

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Физики

(кафедра, лаборатория)

О Т Ч Е Т

хоздоговорной научной работы № 546

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ
СИЛИКАЛЬНОЙ СМЕСИ В МАССОМЕТЕ

Научный руководитель

Ответственный исполнитель

Исполнители

Проректор по научной работе

Зав. научно-исследовательским
сектором

Аннотация на русском языке
находится в конце работы.

ТАЛЛИН, 196__ г.

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT

Füüsika kateeder

(kateeder, laboratoorium)

Lepingulise teadusliku töö nr. 546

A R U A N N E

SILIKALTSIIDISEGU OSAKESTE TRAJEKTOORIDE

PARAMEETRITE MÄÄRAMINE MASSIPIIDUJAS

Töö juhendaja

Vastutav teostaja / U. Pilvre /

Teostajad / J. Valdur /

Teadusala prorektor

/prof. H. Lepikson/

Teadusliku uurimise sektori
juhataja

/ U. Saar /

Tallinna
Polütehnilise Instituudi
Raamatukogu

T-1425

Käesolev aruanne sisaldab 22 lk. teksti, 13 joonist, 2 tabelit.

Aruanne retsenseeritud

..... 196..... a.

Aruanne kinnitatud füüsika kateedri koolilekul

..... 22 nov 1965 a.

Töö tellija: NSVL ERETK Silikaltsiidi TUPÜ Instituut

.....

1. Tööülesannete määratlus.

Silikaltsiidist detailide valmistamisel oleneb nende tugevus vormide täitmisel saavutatud mahukaalust - mida tihedam segu, seda suurem on lõplik tugevuse väärtus.

Vormide täitetiheduse tõstmiseks ja selle seostamiseks suure tootmisvõimsusega on tehases konstrueeritud unikaalne seade - massipilduja. Nimetatud seadme konstruktsioonis esinevate mõningate ebatäiuslikkuste avastamiseks ja võimaluste leidmiseks nende ebatäiuslikkuste kõrvaldamiseks, teostati kompleksse uurimise teise etapina silikaltsiidisegu osakeste trajektooride parameetrite määramine massipilduja paiskamisseadmes. Siinjuures määrati trajektoorid ja kiiruste väärtused üksikute osakeste korral ja silikaltsiidimassi paiskamisel. Ühtlasi uuriti osakeste käitumist vormi pinnas.

Töö teostati üheetapilisena alljärgneva alajaotusega:

A. Mõõtmismetoodika väljatöötamine, mõõteaparatuuri valik, abikonstruktsioonide projekteerimine.

B. Optimaalsete mõõtmistingimuste katseline leidmine ja mõõtmiste läbiviimine.

C. Katsematerjali läbitöötamine ja tulemuste analüüs.

2

2

2. Massipilduja tööst ja vertikaalsete õhuvooluste mõõtmiste tulemustest.

Alltoodud osas on lühidalt kirjeldatud massipilduja tööprintsipi ja puudutatud varemleitud tulemusi. Peatumata segu etteandmise ja ühtlases koguses paiskamissõlme trumlitele juhtimise küsimustel vaatleme paiskamissõlme trumlite kui osakesete otseste kiirendajate tööd. Nimetatud trumlid kujutavad endast 265 mm läbimõõduga 210 mm kõrguseid õõnessilindreid, mille paralleelsed, ühes horisintaaltasandis paiknevad teljed asuvad teineteisest 285 mm kaugusel. Trumlid pöörlevad teineteisele vastassuunas ja on varustatud 15 mm kõrguste paiskamisribadega, millele anti aerodünaamiline kuju (vt. joon. 2). Kummalgi trumlil on kaks diametraalselt paigutatud riba (vt. joonis 1), mis erinevail trumleil on nihutatud $\pi/2$ võrra.

Nimetatud ribade ülesandeks on anda silikaltsiidiosakesete suunatud liikumine. Alt avatud kaitsekestas asuvad trumlid pannakse pöörlema hammasajami kaudu asünkroonpöördeil (3000 p/min) töötava 3-f lühisrootoriga mootori abil. Kogu paiskamissõlm on üles-alla ja edasi-tagasi nihutatav vastavate ajamite abil.

Massipilduja töötamise tulemustest selgub, et märgatav osa silikaltsiidimassist ei satu vormi, vaid jaotudes Gaussi kõvera sarnaselt ladestub peale vormi ka selle lähemasse ümbrusesse. Ka ei saavuta segu äärepiirkondades soovitud tihedust, põhjustades valmisdetailide tugevusomaduste ebaühtlust.

Joonisel 3 on toodud silikaltsiidisegu tiheduse olenevus ristitruumlite telgedega (suund a), viimaste keskpunkti pro-

jektsioone läbival teljel mõõdetud kaugusest telgede keskpunkti projektsioonist positiivses ja negatiivses suunas. Pinnad, milles mõõtmisi teostati, olid 75 mm, 250 ja 500 mm kaugusel trumlitega paralleelsest, kaitsekesta alumise serva tasandist. Joonisel toodud kõveratest selgub, et teatud segu paisatakse väljaspoole soovitud ala, kusjuures kauguse suurenemisega muutub olukord ebasoodsamaks, hajuvus tõuseb.

Õhuvoolukiiruste jaotuse uurimisest saadud tulemustest selgus järgmist.

Hoolimata sümmeetrilisest trumlite paigutusest, mis eeldas sümmeetrilist õhuvoolukiiruste jaotust, esines ka peale paiskamisribadele aerodünaamilise kuju andmist õhuvoolus teatav ebasümmeetria. Seepärast varustati trumlite lahtised otsad kaitsekesta külge kinnituvate metallketastega, mis asendasid trumlite teistesse otsadesse suubuvaid võlli otsi (vt. joon.4). Sellega oli saavutatud täielik staatiline sümmeetria (trumlite lahtist otsa sulgev ketas ei võtnud osa trumli pöörlemisest).

Nimetatud täienduste järel teostatud mõõtmiste graafiliselt esitatud materjali analüüs lubas teatavas lähenduses prognoosida silikaltsiidisegu paiskamisel massi jaotuse erinevusi ja sellega seotud tiheduse kõikumisi vormi laiuse ja pikkuse ulatuses. Joonistelt 5 ja 6 selgub, et praktiliselt kogu õhu mass ongi koondatud nulljoone piirkonda.

Teiselt poolt on pikemata selge, et õhuvoolu kiirus teataval kaugusel ei kajasta juba kuigi täpselt olukorda silikaltsiidisegu paiskamisel sellisele kaugusele, sest õhuosakesed kaotavad oma kineetilise energia väga kergesti.

Järelikult võib oletada, et õhukiiruste jaotus sarnaneb

silikaltsiidiosakeste kiiruste jaotusega vaid trumlite lähedal.

Kahtlemata mõjutavad õhuvoolude liikumisi omakorda ka liikuvad osakesed, eriti kui tihedus on küllalt suur.

3. Mõõtmismetoodika, aparatuur ja abiseadmed.

Silikaltsiidiosakeste trajektooride määramiseks valiti kiirfilmimise meetod kui kõige käepärasem antud tingimustes. Eeldati, et teoreetiline osakeste kiirus trumlite vahetus läheduses peab vastama paiskamisribade joonkiirusele, s.o. ca 60 m/s. Kaugemal sellest ja vormi piirkonnas on osakeste kiirus õhu takistuse tõttu nähtavasti väiksem. Ülaltoodud kiiruse korral pildistamissageduse 3000 kaadrit/s juures saaksime osakese liikumiseks kahe kaadri vahemikus 20 mm, mis annaks 200 mm kaadri kõrguse juures kujutised kümnel võttel, mis oleks küllalt hästi analüüsitav.

Eeltoodud kaalutlustel valiti võtete teostamiseks kaamera CK-1, mis teatava ülepingeaga toitmise korral annab küllaldase töökindluse juures võttesageduse kuni 5000 kaadrit/s.

Et saavutada suuremat eraldusvõimet filmi kontrastsuse arvel, kasutati osalt filmi tüüp A-2 kõrval ka filmi M3. See nõudis aga kasutatud lühikese säritusaja tõttu ($1/20000$) väga tugevat valgustust, milleks tuli kasutada kahte fookuseeritavat prožektorit lambi võimsusega à 3 kw. Suhteliselt vähe hajuvad valguskiirte kimbud suunati kahe 30° nurga võrra erineva valgusvihuna pildivälja (vt. joon. 7). See tagas praktiliselt varjuvaba valguse, mis oli väikeste osakeste korral eraldusvõime säilitamiseks hädavajalik.

Prožektorite ja kaamera paigutus selgub skeemilt joonisel 7, kus on kasutatud alltoodud tähiseid: 1 - prožektorid liikuval alusel; 2 - kaamera spetsiaalsel statiivil; 3 - massipilduja trumlid; 4 - pildivälja tasapind.

6

Prožektorid olid paigutatud vagonetile, mis võimaldas neid ilma väljareguleeritud asendit - kallet ja suunda - muutamata kaamera reguleerimise ajaks eemale nihutada.

Kaamera spetsiaalse, selleks otstarbeks kohandatud statiivi pikkus oli vertikaalsuunas reguleeritav, võimaldades kaamera optilise telje horisontaalsust säilitada võtete sooritamisel kolmes pinnas:

- trumlite piirkonnas toimuvate protsesside uurimiseks;
- osakeste trajektoori ja kiiruse uurimiseks trumlitest teataval kaugusel;
- protsesside uurimiseks vormi piirkonnas.

Kõigil juhtudel sooritati kiirfilmimisoperatsioon järgmiselt:

a) valiti vajalik pildivälja suurus, siinjuures oli foonkaetud segavate peegelduste vältimiseks musta veluuriga;

b) fokusseeriti prožektorid pildivälja;

c) teravustati kaamera fokusseerimisega filmi emulsioonil objektiivi täisava korral; filmimine sooritati ava 2,8 ja 4 juures;

d) käivitati massipilduja ja peale täispöörete saavutamist söödeti talle uuritav mass või osakesed (haavlid) ühepinnaalse paiskamisefekti saavutamiseks kitsa, trumli esiservast 0,25 trumli pikkuse kaugusel paikneva ribana;

e) käivitati kiirfilmikaamera ca 2 s. kestvuseks.

Võtete teostamisel silikaltsiidimassiga, kui esines kartus osakeste paiskumiseks kaamera suunas, sooritati filmimine läbi kaitseklaasi. Osaliselt oli kaitseklaasi rakendamine tingitud asjaolust, et taheti säilitada tööolukorrale lähedasi tingimusi. Trumlite piirkonnas toimuvate protsesside uurimi-

seks kasutati selleks valmistatud spetsiaalset aknaga varustatud katet.

Eksponeeritud filmid töödeldi fotokeemiliselt tundlikkust tõstvas fenid~~on~~hüdroschinon ilmutis, mille temperatuur oli 24°C , ilmutusaeg 25 minutit.

Võtete analüüs teostati selleks kohandatud projektoris, mis võimaldas kuumenemishooga uurida üksikuid filmikaadreid. Pildistamissagedus määrati neonlambi süttimissageduse jälje järele, mis projekteerus eksponeerimisel filmi servale.

8

4. Optimaalsete mõõtmistingimuste katseline leidmine ja mõõtmistulemused.

Uuritavate režiimide esialgsete kiirfilmimiste tulemuste analüüs näitas, et silikaltsiidimass paisatakse massipildujast välja suuremate või väiksemate grupeeringutena, mille ümberjaotumine võib toimuda ka leannul vormini.

Nimetatud asjaolu raskendas üksikute osakeste trajektoori parameetrite jälgimist, või tegi selle hoopis võimatuks. Seepärast otsustati uurida massipilduja tööd ka sfääriliste osakestega - plii ja tina haavlitega "söötmise" korral, kusjuures haavlid viidi paiskamismehhanismi ükshaaval, erilise renni abil. Kirjeldatud võte võimaldas jälgida üksiku osakese käitumist trumlite piirkonnas, sellest väljumisel ja vormi sattumisel, määrata konkreetse trajektoori ja kiirused üksikutes piirkondades (vt. joon. 8).

Massipilduja tööprotsessi uurimisel silikaltsiidimassi paiskamisel oli võimalik jälgida vaid osakeste frondi liikumist, kuivõrd see konkreetse joone moodustas (vt. joon.9).

Osakeste kiiruste määramisel valiti paremini õnnestunud kaadritelt 8 osakest ja jälgiti nende trajektoori parameetreid:

- trumlite vahemises osas, veidi allpool trumlite telgede pinda ($l=0$, joonis 8);
- trumlite puutetasapinnas ($l=l_0$, joonis 8);
- poolel teel vormi, s.o. 25 cm kaugusel vormi põhjast;
- vahetult vormi põhja läheduses.

Saadud kiirused on kantud joonisele 10. Siinjuures kiiruste suunad esimeses punktis võisid märgatavalt erineda ülejäänud

9

kiiruste suunast. Pea kõigi osakeste puhul esinesid reeglipä-
ratud pörked vormi põhipinnalt.

Silikaltsiidimassi frondi kiirus on teatav keskmine osa-
keste liikumiskiirus, sest puudus võimalus konkreetse osakese
jälgimiseks ja polnud välditud osakeste omavahelised pörkumi-
sed, mille tulemusena front teataval kaugusel trumlitest hajus.
Selletõttu on vormi läheduses ja sees leitud kiirused mõningal
määral ebatäpsed ja iseloomustavad suuremate osakeste maksi-
maalset võimalikku kiirust.

Saadud kiiruste keskväärtused üksikutes analüüsitud punkti-
des on leitud aritmeetilise keskmisena trumlite telgede vahe-
list kaugust poolitava vormi põhjatasandi normaali suunalis-
test, 10 uuritud paiskamisprotsessi kiirustest.

Tulemused on antud joonisel 11, kusjuures kaugus l on mää-
ratud analoogiliselt joonisel 10 toodud tulemustega.

Nii joonisel 8 kui ka 9 on protsessi ajalise käigu iseloo-
mustamiseks kasutatud numeratsioon. Joonisel 8 on toodud kaad-
rite numbrid. Esimene analüüsitud kaader on (1). Sellest kaks
kaadrit eespool pidi toimuma pörge, mis on kujutatud kaadril
(-1), mida kahjuks ei õnnestunud fikseerida. Vastav kaadri nr.
on toodud ka osakese paigutuse juurde. Joonisel 9 on kaadrid
nummerdatud iga kuue kaadri tagant. Vastavad nr. on toodud
nii silikaltsiidimassi frondi kui ka paiskamisribade paigutuse
juures.

Mõlemil joonistel kujutatud juhtumiste kompleksil on fil-
mimissagedus 4900 kaadrit/s.

Joonisel 12 on toodud koopia kiirfilmist 6 kaadri ulatuses.
Selgelt on nähtav esimesel pildil kaitsekesta taha kaduva parem-
poolse paiskamisriba poolt kiirendatud silikaltsiidimassi frondi

liikumine vormi suunas. Samal ajal on tajutav vasakpoolse
trumli poolt varem kiirendatud, mõnevõrra hajunud silikalt-
siidimassi front vormi sees.

11

91

5. Katsematerjali läbitöötamistulemuste analüüs ja järeldused.

Uurimustest, mis sooritati idealiseeritud osakestega (haavlid), selgus järgmist.

Osake, langedes massipilduja trumlite vahemikku, liigub vahelangemise kiirendusega ja jõuab seetõttu maksimaalselt 5 mm kaugusele paiskamisriba välimisest servast. Seetõttu paisatakse ta vastu teise trumli pinda, millelt saadud hoop osakese uuesti vastu esimest trumlit paiskab.

Joonisel 8 toodud valge osake sooritab selliselt 3 pörget ja välub nurga α_2 all massipildujast. See nurk on nähtavasti lähedane maksimaalsele hajumisnurgale, mida osakesed omada võivad.

Märksa soodsam on musta osakese trajektoor. Langedes täpselt mööda trumlite vahemiku keskpunkti läbivat sirget, saab ta paiskamisribalt hoobi, mille suund erineb vähe vormi põhipinna normaali suunast ja lendab seetõttu ühe pörke järel vastastrumlil välja nurga α_1 all. Siinjuures nurk $\alpha_1 < \alpha_2$ (vt. tabel 1).

Ülaltoodust selgub, et ka kõige soodsamal juhul esineb alati kaks pörget, kusjuures teine neist toimub trumli siledalt pinnalt ja mõjub seepärast kiirust kahandavalt. Mõnel juhul täheldati ka osakese kleepumist teisel pörkel ja seetõttu täiesti meelevaldset hajumisnurka.

Suurt mõju avaldab üksikule kiirendatud osakesele õhk. Nii toimub mõningane kiiruse kadu juba trumlite vahemikus, ehkki seal õhu suunatud kiirus peaks ulatuma mõnekümne meetrini sekundis. Nähtavasti avaldab siin teatavat toimet õhu-

liikumise keeriseline iseloom.

Trumlite vahelt väljumisel ja eriti mõningal kaugusel nendest satub osake praktiliselt seisvasse õhumassi. Vastavalt diagrammilt (vt. joonis 10) võib järeldada, et takistusjõud on võrdeline ligikaudu kiiruse teise astmega.

Teatava aja jooksul osakese liikumine stabiliseerub ja moodustab vormi pinnas umbes 30 % trumlite vahemikust väljumise kiirusest. Siinjuures selgus, et osakeste kiirus vormi pinnas kõigub mingi keskväärtuse ümber, ei olene märkimisväärselt hajumisnurgast ja on seega vormi laiuse ulatuses praktiliselt püsiv.

Üksikute osakeste liikumisest võib teha järelduse, et õhk avaldab märkimisväärselt takistust ja enamus osakese kineetilisest energiast kulub selle takistuse ületamiseks.

Ühtlasi selgub, et osake tuleks trumlite vahele viia märksa suurema algkiirusega. Sel juhul võiks osake sattuda paiskamisriba trumlipoolsesse serva, kus hõõrdumise tõttu radiaallibisemine võtab alati teatava aja, mille jooksul paiskamisriba jõuab küllalt suure nurga võrra, tagades osakese väljumise ilma teistkordse pörketa.

Joonisel 9 kujutatud silikaltsiidimassi paiskamisprotsessi skeemist võib teha järgmised järeldused.

Võrreldes üksiku osakese liikumisega on olukord mõnevõrra soodsam. Suure hulga märja massi liikumisel vormi suunas viiakse ka õhk suunatud liikumisse, mistõttu õhu takistus väheneb. Teiselt poolt on selge, et massi kasvades õhutakistus ei kasva, seega muutub olukord seda paremaks, mida suurem on paisatava massi hulk.

Järelikut töötab massipilduja täiskoormusel kasulikumalt.

Trumlite piirkonnast väljumisel on silikaltsiidimassi kiirus lähedane paiskamisribade välisservade joonkiirusele. Siinjuures selgub, et paiskamisriba on kogu ulatuses massiga kaetud.. Nähtavasti satub mass riba siseserva teiselt trumlilt paiskumise tulemusena keeruka edasi-tagasi pörkumise lõpuks.

Loomulikult nõuab selline asjatu trajektori keerukus massipildujas lisa energiakulu.

Seega tundub, et analoogiliselt üksikute osade liikumisest tehtud järeldusele võib ka siin öelda, et massi algkiirus trumlite vahele viimisel peaks olema suurem. Arvatavasti peaks sel juhul massipilduja kasutegur tõusma.

Silikaltsiidimassi edasine liikumine vormi suunas on aeglustuv. Vormi jõudmisel on kiirus langenud umbes 25 %. Ühe trumli paiskamisribade poolt kiirendatava massi põhikoguse hajumisnurgad on toodud tabelis 1.

Vormi pinnas ei jagune kiirus ühtlaselt. Ehkki osakeste frondi hajumise tõttu oli kiiruse täpne määramine raskendatud ja seda eriti kauguse a suurenedes positiivses ja negatiivses suunas (a nullväärtus võeti trumlite vahemiku poolitussirgel) andsid saadud tulemused küllalt kujuka pildi vormi täitumise protsessist. Selgub, et kiiruste jagunemine vormi pinnas (vt. tabel 2) vastab ligikaudu massi hulga jaotuse kõverale (vt. joon. 3). Seega on suuremat kiirust omavate osakeste arv samuti suurem, mis kinnitab eeltoodud seost kiiruse olenevusest.

Tabel 1.

Hajumisnurgad üksikute osakeste ja
massi paiskamisel.

	Hajumisnurk	Nurga väärtus	Märkusi
Üksikud	α_1	10°	} Nurgad on võetud ühe trumli pais- kamistöö puhul
osad	α_2	26°	
Mass	α_3	10°	
	α_4	7°	

Tabel 2.

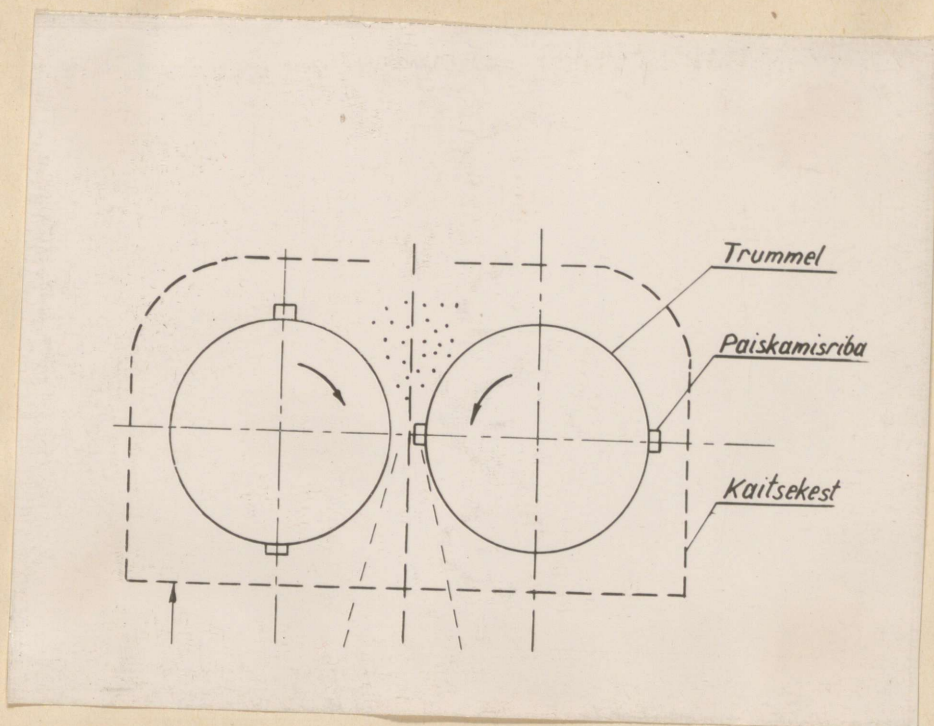
Kiiruste ja energia jagunemine vormi pinnas.

a cm	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20
v m/s	-	5,3	21	35	42,5	43,5	41	31	16	3,5	-
$E_k \cdot 10^3$ (m=1 g)	-	14	220	610	900	945	840	480	127	6	-

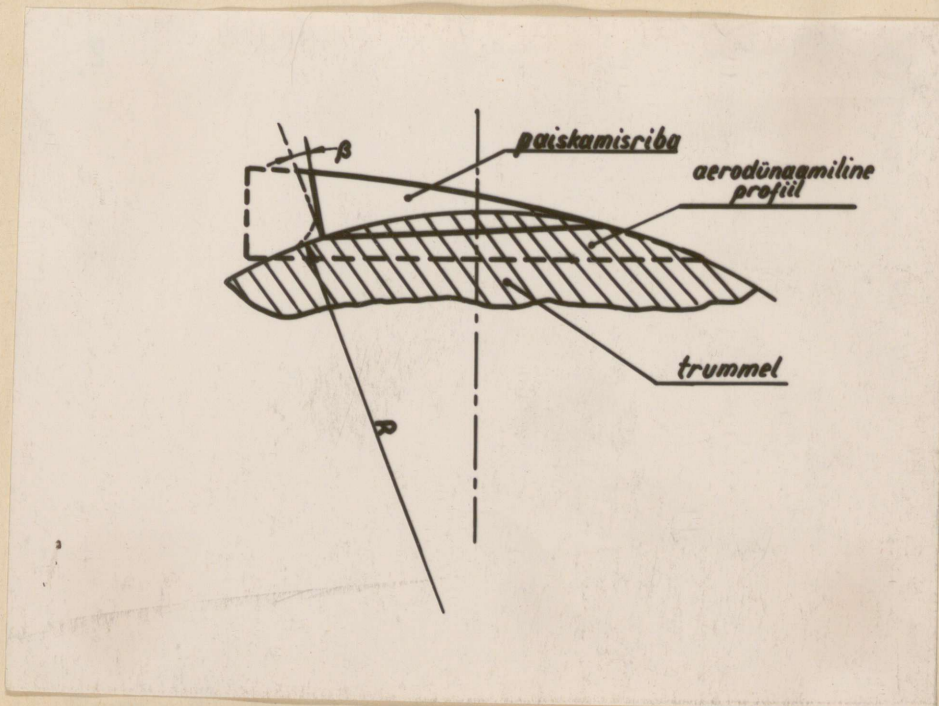
Tabelis 2 on ühtlasi antud osakeste kineetiline energia tingliku massi 1 g juures. Selgub, et vormi tsentris ja selle lähedastes piirkondades on osakeste kineetiline energia ligi 60 korda suurem kui servades. Loomulikult moodustub selletõttu keskmises osas märksa tihedama massiga detail. Suurematel kaugustel on pealegi paisatava massi tihedus nii väike, et tuleks kaalumisele võtta teatav servaalade ekraneerimine valmisdetaili homogeensuse huvides.

Kiirusediagrammist joonisel 13 selgub mõningane maksimumi

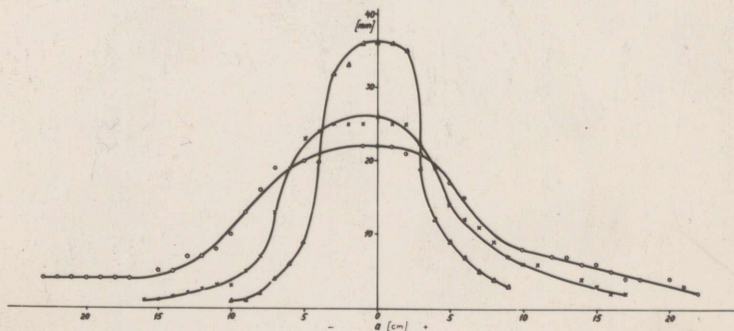
nihkumine. Et niisugune nihkumine esineb ka tööprotsessis saadud segutiheduse jaotuse diagrammil, siis tuleb seda seletada söötmismehhanismi konstruktsioonist tingitud ebasümmeetriaga.



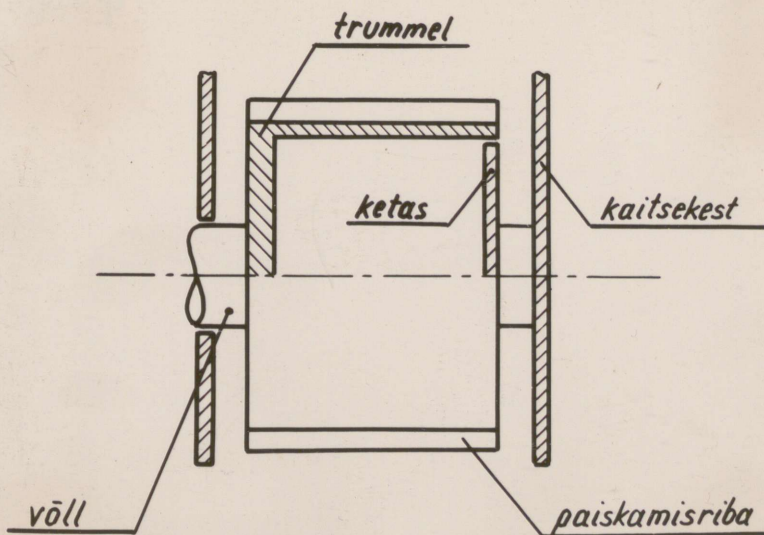
Joon. 1. Trummlite paigutusskeem.



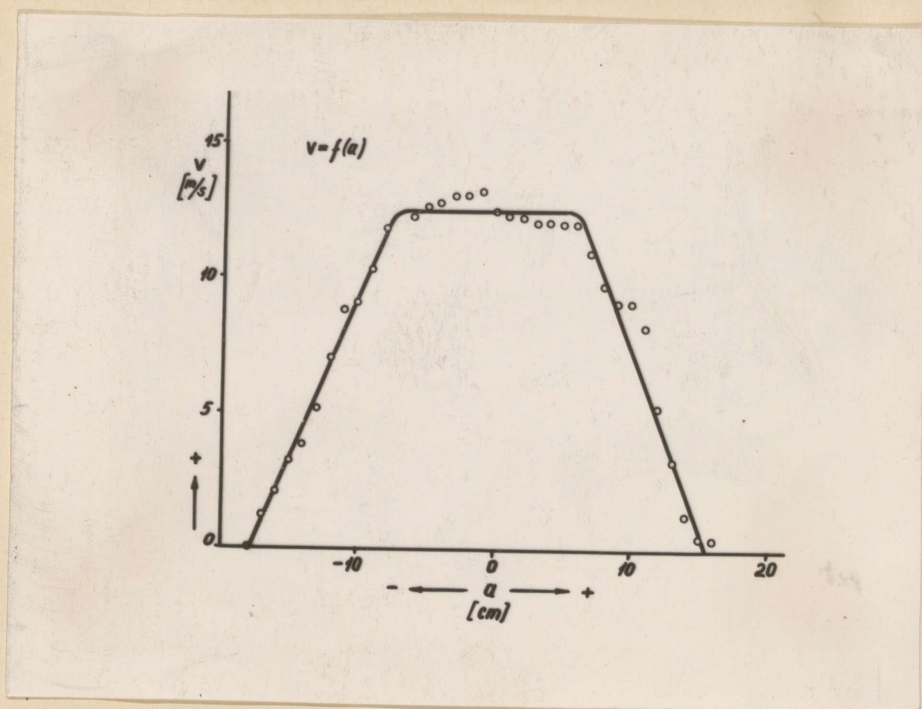
Joon. 2. Trumli pinnaosa paiskamisribaga.



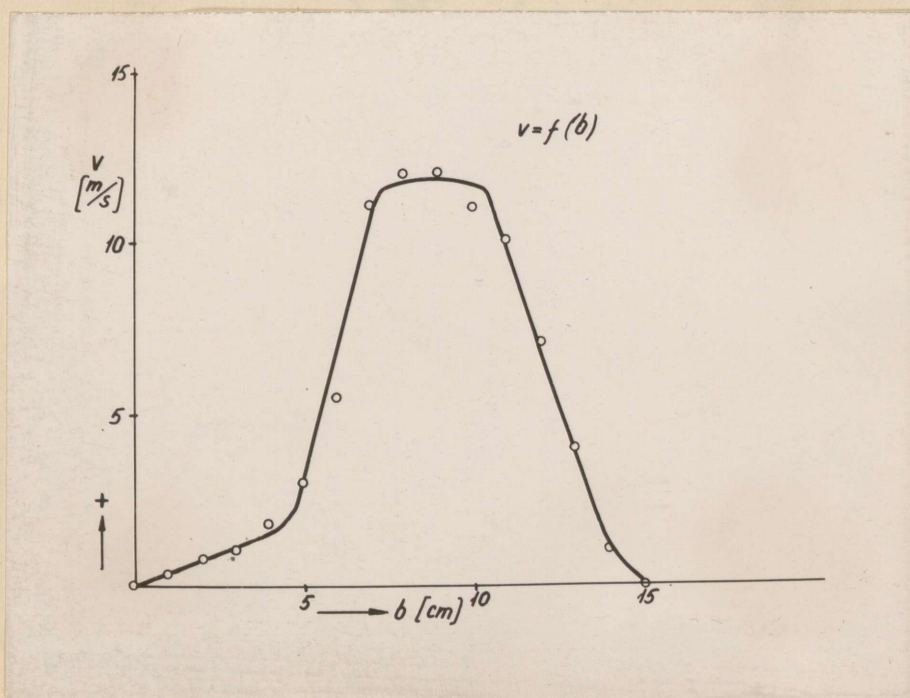
Joon. 3. Silikaltsiidisegu tiheduse olenevus suunas x .



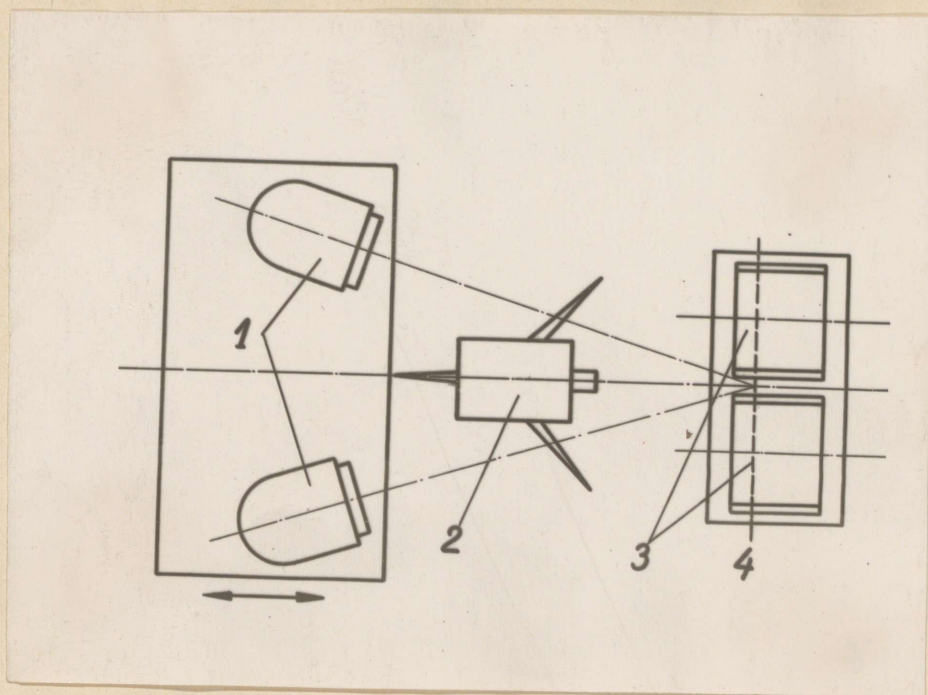
Joon. 4. Trumli lõige.



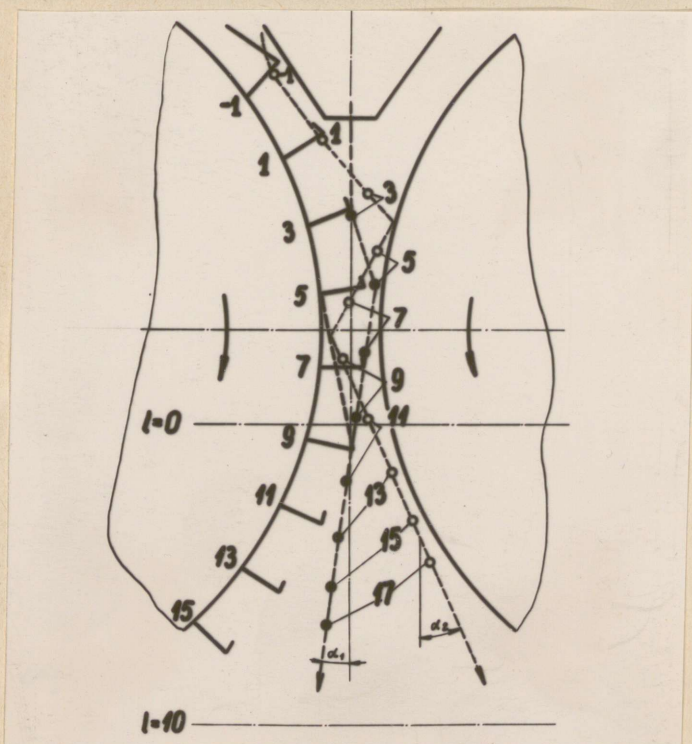
Joon. 5. Õhukiiruse vertikaalkomponendi olenevus suunas a.



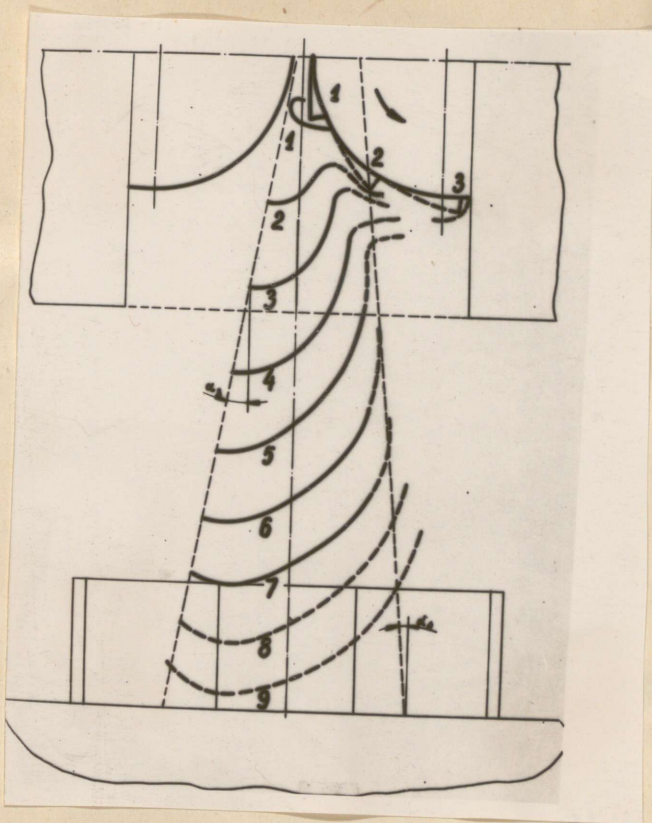
Joon. 6. Õhukiiruse vertikaalkomponendi olenevus suunas b.



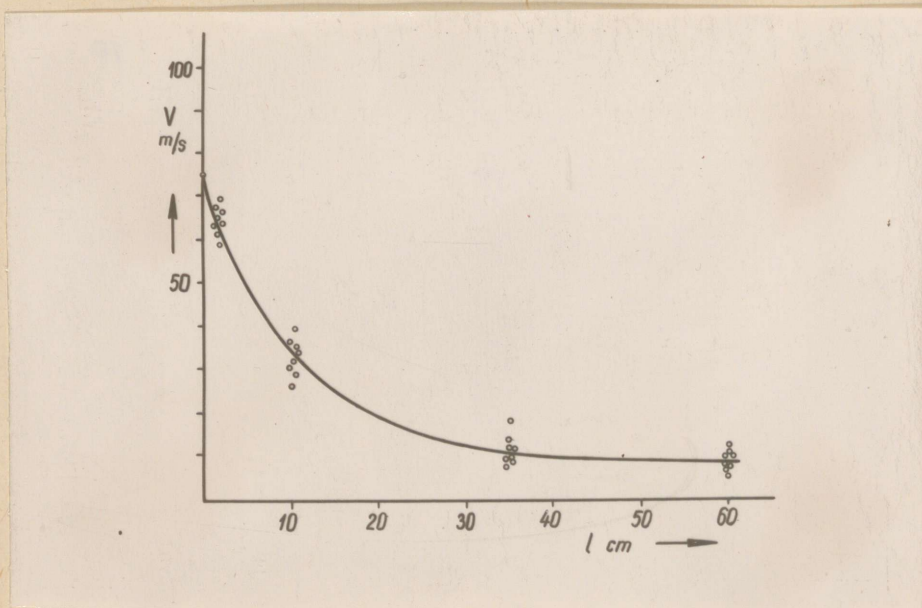
Joon. 7. Prožektorite ja kaamera paigutus.



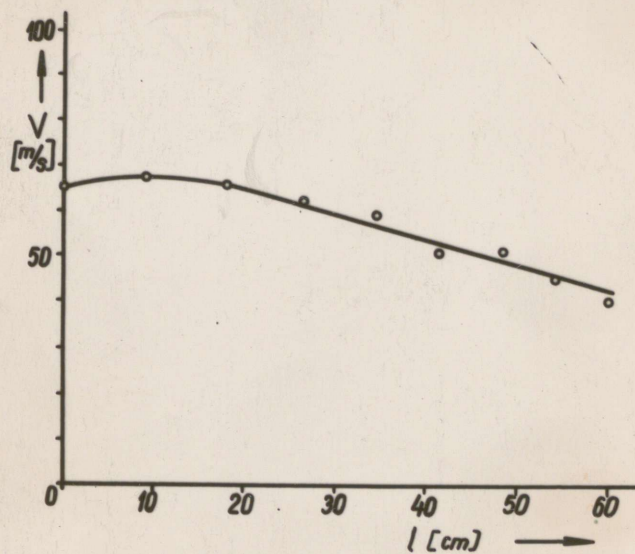
Joon. 8. Osakese trajektoor erinevate osakese algasendite puhul.



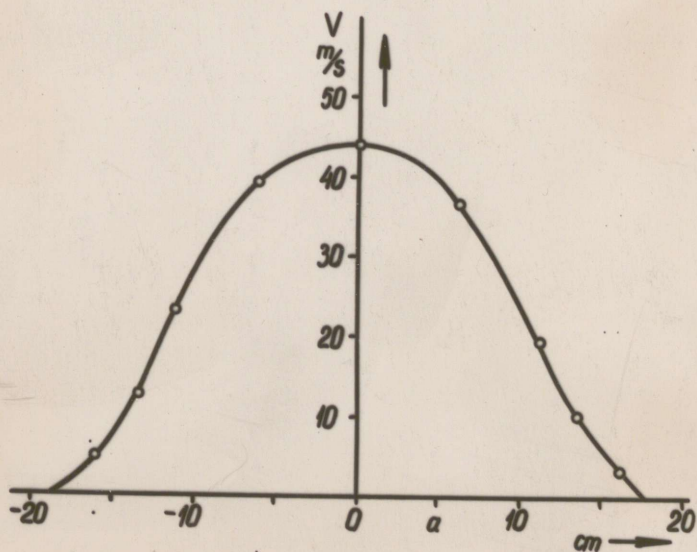
Joon. 9. Silikaltsiidimassi frondi ajaline nihe.



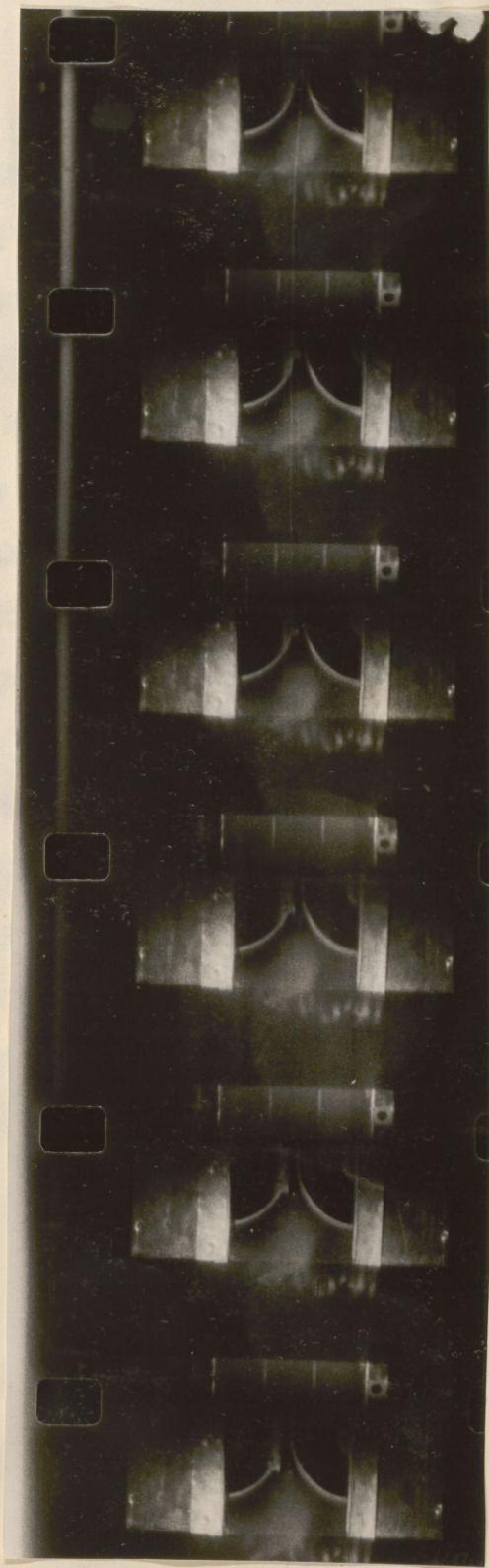
Joon. 10. Osakese kiirus sõltuvalt kaugusest.



Joon. 11. Silikaltsiidimassi frondi kiiruse olenevus kaugusest.



Joon. 13. Kiiruse muutuste diagramm suunas a .



Joon. 12. Koopia kiirfilmist 6 kaadri ulatuses.

23

Аннотация

Приведенная исследовательская работа проведена для уточнения траектории и скорости движения силикальцитной массы в массомете при ее работе.

Для упрощения определения вначале исследовали движение отдельных частиц. Нашли, что скорости отдельных частиц уменьшаются значительно при увеличении расстояния от ускорительного механизма. Указывали на влияние сопротивления воздуха на движущиеся частицы.

При определений параметров движения силикальцитной массы обнаружено меньшая потеря скорости, чем при движении отдельных частиц. В плоскости формы (на расстоянии 50 см) скорость 25% меньше скорости вылета частиц и уменьшается при увеличении расстояния от материальной головки.

Указывается на необходимость увеличения скорости питания массомета, при этом повышается кпд. массомета и улучшается гомогенность отформованных изделий.

S i s u k o r d

1. Tööülesande määratlus.	lk.	3
2. Massipilduja tööst ja vertikaalsete õhu- vooluste mõõtmise tulemustest.		4
3. Mõõtmismetoodika, aparatuur ja abiseadmed.		7
4. Optimaalsete mõõtmistingimuste katseline leidmine ja mõõtmistulemused.		10
5. Katsematerjali läbitöötamistulemuste analüüs ja järeldused.		13
6. Graafiline osa.		18
7. Töö venekeelne lühikokkuvõte.		25
8. Sisukord.		26