muutub pidevaks, kui veeaurule lisada võrdlemisi vähe puhast hapnikku. Siis temperatuur generaatoris ei

muutu, sest soojus, mis on vajalik süsiniku reageerimiseks veeauruga, saadakse süsiniku reageerimise arvel hapnikuga.

Edasi võib märkida, et linnade ja tehaste varustamiseks gaasiga, kütus gasifitseeritakse tema tootmiskohal 10—20 at surve all. Kõrgema rõhumise kasutamise tõttu saadud gaas sisaldab palju metaani ja tal on kõrge kütteväärtus. Seda gaasi transporditakse torude kaudu sadade kilomeetrite kaugusele.

Uutest gasifitseerimise meetoditest pakub suurt huvi peenekspurustatud kütuse gasifitseerimine. Kui sarnase kütuse kihi läbi puhuda suure kiirusega, siis kiht muutub rabedaks, gaasitaolised ained puutuvad hästi kokku üksikute kütuse osadega ning gasifitseerimise kiirus tõuseb tugevasti. Lõpuks tuleb jutustada söe maa-alustest gaasistamisest, kasutades õpiku materjale. Gaasistamise protsessiga tutvunemine võimaldab rõhutada, milline tähtsus on keemiatööstuse tootmise juures mehhaniseerimisel, automatiseerimisel, pideval vastuvoolul, reageerivate ainete pinna suurendamisel, temperatuuri ja rõhumise valikul.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Kirjutage reaktsioonide võrrandid, mis toimuvad kivisöe gaasistamisel õhuga ja veeauruga koos hapnikuga. 2. Kuidas on ehitatud generaator? 3. Missugused paremused on gaasikütusel võrreldes tahke kütusega?

Õppetunnid õpilaste tutvustamiseks nafta tööstusliku ümbertöötlemisega. IX klassis tuleb läbi töötada kaks põhilist nafta tööstuslikku ümbertöötlemisviisi, tema esialgset ümbertöötlemist, s. o. nafta destilleerimist, ja teistkordset ümbertöötlemist — naftasaaduste krakkimist.

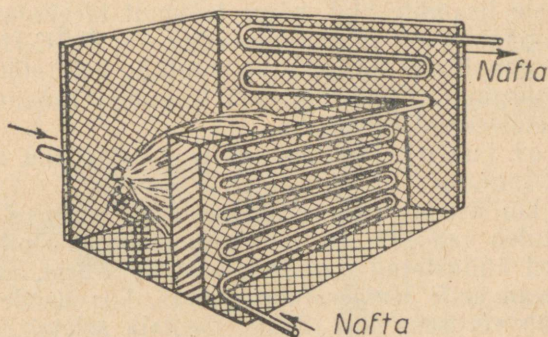
Nafta ja tema töötlemisviiside käsitlemisele on otstarbekohane asuda peale seda, kui on õpitud küllastatud ja küllastamata süsivesinikud.

Nafta käsitlemisele pühendatakse 3 tundi. Esimesel tunnil õpitakse tundma nafta omadused ja koostis, naftasaaduste omadused ja kasutamine, teisel tunnil — nafta tööstuslik töötlemine, kolmandal tunnil nafta krakkimine.

Esimesel tunnil tutvuvad õpilased naftasaaduste omadustega, vaadeldes kollektsioone ning kasutades tabeleid. Suurt tähelepanu tuleb pöörata õpilaste tutvustamisele bensiini, petrooleumi, määrdeõlide sortide ja oma-

dustega. On vaja näidata katseid, mis tutvustavad bensiini kerge lenduvusega võrreldes petrooleumiga, bensiini kerge süttivusega ning plahvatavate segude tekkimisega tema aurust ja õhust.

Bensiine jaotatakse vastavalt nende kasutamisele aviaatsiooni ja auto bensiinideks. Ligroiini kasutatakse traktorite kütusena. Petrooleumi tarvitatakse traktorite kütusena ning valgustamiseks. Solaarõli läheb diiselkütteks. Määrdeõlid jaotatakse vastavalt nende kasutamisele värtna-, silindri-, masina- ja muudeks õlideks. Masuuti kasutatakse katla kütusena tehaste ja vedurite kolletes (pihustajate abil) ja keemiliseks töötlemiseks (vaata edasi).



Joonis 13. Toruahju ehituse skeem.

Õpilasi on vaja tutvustada ka bensiini antidetonatsiooni omadustega.

Füüsika kursusest on õpilastele teada, et automootoris käib bensiini auru ja õhu segu plahvatus siis, kui kolb on jõudnud ülemisele «surnud punktile». Süttides põleb segu ühetasaselt ning surub kolvi teatud kiirusega, aga ilma tõuge-teta, tagasi. Mida tugevamini on bensiini auru segu õhuga kokku surutud, seda suuremat võimsust arendab mootor, seda vähem suhteliselt kulutab ta bensiini. Kuid mitmed bensiini sordid teatud kokkusurumise astme juures põlevad erakorraliselt suure kiirusega. Tekkinud põlemise produktid tekitavad momentaalselt suure rõhumise ning lük-kavad kolvi tagasi tõukega. Seda nähtust nimetatakse

detonatsiooniks. Selle läbi rikutakse mootori rütmilist tööd, silindrites on kuulda tugevat kolinat. Mootori võimsus langeb, kuna bensiini kulu suureneb. Detonatsiooni juures kulub mootor tugevasti.

Bensiini mitmed sordid kannatavad kokkusurumist ilma detonatsioonita mitmes astmes. Suurem kalduvus detonatsioonile on küllastatud süsivesinikel normaalse süsiniku aatomite ahelaga. Hargnevad süsivesinikud ning samuti küllastamata süsivesinikud kannatavad suuremat kokkusurumist, s. o. detoneerivad vähem. Bensiini vastupidavust detonatsioonile iseloomustatakse oktaanarvuga. Mida kõrgem on bensiini oktaanarv, seda parem on tema kvaliteet. Naftast saadud bensiinidel on oktaanarv 50 kuni 70.

Oktaanarvu võib tõsta bensiini täiendaval töötlemisel või eriliste lisandite abil, kõige laiemalt tarvitatav lisand (antidetonaator) on tetraetülseatina —  $Pb(C_2H_5)_4$ , mis segus orgaaniliste ainetega on tuntud kui etüülvedelik (väga mürgine). Etüülvedelikust lisandiga bensiini nimetatakse etüleeritud bensiiniks.

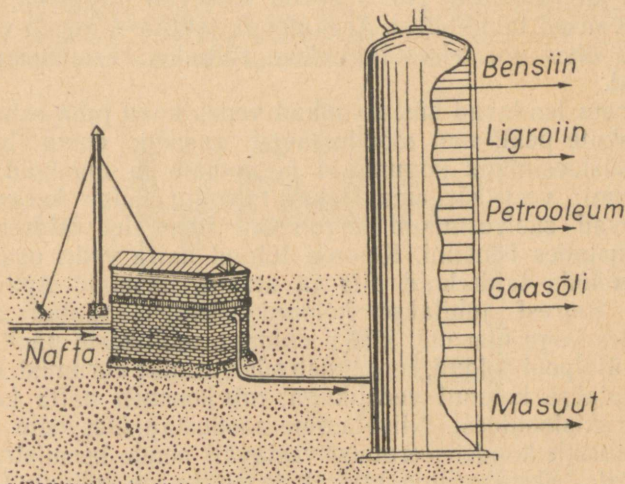
Teisel tunnil õpitakse nafta tööstuslikku destilleerimist.

Enne kui asuda nafta destilleerimise protsessi käsitlemisele, tuleb vaadelda destilleerimise aluseid. Õpilastel on teadmised küllastatud aurude rõhust ja sellest, et vedelikud keevad selle temperatuuri juures, kus nende aurude rõhk saab võrdseks õhu rõhule. Õpetaja seletab, et nafta koostisse kuuluvatel süsivesinikel on mitmesugune küllastatud aurude rõhk ning et nad sellepärast keevad mitmesuguse temperatuuri juures. See on seoses nende molekulaaluga. Süsivesinikud vähema molekulaaluga keevad madalama temperatuuri juures ja on kõige lenduvad, süsivesinikud suurema molekulaaluga keevad kõrgema temperatuuri juures ja on vähem lenduvad.

Õpilastele tuleb näidata nafta destilleerimise katset, mis tõendab võimalust naftat jagada fraktsioonidesse vastavalt keemistemperatuuridele. Nafta puudumisel võib katse jaoks võtta bensiinist, petrooleumist ja masinaõlist valmistatud segu. Naftast on võrdlemisi lihtne eraldada kergesti keevaid fraktsioone, kuid vähelenduvate destillaatide eraldamine põrkab vastu raskustele, sest selleks on vaja tugeva kuumutamise, mille juures algab juba süsivesinike keemiline lagunemine. Tekib küsimus, kuidas tõsta raskete süsivesinike lenduvust, ilma et naftat tugevasti kuumutada.

Füüsika kursusest on õpilastele teada, et seda on võimalik teostada, kui destilleerimine läbi viia vaakumis (siis küllastatud aurude rõhk võib kergesti ületada nõrga välise rõhu), või lisades täiendavalt naftaga mitteseguneva vedeliku auru, näiteks veeauru (siis nende vedelike aurude summaarne rõhk võrdlemisi kergesti ületab õhurõhu). Nafta destilleerimisel kasutatakse mõlemaid meetodeid.

Peale veeauruga nafta destilleerimise katse näitamist ning õpilaste poolt destilleerimise teaduslike aluste oman-



Joonis 14. Tööstuslik seadeldis nafta destilleerimiseks (toruahi ja rektifikatsiooni kolonn).

damise kontrollimist võib üle minna tootmisprotsessi kirjeldamisele. Pole vaja peatuda nafta destilleerimisel vananenud aparaatide juures, sest see on juba möödunud etapp nafta tehnikas. Nüüdisaegne destilleerimine teostub toruseadeldistes. Õpilasi tuleb tutvustada nafta destilleerimise tehaste põhiaparaatide ehituse ja töötamisega — nafta kuumutamise toruahju ja rektifikatsiooni kolonniga nafta fraktsioneerimiseks. Toruahi (joonis 13) kujutab enesest ehitust, mis seestpoolt on vooderdatud tulekindla tellisega, ning milles asub spiraalatoru, mis koosneb väga suurest arvust üksteisega ühendatud terastorudest (üldine spiraal-

toru pikkus võib tõusta kahe kilomeetriteni). Ahju kuumen-  
datakse põleva masuudiga, mis pihustajaga sisse pritsitakse.  
Nafta surutakse läbi torustiku pumba abil. Ahjus viibi-  
mise ajal tema soojeneb kuni 300—325 kraadini ning läheb  
rektifikatsiooni kolonni vedeliku ja auru seguna.

Rektifikatsiooni kolonn, kuni 40 meetrit kõrge, sisaldab  
umbes 30 horisontaalset avadega vaheseina, nõndanime-  
tatud taldrekut (joonis 14).

Nafta fraktsioneerimisprotsessi võib õpilastele seletada  
järgmiselt: vedelik ühes aurudega tuleb toruahjust alu-  
misse kolonni ossa. Nafta aurud tõusevad ülespoole, läbi-  
ides avauseid taldrekutes. Aegamööda jahtudes, aurud vedel-  
duvad ühes või teises taldrekus, sõltudes keemistempera-  
tuurist.

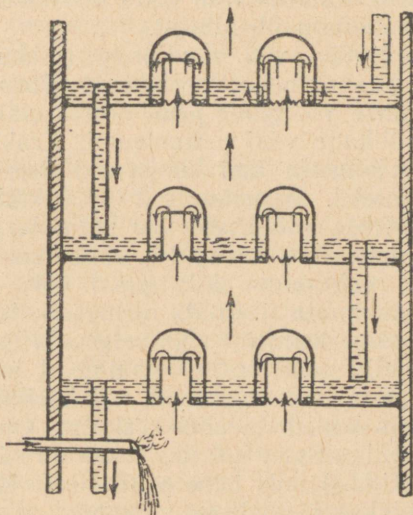
Vähem lenduvad süsivesinikud vedelduvad juba esimeste  
taldrekute peal, nad moodustavad gaasõli; enam lendu-  
vad süsivesinikud kogunevad kõrgemale ja annavad pet-  
rooleumi; veel kõrgemal tekib ligroiin; kõige kergemini  
lenduvad süsivesinikud kogunevad ülemistel taldrekutel,  
moodustades bensini. Kolonni tulnud nafta vedel osa val-  
gub mööda taldrekuid alla ja annab masuudi. Aparaa-  
di põhja juurest juhitakse kolonni ülekuumendatud auru.  
Läbides kogu masuudi kihi peenimate mullikeste näol, aur,  
nagu ülalpool öeldud, kergendab süsivesinike aurumist. Ülalt  
niisutatakse kolonni vedelikuga, mis koosneb nafta kergetest  
fraktsioonidest. Niisutamine soodustab ülespoole tõus-  
vate aurude kondenseerumist vastavalt nende keemistempe-  
ratuurile. Skemaatiline taldrekute ehitus on näidatud joo-  
nisel 15. Avadele, millede kaudu tõusevad ülespoole aurud,  
on kinnitatud lühikesed torukesed, mis on kaetud laine-  
liste äärtega kuplitega. Süsivesinike aurud võivad vabalt  
läbi pääseda avadest kupli ja taldreku kokkupuutumise  
kohal. Taldreku peal kondenseeruv vedelik jookseb mööda  
ühendustoru allpool asuva taldreku peale. Niisugune sea-  
deldis võimaldab seda, et iga taldreku peal käivad ühe-  
aegselt kondenseerumise ja aurumise protsessid. Oletame,  
et taldreku peal juba on vedeliku kiht. Sellest vedelikust  
läbitungivad aurud kuumutavad teda ja muudavad  
auruks temas sisalduvad kõige lenduvamad süsivesinikud.  
haarates neid kaasa järgmise taldreku peale. Samal ajal  
kõige vähem lenduvad süsivesinikud, mis aurus sisalduvad,  
jahtuvad vedelikus ja kondenseeruvad taldreku peal. Rekti-  
fikatsiooni protsess käib mitmekordselt rea taldrekute peal

ja annab ainete segu jaotamiseks fraktsioonidesse keemistemperatuuriga teatud piirides.

Antud tootmises kasutatakse laialt soojusevahetust, saadud fraktsioonide soojus kasutatakse toruahju mineva nafta eelsoojendamiseks.

### Küsimused.

1. Missugused põhilised naftasaadused on meile tuntud? Missugused omadused on neil? Milleks neid tarvitatakse? 2. Missugusele füüsika seadusele on rajatud nafta destilleerimine? 3. Kuidas on ehitatud ja töötab toruahji? 4. Kuidas on ehitatud destilleerimise kolonn ja kuidas toimub temas nafta jaotamine fraktsioonidesse? 5. Mis otstarbeks juhitakse kolonni ülekuumendatud aur? 6. Kuidas kasutatakse soojusevahetuse printsiipi nafta destilleerimisel?



Joonis 15. Rektifikatsiooni kolonni taldrekute ehituse skeem.

Kolmandal tunnil õpitakse nafta krakkimist. Krakkimine on omanud nüüd väga suure tähtsuse, kuna ta võimaldab tõsta kergete produktide väljatulekut ning parandada nende kvaliteeti.

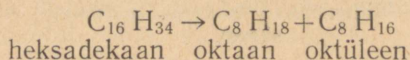
Vihjates, et krakkimise leiutajaks on Venemaa teadlased, õpetaja seletab tema olemuse, s. o. vastavad keemilised

protsessid. Mitmesugused süsivesinikud satuvad krakkimise juures igakülgsete muudatuste alla — molekulide lagunemine väiksemateks, isomerisatsioon, polümeerisatsioon, aromatisatsioon jne. Keemia tundidel tuleb peatuda ainult ühel protsessil kõige olulisemal — suurte molekulide lagunemisel väiksemateks, s. o. krakkimise tulemusena kergete destillaatide saamine raskematest. Süsivesinike krakkimist võib õpilastele demonstreerida. Eelnevalt selgitatakse neile, et suurte molekulide lagunemisel vähemateks **tekivad mitte** ainult küllastatud süsivesinikud, vaid ka küllastumata. Lagunemine võib toimuda nii põhiliselt, et tekivad ka gaasitaolised produktid.

Harilikult arutavad õpilased huviga küsimust, kuidas seada vastav katse ning kuidas võib avastada krakkimisel tekkivad produktid. Katseks võib võtta petrooleumi, mis on puhastatud küllastumata ühenditest.

Krakkimist võib läbi viia raudtorus (pikkusega 50—60 cm), mis suletakse asbest-korkidega. Toru kuumutatakse süte, priimuse või gaasi peal. Ühest otsast lastakse lehtrist torusse tilkade viisi petrooleumi. Krakkimise produktid juhitakse jahutaja läbi klaaspurki, kus kondenseeruvad vedelad ained. Gaasitaolised produktid juhitakse edasi ning kogutakse silindrisse vee välja tõrjumise teel. Vedelas produktis võib avastada küllastumata süsivesinikke harilike reaktiivide abil; gaasi võib kontrollida põlevuse ja küllastumata ühendite olemasolu teel.

Vaadeldud nähtuse kemismi võib selgitada heksadekaani  $C_{16}H_{34}$  näitega. Kui seda naftas sisalduvat süsivesinikku kuumutada kõrgema temperatuurini, kui hariliku destilleerimise juures, siis katkeb ta ahel keskosas. Õpilased tulevad kergesti järeldusele, et kui üks tekkinud süsivesinikest on küllastatud ( $C_8H_{18}$ ), siis teine peab olema küllastumata ( $C_8H_{16}$ ). Koostatakse reaktsiooni võrrand:



Tekkinud ained on kergemini lenduvad kui algaine; nad võivad juba kuuluda bensiini või ligroïini fraktsiooni. Küllastumata süsivesinike ilmumine tõstab bensiini antide-tonatsioonilisi omadusi võrreldes bensiiniga, mis on saadud otsesest destilleerimisest.

Krakkimise juures tekkinud süsivesinikud võivad osaliselt laguneda edasi veel väiksemateks molekulideks. Seepärast

tekivad krakkimise juures vedelate produktide kõrval gaasitaolised ained, sealhulgas ka küllastumatud.

Küllastumata ainete tekkimisele gaasides tuleb õpilaste tähelepanu pöörata, sest et edaspidi tuleb kõne alla krakkimise gaaside ärakasutamine mitmesuguste orgaaniliste ainete saamiseks, mis, nagu teada, praegusel ajal on üheks tähtsamaks orgaanilise sünteesi viisiks. Võib tähendada õpilastele, et krakkimise temperatuuri tõstmisel kasvab gaaside tekkimine, sest et molekulide katkemine algab mitte üksi ahela keskosas, vaid ka ahela otsades, sellest aga tuleneb, et juba esimesel staadiumil tekivad gaasitaolised produktid.

Kuidas teostatakse krakkimist tööstuslikes tingimustes? Krakkimisele lähevad mitmesugused naftasaadused mitmesuguseks otstarbeks, ning krakkimine toimub seetõttu mitmesugustes tingimustes: nafta kuumutamisel 400 kuni 500 kraadi piirides ning 15 kuni 60 at rõhu all. Krakkimisel rõhu all paraneb soojuse edasiandmine (produkti soojenemise kiirus), krakkimise seadeldis osutub produktiivsemaks.

Naftaproduktide soojendamine vajaliku temperatuurini teostatakse krakkimisel toruahjudes. Krakkimise tulemusena tekib gaasitaoliste ainete segu, mis rektifikatsiooni kolonnides üksikuteks fraktsioonideks eraldatakse.

Katalüsaatorite kasutamine krakkimisel võimaldab protsessi kiirendada ning juhtida neid soovitavas suunas. Katalüsaatoriteks kasutatakse, näiteks alumiiniumsilikaate. Ühel mitmest tarvitatavast viisidest liigub katalüsaator, 2—3 mm läbimõõdus kerade näol, vertikaalses reaktoris ülalt allapoole naftaproduktide aurudele vastu. Siinjuures sadenevad katalüsaatori pinnale tahked süsiniku ühendid, mille tulemusena katalüsaator kaotab aktiivsuse. Et katalüsaatori mõju taastada, juhitakse teda reaktorist regeneraatorisse, kus süsiniku ühendid põletatakse. Selle järele viiakse katalüsaator uuesti reaktorisse.

Pärast seda kui nafta tööstusliku töötlemise põhiliste protsesside olemus õpilastele tuttav on, võib põhjalikumalt, kui seda harilikult tehakse teema sissejuhatuses, käsitleda nafta ja naftatöötlemise tähtsust maa rahvamajanduses.

Kõige esmalt seletatakse õpilastele, et ilma arenenud naftatööstuseta pole võimalik laialdane aviatsiooni, autotranspordi, traktorite massilise kasutamise ning üldse mitmesuguste sisepõlemismootorite kasutamise arendamine,

millega nii tihedalt on seotud nüüdisaegne tehniline progress.

Mehhanisatsiooni laialdane kasutamine kõikides rahvamajanduse harudes, tehnika pidev kasv maal, nõuavad mehhanismide raketeta käiku ning järelikult nende oskuslikku käsitamist, eelkõige nende liikuvate osade määrimist vastavate õlidega. Nafta on määrde materjalide varustaja.

Keemiliste meetodite rakendamine (näiteks krakkimine) annab võimaluse muuta rasked süsivesinikud kergemateks, ning seega tõsta maa bensiini tagavarasid, muuta normaalsed süsivesiniku ahelad hargnevateks ning saada küllastumata ja aromaatilisi süsivesinikke (viimased saavad varsti õpilastele tuttavaks).

Nende süsivesinike rühmade sisalduvuse suurenemine bensiinis tõstab mootorkütuse antidetonatsiooni omadusi ning kasutatavate mootorite võimsust.

Naftatööstuse kemiseerimine pole suunatud mitte ainult kütte probleemide lahendamisele. Ta annab võimaluse naftat laialt kasutada kui toorainet mitme väärtusliku produkti saamiseks.

Tuletades õpilastele meelde hariliku nafta krakkimise gaaside koostist, võib õpetaja, näiteks osutada etüülpiirituse saamisele etüleeni hüdreerimise teel, butadieni saamisele butaanist reaktsiooni  $C_4H_{10} \rightarrow C_4H_6 + 2H_2$  järgi kautšuki sünteesiks jne.

Mitmed tähtsad sünteesid nafta gaasidest pole siin õpilastele veel arusaadavad; mõnedega nendest nad tutvunevad edaspidisel orgaanilise keemia õppimisel. Edasi saavad nad teada ka mõne naftatöötlemise vedelprodukti keemilisest ärakasutamisest, näiteks aromaatiliste süsivesinike kasutamisest ravi ja värvainete valmistamiseks.

Võib teatada õpilastele, et mõnikord teostatakse krakkimist eriti nii, et tekiks võimalikult rohkem väärtuslikke produkte järgnevaks keemiliseks töötlemiseks. Nii, näiteks pürolüüs-krakkimise juures, mis viiakse läbi temperatuuril  $700^\circ$ , tekib palju gaase, mis on rikkad küllastumata süsivesinike (kõige aktiivsemad reaktsiooniks), ning aromaatiliste süsivesinike poolest. Naftatöötlemisel võib tähele panna samad üldised teaduslikud printsiibid, mis olid näidatud teiste tootmiste õppimisel. Kuid siin rakendatakse ikka laiemalt katalüsaatorite mõjutust ning tooraine kompleksset ärakasutamist mitmesuguste produktide saamiseks.

Metalli, söe ja elektrienergia kõrval on nafta kogu rahvamajanduse arengu aluseks. Sellepärast pühendavad kommunistlik partei ja Nõukogude valitsus naftatööstuse arengule alalist tähelepanu.

Enne revolutsiooni toodeti Venemaal naftat peaaegu eranditult Kaukaasias. Nõukogude valitsuse ajal on välja uuritud ning eksploatatsiooni antud paljud uued leiukohad. Peamisi leiukohti võib õpilastele näidata geograafilisel kaardil. Nafta tootmine peab viiendal viisaastakul suurenema 85% võrra. Primaarse töötlemise (destilleerimise) tehaste võimsus peab viisaastaku jooksul kasvama 2 korda, krakkimistehaste võimsus aga 2,7 korda. Lähematel aastatel on võimalik tõsta meie maal naftatoodangut kuni 60 miljoni tonnini aastas.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Mis otstarbeks teostatakse naftaproduktide krakkimist? 2. Milles erineb krakkimisprotsess nafta fraktsioneeritud destilleerimisest? 3. Kirjutage reaktsiooni võrrand, mis toimub süsivesiniku  $C_{12}H_{26}$  krakkimisel. 4. Kuidas on ehitatud ja töötab krakkimisseadeldis? 5. Millega erineb koostise poolest krakkimibensiin harilikul destilleerimisel saadud bensiinist ja mis tähendus on sellel tema kasutamise juures mootorküttena? Kuidas võib praktiliselt neid kaht bensiini liiki ära tunda? 6. Missugused ained kuuluvad krakkimisgaaside koostisse ja missugust kasutamist nad leiavad?

Õppetunnid õpilaste tutvustamiseks äädikhappe tootmisega. Keerulisematest orgaanilistest sünteesidest tootmises pakub kõige suuremat huvi koolis õppimiseks äädikhappe süntees. See on tingitud nii selle aine erakorralisest tähtsusest rahvamajanduses kui ka tehnika tüüpilisusest keerulisest orgaanilisest sünteesist nüüdisaja tööstuse tootmisprotsessis.

Kui väljuda looduslikust toorainest, siis äädikhappe tootmises võib välja tõsta järgmised neli põhifaasi: kaltsiumkarbiidi saamine, atsetüleeni saamine, atsetaldehyüdi saamine ning viimaks, aldehüüdi oksüdeerumine äädikhappeks.

Kaltsiumkarbiidi tootmisega lubjast ja söest on otstarbekohane õpilasi tutvustada peale söe keemiliste omaduste käsitlemist teemas «Süsinik». Atsetüleeni tootmist kaltsiumkarbiidist hüdrolyüsi teel on otstarbekohane vaadelda teema «Atsetüleen» lõpul. Õppetundidel, mis on pühendatud äädikhappega tutvumiseks, jääb sel juhul läbi vaadata

ainult atsetüleeni hüdratatsioon ja aldehüüdi oksüdeerimise protsessid, samuti läbi vaadata äädikhappe sünteetilise saamise üldine tehnoloogiline skeem.

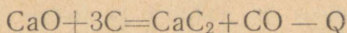
Et anda õpilastele mõiste happe tootmise kõigist neljast staadiumist, on vaja üldiselt kulutada kaks õppetundi: pool tundi kaltsiumkarbiidi — ning pool tundi atsetüleeni tootmisega tutvustamiseks ja tund aega tutvustamiseks järgmiste tootmise staadiumidega.

Allpool tuuakse materjal äädikhappe saamise kõikide staadiumide valgustamiseks.

Süsiniku omaduste õppimisel, õpilased omandavad teadmisi nagu oli öeldud, kaltsiumkarbiidi tootmisest.

Kõrge temperatuuri juures võib süsinik mitte ainult redutseerida metalle nende oksüüdidest (selle omadusega tutvunevad õpilased) vaid astuda ka metallidega keemilisse ühendusse, milliseid nimetatakse karbiidideks.

Kõige suuremat praktilist tähtsust nendest ühenditest omab kaltsiumkarbiid, mis saadakse lubja reageerimisel koksi või antratsiidiga;



Suur hulk kaltsiumkarbiidi läheb atsetüleeni saamiseks, mida tarvitatakse paljude orgaaniliste ainete tootmiseks, näiteks: äädikhappe, sünteetilise kautšuki jne.

Elektriahi kaltsiumkarbiidi sulatamiseks kujutab enesest terasest vanni, mis seestpoolt on vooderdatud tulekindla ainetega. Vanni asetatakse söeelektroodid, milledesse lastakse elektrivool.

Ahi täidetakse lubja, koksi või antratsiidiga, mis on peenendatud 30—50 m/m mõõdeteni. Nende ainete ahju panemine doseeritakse automaatselt töötava kaaluga.

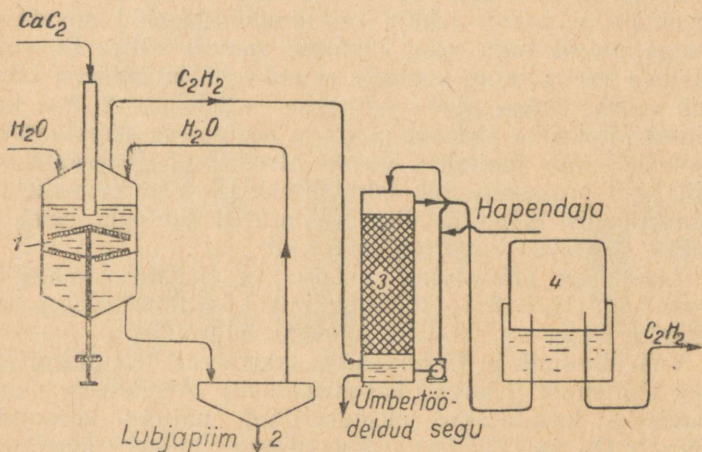
Elektroodide ja šihti vahel tekib kaarleek; soojus eraldub ka šihti enese elektrilise takistuse arvel. Selle tulemusena püsib temperatuur ahjus 2000° ümber. Reaktsiooni juures eralduv süsinikoksüüd põleb ära. Kaltsiumkarbiidi saamise protsess on seotud elektroodide suure kuluvusega nende aeglase põlemise tõttu. Et protsess ahjus võiks toimuda pidevalt, elektroodid asendatakse uutega sedamööda kuidas nad põlevad (elektroodide valmistamiseks kasutatakse massi söest, kivisöest, tõrvast ja pigist).

Tekkiv vedel kaltsiumkarbiid koguneb vanni põhja, kust ta perioodiliselt eriaavauste kaudu välja lastakse. Vedelik valatakse vormidesse. Kangid jahtuvad 12—14 tunni jook-

sul ja lähevad siis tükeldamisele, sorteerimisele ja pakkimisele rauast veekindlatesse trumlitesse.

Atsetüleenil õppimisel tutvuvad õpilased tema tööstusliku saamisega.

Atsetüleenil saadakse tehnikas kui ka laboratooriumis vee toimel kaltsiumkarbiidisse. On olemas kaks põhiliiki aparaati, milles saadakse atsetüleenil: ühed neist töötavad printsiibil «vesi karbiidi peale», teised printsiibil «karbiid vette». Samal printsiibil töötavad ka laboratooriumi seadmed atsetüleenil saamiseks. Kui õpetaja demonstreerib õpi-



Joonis 16. Atsetüleenil tootmise seadeldise skeem.

lastele selle gaasi saamist, valades pikkamisi lehtri kaudu vett toruga kolbi, millesse on asetatud kaltsiumkarbiid — siis on see viis «vesi karbiidi peale». Kui õpilased saavad atsetüleenil katseklaasis, visates sinna valatud vette kaltsiumkarbiidi tükikesi, siis on see viis «karbiid vette».

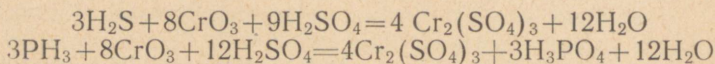
Nende laboratoorsete katsete arutluse järele on kerge üle minna tutvumisele tööstuslike seadmetega.

Tööstuslike seadmete skeem, mis töötab printsiibil «karbiid vette», on toodud joonisel 16. Aparaat kujutab enesest vertikaalset reservuaari 1, mis täidetakse veega kuni  $\frac{3}{4}$  tema mahust, ning milles asuvad kaks võrelist taldreku.

Ülemise taldreku peale lastakse kaltsiumkarbiidi tükikesi. Õhu sissepääsu ärahoidmiseks aparaati (atsetüleeni ja õhu segu plahvatab) koosneb täitmisseadeldis kahest punkrist, mis karbiidi sisselaskmisel kordamööda avanevad. Taldrekute kohal on kammid, mis on kinnitatud vertikaalse pöörleva võlli külge. Ülemisel taldrekul kammid tasandavad kaltsiumkarbiidi ning nihutavad teda pikkamisi aparaadi seinte juurde, kust ta teise taldreku peale langeb. Selle taldreku kaltsiumkarbiid nihkub kammide mõjul tsentrumi juurde. Vees lahustamatud lisandid langevad siin läbi avause aparaadi põhja ning lastakse sealt välja. Reaktsiooni juures tekkiv kaltsiumhüdrosüüd moodustab veega paksu segu ning lastakse samuti välja. Et väljalastava veega mitte kaotada atsetüleeni (atsetüleen lahustub vees), «lubja piim» juhitakse settenõusse 2, kus kaltsiumhüdrosüüd sadeneb põhja ja peale seda eemaldatakse, settevesi aga juhitakse uuesti atsetüleeni generaatorisse. Nii käib protssesis vee tsirkulatsioon. Vee asemele, mis reaktsioonis kulub ja ühes kustutatud lubjaga eemaldatakse, lisatakse uued kogused vett.

Atsetüleen puhastatakse, kuna ta sisaldab kahjulikke lisandeid ( $H_2S$ ,  $PH_3$  ja teisi), mis tekivad tehnilises kaltsiumkarbiidis sisalduvate lisandite hüdrolüüsil.

Väävelvesinik ja fosforvesinik takistavad atsetüleeni edasist töötlemist (rikuvad katalüsaatorit). Atsetüleeni puhastamiseks kasutatakse oksüdeerijaid, näiteks kroomsegu ( $Na_2Cr_2O_7$  ja  $H_2SO_4$ ). Kroomsegu toimel atsetüleeni lisandesse toimuvad reaktsioonid (võrrandid tuuakse mitte äraõppimiseks õpilaste poolt):

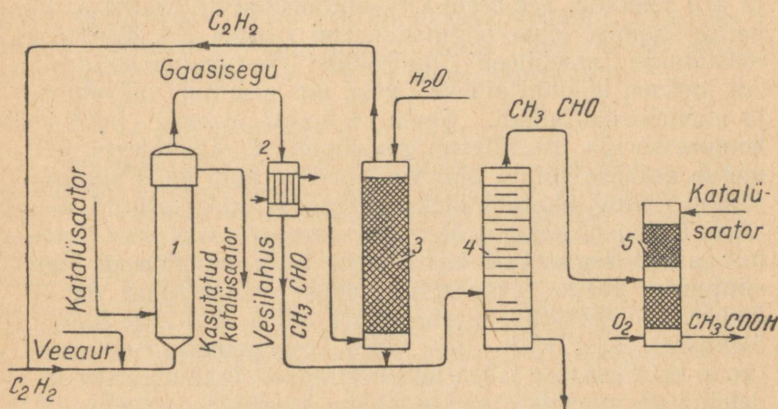


Suurtes seadeldistes kasutatakse märga puhastamist, mis võimaldavad protsessi pidevat toimumist. Pesemistorni 3, keraamilistest rõngastest koosneva sisseehitusega, juhitakse ülevalt kroomsegu, alt atsetüleeni. Sisseehitus tornis kindlustab suure kokkupuute pinna tekkimise gaasi ja oksüdeerija vahel ning sellega reaktsiooni täielikkuse. Torn töötab vastuvooluse printsiibil. Oksüdeerija ei kaota oma toimet torni ühekordsel läbimisel ning juhitakse tsirkulatsioonipumbaga uuesti niisutamisele. Oksüdeerija jäägid eemaldatakse tornist. Puhastatud atsetüleen kogutakse

gaasihoidlasse 4. Ohutuse mõttes ehitatakse gaasihoidlad väikesed. Äädikhappe käsitlemise ajal pühendatakse üks tund, nagu ülalpool öeldud, tutvumiseks tema tootmisega.

Äädikhappe tööstusliku saamise küsimusele tuleb üle minna siis, kui õpilased on hästi omandanud teadmised selle aine omadustest ja tema kasutamisest ning aru saavad, et äädikhappel on suur rahvamajanduslik tähtsus.

Kaugest minevikust alates saadi äädikhapet käärimise teel piiritust sisaldavatest vedelikest (veinid) alati õhus



Joonis 17. Sünteetilise äädikhappe tootmise seadeldise skeem.

liikuvate äädikhappe bakterite mõjutusel. Seda viisi kasutatakse ka nüüd lauaäädika saamisel. XIX sajandil hakati äädikhapet saama puidu kuivdestillatsioonil vedelatest produktidest. Seda viisi kasutatakse samuti praegusel ajal.

Hiljem, kui nõudmine äädikhappe järgi tohutult tõusis (seoses tekstiil-, värvi- ja maitseainete, farmatseutilise, plastmasside, kunstkiu tööstuste arenguga) tekkis vajadus äädikhappe saamise uute viiside järele. Tähtsam neist on viis, mis sai võimalikuks tänu M. G. Kutšerovi poolt avastatud reaktsioonile, atsetüleeni muutmine atsetaldehydiks elavhõbedasoolade juuresolekul.

Peab tähendama, et see tee — looduslike protsesside kasutamisest looduslike materjalide tööstusliku ümbertöö-

tamiseni ja siis produktide sünteetilise loomiseni — on väga iseloomustav mitmete teiste orgaaniliste ainete ja materjalide tootmisele.

Küsimuse käsitlemist, kuidas toota äädikhapet sünteetilisel viisil, tuleb alata tootmise aluseks olevate keemiliste reaktsioonide selgitamisega ning tehnoloogilise protsessi nelja staadiumi märkimisega.

Tuletades õpilastele lühidalt meelde varem omandatud teadmisi kaltsiumkarbiidi tootmisest ning viimases atsetüleenist saamist, tuleb üle minna õpilaste tutvustamisele Kutšerovi reaktsiooniga, see katalüütiline reaktsioon demonstreerida ja ära seletada. Seejärel tutvustatakse atsetüleenist äädikhappe saamise tehnoloogilist skeemi (joonis 17). Tootmises teostatakse atsetüleenist hüdrolüüsi kolonnaparatuurides 1. Alt jookseb kolonni pidevalt vesi, mis sisaldab väävelhapet ja elavhõbedaksüüdi. Sama kolonni osasse juhitakse kompressoriga atsetüleenist gaasihoidlast. Atsetüleenist juhtmesse antakse samal ajal vee auru, et hüdrolüüs paremini teostuks ning ohutum oleks kasutada kokkusurutud atsetüleenist. Tõusul kolonni ülemisse ossa (otsevooluse printsiibil) ained segunevad hästi, ning 60% atsetüleenist jõuab siinjuures veega reageerida. Lahuse temperatuur on 80° ümber. Läbitöötatud katalüsaatori lahus juhitakse kolonni ülemisest osast välja ja läheb regenererimisele, mille järel katalüsaator läheb uuesti kolonni. Tekkinud atsetaldehyüd on gaasilises olekus (tema keemistemperatuur 21°) ning väljub kolonnist reageerimata atsetüleenist vooluga.

Edasi atsetaldehyüd eraldatakse atsetüleenist, et viimast võiks uuesti hüdrolüüsi alla viia. See eraldamine sünnib jahutajas 2 ning neeldumistorus 3, mis niisutatakse veega. Aldehyüd lahustub vees ning läheb edaspidisele oksüdeerimisele, kuna atsetüleenist läheb kompressori, mis surub gaasi sünteesi kolonni. Nii teostub tsirkulatsiooni printsiip atsetüleenist hüdrolüüsil.

Saadud atsetaldehyüd vabastatakse veest, sest, et vee juuresolekul tema oksüdeerimine äädikhappeks toimub halvasti. Aldehyüdi väljastamine lahusest toimub rektifikatsiooni kolonnist 4, mille töötamise printsiip oli käsitletud ülalpool (vaata nafta töötlemine). Enne rektifikatsiooni kolonni juhtimist kuumutatakse aldehyüdi vesilahust. Kolonnist väljub küllaldaselt kontsentreeritud aldehyüdi (94—97%), mis läheb edasi oksüdeerimisele. Oksüdeerijana tarvitatakse tootmises õhku või hapnikku, mida sageli

tehakse protsessi intensiivistamiseks. Katalüsaatoriks reaktsioonile on mangaani soolad, mis varem äädikhappes lahustatakse. Äädikhape on üheaegselt ka ise selle oksüdeerimisreaktsiooni katalüsaator. Vedelad ja gaasilised produktid juhitakse oksüdeerimise kolonni 5 teineteisele vastu. Praktiliselt sünnib oksüdeerimise protsess nii: rõngastest sisseehitisega kolonni keskpaika juhitakse aldehüüd. Alt antakse kolonni õhku või hapnikku. Ülalt kolonn niisutatakse katalüsaatori lahuga. Oksüdeerimise kolonnist väljatulev äädikhape läheb puhastamise alla. Selleks soojendatakse teda keetjas, kust ta auruna, vabanedes katalüsaatorist, läheb edasi rektifikatsiooni kolonni. Reageerimata aldehüüd eraldub hapest ning läheb uuesti oksüdeerimisele. Puhas (97—99%) hape läheb lattu.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Nimetage kaltsiumkarbiidist äädikhappe saamise protsessi põhi- staadiumid. Kirjutage reaktsioonide võrrandid. 2. Missugused tingimused on vajalikud atsetüleenil muutmiseks aldehüüdiks? Missuguses aparaadis ning kuidas praktiliselt seda teostatakse tööstuses? 3. Kirjeldage aparaadi ehitusviisi ja töö, kus toimub atsetaldehüüdi oksüdeerimine. 4. Milleks kasutatakse rektifikatsiooni kolonni äädikhappe tootmises? Kirjeldage tema töötamisviisi. 5. Missugused tsirkulatsiooni protsessid teostatakse äädikhappe tootmisel ja mis otstarbeks? 6. Missugused käsitletud aparaatidest töötavad vastuvooluse printsii- bil ja missugused otseooluse printsii- bil? 7. Välja arvestada, mitu tonni äädikhapet võib saada 100 tonnist atsetüleenist 85% välja- tulekul.

#### Õppetunnid X klassis.

X klassi õpilased tutvuvad koksikeemilise tootmisega ning alumiiniumi, malmi ja terase tootmisega.

Õppetunnid õpilaste tutvustamiseks malmi ja terase tootmisega. Õpilaste tutvustamiseks malmi ja terase tootmisega jäetakse neli tundi.

Esimene tund pühendatakse õpilaste tutvustamiseks rauasulamite omaduste ja kasutamise, samuti ka rauamaakide koostisega. See tund viiakse läbi pärast seda, kui eelneval tunnil olid iseloomustatud raua füüsikalisi ja keemilisi omadusi ning oli öeldud, et puhas raud (käesoleval ajal on saadud rauda puhtusega 99,99%) on pehme ja plastiline metall sulamistemperatuuriga 1535° ümber.

Alguses on vaja õpilastele teatada, et sotsialistlik tootmine, mis pidevalt laieneb ja täiustub kõrgema tehnika

baasil, nõuab metalle kõige mitmekesisemate omadustega. Vastavalt nende nõudmistele toodab nõukogude metallurgia mitmesuguseid kõvu ja pehmeid teraseid, kiirlõike, kuumuskindlaid, happekindlaid ja palju teisi sulameid.

Siinkohal kursuses tuleb õpilastele seletada, et kahe metalli kokkusulamisel enamikel juhustel saadakse ühetaoline vedel lahus. Niisugused lahused tekivad näiteks raua kokkusulatamisel nikliga, koobaltiga, kroomiga ning teiste metallidega ja samuti mõnede mittemetallide ja liitainetega. Jahutamisel sarnane sulam võib jääda ühetaoliseks; siis öeldakse, et ta moodustas kõva lahuse. Kuid sageli juhtub, et jahutamisel metallide lahustuvus muutub ning mõni neist eraldub lahusest. Siis tekib sulam, mis koosneb mitmesugustest kristallidest, tahkest lahusest (vähema kontsentratsiooniga) ja liigsest metallist. Kokkusulatamisel tekivad sageli peale selle metallide keemilised ühendid. Ühesugust või erisugust sulamite struktuuri võib vaadelda spetsiaalses metallimikroskoobis, kui metalli lõiget siledaks lihvida ja happega söövitada: lihvi kõrvalt valgustamisel on kristallide kontuurid selgesti näha. Sulami füüsikalised omadused määratakse esimeses järjekorras tema struktuuriga — tekkinud kristallide tüübiga, nende suurusega, mitmesuguste kristallide vahekorraga sulamis. Sulami struktuur on tema keemilisest koostisest, lähteainete vahekorrast sulamis, tema saamise temperatuurist, jahutamise kiirusest, mehaanilistest ja termilistest mõjutustest tahkele sulamile. Metallid võivad kokku sulada mitte ainult omavahel, vaid ka mittemetallidega, näiteks süsinikuga, fosforiga, räniga ja muudega.

Tutvustamiseks raua sulamitega kasutatakse kollektioone, mis sisaldab kõiki malmi ja terase sorte.

Kõik rauasulamid jagunevad nende omaduste järgi kahte gruppi. Esimesse gruppi kuuluvad malmi mitmesugused sordid, teise — terase mitmesugused sordid. Malm on habras; terast võib taguda, valtsida, venitada, stantsida, sest ta on plastiline. Nüüdisaegses metallurgias rauamaakidest saadakse varem malm (kõrgahju tootmine), ning malmist — teras.

Koostise ja otstarbe järgi erinevad: ümbertöödeldav malm, mis edasi töödeldakse teraseks; valumalm, mis läheb mitmesuguste esemete valamiseks peamiselt masinaehitusele, ning spetsiaalalm — kõrgahju ferrosulamid, milliseid kasutatakse peamiselt lisanditena terase tootmisel.

Kuni 90% kõigest kõrgahjudes väljasulatatud malmist on ümbertöödeldav malm. Mitmesugustest ümbertöödeldavatest malmi liikidest tuleb lähemalt iseloomustada malmi, mida välja sulatatakse kivisöekoksi tarvitamisel (puusöega töötavad käesoleval ajal NSVL-s ainult mõned üksikud ahjud), ning tarvitatakse terase tootmiseks martäänahjudes. Tema sisaldab 3,9—4,3% C, 0,3—1,5% Si, 1,5—3,5% Mn, mitte rohkem kui 0,30% P ja mitte rohkem kui 0,75% S. Valumalm erineb suurema räni sisaldavuse (üksikud sordid sisaldavad kuni 4,25%), vähema mangaani ja vähema väävli sisaldavuse poolest — 0,02—0,05%. Süsinikku leidub malmis osalt rauakarbiidina  $Fe_3C$ , osalt grafiidina. Kõikides malmi liikides on süsiniku sisalduvus kõrge. Sellega malm erineb terasest, milles süsiniku sisalduvus harva ületab 1,4%. Teoreetiliseks piiriks, mis malmi ja terast lahutab, on süsiniku sisalduvus 1,7%.

Kõik terased võib jagada kahte gruppi: süsinikulised ja legeeritud.

Süsinikulised terased, nagu näha nimetusest, sisaldavad peaainetena rauda ja süsinikku, ning lisaainetena määratud hulgal räni, mangaani, fosforit ja väävlit. Sõltudes süsiniku sisaldavusest, tunneme meie mitmesuguseid pehmeid terase sorte (mitte rohkem kui 0,4% C), terased keskmise kõvadusega (kuni 0,6% C) ja kõvad terased (üle 0,6% C). Lubatav hulk teisi lisandeid on piiratud järgmiste arvudega: räni kuni 0,3%, mangaani kuni 0,5%, fosforit kuni 0,05%, väävlit kuni 0,05%. Näidatud hulkades need lisandid oluliselt terase omaduste peale mõju ei avalda. Väävel on kahjulik lisand, sest ta halvendab terase mehaanilisi omadusi. Terased sisaldavad väävlit rabedate ja kergestisulavate sulfiidide näol, mis sidet üksikute sulami terade vahel lõdvendavad, eriti metalli kuumutamise juures. Sellest on tulnud termin — «kuumalt murduv (habras)», lõhede tekkimine metalli kuumalt töötlemise juures. Fosfor suuremates hulkades põhjustab terase murdumise madalate temperatuuride juures — nõndanimetatud «külmalt murdumise».

Legeeritud terased sisaldavad suuremates hulkades mangaani, räni või elemente, mis terasele lisandatakse eriotstarbel, nagu näiteks kroomi, niklit, volframi, molübdeeni, vanaadiumi ja teisi.

Vabas olekus rauda leidub looduses harva, sellepärast saadakse tema sulameid rauaühenditest. Looduslikud

ained, milledest on majanduslikult kasulik saada raua sulameid, nimetatakse rauamaakideks.

On avastatud mitu sada rauda sisaldavat mineraali. Kuid malmi tootmiseks omavad tähtsust ainult mõned üksikud. Rauamaagi väärtust hinnatakse eelkõige tema raua sisalduvuse järgi. Maak sisaldab suuremal või vähemal hulgal ka lisandeid, mis koosnevad peamiselt ränimullast ( $\text{SiO}_2$ ), alumiiniumoksüüdist ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), kaltsiumoksüüdist ( $\text{CaO}$ ) ja magneesiumoksüüdist ( $\text{MgO}$ ). Soovitav on, et maak sisaldaks võimalikult väikese hulga selliseid elemente, nagu väävel ja fosfor, mis avaldavad terasele kahjulikku mõju. Väävlit leidub maakides suuremalt jaolt püriidi näol, fosforit apatiidi näol.

Rauamaakidest tuleb iseloomustada maake Krivoi Rogi, Kertši ja Magnitogorski leiukohtadest. Krivoi Rogi leiukoht on kõige võimsam NSVL-s. Maak sisaldab mineraali  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — punane rauamuld. Selles on keskmiselt umbes 59% rauda ning vähe väävlit ja fosforit.

Kertši leiukoha maagid sisaldavad raua ühendite kokkukujumisi, mida nimetatakse pruuniks rauamaagiks ning mis sisaldab  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  mitmesuguste hulkadega adsorbeeritud vett ja kivimit. Maagi rauasisaldavus on 33 kuni 40%. Maagis on reeglipäraselt palju fosforit ja väävlit.

Magnitogorski leiukoha maagid sisaldavad mineraali magnetiiti —  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetrauamaak). Kõrgahju tootmisel kasutatakse maaki rauasisaldavusega keskmiselt umbes 58%. Väävli ja fosfori sisalduvuse poolest on maak suuremalt jaolt lähedane Krivoi Rogi maagile. Tuleb märkida, et suurt huvi pakuvad magnetrauamaagi lademed Kurski magneetilise anomaalia piirkonnas.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Milles seisab malmi sarnasus ja milles erinevus terasest? 2. Niimetage malmi ja terase sordid. 3. Mida nimetatakse maagiks? 4. Misgustest keemilistest ühenditest koosnevad teile tuntud maagid?

Teine tund pühendatakse kõrgahju keemiliste protsesside tundmaõppimiseks.

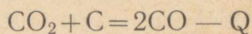
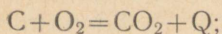
Peale õpilaste küsitlemist eelmiste tundide materjalide põhjal seletab õpetaja kõrgahju protsessi keemilise külje.

Rauda sisaldavate mineraalide vaatlemisest on näha, et nad kõik kujutavad enesest rauaoksüüde; selle tõttu tuleb malmi saamiseks kõrgahjus nendest oksüüdidest redutseerida raud. Materjalideks redutseerimisel on koks ja õhk.

Raskesti sulava kivimi ja tuha eemaldamiseks ahjust kasutatakse rübustajaid — lubjakivi, dolomiiti ja teisi materjale. Nii siis, lähteaineteks kõrgahjus malmi saamiseks on maagid, koks, rübustajad ja õhk.

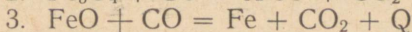
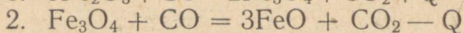
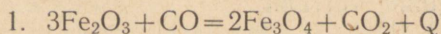
Missugused reaktsioonid toimuvad nende ainete vahel kõrgahjus?

Kõrgahi (joonis 20 ja 21) on aparaat, millesse ülevalt juhitakse rauamaak, koks ja rübustajad ning alt õhk. Alla langemisel soojeneb koks kerkivate kuumade gaaside mõjul ning puutudes kokku suruõhuga põleb kiiresti ahju alumises osas. Siinjuures tõuseb tugevasti temperatuur, seda enam, et suruõhk antakse kõrgahju kuumentatuna kuni  $500^{\circ}$ — $800^{\circ}$ . Tekkiv süsinikdioksüüd reageerib viibimata hõõguva koksiga moodustades süsinikoksüüdi. Nii toimuvad kõrgahju alumises osas kaks põhilist reaktsiooni:

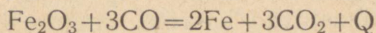


Tuleb meelde tuletada õpilastele, et teine eelnimetatud reaktsioonidest on pöörduv, ning reaktsioon toimub täielikult ainult temperatuuri juures üle  $1000^{\circ}$ . Teiste sõnadega, hõõguva koksi juuresolekul, mille temperatuur ületab  $1000^{\circ}$ , süsinikdioksüüd redutseerub täielikult süsinikoksüüdiks.

Süsinikoksüüdi mõjul maagile redutseerub viimasest pikkamisi metall:



Toodud võrrandite summeerimine annab võrrandi:



millest on näha, et üldiselt protsess toimub soojuse eraldumisega.

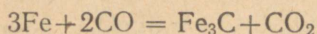
Kõrgahju protsessi tingimustes on esimene reaktsioon praktiliselt mittepöörduv; kuid teine ja kolmas reaktsioon on pöörduvad.

Seetõttu süsinikoksüüd ei lähe täielikult redutseerimise protsessi läbiviimiseks ning kõrgahjust väljuvad gaasid (nõnda nimetatud kõrgahju, või kõrgahju suudme gaasid) sisaldavad väga palju kasutamata süsinikoksüüdi. Kõrg-

ahju gaasis on kuni 30% süsinikoksüüdi, 10% süsinikdioksüüdi, vähe vesinikku ja metaani, ülejäänud on lämmastik. Gaasil on kütteväärtus, mis on lähedane generaatorgaasi kütteväärtusele ja teda tarvitatakse kütusena metallurgia ja koksiahjudes.

Raua redutseerimise kiirus suureneb temperatuuri ja rõhu tõstmisel. Suurt mõju reaktsiooni kiiruse peale avaldavad maagi tükkide suurus ja nende mõõtude ühetaolisus. Et protsess toimuks kiiresti ning kasvaks kõrgahju töö intensiivsus (väljatulek kõrgahju mahu üksuse kohta)<sup>1</sup>, on soovitatav, et maagi tükid oleksid võimalikult ühetaolised ja vähemad. Raud redutseeritakse kõrgahjus peaaegu täielikult (99,8%). Aega kõrgahju täitmise momendist maagiga kuni temast saadud malmi väljalaskmiseni kulub 7—10 tundi. Gaasid aga läbivad kõrgahju keskmiselt 3 sekundi jooksul. Kõrgahjus redutseeruvad mitmesuguse täiuslikuse astmega ka teised elemendid. Redutseerimise aste sõltub tingimustest. Räni redutseerimiseks on vaja kõrgemat temperatuuri, kui teiste elementide redutseerimiseks. Fosfor redutseerub peaaegu täielikult ning lähed malmi. Alumiiniumoksüüd, kaltsiumoksüüd ja magneesiumoksüüd kõrgahju sulamise tingimustes ei redutseeru ja lähevad täielikult räbuisse.

Redutseeritud rauas sulab süsinik. Peale selle raud reageerib süsinikuga, tekib rauakarbiid, mis samuti rauas sulab. Rauakarbiid tekib peamiselt reaktsiooni juures, millel on järgmine võrrand:



Sulami sulamistemperatuur, mis koosneb rauast, süsinikust ja rauakarbiidist, on märksa madalam, kui puhtal raual. Teras (4,3% C) sulab temperatuuri juures umbes 1140°. Rauas lahustuvad ka räni, magneesium, fosfor ja väävli ühendid ning tekib vedel malm. Väävelraua ja kaltsiumoksüüdi reageerimisel  $\text{FeS} + \text{CaO} = \text{FeO} + \text{CaS}$  malm osaliselt vabaneb väävli ühenditest.

Vedel malm jookseb kõrgahju põhja (tema erikaal on 6,9), kus tema temperatuur tõuseb 1450°.

Viimaks on vaja lühidalt peatuda räbu tekkimise protsessil. Aheraine ja kütuse tuha kokkusulamise rübustaja-

<sup>1</sup> Kõrgahju tootmises on kombeks hinnata ahju töö intensiivsust vastassuurusega — ahju mahu kasutamise koefitsiendiga.

tega tekib räbu. Räbu kujutab enesest sulamit, milles sisalduvad räni-, alumiiniumi-, kaltsiumi- ja magneesiumoksiidid, ning samuti kaltsiumsulfiidid. Räbu mis saadakse ümbertöödeldava martäänmalmi tootmisel, sisaldab umbes 36%  $\text{SiO}_2$ , 12%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 44%  $\text{CaO} + \text{MgO}$  ja 5%  $\text{CaS}$ . Sarnane räbu tahkub umbes  $1250^\circ$  juures, tema erikaal 2,5 — on tunduvalt madalam, kui malmil. Ühe tonni malmi kohta tekib 0,6 kuni 1 tonn räbu. Räbu hulga vähendamiseks ning, järelikult, kõrgahju tootmisvõime tõstmiseks on vajalik maakide ja kivisöe rikastamine.

### Küsimused ja ülesanded.

1. Kirjutage reaktsioonide keemilised võrrandid, mis toimuvad kõrgahjus. 2. Missugustel tingimustel toimub kõrgahjus: a) süsinikoksiidi tekkimine, b) raua redutseerumine, d) malmi saamine? 3. Miks sisaldab kõrgahju gaas palju süsinikoksiidi? 4. Missugune otstarve on kõrgahju protsessis: a) koksil, b) rübustajail?

Kolmas tundi. Peale eelmiste tundide materjalide kordamist õpetaja läheb üle kõrgahju tootmise tehnika küsimuse käsitlemisele.

Malmi sulatamise protsessi võib jaotada kolme staadiumi.

1. Maagi, koksi ja rübustajate ettevalmistamine ning nende laadimine kõrgahju, samuti õhu kuumutamine ja sissepuhumine.

2. Malmi sulatamine.

3. Malmi ja räbu väljavõtmine ja nende äravalamine.

Seoses nüüdisaegse kõrgahju tootmise tohutu ulatusega on kõik operatsioonid materjalide ettevalmistamisel ja sisselaadimisel mehhaniseeritud ja tunduval määral varustatud automaatse juhtimisega.

Suured maagi tükid peenendatakse. Tükeldamis-sorteerimistehastes peenendatakse suuretükilised maagid, näiteks, kuni 50 mm läbimõõdus ja vähemateks. Peenendatud maak läheb läbi sõela pisikeste tükkide ja tolmu eraldamiseks, mis edasi tükkideks suurendatakse.

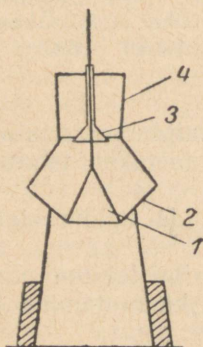
Suuremad tükid jaotatakse nende suuruse mõõdu järgi ja saadetakse kõrgahju.

Tükkideks suurendamine käib peamiselt aglomeratsiooni meetodil. Aglomeratsiooni masin — pidevalt töötav aparaat — kujutab enesest konveierit, mis koosneb liikuvatest kärudest. Maak segatakse peenendatud kütusega, laadi-

takse aglomeratsiooni masina kärude restide peale kihina kuni 250 mm, süüdatakse leeklambiga põlema ning imetakse õhku ülalt alla. Siinjuures põleb kütus ära ning peenmaak sulab kokku. Suurem osa väävlit, mis püriidi ja väävelraua koostisse kuulub, põleb aglomeratsiooni juures ära.

Et raua sisaldavust maagis tõsta ning kahjulike lisandite sisaldavust vähendada, maake rikastatakse, s. o. mitmesuguste võtetega jagatakse maak kontsentraadiks suurema raua sisaldavusega. Lihtsaim rikastumise meetod on maagi pesemine veega. See meetod on rakendatav nende maakide juures, mille aheraine koosneb savi massist, mis raua sisaldavatest mineraalidest kergesti eraldub. Levinenud on samuti rauamaakide elektromagneetiline rikastamiseviis, mis põhjeneb üksikute mineraalide erinevale magneetilisele tundlikkusele.

Sulatamiseks ettevalmistatud materjalid mahutatakse kõrgahju juures asuvasse punkritesse, sealt lähevad vagonkaalu peale, kus nad kaalutakse ning sealt tõstevagonetti, mis materjali kõrgahju peale tõstab. Tõstevagonett liigub mööda kallak-tõstukit, mis kujutab enesest metallkonstruktsiooni, mida mööda käivad kahed roopad. Peale täislaadimist liigub tõstevagonett kõrgahju peale ning puistab oma koorma kõrgahju laadimise aparraati. Ajal kui täislaaditud vagonett üles liigub, läheb tühjendatud vagonett alla.



Joonis 18. Laadimise aparraadi skeem.

Laadimisaparraat (joonis 18) mis kõrgahju peal on üles seatud, koosneb suurest koonusest 1 lehtriga 2 ning väikesest koonusest 3 lehtriga 4.

Maak, koks ja rübustajad tulevad tõstevagonetist väikesse lehtrisse väikese koonuse kinniolekul.

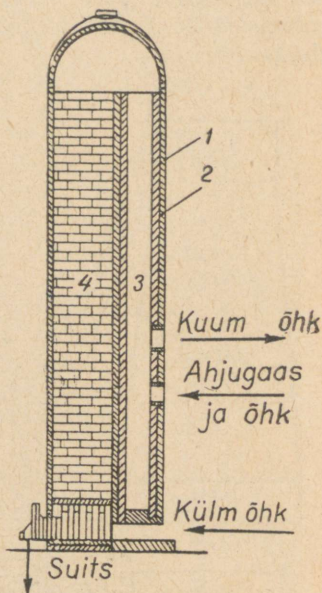
Koonuse allalaskmisel langeb materjal suurde lehtrisse. Peale suure lehtri täitmist lastakse tema koonus alla ja materjal puistatakse ahju. Sel ajal on väike koonus üles tõmmatud ning sulab lehtri, takistades gaasi pääsu ahjust välja. Nii saavutatakse ahju täitmise hermeetilisus. Käesoleva aja kõrgahjudes on kõik täitmiseiga seotud operatsioonid, arvult üle 50, mitte ainult mehhaniseeritud, vaid

ka automatiseeritud. Kogu täitmise süsteemi juhib ainult üks inimene.

Ühe tonni malmi väljasulatamiseks on vaja kõrgahju sisse puhuda kuni  $3500 \text{ m}^3$  õhku 3 at rõhu all. Õhk peab olema kuumutatud kuni  $500^\circ\text{--}800^\circ$ , et koksi kulu vähendada, tõsta gaaside temperatuuri ahju alumises osas ning vastavalt tõsta reaktsioonide kiirust.

Õhupuhumiseks kasutatakse peamiselt võimsaid masinaid õhupuhumisturbiine. Need töötavad auruga kõrgrõhu katteldest, milles põletatakse kõrgahju gaasi.

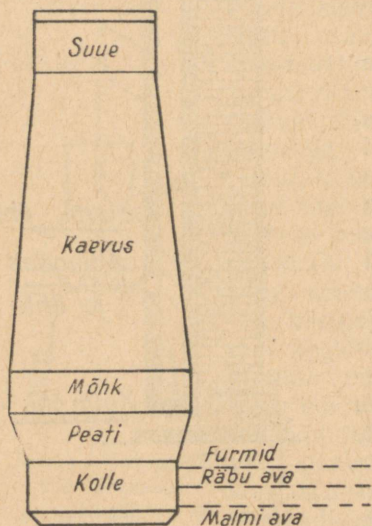
Suruõhu kuumutamist teostatakse kõrgahju gaasi põletamise arvel õhusoojendajates, mis on kujutatud joonisel 19. Õhusoojendaja töötamise printsiip on regeneratiivne. Aparaat kujutab enesest kõrget terasest torni 1, mis seestpoolt on vooderdatud tulekindla tellisega 2 ja täidetud tulekindla sisseehitusega 4, mis soojeneb kõrgahjugaasi põletamise juures tekkivate kuumade gaaside läbikäigul aparaadis. Õhusoojendaja sisemuses on üles seatud silindrikujuline põlemise kamber 3 avausega,



Joonis 19. Õhusoojendaja.

mille kaudu kõrgahju gaas ning õhk sisse tulevad. Kui sisseehituse temperatuur on teatava piirini tõusnud, suletakse kuumade gaaside pääs aparaati ning juhitakse temast läbi soojendatav õhk vastupidises suunas. Iga kõrgahi on varustatud mitme õhusoojendajaga (mitte alla kolme). Nüüdisaegne kõrgahi on võimas aparaat kasuliku mahuga kuni  $1400 \text{ m}^3$  ja enam, mis ööpäeva jooksul toodab kuni 1800 tonni malmi. Suurema kõrgahju kasulik kõrgus ületab 30 meetrit. Kõrgahi on pideva töötamisega aparaat, milles tahked ained ja gaasid liiguvad vastupidises suunas. Otstarbekohane on tutvustada õpilasi esmalt ahju profiiliga (joonis 20).

Ahju profiil vastab nõuetele, luua soodsad tingimused selleks, et sulatatavad ained pikkamisi allapoole liiguks ning tekkivad gaasid nendega hästi kokku puutuksid. Seoses ahju profiiliga tuleb lühidalt iseloomustada tema iga üksiku osa tähtsust: kõrgahju suue, kaevus, mõhk, peati ja kolle. Koldesse kogunevad vedel malm ja räbu, kolde ülemises osas toimub koksi põlemine ja gaasistamine. Kaevuses ahju osa, kus peamiselt käib raua redutseerimine, mõhas ja peatiosas toimub peamiselt malmi ja räbu moodustamine.



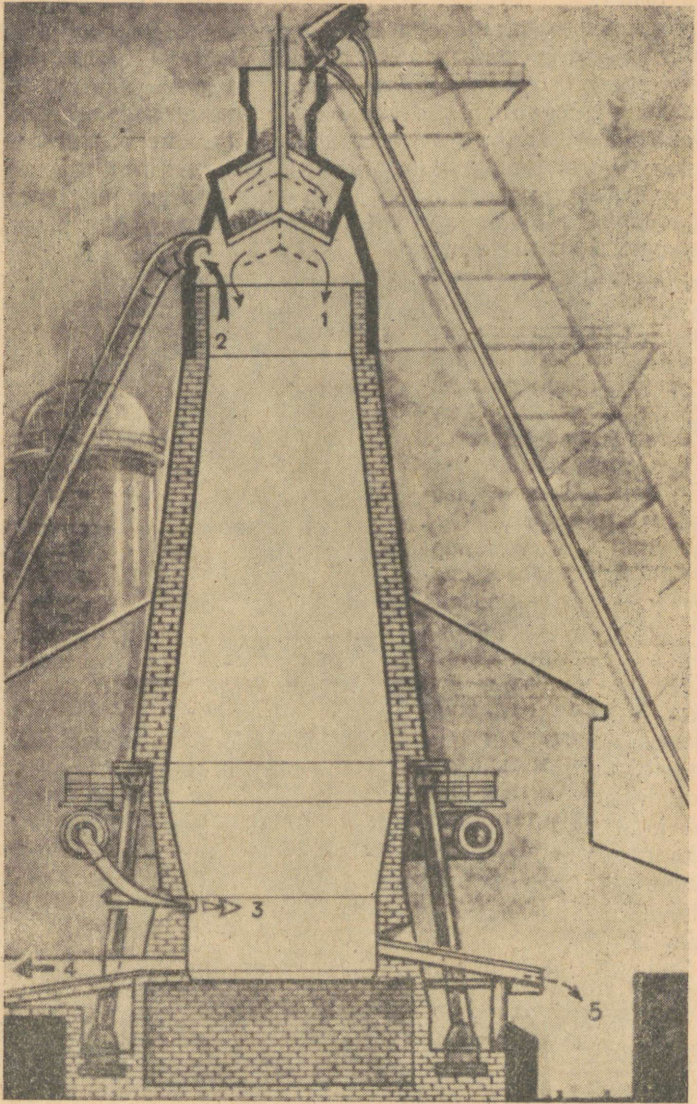
Joonis 20. Kõrgahju profiil.

Kõrgahju läbilõige on kujutatud joonisel 21.

Ahi ehitatakse tulekindlast materjalist ning on väljastpoolt ümbritsetud terassoomusega. Ahju alumiste osade, ühes arvatud osa kaevusest, seinad jahutatakse veega. Kolde alumises osas asuvad avad malmi ja räbu väljalaskmiseks. Üleval on ülesseatud tuulepiibud (kuni 16 tk.), millede kaudu õhk pääseb ahju ringikujulisest torust, mis ahju ümberringi ümbritseb. Gaas juhitakse ära ahjust nelja gaasi juhtmega, mis eemal ühinevad üheks toruks.

Malm koguneb kolde alumises osas, räbu-malmi peal, ning takistab seega malmi oksüdeerumist. Malm ja räbu lastakse kõrgahjust välja perioodiliselt, nii kuidas nad kogunevad. Malmi lastakse harilikult välja 6 korda ööpäeva jooksul võrdsetes ajavahemikes, räbu 2—3 korda sagedamini.

Et koldest malmi välja lasta, tehakse vastavasse avasse (kitsas kanal, mis on täidetud tulekindla massiga) renn kuni 50 mm läbimõõdus. Peale malmi väljalaset täidetakse ruum uuesti tulekindla massiga. See operatsioon täidetakse mehhanismide abil. Renni sulgemise masinat nimetatakse «puška'ks», ta koosneb õõnsast silindrist, mis täidetakse



Joonis 21. Kõrgahi. 1. Räbustajate laadimine. 2. Kõrgahju gaaside väljumine. 3. Puhumine. 4. Malmi väljalask. 5. Räbu väljalask.

tulekindla massiga; viimane pressitakse renni auru või õhu rõhul.

Nüüdisaegsetes metallurgia tehastes antakse malm suuremalt osalt terasesulatamise tsehhi vedelas olekus. Tänu sellele hoitakse kokku kütus, mis on vajalik malmi sulatamiseks. Kõrgahju avadest jookseb malm rennide mööda tulekindla tellisega vooderdatud metallkoppa. Nendes kopades malm transporteeritakse töötlemise kohta. Osa malmi valatakse välja mitmesuguste masinatega malmi saamiseks tahkes olekus. Valamise masinatel on rida pidevalt liikuvaid valamuid. Malm valatakse kopast valamusse. Valamu liikumise ajal malm jahtub ning muutub kõvaks. Valamu lahtikeeramisel sisu langeb välja ning veeretatakse raudteeplatvormile.

Räbu transporteeritakse räbuvedajates. Räbu kasutamisel ehitusmaterjalina läheb tema vedelas olekus granulatsiooni seadeldisse.

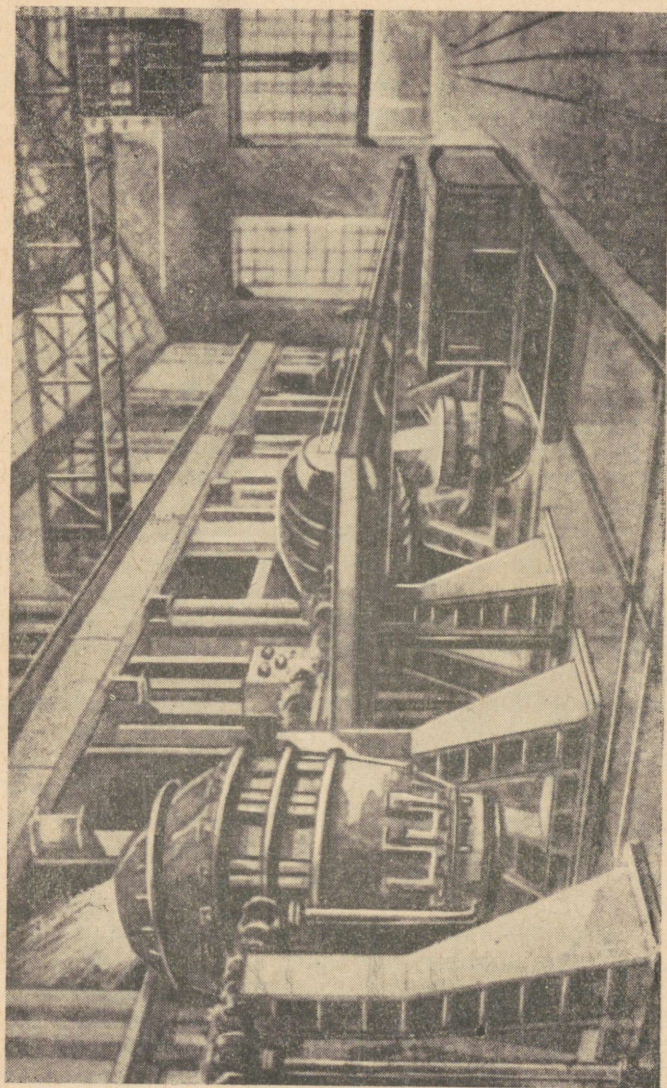
#### Küsimused ja ülesanded.

1. Missugusteks staadiumideks jaguneb kõrgahju protsess? 2. Kirjeldage: a) kõrgahju, b) õhusoojendaja ehitusviisi. 3. Kuidas toimub lähteainete ettevalmistamine ja laadimine kõrgahju? 4. Kuidas soojendatakse kõrgahju tulevat õhku? 5. Kirjeldage: a) malmi väljasulatamise, b) malmi ja räbu väljalaske protsesse. 6. Milles seisab kõrgahju tootmise mehhaniseerimine?

Neljas tund pühendatakse terase tootmisele malmist. Võrreldes õpilastele, juba tuntud terase ja malmi koostisi, õpetaja määrab terasesulatamise tootmise ülesanded; malmist tuleb suurem osa temas sisalduvatest lisanditest — süsinikust, ränist, mangaanist, samuti väevilist ja fosforist — eemaldada. Selle ülesande lahendamiseks malm sulatatakse oksüdeerimise eesmärgil — mittesobivate ja liigsete lisandite muutmiseks oksüüdideks, mis lähevad räbusse või eemalduvad gaasiliste ainetena (süsinikoksüüd).

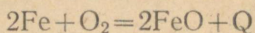
Selle ülesande lahendamise meetodid on leiutatud XIX sajandi teisel poolel. Neid võib jagada kolme gruppi: 1) terase tootmine retortides, kusjuures õhk puhutakse läbi vedela metalli: (bessemeri ja toomase meetodid), 2) terase tootmine leekahjudes (martääni meetod), 3) terase tootmine elektriahjudes.

Esmalt tuleb õpilasi tutvustada reaktsioonidega, mis toimuvad õhu puhumisel läbi vedela malmi. Hapnik reageer-

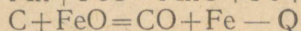
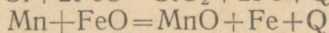
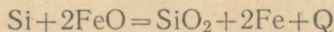


Joonis 22. Bessemeri konverter.

rib sulamis sisalduvatest elementidest peamiselt rauaga, moodustades raudoksüüdi:



Teised elemendid oksüdeeruvad peamiselt raudoksüüdide mõjul, kuid mitte vaba hapnikuga:



Protsess ei nõua kütuse kulu, sest et soojus tekib ekso-termiliste reaktsioonide arvel, peamiselt räni oksüdeerimise arvel. Kuid selleks peab malm sisaldama kaunis suure hulga räni — 0,9 kuni 1,8%. Räni oksüdeerumisel tekivad happelised räbud kõrge ränimulla sisaldavusega. Väavli ühendid antud protsessis peaaegu ei muutu. Malmis sisalduv fosfor praktiliselt ei oksüdeeru. Selle tõttu kasutatakse protsessi ainult malmi ümbertöötamiseks, mis sisaldab vähe fosforit ja väavlit.

Joonisel 22 on kujutatud Bessemeri konverter. See kujutab enesest retorti, mida võib pöörata kallakseisu tema täitmiseks malmiga või tühjendamiseks. Retort on tulekindla materjaliga vooderdatud terasest nõu. Bessemeri retortides on vooder ränimullane — hapu, sest et tekkivad räbud on hapud.

Retordi põhi kujutab enesest resti, mille kaudu retorti juhitakse õhk (joonis 23), protsessi käik retordis on järgmine. Retort kallutatakse, temasse valatakse malm temperatuuriga umbes 1300° ümber ja puhutakse suruõhku. Aegamööda viiakse retort vertikaalsesse asendisse. Esimese 4—5 minuti jooksul toimub raua, räni ja mangaani oksüdeerumine ning temperatuur tõuseb umbes 1550 kraadini.

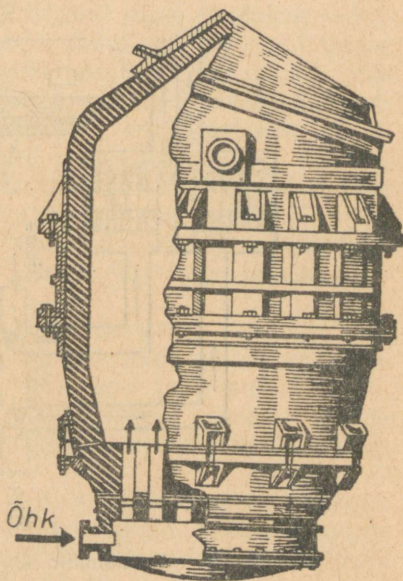
Siis algab süsiniku oksüdeerumine. See periood kestab samuti 5 minuti ümber. Kolmandal perioodil lõpeb räni ja mangaani oksüdeerumine ning toimub raua oksüdeerumine. Et terast vabastada hapnikust ning tõsta räni ja mangaani sisaldavust vajaliku normini, terasesse juhitakse redutseeriija — ferromangaan, ferroräni. Protsess kestab üldiselt lühikest aega kuni 15—20 minutit. Ööpäeva jooksul võib teha kuni 90 sulatamist.

Malmi ümbertöötamise protsess retortides on kõrgevää-

tuslik — ta ei tarvita kütust, kuid tema kasutamise võimalused pole suured, sest ümber töötada sel viisil võib ainult mõned malmi sordid. Peale selle tekivad suured metalli kaod — raua põlemine. Saadud terasel on omadused, mis tema kasutamise võimalust piiravad.

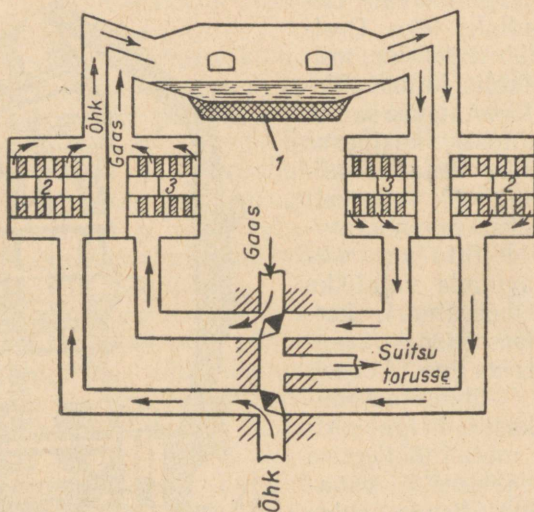
Malmi teraseks ümbertöötamise peamiseks meetodiks on käesoleval ajal leiutatud martäänmeetod.

Asudes tutvuma selle meetodiga, on vaja esmalt tema iseloomustavad erisused kindlaks teha. Protsess toimub leekahjus, milles gaasitaolist kütust põletatakse (kasutatakse samuti vedelkütust), kusjuures kütus kui ka tema põlemiseks vajalik õhk eelnevalt soojendatakse regeneraatorites. Selle tõttu on võimalik saavutada vajalikku kõrget temperatuuri, kergesti protsessi temperatuuri reguleerida jne. Avaneb võimalus ümbertöötamiseks ära kasutada igat sorti malmi, metallitöötlemise tööstuse jäätmeid, vanarauda, ning lisada sulamile osalt ka rauamaaki. Samal ajal on võimalik laias ulatuses muuta väljasulatavate teraste koostist, saada nii pehmeid venitamiseks ja stantsimiseks kõlbulikke teraseid, kui ka kõige kõvemaid — instrumentaal, masinaehituse ja teisi teraseid. Martäänahjus teostub lisandite oksüdeerumine mitte ainult vaba hapnikuga (mis sisaldub kütte gaasides), vaid ka hapnikuga, mis rauamaagi, tagi ja rooste koostisse kuulub. Martäänahi on kujutatud läbilõikes joonisel 24. Tema peaelementideks on vann I ja regeneraatorid: õhu — 2 ja gaasi — 3. Viimaste ehitusviisil pole vaja peatuda, sest nende töötamise printsiip on sama, mis õhusoojendajatel kõrgahju



Joonis 23. Bessemeri konverter (skeem).

tootmisel. Erinevus seisab selles, et puudub põlemiskamber, sest kütte gaasid, mis ahju tööruumist väljuvad, ei sisalda süsinikoksüüdi. Võimsad ahjud on kuni 25 m pikad ja kuni 7 m laiad. Ahjus on aknad lähtematerjalide laadimiseks ja malmi sissevalamiseks. Laadimine ja valamine on mehhaniseeritud, kõige raskem operatsioon — toormaterjalide laadimine — teostatakse kaasaegsetes tehastes laadimismasinate abil.



Joonis 24. Martäänahju ehituse ja töötamise skeem.

Kütusena martäänahjudes kasutatakse suuremalt jaolt kõrgahju- ja koksigaasi segu — see põleb ahju tööruumis täielikult ära, ei anna tahma, tekitab hästi nähtava leegi, mis soodustab töö reguleerimist. Tarvitatakse ka generaatorgaasi, samuti vedelkütust — masuuti, mis ahju pritsitakse pihustajatega. Õhk ja gaas soojenevad regeneraatorites umbes 1200 kraadini, leegi temperatuur tõuseb kuni 1750 kraadini. Regeneraatorite ümberlülitamine sünnib umbes 20 minuti pärast.

Martäänahi on perioodilise töötamise aparaat. Ahju võlvid tehakse käesoleval ajal kõrgele temperatuurile eriti vastupidavatest kroommagneesiitellistest. Kohe peale terase väljalaskmist heidetakse kuuma ahju põranda ja

kallakseinte remondiks tulekindlaid materjale (põletatud dolomiit). Siis laaditakse teatud järjekorras vanarauda, rauamaaki, lupja, malmi. Peale tahkete ainete kuumutamist valatakse ahju vedelat malmi. Tekkiv räbu eraldatakse. Lisandid põlevad pikkamisi ära: enne põleb räni, osalt mangaan, ning metalli kihi peale ilmub räbu kiht. Peale räbu eemaldamist algab nõndanimetatud keemine — see on periood, mille vältel käib energiline süsiniku oksüdeerumine. Gaasimullikeste läbitungimine vedeliku kihist annab mulje, nagu keeks vedelik. Protsessi lõpul lisatakse redutseerijaid. Sulatamise lõpu poole jälgitakse hoolikalt terase seisukorda, kasutades ekspree-analüüsi meetodeid, mis võimaldavad mõne minuti pärast vastata küsimusele lisandite sisaldavusest terases. Valmis teras lastakse väljalaskeavade kaudu mööda renni joosta koppadesse, kust ta valamutesse kallatakse. Martäänahju tööd kiirendatakse hapniku kasutamise teel. Praktiliselt oli see läbi viidud esmakordselt Nõukogude Liidus. Katselised sulatamised olid läbi viidud 1932. a. hapnikuga rikastatud õhu kasutamisel.

Peale Suure Isamaasõja lõppu viis grupp insenere eesotsas akadeemik J. P. Bardiniga martäänahju tootmispraktikasse hapniku tarvitamise, mille eest talle anti 1948. a. Stalini preemia. Hapniku tarvitamisel tõuseb ahjude tootmisvõime, langeb kütuse kulu, suureneb terase väljatulek.

Elektriahjudes on soojuse allikaks elektrienergia. Kasutatakse kaht tüüpi ahje — kaarahjud, milledes soojus tekib elektrikaare tekkimise tõttu elektroodide ja «šihti» (segu) vahel, ning induktsioonahjud, milledes soojust saadakse metallis indutseeritava elektrivoolu arvel.

Elektriahjude kasutamise erinevus seisab selles, et ta võimaldab saavutada tööruumis kõrgemaid temperatuure ja tekitada redutseerivat õhkkonda. Seega võib saada teraseid, mis on legeritud raskesti sulavate elementidega (volfram, molübdeen ja teisi).

Tunni lõpposa pühendatakse Nõukogude Liidus metallurgia alal saavutatud edusammudele ning tema arendamise perspektiividele. Õpilastele tuleb selgitada partei XIX kongressi otsuseid musta metallurgia alal ning ära kasutada ajalehtedes ja žurnaalides toodud andmeid kõrgahju mahu kasuliku kohaldamise koefitsiendist, terase kiirsulatamise meistrite edusammudest.

Uhe tähtsama näitajana meie metallurgia edusammudest võib tuua seda tõsiasi, et tööproduktiivsus kõrgahjutsehides NSV Liidus on käesoleval ajal 20 korda suurem, kui revolutsioonieelsel Venemaal. See on saavutatud kommunistliku partei juhtimisel, võimsa sotsialistliku võistluse arendamise, tehnoloogilise protsessi täiustamise, tootmisprotsesside mehhaniseerimise ja automatiseerimise tulemusena.

#### Küsimused ja ülesanded.

1. Missugune on raua sisaldavus (protsentides) järgmistes ühendites:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , mis rauamaakide koostises esinevad? Kui palju malmi võib saada 95% raua sisaldavusega 1 tonnist magnetrauamaagist, mis sisaldab 58% rauda, kui väljatulek on 99%? 3. Missugused on malmi ümbertöötamise viisid teraseks? 4. Kirjutage Bessemeri konverteris toimuvate reaktsioonide võrrandid. 5. Milles seisab martääniviisil terase tootmise paremus võrreldes bessemeri viisiga? 6. Kuidas on ehitatud ja töötab martäänahi? 7. Miks kasutatakse martääntootmisel regeneraatoreid? 8. Missugused ülesanded musta metallurgia alal viiendal viisaastakul on püstitatud NLKP XIX kongressi poolt?

---

## KIRJANDUST OPETAJALE:

### A.

Маркс К., Капитал, т. I, кн. 1-я, М., Госполитиздат, 1949, гл. 9—13.

Маркс К. и Энгельс Ф., Инструкция делегатам временного Центрального Совета по отдельным вопросам. Соч., т. XIII, ч. 1-я, стр. 195—204.

Маркс К., и Энгельс Ф., Принципы коммунизма. Соч., т. V, стр. 476—479.

F. Engels. Anti-Dühring, Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

V. I. Lenin. Noorsooühingute ülesannetest. Valitud teosed II k. Eesti Riiklik Kirjastus, 1946.

Ленин В. И., О политтехническом образовании. (Заметки на тезисы Надежды Константиновны). Соч., т. XXX, изд. 3-е, стр. 418—419.

J. V. Stalin. Sotsialismi majandusprobleemid NSV Liidus. Eesti Riiklik Kirjastus, 1953.

J. V. Stalin. Kõne esimesel üleliidulisel stahhaanovlaste nõupidamisel. Leninismi küsimusi. Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

G. Malenkov. Aruandekõne ÜK(b)P Keskkomitee tööst partei XIX kongressile. Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

Partei XIX kongressi direktiivid NSV Liidu arendamise viienda viie aasta plaani kohta aastaiks 1951—1955. Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei XIX kongressi resolutsioonid. Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

### B.

Общая химическая технология, под ред. акад. С. И. Вольфковича, т. I, М.—Л., Госхимиздат, 1952.

Егоров А. П., Шерешевский А. И., Шманенков И. В., Курс технологии минеральных веществ, М.—Л., Госхимиздат, 1950.

Эпштейн Д. А., Научные основы химического производства. Вып. I, изд-во АПН РСФСР, 1952.

Малин К. М. и др., Технология серной кислоты, М.—Л., Госхимиздат, 1950.

Атрощенко В. И. и др., Технология азотной кислоты, М.—Л., Госхимиздат, 1949.

Позин М. Е., Технология минеральных солей, М.—Л., Госхимиздат, 1949.

Хомяков В. Г. и др., Технология электрохимических производств, Госхимиздат, 1949.

Буталов В. А., Технология металлов, Metallurgizdat, 1953.

Технология нефти. Гостоптехиздат, 1952, т. I—Гуревич И. Л.; т. II—Обрядчиков С. Н.; т. III—Черножуков Н. И.

### C.

О преподавании химии в семилетних и средних школах. Метод. письмо Управления школ Министерства просвещения РСФСР, М. Учпедгиз, 1951.

Материалы к проведению секций августовских учительских совещаний в 1952 г. Химия, изд. АПН РСФСР, М., 1952.

Скаткин М. Н., Некоторые вопросы политехнического образования, «Советская педагогика», 1951, №8.

Шаповаленко С. Г., О политехническом обучении в средней общеобразовательной школе, «Советская педагогика», 1951, № 11 и 12.

Шаповаленко С. Г., Преподавание химии в школе и подготовка учащихся к практической работе, М., изд-во АПН РСФСР, 1952.

Фельдт В. В., Подготовка учащихся к практической деятельности в процессе преподавания химии, «Известия АПН РСФСР», вып. 32, 1950.

Верховский В. Н., Техника и методика химического эксперимента в школе, т. I и II. Учпедгиз, 1952.

Цветков Л. А., Эксперимент по органической химии в средней школе. Учпедгиз, 1950.

Парменов К. Я., Сафонова И. Н., Тетерин М. Л., Экспериментальные работы учащихся по химии в средней школе, изд-во АПН РСФСР, 1952.

Полосин В. А., Лекционные опыты по общей химии, Госхимиздат, 1950.

Учебные кабинеты 315-й мужской средней школы Москвы, сб. статей подред. К. Я. Парменова, М., изд-во АПН РСФСР, 1949.

Глориозов П. А., Опыт организации химического кабинета в школе, М., Учпедгиз, 1953.

Гостев М. М., Химический эксперимент в процессе внеклассной работы. VII класс, М., изд-во АПН РСФСР, 1952.

Статьи в журн. «Химия в школе» за 1951—1953 гг.

## KIRJANDUST OPILASTELE:

Парменов К. Я. и Сморгонский Л. М., Книга для чтения по химии, ч. I, М., Учпедгиз 1948.

Парменов К. Я., Сморгонский Л. М. и Цветков Л. А., Книга для чтения по химии ч. II, М., Учпедгиз, 1951.

Мезенцев В. А., Загадка вещества, М.—Л., Детгиз, 1951.

Ходаков Ю. В., Водород, М.—Л., ОНТИ, 1937.

Муратов И. И., Юность Ломоносова, М.—Л., Детгиз, 1944.

Розен Б., В мире больших молекул, Госкультпросветиздат, 1952.

Болховитинов В. К. Рассказы о русском первенстве. М. «Молодая гвардия», 1950.

Реутов С. А., Органический синтез, Гостехтеоретиздат, 1951.

Жаворонков Н. М., Источники технического связанного азота, изд. «Правда» 1951.

A. Stepanov. Suure seaduse ajalugu. Eesti Riiklik Kirjastus, 1951.

A. Fersman. Huvitav geokeemia. Eesti Riiklik Kirjastus, 1952.

D. Nalivkin ja D. Petrov. Meie nafta. Eesti Riiklik Kirjastus 1950.

---

---

★

## SISUKORD

Eessõna . . . . .	3
Keemia kursuse sisu polütehnilise õpetuse ülesannete valguses . . . . .	5
Esimesed sammud polütehnilise õpetuse teostamiseks keemia õpetamise protsessis . . . . .	9
Keemia õpetamise organiseerimine ja meetodid polütehnilise õpetuse valguses . . . . .	12
Õppetunnid õpilaste tutvustamiseks keemiatööstusega . . . . .	21
Õppetunnid VII klassis . . . . .	23
Õppetunnid VIII klassis . . . . .	26
Õppetunnid IX klassis . . . . .	42
Õppetunnid X klassis . . . . .	67
Kirjandust õpetajale . . . . .	85
Kirjandust õpilastele . . . . .	86

---

Toimetaja O. Masing.  
Tehniline toimetaja T. Mitt.

Korrektorid  
L. Golberg ja M. Eesmaa.

Ladumisele antud 10. X 1953.  
Trükkimisele antud 16. XII 1953.  
Trükiarv 2000. Paber 54:84,  $\frac{1}{16}$ .  
Trükipoognaid 5,5. Formaadile  
60:92 kohaldatud trükipoognaid  
4,51. Arvutuspoognaid 4,92.  
MB-12583. Trükikoda «Ühiselu».  
Tallinn, Pikk tän. 40/42.  
Tellimise nr. 3504.

Hind rbl. 1.35.

На эстонском языке.



Rbl. 1.35

A-19844

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00376354 9