

POPULAARTEADUSLIK  
SARI

*M. S. Tukateĩnski*

KUIDAS ARVUTAVAD  
MASINAD



A-165587

M. S. TUKATŠINSKI

# KUIDAS ARVUTAVAD MASINAD



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1954

✓

Originaali tiitel:  
М. С. Тукачинский  
Как считают машины  
Государственное издательство  
технико-теоретической литературы  
Москва 1952 Ленинград

Tõlkinud V. Pedajas.

LUGEJALE

*Populaarteadusliku kirjanduse toimetuse  
palub hinnangud ja arvamused teose kohta,  
samuti teoses kasutatud terminoloogia kohta  
saata aadressil:*

*Tallinn, Pärnu mnt. 10,  
Eesti Riikliku Kirjastuse  
populaarteadusliku kirjanduse toimetuse.*

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

24587



## MILLEST JUTUSTAB SEE RAAMAT

Moskvas kerkivad kõrghooned; Volgal ja Dnepril ehitatakse hiiglaslikke hüdroelektrijaamu; varsti voolab vesi uutes kanalites; kõikjal meie kodumaa lõpmatutel avarustel töötavad vabrikud ja tehased, lastes välja mitmekesist toodangut.

See hiiglaslik ülesehitustöö on võimatu arvutusega. On olemas isegi selline eriala — arvutaja. Selle omapärase elukutsega inimeste brigaadid töötavad kuude kaupa mõne keerulise insener-tehnilise arvutuse teostamiseks.

Eriti palju peavad arvutama inimesed, kes tegelevad arvestusega. Meie maal töötab terve armee arveala spetsialiste. Muidugi ei tegele arveala töötajad ainult arvutustega, kuid siiski kulutavad nad üle poole oma tööajast arvutamiseks.

Valdav enamik arvutusoperatsioone on lihtsad aritmeetilised tehted või aritmeetilistele tehetele taandatud operatsioonid. Tavaliselt ei tekita üksik arvutus erilisi raskusi, kuid nende rohkus muudab tänapäeval arvutamise keeruliseks ja väsitavaks toiminguks.

Meie maal pühendavad partei ja valitsus suurt tähelepanu raskete ja töömahukate tööde mehhaniseerimisele.

«Arvata, et meie töötempo ja tootmise ulatuse tingimustes võib toime tulla ilma mehhaniseerimiseta,» ütles Stalin, «tähendab lootust sellele, et lusikaga võib mere tühjaks tõsta.»<sup>1</sup>

Gigantsed sammuvad ekskavaatorid ja teised pinnasekaevamise masinad on asendanud kümneid tuhandeid

<sup>1</sup> J. Stalin — Leninismi küsimusi, Tallinn 1952, lk. 332.

mullatöölisi. Tõstekraanad ja automaatlaadijad asendavad laadija raske töö. Võimsad metsaveotraktorid töötavad edukalt metsa ülestöötamisel. Paljudel lehekülgedel võib jätkata raskete füüsiliste tööde loetelu, milliseid on mehhaniseeritud.

Kuid kõigil neil juhtudel on juttu füüsilise töö kergendamisest. Teine asi on arvutused, mida on harjutud lahutamatu siduma inimaju tegevusega ja lugema niinimetatud vaimse töö hulka.

Käesoleval ajal on olemas palju masinaid, mis on võimelised teostama mitmesuguseid arvutusi. Veel enam: need masinad arvutavad inimesest kiiremini ja täpsemini. Nad teostavad arvutuse kogu tehnilise, «musta» töö, kusjuures nad sageli lahendavad küllaldase kiiruse ja tõhususega selliseid ülesandeid, mida tavaliste «käsitsiarvutamise» meetodite juures loeti praktiliselt lahendamatuks.

Moskvas Kirpitsnaja tänavas on neljakorruseline suurte akendega maja. Sissekäigu juures on silt:

NSVL SKV
«Üleliidulise Mehhaniseeritud Arvestuse»
Väitsuse
1. MOSKVA
MEHHAISEERITUD ARVUTAMISE VABRIK

Arvutamise vabrik! Tema tooraineks on arvud-andmed, tema toodanguks — arvud-vastused. Seejuures on see päris tõeline vabrik, millel on mitusada mitmesugust masinat, mis teostavad miljoneid arvutusi päevas; vabrik, kus, nagu igas käitiseski, igale uuele tööle eelneb projekteerimise ja tehnoloogia väljatöötamise protsess.

Moskva mehhaniseeritud arvutamise vabrik ei ole kaugelki ainulaadne. AINUÜKSI pealinnas on tal üle kahekümne osakonna, peale selle on samasugused vabrikud ka Leningradis, Harkovis, Odessas ja teistes linnades.

Tähed SKV vabriku sildil tähendavad «Statistika Keskvälitsus». Kuid oma arvutamise vabrikuid on teistelgi, mitte ainult statistikutel. Laialdane võrk selletaolisi ettevõtteid on ka NSV Liidu Riigipangal ja Teedeministeeriumil. Suur hulk masinaarvutuse büroosid ja jaamu töötab nõukogude rahvamajanduse kõige erinevates harudes.

«Masinmatemaatika» probleem huvitab juba ammu meie kodumaa teadlasi ja leidureid ning nad võtavad aktiivselt

osa arvestus-arvutusmasinate ja -mehhanismide loomisest. P. A. Zarubin ehitas ammu enne välismaalasi planimeetri, see tähendab abinõu pindade arvutamiseks. Kogu maailmas levinud aritmomeetri leiutas Peterburi insener V. T. Odner. Esimese arvutusautomaadi maailmas, mille põhimõtted ei ole kaotanud oma tähtsust ka praegu, konstrueeris akadeemik P. L. Tšebõšev. Kõrgema matemaatika ülesannete lahendamise masinate loomise alal kuulub prioriteet akadeemik A. N. Krõlovile. Stalini preemiad on omistatud professor L. J. Gutenmahherile, teaduslikele töötajatele N. V. Korolkovile, B. A. Volõnskile ja V. P. Lebedevile elektri-integraatori loomise eest ning professor V. S. Lukjanovile, maailma esimese hüdrointegraatori autorile. Arvutuste mehhaniseerimise vallas on suuri teeneid nõukogude konstruktoritel S. K. Nesluhhovskil, V. N. Rjazankinil, P. G. Homenkol jt.

Käesolev väike raamat tutvustab teid arvutusmasinatega. Te näete siit, et «masinmatemaatikal» on meie elus järjest suurenev tähtsus, mitte väiksem kui teistel uusimatel leiutustel.

Mitte juhuslikult ei kirjutanud suur nõukogude teadlane S. I. Vavilov: «... inimkond pole veel kunagi saavutanud «masinmatemaatikas» säärast ulatust ja vägevust nagu viimastel aastatel. Uued seadmed mehhaanilisel, elektri ja isegi elektron-vaakuumi põhimõttel lubavad lahendada kõige raskemaid matemaatika ülesandeid, mida püstitavad tehnika ja loodusteaduse mitmesugused harud. Mõninga liialdusega võib ehk öelda, et meie läheneme sellele utoopilisele ajale, millal matemaatika osaks jääb üksnes võrrandite koostamine; neid võrrandeid lahendavad aga masinad.»<sup>1</sup>

## I. LIHTSAMATEST SEADISTEST ARVUTUSMASINATENI

### Kuidas inimesed on lihtsustanud arvutamist

Inimesed oskasid arvutada väga ammu — veel enne, kui nad õppisid lugema ja kirjutama. Tõepoolest, kui inimene loendab numbreid üks, kaks, kolm, neli, viis, siis ta

<sup>1</sup> С. И. Вавилов, Основные научные проблемы в ближайшей пятилетке, 1946 (Сборник «Советская наука на новом этапе», АН, 1946).

juba arvutab; numbreid järjestikku nimetades lisame eelmisele numbrile «peast» ühe ühiku.

Üheks kõige algelisemaks ja samal ajal iidseks viisiks on «sõrmede peal üles lugemine». Selle viisi ammuagsest kasutamisest annab tunnistust nende numbrite kuju, mida kasutasid veel vanad roomlased. Rooma numbrid I (üks), II (kaks), III (kolm) kujutavad vastavat sõrmede arvu, kuna näiteks number V (viis) kujutab kämmalt, milles peale pöidla kõik sõrmed on üksteise vastu surutud.

Võib nimetada ka teisi elementaarseid arvutamismõtteid: pulgakeste, kivikeste jne. abil. Need algelised võtted ei rahulda inimest juba ammu. Kaubanduse, käsitöö, mereõidu ja astronoomia arenemine nõudis arvutamise täiustamist. Leiutati mitmesuguseid arvusüsteeme, sealhulgas ka meil kasutatav kümnendsüsteem. Selle süsteemi aluseks on arv kümme; kümme kümmelist on sada, kümme sajalist tuhat jne.

Kõrvuti arvusüsteemide täiustamisega püüdsid inimesed lihtsustada ka arvutamise protsessi. Selleks kasutati juba iidsest ajast mitmesuguseid seadiseid ja erisuguseid arvude paigutamise viise. Üheks selliseks viisiks on numbrite kirjutamine «tulbakesena», mis on tuttav igale kooliõpilasele.<sup>1</sup>

Kirjutamine tulpades on eriti sobiv mitmekohaliste arvude kasutamisel. On ainult vaja kirjutada üks arv teise alla nii, et ühe arvu ühelised oleksid teise arvu üheliste all, kümmelised kümmeliste all, sajalised sajaliste all jne., et samatähenduslikke arve (ühelised ühelistega, kümmelised kümmelistega jne.) järkude kaupa liites (või lahutades) saada otsitav tulemus.

Näiteks:

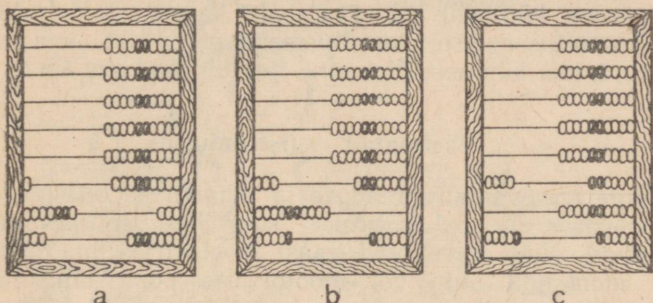
$$\begin{array}{r} 12\ 625 \\ + 3\ 071 \\ \hline 15\ 696 \end{array}$$

Vanal Venemaal kasutati «suure arvu arvutamiseks» kivikesi. Rõht- ja püstjoontega piiratud ruutudesse asetati vajalik arv kivikesi. Arvutamiskäigus tõsteti need üle vastavatesse ruutudesse, kusjuures kõige alumises ruudus olevate kivikeste arv vastas üheliste arvule, järgmises küm-

<sup>1</sup> Arvutamise ja arvusüsteemi arenemisest vaata lähemalt G. N. Bermani raamatust «Arv ja number». Tallinn, 1952.

neliste arvule jne. Kui ruutu kogunes üle kümne kivikese, siis asendati nende kümme ühe kiviga järgmises järgus.

Omaval ajal oli laialdaselt levinud ka teine vanaaegne arvutamismeetod, mis on läinud matemaatika ajalukku «tahvelarvutuse» nime all. Iseloomustades seda «tahvelarvutust», mille seadis koosnes nõõridele lükitud kettakekestest, märgib iidne käsikiri, et «temaga võib igaüks kaubaarvet rehkendada; ka igat liiki adramaade ja numbrite ja asjade ja raha igasugust hulka nii tervelt kui osade kaupa».



Joon. 1. Liitmine arvelaudal. *a* — seatud arv 173, *b* — juurde liidetud 232, *c* — kümme kümmelist on asendatud ühe sajalisega.

Neis vana-slaavi arvutamismeetodites on kerge märgata sarnasust meile kõigile hästi tuntud vene arvelauaga.

Arvelauda tunneb igaüks. Nelinurksesse puuraami on kinnitatud metallvardad. Igal vardal libiseb vabalt kümme kettakest. Iga varras koos kettakestega esindab arvude järku: ühelisi, kümmelisi, sajalisi jne.

Tarvitseb ainult jälgida, millise kiirusega lendavad kettakesed kogunud arvelatöötaja sõrmede all, et kohe veenduda suures ajasäästus, mida see lihtne seadis annab.

Lihtne näide:  $173 + 232$ . Arvelaudale seatakse esimene liidetav 173, s. o. üks sajaline, seitse kümmelist ja kolm ühelist (vt. joon. 1, *a*). Seejärel lisame ühele sajalisemale veel kaks sajalist — neid on nüüd kolm, seitsmele kümmelisele lisame kolm kümmelist — saame kümme, kolmele ühelisele lisame kaks ühelist — saame viis ühelist (vt. joon. 1, *b*). Kuid vastavalt kümmendsüsteemile võib kümme kümmelist asendada ühe sajalisega. Selle sooritanud, saame vastuseks 405 (vt. joon. 1, *c*).

Nende kahe arvu liitmine arvelaulal nõuab vähem aega kui kogu tegevust kirjeldavate ridade lugemine.

Näib, et arvelaud on niivõrd lihtne, et pole enam mil-lestki rääkida. Kuid see pole siiski nii. Üks asjaolu väärrib meie lähemat tähelepanu. See on niinimetatud kümnete ülekanne, s. t. kümne ühelise asendamine ühe kümnelisega, kümne kümnelise asendamine ühe sajalisega, kümne sajalise asendamine ühe tuhandelisega jne. Iga kord, kui kettakeste arv arvelaual ühes või teises järgus tõuseb kümneni, kantakse kümned käsitsi üle.

Vajadus kümneid käsitsi üle kanda eraldab lihtsaimaid arvutusseadiseid arvutusmehhanismidest — arvestitest, kus kümnete ülekanne toimub automaatselt.

### Väsimatud registraatorid

Kõige erinevama teaduse ja tehnika harudes, aga ka igapäevases elus on tarvitusel suur hulk mitmesuguseid arvesteid. Nad arvestavad gaasi ja elektri kulu, näitavad igal momendil auto või mootorratta poolt läbisõidetud täpset kilomeetrite arvu, arvestavad taksoautol sõidumaksumuse, loetlevad tehase konveieril liikuvaid detaile.

Arvesti on igasuguse arvutusmasina põhielemendiks.

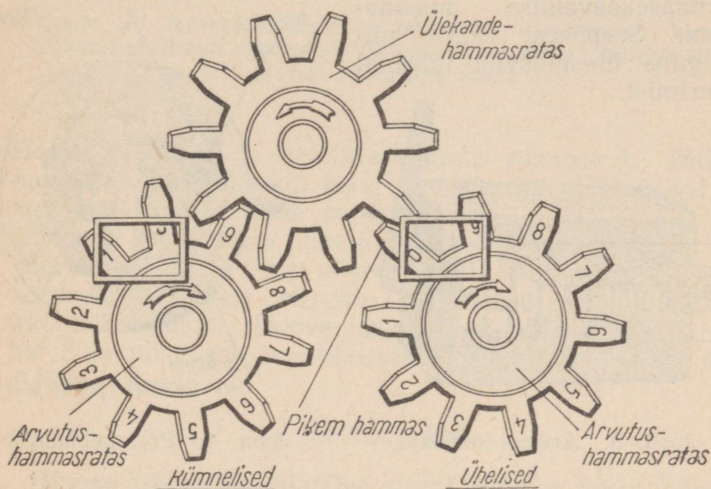
Arvestid on nii oma ülesandelt kui ka ehituselt niivõrd mitmekesised, et selle raamatu lehekülgedel on võimatu jutustada kas või nende kõikide põhiliikidestki. Seepärast peatume ainult nendel, mis on vahetult seotud mehhaniseeritud arvutamisega. Seejuures ütleme kohe, et edaspidi mõistetakse «arvesti» all numbriliste suuruste arvestamise seadist, mis teostab kümnete ülekanne automaatselt.

Kuidas siis teostada kümnete automaatselt ülekanne? Konstruktorid vastavad sellele küsimusele mitut moodi, kuid enamiku lahendusi võib põhimõtteliselt taandada järgnevaks: arvesti iga arvujärgu jaoks on olemas kümne hambaga arvutushammasrattake, kusjuures üks hammas on teistest pikem või jämedam (vt. joon. 2).

Iga ühelise lisamisega pöördub madalaima järgu hammasrattas  $\frac{1}{10}$  pööret, s. t. ühe hamba võrra. Joonisel on üheliste hammasratta aknakeses näha number 9, s. t. et üheliste hammasrattas on juba pöördunud  $\frac{9}{10}$  pööret. Järgmise ühelise lisamisel antud järgus koguneb kümme ühelist ja järelikult tuleb kümme sel momendil üle kanda.

Seda ülesannet teostab pikem hammas. Hambudes ajutiselt kümneliste hammasrattaga, pöörab ta seda  $\frac{1}{10}$  pöörde võrra.

Kõige selle tulemusena on üheliste hammasratas teinud täispöörde, arvesti aknakesse ilmub üheliste järgus null ja kümneliste järgus üks. Sellega on kümnete automaatse ülekande ülesanne lahendatud.

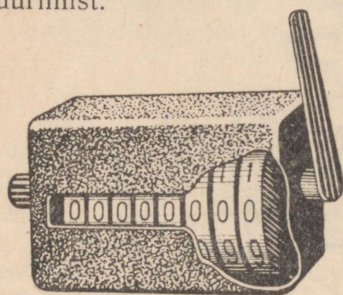


Joon. 2. Kümnete automaatne ülekanne. Momendil, kui üheliste hammasratas pöörduv 9-lt 0-ni, pöörab tema pikem hammas ülekande-hammasratta kaudu kümnete hammasratta 0-lt 1-ni.

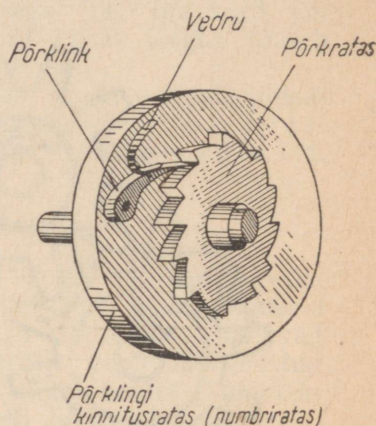
Joonisel 2 on näha, et arvutushammasrattad hambuvad mitte vahetult, vaid ülekande-hammasratta kaudu. Ilma viimaseta pööraks üheliste hammasratas, mis ise pöörleb kellaosuti liikumise suunas, kümneliste hammasrattast vastupidises suunas. Ülekande-hammasratta abiga aga toimub kõik nagu vaja: üheliste hammasratas pöörleb kellaosuti suunas, ülekande-hammasrattas vastupidises suunas ja kümneliste hammasrattas uuesti kellaosuti suunas.

Kirjeldatud põhimõttel on ehitatud lihtarvestuse arvestid ehk — nagu neid veel nimetatakse — arvestid-loendajad. Ainult arvud ei ole neil märgitud vahetult arvutushammasrattaile, vaid viimastega liikumatult kinnitatud numbri-rattakestele.

Arvestid-loendajad on üsna laialdaselt levinud ja on tavaliselt ühendatud masina mingi liikuva osaga, mille iga käik pöörab arvesti kangi, suurendades tema näitu ühelise võrra. Liitmist võimaldab pörkrattakese ja pörklingi kasutamine kangi liikumise ülekandmiseks numbrirattale. Sellist ühendamisviisi kohtame väga erinevates mehhanismides, alates väikesest käekellast kuni hiiglaslike pinnasekaevamise masinateni. Seepärast väärib niisugune ühendusviis lähemat uurimist.



Joon. 3. Arvesti-loendaja.



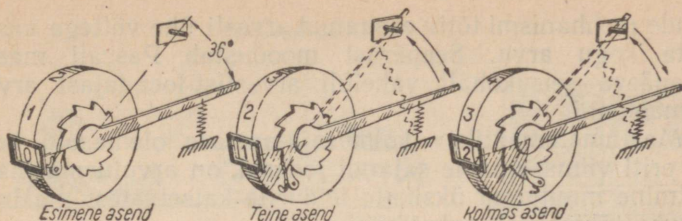
Joon. 4. Pörkmehhanism.

Pörkratta ringjoonel asuvad hambad. Iga hammas on ühelt poolt ümardatud, teiselt poolt aga sirge. Pörklink on kiilukujuline detail. Pörkratta pöörlemisel ühes suunas libiseb pörklink, mida vedru surub vastu ratast, vabalt piki hambakeste ümardatud pinda. Tema liikumist saadab ainult nõrk kärin — pörklink hüppab hambalt hambale.

Pörkratta pöörlemisel vastupidises suunas on pilt hoopis teine. Surudes hamba otspinnaga pörklinki, haarab pörkratas endaga ratast, millele on kinnitatud pörklink, sundides seda ratast pöörlema koos pörkrattaga.

Seega ei ole raske märgata, et pörkratta pöörlemisel ühes suunas tema liikumine üle ei kandu, kuid see-eest kandub ta tingimata üle pöörlemisel vastupidises suunas.

Joonisel 5 näeme arvesti üheliste järku. Hoob on ühendatud numbrirattaga pörkmehhanismi kaudu. Kuid hoova käik on piiratud: ta saab liikuda ainult 36°-lise nurga võrra, pöörates numbriratast  $\frac{1}{10}$  pööret (esimene asend).



Joon. 5. Arvesti töötamise põhimõte. Igakordsel hoova liikumisel ilmub aknakeses järjekordne number, suurendades arvesti näitu ühe võrra.

Hoova pööre — ja aknakeses ilmus number 1. Täitnud oma ülesande, pöördub hoob vedru mõjul lähteasendisse, kuna numbriratas jääb puhkeasendisse (teine asend).

Hoova uus pööre sunnib numbriratast jätkama oma pöörlemist, nii et tema pöörde üldine suurus võrdub kahekordsele  $36^\circ$ -lisele nurgale. Aknakesse ilmus number 2 (kolmas asend). Hoova järjekordsel pöördel ilmub number 3 ja nii edasi; see tähendab, et numbriratas liidab ühtesid.

### Masina sünd

Hoova liikumise võimalus ainult  $36^\circ$ -lise nurga võrra ei luba arvestil liita muid arve, kui ainult ühtesid. Elementaarne ülesanne  $2+3$  ei ole talle enam jõukohane.

On ilmne, et kui anda hoovale võimalus pöörduda mitmesuguste nurkade võrra, siis saab numbriratas võimaluse pöörduda iga etteantud nurga võrra ja arvesti saab liita ühe võttega mitte ainult ühtesid, vaid ka teisi ühekohalisi arve. Mitmekohaliste arvude liitmiseks tuleb teha samasugune ajam arvesti kõikidele järkudele, kindlustades kümneliste, sajaliste, tuhandeliste jne. numbrirataste pööramise juhtimine.

Esmakordselt lahendati see ülesanne 1642. aastal, millal hiljem kuulsaks saanud prantsuse füüsik ja matemaatik, tol ajal aga alles kaheksateistkümne-aastane noormees Blaise Pascal ehitas arvutusmasina.

Kuigi sel masinal oli võimalik liita mitmekohalisi arve, siiski pidi nende ülekande arvestisse toimuma järkude kaupa. Alguses seati ja kanti arvestisse üle ühelised, siis kümnelised, sajalised jne. Kümneliste ebatäiusliku üle-

kande mehhanismi tõttu ei saanud arvesti ühe võttega vastu võtta kogu arvu. Seepärast moodustab Pascali masin tänapäeva seisukohalt vahelüli arvestist-loendajast arvutusmasinani.

«Masinmatemaatika» kolmesaja-aastase olemasolu kestel, eriti viimase poole sajandi jooksul, on arvutusmasinate tootmine muutunud üksikute leidurite katsetustest masinaehituse tähtsaks haruks.

Et vältida eksimist oma konstruktsioonilt ja ülesandelt nii erinevate arvutusmasinate mitmekesisuses, liigitame nad, katsudes endale veel paremini selgitada termineid, millega oleme juba osaliselt kokku puutunud ja tutvudes uutega, milliseid kohtame veel raamatu järgnevatel lehekülgedel.

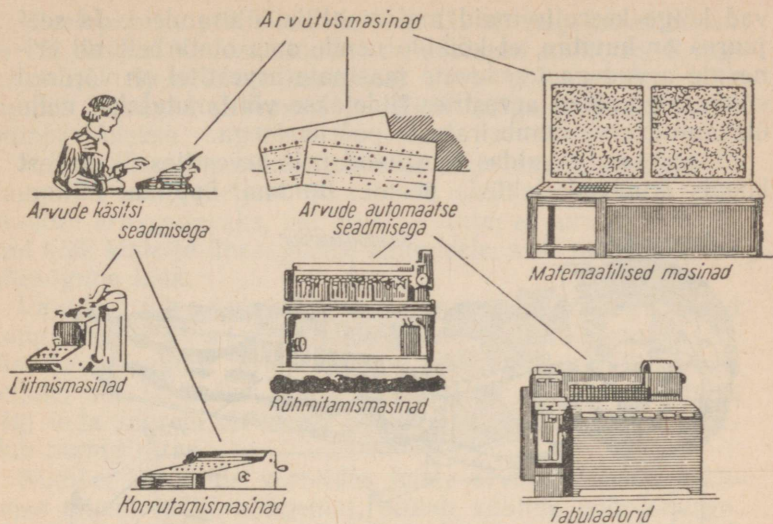
Masin peab teadma, mida arvutada; seepärast on talle vajalik anda ülesanne — seada arvutamisele kuuluvad arvud masinasse. See on esimene etapp.

Teine etapp on masinasse seatud arvude ülekandmine arvestisse. Täites seda operatsiooni, pöörame me arvesti numbrirattaid antud nurkade võrra, mille tagajärjel toimub arvutamise protsess.

Erineva konstruktsioonidega masinates toimub arvude masinasse seadmine erinevalt: seadekettakeste pööramisega (nagu Pascali masinas), seadevinnakute lükkega (nagu aritmomeetris), kuid kõige sagedamini seadeklaviatuuri klahvide surumisega. Käesoleval ajal on viimane viis välja surunud kõik teised, kuna ta osutus kõige sobivamaks.

Arvude arvestisse ülekandmise seadised on samuti mitmekesised. Nendeks on õõtsuvad kangid, muutuva hammaste arvuga hammasrattad, astmelised võllid, proportsionaalsed kangid jne. Üksikasjalisem kirjeldus põhilistest arvude seadmise ja arvestisse ülekandmise seadistest on antud edaspidi. Praegu on oluline meeles pidada üht asja: olgu arvude masinasse seadmise mehhanismi konstruktsioon milline tahes, kui aga arvu masinasse seadmist peab toimetama inimene, siis on meil tegemist käsitsiseatavate masinate klassi esindajaga.

Selle klassi mitmesuguste masinate seas on selliseid, mis on ette nähtud liitmiseks, ja kuigi paljud neist võiksid teostada ka lahutamist, nimetatakse neid liitmismasinateks (summeerimismasinateks).



Joon. 6. Arvutusmasinate liigitus.

Teised, mis on kõige tööviljakamad jagamisel ja korrutamisel (kuigi neil võib sooritada kõik neli aritmeetilist tehet), kannavad nime *korrutamismasinad*.

Teise suure klassi moodustavad arvude automaatse seadmisega masinad. Nendeks on esmajärjekorras arvutav-kirjutav automaat-tabulaator, mis töötab koos abiseadmetega.

Ja lõpuks kolmas klass — matemaatilised masinad, milliseid nimetatakse mõnikord ka «kõrgema haridusega» masinateks ja mida kasutatakse keeruliste teaduslike ja tehniliste arvutuste teostamiseks. Need masinad ei piirdu enam nelja aritmeetilise tehtega. Neile on jõukohane isegi kõrgema matemaatika, mehaanika, soojustehnika ja teiste teaduste ülesannete lahendamine. Mõningatest neist erakordsetest masinatest räägime edaspidi.

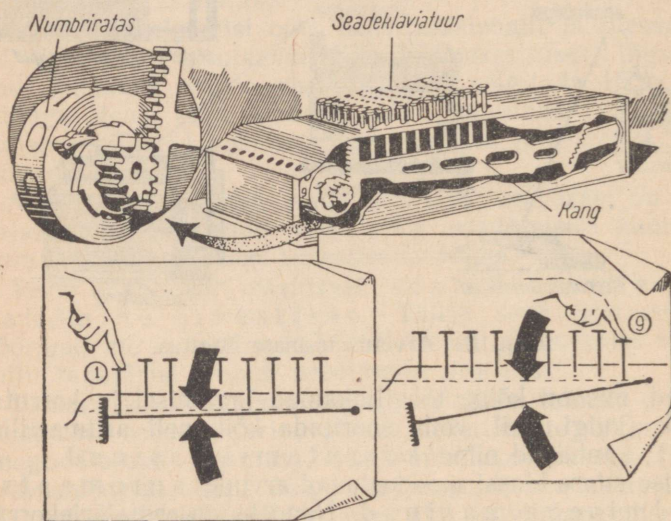
## II. INIMENE ANNAB ÜLESANDE

### Arvude seadmine «pimesi»

Seega võivad arvutusmasinad olla mitmesuguse «haridusega». Ühed oskavad ainult liita ja lahutada, teised tunnevad veel korrutamist ja jagamist, kolmandad aga lahenda-

vad kõige keerulisemaid matemaatilisi ülesandeid. Ja seejuures on huvitav, et kõikide nende oma otstarbelt nii erinevate arvudega tegelevate masinate arvestitel on võrdsed võimalused. Neis arvestites liidetakse või lahutatakse neile ülekantud arve numbrirataste pöörlemisega.

Et aru saada, kuidas teostuvad neis arvestites üksteisest hoopis erinevad tehted, peame tundma õppima mitme-



Joon. 7. Täisklaviatuuriga liitmismasina ehituse põhimõte.

suguste masinatüüpide ehitust. Näiteks joonisel 7 on kujutatud laialtlevinud täisklaviatuuriga liitmismasina põhimõtteline skeem. Tema töö põhimõte meenutab Pascali masinat: igas arvesti järgus on samasugune pörkmehhanism. Vahe seisab selles, et kümnete ülekandmiseks on kasutatud täiuslikumat mehhanismi ning pörkrataste pööre toimub lihtsa vajutusega seadeklahvile. Vajutus klahvile surub alla hoova, mis klahvi vabastamisel kerkib vedru mõjul tagasi lähteasendisse ning pöörab seejuures pörkmehhanismi kaudu numbriratast vastava nurga võrra. Arvesti aknakeses ilmub vajutatud klahvile vastav number. Kui nüüd veel kord vajutada mingit klahvi, siis kordub uuesti kogu protsess ja arvesti aknakeses on võimalik lugeda ülekantud numbrite summat.

Tähelepanelik pilk skeemile teeb täiesti selgeks, et masin ei või eksida. Vaadake kuidas on asetatud numbrid. Kangi liikumise teljest kõige kaugemal asub number üks, telje suunas numbrid kasvavad ja teljele kõige lähemal asub number üheksa.

Selline paigutus ei ole juhuslik, seda enam, et klahvide kaugused kangi teljest on täpselt välja arvestatud. See muutub arusaadavaks, kui arvesse võtta, et surumisel vajuvad kõik klahvid ühesugusele kaugusele, s. t. neil kõigil on ühesugune käik.

Vajudes ühesugusele kaugusele, pööravad klahvid kangi erinevate nurkade võrra, olenevalt oma asendist kangi suhtes. Mida lähemal on klahv kangi liikumise teljele, see tähendab, mida väiksem on jõu rakendamise õlg, seda suurem on kangi pöördenurk, seda rohkem pöörduv numbriratas.

Number üks, mis võrreldes teiste arvudega asub liikumise teljest kõige kaugemal, annab vähima pöördenurga. Number üheksa, mis asub teljele lähimal klahvil, sunnib kangi pöörduma kõige suurema nurga võrra.

Vaadeldud joonisel on näidatud masina ühe järgu ehitus. Kõik ülejäänud järgud ei erine vaadeldust millegagi. Surudes neis vastavaid klahve, seame ja kanname arvestile üle meile vajaliku arvu ühelisi, kümnelisi, sajalisi jne.

Niisuguste järkude arv võib olla erinev ja sellest oleneb, kui mitme kohalisi arve saab antud masinal liita.

Üksteise järel seatakse liidetavad arvud masinasse. Nüüd ongi nad kõik seatud. Masin täitis oma ülesande ja arvesti näitab summat. Kustutusvända pööre puhastab arvesti, lubades asuda uute ülesannete lahendamisele.

Arvusid võib ka ju arvelaual liita, aga kus sa arvelauaga masina vastu jõuad! Kolme-neljakohaliste arvude liitmist teostatakse äsjatutvustatud masinal kiirusega kuni 3000 tehet tunnis.

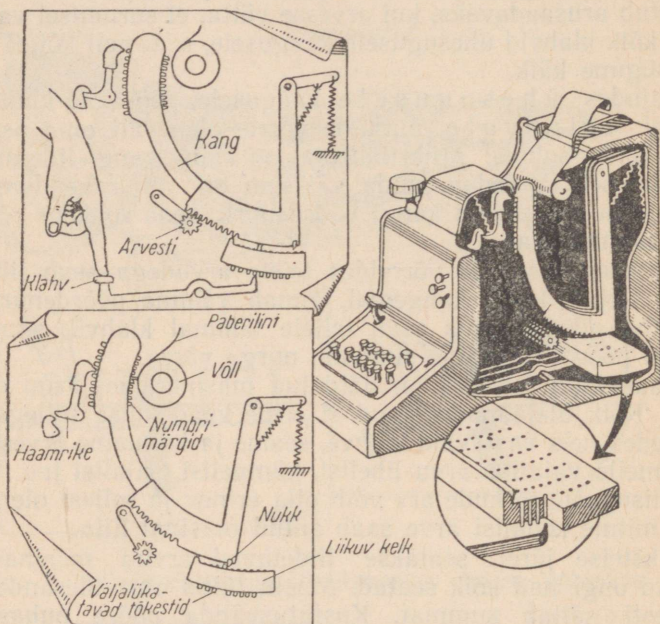
Kuid hoolimata kõigist oma positiivsetest omadustest ei suuda seegi masin täielikult rahuldada arvutustehnika kasvanud nõudeid. Arveala-töötajad peavad sageli säilitama arvutuste dokumentaalsed üleskirjutused, peavad fikseerima paberil nii liidetavad kui ka summad.

Nõukogude konstruktorite poolt loodi 1932. aastal kümne klahviga liitmismasin «ДСМ», mis võib teostatavad arvutused üles kirjutada.

Selle masina töömeetod tuletab meelde kirjutusmasinal

«trükkimist», kus inimene, tundes aegsasti klahvide asetust, ei vaata klaviatuurile. Sellist töövõtet nimetatakse «pimesi trükkimiseks». Pimesi meetodi omandamine ei ole raske, kuna klaviatuuris on ainult kümme numbriklahvi.

Mitmekohaliste arvutuste teostamine kümneklahvilisel masinal osutus võimalikuks töötukli jagamise tõttu kaheks



Joon. 8. Kümneklahvilise liitmis-kirjutusmasina ehituse põhimõte.

perioodiks. Kui täisklaviatuuriga liitmisemasinal numbrid anti arvestisse üle üheaegselt nende seadmisega klaviatuuril, siis siin need kaks operatsiooni — arvude seadmine ja nende ülekanne arvestisse — on ajalisel jaotatud. Järjestikku klahvidele vajutamisega seame alguses masinale kogu arvu, pärast kanname ta tervikuna arvestisse.

Selleks et seada liidetavat arvu täisklaviatuuriga masinale, vajutas operaator vaid üht klahvi igas järgus. Sisuliselt koostas ta seejuures kombinatsiooni arvudest 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0. Iga järgu kümnest klahvist töötas vaid üks.

Kümneklahvilisel masinal võib ühtede ja samade klahvidega seada numbreid igas järgus. See toimub järgmiselt.

Masina sees on liikuv ladumiskelk väljalükatavate tõkestitega (joon. 8). Need tõkestid on paigutatud kümnesse ritta, mis määrab maksimaalse kohtade arvu, milledega saab sellel masinal töötades opereerida. Analoogiliselt täisklaviatuuriga masina klaviatuurile on iga rida arvude järk. Ta koosneb üheksast väljalükatavast tõkestist, mis vastavad numbritele 0-st kuni 8-ni. Numbri 9 seadmise tõkkeks on kelgu serv.

Lähteasendis on kelk lükatud paremale. Klahvile vajutamisel lükatakse kelgust välja seatud numbrile vastav tõkesti, mille järel kelk liigub ühe järgu võrra vasakule. Vajutades arvu üheksa klahvi, ei lükata välja ühtki tõkestit, kuid kelk nihkub siiski ühe järgu võrra. Järjekordne klahvile vajutamine lükkab välja juba järgmise järgu tõkesti jne., kuni kogu arv on masinasse seatud. Sellega lõpeb töötsükli esimene periood ja algab teine — arvutamine ja trükkimine.

Nagu eelkirjeldatud masinaski, antakse seatud arv arvestisse üle hammaskangide abil. Need kangid (kõik üheaegselt) rakendatakse tegevusse kellaosuti liikumise suunas masina küljel asuva erivända abil. Iga kang võib nihkuda nii kaua, kuni temal olev nukk jõuab väljalükatud käigu-tõkestini või kelgu servani.

Samal joonisel on võimalik näha väljalükatavaid numbrimärke, mis asuvad iga kangi ülemises osas. Nende naabruses asub võll paberilindiga ja haamrikesed. Kangide pöördumisel tõusevad numbrilitrid võlli kohale, kusjuures võlli vastas paiknevad kangide peatumisel samad numbrid, mis valiti klaviatuuril. Vaevalt jõuavad numbrimärgid asetuda võlliga kohakuti, kui haamrikesed vabanevad. Vedrud sunnivad neid lööma numbrimärkidele. Samuti nagu kirjutusmasinaski, liigub märkide ja võlli vahel kopeerlint, mis võimaldab meie liidetavat arvu trükkida paberile. Kuid arv ei sattunud veel arvestisse. Kangide pöördumisel lähteasendisse viib eriline seadis arvesti kangi hammaste juurde. Arvesti hammasrattad pöörduvad ja «võtavad vastu» trükitud liidetava. Järgmise arvu liitmisel toimub kõik algusest peale.

Kui liidetavad on kirjutatud ja arvesti on kogunud summa, siis tarvitseb ainult vajutada summeerivale klahvile, et trükkida tulemus.

Seejuures toimub masinas protsess, mis on vastupidine üksikute arvude liitmisel täheldatud protsessile. Arvesti, mis liitmisel hambus kangidega nende tagasiteel, nüüd, vastupidi, hambub kangidega nende liikumise algetapil ja eemaldub kangide lähteasendisse pöördumise ajaks.

Pärast summeerivale klahvile vajutamist piirab kangide käiku arvesti (kuna kõik käigutõkestid on tagasi lükatud). Iga kang võib pöörduda kuni arvesti vastav hammasratas ei asu null-asendisse, s. t. kuni ta ei «anna ära» oma näitu.

Sel silmapilgul haamrikesed löövad uuesti numbriltrittele ja kogutud summa trükitakse paberile.

Aga kuna arvesti on tagasiteel kangidest eemaldatud, siis ta oma näitu tagasi ei võta, vaid jääb vabaks. Masin on valmis uuteks arvutusteks.

Meie poolt vaadeldud masinate arvestite ehitus näitab selgesti, et need masinad võivad ainult liita, sest nende arvestite numbrirattad pöörlevad ainult ühes suunas. Kuid nagu me juba varem märkisime, saab liitmismasinatel teostada ka lahutamist.

Esimese pilguga näib üks olevat vastuolus teisega. Kuid see vastuolu laheneb lihtsalt, kui kasutada erilist aritmeetilist võtet, milles lahutamine asendatakse nn. täiendusarvu liitmisega.

Täiendusarvuks nimetatakse arvu, mis täiendab antud arvu kuni ühega ja nullidega väljendatud arvuni. Arvu 75 täiendusarv on 25, ta täiendab 75-t kuni 100-ni. Täiendusarvudeks on ka 925 ja 9925; nad täiendavad 75-t kuni 1000-ni, 10 000-ni jne.

Täiendusarvud taandavad lahutamise hõlpsasti liitmiseks. Selle asemel et 140-st lahutada 75, võib 140-le liita 925 (täiendusarv 75-le). Kui pärast seda heita ära kõrgema järgu ühik, siis saadakse ühesugune tulemus:

$$\begin{array}{r} 140 \\ - 75 \\ \hline 65 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 140 \\ + 925 \\ \hline (1)065 \end{array}$$

Just sel viisil toimubki lahutamine paljudel masinatel. Otsese lahutamise asemel liidetakse vähendatavale (meie näites 140) lahutatava täiendusarv (925) ja saadakse vahe (65).

Et kiiresti määrata täiendusarvu, on klahvidel sageli kõrvuti põhinumbriga märgitud väikeselt ka täiendusnum-

ber. Mõned masinad heidavad mittevajaliku (kõrgema) järgu automaatselt ära.

Lahutamine täiendusarvu abil, kuigi ta on levinud, ei ole ainuke viis. Uuemad nõukogude kümneklahvilised kirjutavad liitmismasinad «СДУ-110» võivad teostada vahetult lahutamist. Nende arvestite konstruktsioon lubab arvutushammasrattakestel pöörelda liitmisel ühes suunas, lahutamisel aga — vastupidises.

### Kas masinad tunnevad korrutamistabelit?

Jätkates tutvumist arvutuse mehhaniseerimisega, asume nüüd vaatlema kaht järgmist aritmeetilist tehet — korrutamist ja jagamist. Igaüks kasutab selleks korrutamistabelit, kuid iga kooliõpilane teab, et korrutada üht arvu teisega tähendab — liita korrutatav iseendaga niimitu korda, kuimitu ühelist sisaldab korrutaja. Teiste sõnadega, korrutamist võib asendada liitmisega. Korrutamise tavaline kirjutamisviis  $35 \times 12 = 420$  esineb siis järgmisel kujul:

$$\underbrace{35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35 + 35}_{35 \quad 12 \text{ korda}} = 420$$

Pilt on analoogiline ka jagamisel. Seda võib kujutada jagaja järjestikuse lahutamisenä jagatavast. Võimalike lahutamiste arv on jagatis.

Veendume selles.  $420 : 35 = 12$

$$420 - \underbrace{35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35 - 35}_{35 \text{ sisaldub } 420\text{-s } 12 \text{ korda}} = 0$$

Eelöeldust selgubki, et liitmismasinatel võib teostada korrutamist ja jagamist. Kuid tegelikult on liiga palju põhjusi takistanud selle võtte kasutamist «masinmatemaatikas».

Esiteks tuleks korduvalt seada klaviatuuril üht ja sama liidetavat (korrutamisel) või üht ja sama lahutatavat (jagamisel); teiseks oleks vältimatu teostatavate tehete peast loendamine, ja lõpuks kolmandaks kulgeks see protsess liiga aeglaselt isegi nende liitmise ja lahutamise suurtel kiirustel, mida kindlustavad liitmismasinad.

Selgitanud põhjusi, mis takistasid korrutamise ja jagamise teostamist masinatel, püüdsid arvestuse-arvutustehnika valdkonnas töötavad konstruktorid neid viivitamatult kõrvaldada.

Et mitte kulutada aega arvude korduvale masinasse seadmisele, leiti konstruktsioonid, mis võimaldavad üks kord masinasse seatud arvü kanda arvestisse üle kuitahes mitu korda. Õnnestus ka vältida teostatud tehete arvu peast loendamist. Selle töö võttis endale eriline arvesti.

Lõpuks, kasutades lihtsat 10-ga, 100-ga, 1000-ga jne. korrutamise reeglit, õnnestus tunduvalt vähendada liitmise või lahutamise operatsioonide arvu. Sest selleks, et korrutada mistahes arvu teisega, mis kujutab endast ühte nullidega, on küllaldane kirjutada korrutatavale juurde vastav arv nulle:

$$17 \times 10 = 170; \quad 17 \times 100 = 1700 \text{ jne.}$$

Sama on ka jagamisel. Ainult seal ei ole vaja juurde kirjutada nulle, vaid vastupidi, on vaja eraldada jagatava vastav arv kohti komaga:

$$17 : 10 = 1,7; \quad 17 : 100 = 0,17 \text{ jne.}$$

Seda iseärasust õnnestus kasutada arvutusmasinates tänu arvesti paigutusele liikuvale kelgule. Kui me nihutame kelgu masinasse seatud arvu suhtes ühe järgu võrra paremale ja siis teostame arvu ülekannet arvestisse, siis viimasesse järku ei satu midagi — sinna jääb null. Tulemus on seatud arvust 10 korda suurem. Arvesti nihutamisel järgu võrra vasakule väheneb tulemus 10 korda.

Et see oleks täiesti selge, pöördume tagasi oma näite juurde:

$$35 \times 12 = 420.$$

Masin, mille arvesti asub liikuvale kelgul, lahendab selle näite niimoodi: I etapp — arvu ülekanne arvestisse kaks korda  $35 + 35 = 70$ ; II etapp — kelgu nihutamine ühe järgu võrra paremale ja arvu ülekanne arvestisse üks kord. Arvestis toimub liitmine:

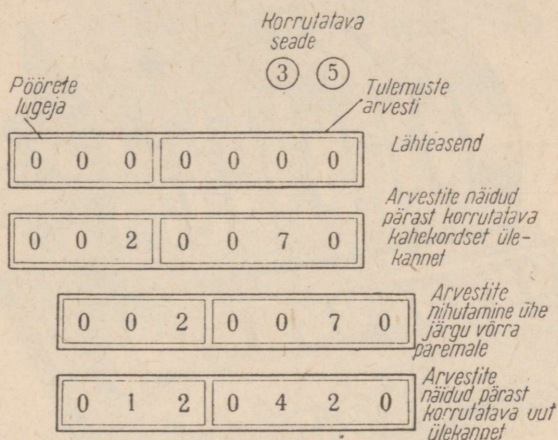
$$70 + 350 = 420.$$

Sel kombel arvu ülekandmise hulk arvestisse vähenes 12-lt 3-le. Joonis 9 näitab seda protsessi piltlikult.

Korrutamise asendamist sellise lühendatud liitmisega kasutatakse peaaegu kõikides korrutamismasina- ja seal-

hulgas ka aritmomeetris, mis on üks levinumaid, kergeltkantavamaid ja odavamaid arvutusmasinaid. Aritmomeetrit võib leida igas raamatupidamises, konstruktsiooni-büroos, teaduslikus laboratooriumis ja isegi kaugele ekspeditsioonile sõitnud uurimissalga telgis.

Aritmomeeter on vene leiutis. Esimese seda tüüpi masina ehitas juba 1874. aastal Peterburi insener V. T. Odner ja 1891. aastal hakkas ta Peterburi Mehaanikatehases tootma enda konstrueeritud aritmomeetreid.



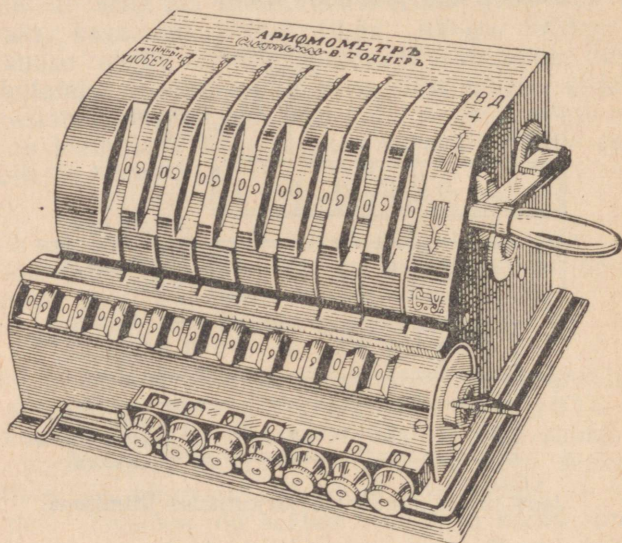
Joon. 9. Korrutamine järjestikuse liitmisenä.

Vene leiduri arvutusmasin võitis kiiresti tunnustuse. Konstruktsiooni põhimõtte kasutasid viivitamatult ära välisfirmad. Kompaktsus, valmistamise ja käsitsemise lihtsus kindlustasid aritmomeetri leviku kogu maakeral. Odneri aritmomeetri konstruktsiooni täiuslikkusest räägib see fakt, et oma 80-aastase olemasolu jooksul ei ole temas tehtud põhimõttelisi muudatusi. Seejuures ületab aga aritmomeetrite hulk kogu maailmas kõikide teiste arvutusmasinate kogusumma.

Odneri teeneks on novaatorlik lähenemine arvude seadmise ja arvestisse ülekandmise mehhanismi loomisel, mille ta kujundas «hammasratastena». Kuid need «hammasrattad», mida nimetatakse nende leiutaja nime järgi «odneri rattaiks», on erilised. Nad koosnevad astmelise piluga ketast ja selle vastu liubuvast väljalükatavate piidega seibist.

Et tutvuda odneri ratastega, heitke pilk meie tehaste poolt väljalastavale aritmomeetrile «Феликс». Tema väliskesta on tehtud lõiked; piki iga lõiget on märgitud 10 numbrit. Lõigetest ulatuvad välja seadevinnakud. Kui vinnakud lükata vajalike numbritega kohakuti, siis ongi nõutav arv masinasse seatud.

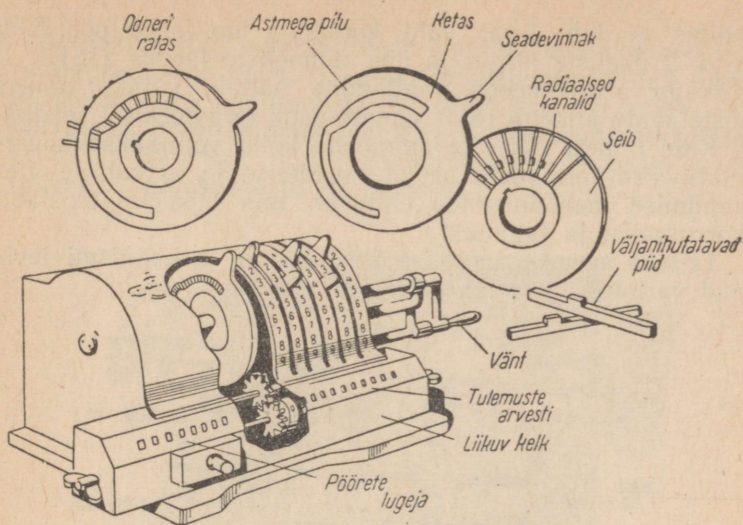
Vaatame nüüd aritmomeetri sisemust. Seadevinnakud osutuvad odneri ratta ketta nukkideks. Seibiga liibuval kettal



Joon. 10. Peterburi inseneri V. T. Odneri poolt 1874. a. leiutatud aritmomeeter.

on astmega pilu. Seibil on radiaalsed kanalikesed, millesse on paigutatud üheksa väljalükatavat piid. Piide nukid ulatuvad ketta astmega pilusse. Pöörates seadevinnakut kohakuti nõutava numbriga, pöörame ühtlasi ka kettast. Ketta pilu aste hakkab piisid välja lükkama. Väljalükatavate piide arv vastab täpselt numbrile, mille kohal peatub seadevinnak.

Samal joonisel on näha ka liikuv kelk arvestiga, kuhu on vaja üle kanda masinasse seatud arv. Arvu ülekanne arvestisse toimub odneri rataste pööramisega, mis teostub nende rataste teljega ühendatud vända abil. Pöörates



Joon. 11. Aritmomeeter «Феликс». Odneri rataste vinnakute seadmisel lükatakse välja vastav arv piisid. Vända pööramisel pöörlevad ka odneri rattad ja kannavad vastava arvu üle arvestisse.

vänta, võib masinasse seatud arvu arvestisse üle kanda kuitahes mitu korda.

Aritmomeetri töö toimub täpses kooskõlas joonisega 9. 35-e korrutamiseks 12-ga tuleb masinasse seada arv 35, pöörata kaks korda vänta ja seejärel arvestit ühe järgu võrra paremale nihutades teha veel üks pööre:

$$\begin{array}{r}
 35 \\
 + 35 \\
 \hline
 350 \\
 \hline
 420
 \end{array}$$

Arvesti aknakesest võib lugeda vastuse.

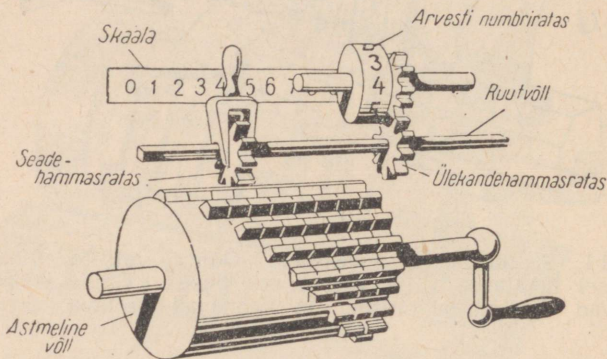
Me rääkisime juba täiendavast arvestist, mis loendab ülekannete hulka, see tähendab vända pöörete arvu (korrutamisel määrab ta kindlaks korrutaja, jagamisel näitab jagatist). Selline arvesti on ka aritmomeetril. Tavaliselt nimetatakse teda pöör et e l u g e j a k s, kuigi seda nime-tust ei saa pidada päris täpseks. Asi on selles, et pöörete-lugeja ei näita vända kõikide pöörete üldarvu, mis meie

näites võrdub 3-ga, vaid korrutaja iga järgu pöördeid, s. o. 2 üheliste järgus ja üks kümneliste järgus (12).

Nagu aritmomeetri vaatlemine näitab, kujutab odneri tõstetavate piidega ratas endast üsna teravmeelset seadist.

Kuid odneri ratas ei ammenda kõiki võimalikke konstruktiivseid teisendeid arvude seadmise ja arvestisse ülekandmise mehhanismide ehituses, mis lubaksid teostada korrutamist ja jagamist.

Teiseks arvude seadmise ja ülekande mehhanismi levinud variandiks on astmeline võll.



Joon. 12. Astmelise võlli põhimõte. Seadehammasratta nihutamine võllil võimaldab hambuda eri pikkuste liistudega.

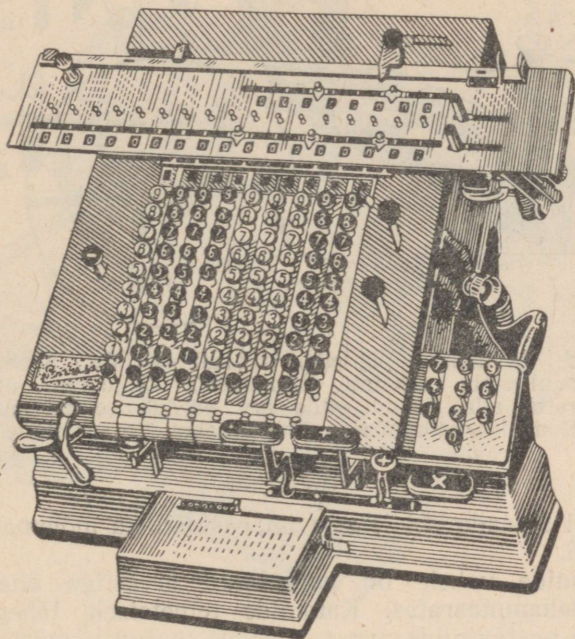
Astmeline võll on silinder, mille pinnal on üheksa piki-liistu. Nad algavad kõik silindri ühest servast, kuid iga järgnev liist on eelmisest pikem kindla suuruse võrra (mis kõikidele liistudele on võrdne, näiteks 0,5 cm).

Kui tähelepanelikult silmitseda joonist 12, siis võib näha, et hoolimata konstruktiivsest erinevusest on astmelise võlli töötamise põhimõte analoogiline odneri rataste töötamise põhimõttega.

Tõepoolest, nihutades seademehhanismi hammasratta kohakuti nõutava numbriga ja pöörates siis astmelist võlli, sunnime sellega hammasratta hambuma võlli vastava liistuga ja pöörduma teatud nurga võrra.

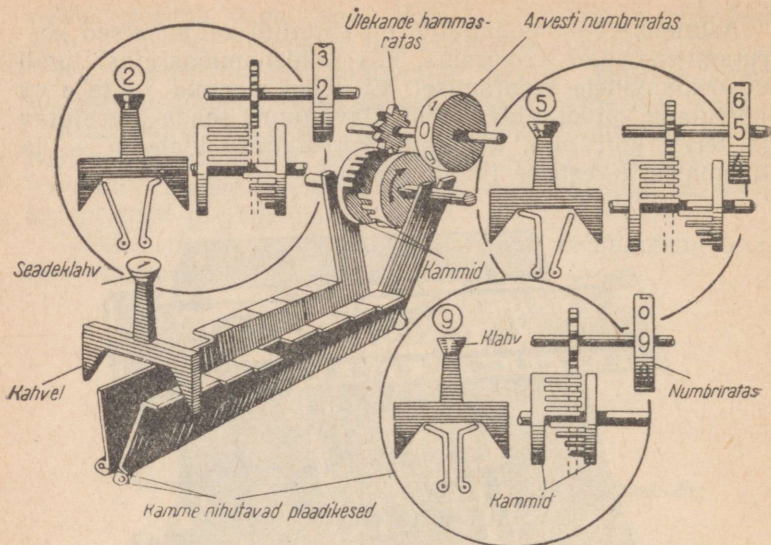
Teljel, millel asub seadehammasratas, on ruutristlõige, mis võimaldab selle hammasratta pöörlemist kanda ülekandehammasratta kaudu arvesti numbrirattale.

Astmelise võlli põhimõttel on ehitatud automaatsed korrutamismasinad «Точмаш», kus seadehammasratas liigub seadeklahvidele vajutamisel. Et sellel masinal kahte arvu korrutada, on küllaldane ühel klaviatuuril seada korrutatav ja teisel korrutaja. Vajutage korrutamise klahvile — ja tulemuste arvestisse ilmub korrutis.



Joon. 13. Astmelise võlli põhimõttel ehitatud korrutamismasin «Точмаш».

Poolautomaatse klaviatuuriga arvutusmasinas «КМ» on üheksa eri pikkuse liistuga astmeline võll asendatud kahe kammikesega: vasakpoolsel on viis võrdse pikkusega piid, parempoolsel aga neli erineva pikkusega piid (joon. 14). Kahvlikujulise seadeklahvi surve plaadikestele lähendab kammikesed teineteisele. Lähenedamise suurus oleneb seatud numbrist. Kui on valitud numbrid 1, 2, 3 või 4, siis nihkub vastava vahemaa võrra ainult parempoolne kammike. Numbril 5 seadmisel nihkub ainult vasak kammike, kuna parempoolne jääb paigale. Ja lõpuks, numbrite 6,



Joon. 14. Arvutamise põhimõtte masinal «KCM». Klahvi surve seadeplaadikestele nihutab kammikesi, kusjuures ülekandehammasratta alla seatud piide arv võrdub seatud numbriga. Kammide pööramisega arv kantakse üle arvestisse.

7, 8 või 9 seadmisel lähenevad vastastikku mõlemad kammikesed.

Kammide vahele on paigutatud arvestiga ühendatud ülekandehammasratas. Kammide teineteisele lähenemisel paikneb vastav piide arv (olenevalt seatud numbrist) ülekandehammasratta alla. Kammide pööre — ja seatud arv kandub üle arvestisse. Ülaltoodud joonisel vasakul ülal näeme number 2, paremal ülal — number 5 ja all number 9 ülekannet.

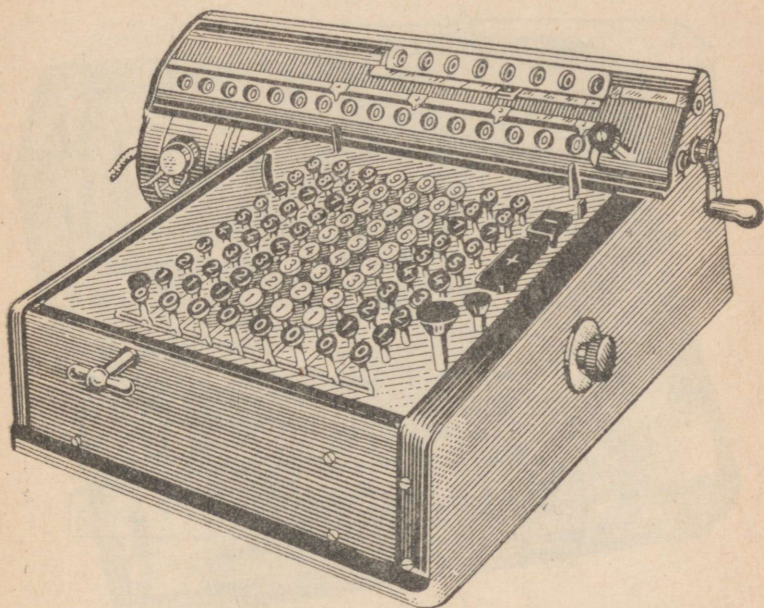
Astmelisest võllist täiesti erinev on proportsionaalse kangi põhimõtte, mida kasutatakse samuti laialdaselt korrutamismasinate.

Tema olemust aitab meile selgitada joonis 16, millel on kujutatud kümme hammaslatti ja põikkang. Kangis on pilu, kuhu lähevad hammaslati hambad. Hammaslatid asuvad ise pikinuutides, mis võimaldab neil sooritada edasi-tagasi liikumist.

Kui alumine hammaslatt ühendada kinnitusvardaga ja

pöörata kangi, siis viimane haarab endaga kõik ülejäänud hammaslatid.

Iga hammaslati nihkumise suurus oleneb tema asendist kangi rakenduspunkti suhtes: kõige rohkem nihkub ülemine, üheksas hammaslatt, mõnevõrra vähem kaheksas jne. Nihke ulatus on seda suurem, mida suurem on vastava



Joon. 15. Korrutamismasin «KCM».

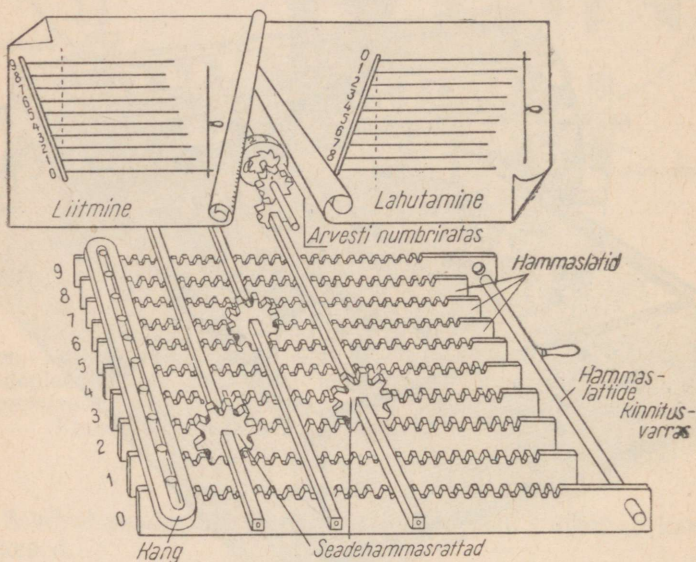
hammaslati kaugus kangi rakenduspunktist, s. o. kaugus kinnitatud hammaslatini. Ümberasetuse suurus on proportsionaalne vastava hammaslati kaugusega kangi rakenduspunktist. Seepärast nimetatakse niisugust konstruktsiooni printsiipi proportsionaalse kangi põhimõtteks.

Pöördume tagasi joonise juurde. Hammaslattide kohal asuvad ruuttelgedel seadehammasrattad, mis sarnanevad neile, mida nägime astmelise võlliga masinas. Nagu eelmistelgi juhtudel, on nad arvesti numbriratastega sidestatud ülekandehammasrataste abil.

Arvu valimine klaviatuuril sidestab seadehammasratta

vastava hammaslatiga. Joonisel on näidatud arvu 152 seadmine. Niipea kui liigutatakse hammaslatte, pöörduvad hammasrattad teatava nurga võrra ja kannavad seatud arvu arvestisse üle.

Hammaslattide mitmekordsel liigutamisel liidetakse arvestis klaviatuuril seatud arvu mitmekordselt.



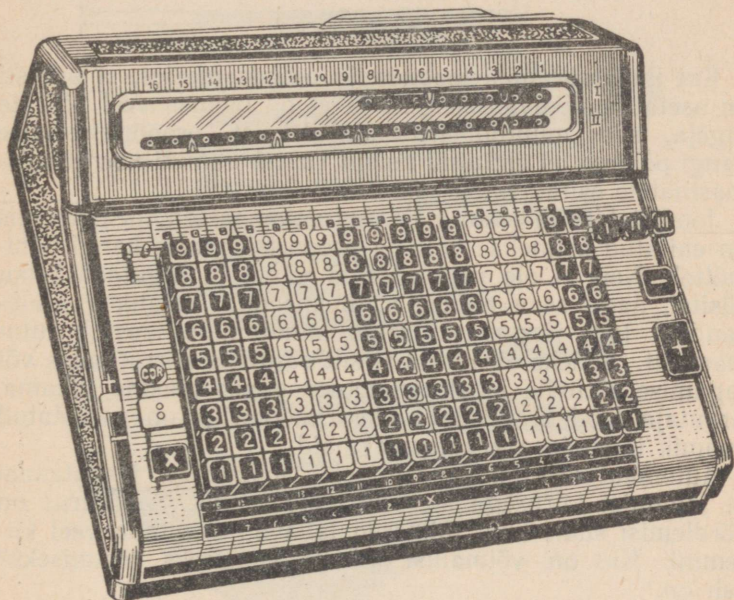
Joon. 16. Proportsionaalse kangi põhimõte. Kangi liikumine põhjustab hammaslati nihkumise ning masinasse seatud arv kantakse üle arvestisse.

Niiviisi ongi võimalik korrutada proportsionaalse kangi masinal.

Korrutamise enda protsess ei erine millegi poolest juba vaadeldud näiteist. Seatud arv (korrutatav) kantakse arvestisse üle niimitu korda, kuimitu ühikut sisaldab korrutaja üks järk; siis nihutatakse arvesti kelku ja algab uuesti korrutatava ülekanne jne., kuni korrutaja kõik numbrid on läbi.

Korrutamisega analoogiliselt toimub ka jagamine. Selleks tuleb kinnitada mitte alumine, vaid ülemine hammaslatt ning seatud arv lahutatakse arvesti näidust. Lahuta-

mine toimub automaatselt moodustuva täiendusarvu liitmise teel. See hammaslatt, mis liitmisel nihkus ühe pikkusühiku võrra, nihkub nüüd kaheksa korda suurema kauguse võrra, kuna aga hammaslatid, mis kandsid arvestisse üle viit ja kahte, nihkuvad nüüd vastavalt nelja ja seitsme pikkusühiku võrra. Seepärast kantakse kinnitatud ülemise lati puhul arv 152 üle kui 847.



Joon. 17. Proportsionaalse kangi põhimõttel ehitatud korrutamismasin.

Kui arvestis oli enne arv 177, siis toimub liitmine järgmiselt:

$$\begin{array}{r} 177 \\ + 847 \\ \hline 1024 \end{array}$$

Heites ära kõrgema järgu ühiku, märkame, et saadud tulemus — 24 — on ühe võrra väiksem tõelisest vahest — 25, mis saadakse 152-e lahutamisel 177-st. See on ka arusaadav, sest arvestisse kanti üle mitte 848 (täiendusarv 152-le), vaid ühe võrra väiksem arv — 847. Puuduv üheline lisan-

dub automaatselt, kuna kõrgema järgu ühik väljub arvesti piiridest.

Sel kombel võib kogu lahutamise käiku esitada järgmisel kujul:

$$\begin{array}{r} 177 \\ + 847 \\ \hline (1)024 \\ + 1 \\ \hline 25 \end{array}$$

Kui nüüd skeemist loobuda ja pidada meeles, et arvesti on asetatud liikuvale kelgule ja et on olemas veel pöörete lugeja, siis muutub arusaadavaks, et proportsionaalse kangi põhimõttel ehitatud masin vastab samuti korrutamismasinatetele esitatavatele nõuetele.

Joonistel 13 ja 17 on näidatud automaatsed masinad, mis on ehitatud astmelise võlli ja proportsionaalse kangi põhimõttel. Neis ei ole vaja pöörata vänta ja liigutada kelku käsitsi, nagu seda nõudis aritmomeeter. Vajalik arv ülekandeid igas järgus ja kelgu nihutamine teostub automaatselt. Selleks on tarvis ainult vajutada korrutamise või jagamise klahvile ja elektrimootor paneb masina liikuma. Arvutaja tööd kergendava elektrimootoriga on varustatud enamik tänapäeva arvutusmasinaid.

Automaat-korrutamismasinatel teostatakse korrutamist ja jagamist kiirusega üle 500 tehte tunnis. See kiirus on võrdlemisi suur, kuid inimesed tahavad arvutada veel kiiremini. Kas on võimalusi kiiruse edasiseks tõstmiseks? Jah on.

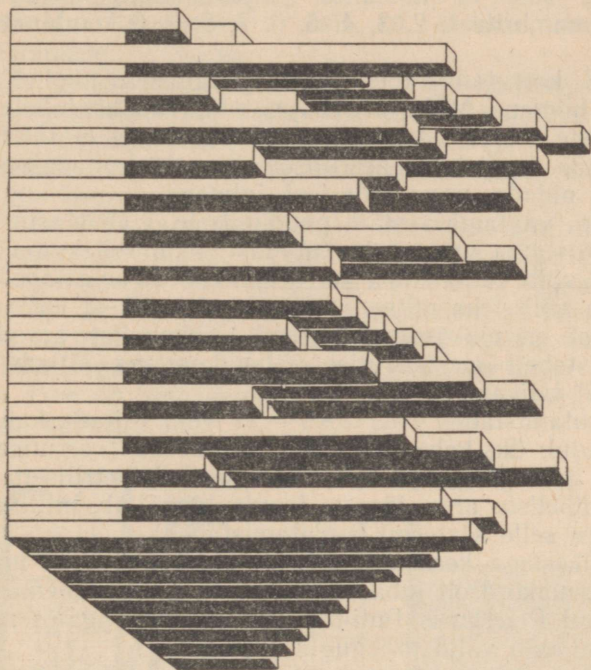
Esiteks — mitmesuguste novaatorlike võtete rakendamine ja kiirem arvude seadmine küllaldase vilumusega inimese poolt, ja teiseks — spetsiaalsete korrutamismasinatete kasutamine.

Nagu me veendusime, toimub korrutamine arvutusmasinates järjestikuse liitmise meetodil. Seepärast, mida väiksem on seatud arvu ülekannete arv arvestisse, seda kiiremini töötab masin. Konstruktorid saavutasid juba selliste ülekannete tunduva vähendamise, paigutades arvesti liikuvale kelgule.

Kuid siiski ei toimu korrutamine masinates, milledega tutvusime, vahetult ühe võttega. Ta nõuab seatud arvu mitut ülekannet arvestisse. Nende ülekannete hulk võrdub, nagu meile on juba teada, korrutaja numbrite ristsummaga.

Mõistagi oleks arvutamise kiirus suurem, kui õnnestuks luua spetsiaalne korrutamismasin, see tähendab korrutamistabelit «tundev» masin.

Me kavatsamegi nüüd jutustada sellisest masinast. Kuid enne seda pühendame pisut tähelepanu meile hästi tuntud



Joon. 18. Latikestest korrutamistabel.

korrutamistabelile, mis on trükitud koolivihikute tagakaa-  
nele. Korrutamistabel on valmis korrutiste kogu, mis on  
saadud esimese kümne numbriga vastastikusel läbikorrutami-  
sel. Enesestmõistetavalt ei tarvitse piirduda esimese küm-  
nega, vaid võib seda jätkata, koostades tabelid ühekoha-  
liste arvude korrutistest kahekohalistega, kahekohaliste  
arvude korrutistest kahekohalistega jne. Piiri sel tabelil  
ei ole, nagu ei ole piiri arvudel üldse. Kuid isegi sel juhul,

kui piirata seda tabelit ainult kuuekohaliste korrutusteguritega, koosneks ta miljonitest köidetest.

Pealegi on võimatu meeles pidada mitmekohaliste arvude korrutamistabelit, samal ajal kui esimese kümne arvu korrutamistabeli päheõppimine ei valmista erilisi raskusi. Korrutamistabelit meeles pidades saab inimene väärtusliku abilise, sest et mistahes paljukohalised arvud koosnevad numbrite 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 kombinatsioonidest.

Kuid korrutamistabeli meelespidamiseks on võimeline ainult inimene. Mälu on peaaegu toimuvate keeruliste füsioloogiliste protsesside avaldusi. Ükski masin ei suuda teda asendada. Isegi kõige keerulisemal masinal puudub omadus meeles pidada, nagu seda teeb inimene.

Siiski, vaatamata mälu puudumisele, võib masinat sundida teostama vahetut korrutamist; kuid selleks on tarvis, kui nii võib väljenduda, korrutamistabelit asjastada.

Seda võib teha mitmeti. Üheks võimalikest variantidest osutuvad eri pikkusega latikesed. Ühekohaliste arvude korrutamistabeli iga korrutise väljendamiseks jätkub kahest sellisest latikesest.

Korrutamistabeli rida  $3 \times 9 = 27$  võib esitada kahe latikese kujul: üks kahe sentimeetri pikkusena (korrutise kümneliste arvu järgi) ja teine seitsmesentimeetrilise (korrutise üheliste arvu järgi). Joonis 18 näitab, milline kuju on kogu selle süsteemi korrutamistabelil.

«Latikestega korrutamistabeli» abil korrutavad masinad loodi esmakordselt juba XIX sajandi lõpul. Venemaal toodeti neid Peterburis Putilovi tehases. Mõningates maades lastakse neid välja praegugi.

Et aru saada nende masinate töötamise põhimõttest, vaadagem üht vanaaegset korrutamistehte paigutamiseviisi, mida võiksimme nimetada «korrutamiseks võre abil». Selle viisi on välja tõrjunud meie praegune korrutamistehte paigutus «tulbakestena». Et saada selget kujutlust korrutamise «võre» abil, teeme läbi lihtsa arvulise näite:

$$\begin{array}{r} 35 \\ \times 9 \\ \hline 315 \end{array}$$

Teostades seda korrutamist meile tuntud harilikul viisil, arvutame nõnda: üheksa korda viis on nelikümmend viis,

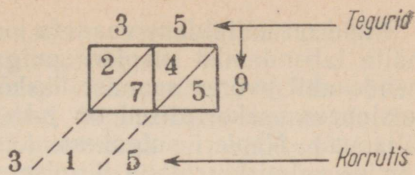
kirjutame viis, peame meeles neli. Üheksa korra kolm on kakskümmend seitse, pluss neli — kolmkümmend üks.

«Korrutamisel võre abil» lahendatakse sama ülesannet järgmiselt: joonistatakse «võre»,

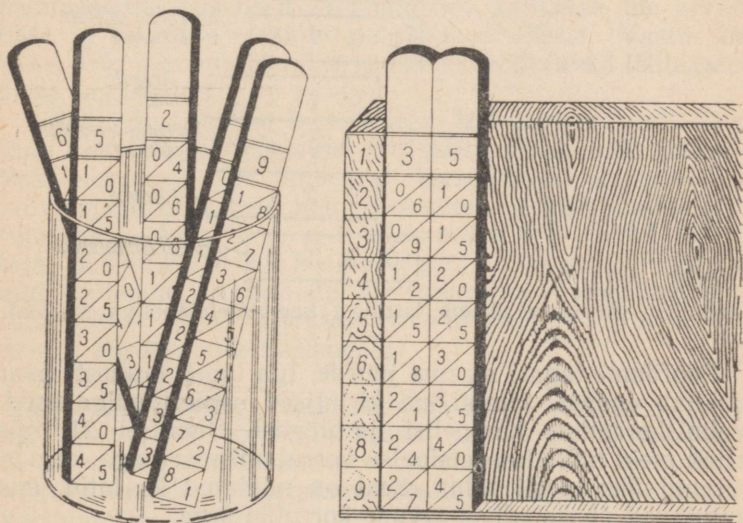
mille külgedele kirjutatakse tegurid. Iga numbripaari korrutis kirjutatakse võre vastavasse ruutu, kusjuures kümnelised eraldatakse ühelistest diagonaaljoonega.

Tulemus saadakse diagonaaljoonte vahel asetsevate numbrite liitmisega.

XVI ja XVII sajandi vahetusel lihtsustas šoti matemaatik Napier korrutamist võrega, tehes ettepaneku kasutada erilisi pulgakesi, mis saidki napieri pulgakeste nime. Iga selline pulgakene kujutab endast korrutamistabeli üht tulp. Temale on märgitud valmis korrutiste rida ilma teguriteta. Ülal on märgitud korrutise tulemus ühega (see on samaaegselt ka pulga numbriks), seejärel kahega, kolmega jne.

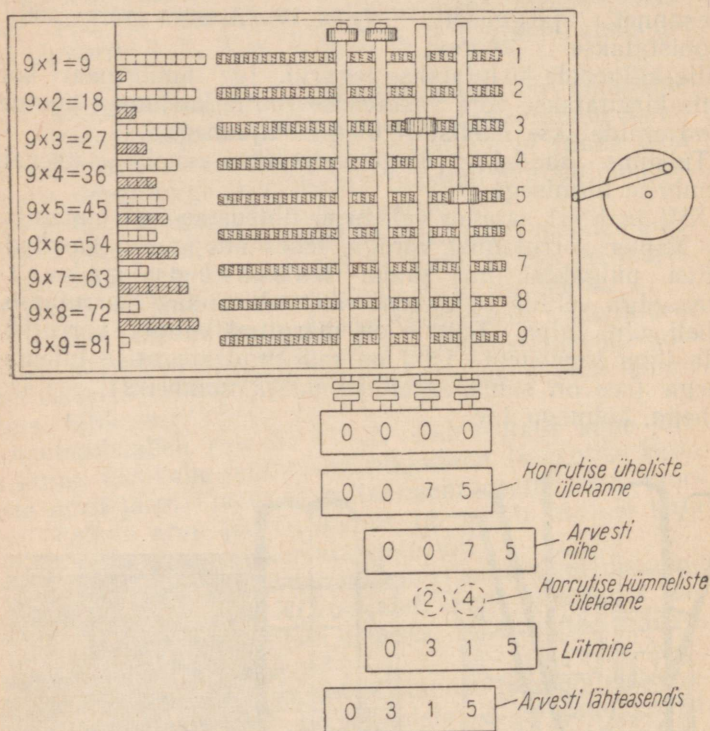


Joon. 19. Arvutus «võre» abil.



Joon. 20. Napieri pulgakessed.

Nüüd on küllaldane vaadata joonist 20, mis kujutab meie näite lahendamist napieri pulgakeste abil, et veenduda nende abil «võre» saamist ükskõik milliste tegurite jaoks, kusjuures osakorrutised on juba valmis. Jääb üle ainult liita nad. Napieri pulgakeste kasutamine kahandab korrutamise valmiskorrutiste liitmiseks.



Joon. 21. Arvutuse skeem lattidest korrutamistabeliga masinal.

Pöördume tagasi masina juurde. Iga tabeli latikeste paar kujutab endast, samuti kui kirjutised napieri pulgakestel, valmiskorrutiste kümnelisi ja ühelisi. Joonisel 21, mis aitab meid tutvuda spetsiaalse korrutamismasinaga, on kujutatud üks tabeli tulp. Seal on näidatud ka latid, mis kujutavad ühekohaliste arvude korrutisi 9-ga.

Korrutamistabelist paremal asub mehhanism arvude ülekandmiseks arvestisse. Ta on sarnane mehhanismiga

proportsionaalse kangiga masinas: samasugused hammaslatid seadehammasratastega ruuttelgedel.

Jälgime masina tööd sama näite puhul:  $35 \times 9 = 315$ . Seadehammasrattad on viidud hambumisse kolmanda ja viienda hammaslatiga, s. t. masinasse on asetatud korrutatav 35. Korrutatava hammaslattide vastas osutuvad 7- ja 5-sentimeetriselised latikesed, mis kujutavad endast üheliste arvu korrutistes:

$$3 \times 9 = 27$$
$$\text{ja } 5 \times 9 = 45.$$

Nihutame mõttes tabelit paremale. Kohates oma teel hammaslatte, tõukavad latid neid oma pikkuse võrra kaugemale. Seadehammasrattad kolmandal ja viiendal hammaslatil pöörduvad vastavate nurkade võrra ja kannavad arvestisse üle üheliste arvu — 75. Ülejäänud hammaslatid sooritavad tühikäigu.

Nüüd liigutame korrutamistabelit tagasi ja samaaegselt nihutame ta allapoole nii, et kolmanda ja viienda hammaslati vastu asetuksid samade korrutiste kümnelisi kujutavad latid, s. t. 2- ja 4-sentimeetriselised latid, ning nihutame arvestit järgu võrra paremale. Kui tabeliga uuesti lükata hammaslatte, siis need 24 kümnelist kantakse üle arvestisse ja lisatakse sealolevale 75-le ühelisele. Vastus on käes: 315. Korrutamistabel ja arvesti pöörduvad lähteasendisse tagasi.

Niisiis, ühekohalise korrutajaga korrutamisel tuli teostada kaks arvude ülekannet arvestisse (üheliste ja kümneliste ülekanne). On ilmne, et korrutamisel kahekohalise korrutajaga on tarvis neli ülekannet, kolmekohalise korrutajaga — kuus jne., s. t. ülekannete arv võrdub korrutaja kohtade kahekordsele arvule. Samal ajal me teame, et tavalistel korrutamismasinatele läheb korrutamiseks vaja korrutaja numbrite ristsumma le võrdne hulk ülekandeid.

Nüüd võrdleme.

Korrutamisel 9-ga teeb tavaline masin üheksa ülekannet, spetsiaalne korrutamismasin aga kaks; korrutamisel 67-ga vajalik ülekannete arv on vastavalt 13 ja 4. Neist näiteist ilmnevad korrutamistabelit «tundvate» masinate korrutamise eelised.

Me rääkisime kogu aeg korrutamisest, sest jagada samal viisil kahjuks ei saa. Seni ei ole õnnestunud luua masinat,

mis teostaks jagamist vahetult. Selle põhjused on arusaadavad.

Esitades korrutamistabeli eripikkuste lattidena, määrasime sellega juba ette mistahes tulevase korrutise kümneliste ja üheliste arvu. See järeldub ettekirjutatud korrutajast. Jagamisel määraks tulemuse jagatis, kuid teda ongi meil vaja leida.

Seda tüüpi masinate vähese leviku põhjuseks on olnud teiste aritmeetiliste tehete, välja arvatud korrutamine, ebamugav teostamine. Siiski kasutatakse vahetu korrutamise põhimõtet edukalt mõningates enam eriotstarbelistes masinates.

### Esimene arvutamisautomaat maailmas

Pariisi «Kunstide ja Käsitööde Muuseumis» Prantsusmaal säilitatakse huvitavaimat arvutusmasinat möödunud sajandi lõpust. See on maailmas esimene arvutamisautomaat, mille leiutas 1881. aastal kuulus vene matemaatik ja mehaanik akadeemik P. L. Tšebõšev.

Akadeemik Tšebõševi leiutus ületas tunduvalt kõiki tolal esinevaid arvutusmasinaid ja mõjutas tunduvalt kogu edaspidist «masin-matemaatika» täiustamise käiku. Selle silmapaistva automaadi loomisele eelnes algupärase liitmismasina leiutamine Tšebõševi poolt 1878. a. Tema algupärasus seisnes peamiselt kümneliste ülekande viisis. Selle operatsiooni teostamiseks ei olnud masinal mingit erimehhanismi, kuigi kümnete ülekanne muidugi teostus. Tšebõševi masinas, nagu kõikides arvutusmasinateski, pöördus üheliste numbriratta täispöördel kümneliste numbriratas  $\frac{1}{10}$  ringi võrra.

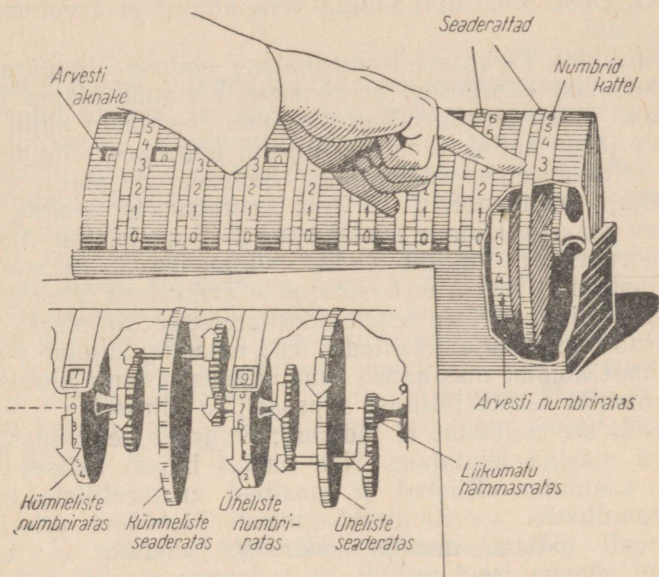
Erinevalt kõigist teistest konstruktsioonidest toimus kümnete ülekanne Tšebõševi masinas mitte korraga, üheliste numbriratta täispöörde momendil, vaid järkjärgult — sedamööda, kuidas üheliste arv suurenes, kusjuures ülekanne samal ajal haaras ka järgnevaid järke. Üheliste numbrirattal tarvitses pöörduda  $\frac{1}{10}$  ringist, kui kümneliste ratas pöördus  $\frac{1}{100}$ , sajaliste ratas  $\frac{1}{1000}$  ringi jne.

Akadeemik Tšebõševi poolt esitatud kümneliste ülekande mehhanismi algupärasus seisnes selles, et arvesti numbrirattad hambusid üksteisega mitmesuguse hammastearvuga vahehammasratate kaudu.

On teada, et kui hammasrataste paari ühel rattal on

kaks korda rohkem hambaid kui teisel, siis teise pöörlemisel teeb esimene kaks korda vähem pöördeid. Sel juhul öeldakse, et hammasrataste ülekande suhe on 2:1.

Ei ole raske taibata, et kümneliste ülekandeks tuleb numbrirattad ühendada hammasratastega, mille ülekande suhe on 10 : 1.



Joon. 22. Akadeemik P. L. Tšebõševi liitmismasin kümneliste pideva ülekandega.

Otsesel hambumisel pöörlevad hammasrattad aga vastasuunas (vt. joon. 2). Seda on kerge kõrvaldada, täiendades konstruktsiooni vahehammasrattaga. Samad tulemused annab ka ühe hammasrataste paari (ülekande suhe 10 : 1) asendamine kahe hammasrataste paariga, mille ülekande suhted on 2 : 1 ja 5 : 1. Selline asendus õigustab ennast veel seepärast, et ta muudab masina kompaktsemaks. Nimelt nii toimus ka Tšebõšev.

Tänu tema poolt leitud lahendusele toimus kümnete ülekande sujuvalt ja oli lahutamatu liitmisest endast. See oli pidevalt töötav masin.

Tšebõševi masinat tabas paljude kodumaa leiutiste saa-

tus: tsaari-Venemaal ei leidnud ta kasutamist. Masina ainuke, Tšebõševi poolt valmistatud eksemplar sattus Prantsusmaale. Seal kasutas selle viibimata ära sakslane Selling. Ta kopeeris täpselt Tšebõševi masina põhilised mehhanismid ja esitas need enda leiutisena.

Sellingi valeautorluse paljastas juba 1894. aastal V. G. Bool, omal ajal tuntud vene autoriteet arvutusmasinate alal.

Märkides Tšebõševi liitmismasina ehituse algupärasust, ta kirjutab: «Tšebõševi aritmomeetril toimub alama järgu kümne ühiku järkjärguline ülekanne ühe ühiku kujul kõrgema järgu rattal, ilma ülehüppeta, nagu see toimub teistes aritmomeetrite süsteemides. Samasugune ehitus on ka Sellingi aritmomeetril... Oma aritmomeetri leiutas Tšebõšev peaaegu kümne aastat enne Sellingi leiutist. Masina konstruktsioon kujutab endast silmapaistvat mehaanilist seadist, mille juures on kasutatud teravmeelselt ühesuguseid võtteid mitmesuguste tehete sooritamiseks. Liitmiseks ettenähtud masina osa, käsitledes teda omaette, kujutab endast parimat kõigist masinatest oma lihtsuselt ning liitmise ja lahutamise tehete täitmise täpsuselt ja kiiruselt.»

Kuid see paljastus ei aidanud; Sellingit peeti edasi uut tüüpi masina leiutajaks. Neli aastat hiljem kaitses Bool oma raamatus «Riistad ja masinad aritmeetiliste tehete mehaaniliseks sooritamiseks» uuesti Tšebõševi prioriteeti pidevalt töötava masina loomises: «Selling ei tuleta ühegi sõnaga isegi meelde, et ta laenas masina selle osa Tšebõševilt, ja räägib, et see viis moodustab tema masina algupärase eriomaduse. Kuna Tšebõševi masin (liitmise mehhanism) on leiutatud 1878. aastal, Sellingi masin aga 1886. aastal, siis ei või olla mingit vaidlust leiutise eesõiguse kohta, seda enam, et kõik need 8 aastat oli Tšebõševi masin näitusel Pariisis, kus ta on ka praegu.»

Vene akadeemiku tööd kasutasid ära peale Sellingi ka teised. Tšebõševi poolt esimesena väljatöötatud arvutusprotsessi automatiseerimise põhimõtet rakendatakse kõikides tänapäeva automaatsetes masinates, ameerika firma «Merchant», šveitsi firma «Direct» ja teised kasutavad aga oma konstruktsioonides akadeemik Tšebõševi poolt esitatud kümneliste ülekande põhimõtet.

Huvi Tšebõševi masina vastu on arusaadav. Kümneliste sujuvale ülekandesüsteemile kuulub tulevik. Tänapäeva teadust ja tehnikat ei rahulda enam kiirused 500 tehte pii-

rides tunnis. Masinate edaspidise arvutamise kiiruse suu-  
rendamise oluliseks pidurdajaks on kümneliste astmeline  
ülekanne. Kümneliste ülekandemehhanismid ei jõua suu-  
rematel kiirustel töötada, eriti kui on vaja kümnelised üle-  
kanda järgemööda mitmes järgus. Selle ülekandega võib  
toime tulla ainult Tšebõševi poolt ehitatud mehhanism.

\*

Seega oleme tutvunud juba mitme masinaga. Nende  
seas olid liitmis- ja korrutamismasinad, käsitsiseatavad,  
poolautomaat- ja automaatmasinad. Ühed võivad ainult  
arvutada, teised arvutada ja üles kirjutada. Kuid kõigil neil  
on midagi ühist. Nad on kõik masinad, milledele inimene  
annab ülesande.

Jah, inimeste käte abita nad ei suuda töötada. Inimene  
peab teostama seadmist, s. t. edasi andma masinale, mil-  
liste arvudega ta peab opereerima, ja pärast seda, vastava  
klahvi vajutamiselega näitama, mida masin nende arvudega  
peab tegema: liitma, lahutama, korrutama või jagama.

Aga kuidas siis teisiti? hämmastub lugeja. Masin ei saa  
ju ise lugeda arve ja taibata, mida inimene temalt tahab?  
Kuid selgub, et saab...

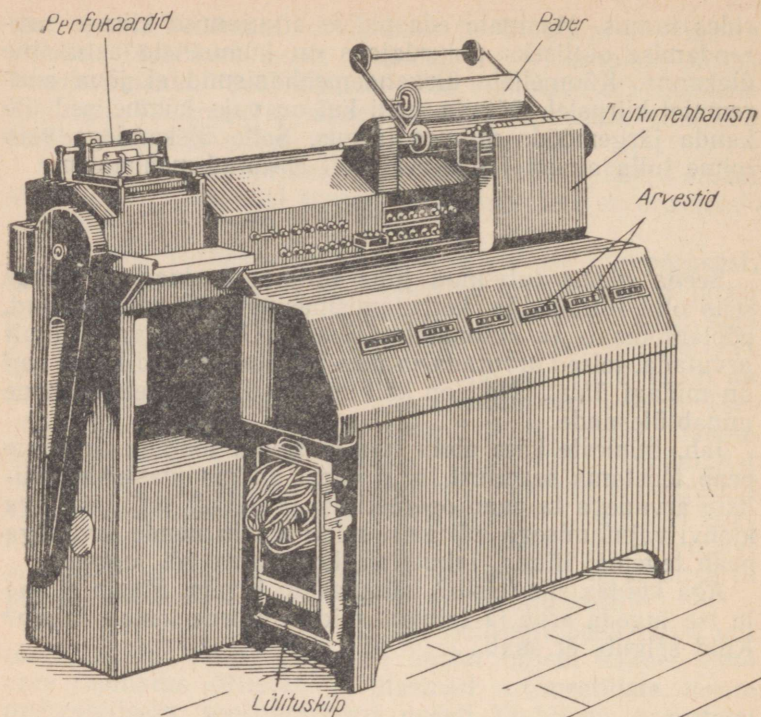
### III. «TARGAD» AUTOMAADID

Suurtes ettevõtetes ja pankades, teadusliku uurimise insti-  
tuutides ning statistika valitsustes — kõikjal, kus on  
palju arvutamistööd, töötavad suured masinad, mis tegut-  
sevad ilma inimese vahetu osavõtuta.

Üks selline masin on kujutatud joonisel 23. See on nn.  
t a b u l a a t o r. Ta teostab automaatselt arvude seadmist,  
arvutamist ja üleskirjutamist ning isegi mõningaid loogi-  
lisi toiminguid.

Kuidas loeb tabulaator arve? Selleks et lugeda, on vaja  
näha. Nagu teada, on inimesel selleks otstarbeks nägemis-  
organid — silmad. Tabulaatoris on aga nägemine asenda-  
tud «kompamisega».

Masin loeb nagu pime, kellele kirjutus koostatakse mitte  
mustaga valgel, vaid eritähstikus reljeefsete tähtedega.  
Kuid tabulaator ei loe reljeefsete tähtede, vaid aukude abil,  
ja kompab neid mitte sõrmedega, nagu inimene, vaid teras-



Joon. 23. Arvutus-kirjutusautomaat tabulaator T-4M, mis teostab ise lugemist, arvutamist ja arvude kirjutamist.

harjakestega. Harjakesed on lülitatud elektrivõrku. Harjakestel pruugib vaid sattuda avadesse, kui elektrialhel sulgub. Seejuures tekkiv voolu impulss just kui vastaks reljeefseid tähti kompava inimese närvisüsteemi reaktsioonile.

### Kirjutamine aukudega

Esmakordselt ilmusid «lugevad masinad» tekstiilitööstuses. XIX sajandi algul võeti kudumistelgede juures kasutusele eriline seadis aukudega lindi näol, kusjuures augud asetsesid teatud järjestuses. Lint juhtis mehhanisme ja olenevalt aukude asetusest tekkisid riidekangal mitmesugused ornamendid.



Üleskirjutatud numbri tähendus määratakse augu asukohaga ühes või teises reas. Kui auk on näiteks kõige alumises reas, siis tähendab see, et on üles kirjutatud number 9, alt teises reas on 8 ja nii edasi. Kaardi ülemises osas, nullide rea peal, on kaks täiendavat rida (üheteistkümnes ja kaheteistkümnes), mida kasutatakse abiaukude ehk nn. tākete perforeerimiseks. Need on vajalikud automaatsuhtimiseks. (Joonisel 24 neid ridu näidatud ei ole; nende aset täidavad suurema selguse saamiseks toodud pealkirjad. Masinale, mis «loeb» mitte tähtede, vaid aukude abil, on need pealkirjad muidugi tarbetud.)

Igas 45-es veerus võidakse lüüa ainult üks auk, s. t. kirjutada ainult üks number. Kahekohalise arvu kirjutamiseks on vaja kaks veergu, kolmekohalisele arvule — kolm veergu jne.

Siiski ei tähenda selline kirjutusviis sugugi seda, et igale arvule on tarvis eraldi perfokaarti. Perfokaardi mahutavus (45 veergu) lubab sellele kirjutada mitte üksnes mitmeid, arvutamisele kuuluvaid erinevaid koguselisi andmeid, vaid ka tunnuste tähistusi ehk — nagu neid lihtsamalt nimetatakse — tunnuseid. Näiteks tabeli number, kuupäev, toote šiffer, ülesande number ja muu selline.

Tunnuse üheks. ülesandeks on tähistada tabelis vastavad koondarvestused, mida meile annab tabulaator. Nende teine, mitte vähema tähtsusega ülesanne seisab selles, et olles aukudena üles kirjutatud, on tunnused aluseks, nagu edaspidi näeme, perfokaartide rühmitamiseks, ja kasutatakse koos tāketega masina automaatseks juhtimiseks.

Järelilikult perforeeritakse kaardile nii erinevaid tunnuseid kui ka mitmeid arvutusele kuuluvaid arve.

Kui perforeerida augud süsteemitult, kindla korrata, siis masin takerdub. Selle vältimiseks jaotatakse perfokaart aegsasti tinglikkudesse püstvöönditesse, kuhu igauhte perforeeritakse rangelt määratud andmed.

Joonisel 24 on näidatud töö ja töötasu arvestusandmete näitlik paigutus. On endastmõistetav, et erinevatel töödel on arvude paigutus perfokaardil erinev.

Aukude löömine toimub erimasinatel — perforaatoritel. Üks inimene, töötades moodsal perforaatoril, lööb augud kuni 350-le kaardile tunnis, luues abidokumendid, mida võivad lugeda masinad.

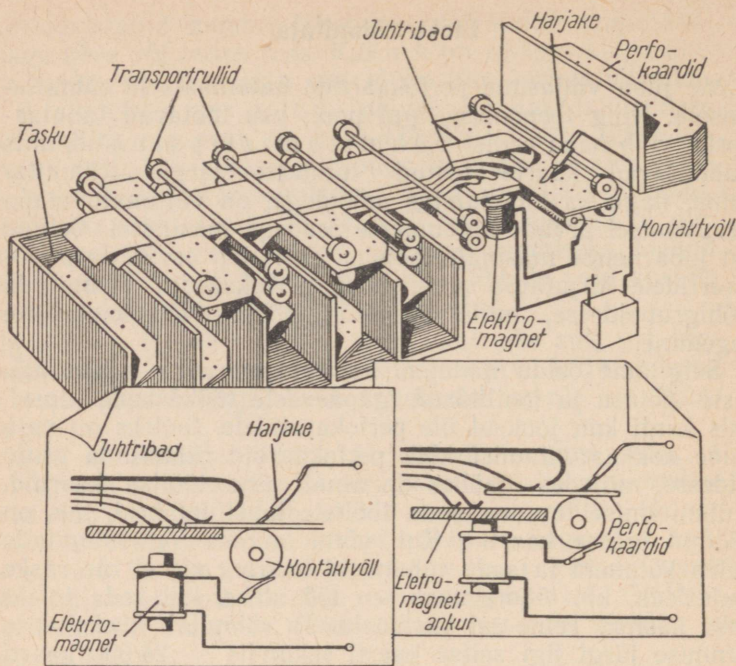
## Elektrirühmitaja

Me juba vihjasime perfokaartide automaatsele rühmitamisele. Ning tõepoolest, igal pool, kus töötavad tabulaatorid, võib näha erilisi rühmitamismasinaid, mis rühmitavad kaarte teatud tunnuste järgi. Rühmitamine, nagu ka kirjutamine aukudega, on vältimatu etapp arvutamisel arvude automaatse seadega masinatel. Selline on juba nende masinate loomus: enne kui arvutada perfokaartidele kirjutatud arve, tuleb perfokaardid rühmitada põhigruppidesse, mille osas on nõutav lõppkokkuvõtte tegemine.

Selgitame öeldu näitega. Me tahame võtta kokku tööliste töötasu ja tootlikkust igapäevaste töökäskude alusel, mis kanti kuu jooksul üle perfokaartidele. Selleks on vaja enne kokkuarvutamist kõik perfokaardid rühmitada gruppidesse, milledes igaühes on ainult ühe tööliste kaardid. Rühmitamise tunnuseks on tööliste tabelinumbrid, mis on löödud igasse kaarti. Kui võtta arvesse, et rühmitada tuleb kümneid ja sadu tuhandeid kaarte, siis ei ole raske kujutleda, kui töömahukas see töö oleks, kui seda tuleks teha käsitsi. Teine asi on masin. Ta rühmitab ühekohalise tunnuse järgi ligi seitse kaarti sekundis — 24 000 kaarti tunnis!

Sileda klaaskaane all liiguvad kiiresti üksteise järel perfokaardid, langedes masina erinevatesse taskutesse. Nende liikumine on niivõrd hoogne, et nad sulavad kokku katkematuks lindiks, näib, nagu voolaksid nad taskutesse. Rühmitamismasinat esmakordselt nähes üllatab inimest selle masina töö kiirus ja eksimatus. Seejuures ei ole aga tema konstruktsioon keeruline ja sellega tutvumine aitab meil hiljem mõista tabulaatori ehitust.

Masina parempoolses osas liigub kiiresti perfokaartide magasinini all nuga, mis nagu lõikab pakist ühekaupa kaarte ja annab need vahetpidamata pöörlevate transportrullikeste alla. Tee algul läheb perfokaart kontaktvõllikese ja kontakt-terasharjakese vahelt läbi, mis on lülitatud elektromagneti kaudu elektriahelasse. Elektromagneti ankru kohal, üksteisest sellisel kaugusel, mis võrdub perfokaartide põikriidade vahemaaga, on 12 õhukest terasriba. Need ribad juhivad kaardid rühmitamismasina taskutesse. Iga perfokaardi põikreale on ette nähtud üks tasku. Üldse on masinas 13 taskut. Kolmeteistkümnes — see on omapärane



Joon. 25. Rühmitamismasina töötamise skeem.

kontrollija. Temasse satuvad perfokaardid, millel üldse puuduvad augud rühmitatavas veerus (kui selliseid muidugi esineb). Joonisel 25, mis selgitab rühmitamismasina töö põhimõtet, on suurema selguse saamiseks näidatud ainult viis taskut.

Perfokaardi liikumise algul võlli ja harja vahel on kogu süsteem voolu all, kuid elektriahel on katkestatud, sest harja ja võlli vahel lamav kaart on isolaatoriks.

Perfokaart liigub suunavate ribakeste otste all vabalt edasi (skeem vasakul). Kuid harjakesel tarvitseb hetkeks sattuda auku, kui sulgub elektriahel. Vooluimpulsi saanud elektromagneti ankur tõmbab enda külge nende suundribakeste otsad, millesteni perfokaart veel ei jõudnud (skeem paremal). Transportrullikesed viivad perfokaardi üle ligitõmmatud ribade edasi. Kui perfokaardi all olev riba lõpeb, kukub kaart tasku. Selle kaardi number vastab

perfokaarti löödud numbrile. Kõik perfokaardid, millel rühmitatava veeru auk on üheksandas reas, satuvad üheksate tasku, perfokaardid avaga kaheksandas reas kaheksate tasku jne. Tulemusena osutub kogu pakk jaotatuks gruppidesse mingi ühekohalise tunnuse järgi.

Inimese ülesandeks jääb ainult kaartide sissepanemine masina vastuvõtumagasini. Perfokaartide rühmitamiseks mitmekohalise tunnuse järgi tuleb kõik kaardid lasta läbi rühmitamismasina niimitu korda, kuimitu kohta sisaldab rühmitustunnus, nihutades iga kord kontaktharjakest järgmise veeru kohale.

Perfokaartide rühmitamisel kahekohalise tunnuse järgi tuleb kaardid rühmitamismasinast läbi lasta kaks korda. Esimesel läbilaskmisel toimub rühmitamine üheliste järgu järgi; taskutesse kogutakse perfokaardid, millede avad on üheliste järgus. Teisel läbilaskmisel toimub rühmitamine kümneliste järgu järgi. Töö on lõpetatud. Kaardid on kogutud gruppidesse kahekohalise tunnuse järgi. Üks inimene, töötades samaaegselt kahel rühmitamismasinale, asendab 20—25 inimest, kes rühmitavad dokumente käsitsi.

### 70 000 liitmist tunnis

Arvatavasti lugeja juba pööras tähelepanu sellele, et perfokaartidega arvutamiseks on hädavajalik terve masinate komplekt, milledest igaüks teostab omapärase tehnoloogilise protsessi üht operatsiooni.

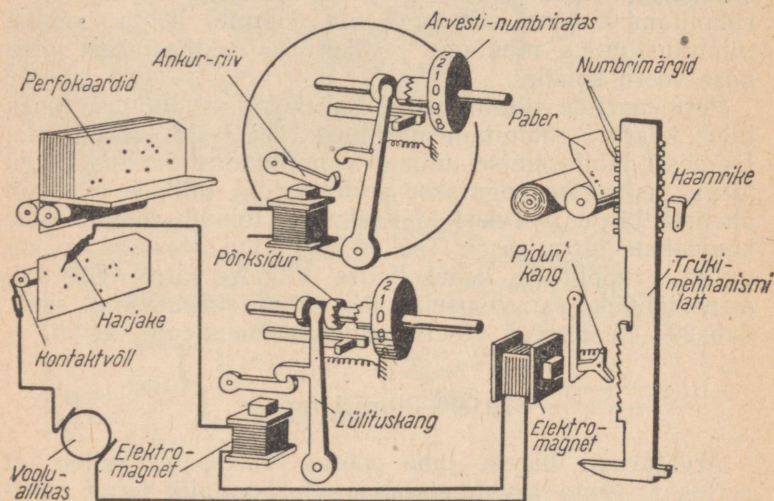
Perforaatoril toimub kirjutamine aukudega, rühmitamismasin rühmitab perfokaardid kindlate tunnuste järgi. Ja seda kõike selleks, et tabulaatorile tööd ette valmistada, sest arvutajaks on ju tabulaator.

Paljude arvestitega kirjutav arvutusautomaat etteantud arvude automaatse vastuvõtuga, s. o. tabulaator, on konstruktiivses mõttes üsna keeruline. Raamatu väike maht ei võimalda tema ehitusest üksikasjalisemalt jutustada. Meil tuleb vaid piirduda tema töö põhiliste momentide, s. o. perfokirjutuse lugemise, arvutamise, trüki ja juhtimise kõige üldisema esitusega.

Perfokirjutuse lugemise, s. t. arvude automaatse vastuvõtu seadis koosneb kontaktvõllist ja harjakeste blokist, millel on 45 terasharjakest. Tema töötamise põhimõte on analoogiline vastuvõtuga rühmitusmasinas: samuti liigub nuga, saates perfokaardid transportrullikeste abil võllikese

ja harjakeste vahele. Kuid kui rühmitusmasinas ühe läbilaskega «kombati» ainult üks veerg, siis tabulaatoris «kombatakse» üheaegselt perfokaardi kõik 45 veergu.

Harjakesed, mis «kompavad» arvutamiseks ülesantud arvude veerge, on elektrijuhtmete kaudu ühendatud arvestitega ja trükimehhanismiga. Trükimehhanismiga on ühendatud ka tunnuste veerge analüüsivad harjakesed. Nagu



Joon. 26. Tabulaatori T-2 vastuvõtu, arvutuse ja trükimehhanismi skeem. Harjakeste sattumisel perfokaardi aukudesse tekkiv vooluimpulss sunnib arvesti numbriratas pöörduma teatud nurga võrra ja piirab trükimehhanismi kangide tõusu.

kõik teisedki tabulaatori agregaadid, on arvestid kohandatud tööks elektrivoolu impulsside abil. Seepärast erineb nende konstruktsioon meile juba tuntud arvutusmasinate konstruktsioonist.

Tabulaatori ehitust ja tööd aitab selgitada joonis 26, mis kujutab kõige lihtsama tabulaatori T-2 peamiste mehhanismide töö põhimõttelist skeemi.

Jooniselt on näha, et arvesti igas järgus on numbriratas, põrksidur, elektromagnet ja ümberlüüti. Numbriratas ei ole võlliga ühendatud ja jäävad seepärast tema pöörlemisel liikumatuks. Põrksidurid on kinnitatud võllile nii, et nad ei pöörle üksnes koos võlliga, vaid võivad

vedru ja ümberlüli abil nihkuda piki võlli kuni hambumiseni numbriratastega.

Elektromagnet hoiab ümberlüli kangi lähteasendis.

Jälgime arvesti töötamist ühekohalise arvu ülekandmisel. Arvesti kõik järgud on ehitatud sarnastena ning mitmekohaliste arvude ülekanne erineb ainult sellepoolest, et töötavad mitte üks, vaid mitu järku.

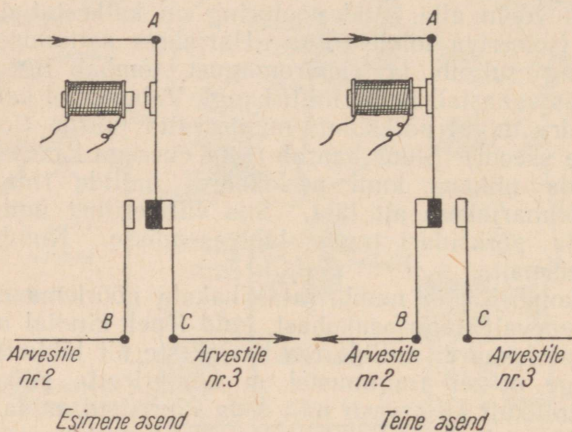
Arvesti võlli ja pörksiduri pöörlemine algab siis, kui perfokaardi alumine äär läheb vastuvõtumehhanismi harjakeste ja võlli vahele. Sel silmapilgul lülitatakse kogu süsteem voolu alla, kuid vooluring on katkestatud perfokaardi isoleeriva toime tõttu. Harjakese sattumisel auku vooluring sulgub ja elektromagnet tõmbab ligi ankurriivi, mis vabastab ümberlüli kangi. Vabanenud kang tõukab vedru mõjul pörksiduri numbriratta juurde (joon. 26, ülemine skeem). Sidur haarab ratta enesega kaasa ja pöörab teda niikaua, kuni perfokaardi nullide rida läheb vastuvõtuharjakese alt läbi. Siis viib eriliist ümberlüli kangi ja pörksiduri tagasi lähteasendisse. Numbriratas jääb seisma.

Sel kombel võib numbriratas hakata pöörlema erineval ajal, olenevalt augu asukohast, kuid lõpeb kindlal momendil — perfokaardi nullide rea harjakeste alt läbimise ajal. On selge, et neil tingimustel on numbriratta pöördenurk ning järelikult ka arvesti näit seda suuremad, mida varem antud järgu harjake satub auku. Kuna perfokaardi liikumine toimub üheksatest allapoole, s. t. esimesena läheb harjakeste alt läbi üheksate rida, siis kaheksate, seitsmete jne., siis jõuab numbriratas üheksate realt saadud vooluimpulsi mõjul pöörduda 9/10 ringi ja fikseerida number 9, kaheksandalt realt — 8 ja nii edasi. Sel kombel kantakse arvestisse üle perfokaardile kirjutatud arv. Järgmiste kaartide läbimisel kordub sama protsess ning uued arvud liituvad arvesti eelmiste näitudega.

Nüüd vaatame arvestatud arvude kirjutamist. Kui perfokaart asub oma alumise äärega võlli ja harjakeste vahele, siis algab üheaegselt arvesti võlli pöörlemisega trükimehhanismi varraste tõus. Igal vardal on numbrimärk. Varraste tõusu ja kaardi läbimise kiirused on võrdsed. Kuna aga numbrimärgid on varrastele asetatud samas järjekorras nagu toimub perfokaardi «kompamine», siis on paberirulliga kohakuti alati need numbrid, millede read antud silmapilgul harjakeste alt läbi lähevad. Vastuvõtu

harjakeste sattumisel aukudesse tõmbavad trükimehhanismi elektromagnetite ankrud ligi riivid ning vabanenud kangid pidurdavad varraste liikumist. Haamrikestel löök — ning perfokaardile löödud ja arvestisse ülekantud arvud trükitakse paberile.

Eriseadised, nn. arvestite pead lubavad anda trükimehhanismile üle arvutuste kokkuvõtteid. Tulemusena saadakse tabel, ehk — nagu teda tavaliselt nimetatakse — t a b u l o g r a m m.



Joon. 27. Selektori töötamine. Keskmise kontakti asend määrab voolu suuna.

Kui me hakkasime esmakordselt rääkima tabulaatorist, siis rõhutasime eriti, et see on täisautomaat. On ainult vaja panna temasse perfokaardid ja vajutada käivitusnupule, et ta hakkaks ise töötama ilma inimese edaspidise osavõtuta. Kuid nagu iga automaat, vajab ka tabulaator eelseisvaks tööks ettevalmistavat seadmist. Tabulaatori seadmine seisab voluringide ühendamises, mis masinas on teadlikult katkestatud. Vooluringide otsad on viidud lülituskilbile, mis kujutab endast masina «komandosilda». Siia on keskendatud tabulaatori juhtimine ja elektriliste impulsside jaotamine. Lülituskilbile on toodud juhtmed vastuvõtu-mehhanismi kõikidest harjakestest, arvestite kõikidest järkudest, trükimehhanismist ja mujalt.

Ühendades juhtmetega lülituskilbi vastavaid pesi, võib

tabulaatorile ette kirjutada, milliseid perfokaardile märgitud andmeid tuleb arvestada, millistele aga tähelepanu mitte pöörata. Sama kilp võib sundida tabulaatorit saatma ükskõik missuguses perfokaardi veerus märgitud arve vastavatesse arvestitesse, trükkima iga liidetavat ja kokkuvõteteid või ainult teatud gruppide kokkuvõteteid, liitma või lahutama arvestites kogunenud summasid, ja palju muud.

Niisugust painduvat tabulaatori juhtimise süsteemi võimaldas luua elektriselektorite ja kokkuvõtete trükkimise automaatse juhtimise süsteemide laialdane kasutamine temas. Selektor on seadis, mis koosneb elektromagnetist ja kolmest õhukestel terasplaadikestel olevast kontaktist. Oma iseloomult tuletab selektori töö (joon. 27) meelde pöörangu ümberasetamist raudteel. Pöörang juhib rongi ühelt teelt teisele, selektor aga muudab voolu suunda.

Oletame, et kontakt *A* on ühendatud ühe harjakesega, *B* — arvestiga nr. 2 ning *C* — arvestiga nr. 3 (esimene asend). Niipea, kui elektromagnet saab voolu impulsina signaali, ühendab ta oma ankru abil kontakti *A* kontaktiga *B*. Nüüd on voolul teine tee — arvestisse nr. 2 (teine asend).

Ja vaat mis on veel huvitav: selgub, et selektori tööks vajalik vooluimpulss tekkis samuti automaatselt. See tähendab, et vastuvõtumehhanismi harjake sattus «täkkesse». Niisiis on meie ees üks masina endajuhtimise moment.

Veel suuremat huvi pakub kokkuvõtete trükkimise automaatjuhtimise süsteem. Kui meil on olemas perfokaartide eraldi grupid, mille järgi on vaja teha kokkuvõteteid, siis on tarbetu lasta tabulaatorist läbi iga grupp eraldi. Nuga annab järjest kõik perfokaardid vastuvõtumehhanismi harjakeste alla ning arvud voolavad eriarvestitesse laiali. Masin «jälgeb teraselt» iga perfokaarti. Võib olla kindel, et kui masinat läbisid kõik ühe grupi perfokaardid, siis etteandmine momendiks katkeb, läbinud grupi kokkuvõtted kirjutatakse üles ja masinasse hakatakse andma järjekordset kaartide partiid. See on automaatse juhtimissüsteemi töö tulemus.

Kuidas masin teostab sellist loogilist operatsiooni?

Me oleme juba palju kordi rääkinud vastuvõtumehhanismist, kuid kordagi ei maininud seda, et neid on masinas kaks: ülemine ja alumine. Alumine mehhanism loeb perforkirjutust arvutamiseks ja trükkimiseks; ülemine aga teos-

tab automaatjuhtimist. Veel enne perfokaartide alumiste harjakesteni jõudmist valmistab ta ette vooluimpulsside kulgemise tee. Selline mehhanism on omapärane luuraja.

Ta signaliseerib masina teistele agregaatidele sissetuleva kaardikese iseloomu. Ülemiste ja alumiste harjade all olevate perfokaartide tunnuste võrdlemisele ongi ehitatud automaatjuhtimise süsteem. Kui mõlema kaardi tunnused on ühesugused, jätkub masina normaalne töötamine. Kuid uude gruppi kuuluva kaardikese sattumine harjade alla, kui süsteemi vooluring katkeb, annab märku perfokaartide «söötmise» katkestamiseks ja masinast läbiläinud kaartide grupi kokkuvõtete üleskirjutamiseks, mille järel kaartide söõtmine algab automaatselt uuesti. Sellega ei loe tabulaator üksnes perfokaartide järgi, vaid ta ka nagu analüüsiks neid.

Masin on hea. Kuid lugeja, saades teada tabulaatorile algdokumendi omapärase ära kirja loomise vajadusest — perforeeritud kaardikesest —, lööb kahtlema: «Kas asi tasub seda vaeva»? Kas ei oleks kiirem teostada kokkuvõtteid käsitsiseataval masinal? Seda enam, et tabulaatori põhi-funktsiooni — liitmist, lahutamist ja üleskirjutamist — võidakse sooritada kirjutavatel liitmismasinatel kiirusega kuni 1500 tehet tunnis.

Jah, perfokaartidega töötavate masinate, nagu üldse kõikide automaatide, kasutamine on efektiivne ainult teatud tingimustel. Tabulaatori tööviljakust määrab paljus töö iseloom. Olenevalt näiteks sellest, kas nõutakse kõikide liidetavate või ainult kokkuvõtete üleskirjutamist, kõigub tabulaatori tööviljakus 4500 kuni 9000 perfokaardi vahel tunnis. Kui seejuures toimub samaaegselt mitmekohaliste arvude viie tulpa liitmine, siis võib tunnis teostada 22 500 kuni 45 000 operatsiooni.

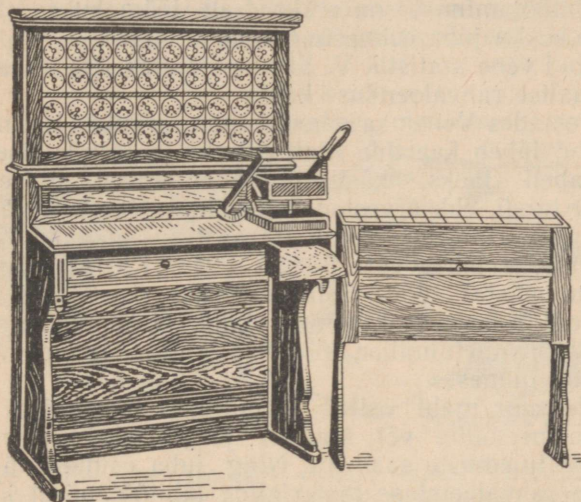
Uusimad nõukogude tabulaatorid T-5, millel on kaheksa üheteistkümnejärgulist arvestit, võivad üheaegselt liita mitmekohaliste arvude kaheksa tulpa, teostades sel kombel üle 70 000 liitmise tunnis! Selle tabulaatoriga jõuaks vaevalt sammu pidada 100 arvepidajat oma arvelauaga.

Muidugi mõista ei tohi unustada, et kõrge tööviljakuse saavutamiseks kulutati palju lisatööd perforeerimisele. Siiski massilistes arvutusoperatsioonides, eriti neil juhtudel, kui on vajalik teostada kokkuvõtteid eri rühmitustes (kui kord augustatud kaarti kasutatakse mitme erineva

kokkuvõtte jaoks), asendab üks tabulaator arvelaudadega varustatud kümnete inimeste töö ja jätab kaugele maha liitmismasinatöövõljakuse.

Tabulaatorite abil teostatakse nii arve-ala kui ka teaduslikke ja insener-tehnilisi arvutusi.

Kuid on veel üks ala, kus automaatse vastuvõtuga masinad on lihtsalt asendamatud. See on statistika. Nimelt see ala kutsuski ellu esimesed masinad, mis loevad arve perforatsioonide aukude järgi.



Joon. 28. 1897. aasta esimese ülevenemaalise rahvaloenduse materjalide läbitöötamisel kasutatud arvutamis-rühmitamiseseade.

Mõnede statistiliste tööde töömahukus on tõepoolest määratu. See käib esmajoones loendusmaterjalide läbitöötamise kohta. Loendus on üks tähtsamaid statistilisi toiminguid, mis annab kõige täpsemaid ja täielikumaid andmeid loenduse objektide kohta. Loendusi võib olla mitmesuguseid: rahvaloendus, seadmete loendus ja teised.

Sotsialistliku plaanimajanduse tingimustes on loendused riikliku tähtsusega töö, mis aitavad õigesti suunata meie maa rahvamajanduse arengut.

Igale loendusele eelneb suur ettevalmistustöö, mille käigus on üsna tähtis määrata kindlaks näitajad, milledest

riik kõige rohkem huvitub, ning peegeldada need loenduse küsitluslehe vormis.

Üheks kõige tähtsamaks on rahvaloendus, kus tuleb loendada kogu riigi paljumiljonilise elanikkonna iga inimest. Selleks käivad spetsiaalselt eraldatud isikud linnades, külates ja asulates korterist korterisse, majast majja, kirjutades loenduse küsitluslehtedele andmed iga elaniku kohta. Nii lahendatakse mitme päeva jooksul ülesande esimene osa — loenduse küsitluslehtede täitmine kohtadel.

Ülesande teine osa aga — loenduse küsitluslehtede arvuline läbitöötamine — on erakordselt töömahukas. Sellega puututi kokku juba esimeste loenduste ajal.

Tuntud vene statistik V. Struve kirjutas 1897. aasta ülevenemaalise rahvaloenduse kohta:

«Arvestades Venemaa elanikkonna arvuks 120 miljonit elanikku, läheb kaartide liigitamiseks ja loendamiseks iga koondtabeli jaoks käsitsi läbitöötamisel üldse vaja 300 000 tundi, ehk arvestades tööpäevas isegi 10 töötundi, 30 000 päeva, mis moodustab 100 aastat; ligikaudu 24 tabeli koostamiseks läheb vaja  $30\,000 \times 24 = 720\,000$  päeva ehk 2400 inimaastat tööd. Selle määratu suure töö täitmiseks isegi 5 aasta jooksul on vajalik, et koondarvestusega tegeleks kümnetunnilise tööpäeva juures iga päev vähemalt 480 inimest.»

Tööde suur maht esitas loomulikult nõudmise mingisuguste meetodite või seadiste järgi, mis kergendaksid loenduse tulemuste saamist. Ning juba esimese ülevenemaalise rahvaloenduse materjalide läbitöötamisel kasutati arvutamise-rühmitamise seadmeid, mis kujunesid tänapäeva arvude automaatseadega masinate algtüübiks. Sifreeritud andmed elanike kohta perforeeriti «arvestuskaartidele».

Aukude lõõmine toimus «läbilööjail». Kaart pandi läbilööja raami pilusse, auguraud asetati vastavasse pessa ja hoobiga augurauale löödi auk kaarti. Augu asetuse määranud mingit arvulist suurust nagu perfokaardil. Iga auk kujutas mingit kindlat tunnust. Arvutamiseks kasutati seadet, mis koosnes 40—80-st vooluimpulssidega töötavast arvestist-loendajast.

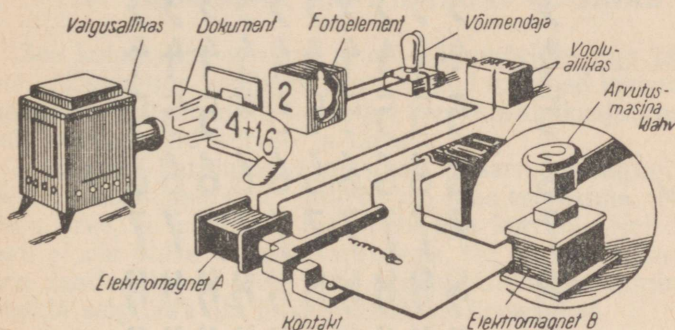
Siiski ei töötatud mehhanismide abil läbi kõiki selle loenduse materjale ja töö, mis kestis üle seitsme aasta, jäigi lõpetamata.

Tsaari-Venemaa tingimustes ei leidnud eesrindlik tehni-

line mõte toetust. Hoopis teine olukord on Nõukogude Liidus. 1939. aasta rahvaloenduse materjalide läbitöötamine toimus kodumaistel masinatel ja töö 170-miljonilise elanikkonna kohta lõpetati edukalt 15 kuuga.

### «Nägev» aparaat

Mõte, õpetada masinat lugema mitte perfokaarte, vaid otse algdokumente, innustab juba ammu leidureid. Sellel alal kuulub prioriteet nõukogude insenerile V. E. Agapovile, kes töötas juba enne Suurt Isamaasõda aparaadi loomisel arvutusmasinatele, mis võimaldaks lugeda antud arve algdokumentidelt. Aparaadi konstrueerimisel otsustas Agapov kasutada fotoelementi.



Joon. 29. «Nägeva» aparaadi ehituse skeem. Numbrite vari langeb fotoelemendi kesta pilule. Selle täielikul pimenemisel lõpetab fotoelement voolu andmise ja elektromagnet A vabastab ankur-kontakti, mis sulgeb elektromagneti B vooluringi. Viimane tõmbab ligi arvutusmasina klahvi.

Fotoelement — see on seadis, mis valguse mõjul tekitab elektrivoolu.<sup>1</sup>

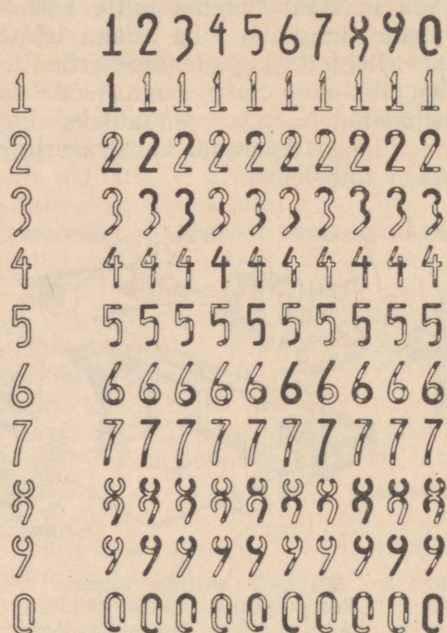
Seda fotoelemendi omadust kasutaski Agapov «nägevas» aparaadis, mille töö skeem on näidatud joonisel 29.

Fotoelement on suletud valguskindlasse kesta, mille esi-seinas on oma kujult ühele või teisele numbrile vastav pilu. Fotoelement juhib võimendaja ja elektromagneti A kaudu teist vooluringi kontakti (vooluallikast kuni arvutusmasina klahvi elektromagnetini B).

<sup>1</sup> Üksikasjalisemalt fotoelementidest vaata raamatust: V. A. Mezentsev. Elektriline silm. Tallinn 1950.

Joonisel on näidatud ainult numbrit 2 lugev seadis. Samasugused seadised on ette nähtud igale numbrile 0-st kuni 9-ni ja juhtimismärkidele. Igaüks neist reageerib ainult oma numbrile või märgile.

Fotoelemendi ees asub tugev valgusallikas. Lähteasendis satub valgus kestasoleva pilu kaudu fotoelemendile, mille



Joon. 30. Stiliseeritud kiri «nägeva» aparaadiga töötamiseks ja fotoelementide kestas olevate pilude pimenemise astmed vastavalt varjude pealelangemisele. Täielik pimenemine toimub ainult dokumendi numbriga ühtelangemisel pilu numbriga.

tõttu elektromagnet  $A$  on pidevalt voolu all. Ta tõmbab enda ligi kontakti ja hoiab elektromagneti  $B$  vooluahela lahutatuna.

Kui valgusallika ja fotoelemendi vahel liiguvad dokumendid, siis nende numbrite varjud projekteeruvad kestadepiludele. Kõigist fotoelementidest osutub täielikult pimenetuks ainult üks, mille pilu vastab mööduvale numbrile.

Pimendatud fotoelement lõpetab voolu tekitamise ning elektromagnet  $A$  vabastab kontakti, mis vedru mõjul suleb elektromagneti  $B$  vooluringi. Sattudes voolu alla, tõmbab elektromagnet  $B$  külge masina kangi, millega ta seab masinasse dokumendile kirjutatud numbri.

«Nägeva» aparaadi kasutamine põrkab kokku rea raskustega. Peamine neist seisneb selles, et numbrite kuju, nende jämedus ja asend dokumendil peab olema rangelt määratud. See saavutatakse üksnes siis, kui dokumendid kirjutatakse stiliseeritud kirjaga kirjutusmasinail. Kuid töö selles valdkonnas ei ole veel lõppenud.

#### IV. «KÕRGEMA HARIDUSEGA» MASINAD

See kummaline pealkiri ei ole väljamõeldis ega fantaasia. Nõukogude teadlaste poolt loodud masinad lahendavad kõrgema matemaatika keerulisi ülesandeid, kusjuures nad lahendavad neid kiiresti ja täpselt.

«Kõrgema haridusega» masinad ei sarnane sugugi nendele arvutusmasinatele, millega me juba tutvusime. Nad ei liida arve, ei lahuta, ei jaga neid ega korruta. Neil masinail ei ole üldse tegemist arvudega. Et nende töötamisest aru saada, tuleb meil teha väike kõrvalekaldumine ja endale selgitada üht huvitavamat loodusseadust.

#### Sarnasusseadus

Uute lennukite, laevade, tammide, lüüside ja paljude masinate ja ehitiste loomisel peavad konstruktorid teadma, kuidas käitub projekteeritav objekt eksploateerimise tingimustes. See on vajalik kõige sobivamate konstruktsioonide, töörežiimide, vormide, materjalide jne. valimiseks.

Neid andmeid saadakse mudelite katsetamisel. Ilma aerodünaamilise toru võimsasse õhuvoolu paigutatud mudeli aerodünaamiliste omaduste määramiseta ei hakata ehitama ühtki lennukit. Sama võib öelda laevade kohta, mille mudeleid proovitakse erilistes basseinides, samuti tammide, lüüside ja teiste hüdrotehniliste ehitiste kohta.

Mudelite katsetamisel saadud andmed räägivad reeglina küllaldase täpsusega tulevase masina või ehitise omadus-

test. Kuid sel reeglil on erandeid. Esmajoones käib see soojusseadmete, nagu katelde ja külmutusseadmete kohta, kus tavaline modelleerimine on sageli jõuetu. Tuleb teha katsemudelid ja proovida neid. See nõuab palju aega, jõudu ja vahendeid. Ning sageli ei ole üldse võimalikki katsetada seadmete mitmesuguseid variante.

Kuid kogemuste kõrval on veel teine tee otstarbekohase otsuse valikuks. Tänapäeval võivad teadlased väljendada iga füüsikalist protsessi, vaatamata selle keerukusele, matemaatiliselt nn. diferentsiaalvõrrandite kujul.

Võib-olla langeb tänu protsessi matemaatilisele väljendusele ära vajadus mudelite ehitamiseks ja katsetamiseks? Kas ei osutu lihtsamaks lahendada need võrrandid ja saada vajalikke andmeid? Ei, see ei ole lihtsam. Sageli osutuvad võrrandid liiga keerukateks ja nõuavad lahendamiseks matemaatilisi eriuurimisi.

Töö maht võib osutada niivõrd suureks, et nõuab mitu aastat. Sellised raskused lõpliku tulemuse saamiseks pidurdavad püstitatud probleemide lahendust.

Niisiis ei mudelite ehitus ega diferentsiaalvõrrandite lahendamine ei saa täielikult rahuldada konstruktoreid ja teadlasi.

Siiski on leitud väljapääs sellest olukorrast.

Koostades mitmesuguste protsesside diferentsiaalvõrrandeid, avastasid teadlased esimesel pilgul imelikuna näiva asja: diferentsiaalvõrrandid, mis koostati näiliselt kõige erinevamate protsesside kohta, osutusid ühesugusteks. Sellele huvitavale iseärasusele osutas V. I. Lenin.

«Looduse ühtsus,» kirjutas ta oma geniaalses töös «Materialism ja empiriokrititsism», «ilmneb nähtuste eri valdkondadesse kuuluvate diferentsiaalvõrrandite «hämmastavas analoogilisuses.»<sup>1</sup>

Akadeemik A. N. Krõlov toob selliseid näiteid: «Võiks nagu arvata, et mis ühist võib olla päikese külgetõmbe mõjul toimuva taevakehade liikumise arvutuse ja laeva lainetel õõtsumise vahel, või nn. taevakehade sajandihäirete määramise ja laevavinti või elektrigeneraatorit pöörlema paneva mitmesilindrilise diisel-jõumasina võlli pöördvõnkumiste vahel? Ometigi, kui kirjutada ainult valemid ja

<sup>1</sup> V. I. Lenin, Teosed, 14. kd., lk. 267. ERK, Tallinn 1952.

võrrandid ilma sõnadeta, siis ei saa vahet teha, missugust neist küsimustest lahendatakse: võrrandid on ühed ja samad.»

Selliseid näiteid, kus ühes füüsika valdkonnas vastavale protsessile vastavad teatud protsessid teistes valdkondades, võib tuua palju. Nad näitavad, et looduses kehtib nn: s a r n a s u s s e a d u s.

### Füüsikaliste protsesside mudelid

Avastanud looduses füüsikaliste protsesside sarnasusseaduse, üritasid teadlased rakendada seda praktiliste ülesannete lahendamiseks. Kuid igas füüsika harus on omad mõõtühikud: elektrit mõõdetakse ühtede ühikutega, soojust — teistega, hüdraulilisi protsesse — kolmandatega. Esimesel pilgul erimõõduliste suuruste võrdlemiseks leiti omapärane mõõtkava, mille abil on võimalik võrrelda erinevate protsesside kohta kirjutatud võrrandeid. Neid mastaabikoefitsientide nimetatakse sarnasuskoefitsientideks.

Nüüd, omades näiteks metallivalu jahtumisprotsessi matemaatilist väljendit, võib võrrandit soojustehnika valdlast üle kanda elektri valdkonda. Kuid miks valisime nimelt elektrilise süsteemi? Kas elektri mõõtühikutes on diferentsiaalvõrrandit kergem lahendada kui soojuse mõõtühikutes? Ei, ilmneb, et asi ei seisne selles.

Elektrit on kerge juhtida ja see võimaldab koostada vooluringi, mida vool läbib sama seaduse alusel nagu soojus jahtuvat valu. Teiste sõnadega, võib valmistada soojusprotsessi elektrilise mudeli. Nüüd võib diferentsiaalvõrrandit lahendada..., ilma teda lahendamata. Piisab pingete mõõtmistest kindlates mudeli punktides (vool aga võimaldab väga täpset mõõtmist), et saada valu jahtumise graafikut.

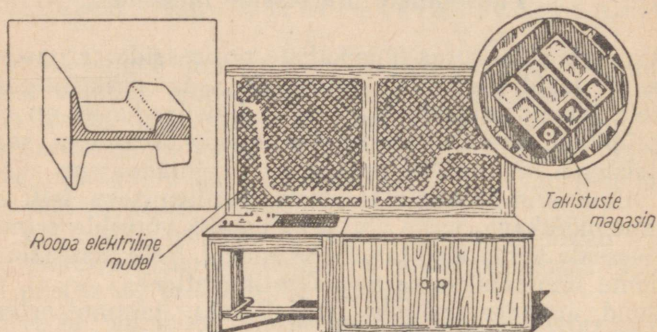
Igasuguste füüsikaliste protsesside elektriliste mudelite koostamist ja nende uurimist lubab teostada «kõrgema haridusega» masin — elektri-integraator.

Tema väliskuju on näidatud joonisel 31. Püstpaneel on jaotatud väga paljudeks ruudukesteks, milledest igaüks moodustab elektritakistite magasini. Valides vastavaid takisteid, võib ehitada uuritava nähtuse elektrilise mudeli.

Pöördume näite juurde. Oletame, et meil on vaja uurida soojuslikke protsesse, mis tekivad raudteerööpas rongi lii-

kumise ajal. Rööpal on kindel kuju, mida esmajoones ongi vaja jäljendada elektrilises mudelis. Selleks piiratakse elektri-integraatori püstpaneelil paelaga pool rööpa kontuurist (sellest piisab, sest rööpa kuju on sümmeetriline).

Geomeetriline sarnasus on kindlustatud. Nüüd on vaja saavutada kvaliteediline sarnasus kontuuri sees, s. t. rööpas kulgevate soojuslike protsesside võrrandi vastavate tingimuste sarnasus. See saavutatakse paelaga piiratud



Joon. 31. Stalini preemia laureatide L. I. Gutenmahheri, N. V. Korolkovi, B. A. Volõnski ja V. P. Lebedevi poolt loodud elektri-integraatori skeem.

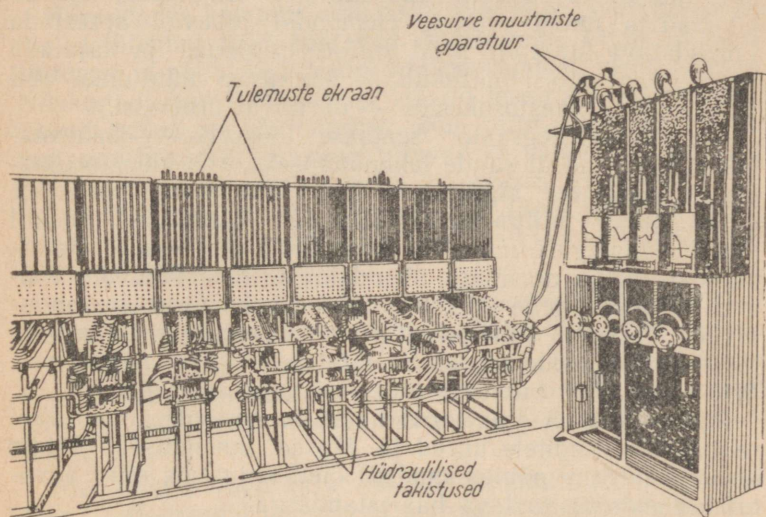
paneeliosas vastava takistuse loomisega. Lauale kinnitatud aparaatidega antakse kõik teised parameetrid. Laual asub samuti mõõteaparaat, mis näitab voolu pinget igas mudeli punktis.

Vool on sisse lülitatud. Insener kannab aparadi eri punktide näidud lineeritud paberile. Ühendades kindlaks tehtud punktid, saab ta soojuse levimise graafiku rööpas antud tingimustes.

Kuid sellel kõige huvitavamal masinal ei lahendata üksnes soojuslikke ülesandeid. Masin kiirendab sadu kordi mitmesuguste konstruktsioonide katsetamist, lubades kontrollida palju variante ja valida neist parim. Mõnede hüdrotehniliste arvutuste teostamiseks vajaliku aja lühendab elektri-integraator ühelt aastalt mõne päevani!

Väga laialdane on suure rahvamajandusliku tähtsusega küsimuste ring, millele võib kiiresti vastata masin, mis

loodi nõukogude teadlaste L. I. Gutenmahheri, N. V. Korolkovi, B. A. Volõnski ja V. P. Lebedevi poolt, keda elektri-integraatori loomise eest autasustati 1947. aastal Stalini preemiaga. Kuid teadlased ei jäänud saavutatule püsima ja jätkavad oma masina täiustamist. 1948. aastal lõi L. I. Gutenmahheri poolt juhitud kollektiiv uue elektri-integraatori mudeli, kus andmete mõõtmiste ja graafikute joonestamise asemel ilmuvad eriekraanil valmiskõverad.



Joon. 32. Stalini preemia laureaadi V. S. Lukjanovi hüdro-integraator.

Elektri-integraatoril on oma ajalugu. Esimese masina maailmas keeruliste matemaatika ülesannete lahendamiseks lõi väljapaistev vene teadlane akadeemik A. N. Krõlov<sup>1</sup>. Suure panuse matemaatiliste masinate arengus andis professor S. A. Geršgorin. Enne Suure Isamaasõja algust ehitas NSV Liidu Teaduste Akadeemia kirjavahetaja liige I. S. Bruk diferentsiaalvõrrandite lahendamise masina — mehhaanilise integraatori.

Väga huvitava masina kõige mitmekesisemate protsesside uurimiseks — hüdro-integraatori (joon. 32) — leiutas

<sup>1</sup> A. N. Krõlovi elu ja tegevust käsitleb S. Straihi raamat «Aleksi Nikolajevitš Krõlov». Tallinn 1952.

professor V. S. Lukjanov. Hüdro-integraatori loomise eest omistati V. S. Lukjanovile 1951. aastal Stalini preemia.

Kui elektri-integraator modelleeris nähtusi elektri abil, siis hüdro-integraatoris toimub modelleerimine vee abil. See huvitav matemaatiline masin koosneb põhiliselt mitmesuguse läbimõõduga anumatest, mis on üksteisega ühendatud hüdrauliliste takistuste abil.

Anumate mitmesugused lõikepinnad, anumate omavahealiste ühenduste süsteem, hüdraulilised takistused, ujuvad anumad ja muud masina elemendid lubavad arvestada lahendatava ülesande kõiki antud tingimusi ja kujutada hüdro-integraatoril näitlikult — vee nivoo muutumise abil jaotuskraani klaastorukestes — uuritavat protsessi.

Kui hüdro-integraator seatakse töökorda — häälestatakse — teatud ülesande lahendamiseks, siis klaastorukestes seatakse vee algnivood. Need märgitakse torukeste taga asuvale millimeetripaberile. Et kajastada mudelil mingi välisteguri mõju, näiteks keskkonna temperatuuri, muudab uurija masinaga ühendatud eriliste liikuvate anumate kõrgust. Selle tulemusena veenivood torukestes muutuvad. Vajalikul silmapilgul protsess peatatakse ja märgitakse uute nivooode seisud. Seejärel koostatakse nende märgete järgi meid huvitava protsessi kulgemise graafik.

Professor V. S. Lukjanovi hüdro-integraator annab diferentsiaalvõrranditele kiired ja täpsed lahendused. Tähtis on vaid uuritav nähtus mudelil õieti kujutada, mis saavutatakse masina vastava häälestamisega.

Professor V. S. Lukjanovi hüdro-integraatorid lahendavad palju mitmekesisid ülesandeid näitlikult, kiiresti ja täpselt. Nende seas on soojuslike protsesside, põhjavete liikumise seaduste uurimine, ehitusküsimused Kesk-Aasia liivades ja igikeltsi tingimustes, raudtee muldkeha arvestused. Hüdro-integraator aitab lahendada NSV Liidu suurehitustega seoses olevaid teaduslikke ja tehnilisi probleeme. Veel palju muid ülesandeid võib lahendada hüdro-integraatoril — võimsal «masinmatemaatika» vahendil.

## LÖPPSÕNA

Meie maal teaduse ja tehnika arendamiseks loodud tingimused viisid kodumaa teadusliku mõtte väljapaistvatele saavutustele, ennenägematule tehnilisele arengule.

Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooni võidu ja viis-

aastakute tulemusena muutus mahajäänud agraar-Venemaa võimsaks tööstusriigiks.

Meie maad ei iseloomusta praegu mitte kündja sahaga ja külvaaja külmituga. Vabrikute ja tehaste korpused, tohutud kõrgahjud ja uusehituste tellingud, suurimate hüdroelektrijaamade ja kanalite ehitused, entusiasmiga kommunismi ülesehitav rahvas — see on meie Kodumaa täna.

Kiirendades kommunismi poole liikumist ja kergendades rasket füüsilist tööd, töötavad Nõukogude Liidu tehastes, ehitustel ja põldudel tuhanded mitmesugused mehhanismid. Nõukogude konstruktorid on loonud masinaid, mis kergendavad rasket ja töömahukat tööd mitmesugustes rahvamajandusharudes. Masinad aitavad ka vaimse töö tegijaid. Esialgselt ainult statistikas ja arvestuses kasutatud arvutusmasinad tungisid ka inseneri- ja täppisteaduste valdkonda ning nende kasutamise uued alad kutsusid omakorda ellu uusi konstruktsioone.

Arvutusmasinad, milledega me tutvusime, ei ammenda muidugi kaasaegse arvutustehnika kogu mitmekesisust.

Raamatu väike maht ei võimaldanud meil jutustada nn. tekst-arvutusmasinatest, mis üksnes ei arvuta ega kirjuta üles arvusid, vaid võivad samuti trükkida ka sõnalist teksti.

Me ei jutustanud ka arvutus-perforaatoritest. Need huvitavad automaadid kompavad perfokaartidele märgitud korrutustegureid, kõrrutavad nad läbi ja augustavad korrutised samadel perfokaartidel, kust võeti tegurid, kulutades kõikideks nendeks teheteks... mõned sekundid.

Veel palju teisi üldise ja eriotstarbega arvutamismahendeid teenib teaduse õitsengut, tehnilist progressi, arvestuse parandamist.

Kuid ka tutvustatud masinate põhitüüpe võidakse ära kasutada mitte üksnes lihtsate aritmeetiliste arvutuste jaoks.

Arvude käsitsi- ja automaatseadmisega masinaid kasutatakse edukalt astendamisel, juurimisel, numbrilisel integreerimisel ja muudeks töödeks.

Arvutusmasinad aitavad lahendada teaduse ja tehnika ette kerkivaid ülesandeid.

Teisiti vaatavad masinmatemaatikale kapitalistlike maade teadlased.

Nad tüssavad lihtsaid inimesi, sisendades neile, et inimene peab aja jooksul muutuma masina ripatsiks.

Puudub vajadus tõestada selle mõtte täielikku absurdsust. Selle kummutab meie nõukogulik tegelikkus, mis näitab iga päev, kui palju võib saavutada, juhtides keerulisi ja «tarku» masinaid, mis on loodud meie teaduse ja tehnika poolt inimese — rahuliku kommunismiehitaja hüvanguks.



## SISUKORD

Millest jutustab see raamat . . . . .	3
<b>I. Lihtsamatest seadistest arvutusmasinateni . . . . .</b>	<b>5</b>
Kuidas inimesed on lihtsustanud arvutamist . . . . .	5
Väsimatud registraatorid . . . . .	8
Masina süünd . . . . .	11
<b>II. Inimene annab ülesande . . . . .</b>	<b>13</b>
Arvude seadmine «pimesi» . . . . .	13
Kas masinad tunnevad korrutamistabelit? . . . . .	19
Esimene arvutamisautoomaat maailmas . . . . .	36
<b>III. «Targad» automaadid . . . . .</b>	<b>39</b>
Kirjutamine aukudega . . . . .	40
Elektrirühmitaja . . . . .	43
70 000 liitmist tunnis . . . . .	45
«Nägev» aparaat . . . . .	53
<b>IV. «Kõrgema haridusega» masinad . . . . .</b>	<b>55</b>
Sarnasusseadus . . . . .	55
Füüsikaliste protsesside mudelid . . . . .	57
<b>Lõppsõna . . . . .</b>	<b>60</b>

Toimetaja H. Rehema.  
Tehniline toimetaja E. Plaks.  
Korrektorid E. Kask ja S. Kõiv.

Ladumisele antud 23. X 1954.  
Trükkimisele antud 7. XII 1954.  
Paber 54×84 sm, 1/16. Trükiarv  
8000. Trükipoognaid 4. Formaa-  
dile 60×92 kohaldatud trüki-  
poognaid 3,28. Arvutuspoognaid  
3,44. Tellimise nr. 5888.  
MB-19068.

Trükikoda «Kommunist», Tallinn,  
Pikk 2.

На эстонском языке.

Hind rbl. 1.05.

Rbl. 1.05

A  
16558

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00498140 5