

*Særtryk af artikel i
»Sådan laves det«, 4. udgave 1966
Politikens Forlag*

Hvordan elektronregnemaskinen virker

Af civilingeniør

PER BRINCH HANSEN

A/S REGNECENTRALEN

1967

Tænkende maskiner?

Det er ikke mere end 20 år siden, amerikaneren *John von Neumann* udviklede den første *programstyrede elektronregnemaskine*. I dag er disse maskiner allerede i færd med at overtage meget af det rutinearbejde, man før mente kun kunne udføres af mennesker. Disse forbløffende maskiner beregner ugelønninger for store virksomheder, ajourfører checkkonti i banker, beregner præmieopkrævninger for forsikringsselskaber, lægger en fuldstændig tidsplan for bygningen af et ejendomskompleks, styrer et helt stålværk, o.s.v.

Disse maskiner er i virkeligheden ikke helt så indviklede eller helt så begavede, som man normalt tror. Enhver beregning, maskinen skal udføre, må i forvejen planlægges indtil mindste detalje af brugeren. Når maskinen her-

efter startes, vil den slavisk udføre de operationer, den er indstillet til — og hverken mere eller mindre end det. Regnemaskinens *begrænsning* er, at den kun kan udføre meget trivielle beregninger. Dens *styrke*, at den kan gøre dette langt hurtigere og mere pålideligt end noget menneske.

Den enorme elektroniske hastighed er noget, de fleste af os accepterer. Mere forbløffende virker det, at en regnemaskine kan arbejde uden menneskelig indgriben. Den styrer faktisk sig selv, mens den regner!

Da elektronregnemaskinen i dag er en så væsentlig faktor for mange store, danske virksomheder og industrier, vil vi se lidt nærmere på en meget simpel regnemaskine for at få en fornemmelse af, hvordan den egentlig arbejder, og hvordan den er bygget.

Hvordan virker en elektronregnemaskine?

Regnemaskinens opbygning.

Hvordan skal en maskine være opbygget, for at den kan regne? For det første skal man kunne få tallene ind i og ud af maskinen. Den regnemaskine, der skematisk er tegnet på side 2, kommer i kontakt med omverdenen ved hjælp af en elektrisk *skrivemaskine*, hvor operatøren kan taste de tal ind, som maskinen skal arbejde med. Når en beregning er slut, trykker skrivemaskinen selv det færdige resultat ud.

Regnemaskinen må også have et sted, hvor den kan gemme de tal, den skal regne med. Denne enhed, der kaldes for *lageret*, er delt i en række skuffer eller *celler*, der hver kan gemme ét tal.

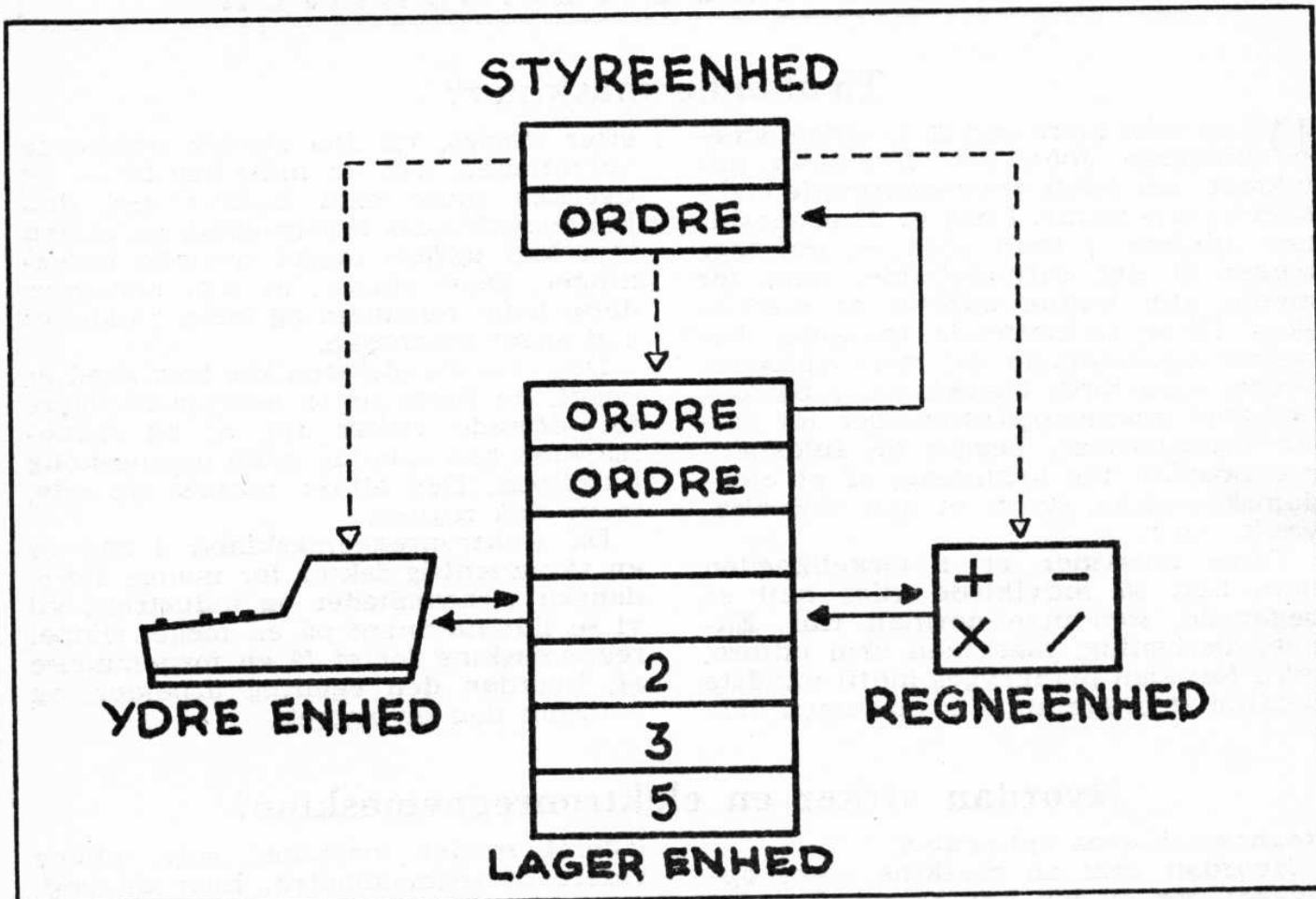
Regneenheden.

Endelig er der selve *regneenheden*. Her foregår de egentlige beregninger. Regneenheden kan lægge to tal sammen, trække dem fra hinanden, eller den kan multiplicere og dividere.

Vi vil i detaljer se, hvordan maskinen løser den simple opgave at lægge to tal sammen, f. eks. $2 + 3$. Operatøren taster først de to tal ind på skrivemaskinen, der virker som en almindelig fjernskriver. Den sender en række elektriske impulser ind i regnemaskinen, og disse bevirker, at to-tallet og tre-tallet bliver anbragt i hver sin lagercelle. Fra

lageret sender maskinen selv tallene videre til regneenheden, hvor de lægges sammen ad elektrisk vej. Resultatet, et fem-tal, sendes fra regneenheden tilbage til lageret, hvor det gemmes i en tredje celle. Til sidst sendes resultatet fra lageret ud til skrivemaskinen som en serie elektriske impulser, der får denne til at skrive et fem-tal.

Regnemaskinen består altså af en skrivemaskine, et lager og en regneenhed. Men endnu adskiller den sig ikke stort fra en almindelig kontorregnemaskine. På denne kan man taste tal ind, den kan lægge dem sammen, og den gemmer undervejs det foreløbige resultat. Men så længe man arbejder med en kontorregnemaskine, er det hele tiden *operatøren*, der trin for trin bestemmer rækkefølgen af de enkelte regneoperationer. Og her ligger den afgørende forskel. Når man først har startet en elektronregnemaskine, arbejder den videre på egen hånd — uden operatørens indgreb! Det er simpelthen en nødvendighed for at kunne udnytte maskinens enorme hastighed. Tænk f. eks. på en elektronregnemaskine, der kan udføre 100.000 regneoperationer på ét sekund. Hvis operatøren her skulle styre rækkefølgen af de enkelte operationer ved at trykke på forskellige knapper, ville maskinen hele tiden stå og vente på operatørens næste ordre.



Skematisk fremstilling af regnemaskinens opbygning. Tallene kommer ud og ind gennem den elektriske skrivemaskine; ordrer og talresultater gemmes i lageret; de egentlige beregninger sker i regneenheden t. h. Styreenheden modtager ordrer og omsætter dem til elektriske signaler, der styrer de tre andre enheder.

På den måde ville den elektroniske hastighed blive illusorisk.

Styreenheden.

Hvordan får man så maskinen til at arbejde på egen hånd? Det sørger den fjerde enhed, *styreenheden*, for. Denne kan ligesom regneenheden modtage et tal fra en lagercelle. Men styreenheden opfatter ikke et tal som noget, der skal regnes på, men som en *kode*, der fortæller, hvilken operation maskinen nu skal udføre. F. eks. vil styreenheden opfatte et et-tal som en ordre, der siger, at maskinen nu skal modtage et tal fra skrivemaskinen og anbringe det i en bestemt lagercelle. Eller et fem-tal kan angive, at et tal skal hentes fra en bestemt lagercelle og sendes over til regneenheden, for der at blive lagt til et andet tal.

Disse ordretal har operatøren i forvejen placeret i lageret. Styreenheden læser dem et for et og omsætter dem til elektriske signaler, der styrer de tre andre enheder. At styreenheden kan

opfatte et tal som en ordre og omsætte den til handling, skyldes ikke sort magi. Nøjagtig det samme gør enhver automatisk telefoncentral. Det tal, man drejer på nummerskiven, er en ordre til centralen om at finde en bestemt abonnent og sende et signal til vedkommendes telefon.

Styreenheden er regnemaskinens central. Den kan modtage et tal fra lageret og opfatte det som en ordre om at vælge en bestemt enhed og sende et elektrisk styresignal til denne enhed — enten til skrivemaskinen, til en bestemt lagercelle eller til regneenheden.

Lageret.

Lageret indeholder altså to slags tal: De normale tal, som regneenheden lægger sammen, trækker fra hinanden, o.s.v., og de tal, som styreenheden modtager og opfatter som ordrer. Skemaet på næste side viser, hvad lageret faktisk indeholder, når maskinen skal lægge to tal sammen. På dette »nærbillede« er de enkelte lagerceller numme-

0	1	13	Tast tal til celle 13
1	1	14	Tast tal til celle 14
2	3	13	Hent tal fra celle 13
3	5	14	Adder tal fra celle 14
4	4	15	Flyt tal til celle 15
5	2	15	Skriv tal fra celle 15
6	6	0	Stop regnemaskinen
...			
13	2		Første tal
14	3		Andet tal
15	5		Summen

rerede fra 0 til 15. I hver af de syv første celler står der en ordre, maskinen skal udføre, mens cellerne 13, 14 og 15 er reserverede til de tal, maskinen skal regne på.

Vi kan som eksempel se på den ordre, der står i celle 2:

3 13

Ordren består af to dele. Venstre halvdel er en talkode, der fortæller styreenheden, *hvad* maskinen skal gøre. Tre-tallet her betyder f. eks., at styreenheden skal finde et bestemt tal i lageret og derefter sende dette tal over i regneenheden. Højre halvdel af ordren angiver, *hvor* i lageret, det ønskede tal findes. Denne del af ordren er simpelt hen nummeret på en bestemt lagercelle. Den fuldstændige ordre angiver altså i dette tilfælde, at styreenheden skal *hente* det tal, der er gemt i *celle 13* og anbringe det i regneenheden.

Hvordan udføres ordren.

Det er operatøren, der har forberedt denne samling ordrer og ved hjælp af skrivemaskinen fået dem anbragt i lageret. På det tidspunkt, da den egentlige beregning startes, har vi endnu ikke anbragt noget tal i de tre nederste celler. Operatøren trykker først på en *startknap*, som automatisk sender ordren i celle 0 op til styreenheden. Denne første ordre angiver, at maskinen nu skal være klar til at modtage et tal fra skrivemaskinen og gemme dette i celle 13. Styreenheden sender derfor en startimpuls til skrivemaskinen, og operatøren kan nu taste det første tal ind, f. eks. et to-tal. Skrivemaskinen sender tallet ind i maskinen som en serie elektriske impulser. Samtidig sender styreenheden et signal til lageret, så to-tallet havner i celle 13.

Styreenheden er nu færdig med den første ordre. Den henter så en ny ordre fra den næste celle, d.v.s. fra celle 1. Det er en ordre om at modtage endnu et tal fra skrivemaskinen og gemme det i celle 14. Operatøren taster her et tre-tal, som går ind i celle 14. Nu har regnemaskinen fået de to tal, den skal lægge sammen og den arbejder herefter videre uden operatørens medvirken.

Den læser den følgende ordre fra celle 2, som fortæller, at styreenheden skal hente det tal, der står i celle 13 og sende det over i regneenheden. Efter signal til lageret hentes to-tallet ud af celle 13, sendes over til regneenheden som en serie elektriske impulser og gemmes midlertidigt i en lokal lagercelle.

Ordren i celle 3 siger, at maskinen skal addere tallet i celle 14 til det tal, der lige er sendt til regneenheden. Alt-så sendes tre-tallet over i regneenheden, hvor det ad elektrisk vej adderes til to-tallet. Resultatet, et fem-tal, bliver foreløbig stående i regneenheden, men allerede den næste ordre, der hentes fra celle 4 bevirker, at resultatet gemmes i celle 15.

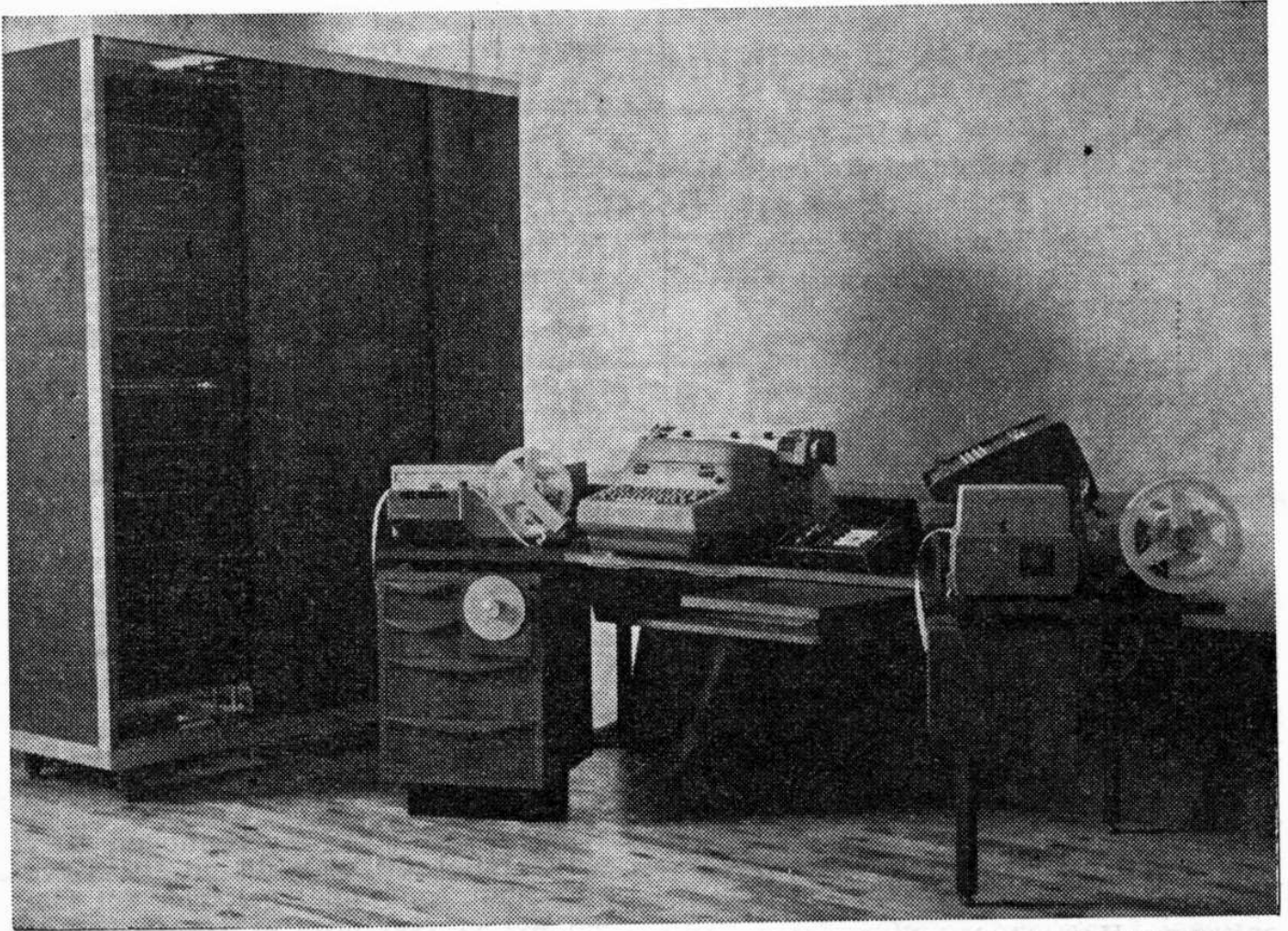
Næste ordre får styreenheden til at sende tallet fra celle 15 ud til skrivemaskinen, som endelig skriver det femtal, der er resultatet af vor beregning. Den sidste ordre er en *stop-ordre*, der fortæller styreenheden, at beregningen er slut.

Det lille eksempel viser, at det er styreenheden, der gør elektronregnemaskinen til noget enestående. Styreenheden kan modtage en række tal fra lageret og opfatte dem som simple ordrer, der siger: *Hent* et tal, *adder* et andet tal, *flyt* resultatet, o.s.v.

Programmering.

Den samling ordrer, der står i lageret, når en beregning startes, kaldes et *program*. For at få maskinen til at løse en bestemt opgave må man først sætte sig ned og skrive et sådant program, d.v.s. man må skrive en passende serie af de primitive ordrer, som maskinen er i stand til at udføre. Denne forberedelse kaldes *programmering*. Når det er sket, må man ved hjælp af skrivemaskinen anbringe den færdige serie ordrer i lageret.

Programmet må indtil mindste detalje fortælle styreenheden, hvad den skal gøre. Styreenheden selv er nemlig kun i stand til at læse ordrerne en for en og udføre dem. Men den kan på ingen måde afgøre, om der er nogen for-



Mindre elektronregnemaskine. Skabet t. v. rummer maskinens centrale dele, lager, regne- og styreenhed. På bordet står en skrivemaskine for ind- og udlæsning af tal omgivet af et læseapparat og et hulleapparat for tal, der hules på papirstrimmel.

nuftig mening med programmet som helhed. Det har brugeren af maskinen alene ansvaret for. At forestille sig, at maskinen kan »tænke« selv, er altså meningsløst. Alle dens handlinger er fuldstændig planlagt af det menneske, der har skrevet programmet.

Dette, at regnemaskinen kan styre sig selv ved hjælp af et lagret program, indebærer, at maskinen ikke på forhånd er bygget og fast indstillet til at løse én bestemt opgave. Ved at anbringe forskellige programmer i maskinens lager kan man få den til at udføre vidt forskellige opgaver.

Binære tal.

Hvordan ser tallene selv ud inde i maskinen? Her er igen en ting, der viser, hvor primitiv regnemaskinen er, den kender nemlig kun tallene *nul* og *et*. Hvis vi således vil taste et tal, f. eks. 43, ind på skrivemaskinen, må vi

først omskrive tallet til en serie et-taller og nuller.

Vi ved, at første ciffer i et decimaltal udtrykker antallet af enere, og næste ciffer antallet af tiere, o.s.v. Tallet 43 betyder med andre ord $4 \times 10 + 3 \times 1$. I regnemaskinen har man givet cifrene nye betydninger. Her udtrykker det første ciffer antallet af enere, mens det næste ciffer er antallet af toere. Tredie ciffer er antallet af firere og det fjerde antallet af ottere. Man fortsætter hele tiden med at gange op med 2 for hvert ciffer — i stedet for at gange med 10, som vi er vant til. I dette binære talsystem skrives tallet 43 som 101011. Det betyder $1 \times 32 + 0 \times 16 + 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1$.

Disse binære tal, der består af en række nuller og et-taller ser lange og indviklede ud, men for regnemaskinen er de langt simplere at arbejde med end normale, decimale tal. De binære tal

DECIMAL TAL

10	1
4	3

BINÆRT TAL

32	16	8	4	2	1
1	0	1	0	1	1



Decimale og binære tal. I regnemaskinen er alle decimale tal omskrevet til en serie et-taller og nuller, der igen fysisk svarer til en række elektriske strømme.

repræsenteres inde i maskinen ved elektriske strømme. Hvis tallet 43 skal sendes fra lageret over til regneenheden, sker dette gennem seks ledninger, én for hvert ciffer i det binære tal. Hvis der her går strøm i en ledning, svarer det til et binært et-tal, mens ingen strøm svarer til et nul. Allerede her ses en af fordelene ved en maskine, der arbejder med binære tal: cifrene *et* og *nul* kan repræsenteres ved to simple fysiske tilstande — enten går der *strøm* i en ledning, eller også går der *ingen strøm*.

Et tal kan altså sendes fra en del af maskinen til en anden, f. eks. fra skrivemaskinen til lageret eller fra lageret til regneenheden, som en række strømimpulser. Det næste spørgsmål er så, hvordan et tal kan gemmes i lageret.

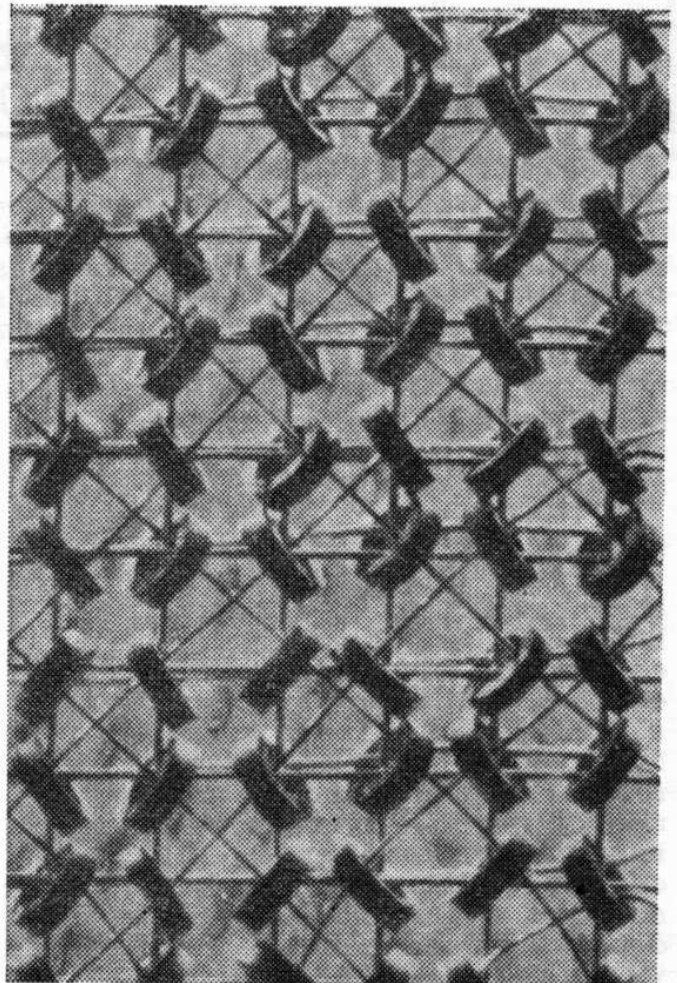
Båndoptagerprincippet.

Det er en nærliggende tanke at gemme tallene på samme måde, som man gemmer musik på en båndoptager. Ideen i en båndoptager er, at det der

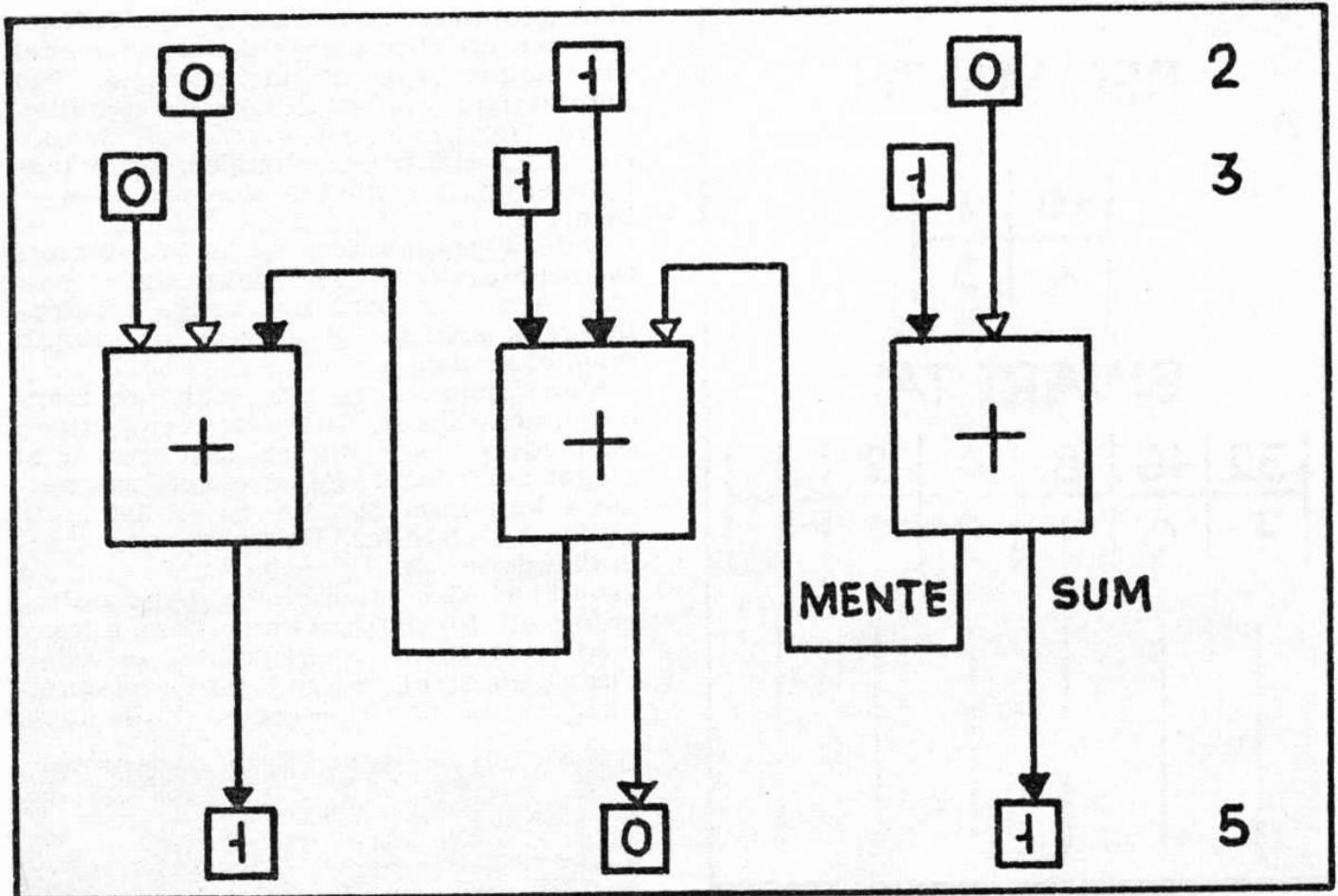
skal gemmes, sendes ind i båndoptageren som en serie elektriske signaler, der vil magnetisere et magnetbånd. Når båndet igen spoles tilbage og afspilles, bliver magnetismen omsat til de oprindelige elektriske signaler. En båndoptager virker med andre ord som et lager.

Inde i regnemaskinen er de binære tal repræsenteret ved elektriske strømme, så vi kan også her bruge båndoptagerens princip til at lave et såkaldt magnetbåndslager.

Man bruger meget tit sådanne magnetbåndstationer, når regnemaskinen skal udføre beregninger, der kræver et meget stort lager. På et enkelt magnetbånd kan man gemme op til 100 mill. nuller og et-taller. Desværre har magnetbåndene én alvorlig ulempe: På grund af den mekaniske båndspoling er de alt for langsomme sammenlignet med maskinens elektroniske enheder. For at finde ét bestemt tal på magnetbåndet kan man risikere at skulle spole



Ferritlageret. Regnemaskinens hovedlager består af titusinder af bittesmå magnetiske ringe; hver af disse ferritkerner kan gemme enten et et-tal eller et nul.



Regneenhedens opbygning. De to rækker ferritkerner foroven indeholder de binære tal, der skal lægges sammen. Magnetismen i kernerne omdannes til elektriske strømme, der sendes ind i en række ens transistor kredsløb. Hvert kredsløb lægger to binære cifre sammen og danner en sum-strøm og en mente-strøm. Efter additionen står resultatet i den nederste række ferritkerner.

helt til enden af båndet. Det tager flere minutter, og imens spilder styreenheden sin kostbare tid.

Ferritlageret.

I praksis bruger man derfor også en anden type lager, ferritlageret, der er langt hurtigere. Ferritlageret består af en mængde små ringe, der er lavet af et magnetisk materiale. Disse ferritkerner er så små, at der kan ligge over hundrede af dem i et fingerbøl. I lageret sidder der titusinder af disse kerner, og gennem hver går der elektrisk ledning. Hvis man sender en strøm den ene vej i ledningen, bliver kernen magnetiseret på én måde, svarende til at den nu gemmer et nul. På samme måde vil en strøm, der går den modsatte vej, magnetisere kernen, så den gemmer et et-tal. Hver lille ferritkerne kan altså gemme ét binært ciffer, der enten har værdien nul eller et.

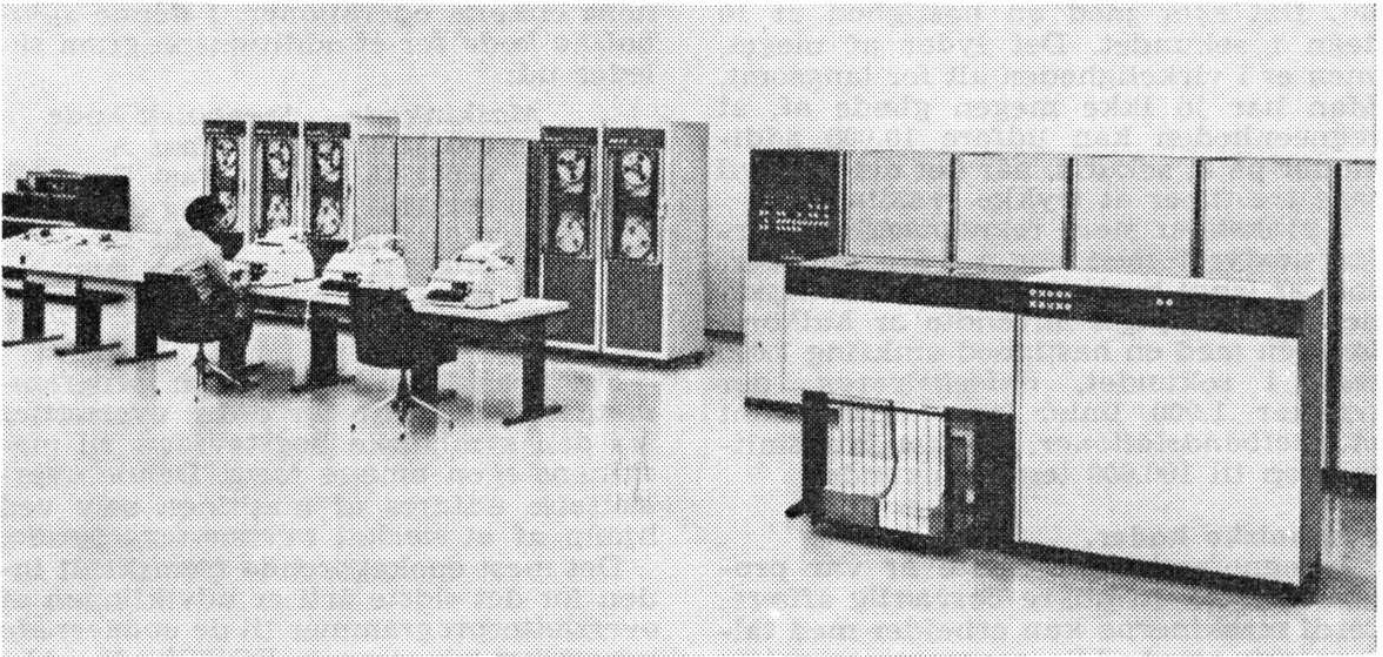
Den store fordel ved ferritlageret er,

at styreenheden direkte kan få fat i ét bestemt tal ved at udvælge netop den ledning, der går gennem den kerne, hvori tallet er gemt. Man behøver ikke som ved magnetbåndet at lede gennem en masse tal for at finde de bestemte tal, man søger.

Regneenhedens opbygning.

Når man lægger tal sammen med papir og blyant, sker det ved at tage et ciffer ad gangen og danne en sum og en mente. Hvis vi f. eks. skal udregne $58 + 27$, så starter vi med $8 + 7$, som giver 15, altså summen 5 plus 1 i mente. Efter det lægges de to næste cifre sammen med menten: $1 + 5 + 2 = 8$; så har vi fundet den samlede sum, 85.

Nøjagtigt det samme sker i elektronregnemaskinen. Her står tallene ganske vist i binær form, men det er også den eneste forskel. Lad os holde os til vort tidligere eksempel, $2 + 3$. De hedder på binær form henholdsvis 010 og 011, idet



Et stort regneanlæg med hurtige ydre enheder. Forrest ses en linieskriver, der trykker 1.000 linier i minuttet. Bagved står selve regnemaskinen. T. v. er opstillet fem af de store magnetbåndstationer, der anvendes som ekstralager, når regnemaskinen skal behandle store talmængder. Yderst i billedet står en stanseenhed for hukort.

$0 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 1 = 2$, mens $0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = 3$.

Regneenheden begynder med at danne en sum og en mente af de to bageste cifre: $0 + 1$ giver summen 1 og 0 i mente. Så tager den de to næste cifre, $1 + 1$. For de binære tal gælder den regel, at $1 + 1$ giver summen 0 og 1 i mente. Endelig adderes menten til de to forreste cifre: $1 + 0 + 0 = 1$. Det færdige resultat, 101, er et binært femtal, idet $1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 5$, så resultatet stemmer.

Tegningen side 6 viser, hvordan regneenheden er bygget op. Den indeholder tre lokale lagerceller. I to celler foroven opbevares de to tal, der skal lægges sammen. I dette tilfælde gemmes to-tallet i den øverste celle som et binært tal 010, mens tre-tallet gemmes lige nedenunder som 011. Resultatet, der her bliver et femtal, står efter additionen i den nederste celle som 101. De binære tal, der her skal lægges sammen, har hver tre cifre, så en lagercelle består i virkeligheden af tre små ferritkerner, der hver kan gemme et nul eller et et-tal.

Selve additionen foregår i tre elektriske kredsløb. Hvert kredsløb kan lægge to cifre sammen og danne en sum og en mente. Disse elektriske kredsløb er meget simple og fuldstændig ens

kredsløb, der arbejder med transistorer.

Når regneenheden har modtaget et startsignal fra styreenheden, begynder additionen. Først tager regneenheden de to bageste cifre. Der sker det, at magnetismen i de to bageste ferritkerner omdannes til elektriske signaler, der løber ind i den første additionsenhed. Ud af additionsenheden kommer som sum et elektrisk signal, der magnetiserer ferritkernen nedenunder. Der kommer også et mentesignal, der sendes videre til det næste kredsløb. Her adderes menten til indholdet af de to næste ferritkerner. Der dannes så igen en sum, der gemmes i en ferritkerne, og en mente, der løber videre til den forreste additionsenhed.

Når alle tre cifre foroven er blevet lagt sammen, står den samlede sum i de tre nederste ferritkerner. Fra denne lokale lagercelle kan resultatet sendes tilbage til det egentlige lager og gemmes der.

Store regnemaskiner.

Den forenklede regnemaskine, vi her har betragtet, kan kun komme i forbindelse med operatøren gennem en elektrisk skrivemaskine. Alle tal, der skal ind på lageret, må operatøren taste på skrivemaskinen. Efter en beregning trykker skrivemaskinen selv resultatet

Elektronregnemaskiner

ud. Det sker med en hastighed af 10 tegn i sekundet. Det lyder af meget, men er i virkeligheden alt for langsomt. Man har jo ikke megen glæde af, at regneenheden kan udføre 10.000 additioner på ét sekund, når det derefter vil tage tre timer at trykke resultaterne!

I praksis er store regnemaskiner derfor udstyret med andre ydre enheder, som er langt hurtigere end skrivemaskinen. De hyppigst anvendte er *hulkortlæseren* med en hastighed omkring 1.000 tegn i sekundet, *linieskriveren*, der trykker 1.000 linier pr. minut, samt *magnetbåndstationer*, der kan transmittere op til 100.000 tegn i sekundet.

Symbolske koder.

I regnemaskinens første år var programmering en uhyre besværlig affære, fordi maskinerne kun arbejder med tallene nul og et. Alle programmer måtte derfor skrives i en *maskinkode* bestående af en uoverskuelig samling tal. For at lette programforberedelsen har man senere fundet på at indføre læselige bogstavforkortelser for maski-

nens enkelte operationer. I denne *symbolske kode* ser et additionsprogram således ud:

Maskinkode	Symbolsk kode
00011101	Tast A
00011110	Tast B
00111101	Tag A
01011110	Add B
01001111	Gem sum
00101111	Tryk sum
01100000	Stop

Før maskinen kan udføre programmet, må det ordre for ordre oversættes fra den symbolske bogstavform til maskinens egen binære form. Denne oversættelse udføres af maskinen selv ved hjælp af et særligt *oversætterprogram*.

Det mest epokegørende fremskridt inden for det sidste årti er udviklingen af oversætterprogrammer til de *avancerede programmeringssprog* FORTRAN, ALGOL og COBOL. Disse sprog tillader brugeren at udtrykke sig direkte i matematiske formler, således at en addition simpelthen kan skrives som: $SUM = A + B$.

