

Innovativ elektriker i automatiseringens barndom – Berthel Andersens styringer på Grundfos 1956-1972

AF DAVID LYNGE HEIN

I sidste halvdel af 1950'erne udviklede Grundfos (indtil 1967 under navnet Bjerringbro Pumpefabrik) en elektrisk styring, som gjorde det muligt at automatisere fabrikkens drejebænke. Styringen har i et historisk tilbageblik vist sig at være ganske unik af sin art, og er samtidig et meget tidligt eksempel på automatisering af værktøjsmaskiner. Artiklen undersøger styringen i forhold til den internationale udvikling af styringsautomatik og i relation til automatisering af dansk bearbejdningsindustri. Først redegøres for en række distinktioner og begreber indenfor automatiseringsteori. Her skelnes mellem automatisering af henholdsvis procesindustri og bearbejdningsindustri, som har hver sit historiske forløb. Herefter består artiklen af to halvdele. Første halvdel beskriver hvorledes udviklingen af styringer til automatiserede værktøjsmaskiner forløb i de første årtier efter 2. Verdenskrig. De første styringer blev udviklet i USA i første halvdel af 1950'erne. På trods af stigende akademisk opmærksomhed i Skandinavien på den nye teknologi fra midten af 1950'erne begyndte den danske bearbejdningsindustri dog først at automatisere maskiner i nævneværdig grad efter 1970. Anden halvdel af artiklen beskriver udviklingen af styringen på Grundfos og den efterfølgende automatisering af virksomheden i perioden 1960 og frem til først i 1970'erne. Forløbet anskues i relation til virksomhedens hastige ekspansion og produktionsforøgelse, der skabte flaskehalse i produktionen og mangel på arbejdskraft, hvilket bevirkede en stor lyst til at eksperimentere med ny teknologi.

Indledning

I sidste halvdel af 1950'erne udviklede Bjerringbro Pumpefabrik, senere kendt som Grundfos, en elektrisk styring, som gjorde det muligt at automatisere fabrikkens drejebænke. Styringen har i et historisk tilbageblik vist sig at være ganske unik af sin art, og er samtidig et meget tidligt eksempel på automatisering af værktøjsmaskiner.¹ I slutningen af 1950'erne var de første automatiserede værktøjsmaskiner fortsat under udvikling i USA, og der fandtes endnu ingen kommercielt tilgængelige elektriske styringer på markedet.

Arbejdet med at udvikle styringen blev sat i gang på foranledning af fabrikkens ejer og stifter, Poul Due Jensen, og styringen blev konstrueret af fabrikkens elektriker Berthel Christian Andersen i årene frem mod 1960, hvor den første gang blev taget i anvendelse på fabrikken. I de efterfølgende årtier konstruerede Berthel Andersen nye generationer af elektriske styringer, som byggede videre på hans egenudviklede koncept.

Berthel Andersens styring fra 1960 er sandsynligvis den første danskbyggede af sin art, og den er muligvis det første eksempel på automatisering af en værktøjsmaskine i Danmark i det hele taget. Det er derfor interessant at stille spørgsmålet, hvordan denne styring passer ind i den generelle teknologihistoriske udvikling, ligesom det er interessant at undersøge, hvordan den tidlige automatisering af dansk industri i øvrigt er forløbet. Hvor fik Poul Due Jensen og Berthel Andersen inspiration fra? Hvilken viden kan have været tilgængelig for dem?

Artiklen består af to halvdele. Da det er hensigten at undersøge hvorledes Berthel Andersens styring indplacerer sig i forhold til det generelle udviklingsforløb, handler første halvdel af artiklen om hvorledes den tidligste automatisering af værktøjsmaskiner forløb i henholdsvis USA og i Danmark i de første årtier efter 2. Verdenskrig. Herefter beskriver anden halvdel af artiklen udviklingen af Berthel Andersens styring i slutningen af 1950'erne og den efterfølgende automatisering af Bjerringbro Pumpefabrik i perioden 1960 og frem til først i 1970'erne. Allerførst redegøres for en række distinktioner og centrale begreber indenfor automatiseringsteori.

Fremstillingen af forløbet på Bjerringbro Pumpefabrik bygger på primær kilder i Grundfos' historiske arkiv. I arkivet findes interviews, beretninger i medarbejderblade, fotos, tegninger og patentsager, der belyser denne historie. Der er tillige bevaret styringer og anden elektronik som Berthel Andersen udviklede fra først i 1960'erne og frem til begyndelsen af 1970'erne. Disse genstande befinder sig i samlingerne på Grundfos Museum i Bjerringbro, og de præsenteres til sidst i artiklen.

Generelt findes der kun sparsom litteratur om teknologiens indflydelse på den industrielle udvikling efter 2. Verdenskrig. For den eksisterende litteratur gælder det, at automatiseringens rolle er direkte underbelyst. Af samme grund er nogle af de automatiseringsteorier der henvises til af ældre dato.

Til at belyse de tidligste ansatser til at automatisere dansk industri konsulteres samtidens tekniske litteratur, først og fremmest tidsskriftet 'Elektrotekniker'. Tidsskriftet havde et internationalt udsyn. Heri findes referater fra samtidens seminarer og konferencer og god dækning af internationale tekniske udstillinger, samt anmeldelser af tidens nyeste tekniske litteratur. 'Elektrotekniker' anvendes dermed til at tegne et billede af, hvorledes den tidligste automation blev debatteret i Danmark i perioden 1955-1965.

Automatisering før 1945

Ordet 'automatisering' er afledt græsk *automatos*, der betyder 'ved egen kraft'. Automatisering betegner det forhold, at en maskine eller mekanisme kan udføre hele, eller dele, af et stykke arbejde af sig selv uden menneskelig indgriben. Ud fra denne definition kan automatik antage mange former og finde anvendelse til mange formål og begrænser sig ikke nødvendigvis til industriel anvendelse. Således er et helt almindeligt urværk en maskine, der automatisk følger tidens inddeling i sekunder, minutter og timer.

Blandt tidlig anvendelse af automatik i industrien bør nævnes James Watts centrifugalregulator fra 1788, der blev anvendt til hastighedsregulering af dampmaskiner. Et andet tidligt eksempel på industriel automatisering, og som i denne sammenhæng er værd at fremdrage, er franskmændene Joseph Marie Jacquard, der i 1801 kunne demonstrere en automatisk væv. Væven kunne forprogrammeres til at væve bestemte motiver. Jacquards væv blev programmeret ved hjælp af hulkort; Et ark med huller blev fremført af væven, mens den arbejdede, og hullernes placering afgjorde vævens indstillinger. Fordi væven gjorde brug af hulkort, er Jacquards væv ofte blevet fremhævet som en tidlig forløber for den moderne computer, hvilket ikke er helt korrekt, for den beregner ingenting. Men i kraft af sin brug af hulkort er den et meget tidligt eksempel på programmerbar automatik, og dermed en forløber for numerisk styring (se længere fremme om numerisk styring).

Procesindustri og bearbejdningsindustri

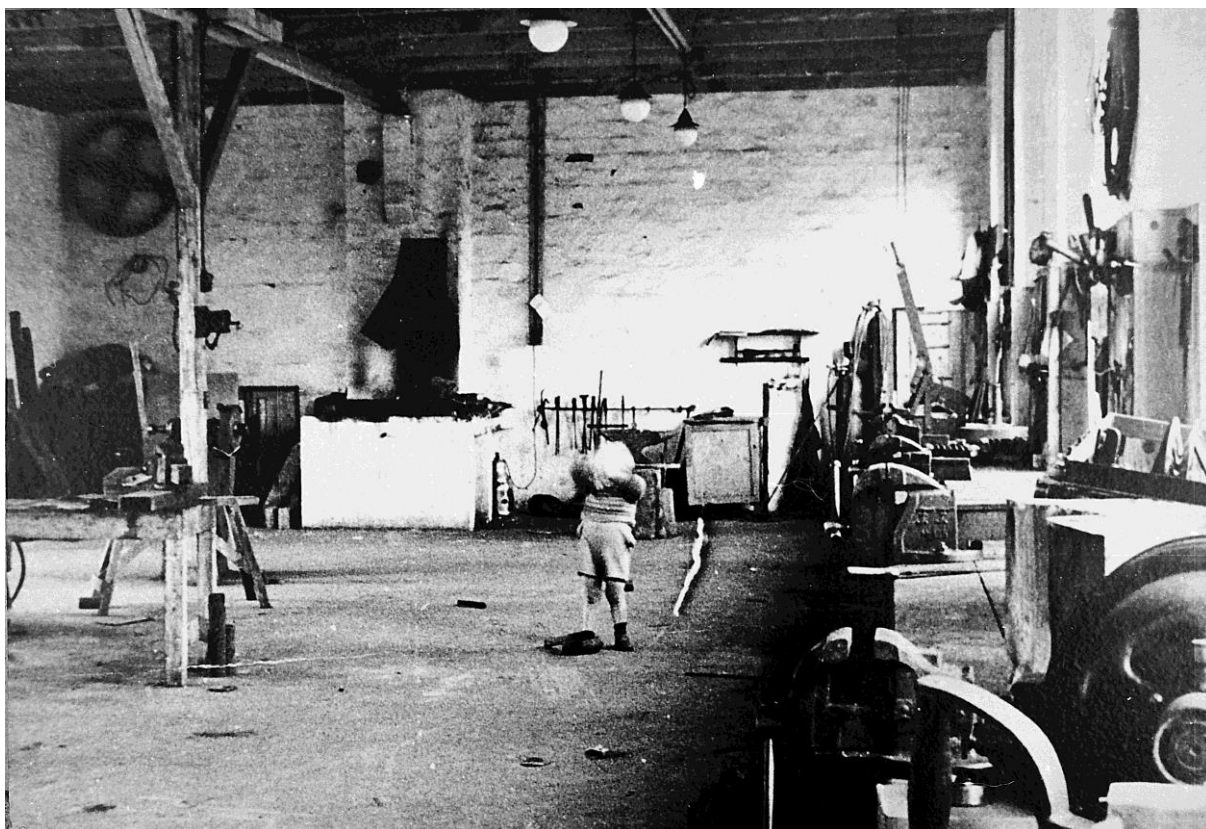
Omkring år 1900 blev der udviklet flere automatiske kontrolmekanismer, som ved hjælp af sensorer og ventiler kunne regulere variabler såsom temperatur, tryk, flow, vandstand og hastighed. Den automatiske reguleringsteknik fandt overvejende anvendelse i den del af industrien, som ofte

betegnes som *procesindustri*. Procesindustri er eksempelvis kemisk industri og medicinal- og fødevarerindustri, hvor man arbejder med flydende processer i store tanke og i kedelanlæg. Forskellig fra procesindustri findes *bearbejdningsindustri*, der er kendetegnet ved anvendelsen af maskiner til bearbejdning af fast materiale som eksempelvis træ og metal. Det er meget forskellige tilgange til automatik, der kendetegner de to grupper af industrier, hvorfor automatiseringen af disse industrier følger forskellige udviklingsforløb.

I Andersen og Larsens 'Procesregulering i industrien' redegøres for en række automations-teorier herunder den tyske industrisociolog Jürgen Mendner, der beskriver en række forskelle i produktionen for det Mendner kalder henholdsvis stofforvandlede og stofomformende processer.²

Stofforvandlede processer, som vi kender dem fra procesindustrien, er karakteriseret ved 1) batchproduktion, 2) ofte flydende produkter, og 3) stoffer forvandles ved kemiske reaktioner eller blanding. Ved de stofforvandlede processer er udfordringerne typisk at sikre et kontinuerligt og stabilt flow i produktionen.

Stofomformende processer, som vi kender fra bearbejdningsindustrien, er derimod karakteriseret ved 1) stykproduktion, 2) mekanisk bearbejdning, og 3) råmaterialets geometri ændres. Ved stofomformende processer er udfordringerne typisk at sikre rationelle arbejdsgange og en økonomisk udnyttelse af materialet. Processerne i stofomformende processer foregår typisk som en sekvens af handlinger, som må foretages i bestemt rækkefølge. For eksempel kan en sekvens af handlinger for en drejebænk være 1) maskine startes, 2) værktøj føres ind, 3) værktøj føres op, 4) værktøj føres ned, 5) værktøj bakkes, 6) værktøj føres ud og 7) maskine stoppes.



I de første år efter 2. Verdenskrig var store dele af bearbejdningsindustrien uden for de store byer fortsat kendetegnet ved håndværksproduktion. Således også pumpefabrikken i Bjerringbro, hvis interiør her ses på foto fra 1946. Bemærk ambolt og esse i baggrunden. Først efter, at vekselstrømsnettet blev udbygget i Danmark efter 1945, blev enkeltstående værktøjsmaskiner med egen elmotor mere udbredte. Drengen på billedet er stifteren Poul Due Jensens søn, Niels Due Jensen. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv).

Hvor teknikker til regulering af tryk, væskestand, flow og temperatur førte til en automatisering af mange arbejdsgange indenfor for procesindustrien allerede i begyndelsen af 1900-tallet, så var store dele af bearbejdningsindustrien fortsat kendetegnet ved høj grad af arbejdsintensive arbejdsgange i begyndelsen af det 20. århundrede. De arbejdsgange og fremstillingsmåder, der gjaldt i bearbejdningsindustrien, krævede en anden tankegang og andre teknologier før processerne kunne automatiseres.

Som vi skal se, er netop det forhold at bearbejdningsindustriens processer består af *sekvenser af handlinger* afgørende for, hvornår det blev muligt at automatisere bearbejdningsmaskiner. Det forudsatte programmerbar elektronik, som først for alvor blev udviklet under 2. Verdenskrig.

Automatisering af bearbejdningsindustrien efter 1945

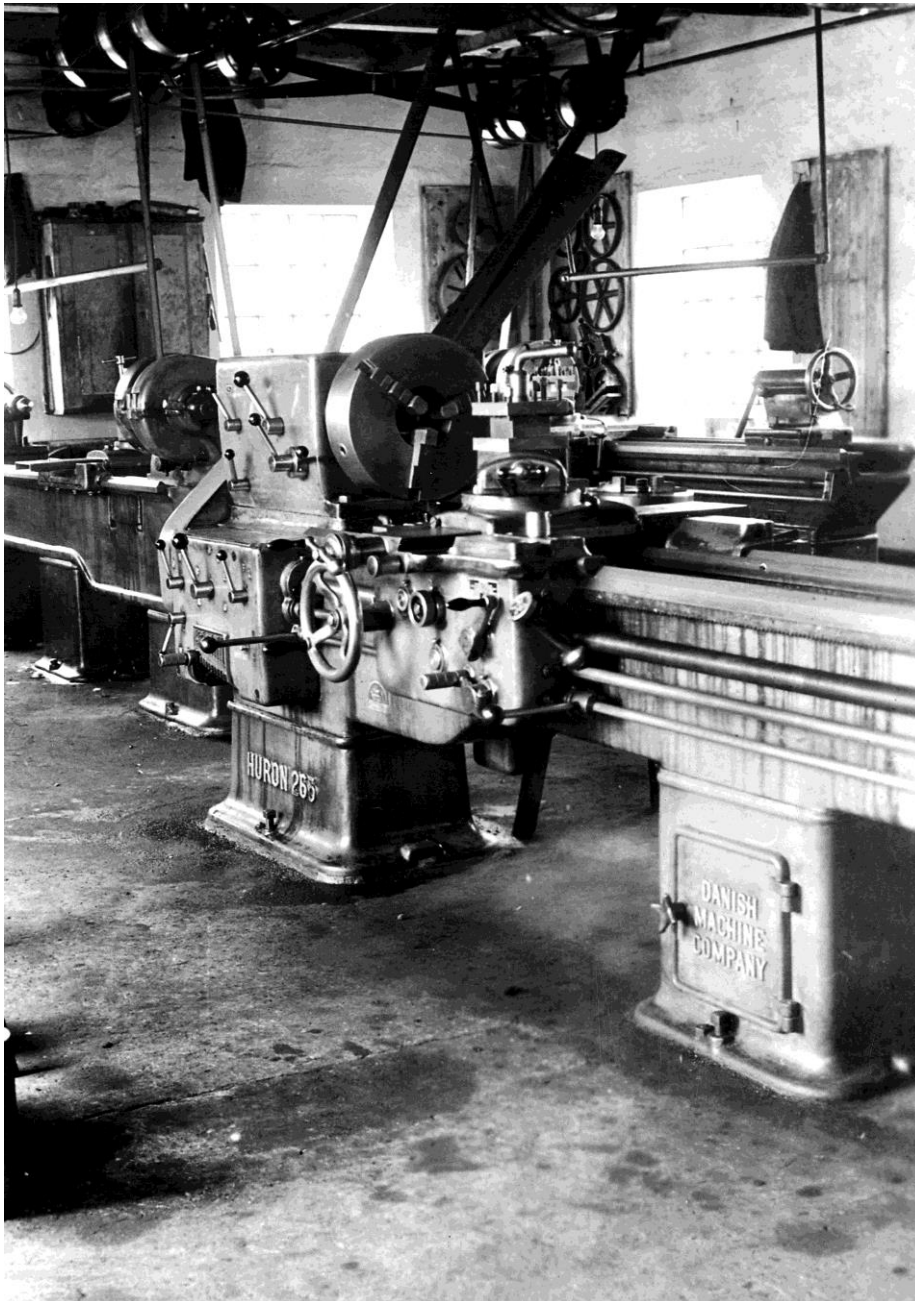
I 1952 udkom på amerikansk John Diebolds 'Automation', som gjorde status på hvor langt man på det tidspunkt var kommet med automatisering i industrien. Diebold var optimistisk, og han forudså en hastig udvikling, hvor store dele af det traditionelle arbejde vil blive overtaget af fuldautomatiserede maskiner, og forudser på den basis en ny industriel revolution.³

Allerede før 2. Verdenskrig var enkelte produktionsmaskiner blevet automatiseret i meget store virksomheder, som producerede varer med en meget stor produktionsvolumen. John Diebold beskriver en række af sådanne maskiner. Eksempelvis beskriver han en fuldt automatiseret flaskefyldemaskine på Coca-Cola. Ifølge Diebold var alle de automatiserede produktionsmaskiner på den tid kendetegnet ved, at de var såkaldt *single-purpose* maskiner. Det vil sige, at maskinerne var beregnet på at lave én bestemt ting, og ikke kunne omstilles til at lave andet end dette. I modsætning hertil fandtes *multi-purpose* maskiner, der er maskiner som er anvendelige til forskellige formål. Eksempelvis er en drejebænk, i hvilken man kan udskifte værktøjerne, en multi-purpose maskine. Automatiseringen af single-purpose maskiner forudsatte, ifølge Diebold, en standardisering af de emner, der skulle produceres. Det vil i flaskefyldemaskinens tilfælde sige en standardisering af Coca-Cola-flaskerne. Desuden krævede investeringerne i de automatiske anlæg en meget stor produktionsvolumen for at kunne betale sig. Ifølge Diebold i 1952, ville automatisering først nå sit fulde potentiale og vinde bredere udbredelse, når såkaldt multi-purpose maskiner lod sig automatisere, fordi de, i kraft af at de lod sig omstille, var egnede til produktion i mindre serier, og derfor mindre risikable at automatisere.⁴

Netop fordi multi-purpose maskiner var egnede til at fremstille i mindre serier, kan man slutte at automatisering af disse også ville give små og mellemstore virksomheder mulighed for at påbegynde automatisering. Da Bjerringbro Pumpefabrik begyndte automatisering omkring 1960 var virksomheden stadigvæk en mellemstor virksomhed med omkring 150 ansatte.⁵ I årene op til var man begyndt at fremstille en ny type pumper, nemlig centrifugalpumper. Produktionen af centrifugalpumper foregik ved hjælp af drejebænke, og i løbet af 1950'erne blev et stort antal drejebænke opstillet på Bjerringbro Pumpefabrik.

Andersen og Larsen opregner, med henvisning til Mendners automationsteori, tre væsentlige udviklingstrin som går forud for automation i bearbejdningsindustrien: 1) Værktøjsmaskinens udvikling, 2) Det løbende bånd som transportmiddel mellem maskinerne og 3) Teknik til styring og regulering af enkelte maskiner og det samlede totalforløb.⁶

Værktøjsmaskiner er som nævnt kendetegnet ved, at de oftest udfører en sekvens af handlinger (eksempelvis start, ind, op, ned, bak, ud, stop). Det fordrer en forudbestemt programmering af disse handlinger, for at de kan automatiseres. Da disse enkeltstående værktøjsmaskiner samtidig var multi-purpose maskiner, altså kunne omstilles, var det samtidig vigtigt, at også programmet lod sig ændre, hvis det skulle give mening at automatisere dem. Hvis det skulle kunne lade sig gøre, måtte man udvikle en *kode* for de enkelte handlinger, som maskinen



Interiør fra Bjerringbro Pumpefabrik 1949. I forgrunden ses en drejebænk af mærket HURON 265 fra Danish Machine Company i Åbyhøj. Det var drejebænke af denne type, som først blev automatiseret med Berthel Andersens system. I baggrunden ses to drejebænke af en ældre type, der er drevet af remtræk. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv).

ville kunne forstå og rette sig efter. Det fordrede endvidere, at man kunne skifte denne kode til en anden, når maskinen skulle omstilles. Først efter 2. Verdenskrig var man teknologisk i stand til at overkomme disse udfordringer. Det skete med udviklingen af numerisk styring i 1950'erne.

Udviklingen af numerisk styring i USA i 1950'erne

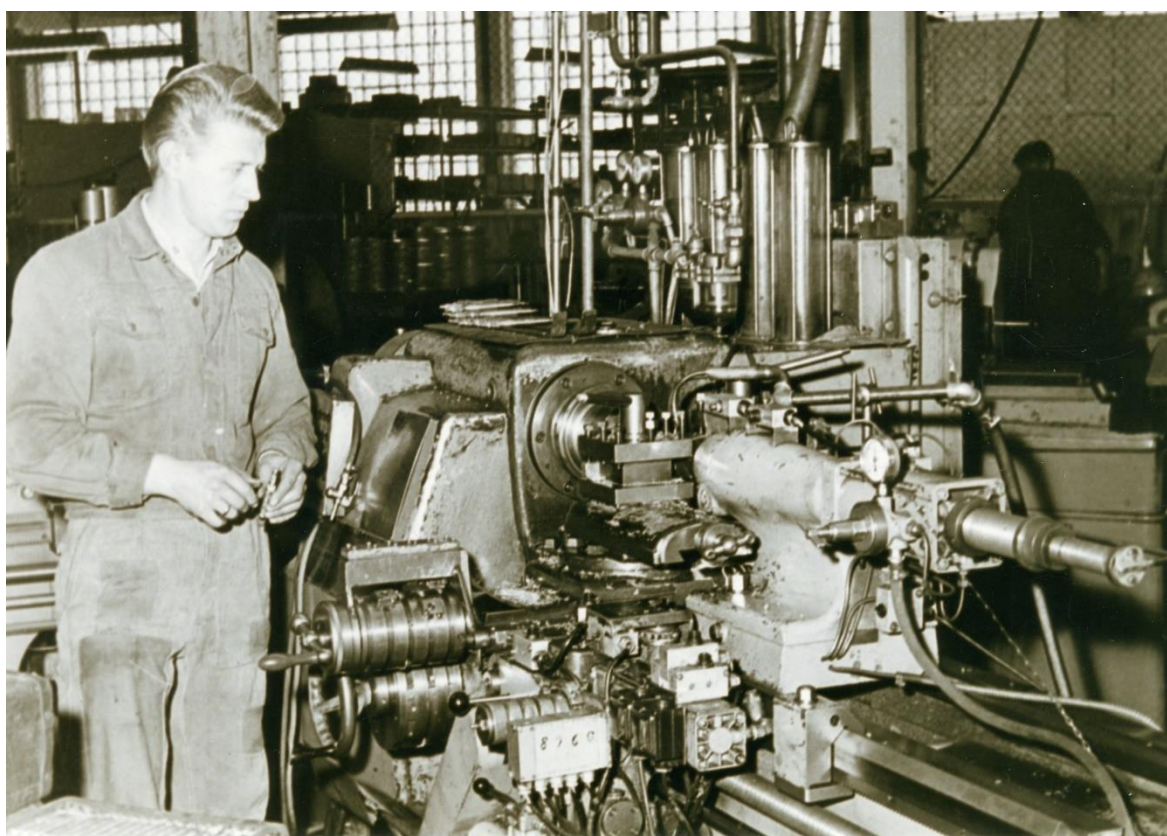
Numerisk styring, af engelsk *Numerical Control* (NC), refereres oftest under forkortelsen NC. Det er betegnelsen for styringer, der lader sig programmere ved hjælp af 'numerisk' kodning, hvilket vil sige, at koden kan omsættes til tal, for eksempel inden for det binære talsystem.

Udviklingen af NC tog sin begyndelse i USA, hvor de rette betingelser var til stede. Under 2. Verdenskrig opbyggede man i USA nye kompetencer inden for avanceret elektronik. Den

amerikanske industri var desuden kommet relativ uskadt ud af krigen, og blev hurtigt en vigtig motor for den økonomiske vækst på verdensmarkedet. Den amerikanske industri nød godt af stor efterspørgsel på varer, og teknisk set var den godt gearet til masseproduktion. Sammenlignet med dansk industri var produktiviteten i amerikanske fabrikker meget højere end i tilsvarende danske.⁷

Den amerikanske historiker David Noble beskriver i bogen 'Forces of Production', hvordan firmaer som Bell Laboratories, Texas Instruments, Parsons Corporation, Hewlett-Packard med flere, samt universiteter som Massachusetts Institute of Technology (MIT), under krigen var gået sammen i et konsortium for at udvikle våben, der blandt andet var i stand til at foretage ballistiske beregninger og til at automatisere afsendelse af missiler og indstilling af kanoner. Hver for sig havde de opbygget en stor medarbejderstab under krigen, som havde ekspertise indenfor de tekniske discipliner *elektronik*, *informationsteknologi* og *servoteknik*. Efter krigen ønskede de private interesser i konsortiet at kapitalisere denne ekspertise og var optaget af at omsætte teknologierne til civile formål.⁸

MIT gik efter krigen sammen med Parsons Corporation om at bruge deres erfaringer til at automatisere værktøjsmaskiner, og op gennem 1950'erne udviklede de flere prototyper. Det blev til det som vi i dag kender som NC. Den første offentlige demonstration af en programmeret værktøjsmaskine var en drejebænk fra Arma Corporation, der blev demonstreret i 1950. Hændelsen er beskrevet i New York Times 30. juni 1950.⁹ Styringen byggede på et system med hulkort udviklet af John Parsons. Senere i 1950'erne gik man over til magnetbånd, da det egnede sig bedre til lagring af mere avancerede koder.



En udfordring ved at automatisere værktøjsmaskiner var effektivt at omsætte styringens program til fysiske handlinger på maskinen. Billedet viser en ombygget HURON-drejebænk fra 1962, der er automatiseret med Berthel Andersens system på Bjerringbro Pumpefabrik. På maskinen ses de mange påvirkningsorganer og trykluftslanger, som skulle omsætte styringens program til handlinger på maskinen. Selve styringen er ikke synlig. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv).

Også andre store amerikanske elektronikvirksomheder begyndte at udvikle deres egne prototyper på automatiserede værktøjsmaskiner parallelt med MIT, ikke mindst firmaet General Electric, der arbejdede på en pendant til NC under betegnelsen 'record-playback system'.¹⁰

Samtlige af de styringer, som blev udviklet i USA i 1950'erne var prototyper, der blev installeret i virksomheder på forsøgsbasis. Mange af de tidlige automatiserede maskiner og styringer i USA i 1950'erne led under kompleksiteten, og selvom styringerne i princippet virkede, opstod der problemer i samspillet mellem de udførende dele, motorer og gearkasser. Maskinerne var ikke stabile, og de mødte ikke de tolerancer, der var behov for.¹¹ Først omkring 1960 var man klar til at gøre en styring kommercielt tilgængelig. Blandt de tidligste automatiserede værktøjsmaskiner, som blev kommercielt tilgængelige, var en drejebænk, der blev fremstillet af firmaet Warner and Swasey i 1960.¹² Herefter gik udrulningen til den amerikanske industri relativt hurtig. Ingeniør G. Letac fra IBM i Frankrig anslog ved et seminar, som blev afholdt af Servoteknisk Selskab i Danmark i 1964, at der "... ved slutningen af 1963 findes omkring 3.500 cifferstyrede maskiner, og man forudser, at tallet vil blive fordoblet i løbet af de næste 2 år."¹³ Ifølge Letac fandtes de fleste anlæg i USA, men enkelte havde dog fundet vej til Europa.

Overførsel fra USA til Skandinavien

Efter 2. Verdenskrig halted den industrielle udvikling i Europa noget efter den amerikanske. Mens automatiseringen af den amerikanske industri tog fart i 1960'erne, skulle den europæiske industri og økonomi først komme sig ovenpå ødelæggelserne efter krigen. Først i sidste halvdel af 1960'erne begyndte man at automatisere industrimaskiner i større antal i Europa.¹⁴ Imidlertid kunne teknikere og universiteter i Europa følge den amerikanske udvikling fra sidelinjen. I løbet af 1950'erne blev der flere steder i verden afholdt en række store konferencer om automatisering, hvor både europæiske og sovjetiske videnskabsfolk og industri-delegationer deltog.¹⁵

I Skandinavien forberedte regeringer og erhvervsliv sig på en kommende udvikling ved at oprette forskningsanstalter og iværksætte forskning og studier i automation. I Norge oprettede man et docentur i faget automation i 1954 ved Norges Tekniske Høgskole. Samme år inviterede man den amerikanske professor Donald P. Cambell fra MIT til Norge for at delagtiggøre norsk videnskab og industri i de erfaringer, man på den tid gjorde sig i USA. I Finland fik man en professor i reguleringsteknik i 1955. Samme år oprettede man en forskerstilling i emnet i Sverige. Det ser ud til at Professor Cambell har været en central skikkelse i de skandinaviske miljøer omkring automatisering i disse år. Efter at have holdt møder og forelæsninger i Norge i løbet af 1954 besøgte Cambell de nye forskersæder i Finland og Sverige, og sluttede turen af med at holde en forelæsningsrække i København i 1955.¹⁶

I 1956 oprettede Akademiet for Tekniske Videnskaber (ATV) *Servoteknisk Forskningslaboratorium* efter forbillede fra det amerikanske MIT hvis afdeling *Servomechanisms Laboratory* forestod udviklingen af NC. Foruden forskning på eget initiativ skulle det nye forskningslaboratorium bistå erhvervslivet på forespørgsel. Oprettelsen blev officielt meddelt den 22. december 1955 i *Elektroteknikeren* og det blev markeret med endnu et foredrag af Professor Donald P. Cambell.¹⁷ Servoteknisk forskningslaboratorium fik i begyndelsen lokaler ved Store Nordiske Telegraf-selskab, men blev fra 1959 en selvstændig afdeling på Danmarks Tekniske Høgskole og skiftede navn til *Servolaboratoriet*.

Udviklingen i Danmark

I Danmark er perioden fra 1957 og helt frem til energikriserne i 1970'erne karakteriseret ved et stort opsving. I hele denne periode blev der gjort store investeringer i fast kapital i industrien.¹⁸ Alene fra

perioden 1946-48 til perioden 1955-1957 steg investeringerne i værktøjsmaskiner fra 355 millioner kroner til knap 1 milliard kr. I samme periode steg produktionen pr. beskæftiget i maskinindustrien med 66 %.¹⁹ Det var også i 1960'erne, at værdien af industrieksporten oversteg værdien af landbrugseksporten.

De store produktivitetforøgelser, som mekaniseringen medførte, førte imidlertid ikke til nogen større lyst til at investere i automatisering i den danske industri. Så sent som i 1973 fandtes der stadig kun ca. 140 NC-maskiner i den danske industri.²⁰

I første halvdel af 1960'erne ser der fortsat kun ud til at være enkeltstående og spredte forsøg på at automatisere maskiner i dansk bearbejdningsindustri. Nogle af tiltagene blev ledet af Servolaboratoriet, andre var private tiltag. Fra 1960 og frem løste Servolaboratoriet stadig flere konkrete forespørgsler fra industrien, for eksempel udvikling af to programstyrede opmærkemaskiner til pladeværkstedet på B&Ws skibsværft i 1961.²¹ Blandt tidlige private tiltag må nævnes firmaet H. Nielsen & Søn Maskinfabrik A/S (HN&S), som omkring 1960 lancerede et fuldautomatisk asfalt-blande-anlæg under navnet Vianova. I 1962 konstruerede og leverede samme firma to maskiner med navnene Captivator og Collocator til B&Ws skibsværft. De to maskiner var beregnet til at opsamle og anbringe stålplader. Tiltagene på HN&S er beskrevet af Jan Pedersen i en artikel til Erhvervshistorisk Årbog i 1996.²² Det fremgår ikke hvilken form for styring maskinerne til B&W benyttede, men at dømme ud fra Jan Pedersens beskrivelser af maskinernes funktion, må man forestille sig, at de benytter en form for sekvensstyring i stil med NC.



Boreafdelingen på Bjerringbro Pumpefabrik i 1964. Det var ikke alle processer, der kunne betale sig at automatisere. Hvis der var tale om små styktal eller processer med få operationer, som i boreafdelingen, kunne det ikke svare sig. Mens størstedelen af fabrikkens drejeafdeling arbejdede med automatiserede maskiner i 1964, forblev boreafdelingens maskiner manuelt betjente. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv)

I 1964 fremviste Jørgen Høyers Finmekaniske Etablissement en *cifferstyret* revolverboremaskine fra Cincinnati Milling Machine Co. Der er ingen definition på ordet cifferstyring, men det må antages at være en dansk oversættelse af *numerical control*; I al fald var maskinen var styret af en hulstrimmel, ligesom de første NC-maskiner.²³ Fremvisningen af maskinen foregik ved et arrangement for Servoteknisk selskab, og begivenheden blev refereret i *Elektroteknikeren* i 1964. Her blev maskinen præsenteret som den første cifferstyrede revolverboremaskine i Danmark. Det fremgår i øvrigt, at man var særdeles tilfredse med erfaringerne med maskinen, som ved præsentationen havde kørt uden driftsstop.

I forlængelse af præsentationen på Høyers Finmekaniske Etablissement blev der afholdt et seminar af Servoteknisk selskab. Fordi der endnu kun var meget få, som havde erfaring med automatiserede værktøjsmaskiner i Danmark, måtte oplægsholderne findes i udlandet. Der var inviteret eksperter fra Frankrig, Holland og Tyskland. Flere erhvervsledere fra dansk industri deltog i seminaret. I den efterfølgende debat, som blev refereret i *Elektroteknikeren*, får man et indtryk af, hvorledes nogle af spidserne i dansk industri dengang forholdt sig til den nye teknologi: Direktør S. A. Ottesen fra firmaet Vilhelm Pedersen A/S, røbede at man var i færd med at teste en udenlandsk cifferstyret maskine. Overingeniør M. Knudsen fra Burmeister og Wain mente også at cifferstyring ville vinde indpas hos dem. Blandt andre deltagere blev der derimod udtrykt skepsis for at tage teknologien i anvendelse. Direktør C. Kidde Hansen fra Danfoss røbede, at man ganske vist brugte visse former for automatiseret udstyr i Danfoss, men at man ingen gavn ville have af cifferstyring, og at man derfor ikke havde planer om at anskaffe cifferstyrede maskiner på Danfoss.²⁴

Det ser ud til, at automatiserede værktøjsmaskiner først for alvor bliver udbredt i dansk industri efter 1970. Ifølge Finn Lykkegaards 'Danmarks Industrialisering 1840 – 1990', fandtes der så sent som i 1973 fortsat kun ca. 140 NC-maskiner i Dansk industri.²⁵ Selvom NC strengt taget ikke er den eneste måde hvorpå man kan automatisere, så er det en indikator på hvor langt man var med automatiseringen af dansk bearbejdningsindustri på det tidspunkt.

En anden indikator på hvor udbredt en teknologi er, hvornår der begynder at optræde lærebogslitteratur om emnet. Når der begynder at blive skrevet lærebøger om et emne, er det et udtryk for, at emnet har fået almen interesse og relevans. Det kan således give et billede af, hvornår automatik i industrien er blevet så udbredt, at man ønsker at uddanne teknikere til at installere og vedligeholde automatiseret udstyr. På dansk begynder lærebogslitteratur om elektrisk styring at optræde fra 1970'erne og frem.²⁶ Fra Polyteknisk forlag udkom J.R. Jensens 'Automatisk kontrol 1' i 1977.²⁷ Fra servolaboratoriet på DTH udkom Niles Leths 'Servomekanismer' i 1978.²⁸ Det understøtter antagelsen af, at automatik i dansk industri først begynder at blive udbredt i større omfang fra 1970'erne og frem.

Flere steder vandt de automatiserede værktøjsmaskiner først indpas i virksomhedernes værktøjsafdelinger, og sidenhen i produktionen: Ifølge en beretning skrevet af Walter Hugener, som igennem 45 år var maskinkonstruktør på Danfoss i Nordborg, var det først i slutningen af 1960'erne at Danfoss investerede i sin første NC-maskine. Det var en gnistmaskine, som blev indkøbt til deres værktøjsafdeling. Walter hugener husker, at maskinen åbnede for helt nye muligheder i Danfoss' maskin- og værktøjsfremstilling.²⁹

VKR's Firmahistoriske Arkiv lavede i 2004 en intern artikel om indførslen af automatik i beslagfabrikken Bagsværd Bygningsindustri A/S (BBI). Heraf fremgår, at egen værktøjsfremstilling var et særkende for BBI. Til værktøjsfremstillingen anskaffede virksomheden en Olivetti fræsemaskine i 1975 og en trådnistmaskine i 1976. Maskinerne kunne programmeres, og en medarbejder fortæller; "Programmet til maskinerne var et hulbånd bestående af et stykke grønt papir, som var programmeret til at styre maskinen. Først i slutningen af 1970'erne fik vi CNC-styrede maskiner, som man kunne programmere elektronisk"³⁰

På vinduesfabrikken Rational satsede man derimod på automatisering i selve produktionen. Allerede i 1971 havde man indkøbt et fuldautomatisk produktionsanlæg, som gjorde det muligt for 10 mand at producere 400 vinduer pr. dag ved maksimal udnyttelse af kapaciteten. Anlægget blev præsenteret i tidskriftet 'Ingeniør- og bygningsvæsen' hvoraf det fremgår, at der i Europa kun eksisterede tilsvarende anlæg til vinduesproduktion i Sovjetunionen samt i Stuttgart i Vesttyskland.³¹

Ovenstående historiske redegørelser viser, at udviklingen af programmerbare elektriske styringer begyndte i USA i 1950'erne, og at viden derfra blev eksporteret til Skandinavien i sidste halvdel af 1950'erne. I løbet af 1960'erne findes der eksempler på spredte og enkeltstående tiltag på automatiske bearbejdningsmaskiner i Danmark, men først efter 1970 ser det ud til at automatiseringen af dansk bearbejdningsindustri for alvor begyndte at tage fart.

I det lys vurderes den styring, som Berthel Andersen konstruerede så tidligt som i 1960, at være blandt de tidligste danske tiltag på at automatisere bearbejdningsmaskiner i Danmark. Fordi der endnu ikke fandtes nogle kommercielt tilgængelige styringer på den tid, var Berthel Andersen nødt til at konstruere sin egen styring fra grunden. Det førte til et unikt system, der adskilte sig fra andre styringer i tiden. Det system blev i de følgende to årtier videreudviklet og anvendt vidt og bredt på Bjerringbro Pumpefabrik, senere kendt under navnet Grundfos.

I det resterende skal Berthel Andersens elektriske styringer beskrives og de omstændigheder de blev til under skal undersøges nærmere. Særlig opmærksomhed gives til Berthel Andersens første styring, som blev taget i brug i 1960.

Automatisering på Bjerringbro Pumpefabrik ca. 1956 til 1972

Berthel Andersens første styring blev udviklet på en fabrik, der var i rivende udvikling. Efterspørgslen på fabrikkens pumper var i 1950'erne i hastig vækst og behovet for at optimere var usædvanligt stort. Det var samtidig en virksomhed, der var præget af stor lyst til at eksperimentere med fremstillingsteknologiernes.

Virksomheden blev stiftet af Poul Due Jensen i 1944, som i det første år lavede forskellige håndværks- og smedeopgaver. Allerede da virksomhedens første pumper kom på markedet i 1945 oplevede man stor efterspørgsel, og virksomhedens udvikling har siden været karakteriseret at stor vækst. Produktionsarealet, medarbejdertallet og antallet af maskiner voksede støt på Bjerringbro Pumpefabrik op gennem 1950'erne. I 1947 fremstillede man ca. 500 pumper. I 1953 var man oppe på at fremstille 10.000 pumper. I 1959 fremstilledes 50.000 pumper på fabrikken, og i 1961 var man oppe på at producere 100.000 pumper. Omsætningen steg fra 198.802 kr. i 1950 til 8.446.000 kr. i 1960.³²

I 1952 begyndte virksomheden at producere en ny type pumper, nemlig centrifugalpumper. Det udvidede kraftigt virksomhedens marked. Hvor virksomheden hidtil kun havde fremstillet pumper, der var beregnet til at hente grundvand til mindre vandværker, og derfor først og fremmest fandt anvendelse i landbruget, blev markedet nu udvidet til at omfatte en lang række industrielle formål. De nye centrifugalpumper kunne også anvendes til at bringe vand til de øvre etager i højhuse. I første halvdel af 1950'erne begyndte Bjerringbro Pumpefabrik at eksportere til lande som Sverige, Norge, England og Tyskland, snart efter også til lande som Indien og Brasilien.³³ I 1959 introducerede Bjerringbro Pumpefabrik endnu en ny pumpetype, nemlig cirkulationspumper til enfamiliehuse.

Den store produktionsforøgelse var den primære grund til at begynde en automatisering af fabrikken. Men virksomhedens beliggenhed i Bjerringbro, langt fra de store byer, gjorde det samtidig vanskeligt at tiltrække den fornødne kvalificerede arbejdskraft. Poul Due Jensen har ytret sig om den automatisering, han satte i gang fra midten af 1950'erne, at han ønskede at



I 1950'erne blev flere og flere processer på Bjerringbro Pumpefabrik mekaniseret. De håndværksprægede værksteder transformerede sig til maskinhaller. Her køres en ny pladesaks gennem hovedgaden i Bjerringbro i 1956. [Foto: Grundfos Historiske Arkiv]

automatiseringen skulle frigive den menneskelige arbejdskraft, så den kunne anvendes til andre formål på fabrikken. I 1950 beskæftigede fabrikken 46 medarbejdere. I 1959 var det tal vokset til knap 100 medarbejdere og allerede i 1962 var antallet af medarbejdere fordoblet til næsten 200. I 1965 havde virksomheden i mellemtiden skiftet navn til Grundfos Bjerringbro Pumpefabrik A/S og beskæftigede da over 650 medarbejdere.³⁴ Efter en navnestrid med virksomheden Danfoss, der mente, at firmanavnet Grundfos lå for tæt op ad deres navn, indgik man forlig, og navnet blev i 1967 ændret til Grundfos, med kun et 's', som vi kender det i dag.

Markedsbetingelserne og de økonomiske forudsætninger for at automatisere var altså til stede for Bjerringbro Pumpefabrik. Ydermere var man for længst gået over til masseproduktion af standardiserede produkter, hvilket sædvanligvis er en forudsætning for automatisering. Endeligt var man i en situation, hvor det var en udfordring at skaffe tilstrækkelig arbejdskraft til den stigende efterspørgsel.

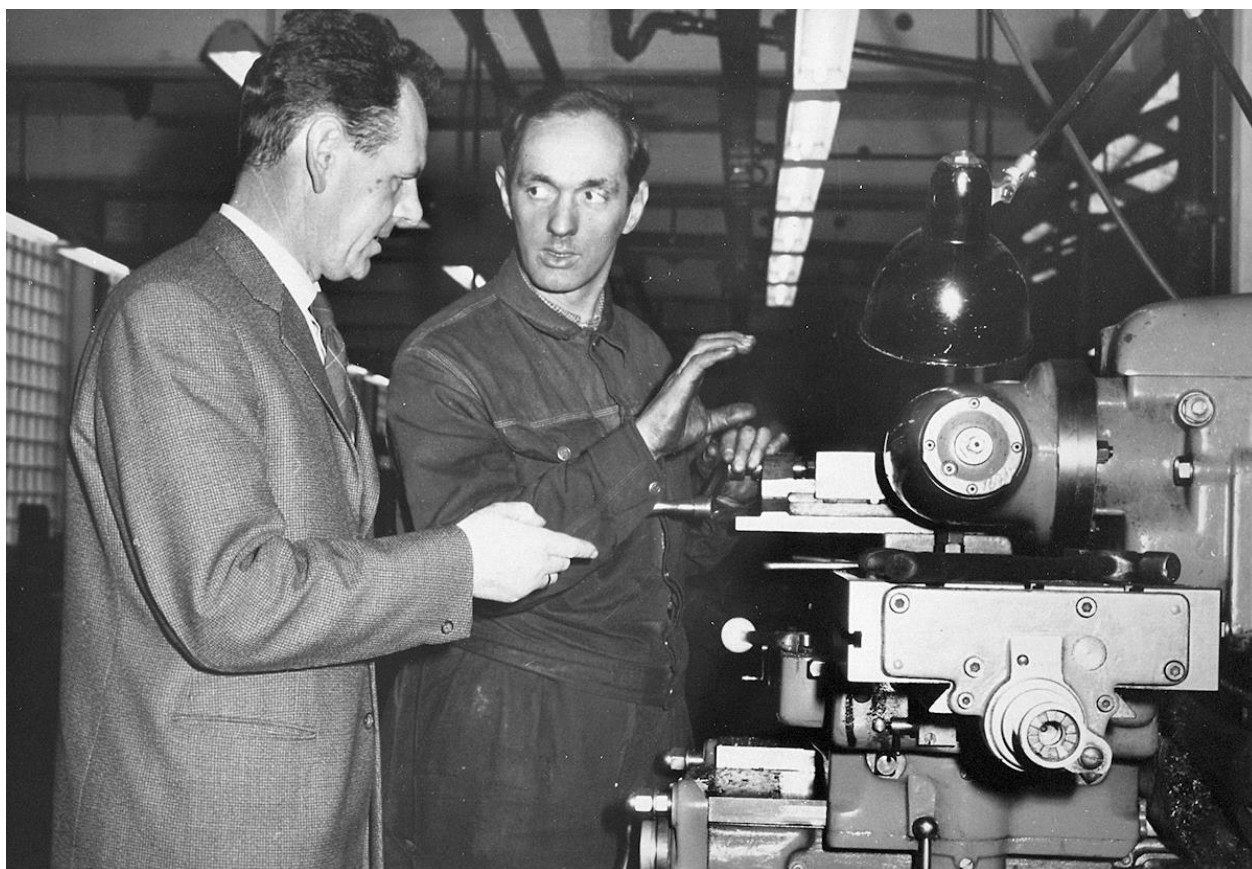
Specialbyggede drejebænke i første halvdel af 1950'erne

De første pumper blev fremstillet som håndværksproduktion. Men op gennem 1950'erne undergik produktionen en stor grad af mekanisering. De nye centrifugalpumper, der blev lanceret i 1952 fra Bjerringbro Pumpefabrik, medførte at nye fabriksteknologier blev indført. Den nye pumpetype var overvejende konstrueret af forholdsvis ens lignende cylindriske dele af støbejern. Det gjorde dem

egnede til masseproduktion og til bearbejdning i drejebænke. Årsberetninger fra Teknisk direktør, H. Nedergaard i 1950'erne og 1960'erne redegør i detaljer for hvilke indkøb af maskiner og udstyr, der blev gjort til produktionen for hvert enkelt år. Her kan man læse, at der op gennem 1950'erne blev investeret kraftigt i enkeltstående værktøjsmaskiner, og især blev der installeret et stort antal drejebænke af mærket Huron fra Danish Machine Company i Åbyhøj.³⁵ Hermed fulgte Bjerringbro Pumpefabrik den almindelige udvikling for dansk industri i disse år. Udbygningen af det danske vekselstrømsnet efter 2. Verdenskrig var den kraftkilde, der skulle til, for at små og mellemstore virksomheder i provinsen kunne mekanisere produktionen med enkeltstående værktøjsmaskiner, der netop var elektriske.

Den kraftige efterspørgsel på pumper medførte samtidig, at det var nødvendigt at eksperimentere med fabriksindretningen for at optimere produktionen. Allerede i slutningen af 1940'erne havde man indført arbejdsdeling og fremstillede efter samlebandsmetode; ganske vist brugte man ikke automatiske fremføringsbånd, men der var indført arbejdsdeling, hvor medarbejderne arbejdede i rækker og sendte de bearbejdede emner videre i en progressiv kæde.

Flaskehalse i produktionen forsøgte man i første omgang at overkomme ved at tilrettelægge produktionen mere rationelt. Ved at opstille drejebænkene på nye måder forsøgte man at optimere den hastighed, hvormed en fabriksarbejder kunne fremstille dele til pumperne. I 1954 bestilte Poul Due Jensen en specialfremstillet drejebænk fra Danish Machine Company i Åbyhøj. Det var en spejlvendt udgave af deres standardmaskine, HURON 265. Fordi drejebænken var spejlvendt kunne den opstilles vinkelret på en almindelig drejebænk. Det gjorde det muligt for en maskinarbejder at stå imellem de to maskiner, og således betjene to drejebænke på én gang.³⁶



Poul Due Jensen diskuterer teknik med en medarbejder i 1962. Poul Due Jensen var selv uddannet maskinbygger og involverede sig personligt i stort set alle tekniske aspekter på fabrikken. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv)

Imidlertid opgav man hurtigt de specialbyggede drejebænke på Bjerringbro Pumpefabrik. Til trods for den gode idé, oplevede man at operatørerne blev trætte og begyndte at lave fejl. Andersen og Larsen citerer Mendners automationsteori for, at det rentable i automatisering er, at når man over længere tid har rationaliseret arbejdsprocesser i en produktion, støder man på menneskets fysiske og psykiske grænser for præstationsevne.³⁷ Heri findes et incitament til at automatisere produktionen. En automatiseret maskine kan ideelt set arbejde uafbrudt og holde samme standard hele vejen igennem.

Jan Pedersen fremhæver, at der har været tendens til at overbetone det tayloristiske og organisatoriske element, som en forklaring på det store opsving og produktionsforøgelse i perioden fra 2. Verdenskrig og frem til 1970'erne, og at man på den bekostning har overset den tekniske udviklings rolle i fremskridtet.³⁸

I virkeligheden skal man se teknologiudvikling, herunder automation, som en naturlig fortsættelse af det tayloristiske paradigme. Stor efterspørgsel og masseproduktion er incitament til rationaliseringer i arbejdets organisering, men også incitament til teknologiudvikling og automation, der i sig selv har det formål at øge hastighed og præcision. Således var forholdene på Bjerringbro Pumpefabrik i sidste halvdel af 1950'erne, da automatiseringen af fabrikken blev skudt i gang: Rationaliserede arbejdsgange var ikke længere nok til at løse alle flaskehalsproblemer. Der var behov for ny teknologi.

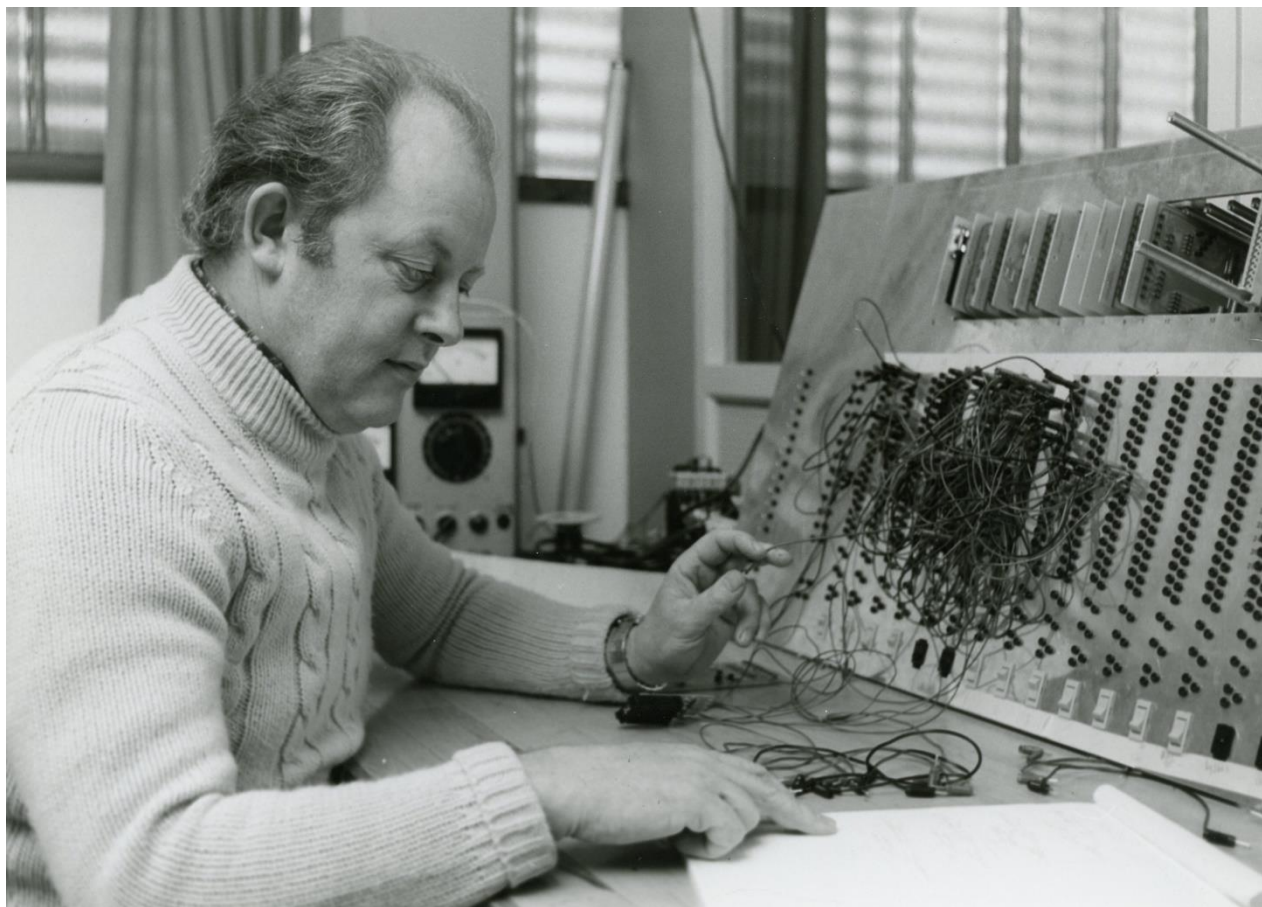
Berthel Andersens første styring ca. 1956 - 1961

På et tidspunkt i sidste halvdel af 1950'erne kaldte Poul Due Jensen fabrikkens første og dengang eneste elektriker, Berthel Christian Andersen, ind på sit kontor og forelagde ham en idé om at automatisere fabrikkens drejebænke ved hjælp af elektrisk styring. Det er usikkert præcis, hvornår dette er foregået, men i et interview til medarbejderbladet *Vandposten* i 1976, udtalte Berthel Andersen at det på tidspunktet for interviewet, var "omtrent 20 år siden".³⁹ Hvis vi tager det tal for pålydende, skete det altså i 1956. Det tidspunkt, hvor Poul Due Jensen og Berthel Andersen begyndte udviklingen af deres egen styring, falder altså nogenlunde tidsmæssigt sammen med professor Donald P. Campbells besøg i Danmark og oprettelsen af Servoteknisk Forskningslaboratorium i 1956.

Ifølge Berthel Andersens beretning kendte han på det tidspunkt intet til automatik og elektriske styringer, men Poul Due Jensen var i stand til at sætte ham ind i de grundlæggende ideer. Sammen gik de straks i gang med at udvikle på ideen. Berthel Andersen har siden fortalt i et interview i forbindelse med sit 25-års jubilæum i 1981, at de begge blev så inspireret og optændte af arbejdet, at Berthel Andersen først "(...) kom hjem kl. 2 om natten med hovedet fyldt til bristepunktet".⁴⁰

Berthel Andersen stod for udviklingen af det elektriske system, og Poul Due Jensen, der havde flair for maskinkonstruktion, arbejdede med konstruktionen af de mekaniske dele. I begyndelsen var Berthel Andersen fortsat på job som almindelig elektriker på fabrikken i dagtimerne. Samtidig var det en stor opgave, de havde sat sig for, så der blev investeret mange sene aften- og nattetimer i projektet. Snart blev der hevet en tredje mand ind i projektet ved navn Søren Simonsen, som havde evner for både elektronik og maskinkonstruktion. Berthel Andersen husker at han selv, Poul Due Jensen og Søren Simonsen tegnede diagrammer til styringen på gulvet med kridt, for bedre at kunne overskue forløbene. På den måde kunne de gå rundt og følge de elektriske kredsløb i den styring, de udviklede.⁴¹

I 1960 kunne de teste systemet på de første drejebænke i Bjerringbro. Ifølge årsberetningen for 1960 ved Bjerringbro Pumpefabriks årlige generalforsamling fungerede styringen og automatikken overraskende godt.⁴² Efter at styringen var taget i brug, kunne man endelig foretage



Berthel Andersen i færd med at konstruere en elektrisk styring i 1976. På det tidspunkt var han ikke længere fabrikens eneste elektriker. Han bestyrede nu en hel afdeling, der udelukkende arbejdede med egen fremstillet automatik. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv)

de tekniske beskrivelser og test, som var nødvendige for at indgive en patentansøgning. I april 1961 indgav Poul Due Jensen en patentansøgning på ”Anlæg til automatisk styring af en værktøjsmaskine, f.eks. en drejebænk”.⁴³

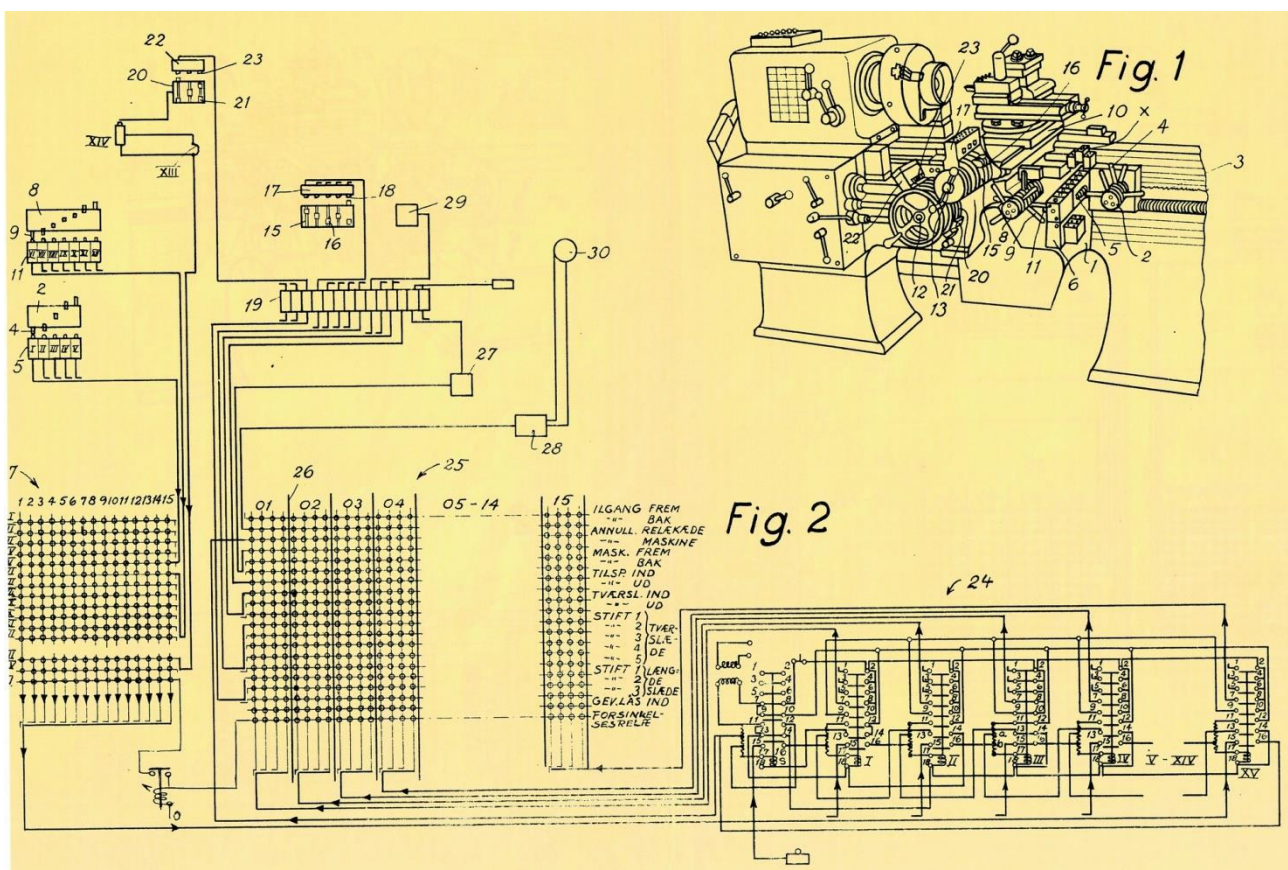
Forskelle og ligheder til tidens øvrige styringer

Berthel Andersens styring blev konstrueret parallelt med de første amerikanske NC-maskiner og endnu mens de var på forsøgsstadiet. Fordi der endnu ikke var et færdigt koncept for styringer til værktøjsmaskiner i sidste halvdel af 1950’erne var Berthel Andersen nødsaget til at konstruere sit eget system fra bunden. Berthel Andersen, Poul Due Jensen og Søren Simonsen har kunnet forholde sig til en række generelle principper for elektrisk styring, som var tilgængelig i tidens litteratur, men på en række punkter adskiller den danske styring sig fra de amerikanske. De amerikanske styringer, blev skabt på basis af sofistikeret elektronik, som var blevet udviklet til våben under 2. Verdenskrig, og her betjente man sig af radorør, dioder, forstærkere, magnetbånd osv. I modsætning hertil var Berthel Andersens styring konstrueret af enkle og kendte komponenter som relæer og krydsfelter. Ved at forbinde disse på en sindrig måde fik man elektriske kredsløb, der kunne slukke og tænde for maskinens funktioner i en ønsket rækkefølge. Relæerne i styringen var forbundet til maskinens påvirkningsorganer ved hjælp af trykluft og elmotorer. Påvirkningsorganerne var særligt

konstruerede tromler, der var placeret der, hvor der på en almindelig ikke-automatiseret drejebænk ville have siddet håndsving og håndtag til manuel operation.

Styringen var samtidig fleksibel, så den også kunne anvendes til andre typer af værktøjsmaskiner, og systemet var skalerbart, så den kunne dimensioneres til det antal funktioner man ønskede. Det gjorde styringen mere økonomisk. Ifølge patentbeskrivelsen kunne der "(...) foretages meget store variationer i styringen og derved meget varierede funktioner af anlægget under anvendelse af forholdsvis små og simple kontaktorganer på maskinen".⁴⁴

Til forskel fra NC blev Berthel Andersens styring ikke programmeret ved hjælp af hulkort eller magnetbånd. Derimod dirigerede man maskinens bevægelser gennem et særligt krydsfelt, hvori man placerede nogle små kontaktstifter på udvalgte steder, afhængigt af hvilke handlinger, man ønskede at maskinen skulle foretage. Princippet er ganske vist sammenligneligt med hulkort: Der er tilsvarende hulkortprogrammering tale om en binær kodning, idet koden beror på hvorvidt der enten tillades en elektrisk spænding eller ikke tillades en elektrisk spænding. I stedet for huller i et stykke papir er der, i Berthel Andersens krydsfelt, blot tale om huller i en plade, der skulle fyldes ud med kontaktstifter. Med Berthel Andersens system undgik man således at skulle fremstille nye hulkort, når maskinen skulle om-programmeres. I stedet anvendte man samme krydsfelt, men med en ny placering af kontaktstifterne.



To figurer fra patentansøgning i 1961, der viser Berthel Andersens system. Fig.1 viser en HURON-drejebænk forsynet med påvirkningsorganer. Fig. 2 viser et diagram over det elektriske styresystem bestående af relæer til højre og krydsfelter til venstre. Bemærk det lille krydsfelt i midten, hvorpå maskinens funktioner er noteret ud for rækkerne i krydsfeltet. Det var på dette krydsfelt, at maskinen blev programmeret. (Grundfos Museum – The Factory)

I en artikel af overingeniør P. Martin Larsen i *Elektrikeren* i 1963 kan man læse, at man i begyndelsen af 1960'erne mange steder havde indført programstyrede maskiner, der arbejdede ved hjælp af såkaldte "proptavler", som på det tidspunkt "har været kendt i en årrække", og at disse måtte anses for at være væsentlig billigere alternativer til NC.⁴⁵ Der følger ingen videre beskrivelse af disse 'proptavler' og det er svært at søge noget meningsfuldt frem på den betegnelse. Imidlertid lyder det meget som noget, der ligner Berthel Andersens system. I samlingen på Grundfos Museum findes der en lille drejebænk med en styring, der var konstrueret af Berthel Andersen. Drejebænken er fra ca 1965 og var fremstillet til brug for undervisning i virksomhedens lærlingeafdeling. Når man ser nærmere på det krydsfelt, som denne drejebænk blev programmeret på, er det tydeligt, at man her var gået bort fra stifter, og i stedet anvendt netop propper.

De grundlæggende principper i Berthel Andersens styring er de samme som for NC, nemlig at styringen består af logiske kredsløb, der programmeres med binær kodning. Til gengæld må Berthel Andersens udnyttelse af krydsfelter siges at være ganske unik og innovativ. Denne innovation må delvist været båret af omstændighederne, idet styringen blev konstrueret ud fra de forhåndenværende søms princip – altså at man udnyttede den elektronik, der var umiddelbart tilgængelig. Resultatet blev i sammenligning med NC en simplere, men samtidig meget mindre og billigere styring, som løste den samme opgave. Styringen var dermed konkurrencedygtig i sammenligning med de amerikanske styringer. Man kan derfor godt undre sig over, at man ikke gjorde sig nogen anstrengelser for at markedsføre Berthel Andersens styring efter at den var blevet udviklet. Omvendt var hensigten med at udvikle styringen ikke at gå ind i et nyt marked for elektronik, men derimod at styrke egen konkurrenceevne ved at optimere egen produktion. Efterspørgslen på pumper var stor, og at sende styringen på markedet kunne i værste fald komme konkurrenterne til gode.

Afdeling 1333 for Styring og Automatik på Grundfos 1960 – 1981

Efter at de første drejebænke på pumpefabrikken succesfuldt var blevet automatiseret i 1960 stod det klart, at Berthel Andersen ikke længere skulle stå for det almindelige elektrikerarbejde. Berthel Andersen blev sat i spidsen for en særlig afdeling for styring og automatik, Afdeling 1333, som var lagt under værktøjsafdelingen.⁴⁶ Afdelingen stod i de efterfølgende årtier for at automatisere et stort antal maskiner på fabrikken, både standard værktøjsmaskiner, der blev modificeret så de kunne anvende den nye styring, men efterhånden også flere og flere specialbyggede maskiner. I de første år af 1960'erne automatiserede Bjerringbro Pumpefabrik et større antal Huron drejebænke fra Danish Machine Company med Berthel Andersens styring. I de følgende år konstruerede Berthel Andersens afdeling nye generationer af styringer, der alle baserede sig på samme system. Helt frem til ca. 1980 stod Berthel Andersens afdeling for at automatisere og vedligeholde et stort antal maskiner af forskellig art på pumpefabrikken i Bjerringbro.

Når man taler med folk, der har arbejdet sammen med Berthel Andersen, får man tegnet et billede af en mand, der var utrolig vellidt af kollegerne. Flere udtrykker, at han også på det menneskelige plan var noget helt særligt. Derudover bliver han beskrevet som nærmest genial, når det kom til elektricitet. "Hans hjerne svingede omkring el hele tiden" fortæller Ole G. Lau Pedersen, der arbejdede som elektriker i Berthel Andersens afdeling fra sidst i 1960'erne og frem.⁴⁷ I forbindelse med Berthel Andersens 25-års jubilæum på Grundfos i 1981, gav han et interview til medarbejderbladet 'Vandposten'. Her får man indtryk af en meget dedikeret medarbejder, der arbejdede dag og nat. Berthel Andersen fortæller selv, at han i en periode lå på hospitalet, mens man skulle udvikle en styring til en bearbejdningsmaskine, kaldet karrusellen. Her tegnede han videre på diagrammerne fra sin hospitalsseng, hvor han efter eget udsagn havde rigtig god tid til opgaven.⁴⁸



Drejeafdelingen på Bjerringbro Pumpefabrik i 1962. De automatiserede drejebænke er opstillet vinkelret på hinanden, så én operatør kunne betjene to drejebænke ad gangen. Mens den ene drejebænk udførte sit program, kunne operatøren klargøre og opspænde emnet i den næste. (Foto: Grundfos Historiske Arkiv)

I 1980'erne overtog moderne PLC-styringer gradvist. PLC (*Programmable Logic Controllers*) er moderne computerprogrammerede styringer, som i dag er standard indenfor industriautomatik. Ifølge Michael Røddik, der blev ansat som elektriker i Berthel Andersens afdeling i 1971, var man i årene op til 1980 gået i gang med at konstruere en egen bygget PLC i Berthel Andersens afdeling.⁴⁹ Imidlertid blev Berthel Andersen syg og måtte opgive projektet. Grundfos købte i stedet for sine første PLC'er fra en ekstern leverandør i årene omkring 1980. Det var den danskproducerede NESELCO, der blev fremstillet af firmaet LK-Nes.⁵⁰

Efter sin sygdom kunne Berthel Andersen ikke længere arbejde på fuld tid. Fra 1. januar 1981 overgik ledelsen af 'Elstyreafdelingen' til Ole Laustsen, der indtil da var menig medarbejder i afdelingen. Berthel Andersen blev i stedet overflyttet til at beskæftige sig med elektronikudvikling på nedsat tid i en afdeling direkte under Grundfos' udviklingschef Niels Mølgaard.

Selv efter at PLC'erne tog over, var det fortsat en højt specialiseret opgave at være elektriker på Grundfos, og nyansatte elektrikere helt ind i dette årtusinde måtte oplæres i de helt unikke styringer, når de blev ansat. De maskiner, der allerede var blevet automatiseret med Berthel Andersens system, fortsatte nemlig med at være drift indtil de brød sammen og måtte udskiftes. I 2020 var der fortsat to af Berthel Andersens styringer i drift i produktionen i Bjerringbro.

Der er intet bevaret af de ældste styringer fra begyndelsen af 1960'erne. Til gengæld har Grundfos Museum en samling af styringer, som Berthel Andersens udviklede efterfølgende fra ca. 1965 og frem til ca. 1972. Disse styringer præsenteres kort i det følgende.

Det stikbare modulsystem - Berthels brune kort ca. 1965 – 1972

Det store antal maskiner man gik i gang med at automatisere op gennem 1960'erne, skabte et behov for at rationalisere arbejdet med styringerne. Det tog relativt lang tid at fremstille styringernes elektronik, og derfor opstod en idé om at præfabrikere standardmoduler til styringerne, som man hurtigt kunne sammensætte, når man skulle lave en ny styring. Det førte til udviklingen af 'Det stikbare modulsystem' omkring 1965. Den væsentligste nyskabelse ved det stikbare modulsystem var, at styringens moduler kunne sættes ind i et kabinet på samme måde som et stik. Man undgik altså at lodde de elektriske kredsløb sammen, hvilket sparede meget tid i fremstillingen af nye styringer. Der blev udarbejdet 13 forskellige standardmoduler, der indeholdt forskellige maskinfunktioner. Eksempelvis et modul til start og standse funktion og et andet modul til løsne-spændende funktion. Herved kunne man hurtigt og enkelt sammensætte og udskifte de enkelte moduler alt efter, hvilke funktioner man ønskede. Det gjorde det ikke kun hurtigt at fremstille nye styringer, men også let at vedligeholde dem. De enkelte moduler lå på lager i elestyreafdelingen, og kunne således hurtigt udskiftes. Når der skulle konstrueres nye styringer, sammensatte elektrikerne blot standardmoduler i særligt indrettede kabinetter, kaldet 'racks'. Komplicerede styringer kunne snildt indeholde flere racks.⁵¹

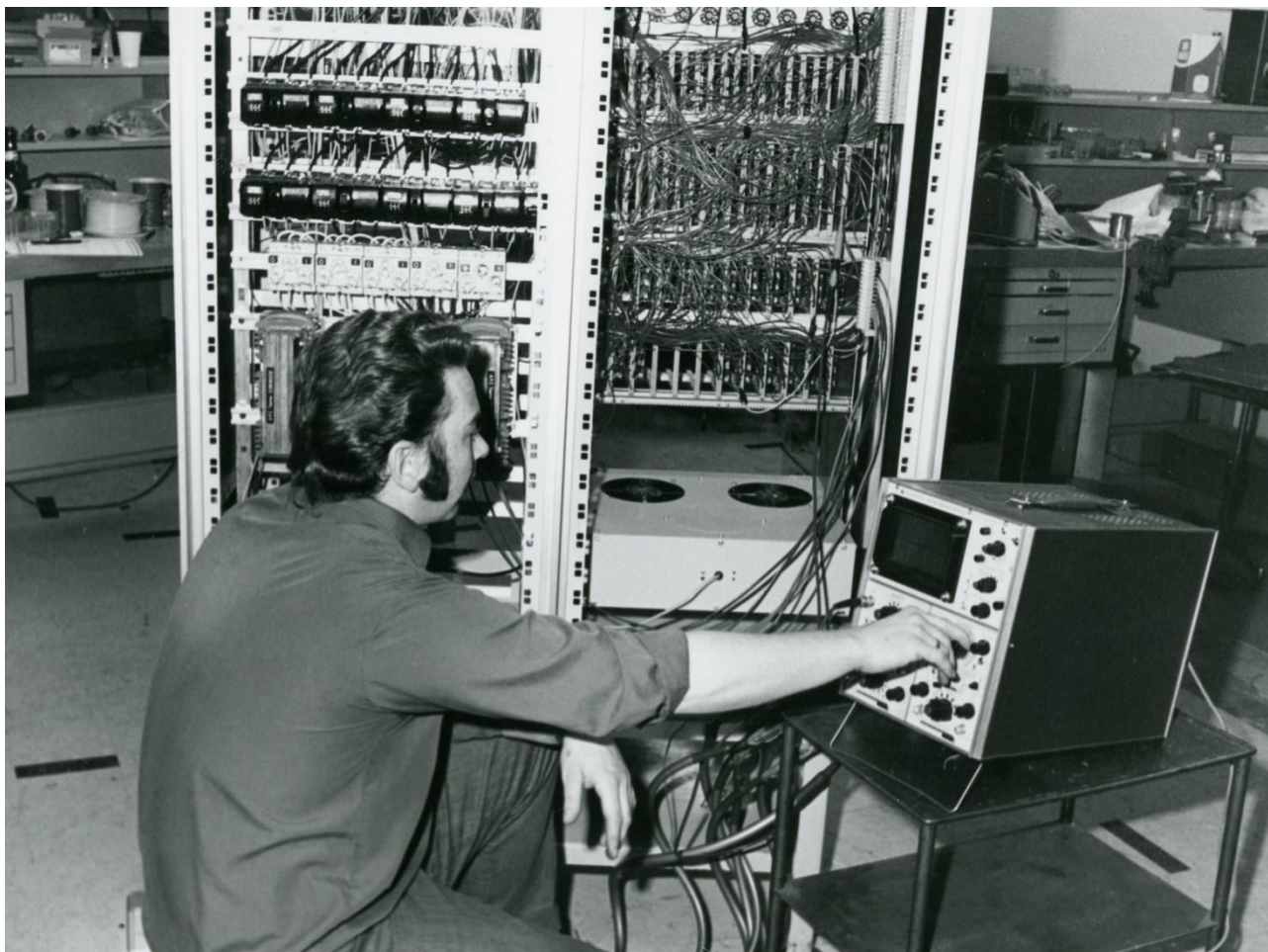
Hvor den første af Berthel Andersens styringer alene var sammensat af relæer og krydsfelter, var det stikbare modulsystem opbygget af mere avancerede elektronikkomponenter, der blev loddet sammen på bagsiden af en plasticplade. Pladerne var en tidlig udgave af printplader kaldet 'Veroboard'. Fordi pladerne var lavet af brunt plastik, fik de hurtigt kælenavnet "Berthels brune kort".

Karruselstyringen fra 1970 – 1972

I årene omkring 1970 opfandt en gruppe maskinkonstruktører på Grundfos, atter med Poul Due Jensen i spidsen, et meget avanceret bearbejdningscenter, som blev kaldet for Karrusellen. Karrusellen opererede med 15 værktøjer på én gang. Foruden styring af de 15 værktøjer krævede maskinen styring og timing af smøring og kølevand, ilægning og udtagning samt fremførsel af emnerne. Konstruktørerne Kai Bruun Andersen og Arne Johansen stod for udviklingen af de mekaniske dele. Berthel Andersen fik til opgave at udvikle en styring, der kunne klare den krævende opgave.

Karrusellens styring blev konstrueret med udgangspunkt i Berthel Andersens tidligere modulsystem. Men der skulle over 70 moduler til at styre maskinens mange operationer. For at styringen ikke skulle blive alt for stor, måtte man derfor anvende tidens nyeste elektroniske komponenter, såsom integrerede kredsløb og mikrodioder. Ingen i Berthel Andersens afdeling havde erfaring med dette. Derfor indledte Grundfos i 1970 et samarbejde med ingeniørvirksomheden SAM-PROJEKT i Them, der havde kompetencerne. Den første karruselstyring blev præsenteret i medarbejderbladet *Vandposten* i 1972, og heraf fremgår det, at styringen indeholdt 5 km ledninger. Ligesom den første styring fra 1960 kunne karruselstyringen programmeres fra et krydsfelt. Som noget nyt blev ledningerne samlet og fremført med en ny teknik 'wirewrapping' for enden af ledningerne, hvilket gjorde det betydeligt lettere at udskifte og fremføre ledninger, når systemet skulle vedligeholdes. Tilsvarende 'Det stikbare modulsystem' kunne man med det nye system opbygge styringer til forskellige formål ud fra moduler, der blev standardiseret. Det gjorde det muligt at sammensætter styringer til forskellige formål. Derfor blev Karruselstyringen efterhånden ikke kun anvendt til koncernens efterhånden mange karruseller, men fandt også anvendelse til mange andre maskiner. Karruselstyringerne var dominerende overalt i Grundfos koncernens fabrikker til langt op i 1980'erne.

[ptm144_1972_styring]



Man må holde tungen lige i munden, når man skal forbinde 70 moduler med 5 kilometer ledning. En elektriker i styringsafdelingen, afdeling 1333, i færd med at tilrigge karruselstyringen i 1972. Til venstre i styringsskabet ses relæer, der skulle tænde og slukke for maskinens mange funktioner. Til højre i skabet ses de såkaldte 'racks', der indeholdt elektroniske moduler. Modulerne bestod af printkort med elektriske kredsløb.

Opsamling og konklusion

Nærværende artikel introducerer Berthel Andersens styring fra 1960 som et meget tidligt eksempel på automatisering i dansk bearbejdningsindustri. Modsat procesindustrien, som allerede havde automatiseret visse former for reguleringsteknik før 2. Verdenskrig, blev der først sat skub i automatiseringen af bearbejdningsindustrien efter krigen. Det skete i første omgang med udviklingen af de første elektriske styringer til enkeltstående værktøjsmaskiner, navnlig med udviklingen af numeriske styringer i USA. Herfra bredte viden sig til Europa og Skandinavien fra midten af 1950'erne. I Danmark oprettedes Servoteknisk Forskningslaboratorium i 1956 efter amerikansk forbillede. Selvom oprettelsen af Servoteknisk Forskningslaboratorium førte til øget bevågenhed omkring styringsteknologi i tekniske kredse, var der fortsat kun spredte tiltag for at automatisere værktøjsmaskiner i dansk bearbejdningsindustri i løbet af 1960'erne. Først efter 1970 synes automatiserede bearbejdningsmaskiner at vinde udbredelse.

I det lys er Berthel Andersens styring et meget tidligt eksempel på automatisering af en værktøjsmaskine, såvel i Danmark som internationalt. Styringen blev udviklet parallelt med de amerikanske styringer i sidste halvdel af 1950'erne og blev første gang taget i anvendelse på

Bjerringbro Pumpefabrik i 1960. Fordi der endnu ikke var et færdigt koncept for styringer til værktøjsmaskiner i sidste halvdel af 1950'erne var Berthel Andersen nødsaget til at konstruere sit eget system fra bunden. Berthel Andersen, Poul Due Jensen og Søren Simonsen har kunnet forholde sig til en række generelle principper for elektrisk styring, som var tilgængelig i tidens litteratur, men på en række punkter adskiller den danske styring sig fra de amerikanske. Berthel Andersen konstruerede styringen ud fra et egenudviklet system der baserede sig på enkle og kendte komponenter som relæer og krydsfelter. Hermed adskilte den sig fra de amerikanske styringer, der anvendte avanceret elektronik, som var blevet udviklet til våben under 2. Verdenskrig. Styringen fra Bjerringbro Pumpefabrik var på én gang enkel og billig, den var fleksibel, så den let kunne skaleres og tilpasses forskellige typer af standardmaskiner og endelig var den programmerbar. Fra midten af 1960'erne og frem til 1972 konstruerede Berthel Andersen yderligere mindst 2 generationer af styringer, der byggede videre på hans eget system. Disse blev gradvist mere komplicerede og anvendte i stigende grad mere avancerede elektronikkomponenter.

Incitamentet til at påbegynde automatiseringen på Bjerringbro Pumpefabrik var drevet af stor efterspørgsel på fabrikkens pumper der førte til en hastig ekspansion og produktionsforøgelse. Det skabte behov for at overkomme flaskehalse i produktionen, som ikke kunne overkommes alene ved rationaliseringer. Der var behov for ny teknologi. Hermed foregreb Bjerringbro Pumpefabrik en udvikling, der siden gjorde sig gældende for den industrielle udvikling generelt. Automatisering har spillet en ganske betydelig rolle for den industrielle udvikling efter 2. Verdenskrig og mange af de forhold, der generelt har betinget automatisering, nemlig masseproduktion og stor efterspørgsel på varer, var de samme forhold, som betingede automatisering på Bjerringbro Pumpefabrik.

Hensigten med at udvikle Berthel Andersens styring var at styrke virksomhedens konkurrenceevne. Derfor blev der heller ikke gjort nogen indsats for at udbrede styringen til andre virksomheder. Til trods for at styringen blev patenteret, og at Berthel Andersens styringer var de mest udbredte på Bjerringbro Pumpefabrik, siden under navnet Grundfos, helt op i 1980'erne, er Berthel Andersens styringer forblevet ukendte udenfor Grundfos.

Referencer

Utrykte kilder

Danfoss Historisk Arkiv, intern publikation af Walter Hugener: *Historier om Danfoss' produktionsudstyr*, 2003

Grundfos Historiske Arkiv, *Berthel Andersens Styringer* (film 2019), Grundfos Museum – The Factory, C-3-7

Grundfos Historiske Arkiv, Cellebeskrivelser, Celle 03 elektriske Styringer, Grundfos Museum – The Factory

Grundfos Historiske Arkiv, Forretningsarkivet A1, 03, Årsberetninger og Generalforsamlingsnotater

Grundfos Historiske Arkiv, *Innovation from The Factory Floor* (Film 2019), Grundfos Museum – The Factory, C-3-13

Grundfos Historiske Arkiv, Korrespondance med Danish Machine Company 1954, Jr.nr: 2016/138

Grundfos Historiske Arkiv, Patentsag 118143, ansøgning 1632/61, 21. april 1961, Jr.nr: 2014/26 ks. 1/3

Grundfos Historiske Arkiv, Patentsag 118143, ansøgning 1632/61, 30. november 1970, Jr.nr: 2014/26 ks. 1/3

Grundfos Historiske Arkiv, PDJ kontor/bestyrelsesmøder1963-1969/organisationsdiagram 1964 og jobbeskrivelse for BCA, Jr.nr.2017/143

Grundfos Historiske Arkiv, *Pumpebladet 1952-1961*

Grundfos Historiske Arkiv, Statistikker til 'vandorglet' i *The Factory*

Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1976, nr. 2, C-261

Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1981, nr. 4

Teknologihistorie DTU, Intern publikation af Gudmund Rafn Sørensen: *40 års Arbejdshistorie i uddrag 1956-1996*, Lyngby 1995

VKR Holding A/S, Firmahistorisk Arkiv, Intern artikel om Bagsværd Bygningsindustri A/S, 2004

VKR Holding A/S, Firmahistorisk Arkiv, udklip fra Ingeniør- & Bygningsvæsen 12/11 1971.

Litteratur

Andersen, Lars S. og Ulrik Larsen; *Procesregulering i Industrien*, Lyngby 1981

Bennet, Stuart, 1996 *A Brief History of Automatic Control*, IEEE Control Systems, 1996

Diebold, John: *Automation. The Advent of the Automatic Factory*, New Jersey 1952

Hyldtoft, Ole og Hans Chr. Johansen: *Teknologiske forandringer i dansk industri 1896-1972 – Dansk industri efter 1870 Bind 7*, Odense 2005

Jensen, J.R.: *Automatisk Kontrol 1*, Lyngby 1977

Knudsen, Henrik; *Visioner, Viden og værdiskabelse – en historie om Akademiet for Tekniske Videnskaber*, ATV 2012

Leth, Nils: *Servomekanismer*, Lyngby 1978

Lykkegaard, Finn: *Danmarks Industrialisering 1840-1990*, København 1994

Noble, David F: *Forces of production. A Social History of Industrial Automation*, New York 1984

Pedersen, Jan: "H. Nielsen & Søn Maskinfabrik A/S, 1916-1980 - Et eksempel på maskinteknologiens fornyelse i efterkrigstiden", *Erhvervshistorisk Årbog 46*, 1996 s. 110-155

Aviser og tidsskrifter

Elektrotekniker, 1954 – 1965

New York Times: "New Device shown for mass output", 30th June, 1950, Section Business & Finance, p. 40

Noter

¹ Værktøjsmaskiner er eksempelvis drejebænke, boremaskiner, fræsere, o. Lign. som alle har udskiftelige værktøjer til eksempelvis boring, ud boring, rømning, fræsning, drejning, skruining og gevindskæring. Maskinerne finder anvendelse i 'bearbejdningsindustrien', der er kendetegnet ved anvendelsen af maskiner til bearbejdning af fast materiale eksempelvis træ og metal.

² Andersen: *Procesregulering*, s. 67-71.

³ Diebold: *Automation*, s. 2.

⁴ Diebold: *Automation*, s. 54-59.

-
- ⁵ I 1959 beskæftigede virksomheden knap 100 medarbejdere og allerede i 1962 var antallet af medarbejdere fordoblet til næsten 200. Kilde: Grundfos Historiske Arkiv, udarbejdede statistikker.
- ⁶ Andersen: *Procesregulering* s. 70.
- ⁷ Hyldtoft: *Teknologiske forandringer i dansk industri*, s. 268; Cit.: ”De industri- og fagforeningsfolk, der i slutningen af 1940’erne kom til USA, nåede ofte frem til, at der i amerikanske virksomheder kun blev brugt halvt så meget arbejdstid på at fremstille en vare som i Danmark,(...)”.
- ⁸ Noble: *Forces of Production*, kapitel 1-3.
- ⁹ *New York Times*: ”New Device shown for mass output”, 30th June 1950, Section Business & Finance, s. 40
- ¹⁰ Noble: *Forces of Production*, s. 159.
- ¹¹ Diebold: *Automation*, s 86-87.
- ¹² Noble: *Forces of Production*, s. 179.
- ¹³ *Elektroteknikeren 1964*, s. 225.
- ¹⁴ Hyldtoft, *Teknologiske forandringer i dansk industri*, s. 336.
- ¹⁵ Bennet: *A brief History of Automatic Control*, s. 22.
- ¹⁶ *Elektroteknikeren 1955*, s. 428.
- ¹⁷ *Elektroteknikeren 1955*. Oprettelsen af et kommende Servoteknisk Forskningslaboratorium blev dog allerede omtalt i *Elektroteknikeren* 7. oktober 1955. Knudsen: *Visioner, Viden og værdiskabelse*.
- ¹⁸ Hyldtoft: *Teknologiske forandringer i dansk industri*, s. 324-329.
- ¹⁹ Hyldtoft: *Teknologiske forandringer i dansk industri*, s. 282
- ²⁰ Løkkegaard: *Danmarks Industrialisering*, s. 168.
- ²¹ Sørensen: *40 års Arbejdshistorie i uddrag*, s. 10.
- ²² Pedersen, Jan: ”H. Nielsen & Søn Maskinfabrik A/S”, *Erhvervshistorisk Årbog 46*, s. 126-127.
- ²³ *Elektroteknikeren 1964*, s. 226. Desuden var nogle af de tidligste amerikanske prototyper på NC udviklet netop til maskiner fra Cincinnati.
- ²⁴ *Elektroteknikeren 1964*, s. 226.
- ²⁵ Lykkegaard, *Danmarks Industrialisering* s. 168.
- ²⁶ Her er det vigtigt, at der skelnes mellem procesregulering og elektrisk styring af bearbejdningsmaskiner, jf. tidligere afsnit.
- ²⁷ Jensen, J.R.: *Automatisk Kontrol 1*. Polyteknisk forlag, 1977.
- ²⁸ Leth, Niels; *Servomekanismer*, bd. 1 Servolaboratoriet, Lyngby 1978.
- ²⁹ Danfoss Historisk Arkiv, Walter Hugener 2003, s. 7.
- ³⁰ VKR Holding A/S, Firmahistorisk Arkiv, Intern artikel om Bagsværd Bygningsindustri A/S, 2004.
- ³¹ VKR Holding A/S, Firmahistorisk Arkiv, udklip fra Ingeniør- & Bygningsvæsen 12/11 1971.
- ³² Grundfos Historiske Arkiv, Udarbejdede statistikker til ’vandorglet’ i udstillingen *The Factory*.
- ³³ Grundfos Historiske Arkiv, *Pumpebladet 1952-1961*.
- ³⁴ Grundfos Historiske Arkiv, Udarbejdede statistikker til ’vandorglet’ i udstillingen *The Factory*.
- ³⁵ Grundfos Historiske Arkiv, Forretningsarkivet A1, 03, Årsberetninger og Generalforsamlingsnotater.
- ³⁶ Grundfos Historiske Arkiv, Korrespondance med Danish Machine Company 1954, Jr.nr: 2016/138. Af et følgebrev fra Danish Machine Company fremgår det, at Bjerringbro Pumpefabrik i 1954 har bestilt en prototype på drejebænk ”fremstillet specielt til Forsøg i Deres Fabrikation, i øvrigt i Konstruktion og med Maal svarende til HURON 265 nr. 5”. Det fremgår endvidere, at denne specialfremstillede prototype blev leveret med rabat, mod forventning om at Danish Machine Company efterfølgende blev delagtiggjort i erfaringerne fra eksperimentet.
- ³⁷ Andersen: *Procesregulering* s. 70.
- ³⁸ Pedersen, Jan: ”H. Nielsen & Søn Maskinfabrik A/S”, *Erhvervshistorisk Årbog 46*, s. 114.
- ³⁹ Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1976, nr. 2, s. 4-5, C-261.
- ⁴⁰ Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1976, nr. 2, s. 4-5, C-261.
- ⁴¹ Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1981, nr. 4, s. 4.
- ⁴² Grundfos Historiske Arkiv, Forretningsarkivet A1, 03, Årsberetninger og Generalforsamlingsnotater.
- ⁴³ Grundfos Historiske Arkiv, Patentsag 118143, 21. april 1961.
- ⁴⁴ Grundfos Historiske Arkiv, Patentsag 118143, 30. november 1970, s. 3.
- ⁴⁵ *Elektroteknikeren 1963*, s. 362.

⁴⁶ Grundfos Historiske Arkiv, Organisationsdiagram 1964, Jr.nr.2017/143.

⁴⁷ Grundfos Historiske Arkiv, *Berthel Andersens Styringer* (Film 2019).

⁴⁸ Grundfos Historiske Arkiv, Vandposten 1981, nr. 4, s. 41.

⁴⁹ Grundfos Historiske Arkiv, *Berthel Andersens Styringer* (Film 2019).

⁵⁰ Grundfos Historiske Arkiv, *Innovation from the Factory Floor* (Film 2019).

⁵¹ Grundfos Historiske Arkiv, Cellebeskrivelser, Celle 03 elektriske Styringer.