

Institutt for atomenergi og digitaliseringen av norsk aluminiumindustri¹

The Institute for Atomic Energy and the digitalization of the Norwegian aluminium industry

Pål Nygaard

Ph.d. 2012.

Forsker II ved Institutt for rettsvitenskap og styring, Handelshøyskolen BI.

pal.nygaard@bi.no

SAMMENDRAG

På 1960-tallet begynte en gruppe atomforskere å besøke Kristiansand og Øvre Årdal. De kom fra Institutt for atomenergi (IFA, i dag Institutt for energiteknikk (IFE)) på Kjeller, og mente de kunne effektivisere aluminiumsproduksjonen ved å lage et datamaskinprogram. Programmet skulle simulere de industrielle prosessene med mål om å skape mer stabil og effektiv drift, samt finne måter strømforbruket kunne reduseres på. Dette ble starten på et etter hvert omfattende samarbeid mellom IFA, SINTEF og norsk aluminiumsindustri. Ved hjelp av atomforskerne på Kjeller tok aluminiumsbedriftene i Norge tidlige steg mot digitalisering, og denne digitaliseringen hevder IFE ga avgjørende bidrag for at norsk aluminiumsindustri klarte å oppnå nesten 30 % reduksjon i kraftforbruket. I denne artikkelen vil jeg argumentere for at møtet mellom de to i utgangspunktet forskjellige teknisk-industrielle feltene er en nøkkel hvis vi vil forstå den norske versjonen av fenomenet vi med tiden har gitt merkelappen den tredje industrielle revolusjon. Jeg vil peke på tre sentrale elementer som i for liten grad er knyttet sammen i tidligere forskning. For det første at programvare spilte en helt sentral rolle i den tredje industrielle revolusjon, mens maskinvare har

1. Jeg vil takke de anonyme fagfellene for nyttige kommentarer. I tillegg vil jeg takke Knut Sogner, Ketil Gjørme Andersen, Viktor Wikstrøm, Dag Thomassen og Fridtjov Øvre for kommentarer til tidligere utkast, og en særlig takk til Pål Thonstad Sandvik for verdifulle kommentarer.

blitt forsket mest på. For det andre at utvikling og bruk av informasjonsteknologi foregikk på en utpreget interaktiv måte med samarbeid mellom en rekke aktører, institusjoner og kunnskapstyper, noe som har vært krevende å fange opp gjennom oppdragsforskningen på feltet. For det tredje at dette interaktive samarbeidet vi her konkret snakker om oppstod som følge av uintenderte konsekvenser av strategiske planer for industriforskning og industrivekst, planer som ofte blir forstått som mislykkede.

Nøkkelord

Teknologihistorie, Institutt for atomenergi, Forskning, Programvare, Innovasjonssystem.

ABSTRACT

During the 1960s and 1970s the Norwegian Institute for Atomic Energy developed software that, according to them, contributed to an almost 30% reduction in the Norwegian aluminium industry's energy output. It seems plausible that the nuclear researchers contributed to the reduction in energy output, even though the causes of this energy reduction are difficult to distinguish. This article analyses how and why the nuclear researchers were able to simulate the aluminium production process and develop software to improve and control this production process. A crucial component was that from the beginning the nuclear scientists devoted themselves to simulating and modelling the processes within their nuclear reactors. The competence in calculating, modelling and simulating complex processes enabled the nuclear scientists to develop software programs. Previously, historical research in Norway has emphasised the institutionalization of technical research, and the government's ambitions to plan and direct this research in order to promote economic growth. My case study of the digitalization of the aluminium industry adds insights to the previous research by highlighting the unintended consequences of institutionalization and the government's planning regime, the interactive dimension of research and innovation evolving in the 1960s, and the software dimension of information technologies. I argue that the Institute for Atomic Energy represents the key to understanding Norwegian systems of innovation, and that there is a need to investigate software development as a historical research field, answering to the claims of a «hardware bias» in computer history.

Keywords

History of technology, research, software, computer history, systems of innovation.

PROGRAMVARE FOR ALUMINIUM

Atomforskning og aluminiumsproduksjon hadde i utgangspunktet få berøringspunkter. På Kjeller og i Halden arbeidet omkring 500 ansatte med å legge grunnlaget for utbygging av norske kjernekraftreaktorer og norsk kjernekraftindustri på 1960-tallet. På samme tid forsøkte regjeringen å stimulere til en tredobling av norsk aluminiumsproduksjon, en

etablert industri i Norge med fabrikker flere steder langs kysten. Mens atomforskningens mål var å introdusere en ny energikilde, baserte aluminiumssatsingen seg på å lokke multinasjonale selskaper til investeringer i Norge ved å tilby billig strøm fra vannkraft.

Innen aluminiumsproduksjon var en sentral utfordring på 1960-tallet at en visste lite om hva som foregikk inne i smelteovnene.² Slitasjen på smelteovnene var høy, og risikoen for at det smeltede aluminiumet skulle lage hull i dem var stor. Levetiden til en smelteovn var derfor fra to til fem år.³ Det bidro til både høye kostnader og utfordringer knyttet til stabil drift av produksjonen. Den store utfordringen med å forstå hva som foregikk inne i smelteovnene, hadde fram til da vært varme. Temperaturen i en elektrolysecelle er omkring 950 °C, og det var dermed praktisk umulig å plassere instrumenter som kunne måle hva som foregikk.⁴

Tidligere hadde det i aluminiumsindustrien for eksempel vært vanlig å måle strømningsbaner og hastigheten i elektrolysecellene ved å stikke ned ett spett og la det stå en stund for å se hvor elektrolyttene spiste på spettet og hvor raskt spettet ble spist.⁵ Utfordringen var at strømningsbanene i elektrolysecellene var ujevn. Av den grunn tæret det smeltede aluminiumet ujevnt på ovnene. Dersom en ikke var påpasselig kunne det gå hull i ovnen, med risiko for at aluminiumet rant ut. Det er blitt sagt at erfarne arbeidere «kunne kjenne det på gikta» når en elektrolysecelle nærmet seg slutten på sin levetid.⁶ Disse erfarne arbeiderne ble kalt «ovnsdoktorer», og deres kunnskap spilte en viktig rolle i overgangen til datamaskinbasert prosessstyring.⁷

IFA-forskerne mente de kunne finne ut av prosessene inne i smelteovnene. Årsaken til strømningene og bevegelsene inne i smelteovnene var kjent, nemlig at strømskinnene skapte et magnetfelt. Hvor kraftig dette magnetfeltet, var ble illustrert under et av de første besøkene i ovnhallen til Årdalsverket. Der så IFA-forskerne en arbeider glippe et verktøy som deretter føyk rett mot smelteovnen hvor den ble hengende fast.⁸ Forslaget fra IFA var å utvikle et dataprogram som *simulerte* prosessene inne i smelteovnen. Målet deres var med andre ord å etterligne de virkelige prosessene ved hjelp av datamaskiner. Hvordan kunne de få til det, når virkeligheten var ukjent?

Utfordringen ved å lage databaserte simuleringsmodeller er å koble ulike informasjons-elementer sammen i en mest mulig virkelighetsnær representasjon av den virkelige verden. Det kan dreie seg om ulike naturvitenskapelige lover, matematiske modeller og erfaringsdata. Nettopp innhenting av erfaringsdata var regnet som umulig for smelteovnene i aluminiumsindustrien på grunn av den høye temperaturen. IFA hadde imidlertid under sitt arbeid med testreaktorer utviklet metoder for å hente inn erfaringsdata ved hjelp av å sende isotoper og måle bevegelsesbanene til disse. Noe av det samme gjorde de med smelteov-

2. Sogner 2003: 181.

3. Intervju med tidligere IFA-forsker og leder for aluminiumsprosjektene til IFA Arne Waagbøe 12.6.2017; Byrkjeland 1997b: 297.

4. Ibid.: 294; intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

5. Intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

6. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbøe 12.6.2017.

7. Myrvang 1997: 102.

8. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbøe 12.6.2017.

nene til aluminiumsindustrien. IFA-forskerne utformet først en matematisk modell av prosessen i smelteovnene og dens dynamikk. Deretter programmerte de datamaskiner til å løse ligningene dynamisk. Her ble det brukt både analoge og digitale datamaskiner. Kontrollmålingene av isotopenes bevegelse i smelteovnene ga IFA-forskerne erfaringsdata som resulterte i forbedringer av den matematiske modellen. På den måten kunne en med større sikkerhet si at simuleringene i modellen og virkeligheten stemte overens.⁹

Gjennom simuleringsprogrammet fant de så fram til tiltak som kunne brukes til å endre og styre produksjonsprosessen. Ved å endre plasseringen av strømskinnene til smelteovnene lyktes det å redusere styrken i magnetfeltet, slik at det inne i ovnene ble tilnærmet null. Denne løsningen fant IFA-forskerne fram til i samarbeid med ingeniørene i ÅSV ved hjelp av simuleringer i dataprogrammet. På grunn av denne endringen ble driften mer stabil og effektiv, og levetiden til ovnene ble forlenget betydelig. I tillegg fant forskerne fram til tiltak som reduserte varmelekkasjer, noe som bidro til å redusere kraftforbruket.¹⁰

Kunnskapen og forståelsen om prosessene inne i smelteovnene spilte en nøkkelrolle for moderniseringen av aluminiumsanleggene i Norge fra 1970-tallet. IFA-forskerne samarbeidet tett med ÅSVs ingeniører, og ÅSV gjorde betydelige investeringer i å bygge om ovnene og strømskinnene.¹¹ I den eksisterende litteraturen om aluminiumsindustrien, fortelles det om modernisering av smelteovnene og overgangen til prosesstyring med datamaskiner. ÅSV skal ha vært den første bedriften i Europa som tok i bruk datamaskinbasert prosesstyring.¹² Moderniseringen framstilles her som vesentlige forbedringer, både med hensyn til jevnere drift, redusert strømforbruk og mindre forurensning.¹³ For de norske bedriftene var forbedringspotensialet stort, fordi de var langt mindre produktive enn de nordamerikanske gigantene. I denne litteraturen forklares moderniseringen som resultat av egen prosessutvikling, samt mulighetsrom for egen forskning og teknologioverføring fra den multinasjonale aluminiumsgiganten Alcan, som i 1967 ble deleier og samarbeidspartner med ÅSV.¹⁴

Det som ikke kommer fram i disse bedriftshistoriene er at programvaren til den datamaskinbaserte prosesstyringen kom fra IFA, og at IFA lærte opp bedriftenes drifts- og forskningsingeniører i hvordan datamaskinene og programmene kunne og skulle brukes. IFA nevnes faktisk ikke med et eneste ord i den eksisterende litteraturen om aluminiumsindustriens utvikling.¹⁵ Kun Asbjørn Karlsen viser kort til IFAs rolle i å utvikle matematiske modeller for aluminiumsindustrien i sin artikkel om forskning for aluminiumsindustrien, men her går det ikke tydelig fram at dette handlet om simulering og programvareutvikling for prosesstyring, og IFAs forskningsbidrag blir stemoderlig behandlet målt mot oppmerksomheten som rettes mot SINTEFs forskning for aluminiumsindustrien.¹⁶

9. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbø 12.6.2017; intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

10. Notat om forskningsoppdragene fra tidligere IFA-forsker Arne Waagbø til meg av 22.2.2018.

11. Notat om forskningsoppdragene fra tidligere IFA-forsker Arne Waagbø til meg av 22.2.2018.

12. Innvik & Kamsvåg 1993: 169.

13. Ibid. 169 ff; Byrkjeland 1997b: 296; Byrkjeland 1997a: 126, 130.

14. Myrvang 2000: 70.

15. Kfr. Amdam, Gjestland & Hompland 1997; Innvik & Kamsvåg 1993; Johannessen, Rønning & Sandvik 2005; Gulowsen 2000; Sogner 2003.

16. Karlsen 2008: 316–317.

Karlsen antyder at IFA var først ute med utvikling av matematiske modeller for aluminiumsindustrien. Petter Erik Innvik antyder derimot i sin historie om Sunndal Verk at ÅSV samarbeidet med Norges store datapioner Jens Balchen fra NTH.¹⁷ Her viser Innvik til en beretning fra daværende verksdirektør om hvordan overgangen til datamaskinbasert prosessstyring foregikk. Leser en beretningen nøye, blir det tydelig at her fortelles det kun at Balchen deltok i komiteen som utredet mulig kjøp av datamaskin. Prosessen ledet fram til at en IBM-maskin ble besluttet innkjøpt til Sunndal i 1966, mens Årdal fikk sin IBM-maskin i 1969.¹⁸ Maskinene ble opprinnelig tiltenkt administrative oppgaver, men ble fra 1969 forsøkt brukt til prosessstyring. IFAs oppdrag for ÅSV ser ut til å ha startet i 1969, og ser dermed ut til å passe med forsøkene på prosessstyring.¹⁹

Selv om kontakten mellom Balchen, NTH og ÅSV sannsynligvis fortsatte, tilsier tilgjengelig litteratur og kilder at det var IFA som utviklet modellene, programvaren og prosessstyringen med datamaskiner som siden har blitt viktig for norsk aluminiumsindustri – uten at NTH og Balchen var involvert. NTH og SINTEF, som i den eksisterende litteraturen blir knyttet til forskning for aluminiumsindustrien, ble senere en forskningspartner for IFA da forskningsoppdragene ble utvidet og kanalisert gjennom forskningsrådet, og etter hvert også internasjonale industripartnere – hele tiden basert på IFAs modeller.²⁰ Hvorfor IFA i så stor grad er oversett i den eksisterende litteraturen, vil jeg komme tilbake til i slutten av artikkelen.

IFA-forskere jeg har intervjuet påstår IFAs programvare klarte å senke strømforbruket til ÅSV fra omkring 18 kWh per kilo aluminium da de startet opp prosjektene til omkring 13 kWh på 1990-tallet, altså en reduksjon på 28 %.²¹ Deres påstander har jeg hverken klart å avkrefte eller bekrefte fra andre kilder, annet enn at reduksjonen i kraftforbruket i denne perioden stemmer.²² Reduksjonen i strømforbruket foregikk i en periode hvor alumini-

17. Innvik & Kamsvåg 1993: 170.

18. Ibid. 170–171; Myrvang 2000: 77.

19. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. Haakon Sandvold, ÅSV, til H. Christensen, IFA, 2.2.1970. I dette brevet avtales det å videreføre allerede påbegynt forskning fra IFA. Det har ikke lyktes meg å finne ut nøyaktig når det første prosjektet startet.

20. IFE. Avtaler, Industribedrifter Boks I; kfr. Karlsen 2008: 317. Her er det grunn til å bemerke at mellom IFA på den ene siden og NTHs reguleringstekniske miljø og Sintef på den andre siden, eksisterte et konkurranseforhold fra 1960-tallet av. Jens Balchen (NTH) og Gunnar Randers (IFA) skal ha vært «hund og katt». Mens miljøene i Trondheim følte seg urettferdig behandlet målt mot det høyt prioriterte atomforskningsmiljøet på IFA på 1960-tallet, har IFE særlig de siste tiårene vært frustrert over at deres forskningsbidrag fra 1960-, 1970- og 1980-tallet i egne øyne har fått for liten oppmerksomhet. Fra 1970-tallet av begynte IFA og Trondheimsmiljøene å samarbeide så smått om prosjekter, som for eksempel opp mot aluminiumsindustrien. Gnisninger har allikevel blusset opp, mest betent i forbindelse med det prestisjetunge flerfaseprosjektet for oljeindustrien fra 1980-tallet av, hvor Sintef og IFE endte med å lage hver sin programvare og måtte lage et felles reklamehefte for å bygge ned motsetningene.

21. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbø 12.6.2017.

22. Jeg har ikke fått tilgang til rapporter fra forskningsoppdragene. I tillegg til IFE-forskere har jeg kontaktet Hydros forskningssjef, Hans Erik Vatne, som ikke ville kvantifisere effekten av IFAs programvare, men uttalte: «For Hydro har IFE vært viktig pga. sin sterke kompetanse på avansert matematisk modellering. Kontroll med de magnetiske kreftene er avgjørende for å redusere energiforbruket. Her trengs gode matematiske modeller for magnetfeltene for å optimalisere dette. Det totale energiforbruket avhenger av en rekke faktorer: materialvalg, driftskompetanse og en rekke teknologielementer som bidrar til å styre cellene optimalt. Det er komplisert å isolere effekten av de enkelte elementene, men IFEs bidrag har vært viktig i forhold til styring av magnetfelt».

umsbedriftene drev modernisering, bygde om ovnene og iverksatte en rekke tiltak. Det er derfor vanskelig å si noe sikkert om årsakene til reduksjonene i kraftforbruket. IFA/IFE kan overdrive resultatene av egen innsats, noe en skal være på vakt for, all den tid de i egen selvforståelse er oversett i offentligheten. Overgangen til prosessstyring med datamaskiner beskrives imidlertid i all tidligere litteratur som den viktigste bidragsyteren til driftsforbedringer og effektivisering i denne perioden. Derfor er det heller ikke usannsynlig at IFAs bidrag med programvare og datamaskinbasert prosessstyring spilte en viktig rolle for reduksjonen i kraftforbruk.

Forskningsoppdragene for aluminiumsindustrien var med andre ord en stor suksess. IFAs force når det kom til å utvikle slike simuleringsmodeller og programvare, var at de som gruppe besatt både naturvitenskapelig kompetanse, systemkompetanse og prosessforståelse. Det gjorde de i kraft av å ha bygget og utviklet tre atomreaktorer, og fordi forskningsgruppene var tverrfaglig sammensatt av framstående vitenskapsmenn og ingeniører innen metallurgi, kjemi, fysikk, matematikk og programmering. I tillegg disponerte IFA-forskerne Norges kraftigste datamaskiner – både analoge og digitale – i kraft av samarbeidet om datamaskinpark mellom FFI og IFA.²³ I IFA-forskernes selvforståelse var de her overlegne NTHs datapionerer, som ikke hadde de kraftigste maskinene og i mindre grad samarbeidet i tverrfaglige grupper med flere fagspesialiteter på NTH.²⁴

Disse forskningsoppdragene var starten på en omforming av IFAs aktiviteter hvor de gikk fra å være en forskningsorganisasjon for kjernekraft til å bli et bredere anlagt forskningsinstitutt, derav navneendringen til Institutt for Energiteknikk (IFE) i 1980.²⁵ Programvareutvikling var kjernen i denne omstillingsprosessen, som foregikk i form av utvikling og eksperimentering med matematiske modeller, simulering og prosessstyring med datamaskiner som verktøy.²⁶ Hvor sentral programvaredimensjonen ble for IFAs aktiviteter i transformasjonsprosessen fra atomforskningsinstitutt til energiforskningsinstitutt, kommer ikke tydelig nok fram i Olav Njølstads analyse av IFEs historie.

Diskusjonen om hvorvidt Norge skulle bygge ut kjernekraft er hovedsaken for Njølstad, og han valgte derfor bevisst et politisk-institusjonelt perspektiv for å forklare transformasjonsprosessen.²⁷ Siden hele eksistensberettigelsen til instituttet forsvant i løpet av 1970-tallet, er det naturlig at kjernekraftens skjebne spiller hovedrollen i institusjonshistorien. En konsekvens av perspektivvalget er imidlertid at programvareutvikling som teknologi, verktøy og aktivitet ikke blir sett som en årsak til endringene instituttet gjennomgikk. Snarere blir programvaredimensjonen analysert som andreordens oppgaver for atomforskningen på den ene siden og oppdragsforskningen som «sideoppgaver» på den andre.²⁸

23. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbø 12.6.2017; intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015; kfr. Njølstad 1999: 343.

24. Intervju med tidligere IFA-forsker Arne Waagbø 12.6.2017. Denne påstanden får delvis støtte i NTNUs datahistorie: Nordal 2010: 189 ff.

25. Njølstad 1999: 353.

26. Institutt for energiteknikk (IFE). Styreprotokoll nr. 89. *Utkast til Langtidsprogram for Institutt for Atomenergi, utarbeidet av IFAs styre i forbindelse med NTNFs langtidsplanlegging.*

27. Ibid.: 7.

28. Ibid.: 335.

Vender vi perspektivet fra det politiske spørsmålet om behovet for kjernekraft i Norge, trer imidlertid programvareaktiviteten på IFA fram som en langt viktigere endringsprosess enn selve kjernekraftspørsmålet og navneendringen.

Aluminiumsforskningen til IFA handler imidlertid ikke bare om IFA og endringene i atomforskningens vilkår og innretning. Atomforskningen hadde etter andre verdenskrig en helt spesiell posisjon i Norge, med tilførsel av ressurser og handlingsrom som overgikk alt annet som foregikk i norsk forskning og industri. På 1960-tallet ble denne posisjonen utfordret og endret. Dermed er historien om atomforskningens vei inn i aluminiumsindustrien tett integrert med den bredere utviklingen av industriforskningspolitikken så vel som framvekst og bruk av informasjonsteknologi i industrien.

Samarbeidet mellom IFA og aluminiumsindustrien er nemlig del av en mer generell utviklingstrend. Fra 1960-tallet av utviklet det seg tette samarbeidsbånd mellom statlige forskningsinstitusjoner og industribedrifter som spilte en sentral rolle i norsk informasjonsteknologiutvikling.²⁹ På samme tid ble industriforskningspolitikken endret med mål om å føre forskningsinstitusjonene og industrien tettere sammen, hvor målet var å legge grunnlaget for nyskaping og økonomisk vekst.³⁰ Var forskningssamarbeidet mellom IFA og aluminiumsindustrien resultat av villet politikk?

INSTITUTT FOR ATOMENERGI FRA PRIORITERT TIL UTSATT STILLING

Etter andre verdenskrig var det i Norge bred konsensus om forskningens betydning for industrialisering og en bølge med statlige initiativ og etablering av teknisk-industrielle forskningsinstitusjoner: Norges Teknisk-Naturvitenskapelig Forskningsråd (NTNF) og forskningsinstituttene Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), Institutt for atomenergi (IFA), Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) og Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges Tekniske Høgskole (SINTEF).³¹ Institusjonene og den planmessige forskningspolitikken som her ble formet, har påvirket historieskrivingen på dette feltet hvor institusjonelle og politiske perspektiv har dominert.³²

De første årene etter krigen var det imidlertid begrenset med midler som ble gitt til denne forskningen – bortsett fra atomforskningen. De statlige bevilgningene til IFA gikk gjennom NTNF, men var øremerket. Fram til 1967 fikk IFA mer penger fra staten enn alle de andre instituttene NTNF ga midler til sammen; i mange år fikk IFA størstedelen av budsjettet som gikk gjennom NTNF.³³ Njølstad påpeker at atomforskningen sannsynligvis er

29. Collett & Skoie 1981; Kvaal 1997; Sogner 1994.

30. Sogner 1994; Sogner 2004 <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199241057.003.0011>

31. Collett & Skoie 1981; Kvaal 1997: 686; Eilertsen 1987; Amdam & Bjarnar 1999; Andersen & Yttri 1997: 150; Brandt & Nordal 2010: 225.

32. Wicken og Njølstad rendyrket institusjonelle perspektiv i sine bidrag, og vi kan se Hanisch og Lange samt Sogner følge opp i samme spor, mens Gulowsen og Nordal fokuserer mer på teknologi- og kunnskapshistorie: Wicken 1994; Njølstad & Wicken 1997; Njølstad 1999; Hanisch & Lange 1985; Sogner 1994; Gulowsen 2000; Nordal 2010.

33. Njølstad 1999: 231.

det første eksemplet på «big science» i Norge i lys av den sterke prioriteringen av atomforskning de første tiårene etter krigen.³⁴

IFA hadde fra 1950-tallet to hovedsatsinger: reaktor- og atomskipsprosjektet.³⁵ I løpet av 1960-tallet gikk begge prosjektenes status fra å være forhåpningsfulle til å nærme seg urealiserbare av flere grunner. I sum var det knyttet stor usikkerhet til hvorvidt teknologien var lønnsom, konkurransedyktig og om det i det hele tatt var et marked hvor norske aktører kunne få innpass.³⁶ I takt med at usikkerheten rundt atomforskningen økte, begynte kritiske røster mot den privilegerte posisjonen IFA hadde å melde seg. Dette ble starten på en av de viktigste forskningspolitiske debattene i Norge etter krigen. Debatten baserte seg på en omfattende utredning av forskningspolitikken, publisert i 1964.³⁷

Robert Major har sagt i et intervju at den direkte foranledningen til utredningen var at to stortingsrepresentanter i Industrikomiteen ringte ham og var bekymret for at atomforskningen var for dominerende.³⁸ Hvem som ringte, får vi ikke vite av Major. Men det er ikke utenkelig at det dreide seg om SFs to representanter Finn Gustavsen og Asbjørn Holm, som i stortingsdebattene på 1960-tallet framstod som de mest kritiske til bevilgningene til IFA.³⁹ Det startet i 1962, da Gustavsen under budsjettdebatten etterlyste hvilke langsiktige planer myndighetene hadde for den teknisk-vitenskapelige forskningen i Norge.

Poenget til Gustavsen var at de store bevilgningene til atomforskning «blokkerer utviklingen av den langt viktigere forskningen på andre felter». Han hadde to felt i tankene som i vår sammenheng er interessant. For det første om regjeringen kunne bruke noen av forskningsmillionene på å styrke kompetansen i aluminiumsindustrien for å «bedre produksjonsmetoder, eller for å oppnå en høyere grad av foredling? Eller til nye anvendelser av aluminium?». ⁴⁰ For det andre rettet Gustavsen oppmerksomheten mot at «automatiseringen av industrien og samfunnslivet skaper et raskt økende behov for elektroniske instrumenter og utstyr». Det ledet ham til å spørre: «Er ikke dette et mer aktuelt forskningsfelt for vårt land?». ⁴¹

Gustavsens kritikk av forholdet mellom bevilgninger til atomforskning og annen teknisk-industriell forskning fikk et etterspill. Ifølge Robert Major ble han innkalt til Stortinget for «en oppfølgende samtale». ⁴² Her skal Major ha argumentert for at problemet ikke var atomforskningens store del av forskningsbevilgningene, men «de beskjedne beløp som ble anvendt på de øvrige områder». Major skal ha foreslått at det burde lages en utredning for å få en oversikt over den helhetlige forskningsinnsatsen på det teknisk-naturvitenskapelige området. Major ønsket med andre ord at det opprinnelige spørsmålet – om atomforskningen var for dominerende – skulle erstattes med spørsmålet om hvorvidt staten bevilget

34. Ibid.: 12.

35. Ibid.: 166, 193.

36. Ibid.: 177, 249.

37. Njølstad 1999: 229; Høegh, Hauge, Hurlen, Laland, Lied, Sandvold, Selberg, Slåtto & Østbye 1964: 63.

38. Skoie 1995.

39. Stortingsforhandlinger 1962: 1078–1080; 1967: 3067 og 3123.

40. Stortingsforhandlinger 1962: 1080.

41. Stortingsforhandlinger 1962: 1080.

42. Skoie 1995.

for lite til forskning. Inspirasjonen hentet Major fra OECD, hvor det ble argumentert for en sterk sammenheng mellom forskning og økonomisk vekst.⁴³ Major fikk viljen sin, da Stortinget i 1962 ba om å få utredet en helhetlig oversikt og plan for den teknisk-industrielle forskningen.⁴⁴

Våren 1966 la regjeringen fram en stortingsmelding basert på NTNf-utredningen fra 1964.⁴⁵ Generelt sett ble det politisk enighet om å styrke den totale bevilgningen til forskning. Argumentet var at staten måtte ta hovedbyrden for finansiering av forskning på grunn av den norske industristrukturen med overvekt av små og mellomstore bedrifter med små ressurser til egen forskningsaktivitet. Resultatet ble at den samlede statlige bevilgningen til teknisk-industriell forskning økte radikalt; fra 1960 til 1970 ble bevilgningene seksdoblet.⁴⁶ Samtidig ble det påpekt et behov for tettere samarbeid mellom industri- og forskningsmiljøer for å sikre relevans og utnyttelse av forskningen.⁴⁷ Forskningspolitikken ble av den grunn forsøkt integrert i det sosialdemokratiske plan- og styringsregimet gjennom det Knut Sogner har kalt indikativ planpolitikk.⁴⁸ Her «indikerte» staten mål for hvilke produkter det var strategisk å satse på, som industrien så responderte på og handlet i samsvar med, noe som utløste forskningsmidler og forskingssamarbeid. Målet var å bringe de sterke forskningsmiljøene som var bygget opp etter krigen sammen med såkalte nøkkelbedrifter.

For atomforskningen ble NTNf's forskningsutredning starten på et dobbelt press. For det første konkluderte NTNf-komiteen med at bevilgningene til IFA ikke burde økes, og for det andre at forskningen på IFA burde gjøres mer relevant for industrien.⁴⁹ Konsekvensene ble, som vi har sett, at staten gradvis fra 1966 ga mindre penger til IFA. På lang sikt ble dette starten på en endringsprosess hvor IFA gikk fra å være et høyt prioritert forskningsinstitutt med frie rammer til å bli mer som et ordinært oppdragsforskningsinstitutt på linje med de andre teknisk-industrielle forskningsinstituttene i Norge.

Hva karakteriserte endringsprosessene IFA gjennomgikk på 1960- og 1970-tallet? En åpenbar endring var at den rene atomforskningen gradvis ble erstattet med forskning på flere industrielle felt. Det IFA selv definerte som atomforskning, utgjorde kun 1/3 i 1980.⁵⁰ IFA beveget seg inn på en rekke områder, for eksempel i den kraftkrevende prosessindustrien, kraft- og telesektoren, miljøfeltet og petroleumsindustrien. Det som imidlertid er slående når en ser tilbake på forskningsaktivitetene til IFA i denne perioden, er at nær sagt all aktivitet – både den nukleære og ikke-nukleære – bygde på matematiske modeller og algoritmer som ble utviklet til programvare for utnyttelse av datamaskiner. Grunnlaget for at IFA lyktes i å få forskningsoppdrag for industrien, var deres digitale kompetanse.

43. Ibid.

44. Budsjettinnst. S. nr. 80 (1962–1963).

45. St.meld. nr. 65 (1965–66) Om den teknisk-naturvitenskapelige forskning i Norge.

46. Njølstad 1999: 231.

47. St.meld. nr. 65 (1965–66) Om den teknisk-naturvitenskapelige forskning i Norge: 5–6.

48. Sogner 1994: 26, 33.

49. NTNf's forskningsutredning 1964, vedlegg 4 til St.meld. nr. 65 (1965–66) Om den teknisk-naturvitenskapelige forskning i Norge: 93.

50. IFE. Styreprotokoll nr. 91. *Samarbeidet mellom Institutt for Atomenergi og Scandpower*, notat til IFAs styre, 5.12.1977.

Samtidig var IFAs digitale kompetanse også grunnlag for at instituttet klarte å beholde sin internasjonale posisjon innen atomforskning, selv om statsbevilgninger til atomforskning sank.⁵¹

Det mest interessante med denne utviklingen er at IFAs rolle som digitale pionerer for norsk industri ikke var resultat av en strategisk plan – hverken fra myndighetene, NTNF, industrien eller IFA selv. Det var ingen som indikerte og responderte på mål her. Snarere er det snakk om en serie av tilfeldigheter og uintenderte konsekvenser av de planer og strategier som ble forsøkt implementert. IFAs posisjon som digitale pionerer ble snarere indirekte skapt; først skapte atomforskningens prioriterte særstilling det vi i dag ville kalt et «robust» høyteknologisk kompetansemiljø, deretter trakk norske industribedrifters sult på digital kompetanse atomforskerne til å rendyrke programvareutvikling. Ironisk nok ble Finn Gustavsens ønsker for omprioriteringer av forskningsinnsatsen bort fra atomforskning mot aluminiumsindustri og automatisering realisert av IFA – uten statsbevilgning.

UINTENDERT SAMARBEID

IFA var på et vis alt fra starten basert på industrielt samarbeid. Norsk Hydro spilte en avgjørende rolle for etableringen av IFA med sitt tungtvannsbidrag, som målt i kroner overgikk statens engangsbevilgning.⁵² Tungtvannsbidraget fra Norsk Hydro innebar at selskapet gikk inn som eier av IFA i kompaniskap med staten. Samarbeidet mellom staten og Hydro om opprettelsen av IFA var imidlertid av en annen karakter enn det senere forskningssamarbeidet for aluminiumsindustrien: opprettelsen av IFA handlet om realisering av et spesielt teknologiprojekt, lite om utnyttelse av resultatet på andre industrielle felt. Riktignok argumenterte regjeringen for at atomforskningen ville få ringvirkninger på andre industrielle felt da engangsbevilgningen i 1947 ble besluttet.⁵³ Denne forventningen ble omgjort til et eksplisitt krav etter den politiske diskusjonen av NTNF-utredningen i 1966. Men allerede før den tid begynte mindre og mer spesifikke former for samarbeid mellom IFA og norsk industri å ta form.

Det startet med Norsk Hydro. I november 1963 hadde IFAs administrerende direktør Gunnar Randers en samtale med Hydros forskningsdirektør Johan B. Holte. I løpet av møtet skal de to direktørene ha diskutert aluminiumslegeringer. Nærmere bestemt dreide samtalen seg om at IFA hadde utviklet aluminiumslegeringer som motvirket korrosjon i vann ved høye temperaturer.⁵⁴ Holte var interessert i IFAs forskning på dette området fordi Hydro hadde planer om å etablere seg på aluminiumsfeltet.⁵⁵

51. Dette gjaldt særlig innenfor sikkerhetsforskning, hvor IFAs eksperimentering med utvikling av programvare for overvåkning og kontroll av reaktorer ble etterspurt i kjølvannet av ulykkene ved Three Mile Island i USA i 1979 og Tsjernobyl i Sovjetunionen i 1986. Kfr. Bjørlo 2011: 307. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-003-8_9.

52. Njølstad 1999: 49.

53. Stortingsproposisjon 118 (1947) om disponering av den ekstraordinære bevilgning til anskaffelser og forsynninger til forsvaret (engangsbevilgningen).

54. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. Gunnar Randers til direktør J. Holte, 27.11.1963.

55. Johannessen, Rønning & Sandvik 2005: 236.

Norsk Hydro la planer for aluminiumsproduksjon ved Karmøy, og forsøkte i denne forbindelse å alliere seg med de store internasjonale selskapene som dominerte aluminiumshandelen; de manglet råstoffer, smelteteknologi og foredlingskapasitet.⁵⁶ Planene til Hydro var helt i tråd med regjeringens planer og strategier for økt norsk aluminiumsproduksjon. Etterspørselen etter aluminium var økende internasjonalt, og regjeringen i Norge la opp til et program for å firedoble aluminiumsproduksjonen i Norge.⁵⁷ Ekspansjonen fordret imidlertid investeringer fra de dominerende internasjonale selskapene, siden de nordamerikanske gigantene Alcoa og Alcan dominerte aluminiumsmarkedet, og Norge manglet den sentrale råvaren bauxitt.⁵⁸ Billig kraft til den kraftkrevende produksjonen var lokkemiddelet regjeringen brukte for å få de multinasjonale selskapene til å investere i økt aluminiumsproduksjon i Norge.

På 1960-tallet var situasjonen slik at Elkem-selskapet Mosjøen Aluminiumsverk var alliert med Alcoa, sveitsiske AIAG og britiske ICI, mens ÅSV var alliert med deres konkurrent Alcan.⁵⁹ Planene om ekspansjon i norsk produksjon åpnet et rom for Norsk Hydro som de utnyttet da de i 1963 etablerte aluminiumsselskapet Alnor, som inngikk samarbeid med amerikanske Harvey, canadiske Alcan samt franske Pechiney.⁶⁰ ÅSV, Elkem og Alnor var med andre ord konkurrenter som sto på hver sin side i den internasjonale konkurransen dominert av Alcoa og Alcan.

Samtalene mellom Randers og Holte handlet om å gi gode forhandlingskort med internasjonale aluminiumsselskap som Hydro forhandlet med. Denne første kunnskapsutvekslingen mellom IFA og norske industribedrifter knyttet til helt ikke-nukleære spørsmål, utviklet seg raskt på 1960-tallet. I 1966 gikk IFA aktivt ut til aluminiumsindustrien for å fortelle om sin kompetanse. Det gjorde de med notatet *IFA's erfaringer og arbeide med aluminium*.⁶¹ I 1966 var det klart at IFA måtte søke oppdrag fra industrien for å kunne finansiere staben og forskningsnivået de var blitt vant med. IFA solgte seg inn med å fortelle at de i forbindelse med konstruksjonen av forskningsreaktorene til IFA hadde brukt mye aluminium, og instituttet hadde «investert atskillige millioner kroner i aluminiumskomponenter».⁶²

Med notatet pekte IFA på konkrete resultater av sin forskning som de så for seg at norsk industri kunne ha interesse av. IFA var ifølge notatet i den internasjonale forskningsfronten, og så for seg at den kompetansen som her var opparbeidet kunne ha store overføringsverdier.⁶³ Planen var altså å tilby konkrete og avgrensede tjenester. Men industriselskapenes interesser lå ikke på områdene IFA pekte ut. IFAs notat rettet seg mot videreforedling av aluminium. De norske aluminiumsselskapene var primært råaluminiumprodusenter, og flere hadde ønsker om videreforedling, men avhengigheten av de store internasjonale sel-

56. Ibid.: 234.

57. Frøland 2007; Johannessen, Rønning & Sandvik 2005: 236.

58. Frøland 2007: 123.

59. Ibid.: 108.

60. Johannessen, Rønning & Sandvik 2005: 236.

61. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *IFA's erfaringer og arbeide med aluminium*, notat av 31.5.1966.

62. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *IFA's erfaringer og arbeide med aluminium*, notat av 31.5.1966.

63. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *IFA's erfaringer og arbeide med aluminium*, notat av 31.5.1966.

skapene gjorde satsing på videreføring vanskelig.⁶⁴ Kontakten med industribedrifter som fulgte etter notatet, gikk i en helt annen retning.

Det første ikke-nukleære forskningsoppdraget IFA fikk etter aluminiumsnotatet, var med Elkem.⁶⁵ Ved Fiskaa Verk spesialiserte Elkem seg i silisiumproduksjon, samt drev en utstrakt forskningsvirksomhet. Elkems forskningsavdeling så for seg et stort potensial for bedre driftsøkonomi gjennom dypere forståelse av prosessene inne i ovnene. Det dreide seg her om to spørsmål: for det første hvordan stabil drift på høyt teknisk nivå kunne sikres, og for det andre hvordan kraftutbytte, materialutbytte og rasjonalisering kunne gjennomføres.⁶⁶

IFA fikk i oppdrag å utvikle en programvare som kunne simulere prosessene inne i Elkems ovner. Grunnlaget for at IFA kunne ta på seg et slikt oppdrag, var at de allerede hadde eksperimentert med utvikling av programvare i kraftreaktorprosjektet basert på matematiske modeller og ligninger. Faktisk var det sammenfall mellom forskningsinteressene i forskningsavdelingen til Elkem og IFA. Ifølge Knut Sogner var eksperimentering med datamaskiner til prosesstyring den viktigste nytenkningen i Elkem på 60- og 70-tallet.⁶⁷ Sogner nevner imidlertid ikke IFA i denne sammenhengen, og utelukker dermed den sentrale aktøren i disse innovasjonsprosessene.

IFA gjorde deler av oppdraget for Elkem gratis, fordi de fikk tilgang til erfaringsdata fra Elkems produksjon som ville gjøre modellene mer virkelighetsnære.⁶⁸ Gjennom samarbeidet med Elkem lærte IFA mye, og oppdaget at deres pionerarbeid knyttet til modell- og prosessimulering samt prosesstyring hadde anvendelsespotensial i den kraftkrevende industrien. I forbindelse med forsøk ved ferrolegeringsverket PEA, ble det inngått et trepartssamarbeid mellom Elkem, IFA og Noratom-Norcontrol. PEA-anlegget ble i 1966 kjøpt opp av Elkem.⁶⁹ På det tidspunktet var produksjonsutstyret til anlegget utdatert, og Elkem gikk inn for å modernisere produksjonsutstyret med spesialisering innen manganlegeringer. Investering var strategisk med tanke på forskningen omkring bruk av datamaskiner.⁷⁰ I 1971 kunne Elkem orientere IFA om at styringen av ovn 10 på PEA var klar for ordinær drift, og at de ønsket videre forskningssamarbeid.⁷¹ Innen den tid hadde forskningsengasjementet til IFA også begynt å vokse mye innenfor aluminiumsindustrien.

Elkems patenter knyttet til Søderbergelektroden var i ferd med å gå ut på 1960-tallet. I denne situasjonen søkte selskapet flere ben å stå på, mens de begrenset sin forskningsinnsats på aluminium.⁷² IFAs programvare for mer effektiv og stabil kraftbruk pekte seg ut som godt egnet forskningsoppdrag innenfor slike rammebetingelser. Kontakten som oppstod i 1966, ble derfor videreført og utvidet til også å inkludere aluminiumsdivisjonen til Elkem.

64. Myrvang 2000: 90 ff; Andresen & Frøland 2008: 271; Sandvik 2008: 292.

65. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Vedr.: Varmeberegning i elektroder*, H. Christensen til O. Sandberg Fiskaa Verk, 14.10.1966.

66. Sogner 2003: 180–181.

67. *Ibid.*: 193.

68. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Vedr.: Varmeberegning i elektroder*, H. Christensen til O. Sandberg Fiskaa Verk, 14.10.1966.

69. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Dataprojektet PEA*, Arne Georg Arnesen, Elkem, til IFA, 27.10.1971.

70. Basert på Sogner 2003: 181.

71. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Dataprojektet PEA*, Arne Georg Arnesen, Elkem, til IFA, 27.10.1971.

72. Sogner 2003: 175, 192.

Prosjektene IFA gikk inn i var ikke uten betydning. Beregninger i Elkem tilsa at en bedring i strømutflytte på 1 % ville medføre besparelser på 1,7 millioner kroner.⁷³ Som nevnt reduserte de norske aluminiumsbedriftene sitt kraftforbruk betydelig.

Forskningsoppdragene for Elkem ble starten på et omfattende samarbeid mellom IFA og norsk aluminiumsindustri som etter hvert også inkluderte ÅSV og Norsk Hydros aluminiumssatsing gjennom selskapet Alnor. Det interessante er at IFA åpenbart selv ikke var klar over hvor bredt anvendbar og etterspurt deres digitale kompetanse var, og hvor langt framme de var kommet i utviklingen av kompetanse knyttet til matematiske modeller og programvare for prosessstyring. I det hele tatt virker det som om få, unntatt de forskningsingeniørene som arbeidet med modellering og simulering i forskningsinstitusjoner og industrien, var klar over potensialet programvareutvikling bar i seg, og hvor viktig den kompetansen på området IFA allerede hadde utviklet var.

IFA SOM NØKKELE FOR UTVIKLING AV NORSKE INNOVASJONSSYSTEM

Det var imidlertid neppe helt tilfeldig da IFAs forskning for aluminiumsindustrien ble utvidet med Årdal og Sunndal Verk (ÅSV) på slutten av 1960-tallet.⁷⁴ Da var den første personen som ble ansatt på IFA, Haakon Sandvold, blitt leder for ÅSV, og han hadde tidligere lansert en visjon om «den helt automatiske fabrikk».⁷⁵ Personlige relasjonar og bekjentskap synes å ha vært viktige faktorer for at kontakt om forskningssamarbeid oppstod mellom IFA og aluminiumsindustrien. De personlige relasjonenes betydning hang sannsynligvis sammen med kjennskap til IFAs kompetanse, samt hvilke muligheter atomforskernes kompetanse gav for løsing av aluminiumsindustriens problemer. Sandvold kjente IFA-forskerne, deres kompetanse og mulighetene prosjektgruppene til IFA hadde, og er nok det beste eksemplet på det.

Måten aluminiumsprosjektene til IFA utviklet seg fikk etter hvert et utpreget interaktivt preg, for å låne et begrep fra litteraturen om innovasjonssystemer.⁷⁶ Atomforskernes koblet ulike vitenskapelige disipliner og kunnskapsfelt i prosjektgruppene sine, og disse prosjektgruppene samarbeidet med flere industribedrifter, andre forskere og forskningsinstitusjoner samt statlige myndigheter. Hensikten med begrepet innovasjonssystemer har vært å utvikle et analytisk verktøy for å forstå sammenhengen mellom kunnskapsutvikling på mikronivå og de mer eller mindre institusjonaliserte mønstre og tradisjoner for samarbeid mellom aktører og kunnskapstradisjoner innenfor en region eller nasjon.⁷⁷ Den industrielle dynamikkens «interaktive» karakter er fokuset i dette perspektivet som særlig kjennetegner den tredje industrielle revolusjon. Det vil si at en søker å gripe det mangfoldige samspillet mellom ulike typer aktører for å forklare innovasjon og konkurransekraft.⁷⁸ For aluminiumsindustrien spilte IFA en nøkkelrolle i det innovasjonssystemet som utviklet seg

73. Ibid.: 192.

74. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. Haakon Sandvold, ÅSV, til H. Christensen, IFA, 2.2.1970.

75. Myrvang 2000: 69.

76. Lundvall 2007.

77. Ibid.; Edquist 1997.

78. Sogner 2002: 13.

på 70-tallet. Grunnen til det er at atomforskerne fra IFA utviklet de matematiske modellene og programvaren som all senere forskning og teknologiutvikling bygget på.

I 1970 ble IFA engasjert i tre konkrete prosjekter for ÅSV. Alle handlet om å utvikle simuleringsmodeller.⁷⁹ Det var gjennom oppdragene med ÅSV det virkelige gjennombruddet kom for IFAs forskere når det gjaldt å utvikle programvare for aluminiumsindustrien. I 1971 havnet prosjektene IFA hadde med den norske aluminiumsindustrien under paraplybetegnelsen EDB-simuleringsmodell for halvkontinuerlig støpning av aluminium.⁸⁰ Fra de første stegene basert på tilfeldigheter og personlige relasjoner fem år tidligere, ble IFA i 1971 trukket inn i et institusjonalisert og nasjonalt innovasjonsnettverk. På dette tidspunktet meldte også Elkem-bedriften Mosjøen Aluminiumsverk og Hydros Alnor sin interesse.⁸¹ Med dette var IFA på vei til å bevege seg inn i et konfliktfylt område på grunn av konkurransen mellom de norske aluminiumsbedriftene og deres multinasjonale alliansepartnere. ÅSV, Alnor og Elkem var som tidligere nevnt konkurrenter som sto på hver sin side i den internasjonale konkurransen dominert av Alcoa og Alcan. Hvordan skulle IFA manøvrere i denne situasjonen?

Løsningen på interessekonfliktene IFA havnet i kom imidlertid fra industrien selv. Fra Mosjøen Aluminiumsverk fikk IFA beskjed om at de skulle møte ÅSV og NTNFs metallurgiske komité for å diskutere forskningsoppdragene fra IFA og mulighetene for et samarbeid mellom selskapene formidlet gjennom NTNf.⁸² Noen uker senere var Mosjøen Aluminiumsverk og ÅSV blitt enige om fordelingen av oppdrag med IFA. Her ble forskningsinnsatsen til IFA delt i fire. Modellen var at hvert av selskapene hadde sin konkrete bestilling, mens de teoretiske resultatene fra de konkrete modellene ble stilt til rådighet for det andre selskapet. Mosjøen Aluminiumsverk ville ha en statisk modell for pressbolter, mens ÅSV ville ha en modell for valseemner.⁸³

I løpet av 1970-tallet lagde IFA flere programvarer som ga mer effektiv aluminiumsproduksjon for både ÅSV, Elkem og Alnor. Programvarene ga selskapene eksklusiv disposisjonsrett samt muligheter for videresalg. På 1980-tallet var det tett samarbeid mellom IFA, Hydro og Elkem om fortsatt programvareutvikling for aluminiumsindustrien.⁸⁴ I stadig større grad ble forskningsoppdrag koordinert gjennom NTNf ved store forskningsprogram, og IFA/IFE samarbeidet om prosjekter med både SI og SINTEF. Selv om SINTEF/NTNU nok i oppdragsomfang ble den største forskningspartneren for aluminiumsindustrien, befestet IFE sin posisjon som programvareutvikler.⁸⁵ Poenget her har vært å vise den dynamiske og interaktive karakteren dette innovasjonssystemet utviklet seg på. Det startet med initiativ mellom personer som kjente hverandre, og ble med tiden institusjonalisert.

79. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. Haakon Sandvold, ÅSV, til H. Christensen, IFA, 30.6.1970.

80. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. H. Wesenberg, ÅSV, til IFA av 26.10.1971.

81. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Kvantitative elektrolysestudier; assistanse til Alnor*, Haakon Sandvold, ÅSV, til IFA av 26.8.1971; IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Forskningsoppdrag – aluminiumstøpning*, Ove Sandberg, Mosjøen Aluminiumsverk, til IFA, 7.12.1971.

82. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Forskningsoppdrag – aluminiumstøpning*, Ove Sandberg, Mosjøen Aluminiumsverk, til IFA, 7.12.1971.

83. IFE. Arkiv 1948–1974. Boks 114. *Forskningsoppdrag – aluminiumstøpning*, Bernt Ellingsæter, Mosjøen Aluminiumsverk, til J. O. Berg, IFA, 25.1.1972.

84. IFE. Avtaler, Industribedrifter. Boks I. *ALSIM- og ALSPEN-prosjektene*, IFE til Elkem av 3.2.1992.

85. Karlsen 2008: 315.

Denne nøkkelrollen som IFA spilte for utvikling av et innovasjonssystem for aluminiumsindustrien gjorde de også på andre industrielle felt, både innen den kraftkrevende industrien og petroleumsindustrien.

SIMULERING, MODELLERING OG SYSTEMTENKNING SOM HISTORISK FORSKNINGSFELT

Simuleringsmodellene til IFA gjorde det altså mulig å øke forståelsen av hva som foregikk i elektrolysecellene. Det krevde nødvendigvis at modellen var til å stole på. Samspillet mellom industribedriftene og IFAs forskere var på dette punktet for begge avgjørende. Mens IFA var avhengig av erfaringsdata for å skreddersy sine modeller og programvare, var det en fordel for industribedriftene at IFA-forskerne laget programvare for å kjøre simuleringseksperimenter. Når aluminiumsbedriftene drev sitt utviklingsarbeid parallelt med den daglige driften, endret de flere parametere samtidig for å optimalisere prosessene, og da var det vanskelig å vite hvilken endring som ga ønsket effekt. Programvaren til IFA ga helt andre muligheter til å designe eksperimenter ved å isolere enkeltparametere og teste effekten av enkelttiltak i modellen før en gjorde reelle eksperimenter.⁸⁶

IFA var tidlig ute med å utvikle egne matematiske modeller, en viktig bakgrunn for at de kunne ta på seg en rolle som programvareutviklere. Fra starten av bygde IFA-forskerne opp et bibliotek av utregninger av generelle numeriske modeller. Dermed lå IFA i forkant av en utvikling hvor det etter hvert ble stadig mer vanlig med salg av kommersielle matematiske modeller på lisens.⁸⁷ De kommersielle modellenes fordel var at de løste generelle bevarelseslover for masse, momentum og energi, og gjorde at bedrifter ikke behøvde å investere tid og ressurser på utviklingsarbeid. De mer spesialiserte modellene som IFA utviklet, hadde imidlertid et fortrinn målt mot de kommersielle modellene: kortere regnetid og mer virkelighetsnære modeller.

De mer tilpassede modellene gjorde det i tillegg mulig å simulere eksperimenter med modellene før de ble testet i praksis fordi validiteten i modellene var mye høyere, og en kunne med større sikkerhet si at effektene man fant ved simuleringen ville manifestere seg i praksis. Dette senket utviklingskostnadene betraktelig.⁸⁸ Jo flere oppdrag IFA fullførte, desto mer erfaringsdata fikk de samlet inn og matet inn i sine modeller. På denne måten ble programvaren og modellene til IFA gradvis mer raffinerte og realistiske. Simulerings-, modellerings- og programvarekompetansen som IFA utviklet ble med tiden en kjernekompetanse som gjorde instituttet høyt etterspurt på flere felt, og kan sees på som de viktigste fruktene av den tidlige atomforskningsinnsatsen.⁸⁹

Studier av simulering, modellering og styring av industrielle prosesser ved hjelp av datamaskiner, er et krevende felt. Kunnskapsfeltet har av sine praktikere fått betegnelsen systems engineering, som blant annet Kongsberg Gruppen i dag bekjenner seg til.⁹⁰ Sys-

86. Intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

87. Intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

88. Intervju med IFE-forsker Dag Mortensen 9.9.2015.

89. Kfr. Prahalad & Hamel 1990.

90. Sogner & Petersen 2014: 8.

temorienteringen har visse likhetstrekk med det innflytelsesrike teoretiske arbeidet til teknologihistorikeren Thomas P. Hughes om store tekniske system.⁹¹ Hughes rettet søkelyset på hvordan apparater inngikk i nettverk av komplekse systemer, bestående av både enkeltkomponenter, aktører og organisasjoner så vel som institusjoner og regelverk.⁹² Bestrebelsene på å få enkeltdelene til å fungere mest mulig sømløst sammen i et helhetlig system, har vært perspektivet både for det ingeniørvitenskapelige systems engineering og den historisk-sosiologiske tradisjonen med å studere store tekniske system. Teknologiske og organisatoriske flaskehalsen spiller en nøkkelrolle i disse tradisjonene.⁹³ For at et system skal fungere best mulig eller utvikles bedre, er det å kunne identifisere hvilke enkeltdele som hemmer flyt sentralt.

Min studie av IFAs programvarebidrag til aluminiumsindustrien er inspirert av dette perspektivet i en bestemt forstand, nemlig ved å identifisere smelteovnene som en flaskehals. Utfordringen for denne kraftkrevende prosessen var å finne fram til tiltak som sikret en mest mulig stabil og effektiv smelteprosess med lavest mulig strømforbruk, uten at en hadde gode holdepunkter for hva som foregikk inne i ovnene. Det som var kjent før IFA startet sine prosjekter for aluminiumsindustrien, var at smelteovnene ble påvirket av magnetisme. Før IFA hadde ingen forstått hurtigheten og bevegelsesbanene til aluminiumsbadet inne i ovnen, og ikke hvordan dette kunne kontrolleres. Bevegelsesbanene som magnetfeltet skapte, var hovedutfordringen som forårsaket smelteovnenes korte levetid og som også bidro til kostbare driftstanser og usikker drift. IFAs forskere fant sammen med ÅSVs ingeniører og «ovnsdoktorer» fram til tiltak som fjernet magnetfeltets negative påvirkning, og reduserte på den måten kraftforbruket kraftig. Dermed ble også driften mer stabil, kontinuerlig og mindre forurensende. Med tiden har simuleringsprogrammer utviklet ved hjelp av erfaringsdata og sanntidsinformasjon blitt en sentral komponent i mye av teknologien vi omgir oss med. Eksemplet jeg i denne artikkelen trekker fram, er forhistorien til slik teknologi.

IFA er egnet som forskningsobjekt for å få inntak til programvaredimensjonen ved norsk datahistorie. Atomforskerne på IFA var av de første større kunnskapsmiljøene i Norge som systematisk satset på programvareutvikling. Eksperimentering med programvare som startet på IFA på 1960-tallet, var interessant nok ikke en helt ny aktivitet for atomforskerne. Hemmelighetskremmeriet omkring atomteknologi de første årene etter krigen og de spesielle kravene til sikkerhet og presisjon på grunn av risikoen forbundet med atomreaktorer, gjorde modellering og simulering til et sentralt og tverrfaglig forskningsfelt.⁹⁴

I prinsippet var programvareutvikling en fortsettelse av forskningen på matematiske modeller og simulering som hadde gjennomsyret aktivitetene fra oppstarten i 1948. Det nye var at atomforskerne ved hjelp av ny kunnskap om programvare og mer avanserte og effektive datamaskiner kunne designe dataprogram som på en mer forståelig måte kunne gi en representasjon av virkeligheten, hvor de relevante enkeltkomponentene var skilt ut og koblet sammen uten at kompleksiteten i systemet ble overforenklet. Den nære sam-

91. Hughes 1983.

92. Kfr: Summerton 1998: 22.

93. Ibid.: 23.

94. Øwre 2009.

menhengen mellom atomforskning og datateknologi var ikke et særnorsk tilfelle. Snarere er denne koblingen del av samme tendens som er påvist internasjonalt.⁹⁵ Kombinasjonen av prioritert satsing som ga mye ressurser i form av statlig finansiering og menneskelig kompetanse med komplekse systemer hvor behovet for sikkerhet og nøyaktighet var stor, er en viktig forklaring på denne sammenhengen.

KONKLUSJON: BEHOV FOR Å GÅ FRA INSTITUSJONER OG MASKINER TIL INTERAKSJON OG PROGRAMVARE

Forskningssamarbeidet mellom IFA og aluminiumsindustrien handlet altså om en spesi-
fikk del av informasjonsteknologi, nemlig programvareutvikling. Med tiden stod institut-
tet bak en rekke programvarer som bidro til digitalisering i norsk og internasjonal industri.
De mest eksepsjonelle var styrings- og kontrollsystemer som har blitt brukt både i kjer-
nekraftverk og på oljeplattformer, samt programvarene HandEL, som la det teknologiske
grunnlaget for utviklingen av kraftbørsen, og OLGA, som la det teknologiske grunnlaget
for undervannstransport av olje og gass.⁹⁶ Denne dimensjonen ved norsk teknologi- og
industrihistorie har i for liten grad blitt beskrevet. Bortsett fra Olav Njølstads bok om insti-
tuttet, er IFA knapt omtalt i norsk historieskrivning.⁹⁷ Denne artikkelens eksempel fra IFAs
nøkkelbidrag til aluminiumsindustrien er altså kun ett i rekken av flere hvor IFA/IFE og
atomforskning har spilt en nøkkelrolle for norsk innovasjon.

Det er nok flere grunner til at atomforskningens bidrag til digitalisering av norsk
industri har fått liten plass. Da atomforskningen på 1970-tallet ble kontroversiell, var
instituttledelsens strategi å søke minst mulig oppmerksomhet.⁹⁸ Det gjaldt også de etter
hvert ekspanderende forskningsoppdragene for norsk industri utenom det nukleære feltet.
I tillegg har utviklingen av programvare foregått i mange steg og i samarbeid med andre
kunnskapsmiljøer og bedrifter. Når bedrifter har tatt i bruk programvare og fått gode
resultater, har de ofte selv tatt æren for innovasjonen, som bedriftshistoriene til Årdal og
Sunndal Verk eksemplifiserer i denne artikkelen. Et siste moment er at rivaliseringen og
konkurransen mellom industriforskningsmiljøene på IFA og NTH/SINTEF nok har gitt
utslag, hvor hvert miljø har framhevet egne prestasjoner og utelatt konkurrentens. NTH og
SINTEF har i langt større grad enn IFA/IFE blitt gjort til forskningsobjekt for historikere.

Atomforskningens rolle for digitalisering har altså blitt oversett i historieforskningen.
Her vil jeg gi to historiografiske forklaringer på hvorfor IFA og atomforskningen har blitt
viet liten plass, som adresserer generelle utfordringer i den eksisterende historieforsknin-
gen. For det første har hovedvekten av det som er skrevet om informasjonsteknologihisto-
rie i Norge, samt industriens og forskningens møte med den tredje industrielle revolusjon,
vært preget av institusjonelle og forskningspolitiske perspektiv. Det er ikke unaturlig med
tanke på bølgene med institusjonalisering av industrirettet forskning og statlig planiver

95. Yood 2013; Eckert & Osietzki 1989; Kosiakoff 2011. <https://doi.org/10.1002/0471723630>; Edwards 1995.
<https://doi.org/10.4135/9781412990127.n12>

96. Njølstad 1999: 352, 409, 484.

97. Njølstad 1999.

98. Ibid.: 367.

etter andre verdenskrig, som allerede er nevnt. Brorparten av den historiske forskningen på dette feltet har skjedd i form av oppdragshistorie. Selv om denne organiseringen av historisk forskning har flere fordeler, har den også sine ulemper.

Fordelen med den oppdragsbaserte historieforskningen er at en får tilgang til arkivmateriale en ellers kanskje ikke ville fått. En utfordring med den oppdragsbaserte historieforskningen som ligger til grunn for mye av den kunnskapen vi i Norge har om industri- og forskningshistorien, er at koblingene mellom de enkeltorganisasjonene som undersøkes kan underspilles. På den måten kan det helhetlige bildet bli oppstykket i søylevise historiske biter som kan bidra til at det interaktive samspillet mellom aktører og institusjoner underkommuniseres. Etter inspirasjon fra teorier om innovasjonssystemer, har jeg forsøkt å vise hvor sentral den interaktive dimensjonen var for utviklingen av programvare for aluminiumsindustrien. Dessverre faller denne artikkelen inn i denne trenden, fordi den i all hovedsak baserer seg på kilder fra IFE som en konsekvens av at artikkelen er resultat av et forskningsprosjekt om IFEs historie – med de begrensninger i arkivtilgang og ressurser samt påvirkning av institusjonens selvforståelse det fører med seg.

Med så mange bedrifts- og institusjonshistorier skrevet de siste årene, ligger imidlertid forholdene til rette for mer syntetiserende studier så vel som mer dyptgående studier på spesifikke felt som hører inn under fenomenet den tredje industrielle revolusjon. For at slike forskningsprosjekt skal lykkes, må en med andre ord finne måter for finansiering og organisering som på den ene siden gir tilgang til arkiver fra flere bedrifter og institusjoner, og et fritt nok mandat til å gå ut over de institusjonelle rammene og selvforståelsene institusjonene er bærere av på den andre siden.

Den interaktive dimensjonen er imidlertid ikke helt utelukket i norsk historieforskning. Ser vi til skipsautomatisering, som har en spesiell posisjon i tidligere forskning om norsk informasjonsteknologi, kommer den interaktive dimensjonen godt fram.⁹⁹ Her bidro norske forskningsmiljø og entreprenører med viktige innovasjoner. I sentrum for skipsautomatiseringen sto datamiljøene til NTH, FFI og Kongsberg Våpenfabrikk. Disse miljøene var helt sentrale datapionerer i Norge. Her gikk forbindelser mellom forskning og industri, og aktører herfra bidro til datamaskinutvikling for både Kongsberg Våpenfabrikk og Norsk Data. Det bringer meg over til det andre historiografiske poenget. Hittil er det maskinene som har spilt hovedrollen i det som er skrevet om informasjonsteknologien. Det er gode grunner til å utfordre maskinfokuset i den eksisterende forskningen.

På 1960-tallet begynte utvikling av programvare å bre om seg og vokse i betydning for stadig flere næringer, og ble samtidig utpekt som den viktigste utfordringen for å øke effektiviteten og nytten av datamaskiner.¹⁰⁰ Beregninger tilsier at 75 % av de produktive kreftene i dataindustrien gikk til programvareutvikling på 1970-tallet.¹⁰¹ Vendingen i datateknologiens utvikling fra maskinvare til programvare har imidlertid ikke gjenspeilet seg i den historiske forskningen. I internasjonal historiografi blir dette kalt «hardware bias»¹⁰² – et trekk norsk historieforskning nok også må vedkjenne seg.¹⁰³ Jeg

99. Nordal 2010: 111; Sogner 1994: 63.

100. Boehm 1972: 2.

101. Paulsen 2011: 11.

102. John 2014. <https://doi.org/10.1080/00076791.2013.764040>; Paulsen 2011: 11.

103. Gard Paulsen har i norsk sammenheng gjort et pionerarbeid med sin avhandling om programmeringsspråk.

har her bevisst plassert programvareutvikling i sentrum og latt datamaskinene være statister.

Med denne artikkelen har jeg forsøkt å gi et nytt perspektiv på tre grunntemaer i forskningen om informasjonsteknologiens utvikling. For det første har jeg vist at institusjonaliseringen og planiveren knyttet til industriell forskning i de første tiårene etter andre verdenskrig førte med seg uintenderte konsekvenser. I dette tilfellet bidro atomforskning til digitalisering av aluminiumsindustrien. For det andre pekte jeg på at denne informasjonsteknologiutviklingen hadde et utpreget interaktivt preg hvor kunnskapsoverføring startet på et mikroplan mellom bekjente og utviklet seg til institusjonaliserte samarbeidsformer mellom en rekke aktører nasjonalt koordinert som et innovasjonssystem. For det tredje har jeg vist at programvaredimensjonen i dette tilfellet var det sentrale, ikke maskinene i seg selv.

Spørsmålet om hvorfor Norge aldri fikk et Nokia eller Ericsson – et stort og vellykket maskinvarereselskap – blir i det perspektivet jeg har trukket opp, ikke lenger så relevant. Heller ikke spørsmålet om hvorvidt Arbeiderpartiets strategier og planer for å styre forskning og industriutvikling virket etter sin hensikt. Mer interessant blir det å undersøke hvordan og hvorfor Norge har evnet å utvikle kunnskaps- og teknologibedrifter hvor programvarer, kontroll, styring og integrasjon av ulike systemer utgjør kjernen. For å forstå denne utviklingen, må vi nok se nærmere på både uintenderte konsekvenser og interaksjonene mellom aktører og institusjoner og sette programvareutviklingen i sentrum.

LITTERATUR

- Amdam, R. P. og Bjarnar, O. (1999). Networks and the Diffusion of Knowledge: The Norwegian Industry Committee in New York during the Second World War. *Business and Economic History*, 28(1), 33–43.
- Amdam, R. P., Gjestland, D. og Hompland, A. (1997). *Årdal: Verket og bygda 1947–1997*. Oslo: Samlaget.
- Andersen, K. G. og Yttri, G. (1997). *Et forsøk verdt: Forskning og utvikling i Norsk Hydro gjennom 90 år*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Andresen, E. og Frøland, H. O. (2008). Fra AIAG til Alcoa i Mosjøen. I J. Henden, H. O. Frøland og A. Karlsen (red.), *Globalisering gjennom et århundre. Norsk aluminiumsindustri 1908–2008*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Bjørlo, T. J. (2011). Knowledge transfer to industry from HAMMLAB related research activities. I A. B. Skjerve og A. Bye (red.), *Simulator-based human factors studies across 25 years. The history of the Halden Man-Machine Laboratory*. London: Springer-Verlag.
- Boehm, B. W. (1972). *Software and its Impact: A Quantitative Assessment*. Santa Monica: RAND Corporation.
- Brandt, T. og Nordal, O. (2010). *Turbulens og tankekraft. Historien om NTNU*. Oslo: Pax.

Selv om enkelte nyere studier forsøker å nærme seg programvaredimensjonen, er det karakteristisk at det i de større arbeidene om informasjonsteknologi er datamaskinene som spiller hovedrollene. Kfr. Paulsen 2011; Wicken 1989; Sogner 2002; Nordal 2010; Sogner & Petersen 2014; Nilsen & Vollset 2016.

- Byrkjeland, M. (1997a). Kampen mot fluoren. I R. P. Amdam, D. Gjestland og A. Hompland (red.), *Årdal: Verket og bygda 1947–1997*. Oslo: Samlaget.
- Byrkjeland, M. (1997b). Kokebok for aluminium. I R. P. Amdam, D. Gjestland og A. Hompland (red.), *Årdal: Verket og bygda 1947–1997*. Oslo: Det Norske Samlaget.
- Collett, J. P. og Skoie, H. (1981). *Teknisk-industriell forskningsorganisasjon i Norge 1945–80: Prinsipiell debatt og hovedlinjer i utviklingen. Vedlegg til utredning om offentlig støtte til teknisk industriell forskning og utvikling i Norge*. (8200706443). Oslo: Universitetsforlaget.
- Eckert, M. og Osietzki, M. (1989). *Wissenschaft für Macht und Markt: Kernforschung und Mikroelektronik in der Bundesrepublik Deutschland*. München: C.H. Beck.
- Edquist, C. (red.) (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London: Pinter Publishers/Cassell Academic.
- Edwards, P. N. (1995). From «impact» to social process: Computers in society and culture. I S. Jasanoff, G. E. Markle, J. C. Petersen og T. Pinch (red.), *Handbook of Science and Technology Studies* (s. 257–285). London: Sage.
- Eilertsen, T. A. (1987). *Fra FOTU til FFI: Grunnleggingen av norsk forsvarsteknologisk forskning 1942–1946*. Bergen: Universitetet i Bergen.
- Frøland, H. O. (2007). The Norwegian aluminium expansion program in the context of European integration, 1955–1975. *Cahiers d'histoire de l'aluminium, Spec. issue 2(2003)*, 103–123.
- Gulowsen, J. (2000). *Bro mellom vitenskap og teknologi: SINTEF 1950–2000*. Trondheim: Tapir.
- Hanisch, T. J. og Lange, E. (1985). *Vitenskap for industrien: NTH – en høyskole i utvikling gjennom 75 år*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of power: Electrification in Western Society, 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Høegh, C., Hauge, J. C., Hurlen, B., Laland, S., Lied, F., Sandvold, H., Selberg, A., Slåtto, E. og Østbye, R. (1964). *NTNF's forskningsutredning 1964*. Oslo: Norges Teknisk-Naturvitenskapelig Forskningsråd.
- Innvik, P. E. og Kamsvåg, J. L. (1993). *Verket: Sunndal verks historie gjennom 40 år*. Sunndal: Hydro Aluminium.
- Johannessen, F. E., Rønning, A. og Sandvik, P. T. (2005). *Nasjonal kontroll og industriell fornyelse: Hydro 1945–1977*. Oslo: Pax.
- John, R. R. (2014). The computer boys take over: Computers, programmers, and the politics of technical expertise. *Business History*, 56(5), 846–847. doi: 10.1080/00076791.2013.764040
- Karlsen, A. (2008). Tung forskning på lettmetall: Dannelsen av en norsk kunnskapsbase. I J. Henden, H. O. Frøland og A. Karlsen (red.), *Globalisering gjennom et århundre. Norsk aluminiumsindustri 1908–2008* (s. 297–335). Bergen: Fagbokforlaget.
- Kossiakoff, A. (2011). *Systems Engineering: Principles and Practice* (2. utg., vol. 67). Hoboken, N.J: Wiley.
- Kvaal, S. (1997). *Janus med tre ansikter: Om organiseringen av den industrielt rettede forskningen i spennet mellom stat, vitenskap og industri i Norge, 1916–1956*. Trondheim: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.
- Lundvall, B. Å. (2007). National Innovation Systems – Analytical Concept and Development Tool. *Industry and Innovation*, 14(1), 95–119. doi: <https://doi.org/10.1080/13662710601130863>
- Myrvang, C. (1997). Falkeblikk og styringsteknikk. I R. P. Amdam, D. Gjestland og A. Hompland (red.), *Årdal: Verket og bygda 1947–1997*. Oslo: Samlaget.

- Myrvang, C. (2000). *Teknikker i transformasjon: Ledelse, organisasjon og teknologi ved Årdal Verk og ÅSV fra 1940- til 1970-åra*. Oslo: Senter for teknologi, innovasjon og kultur, Universitetet i Oslo.
- Nilsen, Y. og Vollset, M. (2016). *Vinden dreier: Meteorologiens historie i Norge*. Oslo: Scandinavian Academic Press.
- Njølstad, O. (1999). *Strålende forskning: Institutt for energiteknikk 1948–1998*. Oslo: Tano Aschehoug.
- Njølstad, O. og Wicken, O. (1997). *Kunnskap som våpen: Forsvarets Forskningsinstitutt 1946–1975*. Oslo: Tano Aschehoug.
- Nordal, O. (2010). *Verktøy og vitenskap: Datahistorien ved NTNU*. Trondheim: Tapir Akademisk.
- Paulsen, G. (2011). *Betwixt and between: Software in telecommunications and the programming language Chill, 1974–1999 (8/2011)*. Oslo: BI Norwegian Business School.
- Prahalad, C. K. og Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review*, 68(3), 79.
- Sandvik, P. T. (2008). «Et kaos uten sidestykke»: Hydro, Harvey og joint ventures i norsk aluminiumsindustri. I J. Henden, H. O. Frøland og A. Karlsen (red.), *Globalisering gjennom et århundre. Norsk aluminiumsindustri 1908–2008*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Skoie, H. (1995). «Å bryne kreftene på gjenreisningen var en privilegert oppgave.» Robert Major intervjuet av Hans Skoie. *Forskningspolitikk*, (2), 16–18.
- Sogner, K. (1994). *Fra plan til marked: Staten og elektronikkindustrien på 1970-tallet (vol. nr. 9)*. Oslo: TMV-senteret.
- Sogner, K. (2002). *En liten brikke i et stort spill: Den norske IT-industrien fra krise til vekst 1975–2000*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Sogner, K. (2003). *Skaperkraft: Elkem gjennom 100 år: 1904–2004*. Oslo: Messel.
- Sogner, K. (2004). The Rise and Fall of State Information Technology Planners – or How Norwegian Planning Became Captains of Industry, 1960–1990. I R. Coopey (red.), *Information Technology Policy: An international history*. Oxford: Oxford University Press.
- Sogner, K. og Petersen, T. (2014). *Strategiske samspill: Kongsberg Gruppens historie 1987–2014*. Oslo: Pax.
- Summerton, J. (1998). Stora tekniske system. I P. Blomkvist og A. Kaijser (red.), *Den konstruerade världen. Tekniska system i historiskt perspektiv*. Stockholm: Brutus Östlings Bokförlags Symposium.
- Wicken, O. (1989). En bit av norsk historie. Norsk datahistorie i etterkrigstiden. I Ingeniørforlaget/ Teknisk Ukeblad (red.), *Norsk Datahistorie* (s. 1–35). Oslo: Ingeniørforlaget/ Teknisk Ukeblad.
- Wicken, O. (1994). *Elektronikkentreprenørene: Studier av norsk elektronikkforskning og -industri etter 1945*. Oslo: Ad Notam Gyldendal.
- Yood, C. N. (2013). *Hybrid zone: Computers and science at Argonne National Laboratory 1946–1992*. Boston: Docent Press.
- Øwre, F. (2009). *50 år med simulatorer ved IFE Halden*. Halden: Institutt for energiteknikk.