

TARTU RIIKLIK ÜLIKOO

Teoreetilise mehhaanika kateeder

T. Tiits

SEADMETE RATSIONAALSE PAIGUTAMISE ÜLESANDE  
LAHENDAMINE TÖÖSTUSETTEVÖTTES

Diplomitöö

Juhendaja: füüs.-mat. kand.

dots.k.t. K. Soonets

Tartu 1973

## SISSEJUHATUS

Praegusaegse majandusreformi käigus pööratakse tööstuslikus tootmises erilist tähelepanu tootmise organiseerimise ja planeerimise taseme tõstmisele selle viimisega teaduslikult põhjendatud alustele. Kõige efektiivsemalt lahendatakse neid ülesandeid matemaatiliste meetodite kasutamise teel ning sellega seostuvalt elektron-arvutustehnika abil.

Tööstusettevõtte majanduslikud näitajad sõltuvad suurel määral sellest, kui õigesti on lahendatud tootmisprotsessi optimaalse organiseerimise ülesanne ruumis. See eeldab tootmisettevõtte kõigi üksuste, aga ka üksustesiseste seadmete ratsionaalset planeerimist.

Seadmete ratsionaalse paigutamise variandi leidmise teaduslikult põhjendatud meetodite väljatöötamine omab iseseisvat tähtsust, kuna seadmete planeerimine ei mõjuta üksnes tootmise tähtsaid majanduslikke näitajaid. Seadmete optimaalse planeerimise ülesande lahendusalgoritme kasutatakse ka paljude teiste tootmisprotsessi ruumilise organiseerimise, mitmet laadi toodete konstrueerimise, tehnoloogia ja tootmise organiseerimise valdkonda kuuluvate tehniliste ja majanduslike ülesannete lahendamisel.

Matemaatiliste meetodite kasutamise vajalikkust näitab kujukalt järgnev näide. Kui tuleb paigutada mingid  $t$  seadet  $t$  kohale ja eeldades, et iga seade sobib kõigile kohtadele, siis seadmete paigutamise erinevate variantide arv on võrdne seadmete arvu faktoriaaliga  $t!$ . Kui seadmeid on üle viie-

teistkümne, siis seadmete paigutamise kõigi variantide läbivaatamine ja parima välja valimine nõuab sellise hulga loogilisi ja aritmeetilisi operatsioone, mida ei ole suuteline sooritama mingiks arvestatavaks tähtajaks ükski tänapäeva ega ka perspektiivne arvuti [6].

Reaalses tööstusettevõttes kerkib tavaliselt umbes viiekümne seadme paigutamise probleem. Kuna sellisel juhul on seadmete paigutamiseks väga palju erinevaid võimalusi, siis tuleb optimaalse või praktikalt sageli rahuldava suboptimaalse variandi leidmisel kasutada matemaatilise programmeerimise meetodeid. Nende puhul oluliselt vähendatakse läbivaadatavate variantide hulka või leitakse lähteinformatsiooni kasutades üks kindel suboptimaalne variant, mis võib osutuda ka optimaalseks.

Seadmete paigutamisel võetakse aluseks mingi näitaja, mille abil otsustatakse paigutamise variandi otstarbekuse üle. Kõige üldisemaks optimaalsuse kriteeriumiks on aastase tootmiskulu suurus, mis tuleb minimeerida. Lähtudes konkreetsetest tootmistingimustest, asendatakse üldine kriteerium mõne antud situatsioonile sobiva erikriteeriumiga.

Eeltoodut arvesse võttes püstitati käesoleva töö eesmärgiks seadmete optimaalse planeerimise ülesande lahendamine matemaatiliste meetodite abil jaoskonnas kui masina- või sparaadiehitustehase struktuuri väikseimas administratiivselt eraldiseisvas üksuses. Eeldatakse, et jaoskonnas on sellised transpordivahendid, mille puhul esemete ümberpaigutamise trass pole rangelt kindlaks määratud ja mis võimaldab esemete mitmesuunalist liikumist. Optimaalsuskriteeriumina kasutatakse veosekäibe mahtu, mis tuleb minimeerida. Nimetatud kriteeriumi valikul võeti arvesse asjaolu,

et veosekäibe maht mõjutab mitmeid tehnilis-majanduslikke näitajaid: kapitaalmahutusi, jooksvaid eksploatatsioonikulusid, toodangu omahinda jm. [6] .

Et saada ülevaadet seadmete paigutamise probleemiga seostuvatest teoreetilistest seisukohtadest ja vastavasunaalistest praktilistest lahendusteedest, tutvuti kõigepealt nii kodu- kui ka välismaise antud probleemi käsitleva kirjandusega. Autoril kasutada oleva kirjanduse läbitöötamine näitas, et praktikuid huvitava küllaltki suure arvu seadmete paigutamise rahuldava variandi leidmiseks on meetodeid võrdlemisi vähe. Meetodi valimisel tuleb arvestada aega, mis kulub seadmete paigutamise variandi leidmiseks elektroarvutil, ja kasutatava arvuti operatiivmälu mahtu. Meetod tuleb valida seda ebatäpsem, mida suurem on paigutatavate seadmete arv [6] .

Antud töö I peatükis käsitletakse seadmete planeerimise tehnilis-majanduslikku tähtsust.

Töö II peatükk hõlmab seadmete paigutamise ülesande lahendusmeetodite analüüsi ja koosneb järgnevatest osadest:

- 1) ülesande püstitus ning matemaatiline formaliseerimine,
- 2) ümberpaigutusmeetod 1,
- 3) ümberpaigutusmeetod 2,
- 4) meetod MAT,
- 5) meetodi MAT modifikatsioon,
- 6) järjestamismeetod.

Vaatamata ümberpaigutusmeetodite 1 ja 2 suurele sarnasusele eristatakse neid siiski rangelt teineteisest antud töös, kuna nende abil seadavad seadmete paigutamise variandid on üldjuhul teineteisest erinevad. Kasutades A. Neimarki,

R. Seinmani ja V. Golova teost "Расчет и программирование рас-  
становки оборудования в цехах" selgus, et III peatükis  
antakse ümberpaigutusmeetodi 1 algoritmi kirjeldus, IV pea-  
tükis tuuakse aga juhised mitte enam ümberpaigutusmeetodi 1,  
vaid ümberpaigutusmeetodi 2 realiseerimiseks arvutil.

Meetodi MAT algoritmi kirjeldus on avaldatud artiklis  
[4].

Kaks viimast meetodit esitatakse antud töös esmakord-  
selt.

Käesolevas töös on toodud ka näiteülesanded, mis ana-  
lüüsitavaid meetodeid illustreerivad.

III peatükis vaadeldakse eelnimetatud meetodite reali-  
seerimist elektronarvutil Minsk-22. Tuuakse ära plokskeemid  
ja MALGOL-programmid. Kasutatavate meetoditega saadud tule-  
musi võrreldakse omavahel.

Antud diplomitöö valmis NSV Liidu Ehituskomitee Ehitu-  
se Organiseerimise, Mehhaniseerimise ja Tehnilise abi Tea-  
dusliku Uurimise ja Eksperimentaalse Projekteerimise Kesk-  
instituudi Juurutamisbüroo Balti filiaali juures. Nimetatud  
asutus täitis lepingulist ülesannet Moskva Automatiseeritud  
Juhtimissüsteemide Valitsuse "Glavmosavtotrans" tellimusel.

## I peatükk

### SEADMETE PLANEERIMISE TEHNILIS-MAJANDUSLIK

#### TÄHTSUS

#### § 1. Tootmisjaoskondade tüübid ja seadmete planeerimine

Masina- või aparaadiehitustehase iga tsehh koosneb tavaliselt jaoskondadest. Jaoskond on ettevõtte struktuuris väikseim administratiivselt eraldiasuv üksus. Igal jaoskonnal on oma tootmisplaan ja tööliste koosseis, tootmis- ja abipind, millel paiknevad antud jaoskonna seadmed - tööpingid, tõste- ja transpordivahendid jmt. Tootmisprotsessi seisukohalt võib seadmeid tinglikult jaotada tootmis- ja abiseadmeteks. Viimaste hulka kuuluvad näiteks tõste- ja transpordivahendid, riiulid ja alused pooleli olevatele esemetele ning muu vajalik inventar.

Nii jaoskonna, tsehhi kui ka kogu ettevõtte töö tehnilis-majanduslikke näitajaid mõjutab seadmete paigutamine.

Seadmete paigutamiseks ehk planeerimiseks nimetatakse seadmete ruumilist paigutamist jaoskonnas. Seadmete paigutamine haarab üldiselt nii tootmis- kui ka abiseadmeid.

Mida ratsionaalsemalt on paigutatud seadmed, seda otstarbekamalt saab korraldada tootmist, ja vastupidi. Seetõttu on seadmete paigutamise probleem tootmise organiseerimisel ülimalt tähtis.

Jaoskonna seadmete planeerimise eesmärgiks on kindlustada tootmisprotsessi võimalikult suur täpsus, esemete pidev liikumine tootmisprotsessis, materjalide ja detailide väikseim veosekäive ning võimalikult ratsionaalne tootmisruumi kasutamine. Seadmete planeerimisel võetakse arvesse

7

ka tööliste liikumist ning taotletakse selle võimalikult suurt ökonoomsust.

Seadmete ratsionaalsel paigutamisel peetakse silmas veel paljusid muidki asjaolusid, nagu näiteks seadmete lahtivõtmise vajadust remondil või demontaažil, määrde- ja jahutusvedelike kasutamist, kohtade eraldamist kontrollpostidele, taarale, tehnoloogilisele varustusele, päevasele ülenormitoodangule jm.-le, mitme seadme teenindamise võimalust jne. Seadmete paigutus peab olema kooskõlas samuti ohutustehnika nõuetega.

Seadmete planeerimise skeem peab ühtlasi võimaldama ellu viia mitmesuguseid toodete konstruktsiooni ja tootmise tehnoloogiliste protsesside pidevast täiustamisest tulenevaid muudatusi.

Kõigi nende rohkearvuliste nõudmiste realiseerimine sõltub suuresti tootmisjaoskonna tüübist. Selle määravad valmistatava toodangu konstruktiiv-tehnoloogilised iseärasused, tootmise ulatus, tootmisprotsessi staadium, jaoskonna spetsialiseerumise tase ja tsehhi ning ettevõtte teiste jaoskondadega koopereerumise vorm.

Mitmesugustest faktoritest, mis määravad tootmisjaoskonna ilme, võetakse klassifitseerimisel aluseks vaid kaks põhilist: spetsialiseerumise tase ja koopereerumise vorm. Sellest lähtudes eristatakse tinglikult kaht tüüpi jaoskondi:

- 1) tehnoloogilised jaoskonnad,
- 2) esemelised jaoskonnad.

Tehnoloogilised jaoskonnad on spetsialiseeritud ühetalilistele tehnoloogilistele operatsioonidele. Näiteks mehaanikatehhis on sellisteks jaoskondadeks treimis-, free-

8

simis-, hõõveldamis- ja lihvimisjaoskond. Selletüübilistes jaoskondades on võimalik seadmeid kasutada võrdlemisi täielikult. Nad sobivad mitmesuguste toodete valmistamiseks, on kergesti kohandatavad vastavalt tehnoloogilise protsessi ja toodangu väljalaske muutustele. Tootmisprotsess ei katke tehnoloogilistes jaoskondades seoses mõne seadme purunemise või remondiga, materjalide või pooltoodete mitteõigeaegse etteandmise tõttu, aga isegi siis, kui mõni töötaja tööle ei ilmu.

Jaoskondade tehnoloogilisel spetsialiseerimisel on aga eelnimetatud positiivsete joonte kõrval ka terve rida puudusi. Näiteks on nendes jaoskondades tootmistsükli kestus võrdlemisi pikk, administratiivtehnilise personali vastutus toodangu kvaliteedi eest suhteliselt väike, seoses seadmete sagedaste ümberseadistamisega tekivad suured ajakaod.

Esemelised jaoskonnad spetsialiseeritakse terviklikule tehnoloogilisele protsessile, mis võimaldab väljastada lõpetatud tooteid. Esemelisi jaoskondi eristatakse kõigepealt valmistatava toodangu põhjal. Nende toodete nomenklatuur võib olla mitmesugune, näiteks pooltooted, lõpetatud detailid, sõlmed ja plokid või valmistooted. Iga nimetatud toodanguliik määrabki jaoskondade spetsialiseerumistaseme.

Esemelisi tootmisjaoskondi peetakse progressiivsemaks kui tehnoloogilisi. Nende loomisega vähendatakse olulisel määral ja sageli isegi välditakse jaoskondadevahelisi tootmissidemeid. Seetõttu väheneb märkimisväärselt transportitavate esemete hulk (ümberpaigutatava toodangu maht), lihtsustub tootmise planeerimine ning paraneb selle kvaliteet. Meistri kui jaoskonna põhilise tootmisjuhi roll ja vastutus tundub suureneb. Selgepiirilisemaks saavad meistri kohus-

tused jaoskonna tootmisplaani kindlustamisel, sest toodete nomenklatuur (detailid, detailide komplektid, sõlmed, plokid) on täpselt määratud. Kui igale esemelisele jaoskonnale on kinnistatud kindel toodete nomenklatuur, siis ühtlasi kergendab see plaani viimist iga tööliseni, töökohtade spetsialiseerimist ja mitme seadme teenindamist. Tootmise planeerimise parandamine tõstab töökohtade teenindamise kõigi liikide operatiivsust, mille tulemusel lühenevad tunduvalt tööaja kaod.

Suurettevõtte esemelistes jaoskondades võib teatav seadmete komplekt spetsialiseeruda ühenimeliste detailide valmistamisele. Väiksema ulatusega tootmises võib kitsas toodete nomenklatuur olla mitteküllaldane selleks, et moodustada iseseisvat jaoskonda. Sellisel juhul toodete nomenklatuuri laiendatakse sel teel, et sinna lülitatakse konstruktiiv-tehnoloogiliselt lähedased esemed.

Asjaolu, et esemelistele jaoskondadele kinnistatakse konstruktiiv-tehnoloogiliselt sarnased toodangugrupid, võimaldab tehnoloogilisi protsesse tüpiseerida.

Esemeliste jaoskondade seadmete planeerimisel saab kasutada vooltootmise printsiipi.

Sõltuvalt alg- ja lõppseadmete, pooltoodete etteandmise ja valmistoodete väljumise kohtade kombineerumisest ruumis eristatakse otse- ja suletud vooluliine.

Otsevooluline iseloomustab tootmisprotsessi alguse ja lõpu eraldatus. Liini ühes otsas asuvad töökohad, kus tootmisprotsess algab, ja vastasotsas need kohad, kus see jõuab lõpule. Need liinid võivad olla organiseeritud nii konveieriga kui konveierita. Otsevooluliinidel võivad seadmed paikneda kas ühel või mõlemal pool ahelat.

Suletud vooluliine iseloomustab tehnoloogilises protsessis alg- ja lõpptöökohtade lähedus teineteisele. Ka antud juhul võib konveierit kas kasutada või mitte kasutada .

Jaoskondades kasutatakse mitmesuguseid raskuste transportimise süsteeme.

Vooluliine iseloomustavad tavaliselt pidevas liikumises olevad transpordivahendid, näiteks konveierseadmed. Nad paigutavad esemeid ümber rangelt kindlal trassil ühes suunas.

Seeriatootmise esemeliste jaoskondade transpordisüsteemile on iseloomulikud perioodiliselt töötavad transpordivahendid, näiteks kõikvõimalikud maapealsed rööbasteta ja ripp-rööbastranspordivahendid. Nende puhul pole esemete ümberpaigutamise trass rangelt kindlaks määratud ja nad võimaldavad esemete mitmesuunalist liikumist.

Transpordisüsteemide iseärasused tingivad vajaduse läheneda jaoskonna seadmete planeerimisele (ülesande püstitusele ja lahendamisele) erinevalt ja lähtuda selle süsteemi spetsiifikast.

Seejuures on aga nii ühel kui teisel juhul võimalik seadmeid paigutada mitmeti. Seadmete paigutamise variantide arv on määratud seadmete kõikvõimalike ümberpaigutuste arvuga.

§ 2. Seadmete paigutamise optimaalsuskriteeriumi valik

Seadmete kohtadele paigutamise probleem seisneb alati selles, kuidas korraldada kahe erinevate objektide hulga,

seadmete ja kohtade, vahel üks-ühest vastavust. On loomulik oletada, et seadmete paigutamise erinevad variandid ei ole võrdväärseid. Seadmete ja kohtade vahelise vastavuse korraldamisel peetakse silmas mingit objektiivset kriteeriumi, mida püütakse võimalikult paremini rahuldada.

Seadmete planeerimise probleem kerkib eelkõige uute tehaste, tsehhide, jaoskondade ja vooluliinide projekteerimisel või olemasolevate rekonstrueerimisel. Peale selle lahendatakse taolisi ülesandeid tootmissiseste reserve väljaselgitamisel või olemasolevate tootmisjaoskondade ja vooluliinide tehnilis-majanduslike näitajate parandamisel.

Konkreetses tootmistingimustes seadmete optimaalse planeerimise ülesandeid eristatakse nii nende keerukuselt kui ka optimaalsuskriteeriumilt.

Tähtsamateks tootmisfaktoriteks, mis määravad seadmete optimaalse planeerimise ülesande püstitamise viisi ning dikteerivad selle või teise optimaalsuskriteeriumi valiku, on:

- 1) tootmisjaoskonna tüüp,
- 2) valmistatava toodangu nomenklatuur ning iseloom,
- 3) tootmisprogrammi stabiilsus,
- 4) paigutatavate seadmete hulk.

Esemelistes jaoskondades, kus toodetakse üht liiki esemeid, tuleb seadmed paigutada vastavalt tehnoloogilise protsessi käigule. See tagab kõigi nende näitajate optimeerimise, mis sõltuvad seadmete paigutusest. Analoogiline on olukord siis, kui toodetakse mitut liiki esemeid, mis kõik liiguvad mööda üht tehnoloogilist tüüp-marsruuti. Sel juhul pole otstarbekas püstitada ja lahendada seadmete planeerimise ülesannet.

Tehnoloogilistes jaoskondades töödeldakse eset (detaili) ühel mingil seadmeh, mis seejärel antakse üle mõnele teisele jaoskonnale. Kuna sellises jaoskonnas erinevate seadmete vahel esemeid ei transpordita, siis seadmete planeerimise optimeerimine ei paku samuti huvi.

Kõigil teistel juhtudel seadmete optimaalse planeerimise ülesannet on otstarbekas püstitada ning lahendada, kuna see kindlustab majanduslikku efekti.

Seadmete optimaalne planeerimine peab viima aastased tootmiskulud miinimumini. Selle kõige üldisema optimaalsuskriteeriumi kasutamine muudab arvutused raskelt realiseeritavaks.

Lähtudes konkreetsetest tootmistingimustest, saab tavaliselt seadmete optimaalse planeerimise ülesannet püstitada ja lahendada lihtsustatult. Paljudel juhtudel on võimalik asendada kõige üldisem optimaalsuskriteerium mõne konkreetsemaga.

Seadmete paigutamise variandist sõltub esmajoones oluliselt valmistatava toodangu transportimise tee pikkus, jaoskonna veosekäibe maht ja vastavalt sellele paljud muud tootmise tehnilis-majanduslikud näitajad.

Ühendustee pikenemine tingib transpordivahendite hulga kasvu, mis on vajalikud tsehhisisesseks toodete ümberpaigutamiseks. See omakorda nõuab täiendavaid kapitaalvahutusi neisse vahenditesse ning teatavaid ekspluatatsioonikulusid. Lõppkokkuvõttes suureneb toodangu omahind. Esemeh transporditee pikenemisega kaasneb tootmistsükli kestuse kasv. Seega võib konkreetseks optimaalsuskriteeriumiks olla seadmete planeerimisel jaoskonnasisese ühendustee pikkuse minimeerimine.

Tsehhides, jaoskondades, vooluliinidel, mille toodangut iseloomustab materjali suur maht, on otstarbekas minimeerida veosekäive.

Antud töös on valitud seadmete planeerimisel määravaks kriteeriumiks veosekäibe maht. Viimane mõjutab mitmeid tehnilis-majanduslikke näitajaid: kapitaal mahutusi, jooksvaid ekspluatatsioonikulusid, toodangu omahinda, seega kogumästa tootmiskulusid. Paljudel juhtudel võibki seadmete optimaalse paigutemise variandi valikul lähtuda veosekäibe mahu minimeerimisest.

## II peatükk

### TOOTMISJAOSKONNA SEADMETE PAIGUTAMISE MEETODID

#### § 1. Ülesande püstitus ning matemaatiline formaliseerimine

Tänapäeva seeriatootmise jaoskondi iseloomustab valmistatava toodangu suur ning mitmekesine nomenklatuur. Kasutatavad tehnoloogilised protsessid erinevad üksteisest nii oma iseloomult kui ka operatsioonide sooritamise järjekorralt.

Antud kindlas ajavahemikus, näiteks aastas, toodetakse tootmisjaoskonnas  $r$  erinevat toodet ( $i = 1, \dots, r$ ). Iga toote kohta on teada tema tehnoloogiline marsruut. Samuti on teada iga toote jaoks väljalaskeplaan ( $n_i$ ) antud ajavahemikuks. Kogu toodete nomenklatuuri tootmiseks vajatakse  $t$  seadet, millede paigutamiseks antud tootmisjaoskonnas on  $t$  (töö) kohta.

Ülesandeks on leida selline seadmete kohtadele paigutamise variant, mille korral antud toodete plaani täitmisel summaarne veosekäive jaoskonnas on minimaalne.

Ülesande matemaatiliseks formuleerimiseks toome sisse suurused  $a_{jp}$  ( $j, p = 1, \dots, t$ ) järgmiselt:

$$a_{jp} = \begin{cases} 1, & \text{kui } j\text{-s seade on paigutatud } p\text{-ndale kohale;} \\ 0, & \text{kui } j\text{-s seade ei ole paigutatud } p\text{-ndale} \\ & \text{kohale.} \end{cases}$$

Seadmete paigutamisel kohtadele tuleb arvestada järgmisi kitsendusi

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^t a_{jp} &= 1, & (p = 1, 2, \dots, t) ; \\ \sum_{p=1}^t a_{jp} &= 1, & (j = 1, 2, \dots, t) . \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Tähistame  $i$ -nda toote kaalu  $k_i$  ning transportimise tee pikkuse seadmete paigutamise  $g$ -nda variandi puhul  $l_i(g)$ . Siis seadmete paigutamise  $g$ -nda variandi korral on  $i$ -nda toote veosekäive antud plaanilisel perioodil  $k_i n_i l_i(g)$ , kogu veosekäive selles jaoskonnas aga

$$V = \sum_{i=1}^F k_i n_i l_i(g). \quad (2)$$

Seadmete optimaalse paigutamise ülesanne taandus selliste  $a_{jp}$ -de väärtuste leidmisele, mille korral on rahuldatud tingimused (1) ning muudetakse minimaalseks funktsiooni  $V$  väärtus.

Mõnikord osutub hädavajalikuks fikseerida esemete liikumisel nende alg- ja lõppkoht jaoskonnas. Näiteks tekib selline olukord siis, kui tooted alustavad oma liikumist jaoskonnas mööda tehnoloogilist marsruuti poolfabrikaatide laost, pärast tehnoloogilist protsessi lähevad aga antud jaoskonna valmistoodangu lattu. Et sellist olukorda arvestada, loeme mittevalmistoodangu ladu seadmeks numbriga 0, mis seadmete paigutamise kõikide variantide korral loetakse asetatuks kohale  $p = 0$ . Analoogiliselt loeme jaoskonna valmistoodangu ladu seadmeks numbriga  $t + 1$ , mis alati paikneb kohal  $p = t + 1$ . Seega ülesande lahendamisel tuleb alati lugeda  $a_{0,0} = 1$  ja  $a_{t+1, t+1} = 1$ .

Olukord ei muutu, kui jaoskonnas on vaid üks ühine ladu nii töötlemist vajavale materjalile kui ka valmistoodangule.

Sel juhul tuleb teda samuti vaadelda seadmena, mis paikneb kindlaksmääratud kohal.

Reaalses jaoskonnas võib ladu hoopis puududa. Näiteks esineb selline olukord läbiveo korral, kui poolfabrikaadid saavad jaoskonda transiidina ja samuti väljuvad jaoskonnast. Sel juhul tuleb võtta kasutusele tinglikud seadmed tinglikel kohtadel, mis määravad jaoskonda saabuvate poolfabrikaatide saabumispunkti ja valmistoodangu väljumispunkti.

Praktikas võib tekkida vajadus mõned seadmed, mis täidavad ühtesid või teisi tehnoloogilisi operatsioone, paigutada kindlatele kohtadele. See võib olla seoses töökaitsenõuetega või mõne muu asjaoluga. Sel juhul tuleb kõikide lahendite juures võtta  $a_{j,p} = 1$ , eeldades, et  $j'$  on fikseeritud seadme number ja  $p'$  selle koha number, kuhu ta tuleb kinnistada.

Nagu eelnevast nähtub, ei mauda mõningate seadmete kindla paigutamise vajadus ülesande püstitust ega selle formaliseerimist. Neid lisatingimusi tuleb arvestada vaid lähteinformatsiooni ettevalmistamisel ülesande lahendamiseks.

Kitsendused (1) kujutavad endast 2t lineaarsest võrrandist koosnevat süsteemi  $t^2$  tundmatuga. On teada, et sellised süsteemid, milles tundmatute arv on suurem võrrandite arvust, osutuvad määramatuteks, s.t. neil on lõpmata palju lahendeid. Kuid süsteem (1) ei osutu määramatuks selle sõna täies tähenduses. Tema lahendamisel tuleb arvestada lisakitsendusi suurustele  $a_{j,p}$ : nad võivad omandada vaid täisarvulisi väärtusi 0 ja 1.

Sellest tingituna süsteemil (1) ei ole lõpmatu, vaid lõplik hulk lahendeid. Nende arv on võrdne seadmete arvu faktoriaaliga  $t!$ , s.t. määratakse seadmete kõikvõimalike

überpaigutuste arvuga kohtadel.

Kuigi kitsendus lahendeile oluliselt vähendab süsteemi (1) lahendite hulka, ei kergenda see seadmete paigutamise optimaalse variandi leidmist. Kui  $t = 10$ , siis  $t! = 3\,628\,800$ , kui aga  $t = 20$ , siis seadmete paigutamise variantide arv ületab  $2 \cdot 10^{18}$ . Kui  $t > 15$ , siis seadmete paigutamise kõigi variantide läbivaatamine ja neist parima välja valimine nõuab sellise hulga loogilisi ja aritmeetilisi operatsioone, mille sooritamiseks mingi arvestatava aja jooksul ei ole suuteline ükski olemasolev ega ka perspektiivne arvuti [6].

Siit on selge, et seeriatootmise jaoskonna seadmete optimaalse paigutamise ülesande lahendamisel tuleb kasutada matemaatilise planeerimise meetodeid, mille rakendamisel on võimalik oluliselt vähendada läbivaadatavate lahendusvariantide hulka.

Funktsioon V on mittelineaarne. Ta iseloomustab veosekäibe muutumist sõltuvalt seadmete paigutamise variandist ilmutamata kujus.

§ 2. Überpaigutusmeetod 1

Überpaigutusmeetodi 1 kasutamisel lähtutakse seadmete teatavast alpaigutusest jaoskonnas. Kui optimeeritakse seadmete paigutust juba eksisteerivas jaoskonnas, võetakse aluseks seadmete olemasolev paigutus. Kui optimeeritakse seadmete paigutust mõnes projekteeritavas jaoskonnas, võetakse aluseks kas juhuslik või mingitel intuiitivsetel kaalutlustel sobivana tunduv paigutus. Seejärel vaadatakse sihipäraselt läbi teatav hulk seadmete paigutamise variante.

Erinevad variandid saadakse mingi kahe seadme kohe vahetamisega, kusjuures iga kord lähtutakse seadmete algaigutusest. Et ümberpaigutused oleksid kindlasuunalised, on otstarbekas teha seadmete vahetusi järgmiselt: esimene seade vahetada järjest teise, kolmanda, neljanda jne. seadmega, seejärel teine seade vahetada kolmanda, neljanda jne. seadmega ning lõpuks vahetada eelviimane seade viimasega. Algaigutusest selliselt saadavate variantide arv on  $t(t - 1)/2$ , kus  $t$  on seadmete üldarv.

Seadmete paigutamise variante hinnatakse sihifunktsiooni  $V$  väärtuse põhjal: mida väiksem on nimetatud funktsiooni väärtus, seda parem on seadmete paigutamise variant. Ka seadmete algaigutuse iseloomustamiseks arvutatakse talle vastav sihifunktsiooni väärtus.

Pärast  $t(t - 1)/2$  - kordset ümberpaigutamist on kõik vahetused, lähtudes algaigutusest, tehtud. Nüüd võetakse uueks seadmete algaigutuseks see variant, mille korral sihifunktsioon omandas vähima väärtuse ning alustatakse ümberpaigutusi uuesti.

Protsess kestab seni, kui järjekordsest algaigutusest lähtudes enam ei saada eelkirjeldatud ümberpaigutustega ühtki paremat varianti. Sellega ongi variantide läbivaatamine lõppenud. Parimaks variandiks on sel juhul viimane algaigutus.

Antud meetod ei garanteeri seadmete paigutamise optimaalse variandi leidmist. Seda läbivaadatavate variantide hulgas ei pruugi olla, kuna viimane sõltub seadmete esialgsest paigutusest. Mingi teise algaigutuse korral võib jõuda teistsuguse, võimalik, et parema tulemuseni.

Pole ka välistatud võimalus, et seadmete paigutamise optimaalse variandi leidmiseks tuleks ümber paigutada mitte kaks, vaid rohkem seadet korraga. Seda aga ei saa antud meetodi kasutamisega kindlaks teha.

Ümberpaigutusmeetodi formaalseks esitamiseks moodustatakse kaks txt ruutmaatriksit  $X = \begin{bmatrix} X_{pq} \end{bmatrix}$  ja  $S = \begin{bmatrix} S_{pq} \end{bmatrix}$ . Vaatleme kõigepealt nende maatriksite moodustamist ning struktuuri.

Maatriks X olgu töökohtade vaheliste kauguste maatriks. Tema iga element  $X_{pq}$  väljendab kohtade p ning q vahelist kaugust. Kuna kohtade p ja q ning kohtade q ja p vahelised kaugused on võrdsed, siis  $X_{pq} = X_{qp}$ . Maatriksi X peadiagonaali elemendid on nullid, sest kaugus ühe ja sama koha vahel on null. Järelikult on kauguste maatriks X sümmeetriline.

Maatriks S olgu seadmete vahel teatavas ajavahemikus transporditavate esemete kaalude maatriks. Tema iga element  $S_{pq}$  väljendagu raskust, mis teatava ajavahemiku jooksul transporditakse p-ndale ja q-ndale kohale paigutatud seadmete vahel (mitte ühelt seadmelt teisele!). Näiteks kui 3. kohale paigutatud seadmelt transporditakse mingil plaanilisel perioodil 8. kohale paigutatud seadmele raskus 10 tonni, aga 8. kohale paigutatud seadmelt 3. kohale paigutatud seadmele 17 tonni, siis summaarne raskus, mis transporditakse 3. ja 8. kohale paigutatud seadmete vahel, on 27 tonni. Seda väljendavad kaalude maatriksi S elemendid  $S_{3,8} = S_{8,3} = 27$ . Maatriksi S peadiagonaali elemendid on nullid, peadiagonaali suhtes sümmeetriliselt paiknevad elemendid aga võrdsed ning seega kaalude maatriks S on sümmeetriline.

Sihifunktsioonile  $V$ , mis väljendab veosekäivet jaoskonnas seadmete paigutamise  $g$ -nda variandi korral, saame anda uue kuju. Korrutades maatriksite  $S$  ja  $X$  vastavad elemendid omavahel ning seejärel summeerides korrutised, saame antud jaoskonna kahekordse veosekäibe:

$$\sum_{p=1}^t \sum_{q=1}^t S_{pq} X_{pq} = 2V$$

Sihifunktsiooni ühekordse väärtuse saamiseks tuleb piirduda vaid ülalpool (allpool) peadiagonaali paiknevate elementidega:

$$V = \sum_{p < q} \sum_q S_{pq} X_{pq} \quad (3)$$

Vahetame kaalude maatriksi kaks mingit rida omavahel, näiteks 1. ja 2. rea. Et säiliks sümmeetria, tuleb vahetada ka samade järjekorranumbritega veerud, antud näite puhul 1. ja 2. veerg. Saadud kaalude maatriks vastab olukorrale jaoskonnas, kus vahetatud ridade ja veergude järjekorranumbreile vastavail kohtadel on seadmed ümber paigutatud. Meie näite puhul on 1. kohal paiknev seade paigutatud 2. kohale, aga seal olnud seade 1. kohale.

Järelikult maatriksi  $S$  selline formaalne muutmine väljendabki kahe seadme ümberpaigutust kohtadel. Valemi (3) abil arvutatud  $V$  väärtus väljendab uuele paigutusele vastavat veosekäivet.

Kooskõlas eelnevaga võib nüüd anda ümberpaigutusmeetodi formaalse kirjelduse:

1. Vahetada lähtemaatriksis  $S_0$  mingid kaks rida  $p$  ja  $q$ .
2. Vahetada saadud maatriksis veerud  $p$  ja  $q$ . Tähistame

saadud maatriksi  $S(p, q)$ -ga.

3. Arvutada maatriksile  $S(p, q)$  vastav sihifunktsiooni  $V$  väärtus.
4. Korrata eelnevaid samme  $t(t-1)/2$  korda, teostades järjest maatriksi  $S_0$  ridade ja veergude vahetusi kõigi  $p < q$  korral.
5. Leida 3. sammul arvutatud sihifunktsiooni  $V$  väärtusest vähim ning sellele vastav maatriks  $S_1$ .
6. Võtta maatriks  $S_1$  uueks lähtemaatriksiks ja pöörduda taas 1. sammu juurde.

Iteratiivne ümberpaigutusprotsess kestab seni, kuni sihifunktsiooni  $V$  vähim väärtus  $V_h$   $h$ -ndal iteratsioonisammul ei osutu väiksemaks eelmisel iteratsioonisammul saadud vähimast väärtusest  $V_{h-1}$ .

### § 3. Ümberpaigutusmeetod 2

Ümberpaigutusmeetod 2 on väga sarnane eelmise meetodiga. Vaatleme vaid erinevust nende vahel.

Meetodi 1 puhul võetakse uueks algaigutuseks pärast  $t(t-1)/2$  - kordset ümberpaigutamist parim saadud variant juhul, kui see osutub algaigutusest paremaks ja alustatakse ümberpaigutusi uuesti.

Ümberpaigutusmeetod 2 lähtub samuti seadmete teatavast algaigutusest ja erinevad variandid saadakse mingi kahe seadme koha vahetamisega. Meetodi 2 puhul ei vaadata läbi kõiki antud algaigutusest ümberpaigutustega saadavaid variante. Niipea, kui mingi variant osutub algaigutusest paremaks, võetakse see uueks algaigutuseks.

Ka meetodi 2 puhul lõpeb variantide läbivaatamine pärast

sellise alpaigutuse leidmist, millest lähtudes pärast  $t(t - 1)/2$  - kordset ümberpaigutamist ei leita ühtki paremat varianti.

§ 4. Meetod MAT

Meetod MAT [4] baseerub järgmisel teoreemil.

Teoreem. Olgu antud kaks reaalarvuliste koordinaatidega vektorit  $\vec{u} = (u_1, \dots, u_m)$  ja  $\vec{v} = (v_1, \dots, v_m)$ . Vektori  $\vec{u}$  kahe suvalise koordinaadi vahetamisel saadud vektori ja vektori  $\vec{v}$  skalaarkorrutis ei saa olla väiksem vektorite  $\vec{u}$  ja  $\vec{v}$  skalaarkorrutisest parajasti siis, kui kehtib võrratus

$$(u_k - u_l)(v_k - v_l) \leq 0 \quad (k, l = 1, \dots, m).$$

Väite õigsus tuleneb järgmisest samasusest

$$(u_k v_k + u_l v_l) - (u_k v_l + u_l v_k) = (u_k - u_l)(v_k - v_l) .$$

Järeldus. Kahe järjestatud sama võimsusega reaalarvude hulga paariviisi korrutiste summa on minimaalne, kui üks neist hulkadest on järjestatud mittekahanevalt, teine aga mittekasvavalt.

Vaadeldava meetodiga leitakse seadmete suboptimaalne paigutus jaoskonnas. Meetod arvestab samuti nagu meetodid 1 ja 2 seadmete kohtadele määramisel kohtadevahelisi kaugusi jaoskonnas ja seadmete vahel teatava ajavahemiku jooksul transporditavaid raskusi.

Meetodi algoritmi andmisel kasutatakse kauguste maatriksit  $X = \|X_{pq}\|$  ja kaalude maatriksit  $S = \|S_{pq}\|$ . Sihifunktsioonina kasutatakse funktsiooni

$$V = \sum_{p < q} \sum_q S_{pq} X_{pq} \quad .$$

Soodsaimaks seadmete paigutamise variandiks loetakse sellist, mille korral sihifunktsioon  $V$  saab vähima väärtuse.

### Algoritmi kirjeldus.

Olgu antud kauguste maatriks  $X = \|X_{pq}\|$  ja kaalude maatriks  $S = \|S_{pq}\|$  ( $p, q = 1, \dots, t$ ). Need on txt sümmeetrilised ruutmaatriksid, mille peadiagonaalil on null-elementid.

Otsime seadmete sellist paigutust, mille korral sihifunktsioon  $V$  omandab vähima väärtuse.

1. Vajaduse korral paigutada nõutavad seadmed spetsiaalsetele kohtadele.

2. Järjestada maatriksi  $S$  elementid  $S_{pq}$  ( $p < q$ ) suurimast vähimani ja maatriksi  $X$  elementid  $X_{pq}$  ( $p < q$ ) vähimast suurimani.

3. Olgu  $m = t(t - 1)/2$  ja  $B$   $m \times 2$  maatriks, mille esimese veeru elementideks on kahanevalt järjestatud  $S_{pq}$ -dele vastavad rea- ja veeruindeksid, teise veeru elementideks aga kahanevalt järjestatud  $X_{pq}$ -dele vastavad veeruindeksid.

Analoogiliselt olgu  $Y$   $m \times 2$  maatriks, mille elementideks on kasvavalt järjestatud  $X_{pq}$ -dele vastavad rea- ja veeruindeksid.

4. Alustades maatriksi  $B$  esimesest reast, uurida järjest ridu nelja alljärgneva tingimuse seisukohalt:

- a) kui antud rea elementidele vastavate numbritega seadmetest pole kumbki kohale määratud ja üldse on rohkem kui kaks seadet kohtadele määramata, siis eraldada vaadeldavale reale vastavad seadmed määrata.

miseks ja minna 5. sammu juurde;

- b) kui antud reale vastavatest seadmetest pole kumbki kohale määratud ja need on kaks ainust seadet, mis on veel paigutamata, siis minna 9. sammu juurde;
- c) kui vaid üks antud reale vastavatest seadmetest on kohale määratud, siis minna 10. sammu juurde;
- d) olgu mõlemad antud rea elementidele vastavad seadmed kohtadele määratud. Kui kõik  $t$  seadet pole veel kohtadele määratud, alustada maatriksi B järgmise rea analüüsi sammust 4a; kui aga kõik seadmed on kohtadele paigutatud, siis on määramine lõppenud.

5. Jätkata maatriksi B ridade uurimist, kuni leitakse rida, milles üks element võrdub sammul 4a eraldatud seadme numbriga, teine element aga mingi veel määramata seadme numbriga. Eraldada ka sellele reale vastavad seadmed määramiseks.

6. Alustades maatriksi Y esimesest reast, uurida igale reale vastavaid kohti. Leides rea, mille elementidele vastavad kohad on vabad, eraldada need kohad seadmete paigutamiseks sinna.

7. Jätkata maatriksi Y ridade uurimist. Leides rea, mille elementidele vastavatest kohtadest üks on eraldatud 6. sammul, teine aga on vaba, eraldada ka sellele reale vastavad kohad seadmete paigutamiseks.

8. Oletame, et seadmed  $i$  ja  $j$  on eraldatud sammul 4a ning seadmed  $n$  ja  $j$  sammul 5. Veel oletame, et 6. sammul eraldatud kohad on  $p$  ja  $q$  ja 7. sammul kohad  $q$  ja  $r$ .

Teostada seadmete kohtadele määramine vastavalt tabelile

Seade	Koht
i	p
j	q
n	r

ja minna ll. sammu juurde.

9. Meelevaldselt paigutada kaks veel kohtadele määrata seadet kahele vabale kohale. Arvutada sihifunktsiooni V väärtus ja seejärel vahetada kaks viimati määratud seadet. Arvutada uuesti sihifunktsiooni V väärtus. Määrata kaks viimast seadet kohale nii, et sihifunktsioon V omandaks väiksema väärtuse. Minna ll. sammu juurde.

10. Alustades maatriksi Y esimesest reast, uurida järjest iga rida, kuni leitakse rida, mille elementidele vastavatest kohtadest ühele on määratud sammul 4c vaatluse all olnud seade, teisele aga pole määratud seadet. Määrata sellele vabale kohale sammul 4c vaatluse all olnud veel kohale määramata seade.

11. Veenduda, kas kõik t seadet on paigutatud kohtadele. Kui mitte, siis minna 4. sammu juurde. Vastasel juhul on seadmete kohtadele paigutamine lõppenud.

Näide 1. Olgu seadmete (kohtade) arv  $t = 5$ , kauguste maatriks

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 5 & 20 & 10 \\ 4 & 0 & 30 & 9 & 7 \\ 5 & 30 & 0 & 12 & 3 \\ 20 & 9 & 12 & 0 & 10 \\ 10 & 7 & 3 & 10 & 0 \end{pmatrix}$$

ja alpaigutusele vastav kaalude maatriks

$$S = \begin{vmatrix} 0 & 10 & 19 & 6 & 20 \\ 10 & 0 & 27 & 7 & 19 \\ 19 & 27 & 0 & 5 & 11 \\ 6 & 7 & 5 & 0 & 3 \\ 20 & 19 & 11 & 3 & 0 \end{vmatrix}$$

Korrutades maatriksite X ja S ülalpool peadiagonaali paiknevad vastavad elemendid ning summeerides korrutised, leitakse alpaigutusele vastav sihifunktsiooni V väärtus 1584.

Indeksite maatriksite B ja Y ridade arv  $m = 5 \cdot 4 : 2 = 10$ .

Suurimast vähimani järjestatud kaalude maatriksi S ülalpool peadiagonaali paiknevad elemendid on 27, 20, 19, 19, 11, 10, 7, 6, 5, 3.

Vähimast suurimani järjestatud kauguste maatriksi X ülalpool peadiagonaali paiknevad elemendid on 3, 4, 5, 7, 9, 10, 10, 12, 20, 30.

Indeksite maatriksid on

$$B = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 5 \\ 1 & 3 \\ 2 & 5 \\ 3 & 5 \\ 1 & 2 \\ 2 & 4 \\ 1 & 4 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \end{vmatrix} \quad \text{ja} \quad Y = \begin{vmatrix} 3 & 5 \\ 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 2 & 5 \\ 2 & 4 \\ 1 & 5 \\ 4 & 5 \\ 3 & 4 \\ 1 & 4 \\ 2 & 3 \end{vmatrix}$$

Eraldame määramiseks maatriksi B esimesele reale vastavad seadmed 2 ja 3 ning lisaks veel seadme 1 (3. rida). Seega  $i = 2$ ,  $j = 3$  ja  $n = 1$ . Seejärel eraldame seadmete paigutamiseks maatriksi Y esimesele reale vastavad kohad

3 ja 5 ning koha 1 (3. rida). Seega  $p = 5$ ,  $q = 3$  ja  $r = 1$ . Vastavalt algoritmi 8. sammule tuleb 2. seade paigutada 5. kohale, 3. seade 3. kohale, 1. seade 1. kohale. Kuna kõik 5 seadet pole veel kohtadele määratud, siis uurime matriksi B 2. rida. 1. seade on määratud 1. kohale, 5. seade aga on määramata. Uurime matriksit Y. 1. reale vastavad kohad on hõivatud. 2. reale vastavatest kohtadest ongi üks 1. seadme koht, teine aga vaba. Vastavalt algoritmi 10. sammule tuleb 5. seade paigutada 2. kohale. 4. seade tuleb määrata ainsale vabale, s.o. 4. kohale. Sihifunktsiooni V väärtus sellise seadmete paigutuse korral on 1096.

Viie seadme viiele kohale paigutamiseks on  $5! = 120$  võimalust. Meetodiga MAT leitud variant on paremuselt neljas. Parim on järgmine variant:

- 1. seade 2. kohale,
- 2. - " - 3. - " - ,
- 3. - " - 5. - " - ,
- 4. - " - 4. - " - ,
- 5. - " - 1. - " - .

Sellise seadmete paigutamise variandi korral  $V = 1047$ . Nende variantide korral, mis on meetodiga MAT saadud variandist paremad, on sihifunktsiooni V väärtused 1071 ja 1077. Halvima paigutuse korral  $V = 1813$ .

Näide 2. Olgu  $t = 5$ ,

$$X = \begin{vmatrix} 0 & 10 & 5 & 20 & 4 \\ 10 & 0 & 3 & 10 & 7 \\ 5 & 3 & 0 & 12 & 30 \\ 20 & 10 & 12 & 0 & 9 \\ 4 & 7 & 30 & 9 & 0 \end{vmatrix} \quad \text{ja}$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 19 & 6 & 3 \\ 10 & 0 & 27 & 7 & 19 \\ 19 & 27 & 0 & 5 & 11 \\ 6 & 7 & 5 & 0 & 20 \\ 3 & 19 & 11 & 20 & 0 \end{pmatrix}$$

Indeksite matriksid on

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 4 & 5 \\ 1 & 3 \\ 2 & 5 \\ 3 & 5 \\ 1 & 2 \\ 2 & 4 \\ 1 & 4 \\ 3 & 4 \\ 1 & 5 \end{pmatrix} \quad \text{ja} \quad Y = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 5 \\ 1 & 3 \\ 2 & 5 \\ 4 & 5 \\ 1 & 2 \\ 2 & 4 \\ 3 & 4 \\ 1 & 4 \\ 3 & 5 \end{pmatrix}$$

Algpaigutusele vastav sihifunktsiooni V väärtus on 1181.

Eraldame määramiseks matriksi B 1. reale vastavad seadmed 2 ja 3 ning seadme 1 (3. rida).  $i = 2, j = 3, n = 1$ . Seejärel eraldame matriksi Y 1. reale vastavad kohad 2 ja 3 ning koha 1 (3. rida).  $p = 2, q = 3, r = 1$ . Vastavalt algoritmi 8. sammule tuleb 2. seade paigutada 2. kohale, 3. seade 3. kohale, 1. seade 1. kohale. Kuna kõik 5 seadet pole veel kohtadele määratud, siis uurime matriksi B 2. rida. Seadmed 4 ja 5 on mõlemad kohtadele määramata ja nad on ühtlasi kaks viimast seadet, mis tuleb paigutada. Vabad on veel kohad 5 ja 4. Kui paigutame 4. seadme 4. kohale ja 5. seadme 5. kohale, siis saame algpaigutuse, mille korral  $V = 1181$ . Kui aga paigutame 4. seadme 5. kohale ja 5. seadme 4. kohale, siis  $V = 1061$ . Algoritmi 9. sammu kohaselt tuleb 4. seade paigutada 5. kohale ja 5. seade 4. kohale. Sellega on seadmete paigutamine lõppenud.

§ 5. Meetodi MAT modifikatsioon

Käesoleva meetodiga leitakse seadmete suboptimaalse paigutamise mõned variandid.

See meetod põhineb oluliselt meetodil MAT. Viimase meetodi puhul järjestatakse kaalude ja kauguste maatriksi ülalpool peadiagonaali paiknevad elemendid vastavalt mittekasvavalt ja mittekahanevalt. Seadmete suboptimaalse paigutamise variandi leidmisel kasutatakse kaalude ja kauguste maatriksi järjestatud elementide ( $p < q$ ) indekseid, mis moodustavad kaheveerulised indeksite maatriksid B ja Y. Nende maatriksite 1. veerus paiknevad järjestatud elementidele vastavad rea-, 2. veerus aga veeruindeksid. Sellega on korraldatud üks-ühene vastavus maatriksi B (maatriksi Y) ridade ja kaalude (kauguste) maatriksi järjestatud elementide vahel.

Meetodi MAT algoritm ei määra kindlaks, kumba kaalude (kauguste) maatriksi kahest võrdsest elemendist ( $p < q$ ) lugeda teisele eelnevaks. See on suvaline.

Olenevalt järjestamise organiseerimisest saadakse maatriksite S ja X ülalpool peadiagonaali paiknevate elementide teatav järjestus. Sellele vastavalt paiknevad indeksid maatriksite B ja Y ridades.

Kui kaalude maatriksis S (kauguste maatriksis X) on ülalpool peadiagonaali võrdseid elemente, siis neile elementidele vastavad indeksid paiknevad maatriksi B (maatriksi Y) vahetult üksteisele järgnevais ridades.

Seadmete paigutamise suboptimaalse variandi väljatöötamisel opereerib meetod MAT indeksite maatriksitega B ja Y. Vastavalt meetodi MAT algoritmile vaadeldakse nende

maatriksite ridu alates esimesest. Seadmete paigutamise variant leitakse enamasti enne, kui indeksite maatriksites ridade vaatlemisel viimasteni jõutakse. Meetodi MAT puhul sõltub leitav seadmete paigutamise suboptimaalne variant üldse sellest, milliste elementide indeksid on eespoolsetes ridades. Kui kaalude ja kauguste maatriksi ülalpool peadiagonaali paiknevad elemendid kõik üksteisest erinevad, siis on indeksite maatriksid B ja Y meetodi MAT algoritmiga üheselt määratud. Juhul, kui aga esineb võrdseid elemente, oleneb vaid järjestamisviisist, millise elemendi indeksid satuvad ettepoole, millised tahapoole. Järelikult võib võrdsete elementide järjestamisviisist olenevalt anda meetod MAT seadmete paigutamise erinevaid variante.

Kui maatriksite mõõtmed on suured, siis järjestamine on küllaltki aeganõudev protsess. Seepärast ei ole otstarbekas otsida mitmesuguseid erinevaid järjestamismeetodeid, kuigi see oleks üks võimalus, et saada meetodiga MAT uusi seadmete suboptimaalse paigutamise variante. Otstarbekam on kord juba saadud järjestuse mõningane muutmine. Maatriksite elementide järjestuse muutmine peab peegelduma ka indeksite maatriksites. Seal paigutuvad lihtsalt read ümber vastavalt sellele, kuidas muutub maatriksite elementide järjestus.

Indeksite maatriksites B ja Y vahetult teineteisele järgnevad read vastavad kas võrdsetele või suhteliselt vähe erinevatele elementidele.

Vahetades indeksite maatriksis mingid kaks teineteisele järgnevat rida omavahel ja kasutades saadud indeksite maatriksit meetodiga MAT seadmete paigutamise variandi leidmisel, võib saada variant osutada erinevaks, sageli ka paremaks esialgu leitust. Algsest erineva tulemuse saame peaaegu alati,

kui vahetame omavahel kas maatriksis B või maatriksis Y kaks esimest rida.

Algoritmi kirjeldus

Sammud 1-11 ühtivad meetodi MAT algoritmi vastavate sammudega.

- 12. Võtta muutja  $k$  võrdseks 1-ga.
- 13. Vahetada maatriksi B read  $k$  ja  $k+1$ . Korrata samme 4-11.
- 14. Vahetada maatriksi B read  $k$  ja  $k+2$ . Korrata samme 4-11.
- 15. Suurendada muutujat  $k$  ühe võrra.
- 16. Kui  $k \leq \left\lfloor \frac{t}{2} \right\rfloor$ , siis minna 13. sammu juurde. Vastasel korral on kõik variandid leitud.

13. ja 14. sammul võib indeksite maatriksi B asendada maatriksiga Y.

Antud algoritmi korral vahetatakse vaid  $\left\lfloor \frac{t}{2} \right\rfloor$  esimest rida. Näiteülesannete puhul ilmnes, et kui minna ridade vahetamisega kaugemale, siis saadakse enamasti alguses esinenud variante.

Näide 3. Lähtume näites 1 esinenud maatriksitest S ja X.

Algoritmi sammude 1-11 kohaselt moodustatakse maatriksid B ja Y ning leitakse viie seadme paigutamise selline variant, mis ühtib näites 1 saadud variandiga.

13. sammu kohaselt vahetatakse maatriksi B kaks esimest rida omavahel. Saadakse maatriks

1	5
2	3
1	3
2	5
3	5
1	2
2	4
1	4
3	4
4	5

Kasutades saadud maatriksit maatriksi B asemel algoritmi sammudel 4-11, saadakse seadmete paigutamise järgmine variant:

- 1. seade 3. kohale,
- 2. -"- 2. -"- ,
- 3. -"- 1. -"- ,
- 4. -"- 4. -"- ,
- 5. -"- 5. -"- .

Sellele seadmete paigutamise variandile vastav sihi-funktsiooni V väärtus on 1071. Seega saadud variant on parem näites 1 leitud variandist.

Kui vahetame maatriksi B 1. ja 3. rea omavahel, saame maatriksi

1	3
1	5
2	3
2	5
3	5
1	2
2	4
1	4
3	4
4	5

Korrates algoritmi samme 4-11, saadakse seadmete paigutamise

uus variant:

1. seade 3. kohale,
2. -"- 2. -"- ,
3. -"- 5. -"- ,
4. -"- 4. -"- ,
5. -"- 1. -"- .

Sihifunktsiooni  $V$  väärtus selle seadme paigutuse korral on 1077.

Kuna  $\lceil t/2 \rceil = 2$ , siis vastavalt algoritmi sammule 13 tuleb vahetada maatriksi  $B$  2. ja 3. rida omavahel ning leida saadud maatriksi abil seadmete paigutamise variant. 14. sammu kohaselt tuleb viimasena vahetada maatriksi  $B$  2. ja 4. rida omavahel ning leida viimane variant.

Eelviimane variant ühtib juba näites 1 ja ka antud näites leitud seadmete paigutamise 1. variandiga, mille korral  $V = 1096$ .

Viimasena saadakse aga optimaalne variant:

1. seade 2. kohale,
2. -"- 3. -"- ,
3. -"- 5. -"- ,
4. -"- 4. -"- ,
5. -"- 1. -"- , mille korral sihifunktsiooni  $V$

väärtus on 1047.

## § 6. Järjestamismeetod

Seadmete paigutamise probleem seisneb alati selles, kuidas korraldada kahe erinevate objektide hulga, seadmete ja kohtade, vahel ühe-ühest vastavust. Vastavuse korraldamisel peetakse silmas mingit objektiivset kriteeriumi, mida

püütakse võimalikult paremini rahuldada. Seadmete paigutamisel tahetakse enamasti minimeerida veosekäivet jaoskonnas, kuna sellest sõltuvad oluliselt mitmed teisedki tehnilis-majanduslikud näitajad.

Järjestamismeetodi puhul järjestatakse lineaarselt 2 erinevat hulka: seadmete ja kohtade hulgad.

Olgu seadmete ja kohtade hulgad lineaarselt järjestatud. Nõutakse, et seadmete järjestuses  $i$ -ndal kohal olev seade tuleb alati paigutada kohtade järjestuses  $i$ -ndal kohal olevale kohale ( $i = 1, \dots, t$ ).

Kõigepealt järjestatakse seadmete hulk, kusjuures leitakse kaks erinevat seadmete järjestust. Seejärel leitakse kaks erinevat kohtade järjestust. Kasutades saadud seadmete ja kohtade järjestusi ning arvestades eelnevat nõuet seadmete paigutamise jaoks, leitakse seadmete kohtadele paigutamise neli varianti.

Seadmete järjestamisel loetakse mõlemal juhul kaheks esimeseks seadmeks need, mille vahel transporditakse kõige suurem raskus. Kohtade järjestamisel loetakse kaheks esimeseks need kohad, mis asuvad teineteisele kõige lähemal. Kõigi nelja seadmete paigutamise variandi korral paiknevad need 2 seadet, millede vahel transporditakse kõige suurem raskus, teineteisele kõige lähemal olevail kohtadel.

Kui järjestuse 1. seade on kindlaks määratud, määratakse järjestuses järk-järgult kõik järgnevad seadmed. Järjestuses antud seadmele vahetult järgnevaks seadmeks valitakse veel järjestamata seadmete hulgast välja see, mille korral raskus, mis transporditakse antud seadme ja väljavalitud seadme vahel, ei ole väiksem ühestki raskusest, mis transporditakse antud seadme ja teiste veel järjestamata seadmete vahel.

Analoogiliselt kulgeb kohtade järjestamise protsess.

Järjestuses antud kohale vahetult järgnevas kohaks valitakse veel järjestamata kohtade seast lähim, või kui võrdsel kaugusel on mitu kohta, siis üks neist.

Järjestamismeetod lähtub seadmete mingist alpaigutusest kohtadele. Seadmed ja kohad nummerdatakse nii, et alpaigutuse korral 1. seade asuks 1. kohal, 2. seade 2. kohal jne.

Matemaatiliselt iseloomustavad seadmete alpaigutust jaoskonnas kaalude maatriks  $S = \|S_{pq}\|$ , kauguste maatriks  $X = \|X_{pq}\|$  ning sihifunktsiooni  $V = \sum_{p < q} \sum_q S_{pq} X_{pq}$  väärtus.

Saadud seadmete paigutamise nelja variandi hindamiseks arvutatakse neile variantidele vastavad sihifunktsiooni  $V$  väärtused.

Seadmete paigutamise variantidest (kaasa arvatud alpaigutus), tuleb valida see, mille korral sihifunktsiooni väärtus on vähim.

Seadmete järjestamisel lähtutakse alpaigutusele vastavast kaalude maatriksist  $S$ , kohtade järjestamisel aga kauguste maatriksist  $X$ .

### Algoritmi kirjeldus

1. Leida kaalude maatriksi  $S$  suurim element  $S_{ij}$ .
2. Võtta seade numbriga  $i$  seadmete  $I$  järjestuse 1. seadmeks, seade numbriga  $j$  2. seadmeks.
3. Omistada muutujale  $k$  väärtus  $j$ .
4. Eraldada välja kaalude maatriksi  $S$   $k$ -nda rea need elemendid, millede veeruindekseile vastavate numbritega seadmed pole veel järjestuses.

5. Leida väljaeraldatud elementide seast suurim ja võtta muutuja  $k$  võrdseks selle elemendi veeruindeksiga.
6. Võtta seade numbriga  $k$  järjestusse.
7. Kui kõik  $t$  seadet ei ole veel järjestuses, korrata samme 4-6.
8. Võtta seade numbriga  $j$  seadmete II järjestuse 1. seadmeks, seade numbriga  $i$  2. seadmeks.
9. Omistada muutujale  $k$  väärtus  $i$ .
10. Teha sammud 4-7.
11. Leida kauguste matriksi  $X$  vähim element  $X_{pq}$ .
12. Võtta koht numbriga  $p$  kohtade I järjestuse 1. kohaks, koht numbriga  $q$  2. kohaks.
13. Omistada muutujale  $k$  väärtus  $q$ .
14. Määrata kauguste matriksi  $X$   $k$ -nda rea need elemendid, millede veeruindekseile vastavate numbritega kohad pole veel järjestuses.
15. Leida 14. sammul saadud elementide seast vähim ja võtta muutuja  $k$  võrdseks selle elemendi veeruindeksiga.
16. Võtta koht numbriga  $k$  järjestusse.
17. Kui kõik  $t$  kohta ei ole veel järjestuses, siis korralda samme 14-16.
18. Võtta koht numbriga  $q$  kohtade II järjestuse 1. kohaks, koht numbriga  $p$  2. kohaks.
19. Omistada muutujale  $k$  väärtus  $p$ .
20. Teha sammud 14-17.
21. Võtta vaatluse alla seadmete I järjestus ja kohtade I järjestus.
22. Arvutada saadud seadmete paigutamise variandile vastav sihifunktsiooni väärtus.
23. Võtta vaatluse alla seadmete I järjestus ja kohtade

II järjestus ning teha samm 22.

24. Võtta vaatluse alla seadmete II järjestus ja kohtade I järjestus ning teha samm 22.

25. Võtta vaatluse alla seadmete II järjestus ja kohtade II järjestus ning teha samm 22.

26. Valida sihifunktsiooni V arvutatud väärtustest vähim ja sellele vastav seadmete paigutamise variant.

27. Kui sihifunktsiooni V valitud väärtus osutub väiksemaks alpaigutusele vastavast, siis võtta eraldatud variant uueks seadmete paigutamise variandiks.

Vaatleme suvalist järjestamismeetodiga saadud seadmete paigutamise varianti.

Teostame ridade ja seejärel veergude transpositsioonid kaalude matriksis S vastavalt seadmete järjestusele ja kauguste matriksis X vastavalt kohtade järjestusele. Tähistame saadud matriksid vastavalt S'-i ja X'-ga.

Kuna matriksid S ja X on sümmeetrilised t x t ruutmatriksid nullelementidega peediagonaalil, siis on sellised ka matriksid S' ja X'. Võime vaadelda ainult ülalpool diagonaali paiknevaid matriksite S' ja X' elemente.

Matriksites S' ja X' kehtivad järgmised seosed:

$$\begin{aligned}
S'_{1,2} &\geq S'_{1,j} & , & & S'_{i,i+1} &\geq S'_{i,j} & , \\
X'_{1,2} &\leq X'_{1,j} & , & & X'_{i,i+1} &\leq X'_{i,j} \\
&&&&&&& (i = 1, \dots, t-1; \\
&&&&&&& j = i + 1, \dots, t ).
\end{aligned}$$

Praktikas esinevate seadmete paigutamise ülesannete puhul sisaldab kaalude matriks tavaliselt palju nulle. Arvestades meetodi MAT juures toodud teoreemi, on alust loota, et antud meetod annab seadmete paigutamiseks küllalt häid

variante. Selle kinnituseks on näiteülesannete lahendamisel saadud head tulemused. Seaduspäraselt on saadud neljast variandist kaks võrdlemisi head ja kaks nendega võrreldes halvemad.

Näide 4. Olgu paigutatavate seadmete arv  $t = 5$  ja algaigutusele vastav kaalude maatriks  $S$  ning kauguste maatriks  $X$  samad, mis 1. näites. Sellisel juhul algaigutusele vastav sihifunktsiooni  $V$  väärtus on 1584.

Kaalude maatriksi ülalpool peadiagonaali paiknevaist elementidest on suurim  $S_{2,3} = 27$  (temaga sümmeetria tõttu võrdne element  $S_{3,2}$  paikneb allpool peadiagonaali).

Seadmete I järjestuse esimeseks seadmeks võetakse 2. seade, teiseks seadmeks 3. seade.

3. rea elementidest  $S_{3,1}$ ,  $S_{3,4}$  ja  $S_{3,5}$  on suurim  $S_{3,1} = 19$ . Seadmete I järjestuse kolmandaks seadmeks võetakse 1. seade.

1. rea elementidest  $S_{1,4}$  ja  $S_{1,5}$  on suurem viimane. Seadmete I järjestuse neljandaks seadmeks võetakse 5. seade ja viimaseks seadmeks 4. seade.

Saine seadmete I järjestuse:

2, 3, 1, 5, 4 .

Analoogiliselt saadakse seadmete II järjestus:

3, 2, 5, 1, 4 .

Kauguste maatriksi ülalpool peadiagonaali paiknevaist elementidest on vähim  $X_{3,5} = 3$ . Kohtade I järjestuse esimeseks kohaks võetakse 3. koht, teiseks kohaks 5. koht.

5. rea elementidest  $X_{5,1}$ ,  $X_{5,2}$  ja  $X_{5,4}$  on vähim  $X_{5,2} = 7$ . Kohtade I järjestuse kolmandaks kohaks võetakse 2. koht. Kuna  $X_{2,1} < X_{2,4}$ , siis I järjestuse neljandaks

kohaks võetakse 1. koht ja viimaseks 4. koht. Seega kohtade I järjestus on järgmine:

3, 5, 2, 1, 4 .

Analoogiliselt saadakse kohtade II järjestus:

5, 3, 1, 2, 4 .

Ülevaatlikkuse mõttes koondame saadud tulemused tabelisse 1.

Tabel 1

Seadmete paigutamise variant							
I		II		III		IV	
Seadme nr.	Koha nr.	Seadme nr.	Koha nr.	Seadme nr.	Koha nr.	Seadme nr.	Koha nr.
2	3	2	5	3	3	3	5
3	5	3	3	2	5	2	3
1	2	1	1	5	2	5	1
5	1	5	2	1	1	1	2
4	4	4	4	4	4	4	4
Seadmete paigutamise variandile vastav sihifunktsiooni väärtus							
1047		1096		1096		1047	

Nagu antud näite puhul selgub, võib saadud nelja variandi seas olla ühtelangevaid.

5. seadme paigutamiseks on  $5! = 120$  erinevat varianti. Optimaalse variandi korral  $V = 1047$ , halvimal juhul  $V = 1813$ . Paremuselt neljas on variant, mille korral  $V = 1096$ . Selles näites leitud seadmete paigutamise teine ja kolmas variant langevad ühte näites 1 leitud variandiga.

Maatriksid

S' =	0	27	10	19	7	ja
	27	0	19	11	5	
	10	19	0	20	6	
	19	11	20	0	3	
	7	5	6	3	0	

X' =	0	3	30	5	12	vastavad
	3	0	7	10	10	
	30	7	0	4	9	
	5	10	4	0	20	
	12	10	9	20	0	

seadmete paigutamise I variandile.

Vektorite  $\vec{s}$  ja  $\vec{x}$  koordinaatide arv on  $5 \cdot (5 - 1) / 2 = 10$  ning matriksite  $S$  ja  $X$  abil saadud vektorid on

$$\vec{s} = (10, 19, 6, 20, 27, 7, 19, 5, 11, 3)$$

ja

$$\vec{x} = (4, 5, 20, 10, 30, 9, 7, 12, 3, 10).$$

Arvestades valemit (3), saame alpaigutusele vastava veosekäibe jaoskonnas arvutada valemiga

$$V = \sum_{k=1}^{t(t-1)/2} s_k x_k \quad (5)$$

Alpaigutusest erinevale seadmete paigutamise variandile vastab uus kaalude matriks, mis saadakse alpaigutusele vastavast kaalude matriksist selle ridade ja vastavalt ka veergude vahetamisega.

Eriti ümberpaigutusmeetodite, aga ka teiste meetodite korral, kui tuleb arvutada alpaigutusest erinevale seadmete paigutamise variandile vastav sihifunktsiooni  $V$  väärtus, on küllaltki keeruline leida vaadeldavale variandile vastavat kaalude matriksit, et seejärel arvutada sihifunktsiooni  $V$  väärtus valemi (3) abil. Pealegi tuleb uue kaalude matriksi leidmisel säilitada arvuti mälus vaheinformatsiooni.

Arvuti mälu mahu säästlikumaks kasutamiseks opereerime mitte matriksitega  $S$  ja  $X$ , vaid vektoritega  $\vec{s}$  ja  $\vec{x}$ .

Alpaigutusele vastava sihifunktsiooni  $V$  väärtuse leiame valemi (5) abil kui vektorite  $\vec{s}$  ja  $\vec{x}$  skalaarkorrutise. Alpaigutusest erineva seadmete paigutamise variandi korral tuleb summeeritavate korrutiste arvutamisel arvestada seadmete paigutamise varianti. Näites 1 tuli 2. seade paigutada 5. kohale, 3. seade 3. kohale. 2. ja 3. seadme vahel transporditava raskust iseloomustab vektori  $\vec{s}$  koordinaat  $s_k$ , kus vastavalt valemile (4) on

$$k = (2 - 1) \cdot 5 + 3 - 2 \cdot (2 + 1)/2 = 5 .$$

Kohtade 5 ja 3 vahelist kaugust väljendab vektori  $\vec{x}$  koordinaat indeksiga

$$l = (3 - 1) \cdot 5 + 5 - 3 \cdot (3 + 1)/2 = 9 .$$

Korrutis  $s_5 \cdot x_9$  väljendabki veosekäivet 2. ja 3. seadme vahel, mis on paigutatud vastavalt 5. ja 3. kohale.

Kasutades valemit (4), leitakse analoogiliselt kõikide seadmepaaride vahelised veosekäibed vaadeldava seadmete paigutamise variandi korral ning seejärel need summeeritakse. Valemi (4) kasutamisel tuleb tähele panna, et väiksema numbriga seadet (kohta) tähistab  $p$ , suurema numbriga seadet (kohta) aga  $q$ .

Kõikide antud töös esitatavate MALGOL-programmide algandmed tuleb perforeerida kolmes massiivis. Esimene massiiv koosneb ühest elemendist, mis võrdub paigutatavate seadmete arvuga  $t$ . Teise massiivi elementideks on vastavalt vektori  $\vec{s}$  koordinaadid, kolmanda massiivi elementideks aga vastavalt vektori  $\vec{x}$  koordinaadid.

Ümberpaigutusmeetodite 1 ja 2 ning meetodi MAT ja meetodi MAT modifikatsiooni realiseerimisel kasutatakse ühemõõtmelist massiivi  $W$  elementide arvuga  $t$ , mis iseloomustab seadmete paigutamise varianti. Massiivi  $W$   $i$ -s element  $W_i$  näitab, millisele kohale tuleb paigutada  $i$ -s seade ( $i = 1, \dots, t$ ).

Seadmete paigutatust ja kohtade hõivatust iseloomustavad kaks  $t$ -elemendilist massiivi  $C$  ja  $Z$ . Loeme massiivi  $C$   $i$ -nda elemendi  $C_i = 0$ , kui  $i$ -s seade on kohale määramata, ja  $C_i = 1$ , kui  $i$ -s seade on kohale määratud. Analoogiliselt

$$Z_i = \begin{cases} 0, & \text{kui } i\text{-s koht on vaba;} \\ 1, & \text{kui } i\text{-s koht on hõivatud.} \end{cases}$$

Neid kahte massiivi kasutatakse meetodi MAT ja tema modifikatsiooni realiseerimisel.

Järjestamismeetodi realiseerimisel kasutatakse nelja ühemõõtmelist massiivi, igaühes t elementi. Massiiv W1 on seadmete I järjestuse, W2 aga II järjestuse jaoks. Analoo­giliselt on massiiv WW1 kohtade esimese, WW2 aga teise järjes­ tuse jaoks.

Ümberpaigutusmeetodite 1 ja 2 ning järjestamismeetodi puhul trükitakse kõigepealt välja al­paigutusele vastav sihi­ funktsiooni V väärtus.

Kui lülitada puldilt võti 100, siis ümberpaigutusmee­ todite korral trükitakse välja järjest parematele seadmete paigutamise variantidele vastavaid massiive W ja sellele variandile vastav sihifunktsiooni väärtus. Olenemata sellest, kas võti 100 on lülitatud või mitte, trükitakse lõpuks välja parimale selle meetodiga leitavale seadmete paigutamise variandile vastav massiiv W ja sellele variandile vastav sihifunktsiooni V väärtus.

Meetodi MAT puhul trükitakse leitud variandile vastav sihifunktsiooni väärtus ja massiiv W.

Meetodi MAT modifikatsiooni puhul trükitakse kõigepealt välja esimesele leitud variandile vastav sihifunktsiooni väärtus ja sellele variandile vastav massiiv W. Seejärel trükitakse välja nendele variantidele vastavad sihifunktsioo­ ni väärtused ja massiivid W, mille korral sihifunktsiooni väärtus pole esimesest leitud väärtusest suurem.

Järjestamismeetodi puhul trükitakse välja seadmete pai­ gutamise variant arvupaaridena: esimene arv tähistab seadet ja teine seda kohta, kuhu antud seade tuleb paigutada. Lõ­ puks trükitakse välja variandile vastav sihifunktsiooni

### III peatükk

## SEADMETE PLANEERIMISE MEETODITE REALISEERIMINE ARVUTIL

MINSK-22

Kõikide antud töös käsitletavate seadmete paigutamise meetodite puhul esitatakse lähteinformatsioon kahe sümmeetrilise ruutmaatriksina, mille peadiagonaalil on nullelemendid: kaalude maatriksina  $S$  ja kauguste maatriksina  $X$ . Maatriksi  $S$  iga element iseloomustab raskust, mis transporditakse jaoskonna mingi seadmepaari vahel teataval plaanilisel perioodil. Maatriksi  $X$  elemendid väljendavad kohtadevahelisi kaugusi jaoskonnas.

Üldsust kitsendamata võib pärast kohtade nummerdamist seadmed nummerdada nii, et algpaigutuse korral 1. seade asuks 1. kohal, 2. seade 2. kohal jne.

Maatriksite  $S = \|S_{pq}\|$  ja  $X = \|X_{pq}\|$  sümmeetria tõttu on otstarbekas vaadelda vaid ülalpool peadiagonaali paiknevaid elemente ( $p < q$ ). Nende arv on  $t(t-1)/2$ , kui paigutatavate seadmete arv on  $t$ .

Vaatleme vektoreid  $\vec{s} = (s_k)$  ja  $\vec{x} = (x_k)$  koordinaatide arvuga  $t(t-1)/2$ , mis defineeritakse maatriksite  $S$  ja  $X$  abil järgmiselt:

$$s_k = S_{pq} \quad , \quad x_k = X_{pq} \quad , \quad \text{kus}$$

$$k = (p-1)t + q - p(p+1)/2 \tag{4}$$

$$(p = 1, \dots, t-1;$$

$$q = p+1, \dots, t) .$$

Näide 5. Olgu paigutatavate seadmete arv  $t = 5$ . Kaalude maatriks  $S$  ja kauguste maatriks  $X$  olgu samad, mis näites 1.

väärtus. Kui lähtuda algoritmis kirjeldatud variantide järjekorrast, siis välja trükitakse kõigepealt teine, siis neljas ja kolmas ning lõpuks esimene variant.

Überpaigutusmeetodite 1 ja 2 realiseerimisel piirdu- takse vaid arvuti operatiivmälu kasutamisega. Ülejäänud meetodite korral pöörduakse välismälu poole.

Tabelis 2 on antud kitsendused seadmete arvu kohta, mida tuleb arvestada toodud meetodite realiseerimisel ar- vutil Minsk-22.

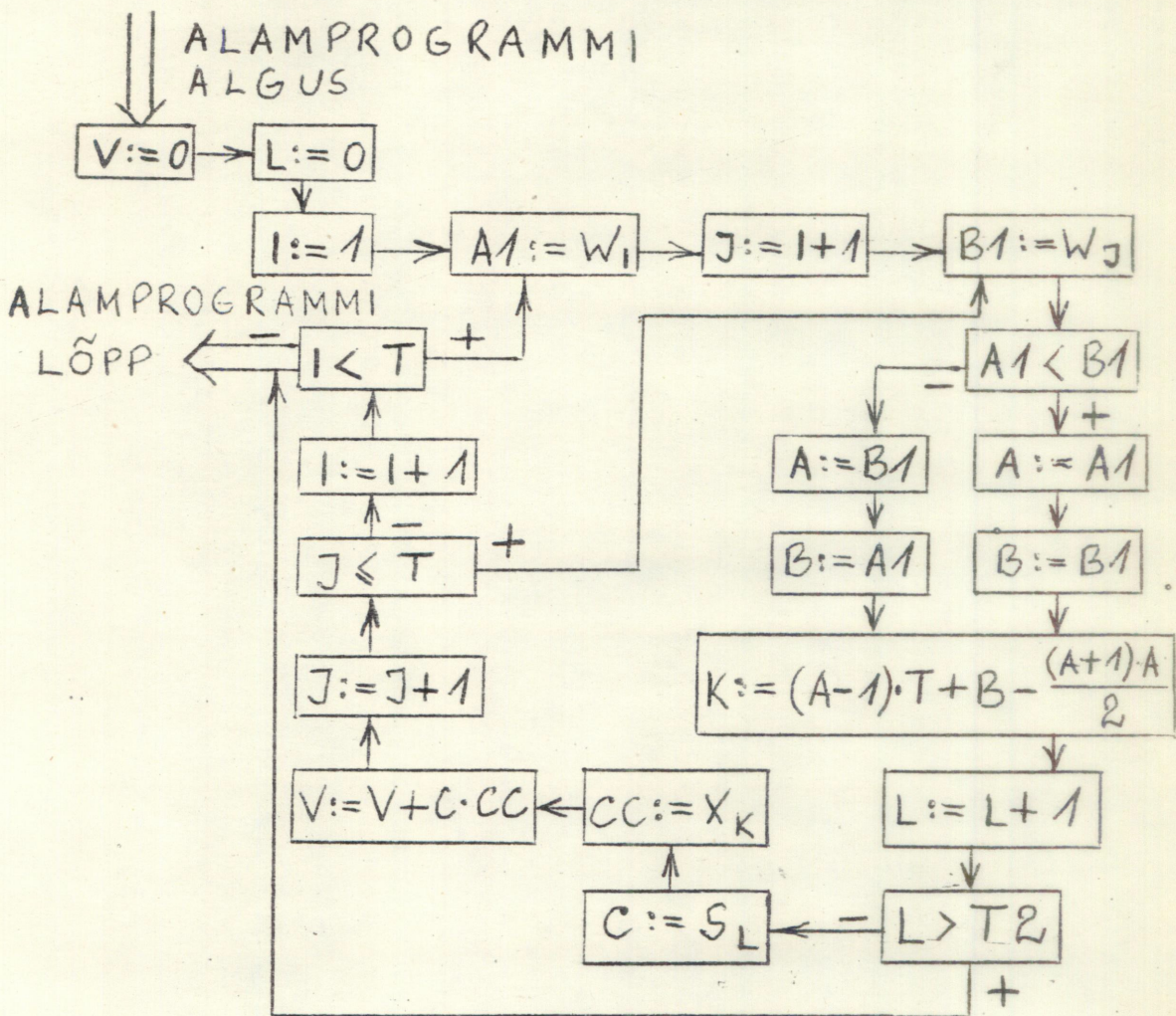
Tabel 2

Seadmete paigutamise meetod	Suurim seadmete arv
Überpaigutusmeetod 1	63
Überpaigutusmeetod 2	64
Meetod MAT	52
Meetodi MAT modifikatsioon	52
Järjestamismeetod	63

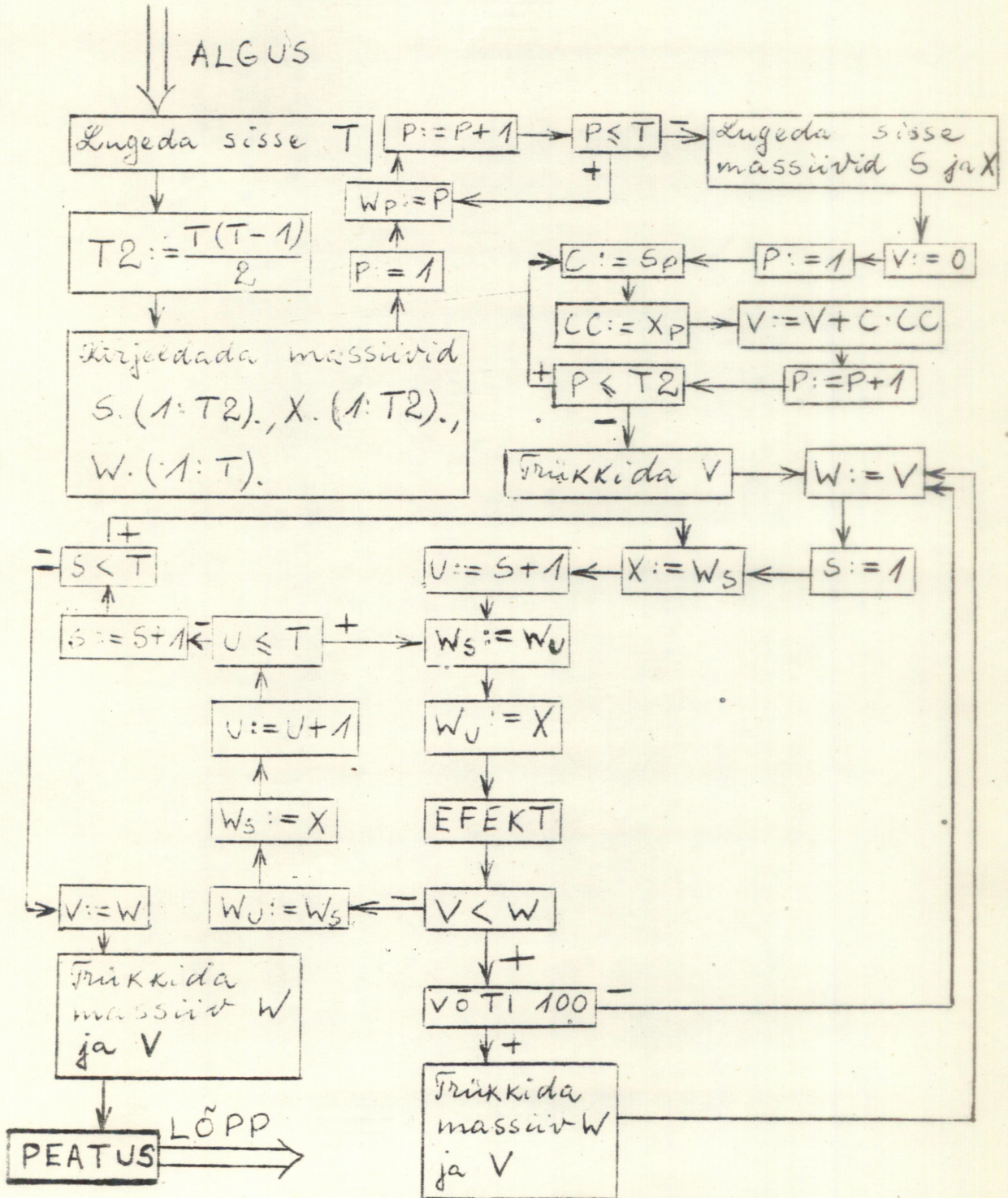
Järgnevalt tuuakse ära überpaigutusmeetodite 1 ja 2, meetodi MAT ja järjestamismeetodi plokk skeemid. Seejärel aga kõikide meetodite MALGOL-programmide tekstid koos mälujaotustega.



# SUBROUTINE 'EFEKT

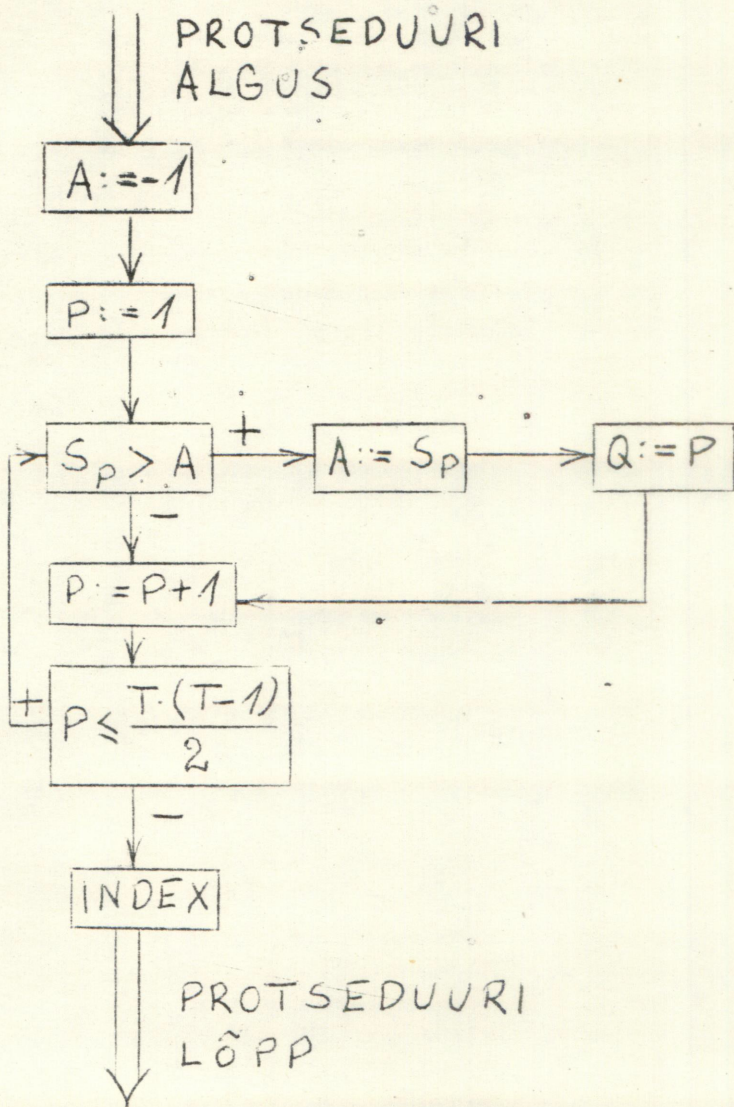


# ÜMBERPAIGUTUSMEETOD 2

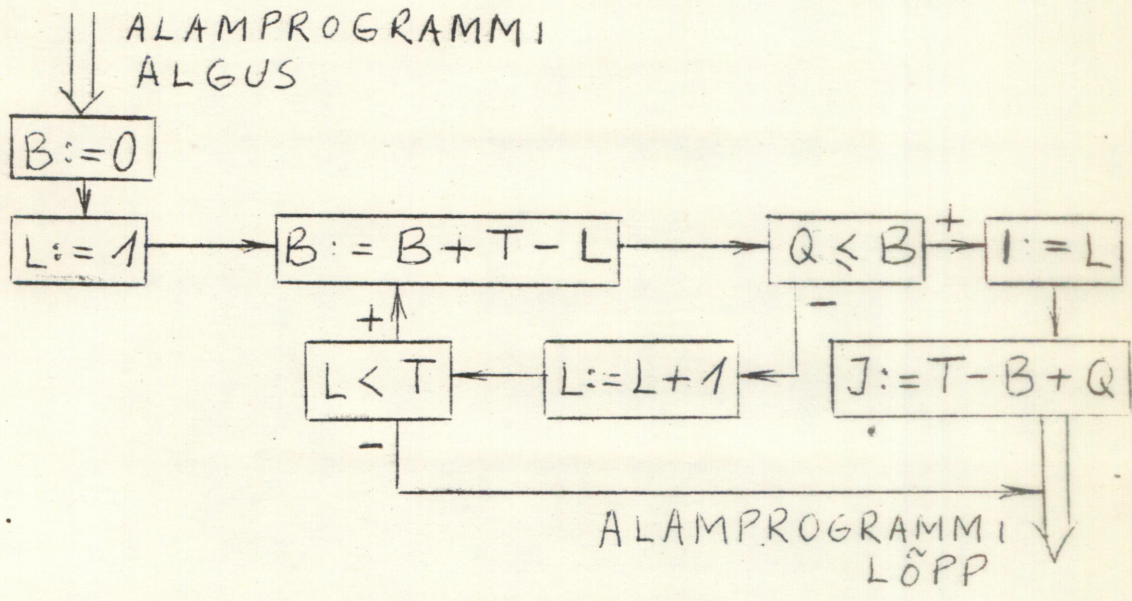




# PROCED' MAX(S, T, A, Q, I, J)

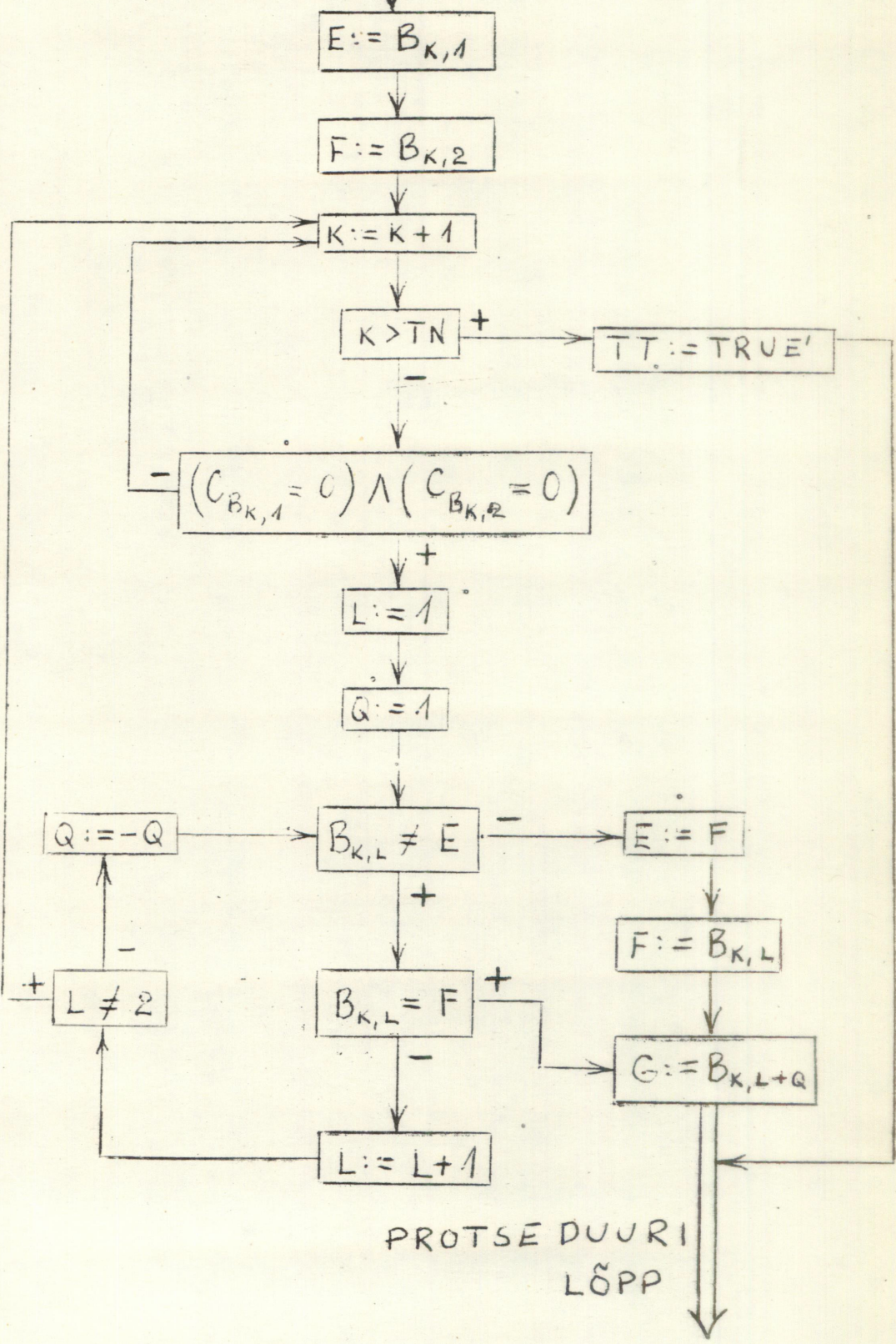


# SUBROUTINE' INDEX



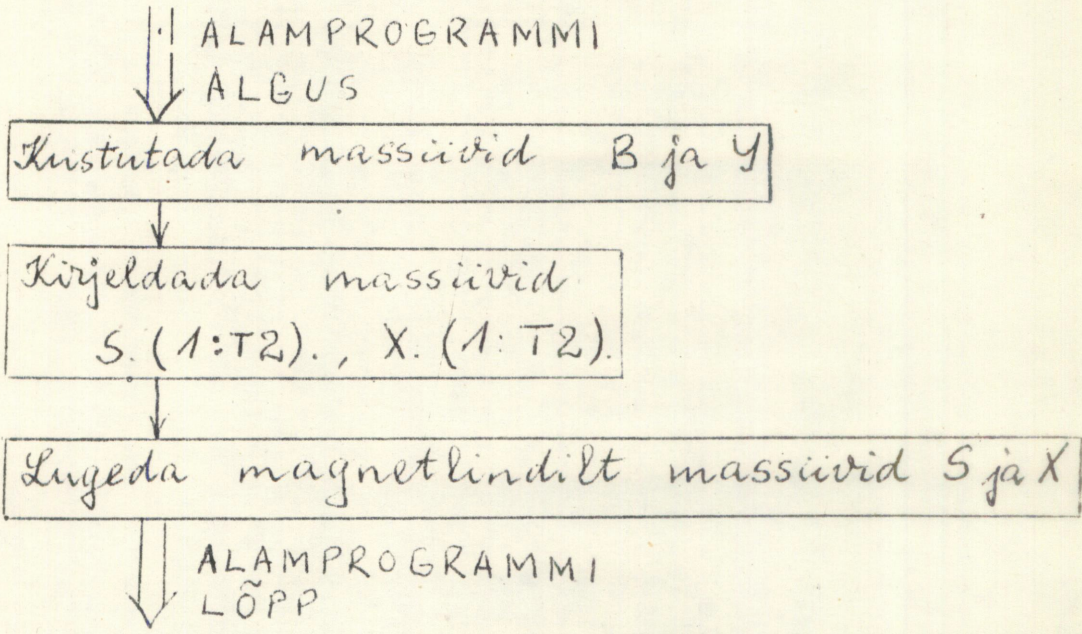
# PROCED'EFG(B,C,K,TN,EFG,TT)

PROTSE DUURI  
ALGUS



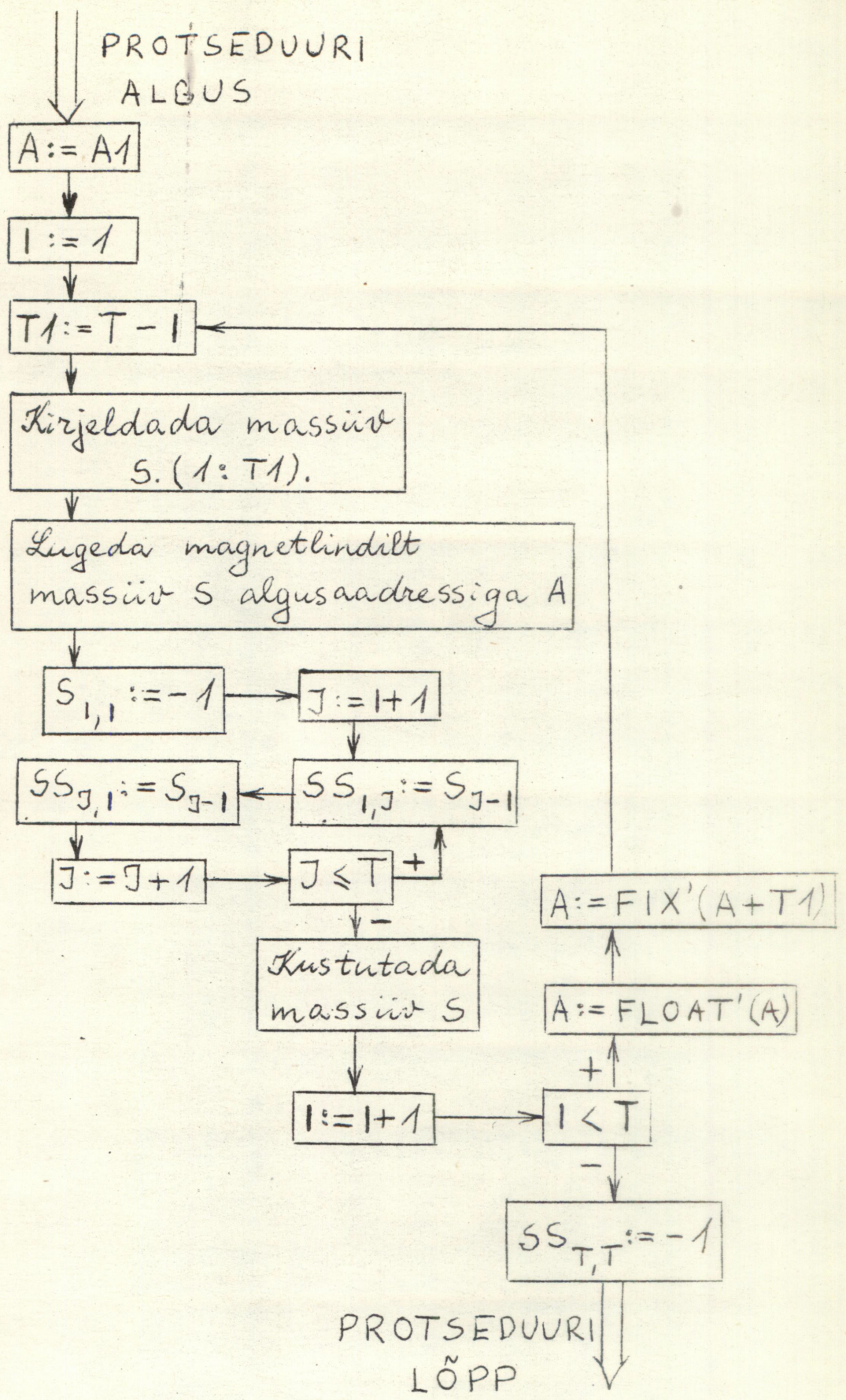
PROTSE DUURI  
LÖPP

# SUBROUTINE' MAS

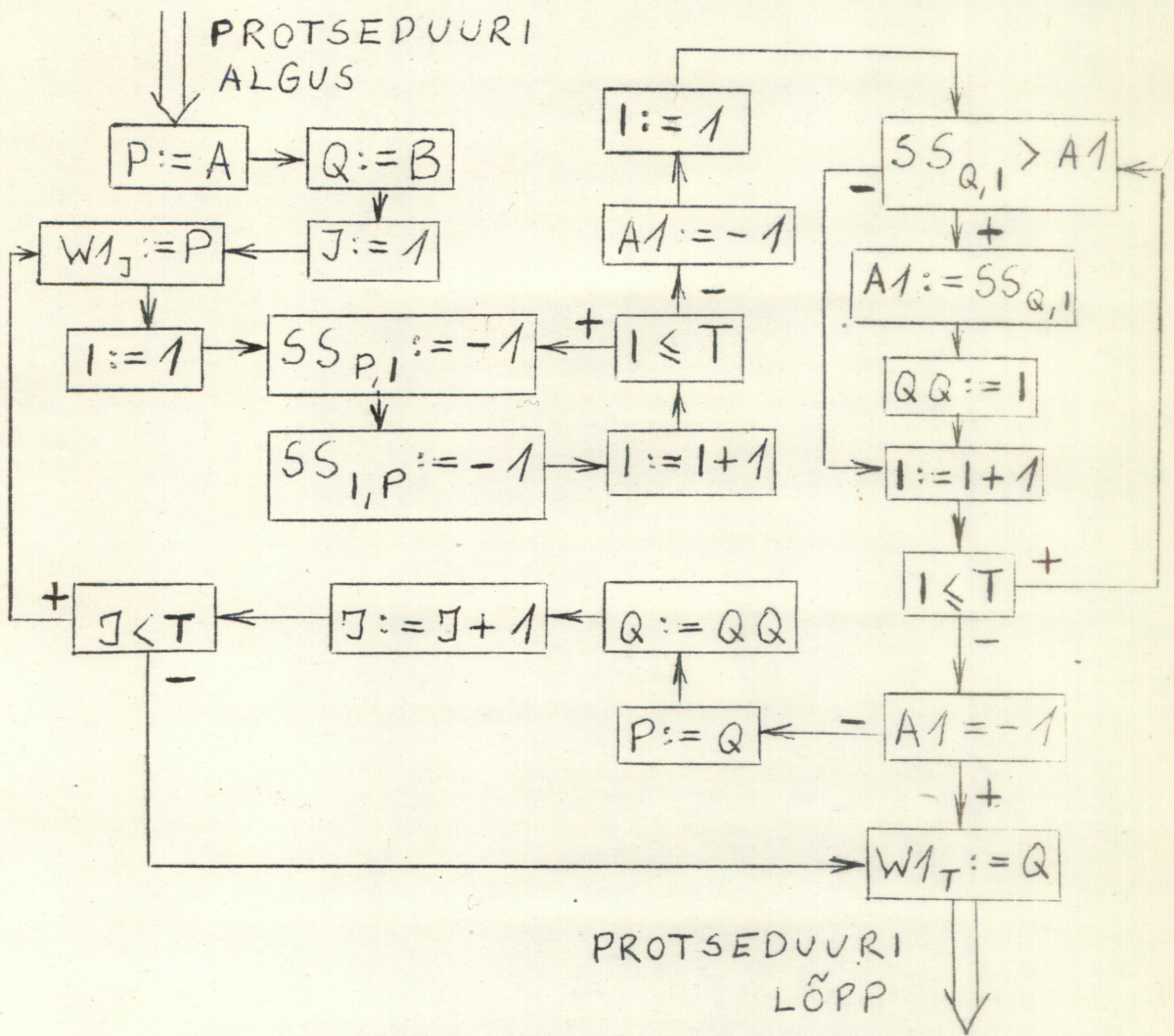




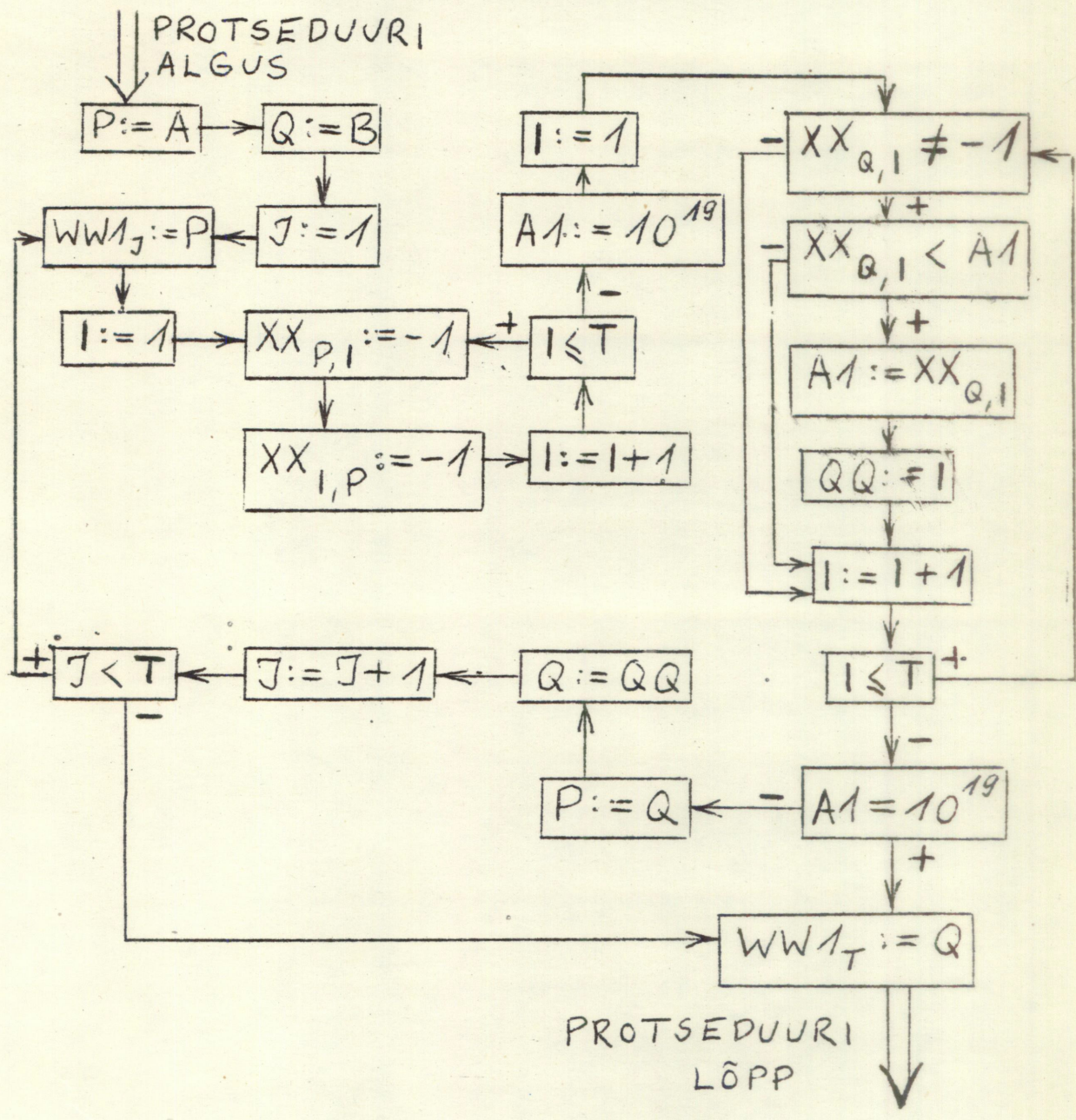
# PROCED' MATRIX (T, A1, SS.)



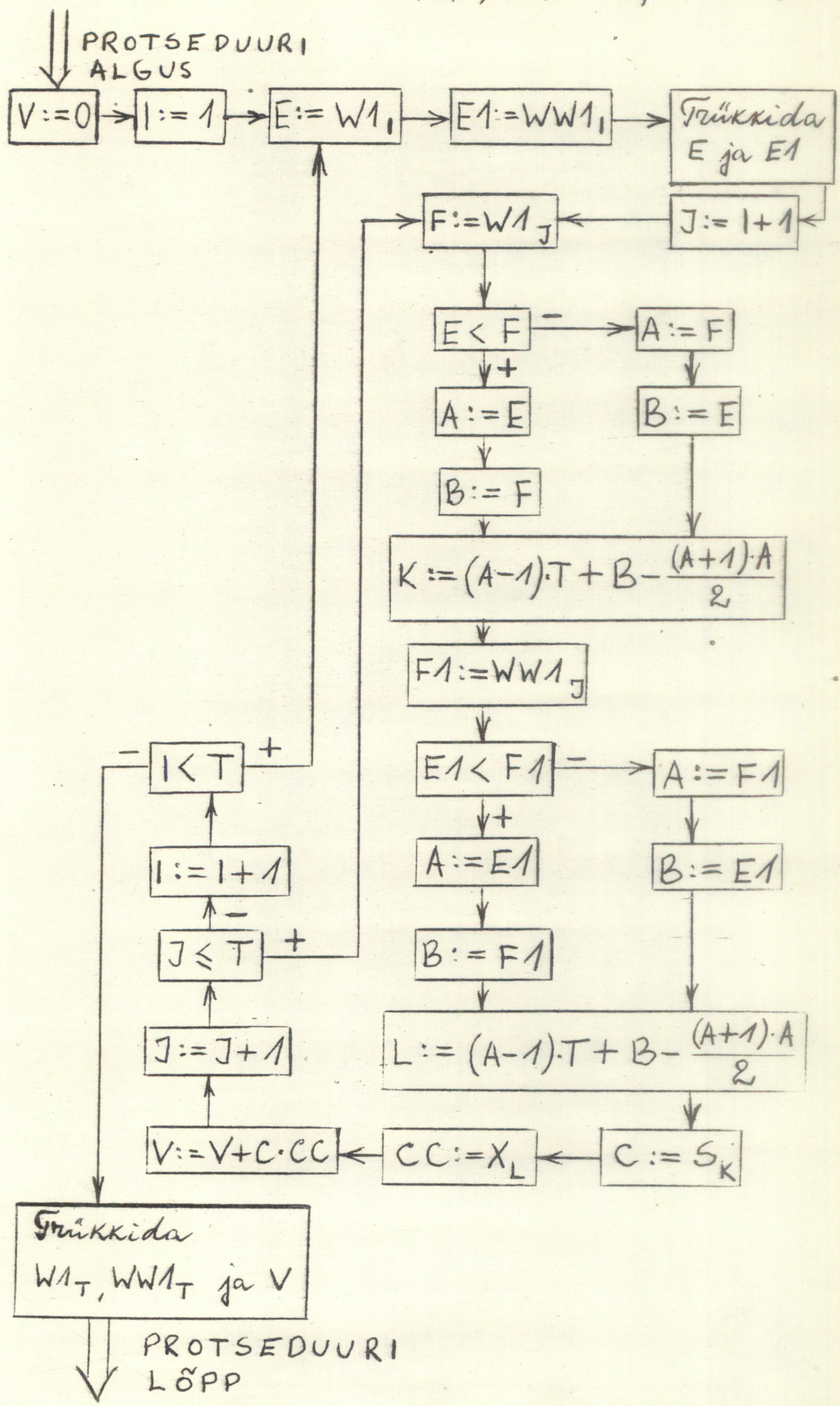
# PROCED'AA1(T,A,B,SS.,W1.)



# PROCED' AA2(T, A, B, XX., WW1.)



# PROCED'EFEKT(T, S., X., W1., WW1.)



MAGNETIC TAPE 54 PROGRAM 05

```

R001 COMMENT'UMBERPAIGUTUSMEETOD 1 ;
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 ARRAY'S.(1:T2),,X.(1:T2),
R005 W.(1:T),,WW.(1:T).;
R006 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R007 W'(W.,P,P);
R010 READAR'(S.,X.);
R011 V:=0;
R012 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R013 BEGIN'C:=R'(S.,P);CC:=R'(X.,P);V:=V+C*CC;END';
R014 PRINT1'(V);
R015 W:=V;
R016 D:MM:=TRUE';
R017 FOR'S:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R020 BEGIN'X:=R'(W.,S);
R021 FOR'U:=S+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R022 BEGIN'W'(W.,S,(R'(W.,U)));W'(W.,U,X);
R023 EFEKT;
R024 IF'V=W THEN'GOTO'G;
R025 IF'KEY'OCTAL'100 THEN'
R026 BEGIN'PRINTAR'(W.);PRINT1'(V);END';
R027 W:=V;
R030 MM:=FALSE';
R031 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R032 W'(WW.,P,(R'(W.,P)));
R033 G:W'(W.,U,(R'(W.,S)));W'(W.,S,X);END';END';
R034 IF'MM THEN'GOTO'H;
R035 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R036 W'(W.,P,(R'(WW.,P)));GOTO'D;
R037 H:V:=W;
R040 PRINTAR'(W.);
R041 PRINT1'(V);
R042 STOP';
R043 SUBROUTINE'EFEKT;
R044 BEGIN'V:=0;L:=0;
R045 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R046 BEGIN'A1:=R'(W.,I);
R047 FOR'J:=I+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R050 BEGIN'B1:=R'(W.,J);
R051 IF'A1(:B1 THEN'
R052 BEGIN'A:=A1;B:=B1;END'ELSE'
R053 BEGIN'A:=B1;B:=A1;END';
R054 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R055 L:=L+1;
R056 IF'L:T2 THEN'GOTO'B1;
R057 C:=R'(S.,L);
R060 CC:=R'(X.,K);
R061 V:=V+C*CC;END';END';
R062 B1:
R063 END';
R064 START'ALGUS;FINISH';
R065

```

COMMENT'UMBERPAIGUTUSMEETOD 1 ;  
MEMORY PLAN

VARIABLES	1545	A1
1522 T	1546	J
1523 T2	1547	B1
1524 P	1550	A

1717	2031	0510	0633	READ1
1736	2030	0634	0747	ARRAY
2003	2013	0750	0767	W
2047	2057	0770	1100	READAR

1525 V  
 1526 C  
 1527 CC  
 1530 W  
 1531 MM  
 1532 S  
 1534 X  
 1535 U  
 1542 L  
 1543 I

1551 B  
 1552 K  
 TABLE OF ARRAYS  
 1561 S  
 1562 X  
 1563 W  
 1564 WW  
 SUBROUTINES  
 1641 1645  
 1664 1676

2070 2175 EFEKT  
 2106 2174  
 2125 2173  
 LABELS  
 1602 ALGUS  
 1702 D  
 2014 G  
 2061 H  
 2175 B1  
 PROCEDURES

1101 1117 R  
 1120 1276 PRINT1  
 1277 1512 PRINTA  
 OPERATING VARIABLES  
 1553 - 1553  
 CONSTANTS  
 1554 - 1560  
 PROGRAM  
 1571 - 2176  
 START 0105

MAGNETIC TAPE 04 PROGRAM 07

```

R001 COMMENT'UMBERPAIGUTUSMEETOD 2 ;
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 ARRAY'S.(1:T2),X.(1:T2),W.(1:T).;
R005 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R006 W'(W.,P,P);
R007 READAR'(S.,X.);
R010 V:=0;
R011 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R012 BEGIN'C:=R'(S.,P);CC:=R'(X.,P);
R013 V:=V+C*CC;END';
R014 PRINT1'(V);
R015 D:W:=V;
R016 FOR'S:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R017 BEGIN'X:=R'(W.,S);
R020 FOR'U:=S+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R021 BEGIN'W'(W.,S,(R'(W.,U)));W'(W.,U,X);
R022 EFEKT;
R023 IF'V(:W THEN'
R024 BEGIN'IF'KEY'OCTAL'100 THEN'
R025 BEGIN'PRINTAR'(W.);PRINT1'(V);END';
R026 GOTO'D;END';
R027 W'(W.,U,(R'(W.,S)));W'(W.,S,X);END';END';
R030 V:=W;
R031 PRINTAR'(W.);
R032 PRINT1'(V);
R033 STOP';
R034 SUBROUTINE'EFEKT;
R035 BEGIN'V:=0;L:=0;
R036 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R037 BEGIN'A1:=R'(W.,I);
R040 FOR'J:=I+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R041 BEGIN'B1:=R'(W.,J);
R042 IF'A1(:B1 THEN'
R043 BEGIN'A:=A1;B:=B1;END'ELSE'
R044 BEGIN'A:=B1;B:=A1;END';
R045 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R046 L:=L+1;
R047 IF'L(:T2 THEN'GOTO'B1;
R050 C:=R'(S.,L);CC:=R'(X.,K);V:=V+C*CC;END';END';
R051 B1;
R052 END';
R053 START'ALGUS;FINISH';
R054
R055

```

COMMENT'UMBERPAIGUTUSMEETOD 2 ;

MEMORY PLAN

VARIABLES		1542	A1
1522	T	1543	J
1523	T2	1544	B1
1524	P	1545	A
1525	V	1546	B
1526	C	1547	K
1527	CC	TABLE OF ARRAYS	
1530	W	1556	S
1531	S	1557	X
1533	X	1560	W
1534	U	SUBROUTINES	
1537	L	1630	1634

1705	1771	0770	1100	READAR
1724	1770	1101	1117	R
2001	2106	1120	1276	PRINT1
2017	2105	1277	1512	PRINTA
2036	2104	OPERATING VARIABLES		
LABELS		1550	-	1550
1575	ALGUS	CONSTANTS		
1670	D	1551	-	1555
2106	B1	PROGRAM		
PROCEDURES		1564	-	2107
0510	0633	READ1	START	0105
0634	0747	ARRAY		

1540 I

1653 1665

0750 0767 W

## MAGNETIC TAPE 54 PROGRAM 07

```

R001 COMMENT 'MEETOD MAT;
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 IF#T(=44 THEN'
R005 T1:=T2 ELSE'
R006 T1:=ENTIER'(2046-T2-3*T/2);
R007 ARRAY'S.(1:T2),,
R010 B.(1:T2,1:2),;
R011 READAR'(S.);
R012 ALG:=OCTAL'3000000;WRITE2'(-ALG,S.);
R013 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R014 BEGIN'MAX(S.,T,A,Q,I,J);
R015 B.(L,1).:=I;B.(L,2).:=J;
R016 S.(Q).:=-1;END';
R017 ALG1:=FLOAT'(ALG);
R020 ALG1:=FIX'(ALG1+T2+1);
R021 WRITE2'(-ALG1,B.);
R022 DELETE'(S.,B.);
R023 ARRAY'X.(1:T2),,
R024 Y.(1:T2,1:2),;
R025 READAR'(X.);
R026 ALG2:=FLOAT'(ALG1);
R027 ALG2:=FIX'(ALG2+2*T2+1);
R030 WRITE2'(-ALG2,X.);
R031 FOR'L:=T2 STEP'-1 UNTIL'1 DO'
R032 BEGIN'MAX(X.,T,A,Q,I,J);
R033 Y.(L,1).:=I;Y.(L,2).:=J;
R034 X.(Q).:=-1;END';
R035 DELETE'(X.);
R036 ARRAY'C.(1:T),,Z.(1:T),,
R037 B.(1:T1,1:2),,
R040 W.(1:T),;
R041 READ2T'(-ALG1,B.);
R042 NULL'(C.,Z.);
R043 D:=0;
R044 M:=0;
R045 R:K:=M+1;
R046 IF'K:)T1 THEN'GOTO'TRU;
R047 IF'C.(B.(K,1).)=0*.C.(B.(K,2).)=0 THEN'
R050 BEGIN'
R051 IF'D(:T-2 THEN'
R052 BEGIN'EEG(B.,C.,K,T1,E,F,G,TT);
R053 IF'TT THEN'GOTO'TRU;
R054 K:=1;
R055 RR:IF'Z.(Y.(K,1).)=0*.Z.(Y.(K,2).)=0 THEN'
R056 BEGIN'EEG(Y.,Z.,K,T2,EE,FF,GG,TT);
R057 IF'TT THEN'GOTO'TRU;END'
R060 ELSE'BEGIN'K:=K+1;
R061 IF'K(=T2 THEN'GOTO'RR;GOTO'TRU;END';
R062 C.(E).:=1;Z.(EE).:=1;
R063 C.(F).:=1;Z.(FF).:=1;
R064 C.(G).:=1;Z.(GG).:=1;
R065 W.(E).:=EE;
R066 W.(F).:=FF;
R067 W.(G).:=GG;
R070 D:=D+3;END'
R071 ELSE'BEGIN'
R072 E:=B.(K,1).;F:=B.(K,2).;
R073 Q:=0;
R074 ARRAY'G.(1:2),,U.(1:2),;
R075 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'

```

```

R076 IF 'Z,(L),=0 THEN'
R077 BEGIN 'Q:=Q+1;
R100 IF 'Q(:3 THEN 'G,(Q).:=L ELSE 'GOTO 'TRU;END';
R101 EE:=G,(1).;FF:=G,(2).;
R102 Z,(EE).:=1;Z,(FF).:=1;
R103 C,(E).:=1;C,(F).:=1;
R104 SUBROUTINE 'MAS;
R105 BEGIN 'DELETE '(D.,Y.);
R106 ARRAY 'S.(1:T2).;
R107 X.(1:T2).;
R110 READ2T '(-ALG,S.);
R111 READ2T '(-ALG2,X.);END';
R112 MAS;
R113 SUBROUTINE 'EFEKT;
R114 BEGIN'
R115 V:=0;
R116 L:=0;
R117 FOR 'I:=1 STEP '1 UNTIL 'T-1 DO'
R120 BEGIN 'A1:=W.(I).;
R121 FOR 'J:=I+1 STEP '1 UNTIL 'T DO'
R122 BEGIN 'B1:=W.(J).;
R123 IF 'A1(:B1 THEN'
R124 BEGIN 'A:=A1;B:=B1;END' ELSE'
R125 BEGIN 'A:=B1;B:=A1;END';
R126 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R127 L:=L+1;
R130 IF 'L(:T2 THEN 'GOTO 'B1;
R131 C:=S,(L).;
R132 CC:=X,(K).;
R133 V:=V+C*CC;END';END';
R134 B1;
R135 END';
R136 Q:=1;
R137 RT:W,(E).:=EE;W,(F).:=FF;
R140 EFEKT;
R141 U,(Q).:=V;Q:=Q+1;
R142 IF 'Q=2 THEN'
R143 BEGIN 'EE:=FF;FF:=G,(1).;
R144 GOTO 'RT;END'
R145 ELSE 'IF 'U,(1).=U,(2). THEN 'GOTO 'TT;EE:=FF;FF:=G,(2).;
R146 W,(E).:=EE;W,(F).:=FF;
R147 V:=U,(1).;
R150 TT:D:=D+2;RR:=TRUE';
R151 DELETE '(G.,U.);END';END'
R152 ELSE 'BEGIN 'IF 'C.(B,(K,1).)=1 THEN'
R153 BEGIN 'IF 'C.(B,(K,2).)=1 THEN 'GOTO 'TRT;
R154 L:=2;Q:=1;END'
R155 ELSE 'BEGIN 'L:=1;Q:=2;END';
R156 E:=B,(K,L).;F:=B,(K,Q).;
R157 H:=1;
R160 A: IF 'Y,(H,1).=W,(F).=Y,(H,2).=W,(F). THEN'
R161 BEGIN 'B:H:=H+1;
R162 IF 'H(=T2 THEN 'GOTO 'A;
R163 GOTO 'TRU;END';
R164 IF 'Z,(Y,(H,1).)=0 THEN 'L:=1 ELSE'
R165 IF 'Z,(Y,(H,2).)=1 THEN 'GOTO 'B ELSE 'L:=2;
R166 EE:=V,(H,L).;
R167 C,(E).:=1;Z,(EE).:=1;
R170 W,(E).:=EE;
R171 D:=D+1;END';
R172 TRT: IF 'D=T THEN'
R173 BEGIN 'IF 'RR THEN'
R174 GOTO 'C ELSE'

```

```

R175 BEGIN'MAS;EFEKT;END';END'
R176 ELSE'BEGIN'M:=M+1;GOTO'R;END';
R177 C:PRINT1'(V);
R200 TRU:PRINTAR'(W);
R201 STOP';
R202 PROCED'MAX(S.,T,A,Q,I,J);
R203 BEGIN'A:=-1;
R204 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T*(T-1)/2 DO'
R205 IF'S.(P).)A THEN'
R206 BEGIN'A:=S.(P);Q:=P;END';
R207 SUBROUTINE'INDEX;
R210 BEGIN'B:=0;
R211 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R212 BEGIN'B:=B+T-L;
R213 IF'Q(=B THEN'
R214 BEGIN'I:=L;
R215 J:=T-B+Q;
R216 GOTO'AA; END'; END';
R217 AA;
R220 END';
R221 INDEX;END';
R222 PROCED'EFG(B.,C.,K,TN,E,F,G,TT);
R223 BEGIN'E:=B.(K,1).;
R224 F:=B.(K,2).;
R225 A:K:=K+1;
R226 IF'K;)TN THEN'
R227 BEGIN'TT:=TRUE';GOTO'BB; END';
R230 IF'-(C.(B.(K,1).)=0xC.(B.(K,2).)=0) THEN'GOTO'A;
R231 L:=1;Q:=1;
R232 CC:IF'B.(K,L).=ZE THEN'
R233 BEGIN'IF'B.(K,L).=F THEN'GOTO'D;
R234 L:=L+1;
R235 IF'L=/2 THEN'GOTO'A;
R236 Q:=-Q;
R237 GOTO'CC; END';
R240 E:=F;F:=B.(K,L).;
R241 D:G:=B.(K,L+Q).;
R242 BB: END';
R243 START'ALGUS;FINISH';
R244
R245

```

COMMENT MEETOD MAT;  
MEMORY PLAN

VARIABLES	2000	B1
1735 T	2001	B
1736 T2	2002	C
1737 T1	2003	CC
1740 ALG	2004	RR
1742 L	2007	H
1743 A	2012	P
1744 Q	2014	B
1745 I	2015	L
1746 J	2021	L
1747 ALG1	2022	Q
1751 ALG2	TABLE OF ARRAYS	
1755 D	2040	S
1756 M	2041	B
1757 K	2042	X
1762 E	2043	V
1763 F	2044	C
1764 G	2045	Z

2615	2640	3614	BB
2672	2715	PROCEDURES	
2720	3025	0510	0633 READ1
2736	3024	0642	0755 ARRAY
2755	3023	0756	1066 READAR
3370	3410	1067	1137 WRITE2
3412	3451	1163	1241 DELETE
3430	3450	1242	1301 READ2T
LABELS		1302	1326 NULL
2073	ALGUS	1327	1505 PRINT1
2347	R	1506	1721 PRINTA
2433	RR	3347	3453 MAX
3025	B1	3454	3614 EFG
3027	RT	FUNCTIONS	
3117	TT	1140	- 1150 FLOAT
3200	A	1151	- 1162 FIX
3233	B	0634	- 0641 ENTIER
3324	TRT	OPERATING VARIABLES	

1765 TT  
1770 EE  
1771 FF  
1772 GG  
1775 V  
1777 A1

2046 W  
2047 G  
2050 U  
SUBROUTINES  
2151 2177  
2263 2311

3342 C  
3344 TRU  
3451 AA  
3470 A  
3540 CC  
3604 D

2024 - 2026  
CONSTANTS  
2027 - 2037  
PROGRAM  
2062 - 3615  
START 0105

MAGNETIC TAPE 05 PROGRAM 11

```

R001 COMMENT 'MEETODI MAT MODIFIKATSIOON;
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 IF'T(=44 THEN'
R005 T1:=T2 ELSE'
R006 T1:=ENTIER'(2046-T2-3*T/2);
R007 ARRAY'S.(1:T2),,
R010 B.(1:T2,1:2).;
R011 READAR'(S.);
R012 ALG:=OCTAL'3000000;WRITE2'(-ALG,S.);
R013 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R014 BEGIN'MAX(S.,T,A,Q,I,J);
R015 B.(L,1).:=I;B.(L,2).:=J;
R016 S.(Q).:=-1;END';
R017 ALG1:=FLOAT'(ALG);
R020 ALG1:=FIX'(ALG1+T2+1);
R021 WRITE2'(-ALG1,B.);
R022 DELETE'(S.,B.);
R023 ARRAY'X.(1:T2),,
R024 V.(1:T2,1:2).;
R025 READAR'(X.);
R026 ALG2:=FLOAT'(ALG1);
R027 ALG2:=FIX'(ALG2+2*T2+1);
R030 WRITE2'(-ALG2,X.);
R031 FOR'L:=T2 STEP'-1 UNTIL'1 DO'
R032 BEGIN'MAX(X.,T,A,Q,I,J);
R033 V.(L,1).:=I;V.(L,2).:=J;
R034 X.(Q).:=-1;END';
R035 ALG3:=FLOAT'(ALG2);
R036 ALG3:=FIX'(ALG3+T2+1);
R037 WRITE2'(-ALG3,V.);
R040 DELETE'(X.);
R041 V1:=0;
R042 ARRAY'C.(1:T),,Z.(1:T),,
R043 B.(1:T1,1:2).,
R044 W.(1:T).;
R045 READ2T'(-ALG1,B.);
R046 FOR'I1:=1 STEP'1 UNTIL'ENTIER'(T/2+1) DO'
R047 FOR'J1:=I1+1,I1+2 DO'
R050 BEGIN'
R051 NULL'(C.,Z.);
R052 RR:=FALSE';
R053 D:=0;
R054 M:=0;
R055 R:K:=M+1;
R056 IF'K<T1 THEN'GOTO'TRU;
R057 IF'C.(B.(K,1).)=0*.C.(B.(K,2).)=0 THEN'
R060 BEGIN'
R061 IF'D<T-2 THEN'
R062 BEGIN'EFG(B.,C.,K,T1,E,F,G,TT);
R063 IF'TT THEN'GOTO'TRU;
R064 K:=1;
R065 RR:IF'Z.(V.(K,1).)=0*.Z.(V.(K,2).)=0 THEN'
R066 BEGIN'EFG(V.,Z.,K,T2,EE,FF,GG,TT);
R067 IF'TT THEN'GOTO'TRU;END'
R070 ELSE'BEGIN'K:=K+1;
R071 IF'K(=T2 THEN'GOTO'RR;GOTO'TRU;END';
R072 C.(E).:=1;Z.(EE).:=1;
R073 C.(F).:=1;Z.(FF).:=1;
R074 C.(G).:=1;Z.(GG).:=1;
R075 W.(E).:=FF;

```

```

R076 W.(F).:=FF;
R077 W.(G).:=GG;
R100 D:=D+3;END'
R101 ELSE'BEGIN'
R102 E:=B.(K,1).;F:=B.(K,2).;
R103 Q:=0;
R104 ARRAY'G.(1:2).,U.(1:2).;
R105 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R106 IF'Z.(L).=0 THEN'
R107 BEGIN'Q:=Q+1;
R110 IF'Q(:3 THEN'G.(Q).:=E ELSE'GOTO'TRU;END';
R111 EE:=G.(1).;FF:=G.(2).;
R112 Z.(EE).:=1;Z.(FF).:=1;
R113 C.(E).:=1;C.(F).:=1;
R114 SUBROUTINE'MAS;
R115 BEGIN'DELETE'(B.,Y.);
R116 ARRAY'S.(1:T2).,
R117 X.(1:T2).;
R120 READ2T'(-ALG,S.);
R121 READ2T'(-ALG2,X.);END';
R122 MAS;
R123 SUBROUTINE'EFEKT;
R124 BEGIN'
R125 V:=0;
R126 L:=0;
R127 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R130 BEGIN'A1:=W.(I).;
R131 FOR'J:=I+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R132 BEGIN'B1:=W.(J).;
R133 IF'A1(:B1 THEN'
R134 BEGIN'A:=A1;B:=B1;END'ELSE'
R135 BEGIN'A:=B1;B:=A1;END';
R136 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R137 L:=L+1;
R140 IF'L(:T2 THEN'GOTO'B1;
R141 C:=S.(L).;
R142 CC:=X.(K).;
R143 V:=V+C*CC;END';END';
R144 B1;
R145 END';
R146 Q:=1;
R147 RT:W.(E).:=EE;W.(F).:=FF;
R150 EFEKT;
R151 U.(Q).:=V;Q:=Q+1;
R152 IF'Q=2 THEN'
R153 BEGIN'EE:=FF;FF:=G.(1).;
R154 GOTO'RT;END'
R155 ELSE'IF'U.(1).=U.(2). THEN'GOTO'TT;EE:=FF;FF:=G.(2).;
R156 W.(E).:=EE;W.(F).:=FF;
R157 V:=U.(1).;
R160 TT:D:=D+2;RR:=TRUE';
R161 DELETE'(G.,U.);END';END'
R162 ELSE'BEGIN'IF'C.(B.(K,1).)=1 THEN'
R163 BEGIN'IF'C.(B.(K,2).)=1 THEN'GOTO'TRT;
R164 L:=2;Q:=1;END'
R165 ELSE'BEGIN'L:=1;Q:=2;END';
R166 E:=B.(K,L).;F:=B.(K,Q).;
R167 H:=1;
R170 A:IF'Y.(H,1).=W.(F).=V.(H,2).=W.(F). THEN'
R171 BEGIN'B:H:=H+1;
R172 IF'H(=T2 THEN'GOTO'A;
R173 GOTO'TRU;END';
R174 IF'Z.(V.(H,1).)=0 THEN'L:=1 ELSE'

```

```

R175 IF 'Z.(Y.(H,2).).=1 THEN 'GOTO'B ELSE 'L:=2;
R176 EE:=Y.(H,L).;
R177 C.(E).:=1;Z.(EE).:=1;
R200 W.(E).:=EE;
R201 D:=D+1;END';
R202 TRT:IF 'D=T THEN'
R203 BEGIN'IF'RR THEN'
R204 GOTO'C ELSE'
R205 BEGIN'MAS;EFEKT;END';END'
R206 ELSE'BEGIN'M:=M+1;GOTO'R;END';
R207 C:IF 'V1=0 THEN'V1:=V;
R210 IF 'V(=V1 THEN'
R211 BEGIN'PRINT1'(Y);
R212 TRU:PRINTAR'(W.);END';
R213 DELETE'(S.,X.);
R214 ARRAY'B.(1:T1,1:2).,
R215 Y.(1:T2,1:2).;
R216 READ2T'(-ALG1,B.);
R217 READ2T'(-ALG3,Y.);
R220 X1:=B.(I1,1).;
R221 X2:=B.(I1,2).;
R222 B.(I1,1).:=B.(J1,1).;
R223 B.(I1,2).:=B.(J1,2).;
R224 B.(J1,1).:=X1;
R225 B.(J1,2).:=X2;
R226 END';
R227 STOP';
R230 PROCED'MAX(S.,T,A,Q,I,J);
R231 BEGIN'A:=-1;
R232 FOB'P:=1 STEP'1 UNTIL'T*(T-1)/2 DO'
R233 IF'S.(P).)A THEN'
R234 BEGIN'A:=S.(P).;Q:=P;END';
R235 SUBROUTINE'INDEX;
R236 BEGIN'B:=0;
R237 FOB'L:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R240 BEGIN'B:=B+T-L;
R241 IF'Q(=B THEN'
R242 BEGIN'I:=L;
R243 J:=T-B+Q;
R244 GOTO'AA; END'; END';
R245 AA;
R246 END';
R247 INDEX;END';
R250 PROCED'FG(B.,C.,K,TN,E,F,G,TT);
R251 BEGIN'E:=B.(K,1).;
R252 F:=B.(K,2).;
R253 A:K:=K+1;
R254 IF'K)TN THEN'
R255 BEGIN'TT:=TRUE';GOTO'BB; END';
R256 IF'-(C.(B.(K,1).)=0 * C.(B.(K,2).)=0) THEN'GOTO'A;
R257 L:=1;Q:=1;
R260 CC:IF'B.(K,L).=E THEN'
R261 BEGIN'IF'B.(K,L).=F THEN'GOTO'D;
R262 L:=L+1;
R263 IF'L=/2 THEN'GOTO'A;
R264 Q:=-Q;
R265 GOTO'CC; END';
R266 E:=F;F:=B.(K,L).;
R267 D:G:=B.(K,L+Q).;
R270 BB; END';
R271 START'ALGUS;FINISH';
R272

```

COMMENT' MEETODI MAT MODIFIKATSIOON;  
MEMORY PLAN

VARIABLES	2001	GG
1735 T	2004	V
1736 T2	2006	A1
1737 T1	2007	B1
1740 ALG	2010	B
1742 L	2011	C
1743 A	2012	CC
1744 Q	2015	H
1745 I	2022	X1
1746 J	2023	X2
1747 ALG1	2024	P
1751 ALG2	2026	B
1754 ALG3	2027	L
1756 V1	2033	L
1760 I1	2034	Q
1762 J1	TABLE OF ARRAYS	
1763 RR	2052	S
1764 D	2053	B
1765 M	2054	X
1766 K	2055	V
1771 E	2056	C
1772 F	2057	Z
1773 G	2060	W
1774 TT	2061	G
1777 EE	2062	U
2000 FF	SUBROUTINES	

2163	2211	
2275	2323	
2410	3537	
2417	3536	
2673	2716	
2750	2773	MAS
2776	3103	EFEKT
3014	3102	
3033	3101	
3562	3602	
3604	3643	INDEX
3622	3642	
LABELS		
2105	ALGUS	
2425	R	
2511	RR	
3103	B1	
3105	RT	
3175	TT	
3256	A	
3311	B	
3402	TRT	
3420	C	
3435	TRU	
3643	AA	
3662	A	

3732	CC	
3776	D	
4006	BB	
PROCEDURES		
0510	0633	READ1
0642	0755	ARRAY
0756	1066	READAR
1067	1137	WRITE2
1163	1241	DELETE
1242	1301	READ2T
1302	1326	NULL
1327	1505	PRINT1
1506	1721	PRINTA
3541	3645	MAX
3646	4006	EFG
FUNCTIONS		
1140	- 1150	FLOAT
1151	- 1162	FIX
0634	- 0641	ENTIER
OPERATING VARIABLES		
2036	- 2040	
CONSTANTS		
2041	- 2051	
PROGRAM		
2074	- 4007	
START 0105		

MAGNETIC TAPE 01 PROGRAM 05

```

R001 COMMENT 'JARJESTAMISMEETOD;
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 ARRAY'S.(1:T2);
R005 READAR'(S.);
R006 A1:=OCTAL'3000000;
R007 WRITE2'(-A1,S.);
R010 B:=-1;
R011 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R012 IF'S,(L),(:)B THEN'
R013 BEGIN'B:=R'(S,,L);Q:=L;END';
R014 INDEX;
R015 DELETE'(S,);
R016 ARRAY'SS.(1:T,1:T).;
R017 MATRIX(T,A1,SS,);
R020 A2:=FLOAT'(A1);
R021 A2:=FIX'(A2+T2+1);
R022 WRITE2'(-A2,SS,);
R023 ARRAY'W1.(1:T);
R024 AA1(T,I,J,SS,,W1.);
R025 A3:=FLOAT'(A2);
R026 A3:=FIX'(A3+T*T+1);
R027 WRITE2'(-A3,W1.);
R030 DELETE'(W1.);
R031 READ2T'(-A2,SS,);
R032 ARRAY'W2.(1:T);
R033 AA1(T,J,I,SS,,W2.);
R034 A4:=FLOAT'(A3);
R035 A4:=FIX'(A4+T+1);
R036 WRITE2'(-A4,W2.);
R037 DELETE'(SS,,W2.);
R040 ARRAY'X.(1:T2);
R041 A5:=FLOAT'(A4);
R042 A5:=FIX'(A5+T+1);
R043 READAR'(X.);
R044 WRITE2'(-A5,X,);
R045 A:=1018;
R046 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R047 IF'X,(L),(:)A THEN'
R050 BEGIN'A:=R'(X,,L);Q:=L;END';
R051 INDEX;
R052 DELETE'(X,);
R053 ARRAY'XX.(1:T,1:T).;
R054 MATRIX(T,A5,XX,);
R055 A6:=FLOAT'(A5);
R056 A6:=FIX'(A6+T2+1);
R057 WRITE2'(-A6,XX,);
R060 ARRAY'WW1.(1:T);
R061 AA2(T,I,J,XX,,WW1.);
R062 A7:=FLOAT'(A6);
R063 A7:=FIX'(A7+T*T+1);
R064 WRITE2'(-A7,WW1.);
R065 DELETE'(WW1.);
R066 READ2T'(-A6,XX,);
R067 ARRAY'WW2.(1:T);
R070 AA2(T,J,I,XX,,WW2.);
R071 DELETE'(XX,);
R072 ARRAY'S.(1:T2);
R073 X.(1:T2);
R074 W1.(1:T);
R075 READ2T'(-A1,S.);

```

```

R076 READ2T'(-A5,X.);
R077 V:=0;
R100 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R101 BEGIN'C:=R'(S.,L);CC:=R'(X.,L);
R102 V:=V+C*CC;END';
R103 PRINT1'(V);
R104 READ2T'(-A3,W1.);
R105 EFEKT(T,S.,X.,W1.,WW2.);
R106 DELETE'(W1.);
R107 ARRAY'W2.(1:T);
R110 READ2T'(-A4,W2.);
R111 EFEKT(T,S.,X.,W2.,WW2.);
R112 DELETE'(WW2.);
R113 ARRAY'WW1.(1:T);
R114 READ2T'(-A7,WW1.);
R115 EFEKT(T,S.,X.,W2.,WW1.);
R116 DELETE'(W2.);
R117 ARRAY'W1.(1:T);
R120 READ2T'(-A3,W1.);
R121 EFEKT(T,S.,X.,W1.,WW1.);
R122 STOP';
R123 SUBROUTINE'INDEX;
R124 BEGIN'B:=0;
R125 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R126 BEGIN'B:=B+T-L;
R127 IF'Q(=B THEN'
R130 BEGIN'I:=L;
R131 J:=T-B+Q;GOTO'AA;END';END';
R132 AA;
R133 END';
R134 PROCED'MATRIX(T,A1,SS.);
R135 BEGIN'A:=A1;
R136 I:=1;
R137 A:T1:=T-1;
R140 ARRAY'S.(1:T1);
R141 READ2T'(-A,S.);
R142 SS.(I,I).:=-1;
R143 FOR'J:=I+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R144 BEGIN'SS.(I,J).:=S.(J+1).;
R145 SS.(J,I).:=S.(J-1).;END';
R146 DELETE'(S.);
R147 I:=I+1;
R150 IF'I(:T THEN'
R151 BEGIN'A:=FLOAT'(A);
R152 A:=FIX'(A+T1);
R153 GOTO'AA;END';
R154 SS.(T,T).:=-1;END';
R155 PROCED'AA1(T,A,B,SS.,W1.);
R156 BEGIN'P:=A;Q:=B;
R157 FOR'J:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R160 BEGIN'W1.(J).:=P;
R161 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R162 BEGIN'SS.(P,I).:=-1;
R163 SS.(I,P).:=-1;END';
R164 A1:=-1;
R165 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R166 IF'SS.(Q,I).:A1 THEN'
R167 BEGIN'A1:=SS.(Q,I).;
R170 QQ:=I;END';
R171 IF'A1=-1 THEN'GOTO'AA;
R172 P:=Q;Q:=QQ;END';
R173 AA:W1.(T).:=Q;END';
R174 PROCED'AA2(T,A,B,XX.,WW1.);

```

```

R175 BEGIN'P:=A;Q:=B;
R176 FOR'J:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R177 BEGIN'WW1.(J).:=P;
R200 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R201 BEGIN'XX.(P,I).:=-1;
R202 XX.(I,P).:=-1;END';
R203 A1:=101018;
R204 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R205 IF'XX.(Q,I).#A#1 THEN'
R206 BEGIN'IF'XX.(Q,I).(:A1 THEN'
R207 BEGIN'A1:=XX.(Q,I).;
R210 QQ:=I;END';END';
R211 IF'A1=101018 THEN'GOTO'AA;
R212 P:=Q;Q:=QQ;END';
R213 AA:WW1.(T).:=Q;END';
R214 PROCED'EFEKT(T,S.,X.,W1.,WW1.);
R215 BEGIN'V:=0;
R216 FOR'I:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R217 BEGIN'E:=W1.(I).;
R220 E1:=WW1.(I).;
R221 PRINT1'(E,E1);
R222 FOR'J:=I+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R223 BEGIN'F:=W1.(J).;
R224 IF'E(:F THEN'
R225 BEGIN'A:=E;B:=F;END'ELSE'
R226 BEGIN'A:=F;B:=E;END';
R227 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R230 F1:=WW1.(J).;
R231 IF'E1(:F1 THEN'
R232 BEGIN'A:=E1;B:=F1;END'ELSE'
R233 BEGIN'A:=F1;B:=E1;END';
R234 L:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R235 C:=S.(K).;CC:=X.(L).;
R236 V:=V+C*CC;END';END';
R237 PRINT1'(W1.(T).,WW1.(T).);
R240 PRINT1'(V);END';
R241 START'ALGUS;FINISH';
R242
R243

```

COMMENT'JARJESTAMISMEETOD;  
MEMORY PLAN

VARIABLES	1563	I
1506 T	1564	A1
1507 T2	1565	QQ
1510 A1	1566	P
1512 B	1567	Q
1513 L	1570	J
1514 Q	1572	I
1515 A2	1573	A1
1517 I	1574	QQ
1520 J	1575	V
1521 A3	1576	I
1524 A4	1600	E
1526 A5	1601	E1
1530 A	1602	J
1531 A6	1603	F
1533 A7	1604	A
1540 V	1605	B
1541 C	1606	K
1542 CC	1607	F1
1550 A	1610	L

1633	W2
1634	X
1635	XX
1636	WW1
1637	WW2
1640	S
SUBROUTINES	
1716	1733
2110	2124
2266	2300
2377	2430
2414	2427
2471	2517
2570	2671
2607	2623
2640	2657
2720	3030
2737	2753
2770	3017
3054	3174

INDEX

3031	AA	
PROCEDURES		
0510	0633	READ1
0634	0747	ARRAY
0750	1060	READAR
1061	1151	WRITE2
1132	1150	R
1151	1227	DELETE
1253	1312	READ2T
1313	1471	PRINT1
2431	2546	MATRIX
2547	2676	AA1
2677	3035	AA2
3036	3212	EFEKT
FUNCTIONS		
1230	- 1240	FLOAT
1241	- 1252	FIX
OPERATING VARIABLES		
1615	- 1620	
CONSTANTS		

1551 I  
1552 T1  
1554 J  
1557 P  
1560 Q  
1561 J

1611 C  
1612 CC  
TABLE OF ARRAYS  
1630 S  
1631 SS  
1632 W1

3103 3173  
LABELS  
1663 ALGUS  
2430 AA  
2434 A  
2672 AA

1621 - 1627  
PROGRAM  
1652 - 3213  
START 0105

## MAGNETIC TAPE 54 PROGRAM 03

```

R001 COMMENT 'MEETOD MAT (LAHENDI PARANDAMISEGA);
R002 ALGUS:READ1'(T);
R003 T2:=T*(T-1)/2;
R004 IF'T(=44 THEN'
R005 T1:=T2 ELSE'
R006 T1:=ENTIER'(2046-T2-3*T/2);
R007 ARRAY'S.(1:T2),,
R010 B.(1:T2,1:2),;
R011 READAR'(S.);
R012 ALG:=OCTAL'3000000;WRITE2'(-ALG,S.);
R013 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T2 DO'
R014 BEGIN'MAX(S.,T,A,Q,I,J);
R015 B.(L,1).:=I;B.(L,2).:=J;
R016 S.(Q).:=-1;END';
R017 ALG1:=FLOAT'(ALG);
R020 ALG1:=FIX'(ALG1+T2+1);
R021 WRITE2'(-ALG1,B.);
R022 DELETE'(S.,B.);
R023 ARRAY'X.(1:T2),,
R024 Y.(1:T2,1:2),;
R025 READAR'(X.);
R026 ALG2:=FLOAT'(ALG1);
R027 ALG2:=FIX'(ALG2+2*T2+1);
R030 WRITE2'(-ALG2,X.);
R031 FOR'L:=T2 STEP'-1 UNTIL'1 DO'
R032 BEGIN'MAX(X.,T,A,Q,I,J);
R033 Y.(L,1).:=I;Y.(L,2).:=J;
R034 X.(Q).:=-1;END';
R035 DELETE'(X.);
R036 ARRAY'C.(1:T),,Z.(1:T),,
R037 B.(1:T1,1:2),,
R040 W.(1:T),;
R041 READ2T'(-ALG1,B.);
R042 NULL'(C.,Z.);
R043 D:=0;
R044 M:=0;
R045 R;K:=M+1;
R046 IF'K()T1 THEN'GOTO'TRU;
R047 IF'C.(B.(K,1).)=0*.C.(B.(K,2).)=0 THEN'
R050 BEGIN'
R051 IF'D(:T-2 THEN'
R052 BEGIN'EFG(B.,C.,K,T1,E,F,G,TT);
R053 IF'TT THEN'GOTO'TRU;
R054 K:=1;
R055 RR:IF'Z.(Y.(K,1).)=0*.Z.(Y.(K,2).)=0 THEN'
R056 BEGIN'EFG(Y.,Z.,K,T2,EE,FF,GG,TT);
R057 IF'TT THEN'GOTO'TRU;END'
R060 ELSE'BEGIN'K:=K+1;
R061 IF'K(=T2 THEN'GOTO'RR;GOTO'TRU;END';
R062 C.(E).:=1;Z.(EE).:=1;
R063 C.(F).:=1;Z.(FF).:=1;
R064 C.(G).:=1;Z.(GG).:=1;
R065 W.(E).:=EE;
R066 W.(F).:=FF;
R067 W.(G).:=GG;
R070 D:=D+3;END'
R071 ELSE'BEGIN'
R072 E:=B.(K,1).;F:=B.(K,2).;
R073 Q:=0;
R074 ARRAY'G.(1:2),,U.(1:2),;
R075 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'

```

```

R076 IF 'Z.(L).=0 THEN'
R077 BEGIN 'Q:=Q+1;
R100 IF 'Q(:3 THEN 'G.(Q).:=L ELSE 'GOTO 'TRU;END';
R101 EE:=G.(1).;FF:=G.(2).;
R102 Z.(EE).:=1;Z.(FF).:=1;
R103 C.(E).:=1;C.(F).:=1;
R104 SUBROUTINE 'MAS;
R105 BEGIN 'DELETE '(B.,Y.);
R106 ARRAY 'S.(1:T2).;
R107 X.(1:T2).;
R110 READ2T '(-ALG,S.);
R111 READ2T '(-ALG2,X.);END';
R112 MAS;
R113 SUBROUTINE 'EFEKT;
R114 BEGIN'
R115 V:=0;
R116 L:=0;
R117 FOR 'I:=1 STEP '1 UNTIL 'T-1 DO'
R120 BEGIN 'A1:=W.(I).;
R121 FOR 'J:=I+1 STEP '1 UNTIL 'T DO'
R122 BEGIN 'B1:=W.(J).;
R123 IF 'A1(:B1 THEN'
R124 BEGIN 'A:=A1;B:=B1;END'ELSE'
R125 BEGIN 'A:=B1;B:=A1;END';
R126 K:=(A-1)*T+B-(A+1)*A/2;
R127 L:=L+1;
R130 IF 'L(:T2 THEN 'GOTO 'B1;
R131 C:=S.(L).;
R132 CC:=X.(K).;
R133 V:=V+C*CC;END';END';
R134 B1;
R135 END';
R136 Q:=1;
R137 RT:W.(E).:=EE;W.(F).:=FF;
R140 EFEKT;
R141 U.(Q).:=V;Q:=Q+1;
R142 IF 'Q=2 THEN'
R143 BEGIN 'EE:=FF;FF:=G.(1).;
R144 GOTO 'RT;END'
R145 ELSE 'IF 'U.(1).=U.(2). THEN 'GOTO 'TT;EE:=FF;FF:=G.(2).;
R146 W.(E).:=EE;W.(F).:=FF;
R147 V:=U.(1).;
R150 TT:D:=D+2;RR:=TRUE';
R151 DELETE '(G.,U.);END';END'
R152 ELSE 'BEGIN 'IF 'C.(B.(K,1).)=1 THEN'
R153 BEGIN 'IF 'C.(B.(K,2).)=1 THEN 'GOTO 'TRT;
R154 L:=2;Q:=1;END'
R155 ELSE 'BEGIN 'L:=1;Q:=2;END';
R156 E:=B.(K,L).;F:=B.(K,Q).;
R157 H:=1;
R160 A:IF 'V.(H,1).=W.(F).=V.(H,2).=W.(F). THEN'
R161 BEGIN 'B:H:=H+1;
R162 IF 'H(=T2 THEN 'GOTO 'A;
R163 GOTO 'TRU;END';
R164 IF 'Z.(V.(H,1).)=0 THEN 'L:=1 ELSE'
R165 IF 'Z.(V.(H,2).)=1 THEN 'GOTO 'B ELSE 'L:=2;
R166 EE:=V.(H,L).;
R167 C.(E).:=1;Z.(EE).:=1;
R170 W.(E).:=EE;
R171 D:=D+1;END';
R172 TRT:IF 'D=T THEN'
R173 BEGIN 'IF 'RR THEN'
R174 GOTO 'C ELSE'

```

```

R175 BEGIN'MAS;EFEKT;END';END'
R176 ELSE'BEGIN'M:=M+1;GOTO'R;END';
R177 C:PRINT1'(V);
R200 TRU:PRINTAR'(W.);
R201 DELETE'(C.,Z.);
R202 COMMENT'PARANDAMINE;
R203 ARRAY'WW.(1:T).;
R204 W:=V;
R205 D:MM:=TRUE';
R206 FOR'S:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R207 BEGIN'X:=W.(S).;
R210 FOR'U:=S+1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R211 BEGIN'W.(S).:=W.(U).;W.(U).:=X;
R212 EFEKT;
R213 IF'V=W THEN'GOTO'G;
R214 IF'KEY'OCTAL'100 THEN'
R215 BEGIN'PRINTAR'(W.);PRINT1'(V);END';
R216 W:=V;
R217 MM:=FALSE';
R220 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R221 WW.(P).:=W.(P).;
R222 G:W.(U).:=W.(S).;W.(S).:=X;END';END';
R223 IF'MM THEN'GOTO'H;
R224 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T DO'
R225 W.(P).:=WW.(P).;
R226 GOTO'D;
R227 H:V:=W;
R230 PRINTAR'(W.);
R231 PRINT1'(V);
R232 STOP';
R233 PROCED'MAX(S.,T.,A.,Q.,I.,J);
R234 BEGIN'A:=-1;
R235 FOR'P:=1 STEP'1 UNTIL'T*(T-1)/2 DO'
R236 IF'S.(P).)A THEN'
R237 BEGIN'A:=S.(P).;Q:=P;END';
R240 SUBROUTINE'INDEX;
R241 BEGIN'B:=0;
R242 FOR'L:=1 STEP'1 UNTIL'T-1 DO'
R243 BEGIN'B:=B+T-L;
R244 IF'Q(=B THEN'
R245 BEGIN'I:=L;
R246 J:=T-B+Q;
R247 GOTO'AA; END'; END';
R250 AA:
R251 END';
R252 INDEX;END';
R253 PROCED'EFG(B.,C.,K,TN.,E.,F.,G.,TT);
R254 BEGIN'E:=B.(K,1).;
R255 F:=B.(K,2).;
R256 A:K:=K+1;
R257 IF'K)TN THEN'
R260 BEGIN'TI:=TRUE';GOTO'BB; END';
R261 IF'-(C.(B.(K,1).)=0xC.(B.(K,2).)=0) THEN'GOTO'A;
R262 L:=1;Q:=1;
R263 CC:IF'B.(K,L).=E THEN'
R264 BEGIN'IF'B.(K,L).=F THEN'GOTO'D;
R265 L:=L+1;
R266 IF'L=/2 THEN'GOTO'A;
R267 Q:=-Q;
R270 GOTO'CC; END';
R271 E:=F;F:=B.(K,L).;
R272 D:G:=B.(K,L+Q).;
R273 BB: END';

```

R274 START 'ALGUS:FINISH';  
R275

COMMENT 'METHOD MAT (LAHENDI PARANDAMISEGA);  
MEMORY PLAN

VARIABLES		2004	RR
1735	T	2007	H
1736	T2	2012	W
1737	T1	2013	MM
1740	ALG	2014	S
1742	L	2016	X
1743	A	2017	U
1744	Q	2020	P
1745	I	2021	P
1746	J	2023	B
1747	ALG1	2024	L
1751	ALG2	2030	L
1755	D	2031	Q
1756	M	TABLE OF ARRAYS	
1757	K	2047	S
1762	E	2050	B
1763	F	2051	X
1764	G	2052	Y
1765	TT	2053	C
1770	EE	2054	Z
1771	FE	2055	W
1772	GG	2056	G
1775	V	2057	U
1777	A1	2060	WW
2000	B1	SUBROUTINES	
2001	B	2162	2210
2002	C	2274	2322
2003	CC	2626	2651

2703	2726	MAS
2731	3036	EFEKT
2747	3035	
2766	3034	
3404	3516	
3423	3515	
3470	3500	
3534	3544	
3575	3615	
3617	3656	INDEX
3635	3655	
LABELS		
2104	ALGUS	
2360	R	
2444	RR	
3036	B1	
3040	RT	
3130	TT	
3211	A	
3244	B	
3335	TRT	
3353	C	
3355	TRU	
3367	D	
3501	G	
3546	H	
3656	AA	
3675	A	

3745	CC
4011	D
4021	BB
PROCEDURES	
0510	0633 READ1
0642	0755 ARRAY
0756	1066 READAR
1067	1137 WRITE2
1163	1241 DELETE
1242	1301 READ2T
1302	1326 NULL
1327	1505 PRINT1
1506	1721 PRINTA
3554	3660 MAX
3661	4021 EFG
FUNCTIONS	
1140	- 1150 FLOAT
1151	- 1162 FIX
0634	- 0641 ENTIER
OPERATING VARIABLES	
2033	- 2035
CONSTANTS	
2036	- 2046
PROGRAM	
2073	- 4022
START 0105	

Tootmisjaoskondade seadmete paigutamise meetodite  
võrdlev analüüs

Käesolevas töös esitatud seadmete paigutamise meetodid on ligikaudsed selles mõttes, et nende kasutamisel pole garanteeritud optimaalse variandi leidmine. Kõikide meetodite abil saadakse seadmete paigutamise nn. suboptimaalne variant, mis võib osutuda ka optimaalseks.

Ümberpaigutusmeetodite 1 ja 2 puhul vaadatakse sihipäraselt läbi teatav hulk seadmete paigutamise variante ning leitakse nende seast parim variant. Mõlema meetodi kasutamisel saadakse lõppresultaadina selline seadmete paigutamise variant, mille puhul mistahes kahe seadme omavaheline vahetamine annab halvema variandi. Kui seadmete paigutamise algvariant on halb, siis ümberpaigutusmeetodite korral võib juhtuda, et protsess lõpeb suhteliselt halva variandi leidmisega, millest paremat varianti mingi kahe seadme omavahelise vahetamisega enam ei saa. Ümberpaigutusmeetodi 1 korral võetakse igal iteratsioonisammul uueks lähtepaigutuseks pärast  $t(t-1)/2$  ümberpaigutust saadud parim variant. Seega võib iga uus lähtepaigutus olla eelmisest tunduvalt parem. Ümberpaigutusmeetodi 2 puhul võetakse uueks lähtepaigutuseks iga eelmisest lähtepaigutusest parem variant, mis leitakse. See võib olla eelmisest lähtepaigutusest aga väga vähe parem. Seega on põhjust karta, et ümberpaigutusmeetodi 2 puhul leitav seadmete paigutamise variant võib küllaltki palju erineda optimaalsest variandist. On alust loota, et ümberpaigutusmeetodid annavad parema tulemuse juhul, kui algpaigutus ise on küllaltki hea. Otstarbekas

on leida mingi teise meetodiga seadmete paigutamise suboptimaalne variant ja siis seda parandada ümberpaigutusmeetodi 1 või 2 abil. Viimasena toodud programmis on ühendatud meetodi MAT ja ümberpaigutusmeetodi 1 algoritm. Algul leitakse meetodi MAT abil seadmete paigutamise variant, mida seejärel ümberpaigutusmeetodi 1 abil parandatakse.

Meetodi MAT asemel on otstarbekam kasutada tema modifikatsiooni. See annab nii meetodiga MAT saadava seadmete paigutamise variandi ja tavaliselt ka mõne sellest parema variandi. Kõige aeganõudvam on massiivide S ja X järjestamine, täpsemalt indeksite massiivide B ja Y koostamine. Kui paigutatavaid seadmeid on 12, siis kulub ühe indeksite massiivi koostamiseks veidi üle kolme minuti, kaks korda suurema seadmete arvu korral aga üle neljakümne üheksa minuti. Esimesel juhul leitakse seadmete paigutamise variant seitsme minutiga, teisel juhul aga ühe tunni ja neljakümne ühe minutiga. Meetodi MAT modifikatsiooni korral leitakse esimesel juhul uus variant iga 30 sekundi, teisel juhul aga ühe minuti ja neljakümne sekundi järel.

Kõnesolevate meetodite võrdlev kasutamine meie poolt näitas, et suure seadmete arvu korral on eriti sobiv järjestamismeetod. See on võrreldes teistega kiireim meetod. Kui seadmete arv  $t = 12$ , siis on kahe minutiga leitud ning välja trükitud kõik neli seadmete paigutamise varianti. Kui  $t = 24$ , siis kulub selleks 6,5 minutit. Seega annab järjestamismeetod seadmete paigutamise 4 suboptimaalset varianti kahekümne nelja seadme korral 15,5 korda kiiremini kui meetod MAT ühe variandi. Kaheteistkümne seadme I ja II järjestuse leidmiseks kulub 40 sekundit, kahekümne nelja seadme puhul 2 minutit.

Toodud järeldused on tehtud seadmete paigutamise ülesande lahenduste põhjal Moskva Autoremonditehase jaoks.

Moskva Autoremonditehase nr. 1 mehhaanika tsehhis on 24 tööpinki. Järjestamismeetodi abil 6,5 minuti jooksul leitud neli varianti on kõik erinevad ja tunduvalt paremad algpaigutusest. Parim variant on 42% võrra parem algpaigutusest, kaks järgmist 41% võrra ja halvim 40% parem kui algpaigutus.

Meetodiga MAT ühe tunni ja neljakümne ühe minuti jooksul saadav variant on samuti 42% parem kui algne variant. Ta on saadud aga, nagu eespool mainitud, 15,5 korda suurema aja jooksul.

Meetodi MAT modifikatsioon annab ühe tunni ja 41 minuti jooksul meetodiga MAT saadava lahendi. Kolm minutit pärast seda aga trükitakse välja variant, mis on 49% parem kui esialgne. Kümme minutit pärast meetodiga MAT saadava lahendi väljatrükkimist aga saadakse variant, mis on 51% parem kui algpaigutus. Selle saamiseks kulus aega üks tund ja 51 minutit.

Ühe tunni ja neljakümne ühe minuti jooksul saadakse ümberpaigutusmeetodi 2 abil variant, mis on 43% parem kui algne variant. Kahe tunni ja neljakümne kaheksa minuti jooksul saadakse 48% võrra algpaigutusest parem variant.

Ümberpaigutusmeetodiga 1 saadakse ühe tunni jooksul 38% võrra, ühe tunni ja kahekümne minuti jooksul aga 44% võrra parem variant kui algpaigutus. Selle konkreetse ülesande puhul saadakse ümberpaigutusmeetodiga 1 kahekümne minuti võrra kiiremini 44% võrra algpaigutusest parem tulemus kui ümberpaigutusmeetodiga 2 43% algpaigutusest parem tulemus.

### LÖPPSÖNA

Tänapäeva tootmispraktikas kerkib sageli nn. seadmete ruumilise paigutamise ülesanne. Mida suurem on paigutatavate seadmete arv, seda raskem on orienteeruda tohutus erinevate variantide hulgas ning leida rahuldavat varianti.

Käesoleva töö peaesmärgiks oli esitada ning ühtlasi ka realiseerida arvutil Minsk-22 meetodeid, mis võimaldavad leida praktikas esineva küllaltki suure arvu seadmete paigutamise suboptimaalset paigutamisvarianti. Uute meetodite väljatöötamisel on silmas peetud nii saadavat resultaati kui ka aega, mis kulub selle saamiseks.

Suhteliselt väikese arvu seadmete korral on otstarbekas kasutada ümberpaigutusmeetodeid. Nende puhul vaadatakse läbi küllalt arvukalt variante, mille seast leitakse järjest paremaid. Iteratiivse protsessi võib katkestada enne arvutuste lõppu, kui ollakse jõudnud praktikalt rahuldava tulemuseni.

Nagu meie töös selgus, on resultaadi saamise kiiruselt parim järjestamismeetod. Kui selle meetodi abil saadud variant praktikalt ei rahulda, tuleb ümberpaigutusmeetodiga 1 või 2 seda parandada.

Kuna suure arvu seadmete puhul ümberpaigutusmeetoditega suhteliselt aeglaselt leitakse paremaid variante, siis on otstarbekas kasutada meetodit MAT ja tema modifikatsiooni. Jälle on soovitatav kasutada ümberpaigutusmeetodeid nende meetoditega saadud lahendite parandamiseks, kui need ei rahulda. Sageli piisab mõnest iteratsioonisammust, et saada rahuldavat tulemust.

Kui seadmete paigutamise ülesannet lahendatakse pikema plaanilise perioodi jaoks, on soovitatav kasutada kõiki meetodeid.

Käesolevas töös esitatud seadmete paigutamise meetodite rakendamisel Moskva Autoremonditehase nr. 1 mehhaanikatsehi 24 seadme paigutamise ülesande lahendamisel selgus, et järjestamismeetodi abil 6,5 minutiga saadavad 4 varianti on kõik 40-42% paremad algpaigutusest. Algpaigutusest 42% parema variandi saab ka meetodiga MAT, kuid 15,5 korda suurema aja jooksul. Kui kasutada meetodi MAT modifikatsiooni, saadakse 1 tunni 41 minuti jooksul see variant, mis meetodiga MAT. Algpaigutusest 49% ja 51% paremad variandid saadakse vastavalt 3 ja 10 minutit pärast meetodiga MAT saadavat varianti.

Kasutatud kirjandus

1. P. Hanko. Programmeerimine MALGOL-süsteemis. Tallinn, 1969.
2. Ü. Kaasik. Matemaatiline planeerimine. Tallinn, 1967.
3. Ü. Kaasik, A. Korjus, I. Kull. Programmeerimine. Tallinn, 1971.
4. H.K. Edwards, B.E. Gillett, M.E. Hale. Modular allocation technique (MAT). "Management Science", 1970, v. 17, N<sup>o</sup> 3.
5. G.O. Wesolowsky, R.F. Love. The optimal location of new facilities using rectangular distances. "Operations Research", 1971, v. 19, N<sup>o</sup> 1.
6. А.И.Неймарк, Р.П.Шейнман, В.Г.Голова. Расчет и программирование расстановки оборудования в цехах. Л., 1969.
7. Р.П.Шейнман. Оптимальная планировка оборудования на механических участках. "Вестник машиностроения", 1965, №3.
8. В.В.Шкурба. К решению задачи круговой расстановки станков. "Кибернетика", 1967, №3.
9. Система автоматического программирования для ЭВМ "Минск-22".  
Таллин, 1969.
10. Система стандартных программ алгоритмического языка "МАЛГОЛ".  
Таллин, 1972.

## РЕЗЮМЕ

В работе решается задача оптимальной расстановки оборудования с использованием ЭВМ типа "Минск-22".

Реализованы известные по литературе методы решения : метод перестановок и метод МАТ.

Представлены и реализованы новые методы: модификация метода МАТ, метод ранжирования.

Использованные методы гарантируют субоптимальное решение поставленной задачи.

Sisukord

SISSEJUHATUS .....lk. 2

I. SEADMETE PLANEERIMISE TEHNILIS-MAJANDUSLIK TÄHTSUS..... " 6

  § 1. Tootmisjaoskondade tüübid ja seadmete planeerimine.. " 6

  § 2. Seadmete paigutamise optimaalsuskriteeriumi valik .. " 10

II. TOOTMISJAOSKONNA SEADMETE PAIGUTAMISE MEETODID ..... " 14

  § 1. Ülesande püstitus ja matemaatiline formaliseerimine. " 14

  § 2. Ümberpaigutusmeetod 1 ..... " 17

  § 3. Ümberpaigutusmeetod 2 ..... " 21

  § 4. Meetod MAT ..... " 22

  § 5. Meetodi MAT modifikatsioon ..... " 29

  § 6. Järjestamismeetod ..... " 33

III. SEADMETE PLANEERIMISE MEETODITE REALISEERIMINE ARVUTIL

  MINSK-22 ..... " 41

  Plokkskeemid ..... " 46

  MARGOL-programmide tekstid ..... " 59

  Tootmisjaoskondade seadmete paigutamise meetodite võrdlev analüüs ..... " 79

LÕPPSÕNA ..... " 82

Kasutatud kirjandus ..... " 84

Venekeelne resüme ..... " 85