

VIDEN-INDHENTNING OG -MODELLERING: Et nyt arbejdsområde for psykologer?

Klaus B. Bærentsen og John Paulin Hansen

Indhentning, formalisering og repræsentation af ekspertviden i edb-programmer er et stærkt ekspanderende område i kølvandet på computer-udviklingen. Det vil her blive fremhævet, hvorledes dette arbejde i stor udstrækning er baseret på teorier om den menneskelige kognition og anvender psykologiske metoder som interviews, observationer, eksperimenter og protokolanalyse. Erfaringerne fra en videnmodellering af maskinmestres ræsonnementer over anlægstilstande på et kraftværk illustrerer, hvorledes disse metoder kan bruges til udviklingen af ekspertprogrammer, og at man ikke behøver at være edb-ekspert for at kunne gå i gang med et sådant projekt.

1. Ekspertes og ekspertise

Ekspertes findes i mange daglige sammenhænge, f.eks. musikere med automatiserede spille-færdigheder, taxa-chauffører med hele bykort i hovedet, mekanikere eller læger der hurtigt kan diagnosticere en sygdom, akademikere der kan strukturere komplekse, semantiske problemer eller arkitekter, der er i stand til at foretage æstetiske vurderinger af byggeprojekter ud fra enkelte tegninger.

Ekspertes forventes at kunne give begrundede løsninger indenfor deres felt hurtigt og effektivt, men samtidig være opmærksomme på begrænsningerne i deres viden (Hart, 1986). Denne viden kan bestå i en lang række empiriske associationer opbygget gennem praksis. Lægen genkender f.eks. en hudinfektion og husker diagnoser og behandlinger fra de tidligere tilfælde. Ekspertes bruger heuristiske metoder - »tommelfinger-regler« - der sætter dem i stand til at kombinere sandsynligheder, usikre data og antagelser. Ofte anvender de kausale modeller af systemer til at forudsige, diagnosticere, planlægge eller analysere situationer. De besidder en række begreber, fag-termer og -jargon til at strukturere og kommunikere deres iagttagelser (- at lægmanden ikke forstår disse er uvedkommende i denne sammenhæng) (Hayes-Roth, Waterman & Lenat, 1983).

Ekspertes viden kan komme til udtryk på forskellige måder: Ryle (1949) skelnede mellem »knowing how« og »knowing that«, Polanyi (1958) mellem eksplicit viden og tavs viden, og Winograd (1974) mellem deklarativ viden og procedural viden. De har hermed fremhævet det velkendte forhold, at vi ved

meget mere end det, der kan siges med ord. Det har man beskæftiget sig indgående med indenfor den gren af psykologien, der interesserer sig for den kognitive kontrol af handlingerne.

Rasmussen (1974) og Leontjev (1977) har beskrevet, hvordan de operative færdigheder dannes ved en gentagelse af de bevidste handlinger. Som perceptuelt-motoriske operationer vil de være kognitivt aflastende, idet de fungerer automatisk, uden bevidst kontrol og til tider endda uden visuel eller auditiv guiding (Volpert, 1982).

Eksperten vil sjældent være i stand til at beskrive, hvordan han kontrollerer disse færdigheder eller hvilke informationer, han lægger til grund for deres anvendelse (Rasmussen, 1986). I afvigende, uventede situationer kan denne automatisering bryde sammen, og operationerne vil da igen blive til bevidste handlinger (Leontjev, 1977).

Kompositionen af operative rutiner til handlinger er typisk kontrolleret af bevidste regler. Disse kan være empirisk afledte eller »know-how«, kommunikeret som instruktioner eller færdige »opskrifter«. Da de er eksplicitte, vil de være tilgængelige for en sproglig udredning (Rasmussen, 1986).

I uvante situationer, hvor eksperten konfronteres med problemer, han ikke har nogen færdige løsninger på eller regler til at tackle, må kontrollen af handlingerne overgå til et højere niveau, hvor de bliver mål-kontrollerede og viden-baserede. Her anvendes en mental model til at forstå problemfeltets funktionelle egenskaber og til at forudsige effekterne af handlingsplanerne.

Rasmussen (1986) mener, at de automatiske færdigheder baserer sig på en indre, dynamisk omverdens-model, der f.eks. sætter os i stand til at forudse, hvad der sker, hvis en rund genstand lægges på et skråplan. Meget af den viden, der er nedlagt i disse modeller, er af en ubevidst og ikke sproglig natur, baseret på erfaringer med den fysiske verdens beskaffenhed. Det kan være meget tidlige erfaringer og f.eks. stamme fra barndommens leg med suttens fald fra vuggen eller sandets siven gennem sien. Eksperten kan muligvis redegøre for sine bevidste overvejelser af disse modeller på et højt konceptuelt niveau, men denne redegørelse mangler den mangfoldighed af implicite antagelser, der ligger i det enorme indhold af verdens-modellen (Rasmussen 1986).

Foruden den dynamiske model, har eksperterne ofte formelle modeller. De indeholder relationer mellem veldefinerede kvantitative repræsentationer af fysiske variable. På disse kan eksperten foretage deterministiske ræsonnementer (Rasmussen, 1986). Han besidder eksempelvis et sæt af ligninger, der omhandler termodynamik og kan kombinere disse meningsfyldt til en præcis beregning af varmeomsætningen i et kraftværk. Og ville også være i stand til at bruge det samme sæt formler til at vurdere isoleringsbehovet i et hus-projekt. Disse modellers veldefinerede natur gør, at eksperten let kan redegøre for dem og evt. henvise til relevante lærebøger og formelsamlinger.

De to typer af modeller komplementerer hinanden. Det kræver en enorm mængde af formelle beskrivelser, hvis disse skal erstatte elementer af det dynamiske verdensbillede. Selv en lille opdatering af verdensbilledet kan fordrer næsten uoverskuelige revisioner af de formelle beskrivelser. Men de formelle modeller kan så til gengæld anvendes på mange forskellige konkrete problemer. Der forekommer også commonsense ræsonnementer på højere abstraktionsniveauer, understreger Rasmussen (1986). Eksempelvis har eksperten oprindeligt opbygget en model af feed-back-processer som et sæt af kybernetiske formler, der satte ham i stand til at regne på disse mekanismer. Men under mere uformelle ræsonnementer i forbindelse med f.eks. system-design kan han operere med abstrakte model-begreber som en slags kunstige objekter, eksempelvis »løkker«, »båndbredder« og »stabile tilstande« (Rasmussen, 1986). I en række interviews med virtuose edb-programmører har Molzberger (1984) således fundet, at de ikke opfatter programmering som en rent rationel aktivitet, men visualiserer programmerne som tredimensionale strukturer. Disse strukturer vurderes æstetisk: hvis de er elegante, er de også funktionelt acceptable.

Det tager lang tid at opnå ekspertise på et givet problemfelt, ofte årtier. Der er mangel på eksperter indenfor mange områder og de beklæder gerne højtlonnede nøglepositioner i virksomhedsorganisationer. Mange beslutnings- og produktionsprocesser er stærkt afhængige af eksperten, hvilket gør dem følsomme for hans fravær eller fratrædelse. Man har derfor længe næret et ønske om at decentralisere ekspertisen i organisationer. Med udviklingen af de symbolbehandlende edb-maskiner er der iværksat et omfattende arbejde på at overføre ekspertviden til personuafhængige datamater.

Disse maskiner er nemlig, som det vil blive skitseret i det følgende, i stand til at simulere visse typer af menneskelig viden og ræsonnementer. Denne udvikling er nok så radikal, hvilket bl.a. er blevet fremhævet af Hayes-Roth et al. (1983); de mener, at automatiseringen af ekspertviden vil:

»... signalere en overgang fra en personlig til en offentlig basis for tænkningen. Denne overgang vil revolutionere den menneskelige natur« (1983, s. 28).

2. Mekanisering af kognitive processer

Ordet »computer« betyder direkte oversat, regnemaskine. En mere dækkende betegnelse ville være: *Den universelle maskine til behandling af symbolsk information*. Den amerikanske nobelpristager Herbert Simon siger således: »Computeren er et apparat forsynet med kræfter af den mest generelle art til behandling af symboler. Den er ikke kun bemærkelsesværdig pga. dens evner, men også pga. simpliciteten af dens underliggende processer og organisation.« Det simple ved computeren er ikke den fysiske maski-

ne, altså den elektroniske »hardware«. Simpliteten ligger på »niveauet for de elementære informationsprocesser, som hardwaren gør det muligt for den at udføre, organisationen for udførelse og kontrol af disse proceser, og i de programmeringssprog, hvis termer udtrykker kontrollen af dens adfærd« (Simon, 1977, s. 1186 f.f.).

Den samme *fysiske* maskine er i princippet i stand til at udføre de mest forskelligartede opgaver, alt afhængig af hvorledes den programmeres, og hvilke værktøjer man forbinder den med. Det er den symboliserede information om arbejdsgenstand, arbejdsoperationer og betingelser, som er afgørende for, hvilke konkrete funktioner maskinen kan udføre.

Den funktionelle maskine er ikke længere identisk med den fysiske maskine. Den *funktionelle maskines* begrænsning er heller ikke længere identisk med den fysiske maskines begrænsninger. Derimod optræder der begrænsninger i forbindelse med udviklingen af software - først og fremmest begrænsninger i det, der af A.A. Dorodnitsyn (1985 s. 27) betegnes som »brainware«, dvs. algoritmer og heuristikker til løsning af opgaver. F.eks. er problembeskrivelser og proces-diagrammer en forudsætning for, at et mere kompliceret program kan kodes.

Programmerne kan selv betragtes som maskiner. De er relativt uafhængige af de fysiske maskiner, hvis processer de styrer og kunne i princippet realiseres med tandhjul, lodder eller trisser. Vi vil derfor lade de fysiske maskiner være og hellige os de konceptuelle aspekter.

2.1. Ekspertsystemer

Et ekspertsystem er et videnbaseret system, der løser problemer, som kræver en anseelig mængde af ekspertise, hvis de skulle løses af mennesker (Wielenga, 1987). Det kan iflg. Gevarter (1983, s. 39) bestå af en række moduler:

- En samling facts og andre former for viden om et bestemt emneområde.
- En procedure til at drage logiske slutninger ud fra facts og anden viden om området, dvs. en kontrolstruktur for anvendelsen af viden.
- En global database som indeholder en »model« af det emneområde, indenfor hvilket systemet løser problemer samt det specifikke problems status og historie.
- En grænseflade, som kan kommunikere med brugeren i noget, der ligner naturligt sprog.
- Et modul, der kan forklare, hvilken række af logiske slutninger som har ført systemet til at drage en bestemt konklusion.

De simpleste og generelt set mest succesfulde ekspertsystemer er, iflg. Duda & Shortliffe (1983, s. 262), klassifikationsprogrammer. Disse programmer kategoriserer givne tilfælde (cases) indenfor en velafgrænset kontekst, ved

at afveje forhåndenværende vidnesbyrd. Medicinske differentialdiagnoser er et klassisk eksempel på et sådant problem.

Et regelbaseret ekspertsystem kan f.eks. stille en diagnose og herudfra foreslå en terapi. Systemets viden kan være kodet ind som et antal regler i en database. Reglerne kan være formet som såkaldte produktionsregler (dvs. simple hvis-så regler): Hvis *betingelse 1* . . . og *betingelse 2* er opfyldt, så kan man drage *konklusion a*. Betingelserne kan lagres i den dynamiske globale database som oplysninger om, at *attributter* (i.e. egenskaber) ved *objekter* har bestemte *værdier*.

På grundlag af oplyste data om det pågældende tilfælde kan systemet nu anvende sine regler til at undersøge, om det drejer sig om et bestemt problemtilfælde (hypotesestyret ræsonnement). En hypotesestyret ræsonnementsproces foregår ved, at »hvis-så« reglernes »så«-side (konklusionerne) sammenlignes med databasens indhold, hvorefter det undersøges om hypotesens forudsætninger er opfyldt.

Systemet kan også anvende en »datadrevet« ræsonnementsproces. I så fald arbejder det sig op »fra bunden« ved at sammenligne databasens indhold med reglernes »hvis-så«-side (betingelser) og drage de tilhørende »så«-konklusioner. Efterhånden som reglerne udløses, ændres databasen, og systemet når f.eks. frem til hypoteser for løsning af det aktuelle problem. Eventuelt kan begge strategier anvendes samtidig, således at de to processer mødes på halvvejen.

Hvis alle de nødvendige data om tilfældet er til stede i databasen, kan systemet umiddelbart nå frem til en konklusion. Hvis der mangler oplysninger om tilfældet, kan systemet spørge brugeren (eller et tilkøbt system af sensorer): Hvilken *værdi* har *attributtet* til det pågældende *objekt* (f.eks. kunne tilstedeværelsen af leversmerter være af betydning for, om en række undersøgte symptomer opfylder betingelserne for at kunne diagnosticeres som hepatitis). Alternativt kan systemet forsøge at ræsonnere sig frem til den pågældende oplysning på grundlag af de andre data, det har til rådighed om tilfældet.

Såvel den datadrevne som den hypotesestyrede ræsonnementsform har stærke og svage sider. Den datadrevne fremgangsmåde har den ulempe, at den kan frembringe en stor mængde hypoteser, som ikke har nogen forbindelse med det aktuelle problem. Den hypotesestyrede metode kan derimod være tilbøjelig til at hænge fast i udgangshypoteserne og have stort besvær med at forlade dem, selv om de ikke støttes af de foreliggende data.

Til forskel fra konventionelle programmer, der overfladisk set præsterer det samme som et regelbaseret ekspertsystem, kan dette forklare, hvorfor det stiller bestemte spørgsmål til brugeren, samt hvordan det når frem til bestemte konklusioner. Dette gøres ved at fortælle, hvilket mål (hypotese) som kontrollerer ræsonnementsprocessen, og hvilke regler som herunder er taget i brug. På denne måde ekspliciteres det, hvilke forudsætninger, som skal være opfyldt, for at en given hypotese holder.

Hvis et ekspertsystem løser et problem fra den virkelige verden (der som regel er meget komplekse) ved at undersøge alle muligheder, vil det let resultere i en meget langvarig proces. Det skyldes, at det »problemrum«, indenfor hvilket løsningen søges, vokser meget hurtigt med tilføjelsen af nye faktorer, der skal tages hensyn til. Dette fænomen betegnes som »kombinatorisk eksplosion«. For hver ny variabel, som ekspertsystemet skal tage hensyn til, tilføjes der en ny dimension til problemrummet, og med hvert nyt niveau af detaljer øges de eksisterende dimensioners udstrækning.

For at mindske den tid, det tager at finde den ønskede løsning, er det derfor af stor betydning at finde metoder til enten at effektivisere søgningen i et givet problemrum, eller til at indsnævre det problemrum, indenfor hvilket løsningen skal søges. Den første vej kræver speciel hardware eller særlige søgealgoritmer, mens den anden fremgangsmåde kræver udvikling af avancerede kontrolstrukturer. Den sidstnævnte vej er den vigtigste og kan f.eks. bestå i, at problemet opdeles i en række mindre problemer, der kan løses hver for sig.

På grund af de mangler og begrænsninger, som karakteriserer regelbaserede ekspertsystemers funktionsmåde (se f.eks. Gevarter, 1983, s. 42-44), arbejdes der i retning af konstruktion af systemer, som udover viden i form af empiriske associationer også rummer såkaldt »dyb« viden om kausale og strukturelle relationer i problemområdet. Samtidig ændres den måde, systemets viden repræsenteres på i retning af semantiske netværksmodeller, frames og andre former. I nogle systemer kombineres regelbaserede og modelbaserede dele, således at de kommunikerer med hinanden om problem-løsningen via en »tavle«.

Hvor et traditionelt program »ved«, hvorledes *et specifikt problem* løses, »ved« et ekspertsystemprogram, hvorledes en *klasse* af problemer løses, nærmere bestemt »lukkede« problemer i den forstand, som beskrives af Seidel (1976).

Mens et traditionelt program - i hvert tilfælde forventes at udføre de instruktioner, som er indkodet, og i en nøje fastlagt rækkefølge, så er det slet ikke meningen, at man skal kunne forudse, hvilke instruktioner eller deres rækkefølge et ekspertsystemprogram gennemløber. Hvad man her specificerer, er de regler hvorefter programmet selv vælger de relevante instruktioner og deres rækkefølge.

Ekspertsystemprogrammer løser altså ikke de stillede opgaver vha. en forud konstrueret algoritme for det specifikke problem, men anvender derimod samlinger af facts, tommelfingerregler og andre former for viden om et givent felt (Gevarter, 1983, s. 39).

I konventionelle programmer er den problemrelevante viden sammenflettet med metoderne til at anvende den, hvilket gør det vanskeligt at ændre programmerne. I et ekspertsystem er den generelle viden om problemområdet (videnbasen) som regel klart adskilt fra informationen om det aktuelle problem (input data) og fra metoderne til at anvende den generelle viden

ved løsning af problemer (slutnings- eller inferensmaskinen). På grund af denne adskillelse kan programmet ændres gennem en simpel modificering af videnbasen. I regelbaserede systemer kan det f.eks. ske ved at tilføje eller slette regler i videnbasen (Gevarter, 1983, s. 39).

2.2 Kunstig intelligens

Intentionen med at eftergøre menneskers intellektuelle processer i maskinel form har under betegnelsen »kunstig intelligens« efterhånden stået på i en årrække. Hidtil er denne modellering kun lykkedes i begrænset omfang. De mest vellykkede (offentligt kendte) systemer kan udføre relativt simple videnbaserede ræsonnementer indenfor snævert afgrænsede fagområder (heraf navnet »ekspertsystem«). Kun ganske få har været i stand til at leve op til forventningerne om at præstere resultater, som kan måle sig med deres menneskelige modparter (jvf. Bastlund et al., 1987, s. 11ff; Gevarter, 1983; Hart, 1986, s. 25ff).

En hyppig indvending mod betegnelserne »kunstig intelligens« og »ekspertsystem« er, at disse systemer slet ikke er intelligente og er så snævertsynede, at de ikke kan betegnes som eksperter. Kritikken kan i konkrete tilfælde være rigtig; der er ikke mange af disse systemer, som er kommet ud af den eksperimentelle fase, og det er kun et fåtal, der har gjort sig nyttige »i det virkelige liv«. Det skyldes først og fremmest begrænsninger i den indkodede »viden« og begrænsningerne mht. de arter af tænkning, som maskinerne kan udføre.

Den indkodede viden består som sagt af overfladisk empirisk erfarede statistiske og korrelationsmæssige sammenhænge mellem »årsager« og »virkninger« indenfor det pågældende domæne af ekspertise, mens der kun sjældent findes egentlige videnskabeligt funderede »modeller« af sammenhænge i domænet. Slutningsprocesserne indskrænker sig som regel til at være af den type, som anvendes ved løsning af syllogismer, mens mere sofistikerede problemløsningsmetoder og logiske procedurer næsten ikke forekommer. Vigtigst af alt: de modellerede intellektuelle processer mangler det omfattende »bagland« af perceptuelle, sensomotoriske og følelsesmæssigt-motivationelle processer, som understøtter menneskers intelligens.

Sådan er situationen faktisk. Der er dog ikke nogen grund til at antage, at det skulle være umuligt at forbedre og i det uendelige videreudvikle de former for viden, som indkodes i systemerne eller de typer af ræsonnementer, de kodes til at udføre; ej heller er der noget, der tyder på, at maskinerne for evigt vil være uden »sansorganer« eller indlæringssevne. Snarere tværtimod.

3. Viden-indhentning og -modellering

Lærebøgerne i konstruktionen af ekspertsystemer opregner 5 væsentlige stadier i udviklingsprocessen (Hayes-Roth, Waterman & Lenat (1983), Hart (1986)):

1. *Identifikation* af problemområdet, systemets formål, projektdeltagere og ressourcekravene.
2. *Konceptualisering* af de nøglebegreber, relationer og informationsstrømme, som er nødvendige til at beskrive problemløsningerne indenfor domænet.
3. *Formalisering* af begreberne i en model, der kan implementeres i et ekspertsystem eller et programmeringssprog.
4. *Implementering* af begrebsmodellen ved en organisation af den formaliserede viden i en struktur, der adskiller videnbasen og de inferensmekanismer, der skal virke på denne.
5. *Testning* og evaluering af prototype-programmet.

I det kommende skal vi fokusere på stadie 2-4, vidensbeskrivelsen, indeholder iflg. Brachmann (1979) følgende niveauer:

1. Det lingvistiske niveau, der ikke er abstraheret ud over sprogets iboende reduktioner.
2. Det konceptuelle niveau, hvor viden-udsagn abstraheres til primitive begreber og relationer.
3. Det epistemologiske niveau, hvor de viden-elementer, som er nødvendige for at løse en bestemt opgave, udskilles og kombineres.
4. Det logiske niveau, hvor abstraktionerne udtrykkes i logiske eller matematiske formalismer.
5. Implementations-niveauet, som indeholder data- og kontrolstrukturer i et programmeringssprog

Med denne niveaudeling vil vi beskrive en videnindhentningsproces, som den forløber fra 1. til 4. niveau. Her sker den egentlige aftapning og destillering af ekspertens viden, mens niveau 5 vedrører maskinkodningen af denne proces' resultater.

Vi skal i det kommende fokusere på en række af de teknikker, der kan anvendes til dels at få indhentet de begreber, eksperten bruger til bevidst kognitiv kontrol, og dels teknikker til at bevidstgøre ham om de sensoriske, perceptuelle og kognitive funktioner, der normalt forløber automatisk. Den første type teknikker kan man betegne som *direkte* konceptualisering og den anden som *provokeret* konceptualisering.

4. Lingvistiske data

Man har tidligt diskuteret de metodiske styrker og svagheder ved at forlade sig på subjektets verbale rapporter om sine kognitive processer. Geyer (efter De Grooth, 1965) anbefalede i begyndelsen af dette århundrede, at man trænede og instruerede subjektet nøje forud for afgivelsen af introspektioner, så tankeprocesserne kunne forløbe »i skyggen« af de kommende introspektioner. Han mente, at da det er forvirrende at skulle tænke og rapportere samtidig, måtte man begrænse sig til at undersøge elementære processer af kort varighed og få subjektet til at foretage introspektionen umiddelbart efter opgaveløsningen (De Grooth, 1965).

Karl Duncker ville i 20'erne undersøge tankeprocesser i forbindelse med løsningen af matematiske og praktiske problemer. Disse opgaver var af længerevarende natur, så det var ikke muligt at anvende Geyers metode. Han lod derfor forsøgspersonerne »tænke højt« under opgaveløsningen. Det viste sig herved at være muligt at analysere lange og komplicerede tankeprocesser (De Grooth, 1965).

En af de første psykologiske undersøgelser af ekspertise på grundlag af verbale rapporter blev udført af Julius Bahle i 30'erne. Han sendte nogle berømte digte til en række kendte komponister og bad dem om at sætte musik til et eller flere af disse, samtidig med at de skulle føre en daglig protokol over dette arbejde. 38 komponister deltog. De blev instrueret i »selvbetragtning« og udfyldte en række spørgeskemaer om digtvalget og faserne i udviklingen af kompositionen. Sammen med deres dagbøger og notedekkladder havde Bahle hermed et meget værdifuldt datagrundlag til at analysere komponisternes arbejdsproces. De Groot (1965, s. 80) mener, at:

»Bahle med sit arbejde beviste, at systematisk, eksperimentelt baseret analyse er mulig, selv overfor utilnærmelige områder af den menneskelige kreativitet, så længe der anvendes en passende eksperimental-psykologisk metode.«

Selv udførte De Groot i 40'erne en berømt undersøgelse af trækvalg og positions-hukommelse hos skakspillere af forskellig spille-styrke. Også han anvendte »tænke-højt«-protokollen som datagrundlag og specificerede i forbindelse hermed 2 af metodens ulemper:

1) Rapporterne er ufuldstændige. Det kan have flere årsager: Faser i tankeprocesserne kan være under grænsen for, hvad subjektet kan være opmærksom på; tankerne kan bevæge sig så hurtigt, at verbaliseringen ikke kan følge med; ikke alle tanker kan umiddelbart formuleres, og måske tilbageholder subjektet formuleringen af nogle tankebaner, f.eks. dem der slog fejl.

Han foreslår, at et kriterie for, hvornår en rapport godtages som komplet, kan være, at subjektet er tilfreds med den, og at den er forståelig for udenforstående.

2) Højttækning kan være forstyrrende. Den kan bremse tankeprocessen

ved at tvinge subjektet til at tænke mere eksplicit og på et højere niveau af bevidst organisering. Det fremmer en aktiv, organiserende attitude og kan til en vis grad forhindre intuitiv og receptiv tænkning, mener De Groot (1965). Hans erfaring var dog, at omfanget af disse problemer varierede fra subjekt til subjekt (ibid.).

Mange forfattere har det sidste årti argumenteret for, at verbale rapporter på trods af de metodiske svagheder accepteres som valide data. Ericsson og Simon (1980, 1984) har gennem en analyse af forskellige indsamlingsmetoder præciseret, under hvilke betingelser man vil kunne opnå troværdige verbale data om de kognitive processer. Subjektet må have været opmærksom på de processer, der rapporteres om, og de skal endnu befinde sig i korttidshukommelsen, når rapporten afgives. Verbaliseringen må kunne ske uden større tankemæssig anstrengelse. De anbefaler derfor simultane »tænke-højt-metoder« eller umiddelbar retrospektion og fremlægger et omfattende vidnesbyrd for, at disse metoder ikke vil inferere væsentligt med subjektets problemløsning.

Hoc og Leplat (1983) fastslår, at selvom en verbal rapport kan være en indikator for den kognitive aktivitet, der studeres, så er det et faktum, at den er et produkt af en anden aktivitet. Som et resultat heraf, opstår der et overordnet metodologisk problem om relationen mellem verbaliseringen og den aktivitet, der refereres til. Dette problem har resulteret i en stor mistillid til verbale rapporter blandt eksperimentelle psykologer. Derfor er alle tidligere undersøgelser af verbale rapporters validitet iflg. Hoc & Leplat (1983) designet til at bekræfte den negative fordom. Eksempler på sådanne undersøgelser findes hos bl.a. Nisbett og Wilson (1977).

Som en ny og konstruktiv forskningsstrategi anbefaler Hoc og Leplat (1983) derfor, at man eksperimentelt undersøger muligheden for at definere verbaliseringsmetoderne. Resultaterne fra en serie af deres egne eksperimenter bliver fremlagt som et empirisk argument for, at retrospektion af kortere handlingssekvenser giver de mest pålidelige verbale data. Den simultane »tænke-højt-teknik«, finder de, er problematisk, fordi den nedsætter den naturlige tendens til automatiseringen af aktiviteter og fordi den ofte ophører helt, hvis der sker en væsentlig forøgelse af den mentale belastning. Subsekvent retrospektion uden genkaldeshjælp bør også undgås, idet der herved bliver for stor distance til opgaven, konkluderer de (1983).

For den praktiske undersøgelse af ekspertens arbejdsituation vil det ofte være umuligt at stoppe ham undervejs og få ham til at kommentere f.eks. en videosekvens af hans handlinger. Man har derfor oftest anvendt den simultane verbalisering til indhentning af ekspertviden. Eksperten skal som regel trænes i teknikken, hvis den ikke skal forstyrre hans arbejde, og hvis den skal give meningsfyldte data.

Der har været en række diskussioner om, hvilke instruktioner der bør gives forud for en simultan verbalisering, og om hvorvidt man burde give påmindelser om at tænke højt under opgaveløsningen. (Ericsson og Simon

(1980), Leplat og Hoc (1981)). I praksis ser det ud til, at en videnindhenter kan forlade sig på sin situationsfornemmelse og komme med *opfordringer* til verbalisering, når dette synes belejligt og antages at ville afdække nye informationer (Siddigi & Khazaei (1987)). Derimod advarer Hart (1986) generelt imod at *afbryde* eksperterne, da videnindhenteren sjældent er i stand til at vurdere, hvad der er relevant i en given situation, og i hvilken retning ekspertens tanker går. Hun understreger dog, at videnindhenteren bør lære at observere ekspertens kropssprog og fornemme, hvornår han er tøvende eller forvirret, for at kunne hjælpe ham ud af disse situationer (ibid).

Båndoptagelserne af verbaliseringerne må understøttes enten af en videooptagelse eller noteringer af de aktiviteter, eksperten foretager sig i forbindelse med verbaliseringerne. At holde rede på de forskellige handlinger kan være en nok så kompliceret opgave, så derfor anbefaler Hoffman (1987), at enhver videnindhentningsproces indledes med, at man gennem længere tid (1 måned) følger eksperten under løsningen af en række velkendte opgaver. Herved opnås der en indsigt i arbejdets overordnede mål, de informationskilder eksperten gør brug af, og de resultater han producerer. (Ibid). På dette tidspunkt vil der også være mulighed for at supplere iagttagelserne med tilegnelsen af en basal domæneviden fra lærebøger, artikler, manualer og andre eksisterende dokumentationer.

4.1 Observations-protokoller fra maskinmestre

De verbale protokoller, som blev anvendt i vores viden-indhentningsprojekt, blev oprindeligt indsamlet m.h.p. at undersøge strukturen af maskinmestres kognitive processer ved overvågning af Studstrupværkets nyeste blokke (Bærentsen, 1987).

Data blev indsamlet ved arbejdsobservationer og gennem interviews. Formålet med arbejdsobservationerne var at registrere arbejdsforløbet under gennemførelsen af en bestemt type lastændring, vi valgte at fokusere på. Interviewene skulle give et overblik over maskinmestrenes arbejdsopgaver og indplacere lastændringsprocedurerne heri, samt uddybe kendskabet til de kognitive processer, som blev aktiveret under indgrebene.

Der blev gennemført 6 arbejdsobservationer af 30 til 60 minutters varighed. De blev udført om natten i kontrolrummet af to observatører. Den ene talte med maskinmesteren, og den anden noterede art og tidspunkt for alle hans indgreb ned. Maskinmesteren blev præsenteret for følgende opfordring til at »tænke højt«:

»Den måde, vi gerne vil have dig til at tale på, kan betegnes som »højt-tænkning«, dvs. vi vil gerne have dig til ligesom at »skruer op for volumenkontrollen på den indre højt-taler«, sådan at vi kan høre, hvad det normalt er, du går og gør og tænker under en lastændring.

Det, vi gerne vil have dig til, er så nøjagtigt som muligt at sige højt:

- hvilken opgave du er i gang med at udføre
- hvilke overvejelser og beregninger du foretager
- hvilke beslutninger du træffer om, hvad du skal lave, og hvordan du når frem til dem
- hvad det er for instrumenter, du indstiller på
- hvad det er for instrumenter, du ser på.»

Den lyttende observatør stillede uddybende spørgsmål for at gøre højtænkningen så naturlig som mulig, eksempelvis: »Hvad var det, du gjorde der?«
»Hvad ser du nu efter?«

Mesterens verbaliseringer blev optaget på et bånd og senere nedskrevet til en protokol. Alle optagelser blev foretaget i stereo, da det herved er muligt at adskille interviewpersonerne rummeligt fra støj og uvedkommende samtaler i rummet. Vor erfaring er, at det tager seks timer at udskrive en times verbalisering, hvilket stemmer overens med Hoffmanns (1987) angivelser. Disse verbaliseringer blev synkroniseret med listen over indgreb. Fra hans verbaliseringer blev der så udtaget en liste med alle de orienteringer, mestrene gav udtryk for, at de foretog. Disse tre lister blev sammenføjet i en observationsprotokol. Det tog cirka 18 timer at konstruere en sådan protokol fra 1 times observationer. (Se fig. 1).

Under udarbejdelsen af protokollerne fandtes det hensigtsmæssigt at standardisere terminologien i indgrebs- og orienteringslisterne. Så kunne de nemmere sammenlignes indbyrdes og senere læses af edb-programmer. Standardiseringen er meget tidskrævende på grund af det store antal synonyme betegnelser, der anvendes om forskellige anlægsdele.

De uddybende interviews med de enkelte mestre var strukturerede på forhånd, men spørgsmålene var så generelle, at det nærmest forløb som almindelige samtaler.

Eksempler på interviewspørgsmål:

- Hvilke er de 5-10 vigtigste anlægs- eller procesparametre, som skal overvåges i forbindelse med lastændringer?
- Hvilke er de 5-10 vigtigste eller hyppigste forstyrrelser, som kan optræde under en lastændring?
- Er det muligt at gennemføre lastændringer på forskellige måder, eller er fremgangsmåden altid den samme?
- Er det nødvendigt at planlægge gennemførelsen af en lastændring, før man går i gang?
- Er det nogle gange nødvendigt under gennemførelse af en lastændring lige at stoppe op for at tænke sig om og lave en ny plan?
- Er der nogle typer af lastændringer, eller dele af dem, som kræver, at der samarbejdes med andre i kontrolrummet eller ude i anlægget?

Fig. 1: Uddrag af observationsprotokol fra lastændring med udkobling af kulmølle.

TID	VERBAL RAPPORT	ORIENTERINGER	INDGREG
00:09	Klokken den er 23.42. <INTERVU> Ja, du kan såmænd godt begynde Skal jeg begynde?		
00:40	Vi skal til og ned på 252 MW netto.	Lastplan = 252 MW netto	
00:47	Og inden jeg kan begynde at køre ned, så skal jeg have koblet lastbørværdistationen i automatik igen.		
00:55	Det er gjort nu.		MW bloklast ref autoreg indkobling
01:01	Så stiller jeg bloklaststationen ned på 252 MW netto, plus 18 MW egetforbrug.	Egetforbrug = 18 MW Lastplan = 270 MW brutto	
01:11	270 MW stiller jeg den ned på.		
01:15	...		
01:21	Det er jeg så ved nu, 270. Det vil sige 14 MW, som vi skal køre ned på et kvarter ca..		MW bloklast ref reg ned til 270 MW
01:23	Det svarer til en gradient på 1 MW pr. minut.		
01:26	Det stiller jeg gradienten på nu.		
01:29			Lastgradient reg til 1 MW/min
01:30	Sådan.		
01:33	Så skal jeg til at stoppe en kulmølle. Lige nu kører jeg med 4 kulmøller.	4 kulmøller i drift	
01:37	Jeg vælger at stoppe kulmølle 40.		
01:41	Det jeg så skal gøre først, det er, at jeg går hen til fjernsynet, vores betjeningsfjernsyn, og kobler mig ind på system, kulsystem.		Går til betjeningssskærm
01:50			Billedgr. 4: Kulsystem vælges
01:53	<INTERVU> Er det nummer 4?		
01:55	Nummer 4.		
01:57	Så kommer der et billede frem på skærmen, og på den skærm er der 16 forskellige muligheder.		
02:02	Der skal jeg, for at kan komme ind på regulering, der har med møller at gøre, ind på billede nr. 1, brandstofbørværdi hedder det.		
02:10			Billede 4.1: Kulmølle 10..40 brandstofbørværdi vælges
02:14	Det kommer der.		
02:15	Der har jeg så 16 felter på det billede. Og det er mølle 40, jeg skal koble ud. Lige nu, der er den inde på ligeløb sammen med de 3 øvrige møller. Det jeg så skal, det er, at jeg skal have den koblet ud af ligeløbet.	Billede 4.1: Kulmølle 10..40 ligeløb inde	
02:30	Så kobler jeg ind på billede nr 16,		Felt 4.1.16: Et.40 ligeløb vælges
02:35	og kobler den ud af ligeløbet nu.		Felt 4.1.16: Et.40 ligeløb udkobling
02:39	Det vil sige, den mølle den fortsætter med en indstilling, der svarer til 7 kg. kul pr. sekund.	Felt 4.1.12: Et.40 kul mgd ref = 7 kg/s	

Det er vor erfaring, at spørgsmålene er desto bedre, jo mindre almene og jo mere konkrete de er, dvs. jo flere specifikke betingelser for udførelse af den aktivitet, man spørger om, som anføres i spørgsmålet. Eksempelvis er spørgsmålet: Hvordan vil du gøre, hvis du skal regulere lasten ned fra 375 MW til 125 MW, og det er om natten, så lasten skal være lav i lang tid? En bedre formulering end: Hvordan vil du gennemføre en nedregulering, som indebærer ændringer i maskinsystemerne?

Interviewene må ikke være for lange, en time er maksimum, både af hensyn til den forstyrrelse af arbejdsdagen, de bevirker, og af hensyn til oprettholdelsen af koncentrationen.

Der vil altid forekomme uørlige og uforståelige passager i interviewene. Det er nødvendigt at forberede interviewpersonerne på talesprogets særlige karakter i forhold til skriftsproget, når udskriften leveres tilbage, ellers vil vedkommende med stor sandsynlighed blive overrasket over, hvor meget »volapyk«, der forekommer og kan let komme til at føle sig til grin, hvis andre læser teksten.

Et basalt kendskab til teknologien er efter vore erfaringer et absolut krav til interviewer og observatører, både for at kunne forstå, hvad der bliver talt om, og hvad der bliver gjort under arbejdet. Men også for at opnå maskinmestrenes tillid og overhovedet at kunne føre en fornuftig samtale med dem. Hvis man ikke kender teknologien og arbejdets overordnede karakter og indhold på forhånd, vil man meget let komme til at fejlfortolke udsagn og handlinger.

5. Den konceptuelle videnstrukturering

De indsamlede data befinder sig på dette trin i processen på det lingvistiske niveau (jfr. Brachman (1979)). De er kalejdoskopiske, episodiske iagttagelser og oplysninger fra protokollerne og må forbindes til en meningsfuld sammenhæng. En meget anvendelig metode hertil er opstillingen af en »videnordbog« (Hart (1986)) eller »objektlistor« (Wielinga & Breuker (1984)). Disse indeholder et systematiseret katalog over de begreber, eksperterne anvender. Den konkrete systematik vil afhænge af videndommet, men generelt set kan listerne indeholde oplysninger om objekter, deres attributter, mulige værdier, handlingsmæssige sammenhænge, tilknyttede regler m.m. (Hart (1986), Wielinga & Breuker (1984)).

Oversigten vil være ufuldstændig og fejlfyldt qua dens prelimære natur. Men i et iterativt samarbejde med eksperterne vil det være muligt at få etableret et korrekt nomenklatur med domænebegrebernes primitive relationer og definitioner (jfr. Brachmans (1979) 2. niveau). Hermed har man det »råstof«, den konceptuelle database, ekspertsystemet skal operere med.

Begreberne kan skrives op på små kort, som eksperterne sorterer, eller de kan struktureres i mere eller mindre sofistikerede tekst-behandlingssystemer. Der er mulighed for at lægge forskellige strukturer ned over listerne: der kan konstrueres netværk af begrebslige sammenhænge i forskellige arbejdssituationer (Brachmans (1979) 3. niveau), af deres placering i et beslutningstræ eller i en symptom-fejl association, de kan ordnes efter, hvor hyppigt de forekommer etc. Dermed vil det blive klarlagt, i hvilke arkitekturer eksperterne kan strukturere den konceptuelle database.

Hart (1986) har elaboreret sorteringsmetoderne ved at anvende Kellys

(1955) teori om personlige begrebsnetværk (»repertory grid«) i en videnindhentningssammenhæng. Med bipolare konstruktionskriterier, statistiske cluster- og faktoranalyser m.m., beskriver hun bl.a. de overvejelser, en klas-selærer gør sig om sine elever (Hart (1986)).

5.1. Begrebsliste for kulmølleudtag

Indledningsvis foretog vi en simpel kategorisering af de begreber, der var benyttet i protokollerne. Vi anvendte Wielinga & Breukers (1984) systematik, men måtte dog ændre kategoristrukturen, så den passede til det konkrete kraftværksdomæne.

Fig. 2: Udvalgte eksempler på objekter, aktiviteter, relationer og dimensioner for indgreb under lastændringer.

Objekter

Proces	Maskiner	Automatik	Attributter
Bloklast	Etage	Undergruppestyring	Gradient
Kul	Kulmølle	Reguleringsautomatik	Brændstof-luft-forhold
Olie	Kulføder		Temperatur
Primærluft	Primærluftspjæld		Mængde
Sekundærluft	Koldluftspjæld		Stilling
Vand	Sigter		Børværdi
Damp	Brænder		
	Blåser		
	Overheder		

Aktiviteter	Relationer	Værdier	Dimensioner
Regulering	Ned	[tal]	MW
Kobling	Op	Aktuel_værdi	MW/min
Befaling	Ind		MVAR
Vælges	Ud		Kg/s
	Med		Pct
	Til		Grader

Ved at anvende et program (se Bærentsen & Kvorning 1988), der kunne udskille de begreber, som blev benyttet i arbejdsprotokollernes forskellige lister, kunne vi nu opstille lister for indgrebs- og orienteringsobjekter, typer af handlingsindgreb og de værdier, objekternes attributter kan antage (se fig. 3). Med en tilsvarende opdeling kan eksempelvis objektet »en person« have attributten »temperatur«, som ved handlingsindgrebet »måling« er

fastlagt til værdien »38 grader« eller »stigende«. En sådan liste vil vise, hvordan opregnede begreber fra fig. 2 er knyttet sammen i den undersøgte praksis. Den specificerer nemlig, 1) hvordan attributterne har knyttet sig til objekterne, 2) hvilke handlinger der er foretaget på objekter og attributter, og 3) hvilke værdier attributterne har antaget.

Kategoriseringsprogrammet kunne også opgøre, hvor ofte mestrene foretog et givet handlingsindgreb og den samlede mængde tid, han anvendte til dette. Disse oplysninger er dog ikke medtaget i figur 3.

Fig. 3: Eksempler på sammenhænge mellem objekter, attributter, verballed, værdier og dimensioner i forbindelse med udkobling af kulmølle under lastændringer. Listen er struktureret med tre spalter, som følger:

objekt	attribut	verballed værdi dimension
MW_Bloklast		Reguleres ned med 3 MW Reguleres ned med 6 MW Reguleres ned til 101 MW Reguleres ned til MW_bloklast_aktuel_værdi Reguleres op til 273 MW Reguleres op til 352 MW
	Reguleringsautomatik	Udkobles
	Lastgradient	Reguleres ned til 0,5 MW/min Reguleres ned til 1 MW/min Reguleres ned til 2,0 MW/min Reguleres op til 3 MW/min Reguleres til 1 MW/min Reguleres til 2 MW/min
Brænderetage		Vælges
	Reguleringsautomatik	Indkobles Udkobles
	Kul_mængde	Vælges Reguleres ned til 5,0 kg/s
	Brændstof-luft-forhold	Reguleres op til 1

Kulmølle	Vælges
Undergruppestyring	Indbefaling Udbefaling
Regulering	Vælges
Brændstof-luft-forhold	Reguleres ned Reguleres ned til 1,2 Reguleres ned med 20 pct Reguleres op
Brændstof-luft-forhold_Reguleringsautomatik	Indkobles
Primærluft spjæld	Reguleres op
Sigtetemp	Reguleres ned Reguleres op
Sigtetemp_Reguleringsautomatik	Indkobles Udkobles
Primærluft_mængde	Reguleres op
Primærluft_mængde_Reguleringsautomatik	Udkobles
Koldluftspjæld_Reguleringsautomatik	Indkobles
Primærluft_Reguleringsautomatik	Vælges
.....	
Kulføder	Reguleres ned til 35%
Reguleringsautomatik	Udkobles

Som det fremgik af beskrivelsen af et ekspertsystems logiske struktur (afsnit 2.1), nærmer vi os hermed en systematik, der kan anvendes i disse programmer.

6. Den epistemologiske videnstrukturering

Ved at optage ekspertens kommentarer til forskellige begrebsorteringer på bånd, vil man få en fornemmelse for, hvorledes han ræsonnerer på begreberne i sit domæne. Tilsvarende kan en analyse af de verbale protokoller og interviewene afdække en logisk struktur, der angiver, hvilke betingelser og regler, der indgår i ræsonnementerne.

Dette er meget vigtige oplysninger til konstruktion af ekspertsystemets inferensdel, som skal virke på databasen. Videnindhenteren kan nu stille intelligente og specifikke spørgsmål til ekspertens ræsonnementsprocesser og knytte svarene til den foreløbige database. Hvis eksperten er i stand til at foretage egentlige introspektioner, kan man få et enestående indblik i hans globale ræsonnementsstrategier, ved at lade ham beskrive, *hvordan* han ræsonnerer på objekterne. Wielinga (1987) anbefaler, at man lader ham introspektere velkendte, oplagte tilfælde uden afbrydelser.

En anden metode er at lade to personer arbejde sammen om løsningen af en opgave. Så må de udrede deres mere komplekse ræsonnementer for hinanden, og her kan videnindhenteren have stort udbytte af at »lytte med«. Levin et al. (1986) fandt, at almindelige »tænke-højt«-protokoller ofte omhandlede, *hvad* problemløseren foretog sig, men ikke *hvorfor*. Det var med andre ord svært at udrede planer og strategier fra de verbale rapporter. Men når de lod forsøgspersonerne løse de samme opgaver to og to, skulle de begrunde deres handlinger overfor partneren, og det førte til reflektioner på opgaveløsningens enkelte skridt og til en analyse af, hvordan de kunne komme nærmere målet. (ibid.) Det er netop sådanne strategiske overvejelser, der gerne skal afdækkes på dette trin i videnindhentningsprocessen.

Endelig rapporter Wielinga (1987) om gode erfaringer med at lade en kommende systembruger stille spørgsmål til eksperten via et terminalnetværk og så optage denne dialog. Det bliver en slags dobbelt »tænke-højt-protokol«, som tager udgangspunkt i brugerens behov ved indhentningen af ekspertviden, og eksperten kan bagefter uddybe sine ræsonnementer.

6.1. Naturligsprogslogik og ræsonnementsbeskrivelser fra et kraftværk

Af det indsamlede datamateriale er det i første omgang kun uddrag af de to interviews, samt tre observationsprotokoller, som er anvendt i videnmodelleringen. De anvendte interviewuddrag omhandler arbejdsmåden ved nedreguleringer med udkobling af kulmøller. De tre anvendte observationsprotokoller dækker samme arbejdsprocedure. Til skildringen her vil vi reducere datamaterialet endnu mere og eksemplificere arbejdet med en enkelt beslutning, som forekommer i løbet af lastændringen, nemlig de overvejelser som knytter sig til afgørelsen af, om det er nødvendigt at udkoble en kulmølle.

Vi startede analysen med at se på interviewudtalelserne. Kriterierne for,

om en kulmølle skal udtages eller ej, kommer ikke til udtryk i eksplicit form. Sandsynligvis fordi spørgsmålet allerede angiver, at det skal der. Begge mestrene omtaler imidlertid indirekte, hvilket grundlag de ville anvende til at afgøre, om det er tilfældet. Nedenfor er anført de relevante udsnit af interviewsvarene i en lettere omskrevet og formaliseret version:

Uddrag af interview 3

Hvis der skal gennemføres en større lastændring, en nedregulering, hvor der skal tages en mølle ud,

så når man får ordre til at køre nogle megawatt af,

. . .

så går jeg faktisk bare hen og kører bloklasten ned på det, den skal
og gradienten op så det passer med den tid

. . .

så vil jeg gå hen og stille mig foran de fire instrumenter, der viser, hvor
meget kulføderne de leverer

. . .

når jeg kan se, at alle fire kulfødere de er kommet ned på mellem seks-
seks et halvt kilo pr. sekund,

og jeg kan se, at jeg skal fortsætte længere ned

så vil jeg stoppe en føder

og stoppe en mølle

for ikke at forringe flammesignalerne på de andre.

Vi har jo et minimum på fem kilo,

men kommer man derned,

så kører de faktisk ikke så godt,

så bliver det ustabil fyring.

Så jeg vil gå hen og stille mig foran de instrumenter

og

når så de allesammen når ned på seks, seks - syv kilo

så kan jeg gå hen på det der tastatur der

og tage den mølle ud på hånd, som jeg vil stoppe,

og så vil jeg taste den minimale møllelast, 5 kilo, ind på tastaturet
og det vil sige,

så kører den ned på dens minimum, fem kilo,

og når den kører ned

så vil de andre køre lidt op for at kompensere.

Det vil sige, at flammesignalerne på de tre andre bliver bedre.

Når den er kørt ned på fem,

så giver jeg den en udbefaling

og
så stopper den.
Så vil de tre tilbageblevne møller regulere et lille stykke på for at kompensere for de fem kilo, der lige er forsvundet.

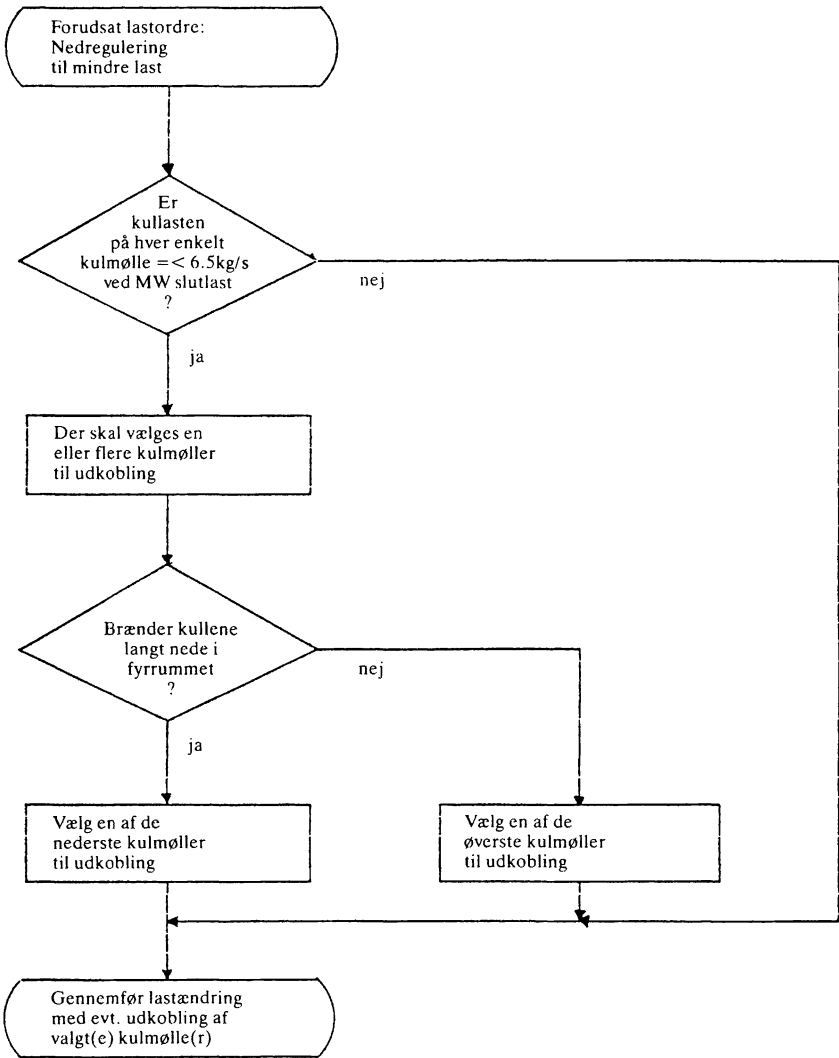
Uddrag af interview 4

Hvis jeg skal regulere så langt ned, at jeg er nødt til at stoppe en kulmølle så vil jeg tage stilling til, hvad for en kulmølle jeg vil stoppe.
Og så vil jeg køre den kulmølle på minimumsbelastning i et stykke tid, eller et godt stykke tid, inden at de andre kulmøller, der skal blive i drift er reguleret ned.
Når de kulmøller, der skal blive i drift, så er reguleret ned på næsten minimum,
så vil jeg forvælge et programstop af den mølle, der skal stoppe.
Når møllen er stoppet
og
når de andre kører op, som de skal,
så konstaterer jeg bare, om de tilbageværende møller kan klare den last, og det skulle de gerne kunne.
Den mølle, der bliver tilbage har en last på et minimum, der svarer til 5 kilo pr. sekund,
så skal man jo lige have regnet ud, kan de andre - de møller der bliver tilbage i drift, kan de klare de 5 kilo pr. sekund, og inden skal man jo ikke stoppe den sidste mølle.
Fordi
så kan man ikke holde trykket, eller temperatur eller noget
og
så kan man gå hen og få kanlastindgreb, sådan at turbinen bliver tvangsnedreguleret - længere ned end man egentlig skulle eller burde.

På grundlag af disse og andre udtalelser, suppleret med oplysninger fra tekniske specifikationer, er det muligt at skitsere den generelle ræsonnementsstruktur for f.eks. afgørelsen af, om der skal tages en mølle ud, og hvilken det eventuelt skal være (se fig. 4).

Den ovenstående del af videnindhentningsprocessen vurderes af Hoffmann (1987) at ville tage 3 mande-måneder for et enkelt, afgrænset videndomme. Tilsvarende anslår Hayes-Roth et al. (1983), at det vil kræve adskillige måneders samvær med eksperter, før man har afdækket de basale begreber og relationer, der skal til for at konstruere en videnbase med få hundrede regler og parametre.

Fig. 4: Simplificeret flowdiagram over beslutningsproces ved valg af kulmølle til udkobling i forbindelse med lastændring.



Tilbage står problemer med at få afdækket den skjulte viden, som er indeholdt i de operative færdigheder og i ekspertens omverdensmodel. Videnindhentningsprocessen får nu karakter af afpudsning og forfinelse, så ekspertsystemet også kan inkorporere den viden, som anvendes i specielle til-

fælde. Eller evt. udstyres med »dyb viden«, dvs. formelle modeller af processuelle sammenhænge i afgrænsede dele af ekspertfeltet.

7. Skjult viden og provokeret konceptualisering

Som nævnt i afsnittet om eksperternes videnformer, eksisterer der et væsentligt problem med at få ekspliciteret ekspertens viden på en begrebslig form, hvilket er forudsætningen for, at den kan håndteres af de symbolbehandlende maskiner.

Formålet med at nedbryde automatikken i ekspertens perceptuelle, motoriske og kognitive operationer er netop at sætte ham i stand til at redegøre for deres genstande og betingelser.

En måde at gøre dette på er at tilbageholde information for eksperten. Duncan (Prætorius & Duncan, 1986) skjulte kontrolpanelet for en gruppe proces-operatører. De skulle så specificere de informationer, de ønskede at få, for at kunne stille diagnoser om anlæggets tilstand. Det viste sig at være en effektiv metode til at få verbale rapporter om operatørernes viden og heuristikker, som ellers ville have været svære at sætte ord på. (Ibid.)

Hoffman (1987) har anvendt en tilsvarende metode. Han fratog eksperterne nogle af de kilder, de normalt anvendte som grundlag for vurderinger, og bad dem forsøge at løse opgaven alligevel. Denne metode, mener Hoffman, er specielt anvendelig til at give informationer om ekspertens strategier i modsætning til hans faktuelle viden. De ufuldstændige informationer fører nemlig til formuleringen af hypoteser frem for færdige konklusioner. Han gør dog opmærksom på, at metoden kan være provokerende for en ekspert, der er vant til at underbygge sine vurderinger bedst mulig og hellere vil undlade at komme med konklusioner end risikere, at de er ukorrekte. Derfor er det vigtigt at gøre ham helt klart, at der ikke er tale om en testning af hans viden eller intelligens (Ibid.).

Samme forfatter foreslår at lade eksperterne udføre velkendte opgaver under tidspres. F.eks. ved kun at lade ham undersøge et kildemateriale i meget kort tid og så få ham til at komme med en vurdering. Det vil tvinge ham til at tage en række forbehold i sine vurderinger, og de vil vise, hvilke uafklarede spørgsmål han ville have søgt besvaret med længere tid til rådighed (Hoffman, 1987). Den tidlige rækkefølge af de kognitive operationer nedbrydes, og derved er det muligt at fastlægge de enkelte elementer i en ellers automatisk ræsonnementskæde.

Endelig kan man vente på, at uvante situationer indtræffer, og så være parat til at registrere, hvordan eksperten tackler disse »naturlige« nedbrydelser af rutinerne. Men sådanne situationer er som regel sjældne, og der er kun en lille sandsynlighed for, at videnindhentningen vil være til stede, når de indtræffer. Derfor anbefaler Hoffman (1987), at man lader eksperten gå rundt med en lille båndoptager og instruerer ham om at tænde for den og afgive en verbal protokol, når der sker noget uventet.

7.1 Afdækning af maskinmestrenes skjulte viden

De visuelle orienterings-strategier spiller en afgørende selekterende rolle for ekspertens indhentning af omverdens-informationer. Oplysninger om sådanne strategier er derfor særdeles interessante for modellering af ekspertise i »hvad man skal kigge efter«. Det er f.eks. den viden, røntgenlægen besidder. (Papin et al., 1984). Men qua deres uvilkårlige, perceptuelt-motoriske natur er disse reaktioner vanskeligt tilgængelige for en sproglig udredning. Selvom maskinmestrene blev opfordret til at fortælle præcis, hvor de kiggede på kontrolpanelerne, var det kun få orienteringsprocesser de kunne verbalisere; meget hurtigt faldt de tilbage til at konstatere resultatet af orienteringsaktiviteterne i begreber om overordnede procestilstande.

En måde, hvorpå den implicite viden bag mestrenes orienteringsstrategier kan afdækkes, er ved at optage deres synsretninger på en såkaldt »eye mark recorder«. Den genererer en videooptagelse af forsøgspersonens visuelle felt, hvorpå to små mærker viser, hvordan hvert øjes fikseringspunkt flytter sig i feltet. (Hansen & Støvring, 1988). Ved at lade mestrene retrospektere en sådan optagelse og stoppe den på særligt interessante tidspunkter, håber vi på at kunne afdække rationalet bag nogle af deres visuelle overvågningsrutiner.

Det er ikke muligt at anvende metoderne med at tilbageholde information eller indføre tidsbegrænsninger på et ekspertisefelt som maskinmestrenes, hvor procesoperationerne må udføres sikkert og rettidigt. Uheld kan koste mange millioner i komplekse industrielle anlæg. Anlæggene er designet til at minimere risikoen for uforudsete begivenheder. Derfor er det ikke engang sandsynligt, at sådanne ville indtræffe under en videnindsamlingsperiode over måneder. Og skulle de optræde, må der reageres så hurtigt, at maskinmestrene ikke kan bekymre sig med at tænde for en båndoptager og »tænke højt«. Et alternativ til denne metode ville derfor være at forlade sig på mestrenes episodiske erindringer. Uvante situationer huskes som regel godt, og med støtte fra logbøger og indberetninger vil det være muligt at rekonstruere begivenhedernes gang og lade mestrene redegøre for deres overvejelser undervejs. Selvom nogle af disse redegørelser utvivlsomt er efterrationaliseringer, vil de alligevel kunne give et indblik i de dybere ræsonnementer, mestrene udfører på anlæggets tilstande i specielle tilfælde.

Ovenstående metodiske modificeringer understreger, at der ikke findes en standardopskrift på en videnindhentningsproces. Denne må selvsagt tilpasses ekspertens, domænet og ekspertsystemets kommende funktioner, men det er, finder vi, en inspirerende udfordring til en kreativ anvendelse af erfaringerne fra den eksperimentelle psykologi.

8. Den logiske implementering af videnbasen

Det vil føre langt ud over denne artikels emnegrænse at beskrive alle de datalogiske principper bag implementeringen i et faktisk ekspertsystem.

Men man behøver heller ikke have et dybt kendskab til programmering for at få lagt væsentlige dele af videnbasen ned i et ekspertsystem. I dag eksisterer der nemlig en lang række domænespecifikke system-»skaller« til udvikling af videnbaserede systemer indenfor f.eks. elektronik, produktions-tilrettelæggelse eller økonomistyring; den første skal til neuropsykologisk testadministration har såmænd også set dagens lys. Disse skaller kan være mere eller mindre brugervenlige, men de tilstræber som oftest en grænseflade med diverse muligheder for at kunne konsultere videnbasen.

8.1 Programsimulering af maskinmestrenes ræsonnementer

Som et check på validiteten af Studstrupundersøgelsens resultater valgte vi at forsøge at simulere de beslutninger og handlinger, som mestrene foretager. Det skete ved at nedlægge de data, der er blevet beskrevet i det foregående, i en »skal« som er baseret på programmeringssproget »Prolog«.

Nedenfor er vist et eksempel på, hvordan man kan implementere mestrens overvejelser om, hvorvidt der skal tages en kulmølle ud og i bekræftende fald, hvilken mølle det skal være. Man bemærker, at programmeringen kan foregå i noget nær naturligt skriftsprog. Programmet kan generere en oversigt over dialogtræets forskellige sektioner, kontrollere om videnbasen er konsistent og kan »forklare«, hvorfor den stiller bestemte spørgsmål ved at henvise til den ræsonnementsproces, den prøver at nå til bunds i.

Programmet er struktureret som en række *sektioner*, hvori der kan være indeholdt regler, råd og systemkommandoer. Disse udløses af forskellige variable *parametre*, som systemet spørger brugeren om værdien af, hvis de ikke allerede findes i databasen.

Endelig er der mulighed for at indlægge uddybende forklaringer til de enkelte spørgsmål.

Program-udsnit:

```
sektion kulmølleudtag : 'Vurdering af behov for kulmølleudtag',  
hvis kulmøllelast_slutværdi <= 6.5  
råd 'Der skal tages en kulmølle ud' &  
'idet kulmøllernes slutlast ellers' &  
'ville være blevet 'kulmøllelast_slutværdi' kg kul/sek' &  
'Ved udtag af en mølle, vil slutlasten på møllerne være:' &  
"ny_kulmøllelast_slutværdi"
```


udfør kulmøllevalg

hvis kulmøllelast_slutværdi > 6.5

råd 'Det er ikke nødvendigt at tage en mølle ud'

udfør generel_ overvågning

sektion kulmøllevalg: 'Hjælper med at vælge den kulmølle, der skal kobles ud'

hvis kulbrand_i_fyrrummet råd

'Vælg en mølle i nederste række'

hvis ikke (kulbrand_i_fyrrummet)

råd 'Vælg en mølle i øverste række'

udfør udkobling

parameter kulmøllelast_slutværdi: 'Fastlægger kulmøllernes slutlast'

type tal

forklaring

'Her udregnes slutværdien for kulmøllernes last' &

'ved fordelingen af den bloklast, som lastplanen' &

'angiver, på de tilbageværende møller'

regler

(lastplan/(brændværdi*blokvirkningsgrad))/antal_idriftværende_møller.

parameter kulbrand_i_fyrrummet: 'kullene brænder i fyrrummet'

type logisk

spørgsmål 'Brænder kullene i fyrrummet?'

Vi har ikke gjort os klart, hvad et program af denne type kan bruges til. Måske som et »intelligent« undervisningsprogram, der kan supplere den praktiske oplæring af nye maskinmestre. I første omgang har vi fundet det særdeles anvendeligt til at danne os et overblik over maskinmestrenes ræsonnementer. Et sådant overblik vil være et nødvendigt udgangspunkt for enhver videnmodellering i mere komplekse ekspertsystemer. Derfor kan vi anbefale, at videnindhentere uden dybt kendskab til programmering eller tæt kontakt til dataloger gør brug af skallerne som et medie til at beskrive en ræsonnementsproces. Denne beskrivelse kan være til egen afklaring eller indgå som dokumentation i en fortsat videnmodelleringsproces.

9. Afslutning

Ovenstående har været et forsøg på at få kommunikeret en række praktiske erfaringer med indhentningen af viden til ekspertsystemer. Nogle af disse stammer fra den eksperimentelle psykologi, og andre er blevet udviklet i speciel tilknytning til videnindhentningsprojekter. De kan måske så til gengæld inspirere psykologer med andre typer undersøgelsesopgaver.

Der har været rejst en stærk kritik af ambitionerne om at simulere menneskelig viden. Nogle har hævdet, at det er umuligt og uforsvarligt. Denne diskussion bliver ofte ført på et plan, der er meget abstrakt og filosofisk for os. Vores egen erfaring er, at først da vi fik et praktisk, ingeniørmæssigt forhold til kunstig intelligens, begyndte vi for alvor at forstå dens begrænsninger.

Undervejs med udviklingen af det beskrevne system har vi bl.a. diskuteret, hvor ufleksible sådanne ekspertsystemer er i sammenligning med eksperten. Hvor ofte mennesker anvender »skjult viden«. At eksperten i tillæg til specialistopgaverne også har en lang række sociale funktioner, som ikke kan overtages af et edb-program, selvom det er lige så fagligt »dygtigt«. At det kan få store konsekvenser for organisationsstrukturer og arbejdsindhold ~~at~~ indføre ekspertsystemer. At der er stor forskel på, om systemerne tildeles automatisk beslutningskompetence, eller de blot har rådgivende funktioner. Vi føler os overbevist om, at sådanne diskussioner om de praktiske konsekvenser af ekspertsystemerne vil blive centrale for psykologer i de kommende år.

I mange beretninger fra videnmodelleringsprojekter bliver det fremhævet, at indhentningen af eksperternes viden er *flaskehalsen* i konstruktionen af ekspertprogrammer. (Hoffman, 1987; Leplat, 1986). Man har forsøgt at udvikle formaliserede procedurer for denne proces mhp. at kunne systematisere indhentningen og prototypekonstruktionen af programmer. (Lenat, Prakash & Shepherd, 1986; Greef & Breuker, 1985). Spørgsmålet er, om flaskehalsen kan fjernes alene ved at udvikle stadigt mere sofistikerede rutiner til videnbase-struktureringer. Som Hoffman (1987) udtrykker det, kan edb-folk virkelig godt lide »at spænde den logiske vogn foran den psykologiske hest«.

Vi vil mene, at videnindhentning fordrer et dybtgående kendskab til mellemmenneskelige variable, situationsfornemmelse og kommunikative evner, som ikke kan formaliseres i procedurer. Hvis ikke eksperten oplever et fortløftligt forhold til videnindhenteren, kan han forventes at reagere med passiv modstand. Muligvis er han usikker på, om han vil blive stillet til ansvar for programmets kommende vurderinger, om det vil fratage ham indflydelse eller eventuelt gøre ham arbejdsløs. Sådanne usikkerheder må afklares, og det kræver en intim fornemmelse for ekspertens komfort under hele projektarbejdet.

Psykologer er trænet i eksplorativ afdækning af klienters verdensmodeller, hvilket bl.a. indebærer indlevelsesevne, opmærksomhed for kropssprog, dobbeltkommunikation og problemfortrængning m.m. Forhold der alle er til stede i mødet med eksperten.

Psykologien er det fagområde, der på en gang kombinerer viden om kognitiv repræsentation af virkeligheden, organisations- og systemteori og interviewmetodik med en lang tradition for optagelse af subjektive informationer under kontrollerede (eksperimentelle) omstændigheder.

For os at se repræsenterer videnindhentning et interessant og potentielt

arbejdsfelt for psykologer. Hvis vi vil, og hvis det nødvendige uddannelses-tilbud tilrettelægges.

LITTERATUR

- BASTLUND, C. et al: *Programmeringsværktøjer til ekspertsystemer*. DIKU, København, 1987.
- BRACHMAN, R.J.: On the epistemological status of semantic networks. In: Findler, N. Y.: *Associative networks, representation and use of knowledge by computers*. p. 3-50, N.Y., 1979.
- BÆRENTSEN, K.B.: *Procesoperatørers Kooperation, kommunikation og kognition på tre kraftværker*. Mimeo, Psykologisk Institut, Århus, 1987.
- BÆRENTSEN, K.B. & KVORNING, J.: *Winfried. Et program til analyse af arbejdsobservationsprotokoller*. Teknisk rapport nr. 2 fra projekt: »Kooperation, kommunikation og kognition blandt maskinmestre og andet driftspersonale på tre generationer kraftværker«. Stencil, Århus, 1988.
- DE GROOT: *Thought and choice in chess*. Paris, 1965.
- DORODNITSYN, A. A.: Informatika: Predmet i zadaci, *Priroda*, 1985, No. 2, s. 26-29.
- DUDA, R.O. & SHORTLIFFE, E.H.: Expert Systems Research. *Science*, Vol. 220, 1983, s. 261-268.
- ERICSSON, K.A. & SIMON, H.A.: Verbal reports as data. *Psychological Review*, vol. 87, p. 215-251, 1980.
- ERICSSON, K.A. & SIMON, H.A.: *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, 1984.
- GEVARTER, W.B.: Expert systems: Limited but powerful, *IEEE Spectrum*, Vol. 20 (2), 1983, s. 39-45.
- GREEF, P. & BREUKER, J.: A case study in structured knowledge acquisition. In: Joshi, A.: *Proc. of the 9th Int. joint Conf. on AI*. 1985.
- HANSEN, J.P. & STØVRING, M.: Udfordringer er blikfang. *Hrymfaxe*, nr. 3, p. 28-31, 1988.
- HART, A.: *Knowledge Acquisition for Expert Systems*. Kogan Page, London, 1986.
- HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A. & LENAT, D.B. (eds.): *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, London etc., 1983.
- HOC, J.-M. & LEPLAT, J.: Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. *Int. J. Man-Machine Studies*, vol. 18, p. 283-306, 1983.
- HOFFMAN, R.R.: The Problem of Extracting the Knowledge of Experts from the Perspective of Experimental Psychology. *A.I. Magazine*, 1987, No. 3.
- KELLY, G.A.: *The psychology of personal constructs*. N. Y., 1955.
- LENAT, D., PRAKASH, M. & SHEPHERD, M.: CYC: Using common sense knowledge to overcome brittleness and knowledge acquisition bottlenecks. *The AI-Magazine*, p. 65-85, Winter, 1985.
- LEONTJEV, A.N.: *Problemer i det psykiskes udvikling*. I-III. København, 1977.
- LEPLAT, J.: The elicitation of expert knowledge. In: Hollnagel, E., Mancini, G. & Woods, D.D. (eds.): *Intelligent decision support in process environments*. Berlin, 1986.
- LEPLAT, J. & HOC, J.-M.: Subsequent verbalization in the study of cognitive processes. *Ergonomics*, vol. 24, p. 743-755, 1981.
- LEVIN, J.A., RIEL, M.M., COHEN, M., GOELLER, M., BORUTA, M. & MIYAKE, N.: Reflexibility in problem solving: The social context of expertise. *Proc. of The Eight Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Massachusetts, 1986.
- MOLZBERGER, P.: Aesthetics and programming. In: Janda, A. (eds.): *Human factors in computing systems*. Proc. of CHI '83 Conference, Amsterdam, 1984.

- NISBETT, R.E. & WILSON, T.D.: Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, Vol. 84, p. 231-259, 1977.
- PAPIN, J.M., METGES, P. & AMALBERTI, R.: Use of NAC eye mark by radiologist. In: Gale & Johnson (eds.): *Theoretical and applied aspects of eye movement research*. Amsterdam, 1984.
- POLANYI, M.: *Personal knowledge*. London, 1958.
- PRÆTORIUS, N. & DUNCAN, K.D.: Verbal reports in psychological investigations: A logical and psychological analysis. *Psyke og Logos*, Vol. 7, p. 259-287, 1986.
- RASMUSSEN, J.: *The human data as a system component. Bits and Pieces of a model*. RISØ-M-1722, Roskilde, 1974.
- RASMUSSEN, J.: *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam, 1986.
- RYLE, G.: *The concept of mind*. London, 1949.
- SEIDEL, R.: *Denken. Psychologische Analyse der Entstehung und Lösung von Problemen*. Frankfurt, 1974.
- SIDDIGI, J. & KHAZAEI, B.: To intervene or not to intervene, that is the question . . . *Proc. of 5th Symposium on Emperical Foundatios of Information and Software Science*. Risø, 1987.
- SIMON, H.: What Computers Mean for Man and Society. *Science*. Vol. 195, 1977, s. 1186ff.
- WIELINGA, B.J.: *Knowledge acquisition*. Lecture Notes, ACAI, Oslo, 1987.
- WIELINGA, B.J. & BREUKER, J.A.: *Interpretation of verbal data for knowledge aquisition*. Report 1.4, Esprit Project 12, University of Amsterdam, Amsterdam, 1984.
- VOLPERT, W.: The model of the hierarchical-sequential organization of action. In: Hacker, W., Volpert, V. & Cranach, M.V. (eds.): *Cognitive and motivational aspects of action*. p. 35-51, Amsterdam, 1982.
- WINOGRAD, T.: *Natural language understanding*. N.Y., 1984.