

Ep 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

SEERIA A

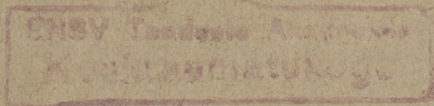
NR. 53

1954

ÜLIÕPILASTE TEADUSLIK ÜHING

ÜLIÕPILASTE TEADUSLIKE  
TÖÖDE KOGUMIK

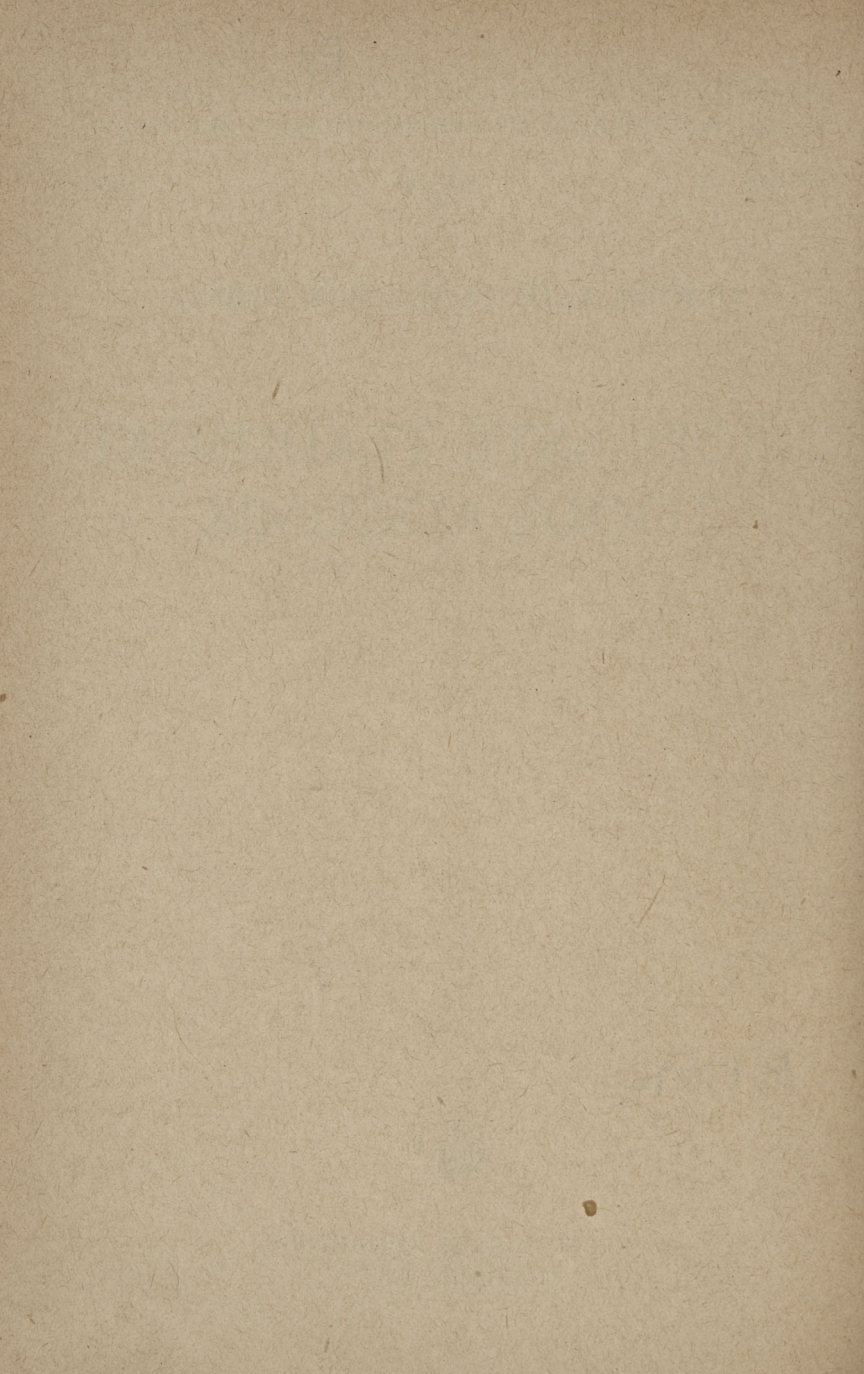
I



P. 17076



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1954



## EESSÕNA

Nõukogude kõrgema kooli ülesandeks on mitte ainult pakkuda üliõpilasele teatavat hulka tegelikke teadmisi ja saavutada, et üliõpilane need omandaks. Nõukogude kõrgem kool peab kasvatama mitte lihtsalt eriteadlasi, kes oskavad täita ühte või teist ülesannet, vaid teaduslikult mõtlemaid uurijaid. Nõukogude kõrgem kool on kohustatud õpetama iga üliõpilast teaduslikult mõtlema ja meie teadust edasi arendama, sõltumata sellest, kas ta pärast kõrgemast koolist lahkumist asub tööle uurimislaboratooriumi või tööstusse. Üliõpilaste teadusliku uurimistöö organiseerimiseks ja juhendamiseks on kõrgemates õppeasutustes üliõpilaste teaduslikud ühingud.

Ka Tallinna Polütehnilises Instituudis tegutseb Üliõpilaste Teaduslik Ühing (ÜTÜ). See organisatsioon on aasta-aastalt kasvanud ja tugevnenud. Pidevalt toimub ÜTÜ teaduslikes ringides pingeline uurimistöö, mille tulemusel valmib järjest uusi uurimusi. Paremate uurimuste tulemused kantakse üliõpilaste poolt ette igal aastal korraldatavatel üliõpilaste teaduslikel konverentsidel. Et nende tulemustega tutvustada laiemaid ringkondi, on asutud nende kokkuvõtteid ka trükis avaldama.

Käesolevasse kogumikku on koondatud 1951. aasta aprillis toimunud TPI ÜTÜ viiendal üliõpilaste teaduslikul konverentsil ettekantud paremate uurimistööde lühikesed kokkuvõtted. Need tööd on valminud 1950/51. õppeaasta vältel. Kogumikus on märgitud, missugusele kursusele kuulusid töid teostanud üliõpilased tööde teostamise ajal. Praegu on neist juba mitmed edukalt instituudi lõpetanud ja asunud tööle kas oma erialale vastaval praktilisel alal või teadusliku uurimise alal aspirantuuris, et anda oma-poolne panus kommunistliku ühiskonna ülesehitamisel.

Detsember 1952.

*Dotsent Helmut Riikoja,  
TPI ÜTÜ teaduslik juhendaja.*

V kursuse üliõp. USTUS AGUR  
IV kursuse üliõp. HANNO SILLAMAA  
IV kursuse üliõp. VIKTOR TEEARU  
Teaduslik juhendaja  
tehn. tead. kand. dots. P. PLAKK

## TIRATRON-VAHELDAJA

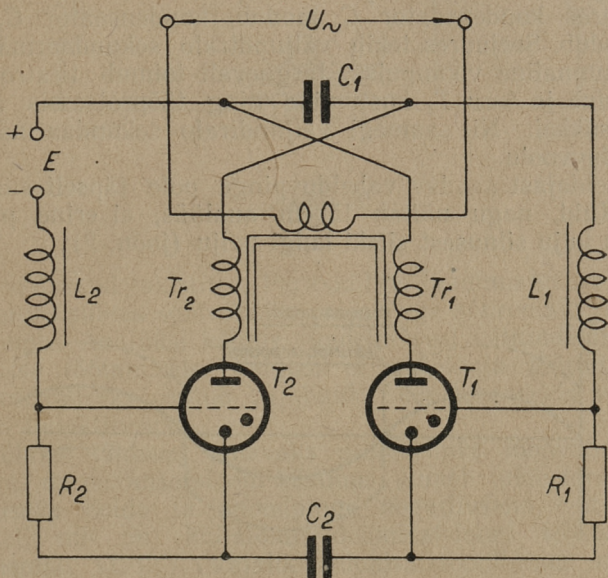
ÜTÜ Elektrotehnikaringis 1950. a. teostatud uurimistöö «Tiratron-vaheldaja» käsitleb endatüürimisega järjestikülülituses ioontorudega vaheldajat. Töös on antud lülituse teoreetilised alused, töö teostajate poolt valmis ehitatud katseseadme kirjeldus ja selle seadme juures teostatud mõõtmiste tulemuste analüüs.

Vaheldaja (invertor) on seade alalisvoolu muundamiseks vahelduvvooluks. Elektrimasinseadmete kõrval omavad praktilist tähtsust elektron- ja eritiioonseadistel põhjenevad vaheldajad. Ioonseadiseid kasutatakse esmajoones neilt saadavate küllalt suurte väljundvõimsuste tõttu, millised ulatuvad kümnete või isegi sadade kilovattideni. Samuti omavad ioonvaheldajad tunduvalt suuremat kasutegurit kui näiteks elektronvaheldajad (ioonvaheldajate kasutegur on piires  $\eta = 0,9 \dots 0,98$ ). Teiselt poolt on ioonvaheldajate abil saavutatavad sagedused piiratud, ulatudes mitte üle mõnetuhande hertsi. Need asjaolud määravad ioonvaheldajate rakendusala esmajoones metallide induktsioonkuumutamise.

Vaheldajast saadava vahelduvvoolu sagedus on määratud kas lülituse enda parameetritega (endatüürimisega vaheldaja) või välisest väikese võimsusega vahelduvvoolu allikast saadava tüürpinge sagedusega (välistüürimisega vaheldaja). Esimesed on ehituselt lihtsamad, kuid väiksema sageduse konstantsusega, mis aga mõningais rakendustes, nagu metallide induktsioonkuumutamine, polegi eriti vajalik.

Autorite poolt valiti uurimisobjektiks järjestikkuühendatud ioontorudega endatüürimisega ühefaasine vaheldaja, mis on loodud tiratronide baasil. Saadud tulemused kehti-

vad osaliselt aga ka muude, kas võre või süüteelektroodide abil tüüritavate, ioonseadiste puhul. Peale järjestiklülituses ioonitorudega vaheldaja kasutatakse ka paralleelülituses vaheldajat [1]. Järjestiklülituses vaheldaja põhimõtteskeem on toodud joonisel 1.

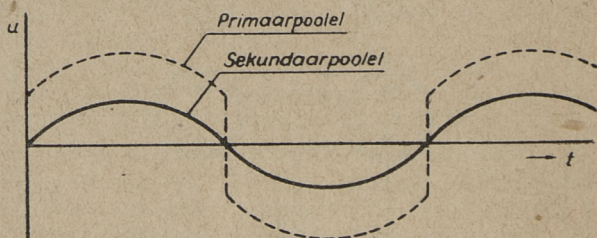


Joonis 1.

Seadme töötamise selgitamiseks oletame, et vaadeldaval hetkel juhib tiratron  $T_2$ . Siis laetakse kondensaator  $C_1$  vooluringi  $+E, C_1, Tr_2, T_2, R_2, L_2, -E$  kaudu. Samal ajal tühjeneb eelmise poolperioodi vältel laetud kondensaator  $C_2$  vooluringi  $C_2, R_1, L_1, Tr_1, T_2$  kaudu. Väljundtrafo sekundaarmähist läbib seega ühesuunaline voolupulss. Kondensaatori  $C_1$  laadumisega tõuseb tiratroni  $T_1$  anoodpinge, negatiivne võrepinge (pingelang takistil  $R_1$ ) aga alaneb kondensaatori  $C_2$  tühjenemisvoolu nõrgenemise tõttu. Nii süttib teataval hetkel tiratron  $T_1$ , mille tulemuseks on tema anoodpinge hetkeline alanemine paarikümne voldini (toru sisepingelang). Selle tagajärjel muutub tiratroni  $T_2$  katoodi

potentsiaal lähedaseks vooluallika positiivse pooluse  $E+$  potentsiaaliga (kuna kondensaator  $C_2$  on peaaegu tühi). Toru  $T_2$  anoodi potentsiaal on aga madalam vooluallika positiivse pooluse potentsiaalist äsja laetud kondensaatori  $C_1$  pinge võrra. Seega omandab toru  $T_2$  negatiivse anoodipinge ja kustub. Edasi jätkub tööprotsess sümmeetriliselt, kusjuures kondensaator  $C_2$  laadub, kondensaator  $C_1$  aga tühjendub. Seejuures tekib väljundtrafo sekundaarmähises vastusuunaline voolupulss. Järgnevalt toimub tiratroni  $T_2$  süttimine ja toru  $T_1$  kustumine ning tööprotsessis algab uus tsükkel. Nii saamegi väljundtrafo sekundaarmähises vahelduvvoolu.

Vaheldajast saadav vahelduvpinge pole täpselt siinuse-line. Kuid, nagu näitab lähem analüüs, ei erine pinge-kõvera kuju siinusest siiski kuigi palju (joon. 2).



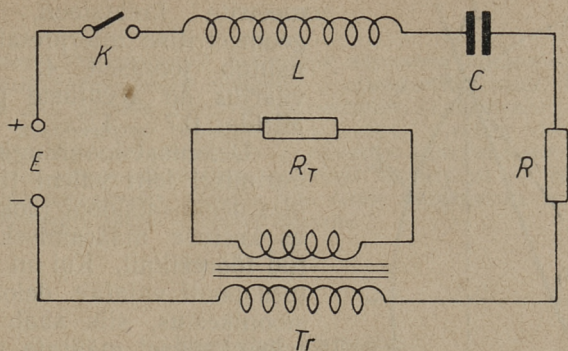
Joonis 2.

Vaadeldud lülituse tööprotsessi teoreetiline analüüs põhjeneb kondensaatorite laadumisvooluringi ekvivalentse aseskeemi analüüsil. See aseskeem on toodud joonisel 3. Samasuguseks kujuneb ka kondensaatori tühjenemisvooluringi aseskeem.

Analüüsi tulemusena selgus, et aperioidiline kondensaatori laadimisrežiim, mis esineb juhtumil

$$R \cong 2 \sqrt{\frac{L}{C}},$$

pole sobiv kasutamiseks töörežiimina, kuna sel juhtumil halveneb väljundtrafo sekundaarvoolu kõvera kuju ja suu-



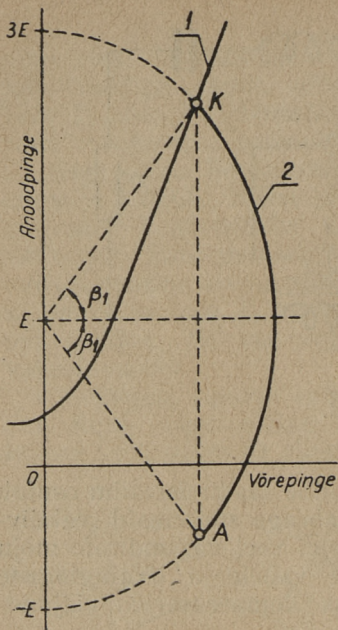
Joonis 3.

renevad kaod takistites. Perioodiline laadimisrežiim osutub mõlemas suhtes sobivamaks, vajab aga suuremaid reaktiiv-elemente. Analüüsi käigus vaadeldi veel väljundtrafo mõju lülituse töötamisele. Selgus, et vaheldaja töötingimuste parandamiseks osutub vajalikuks kompenseerida väljundtrafo induktiivsust.

Põhilist tähtsust omavaks probleemiksioonvaheldajate juures on deionisatsiooni küsimus. Nimelt tuleb toru kustutamiseks hoida ta anoodpinge negatiivsena teatava aja vältel, mis on küllaldane deionisatsiooni teostumiseks (lähemalt vt. [2]). Vajalik deionisatsioonikestus on tiratronide juures keskmiselt  $100 \mu \text{ sec}$ . See asjaolu osutub piiravaks vaheldaja töösageduse suurendamisel. Töö käigus lahendati teoreetiliselt vaheldaja töösageduse kindlaksmääramise küsimus lülituse ja toru parameetrite alusel. Selleks kasutati tiratroni anoodpinge-võrepinge teljestikku (joon. 4), kus kõver 1 kujutab endast tiratroni süttimiskarakteristikut ja kõver 2 toru hetkelise tööpunkti trajektoori süttimispunkti  $A$  kustumispunkti  $K$ . Analüüsi tulemusena selgus, et perioodilise laadimisrežiimi puhul ( $R \ll 2 \sqrt{L/C}$ ) vaheldaja töösagedus avaldub valemiga:

$$f = \frac{1}{4\beta_1 \sqrt{LC}},$$

kus  $L$  ja  $C$  on vaheldaja lülituse parameetrid ( $L=L_1=L_2$  ja  $C=C_1=C_2$ ) ning  $\beta_1$  on lülituse ja tiratroni enda para-



Joonis 4.

meetrite funktsioon, mille geometriline interpretatsioon nähtub jooniselt 4. Tema väärtus on arvutuste põhjal piirides 0,7...1,2.

Deionisatsioonitingimuste uurimisel leiti valem tiratronile deionisatsiooni jaoks jääva kestuse määramiseks antud töörežiimil. Kui on teada toru poolt vajatav deionisatsioonikestus, siis saab selle valemi alusel määrata vaheldaja maksimaalset töösagedust. Nagu selgus, on maksimaalne saavutatav töösagedus määratav valemiga:

$$f_{\max} = \frac{1}{(6 \dots 8)\tau},$$

kus  $\tau$  on toru deionisatsioonikestus sekundites.

Seega võib teoreetilise analüüsi tulemusena väita, et kasutades tiratrone deionisatsioonikestusega  $100 \mu \text{ sec}$ , on võimalik ehitada järjestiklülituses vaheldajat sagedustele kuni  $1000 \dots 1500 \text{ Hz}$ .

Kui valime vaheldaja töösageduseks maksimaalse võimaliku sageduse, siis on sellega üheselt ära määratud  $L$  ja  $C$  väärtused ja üldine vaheldaja arvutusmeetodika.

Röõbiti teoreetiliste uurimistega viidi läbi laboratoorse katseseadme ehitamine, kusjuures kasutati tiratrone tüüp S 1/3. Selle seadme juures teostatud mõõtmised ja ost-sillograafilised vaatlused kinnitavad üldiselt teoreetilisel teel saadud järeldusi, kui silmas pidada idealiseerimist süsteemi lineariseerimise teel. Katseseadme juures ei õnnestunud aga saavutada sagedusi üle  $400 \text{ Hz}$ , kusjuures piiravaks osutus kasutatud tiratroni tüübi liiga suur deionisatsioonikestus. Tunduvat mõju avaldas ka deionisatsioonikestuse suurenemine toru koormuse suurenemisel. Sobivamate tiratronide puudumine ei võimaldanud aga lähemalt uurida vaheldaja koormamise küsimusi, sageduse konstantsust jne. suuremate sageduste juures.



## РЕЗЮМЕ

В работе «Тиратронный инвертор» изучается последовательный однофазный тиратронный инвертор с самовозбуждением. Найдены формулы для расчета частоты получаемого переменного тока и времени деионизации тиратронов в схеме, а также оптимальные значения параметров схемы для достижения максимальной частоты. На опытной установке удалось получить частоту до 400 гц, но исходя из произведенного анализа при более подходящих тиратронах можно получить более высокие частоты.

## Kasutatud kirjandus

1. Рейх Г. Дж. Теория и применение электронных приборов. Госэнергоиздат, 1948 г.
  2. Каганов И. Л. Электронные и ионные преобразователи. Госэнергоиздат, 1940 г.
-

IV kursuse üliõp. ILMAR EISKOP  
Teaduslik juhendaja  
tehn. tead. kand. dots. P. PLAKK

## KÕRGSAGEDUSVÕIMENDAJA TRANSFORMAATOR- SIDESTUSES

NSV Liidu Ministrite Nõukogus aastaiks 1950—1955 kinnitatud radiofitseerimise plaani kohaselt peab nimetatud aja jooksul kasvama raadiovastuvõtu-seadmete arv NSV Liidus kolmekordseks. See seab NSV Liidu raadiotööstuse ette senistest tunduvalt suuremad ülesanded. Seoses elanikkonna kultuuriliste vajaduste pideva kasvuga on suurenenud nõudmine kõrgeklassiliste raadiovastuvõtjate järele. Seepärast ongi käesolev töö pühendatud kõrgeklassilistes raadiovastuvõtjates kasutatava kõrgsagedus-eelvõimendusastme lähemale uurimisele.

1. Valemi  $V = \omega MSQ$  kriitika. Raadiotehnilises kirjanduses antakse transformatorsidestuses kõrgsagedusvõimendaja võimenduse arvutamiseks valem:

$$V = \omega MSQ. \quad (1)$$

Valemi tuletamisel on eeldatud, et anoodvoolu kogu kõrgsageduslik komponent läbib anoodahela induktiivsuse ega ole võetud arvesse anoodahela induktiivsusele  $L_a$  paratamatult lisanduvat parasiitset paralleelmahtuvust  $C_a$ .

Seetõttu võib valemit (1) kasutada vaid piirkonnas, kus võimendatav sagedus

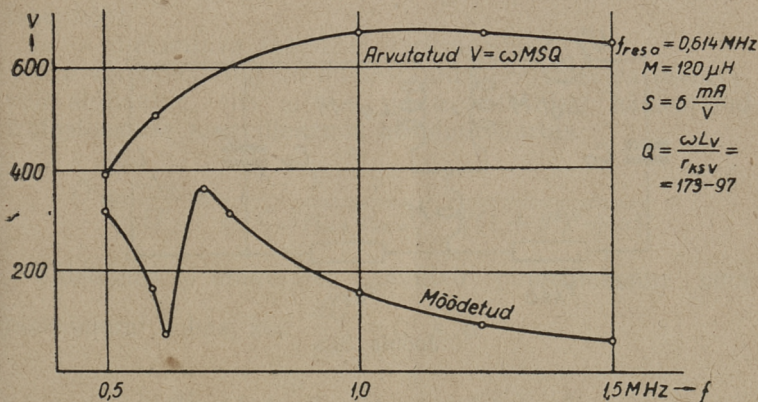
$$f \ll f_{\text{res } a} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_a C_a}}.$$

Selles piirkonnas astet tööle panna on aga ebaotstarbekohane, sest seal saadav võimendus on palju väiksem võimendusest, mida saaks astmelt piirkonnas  $f \approx f_{\text{res } a}$ .

Valem (1) kaotab täiesti kehtivuse, kui anoodahela resonantsagedus  $f_{res a}$  langeb kaetavasse sagedusribasse  $f_{max} \dots f_{min}$  või on sellest väiksem, s. o.

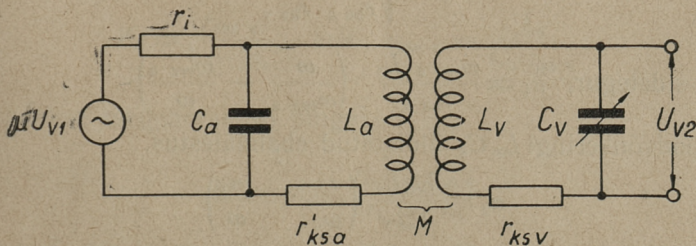
$$f_{max} > f_{res a} > f_{min} \text{ või } f_{res a} < f_{min},$$

mida ilmekalt tõendab katsetulemuste põhjal koostatud graafik joonisel 1.



Joonis 1.

2. Transformaatorsidestuse analüüs sidestatud võnkeringide teooria abil. Täpsel analüüsimisel tuleb paratamatult arvestada parasitmahtuvust  $C_a$ , mistõttu trafosidestuses kõrgsagedusvõimendaja täielikum aseskeem, võttes arvesse ka anood- ja võreahela tegevtagistusi kõrgsagedusel  $r_{ks a}$ ,  $r_{ks v}$ , kujuneb joonisel 2 esitatud kahevõnkeringiliseks filtriks.

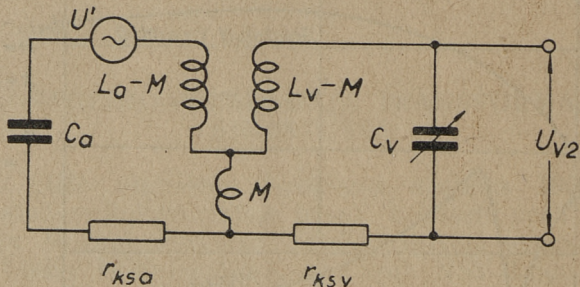


Joonis 2.

Arvutades ümber võimenduslambi sisetakistuse  $r_i$  ekvivalentseks järjestiktakistuseks võnkeringis, saadakse

$$\Delta r_{ks a} = - \frac{(\omega L_a)^2}{r_i},$$

ja asegeneraatori teoreemi põhjal on generaator pingega  $\mu U_{v1} = U_1$  asendatav võnkeringis generaatoriga pingega  $U'$ . Arvestades eelmist, saadakse joonisel 3 esitatud aseskeem.



Joonis 3.

Sidestatud võnkeringide teooria põhjal [1] on pingeelekanne kujunenud kahevõnkeringilise filtri (joon. 3) anoodahela võnkeringist  $L_a C_a$  järgnevasse võrevõnkeringi  $L_v C_v$

$$\ddot{U} = \frac{U_{v2}}{U} = \frac{1}{\omega C_v \sqrt{r_{ks a} r_{ks v}}} \cdot \frac{\beta}{(1 + j\alpha_1)(1 + j\alpha_2) + \beta^2},$$

milles

$$\beta = \frac{\omega M}{\sqrt{r_{ks a} r_{ks v}}}$$

on sidetegur,  $\alpha_1 = \frac{\omega_{res a} L_a}{r_{ks a}} \left( \frac{\omega}{\omega_{res a}} - \frac{\omega_{res a}}{\omega} \right)$

anoodvõnkeringi  $L_a C_a$  üldistatud ebahäälestus,

$$\alpha_2 = \frac{\omega_o L_v}{r_{ks v}} \left( \frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right)$$

— võrevõnkeringi  $L_v C_v$  üldistatud ebahäälestus,

$$\omega_{\text{res a}} = \frac{1}{\sqrt{L_a C_a}}$$

— anoodvõnkeringi resonantsnurksagedus, arvestamata sidestuse mõju,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_v C_v}}$$

— võrevõnkeringi resonantsnurksagedus, arvestamata sidestuse mõju,

$\omega$  — ülekantava sageduse nurksagedus.

Kui võrevõnkering on häälestatud resonantsi vastuvõtavale signaalile, siis  $\omega = \omega_0$  ja  $\alpha_2 = 0$ , ning häälestatud trafosidestuse pingelekande absoluutväärtus

$$\ddot{U} = \frac{U_{v2}}{U'} = \frac{1}{\omega_0 C_v \sqrt{r_{ks a} r_{ks v}}} \cdot \frac{\beta}{\sqrt{(1 + \beta^2)^2 + \alpha_1^2}}$$

Sideteguri  $\beta$  muutudes saavutab pingelekanne oma maksimumi kohas, kus  $\frac{d\ddot{U}}{d\beta} = 0$ , s. o.

$$\beta^4 = 1 + \alpha_1^2 \quad \text{ehk} \quad \beta = \sqrt{1 + \alpha_1^2}$$

Kui  $\alpha_1 \geq 5$ , milline tingimus on näiteks täidetud  $f_{\text{res a}} = 1$  MHz ja  $Q_a \geq 50$  puhul juba  $\Delta f = 50$  kHz juures, siis maksimaalne pingelekanne funktsioonina ebahäälestusest  $\alpha_1$  on:

$$\ddot{U}_{\text{max}} \leq \frac{1}{\omega_0 C_v \sqrt{r_{ks a} r_{ks v}}} \cdot \frac{1}{1,4 \sqrt{|\alpha_1|}}$$

Võttes arvesse, et anoodahela paralleelvõnkeringi impedants

$$Z_a = \frac{r_{\text{res a}}}{1 + j\alpha_1}, \quad \text{kus} \quad r_{\text{res a}} = \frac{L_a}{C_a r_{ks a}},$$

saadakse asegeneraatori pingeks

$$U' = \mu U_{v1} \frac{r_{\text{res a}} r_{ks a}}{r_i \omega_0 L_a}$$

ja trafosidestuses võimendusastme võimendus, optimaalse

sideteguri puhul  $\beta_{\text{opt}} = \sqrt[4]{1 + \alpha_1^2}$  funktsioonina ebahäälestusest  $\alpha_1$  on

$$V = \frac{U_{v2}}{U_{v1}} = \frac{U_{v2}}{U'} \cdot \frac{U'}{U_{v1}} = \ddot{U}_{\text{max}} \frac{U'}{U_{v1}} = S r_{\text{res a}} \sqrt{\frac{r_{\text{ks a}} L_v}{r_{\text{ks v}} L_a}} \frac{1}{1,4 \sqrt{|\alpha_1|}}$$

Et optimaalne sidetegur

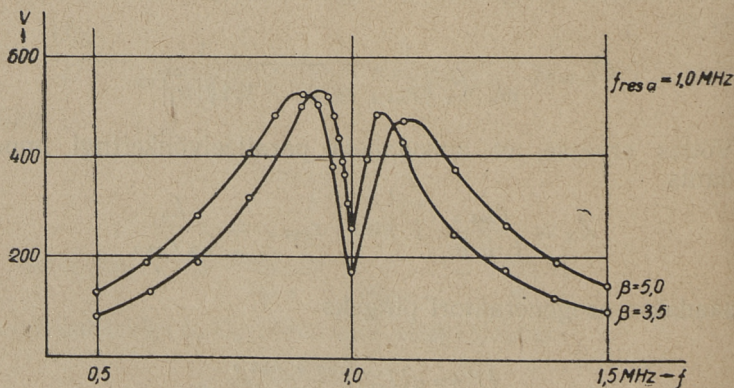
$$\beta_{\text{opt}} = \sqrt[4]{1 + \alpha_1^2}$$

sõltub anoodvõnkeringi üldistatud ebahäälestuse  $\alpha_1$  absoluutväärtusest, mitte aga  $\alpha_1$  märgist, siis tekib pingeülekan- des  $\ddot{u}$  ja ka astme võimenduses

$$V = \ddot{u} \frac{U}{U_{v1}}$$

kaks maksimumi vastavatel  $+|\alpha_1|$  ja  $-|\alpha_1|$  väärtustel.

Saadud teoreetiliste tulemuste kontrollimiseks teostati laboratoorsed mõõtmised, mille tulemused on esitatud järgnevatel graafikutel. Nagu graafikust joonisel 4 nähtub, esineb kaks teravat maksimumi ja mõõtmistulemused ühtu- vad teoreetiliselt oodatutega.



Joonis 4.

Aseskeemide üheväärsuse põhjal on võimalik näidata, et trafosidestuses kõrgsagedusvõimendaja puhul saadud tulemusi on võimalik väikese kohandamisega edukalt rakendada antenniga induktiivselt sidestatud vastuvõtja sisendosa analüüsimisel.

**3. Mitmesuguste sidestusviisidega kõrgsagedusvõimendajate võrdlus.** Graafikus joonisel 5 on esitatud mitmel viisil sidestatud kõrgsagedusvõimendajate võimendus sõltuvalt sagedusest, kusjuures kõik võimendajad sisaldavad ühte ja sedasama võrevõnkeringi  $L_v = 211 \mu\text{H}$ ;  $r_{ks v} = 28 \dots 5,25 \Omega$ ;  $C_v = 54 \dots 480 \text{ pF}$ .

Trafosidestuse puhul (kõver 4) olid poolid anoodi ja võre poolt vaadatuna keritud vastassuunas, millega poolidevaheline staatiline mahtuvus ca  $1,0 \text{ pF}$  suurendas resulteerivat sidestust. Sellest suurenes võimendus ca  $10\%$  võrra. Mõõtmistel  $M = 40 \mu\text{H}$ ,  $f_{res a} = 1 \text{ MHz}$ .

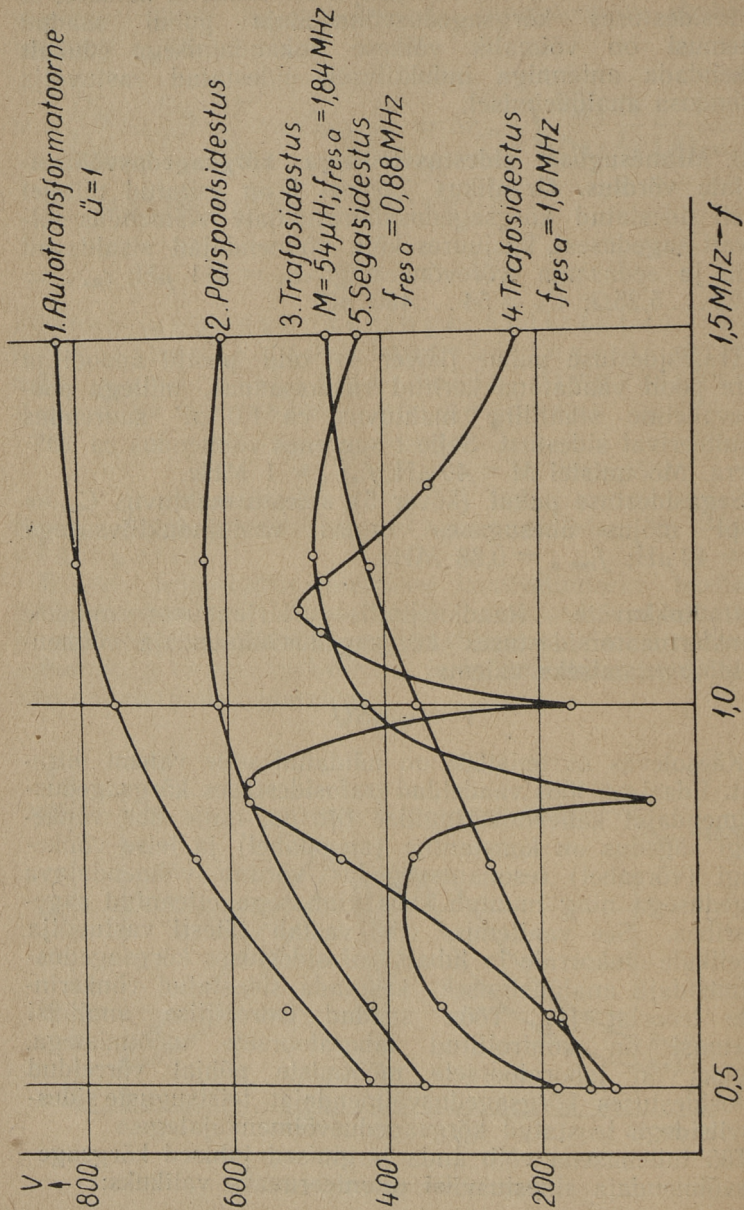
Segasidestuse puhul (kõver 5) sidestusmahtuvus  $C_{av} \approx 9 \text{ pF}$  mõjus ühesuguses suunas vastuinduktiivsusega  $M = 40 \mu\text{H}$ ;  $f_{res a} = 0,88 \text{ MHz}$ .

**4. Kokkuvõte.** Raadiotehnilises kirjanduses antakse transformaatorsidestuses kõrgsagedusvõimendaja võimenduse arvutamiseks valem:

$$V = \omega MSQ.$$

Käesolevas uurimistöös on näidatud selle valemi piirast. Edasi on töös vaadeldud trafosidestuses kõrgsagedusvõimendajat kahevõnkeringilise filtrina, mille ühe võnkeringi sagedus on konstantne (anoodahel) ja teise võnkeringi (võreahel) resonantssagedus võrdub võimendatava sagedusega ning muutub koos viimasega etteantud sagedusribas. See vaatlemise viis vastab täiesti vastuvõtja tegelikule olukorrale ja lubab trafosidestuses kõrgsagedusvõimendaja analüüsimiseks kasutada sidestatud võnkeringide teooriat [1]. Töös saadud teoreetilise analüüsi tulemusi on kontrollitud laboratoorsete mõõtmistega. Lõpuks on laboratoorsete mõõtmiste põhjal võrreldud trafosidestuses kõrgsagedusvõimendajat teistsuguste sidestusviisidega teostatud kõrgsagedusvõimendajatega.

Töö tulemusena võib anda järgmised juhised kõrgsagedusvõimendaja sidestusviisi orienteeruvaks valikuks:





1) Parim lahendus on kasutada autotransformaator-sidestust  $\ddot{u} = 1$ , kui see on tehniliselt läbiviidav.

2) Paispoolsidestuses kõrgsagedusvõimendaja võimendus kaovaese paispooli puhul on natukene väiksem auto-transformaatorsidestuse võimendusest.

3) Transformaatorsidestust on sobiv kasutada piirkonnas  $f = (0,8 \dots 0,85) f_{\text{res a}}$ . Selle lülitusega ei ole võimalik saavutada suuremat võimendust kui 0,5 autotransformaatorsidestuse puhul saavutatavast võimendusest.

4) Segasidestust võidakse kasutada piirkonnas

$$f \geq \frac{1}{0,75 \dots 0,8} f_{\text{res a}},$$

kusjuures saavutatav võimendus tunduvalt ei ületa transformaatorsidestuse võimendust.

### РЕЗЮМЕ

В работе «Усилитель высокой частоты с трансформаторной связью» показано неточность существующей в литературе формулы для расчета усиления усилителя высокой частоты с трансформаторной связью.

Далее усилитель рассматривается не как трансформатор, а как связанные колебательные контуры. Это позволяет при помощи теории связанных контуров вывести более точную формулу для расчета усилителя высокой частоты с трансформаторной связью, в особенности в диапазоне, близком к резонансной частоте анодной цепи усилительной лампы каскада.

В конце работы подвергаются сравнению усилители высокой частоты, выполненные со связями различного типа на основе лабораторных измерений. Даются ориентирующие указания для выбора типа связи.

### Kasutatud kirjandus

1. А. А. Колосов. Резонансные системы и резонансные усилители, Связьиздат, 1949.
2. Справочник по радиотехнике под общ. ред. Б. А. Смиронина, Госэнергоиздат, 1950.
3. М. Л. Волин. Усилители промежуточной частоты, Госэнергоиздат, 1950.

III kursuse üliõpilased J. KIISA  
ja I. KLEIS

Teaduslik juhendaja  
vanemõpetaja A. KRUUSAMÄGI

## «KVARTSI» JA «MÄNNIKU» KARJÄÄRIDE LIIVA SOBIVUS VORMIMULDADE VALMISTAMISEKS

### 1. Sissejuhatus

Töö eesmärgiks on uurida «Kvartsi» ja «Männiku» karjääride liiva omadusi vormimismaterjalina kasutatavuse seisukohalt. Lisaks sellele on analüüsitud Tallinna Masinaehitustehases ja elektrimasinaehituse tehases «Volta» tarvitavaid vormimuldaseid, et selgitada, kas uuritavate liivade tarvituselevõtt võiks nende kvaliteeti parandada.

Mõlemad karjäärid asuvad üksteise vahetus läheduses, ca 10 km kaugusel Tallinna metallitööstustest. Karjääride varud kokku moodustavad suurima liivavaru kogu Tallinna ümbruses, kusjuures suurem on «Männiku» (varud 1946. a. hinnangu põhjal olid 576 000 m<sup>3</sup>). «Kvartsi» karjäär kuulub silikaattehasele «Kvarts», kuna «Männiku» on Tallinna Linna TSN TK valduses ja on üldkasutatav. Ligipääs liivavõtukohtadele pole raskendatud.

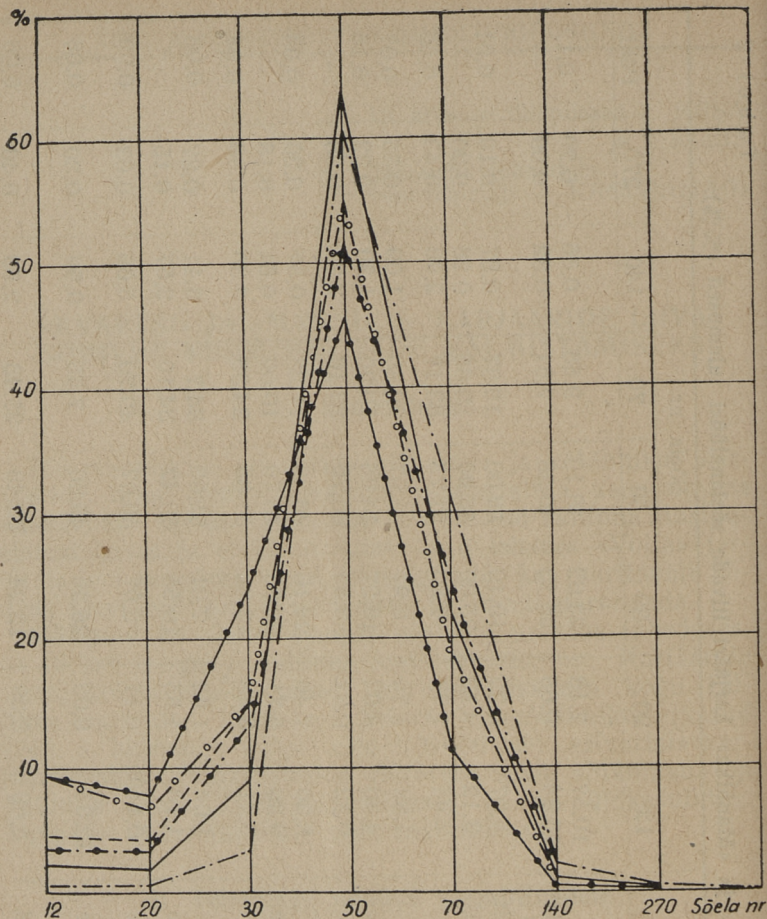
### 2. Tehnilised nõuded vormiliivadele

Tabel 1

Valu kaal kg	Sõelanalüüs	SiO <sub>2</sub> -sisal- dus %	Gaaside läbitavus cm <sup>3</sup> /min
<b>Malmvalu märga vormi</b>			
<2	100/200	≥82	≥ 50
2÷20	70/140	≥88	≥100
20÷200	50/100	≥92	≥200
200÷2000	50/100, 40/70, 30/50	≥92	≥200, 300, 500
<b>Terasvalu märga vormi</b>			
<500	70/140, 50/100	≥97	≥250, ≥200

## «Kvartsi» ja «Männiku» karjääri liivade sõelanalüüsi tulemused (%%)

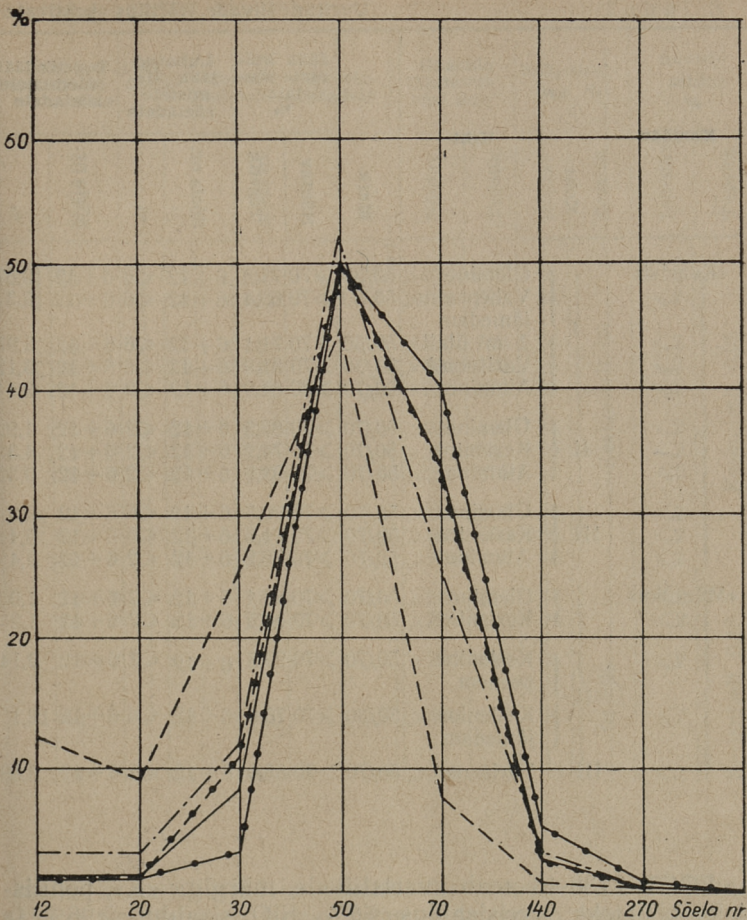
Karjäär	Kohat	Kilht	Sõela nr.							
			12	20	30	50	70	140	270	Põhi
«Kvartsi»	I	Ülemine	10,57	7,18	23,62	48,16	9,55	0,56	0,20	0,12
		Vahepealne jämedam	15,34	9,65	25,13	40,28	7,61	0,32	0,09	—
		2 m ülalt	5,97	5,22	19,10	52,00	15,87	0,87	0,19	0,01
		Varisenud Alumine	3,12	4,58	25,00	56,90	9,65	0,26	0,20	—
„	„	2,44	1,97	7,30	51,75	33,17	2,66	0,43	0,05	
„	II	Ülemine	1,92	1,70	8,97	63,97	22,30	1,09	0,35	0,07
„		Keskmine	4,30	4,04	15,27	54,95	19,20	1,30	0,32	0,15
„		Alumine	0,32	0,37	3,55	60,70	33,16	2,27	0,08	—
„	III	Ülemine	9,30	7,46	24,18	46,35	11,28	0,57	0,20	0,04
„		Keskmine	9,36	6,71	22,85	48,70	10,00	0,61	0,16	—
„		Alumine	3,41	3,59	13,82	51,85	24,35	2,30	0,38	0,04
«Männiku»	I	Ülemine	1,04	1,62	7,81	51,65	34,7	3,11	0,37	0,08
		Keskmine	1,18	1,55	10,55	50,42	34,10	2,57	0,15	—
	II	Keskmine peenem	0,140	0,17	2,97	50,07	40,70	5,05	0,63	0,02
		Keskmine jämedam	12,05	9,03	25,30	45,30	7,55	0,50	0,30	0,05
„	III	Varisenud	3,69	3,29	12,24	52,48	25,48	2,55	0,46	0,06



„Kvartsi“ karjääri liivade sõelanalüüsi graafik

Proovi võtmise koht II	—	ülemine kiht
	- - -	keskmine kiht
	· · ·	alumine kiht
Proovi võtmise koht III	—○—○—○—	ülemine kiht
	-○-○-○-	keskmine kiht
	·○·○·○·	alumine kiht

Joonis 1.



**„Männiku“ karjääri liivade sõelanalüüsi graafik**

Proovi võtmise koht I	—	Ülemine kiht
	- - -	keskmine kiht
Proovi võtmise koht II	—●—●—●—	keskmine peenem kiht
	—■—■—■—	keskmine jämedam kiht
Proovi võtmise koht III	- · - · -	läbisegi

Joonis 2.

## Uuritud liivade võrdlus kehtivate

Karjäär	Kiht	Mark	Jääk kolmele söelale %		Lubatud jääk ülemistele söeladele		Tegelik jääk ülemistele söeladele		
			Nõutav	Tegelik	Sõela nr.	%	Sõela nr.	%	
«Kvartsi»	I	Ülemine	50/30	≥ 70	71,8	6 + 12	≤ 6	6 + 12	10,57
		Vahepealne jämedam	50/30	≥ 70	65,4	6 + 12	≤ 6	6 + 12	15,3
		2 m ülalt	50/30	≥ 70	71,1	6 + 12	≤ 6	6 + 12	5,97
		Varisenud Alumine	50/30	≥ 70	81,9	6 + 12	≤ 6	6 + 12	3,12
	II	Ülemine	50/70	≥ 70	86,3	6 + 12	≤ 2	6 + 12	1,92
		Keskmine	50/70	≥ 70	74,2	6 + 12	≤ 2	6 + 12	4,3
		Alumine	50/70	≥ 70	93,9	6 + 12	≤ 2	6 + 12	0,32
	III	Ülemine	50/70	≥ 70	70,5	6 + 12	≤ 6	6 + 12	9,3
		Keskmine	50/70	≥ 70	71,6	6 + 12	≤ 6	6 + 12	9,4
Alumine		50/70	≥ 70	76,2	6 + 12	≤ 2	6 + 12	3,4	
«Männiku»	I	Ülemine	50/70	≥ 70	86,4	6 + 12	≤ 2	6 + 12	1,0
		Keskmine	50/70	≥ 70	84,5	6 + 12	≤ 2	6 + 12	1,2
	II	Keskmine peenem	50/70	≥ 70	90,8	6 + 12	≤ 2	6 + 12	0,14
		Keskmine jämedam	50/30	≥ 70	70,6	6 + 12	≤ 6	6 + 12	12,1
	III	Varisenud	50/70	≥ 70	88,0	6 + 12	≤ 2	6 + 12	3,69

FOCT 2138-46 seab kvartsliidvale, margiga «K», põhilisteks nõueteks: savisisaldus  $\leq 2\%$ ,  $\text{SiO}_2$ -sisaldus  $\geq 96\%$  ja lisaks neile, olenevalt margist, nõuded jääkide kohta sõelanalüüsil ning gaaside läbitavuse kohta ([1], lk. 85, tab. 121).

### 3. Proovide võtmisest ja analüüside teostamisest

Mõlemast karjäärist on võetud liivaproove kolmest erinevast kohast ja mitmesugustest kihtidest, et saada ülevaadet terasuse jaotumisest kogu karjääri ulatusel. Samuti

Lubatud jääk alumistele söeladele		Tegelik jääk alumistele söeladele		Gaaside läbitavus cm <sup>3</sup> min		SiO <sub>2</sub> -sisaldus %		Savisisaldus %	
Söela nr.	%	Söela nr.	%	Nõutav	Tegelik	Nõutav	Tegelik	Lubatav	Tegelik
≤ 140	≤ 8	≤ 140	0,9	≥ 400	525	96	Keskmiselt 95	≤ 2	Keskmiselt 0,08
≤ 140	≤ 8	≤ 140	0,4	≥ 400	780	96		≤ 2	
≤ 140	≤ 8	≤ 140	1,1	≥ 400	710	96		≤ 2	
≤ 140	≤ 8	≤ 140	0,5	≥ 400	710	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,5	≥ 200	376	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,4	≥ 200	440	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,6	≥ 200	525	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,1	≥ 200	376	96		≤ 2	
≤ 140	≤ 8	≤ 140	0,8	≥ 400	550	96		≤ 2	
≤ 140	≤ 8	≤ 140	0,8	≥ 400	650	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,4	≥ 200	525	96	≤ 2	Keskmiselt 0,16	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,5	≥ 200	341	96	≤ 2		
270 + P	≤ 4	270 + P	0,2	≥ 200	376	96	≤ 2		
270 + P	≤ 4	270 + P	0,7	≥ 200	440	96	94 ÷ 96	≤ 2	
≤ 140	≤ 8	≤ 140	5,7	≥ 400	398	96		≤ 2	
270 + P	≤ 4	270 + P	0,5	≥ 200	376	96		≤ 2	

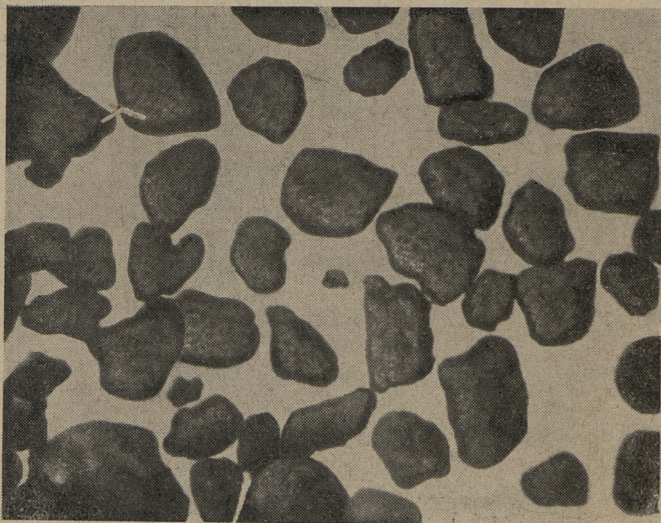
on mõlemast karjäärist võetud üks proov varisenud liivast (s. o. sellise koostisega, nagu seda omab tegelikult kaevandatav liiv). Kõikide proovide kohta on tehtud gaaside läbitavuse ja söelanalüüs.

Kuna savisisaldus liivas on väike ega takista seetõttu söelanalüüside teostamist, siis on söelanalüüsid teostatud ilma savi eraldamiseta. Määratud on kummagi karjääri liiva keskmine savisisalduse protsent (s. t. analüüs on tehtud varisenud liiva proovide kohta). Saadud tulemused on esitatud tabeli (tab. 2) ja graafikute (joon. 1 ja 2) kujul.

#### 4. Uuritud liivade võrdlus kehtivate normidega (ГОСТ 2138-46)

Nagu tabelist nähtub, vastavad mõlema karjääri liivade näitajad normidele, välja arvatud mõnede proovide andmed jämedate terade sisalduse suhtes. Viimane asjaolu on tingitud üksikute ca 10 cm paksuste jämedateraliste kihide olemasolust, mis halvendavad liiva keskmist kvaliteeti (varisenud olekus).

Liivaterade kuju (joon. 3 umbes 25-kordne suurendus) mõlemas karjääris on poolnurgeline (prof. Bergi järgi).



Joonis 3.

#### 5. Liivade kasutatavusest vormimuldades

«Männiku» karjääri liiv on kõlblik vormimuldade valmistamiseks keskmisele (20...200 kg) ja raskele (200...2000 kg) malmvalule ning kergele (<5 kg) terasvalule, kusjuures enne tarvitamist on soovitatav liiv jämedate terade eemaldamiseks läbi sõeluda sõeltega 20 või 30 (vastavalt vajadusele). Liiva võtmise juures tuleb vältida üksikuid vahepealseid jämedateralisi kihte.



Tallinna Masinaehitustehase ja «Volta» vormimuldade analüüside tulemused

Mulla liik	Niiskuse- %	Savi- %	Gaaside läbitavus cm <sup>3</sup> /min	Surve- tugevus g/cm <sup>2</sup>	Sõela nr.							
					12	20	30	50	70	140	270	Põhi
<b>Tallinna Masinaehitustehas</b>												
Mudelimuld	7	13,6	—	700	0,8	2,3	9,8	11,7	3,6	34,6	29,5	7,7
Täitemuld	6,3	12,7	—	670	3,7	3,7	12,9	15,2	5,0	29,5	22,2	7,8
Kuivade vormi- de ja kärnide muld	8,1	13	—	480	9,8	9,0	37,1	32,3	2,6	3,0	2,3	3,9
<b>Elektrimasinaehituse tehase «Volta»</b>												
Mudelimuld	9,66	16,4	30	580	2,6	3,0	8,2	10,4	6,7	29,4	24,1	15,6
Kärnimuld	8,16	19,2	16,7	650	5,0	3,8	16,0	25,0	13,0	14,0	13,6	9,6
Täitemuld	—	13,6	30	410	2,5	2,4	6,8	11,1	7,1	31,3	26,2	12,6

«Kvartsi» liiv on üldiselt jämedateralisem ja kõlblik raskeks malmvaluks (200...2000 kg), alumised peenedateralisemad kihid aga ka keskmiseks malmvaluks ja kergeks terasvaluks. Igal juhul on aga vaja liiv enne tarvitamist läbi lasta sõeltest 20 või 30, kuna jämedate terade protsent on veelgi suurem kui «Männiku» karjääri liival.

Värviliste metallide vormimaterjaliks kummagi karjääri liiv ei kõlba, kuna ta on selleks liiga jämedateraline.

## 6. Tallinna Masinaehitustehase ja elektrimasinaehituse tehase «Volta» vormimuldade analüüs

Et saada ülevaadet Tallinna suurimates masinaehitustehastes tarvitatavatatest vormiliivadest, analüüsisime Tallinna Masinaehitustehase ja «Volta» vormimuldadeid.

Analüüsi tulemused (tab. 4) näitasid, et mõlema tehase vormimuldade põhiliseks puuduseks on ebaühtlase terasusega ja liiga peenete liivade (mark 140/270) tarvitamine mudeli- ja täitemullas, millised ei võimalda saavutada gaaside läbitavust üle 30 cm<sup>3</sup>/min. Samuti on ka niiskuse- ja saviprotsent (eriti «Voltas») liiga kõrge. See asjaolu, aidates küll kaasa survetugevuse suurenemisele, omakorda vähendab gaaside läbitavust. Seepärast on ka mõlema tehase vormimuldade ainukeseks heaks näitajaks survetugevuse suur väärtus.

Kärnimuldade liivad, mark 30/50 Tallinna Masinaehitustehases ja 50/100 «Voltas», on head, kuid vaatamata heale lähtematerjalile on gaaside läbitavus «Volta» kärnimullal halb. See asjaolu on nähtavasti tingitud liigest vana mulla lisamisest kärnimullale.

Vormimuldade parandamiseks on mõlemas tehases soovitatav kasutusele võtta mudeli- ja täitemullas liiv 50/100 («Männiku»), kusjuures savisisaldust tuleks piirata 12 protsendiga ja niiskusesisaldust 6 protsendiga.

## РЕЗЮМЕ

Проведенные исследования показывают, что пески карьеров «Мяннику» и «Кварц» отвечают требованиям формовочных песков, установленным ГОСТ 2138-46. Для песков «Мяннику» желательно, а для песков «Кварц» обязательно отделение крупных фракций путем просеивания.

Формовочные земли Таллинского машиностроительного завода и электромашиностроительного завода «Вольта» имеют малую газопроницаемость в связи с примешиванием крупнозернистым песком мелкозернистых песков.

### Kasutatud kirjandus

1. Энциклопедический справочник машиностроения, том 6.

V kursuse üliõp. IVO ARRO

Teaduslik juhendaja

keem. tead. kand. dots. H. RAUDSEPP

## PÕLEVKIVI UTTEVETEST TOODETAVA TOORATSETOONI RAFINEERIMINE

Üheks probleemiks põlevkivi termilise ümbertöötamise juures vedelkütusteks on olnud uttevete küsimus, millede hulk on küllaltki suur ja millised sisaldavad mitmesuguseid nendes lahustunud termilise lagunemise produkte. Nende produktide eraldamine omab tähtsust peamiselt kahest seisukohast. Esiteks on võimalik sel teel toota rahvamajandusele vajalikke produkte ja teiseks on sanitaartechnilistel põhjustel vaja eemaldada bioloogiliselt kahjulikud ühendid enne uttevete juhtimist looduslikesse veekogudesse. Kuigi see probleem on siiani veel suures osas lahendamata, on siiski juba hakatud üksikuid ühendeid uttevetest eraldama rahvamajandusele kasulike produktide tootmiseks.

Senini on uttevetes esinevaist komponentidest omanud suurimat tähtsust ja tootmisvõimaluste suhtes kõige rohkem läbi uuritud ketoonid, eesotsas atsetooniga. Selleks on ehitatud katseseadmed atsetooni tootmiseks nii tunnelahjudega kui ka pöörlevate retortidega töötavate uttesüsteemide juurde:

Peamiseks puuduseks käesoleva ajani on olnud uttevetest toodetud atsetooni madal kvaliteet, mis on tingitud mitmesuguste kõrvalühendite, nagu aldehüüdide jt. sisaldusest, millede kõrvaldamine pole vajalikul määral õnnestunud veel küllaldaselt viimistlemata rafinatsioonimeetodite tõttu.

Käesoleva töö eesmärgiks oli seniajani kasutatud rafinatsioonimeetodi uurimine ja võimaluse korral selle parandamine või uue meetodi väljatöötamine, et võimalduks toota küllaldaselt kõrge kvaliteediga atsetooni.

Senini kasutatavaks rafinatsioonimeetodiks on algul tooratsetooni rafinatsioon väävelhappega ja seejärel täien-

dav rafinatsioon naatriumhüdroksüüdiga. Rafinatsioon viiakse läbi tavaliselt järgmiselt. Toorsetoonile lisatakse juurde kuni 4% kontsentreeritud väävelhapet ja keedetakse siis segu reaktoris kuni 18 tundi. Pärast keetmist teostatakse rektifikatsioon. Saadud destillaadile lisatakse juurde kuni 4% naatriumhüdroksüüdi ja keedetakse samuti kuni 18 tundi. Seejärel teostatakse lõpp-rektifikatsioon. Saagis saadakse umbes 70%.

Saadav rafinaat oma omadustelt ei vasta aga kõigis punktides GOCT-normidele. Võrdluseks olgu toodud tabel 1, kus näitajad on kõrvutatud väävelhappe ja naatriumhüdroksüüdiga rafineeritud atsetooni näitajatele.

Tabel 1.

Näitaja nimetus	GOCT-i normid	NaOH- ja H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -ga rafineeritud atsetooni näitajad
95% destilleerub vahemikus . . . . .	55 . . . 65° C	55 . . . 57° C
Erikaal . . . . .	0,799	0,795
Permanganaadi püsivus	30 min.	mõni sekund
Ketooni% Messingeri järgi . . . . .	96	101—103
Värvus . . . . .	värvusetu	seismisel muutub kollaseks
Lõhn . . . . .	spetsiifiline	ebameeldiv

Ketoonisisaldus üle 100% on tingitud rafinaadi mitte-küllaldasest puhtusest. Ilmselt sisaldab rafinaat kõrvalühendeid, mis omavad suure joodarvu.

Toodud tabelist näeme, et rafinaadi peamiseks puuduseks on madal permanganaadi püsivus, mis iseloomustab kergesti oksüdeeruvate ühendite, nagu aldehüüdide, sisaldust. Teise puudusena võib mainida toodetava atsetooni vähest stabiilsust, mis ilmneb selles, et seismisel atsetoon omandab juba lühikese aja jooksul kollase värvuse.

Teostatud kontrollkatsed parandada uttevetest saadava atsetooni kvaliteeti samade reagentidega, muutes ainult rafinatsiooniks lisatavaid niihästi väävelhappe ja naatriumhüdroksüüdi hulki (kontsentratsioone) kui ka keetmise aegu, ei andnud rahuldava saagise puhul rafinaadi omaduste soovivat paranemist.

Analüüsime lähemalt atsetooni rafinatsiooni protsessi väävelhappe ja naatriumhüd-  
roksüüdiga, et avastada selle olulisi puudusi.  
Lisandades tooratsetoonile, s. o. peamiselt aldehüüdide ja  
ketoonide segule, väävelhapet, peaks seal toimuma alde-  
hüüdide kondensatsioon ja seetõttu oleks võimalik eraldada  
aldehüüde hilisemal rektifikatsioonil. Et see protsess toi-  
muks kiirelt ja täielikult, vajatakse kõrget väävelhappe  
kontsentratsiooni. Aldehüüdide kõrval mõjub aga väävel-  
happe ka ketoonidele, põhjustades ketoonide kondensatsiooni  
reaktsioone, millede tagajärjeks on näiteks dimetüülketoo-  
nist bensooli homoloogi mesitüleeni teke. Seega näeme, et  
rafinatsioon väävelhappega ei saa olla efektiivne, sest soo-  
vides saada kõrge puhtusastmega atsetooni, kaotame saa-  
gises, kuna aga kõrge saagise puhul kannatab atsetooni  
kvaliteet.

Väävelhappega rafinatsioonile järgneva naatriumhüd-  
roksüüdiga rafinatsiooni eesmärgiks on väävelhappega  
rafinatsioonil eraldamata jäänud aldehüüdide ja teiste eba-  
sobivate ühendite kõrvaldamine. Siin paistab olevat parem  
olukord, sest naatriumhüdrosüüd otseselt ei mõju dime-  
tüülketoonile. Praktika aga näitab, et aldehüüdide ja ketoo-  
nide segus, naatriumhüdrosüüdi manulusel, võtavad polü-  
merisatsioonist osa ka ketoonid. Seega on raske aldehüüde  
vajalikul määral kõrvaldada ning säilitada kõrget saagist,  
rafineerides atsetooni väävelhappega ja naatriumhüdrok-  
süüdiga.

Arvestades tooratsetooni iseloomu ja omadusi, oleks sobi-  
vamaks rafinatsioonimeetodiks selline meetod, mille puhul  
algul aldehüüdid kõrvaldatakse mõne odava ja mõõdukalt  
toimiva oksüdeerija abil ning hiljem, vajaduse korral, teos-  
tatakse täiendav rafinatsioon naatriumhüdrosüüdiga, et  
eraldada atsetooni veelgi alles jäänud ebasoovitavad  
ühendid.

Lähtudes toodust, on tooratsetooni uue rafinatsi-  
ooni tehnoloogia väljatöötamisel alu-  
seks võetud järgmised tingimused.

Esiteks, rafinaat peab vastama GOCT-normides toodud  
nõuetele ja omama võimaluse korral reaktiivatsetooni  
kvaliteedi, et kindlustada selle tootmise tasuvust, kuna  
põlevkivi baasil toodetud tooratsetoon kui lähteaine on  
hinnalt võrdlemisi kallis.

Teiseks, rafineeriv agent (reagent) peab olema võima-

likult odav ja omama mõõdukaid oksüdeerivaid omadusi, nii et tunduvalt ei toimuks veel dimetüülketooni lagunemine ja seega ka saagiseprotsendi alanemine.

Kolmandaks, rafinatsioonil ei tohi tekkida raskesti eraldatavaid jääke, mis raskendaksid reaktorite puhastamist.

Neljandaks, rafineeriv agent võib omada rafinatsiooniprotsessil ainult minimaalseid korrodeerivaid omadusi, et seega vältida kallihinnalise, eriterasest valmistatud aparatuuri muretsemist.

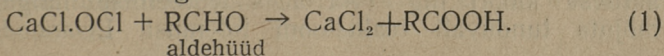
Käesolevas töös kasutati toorainena põlevkivi utteveest eraldatud (toor-) atsetooni järgmiste näitajatega:

- erikaal  $d_4^{20} = 0,7975$ ,
- 95% keeb üle vahemikus  $54 \dots 58^\circ \text{C}$ ,
- aldehüüdide-sisaldus  $0,32 \text{ mg ekv./1 g}$  atsetoonis,
- joodarv  $1370 \text{ g J}_2/100 \text{ g}$  atsetoonis ja
- atsetooni reaktsioon neutraalne.

Reaktiivatsetooni valmistamine toimub sageli ainult laboratoorsete võtetega, kusjuures oksüdeerijana kasutatakse kaaliumpermanganaati  $\text{KMnO}_4$ . Tööstuslikul tootmisel on kaaliumpermanganaadi puuduseks tema liiga kõrge hind. Odavamaga agendina võiks kõne alla tulla lämmastikhape  $\text{HNO}_3$ , kuid selle kasutamise teevad raskeks tema tugevad korrodeerivad omadused, mis nõuaksid eriterasest aparatuuri. Ka kaaliumbikromaadiga rafineerimise katsed ei andnud rahuldavaid tulemusi.

Sobivamaks kui kõik teised oksüdeerijad osutus katsetel rafineeriva ainena tooratsetoonile kloorlubi  $\text{CaOCl}_2$ , kuna see omab mõõdukaid oksüdeerivaid omadusi, on hinnalt odav ega näita protsessil märgatavat korrosiooni toimet aparatuurile.

Kloorlubjaga oksüdatsiooni võiks tähistada järgmise reaktsiooni võrrandiga:



Kloorlubja rafineerivate omaduste selgitamiseks viidi läbi kaks eelkatset. Need näitasid, et 35%-se aktiivse Cl sisaldusega lisand  $2,8 \dots 4\%$  piirides annab juba küllaltki rahuldava kvaliteediga atsetooni, eriti pärast täiendavat rafinatsiooni tahke naatriumhüdroksüüdiga.

Nende eelkatsete põhjal asuti selgitama optimaalseid tooratsetooni rafinatsiooni tingimusi. Selleks viidi läbi viis katseseeriat, milledes muudeti nii rafineerivate ainete koguseid kui ka reaktsiooni aegu. Katsete läbiviimiseks kasuta-

tav aparatuur koosnes 500 ml mahuga ümarkolvist, mis oli varustatud püstjahutiga ja mehaanilise segajaga. Küttegaadina kasutati elektripliiti.

### Katseseeria nr. 1.

Katseseeria viidi läbi kloorlubja optimaalse lisandi selgitamiseks. Nagu eelkatsed juba näitasid, kõigub rafinatsiooniks vajaliku kloorlubja hulk 2,8 ja 4% vahel, arvatuna atsetoonile, mis vastab arvatult aktiivsele kloorile 0,98... 1,4%. Teoreetiliselt vajalik aktiivse kloori hulk 1,12% arvutati reaktsiooni võrrandi (1) ja mahtanalüütiliselt määratud aldehüüdide sisalduse järgi. Katsed teostati üldiselt järgmiselt: katseaparatuuri ümarkolvi kallati kaaluliselt ettenähtud hulk tooratsetooni, millele lisati vastav hulk reagenti ning hoiti siis segu, teda pidevalt segades 56° C juures rafinatsiooniks määratud aja vältel. Seejärel teostati rektifikatsioon, kasutades kolonni, mille eraldamisvõime vastas 6...7 teor. taldrikule. Kuni 56,5° C eraldunud fraktsioonidega, millede hulk oli ca 95,5%, tehti määramisi permanganaadi püsivuse, joodarvu, aluseliste ühendite hulga jt. näitajate suhtes.

Selles katseseerias valiti kloorlubja hulk sellisel, et aktiivset kloori tuleks tooratsetooni suhtes järgmiselt:

- teoreetiline hulk (s. o. 1,12%),
- „ „ 20% teor. akt. Cl (s. o. 1,44%),
- „ „ 10% „ „ „ (s. o. 1,23%) ja
- „ „ —10% „ „ „ (s. o. 1,00%).

Üksikkatse kestuseks valiti 8 tundi, kuna selle aja jooksul, nagu näitasid eelkatsed, reageeris valdav osa kloorlubjast.

Katseseeria tulemuste põhjal (tabel 2) võib öelda, et aktiivse kloori liig (võrreldes teoreetilise hulgaga) ei mõjuta tunduvalt reaktsiooni tulemusi. Lisandades aga

Tabel 2

Katse jrk. nr.	Aktiivse kloori hulk %%	Permanganaadi püsivus	Joodarv	Aluseliste ühendite hulk %%
1	1,44	2 min. 48 sek.	1340	0,00126
2	1,23	2 „ 42 „	1342	0,00100
3	1,12	2 „ 36 „	1342	0,00059
4	1,00	2 „ 36 „	1359	0,00055



aktiivset kloori vähem, kui teoreetiliselt on reaktsiooniks nõutav, langevad järsult rafinaadi omadused. Katsetulemuste põhjal võib veel mainida, et aktiivse kloori hulk üle teoreetilise koguse pole soovitatav, sest lisandades aktiivset kloori üle oksüdatsiooniks vajaliku koguse, võib tõusta aluseliste ühendite hulk rafinaadis üle lubatud piiri. Aluseliste ühendite hulga suurenemine võib olla tingitud reaktsioonikäigus, toorsetoonis vähesel määral esinevate, lämmastikühendite lagunemise tõttu.

Kokku võttes esimese katseseeria tulemusi, võib mainida, et optimaalseks kloorlubja lisandiks toorsetooni rafinatsioonil on teoreetiliselt oksüdatsiooniks vajalik hulk.

### Katseseeria nr. 2

See katseseeria viidi läbi selleks, et selgitada vaba kaltsiumhüdroksüüdi mõju  $\text{Ca(OH)}_2$  rafinatsioonile, kuna kloorlubi pole homogeenne aine, vaid segu, mis sisaldab 20 ja enam protsenti kaltsiumhüdroksüüdi.

Kasutatav kloorlubi sisaldas 16% vaba kaltsiumhüdroksüüdi. Katsetel vähendati kaltsiumhüdroksüüdi hulka kloorlubjas soolhappe lisamisega, oletusel, et tekkiv kaltsiumkloriid  $\text{CaCl}_2$  ei tohiks mõjutada eriliselt reaktsiooni, kuna kloorlubi ise sisaldab alati teatud protsendi kaltsiumkloriidi, ning kaltsiumkloriidi kontsentratsiooni suurendamine väikese protsendi võrra vaevalt mõjutab tunduvalt reaktsiooni. Kaltsiumhüdroksüüdi protsenti kloorlubjas suurendati vaba kaltsiumhüdroksüüdi lisamisega. Vaba kaltsiumhüdroksüüdi lisand katsetel valiti kloorlubja suhtes järgmiselt: 0, 8, 24 ja 32%.

Katsete tulemused (tabel 3) näitavad, et v a b a k a l t -

T a b e l 3

Katse jrk. nr.	Vaba kaltsiumhüdroksüüdi %	Permanganaadi püsivus	Jood-arv	Aluseliste ühendite hulk %.
1	0	2 min. 42 sek.	1340	0,00056
2	8	2 „ 36 „	1344	0,00059
3	24	2 „ 36 „	1344	0,00059
4	32	2 „ 36 „	1344	0,00059

siumhüdroksüüd ei mõjuta märgatavalt reaktsiooni ja tekkivate aluseliste ühendite hulk ei olene vaba kaltsiumhüdroksüüdi sisaldusest. Seega tõestub ka, et aluselised ühendid tekivad alles oksüdatsiooni reaktsiooni toimel (tooratsetooni reaktsioon on neutraalne) ning ei ole mitte tingitud sellest, et nad keedetakse vaba kaltsiumhüdroksüüdiga tooratsetoonis leiduvatest nende sooladest välja.

### Katseseeria nr. 3

Selle katseseeria ülesandeks oli selgitada vajalik minimaalne reaktsiooni kestus. Neid katseid teostati eelmistel katsetel kindlaks määratud optimaalselt minimaalse kloorlubja lisandiga. Katsete reaktsiooni kestused valiti järgmised: 2, 4, 6 ja 8 tundi.

Rafinaadi analüüsid (tabel 4) näitavad, et heade omadustega rafinaadi saame alles 6-tunnise reaktsiooni kestuse tulemusel. Edasi näeme veel, et aluselised ühendid hakkavad tekkima alles pärast kahetunnist reageerimist.

Tabel 4

Katse jrk. nr.	Reaktsiooni kestus tundides	Permanganaadi püsivus	Jood-arv	Aluseliste ühendite hulk %%
1	8	2 min. 36 sek.	1341	0,00059
2	6	2 „ 36 „	1340	0,00024
3	4	1 „ 12 „	1350	0,00005
4	2	silmapilk	1364	prakt. neutraalne

### Katseseeriad nr. 4 ja 5

Need viimased kaks katseseeriat viidi läbi selleks, et määrata kindlaks täiendaval rafinatsioonil naatriumhüdroksüüdiga minimaalselt reaktsiooniks vajalikku naatriumhüdroksüüdi hulka ja reaktsiooni kestust. Selleks varieeriti tahke naatriumhüdroksüüdi lisandiga 0,5 kuni 2%-ni ja reaktsiooni kestusega 2 kuni 8 tunnini. Katseteks kasutati atsetooni, mis esimesel rafineerimisel kloorlubjaga andis optimaalseid näitajaid.

Vaadeldes katsete tulemusi (tabelid 5 ja 6), võib mär-

kida, et minimaalselt vajalik naatriumhüdroksüüdi lisand oleks 1,5% ja reaktsiooni kestus 6 kuni 8 tundi.

Tabel 5

Katse jrk. nr.	Naatriumhüdroksüüdi hulk %%	Permanganaadi püsivus	Jood-arv	Aluseliste ühendite hulk %%
1	0,5	15 min.	1318	0,00033
2	1,0	24 „	1312	0,00029
3	1,5	33 „	1308	0,00026
4	2,0	35 „	1308	0,00024

Tabel 6

Katse jrk. nr.	Reaktsiooni kestus tundides	Permanganaadi püsivus	Jood-arv	Aluseliste ühendite hulk %%
1	8	33 min.	1308	0,00026
2	6	30 „	1306	0,00027
3	4	27 „	1314	0,00028
4	2	18 „	1320	0,00031

Saadud rafineeritud atsetoon vastab täiesti ГOCT 2603-44 (reaktiivatsetoon) normidele.

Pärast laboratoorseid katseid on läbi viidud üks pooltööstuslik katse, mille tulemused andsid rahuldavaid tagajärgi.

Käesoleva töö kokkuvõttena võib mainida, et on välja töötatud tooratsetooni rafinatsiooni meetod kloorlubjaga ja naatriumhüdroksüüdiga, mis omab järgmisi eeliseid väävelhappega ja naatriumhüdroksüüdiga teostatava rafinatsiooni suhtes:

a) Rafinatsiooni kestus väheneb kuni kaks korda, samuti väheneb naatriumhüdroksüüdi kulu rohkem kui kaks korda ning kloorlubi ei ole oma hinnalt kalline aine.

b) Rafinatsiooni jäägid on reaktorist väga kergesti eemaldatavad veega pesemisel, kuna väävelhappega rafineerides tekkinud jäägid on raskemini eemaldatavad ja tingivad sageli hinnaliste lahustajate tarvitamist.

c) Rafinatsioon võib anda üle 90 protsendi kõrgekvaliteedilist produkti, mis vastab ГOCT 2603-44 (reaktiivatsetoon) nõuetele.

## РЕЗЮМЕ

Метод рафинации ацетона-сырца сланцевых подсмольных вод до настоящего времени еще не окончательно разработан. До сих пор применялся метод рафинации с серной кислотой и едким натром, который имеет некоторые трудно устранимые недостатки, а именно низкий выход и не особенно высокое качество продукта.

В настоящей работе агентом для рафинации вместо серной кислоты была взята белильная известь, которая обладает умеренными окисляющими свойствами. Не действуя заметно на кетоны, она переводит альдегиды в кислоты, которые удаляют после окислительной рафинации с дополнительной рафинацией с едким натром.

Аппаратура состояла из круглодонной колбочки в 500 мл., соединенной с холодильником и снабженной с механической мешалкой и электрическим обогревом.

Оптимальным количеством белильной извести в качестве агента рафинации, как было установлено, является 1,12% по активному хлору (теоретическое количество), для едкого натра 1,5% (в твердом виде) в пересчете на ацетон, оптимальный промежуток времени для реакции при обеих рафинациях составляет 6 часов. Выход ацетона свыше 90%. Продукт рафинации, полученный описанным способом, соответствует техническим условиям ГОСТа 2603-44 (ацетон реактивный).

## Kasutatud kirjandus

1. ГОСТ 2603-44.
  2. ГОСТ 1692-42.
  3. Гельперин Н. И. Дестилляция и ректификация. 1947.
  4. International Critical Tables, New York/London.
-

II kursuse üliõpilased ENDEL PATA  
ja KALJU SOO

Teaduslik juhendaja  
keem. tead. kand. dots. B. TORPAN

## LÄMMASTIKHAPPE TOIMEST PÕLEVKIVIS ESINEVAILE VÄÄVELÜHENDEILE

Käesolev töö on teostatud TPI anorgaanilise ja analüütilise keemia kateedris, uurimistöö «ENSV põlevkivi keemilisest koosseisust» raamides, ja käsitleb põlevkivis esinevate väävli liikide määramismeetodi täpsustamist.

Väävel esineb põlevkivis kolmel kujul: püriitne väävel, orgaaniline väävel ja sulfaatne väävel (kips). Elementaarset väävliit põlevkivis ei esine. Nagu on näidanud TPI anorgaanilise ja analüütilise keemia kateedris dots. B. Torpani poolt teostatud uurimised, kuulub enamik väävliit püriidi koostisse, mitte aga põlevkivi orgaanilisesse massi, nagu arvati varem. Sulfaatset väävliit leidub põlevkivis suhteliselt vähe (0,06—0,15%).

Tavaliseks meetodiks väävliliikide määramisel kütustes on Powell-Parri meetod. Selle meetodi järgi saadakse sulfaatne väävel kütuse käsitlemisel soolhappega, püriitne + sulfaatne aga — käsitlemisel külma lämmastikhappega, mis oksüdeerib kvantitatiivselt püriidi. Nende kahe menetluse diferentsina saadakse püriitne väävel, üldväävli diferentsist omakorda aga orgaaniline väävel.

Püriidi protsenti võib arvutada niihästi püriitse raua kui ka püriitse väävli alusel. Seejuures osutus, et püriidi arvutamisel väävli järgi saadakse vahel suurem tulemus kui arvutamisel püriitse raua järgi. Seda seletati orgaanilise väävli kaasaoksüdeerumisega. Seega tuleks õigeks lugeda püriitse raua järgi arvutatud tulemusi. Kuid nagu on näidanud anorgaanilise ja analüütilise keemia kateedris teostatud uurimised, on erinevuste põhjuseks mitte põlevkivis esineva orgaanilise väävli oksüdeerumine, vaid HCl

ja  $\text{HNO}_3$  erinev toime mittepüriitsesse rauda. Powell-Parri meetodi järgi toimub ekstraktsioon 3% soolhappega  $60^\circ\text{C}$  juures 40 tunni vältel. Püriidi oksüdeerimiseks kasutatakse 20,2%-st  $\text{HNO}_3$  (erik. 1,12). Käsitamine toimub toatemperatuuril 72 tunni vältel. Ilmselt annab see meetod õigeid tulemusi püriidi määramisel raua järgi ainult sel juhul, kui  $\text{HNO}_3$  lahustab kvantitatiivselt kogu püriidi ja peale selle veel just need rauaühendid, mis lahustuvad ka soolhappes. Arvestades aga erinevusi hapete kontsentratsioonis, mõjumiskestuses ja temperatuuris, on tõenäoline, et happed lahustavad mittepüriitset rauda erineval määral, eriti siliikaatidest. See oletus osutus õigeks: kui teostati ekstraktsioon lämmastikhappega sellesama ainega, mida oli enne käsitatud soolhappega, siis saadi püriitse raua ja püriitse väävli puhul hästi ühtuvad tulemused.

Kateedris teostatud uurimised näitasid, et mainitud meetodit on võimalik ka kiirendada: soolhappega käsitamise kestuse võis viia 40 tunnilt 1 tunnile, kasutades kõrgemat temperatuuri (keev veevann). Lämmastikhappega käsitamist võib teostada  $50^\circ\text{C}$  juures — 2 tunni vältel.

Käesoleva töö ülesandeks oli leida sobivaim temperatuur püriidi määramiseks ja temperatuuride vahemik, milles algab orgaanilise väävli oksüdatsioon.

Töö katseline osa teostati TPI anorgaanilise ja analüütilise keemia kateedri poolt püriidi määramiseks põlevkivis väljatöötatud meetodi kohaselt järgmiselt: 3 g A-kihist pärinevat põlevkivi, mis oli jahvatatud kuni sõela 4900 läbimiseni, töödeldi 150 ml 5%-lise soolhappega 1 tunni vältel keeval veevannil — mittepüriitsete kergesti lahustuvate rauaühendite ja kipsi kõrvaldamiseks. Edasi töödeldi põlevkivi 80 ml lämmastikhappega (erik. 1,12) 2 tunni vältel viiel erineval temperatuuril:  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  ja  $85^\circ\text{C}$ . Nelja esimese temperatuuri puhul kasutati ultratermostaati, viimasel juhul — keevat veevanni.

Filtraadist määrati  $\text{Fe}^{+++}$  ja  $\text{SO}_4^{--}$ .  $\text{SO}_4^{--}$  sadestamist segav  $\text{NO}_3^-$  kõrvaldati filtraadi korduva kuivaksaurutamise teel kontsentreeritud  $\text{HCl}$  lisamisega. Pärast veega lahjendamist sadestati oksüdeerunud 3-valentne raud kuumalt  $\text{NaOH}$ -ga.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  sade lahustati  $\text{HCl}$ -is ja sadestati veelkordselt, et vältida väävli kaasasadestumist aluselistel sulfaatidena, mis põhjustaks hiljem  $\text{SO}_4^{--}$  määramisel miinus-

vea. Raua kvantitatiivseks sadestamiseks tavaliselt tarvita-  
tava  $\text{NH}_4\text{OH}$  valik ei ole siinkohal sobiv, kuna filtraati  
jääks ammoniumsoolaid, millised omakorda tingiksid  
( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub> $\text{SO}_4$  kaasasadestumist  $\text{BaSO}_4$ -ga ja hiljem miinus-  
vea. Saadud  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  sade lahustati kontsentreeritud sool-  
happes, lahjendati ja määrati raua sisaldus permangano-  
meetriliselt. Selleks redutseeriti 3-valentne raud  $\text{SnCl}_2$ -ga  
2-valentseks,  $\text{SnCl}_2$  liig aga kõrvaldati  $\text{HgCl}_2$  lisamisega.  
Enne tiitrimist lisati Reinhardt-Zimmermanni lahust.  $\text{Cl}'$ -  
iooni redutseeriva toime vähendamiseks lahus lahjendati  
ca 500 ml-ni ja tiitriti  $\text{KMnO}_4$ -ga.

Oksüdeerunud väävli ( $\text{SO}_4''$ ) määramiseks neutraliseeriti  
ühendatud filtraadid ja pesuveed soolhappega, lisati 2 ml  
kontsentreeritud  $\text{HCl}$  ja sadestati  $\text{SO}_4''$  kuumalt 10%-lise  
 $\text{BaCl}_2$ -ga.  $\text{BaSO}_4$  sade filtreeriti, kuivatati ja kaaluti.

Töö tulemused on esitatud järgnevas tabelis:

Tempe- ratuur °C	$\text{FeS}_2\%$ (Fe) järgi	$\text{FeS}_2\%$ (S) järgi	Fe %	S %	Fe mg-ekv. 1 g kohta	S mg-ekv. 1 g kohta
40	2,30	2,26	1,07	1,21	0,192	0,190
50	2,48	2,45	1,15	1,31	0,207	0,205
60	2,61	2,55	1,22	1,36	0,218	0,214
60	2,59	2,55	1,21	1,36	0,216	0,214
75	2,65	2,69	1,23	1,44	0,221	0,226
85	2,66	2,94	1,24	1,57	0,222	0,247

Vaadeldes katseandmeid näeme, et 40°, 50° ja 60° C  
puhul oksüdeerunud raua või väävli järgi arvatud püriidi  
hulgad on ekvivalentseid. 75° ja 85° puhul raua oksüdat-  
siooni edasine kasv peaaegu lakkab, kuna väävli oksüdat-  
sioon tunduvalt tõuseb; ilmselt on siin tegemist orgaanilise  
väävli kaasaoksüdeerumisega.

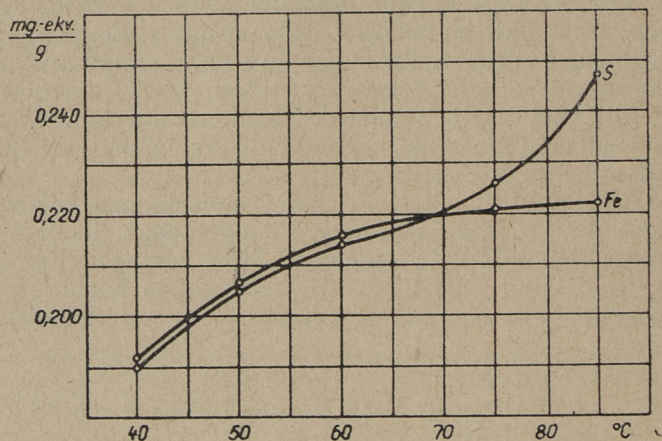
40° ... 60° C puhul on oksüdeerunud väävli järgi arvuta-  
tud püriidi hulgad veidi väiksemad kui oksüdeerunud raua  
järgi arvatud hulgad. See on tingitud väikesest  $\text{BaSO}_4$   
lahustuvusest  $\text{HCl}$  toimel ja võimalikust väikesest üleitiitri-  
mise veast raua määramisel.

Töö tulemusi võib pidada usaldusväärseiks kahel põh-  
jusel:

1) temperatuuride vahemikus 40°—60° C osutusid  
püriidi hulgad, arvatuna oksüdeerunud raua ja oksüdee-  
runud väävli järgi, praktiliselt võrdseiks, ja

2) 60° C puhul teostatud 2 paralleelkatset andsid hästi kokkulangevad tulemused.

Näitlikult esitab katsetulemusi joonisel 1 toodud graafik.



Joonis 1.

Graafiku jooned näitavad raua ja väävli oksüdatsiooni kasvu temperatuuri tõusuga. Raua ja väävli hulgad on arvatud mg-ekvivalentides 1 g põlevkivi kohta vastavalt valemile  $\text{FeS}_2$ . Seega näitab joonte ühtelangemine graafikus, et vastavate temperatuuride vahemikus on toimunud ainult püriitse raua ja püriitse väävli oksüdatsioon.

Nagu graafikust selgub, ongi vahemikus 40°...60° C oksüdeerunud ainult püriit. Seega võib põlevkivis leiduvat püriiti määrata oksüdeerunud väävli järgi 60° C juures. See temperatuur osutub ühtlasi ka optimaalseks põlevkivis sisalduva püriidi kvantitatiivseks määramiseks oksüdeerunud väävli järgi, sest siin ei esine veel hädaohtu saada väärraid katsetulemusi mõnekraadilisel temperatuuri tõusul. Edasine suurem temperatuuri tõus viib juba orgaanilisse massi kuuluva väävli oksüdatsioonile.

Oksüdeerunud raua järgi võib aga püriidi hulka põlevkivis määrata hoopis mugavamates tingimustes kui seda on konstantse temperatuuri hoidmine, nimelt keeval veevannil. Arvestades asjaolu, et temperatuuri tõusuga üle 75° C ei kaasne raua lahusesse mineku märgatavat suure-



nemist (2,65% FeS<sub>2</sub> 75° C ja 2,66% 85° C puhul), võib arvata, et praktiliselt on juba 75° C juures oksüdeerunud kogu püriit, kuid edasine temperatuuri tõus ei vii veel siliikaatse raua lahustumisele, vähemalt niisugusel hulgal, mis segaks püriidi määramist.

Graafikust on näha ka temperatuuride vahemik, s. o. 60°...75° C, millises algab põlevkivi orgaanilise massi koostisse kuuluva väevli märgatav oksüdeerumine, mis edasisel temperatuuri tõusul suureneb. Orgaanilisse massi kuuluva väevli oksüdatsiooni algust oli võimalik tähele panna ka katse käigus. Kui temperatuuride vahemikus 40°...60° C pärast põlevkivi käsitamist HNO<sub>3</sub>-ga oli jääk pruun ja filtraat värvusetu, siis 75° C puhul oli jäägi pruun värvus muutunud tunduvalt heledamaks ning filtraat oli kollane, millise värvuse intensiivsus veelgi kasvas 85° C puhul, vihjates orgaanilise aine suurevale oksüdatsiooni intensiivistumisele.

Töö tulemused rahuldavad täielikult töö teostamisele asudes püstitatud eesmärki — täpsustada põlevkivis leiduva püriitse väevli määramismeetodit.

Põlevkivi väevlisisalduse täpsem tundmine omab suurt praktilist tähtsust seoses põlevkivi gasifitseerimisega. Väevlil mõjutab ka põlevkivi utteproduktide kvaliteeti. Püriidisisalduse tundmine on tarvilik ka põlevkivi kütteväärtuse arvutamisel elementaarkoosseisu alusel.

## РЕЗЮМЕ

Настоящая работа является уточнением метода определения пирита, входящего в состав горючего сланца. Метод разработан на кафедре неорганической и аналитической химии ТПИ доцентом Торпан. По этому методу предварительно отделяют из горючего сланца легкорастворимые соединения железа и сернокислых кальций соляной кислотой, далее окисляют азотной кислотой при повышенной температуре для растворения пиритного железа. Количество пирита можно определить либо по количеству железа (Fe<sup>++</sup>), либо по количеству серы (SO<sub>4</sub><sup>''</sup>).

Задачей работы было найти оптимальную температуру для обработки горючего сланца азотной кислотой и температуру, при которой начинается в условиях опыта окисление серы, входящей в состав органической массы горючего сланца.

Для разъяснения этих вопросов в экспериментальной части этой работы были проведены 18 количественных определений. В результате работы выяснилось, что оптимальной температурой для определения пирита по количеству  $SO_4$  является  $60^\circ C$ . В интервале температур  $60-75^\circ C$  начинается уже окисление серы, входящей в состав органической массы горючего сланца.

Но выходя из количества железа можно количество пирита определять, производя обработку азотной кислотой на кипящей водяной бане, так как результаты опытов показали, что после обработки соляной кислотой остающиеся в горячем сланце соединения железа, кроме пирита, являются устойчивыми в отношении воздействия азотной кислоты.

IV kursuse üliõpilane UNO NIGUL.

Teaduslik juhendaja

tehn. tead. doktor NIKOLAI ALUMÄE.

## ÕHUKESSEINALISTE ELASTSETE VARRASTE STABIILSUSE TEOORIA ENERGEETILINE KÄSITLUS

Käesolevas töös vaadeldakse lahtise kontuuriga sirgete õhukeseseinaliste varraste stabiilsuse teooriat energeetilises kontseptsioonis, kusjuures on lähtunud õhukeste silindriliste koorikute mittelineaarsest teooriast. Kasutatud on V. Z. Vlassovi [3] hüpoteese, sest praegu olemasolevatel andmetel, eriti aga D. V. Bõtškovi, A. K. Mroštšinski [2], M. M. Gochbergi [8] jt. poolt läbiviidud katsete alusel võib väita, et vähemalt ehituskonstruksioonides peamiselt esinevate ristlõike kujude puhul annab lihtsustatud hüpoteesidele rajatud teooria praktiliselt küllalt täpseid tulemusi<sup>1</sup>. Peale selle oletame, et varras on algolukorras koormatud, kuid deformatsioonid on niivõrd väiksed, et varda telge võib lugeda sirgeks ja varrast mitte vändunuks. Käsitleme üldist koormisjuhtu, eeldades ainult, et algolukorras puuduvad vändemomendid, sest vastasel korral stabiilsuse probleem kaotaks oma füüsikalise sisu.

### 1. Keskpinna tangentsiaaldeformatsiooni avaldised

Vaatleme avatud silindrilise kooriku keskpinda kahes koordinaadistikus (joon. 1): a) ristkoordinaatides  $xyz$ , kus paigutumisi tähistame vastavalt  $\xi, \eta, \zeta$  ja b) kõverjoonsetes ristkoordinaatides  $\alpha_1$  (juhtjoon) ja  $\alpha_2$  (moodustaja).

---

<sup>1</sup> A. L. Goldenweiseri uurimuses [7] väidetakse, et V. Z. Vlassovi hüpoteesid, samuti ka G. J. Džanelidze ja J. G. Panovko [6 pt. 5] üldisem teooria, pole teoreetiliselt täiesti põhjendatavad, kuid uut rakendusteooriat ei esitata.

kus paigutumised  $u, w, v$  on määratud liikuva ühikvektor-kolmikuga  $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$  suundadega.

$$\mathbf{e}_1 = \frac{1}{A_1} \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \alpha_1} = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial s}, \quad \mathbf{e}_2 = \frac{1}{A_2} \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \alpha_2} = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial z}, \quad \mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1 \times \mathbf{e}_2, \quad (1.1)$$

kus  $A_1$  ja  $A_2$  on Lamé parameetrid,  $\mathbf{r}$  — kohavektor,  $s$  — koordinaat mööda  $\alpha_1$  joont.

Koordinaatide teisendusvalemid on järgmised:

$$w = \zeta; \quad u = -\xi \sin \beta + \eta \cos \beta; \quad v = \xi \cos \beta + \eta \sin \beta \quad (1.2)$$

$$\zeta = w; \quad \eta = u \cos \beta + v \sin \beta; \quad \xi = v \cos \beta - u \sin \beta, \quad (1.3)$$

siin on  $\beta$   $x$ -telje ja normaali ( $\mathbf{e}_3$ ) vaheline nurk. Olgu  $R=R(s)$  keskpinna peakõverusraadius, siis selgub jooniselt 1, et

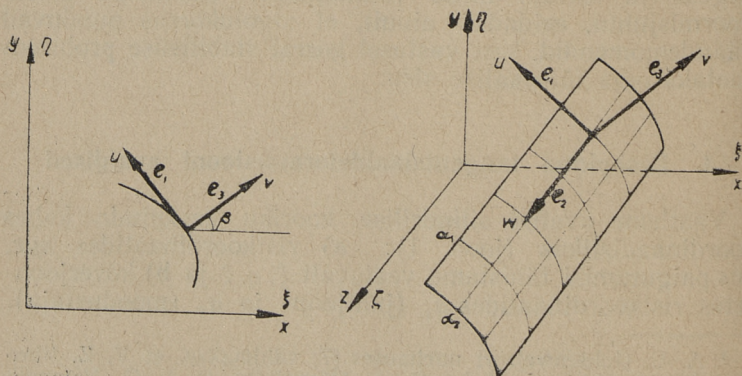
$$\cos \beta = \frac{dy}{ds}, \quad \sin \beta = \frac{dx}{ds}, \quad \frac{d\beta}{ds} = \frac{1}{R}. \quad (1.4)$$

Tähistame keskpinna relatiivse pikenemise  $s$ -suunas  $\varepsilon_s$ , siis

$$\begin{aligned} \varepsilon_s = & \varepsilon_y \cos^2(y, s) + \varepsilon_z \cos^2(z, s) + \varepsilon_x \cos^2(x, s) + \\ & + \gamma_{zx} \cos(z, s) \cos(x, s) + \gamma_{xy} \cos(x, s) \cos(y, s) + \\ & + \gamma_{yz} \cos(y, s) \cos(z, s). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Seejuures:

$$\cos(y, s) = \cos \beta, \quad \cos(z, s) = 0, \quad \cos(x, s) = -\sin \beta. \quad (1.6)$$



Joonis 1.

Asendame avaldises (1.5)  $\varepsilon^x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}$  ja  $\gamma_{zx}$  elastsusteoorias tuntud mittelineaarsete paigutusavaldistega ning võtame arvesse seoseid (1.3), (1.4), (1.6), siis selgub:

$$\varepsilon_s = \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{u}{R} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial s} \right)^2 \right]. \quad (1.7)$$

Analoogiliselt saame  $\varepsilon_z$  avaldise (relatiivne pikenemine z-telje suunas):

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varsigma}{\partial z} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

Keskpinna nihkedeformatsioon on avaldatav järgmiselt:

$$\gamma_{sz} = \frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial s} \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} \right) + \frac{\partial v}{\partial z} \left( \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{u}{R} \right). \quad (1.9)$$

Eeldades, et varras on küllalt pikk, võib varda paigutusfunktsioonide kohta väita järgmist:

1) Varda deformeerumisel üldse (välja arvatud tõmbeülesanne) ning põikumisel ja nõtkumisel eriti

$$w \ll u, \quad w \ll v. \quad (1.10)$$

2) Olemasolevate ligikaudsete lahendite uurimise alusel võib oletada, et sama kehtib ka tuletiste kohta z järgi:

$$\frac{\partial w}{\partial z} \ll \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \frac{\partial w}{\partial z} \ll \frac{\partial v}{\partial z}. \quad (1.10a)$$

Kuna käesolevas töös edaspidi kõikjal hüljatakse kõrge-  
mat kui teist väiksusjärku liikmed, siis paigutusfunktsioonide ülaltoodud omaduste põhjal võib  $\varepsilon_z$  ja  $\gamma_{sz}$  avaldised lihtsustada järgmisteks:

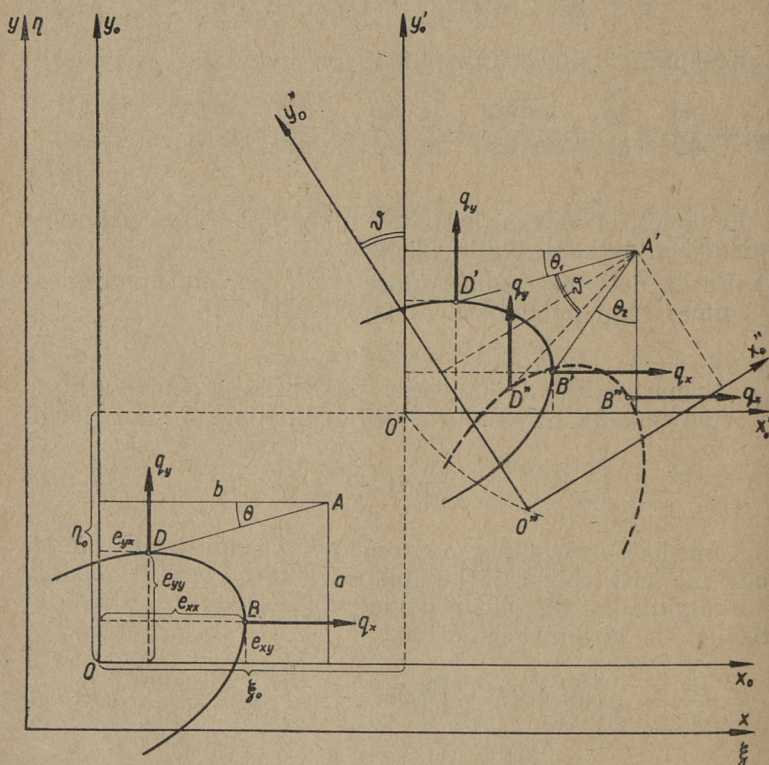
$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] = \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial \xi}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial z} \right)^2 \right], \quad (1.11)$$

$$\gamma_{sz} = \frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} \right) + \frac{\partial v}{\partial z} \left( \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{u}{R} \right). \quad (1.12)$$

## 2. Lihtsustavad hüpoteesid

*Esimene hüpotees:* Tugevusõpetusliku talateooria ja katsetulemuste alusel [3, 2] võib oletada, et õhukeseseinalise varda deformeerumisel ristlõike kontuur jääb deformeerumatuks, s. t. ristlõike projektsioon varda esialgse teljega (ehk  $z$ -teljega) ristiolevale tasapinnale jääb muutmatuks. Järelikult kontuuri deformeerumatus hüpotees ei piira ristlõike punktide paigutumist varda telje suunas ega määra nn. deplanatsiooni seaduspärasust.

Varda deformeerumisel võib kontuuri projektsiooni liikumist (varda esialgse teljega ristioleval tasapinnal) vaadelda koosnevana translatsioonist ja pöördest ümber ristlõike paindekeskme (hetktsentri). Järelikult keskpinna



Joonis 2.

punktide projektsioonide paigutumised  $z$ -teljega ristioleval tasapinnal (joon. 2):

$$\xi = \xi_0 - (y_0 - a) \sin \vartheta + (x_0 - b) (\cos \vartheta - 1), \quad (2.1)$$

$$\eta = \eta_0 + (y_0 - a) (\cos \vartheta - 1) + (x_0 - b) \sin \vartheta,$$

kus  $\xi_0$  ja  $\eta_0$  — paindekeskme paigutumised,  
 $\vartheta$  — kontuuri projektsiooni pöördenurk ümber paindekeskme,  
 $x_0$  ja  $y_0$  — meelevaldse punkti koordinaadid ristlõike peateljestikus,  
 $a$  ja  $b$  — paindekeskme koordinaadid ristlõike peateljestikus.

Arendame  $\cos \vartheta$  ja  $\sin \vartheta$  ritta ning säilitame teist väiksusjärku liikmed:

$$\xi = \xi_0 - (y_0 - a) \vartheta - \frac{1}{2} (x_0 - b) \vartheta^2. \quad (2.2)$$

$$\eta = \eta_0 - \frac{1}{2} (y_0 - a) \vartheta^2 + (x_0 - b) \vartheta.$$

Otstarbekas on valida liikumatu teljestik selliselt, et algolukorras  $xyz$  ja  $x_0 y_0 z_0$  teljestikus langevad ühte.

Märgime, et kui avaldistes (2.2) loobuda teistjärku liikmetest, siis saadakse literatuuris üldtuntud kontuuri deformeerumatus lineaarsed avaldused.

Kontuuri deformeerumatus hüpoteesist tuleneb, et  $\varepsilon_s$  projektsioon  $xy$ -tasapinnale peab olema null:

$$\varepsilon_s|_{xy} = 0. \quad (2.3)$$

$u$  ja  $v$  väljendavad paigutusi tasapinnas  $xy$  ja  $w$  — selle tasapinna normaali suunas, järelikult avaldise (1.7) põhjal:

$$\varepsilon_s|_{xy} = \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial s} - \frac{u}{R} \right)^2 \right]. \quad (2.4)$$

Märgime, et kui avaldises (1.7) loobuda teistjärku liikmetest, siis saadakse õhukeseseinaliste varraste teoorias tuntud seos:

$$\varepsilon_s|_{xy} \equiv \varepsilon_s = \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R} = 0.$$

Kasutanud teisendusvalemeid (1.2) ja asetanud avaldised (2.2) võrrandisse (2.4), osutub, et see on rahuldatud neljandat järku liikmete täpsusega. Seejuures

$$\left(\frac{\partial v}{\partial s} - \frac{u}{R}\right) = -\vartheta, \quad (2.5)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{v}{R}\right) = -\frac{1}{2}\vartheta^2. \quad (2.6)$$

*Teine hüpotees:* prof. V. Z. Vlassovi õhukeseseinaliste varraste teooria on rajatud hüpoteesile

$$\gamma_{sz} = 0. \quad (2.7)$$

Seda hüpoteesi tuleb mõista kinemaatilises tähenduses (nagu analoogilist oletust tugevusõpetuslikus talateoorias ning Kirchhoffi hüpoteesi üldises koorikuteteoorias). Füüsikalist sisu see hüpotees muidugi ei evi, nihkepinged siiski arvutatakse, kuid mitte Hooke'i seadusest, vaid tasakaalutingimusest.

Väljendanud tingimuse (2.7) avaldise (1.12) abil ja võtnud arvesse esimesest hüpoteesist tulenevaid seoseid (2.5) ning (2.6), saame ainult teistjärku liikmeid säilitades järgmise võrrandi:

$$\gamma_{sz} = \frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial z}\vartheta = 0. \quad (2.8)$$

Kasutanud teisendusvalemeid (1.2) ja (1.4), saame:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial s} - \xi' \sin \beta + \eta' \cos \beta - \vartheta \xi' \cos \beta - \vartheta \eta' \sin \beta = 0, \quad (2.9)$$

kus tuletised  $z$  järgi on tähistatud kriipsukesega ülal.

Integreerinud ning kasutanud seoseid (2.2), saame:

$$\zeta = \zeta_0 - \xi_0' x_0 - \eta_0 y_0 - \vartheta' \omega + \vartheta \xi_0' y_0 - \vartheta \eta_0' x_0, \quad (2.10)$$

kus  $\zeta_0 = \zeta_0(z)$  — kõigile ristlõike punktidele ühesugune  $z$ -telje suunaline paigutumine,

$$\omega = \int_0^s [(x_0 - b) dy_0 - (y_0 - a) dx_0] - \text{sektoriaalne pind} \quad [3].$$

Asetades avaldise (1.11)  $\xi$ ,  $\eta$  ja  $\zeta$  vastavalt seostele (2.2) ja (2.10) osutub:

$$\begin{aligned} \varepsilon_z = & \zeta_0' - \xi_0' x_0 - \eta_0'' y_0 - \vartheta'' \omega + (\vartheta \xi_0')' y_0 - (\vartheta \eta_0')' x_0 + \\ & + \frac{1}{2} \left[ (\xi')^2 - 2\vartheta' \xi_0' (y_0 - a) + (y_0 - a)^2 (\vartheta')^2 + \right. \\ & \left. + 2\eta_0' \vartheta' (x_0 - b) + (\vartheta')^2 (x_0 - b)^2 \right]. \quad (2.11) \end{aligned}$$



## РЕЗЮМЕ

Циклонная зола сланца как вяжущий имеет большое значение. Свойства прочности ее такие, что можно ее применить в натуральном виде в строительных растворах. Но в натуральном виде она имеет некоторые недостатки, как например малая объемистость, низкая 7-дневная прочность в сравнении с 28-дневной прочностью и др. Но эти недостатки можно уменьшать при дальнейшей обработке золы. Из них лучшими являются:

- 1) предварительное гашение свободной извести,
- 2) помол золы,
- 3) добавка гидравлических примесей.

Эти методы обработки золы дали значительное повышение прочности (1,5...3 раза), повышение объемистости и другие показатели.

---



## Trükivigu

Lk.	Rida	On trükitud	Peab olema	Kelle süü tõttu viga tekkinud
48	1. rida alt	$+(g'^2)$	$+(g')^2$	Toimetaja
50	11. rida ülevalt	$+\frac{1}{2}D\int_0^1$	$+\frac{1}{2}D\int_0^1$	Trükikoda
54	1. rida alt	$EF\zeta_0'' = 0$	$EF\xi_0'' = 0$	Toimetaja
56	14. rida ülevalt	$+\pi = 0,$	$+\pi_v = 0,$	Trükikoda
45	1. rida ülevalt	$\varepsilon^x,$	$\varepsilon_x,$	Trükikoda

*Kolmas hüpotees.* Oletatakse, et puhtas väändeolukorras kehtib seos:

$$M_z = C\vartheta', \quad (2.12)$$

kus  $M_z$  on väändemoment ja

$$C = GI_d \text{ — väändejäikus puhtal väändel} \quad [3].$$

### 3. Energeetilised avaldised

Suletud süsteemi (varda) potentsiaalse energia muutus deformatsioonil (kui ei esine potentsiaalse energia muundumist kineetiliseks):

$$\pi = \pi_s + \pi_v, \quad (3.1)$$

kus  $\pi_s$  — deformatsiooni potentsiaalse energia muutus ja  $\pi_v$  — välisjõudude (koormise) potentsiaali muutus.

Stabiilsusprobleemide uurimisel (vt. sissejuhatus) eeldatakse, et varras on algolukorras koormatud.

Sel puhul

$$\pi_s = \pi_d + \pi_d^0, \quad (3.2)$$

kus  $\pi_d$  on deformatsiooni energia, mille varras omandab siirdudes algasendist ( $\xi_0 \equiv 0, \eta_0 \equiv 0, \vartheta \equiv 0, \zeta \equiv 0$ ) minigisse paigutusolukorda  $\delta(\xi_0(z), \eta_0(z), \vartheta(z), \zeta_0(z))$ ,

$\pi_d^0$  — algolukorras eksisteerivate sisejõudude (pingete) potentsiaali muutus varda paigutumisel olukorda  $\delta(\xi_0(z), \eta_0(z), \vartheta(z), \zeta_0(z))$ .

Kriitilise koormise määramisel vaatleme kaht lõpmata lähedast ekvipotentsiaalset olukorda, järelikult:

$$\pi = \pi_d + \pi_d^0 + \pi_v = 0. \quad (3.3)$$

Arvutame alljärgnevalt võrrandi (3.3) üksikute liikmete avaldised.

*Deformatsiooni energia.* Eeldades vastavalt Kirchhoffi hüpoteesile, et normaalisuunalised pinged võrduvad nulliga ja vastavalt kontuuri deformeerumatusse hüpoteesile  $\varepsilon_{s|xy} = 0$ , selgub üldistatud Hooke'i seadusest, et

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\mu^2} \varepsilon_z. \quad (3.4)$$

Tähistame lihtsustuseks  $\frac{E}{1-\mu^2} = \bar{E}$  ja võtame arvesse

ülaltoodud hüpoteese, siis selgub, et

$$\pi_a = \frac{\bar{E}}{2} \int_0^1 dz \int_F (\varepsilon_z)^2 dF + \frac{1}{2} \int C (\vartheta')^2 dz. \quad (3.5)$$

Esimese integraali väljendamiseks paigutusfunktsioonides  $\xi_0$ ,  $\eta_0$ ,  $\vartheta$ ,  $\zeta_0$  kasutame seost (2.11), võrrandites säilitame ainult teistjärku liikmed ning võtame arvesse, et integraalid üle kogu ristlõike:

$$\begin{aligned} \int_F x dF = 0, \quad \int_F y dF = 0, \quad \int_F xy dF = 0, \quad \int_F \omega dF = 0, \\ \int_F x \omega dF = 0, \quad \int_F y \omega dF = 0. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Siis selgub:

$$\begin{aligned} \pi_a = \frac{1}{2} EF \int_0^1 (\zeta')^2 dz + \frac{1}{2} B_0 \int_0^1 (\eta'')^2 dz + \frac{1}{2} B \int_0^1 (\xi_0'')^2 dz + \\ + \frac{1}{2} D \int_0^1 (\vartheta'')^2 dz + \frac{1}{2} C \int (\vartheta')^2 dz, \end{aligned} \quad (3.7)$$

kus lühenduseks on kasutatud tähistust:

$$B_0 = \bar{E} I_x, \quad B = \bar{E} I_y, \quad D = \bar{E} I_\omega = \bar{E} \int \omega^2 dF. \quad (3.8)$$

Saadud tulemuste ja edaspidiste arutelude kohta märgime järgmist:

1)  $\varepsilon_z$  avaldis oli tuletatud keskpinna kohta, kuid eespool me kasutasime teda integreerimisel üle kogu ristlõike pinna, selline lihtsus on samaväärne oletusele, et pikenemisdeformatsioonid (ja vastavad pinged) jaotuvad varda paksumes lineaarselt ning keskpinnal esinevad keskmised väärtused.

2) Avaldis (3.7) on ilmselt üldistatav juhu jaoks, kui varras on teatud piirkondades tugevdatud, sest varrast võib sel puhul vaadelda kui üksikutest silindrilistest varrastest jätkatud konstruktsiooni, milles iga üksiku osa kohta kehtib avaldis (3.7). Järelikult tuleb tugevdatud varda korral integraalid asendada integraalide summadega.

*Algolukorras eksisteerivate sisejõudude potentsiaali muutus (algpingete töö).*

Väliskoormise üldistust piirame oletusega, et algolukorras puuduvad väändemomendid. Üldjuhul  $N = N(z)$ , kusjuures oletame, et  $N$  on rakendatud ristlõike raskuskeskmes, kuna ekstsentrilisusest tingitud momendid on võetud arvesse suurustega  $M_x$  ja  $M_y$ .

$M$  ja  $M_y$  on positiivsed, kui nende pöördevektor langeb ühte koordinaattelje suunaga.

$$\begin{aligned}
 \pi_d^0 &= \int \int \int \sigma_z^0 \varepsilon_z dx dy dz = \\
 &= \int_0^1 dz \int_F \left\{ \frac{N}{F} - \frac{M_x}{I_x} y_0 + \frac{M_y}{I_y} x_0 \right\} \left\{ \xi_0' - \xi_0'' x_0 - \eta_0'' y_0 - \right. \\
 &- \vartheta'' \omega + (\vartheta \xi_0')' y_0 - (\vartheta \eta_0')' x_0 + \frac{1}{2} (\xi_0')^2 - \vartheta' \xi_0' (y_0 - a) + \\
 &+ \frac{1}{2} (\vartheta')^2 (y_0 - a)^2 + \frac{1}{2} (\eta_0')^2 + \eta_0' \vartheta' (x_0 - b) + \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (\vartheta')^2 (x_0 - b)^2 \right\} dF = \int_0^1 N \left\{ \xi_0' + \frac{1}{2} (\xi_0')^2 + a \vartheta' \xi_0' + \right. \\
 &+ \frac{1}{2} (\vartheta')^2 \left( \frac{I_x}{F} + a^2 \right) + \frac{1}{2} (\eta_0')^2 - \eta_0' \vartheta' b + \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (\vartheta')^2 \left( \frac{I_y}{F} + b^2 \right) \right\} dz - \int_0^1 M_x \left\{ -\eta_0'' + (\vartheta \xi_0')' - \right. \\
 &- \vartheta' \xi_0' - (\vartheta')^2 a + \frac{1}{2 I_x} (\vartheta')^2 \int_F (y_0^3 + x_0^2 y_0) dF \left. \right\} dz + \\
 &+ \int_0^1 M_y \left\{ -\xi_0'' - (\vartheta \eta_0')' + \eta_0' \vartheta' - b (\vartheta')^2 + \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2 I_y} (\vartheta')^2 \int_F (x_0^3 + y_0^2 x_0) dF \right\} dz. \tag{3.9}
 \end{aligned}$$

Tähistame uued geometrilised karakteristikud järgmiselt:

$$\frac{I_y + I_x}{F} + a^2 + b^2 = r^2$$

$$\frac{1}{2I_x} \int_F (y_0^3 + x_0^2 y_0) dF - a = \alpha_1 \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{2I_y} \int_F (x_0^3 + y_0^2 x_0) dF - b = \alpha_2$$

Teostanud koondamise, saame järgmise avaldise:

$$\begin{aligned} \pi_d^0 = & \int_0^1 N \left\{ \xi_0' + \frac{1}{2} (\xi_0')^2 + \frac{1}{2} (\eta_0')^2 + a\vartheta' \xi_0' - b\vartheta' \eta_0' \right\} dz + \\ & + \int_0^1 (\vartheta')^2 \left( \frac{r^2}{2} N - M_x \alpha_1 + M_y \alpha_2 \right) dz - \int_0^1 M_y \left( \xi_0'' + \right. \\ & \left. + \vartheta \eta_0'' \right) dz - \int_0^1 M_x \left( -\eta_0'' + \vartheta \xi_0'' \right) dz . \end{aligned} \quad (3.11)$$

*Välisjõudude potentsiaali muutus.* Välisjõudude potentsiaali muutus varda deformeerumisel väljendub jõudude suuruse ja nende sihiliste rakenduspunkti paigutumiste korrutiste summana. (Eeldatakse, et välisjõudude suund ei muutu.) Selgituseks on toodud joonis 2, kus on kasutatud järgmist tähistust:

$O$  — raskuskesk;  $x_0$  ja  $y_0$  — ristlõike peateljed;  
 $A$  — paindekese;  $a$  ja  $b$  — paindekeskme koordinaadid;  
 $e_{xx}$  ja  $e_{xy}$  —  $q_x$  rakenduspunkti koordinaadid teljestikus  $x_0 y_0$ ;  
 $e_{yy}$  ja  $e_{yx}$  —  $q_y$  rakenduspunkti koordinaadid teljestikus  $x_0 y_0$ .

Välisjõudude potentsiaali muutus avaldub järgmiselt:

$$\pi_v = - \int_0^1 \left\{ q_y \left\{ \eta_0 - [\sin(\theta_1 + \vartheta) - \sin \theta_1] \overline{A'D'} \right\} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + q_x \{ \xi_0 + [ \sin \Theta_2 - \sin (\Theta_2 - \vartheta) ] \overline{A'B'} \} + N \zeta_0' \} dz = \\
 & = - \int_0^1 \{ q_y \{ \eta_0 + \frac{1}{2} \vartheta^2 (a - e_{yy}) - \vartheta (b - e_{yx}) \} + q_x \{ \xi_0 + \\
 & + \frac{1}{2} \vartheta^2 (b - e_{xx}) + \vartheta (a - e_{xy}) \} + N \zeta_0' \} dz . \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Tingimusest, et algolukorras väändemoment on kõigis ristlõigetes võrdne nulliga (vt. sissejuhatus), järgneb:

$$q_y (b - e_{yx}) = q_x (a - e_{xy}) . \quad (3.13)$$

Järelikult:

$$\begin{aligned}
 \pi_v = - \int_0^1 \{ q_y [ \eta_0 + \frac{1}{2} \vartheta^2 (a - e_{yy}) ] + q_x [ \xi_0 + \\
 + \frac{1}{2} \vartheta^2 (b - e_{xx}) ] + N \zeta_0' \} dz . \quad (3.14)
 \end{aligned}$$

*Potentsiaalse energia muutuse üldavaldis.* Toodud arvutuste alusel on võimalik avaldist (3.3) kirjutada avatud kujul, kuid juhime enne tähelepanu ühele lihtsustusele:

$$\begin{aligned}
 - \int_0^1 M_y \xi_0'' dz = | - M_y \xi_0' + M_y' \xi_0 |_0^1 + \int_0^1 q_x \xi_0 dz \\
 (3.15)
 \end{aligned}$$

$$+ \int_0^1 M_x \eta_0'' dz = | M_x \eta_0' - M_x' \eta_0 |_0^1 + \int_0^1 q_y \eta_0 dz .$$

Juhul kui momentide epüür on murdjooneline, siis kõik integraalid asenduvad integraalide summadega. Seejuures on ilmne, et kui toed ei saa paigutusi, siis ositi integreerimisega integraali märgi alt välja toodud suurused osutuvad nulliks. Kui toed saavad paigutusi, siis väljatoodud liikmete summa võrdub toe ristlõigetes mõjuvate üldistatud jõudude potentsiaali muutusega. Järelikult, potentsiaalse energia muutuse üldavaldis on esitatav järgmiselt:

$$\begin{aligned}
 \pi = \frac{1}{2} EF \int_0^1 (\zeta_0') dz + \frac{1}{2} B_0 \int_0^1 (\eta_0'')^2 dz + \frac{1}{2} B \int_0^1 (\xi_0'')^2 dz + \\
 + \frac{1}{2} D \int_0^1 (\vartheta'')^2 dz + \frac{1}{2} C \int_0^1 (\vartheta')^2 dz + \int_0^1 N [ \frac{1}{2} (\xi_0')^2 + \\
 + \frac{1}{2} (\eta_0')^2 + a \vartheta' \xi_0' - b \vartheta' \eta_0' ] dz - \int_0^1 [ M_y \vartheta \eta_0'' +
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& + M_x \vartheta \xi_0'' ] dz + \int_0^1 (\vartheta')^2 \left( \frac{r^2}{2} N - M_x \alpha_1 + M_y \alpha_2 \right) dz - \\
& - \frac{1}{2} \int_0^1 \vartheta^2 [ q_x (b - e_{xx}) + q_y (a - e_{yy}) ] dz = 0 . \quad (3.16)
\end{aligned}$$

Avaldis (3.16) sisaldab kindlasti kõik teistjärku liikmed, küll aga võivad mõned liikmed konkreetsetel erijuhetudel osutada hüljatavalt väikesteks. Näiteks I-tala põikumisel on  $\xi_0$  ja  $\eta_0$  märksa väiksemad paigutuskomponentidest  $\vartheta$  ja  $\xi_0$  ning nendest võib esimeses lähenduses loobuda [11,3].

#### 4. Diferentsiaalvõrrandid kriitilise koormise määramiseks

Varieerime võrrandit (3.16) paigutusfunktsioonide järgi:

$$\begin{aligned}
\delta\pi = & EF \int_0^1 \xi_0' \delta\xi_0' dz + B_0 \int_0^1 \eta_0'' \delta\eta_0'' dz + B \int_0^1 \xi_0'' \delta\xi_0'' dz + \\
& + D \int_0^1 \vartheta'' \delta\vartheta'' dz + C \int_0^1 \vartheta' \delta\vartheta' dz + \int_0^1 N \{ \xi_0' \delta\xi_0' + \eta_0' \delta\eta_0' + \\
& + a \vartheta' \delta\xi_0' + \alpha_1 \xi_0' \delta\vartheta' - b \vartheta' \delta\eta_0' - b \eta_0' \delta\vartheta' \} dz - \\
& - \int_0^1 \{ M_y \vartheta \delta\eta_0'' + M_y \eta_0'' \delta\vartheta + M_x \vartheta \delta\xi_0'' + M_x \xi_0'' \delta\vartheta \} dz + \\
& + \int_0^1 2 \vartheta' \delta\vartheta' \left( \frac{r^2}{2} N - M_x \alpha_1 + M_y \alpha_2 \right) dz - \int_0^1 \vartheta \delta\vartheta [ q_x (b - e_{xx}) + \\
& + q_y (a - e_{yy}) ] dz = 0 . \quad (4.1)
\end{aligned}$$

Kasutanud variatsioonarvutuse eeskirju, selgub, et Euleri-Lagrange võrrandid kujunevad järgmisteks:

$$\begin{aligned}
\text{I} \quad & B \xi_0'''' - [N(\xi_0' + a\vartheta')] - (M_x \vartheta)'' = 0 . \\
\text{II} \quad & B_0 \eta_0'''' - [N(\eta_0' - b\vartheta')] - (M_y \vartheta)'' = 0 . \\
\text{III} \quad & D \vartheta'''' - C \vartheta'' - [(r^2 N - 2\alpha_1 M_x + 2\alpha_2 M_y) \vartheta']' + \\
& + [q_x (e_{xx} - b) + q_y (e_{yy} - a)] \vartheta - a (N \xi_0')' + \\
& + b (N \eta_0')' - M_x \xi_0'' - M_y \eta_0'' = 0 . \\
\text{IV} \quad & EF \xi_0'' = 0 . \quad (4.2)
\end{aligned}$$

Võrrandid (4.2) kehtivad ideaalsetel toetingimustel ning p. 3 ja 4 võetud eeldustel. Kolm esimest võrrandit langevad ühte V. Z. Vlassovi õhukeseseinalise varda stabiilsuse võrranditega [3, lk. 209].<sup>1</sup> Neljandast võrrandist selgub, et

$$\zeta_0 = C_1 z + C_2, \quad (4.3)$$

kus  $C_1$  ja  $C_2$  on rajatingimustest määratavad konstandid. Avaldis (4.3) väidab, et pikipaigutused jagunevad lineaarse seaduspärasusega, mis tuleneb meie lähteoletusest, et  $\omega$  on teistjärku suurus ning võib loobuda tema mittelineaarsete komponentide arvessevõtmisest.

Märkus: M. M. Gochbergi poolt 1948. a. [8, lk. 125] avaldatud artiklis on sisuliselt baseeritud samuti V. Z. Vlassovi eeldustel. Meetodi teoreetiliste aluste üldistamiseks märgime, et võrrand (3.16) ja järelikult ka V. Z. Vlassovi võrrandid (4.2) on üldjuhul tuletatavad ka järgmistest lähteseostest:

1) Esimese ja teise hüpoteesi lineaarsed avaldised

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 - (y_0 - a) \vartheta \\ \eta &= \eta_0 + (x_0 - b) \vartheta \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0. \quad (5.2)$$

2) Potentsiaalse energia muutuse avaldises  $\pi_d$  ja  $\pi_v$  jäävad endisteks, kuid

$$\pi_d^0 = \iiint (\sigma_z^0 \varepsilon_z + \gamma_{sz} \tau) dx dy dz. \quad (5.3)$$

Seejuures, vastavalt seostele (5.1) ja (5.2),

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \zeta_0' - \xi_0'' x_0 - \eta'' y_0 - \vartheta'' \omega + \frac{1}{2} (\xi_0')^2 - (\vartheta' \xi_0') (y_0 - a) + \\ &+ \frac{1}{2} (\vartheta')^2 (y_0 - a)^2 + \frac{1}{2} (\eta_0')^2 + \eta_0' \vartheta' (x_0 - b) + \frac{1}{2} (\vartheta')^2 (x_0 - b)^2 \end{aligned}$$

$\gamma_{sz}$  avaldises, vastavalt tingimusele (5.2), lineaarne osa on null, mittelineaarne osa aga nullist erinev. Ehkki meetod ka üldjuhul viib tulemusele (3.16), on ta füüsikaline baas pisut ebaselgem.

<sup>1</sup> Käesolevas töös kasutatud koordinaadistikus on  $y$ -teljel vastupidine suund, seepärast tuleb formaalse ühtelangemise saavutamiseks võtta vastupidise märgiga järgmised suurused:  $\vartheta, M_y, \eta, a$  ja  $\alpha_1$ .

## РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается в энергетической концепции теория устойчивости тонкостенных упругих стержней с открытым недеформированным поперечным контуром, исходя из нелинейной теории цилиндрических оболочек. Во всех выкладках сохраняются величины до второго порядка малости включительно. Для упрощений принимаются гипотезы В. З. Власова (2.2), (2.7) и (2.12), что приводит к нелинейной формуле  $\varepsilon_z$  (2.11). Предполагается, что в начальном состоянии стержня отсутствуют крутящие моменты и стержень является прямым. Это состояние называется критическим, если при данных внешних воздействиях возможно другое бесконечно близкое, но качественно отличное эквипотенциальное состояние, то есть:

$$\pi = \pi_d + \pi_d^0 + \pi_v = 0, \quad (3.3)$$

где  $\pi_d$  — энергия деформации (3.5), (3.7);

$\pi_d^0$  — изменение потенциальной энергии начальных напряжений (3.9);

$\pi_v$  — изменение потенциала внешних сил (3.15).

Кроме того, так как выпученное состояние должно являться состоянием равновесия, то  $\delta \pi = 0$ .

В конечном счете получается энергетическое уравнение (3.16). В п. 5 даны соответствующие уравнения Эйлера-Лагранжа (4.2), которые полностью совпадают с уравнениями устойчивости тонкостенного стержня, данными В. З. Власовым [3].

В заметке в конце статьи указывается на другой возможный вариант вывода энергетического уравнения (3.16).

## Kasutatud kirjandus

1. Бычков Д. В., Расчет балочных и рамных систем из тонкостенных элементов, Стройиздат, 1948 г.
2. Бычков Д. В. и Мрошинский А. К., Кручение металлических балок. Теоретические и экспериментальные исследования и практические приемы расчета, Стройиздат, 1944 г.
3. Власов В. З., Тонкостенные упругие стержни, Стройиздат, 1940 г.
4. Власов В. З., Строительная механика тонкостенных стержней, Стройиздат, 1949 г.
5. Динник А. Н., Устойчивость упругих систем. Изв. АН СССР, 1950 г.
6. Джанелидзе Г. Ю. и Пановко Я. Г., Статика упругих тонкостенных стержней, Гостехиздат, 1948 г.

7. Гольденвейзер А. Л., О теории тонкостенных стержней, АН СССР ПММ, т. XIII, 1949 г.
  8. Гохберг М. М., К вопросу об устойчивости плоской формы изгиба балок, находящихся под действием системы сил, Труды Ленинградского Политехнического Института № 5, 1948 г.
  9. Пратусевич Я. А., Вариационные методы в строительной механике, Гостехиздат, 1948 г.
  10. Ставраки Л. Н., Дифференциальные уравнения устойчивости тонкостенного стержня открытого профиля при упругих защемлениях по концам, АН УССР, Сборник трудов инст. строит. мех., т. 10, 1949 г.
  11. Тимошенко С. П., Устойчивость упругих систем, ОГИЗ Гостехиздат, 1946 г.
-

IV kursuse üliõp. NIKOLAI PIHLAK,  
IV kursuse üliõp. UUSI RAUKAS,  
III kursuse üliõp. ANTS KAND,  
III kursuse üliõp. UNO ROSME  
Teaduslik juhendaja  
vanemõpetaja V. KIKAS

## PÕLEVKIVI TOLMKÜTTEKOLDE TSÜKLOONTUHK SIDEAINENA

Põlevkivituhk on põlevkivi mineraalne osis, mis jääb alles, kui põlevkivis esinev orgaaniline aine on ära põlenud. Põlevkivituhk vastab oma koostiselt savikale lubjakivile, seega annab ta koldes läbipõletatuna mingisuguse hüdraulilise sideaine.

Silmas pidades meie ehifustegevuse hoogsat arengut, tuleb meil tõsist tähelepanu pöörata kohalike ehitusmaterjalide igakülgsele ära kasutamisele. Põlevkivituhk, varem tülikas tööstusjäätis, omades rea sideaine omadusi, on käesoleval ajal tööstusjäätisest muutunud tooraineks kvaliteetse sideaine saamiseks.

Eriti väärib tähelepanu viimasel ajal põlevkivi tolmpõletamisel saadud tuhk. Tehtud katsed on näidanud, et ta sideainelised omadused on kõrgemad kui tavalisel restkoldest saadaval tuhal.

Käesoleva töö raames on uuritud peamiselt tsükloontuha kasutamist müüri- ja krohvimörtides. Peale selle on uuritud ka tsükloontuha täiendava töötlemise küsimust, tuha kui sideaine kvaliteedi tõstmise eesmärgil.

Oma tekketingimustelt erineb tolmpõlevkivituhk mitmeti tavalisest põlevkivituhast, omades rea iseärasusi, milledest sõltub tema kvaliteet sideainena.

1) Põlevkivi põletatakse peene tolmana. Sõela avaga  $90\mu$  läbib ca 80—90%.

2) Põletamise kestus on väga lühikene: olenevalt katla koormusest — 2,5... 4 sek.

3) Põlemistemperatuur on kõrge. Olenevalt katla koor-  
musest ulatub see  $1250^{\circ}$  ...  $1350^{\circ}$  (restkolletes aga tavaliselt  
 $900^{\circ}$  ...  $1100^{\circ}$ ).

Suurem osa (umb. 60 ... 65%) tolmpõlevkivituhast sades-  
tub multitsükloonides (tsükloontuhk), kuna väiksem osa  
tuhast variseb kolde põhja (koldetuhk). Osa tuhka aga len-  
dab korstnast välja.

Koldetuhk oma madalate näitajate ja vähese hulga tõttu  
ei oma sideaine seisukohast praegu erilist tähtsust. Uuri-  
mise keskpunktis on praegu tsükloontuha omaduste iga-  
kõlgne selgitamine ja ajutiste tehniliste tingimuste välja-  
töötamine tema tarvitamiseks sideainena.

Tsükloontuha iseloomulikuks omaduseks on suur vaba  
CaO hulk, milline kõigub 15 ja 21% vahel. Selline suur  
vaba CaO hulk on tingitud järgmistest asjaoludest:

- 1) aine pole küllaldaselt homogeenne,
- 2) puudub küllaldane kontakt tolmuosakeste vahel,
- 3) reaktsiooni kestus on väga lühike:  $\text{CaCO}_3$  dissotsiee-  
rub paari sekundi vältel, millele järgneb CaO osaline ühi-  
nemine Si ja Al hapenditega ja
- 4) kogu reaktsioon toimub praktiliselt aine tahkes faasis.

Need asjaolud põhjustavad CaO mitteküllaldase ühi-  
nemise Si ja Al hapenditega ja seega suurt vaba CaO hulka,  
milline on põletatud kõrgel temperatuuril ja aeglaselt  
kustuv.

Tsükloontuha peamised omadused on järgmised.

### 1. Tardumisaeg.

Tsükloontuhale on iseloomulik kiire tardumine. Tardu-  
mine algab 20 ... 25 minutit ja lõpeb 45 ... 50 minutit  
pärast veega segamist. Sellise kiire tardumise põhjuseks  
on vaba lubi, mis seob mördis oleva vee ja muudab mördi  
tahkeks ning tingib n. ö. «näilise tardumise».

### 2. Mahupüsivus.

Tsükloontuhk loomulikul kujul väiksematel vanustel pole  
mahupüsiv. Vette asetatud proovikehad tavaliselt lagune-  
vad. Ka kuivas seisnud proovikehadel esineb pragusid.  
Alles 3 ... 4-nädalased proovikehad omavad vees mahu-  
püsivust. See seletub sellega, et

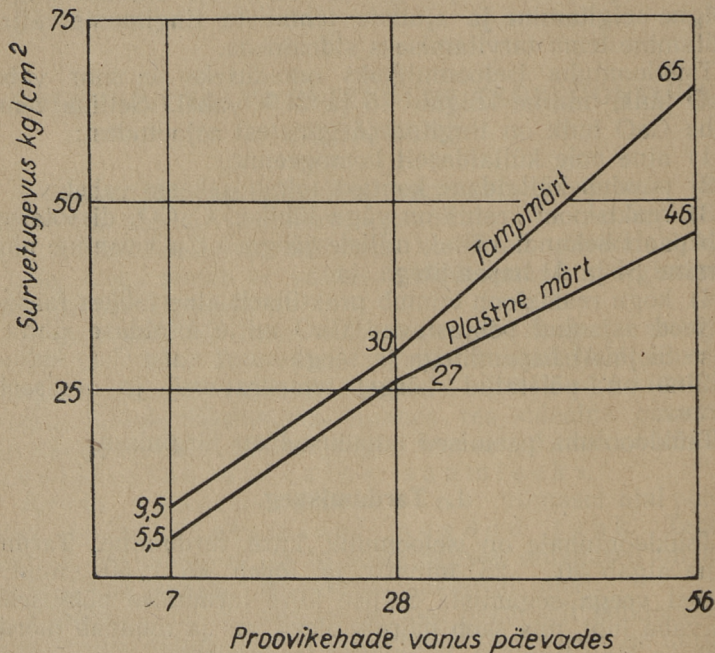
- 1) vaba lubi on eelnevalt õhu käes küllaldaselt kustu-  
nud ega teki enam intensiivset reaktsiooni. Ühtlasi on

proovikeha küllaldaselt tugevnenud, omades suurema vastu-panuvõime mahumuutusele, ja

2) geelid tuhakivis on vananenud ega teki pöörduvat reaktsiooni.

### 3. Tugevus.

Tsükloontuha 7-päevane survetugevus, võrrelduna 28-päevase tugevusega, on väikene (joon. 1).



Joon. 1. Tamp- ja plastse mördi võrdlev tugevuse kasv. Proovikehade hoidmise viis: niiskes.

Nii on

$$\frac{R_7}{R_{28}} = \frac{1}{5} \cdots \frac{1}{7} \left( \cdots \frac{1}{20} \right).$$

See on tingitud sellest, et tuhakivi monoliitsusele töötab intensiivselt vastu vaba lubja kustumisest tingitud mahu

suurenemine. Halvemal juhtumil põhjustab see pragunemist.

Võib tähele panna, et kuivas keskkonnas kivinevad proovid kiiremini, s. t. annavad väiksematel vanustel suuremaid tugevusi kui niiskes keskkonnas kivinenud proovid. Kuid hiljem jääb tugevuse kasv seisma ja võib esineda isegi tugevuse langusi.

Tsükloontuha võrdlevad survetugevused  $\text{kg/cm}^2$  on esitatud järgnevas tabelis:

Mördi liik	Tampmört		Plastne mört			
	Jahvatamata	Jahvatatud	Jahvatamata		Jahvatatud	
Töötlemine						
Proovi vanus	Hoidmise viis					
	Niiskes	Niiskes	Niiskes	Kuivas	Niiskes	Kuivas
7 päeva	9,5	15	5,5	—	6	—
28 päeva	30	70	27	33	44	39
3 kuud	65	115	46	30	66	53

Tsükloontuhka loomulikul kujul võib tarvitada müüri- ja krohvimörtides, seal, kus pole kõrgendatud niiskuse režiimi.

Tallinna oludes, kus on kasutada peamiselt Pääsküla karjääri liiv, on mördid karedad ja halvasti vettpidavad. Seda puudust saab aga kõrvaldada mitmesuguste plastifikaatoritega. Peamiselt tuleks siin kõne alla savi ja Kose karjääri peenliiv.

Kose peenliiva lisamine (10...20%) parandab suuresti töödeldavust, aga vesi kipub siiski mördist eralduma. Kuid juba 5%-di savi lisamine muudab mördi töödeldavuse ja veesiduvuse väga heaks.

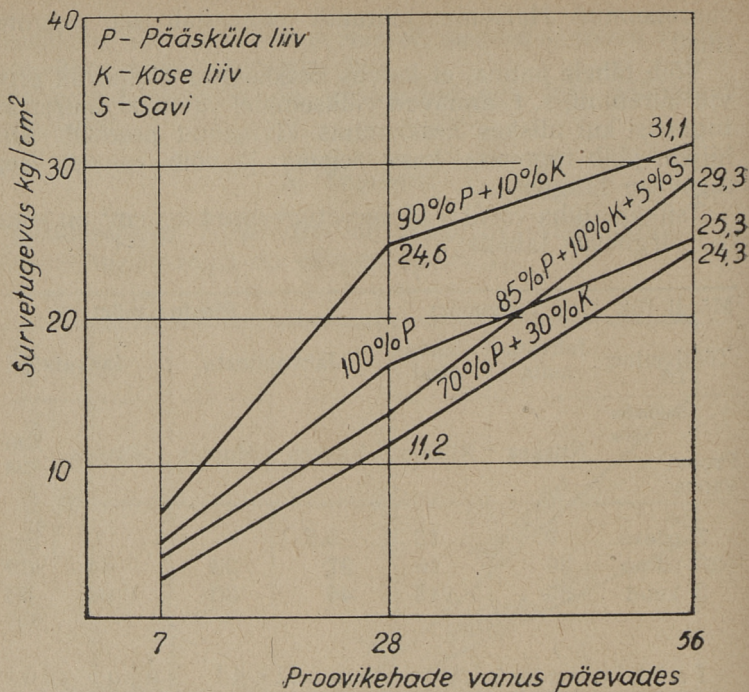
Ka pragunemine väheneb plastifikaatorite lisamisel. Savilisandiga mördid üldse ei pragunenud.

Samuti suureneb survetugevus — eriti suurema vanusega proovikehadel (joon. 2).

Vaba lubja negatiivset mõju võib tugevasti vähendada tsükloontuha eelneva töötlemisega. Siin tuleksid kõne alla kolm meetodit:

1) tsükloontuha eelkustutamine,





Joon. 2. Mürimörtide tugevuse kasv mitmesuguse koostisega agregaatide puhul. Proovikehade hoidmise viis: niiskes.

- 2) tsükloontuha täiendav jahvatamine ja
- 3) hüdrauliliste lisandite tarvitamine.

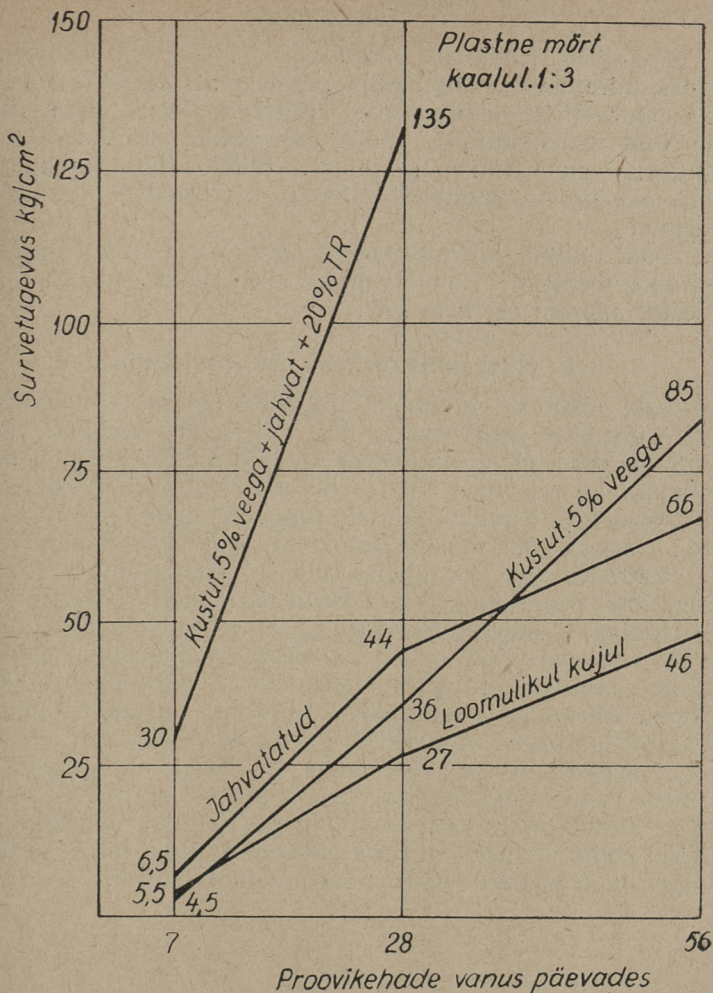
### 1. Eelkustutamine.

Selle mõju on kaheksugune:

- a) positiivne — kustutab vaba lubja, ja
- b) negatiivne — rikub hüdraulilisi komponente.

Senised katsed näitavad, et üldmõju on aga tunduvalt positiivsem. Tuleb silmas pidada, et kustutamine toimuks teoreetilisest väiksema vee hulgaga, sest muidu kaasneb vaba lubja kustumisele liiga intensiivne hüdrauliliste osiste reageerumine.

Ehitusplatsi tingimuses võib eelkustutamise asemel kasutada lihtsustatud meetodit — segades tuhka kahes



Joon. 3. Tsükloontuha võrdlev tugevuse kasv mitmesuguse töötlemise puhul. Proovikehade hoidmise viis: niiskes.

järgus, segamise vaheajaga 20...60 minutit. See tagab vaba lubja täielikuma kustumise ja asendab teatud määral eelkustutamist.

## 2. Jahvatamine.

See aitab tunduvalt parandada tsükloontuha sideomadusi, kiirendades vaba lubja reaktsiooni veega ja muutes ka hüdraulilisi komponente aktiivsemateks. Meie poolt uuritud tsükloontuhk andis jahvatatult 1,5...2-kordse tugevuse suurenemise (joon. 3). Tsükloontuha mahupüsivus paranes ja tunduvalt vähenes ka proovikehade pragunemine.

Tsükloontuha jahvatuspeenus peaks vastama vähemalt silikaat-tsemendi jahvatuspeenusele, kuid soovitav on veelgi suurem peenuse aste.

## 3. Hüdrauliliste lisandite tarvitamine.

Need tõstavad tunduvalt tuhakivi monoliiti moodustavate ühendite osatähtsust. See väljendub tunduvas tugevuse kasvus. Mida aktiivsem on hüdrauliline lisand, seda suurem on tugevuse kasv väiksematel vanustel. Väiksema aktiivsusega lisand mõjutab tugevust suurematel vanustel. Ühtlasi suureneb ka tunduvalt sideaine mahupüsivus.

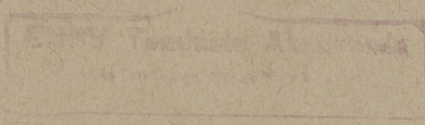
Hüdraulilistest lisanditest tuleksid kõigepealt tarvitamisele 800° temperatuuris põletatud diatomiit ja treepel.

Diatomiit, põletatuna 800° C juures, tõstab survetugevust suuremal vanusel 2...3 korda. Mahupüsivust väiksematel vanustel ta aga märgatavalt ei paranda. Treepel tõstab nii survetugevust (3...5 korda) kui ka mahupüsivust väiksematel vanustel.

Lõppkokkuvõttena võib öelda, et kuigi on saavutatud teatud edu tsükloontuha kui sideaine uurimisel, siiski seda probleemi ei saa veel pidada lõplikult lahendatuks. Tööd selles suunas jätkuvad pidevalt ja juba lähemas tulevikus võib oodata hoopis tõhusamaid tulemusi.

## SISUKORD

<i>Eessõna</i> . . . . .	3
U. Agur, H. Sillamaa, V. Teearu, <b>Tiratron-vaheldaja</b> . Tead. juhendaja tehn. tead. kand. dots. P. Plakk . . . . .	4
I. Eiskop, <b>Kõrgsagedusvõimendaja transformatorsidestuses</b> . Tead. juhendaja tehn. tead. kand. dots. P. Plakk . . . . .	10
J. Kiisa, I. Kleis, « <b>Kvartsi</b> » ja « <b>Männiku</b> » karjääride liiva sobivus vormimuldade valmistamiseks. Tead. juhendaja van-õp. A. Kruusamägi . . . . .	18
I. Arro, <b>Põlevkivi uttevetest toodetava toorratsetooni rafineerimine</b> . Tead. juhendaja keem. tead. kand. dots. H. Raudsepp . . . . .	28
E. Pata, K. Soo, <b>Lämmastikhappe toimest põlevkivis esinevaile väävelühendeile</b> . Tead. juhendaja keem. tead. kand. dots. B. Torpan . . . . .	37
U. Nigul, <b>Õhukeseseinaliste elastsete varraste stabiilsuse teooria energeetiline käsitus</b> . Tead. juhendaja tehn. tead. doktor N. Alumäe . . . . .	43
N. Pihlak, U. Raukas, A. Kand, U. Rosme, <b>Põlevkivi tolmuküttekolde tsükloontuuk sideainena</b> . Tead. juhendaja van-õp. V. Kikas . . . . .	58



Toimetaja H. Riikoja.

Tehniline toimetaja T. Mitt.

Korrektorid

A. Tihane ja A. Kalberg.

Ladumisele antud 5. III 1954.

Trükkimisele antud 20. IV 1954.

Trüklarv 800. Paber 54:84, 1/16.

Trükipoognaid 4,25. Formaadile

60:92 kohaldatud trükipoognaid

3,49. Arvutuspoognaid 3,13.

MB-07761.

Trükikoda „Kommunist“, Tallinn,

Pikk tän. 2.

Tellimise nr. 1473.

Hind rbl. 2.20

На эстонском языке.

Сборник научных трудов  
студентов I.