



Inddragelse af usikkerhed i økonomiske beregninger for energiteknologier

Nielsen, Lars Henrik

Publication date:
1987

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, L. H. (1987). *Inddragelse af usikkerhed i økonomiske beregninger for energiteknologier*. Roskilde: Risø National Laboratory. Risø-M, Nr. 2665

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Inddragelse af usikkerhed i økonomiske beregninger for energiteknologier

Lars Henrik Nielsen

RISØ-M-2665

INDDRAGELSE AF USIKKERHED I ØKONOMISKE
BEREGNINGER FOR ENERGITEKNOLOGIER

Lars Henrik Nielsen

Abstract. Rapporten omhandler et metodestudie omkring inddragelse af usikkerheder i økonomiske vurderinger af energiteknologier. Arbejdet er udført for Nordisk Ministerråd og Det danske Energiministerium. Probabilistiske beregninger og følsomhedsanalyser benyttes i kombination til at give et overblik over de involverede usikkerheder. Sandsynlighedsfordelinger på nøgletal, som eksempelvis annuierede energipriser i differensprojekter, bestemmes ved brug af Monte Carlo simulering. Beregningerne udføres på privat- og samfundsøkonomisk grundlag. Beskæftigelses- og import-effekter kan inddrages i analyserne. Beregningerne baseres på detaljerede data for indgående komponenter m.v. inklusiv beskæftigelses- og importkoefficienter. Antagelser omkring overordnede skyggepriser kan indgå i beregningerne. Den udviklede model (MUSA) tillader alle variable at optræde som stokastiske variable, og stokastiske afhængigheder i datamaterialet kan inddrages. Modellen tillader endvidere usikkerheder omkring brændselsprisprognoser inddraget i beregningerne. Begrebsmæssigt simple procedurer benyttes til angivelse af empiriske eller subjektive korrelationer i datamaterialet.

(fortsættes næste side)

Juni 1987

Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark

Følsomhedsanalyser anvendes til at beskrive indflydelsen fra individuelle datafordelinger og stokastiske brændselsprisudviklinger på beregnede usikkerheder. Herved identificeres større og mindre betydende faktorer for den økonomiske risiko. Modellen benytter i vid udstrækning grafisk præsentation af data og beregningsresultater. Dette øger overskueligheden af ofte mange samspillende usikre størrelser i analyserne. Forudsætninger og resultater fremlægges af modellen på præsentationsark, der giver beslutningstageren mulighed for at anvende en række forskellige basale beslutningskriterier. Modellens anvendelse og anvendelighed er illustreret via eksempler. Sigtet med den udviklede model har været at skabe et værktøj for eksempelvis planlæggere på energiområdet, hvormed usikkerheder kan inddrages i analyserne på praktisk og fleksibel måde.

ISBN 87-550-1358-9

ISSN 0418-6435

Grafisk Service Risø 1987

INDHOLD

	Side
1. INDLEDNING	7
2. USIKKERHED	10
2.1. Usikkerhed og probabilistiske beregningsmetoder	10
2.2. Beslutningskriterier under usikkerhed	13
3. MUSA-MODELLEN	20
3.1. Modeloversigt	23
3.2. Monte-Carlo simulering	27
4. STOKASTISK MODELLERING OG MUSA-MODELLEN	29
4.1. Stokastiske variable	29
4.2. Stokastisk uafhængige variable	31
4.3. Stokastisk afhængige variable	32
4.4. Modellerede betingede fordelinger	38
5. USIKKERHED PÅ BRÆNDSSELSPRISPROGNOSER	44
6. TEKNISK/ØKONOMISKE BEREKNINGER	49
6.1. Datastruktur	49
6.2. Beregningsstruktur	53
7. KØRSLER MED MUSA-MODELLEN	61
7.1. Valg af testteknologier samt generelle beregningsforudsætninger	61
7.2. Bemærkninger til grafiske præsentationer	66
7.3. MUSA-kørsler på norske data	71
7.4. MUSA-kørsler på svenske data	84
7.5. MUSA-kørsler på finske data	96
7.6. MUSA-kørsler på danske data	111
7.7. Sammenstilling af nationale beregnings- resultater	136

	Side
REFERENCER	142
 BILAG:	
A. Éndimensionale fordelinger i MUSA	143
B. Konference indlæg: Inclusion of uncertainty in economic assessments of energy technologies	152

Slutrapport for projektet:

Inddragelse af usikkerhed i økonomiske beregninger for energiteknologier

Projektet er udført i henhold til projektbeskrivelsen af 24. september 1984, SYS, Risø, og bevillingsskrivelserne af 5. november 1984 (projektets fase I) og 21. februar 1986 (projektets fase II) fra Nordisk Ministerråd.

Nærværende slutrapport sammenfatter arbejdet udført under projektets to faser.

Baggrund

Nærværende projekt har udgangspunkt i et nordisk seminar med titlen "Energiplanlægning under usikkerhed", som kom i stand på Nordisk Ministerråds initiativ.

Seminaret fandt sted i Kungälv, Sverige, 24-25 maj 1984.

Sigtet med dette seminar var at give mulighed for informations- og meningsudveksling mellem nordiske forskere, udredere og administratorer på energiområdet og at skabe forudsætninger for en grundig vurdering af mulighederne for i hele Norden at drage nytte af erfaringer opbygget i de enkelte nordiske lande. Det var endvidere hensigten at skabe forudsætninger for at vurdere behovet for fælles nordiske forskningsprojekter om behandling af usikkerhed i energiplanlægningen.

Deltagere i seminaret var opfordret til at fremkomme med forslag til projekter på området "Energiplanlægning under usikkerhed", der kunne have fælles nordisk interesse. Blandt de indkomne forslag var nærværende projekt fra ESG, Risø, der af Nordisk Ministerråd blev fundet relevant som et fælles nordisk

projekt. Projektets fase I blev igangsat 1. januar 1985 med ligelig finansiering fra Nordisk Ministerråd og Det danske Energiministerium.

Formål

Nærværende projekt omfatter et metodestudie omkring inkorporering af usikkerheder i økonomiske beregninger for energiteknologier.

Hensigten med det udviklede modelværktøj er

- at kunne inddrage statistisk spredning og/eller usikkerhed, i økonomiske beregninger på energiområdet.
Under inddragelse af usikkerheder har det yderligere været formålet at kunne samle vurderinger af beskæftigelses- og importkvoter, knyttet til investeringsposter, vedligeholdelsesudgifter, løbende brændselsudgifter m.v. for energiteknologier, til endelige kvoter for projekter i deres helhed.

- at kunne sammenregne beskæftigelses- og importkvoter for energiteknologier med tilknyttede skyggepriser i samfundsøkonomiske projektvurderinger.
Det har ikke været hensigten at fastlægge metoder til bestemmelse af skyggepriser, men at forme en model, som kan inddrage givne ansættelser af skyggepriser i samfundsøkonomiske analyser. Et hovedformål med modellen har været at få et konsekvensberegningsværktøj over for forskellige ansættelser af skyggepriser, hvor usikkerheder naturligt indgår i analysen.

Konference

I forbindelse med iværksættelsen af projektet var det aftalt, at der ved afslutningen af fase I blev afholdt et nordisk seminar om emnet.

Da der siden blev konstateret betydelig international interesse for inddragelse af usikkerhed i modelberegninger, blev det besluttet at erstatte det nordiske seminar med en bredere international konference.

Konferencen fandt sted på Risø i dagene 11-12 februar 1986.

Målet med konferencen var at samle forskere, økonomer, folk fra industrien, planlæggere på energiområdet, og beslutningstagere til en diskussion af, hvad der kan eller burde gøres omkring inklusion af usikkerheder i modelberegninger.

Konferencen var organiseret med 15 indlæg opdelt i 4 sessioner under emnerne: Energi og Økonomi, Pålidelighed, Metoder og Planlægning.

Der var bred interesse omkring konferencen, som samlede 100 deltagere repræsenterende 12 lande.

Et indlæg omkring nærværende projekt findes som bilag B.

2. USIKKERHED

Ordet usikkerhed skal i denne sammenhæng forstås i betydningen ubestemthed. I dette projekt fokuseres på usikkerheder i forudsætninger til økonomiske vurderinger af energiteknologier, samt på de heraf afledede usikkerheder på beregnede økonomiske diskriptorer - eksempelvis nuværdier.

Fundamentalt set forudsættes det, at usikkerheder på disaggregeret niveau kan bestemmes eller vurderes kvantitativt. Målet er så at vise, hvorledes disse usikkerheder opbygger og influerer usikkerheder på aggregeret niveau.

I det følgende afsnit motiveres inddragelsen af usikkerheder i økonomiske vurderinger. Herefter (afsnit 2.2) gives en eksemplificeret beskrivelse af nogle beslutningskriterier under usikkerhed.

2.1. Usikkerhed og probabilistiske beregningsmetoder

Usikkerhed omkring forudsætninger i økonomiske vurderinger giver i gængse vurderinger ofte anledning til en række følsomhedsanalyser og scenarier. Enkeltparametre varieres og konsekvenser heraf sammenholdes med centrale beregninger. Dette betyder ofte, at beslutningstageren selv skal skaffe sig overblik over et stort talmateriale.

Over for sådanne vurderinger kan man indvende, at de, hvad angår behandling af usikkerhed, kan være uoverskuelige, og at de ikke bringer beslutningstageren information om, med hvilken sandsynlighed konsekvenser kan forventes at optræde. Desuden savnes et overblik over samspillet mellem usikkerheder i forudsætningerne. De samlede konsekvenser af mange koblede usikre forudsætninger vil derfor være vanskelige at bedømme på dette grundlag.

På ovennævnte punkter frembyder probabilistiske metoder et effektivt værktøj, hvormed det er muligt at sætte sandsynligheder på konsekvenser på basis af erfaringer og forventninger omkring de indgående forudsætninger i vurderingerne. Det samlede overblik over mange samspillende usikre forudsætninger vil være beskrevet ved sandsynlighedsfordelinger for de økonomiske og tekniske nøgletal, beslutningstageren fokuserer på.

Desuden vil en probabilistisk beregningsform give mulighed for at inddrage megen information, som kun vanskeligt vil kunne udnyttes med ikke-probabilistiske beregningsmetoder. Dette kan være statistisk viden eller eksperters detaljerede vurdering af eksempelvis enkeltparametre og stokastiske relationer i forudsætninger.

På detaljeret niveau kan der foreligge informationer i form af direkte erfaringer eller "begrundede formodninger", der kan tilskrive sandsynligheder eller forventninger til variationsområdet for eksempelvis en komponents pris og levetid. Mere subjektive antagelser omkring parametres variationsområde og en direkte formulering af manglende viden vil naturligt kunne indtages i analyser baseret på probabilistisk beregningsform.

Følsomhedsanalyser er meget informative, men bør ikke stå alene. Tilsvarende bør en probabilistisk beregnet sandsynlighedsfordeling suppleres med informationer, der kan belyse, hvorledes den totale usikkerhed er sammensat.

I dette projekt bliver følsomhedsanalyser og probabilistiske beregninger kombineret. Ved brug af følsomhedsanalyser er det muligt at beskrive, hvorledes den totale usikkerhed opbygges af usikkerheder i data for enkeltparametre. Følsomhedsanalyser baseret på usikkerhed i data kan belyse, hvor meget usikkerheden på de enkelte parametre bidrager til den samlede usikkerhed. Beslutningstageren får herigennem f.eks. viden om, hvilke parametre der i vurderingerne i særlig grad bidrager til den økonomiske usikkerhed, og dermed hvilke parametre det i den aktuelle

planlægningssituation er særlig væsentligt at have opmærksomheden rettet imod.

Modellen MUSA¹⁾, der er udviklet i projektet, benytter sig i udstrakt grad af en grafisk præsentation af forudsætninger og beregningsresultater. Dette er gjort, fordi probabilistiske beregninger hensigtsmæssigt lader sig præsentere grafisk, og fordi grafisk præsentation giver mulighed for en på samme tid overskuelig og komprimeret formulering.

1) MUSA: "Model til inklusion af Usikkerheder i System Analyser".

2.2. Beslutningskriterier under usikkerhed

I gængse vurderinger må et projektvalg ofte baseres på centralt beregnede nuværdier, energipriser etc., samt en række følsomhedsanalyser. De økonomiske kriterier, der lægges til grund for en beslutning, relaterer ikke direkte til den økonomiske risiko, idet denne ikke kvantificeres.

Vurderinger, der benytter en probabilistisk beregningsmetode, vil kunne kvantisere økonomisk risiko ud fra usikkerhedsangivelser i data og giver dermed beslutningstageren mulighed for at rangordne projekter ud fra grundlæggende holdninger til økonomisk risiko.

Et eksempel, der understreger behovet for at udnytte al tilgængelig information i projektvurderinger, og som inddrager beslutningstagerens holdning til økonomisk risiko, er følgende:

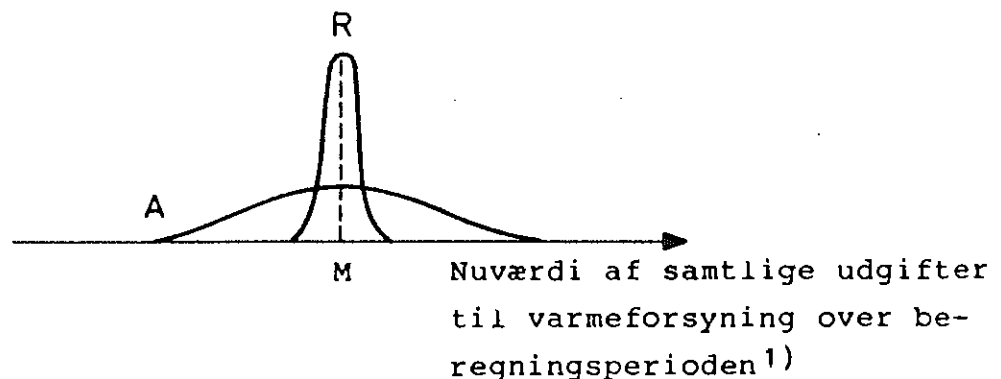


Fig. 1.

1) Arealet af det figurdensnit, der hviler over et nuværdiinterval, udtrykker sandsynligheden for at træffe nuværdier i pågældende interval. Det samlede areal af en figur udtrykker 100% sandsynlighed.

I en differensprojektvurdering foreligger en situation, hvor beregnede sandsynlighedsfordelinger for enkeltprojekternes nuværdier er symmetriske med samme middelværdi. Projekterne adskiller sig imidlertid ved, at spredningen i fordelingen for alternativet A er betragteligt større end spredning i nuværdifordelingen i referenceprojektet R.

Denne situation kunne opstå, når en velkendt energiteknologi vurderes i forhold til en ny teknologi, som har væsentlig større usikkerhed tilknyttet.

Hvis beslutningstageren kun havde information om projekternes middelværdi, ville han ikke kunne skelne mellem projekterne. Projekterne er dog klart forskellige. Løst sagt synes A forbundet med væsentlig større økonomisk risiko end R, men til gengæld har A mulighed for at falde ud med større økonomisk fordel end R.

Sandsynlighedsfordelingen for differensprojektet $D = A - R$ har kvalitativt følgende udseende.

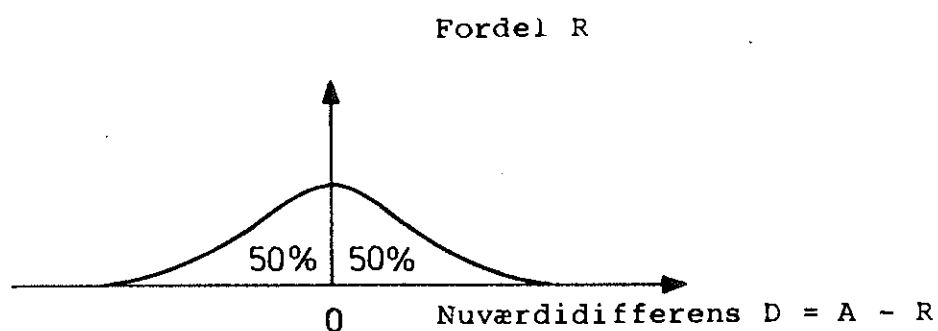


Fig. 2.

Med denne yderligere information er beslutningstageren ikke bedre stillet, idet beregnede sandsynligheder for fordel ved begge projekter er 50%.

Usikkerhedsberegning på differensprojektet alene kan ikke skelne mellem projekterne. Det er derfor væsentlig at bestemme sandsynlighedsfordelingerne for enkeltprojekternes nuværdier og at inddrage beslutningskriterier baseret på beslutningstagerens holdning til økonomisk risiko.

Beslutningskriterier kan være mangeartede, og den sammenhæng, projektvalget indgår i, vil være afgørende for valget af kriterie.

Hvis man vælger at rangordne projekterne, således at det projekt, der har lavest mulige størsteværdi, får højeste prioritet, udtrykkes herved en total risiko-avers eller risikovigende holdning. Der er her tale om det såkaldte "minmax" kriterie, der kun tager hensyn til det dårligst tænkelige udfald.

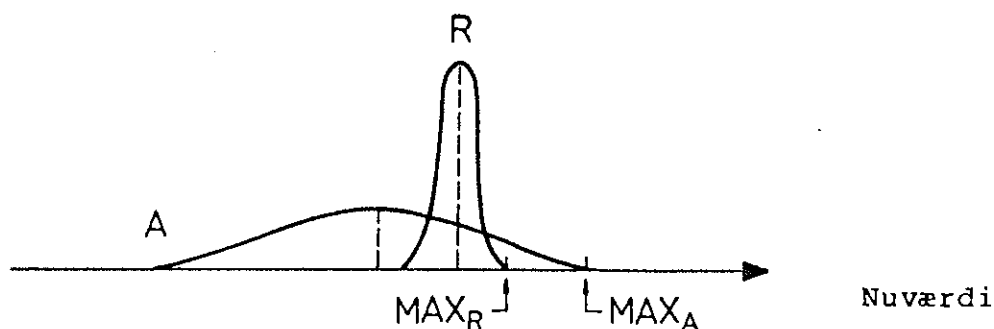


Fig. 3.

Anvendt på eksemplet i figur 3 betyder dette beslutningskriterie, at rangordningen foretages ud fra projekternes højest forekommende nuværdier for varmeudgifterne: MAX_R og MAX_A . Referenceprojektet R vælges derfor, idet $MAX_R < MAX_A$.

Risikoaversion kan gradueres flydende. Den kan være udtrykt i en rangordning af projekter efter en valgt fraktile i sandsynlighedsfordelingerne for enkeltprojekternes nuværdier eller f.eks. være baseret på fordelingernes middelværdi og spredning.

En rangordning efter 90% fraktiler betyder, at enkeltprojekterne tilknyttes værdier, der med en sandsynlighed på 90% ikke overskrides.

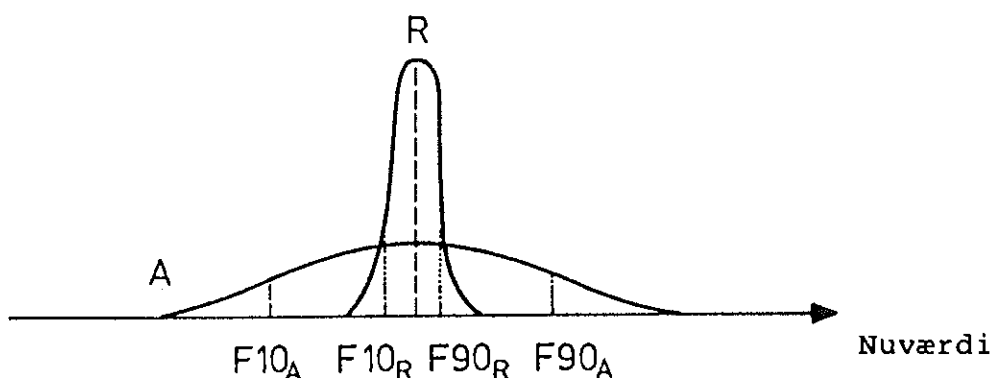


Fig. 4.

Af figuren fremgår, at referenceprojektet R bør vælges ud fra dette beslutningskriterie, da $F90_R < F90_A$.

Havde beslutningstageren en risikovillig holdning kunne denne eksempelvis være udtrykt i en rangordning på basis af nuværdier, som med en sandsynlighed på 90% forventes overskredet. Baseret på dette kriterie (rangordning efter 10% fraktiler) ville det alternative projekt A blive valgt.

Under absolut risikovillighed, hvor beslutningstageren tragter efter største gevinst uanset risiko, vælges ligeledes projekt A, da $MIN_A < MIN_R$.

I den gradvise overgang fra risikovigende beslutningskriterier til risikovillige beslutningskriterier danner 50% fraktilerne i dette specielle eksempel grænsen, hvor projektvalget på det foreliggende datagrundlag skifter fra projekt R i det risiko-averse område til projekt A i det risikovillige område.

Hvis projekter rangordnes efter middelværdier i sandsynlighedsfordelingerne, taler man om risikoneutralitet. Det bør nævnes, at fordelingers middelværdi og 50% fraktiler normalt ikke er sammenfaldende. Desuden vil en nuværdi beregnet på basis af middelværdier i datafordelingerne kunne afvige betydeligt fra

middelværdien i den faktiske sandsynlighedsfordeling for nuværdien. Derfor vil traditionelle ikke probabilistiske beregninger af eksempelvis nuværdier ud fra datamiddelværdier normalt være et utilstrækkeligt grundlag for beslutninger under risikoneutralitet.

I økonomiske termer relaterer en risikoneutral holdning sig til nyttefunktioner med konstant marginal nytte. Antages den marginale nytte aftagende, hvilket vil sige, at nyttefunktionen er stærkest voksende omkring lavere gevinster og tilsvarende kraftigt faldende for relativt små tab, er der tale om en risikovigende holdning. Er omvendt den marginale nytte voksende som funktion af gevinstens størrelse, ligger heri at beslutningstageren vurderer store gevinster højt, mens mindre tab anses for acceptable/betydningsløse. Beslutningstageren er i denne situation risikovillig.

Foruden beslutningskriterier, der lader sig udtrykke i rangordning efter fraktiler og middelværdier, skal en type kriterier fremhæves, som udvælger projekt efter "maksimal sandsynlighed". Her fastlægger beslutningstageren en referencenuværdi og bestemmer for hvert projekt sandsynligheden for forekomst af nuværdier mindre end eller lig med referenceværdien.

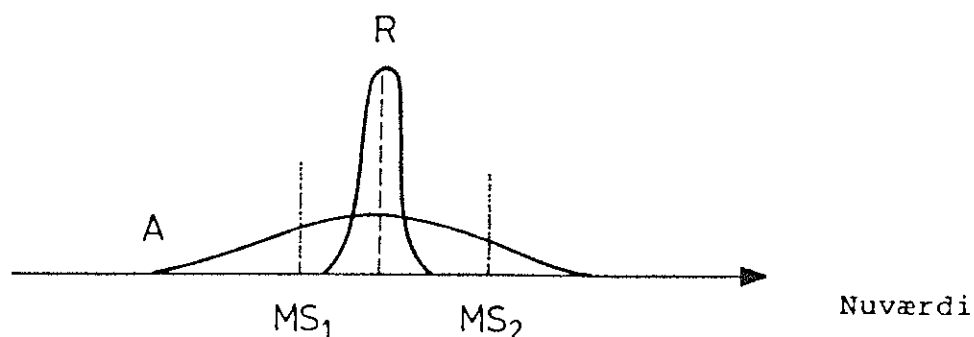


Fig. 5.

Virkende på eksemplet vil dette kriterie med referenceværdien MS_1 , angivet på figur 5, fremhæve projektet A, og ud fra referenceværdien MS_2 vil dette kriterie udvælge projekt R.

De nævnte kriterier vil naturligvis kunne anvendes analogt på sandsynlighedsfordelinger for andre nøgletal, brugeren kunne have ønske om at gå ud fra, og ved rangordning af flere end eksemplets to projekialternativer.

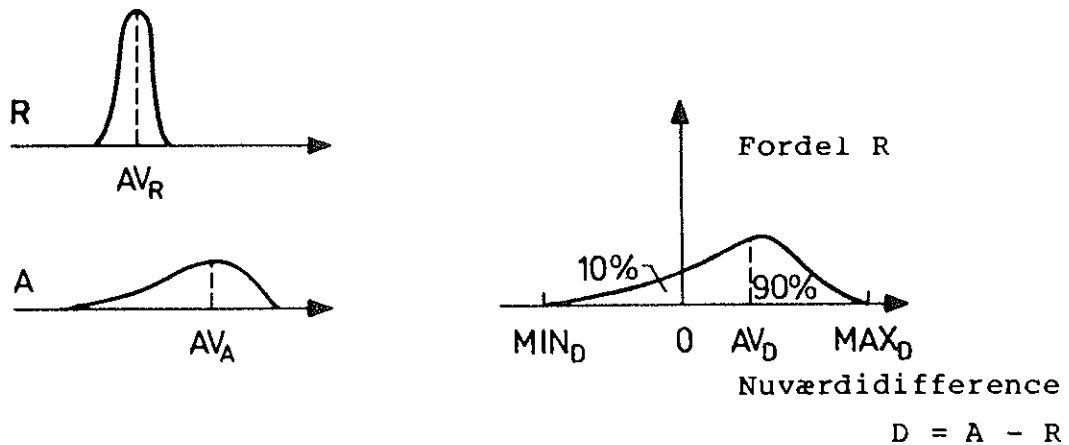


Fig. 6.

I det ovenfor skitserede tilfælde (Fig. 6), hvor middelværdien ikke er den samme for de 2 projekter, fremtræder relevansen af en beregning af sandsynlighedsfordelingen for nuværdidifferencen $D = A - R$.

Under risikoneutralitet er projekt R at foretrække, da middelnuværdien umiddelbart af figuren ses at være lavest i R. Ved anvendelse af de øvrige omtalte kriterier vil samme projekt blive valgt på nær under kriterier, der afspejler stor risikovillighed. Den forventede gevinst ved valget R fremgår af differensfordelingen. I middel kan der forventes en gevinst på AV_D , og i heldigste fald kan en gevinst på MAX_D forekomme. Sandsynligheden for alt ialt at have fordel ved dette valg er 90%, og i uheldigste fald kan tabet højst blive MIN_D .

MUSA-modellens beregninger danner grundlag for umiddelbar anvendelse af de omtalte beslutningskriterier.

Kombinationer af de ovenfor omtalte og andre kriterier ses også anvendt. Kombinerede kriterier vil ofte være relateret til specielle anvendelsessituationer, og disse kriterier vil ofte kræve

særskilte beregninger. I det foregående har det fremlagte beregningsgrundlag for projektvalget alene været sandsynlighedsfordelinger for akkumulerede nuværdier på enkeltprojekter og differensprojekter. Andre nøgletal vil imidlertid ofte have indflydelse på valget. Forholdet mellem brændselsudgifterne og de samlede udgifter i projekterne kan være et nøgletal som bør inddrages. Beslutningstageren kan i denne situation sammenvægte størrelser, indlægge begrænsninger eller kombinere kriterier til et beslutningskriterie, der findes relevant og praktisk i den aktuelle situation.

Forud for en endelig beslutning kan et valgs robusthed undersøges ved at efterprøve dette ud fra flere kriterier. Dette lader sig gøre, når der foreligger et bredt beslutningsgrundlag baseret på dataforudsætninger, man, taget enkeltvis, kan have velbegrundede usikkerhedsangivelser for.

3. MUSA-MODELLEN

MUSA-modellen (Model til inklusion af Usikkerheder i System Analyser) beregner og analyserer

- nuværdier for energikonverteringsanlæg og
- annuiserede energipriser for nyttiggjort energi, som de pågældende teknologier producerer (inkl. kapitaludgifter m.v.)
for enkeltprojekter samt
- nuværdi- og energiprisforskelle i differensprojektvurderinger.

Sammenhørende beregninger udføres på samfundsøkonomisk og privatøkonomisk grundlag.

Samfundsøkonomiske beregninger med modellen tillader inklusion af beskæftigelses- og importforhold omkring brændselspriser, investeringer m.v. samt inddragelse af generelle vægtfaktorer/skyggepriser for beskæftigelsessiden, importsiden og restindkomster.

Nuværdier og energipriser kan opdeles i beskæftigelses-, import- og restindkomstdele under anvendelse af individuelle kalkulationsrenter.

Aggregerede beskæftigelses-, import-, og restindkomstkvoter for enkelt- og differensprojekter bestemmes.

Det skal understreges, at modellen ikke inkluderer metodikker og algoritmer til generering af kvoter på enkeltinvesteringer m.v. eller til bestemmelse af vægtfaktorer/skyggepriser. Modellen er alene udformet med en struktur, der giver mulighed for at inddrage og viderebehandle informationer af denne art.

En nærmere gennemgang af modellens input- og outputsider findes i kap. 6.

Det fundamentale i modellens beregningsform er, at alle data principielt vil kunne opgives med detaljeret usikkerhedsangivelse, og at korrelationer i data vil kunne modelleres. Det forudsættes således ikke, at indgående data er stokastisk uafhængige.

Den generelle problematik modellen primært sigter mod, kan kort skitseres i følgende to punkter:

- Datagrundlaget for økonomisk vurdering af en energiteknologi rummer en række usikre størrelser. Usikkerhederne kan have baggrund i følgende forhold:
 - . Statistisk spredning i det indsamlede datamateriale.
 - . Datainformationer kan være mangelfulde eller ikke eksisterende, evt. kan kun ekstreme grænseværdier fastlægges.
 - . En meget væsentlig kilde til usikkerhed er de fremtidige priser på primærenergi.
 - . Beslutningstageren kan ønske at vurdere konsekvenser af subjektive antagelser omkring usikkerhed/sikkerhed i dataforudsætningerne.

- Brugeren har behov for at kende konsekvenser af mange usikre forudsætninger.
 - . Betydningen af usikkerhed på enkeltparametre ønskes belyst, og sat i relation til andre usikre forudsætninger.
 - . Brugeren ønsker at identificere væsentlige og følsomme parametre.
 - . Der ønskes et samlet overblik over forudsætninger og konsekvenser samt et grundlag, der tillader anvendelse af forskellige basale beslutningskriterier.

Modellen er søgt konstrueret som et hensigtsmæssigt værktøj til løsning af ovennævnte ofte forekommende problematik. På basis af givne data besvarer modellen spørgsmål som:

- Hvad er sandsynligheden for, at et givet projekts nuværdi ligger over (eller under) en given værdi?
Dersom vurderingen angår gennemførelsen af en skare identiske projekter, kan den foregående sætning omformuleres til:
I hvor stor en del af tilfældene kan det forventes, at disse projekters nuværdi ligger over (eller under) en given nuværdi?
- Hvad er sandsynligheden/hyppigheden for nuværdier i et givet interval, og hvad er middelværdien?
- I hvor høj grad influerer usikkerheden omkring en given parameter eller parametergruppe projektets samlede økonomi og den samlede usikkerhed?
- Hvorledes influerer en antagen usikkerhed omkring fremtidige brændselspriser projektets økonomi?
- Hvilket projekt er at foretrække under et beslutningskriterie med krav om "høj økonomisk sikkerhed"?
Det er her op til brugeren selv at definere "høj økonomisk sikkerhed".
- Hvilket projekt bør vælges, dersom beslutningstageren er parat til at løbe en specificeret økonomisk risiko?
Hvad er sandsynligheden for at opnå en fordel ved dette valg, og hvad er sandsynligheden for en gevinst af en given størrelse?
Omvendt fortæller modellen også, hvad sandsynligheden er for at projektvalget medfører tab af givne størrelser, og hvor store tab og gevinster, vil være, i de helt ekstreme og meget usandsynlige situationer, på det foreliggende grundlag.

Modellens probabilistiske beregninger følges op af følsomhedsanalyser på samtlige variable om ønskeligt. Resultater beregnet uden brug af probabilistiske metoder, som beslutningsta-

gere traditionelt har haft som beslutningsgrundlag, vil være indeholdt i modellens følsomhedsanalyser. Den grafiske præsentationsform, som modellen benytter, gør det muligt på kort tid at aflæse og sammenholde følsomhedsanalyser på mange parametre samt at relatere disse til modellens probabilistiske beregningsforudsætninger og resultater.

Da modellen beregner og præsenterer den fulde sandsynlighedsfordeling for valgte tekniske og økonomiske deskriptorer, fremlægger modellen således for beslutningstageren summen af den information, forudsætningerne udtrykker på disaggregeret niveau. Brugeren gives herved mulighed for ud fra et bredt materiale, samlet på overskuelig form, at vurdere konsekvenser af forskellige grundlæggende beslutningskriterier.

Det følgende afsnit giver en overordnet beskrivelse af modellens modulopbygning. I det næstfølgende afsnit 3.2 omtales beregningsmetoden, Monte-Carlo simulering, som modellens probabilistiske beregninger er bygget op omkring.

3.1. Modeloversigt

MUSA-modellen er opbygget som en programpakke bestående af selvstændige programdele, der kommunikerer indbyrdes gennem datafiler.

Denne struktur smidiggør afviklingen af mere omfattende beregningsopgaver, der vil kunne afvikles sekventielt. Flere personer vil samtidig kunne arbejde med forskellige programmoduler i modellen.

På figur 7 er vist en oversigt over programpakken. Med pile er angivet afviklingsforløbet i en kørsel med modellen.

Datamoduler:

Datagivning til modellen styres interaktivt ved eksekvering af programmodulet I1.

I dette modul er datastrukturen for den aktuelle beregningsstruktur indlagt. Beregningsstrukturen består af algoritmer for samfundsøkonomisk og privatøkonomisk analyse af energiteknologier, som beskrevet i kapitel 6.

Input modulet leder brugeren gennem datastrukturen og foretager visse konsistenscheck på givne data, modellerede relationer og korrelationer blandt givne data.

Data fra dette modul overføres til beregningsmodulet gennem datafiler D 1-3.

Brændselsprisprognoser tilknyttes modellen gennem datafilen D 4. Dersom eksempelvis en elprognose skulle afledes af kul- og fuelolieprisprognoser, som tilfældet er i Danmark, kan dette opnås ved brug af programmet I 2, der indeholder nogle relationer brændselspriser imellem gældende for danske forhold.

Datamodulerne er kodet i F77.

Beregningsmodul:

Ovennævnte data læses af beregningsmodulet MAIN. Alle egentlige beregninger udføres i dette modul. Inddata gennemgår nogle konsistenscheck og viderebehandles til endelig form for beregningsstrukturen. Beregningsforudsætningerne udskrives til R 0, og i prepareret form udskrives data til grafisk præsentation til filerne RD 1-3.

I beregningsmodulet udføres følsomhedsanalyser på samtlige stokastisk uafhængige variable for alle beregnede størrelser, dersom dette ønskes, og følsomhedsanalyser m.v. udskrives til R 0, samt til de grafiske programmoduler. Denne del af beregningsmodulet kan afvikles uafhængigt af de stokastiske beregninger.

Efter følsomhedsanalyserne udfører beregningsmodulet stokastiske beregninger. Beregnede fordelinger gennemgår en analyse

og resultater udskrives til filen R 0 og til filerne R 1-5 som viderebehandles af modellens grafiske moduler.

Beregningsmodulet er kodet i F77.

Grafiske moduler:

Modellens grafiske moduler udnytter det grafiske system RIGS (Risø Interactive Graphics System). Disse moduler er interactive programmer, som fremlægger data til og resultater fra beregningsmodulet for brugeren. Et antal præsentationsformater, der er opbygget under brug af RIGS-routiner, står til rådighed for brugeren.

Brugeren dirigerer gennem menuvalg relevante forudsætninger og resultater til grafisk præsentation, samt skriver en uddybende tekst. Genererede billeder kan justeres, ombrydes m.v. under anvendelse af RIGS-faciliteten IMAGEEDITOR.

Billeder udføres i "hardcopy" og/eller lagres i IMAGEFILE for senere bearbejdning eller udtegnning.

De grafiske moduler er kodet i ALGOL.

MODELOVERSIGT MUSA

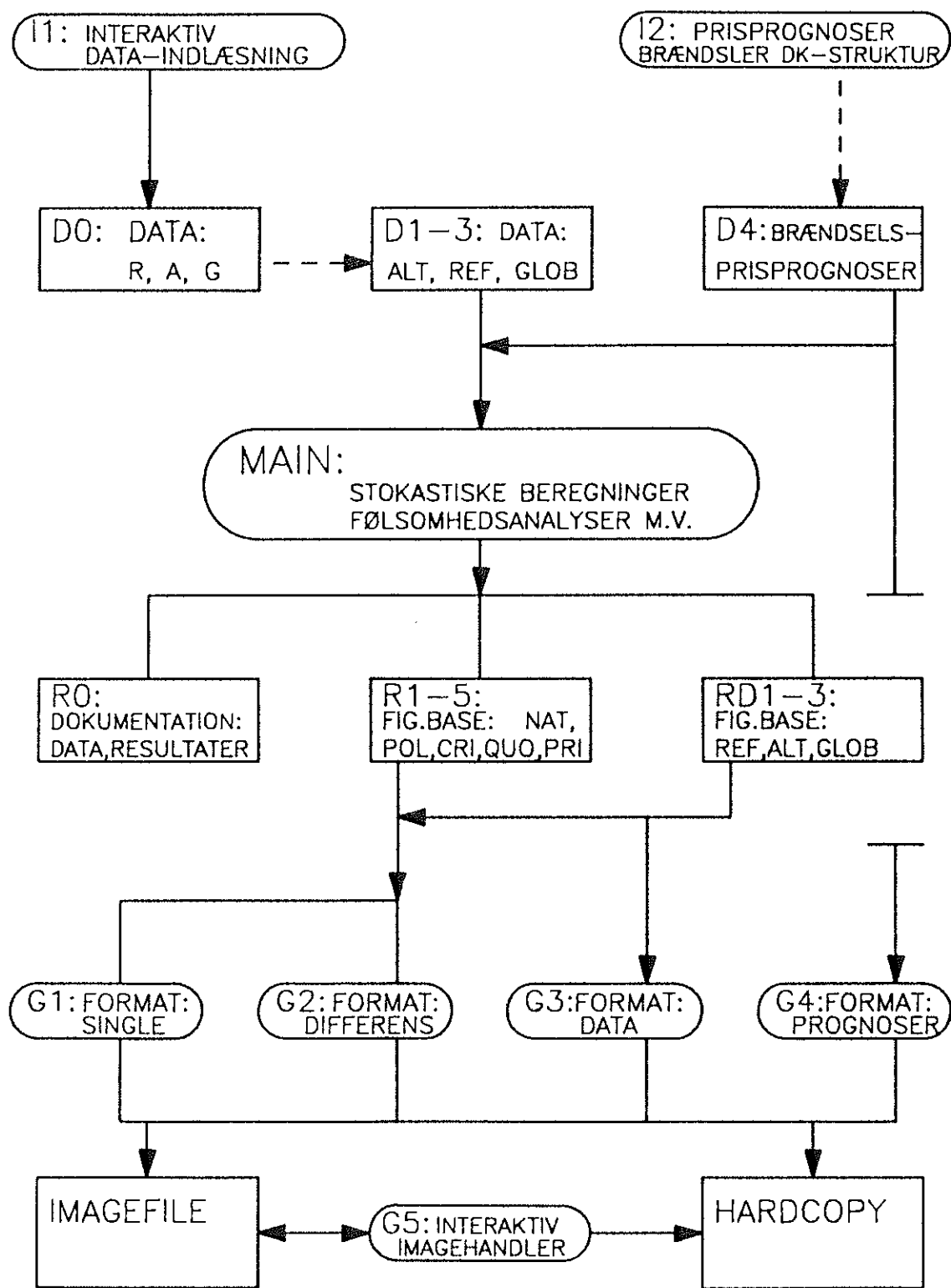


Fig. 7.

3.2. Monte-Carlo simulering

Monte-Carlo simulering anvendes til de stokastiske beregninger i modellen. Denne metode kan beskrives som en simulering af statistisk analyse.

Med udgangspunkt i angivne usikkerheder på enkeltvariable frembringes en række "mulige projekter", som behandles statistisk. Disse projekter som helhed er karakteriseret ved, at en statistisk analyse på projekternes data vil frembringe udgangsfordelingerne. Hyppighedsfordelingen for eksempelvis nuværdier i de "mulige projekter" udtrykker usikkerheden på nuværdien.

Når en variabel er udtrykt med usikkerhedsangivelse (som en stokastisk variabel) udtrykkes hermed, at mange værdier vil kunne forekomme for pågældende variabel. Hvilke værdier, og hvor hyppigt disse vil kunne forekomme, er fastlagt i en sandsynlighedsfordeling.

Med udgangspunkt i sandsynlighedsfordelingen for en stokastisk variabel kan endeløse rækker af mulige værdier for denne variabel genereres. Sådanne endeløse rækker af værdier kan genereres med den egenskab, at rækkens hyppighedsfordeling vil være identisk med udgangsfordelingen.

I det følgende vil en vilkårlig værdi fra en række skabt med denne egenskab kaldes en repræsentant for den pågældende stokastiske variabel. En repræsentant er en tilfældig mulig værdi fra en fordeling. (Betegnelsen Monte-Carlo simulering relaterer til at netop "tilfældige/vilkårlige" talværdier indgår i metodens simuleringer).

En nuværdiberegning, hvor flere variable er udtrykt med usikkerhedsangivelse, forløber i princippet på følgende måde ved brug af Monte-Carlo simulering.

- For hver stokastisk variabel i data hentes en repræsentant fra den tilknyttede sandsynlighedsfordeling. Hermed haves talværdier for alle størrelser til nuværdiberegningen, som herefter bliver udført på almindelig vis.

- Den beregnede nuværdi er en mulig forekommende nuværdi på baggrund af usikkerheder udtrykt i data. Set alene er denne nuværdi uinteressant.

- Ovennævnte proces, hvor et sæt data-repræsentanter danner grundlag for beregning af en nuværdi, gentages et stort antal gange. Processen er analog til en statistisk opsamling af data-forhold og tilhørende nuværdier for et stort antal "tænkte" projekter. Et stort antal genererede datasæt (sæt af repræsentanter) vil afspejle usikkerhedsangivelserne i data, og det store antal beregnede nuværdier afspejler usikkerheden på nuværdien.

Metoden "Monte-Carlo simulering" simulerer således igennem et stort antal mulige projektudfald og opsamler herved hyppigheds/sandsynligheds fordelingen for nuværdien (og eventuelt andre nøgletal man kunne ønske at bestemme sandsynlighedsfordelingen for). Desto større antal simuleringer desto større nøjagtighed i bestemmelsen af sandsynlighedsfordelingen for nuværdien.

Metoden er beregningskrævende, men meget fleksibel, og vil for mange problemstillinger være den eneste mulige i praksis.

På datasiden kan vilkårlige sandsynlighedsfordelinger anvendes til at udtrykke usikkerheder på enkeltvariable, når en matematisk generator er bygget til generering af repræsentanter fra pågældende fordeling.

Sandsynlighedsfordelinger for vilkårlige funktioner af data kan i princippet bestemmes. Den begrænsende faktor vil for større algoritmer være regnetiden.

4. STOKASTISK MODELLERING OG MUSA-MODELLEN

4.1. Stokastiske variable

Alle data til modellen kan angives med tilhørende usikkerhed. Anderledes udtrykt, alle variable kan optræde som stokastiske variable.

I omtalen af stokastiske variable vil begreberne stokastisk afhængighed, stokastisk uafhængighed og korrelationer stokastiske variable imellem blive anvendt. En "praktisk" definition af disse begreber er følgende:

Dersom en stokastisk variabel kan (eller tillades at) antage værdier uafhængig af talværdier for de øvrige stokastiske variable, kaldes denne for en stokastisk uafhængig variabel.

Dersom en stokastisk variabel antager værdier i afhængighed af talværdier for andre stokastiske variable, kaldes denne en stokastisk afhængig variabel.

Lad eksempelvis den samfundsøkonomiske pris på en komponent være angivet med tilhørende usikkerhed. Usikkerheden på prisen kunne være udtrykt ved, at alle priser i et givet interval med lige stor sandsynlighed kunne forekomme. (Prisen antages stokastisk med en rektangulær sandsynlighedsfordeling over et givet interval). Den samfundsøkonomiske pris for komponenten afhænger ikke af andre stokastiske variable og er således udtrykt som en stokastisk uafhængig variabel.

En privatøkonomisk pris på komponenten kan dannes ud fra den samfundsøkonomiske pris ved tillæg af eventuelle afgifter og moms. Den privatøkonomiske pris er da en stokastisk afhængig variabel. En talværdi for den privatøkonomiske pris afhænger af komponentens samfundsøkonomiske pris.

De to priser er korrelerede. Høje privatøkonomiske priser

korrelerer med høje samfundsøkonomiske priser og visa versa. Korrelerede stokastiske variable varierer i takt, modtakt eller i vilkårlige gradueringer af flukturerende takt mellem disse yderpunkter.

Korrelation mellem stokastiske variable indikerer, at en direkte stokastisk afhængighed mellem disse eksisterer, eller at de to variable har afhængighed gennem andre variable.

Korrelation mellem variable siger generelt intet éntydigt om kausalitet endsige kausalitetens retning. I eksemplet skabtes en stokastisk afhængig privatøkonomisk pris ud fra en stokastisk uafhængig samfundsøkonomisk pris. Kausaliteten bag denne korrelation var indlagt i form af en deterministisk relation.

Et andet eksempel i tilknytning til stokastisk modellering som involverer ovennævnte begreber kan være følgende:

I en følge af investeringer (kædeinvesteringer) foretages investering nr. i til tidspunktet, hvor levetiden for den foregående investering nr. $i-1$ udløber. Er levetiden usikker på investering nr. $i-1$, inducerer dette en tilsvarende usikkerhed på tidspunktet for den efterfølgende investering nr. i .

Tidspunktet for investering nr. i er korreleret med levetiden for investering nr. $i-1$. Tidspunktet for investering nr. i er en stokastisk afhængig variabel.

Usikkerhed på levetider for investeringer, der i kæder ligger før nr. i , inducerer ligeledes usikkerhed på investeringstidspunktet for investering nr. i . Tidspunktet for investering nr. i vil tilsvarende være korreleret til disse stokastiske levetider.

4.2. Stokastisk uafhængige variable

Usikkerhed på uafhængige variable udtrykkes gennem én-dimensionale sandsynlighedsfordelinger.

Modellen giver beslutningstageren mulighed for at anvende følgende typer af én-dimensionale sandsynlighedsfordelinger til at formulere usikkerhed på uafhængige variable:

Kontinuerte fordelinger:

- 1 Normal
- 2 Log normal
- 3 Exponentiel
- 4 Weibull
- 5 Triangulær
- 6 Histogrammer
- 7 Rektangulær

Diskrete fordelinger:

- 8 Stavdiagrammer
- 9 Poisson
- 10 Konstanter

En nærmere beskrivelse af de enkelte fordelinger findes i appendix A.

Dette brede spektrum af fordelingstyper giver brugeren mulighed for at beskrive langt de fleste teoretisk og praktisk forekommende fordelinger.

Flere fordelingstyper kan indlægges, dersom et behov herfor skulle opstå.

I mange anvendelsessituationer forefindes data i form af histogrammer eller diskrete værdier, der ikke har nogen direkte tilknytning til teoretiske fordelingstyper. Det er derfor

væsentligt at modellen kan inddrage disse typer af fordelinger i beregningerne.

Sandsynlighedsfordelinger kan være beskrivelser af mangeartede forhold. Usikkerhed omkring eksempelvis en komponents pris kan have både subjektiv og objektiv karakter.

Der kan være situationer, hvor kun ringe information er tilgængelig om prisens variationsområde og prisers hyppighed. I sådanne situationer kan beslutningstageren ønske at udtrykke "den manglende viden" eller subjektive antagelser og forventninger om komponentens pris. Beregninger på baggrund af sandsynlighedsfordelinger, der formulerer en "manglende viden" eller "afgrænser en uvidenhed", informerer om betydningen af denne uvidenhed. Det subjektive indhold i data influerer på tolkningen af beregnede størrelser.

I andre situationer kan der være tilstrækkelig statistisk information til rådighed til at fastlægge en sandsynlighedsfordeling eller hyppighedsfordeling for komponentens pris. Usikkerheden på prisen har da objektiv basis.

4.3. Stokastisk afhængige variable

Stokastiske afhængigheder optræder hyppigt i datamaterialet til stokastiske analyser.

Endnu et eksempel på dette er en ofte set sammenhæng mellem et produkts pris og levetid. Et datamateriale kan vise, at høje priser i overvejende grad kobler til stor holdbarhed. Denne relation er normalt ikke entydig og udviser store fluktuationer. Dog ses ofte en så tydelig kobling mellem pris og holdbarhed, at usikkerhedsangivelser på prisen og usikkerhedsangivelser på levetiden ikke kan optræde som stokastisk uafhængige variable. Korrelationen mellem prisen og levetiden er i disse situationer væsentlig.

Faciliteter for modellering af korrelationer eller stokastiske afhængigheder imellem variable er således i mange situationer nødvendige for at kunne modellere tæt og konsistent.

Den her udviklede model tillader modellering af korrelationer. Korrelationer i datamaterialet angives som input. Det er ikke nødvendigt at forme selvstændige modelversioner for at repræsentere bånd overlejret med usikkerhed samt relationer i datamaterialet.

For at inddrage korrelationer blandt eksogene variable og for iøvrigt at skabe fleksibilitet på datasiden, er modellen udformet så beregninger/algoritmer forekommer på to niveauer.

1. Centralt

I modellens kerne er indlagt algoritmer til beregning af nuværdier, annuiserede energipriser m.v. for energiteknologier i bred forstand (Beregningsstrukturen beskrives i kapitel 6).

Denne beregningsstruktur fastlægger modellens specifikke anvendelsesområde.

2. Perifert

Algoritmer blandt eksogene variable og exogent definerede variable formuleret som input til modellen. Alle perifert angivne relationer, korrespondance m.v., der beskriver korrelationer, tilfredsstilles før modellens centrale algoritmer aktiveres.

Muligheden for at indlægge algoritmer på perifert niveau er primært afledt af behov, der generelt er knyttet til stokastisk modellering.

Det følgende er en liste over de basale operationer der er indlagt i modellen til opbygning af algoritmer på perifert niveau. Med disse faciliteter til rådighed kan brugeren på datasiden formulere korrelationer m.v. variable imellem.

Operationer på stokastiske variable:

Aritmetiske operationer.

-	Addition	$x = x_i + x_j$ $x = x_i + c$
-	Subtraktion	$x = x_i - x_j$ $x = x_i - c$
-	Multiplikation	$x = x_i * x_j$ $x = x_i * c$
-	Division	$x = x_i / x_j$ $x = x_i / c$
-	Potens	$x = x_i ** x_j$ $x = x_i ** c$
	Kopiering	$x = x_i$

Polygonfunktioner $x = F(x_i)$

Modellerende betingede
fordelinger $P(X|x_i)$

Ovenfor er x, x_i, x_j ($x \neq x_i, x_j$) repræsentanter for vilkårlige stokastiske variable i datastrukturen eller eksogent definerede stokastiske variable. c er eksogene konstanter.

Som nævnt kan brugeren definere nye eksogene stokastiske variable eller konstanter, der ligger udenfor datastrukturen for modellens centrale algoritmer. Disse kan indgå i perifere algoritmer på lige fod med stokastiske variable i datastrukturen, og de kan defineres som stokastisk uafhængige eller afhængige variable eller konstanter.

Andre typer opgaver inden for stokastisk modellering kan vise behov for andre faciliteter. Flere operationer kan da lægges ind i modellen.

Modellering af korrelationer

For at beskrive anvendelsen af ovennævnte operationer, samt indpasningen af korrelationer i beregninger med modellen, kan det være hensigtsmæssigt her kort at indskyde en opsummering af beregningsgangen i modellen.

Når en søgt sandsynlighedsfordeling bestemmes ud fra data-sandsynlighedsfordelinger via Monte-Carlo simulering, udføres dette, som tidligere omtalt, ved gentagne gængse beregninger på repræsentanter for data-sandsynlighedsfordelinger. Et sæt data-repræsentanter genereres og en gængs beregning udføres på dette sæt data osv.

I modellen genereres først et sæt repræsentanter for stokastisk uafhængige variable. Herefter suppleres dette sæt med repræsentanter for stokastisk afhængige variable, der respekterer indlagte korrelationer.

Perifere algoritmer blandt eksogene variable fastlægger korrelationerne. Repræsentanter for stokastisk afhængige variable genereres i en rækkefølge bestemt af, hvornår forudsætningerne er til stede for udførelsen. Dersom en vej findes til generering af repræsentanter for samtlige stokastisk afhængige variable er de perifere algoritmer veldefinerede.

Det nu fuldkomne sæt af repræsentanter for eksogene stokastiske variable, danner basen for en gængs gennemregning af modellens centrale algoritmer. Et muligt udfald på resultatsiden kan beregnes.

Faciliteterne til at indlægge korrelationer spiller på denne måde sammen med modellens anvendelse af metoden Monte-Carlo simulering.

Brugeren modellerer korrelationer til modellen ved kombination af basale operationer. Nogle af de muligheder, der udspændes af de basale operationer, er søgt illustreret i det følgende.

Aritmetiske operationer

Approksimationer af vilkårlige funktioner af flere variable kan inddrages ved kombination af aritmetiske operationer, samt evt. indførelse af eksogent definerede stokastiske variable eller konstanter. Ofte er det meget simple funktioner eller relationer der er brug for.

Her kan nævnes det tidligere eksempel, hvor en privatøkonomisk pris skulle afledes af den tilsvarende pris på samfundsøkonomisk grundlag ved tillæg af afgifter og moms. Den ønskede konsistens mellem disse priser opnås i modellen via to basale operationer.

Kopiering

Hyppigt anvendes denne operation i situationer, hvor tidspunktet for en begivenhed skal udløse eksempelvis en række investeringer.

En anden ofte forekommende situation i forbindelse med differensprojektvurderinger under inddragelse af usikkerhed er den, hvori eksempelvis identiske komponenter optræder i både reference- og alternativprojekt. Det kan dreje sig om identiske stokastiske investeringer, tekniske nøgletal osv. Med modellen opnås en sådan konsistens nemt via dataoperationen kopiering.

Polygonfunktioner

Ønskes en relation mellem to variable, som brugeren har sammenhørende værdier for, inddraget i beregningerne, kan dette næstmest opnås via denne dataoperation. Rutinen under denne dataoperation fastlægger, baseret på brugerens punkter, en stykkevis lineær kontinuert funktionssammenhæng mellem de pågældende variable.

Modellerede betingede fordelinger

Denne mulighed for at formulere korrelationer imellem par af variable omtales i detalje i det efterfølgende afsnit 4.4.

Eksogent definerede variable

Som nævnt kan eksogent definerede variable indgå i perifere algoritmer på lige fod med stokastiske variable, der er direkte relateret til modellens centrale datastruktur. De eksogent definerede variable kan anvendes til at inddrage andre forhold i beregningerne end udlagt i modellens centrale struktur, eller de kan blot benyttes som mellemvariable i perifere algoritmer.

En speciel anvendelse, hvor sådanne variable indfører forhold, der ikke er udlagt centralt, er, hvor alternative begivenheder eksempelvis investeringsforløb ønskes styret. En eksogent defineret diskret 0,1 - fordeling kan i modellen styre hyppigheden, hvormed alternative investeringsforløb skal indgå i beregningerne.

Vilkårlige kombinationer af de nævnte typer operationer kan indgå i perifere algoritmer til modellering af korrelationer m.v.

Med en beregningsstruktur opdelt på de to niveauer, perifert og centralt, opnås en betydelig fleksibilitet over for stokastisk modellering. Desuden opnås en fleksibilitet, der tillader væsentlig generalitet og simplificering i de centrale algoritmer.

I modellens centrale beregningsstruktur, der rummer algoritmer for differensprojektvurdering på samfundsøkonomisk og privatøkonomisk grundlag, indlejres en væsentlig del af koblingen mellem reference- og alternativprojekter og mellem samfunds- og privatøkonomi gennem perifere operationer via input.

4.4. Modellerede betingede fordelinger

Det følgende er centreret omkring indregning af og dataangivelse for korrelationer mellem par af stokastiske variable (X,Y) . Den anviste procedure til indregning af korrelationer gennem betingede fordelinger kan udvides til at omfatte mere end to variable. Dette øger imidlertid kompleksiteten i angivelsen af data og vil reducere anskueligheden. En helt generel mulighed for at modellere korrelationer er derfor ikke søgt indbygget i denne model. Det har været hensigten at konstruere et brugervenligt inddatasystem for stokastisk afhængige størrelser, og i mange praktiske anvendelser vil den valgte afgrænsning af mulighederne for at angive korrelationssammenhænge ikke skabe problemer.

En udtømmende specifikation af korrelationen mellem to stokastiske variable (X,Y) er udtrykt i tæthedsfunktionen $P(X,Y)$, der udtrykker sandsynligheden eller hyppigheden for forekomsten af talparret (X,Y) . Denne kan skrives som (Bayes formel)

$$P(X,Y) = P(X|Y)P(Y)=P(Y|X)P(X)$$

hvor $P(X)$ er tæthedsfunktionen for, hvad vi her vil kalde den "uafhængige" stokastiske variabel X . $P(Y|X)$ er den betingede tæthedsfunktion for Y givet X .

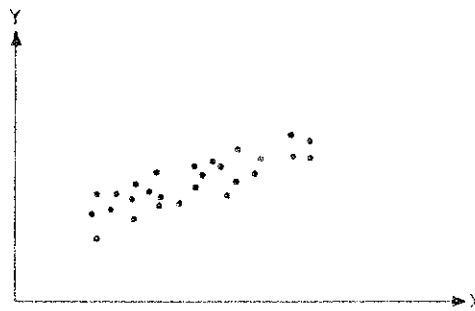
Når par-korrelationen mellem X og Y ønskes fastlagt, kan dette derfor opnås gennem specifikation af $P(X)$ samt de betingede fordelinger $P(Y|X)$.

Tæthedsfunktionen $P(X)$ fastlægges analogt til alle øvrige korrelerede eller ukorrelerede stokastiske variable i modellen.

For at beskrive fastlæggelsen af de betingede fordelinger $P(Y|X)$ tages her udgangspunkt i en grafisk repræsentation, som i praksis ofte anvendes.

Målinger af sammenhørende størrelser (X,Y) , er afbildet i XY -planen. Dette kan eksempelvis se ud som vist på figur 8.

Figuren viser en sammenhæng mellem (X,Y) værdier. Sammenhængen er ikke éntydig, men der synes at kunne gælde en lineær relation mellem X og Y .



Figur 8.

Der er målet at kunne inddrage det væsentligste stokastiske indhold i informationer af denne type i modelberegninger.

I relation til stokastisk modellering og vurderinger under usikkerhed ville en estimeret éntydigt relation mellem X og Y bortskære væsentlige informationer, og detaljerede statistiske analysemetoder vil i praksis ikke være overkommelige.

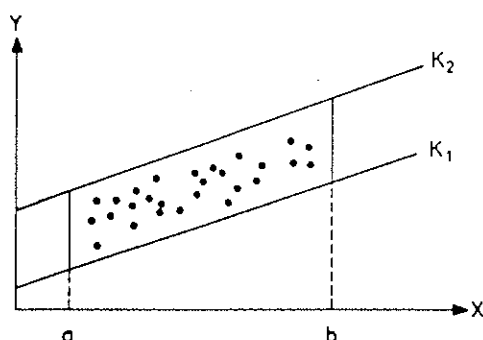
En datakrævende punktvis simulering med måleresultater er ofte i praksis heller ikke mulig og ville iøvrigt kun afspejle det målte. Det forventede, evt. ud fra en subjektiv vurdering på basis af de givne målinger, vil mangle.

Dette er anført som et argument for at danne simple procedurer, som kan formidle empiriske og subjektive data for korrelerende stokastiske størrelser i en overskuelig form, der nemt regnes videre på.

Sammenhængen mellem betingede fordelinger $P(Y|X)$, "uafhængige" fordelinger $P(X)$ og modellens metode til inddragelse af sandsynlighedsfordelinger af typer $P(X,Y)$ er i det følgende illustreret ved nogle eksempler.

Typen af de betingede fordelinger $P(Y|X)$ kan i modellen vælges vilkårlig, blandt de fordelingstyper modellen pt. råder over, men det er et krav, at en valgt type skal gælde for alle værdier af X . Fordelingernes middelværdi og spredning vil derimod kunne afhænge af den "uafhængige" stokastiske variabel X .

Som et hjælpemiddel til at fastlægge fordelingerne $P(Y|X)$ indføres "afgrænsende kurver", som illustreret på figur 9. På figur 9 afgrænser linierne K_1 og K_2 de mulige forekommende talpar (X,Y) .

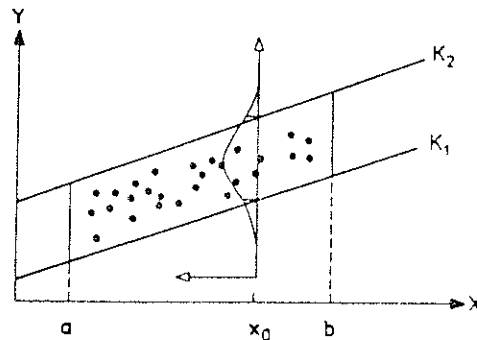


Figur 9.

Ved at specificere linierne K_1 og K_2 kan brugeren f.eks. udtrykke ønske om, at alle talpar i området afgrænset af K_1 og K_2 med X -værdier i intervallet mellem a og b , skal optræde med lige stor sandsynlighed i beregningerne. En korreleret sammenhæng mellem X og Y er hermed veldefineret.

En anden mulighed kunne være, at brugeren ønskede udtrykt, at værdier for (X,Y) omkring randen af de afgrænsede linier var mindre hyppigt forekommende end talpar nær midterlinien mellem K_1 og K_2 .

Brugeren skal i denne situation mere explicit angive de betingede fordelinger $P(Y|X)$ til modellen. Her kunne eksempelvis angives typen normalfordeling for fordelingerne $P(Y|X)$. De aktuelle normalfordelinger $P(Y|X)$ vil brugeren herefter kunne fastlægge ved f.eks. at specificere, at 10% henholdsvis 90% fraktiler for hvert givet X skal placeres på linien K_1 henholdsvis K_2 .



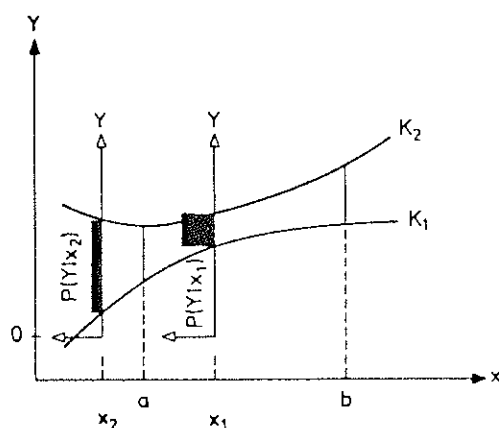
Figur 10.

Figur 10 illustrerer et eksempel, hvor de betingede normalfordelinger $P(Y|X)$ er fastlagt ud fra afgrænsende linier K_1 og K_2 ved placering af 10%-fraktiler på $K_1(X)$ samt placering af 90%-fraktiler på $K_2(X)$.

I det viste eksempel er de afgrænsende kurver parallelle rette linier. Dette behøver ikke at være tilfældet. Principielt vil brugeren kunne anvende en vilkårlig kurveform.

Brugeren mangler endnu at fastlægge fordelingen for den "uafhængige" stokastiske størrelse X . Vælges $P(X)$ rektangulær over $[a;b]$, vil alle X i $[a;b]$ optræde med samme hyppighed i modellens beregninger. Brugeren kunne også have mere detaljerede usikkerhedsangivelser for den stokaste variabel X . Fordelinger for X kan vælges vilkårligt blandt de fordelinger, modellen råder over, og X kan være en stokastisk afhængig variabel.

Det følgende eksempel viser en anvendelse af parabler, som afgrænsende kurver.



Figur 11.

I en situation hvor Y eksempelvis angiver initialinvesteringen på et varmeanlæg med kapaciteten X , kunne Y være relativt godt bestemt i et kapacitetsområde omkring X_1 .

Data uden for dette område er måske mangelfulde, og brugeren ønsker f.eks. at indlægge en forventning om voksende spredning i priser på anlæg med kapaciteter stadig længere borte fra kapacitetsområdet omkring X_1 . Denne forventning kunne være udtrykt i figur 11. De betingede fordelinger $P(Y|X)$ er valgt rektangulære, hvilket udtrykker, at for givet X vil alle Y -værdier mellem $K_1(X)$ og $K_2(X)$ forekomme med samme hyppighed. Fastlæggelsen af fordelingen $P(X)$ afgør, med hvilken vægt de betingede fordelinger $P(Y|X)$ vil influere beregningerne.

For at formulere antagelserne i dette eksempel til modellen, må datagiveren specificere følgende:

- 1) De afgrænsende parabler K_1 og K_2 fastlægges. Dette gøres ved at angive 3 punkter (X, Y) på hver kurve.

- 2) Typen af betingede fordelinger $P(Y|X)$ angives. Fordelings-
typens relation til de afgrænsende parabler specificeres.
- 3) Fordelingen for den "uafhængige" stokastiske variabel X ,
 $P(X)$, specificeres. X kan være en stokastisk afhængig va-
riabel, en stokastisk uafhængig variabel eller en konstant
værdi.

5. USIKKERHED PÅ BRÆNDELSPRISPROGNOSE

I økonomiske vurderinger af energiteknologier er man tvunget til at arbejde med antagelser omkring fremtidige brændselspriser. Sådanne antagelser vil være behæftet med betydelig usikkerhed. Det er derfor væsentlig i stokastiske analyser af energiteknologier at råde over procedurer til inddragelse af usikkerheder omkring brændselsprisprognoser.

En nærliggende metode til inddragelse af usikkerhed omkring brændselsprisprognoser er illustreret på figur 12.

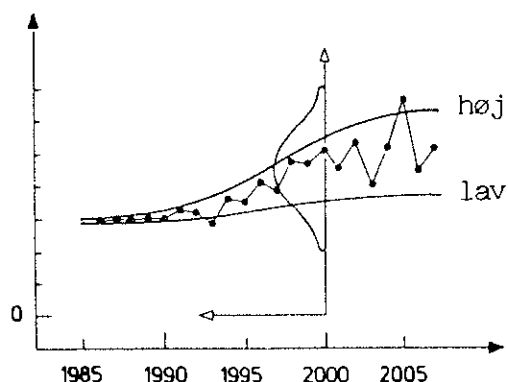


Fig. 12.

Som antydnet på figuren kunne år for år genereres brændselspriser ud fra en forskrift analog til den tidligere omtalte metode i modellen til at modellere betingede fordelinger.

Imidlertid vil prognoser genereret efter denne forskrift fluktuere meget fra år til år. Mange kortvarige "prischok" antages implicit, når variationsområdet for energipriser i det enkelte år er stort. År til år korrelationen er meget svag.

En anden væsentlig konsekvens ved en fremgangsmåde som denne er, at en beregnet nuværdi vil ligge tæt op ad en nuværdi beregnet ud fra en "middelprognose". Summen af mange fluktuerende værdier vil midle ud til noget relativt velbestemt. Desuden kan det være vanskeligt umiddelbart at overskue indholdet i usikkerhedsangivelser formuleret via denne procedure.

Ovennævnte problemstillinger er i modellen søgt løst ved at benytte en fremgangsmåde som antydnet på figur 13.

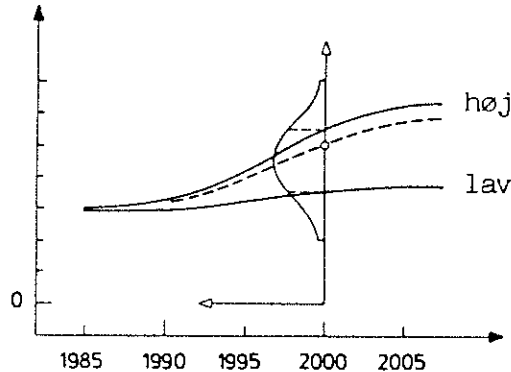


Fig. 13.

På figuren er en høj og en lav prisudvikling fastlagt og en her kaldet "transvers" fordelingstype er valgt. Figuren viser en trunkeret normalfordeling, som den transverse fordelingstype. Brugeren fastlægger en fordelingstype samt en forskrift for, hvorledes den transverse fordelingstype skal være knyttet til den lave og den høje brændselsprisudvikling. Brugeren kan eksempelvis vælge at 10% henholdsvis 90% fraktiler skal ligge på den lave henholdsvis den høje brændselsprisudvikling. For samtlige prognoseår er hermed en transvers fordeling fastlagt. En "tilfældig" brændselsprisudvikling til en gennemregning af den centrale algoritme i Monte-Carlo simuleringen vælges på basis af disse transverse fordelinger.

Prisudviklingen er fastlagt som tidsserien, der gennemløber værdier på samme fraktiler i transverse fordelinger i alle år. Anderledes formuleret en "tilfældig" brændselsprisudvikling består af årlige værdier, der har samme relative placering i forhold til kurverne lav og høj brændselsprisudvikling.

Hypigheden, hvormed en prisudvikling indgår i Monte-Carlo simuleringen, er givet ud fra den transverse fordeling (se figur 13).

Tidsserier for lave, høje samt centrale prisudviklinger på alle brændselstyper af relevans for beregningerne tilknyttes modellen gennem filen D4 (se figur 7). Via inddata-modulet I1 kan brugeren fastlægge, hvorledes basisprognoserne skal indgå i stokastiske beregninger.

En brændselsprisudvikling fastlagt ud fra en stokastisk uafhængig transvers fordelingstype kaldes her en stokastisk uafhængig brændselsprisudvikling.

Transverse stokastisk uafhængige fordelingstyper kan vælges blandt de fordelingstyper modellen råder over til at fastlægge fordelinger for stokastisk uafhængige variable. Disse er:

Kontinuerte fordelingstyper:

1. Normal
2. Log normal
3. Exponential
4. Weibull
5. Triangulær
6. Histogram
7. Rektangulær

Diskrete fordelingstyper:

8. Stavdiagrammer
9. Poisson
10. Faste (ikke stokastiske) prognoseforløb valgt på basis af udgangsprognoserne lav, central og høj brændselsprisudvikling.

Den transverse fordelingstyper fastlægges, som fordelinger for en stokastisk uafhængig variabel og relateres herpå til de primære brændselsprisprognoser lav, central og høj.

Stokastiske afhængigheder brændselspriser imellem kan via data indlejres i modellen ved brug af følgende operationer på tids-

serier. Operationerne er med få undtagelser analoge til modellens mulige operationer på stokastiske variable og konstanter.

Operationer på stokastiske og ikke stokastiske tidsserier.

. Aritmetiske operationer

- addition
- subtraktion
- multiplikation
- division
- potens

. Kopiering af transverse fordelinger.

Brugeren kan via disse operationer definere nye brændselsprisprognoser med udgangspunkt i angivne primære brændselsprisprognoser.

Ovennævnte faciliteter er indlagt i modellen for at kunne modellere sammenhænge imellem brændselsprisprognoser samt for nemt at kunne opretholde konsistens i forudsætningerne til stokastiske beregninger. Modellen kan udvides med andre operationer på tidsserier og operationer, tidsserier og variable imellem, når et behov herfor opstår.

Aritmetiske operationer

En brændselsprisprognose på privatøkonomisk grundlag frembringes eksempelvis af en prognose på samfundsøkonomisk grundlag ved addition af skat samt tillæg af moms. Til stokastiske beregninger i modellen opbygges en privatøkonomisk prognose med denne relation ved brug af to af ovennævnte aritmetiske operationer.

Kopiering af transverse fordelinger

Ønskes samme transverse fordelingstype og "absolut korrelation" mellem to eller flere brændselsprisprognoser opnås dette med denne operation. De indgående prognoser kan være baseret på forskellige primære prognoser for lav, central og høj. Denne operation medfører "variation i takt" af to eller flere stokastiske prognoser og eventuelle stokastiske variable.

6. TEKNISK/ØKONOMISKE BEREGNINGER

MUSA-modellens centrale beregningsmodul indeholder deterministiske relationer til økonomiske beregninger på energiteknologier. Beregninger udføres på enkeltprojekter og på differensprojekter. Sammenhørende enkelt- eller differensprojektvurderinger foretages på samfundsøkonomisk og privatøkonomisk grundlag.

I det følgende afsnit gennemgås datastrukturen for modellens centrale algoritmer, og i det efterfølgende afsnit beskrives modellens resultatside.

6.1. Datastruktur

Datastrukturen til de centrale algoritmer er opdelt på specifikke reference/alternativ projekt data samt globale data. Globale data er fælles variable i datastrukturen for reference og alternativ projekter. Gennem perifere algoritmer kan datastrukturen suppleres med andre globale størrelser.

Datastruktur for samfundsøkonomiske beregninger

Globale variable:

Som globale størrelser på samfundsøkonomisk grundlag optræder følgende beregningsforudsætninger.

- Brændselsprisprognoser
 - . Beskæftigelseskvoter (1.år)
 - . Importkvoter (1.år)

Restindkomsterkvoter (1.år) beregnes residualt.

- . Nettoenergiforbrug
- . Kalkulationsrenter for
 - beskæftigelsessiden
 - importsiden
 - restindkomstsiden
 - totalbetragtning
- . Vægtfaktorer/skyggepriser for
 - beskæftigelse
 - import
 - restindkomst
- . Beregningsperiode for samfundsøkonomiske vurderinger.
- . Brugerdefinerede variable

Da brugerens tidsreferencer for beskæftigelse, import og restindkomst kan være forskellige er datastrukturen udformet så kalkulationsrenter for beskæftigelses-, import- og restindkomstsiden kan angives individuelt.

Specifikke_ref/alt. projekt variable (samf.øk.):

Et projekt er i modellen beskrevet ved investeringsforløb m.v., tekniske nøgletal for energiteknologien samt anvendte brændselstyper. Modellens samfundsøkonomiske beregninger involverer følgende størrelser.

- . Investeringer
 - Enkeltingvesteringer er karakteriseret ved
 - Investeringens størrelse
 - Tidspunktet for investeringer
 - Levetiden for investeringer
 - Beskæftigelseskvoter
 - Importkvoter

Antallet af investeringer er vilkårligt og brugerdefineret. Kvoter på restindkomst bestemmes residualt i modellen. Kædeinvesteringer m.v. formuleres via perifere algoritmer.

. Årlige vedligeholdelsesudgifter.

- Årlige betalinger
- Periode start
- Periode længde
- Beskæftigelseskvote
- Importkvote

Det tekniske beskrivelsesniveau i modellens centrale algoritmer er baseret på generelle nøgletal, der har direkte betydning for økonomien. Ønskes en yderligere detaljering, må denne formuleres gennem perifere algoritmer.

. Antal subteknologier

- En teknologi kan være opdelt i flere subteknologier.

. Nøgletal for subteknologier

- Anvendte brændselstyper evt. perifert defineret brændselstype.
- Effektivitet
- Dækningsgrad.

Subteknologier angives i en rækkefølge, der bestemmer hvorledes, det totale energibehov dækkes af bidrag fra de enkelte subteknologier.

Anførte dækningsgrader for subteknologier opfattes af modellen som potentielle dækningsgrader. I modellen opfyldes energibehovet primært via den potentielle dækningsgrad for 1.subteknologi. Dersom 1.subteknologi ikke dækker hele behovet, søges det resterende energibehov dækket via 2.subteknologi, så langt den potentielle dækningsgrad med subteknologi nr. 2 tillader o.s.v. Den sidst medkomne subteknologi udnyttes residualt.

Rækken af bidrag til den samlede dækningsgrad fra subteknologier afbrydes i modellen, når 100% er nået - når energibehovet er dækket.

En prioriteret følge blandt subteknologier er hensigtsmæssig,

når dækningsgrader optræder som stokastiske variable. Et varmpumpeanlæg kan eksempelvis bestå af en varmepumpe suppleret med direkte elvarme via elpatron. Varmepumpens dækningsgrad kan være angivet med tilhørende usikkerhed.

Denne energiteknologi opdeles i 2 subteknologier, hvor varmepumpedelen optræder som 1.subteknologi, og hvor den supplerende direkte elvarme optræder som 2.subteknologi. Elvarmens potentielle dækningsgrad kan ansættes til 100%; men i modellens beregninger vil dækningsgraden via elvarmen optræde supplerende til varmepumpedelen, der har højeste prioritet.

Datastruktur for privatøkonomiske beregninger

Globale variable:

Som globale størrelser på privatøkonomisk grundlag optræder følgende:

- . Brændselsprisprognoser
- . Nettoenergiforbrug
- . Markedsrente
- . Inflation
- . Marginale skattetræk
- . Moms
- . Beregningsperiode for privatøkonomiske vurderinger
- . Brugerdefinerede variable.

Specifikke ref./alt._projekt_variable (privatøk.):

Et projekt karakteriseres i modellen ved følgende centrale datastruktur i privatøkonomisk henseende.

- . Investeringer
 - Investeringens størrelse

- Tidspunkt
- Levetid

Kædeinvesteringer m.v. indlægges via perifere algoritmer.

- . Årlige vedligeholdelsesudgifter
 - Årlige betalinger
 - Periode start
 - Periode længde
- . Nøgletal for energiteknologier. Det tekniske beskrivelsesniveau er analog til det samfundsøkonomiske tilfælde. Blot henviser brændselstypen til brændselsprisprognoser på privatøkonomisk grundlag eller brugerdefinerede prognoser via perifere operationer.

6.2. Beregningsstruktur

Beregningsstrukturen er udlagt for enkeltprojekt analyser og for differensprojekt analyser. I modellens centrale del ligger algoritmer for beregning af

- nuværdier for energikonverteringssystemer
- annuierede energipriser for nyttiggjort energi (nettoenergipriser), som de pågældende teknologier producerer (incl. kapitaludgifter m.v.)
for enkeltprojekter
- nuværdi - og energiprisforskelle i differensprojekter.

Disse størrelser beregnes på samfundsøkonomisk grundlag og på privatøkonomisk grundlag.

Annuierede energipriser beregnes ud fra ovennævnte nuværdier. Disse beregnede energipriser fremkommer som forhold imellem annuiteter af nuværdier over beregningsperioden og det årlige nettoenergiforbrug.

Beregningsstrukturen er søgt udlagt på et beskrivelsesniveau, der er generelt for økonomiske vurderinger af energiteknologier.

Et projekt er i modellens centrale beregningsstruktur som tidligere nævnt beskrevet ved investeringsforløb m.v., generelle tekniske nøgletal af direkte betydning for økonomien, brændselspriser samt overordnede teknologiuaafhængige forudsætninger. En videregående detaljering i datastrukturen inddrages i beregningerne ved brug af perifere algoritmer.

Samtlige parametre i datastrukturen kan optræde som stokastiske variable. Denne mulighed udnyttes dog sjældent fuldt ud. Logikken i en given problematik kan kræve visse størrelser fastholdt. I de senere præsenterede beregninger med modellen er eksempelvis generelt beregningsperioden og kalkulationsrenter udtrykt som konstanter.

Nuværdier beregnes relativt til år 0, som i regneeksemplerne svarer til 1985-priser. Tidspunkter for investeringer m.v. er således i regneeksemplerne relative til år 1985. Investeringer foretaget til negative tidspunkter fremdiskonteres til år 0 og investeringer til positive tidspunkter inden for beregningsperioden tilbagediskonteres til år 0. Investeringskæder m.v. afbrydes, når beregningsperioden overskrides og restværdiberegninger udføres via lineær afskrivning eller på basis af annuisering.

I det følgende beskrives de specifikke økonomiske deskriptorer, som modellen bestemmer sandsynlighedsfordelinger for og udfører følsomhedsanalyser på.

Samfundsøkonomisk beregningsstruktur

De økonomiske deskriptorer på samfundsøkonomisk grundlag består af nuværdier, annuiserede energipriser, aggregerede kvo-

ter samt kritiske værdier for opnåelse af break-even mellem reference- og alternative projekter.

Modellen bestemmer konsistente sandsynlighedsfordelinger for sådanne deskriptorer og uddyber denne information med følsomhedsanalyser på alle stokastiske uafhængige variable dersom beslutningstageren ønsker dette.

En total analyse med modellen vil kunne fremlægge følgende spektrum af økonomiske deskriptorer for beslutningstageren.

Nuværdier og annuiserede energipriser:

For

- reference-,
- alternativ- og
- differensprojektet

beregnes

- nuværdier og
- annuiserede energipriser.

Beregningsstrukturen tillader yderligere en opsplitning

på

- løbende og
- faste samt
- totale udgifter.

Videre kan ovennævnte størrelser opsplittes i beregning af

- beskæftigelses-,
- import- og
- restindkomstdele samt
- totalen.

Endelig giver modellen mulighed for en yderligere differensiering på kalkulationsrenter. Seperate kalkulationsrenter kan vælges for analyser af

- beskæftigelse-,
- import- og
- restindkomstsiden samt for
- totale betragtninger

Alt i alt er denne del af beregningsstrukturen udlagt til bestemmelse af 192 fordelinger i en totalanalyse, men ofte vil beslutningstageren kun være interesseret i et udsnit af dette spektrum.

Brugeren har yderligere den mulighed, at ovennævnte beregninger sideløbende kan blive udført under inddragelse af vægtfaktorer/skyggepriser.

I modellens nuværende udlægning inddrages "skyggepriser" som generelle vægtfaktorer på beskæftigelse, import og restindkomster.

Skyggepriser inddrages ikke på disaggregeret niveau (i tilknytning til f.eks. individuelle investeringsposter m.v.) i modellens eksisterende form.

Det følgende eksempel kan illustrere, hvilke aspekter vægtfaktorer/skyggepriser i beregningsstrukturen kan inddrage.

I en arbejdsløshedssituation kunne beslutningstageren ønske at undersøge projekialternativer under antagelse af, at skyggepriser på al indenlandsk beskæftigelse sættes til nul. Denne forudsætning er i modellen ensbetydende med at indføre en generel vægtfaktor på beskæftigelsessiden, der er lig med nul.

Modellen supplerer da de allerede nævnte beregninger med tilsvarende beregninger, hvor beskæftigelsessiden er vægtet bort.

Omvendt, i knaphedssituationer på arbejdskraft, kan man forestille sig et ønske om at inddrage en generel vægtfaktor større end 1 på beskæftigelsessiden.

Aggregerede kvoter:

Indlagte kvoter på datasiden for beskæftigelse og import på enkeltinvesteringer m.v. sammenregnes i modellen til aggregerede kvoter for

- beskæftigelse
- import og
- restindkomst

for

- reference-
- alternativ- og
- differensprojektet

Aggregerede kvoter bestemmes for projekterne opsplittet på

- løbende,
- faste og
- totale udgifter,

og yderligere vil kvoter kunne bestemmes baseret på separate kalkulationsrenter opgivet for

- beskæftigelses-
- import- og
- restindkomstsiden samt for
- totale betragtninger.

Kritiske værdier:

Følgende kritiske størrelser for break-even mellem reference- og alternativprojekter beregnes.

- kritiske vægtfaktorer/skyggepriser
på

- . beskæftigelsen under antagelse af, at vægtfaktorer/skyggepriser på
 - .. import- og
 - .. restindkomstsiden er sat til 1.

Under tilsvarende forudsætninger beregnes kritiske vægtfaktorer på import og restindkomst.

- Kritiske vægtfaktorer/skyggepriser
på

- . beskæftigelse under inddragelse af givne vægtfaktorer/skyggepriser på
 - .. import og
 - .. restindkomst.

Under tilsvarende forudsætninger beregnes kritiske vægtfaktorer på import og restindkomst.

- Kritiske aggregerede kvoter for alternativprojektet på

- . beskæftigelse,
- . import og
- . restindkomst.

Under givne vægtfaktorer/skyggepriser.

Ovennævnte kritiske størrelser vil kunne bestemmes baseret på separate kalkulationsrenter for

- beskæftigelses-,
- import- og
- restindkomstsiden samt for
- totale betragtninger.

Privatøkonomiske beregningsstruktur

For

- reference-,
- alternativ- og
- differensprojektet

beregnes på privatøkonomisk grundlag

- nuværdier og
- annuiserede energipriser.

Disse størrelser beregnes opsplittet på

- løbende og
- faste samt
- totale udgifter.

Beregningerne udføres i basisårets faste priser. Nuværdien beregnes på basis af en privatøkonomisk kalkulationsrente.

Denne er givet som

$$r = \frac{r_n \cdot (1-s) - i}{1 + i}$$

hvor

- r_n : nominel markedsrente,
- i : inflation og
- s : skat.

Denne kalkulationsrente medfører en implicit antagelse om, at privatpersoner kan anbringe og låne penge til samme rente - markedsrenten.

Dersom denne beregningsstruktur ønskes modificeret kan perifere algoritmer overlejes fra datasiden. Mere grundlæggende ændringer i beregningsstrukturen kan kræve ændringer i modellens centrale algoritmer. Hvis dette er påkrævet, vil arbejdet hermed være tilsvarende det arbejde, en ikke-probabilistisk baseret model ville involvere.

Modellens bagved liggende probabilistiske beregningsstruktur, der sørger for afvikling af stokastiske beregninger og analyser samt følsomhedsanalyser, vil ikke være påvirket af ændringer i den centrale beregningsstruktur.

7. KØRSLER MED MUSA-MODELLEN

I det følgende gennemgås en række beregningseksempler med den udviklede model. Først omtales valget af energiteknologier, beregninger udføres for, samt generelle forudsætninger. Herefter gennemgås beregningseksempler på data for Norge, Sverige, Finland og Danmark. Efter dette sammenstilles i afsnit 7.7 de nationale beregningsresultater.

7.1. Valg af testteknologier samt generelle beregningsforudsætninger.

I samråd med Nordisk Ministerråd er det besluttet at udføre modelkørsler på 3 velkendte energiteknologier til opvarmningsformål (rumopvarmning og varmt brugsvand) i énfamilieboliger.

Disse er:

- Oliefyr
- Varmepumper
- Direkte elvarme

Testteknologierne er udvalgt på baggrund af følgende kriterier:

- Testberegningerne skal i videst mulig omfang illustrere modellens anvendelsesmuligheder. Testteknologierne bør være velkendte, klart definerede og ikke komplicerede systemer bl.a. for at fremhæve metoden i regneeksemplerne.
- Testteknologierne bør vælges således, at modelberegningerne kan berøre relevante problemstillinger i så mange af de nordiske lande som muligt.
- Der bør vælges de samme teknologier for alle nordiske lande for at gøre sammenligninger mulige.

Desuden måtte dataindsamlingen være overkommelig inden for projektets tidsrammer.

Det har været et mål at indsamle data for disse 3 typer varme-anlæg fra alle nordiske lande, så projektudkommet, foruden det metodiske indhold omkring inddragelse af usikkerheder i vurderinger, vil fremstå med direkte relevans i de enkelte lande.

I forbindelse med dataindsamlingen er der taget kontakt med

Olie- og energidepartementet	Norge
Vattenfall	Sverige
VTT	Finland.

De danske data er leveret af Systemanalyseafdelingen på Forskningscenter Risø.

Standardboliger, som med baggrund i de pågældende landes klimatiske forhold findes interessante som udgangspunkt for denne vurdering, er via ovennævnte datakilder valgt for Norge, Sverige, Finland og Danmark.

Standardboligerne tænkes nyopførte, og effektbehov samt årlige nettoenergiforbrug fastlægges for boligerne før installation af varmeanlæg, varmfordelingssystem m.v.

Tabel 1. Standardboliger i regneeksemplerne.

	N	S	F	DK
Bolig areal				
m ²	100	130	120	135
Effektbehov Kw				
Rumvarme ca.	6	7	7	7
Varmt vand	1-2	1-2	1-2	1-2
Nettoenergibehov				
Kwh/år				
Rumvarme	12-14000	15-19000	16500	13500
Varmt vand	3000	3000	3500	3000
Total	15-17000	18-22000	20000	16500

Da bygningskrav omkring isoleringsstandard kan være forskellige for forskellige typer af installeret varmeanlæg, må data for udgifter til eventuel øget isoleringsniveau medregnes for at fastholde en konsistens i differensprojektvurderinger. De viste nettoenergibehov i tabel 1 er udgangsværdier før en eventuel justering for merisolering af boligen. Sådanne justeringer er indlagt i modellen via perifere algoritmer for sammenhængen mellem nettoenergibehovsreduktionen og merisoleringsinvesteringen.

Udgifter til varmfordelingssystem, installationernes pladskrav i og uden for boligen samt udgifter til skorsten er tilsvarende medtaget af hensyn til beregningernes sammenlignelighed.

Data på de enkelte teknologier i de fire lande er dels hentet fra nationale udredninger og analyser og dels suppleret med mere ad hoc ansættelser af priser etc. samt usikkerheder uden baggrund i et bredere statistisk materiale.

Det skal understreges, at der her er tale om regneeksempler til illustration af den udviklede metode og model.

Det har ikke været muligt inden for projektets tidsrammer at fremskaffe data for beskæftigelses- og importkvoter på komponentniveau for Norge, Sverige og Finland. Modelkørslerne for disse lande er derfor foretaget uden inddragelse af beskæftigelses- og importforhold.

Modelberegninger, der medtager forhold omkring beskæftigelse, import og restindkomst samt inddrager vægtfaktorer/skyggepriser, er derfor alene illustreret på danske data.

Danske data for beskæftigelse og import på komponentniveau er hovedsagelig baseret på baggrundsmaterialet for og resultater fra ref. 1.

Kvoter for beskæftigelse, import og restindkomst på komponentniveau, der inkluderer både direkte og indirekte effekter, er

her beregnet for investeringer og variable udgifter for en række energiteknologier.

Usikkerheder på disse kvoter er skønnet på et løsere grundlag.

Regneeksemplerne er alle udført med en tidshorisont på 20 år. Nedenfor i tabel 2 er givet en oversigt over nogle generelle forudsætninger for de enkelte lande.

Tabel 2. Generelle økonomiske beregningsforudsætninger.

	N	S	F	DK
Samfundsøkonomisk				
kalkulationsrente	5%	4%	5%	7%
Markedsrente	12%	14%	11%	12%
Inflation	4%	3%	3%	5%
Skat	50%	50%	50%	50%
Moms	20%	12%	16%	22%

Det bemærkes i tabel 2, at der for Danmark er valgt en relativt set høj samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 7% p.a., og at der for Sverige til de privatøkonomiske beregninger er valgt en relativ høj realrente på henved 11% p.a.

Kortsigtspreferencen er på samfundsøkonomisk grundlag relativt højest i det danske tilfælde og mindst i det svenske tilfælde. Af tabellen ses yderligere, at dette forhold er omvendt for privatøkonomiske beregninger.

Generelt for de fire lande er det fundet rimeligt at inddrage rentefradrag på basis af en beskatning på 50%.

I flere lande er momsen differentieret geografisk eller på produkter. I Norge varierer momsen geografisk; dog er der her valgt én repræsentativ værdi på 20%. En variation/usikkerhed på momsen kunne have været inddraget. I Sverige er den generelle moms p.t. 23,42%, men her benyttes en moms på 12%, der

omfatter bygningsmaterialer og vedligehold i denne sammenhæng. En undtagelse er, at varmepumper og brændsler i Sverige ikke er momsbelagte.

Momsen (oms) i Finland er ligeledes differentieret på produkter, hvorimod man i Danmark opererer med én generel moms.

Tabel 3. Energiafgifter anvendt i forbindelse med fastlæggelse af prognoser for forbrugerpriser på el og olie.

Energiafgift	N	S	F	DK		
	Øre/kWh	Øre/kWh	p/kWh	Øre/kWh		
				85	86	87
El	3,3	7,2	2,5	15,5	26,0	26,0
Olie	0,24	7,2	1,28	3,6	12,9	15,4

Privatøkonomiske brændselsprisprognoser for el og fyringsolie er beregnet ud fra prognoser på samfundsøkonomisk grundlag ved tillæg af ovennævnte afgifter samt efterfølgende tillæg af moms.

Dog, som nævnt, er Sverige en undtagelse fra denne sammenhæng, idet brændsler ikke er momsbelagt i Sverige. Også Norge skiller sig her ud, ved at afgiftsdelen ikke er momsbelagt.

Antagelser omkring usikkerheden på brændselsprisudviklingen over beregningsperioden er inddraget ved angivelse af lave og høje brændselsprisprognoser samt ved fastlæggelse af tilhørende transverse fordelinger (se afsnit 5). I regneeksemplerne er en rektangulær transvers fordelingstype valgt generelt, hvilket medfører at de lave og høje brændselsprisprognoser bliver ekstremere, og alle mellemliggende proportionale prisudviklingsforløb vil optræde med lige stor sandsynlighed i beregningerne.

Følsomhedsanalyser på brændselsprisudviklingen er i alle eksemplerne baseret på to gængse gennemregninger, hvor den lave henholdsvis høje brændselsprisprognose indgår.

Grafiske præsentationer af brændselsprisprognoserne er placeret i de følgende afsnit i forbindelse med gennemgangen af beregninger for landene enkeltvis.

Alle priser er angivet i 1985-prisniveau.

7.2. Bemærkninger til grafiske præsentationer.

Alle stokastisk uafhængige variable er præsenteret på grafisk form.

I flere situationer er konstanter også medtaget i de grafiske data-ark. Dette er gjort af hensyn til helheden og kan iøvrigt betone, at alle størrelser i modelberegningerne kan være opgivet med tilhørende usikkerhed.

Stokastisk afhængige variable er ikke præsenteret grafisk. Disse er i teksten beskrevet via de relationer, korrelationer m.v., som de er bestemt ud fra.

Data til privatøkonomiske beregninger er som nævnt oftest koblet til data på samfundsøkonomisk grundlag eller visa versa via afgifter og moms udtrykt gennem perifere algoritmer.

Til de viste regneeksempler er samfundsøkonomiske priser indsamlet med forskrifter til herudfra at danne privatøkonomiske priser. Derfor optræder privatøkonomiske priser som stokastisk afhængige størrelser. Grafisk præsenterede investeringer m.v. er af denne grund vist i samfundsøkonomiske priser.

Resultater fra differensprojektvurderinger præsenteres grafisk på "resultat-ark", der viser sandsynlighedsfordelinger for reference-, alternativ- og differensprojekter samt et udvalg af følsomhedsanalyser.

Abscisseaksen for differensen $DIF=ALT-REF$ angiver merudgiften ved valg af alternativprojektet.

Nulpunktet for differensens abscisseakse er break-even punktet for reference- og alternativprojekter.

Resulterende sandsynlighedsfordelinger er beregnet via 5000 Monte-Carlo-iterationer. Den sete irregulære kurveform i sandsynlighedsfordelingerne vil tone bort for voksende antal Monte-Carlo-iterationer.

For at anskueliggøre sammenhængen mellem kurveform og antallet af iterationer er én beregning på norske data (VP-D.EL) udført med 10000 iterationer.

De beregnede sandsynlighedsfordelinger er opdelt af vertikale linier, hvis skæring med abscisseaksen fastlægger 10%, 20%, ..., 90% fraktiler. Fraktilerne er bestemt med stor nøjagtighed trods fordelingernes irregulære udseende. Den gode statistik på fraktilerne kan iagttages ved sammenligning af de to norske beregninger for referenceprojektet, direkte elvarme, på basis af henholdsvis 5000 og 10000 Monte-Carlo-iterationer.

Nedenunder en beregnet sandsynlighedsfordeling er et udvalg af følsomhedsanalyser præsenteret grafisk. En vandret brudt bjælke udtrykker følsomhedsanalysen på en variabel eller en gruppe af koblede variable.

Åbningen i en brudt bjælke angiver variationsintervallet for den beregnede størrelse, når en stokastisk data-variabel varieres

$\pm 2 * \text{spredningen}$ omkring sin middelværdi, mens alle øvrige stokastiske størrelser fastholdes på deres middelværdi.

Følsomhedsanalyserne udtrykker til 1. orden indflydelsen fra individuelle stokastiske variable eller variabelgrupper på den samlede usikkerhed.

De viste følsomhedsanalyser kobler således til usikkerhedsangivelser i data. Følsomhedsanalyser skal derfor læses i sammenhæng med de præsenterede data-ark.

Længst til højre i en vandret bjælke er angivet en kort tekst, der identificerer den variabel, følsomhedsanalysen angår.

Længst til venstre er angivet en data-ark-position, A1-F3, og en 8-cifret data-kode, der genfindes på data-arket. Desuden er der i en bjælke angivet et "+" eller et "-". Et "+" angiver, at den beregnede størrelse vokser for voksende værdi af den variable. Et "-" angiver, at en beregnet størrelse aftager for voksende værdi af den variable.

Følsomhedsanalyser i forbindelse med privatøkonomiske beregninger er udført på samfundsøkonomiske data. Dette er gjort, da privatøkonomiske priser her er afledt af samfundsøkonomiske priser via perifere algoritmer. Under tolkningen af følsomhedsanalyser, der henviser til data på samfundsøkonomisk basis i privatøkonomiske beregninger, skal det bemærkes, at de pågældende variable via perifere algoritmer er tillagt moms og eventuelle afgifter i de resulterende følsomhedsanalyser.

I flere af de viste differensprojektberegninger bemærkes det, at spredningen på differensen er mindre end spredningen på et af enkeltprojekterne.

Dette skyldes, at beregnede fordelinger for reference- og alternativprojekter er korrelerede.

Spredningen på differensprojektet $D=A-R$ er til 1. orden givet som

$$\begin{aligned} \sigma_D &\cong \sqrt{\left(\frac{\partial D}{\partial A}\right)^2 \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial R}\right)^2 \sigma_R^2 + 2 \frac{\partial D}{\partial A} \frac{\partial D}{\partial R} \cdot \text{COV}(A,R)} \\ &= \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_R^2 - \text{COV}(A,R)} \end{aligned} \quad (1)$$

I tilfælde, hvor A og R er stokastisk uafhængige, er covariansen (korrelationen) $\text{COV}(A,R) = 0$. Relationen mellem spredningen på differensprojektet σ_D , og spredningerne på reference- og alternativprojekterne σ_R , σ_A vil da reducere til

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_R^2}$$

Hvis reference- og alternativprojektet deler nogle stokastiske variable, medfører dette covarians mellem de beregnede sandsynlighedsfordelinger. Eksempelvis kan boligens nettoenergibehov være angivet som en stokastisk variabel, der indgår i beregningerne for både reference- og alternativprojektet.

I beregninger for reference- og alternativprojektet indgår samme

repræsentanter for fælles stokastiske variable, hvilket indlejrer grader af korrelation (covarians) imellem sandsynlighedsfordelingerne.

Et outreret eksempel på covarians imellem reference- og alternativprojektet er tilfældet, hvor projekterne er identiske. Enkeltprojekterne kan her have sandsynlighedsfordeling med spredning forskellig fra nul, mens sandsynlighedsfordelingen for differensprojektet udarter til en fordeling med middelværdi og spredning lig med nul.

I regneeksemplerne, præsenteret her, vil covarians mellem reference- og differensprojekter oftest være fremkommet af, at nettoenergibehovet er angivet som en stokastisk variabel, eller at brændselsprisudviklingen er udtrykt med usikkerhedsangivelse. I nogle situationer indeholder reference- og alternativprojekter desuden identiske stokastiske investeringsposter. Eksempelvis kan investeringer i et varmfordelingssystem været påkrævet i både reference- og alternativprojektet. For at få konsistens i de stokastiske beregninger på differensprojektet, skal sådanne investeringer i reference- og alternativprojektet være identiske.

Resumé af forklaring til resultat-ark

Beregnete sandsynlighedsfordelinger er placeret øverst i en rude på et resultat-ark.

Lodrette linier opdeler disse sandsynlighedsfordelinger i intervaller, der hver rummer 10%'s sandsynlighed. Linieopdelingen fastlægger således fordelingernes 10%, 20%, ..., 90%'s fraktiler.

Disse fraktiler, fordelingernes middelværdi og spredning udgør hovedresultaterne i de probabilistiske beregninger.

For at illustrere hvorledes den samlede usikkerhed, udtrykt i sandsynlighedsfordelingerne på resultat-arkene, er opbygget af usikkerheder i data, er nogle udvalgte følsomhedsanalyser vist i bjælkeagrammer under sandsynlighedsfordelingerne.

Variéres en parameter $\pm 2 \cdot$ spredningen omkring sin middelværdi, mens alle øvrige uafhængige data er fastholdt på deres middelværdier, vil den beregnede størrelse variere over det viste interval i en vandret brudt bjælke.

7.3. MUSA-kørsler på norske data

I det følgende vises en række præsentationsark, der beskriver beregningernes forudsætninger og resultater. På datasiden vises data-ark for varmepumpeanlæg, oliefyring og direkte elvarme samt generelle forudsætninger herunder også brændselsprisprognoser.

Resultat-ark præsenteres for differensprojekterne

- varmepumpe contra direkte elvarme
- oliefyr contra direkte elvarme

udført på henholdsvis

- samfundsøkonomisk grundlag og
- privatøkonomisk grundlag.

Detaljer på data-ark og resultat-ark er i nogen udstrækning selvforklarende, hvorfor der i det følgende primært omtales perifere algoritmer m.v., som ikke fremgår af arkene eller den tidligere omtale.

For at illustrere modellens muligheder for at inddrage perifere algoritmer, er der i det norske oliefyrprojekt som data indlagt en simpel perifer relation, der udtrykker oliefyrets levetid som en funktion af prisen på fyret og de årlige vedligeholdelsesudgifter.

Der antages at gælde følgende forenklede deterministisk relation:

$$L = 20 + (A3 - 15000)/400 + (C3 - 750)/50 \quad (1)$$

hvor

- L : Levetiden for oliefyret (år)
A3: Prisen på oliefyret (NOK)
C3: Årlige vedligeholdelsesudgifter (NOK/år).

På data-arket for oliefyrprojektet ses at middelværdien på A3 henholdsvis C3 er 15000 NOK henholdsvis 750 NOK/år. Antager A3, C3 deres middelværdi er levetiden 20 år, og varieres A3, C3 enkeltvis $\pm 2 \cdot$ spredningen omkring deres middelværdi vil levetiden via denne relation i begge tilfælde variere i intervallet $20 \pm 7,8$ år.

Beregningsperioden i eksemplerne er sat til 20 år. Dersom oliefyrets levetid L er mindre end 20 år indtræder en reinvestering for oliefyret. Hvis levetiden er større end 20 år modregnes en restværdi, der i eksemplerne beregnes på basis af en lineær afskrivning.

Beregnes energiprisen ud fra datamiddelværdier fås på samfundsøkonomisk basis værdien 48,3 øre/kWh.

Øges oliefyrets pris med den dobbelte spredning øges levetiden til 27,8 år. Denne højere pris medfører, at en restværdi modregnes der således dæmper den umiddelbare effekt af en større investering. Reduceres oliefyrets pris med den dobbelte spredning reduceres levetiden ifølge den indlagte relation til 12,2 år. En identisk reinvestering genereres herefter, og en tilhørende lineært afskrevet restværdi modregnes.

Effekten af begge følsomhedsanalyser er energipriser højere end den centralt beregnede værdi på 48,3 øre/kWh. I det samfundsøkonomiske tilfælde er den høje kedelunit-investering mere fordelagtig end den lavere investering. Dette fremgår af resultat-arket ved, at et "-" er angivet til venstre i følsomhedsanalysens bjælke-diagram.

Følsomhedsanalysen på relationens anden indgående stokastiske variabel, de årlige vedligeholdelsesudgifter, udføres tilsvarende under fastholdelse af alle øvrige uafhængige stokastiske variable på deres middelværdi. En variation af de årlige vedligeholdelsesudgifter med $\pm 2 \cdot$ spredninger omkring middelværdien har dels den umiddelbare effekt på de årlige udgifter til vedligehold og dels den afledede effekt, via rela-

tionen (1) til oliefyrets levetid, der som før styrer restværdiberegning og reinvestering for oliefyret.

I praksis ville man nok ikke forvente en éntydig kobling mellem priser og levetider, der som her er udtrykt med få aritmetiske operationer. Formentlig ville en tættere beskrivelse af sammenhængen mellem priser og levetider i praksis gøre brug af betingede fordelinger for levetiden for en givet pris på komponenter.

I tilknytning til referenceprojektet, direkte elvarme, er en kobling mellem levetiden for en varmtvandsbeholder og prisen på denne indlagt via betingede fordelinger. Nedenstående figur viser eksemplets forventede sammenhæng mellem pris og levetid.

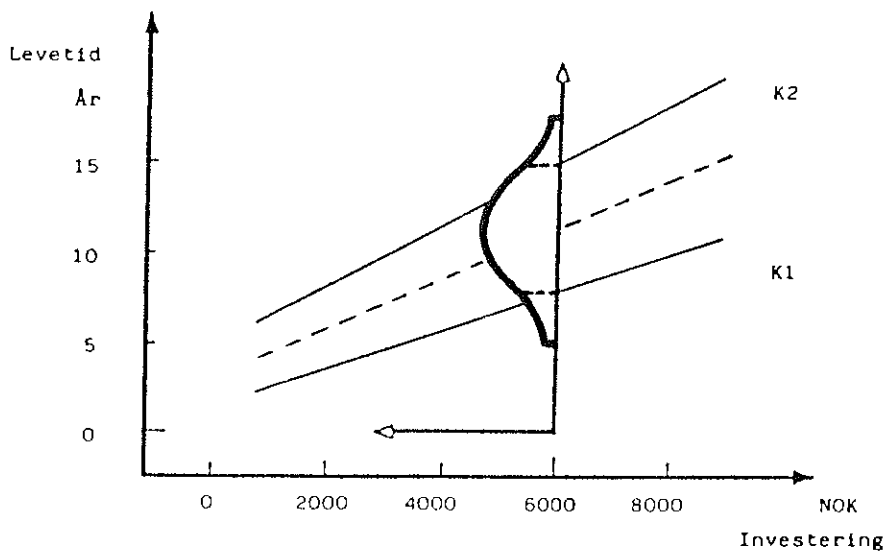


Fig. 14.

Det ses på data-arket, at investeringen i varmtvandsbeholderne antages normal fordelt med en middelværdi på 5000 NOK og en spredning på 1561 NOK. En lav investering, eksempelvis på 3000 NOK, medfører som det fremgår af figur 14 normalfordelte levetider omkring en middelværdi på 7 år og spredning på 1,56 år. Denne spredning fremkommer, da relationer mellem betingede normalfordelinger og de afgrænsende kurver K1 og K2 er valgt, så fordelingernes 10%-fraktiler henholdsvis 90%-fraktiler er sammenfaldende med K1 henholdsvis K2.

En høj investering for varmtvandsbeholderen på eksempelvis 7000 kr. antages at medføre normalfordelte levetider omkring en middelværdi på 13 år med en spredning på 3,12 år.

Da varmtvandsbeholder-investeringer hyppigst forekommer omkring middelværdien på 5000 NOK vil især betingede normalfordelinger for levetiden fra dette "område" influere beregningerne.

Følsomhedsanalyser for varmtvandsbeholder-investeringer i referenceprojektet, direkte elvarme, inddrager investeringernes korrelation med levetiden via de betingede fordelingers middelværdier.

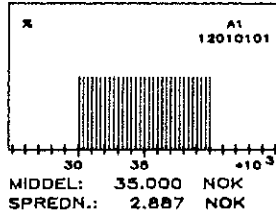
Med andre ord udføres følsomhedsanalysen på basis af den deterministiske relation, som på figur 14 er angivet som stiplet linie.

For referenceprojektet, direkte elvarme, er medtaget en "følsomhedsanalyse" benævnt "levetid installation" som på det tilhørende data-ark har position B2. Denne størrelse er en konstant på 20 år. Da spredningen er nul bliver parametervariationen i følsomhedsanalysen også nul, og en "*" angives til venstre i den tilhørende vandrette bjælke.

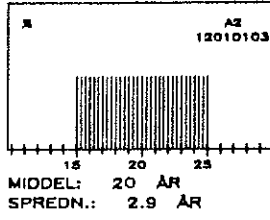
Den her anvendte metode for udførelse af følsomhedsanalyser er som tidligere nævnt koblet til stokastiske variable med spredning. Følsomhedsanalyser på konstanter skal specificeres explicit.

VARMEPUMPE L/L RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

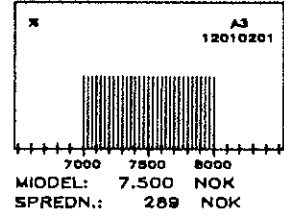
VARMEPUMPE L/L UNIT



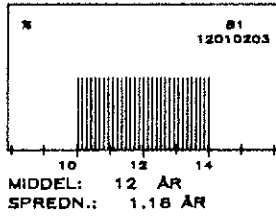
LEVETID A1



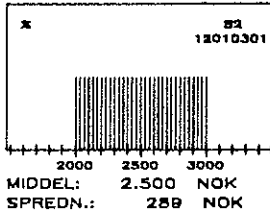
KOMPRESSOR



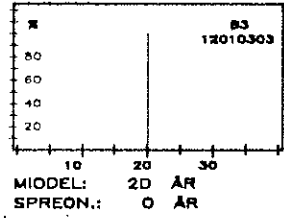
LEVETID A3



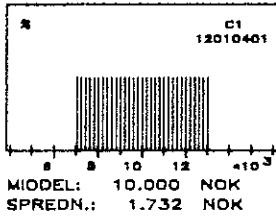
EL-RADIATORER



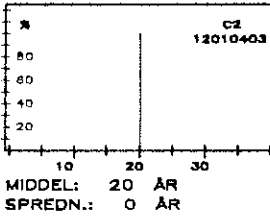
LEVETID B2



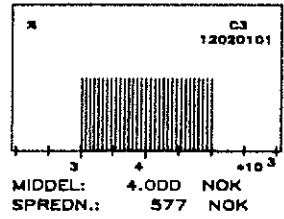
INSTALLATION M.V.



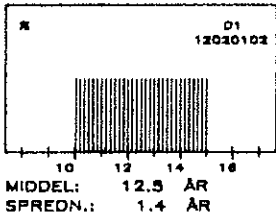
LEVETID C1



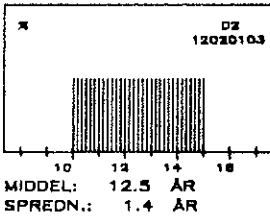
REINVEST VARTVANDSBEH.



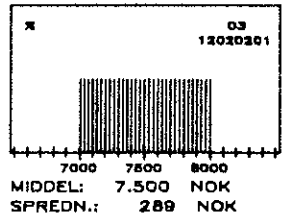
INVESTERINGSTIDSPUNKT C3



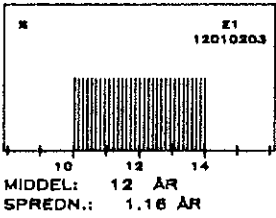
LEVETID C3



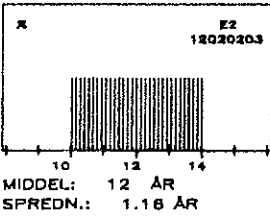
REINVEST. KOMPRESSOR



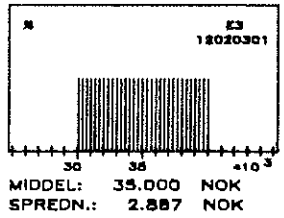
INVESTERINGSTIDSPUNKT D3



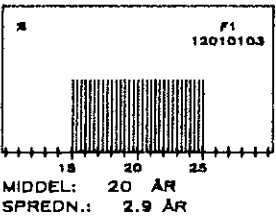
LEVETID D3



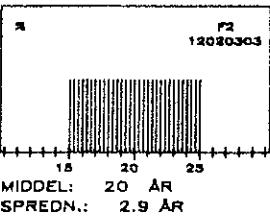
REINVEST. VP-UNIT



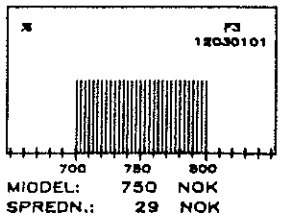
INVESTERINGSTIDSPUNKT E3



LEVETID E3

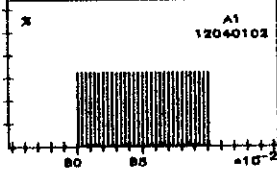


ÅRLIG VEDLIGEHOLD



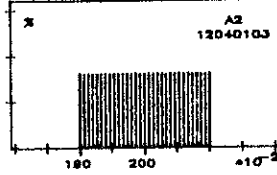
VARMEPUMPE L/L FORTSAT
RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

DÆKNINGSGRAD V/P-SYST.



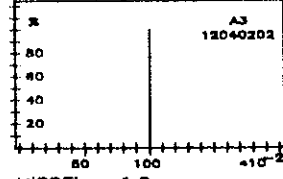
MIDDEL: 0.85
SPREDN.: 0.029

EFFEKTIVITET



MIDDEL: 2.0
SPREDN.: 0.58

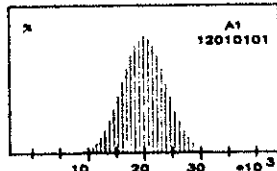
POT. DÆKNINGSGRAD EL



MIDDEL: 1.0
SPREDN.: 0

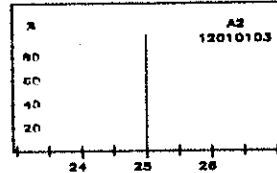
OLIEFYR
RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

VARMEFORDELINGSSYSTEM



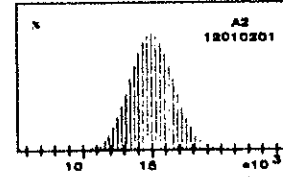
MIDDEL: 20.000 NOK
SPREDN.: 3.902 NOK

LEVETID A1



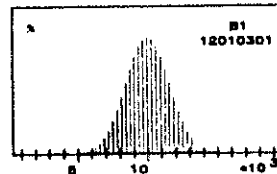
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

KEDELUNIT



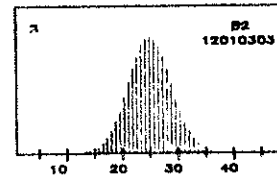
MIDDEL: 15.000 NOK
SPREDN.: 1.561 NOK

OLIETANK



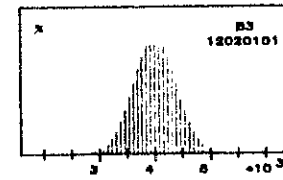
MIDDEL: 10.000 NOK
SPREDN.: 1.561 NOK

LEVETID B1



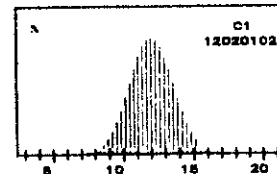
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 3.9 ÅR

REINV. OLIEBRÆNDER



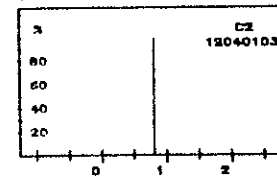
MIDDEL: 4.000 NOK
SPREDN.: 390 NOK

LEVETID B3



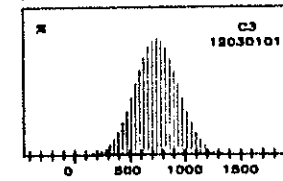
MIDDEL: 12.0 ÅR
SPREDN.: 1.6 ÅR

FYRETS VIRKNINGSGRAD



MIDDEL: 0.8
SPREDN.: 0.0

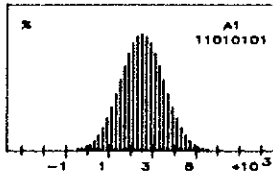
ÅRLIG VEDLIGEHOLD



MIDDEL: 750 NOK
SPREDN.: 195 NOK

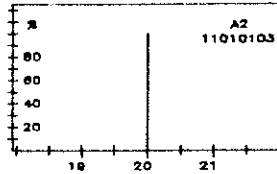
ELVARME RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

ELRADIATOR



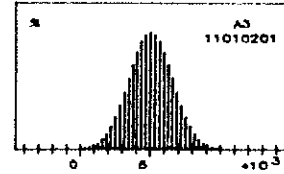
MIDDEL: 2.500 NOK
SPREDN.: 1.000 NOK

LEVEDID A1



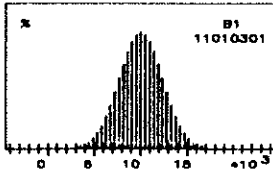
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

VARTVANSBEHOLDER



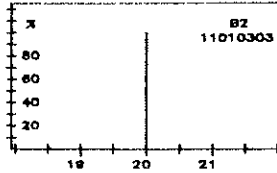
MIDDEL: 5.000 NOK
SPREDN.: 1.561 NOK

INSTALLATION



MIDDEL: 10.000 NOK
SPREDN.: 2.341 NOK

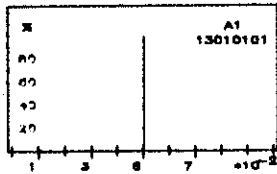
LEVEDID B1



MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

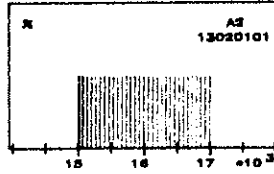
NORGE GENERELLE FORUDSÆTNINGER

SAMFØK. KALKULATIONSRENTE



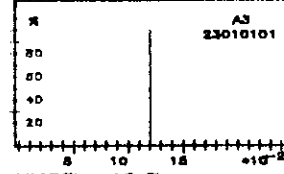
MIDDEL: 5 %
SPREDN.: 0 %

NETTOENERGIBEHOV



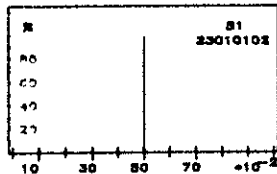
MIDDEL: 16.000 NOK
SPREDN.: 577 NOK

PRIVATØKONOMISK RENTE



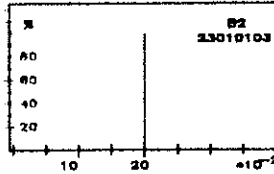
MIDDEL: 12 %
SPREDN.: 0 %

SKAT



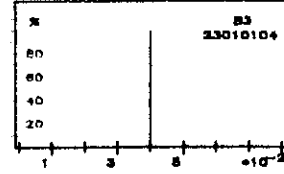
MIDDEL: 50 %
SPREDN.: 0 %

MOMS

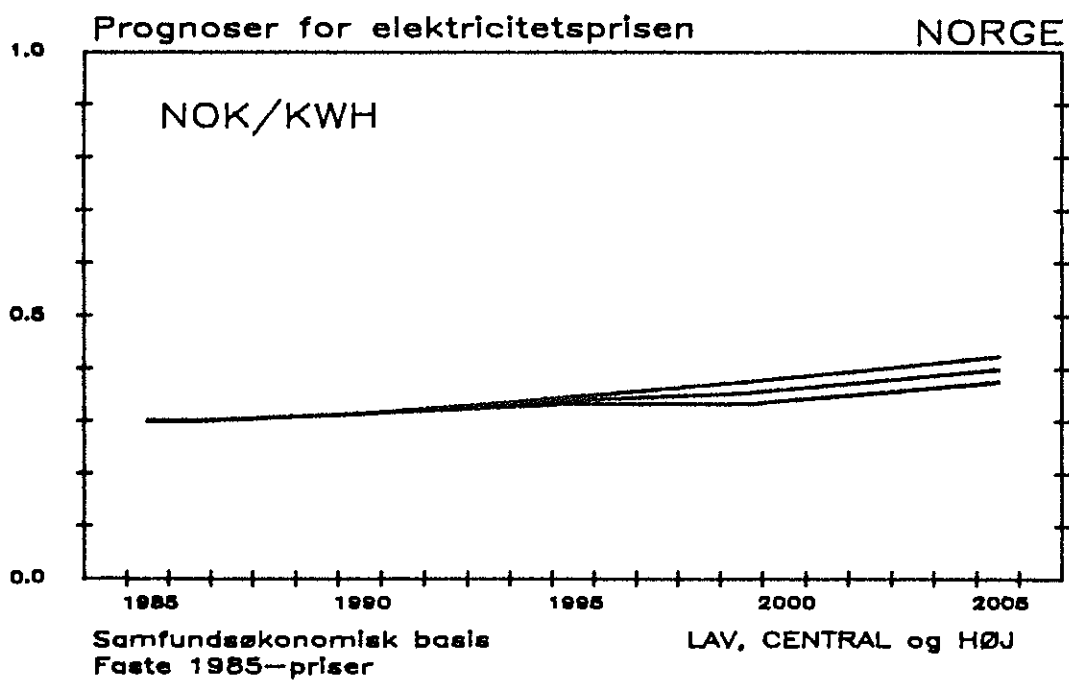
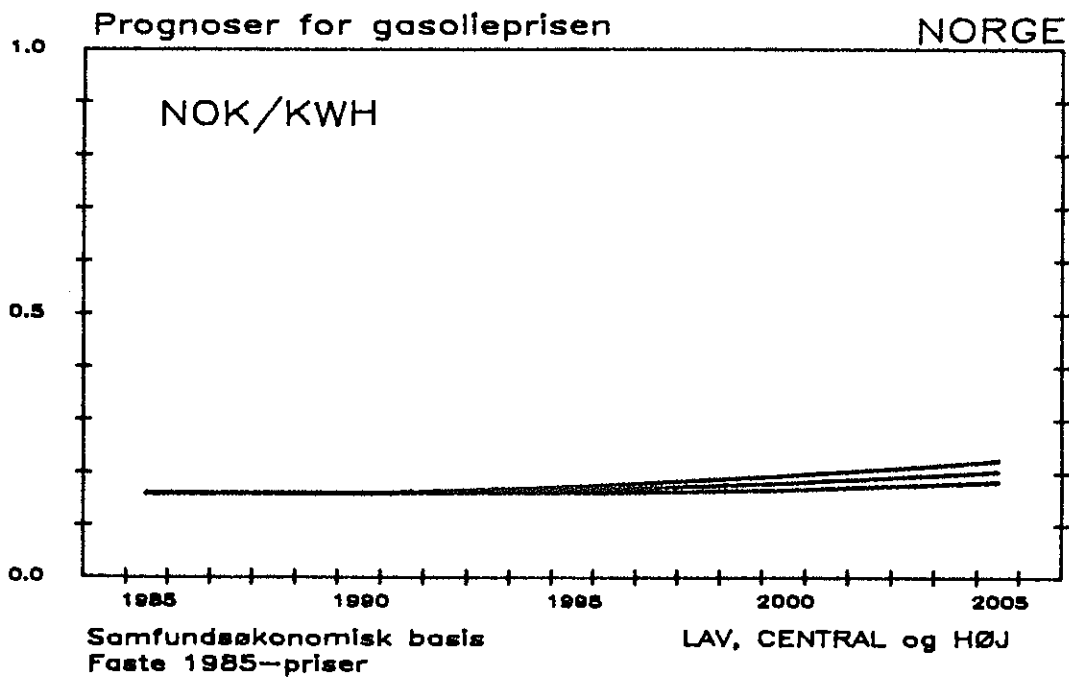


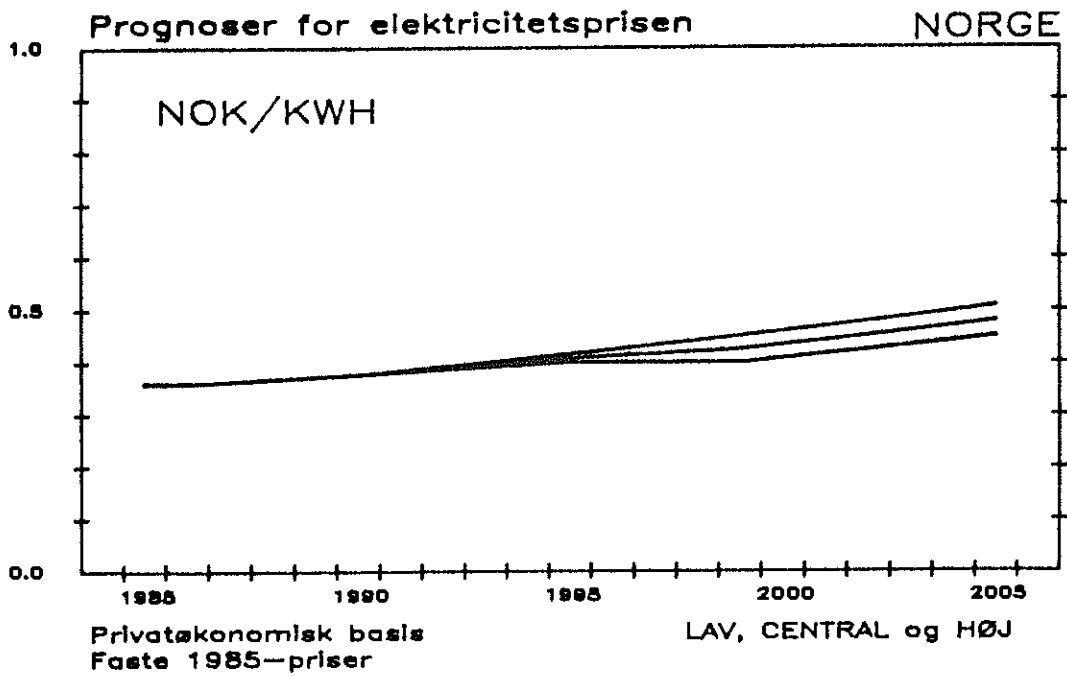
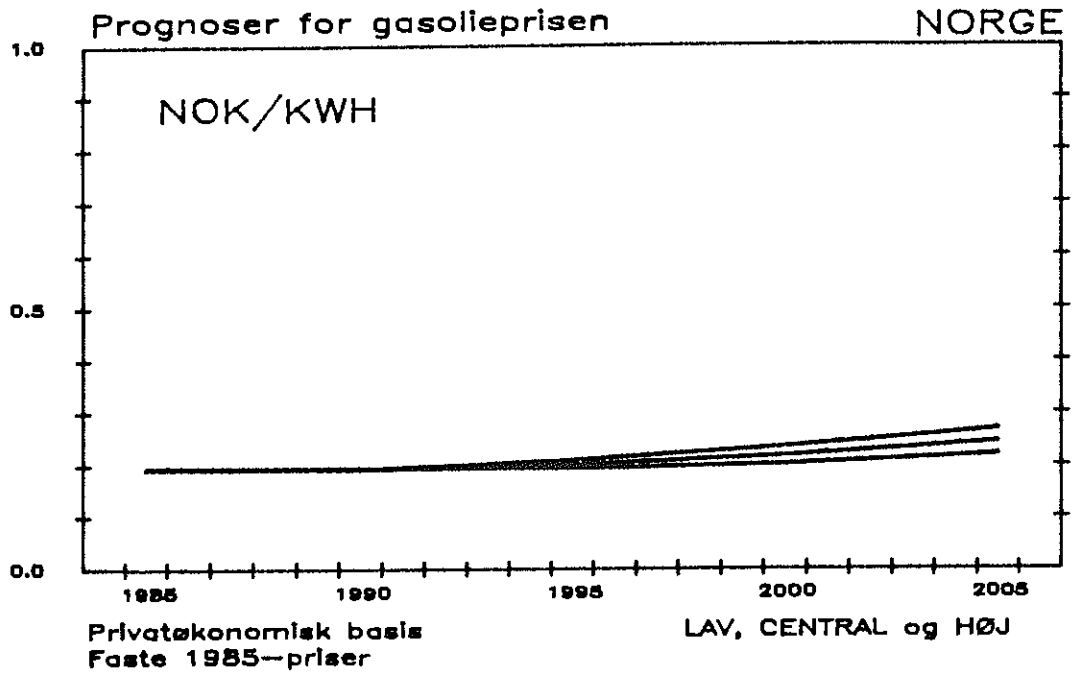
MIDDEL: 20 %
SPREDN.: 0 %

INFLATION

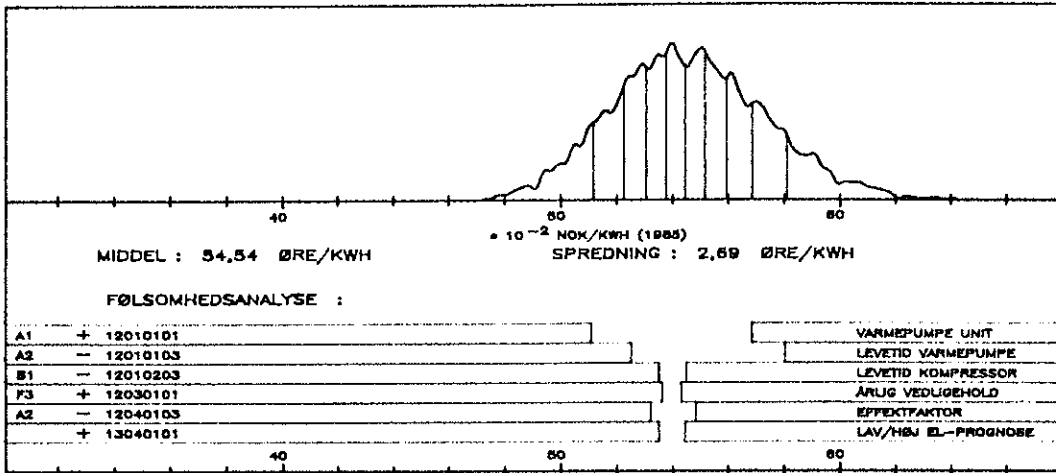


MIDDEL: 4 %
SPREDN.: 0 %

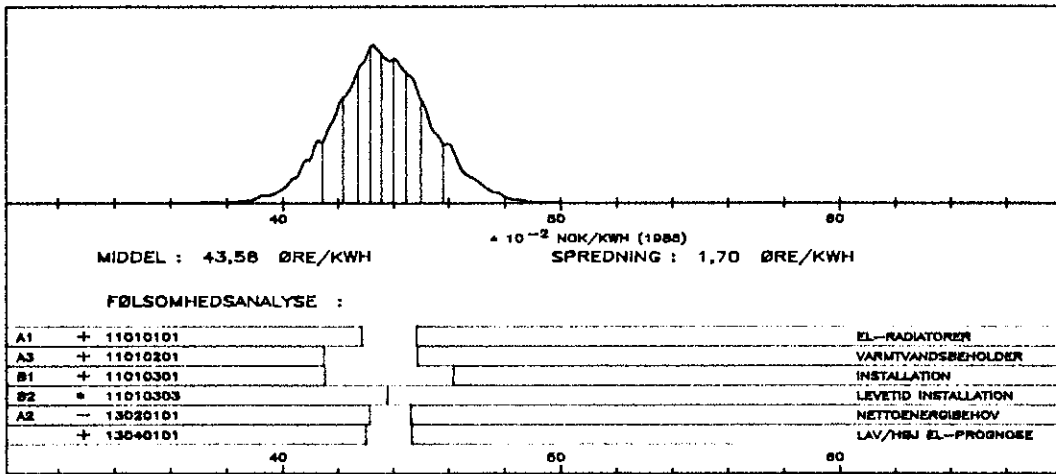




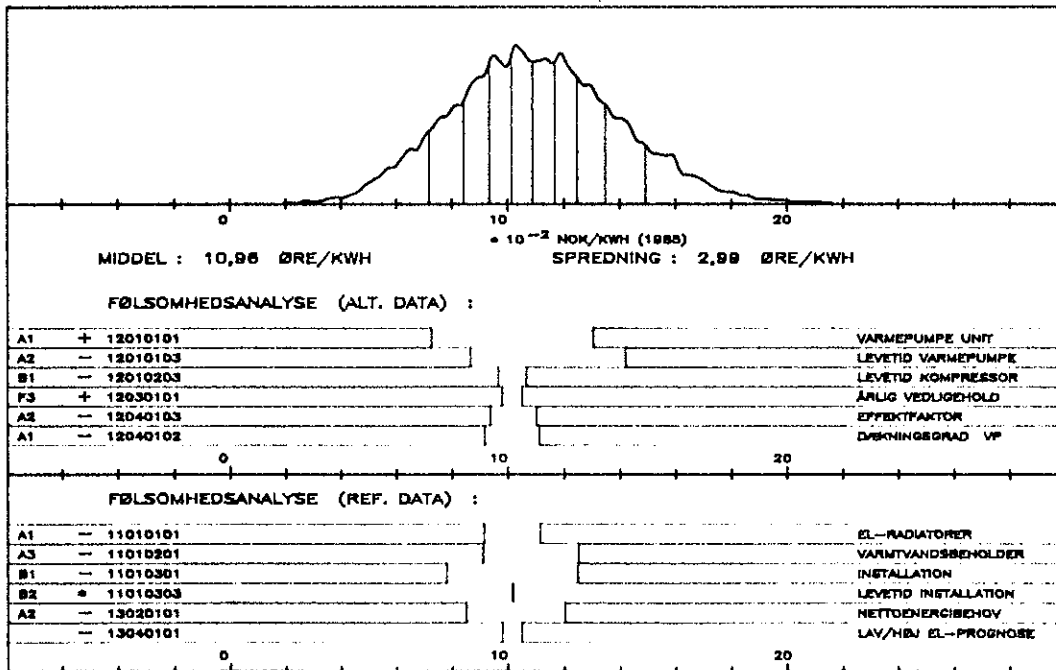
VARMEPUMPE L/L (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE



DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

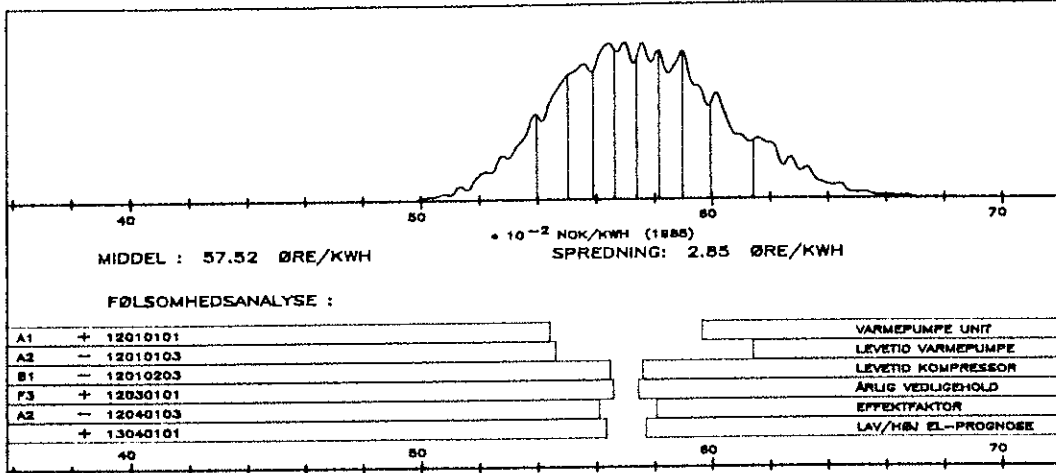


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



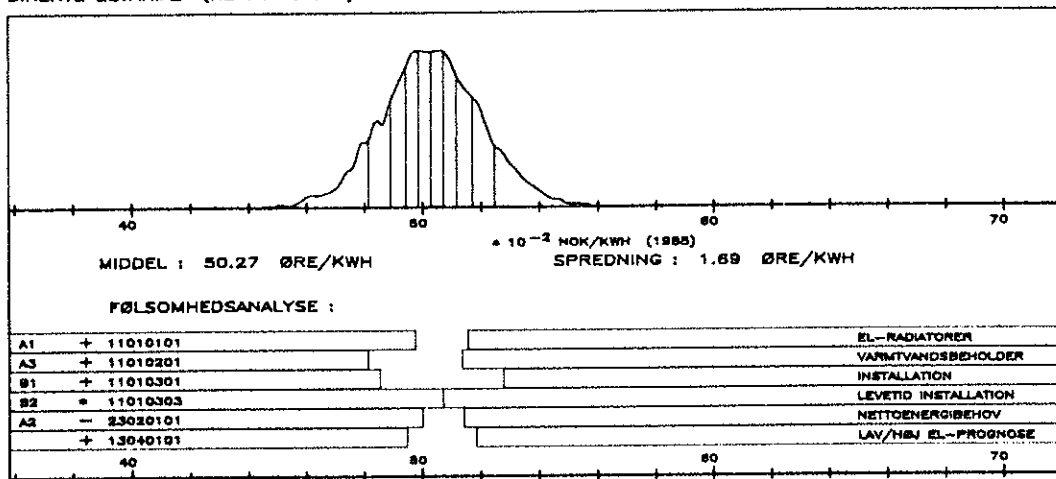
VARMEPUMPE L/L (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

NORGE

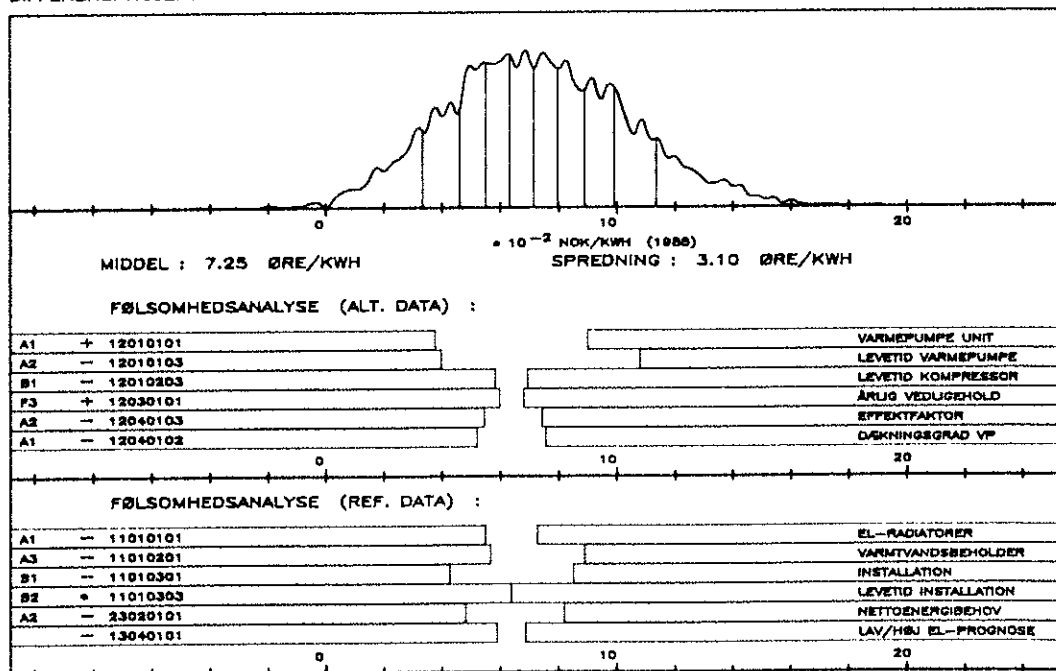


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

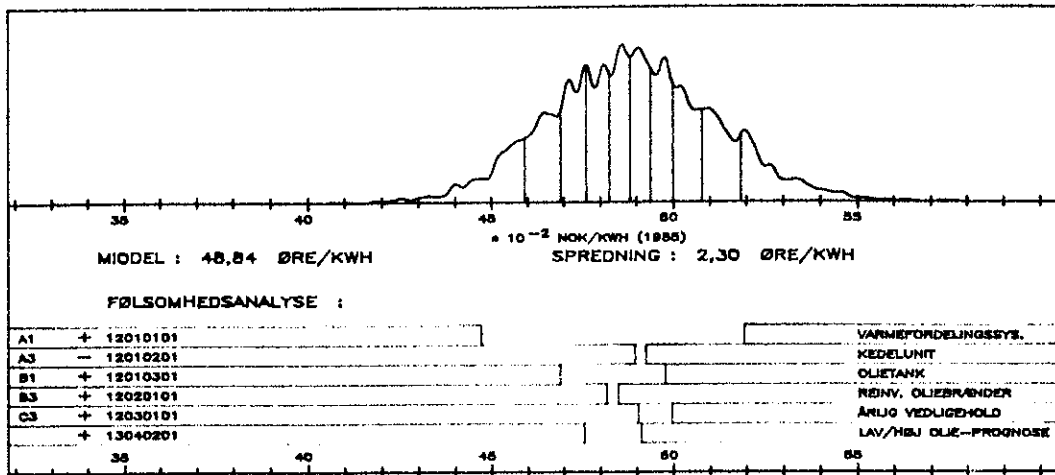
NORGE



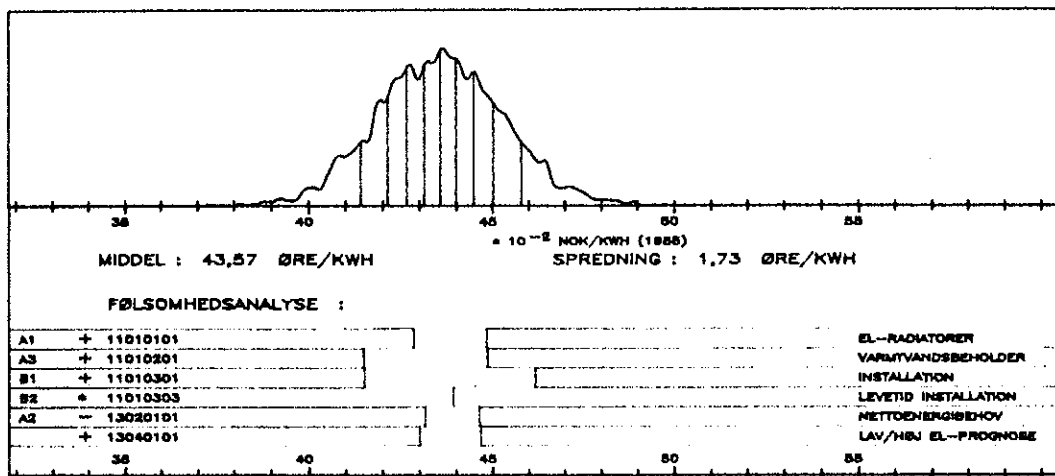
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



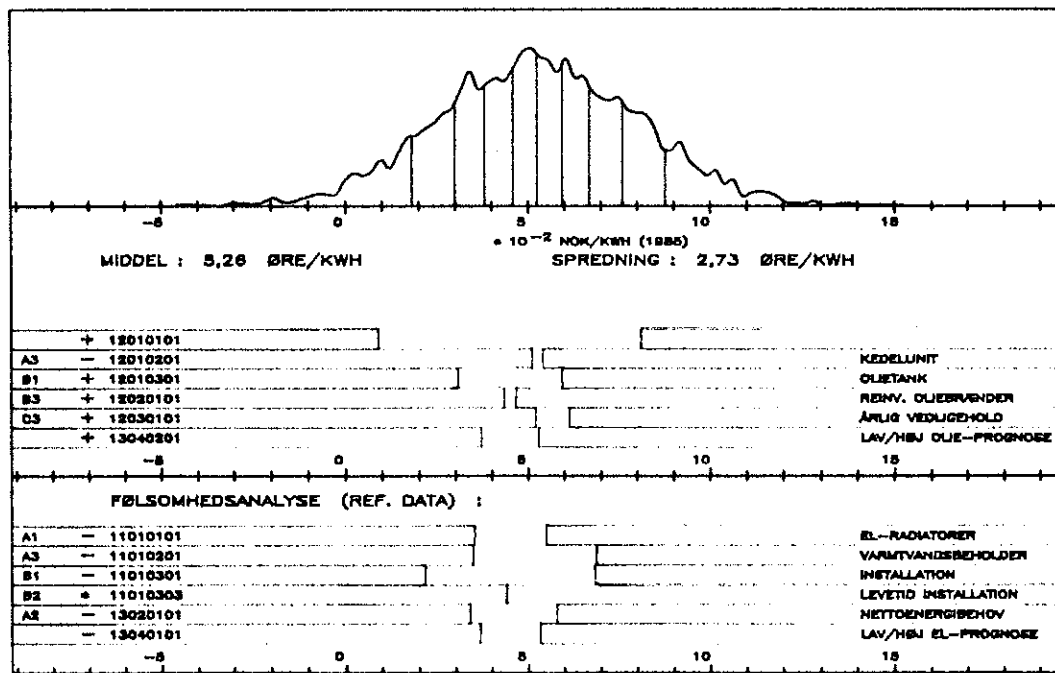
OLJEFYR (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE



DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS NORGE

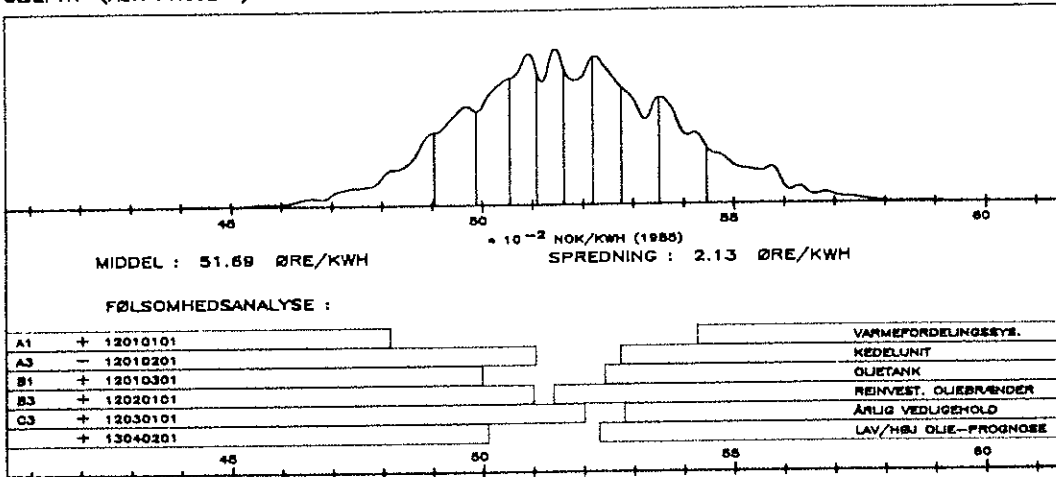


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



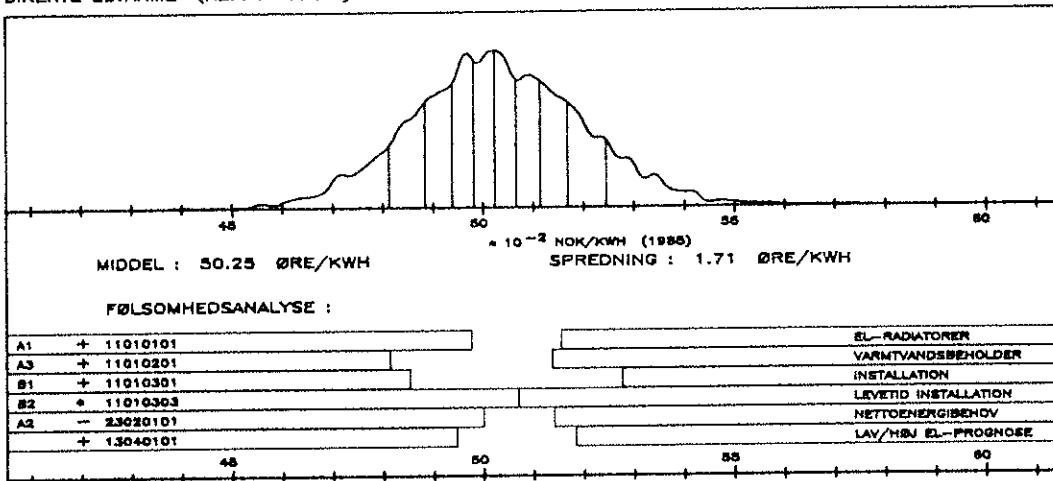
OLJEFYR (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

NORGE

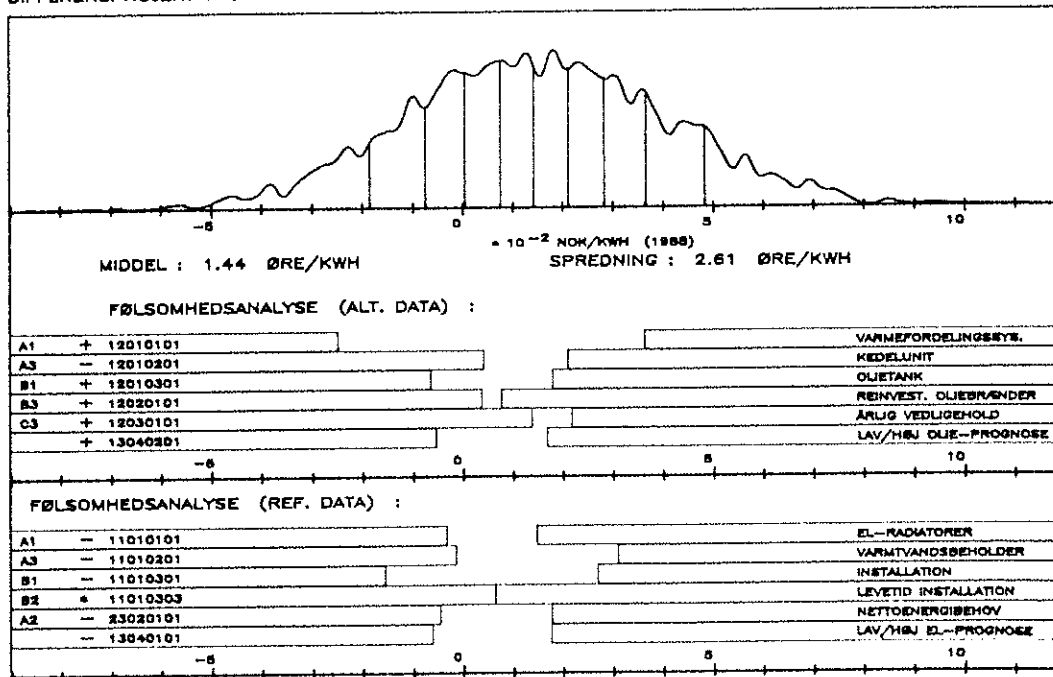


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

NORGE



DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



7.4. MUSA-kørsler på svenske data

For at få tilladelse til at installere direkte elvarme i nye boliger i Sverige kræves, at boligen er forsynet med et vand-baseret varmfordelingssystem, der muliggør andre opvarmningsformer, eller at boligen bygges efter en isoleringsstandard, gældende for direkte elvarme, der ligger ud over krav stillet til boliger, der benytter eksempelvis oliefyr eller varmepumpe.

Af denne grund er der for referenceprojektet, direkte elvarme, via perifere algoritmer formuleret en korrelation imellem standardboligens nettoenergibehov og investeringer i merisolering.

Standard-
boligens
nettoenergi-
behov efter
merisolering

(excl. klimatiske
variationer)

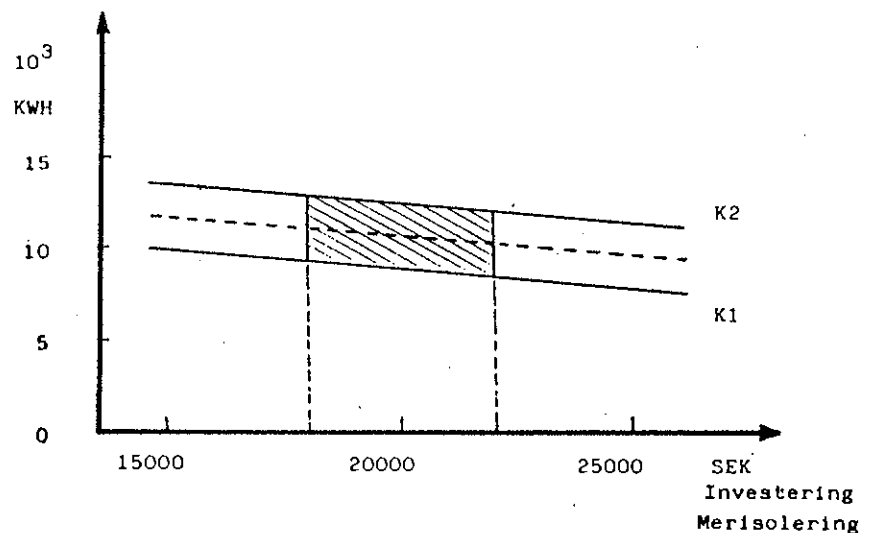


Fig. 15.

For at opfylde isoleringskravene forventes en investering på 18-22000 SEK at være påkrævet. Denne investering antages at reducere standardboligens nettoenergibehov som vist på figur 15.

I denne modellerede korrelation er der valgt en rektangulær betinget fordelingstype. Da investeringen i merisolering også er rektangulært fordelt, vil alle talpar i det skraverede område på figuren optræde med samme sandsynlighed i beregningerne.

Usikkerheden på dette nettoenergibehov tænkes at være forbundet med tekniske/konstruktionsmæssige usikkerheder.

Usikkerheden på nettoenergibehovet i den umodificerede standardbolig antages imidlertid at bero på klimatiske og adfærdsmæssige forhold.

Derfor må energibehovet bestemt via figur 15 overlejres usikkerhed hidrørende fra klimatiske og adfærdsmæssige forhold på en måde der gør differensprojektvurderingen mellem varmepumpeanlæg, oliefyring og direkte elvarme konsistente.

Det antages derfor ydermere at klimatiske og adfærdsmæssige variationer medfører samme relative variationer i energiforbruget uanset størrelsen af standardenergibehovet. Løst sagt antages det, at en kold vinter er kold uanset om det drejer sig om velisolerede boliger eller ej. Graddagetallets variation bestemmer den relative variation i energibehovet i begge situationer.

For at inddrage disse antagelser omkring referenceprojektet, direkte elvarme, beregnes den relative variation i nettoenergibehovet som

$$x = E/20500 \quad , \quad (2)$$

hvor E er nettoenergibehovet i den umodificerede standardbolig, der i middel har energibehovet 20500 kWh/år. Herefter fastlægges nettoenergibehovet for den merisolerede bolig som

$$E_{D.EL.} = x \cdot e \quad (3)$$

hvor e er bestemt via korrelationen vist på figur 15.

Følsomhedsanalyser på det oprindelige nettoenergibehov E, der på data-arket for generelle forudsætninger har position A2, skal i relation til projektet direkte elvarme tolkes gennem relationen (2). Følsomhedsanalysen på energibehovet afspejler således de antagne klimatiske og adfærdsmæssige variationers indflydelse på den samlede usikkerhed.

På resultat-arkene ses et "-" i bjælkeagrammer for følsomhedsanalyser på nettoenergibehovet. Dette har relation til, at høje nettoenergibehov medfører højere løbende brændselsudgifter for fastholdte kapitalomkostninger. Den annuierede energipris pr. kWh aftager for voksende nettoenergibehov.

Følsomhedsanalyser på investeringer i merisolering skal tolkes via figur 15 og relationen (3).

Følsomhedsanalysen respekterer den stiplede relation vist på figur 15. Effekten heraf på den beregnede annuierede energipris går via relation (3), hvor x er fastholdt ($x = 1$).

Høje investeringer reducerer den elopvarmede boligs middelenergibehov og visa versa. Den umiddelbare effekt af variationen i investeringens størrelse reduceres af den modellerede relation til boligens middelenergibehov.

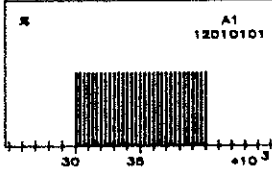
Følsomheden i referenceprojektet, direkte elvarme, over for prisudviklingen for elektricitet ses at ligge på niveau med varmepumpeanlægget. Dette fremgår tydeligst af den nederste del af resultat-arket for differensprojektet (D.EL.-VP). Følsomheden i differensen over for "høj/lav el-prognose" viser praktisk taget ingen indflydelse.

Den indlagte reduktion af energibehovet efter merisolering bringer direkte elvarme ned på en brændselsprisafhængighed der er på niveau med varmepumpeanlægget.

Trods en investering på i middel 20000 SEK i merisolering er investeringssiden for direkte elvarme betydeligt lavere end investeringssiden for varmepumpeløsningen.

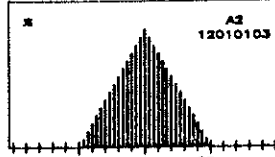
VARMEPUMPE L/L
RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS
SVERIGE

VP. UNIT (EX. COMPRES.)



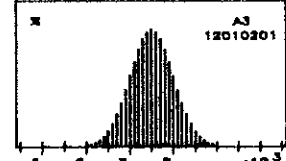
MIDDEL: 35.000 SEK
SPREDN.: 2.887 SEK

LEVETID A1



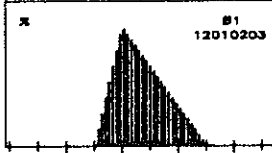
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 2.0 ÅR

VP. COMPRESSOR



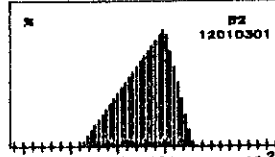
MIDDEL: 7.500 SEK
SPREDN.: 500 SEK

LEVETID A3



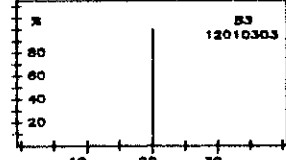
MIDDEL: 5.7 ÅR
SPREDN.: 0.85 ÅR

EL-PANELER



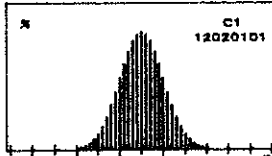
MIDDEL: 12.300 SEK
SPREDN.: 255 SEK

LEVETID B2



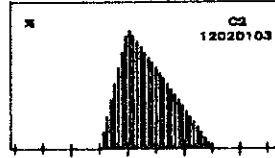
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

1. REINVEST VP. COMPRES.



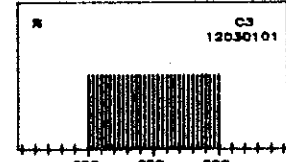
MIDDEL: 7.500 SEK
SPREDN.: 500 SEK

LEVETID C1 REINVEST.



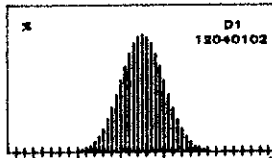
MIDDEL: 5.7 ÅR
SPREDN.: 0.85 ÅR

ÅRLIG VEDLIGEHOLDELSE



MIDDEL: 650 SEK
SPREDN.: 29 SEK

DÆKNINGSGRAD



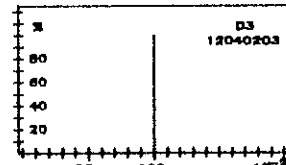
MIDDEL: 0.825
SPREDN.: 0.025

VIRKNINGSGRAD



MIDDEL: 2.3
SPREDN.: 0

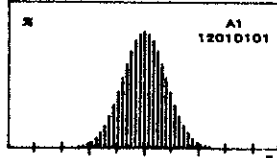
VIRKN.GRAD SUPL. ELVARME



MIDDEL: 1.00
SPREDN.: 0

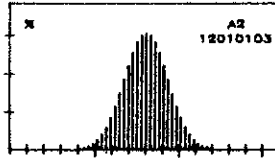
KOMBINATIONSFYR
RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS
SVERIGE

BRÆNDER



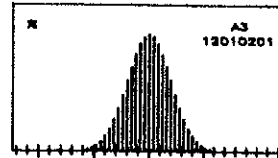
MIDDEL: 4.000 SEK
SPREDN.: 400 SEK

LEVETID A1



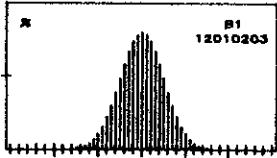
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 1.3 ÅR

KOMBIPANNE



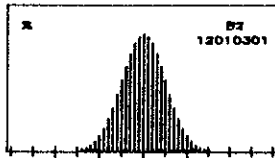
MIDDEL: 20.000 SEK
SPREDN.: 2.000 SEK

LEVETID A3



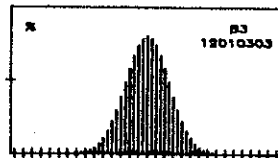
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.5 ÅR

OLIETANK I KÆLDER



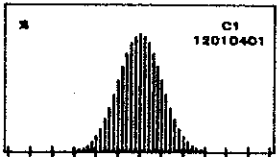
MIDDEL: 10.000 SEK
SPREDN.: 1.000 SEK

LEVETID B2



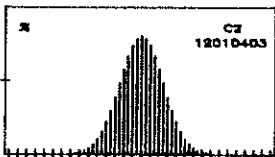
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.5 ÅR

SKORSTEN AF STÅL



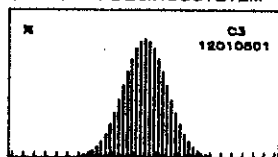
MIDDEL: 5.000 SEK
SPREDN.: 500 SEK

LEVETID C1



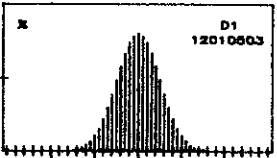
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.5 ÅR

VARMEFORDDELINGSSYSTEM



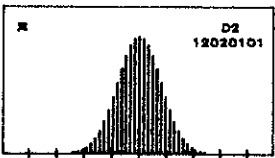
MIDDEL: 20.000 SEK
SPREDN.: 2.000 SEK

LEVETID C3



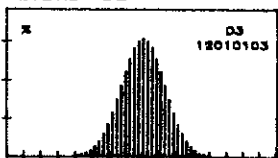
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.5 ÅR

REINVEST. BRÆNDER



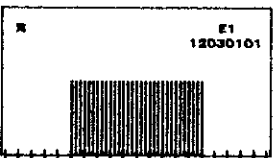
MIDDEL: 4.000 SEK
SPREDN.: 400 SEK

LEVETID D2



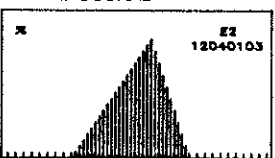
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 1.3 ÅR

ÅRLIG VEDLIGEHOLDELSE



MIDDEL: 650 SEK
SPREDN.: 28 SEK

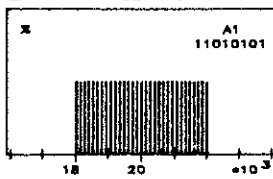
VIRKNINGSGRAD



MIDDEL: 0.88
SPREDN.: 0.031

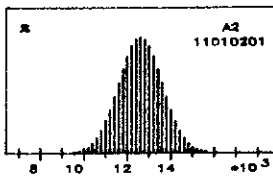
ELVARME RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS SVERIGE

EKSTRA ISOLERING



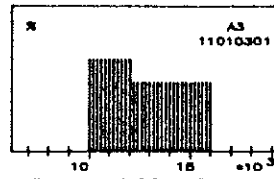
MIDDEL: 20.000 SEK
SPREDN.: 1.155 SEK

ELPANELER 5KW



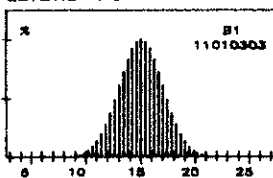
MIDDEL: 12.800 SEK
SPREDN.: 1.000 SEK

ELVANDVARMER INCL. TANK



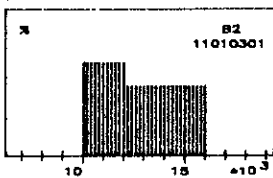
MIDDEL: 12.800 SEK
SPREDN.: 1.759 SEK

LEVETID A3



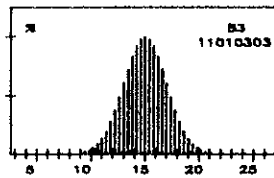
MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

REINVEST. A3



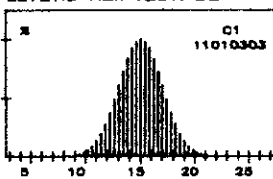
MIDDEL: 12.800 SEK
SPREDN.: 1.759 SEK

TIDSPUNKT REINVEST B2



MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

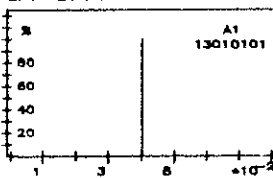
LEVETID REINVEST. B2



MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

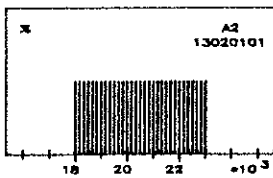
SVERIGE GENERELLE FORUDSÆTNINGER

SAMFØK. KALKULATIONSRENTE



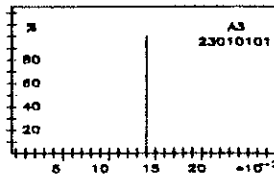
MIDDEL: 4 %
SPREDN.: 0 %

NETTOENERGIBEHOV



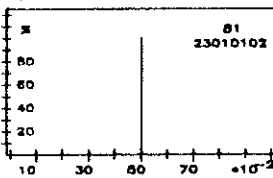
MIDDEL: 20.500 KWH
SPREDN.: 1.433 KWH

PRIVATØKONOMISK RENTE



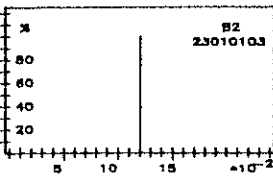
MIDDEL: 14 %
SPREDN.: 0 %

SKAT



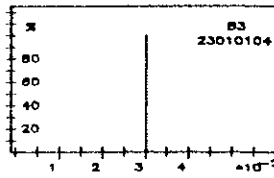
MIDDEL: 50 %
SPREDN.: 0 %

MOMS

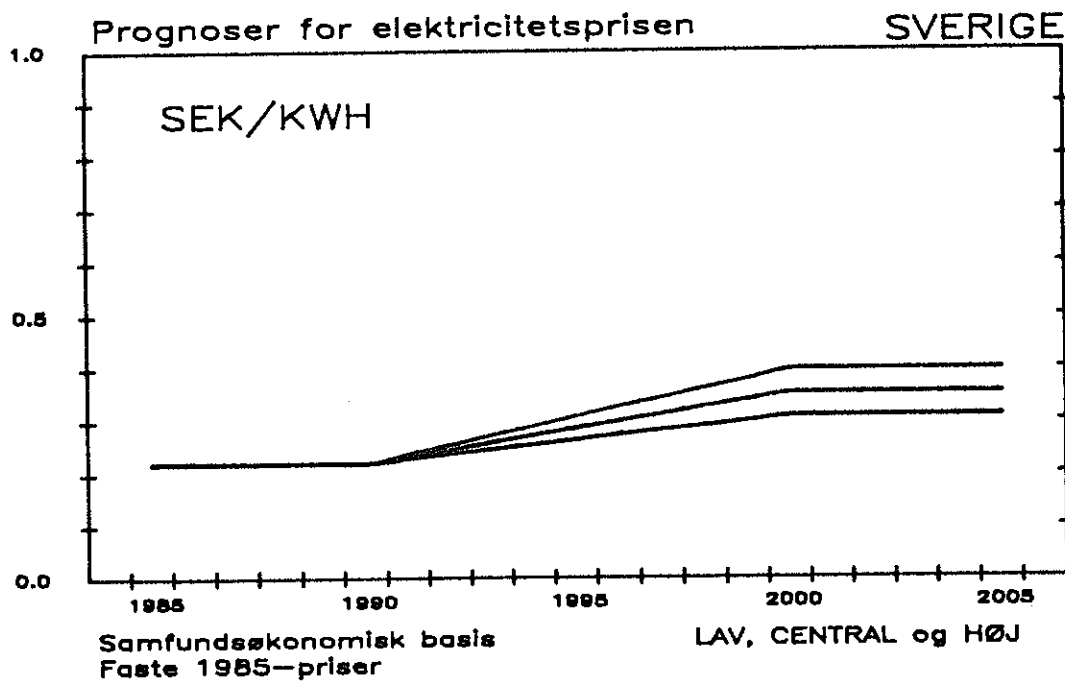
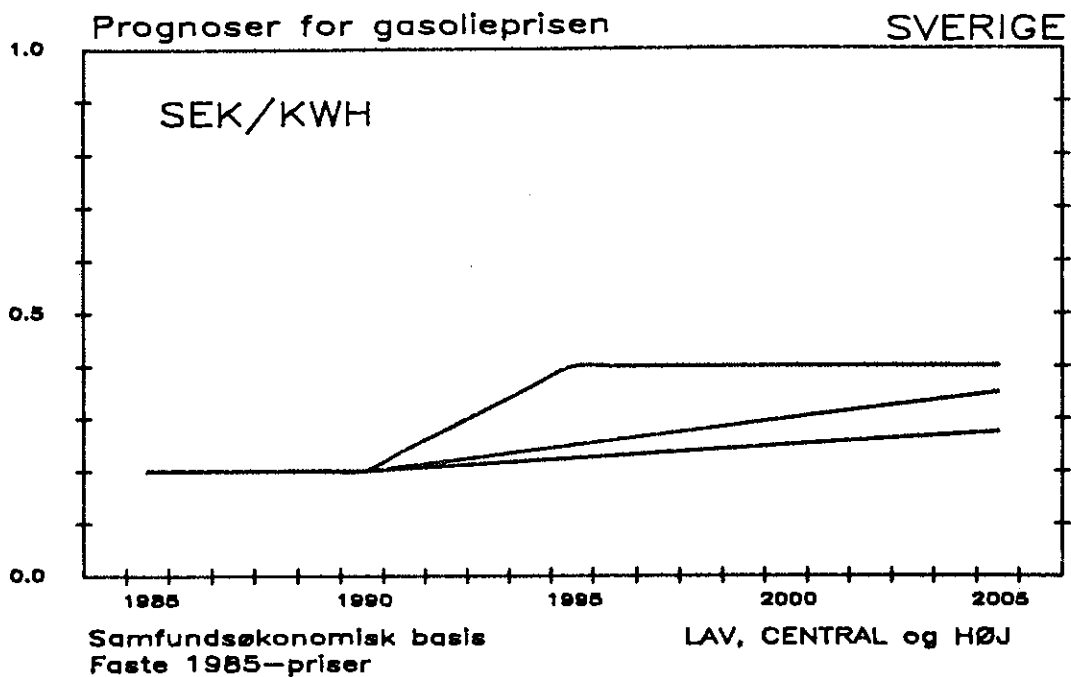


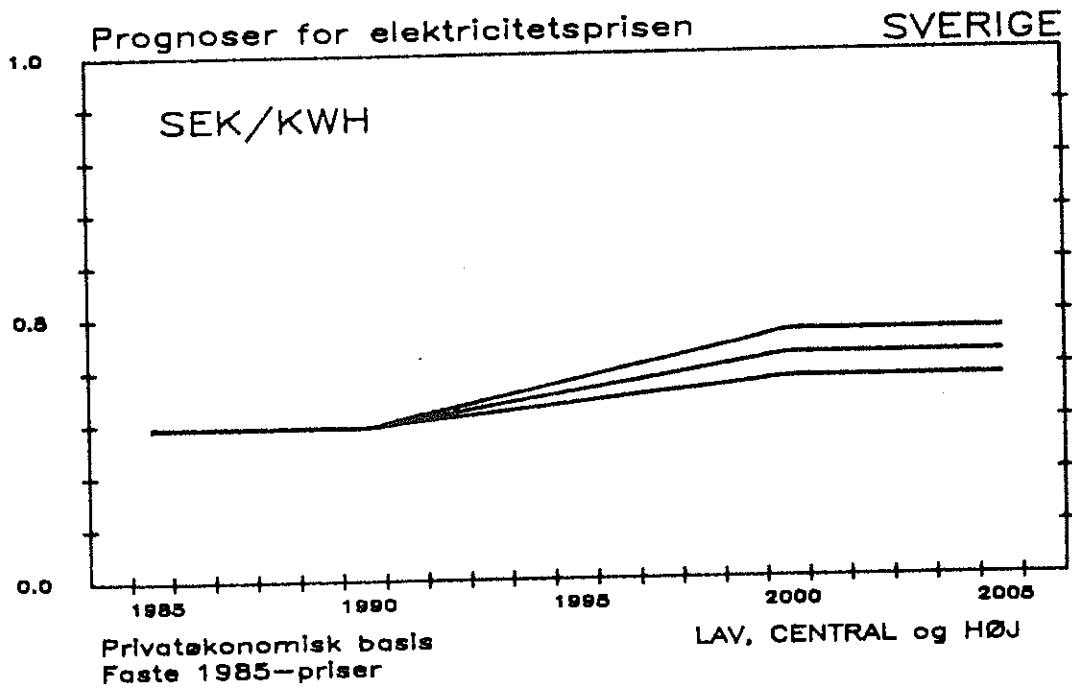
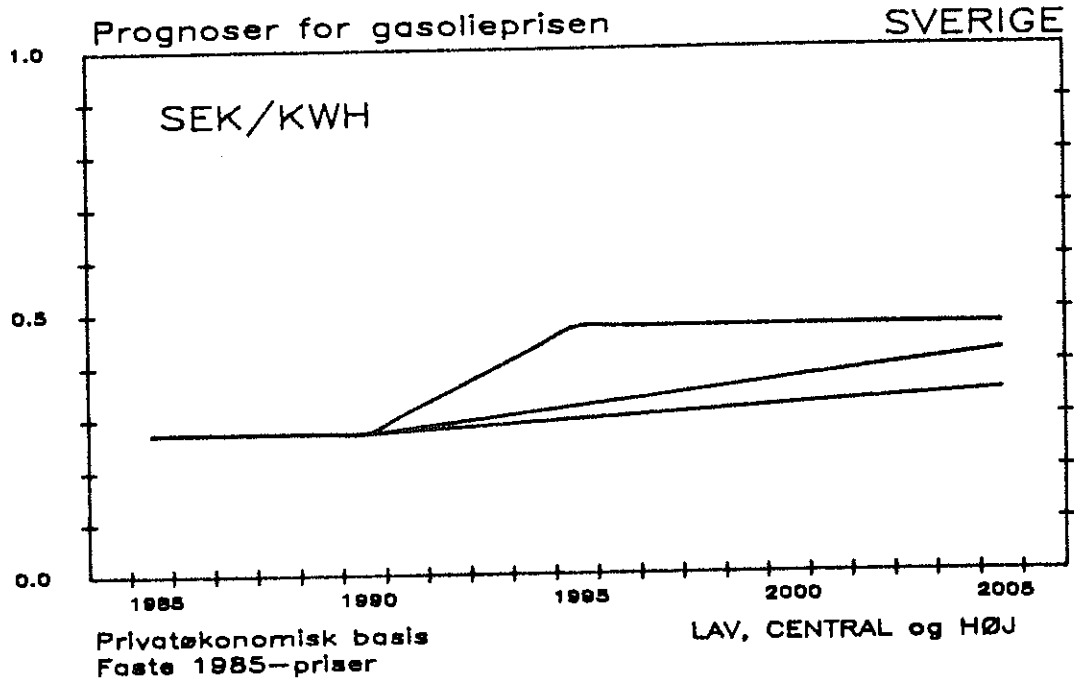
MIDDEL: 12 %
SPREDN.: 0 %

INFLATION

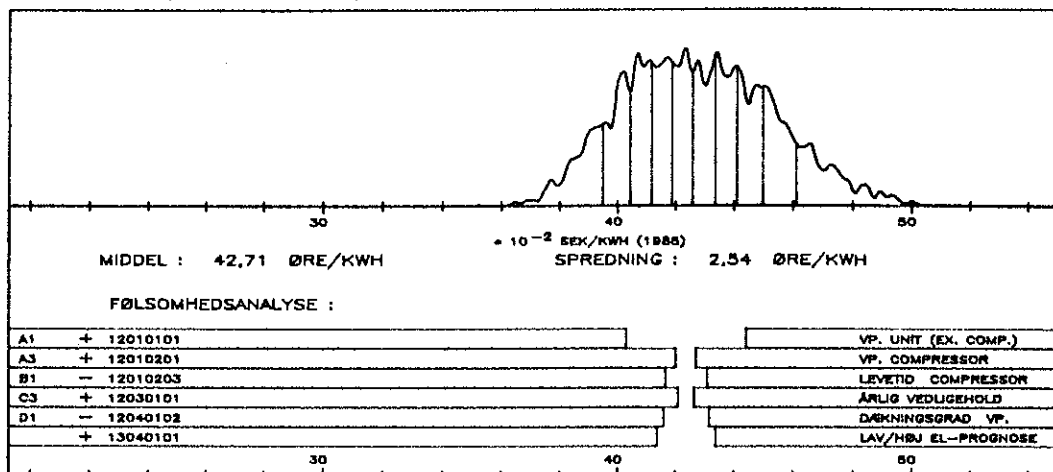


MIDDEL: 3 %
SPREDN.: 0 %

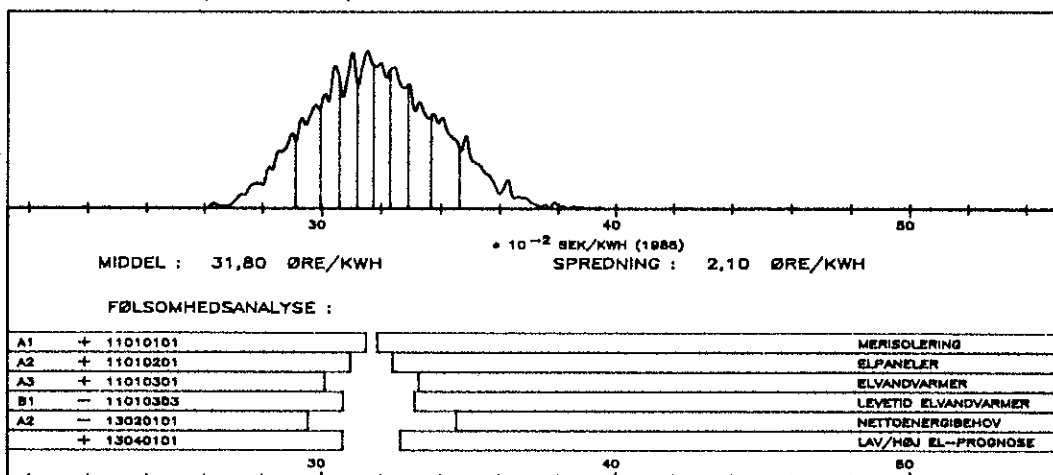




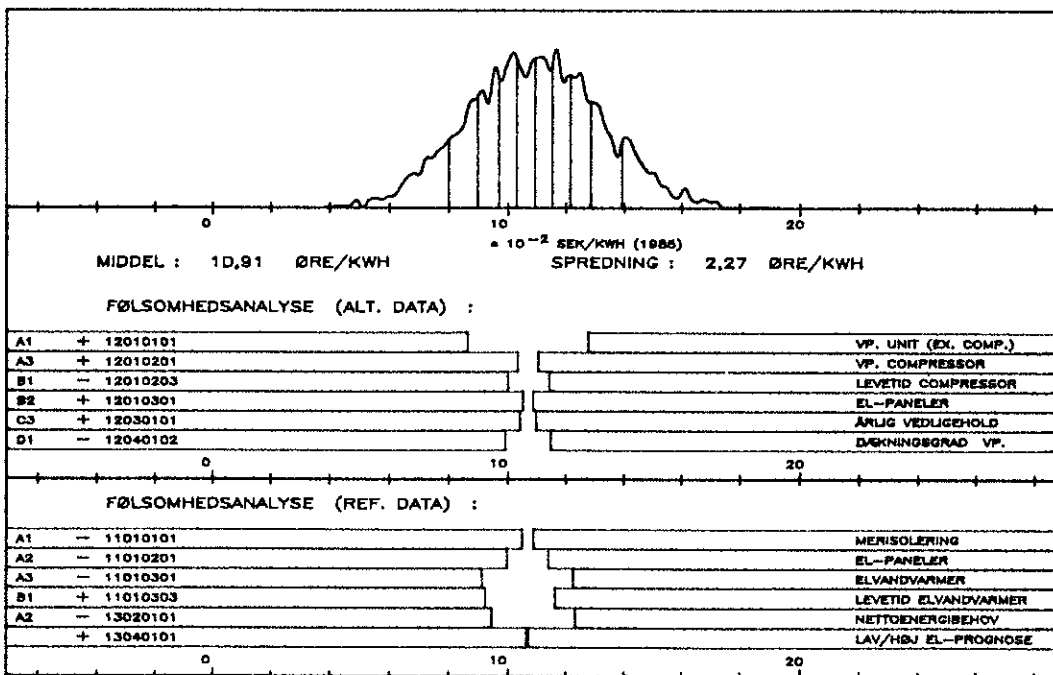
VARMEPUMPE L/L (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS SVERIGE



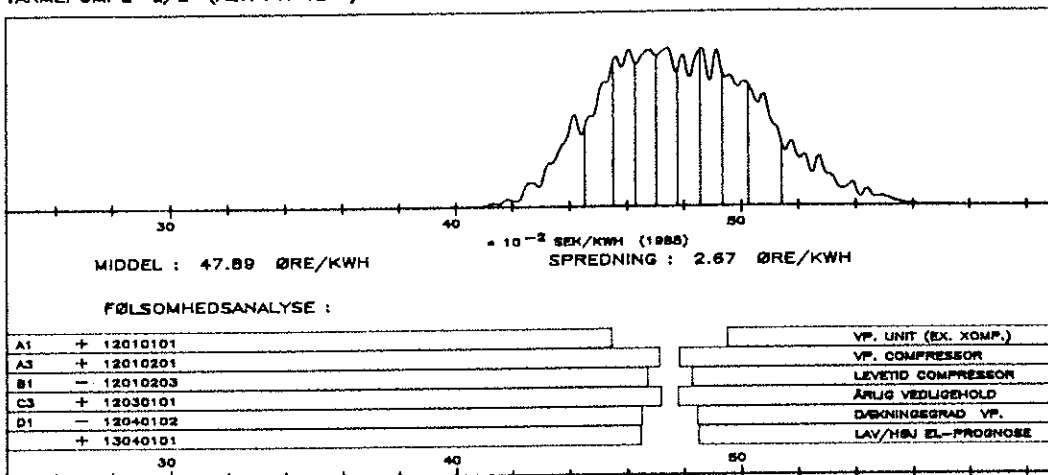
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS SVERIGE



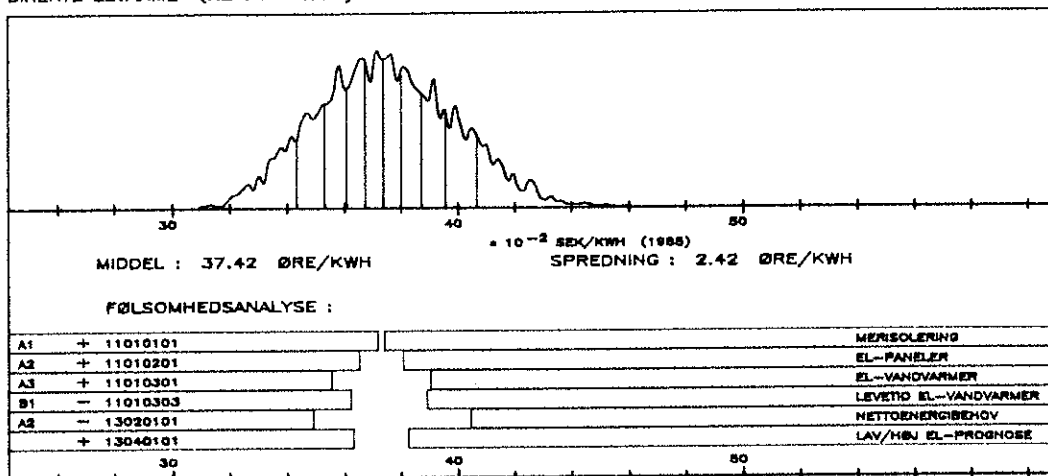
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



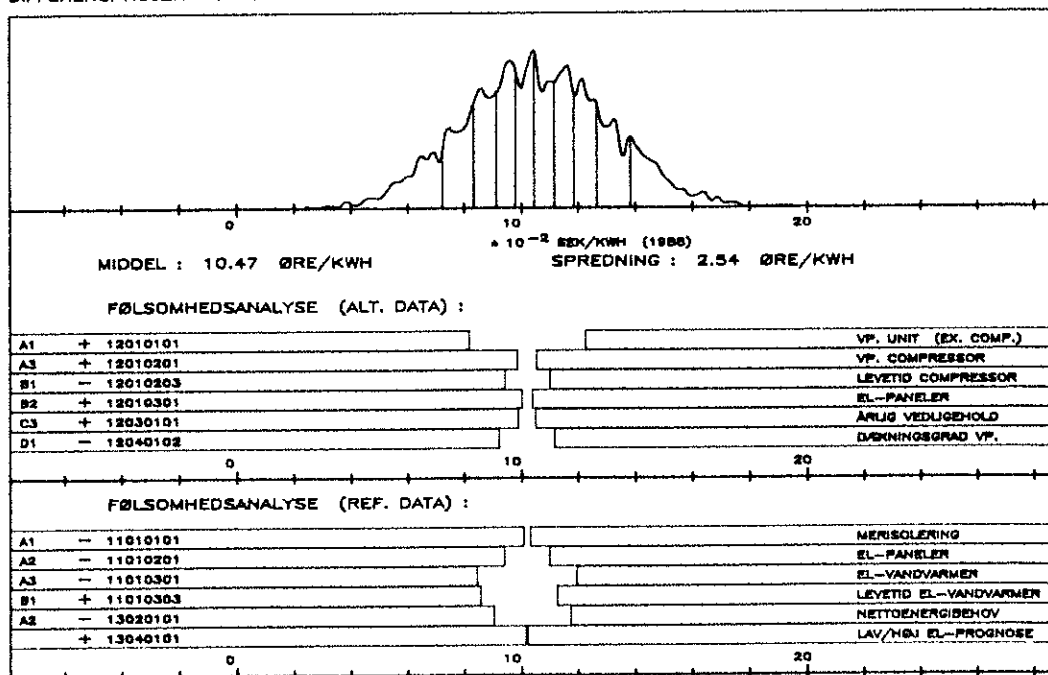
VARMEPUMPE L/L (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS SVERIGE



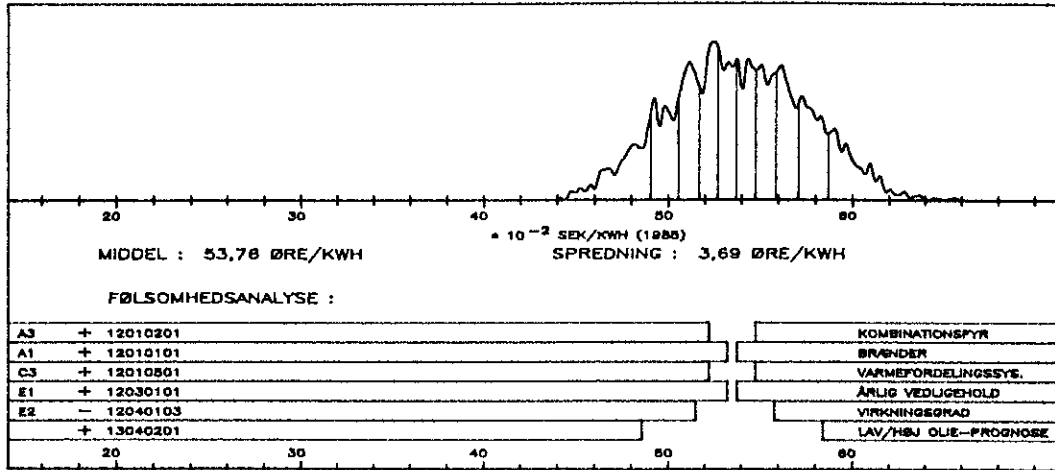
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS SVERIGE



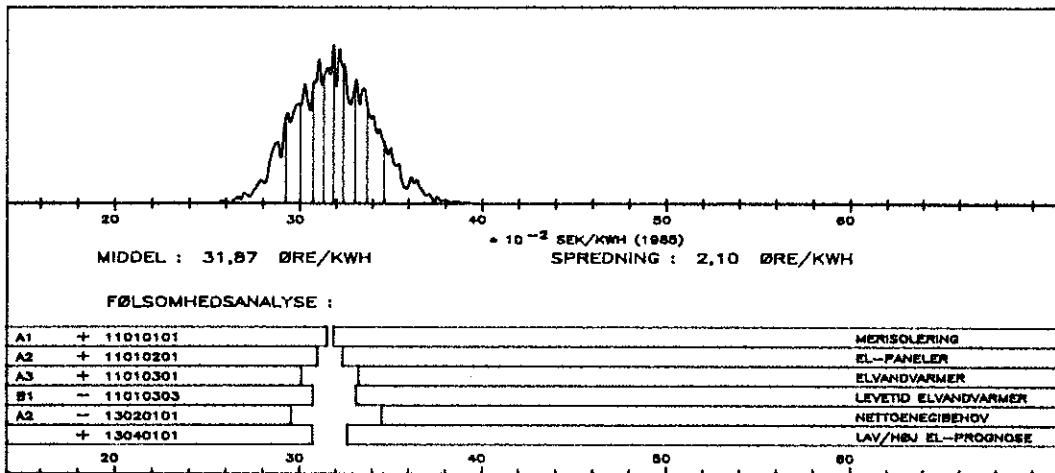
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



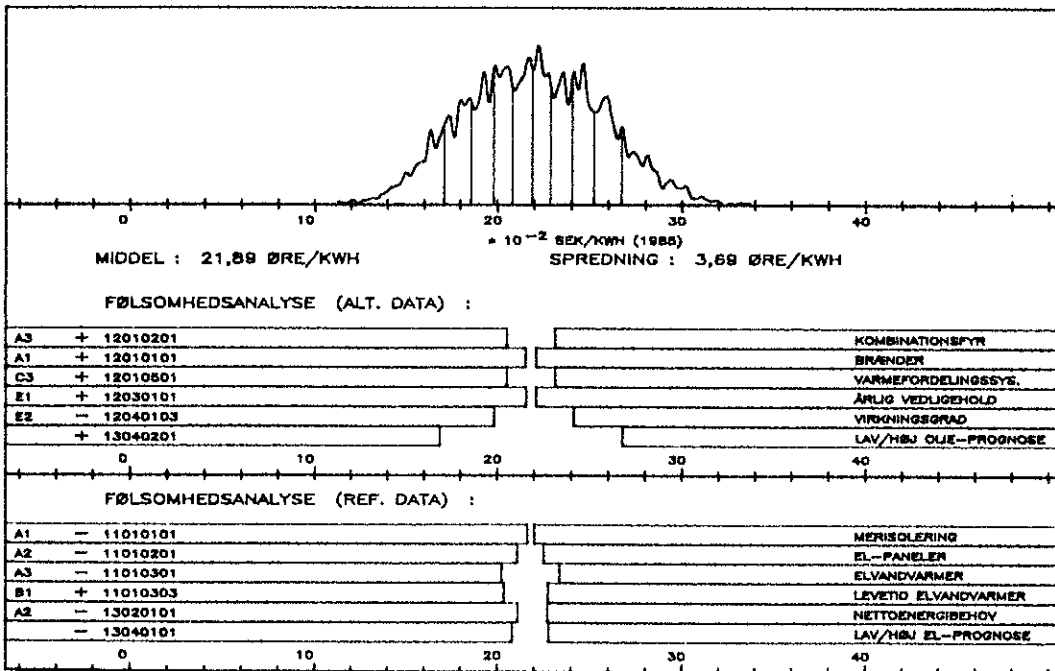
OLIEFYR (KOMBINATIONSFYR) (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS SVERIGE



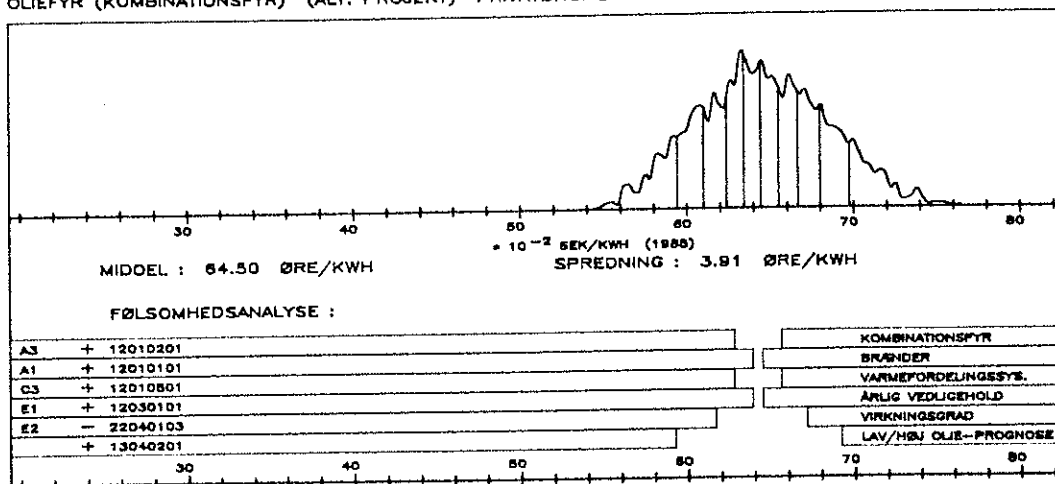
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS SVERIGE



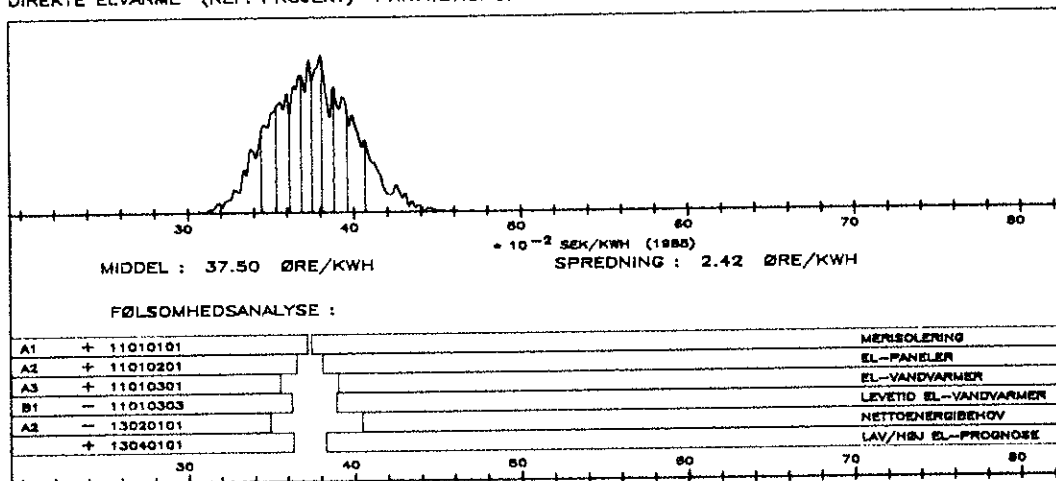
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



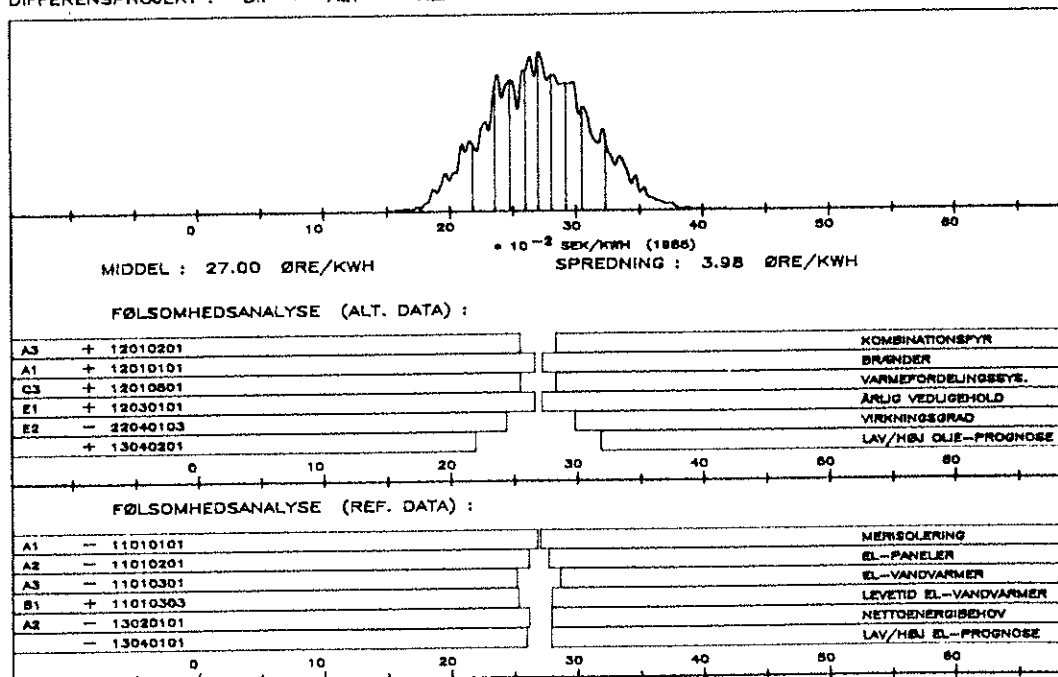
OLIEFYR (KOMBINATIONSFYR) (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS SVERIGE



DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS SVERIGE



DIFFERENSProjekt : DIF = ALT - REF



7.5. MUSA-kørsler på finske data

Alle stokastiske variable er i de finske regneeksempler fastlagt som normalfordelinger.

Alle data udtrykt gennem normalfordelinger har i princippet variationsinterval $]-\infty; +\infty[$. For at udelukke ekstreme og urealistiske dataværdier er variationsintervallet generelt i disse beregninger afgrænset til $[\text{Middelværdi} - 3 \cdot \text{spredning}; \text{Middelværdi} + 3 \cdot \text{spredning}]$. Herved bortskæres 0,3% af normalfordelingernes ekstreme værdier ("halerne").

Betragtes resultat-arket for differensprojektet DEL-VP udført på eksempelvis samfundsøkonomisk grundlag, træder det umiddelbart frem, at spredningen på varmeprisen via referenceprojektet, direkte elopvarmning, er betydeligt mindre end spredning på varmeprisen i alternativprojektet, varmepumpeanlæg.

På data-arkene for denne beregnings forudsætninger ses samstemmende hermed, at relative usikkerheder på data til varmepumpeprojektet gennemgående er væsentlig større end usikkerheder i data for direkte elvarme.

Data for den mindst anvendte og nyeste opvarmningsform af de to, varmepumpeanlæg, er angivet med store relative usikkerheder i forhold til usikkerheder i data for direkte elvarme.

På resultat-arkene for differensprojektet D.EL.-Oliefyr, ses at spredningen på varmeprisen ved oliefyling ligger på samme niveau som spredningen i varmeprisen ved direkte elvarme. På resultat-arket med samfundsøkonomisk basis ses desuden, at elopvarmning er betydeligt dyrere end oliefyling på det valgte datagrundlag. I middel vil oliefyling ligge 5,43 P/kWh lavere end elopvarmning, og oliefyprojektet vil, usikkerhederne taget i betragtning, altid være fordelagtigt frem for direkte elopvarmning.

Vurderes på samfundsøkonomisk basis direkte elvarme i forhold til varmepumpeanlæg er situationen noget mere ambivalent. I snit ligger opvarmning via varmepumpe 4,23 P/kWh dyrere end direkte elvarme, og sandsynligheden for at have fordel ved valget af direkte elvarme er, som det fremgår af sandsynlighedsfordelingen for differensen, godt 90%. Kun under meget risikovillige beslutningskriterier, der fokuserer på de billigst mulige udfald, fremhæves varmepumpeprojektet. Vælges varmepumpeløsningen, ses af den nederste figur på resultat-arket, at dette valg kan forventes økonomisk fordelagtigt med en sandsynlighed på knapt 10%. Fordelen herved kan maksimalt blive omkring 6P/kWh, hvorimod dette valg i gennemsnit kan forventes at betyde merudgifter på 4,23 P/kWh.

Betragtes følsomhedsanalyserne ses det, at variation af stokastiske variable på $\pm 2 \cdot$ spredningen omkring middelværdien især før varmepumpeprojektet giver store udslag i varmepriisen. Dette er konsistent med de førømtalte større relative usikkerheder i varmepumpedata i forhold til data for direkte elvarme. Især investeringen "varmepumpe J/V" ses at være en betydningsfuld parameter. Gængse beregninger på datamiddelværdier, hvori blot denne investering vælges den dobbelte spredning lavere end middelværdien, finder varmepumpen billigst, hvilket fremgår af differensberegningens følsomhedsanalyser. Venstre bjælkekant i følsomhedsanalysen ligger lavere end break-even-linien gennem 0. I tal er investeringen ændret fra middelværdien på 21000 FIM til værdien 10500 FIM, hvilket fremgår af data-arkene for varmepumpeanlægget på første side i position A1.

Følsomheden på denne investerings levetid ses at ligge asymmetrisk i forhold til de øvrige følsomhedsanalyser. Levetiden antages at være normalfordelt omkring en middellevetid på 20 år med en spredning på 5 år. Følsomhedsanalysen angår derfor gængse gennemregninger under antagelse af en levetid på 10 år samt en levetid på 30 år.

Investeringer med levetider mindre end den her valgte tids-

horisont på 20 år indgår i kædeinvesteringer, hvor en ny investering foretages ved udløbet af levetiden for den foregående investering.

Generelt i disse beregninger foretages en lineær restværdiberegning. En initialinvestering med en levetid på 30 år medfører således en restværdimodregning af $1/3$ af investeringen fra år 20.

En levetid på 10 år medfører i dette eksempel en identisk re-investering efter 10 år med samme levetid.

Denne investeringskæde, formuleret via perifere algoritmer, samt brugen af lineær restværdiberegning medfører en asymmetri i følsomhedsanalysen på levetiden.

Følsomhedsanalysen i varmepumpeprojektet på elektricitetsprisprognosen ses at have relativt lille indflydelse på den samlede usikkerhed, hvorimod den tilsvarende følsomhedsanalyse i referenceprojektet, direkte elvarme, viser sig at have den relativt set største effekt her.

Et skift imellem "LAV" og "HØJ" forventet elprisudvikling medfører udsving i den annuierede energipris for direkte elvarme, der er væsentlig større end det tilsvarende respons i varmepumpeprojektet. Denne forskel i elprisafhængigheden skyldes naturligvis, at varmepumpens virkningsgrad (C.O.P.) på i middel 1,79 er større end virkningsgraden for direkte elvarme, der her antages at være konstant 1.

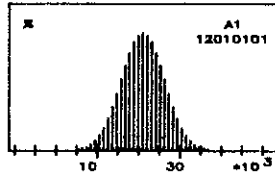
Denne forskel projekterne imellem optræder igen på resultatarket i elprisfølsomheden på differensen (nederst). Projekternes forskel i virkningsgrad ved konvertering af elektrisk energi til termisk energi er bestemmende for følsomheden i differensprojektet.

På privatøkonomisk grundlag er projekterne, varmepumpe og direkte elvarme, stort set break-even set ud fra et risikoneutralt beslutningskriterie. Forskellen i projekternes beregnede usikkerhed medfører imidlertid, at risikovigende beslutningskriterier, der eksempelvis rangordner projekterne efter energipriser, der med 80%'s sandsynlighed forventes at være en øvre grænse (rangordning efter 80%'s fraktiler), vil vælge direkte elvarme.

Risikovillige beslutningskriterier, der eksempelvis rangordner projekterne efter energipriser, der med 80%'s sandsynlighed må forventes at blive overskredet (rangordning efter 20%'s fraktiler), vil derimod vælge varmepumpeprojektet. Vælges varmepumpeprojektet kan der i middel forventes en merudgift på ca. 1 P/kWh (0,77), men med en sandsynlighed på 20% kan fordelingen være større end ca. 2 P/kWh.

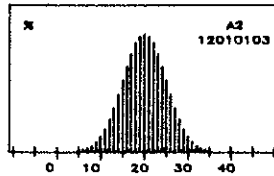
VARMEPUMPE J/V RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

VARMEPUMPE J/V INCL TANK



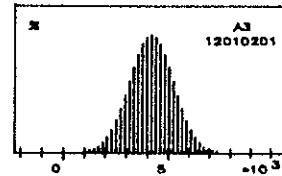
MIDDEL: 21.000 FIM
SPREDN.: 5.250 FIM

LEVETID A1



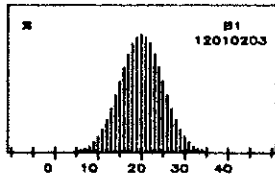
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

GEOTERMISK PIPING



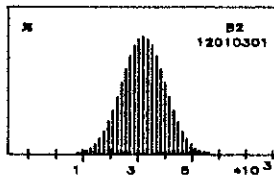
MIDDEL: 4.200 FIM
SPREDN.: 1.050 FIM

LEVETID A3



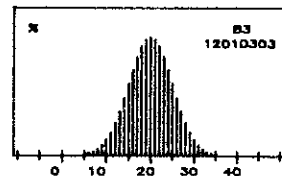
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

VENTILATION AF BOLIG



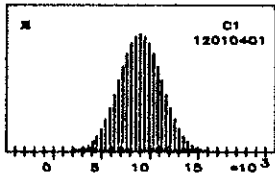
MIDDEL: 3.200 FIM
SPREDN.: 800 FIM

LEVETID B2



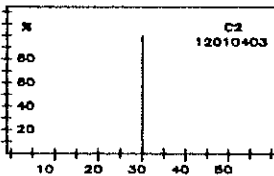
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

VARMEFORDELINGSSYSTEM



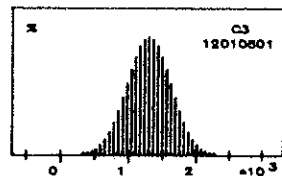
MIDDEL: 9.000 FIM
SPREDN.: 2.250 FIM

LEVETID C1



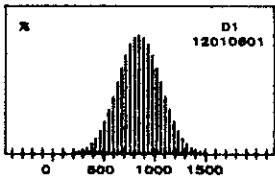
MIDDEL: 30 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

EL-INSTALLATION



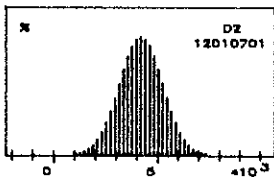
MIDDEL: 1.300 FIM
SPREDN.: 325 FIM

BYGNINGSARBEJDE



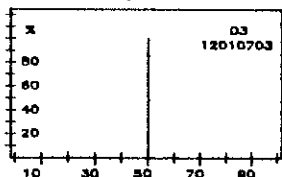
MIDDEL: 850 FIM
SPREDN.: 213 FIM

AREALOMKOSTNINGER



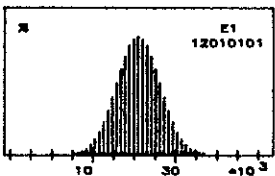
MIDDEL: 4.200 FIM
SPREDN.: 1.050 FIM

LEVETID D2



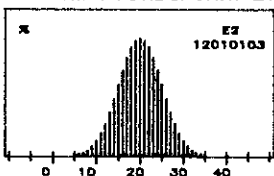
MIDDEL: 50 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

REINVEST VP + TANK



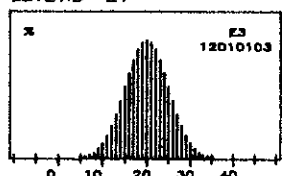
MIDDEL: 21.000 FIM
SPREDN.: 5.250 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT E1



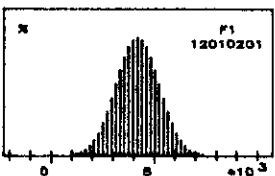
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

LEVETID E1



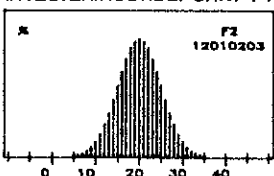
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

REINVEST GEOTERM PIPE



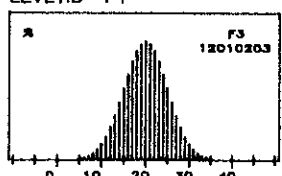
MIDDEL: 4.200 FIM
SPREDN.: 1.050 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT F1



MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

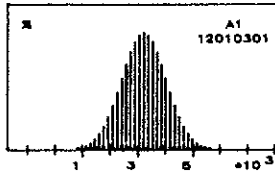
LEVETID F1



MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

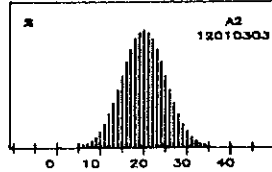
VARMEPUMPE J/V FORTSAT
RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

REINVEST VENTILATION



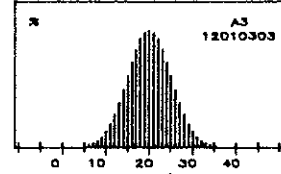
MIDDEL: 3.200 FIM
SPREDN.: 800 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT A1



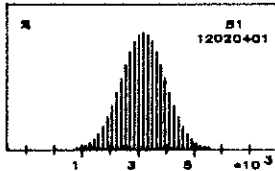
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

LEVETID A1



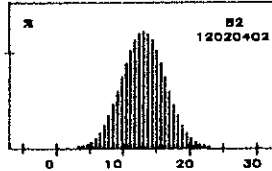
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 5 ÅR

REINVEST COMPRESSOR



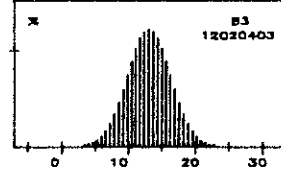
MIDDEL: 3.150 FIM
SPREDN.: 788 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT B1



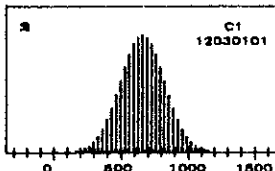
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 3.25 ÅR

LEVETID B1



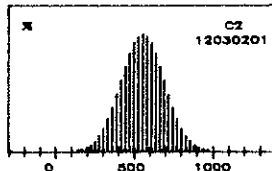
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 3.25 ÅR

ÅRLIG VEDLIGEHOOLD



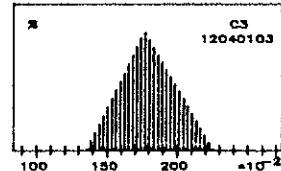
MIDDEL: 655 FIM
SPREDN.: 184 FIM

ANDEN ÅRLIG VEDLIGEHOOLD



MIDDEL: 550 FIM
SPREDN.: 138 FIM

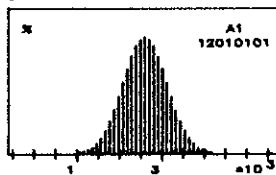
VIRKNINGSGRAD



MIDDEL: 1.79
SPREDN.: 0.18

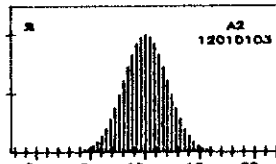
OLIEFYR RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

BRÆNDER



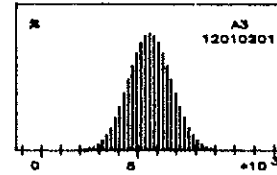
MIDDEL: 2.586 FIM
SPREDN.: 517 FIM

LEVELID A1



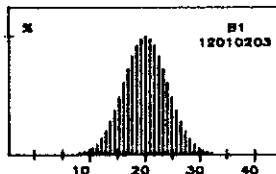
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

KEDEL



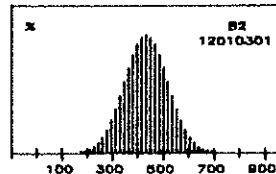
MIDDEL: 5.603 FIM
SPREDN.: 1.121 FIM

LEVELID A3



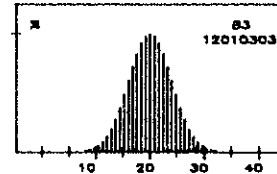
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 4 ÅR

EKSPANTIONSSYSTEM



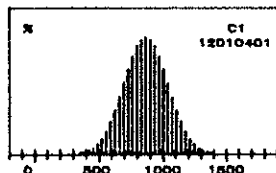
MIDDEL: 431 FIM
SPREDN.: 86 FIM

LEVELID B2



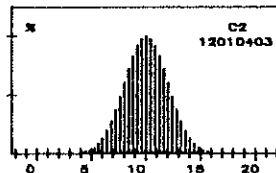
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 4 ÅR

RADIATOR TERMOSTATER



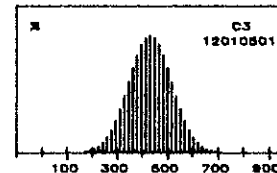
MIDDEL: 862 FIM
SPREDN.: 172 FIM

LEVELID C1



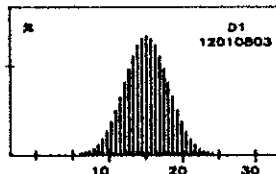
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

CIRKULATIONS PumPE



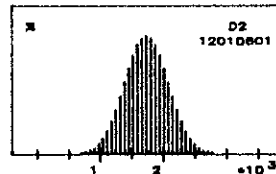
MIDDEL: 431 FIM
SPREDN.: 86 FIM

LEVELID C3



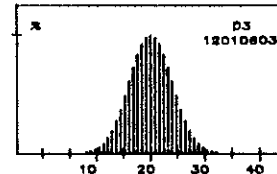
MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 3 ÅR

TEMP. UDEFØLER



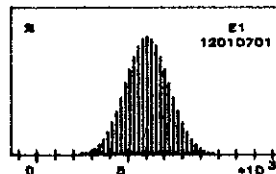
MIDDEL: 1.724 FIM
SPREDN.: 345 FIM

LEVELID D2



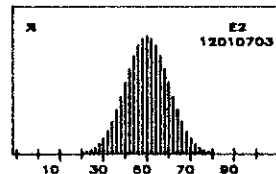
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 4 ÅR

VARMEFORDDELINGSSYSTEM



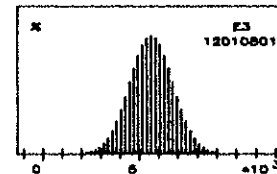
MIDDEL: 6.034 FIM
SPREDN.: 1.207 FIM

LEVELID E1



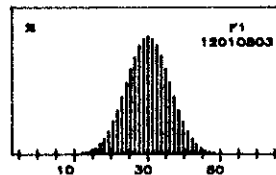
MIDDEL: 50 ÅR
SPREDN.: 10 ÅR

OLIE TANK AF STÅL



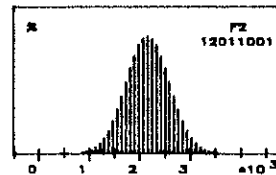
MIDDEL: 5.603 FIM
SPREDN.: 1.121 FIM

LEVELID E3



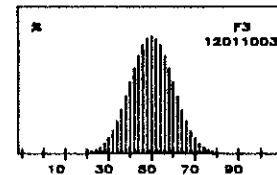
MIDDEL: 30 ÅR
SPREDN.: 6 ÅR

AREALOMKOSTNING



MIDDEL: 2.155 FIM
SPREDN.: 431 FIM

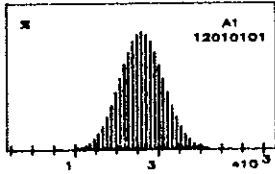
LEVELID F2



MIDDEL: 50 ÅR
SPREDN.: 10 ÅR

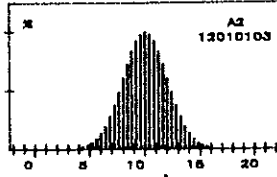
OLIEFYR
RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

REINVEST BRÆNDER



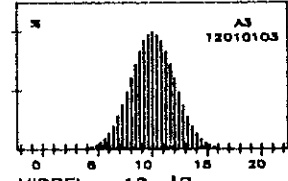
MIDDEL: 2.586 FIM
SPREDN.: 517 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT A1



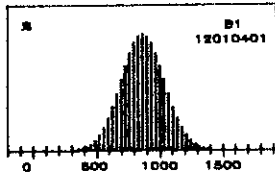
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

LEVETID A1



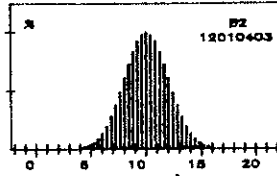
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

REINVEST RADIATORTERMOST.



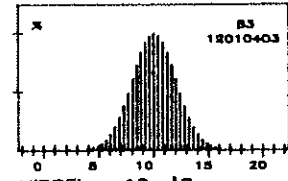
MIDDEL: 862 FIM
SPREDN.: 172 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT B1



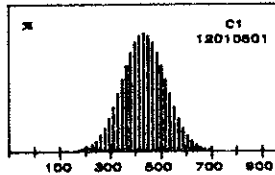
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

LEVETID B1



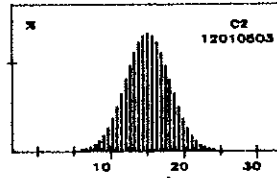
MIDDEL: 10 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

REINVEST CIR. PUMPE



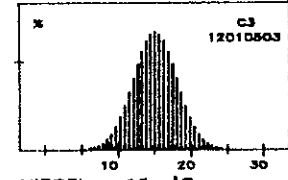
MIDDEL: 431 FIM
SPREDN.: 86 FIM

INVESTERINGSTIDSPUNKT C1



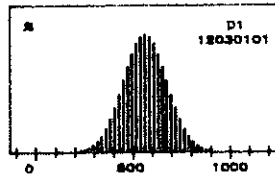
MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 3 ÅR

LEVETID C1



MIDDEL: 15 ÅR
SPREDN.: 3 ÅR

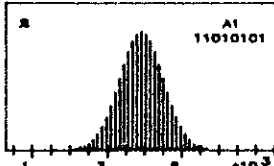
ÅRLIG VEDUGEHOLD



MIDDEL: 560 FIM
SPREDN.: 112 FIM

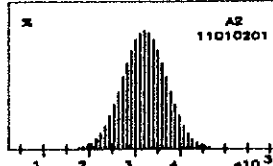
ELVARME RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

VARTVANDSBEHOLDER



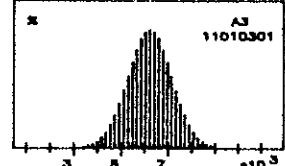
MIDDEL: 3.000 FIM
SPREDN.: 585 FIM

VENTILATION



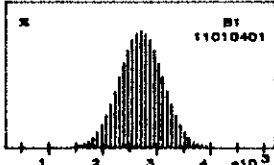
MIDDEL: 3.200 FIM
SPREDN.: 480 FIM

EL-RADIATORER



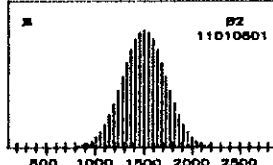
MIDDEL: 6.200 FIM
SPREDN.: 930 FIM

INSTALLATION



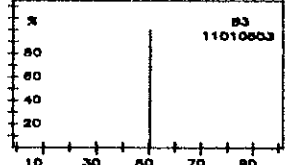
MIDDEL: 2.700 FIM
SPREDN.: 405 FIM

AREALOMKOSTNING



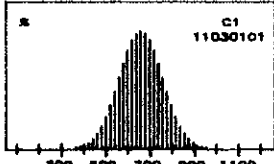
MIDDEL: 1.500 FIM
SPREDN.: 225 FIM

LEVELID B2



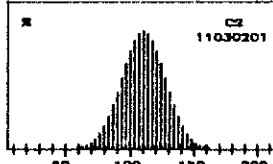
MIDDEL: 50 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

ÅRLIG ELAFGIFT



MIDDEL: 655 FIM
SPREDN.: 98 FIM

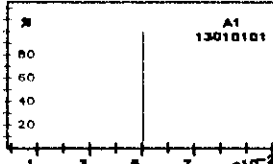
ÅRLIG VEDLIGEHOLD



MIDDEL: 110 FIM
SPREDN.: 17 FIM

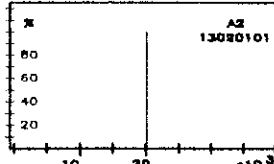
FINLAND GENERELLE FORUDSÆTNINGER

SAMFØK. KALKULATIONSRENTE



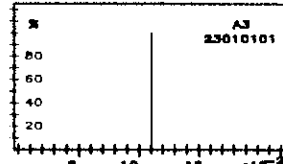
MIDDEL: 5 %
SPREDN.: 0 %

NETTOENERGIBEHOV



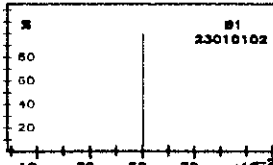
MIDDEL: 20.000 KWH
SPREDN.: 0 KWH

PRIVATØKONOMISK RENTE



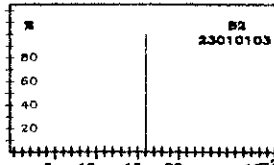
MIDDEL: 11 %
SPREDN.: 0 %

SKAT



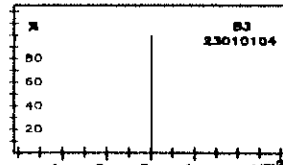
MIDDEL: 50 %
SPREDN.: 0 %

MOMS

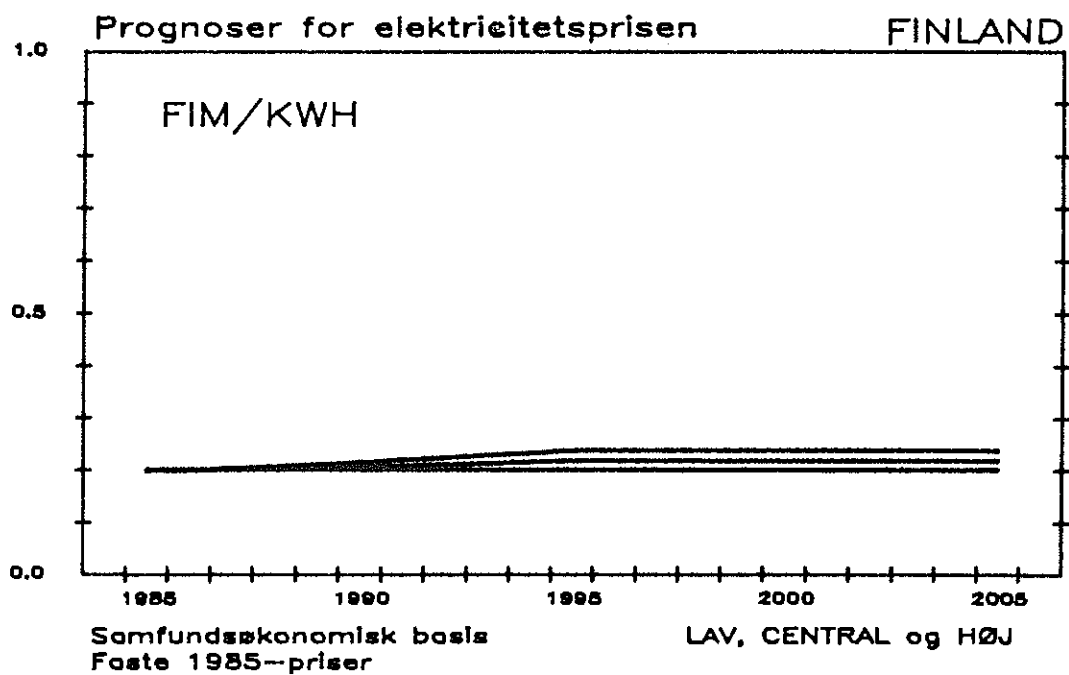
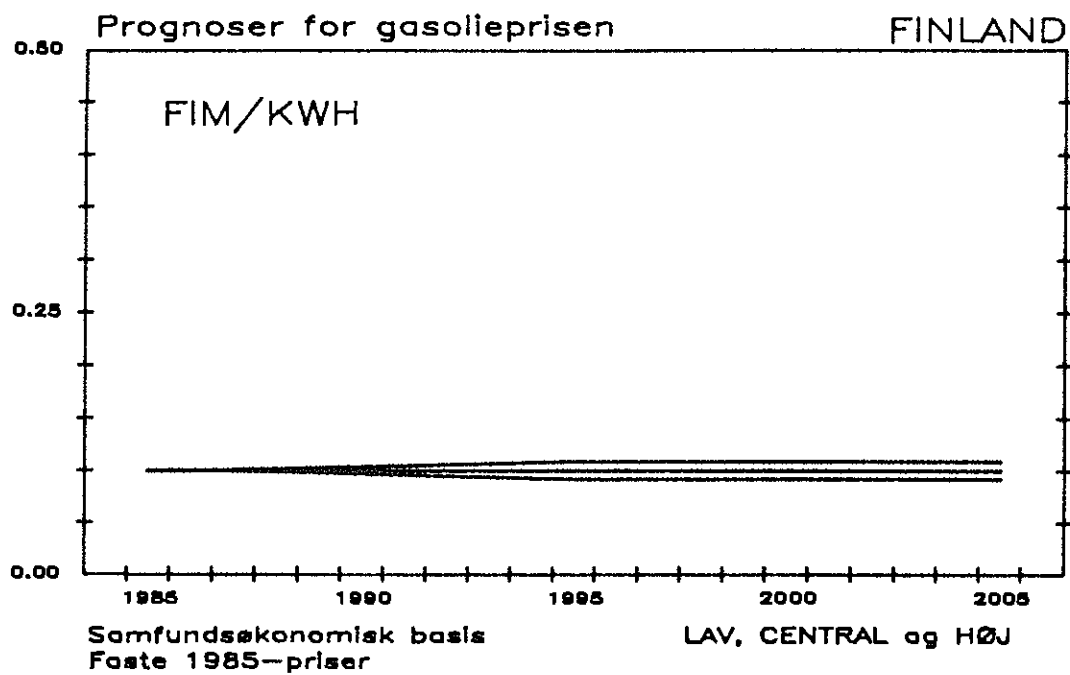


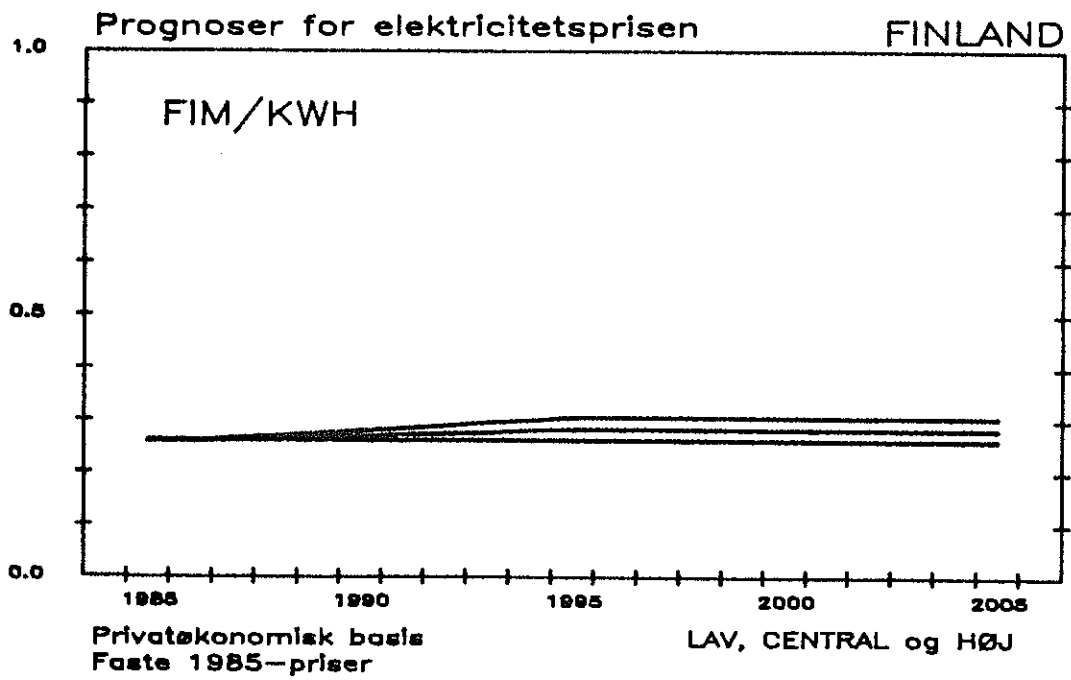
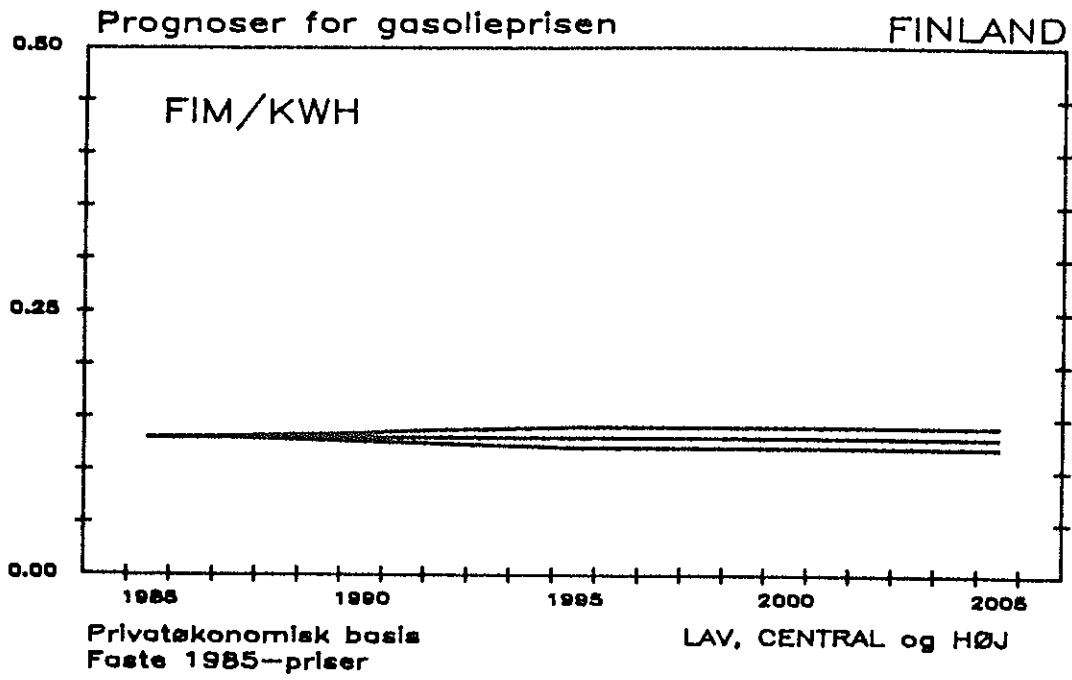
MIDDEL: 18 %
SPREDN.: 0 %

INFLATION



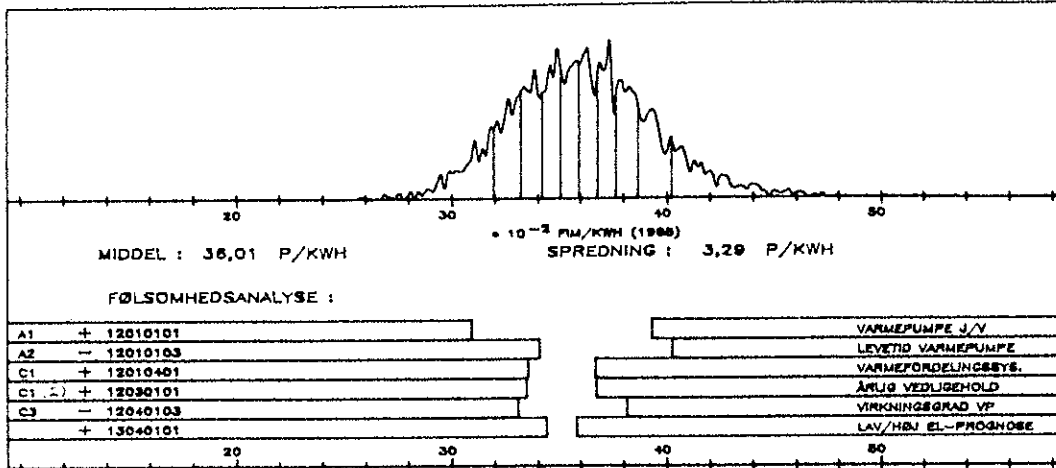
MIDDEL: 3 %
SPREDN.: 0 %





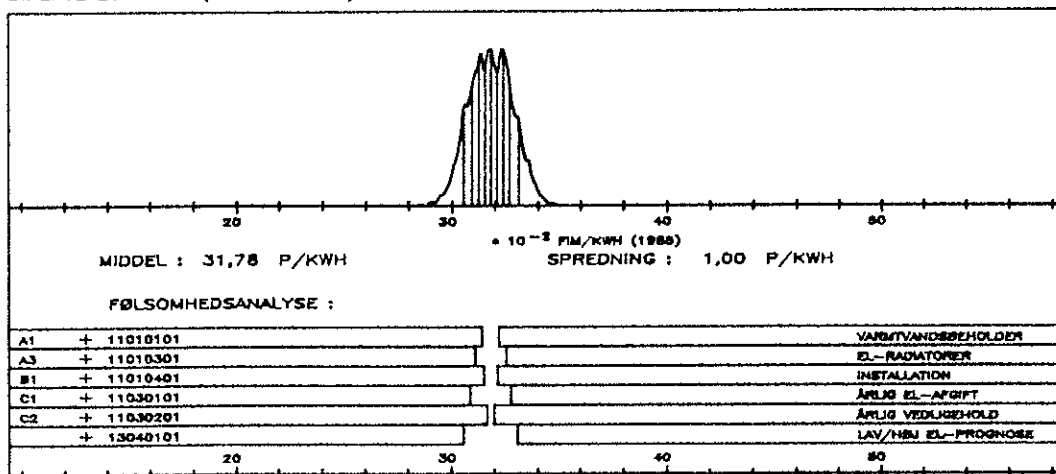
VARMEPUMPE (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS

FINLAND

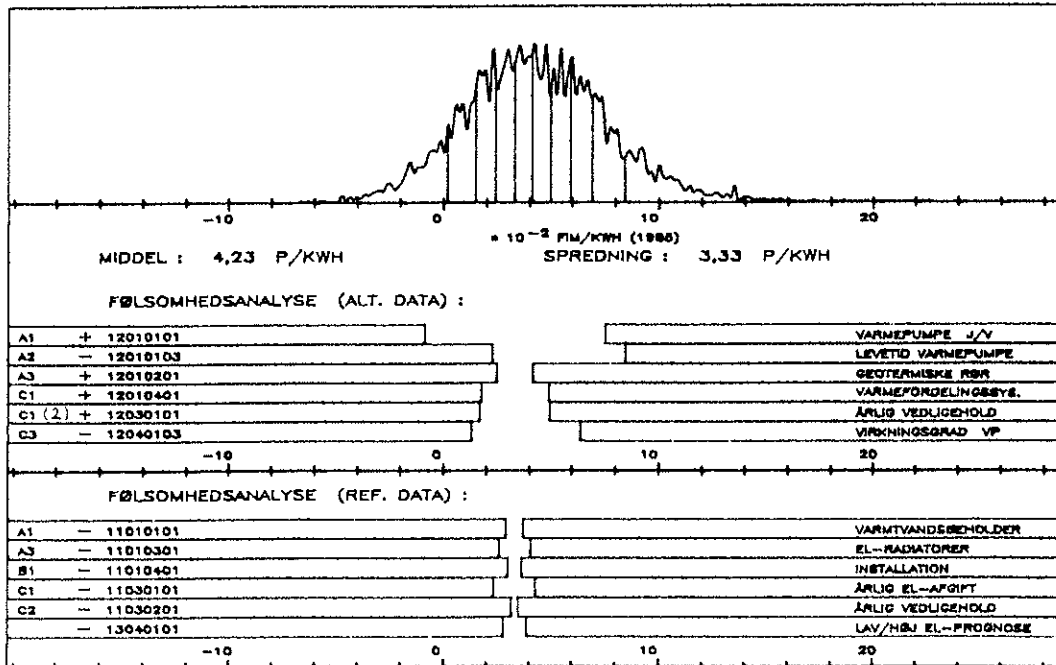


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS

FINLAND

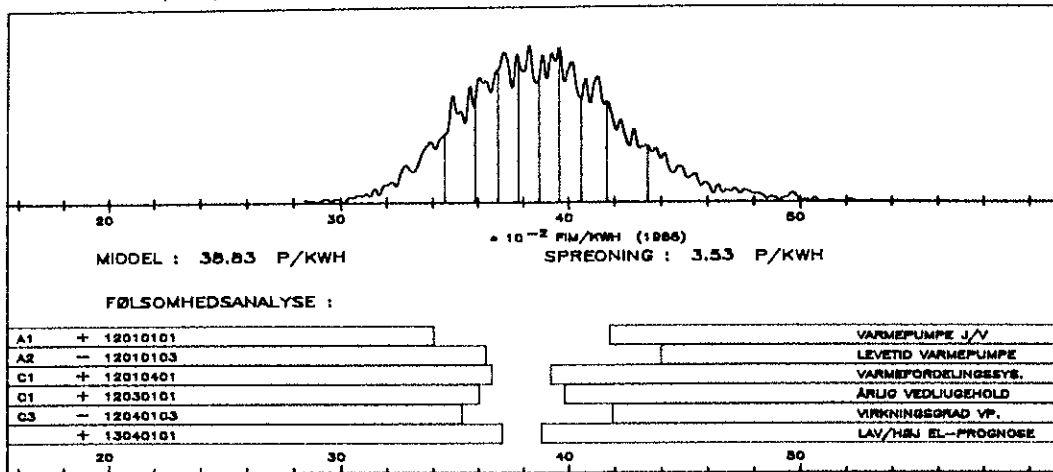


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



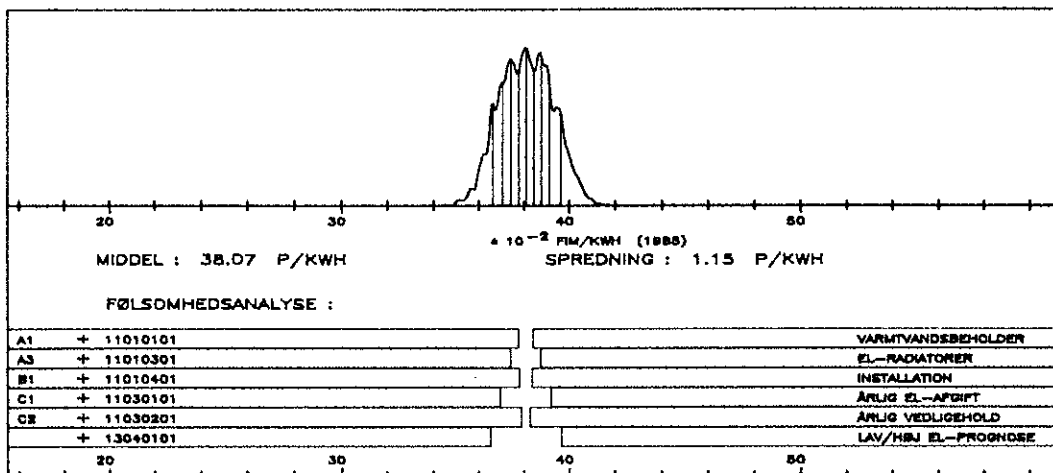
VARMEPUMPE J/V (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

FINLAND

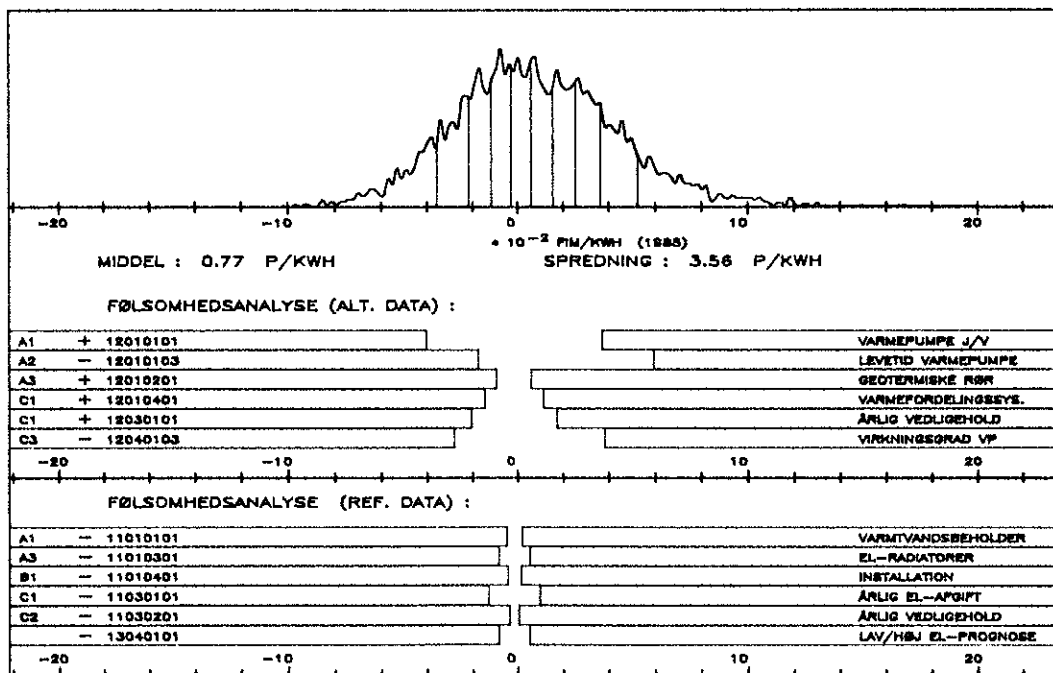


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

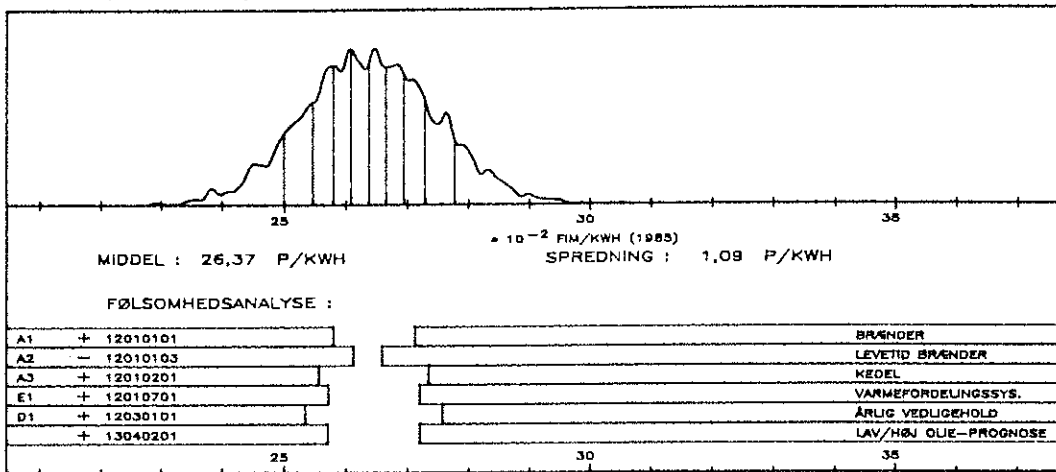
FINLAND



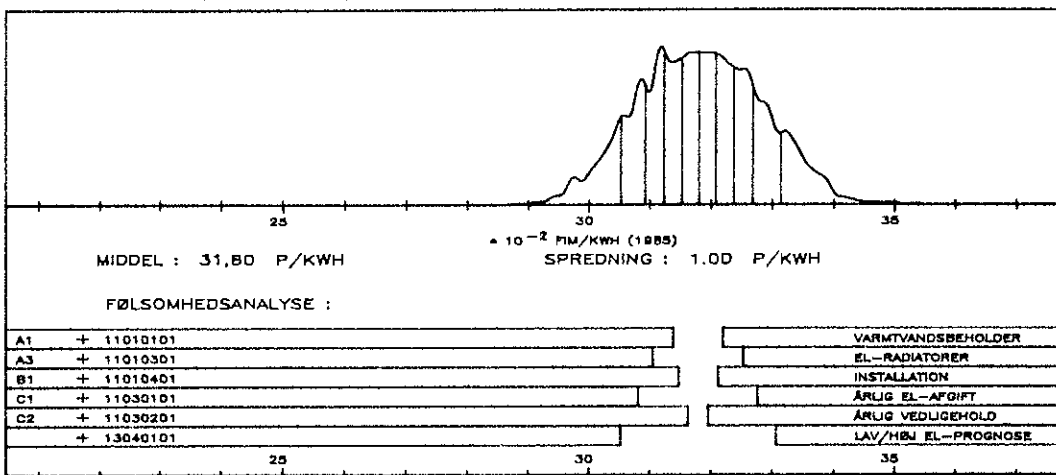
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



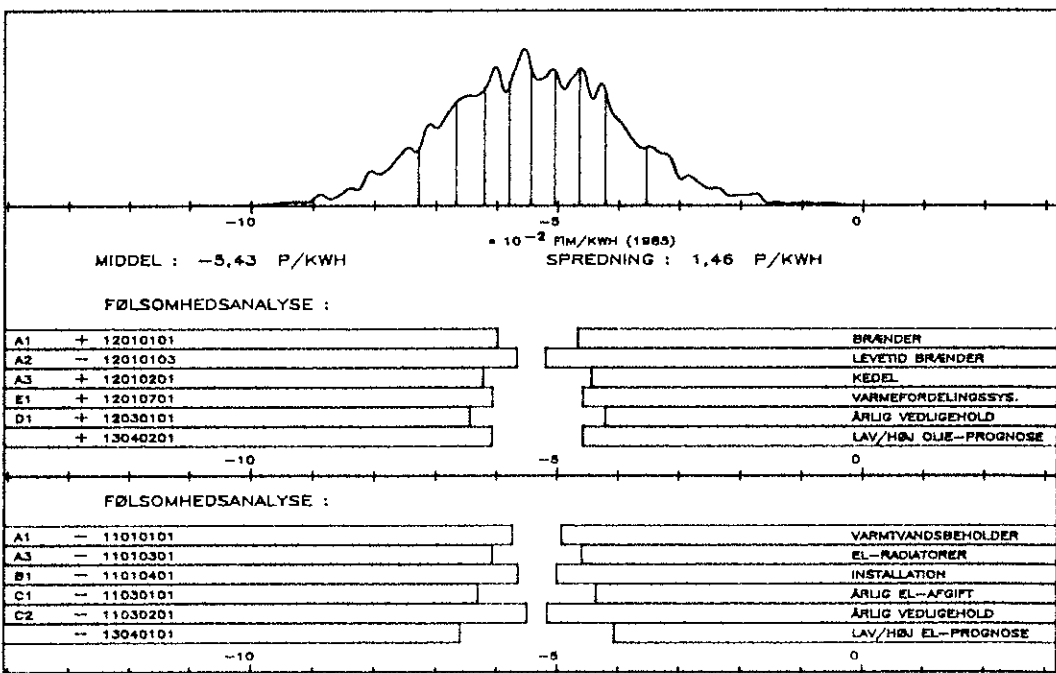
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND



DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS FINLAND

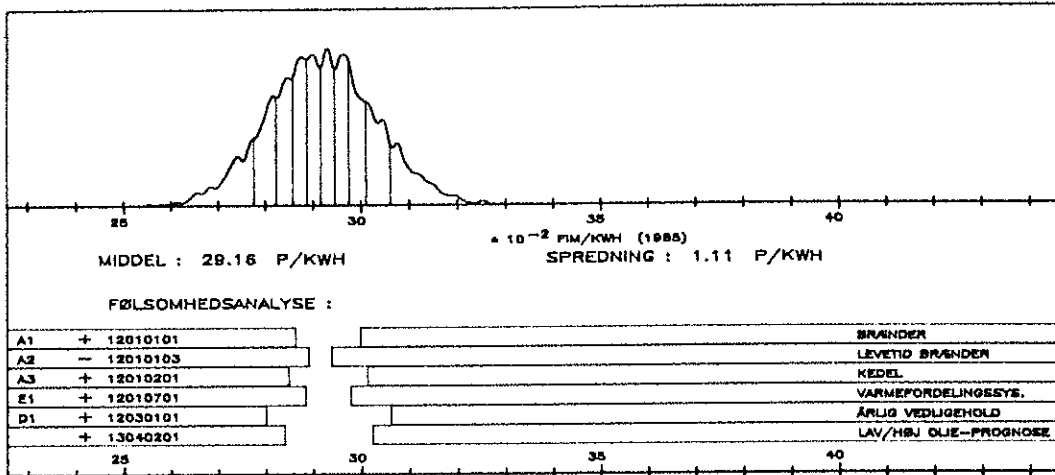


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



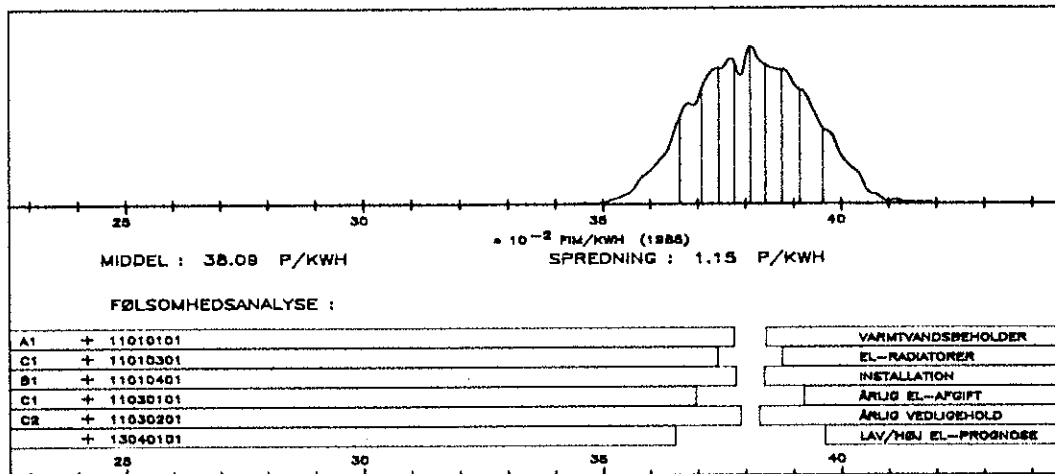
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

FINLAND

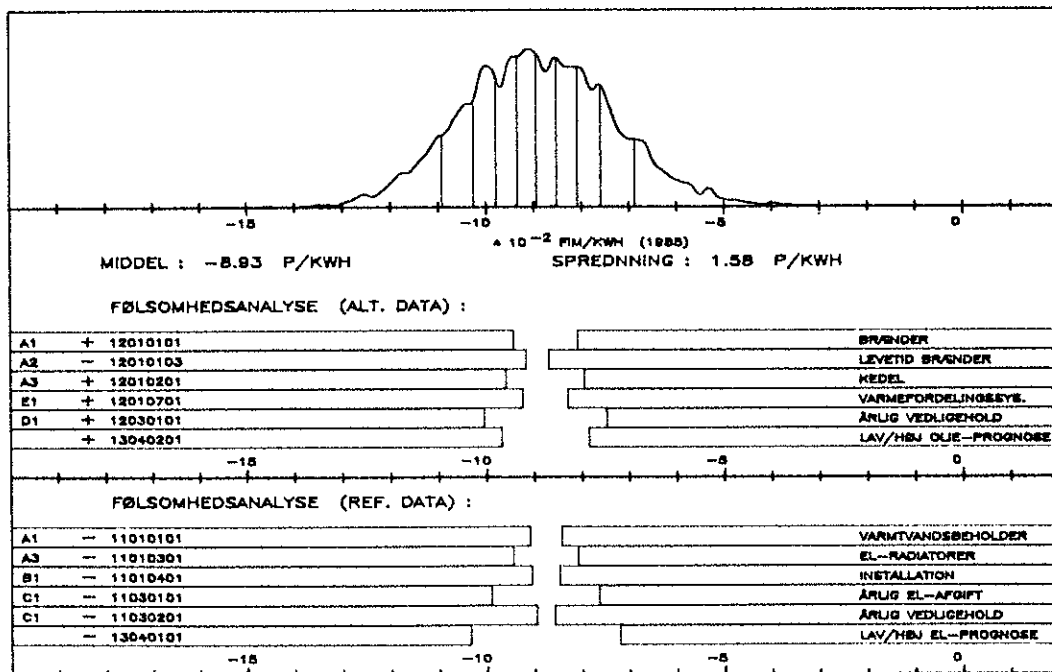


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

FINLAND



DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



7.6. MUSA-kørsler på danske data

Samfundsøkonomiske beregningseksempler for Danmark inddrager beskæftigelses- og importforhold. Som nævnt er data herfor baseret på reference 1.

Beskæftigelses- og importforhold for brændselsprisprognoser inddrages i beregningerne som vist på figur 16.

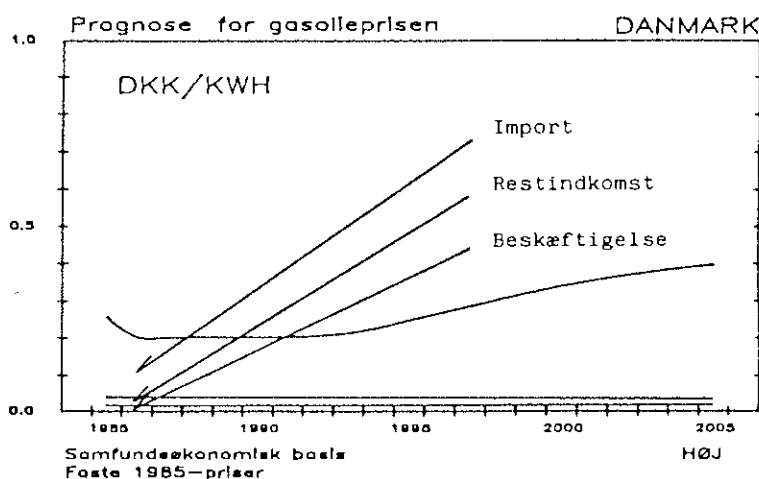


Fig. 16.

Kvoter for beskæftigelses-, import- og restindkomstindholdet i brændselsprisen det første år danner udgangspunkt for prisopsplitningen over hele beregningsperioden.

Det antages, at beskæftigelsesdelen samt restindkomstdelen af brændselsprisen det første år, regnet i faste priser, er uforandrede over hele prognoseperioden.

Importindholdet fastlægges residualt herudfra år for år.

Disse antagelser er meget simplificerede. Eksempelvis tages her ikke hensyn til ændringer i indenlandske produktionsforhold gennem beregningsperioden.

I disse regneeksempler antages elprisudviklingen og olieprisudviklingen at kunne flukturerer inden for usikkerhedsangivelserne i uafhængighed af hinanden. Der antages således, at der ingen priskobling er imellem elprisen og olieprisen, ud over hvad der er fastlagt i de primære brændselsprisprognoser, der danner udgangspunkt stokastisk bestemte brændselsprisforløb som omtalt i kap. 5.

Dette er en meget forenklet beskrivelse, da det må forventes, at substitution imellem olie- og elektricitetsanvendelse generelt set vil medføre en mere detaljeret prisafhængighed.

Andre forudsætninger kunne betone en sådan priskobling. Vår eksempelvis en antagelse valgt, der udtrykte at høje stokastiske olieprisforløb skulle medføre tilsvarende høje stokastiske elprisforløb relativt set, ville omvendt en helt deterministisk kobling mellem priserne være inddraget.

I de danske regneeksempler illustreres nogle sider af MUSA-modellen ved præsentation af beregninger

- på samfundsøkonomisk grundlag:

- . annuierede energipriser for projekter
- . annuierede energipriser på projekters beskæftigelse side
- . kvoter for beskæftigelsesindholdet i projekter

- på vægtet samfundsøkonomisk grundlag:

- . annuierede energipriser for projekter
- . kritiske kvoter for beskæftigelsesindholdet i alternativprojekter for vægtet samfundsøkonomisk break-even med et referenceprojekt.

- på privatøkonomisk grundlag.

I de vægtede samfundsøkonomiske beregninger antages det, at den aggregerede vægtfaktor/skyggepris på beskæftigelse side i

projekterne er 0, og at vægtfaktorerne/skyggepriserne på import og restindkomster er 1.

Dette betyder, at beskæftigelsessiden er vægtet helt bort og at import- og restindkomstsiden står uvægtet tilbage. Projekterne vurderes således på en antagelse om at prisen er 0 på al indenlands arbejdskraft. De beregnede annuiserede energipriser udtrykker med netop denne vægtning import- og restindkomstsiden for projekterne.

Foruden disse vægtede energipriser præsenteres beskæftigelsesdelen af projekternes annuiserede energipriser. Under ovennævnte specielle forudsætninger vil summen af en vægtet energipris og beskæftigelsesdelen af en annuiseret energipris for et projekt være lig med energiprisen beregnet uden inddragelse af vægtfaktorer.

På resultat-arkene ses de beregnede middelværdier at opfylde denne relation.

På vægtet samfundsøkonomisk grundlag med de givne vægtfaktorer, vil projekter med stort beskæftigelsesindhold være fremhævet. Resultat-ark for projekternes beskæftigelsesandel set i sammenhæng med beregnede energipriser på vægtet samfundsøkonomisk grundlag bekræfter dette. Betragtes differensprojektet, direkte elvarme contra oliefyring, som på uvægtet samfundsøkonomisk basis i middel ses at være stort set break-even, træder dette tydeligt frem. Beskæftigelsesandelen, totalt set, for oliefyrprojektet ses på det tilhørende resultat-ark at være på henved 30%, hvor samme størrelse for elvarmeprojektet ses at være på godt 34%.

Elvarmeprojektets højere beskæftigelsesandel medfører med de givne data, at den vægtede samfundsøkonomiske beregning fremhæver direkte elvarme frem for oliefyring.

Oliefyring ville på vægtet samfundsøkonomisk grundlag i middel være break-even med direkte elvarme, dersom oliefyrprojektets

beskæftigelsesandel havde været på godt 34%. Dette er klart ud fra det foregående, men fremgår også af resultat-arket for "kritisk beskæftigelsesandel på oliefyr for break-even med direkte elvarme".

Den kritiske beskæftigelsesandel for alternativprojekter er defineret som beskæftigelsesandelen, der medfører break-even med referenceprojektet på vægtet samfundsøkonomisk grundlag.

Dersom beskæftigelsesindholdet i oliefyrprojektet havde været på 50% eller derover totalt set, ville oliefyring på vægtet økonomisk grundlag altid være fordelagtigt set i forhold til direkte elvarme, og havde oliefyrets beskæftigelsesandel været lavere end ca. 20% ville direkte elvarme altid vise fordel. Fokuseres på fordelingens 20%'s fraktiler ses det, at oliefyrprojektets samlede beskæftigelsesandel (kvote) i 80% af tilfældene måtte være større end ca. 30% for at nå break-even.

Sammenlignes resultat-arkene for differensprojektet, varmepumpe contra direkte elvarme, på samfundsøkonomisk basis og på privatøkonomisk basis bemærkes det, at direkte elvarme på samfundsøkonomisk basis er klart mest fordelagtigt. På privatøkonomisk basis er det omvendt, varmepumpeprojektet er klart mest fordelagtigt på det her valgte datagrundlag. Forklaringen hertil er dels en lavere privatøkonomisk kalkulationsrente, dels varmepumpeanlæggets mindre brændselsprisafhængighed samt elafgifterne.

I følsomhedsanalyserne på projektdifferensen ses en effektløs parameter, merisolering, angivet med en "*". Dette skyldes, at merisolering af standardboligen er foretaget i begge projekter (se VP data-ark 1 position E1 samt D.EL. data-ark 1 position C3).

I begge projekter antages investeringen i merisolering at nedbringe standardboligens nettoenergibehov med 18% (se VP data-ark 2 position D2 samt D.EL. data-ark 2 position A3).

Investeringen i merisolering er således identisk i de to projekter, hvorfor følsomheden over for denne investering i projektdifferensen midler bort.

Betragtes differensprojektet, oliefyring contra direkte elvarme, ses at disse projekter, vurderet på samfundsøkonomisk basis, ligger meget tæt på hinanden. Dog er spredningen på den annuierede energipris størst for oliefyring.

Oliefyrprojektet viser meget stor følsomhed over for en variation fra "LAV" til "HØJ" olieprisprognose, hvoraf det fremgår, at netop usikkerheder inddraget omkring de fremtidige oliepriser øver den væsentligste indflydelse på projektets samlede usikkerhed.

Med en antagen rektangulær transvers fordeling af olieprisforløb imellem "LAV" og "HØJ" olieprisudvikling, influeres spredningen i den beregnede fordeling kraftigt, hvilket også visuelt giver sig til kende i en flad fordeling.

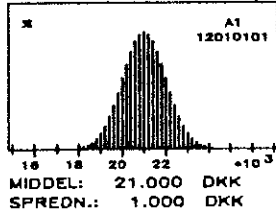
Følsomhedsanalysen på olieprisudviklingen viser samme store betydning i projektdifferensen vist nederst på resultat-arket. Elprisens indflydelse her er knapt den halve af olieprisens indflydelse, bl.a. fordi elprisafhængigheden for direkte elvarme er reduceret ved merisolering af standardboligen. Til gengæld viser investeringen i merisolering en betydelig indflydelse gennem følsomhedsanalysen.

På samfundsøkonomisk grundlag er disse projekters relative placering således meget afhængig af især olieprisudviklingen, der med de antagne ydergrænser for variationen, i gangse beregninger kan give energiprisforskelle på godt 11,5 øre/kWh. Elektricitetsprisudviklingen, på basis af de forudsatte usikkerheder, er også en væsentlig faktor, men iøvrigt træder referenceprojektet investering i merisolering kraftigt frem. På data-arket (D.EL. data-ark 1 position C3) ses, at denne følsomhedsanalyse angår en investeringsvariation fra 12.500 kr. til 32.500 kr. år 0 (1985). Investeringen antages at have en levetid på 30 år.

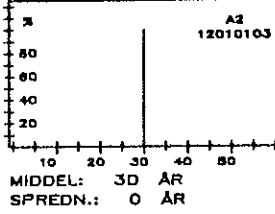
På privatøkonomisk grundlag er denne investerings betydning dæmpet meget i forhold til usikkerheder på den privatøkonomiske elektricitetspris og prisen på fyringsolie.

VARMEPUMPE L/V
RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS
DANMARK

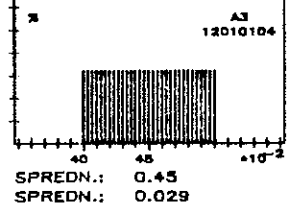
VARMEFORDELINGSSYSTEM



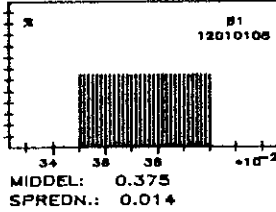
LEVETID A1



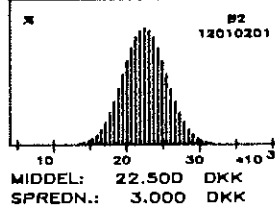
BESKÆFTIGELSESKVOTE A1



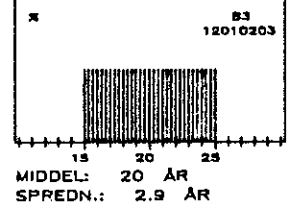
IMPORTKVOTE A1



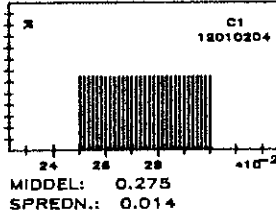
VARMEPUMPE L/V UNIT



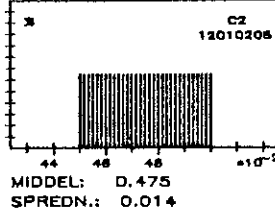
LEVETID B2



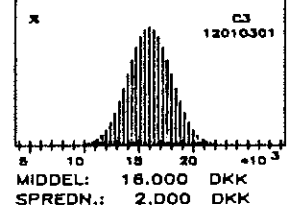
BESKÆFTIGELSESKVOTE B2



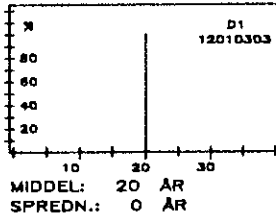
IMPORTKVOTE B2



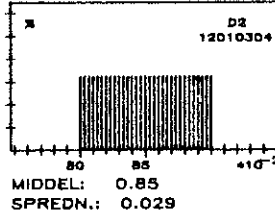
INSTALLATION



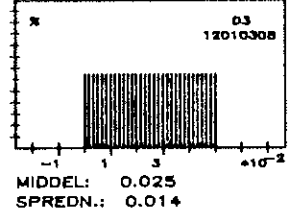
LEVETID C3



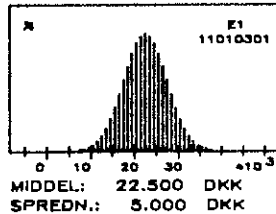
BESKÆFTIGELSESKVOTE C3



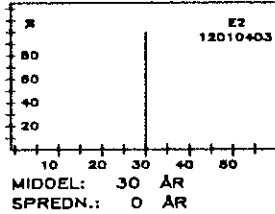
IMPORTKVOTE C3



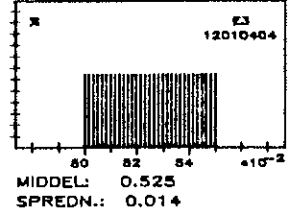
MERISOLERING



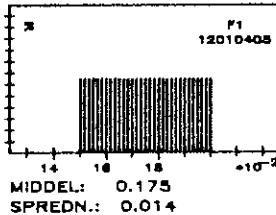
LEVETID E1



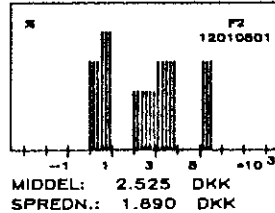
BESKÆFTIGELSESKVOTE E1



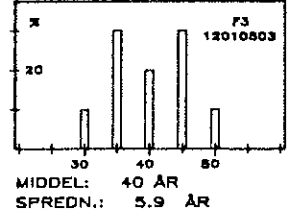
IMPORTKVOTE E1



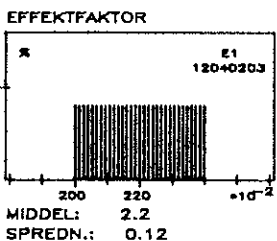
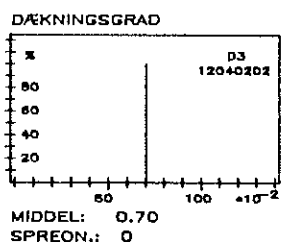
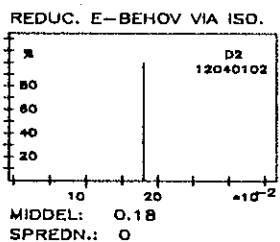
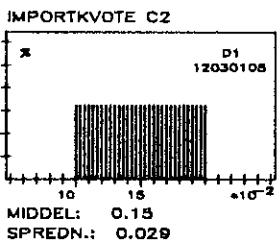
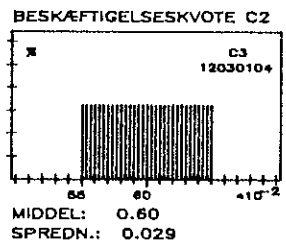
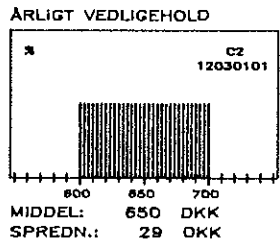
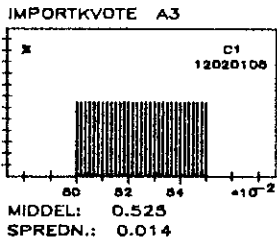
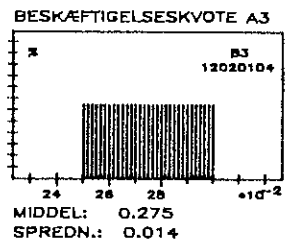
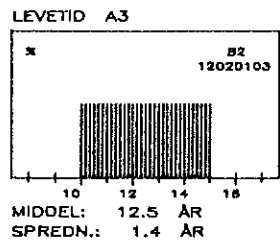
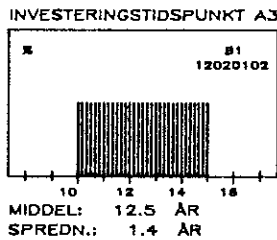
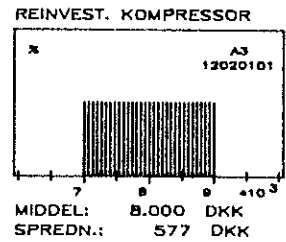
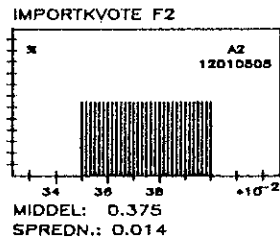
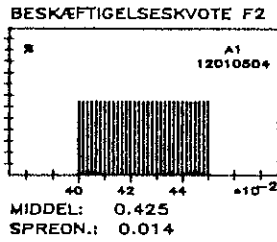
AREALOMKOSTNING



LEVETID F2

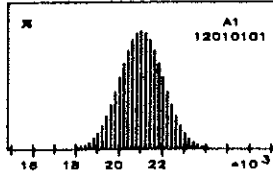


VARMEPUMPE L/V FORTSAT
RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS DANMARK



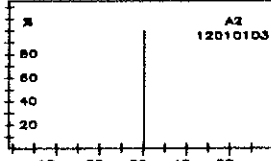
OLIEFYR
RUMOPVARMNING + VARTM VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS DANMARK

VARMEFORDDELINGSSYSTEM



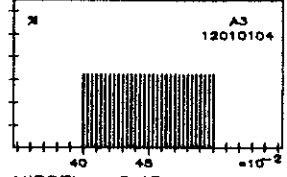
MIDDEL: 21.400 DKK
SPREDN.: 1.000 DKK

LEVETID A1



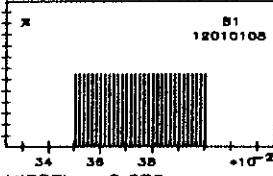
MIDDEL: 30 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE A1



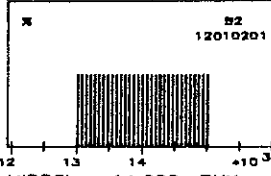
MIDDEL: 0.45
SPREDN.: 0.029

IMPORTKVOTE A1



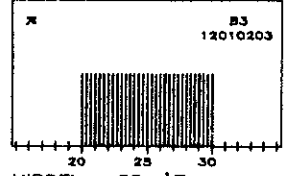
MIDDEL: 0.375
SPREDN.: 0.014

KEDEL UNIT



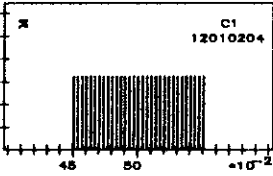
MIDDEL: 14.000 DKK
SPREDN.: 577 DKK

LEVETID B2



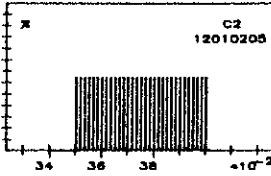
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.9 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE B2



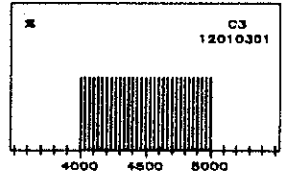
MIDDEL: 0.50
SPREDN.: 0.029

IMPORTKVOTE B2



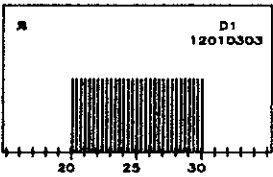
MIDDEL: 0.375
SPREDN.: 0.014

OLJETANK I KÆLDER



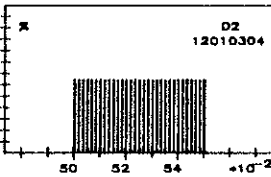
MIDDEL: 4.500 DKK
SPREDN.: 289 DKK

LEVETID C3



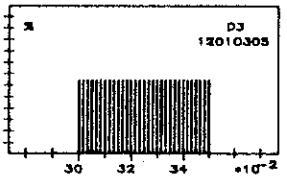
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.9 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE C3



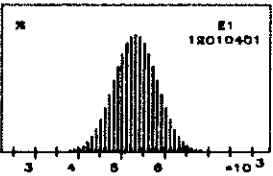
MIDDEL: 0.525
SPREDN.: 0.014

IMPORTKVOTE C3



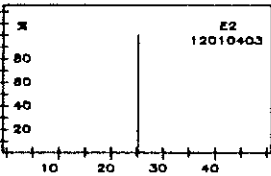
MIDDEL: 0.325
SPREDN.: 0.014

STÅLSKORSTEN



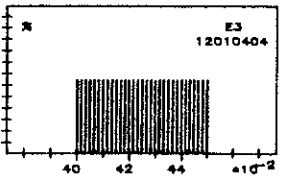
MIDDEL: 5.300 DKK
SPREDN.: 500 DKK

LEVETID E1



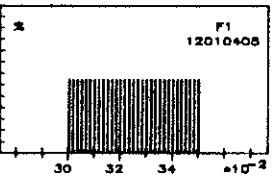
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE E1



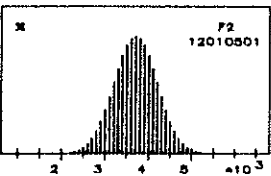
MIDDEL: 0.425
SPREDN.: 0.014

IMPDRTKVOTE E1



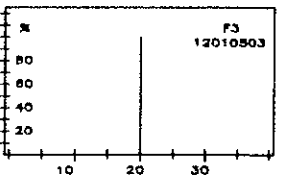
MIDDEL: 0.325
SPREDN.: 0.014

AUTOMATIK



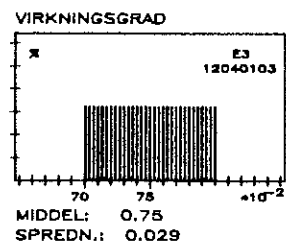
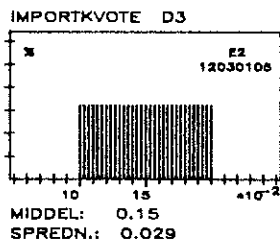
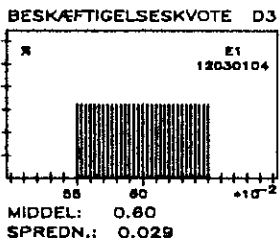
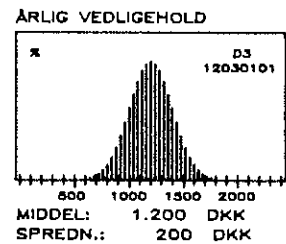
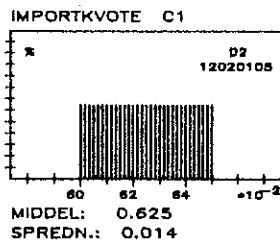
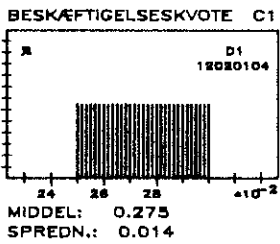
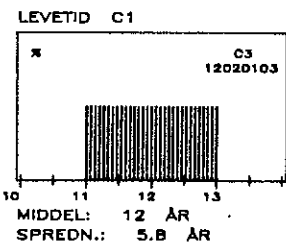
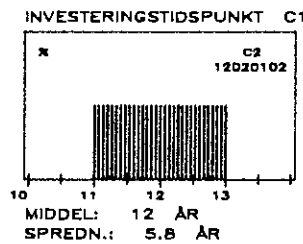
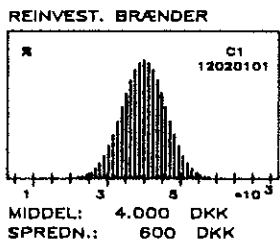
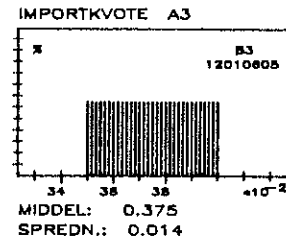
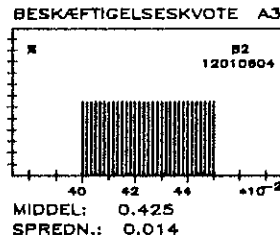
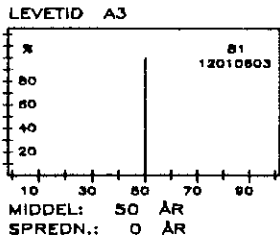
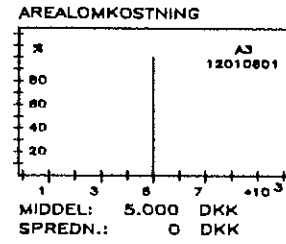
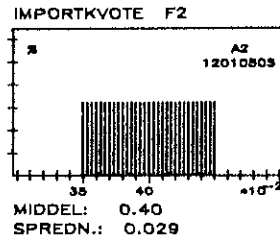
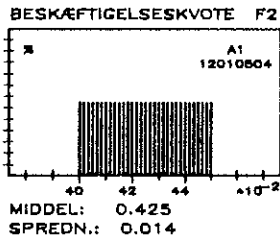
MIDDEL: 3.700 DKK
SPREDN.: 500 DKK

LEVETID F2



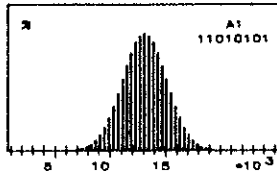
MIDDEL: 20 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

OLIEFYR FORTSAT
RUMOPVARMNING + VART VAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS DANMARK



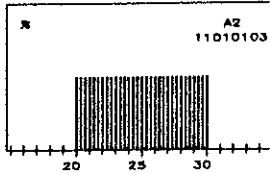
ELVARME
RUMOPVARMNING + VARMTVAND I ENFAMILIEHUS
SAMFUNDSØKONOMISK BASIS
DANMARK

EL-RADIATORER



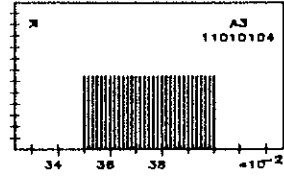
MIDDEL: 13.000 DKK
SPREDN.: 2.000 DKK

LEVETID A1



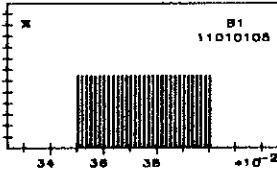
MIDDEL: 25 ÅR
SPREDN.: 2.9 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE A1



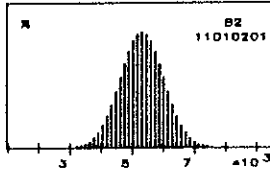
MIDDEL: 0.375
SPREDN.: 0.014

IMPORTKVOTE A1



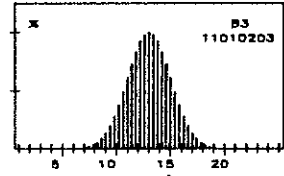
MIDDEL: 0.375
SPREDN.: 0.014

EL-VANDVARMER



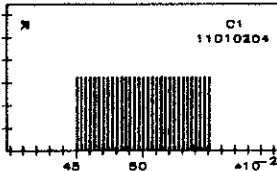
MIDDEL: 5.300 DKK
SPREDN.: 700 DKK

LEVETID B2



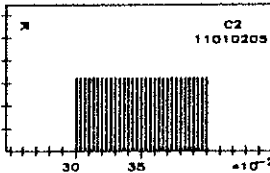
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE B2



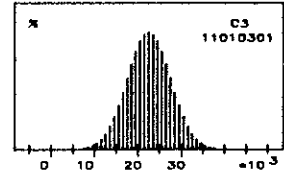
MIDDEL: 0.50
SPREDN.: 0.029

IMPDRTKVOTE B2



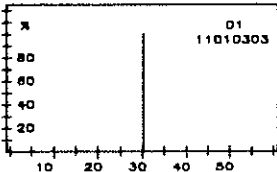
MIDDEL: 0.35
SPREDN.: 0.029

MERISOLERING



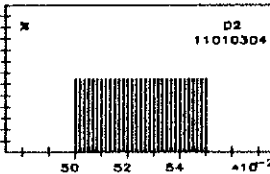
MIDDEL: 22.500 DKK
SPREDN.: 5.000 DKK

LEVETID C3



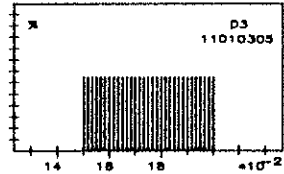
MIDDEL: 30 ÅR
SPREDN.: 0 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE C3



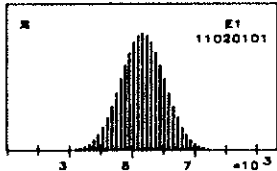
MIDDEL: 0.525
SPREDN.: 0.014

IMPDRTKVOTE C3



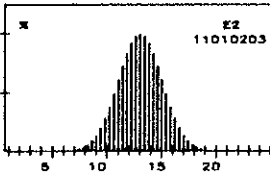
MIDDEL: 0.175
SPREDN.: 0.014

REINVEST. ELVANDVARMER



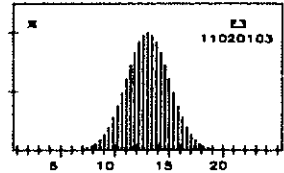
MIDDEL: 5.300 DKK
SPREDN.: 700 DKK

INVESTERINGSTIOSPUNKT E1



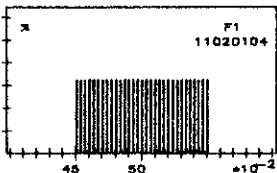
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

LEVETID E1



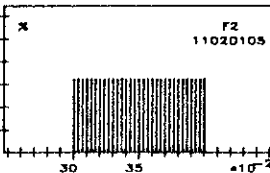
MIDDEL: 13 ÅR
SPREDN.: 2 ÅR

BESKÆFTIGELSESKVOTE E1



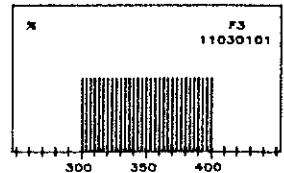
MIDDEL: 0.50
SPREDN.: 0.029

IMPORTKVOTE E1



MIDDEL: 0.35
SPREDN.: 0.029

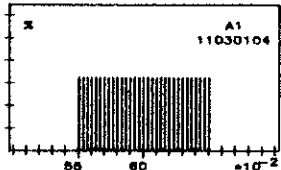
ÅRLIG VEDLIGEHOOLD



MIDDEL: 350 DKK
SPREDN.: 29 DKK

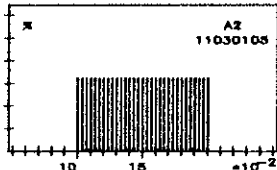
ELVARME RUMOPVARMNING + VARMT VAND I ENFAMILIEHUS SAMFUNDSØKONOMISK BASIS	FORTSAT DANMARK
---	--------------------

BESKÆFTIGELSESKVOTE F3



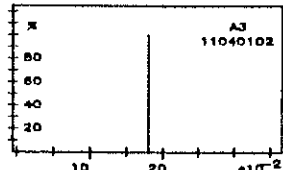
MIDDEL: 0.60
SPREDN.: 0.029

IMPDRTKVOTE F3



MIDDEL: 0.15
SPREDN.: 0.029

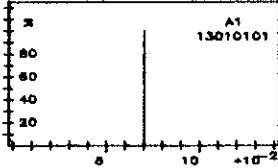
REDUC. E-BEHOV VIA ISD.



MIDDEL: 18 %
SPREDN.: 0 %

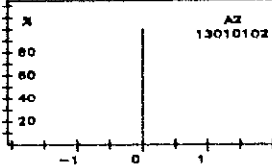
DANMARK GENERELLE FORUDSÆTNINGER

SAMFØK. KALKULATIONSRENTE



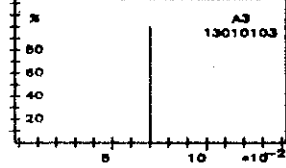
MIDDEL: 7 %
SPREDN.: 0 %

KALKULATIONSRENTE BESK.DEL



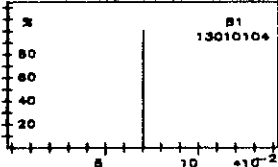
MIDDEL: 0 %
SPREDN.: 0 %

KALKULATIONSRENTE IMPORT



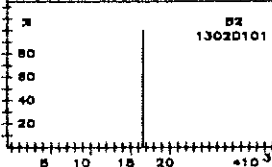
MIDDEL: 7 %
SPREDN.: 0 %

KALKULATIONSRENTE RESTINK.



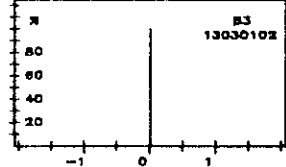
MIDDEL: 7 %
SPREDN.: 0 %

NETTOENERGIBEHOV



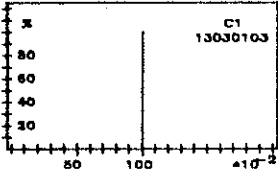
MIDDEL: 16.500 KWH
SPREDN.: 0 KWH

VÆGTFAKTOR BESKÆFTIGELSE



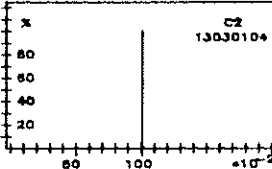
MIDDEL: 0
SPREDN.: 0

VÆGTFAKTOR IMPORT



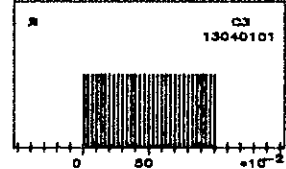
MIDDEL: 1.0
SPREDN.: 0

VÆGTFAKTOR RESTINDKOMST



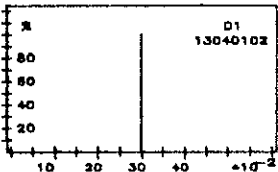
MIDDEL: 1.0
SPREDN.: 0.0

TRANSVERS DIST.TYPE EL



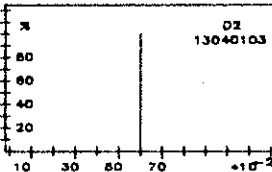
MIDDEL: 0.50
SPREDN.: 0.29

BESK.KVOTE EL 1.ÅR



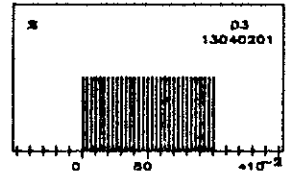
MIDDEL: 0.30
SPREDN.: 0

IMPORT KVOTE EL 1.ÅR



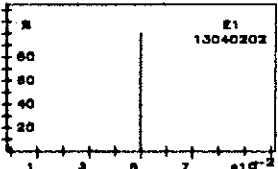
MIDDEL: 0.60
SPREDN.: 0

TRANSVERS DIST.TYPE OLIE



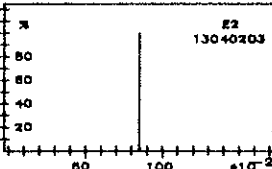
MIDDEL: 0.50
SPREDN.: 0.29

BESK.KVOTE OLIE 1.ÅR



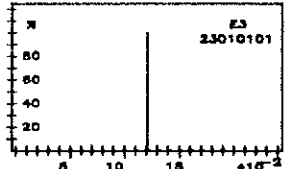
MIDDEL: 0,05
SPREDN.: 0.0

IMPORTKVOTE OLIE 1.ÅR



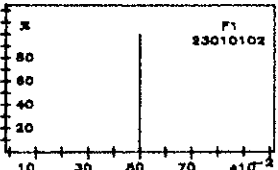
MIDDEL: 0.85
SPREDN.: 0

PRIVATØKONDMISK RENTE



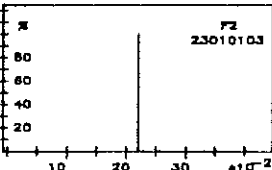
MIDDEL: 12 %
SPREDN.: 0 %

SKAT



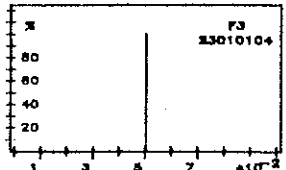
MIDDEL: 50 %
SPREDN.: 0 %

MOMS

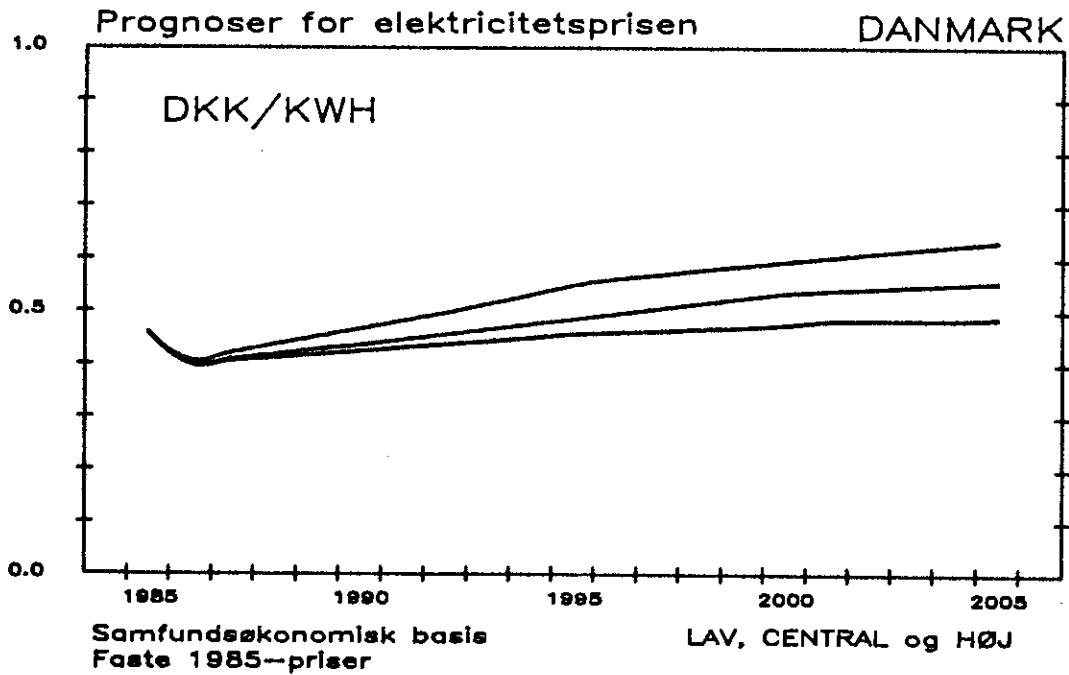
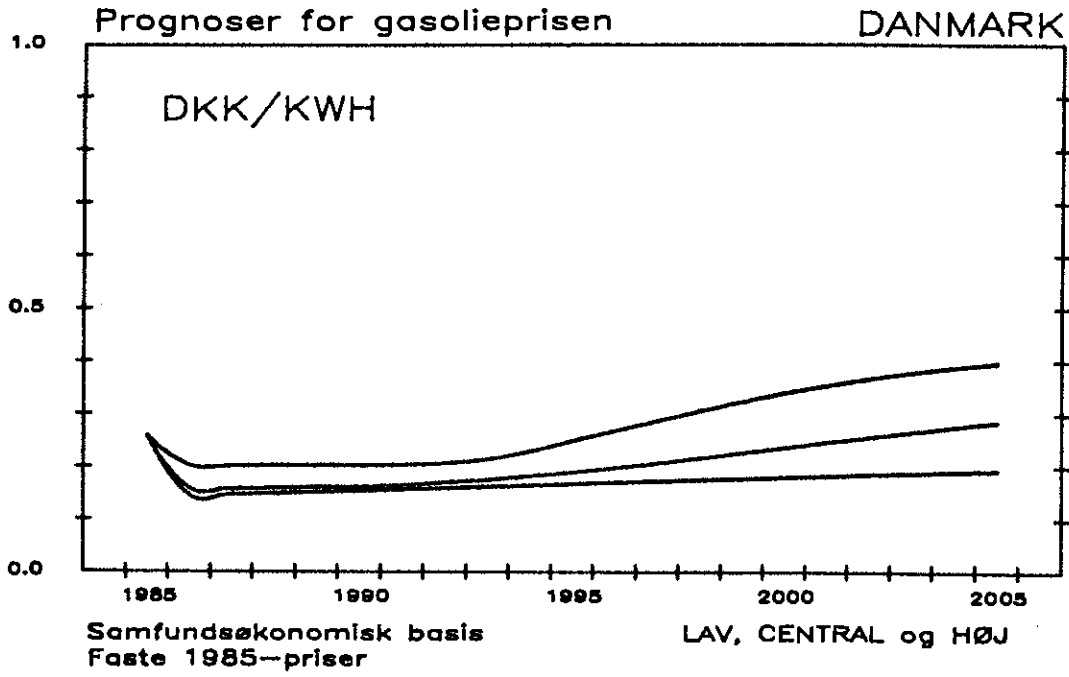


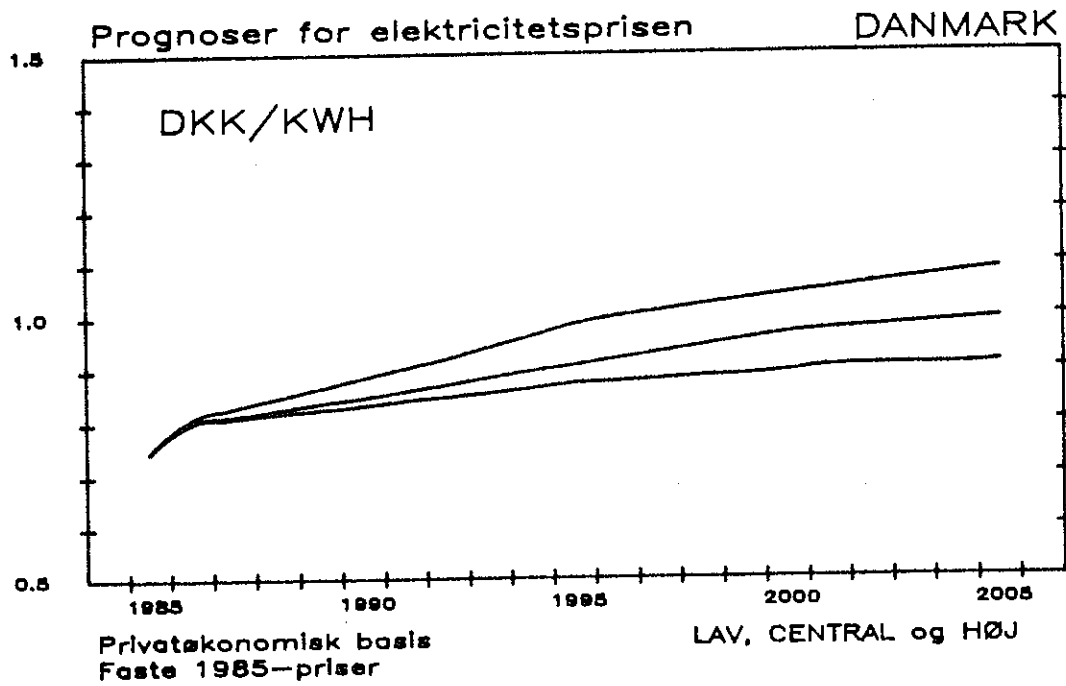
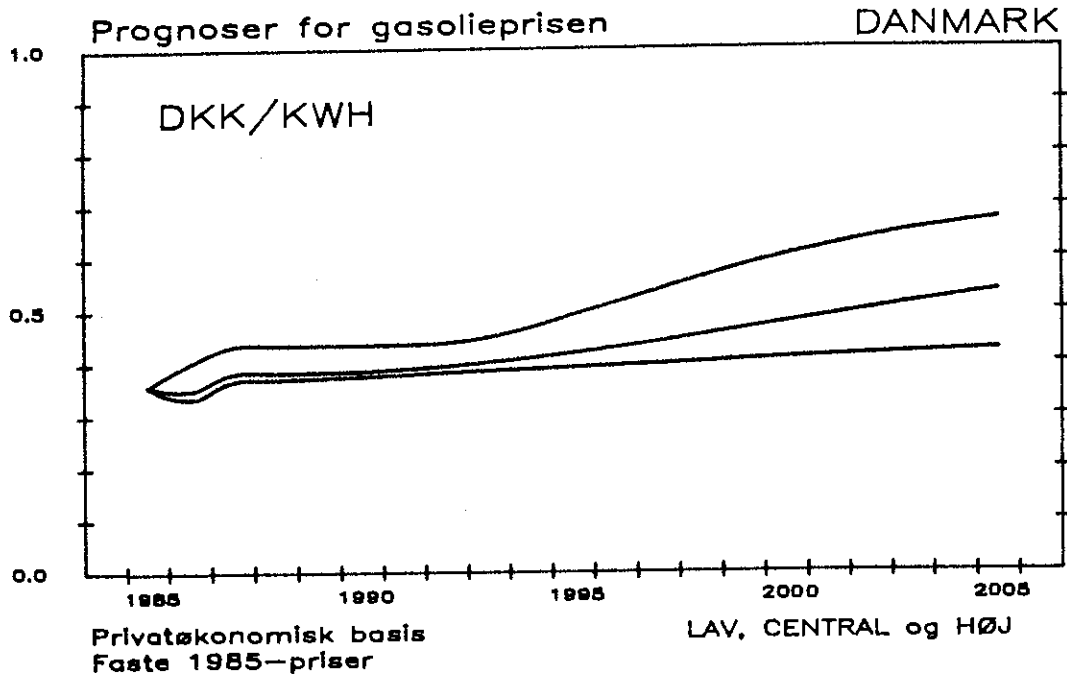
MIDDEL: 22 %
SPREDN.: 0 %

INFLATION



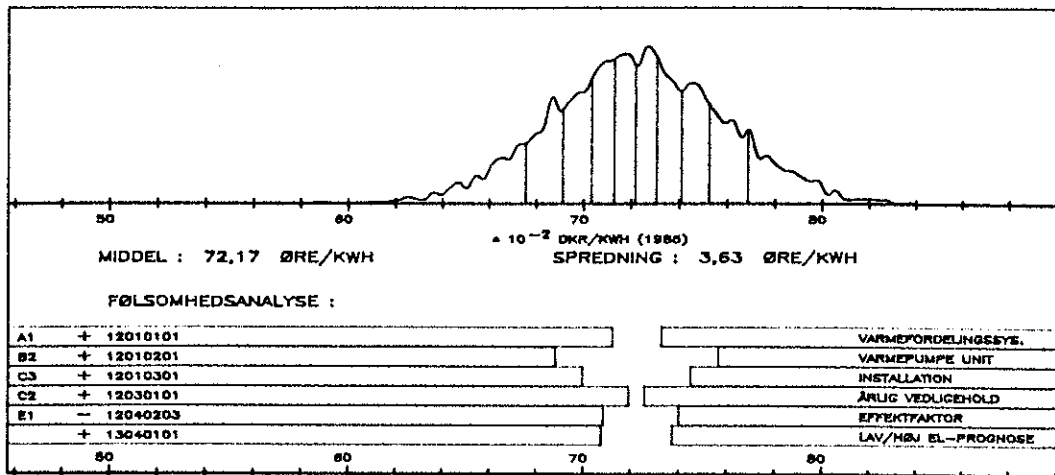
MIDDEL: 5 %
SPREDN.: 0 %





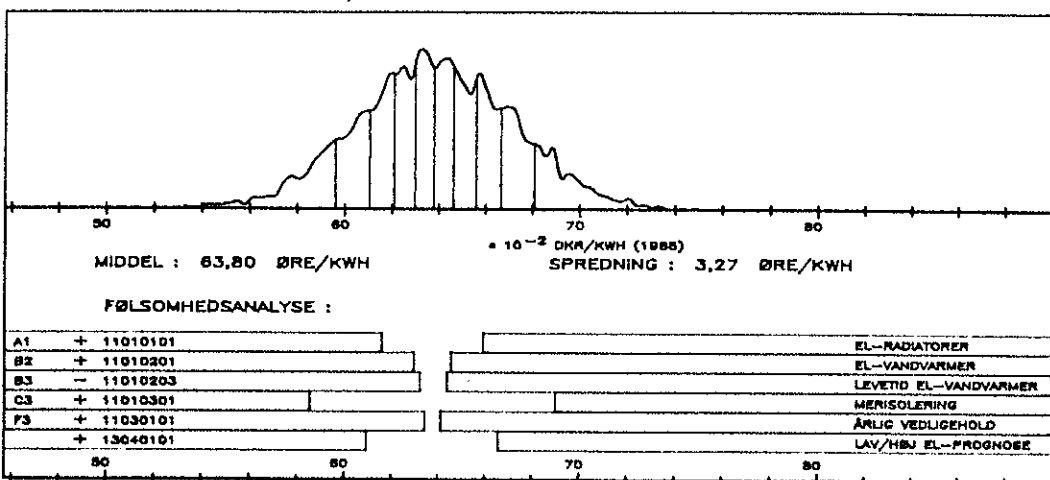
VARMEPUMPE L/V (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS

DANMARK

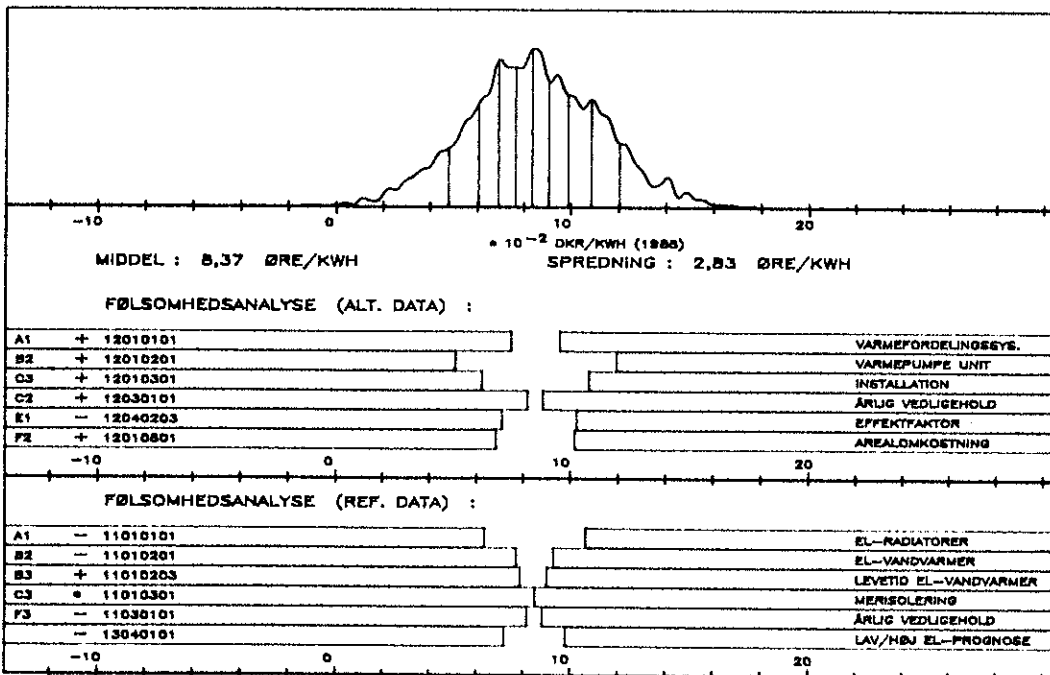


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS

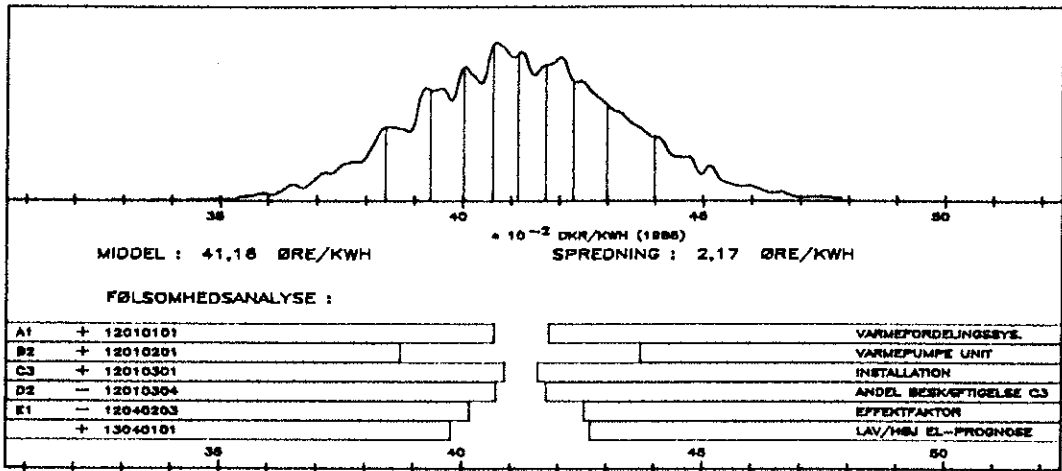
DANMARK



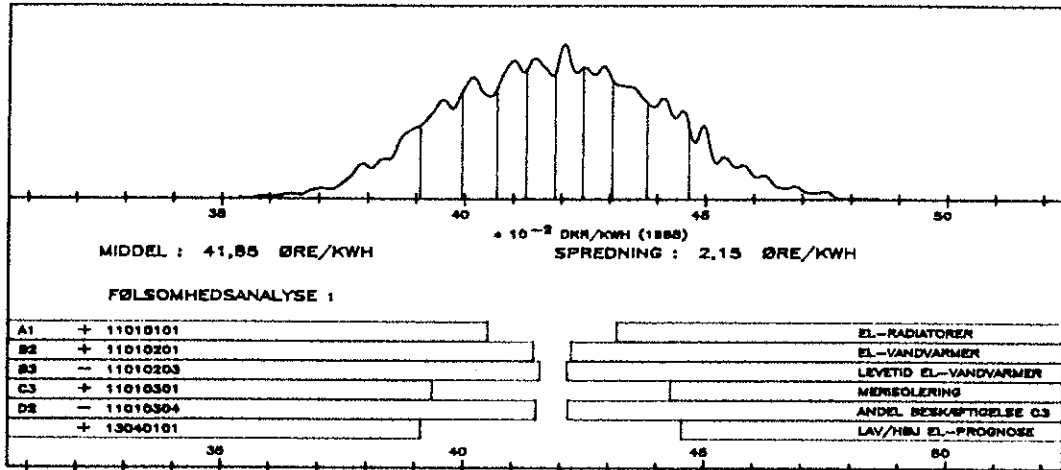
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



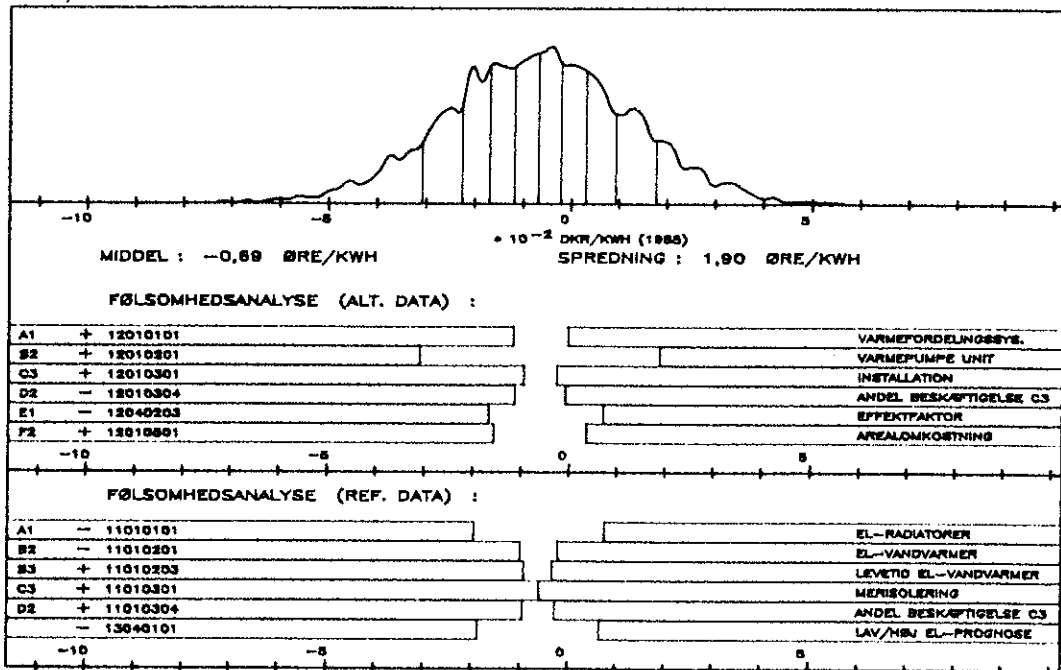
VARMEPUMPE L/V (ALT. PROJEKT) SAMF.ØK. BASIS INCL. VÆGTFAKTORER DANMARK



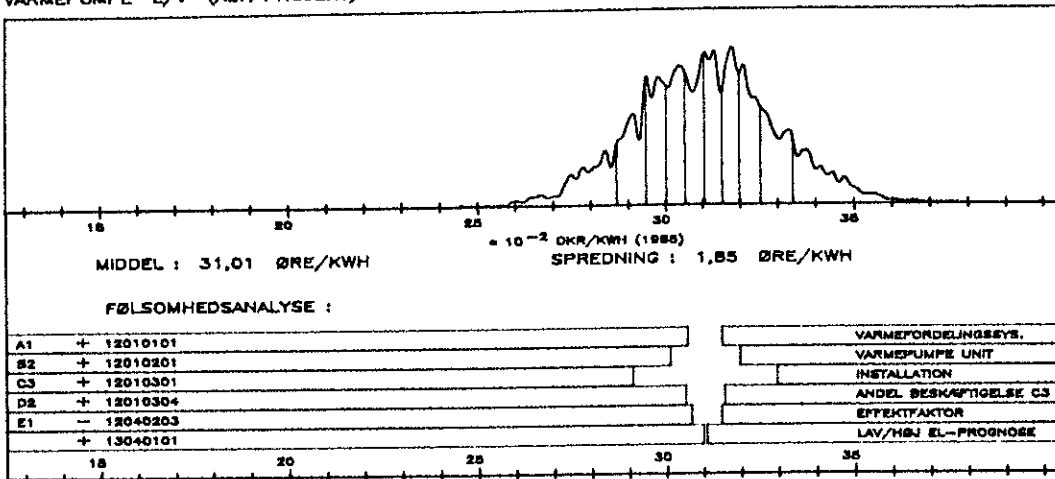
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMF.ØK. BASIS INCL. VÆGTFAKTORER DANMARK



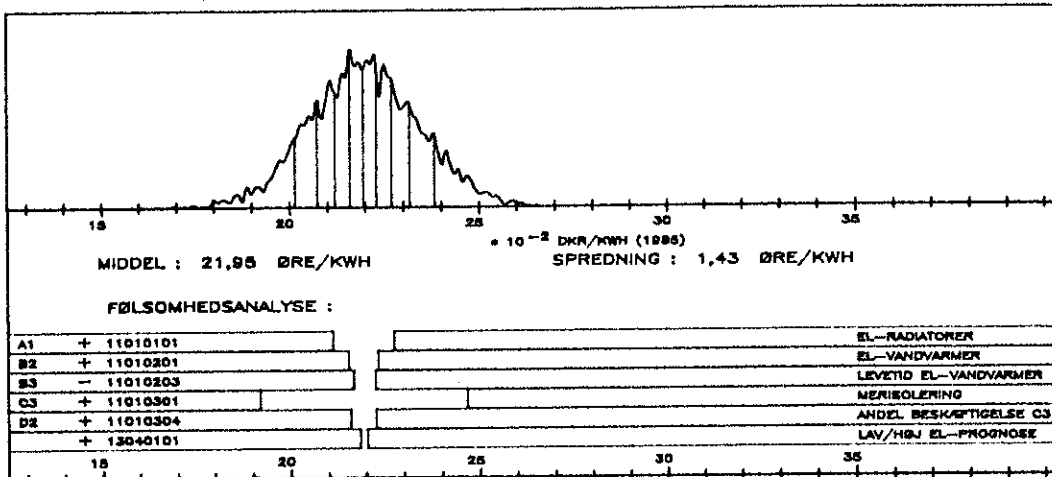
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



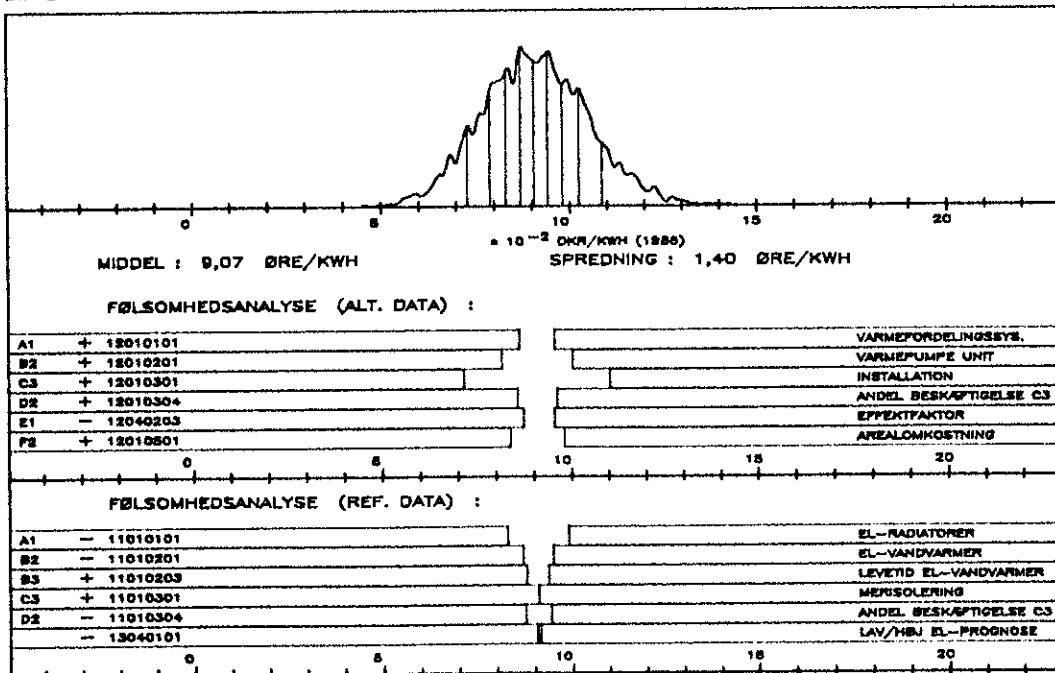
VARMEPUMPE L/V (ALT. PROJEKT) BESKÆFTIGELSESDDEL DANMARK

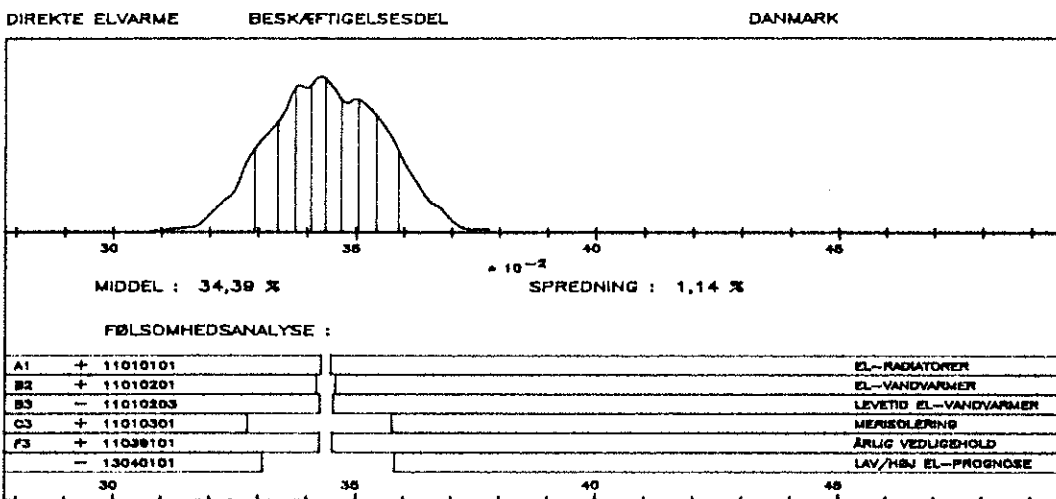
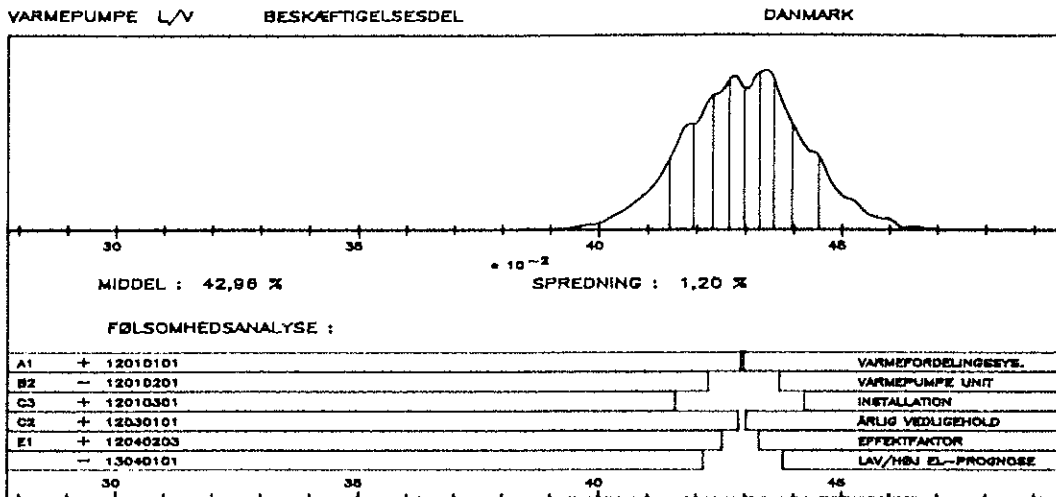


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) BESKÆFTIGELSESDDEL DANMARK

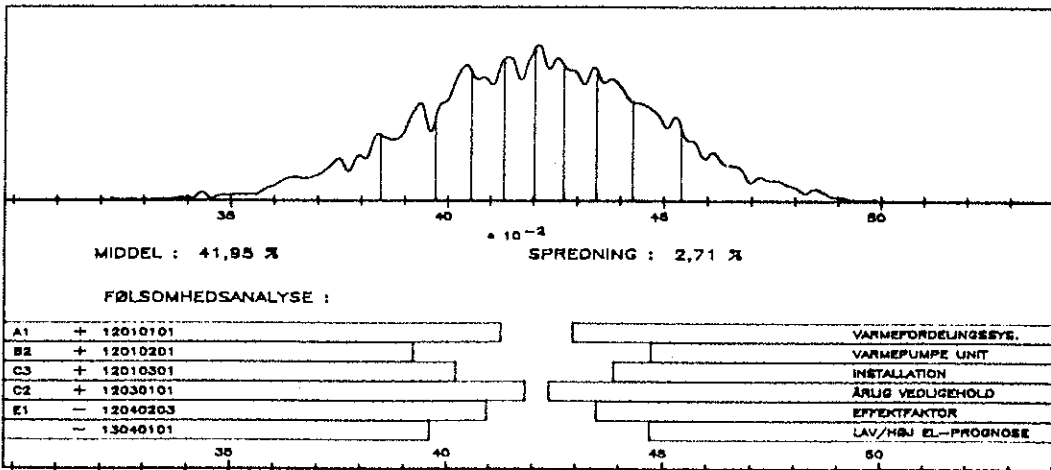


DIFFERENSProjekt : DIF = ALT - REF



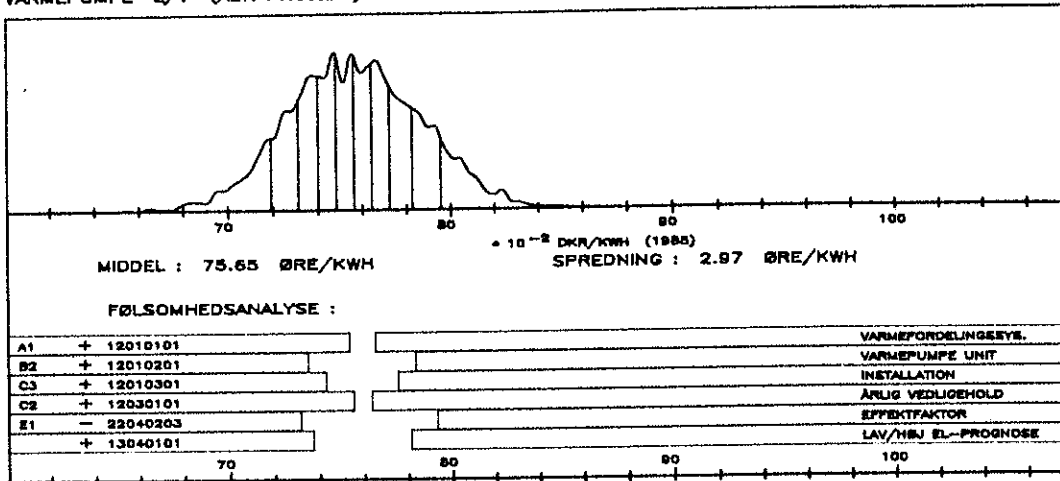


KRITISK BESKÆFTIGELSESANDEL PÅ VARMEPUMPE L/V FOR BREAK-EVEN MED D.ELVARME



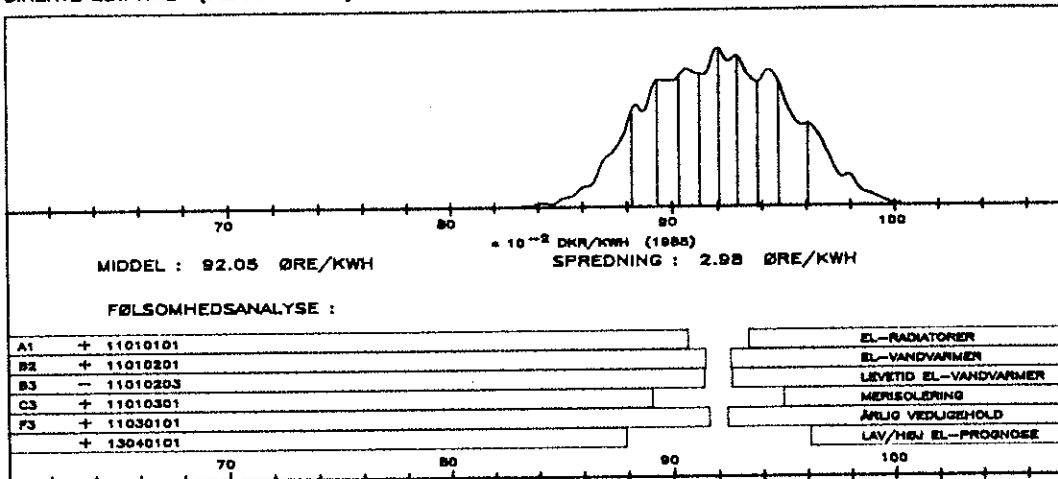
VARMEPUMPE L/V (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

DANMARK

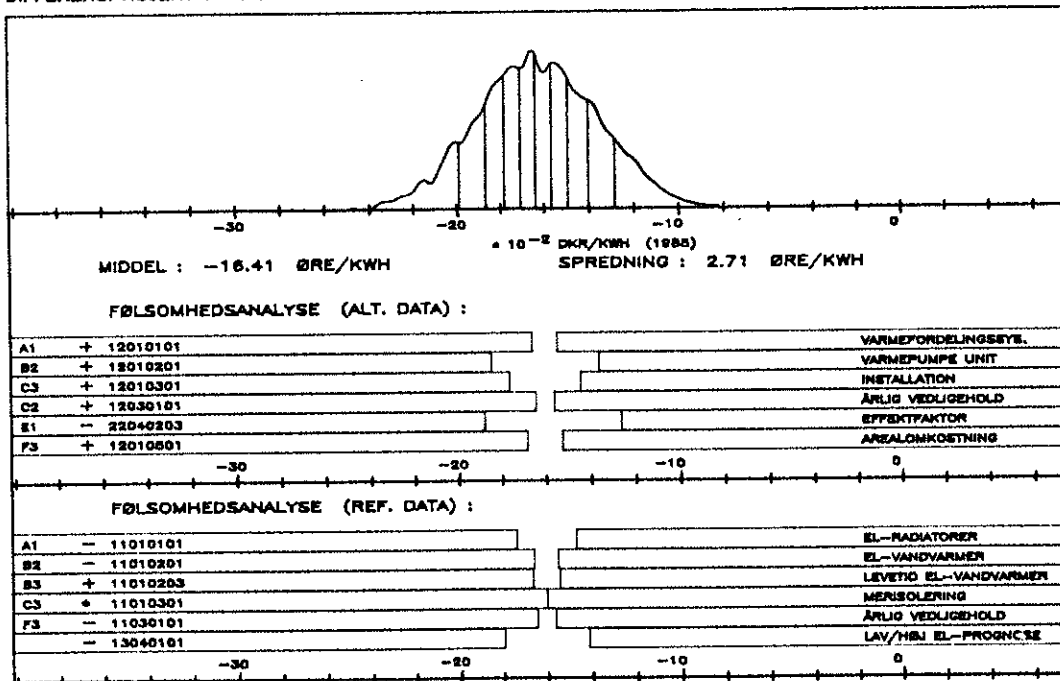


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

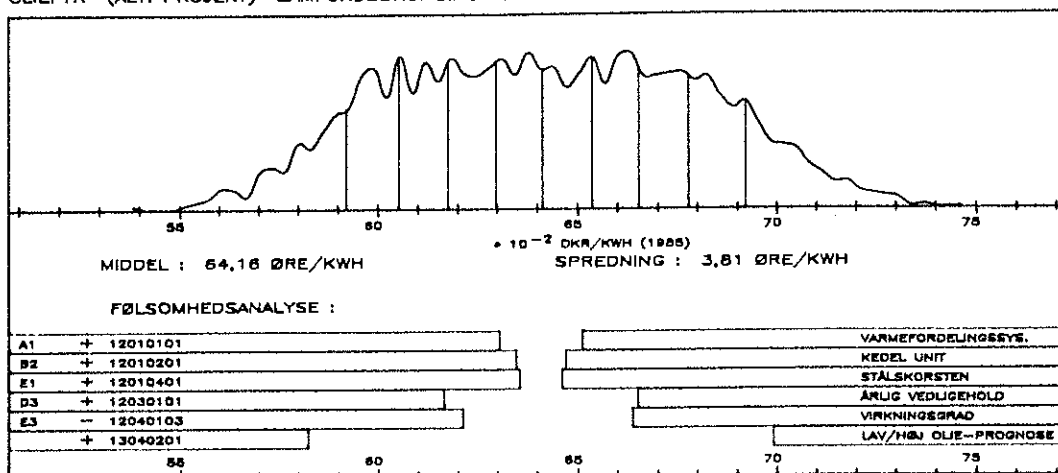
DANMARK



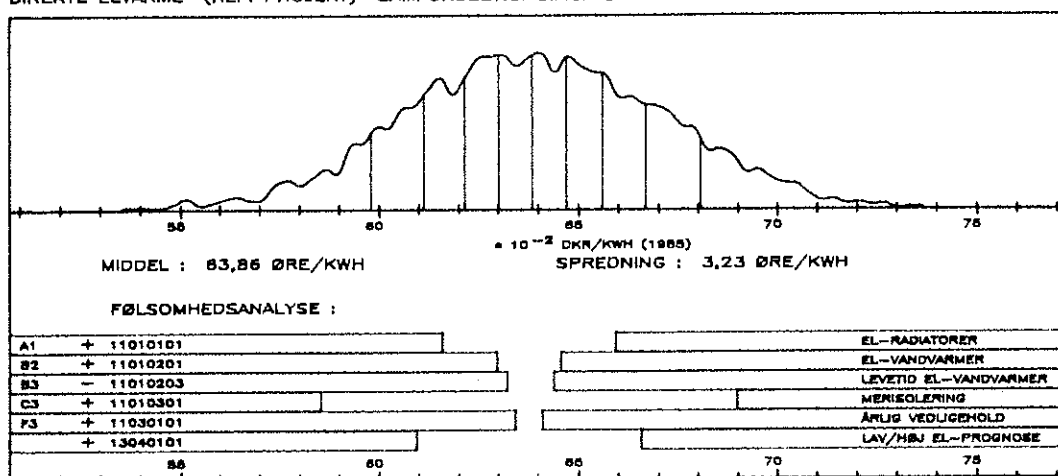
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



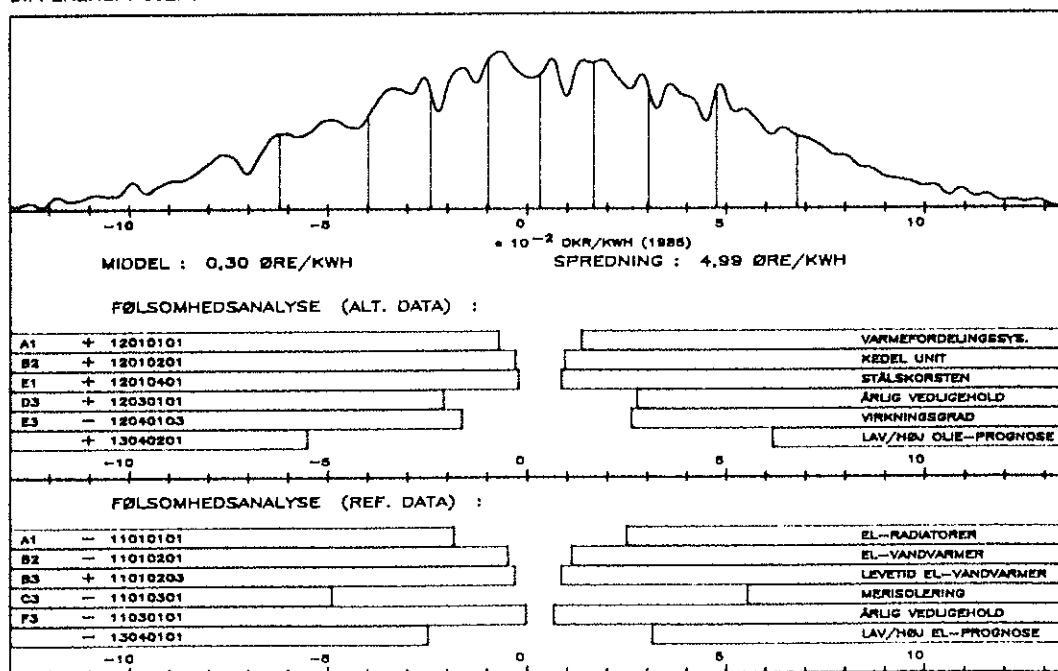
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS DANMARK



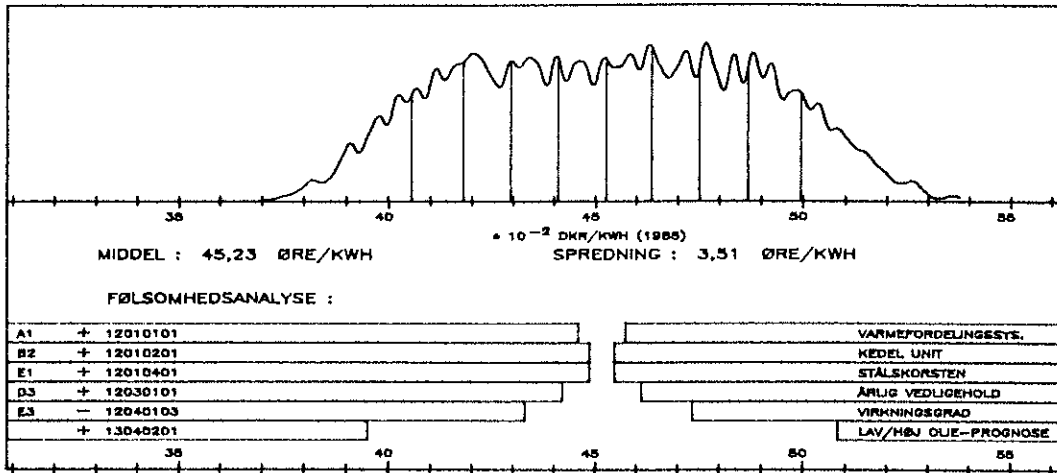
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMFUNDSØKONOMISK BASIS DANMARK



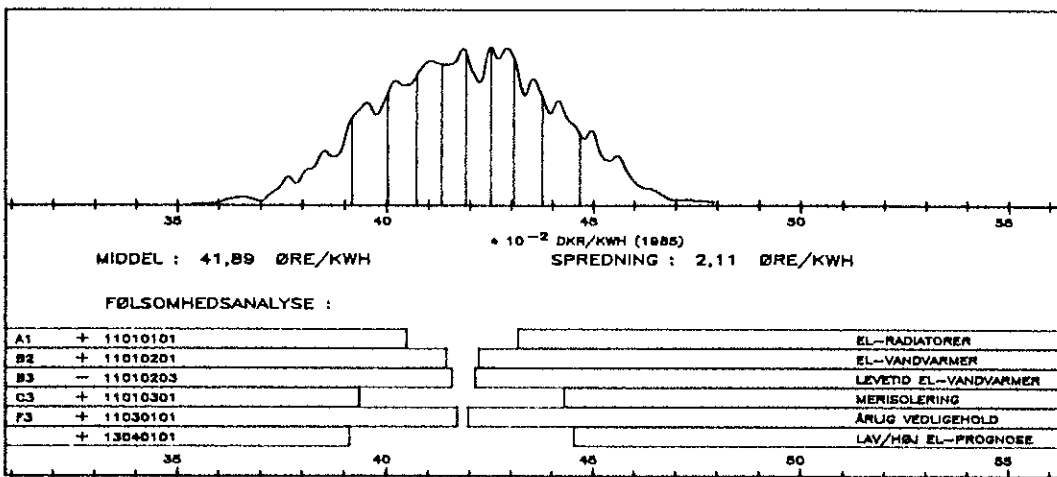
DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



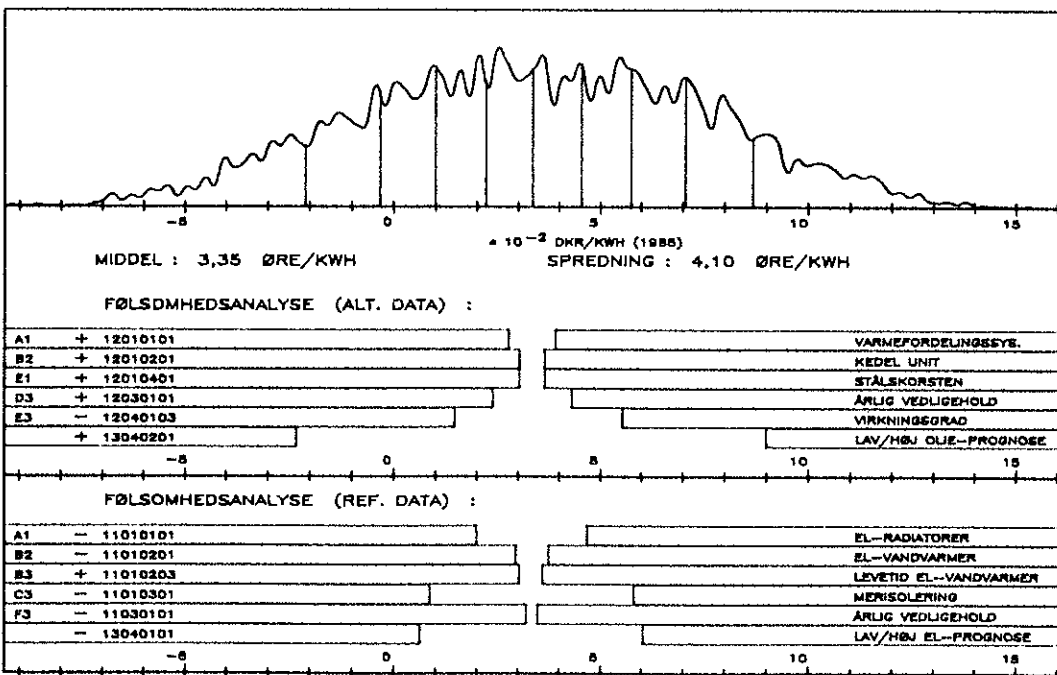
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) SAMF.ØK. BASIS INCL. VÆGTFAKTORER DANMARK



DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) SAMF.ØK. INCL. VÆGTFAKTORER DANMARK

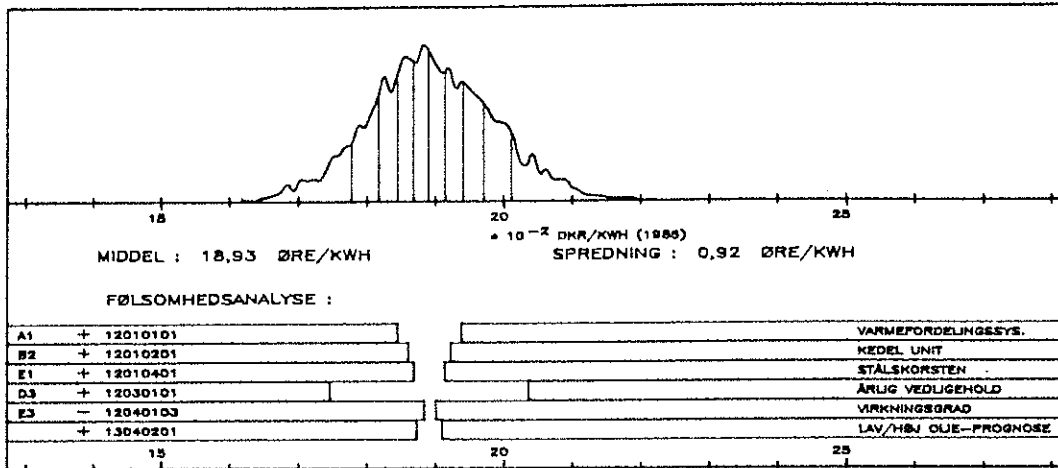


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



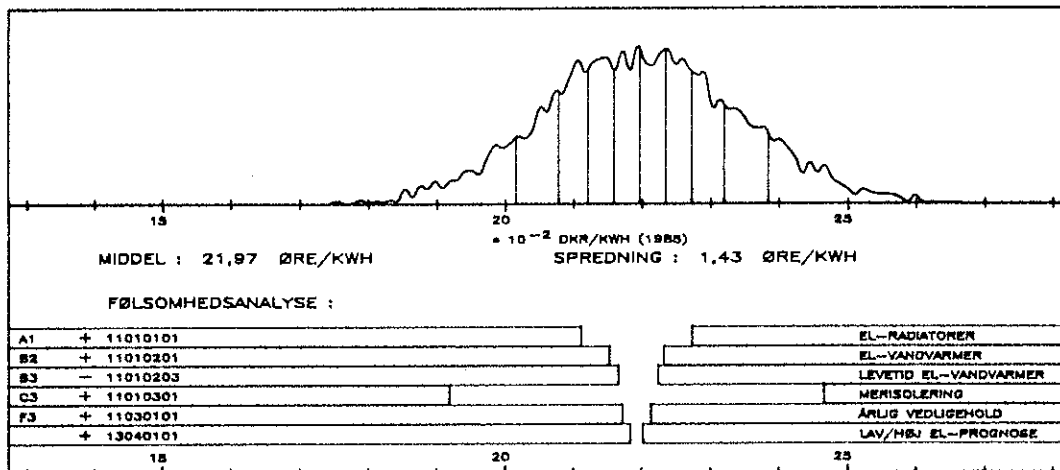
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) BESKÆFTIGELSESDDEL

DANMARK

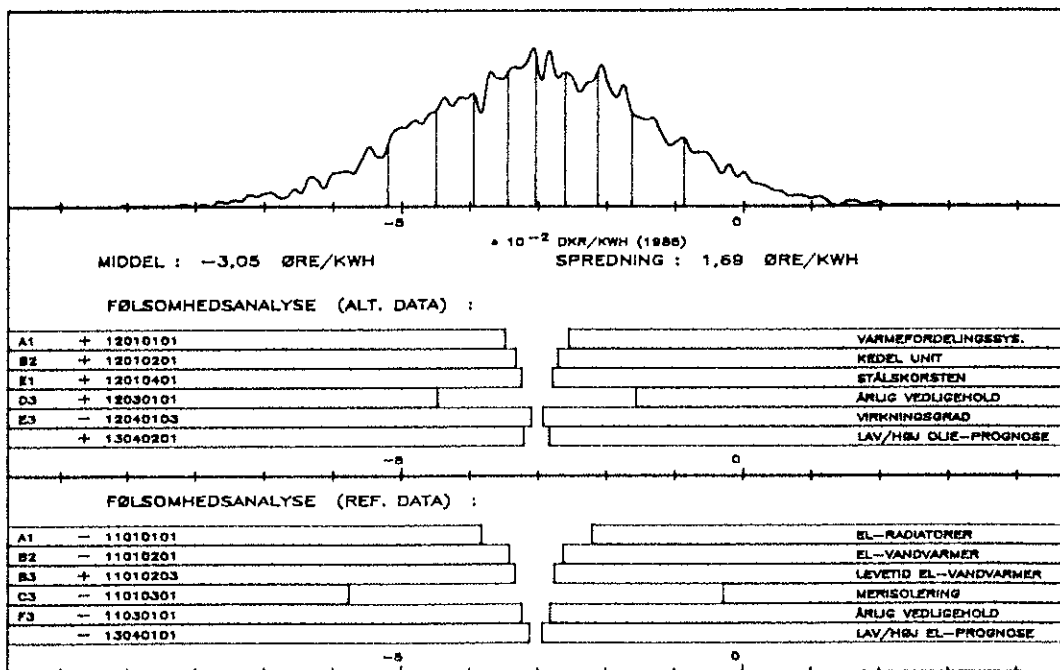


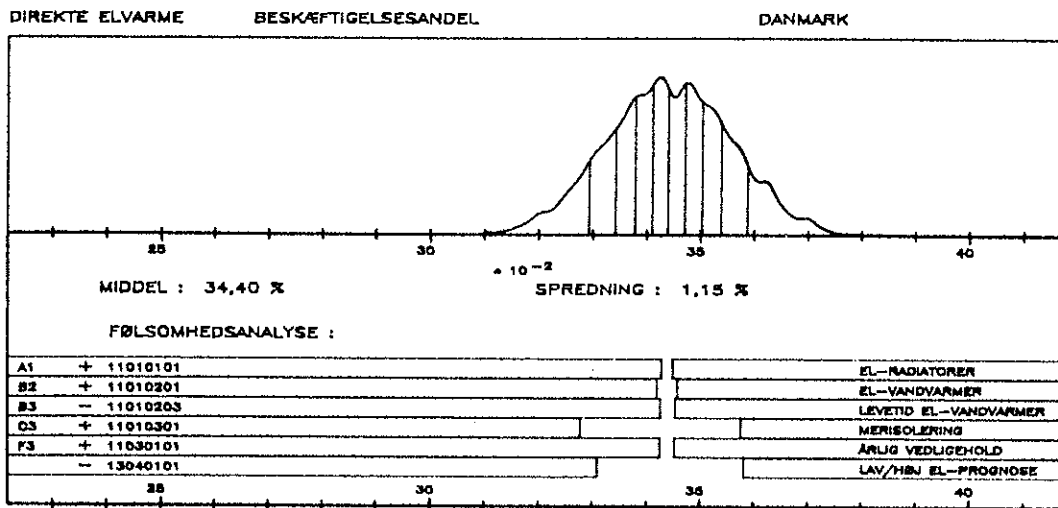
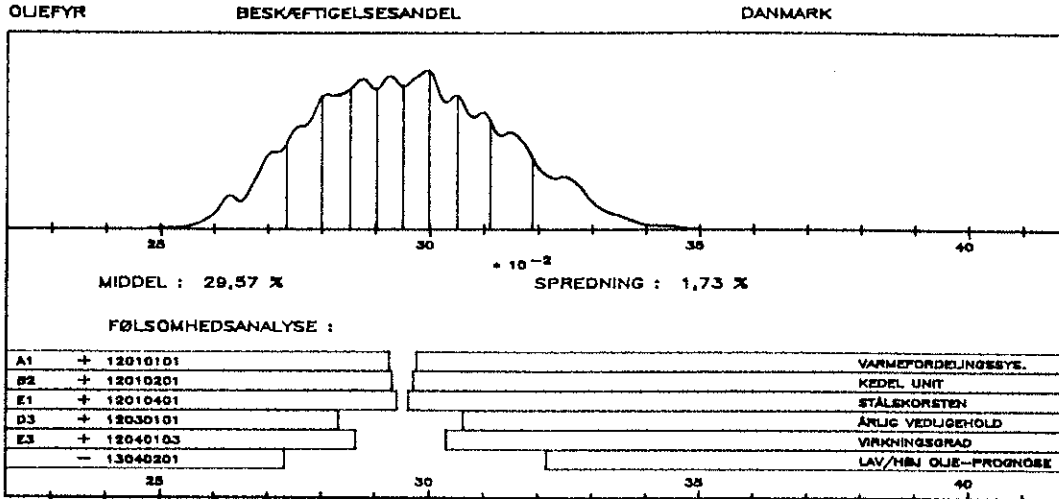
DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) BESKÆFTIGELSESDDEL

DANMARK

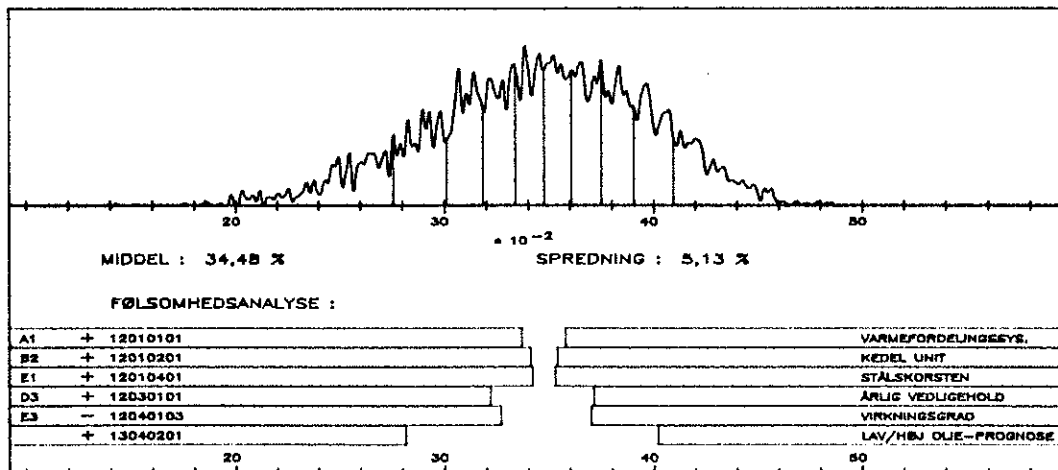


DIFFERENSPROJEKT : DIF = ALT - REF



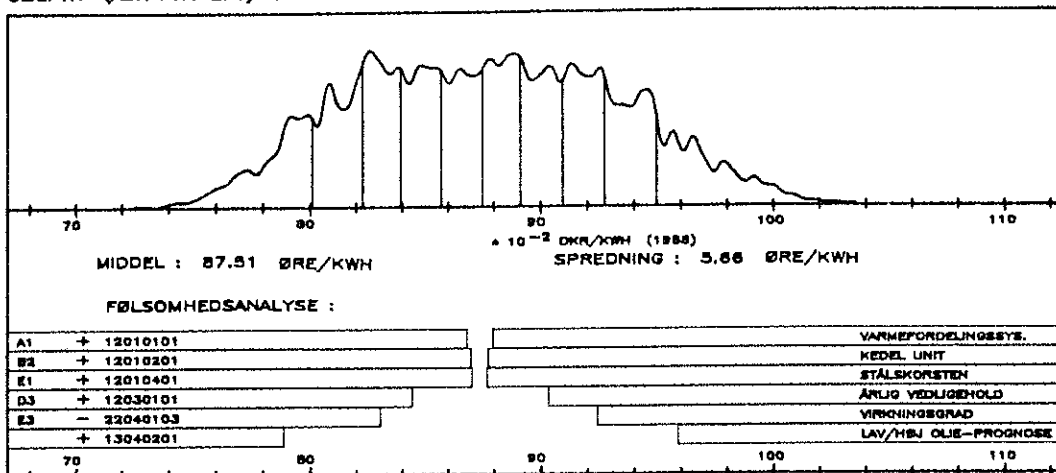


KRITISK BESKÆFTIGELSESANDEL PÅ OLIEFYR FOR BREAK-EVEN MED D. ELVARME



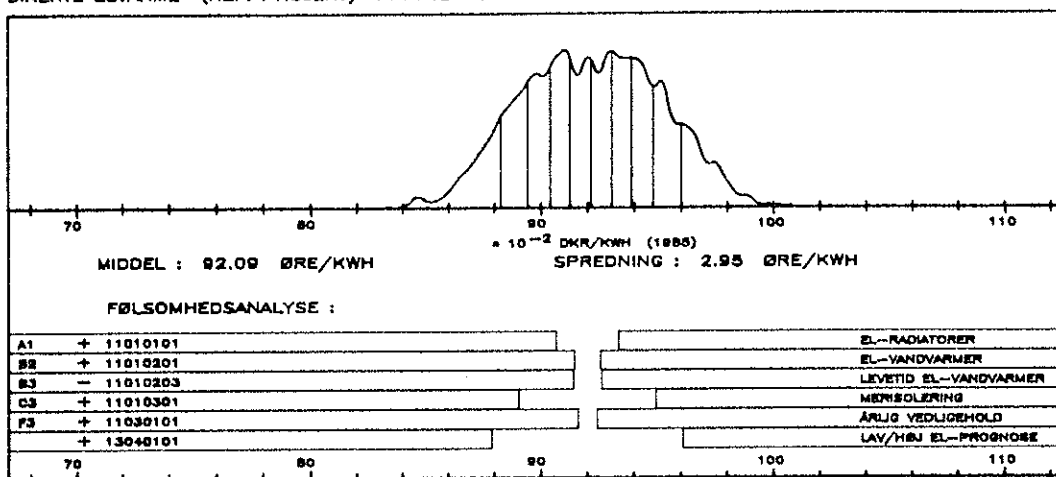
OLIEFYR (ALT. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

DANMARK

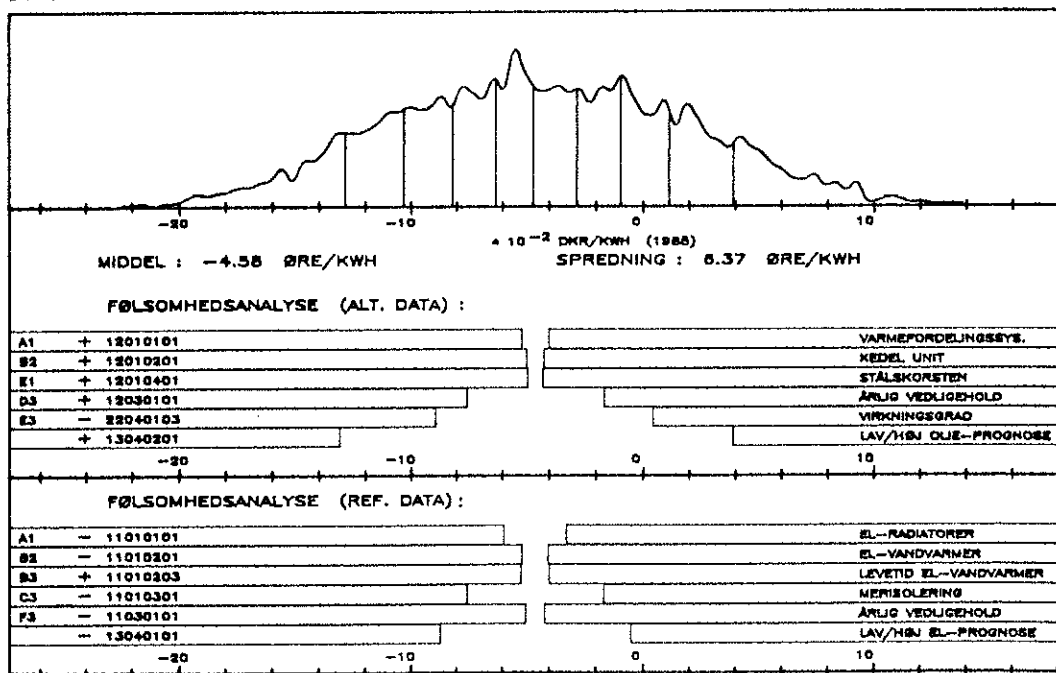


DIREKTE ELVARME (REF. PROJEKT) PRIVATØKONOMISK BASIS

DANMARK



DIFFERENSProjekt : DIF = ALT -- REF



7.7. Sammenligning af nationale beregningsresultater

Da de generelle beregningsforudsætninger, såsom kalkulationsrenter, nettoenergibehov, brændselsprisprognoser m.v., er forskellige for de enkelte lande, kan absolutte sammenligninger af beregningsresultater landene imellem ikke umiddelbart foretages. Beregningsresultaterne skal læses i relation til data-arkene, samt de øvrige beregningsforudsætninger anført i afsnit 7.1 tabel 1-3.

Trods dette er der i det følgende opstillet tabeller over de nationale beregningsresultater. Dette er gjort for at give et overblik over de detaljerede resultatark, og dette kan fremhæve relative forhold mellem varmeanlæggene i det enkelte land og landene imellem.

Beregningsresultaterne for anlæggene sammenlignes ud fra en risikoneutral holdning, der alene rangordner på basis af middelværdier. Som tidligere omtalt vil mange andre beslutningskriterier udnytte kendskabet til sandsynlighedsfordelingerne i større detalje.

Det skal atter nævnes, at der i beregningsforudsætningerne er søgt inddraget alle komponenter til boligen, der har direkte tilknytning til valget af opvarmingsform. Beregningerne inddrager bl.a. omkostninger omkring varmfordelingsystemet, eventuel påkrævet merisolering af standardboliger, skorsten og olietank samt arealomkostninger ved indpasning af varmeanlægget i boligen.

Denne basale antagelse er dog ikke gennemført konsekvent. Arealomkostninger er ikke inddraget i beregningerne for Sverige og Norge, og desuden er omkostninger til skorsten ikke inddraget i de norske beregninger.

Yderligere kunne eventuelle udgifter til elnetforstærkning i forbindelse med direkte elvarme og varmepumpeanlæg være inddraget.

De beregnede prisforhold kunne naturligvis være væsentlig anderledes under andre basale forudsætninger.

På baggrund af de valgte data er der i det samfundsøkonomiske tilfælde fundet følgende hovedresultater via kørsler med MUSA-modellen:

Tabel 4. Annuiserede energipriser på samfundsøkonomisk grundlag.

Middelværdi (spredning)			
Relativ spredning	Varmepumpe	Oliefyr	Direkte elvarme
Norge			
(N) øre/kWh	54,5(2,7)	48,8(2,3)	43,6(1,7)
%	5,0	4,7	3,9
Sverige			
(S) øre/kWh	42,7(2,5)	53,8(3,7)	31,8(2,1)
%	5,9	6,9	6,6
Finland			
P/kWh	36,0(3,3)	26,4(1,1)	31,8(1,0)
%	9,2	4,2	3,1
Danmark			
(DK) øre/kWh	72,2(3,6)	64,2(3,8)	63,9(3,2)
%	5,0	5,9	5,0

Det fremgår af tabel 4, at den annuiserede energipris i middel er lavest for direkte elvarme på nær i de finske eksempler, hvor beregningerne falder ud til fordel for oliefyring. Mindst favorabelt ligger varmepumpeanlæg overalt med en undtagelse i de svenske eksempler, hvor oliefyring viser sig at være dyrest.

Tallene i tabel 4 viser betydelige prisforskelle anlæggene imellem.

Direkte elvarme ligger markant lavere end de øvrige teknologier i de svenske eksempler. Dette er ikke overraskende, idet investeringssiden er relativt lille for direkte elvarme og elprisen, som det fremgår af de svenske brændselsprisprognoser, kun ligger svagt højere end gasolieprisen.

I Norge, Finland og Danmark ligger elektricitetsprisen på omkring det dobbelte af gasolieprisen, hvilket medfører relativt mindre prisforskelle imellem direkte elvarme og olie-fyring.

Absolutte spredninger på energipriser via direkte elvarme er generelt set lavere end spredninger på energipriser for de to øvrige anlægstyper i det enkelte land. Sammenlignes relative spredninger (spredning/middelværdi) gælder dette stadig med en undtagelse i de svenske eksempler, hvor varmepumpen falder ud med den mindste relative spredning.

På privatøkonomisk grundlag ændrer tabel 4 udseende til følgende:

Tabel 5. Annuiserede energipriser på privatøkonomisk grundlag.

Middelværdi (spredning)

Relativ spredning	Varmepumpe	Oliefyr	Direkte elvarme
Norge			
(N) øre/kWh	57,5(2,9)	51,7(2,1)	50,3(1,7)
‡	5,0	4,1	3,4
Sverige			
(S) øre/kWh	47,9(2,7)	64,5(3,9)	37,4(2,4)
‡	5,6	6,1	6,5
Finland			
P/kWh	38,8(3,5)	29,2(1,1)	38,1(1,2)
‡	9,1	2,8	3,0
Danmark			
(DK) øre/kWh	75,7(3,0)	87,5(5,7)	92,1(3,0)
‡	3,9	6,5	3,2

Rangfølgen af anlæggene på privatøkonomisk grundlag baseret på middelværdibetragtninger ses af tabel 5 at være analog til det samfundsøkonomiske tilfælde på nær i de danske eksempler. I de danske eksempler bliver varmepumpeanlægget mest favorabelt og direkte elvarme bliver den dyreste løsning. Dette er den omvendte rangfølge set i forhold til beregningsresultaterne på samfundsøkonomisk grundlag.

Dette har sammenhæng med den lavere kalkulationsrente samt de relativt større elafgifter i forhold til afgifterne på fyringsolie (se tabel 3). De løbende elektricitetsudgifter indgår i beregningerne med relativ større vægt og gør direkte elvarme noget dyrere end oliefyring, samtidig med, at varmepumpeanlæggets relativt lavere brændselsprisafhængighed gør varmepumpen til den billigste opvarmningsform privatøkonomisk set.

Tabel 6. Oversigt over beregningsresultater på danske data.

Middelværdi (spredning)	Varmepumpe	Oliefyr	Direkte elvarme
(DK) øre/kWh			
<u>Samfundsøkonomisk</u>			
basis	72,2(3,6)	64,2(3,8)	63,9(3,2)
<u>Beskæftigelsesdel</u>	31,0(1,9)	18,9(0,9)	22,0(1,4)
<u>Vægtet samfundsøko-</u>			
<u>nomisk basis</u>	41,2(2,2)	45,2(3,5)	41,9(2,1)
<u>Privatøkonomisk</u>			
basis	75,7(3,0)	87,5(5,7)	92,1(3,0)
 Beskæftigelseskvoter:			
§	43,0(1,2)	29,6(1,7)	34,4(1,2)
Kritisk beskæftigelses-			
andel på alternativpro-			
jekt for <u>vægtet sam-</u>			
fundsøkonomisk break-			
even med direkte el-			
varme:			
§	42,0(2,7)	34,5(5,1)	-
Kritisk ændring i			
middel af alternativ-			
projektets beskæftigel-			
seskvote for <u>vægtet</u>			
samfundsøkonomisk			
break-even med direkte			
elvarme:			
§-point	-1,0	+4,9	-

Tabel 6 giver en oversigt over et udvalg af beregningsresultater på danske data, der inkluderer beskæftigelses-, import- og restindkomstkvoter på alle indgående priser.

Af tabellen ses, at på vægtet samfundsøkonomisk grundlag vil en risikoneutral rangordning af projekterne udpege varmepumpen som værende mest favorabel.

Oliefyring bliver mindst attraktiv. Denne ændrede rangfølge i forhold til rangfølgen baseret på en uvægtet samfundsøkonomisk beregning fremkommer primært af, at beskæftigelsesdelen af energiprisen og beskæftigelseskvoten er størst for varmepumpeprojektet og mindst for oliefyrprojektet.

For at finde break-even mellem projekterne på vægtet samfundsøkonomisk grundlag skulle beskæftigelseskvoten for oliefyrprojektet i middel ligge 4,9%-point højere end beregnet, hvorimod varmepumpeprojektet skulle have beskæftigelseskvote 1%-point lavere end beregnet.

Kunne oliefyrprojektet realiseres med et beskæftigelsesindhold der i middel var øget mere end 4,9%-point, og iøvrigt alle priser m.v. samt usikkerheder var uændrede, ville oliefyrprojektet under risikoneutralitet ved denne vægtede samfundsøkonomiske betragtning være at foretrække frem for referenceprojektet - direkte elvarme.

Varmepumpeprojektet ville være at foretrække selv om beskæftigelsesindholdet faldt med op til 1%-point.

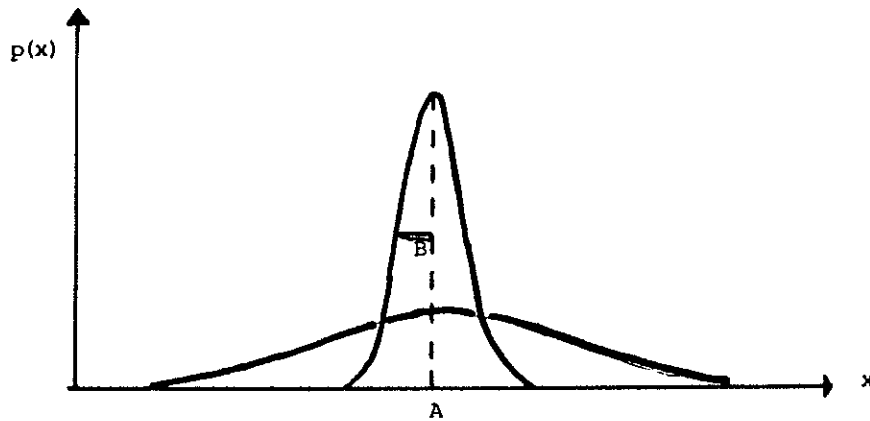
REFERENCER

1. ENERGISYSTEMGRUPPEN, Forskningscenter Risø, (Juli 1984).
Individuelle varmforsyningsanlæg i område IV: Samfunds- og privatøkonomiske beregninger samt import- og beskæftigelsesvirkninger. Udarbejdet for Energiministeriet, Danmark.
2. SYSTEMANALYSEAFDELINGEN, (1986). Proceedings of Risø International Conference 11-12 February. Models and Uncertainty in the Energy Sector.

BILAG A: Endimensionale fordelinger i MUSA

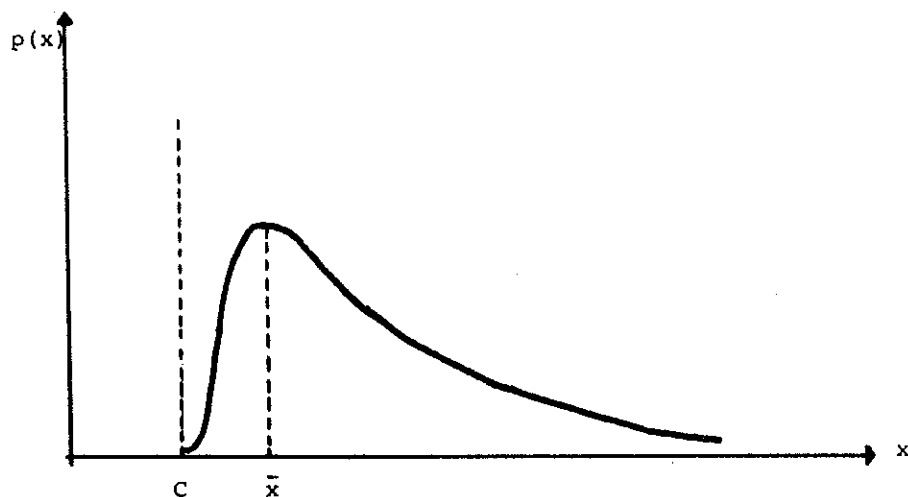
Fordelinger indlagt i modellen.
 Forklaringsskemaer.

Fordelingstype: normal



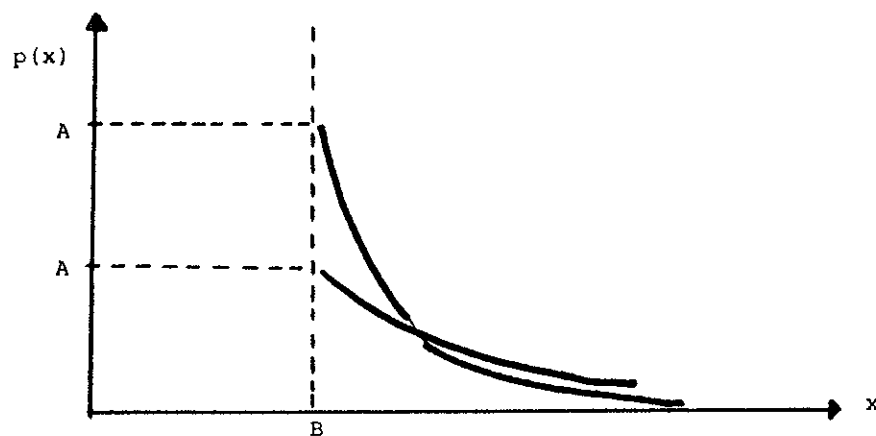
Tæthedsfunktion	$\frac{1}{\sqrt{2\pi B}} e^{-(X-A)^2/2B}$
A	middelværdi
B	spredning
C	-
Middelværdi	$\bar{x} = A$
Spredning	$\sigma = \sqrt{B}$
Typiske anvendelser	økonomiske data

Fordelingstype: log-normal



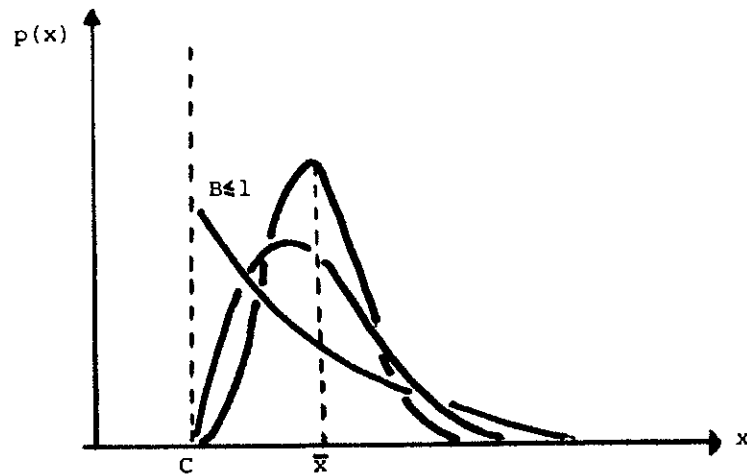
Tæthedsfunktion	$\frac{1}{(x-c)B\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-c)-A)^2}{2B^2}}$
A	middelværdi for $\ln(X-C)$
B	spredning på $\ln X$
C	forskydning
Middelværdi	$\bar{x} = C + e^{A+(1/2)B^2}$
Spredning	$\sigma = \sqrt{e^{2A+B^2} (e^{B^2} - 1)}$
Typiske anvendelser	økonomiske data

Fordelingstype: eksponentiel



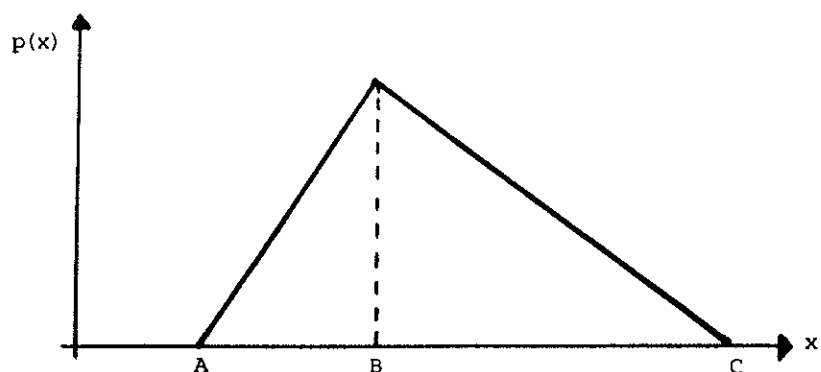
Tæthedsfunktion	$Ae^{-A(x-C)}$
A	formparameter
B	-
C	forskydning
Middelværdi	$\bar{x} = \frac{1}{A} + C$
Spredning	$\sigma = 1/A$
Typiske anvendelser	levetider

Fordelingstype: Weibull



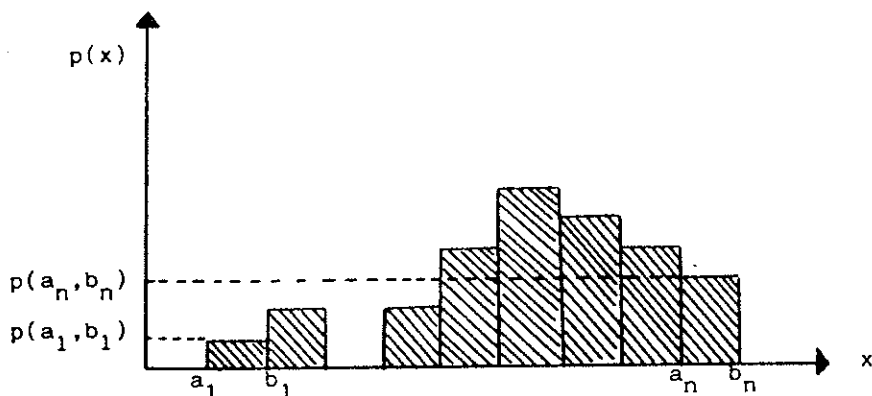
Tæthedsfunktion	$AB(x-C)^{B-1} \cdot e^{-A(x-C)^B}, x > 0$
A	en skalaparameter
B	formparameter
C	forskydning
Middelværdi	$\bar{x} = \left(\frac{1}{A}\right)^{1/B} \cdot \Gamma\left(1+\frac{1}{B}\right) + C$
Spredning	$\sigma = \left(\frac{1}{A}\right)^{1/B} \left[\Gamma\left(1+\frac{2}{B}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{B}\right) \right]^{\frac{1}{2}}$
Typiske anvendelser	vindhastighed

Fordelingstype: triangulær



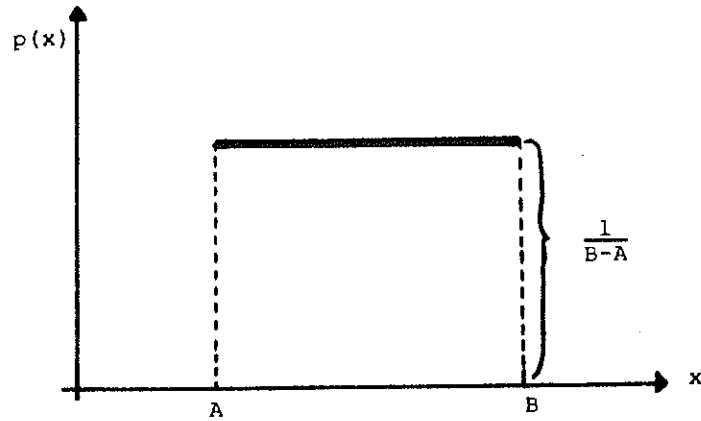
Tæthedsfunktion	$\frac{2 \cdot (x-A)}{(C-A)(B-A)} \quad x < B$ $\frac{2 \cdot (x-C)}{(C-A)(B-C)} \quad x > B$
A	minimumsværdi
B	modus
C	maximumsværdi
Middelværdi	$\bar{x} = 1/3 (A + B + C)$
Spredning	$\sigma = \left[\overline{\left(\frac{1}{x}\right)^2} - \left(\overline{\frac{1}{x}}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ <p>hvor</p> $\overline{\frac{1}{x^2}} = 1/6 (A^2 + B^2 + C^2 + AB + BC + CA)$
Typiske anvendelser	Data, hvor øvre og nedre kan fastlægges, og hvor en central værdi kendes

Fordelingstype: histogram



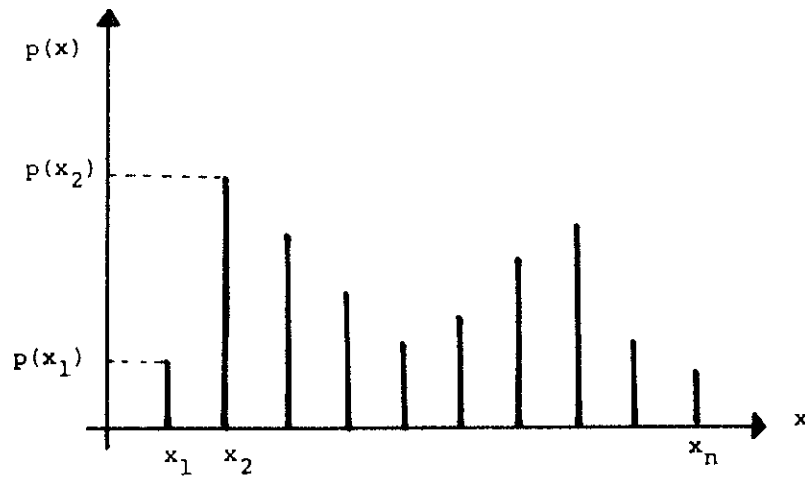
Fordelingsbeskrivelse	$((a_1, b_1); p(a_1, b_1)), ((a_2, b_2); p(a_2, b_2)), \dots, ((a_n, b_n); p(a_n, b_n))$
$(a_i, b_i) \quad i = 1, \dots, n$	intervaller for mulige udfald
$p(a_i, b_i) \quad i = 1, \dots, n$	sandsynligheden for at en værdi forekommer i intervaller $[a_i, b_i]$
Middelværdi	$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i + b_i)}{2} \cdot p(a_i, b_i)$
Spredning	$\sigma = \left[\overline{x^2} - (\bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ <p>hvor</p> $\overline{x^2} = \sum_{i=1}^n \frac{(b_i^3 - a_i^3)}{3} \cdot \frac{p(a_i, b_i)}{(b_i - a_i)}$
Typiske anvendelser	vilkårlige kontinuerte parametre

Fordelingstype: rektangulær



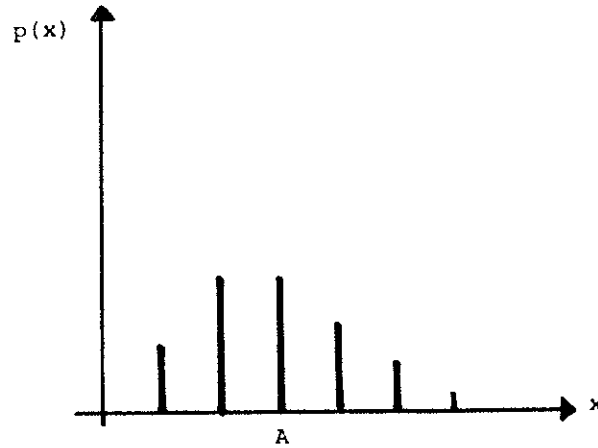
Tæthedsfunktion	$\frac{1}{B-A} \quad A < x < B$ $0 \quad \text{ellers}$
A	minimumsværdi
B	maximumsværdi
C	-
Middelværdi	$\bar{x} = \frac{B-A}{2}$
Spredning	$\sigma = \frac{(B-A)}{\sqrt{12}}$
Typiske anvendelser	parametre, der kun kan fastlægges en øvre og nedre grænse for

Fordelingstype: stavdiagram



Fordelingsbeskrivelse	$(x_1, p(x_1)), (x_2, p(x_2)), \dots$ $(x_n, p(x_n))$
$x_i \quad i = 1, \dots, n$	mulig udfald (værdi) for variabelen
$p(x_i) \quad i = 1, \dots, n$	sandsynligheden for at værdien x_i forekommer
Middelværdi	$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i p(x_i)$
Spredning	$\sigma = \left[\bar{x}^2 - (\bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ hvor $\bar{x}^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 p(x_i)$
Typiske anvendelser	vilkårlige diskrete parametre

Fordelingstype: poisson



Tæthedsfunktion	$\frac{A^x}{x!} e^{-A}$	$x = 0, 1, \dots$
A	middelværdien	
B	-	
C	forskydning	
Middelværdi	$\bar{x} = A + C$	
Spredning	$\sigma = \sqrt{A}$	
Typiske anvendelser	levetider	

INCLUSION OF UNCERTAINTY IN ECONOMIC ASSESSMENTS
OF ENERGY TECHNOLOGIES

Lars Henrik Nielsen

Systems Analysis Department, Risø National Laboratory,
DK-4000 Roskilde, Denmark

ABSTRACT

The paper presents a study for taking uncertainties into account in economic assessments of energy technologies. The study is part of a project carried out for the Nordic Council of Ministers.

Probabilistic calculations and sensitivity analyses are utilized to give an overall picture of the uncertainties involved. Probability distributions on key quantities such as present value in difference project assessments are calculated using Monte Carlo simulation. This forms an information platform upon which the decision maker can apply his basic criteria of decision.

The approach allows all data to be stochastic variables and stochastic interdependencies can be included. A conceptually simple procedure for stating empirical or subjective correlations in data is used.

When possible a graphical presentation of data and results is chosen. The graphical presentation seems natural when displaying probabilistic information and helps to overview often many interacting uncertain quantities in the analysis.

The aim of the study has been to construct a tool for e.g. energy planners, where uncertainty aspects can be handled in a straight forward and practical way.

INTRODUCTION

This paper describes elements of a project carried out for the Nordic Council of Ministers and will focus on the applied methods. The aim of this ongoing project is to develop a model tool appropriate to perform economic assessments of energy technologies taking uncertainties into account.

Firstly, some comments are made on advantages gained being able to quantify the effects of uncertainties in the assessments. Secondly, two problems often met doing probabilistic modelling in practice is commented upon and what has been done in this project to overcome the problems. Finally, an example of a calculation with the model developed is presented.

The kind of uncertainties this paper concentrates on are uncertainties in data to economic assessments of energy technologies.

The basic assumption is made that quantification of the uncertainties on the disaggregated level is either available, possible to estimate or can be assumed reasonably accurate. The aim then is to show how such quantified

uncertainties can be reflected in the overall assessments.

Uncertainty in data emerge from various sources. Plenty of information on e.g. the lifetime of a component show statistical spread that adds to the overall picture of the economic risk of a given decision. Shortage on information on the lifetime is another source of uncertainty where estimates and more subjective assumptions on realistic intervals of variation or more detailed assumptions are called upon. Neglect of the uncertainties is not possible, whereas some assumption has to be made. In practical situations the decision maker is faced with data of both kinds and this often involves a great deal of subjective judgement.

Overall uncertainty on the economic descriptors such as present value differ from one technology to another. The rapid changes in the energy scene in the last decade or more have underlined the need for taking uncertainties into account. New and less proven technologies have emerged and particular in project assessments where new alternatives are set up against well known technologies the uncertainties involved are important.

Apart from uncertainty about the future price development for different types of fuel, the performance of less proven technologies may show substantial variation. Also the lifetime of components, the cost of maintenance, the initial costs etc. will be subject to uncertainty to a higher degree than for well known installations. Experience gained over years develops the technologies to more homogeneous performance among products on the market and prices will fluctuate less.

This is of course no new phenomena and decision makers have always faced such problems. In practice uncertainties have often been treated using sensitivity analyses as to reveal how much different variables in a calculation change a picture based on "risk neutral calculations" using averaged data values. This of course provides very useful information.

However, one can point out some disadvantages concerning sensitivity analyses. They can be difficult to overview when many uncertain quantities must be taken into account and an overview of the interaction of the many uncertainties is cumbersome to attain - if possible at all. Furthermore, and most important, the sensitivity analysis does not tell how frequently an outcome can be expected to occur. The economic risk of a potential decision is not quantified.

During the process of selecting central data values for a basic scenario and to a further sensitivity analysis, each variable entering the assessment was analysed as to select a reasonable representant from its interval of variation, and to consider the relative importance of the variable etc. This provides the decision maker an overview of the uncertainty involved at the disaggregated level for the single variables. However, in basic scenarios and sensitivity analysis calculations, only part of this information enters the overall calculations.

The above, of course, builds up an argument for having calculational tools available that can utilize all this information which put together quantifies the economic risk involved.

Probabilistic methods must be applied in such models. In realistic problems this may involve substantial computational effort either analytical or on a computer, and to maintain high level of flexibility for the calculation Monte Carlo simulation methods seem relevant. In the model developed in this pro-

ject the Monte Carlo simulation method is used.

First an example is drawn forward that underlines the need for utilizing probabilistic calculations to form a basis for decisions. The example stresses the relevance of taking all the above mentioned information into account and to involve the decision maker's attitude towards economic risk.

ECONOMIC RISK

In an assessment the situation might arise where an alternative and reference project calculation comes out with equal average results for both projects. Let us further assume that a probabilistic calculation shows substantial larger variation in the possible results for the alternative project than is the case for the reference project. This situation is likely to come up when a new and unproven technology (A) is compared with well known technologies (R). Schematically the situation is shown on figure 1.

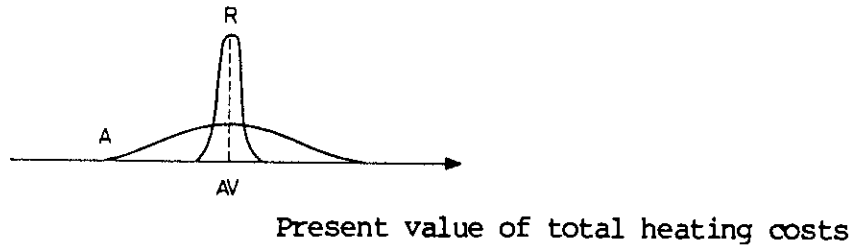


Fig. 1.

The x-axis could be the present value of overall heating costs for a project, where of course low values have preference, and the area over an interval tells the probability of present value outcomes in this interval.

A simple risk neutral assessment based solely on the average values would not be able to distinguish the projects. On the other hand, as seen figure 1, an obvious difference exists.

Had not probability distributions been calculated for both projects as shown in figure 1, and only a probabilistic calculation was done on the difference project $D = A - R$, the outcome would be as shown in figure 2.

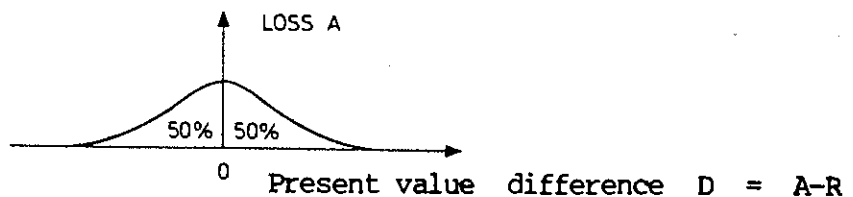


Fig. 2.

The probability of present value differences being greater than zero is in this symmetric situation 50%. That is, a gain choosing the alternative "A" can be expected with a chance of 50% and consequently a loss choosing "A" also will occur with a frequency of 50%. Still, the projects will appear equal. However, the difference project calculation tells the expected range of variation for the economics of the problem as a whole and how likely a given deviation may occur.

Thus, to distinguish the projects, calculated probability distributions for both projects have to be considered to reveal the overall discrepancy in uncertainty. Decision criteria involving attitudes to economic risk will alter the preference of the projects in the example according to whether a risk avoiding or risk preference attitude forms the basic criteria.

Using a total risk avoiding criteria you focus on worst case values for both projects and in our case, where low present value expenditure is profitable, the reference project (R) is chosen. Likewise the alternative (A) would appear attractive if a gambler's attitude of total risk preference was applied. The alternative project contains the possibility of substantial profit relatively, which this attitude focuses on, although the opposite is as likely to happen.

Between these extremes a floating graduation of risk attitudes are nested. Often a decision function as

$$\text{VALUE} = \text{AVERAGE} + K * \text{ST.DEVIATION}$$

is used, where K is chosen to express the general attitude to economic risk. Likewise a ranging of considered projects can be done by ascribing a chosen fractile to the single project. E.g. a 90% fractile means that the ranging is done according to values that with a probability of 90% are expected not to be exceeded.

Another type of criteria is a ranging according to maximum probability. Here, the decision maker beforehand decides a reference value and for each project the probability of not exceeding this fixed value is evaluated. The project then, yielding the maximal probability of staying below this fixed upper cost is chosen.

Combined criteria are also used and often related to special applications. More than one key parameter may be looked upon and restrictions may be imposed to form the actual decision criteria relevant for the decision to be made. The fuel price dependence might be another parameter that could enter a criteria function.

In figure 3 a difference project situation is shown where the average values of the individual projects are not the same. A nonprobabilistic calculation will solely draw forward the one project whereas the probabilistic calculation will reveal the robustness of this decision, and will show which decision criteria that will point out the opposite choice. The probability distribution of the difference project, in particular, is useful here in quantifying the probability of overall gains or losses of a given size related to the potential decisions.

Having calculated the total probability distribution as indicated in the figures a basis for applying various decision criteria is provided. Therefore, the robustness of potential decisions can be evaluated by applying different types of decision criteria.

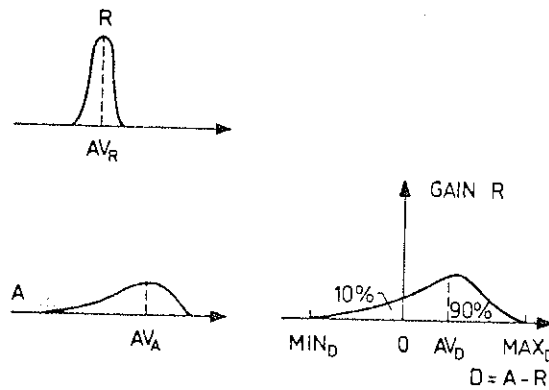


Fig. 3.

CORRELATIONS

When formulating data to probabilistic calculations problems may arise on being able to model the actual situation consistently and sufficiently accurate. Correlations among stochastic variables may cause difficulties when stating data and this may reduce the flexibility of the probabilistic modelling.

Often situations come up where one might assume e.g. that a high investment cost tends to correlate with high performance or a long lifetime, even the relations may show substantial scatter.

Simple procedures appropriate in a practical context are needed to describe measured correlations to the stochastic calculations and to formulate more subjective assumptions among stochastic data variables. The following describes a simple procedure that allows correlations or correspondancies among stochastic variables to be formulated as data.

A thorough specification of a correlation between the two stochastic variables (X,Y) is expressed in the distribution function P(X,Y), describing the probability of the combination (X,Y) to appear. Generally, the distribution function can be written as

$$P(X,Y) = P(Y|X) * P(X)$$

implying that a specification of the conditional distribution function P(Y|X) for Y, when a given value of X occurs, and a specification of the probability functions P(X) for the "independent" variable X will express the correlation.

To establish the conditional distribution function P(Y|X) in a manner fit for practical application the starting point is taken in a typical situation where stochastic dependence occurs among data variables.

Available data on two variables to the assessment may show a picture as qualitatively expressed in figure 4. Here X could be the investment cost of a unit and Y its performance.

High investment costs may predominantly be associated with a high performance and vice versa and correlations of this form may be requested stipulated as input data to the probabilistic calculations as to describe closely a given situation.

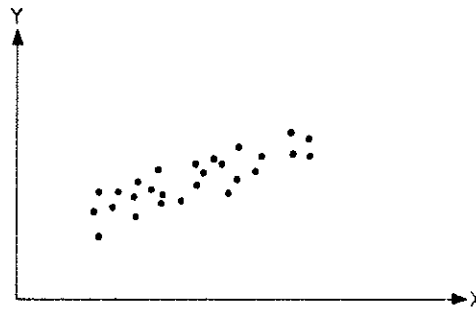


Fig. 4.

If a fixed relation was used, important information on the uncertainty involved would be suppressed. A point by point simulation of such data would be laborious and would only reflect the measured and not the expected in case of few data in a range. More sophisticated statistical methods might be prohibitively laborious to work with in practice and the data needed seldom exist in a corresponding quality.

The procedure here chosen formulates this correspondence as follows:

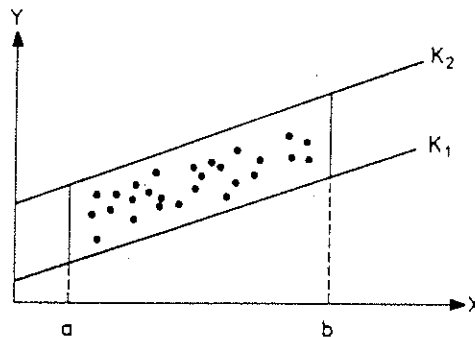


Fig. 5.

Two curves K_1 and K_2 as shown in figure 5 are laid down. The curves define the range of variation for the "dependent" stochastic variable Y for the relevant values of the "independent" stochastic variable X. Furthermore a general distribution type should be chosen for all the conditional distribution functions $P(Y|X)$. This could be e.g. the normal distribution or any other type of distribution available in the model. Finally an association between the curves K_1 and K_2 and the chosen distribution type must be established. This is done by requesting ex. 10% fractiles placed on curve K_1 and 90% fractiles placed on K_2 as indicated on figure 6.

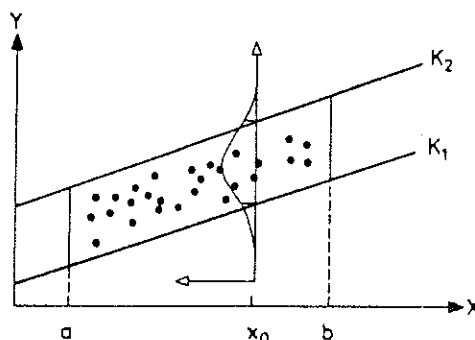


Fig. 6.

Having done this sufficient information is given to define the conditional distributions $P(Y|X)$. What is left then to fully describe the actual correlation between Y and X is to choose the distribution function $P(X)$ for the "independent" variable as one would do this for a stochastic independent variable.

Thus, to stipulate data for a stochastic dependent variable Y , the user must fix two curves K_1 and K_2 - not necessarily straight lines (see figure 7) - done by naming a relevant number of data points (x,y) on the curves, and the user must choose a general distribution type and its relation to the curves.

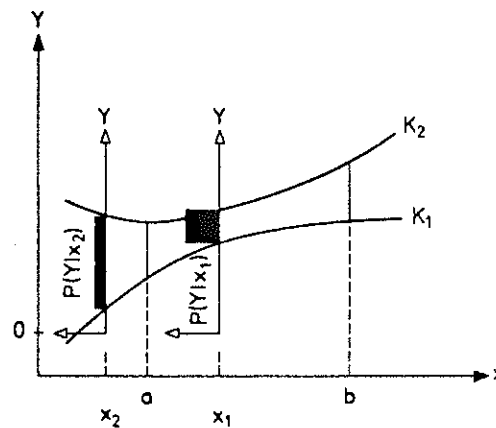


Fig. 7.

This procedure enables a simple way to make assumptions on correlations among pairs of stochastic variables and if sufficient statistical information is available this may be transformed to fit such input facilities.

By repetition of this procedure chains of correlations can be built into the calculations. Using such facility the user can lay in simple relations upon the basic calculation structure in the model via data and hereby better fit the actual stochastic problem.

The procedure can be generalized to relations among more than pairs of stochastic variables. However, for the practical application higher dimensions may reduce the direct visual overview and eventually the applicability.

FUEL FORECASTS

In economic assessments of energy technologies one has to operate with forecasts on future fuel price developments and these in particular introduce very important uncertainty into the assessments. Therefore procedures must be outlined to formulate assumptions on the range of variation to probabilistic calculations.

In much the same manner as used before in connection with correlations one might by first glance be tempted to pick a fuel price from a distribution for each year in succession as indicated in figure 8.

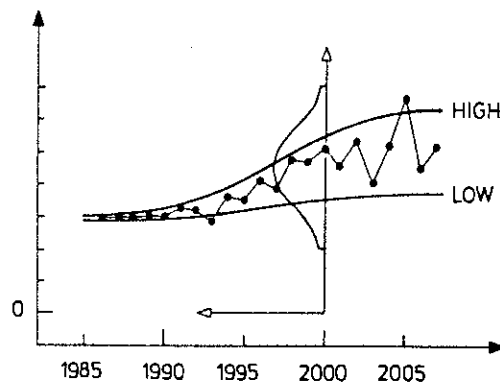


Fig. 8.

However, this would sample a fuel price path that first of all shows unrealistic random variation and if the chosen range of variation is pronounced many "price shocks" year after the other are implicitly assumed. Secondly, and most important, the result of calculating a present value from such random paths will have much the same effect as if the assumption had been an average price development without stipulated range of variation. The sum of many random numbers average out to something quite certain relatively, and this may not have been intended.

Therefore a procedure as outlined in figure 8 may be more appropriate and will in more clarity reflect assumptions on a range of variation for a fuel price development.

In figure 9 a high and a low fuel price path are layed down and a general distribution type is chosen and related to the curves. A price development to a Monte Carlo simulation is then chosen as the path determined from points on the same fractile on distributions in all the years. This is equivalent to choose the path of values having the same position relative to the curves as the initial chosen value (see figure 9).

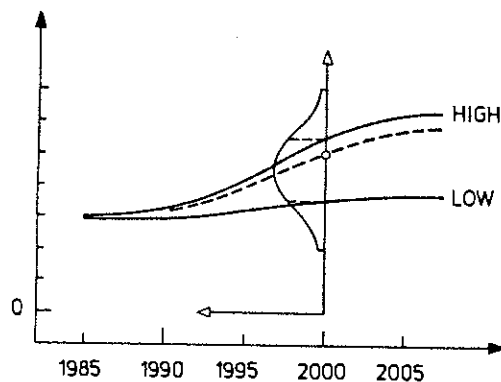


Fig. 9.

The weight of which a path is entering the calculation is of course determined by the chosen distribution.

The procedure for stipulating uncertainty on fuel price forecasts and the procedure to take correlations into account will be implemented into the model during phase II of the project.

AN EXAMPLE

Uncertainties influencing economic assessments of energy technologies are in this project taken into account by using probabilistic calculations in combination with sensitivity analyses and a graphical presentation of data and results. It has been intended to pass on the information from the calculations, as to firstly deliver an overview and thereafter the details by a closer examination of the presentation sheets.

An important part of the project has been to try of the method on data from the respective Nordic countries. Data has been collected on three technologies for comfort heating in single family dwellings. The technologies looked upon are resistant heating systems, oil burners and heat pumps. A standard house is defined for each country and the necessary investments to install the heating system during construction are taken into account to maintain consistency for comparison.

All data to the model can be stated as uncertain quantities and the user has access to choose among the following types of distributions to fit the actual data:

Continuous distribution: Normal, lognormal, exponential, weibull, triangle, histograms, rectangle.

Discontinuous distributions: Poisson, sticks, constant.

This broad spectrum of distributions provides the possibility of describing far the most practical obliging data distributions.

Data sheets have been worked out where preconditions and assumptions on the uncertainties etc. for the calculation are inserted as to give an easy overview of the often many data involved.

The following figures show a graphical presentation of a difference project calculation with the model. In this example the oil burner heating system is chosen as the alternative that is set up against a resistance heating system as the reference system. The difference project is here defined as the alternative minus the reference project and thus the difference along a positive x-axis tells the extra cost choosing the alternative.

The example calculates an effective unit cost of net energy consumption, which includes investment costs, cost of maintenance etc., and of course the assumed cost of fuel. This effective net energy price is defined as the ratio of the annuity of all payments over the calculation period to the equal yearly net energy consumption.

In the example the rate of interest, the net energy consumption and the period of calculation is kept constant. Generally in this example the normal distribution type has been chosen for all data distributions. The calculated distributions, however, are not necessarily normal and their shape will depend on the algorithm.

Figure 10 shows the calculation for the alternative system. To the left on this figure a column of data distributions is shown, and at the bottom of the figure the assumed price development of gasoil is shown. To compare prices with consumer prices taxes must be added. The upper right part in the figure shows results from the calculation.

OIL BURNERS ALTERNATIVE PROJECT SINGLE FAMILY DWELLINGS NORWAY

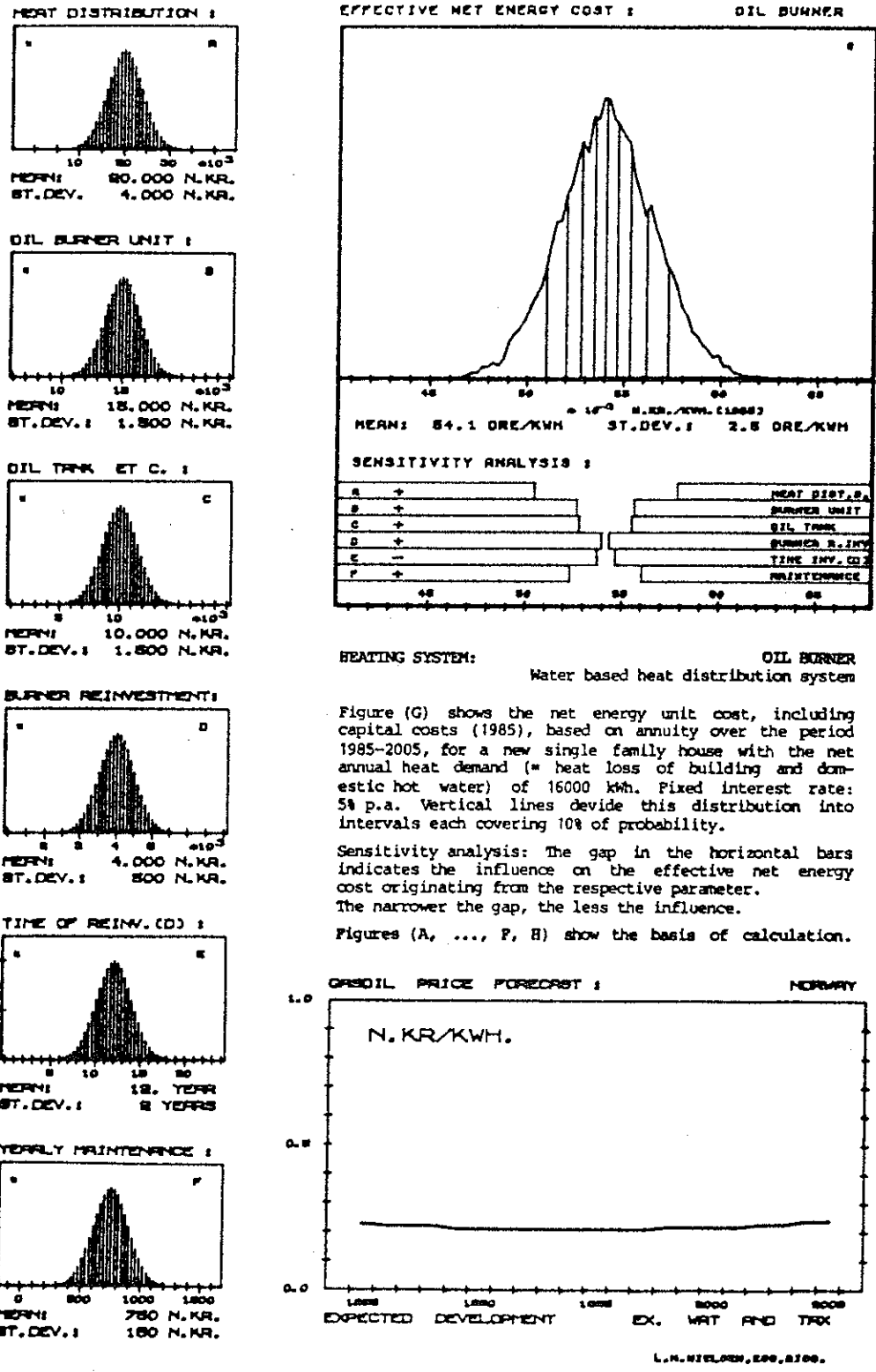


Fig. 10.

The probability distribution of the effective net energy cost for the oil burner system is placed as the upper part of this illustration. Vertical lines divide the distribution into intervals each covering 10% of probability. These fractiles, the average value and the standard deviation of the distribution are main results of the probabilistic calculation and form reference points.

From the calculated probability distribution for the alternative alone one can read that the effective cost of heat will exceed 51 N.ØRE/kWh with a 90% probability in consequence of the uncertainties assumed in data. There will be a risk of well 10% for unit costs above 57 N.ØRE/kWh and with a probability of near 80% the unit cost will stay in the interval 51 - 57 N.ØRE/kWh.

In order to illustrate how the overall uncertainty, obtained from the probabilistic calculation, is built up from uncertainties on data sensitivity analyses are performed on all stochastic variables.

In figure 10 sensitivity analyses on 6 variables are shown as gaps in the horizontal bars below the calculated probability distribution. When varying a corresponding data variable over an interval, in this case chosen as

$$[\text{AVERAGE} - 2 * \text{ST.DEV.} ; \text{AVERAGE} + 2 * \text{ST.DEV.}] ,$$

the effect on the result is a variation within the displayed gap in a bar. This part of figure 10 contains the information usually provided for an assessment.

Looking down these bars it is easy to identify which variables in particular contribute to the overall uncertainties, and thus calls for special consideration.

The variabel named A in the figure, which is the initial investment to install a water based heat distribution system during construction in the standard house, shows the largest gap in the sensitivity analysis. That is, particularly the uncertainty on this variable will contribute to the overall uncertainty.

Varying the investment $2 * \text{ST.DEV.}$ around the average of 20.000 N.KR., i.e. over the interval 12.000 - 28.000 N.KR., the effective energy cost will vary over the interval 50,5 - 57,8 N.ØRE/kWh.

In the bar corresponding to a variable, a "+" is indicated to the left. This tells that an increase in the variable will have the effect of an increase in the effective heat cost. A minus at this position, as for variable E, the time for the reinvestment in a burner, indicates that an increase for this variable lowers the heat cost. The symbol "*" is used when the corresponding item is not a stochastic variable, and is kept constant.

Figure 11 shows a calculation for the reference project alone. Looking at the units for the calculated distribution, the variation interval between 10% and 90% fractiles can be read as 37.7 - 40,2 N.ØRE/kWh. That is a variation of 2,5 N.ØRE/kWh compared to a variation of 6.2 N.ØRE/kWh for the alternative project.

The difference project calculation is shown in figure 12. Read from the figure, the average effective net energy cost for the alternative (oil burner) will exceed the reference project with 15 N.ØRE/kWh. With the probability

of 100% the extra unit cost relative to resistance heating will be more than 5 N.ØRE/kWh according to the assumed data. There is no probability of values to the left of the break-even line at $x = 0$. Thus, there is no economic risk for loss choosing the reference project among these two projects.

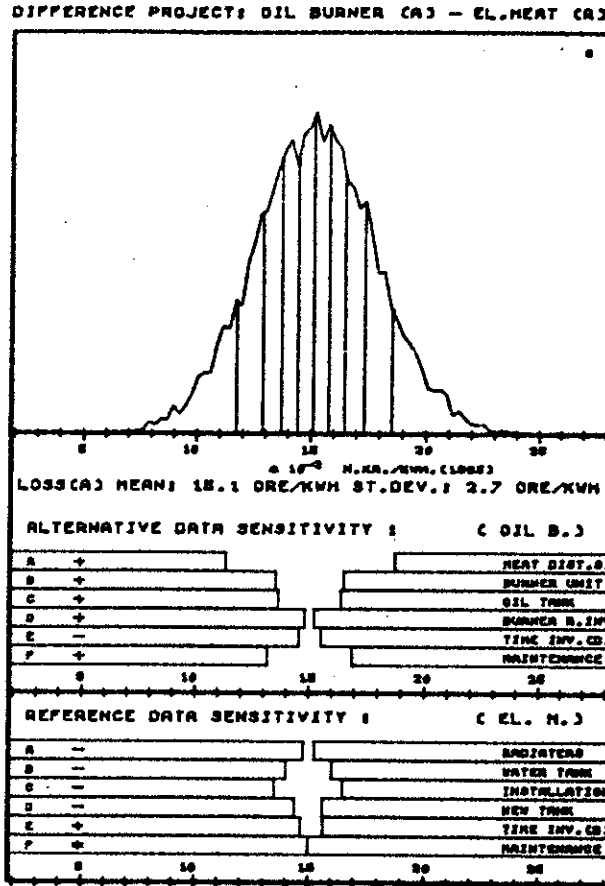


Fig. 12.

Furthermore, if choosing the oil burner system, an extra cost of 18,5 N.ØRE/kWh relative to electric heating may occur with a frequency of 10%.

Had another standard house been chosen which already had a water based heat distribution system, the situation would apply for an older house where the heating unit part of the system had to be renewed. The question then is whether an oil burner or a resistance heating system should be chosen.

Having removed the investment for the water based heat distribution system and furthermore for the resistance heat system adjusted for higher installation cost, the difference project calculation comes out as shown in figure 13. Compared to the first example this situation is slightly more ambiguous. With a probability of about 5% the oil burner solution could be in favour.

If also the net energy demand of the house had been increased, the probability of a gain choosing the alternative would increase due to a lower fuel price.

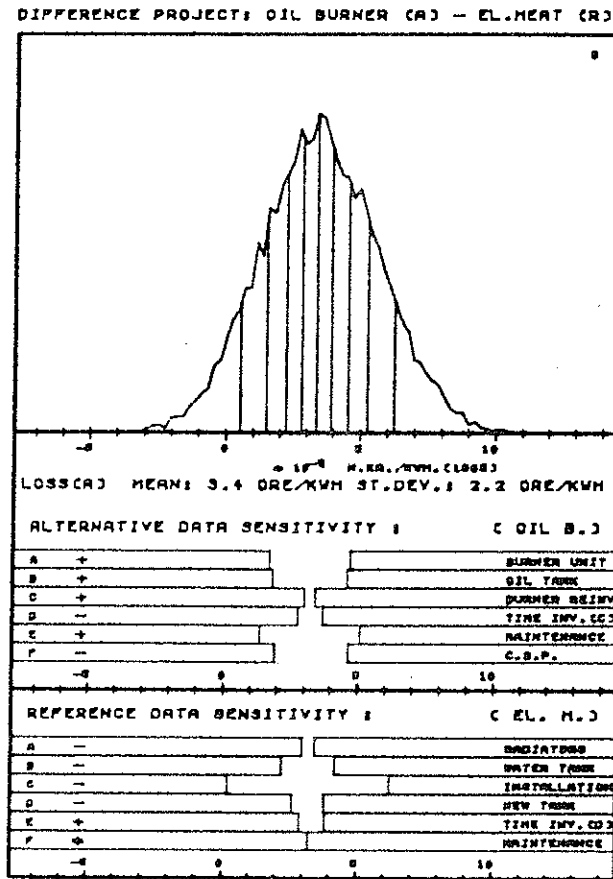


Fig. 13.

To analyse the situation further a variation interval for the net energy demand could be taken into account, and how this would correlate with i.e. the investment costs. In addition, assumption on uncertainty about future fuel prices could draw important information into the assessment.

Title and author(s) Inclusion of uncertainty in economic assessments of energy technologies (in Danish) Lars Henrik Nielsen	Date
	Department or group Systems Analysis
	Groups own registration number(s) 4425547-85-0-019
	Project/contract no.
Pages 165 Tables 6 Illustrations 16 References 2	ISBN 87-550-1350-9

Abstract (Max. 2000 char.)

The report presents a study for taking uncertainties into account in economic assessments of energy technologies. The study has been carried out for the Nordic Council of Ministers and the Danish Ministry of Energy. Probabilistic calculations and sensitivity analyses are utilized to give an overall picture of the uncertainties involved. Probability distributions on key quantities such as levelized cost of energy in difference project assessments are calculated using Monte Carlo simulation. Calculations are performed on private and national economic basis. Employment and import effects can be taken into account. Calculations are based on detailed data for the various components and employment and import coefficients. Assumptions on overall shadow prices can enter the calculations. The approach allows all data to be stochastic variables, and stochastic interdependencies can be included. A conceptually simple procedure for stating empirical or subjective correlations in data is used. Furthermore, a facility for stating assumptions on uncertainty of fuel price forecasts has been developed. Sensitivity analyses describe the influence from individual data distributions and stochastic fuel price forecasts on the calculated overall uncertainty, and thus point out major and minor risk contributing factors. When possible a graphical presentation of data and results is chosen. The graphical presentation seems natural when displaying probabilistic information and helps to overview often many interacting uncertain quantities in the analysis. This forms an information platform upon which the decision maker can apply his basic criteria of decision. A number of examples illustrating the model developed (MUSA) are included in the report. The aim of the study has been to construct a tool for e.g. energy planners, where uncertainty aspects can be handled in a straight forward and practical way.

Descriptors

CALCULATION METHODS; CAPITALIZED COST; COMPUTERIZED SIMULATION; CORRELATIONS; DATA COVARIANCES; DECISION MAKING; ECONOMIC ANALYSIS; EMPLOYMENT; ENERGY ANALYSIS; ENERGY SYSTEMS; FUEL CONSUMPTION IMPORTS; MATHEMATICAL MODELS; MONTE CARLO METHOD; MULTIVARIATE ANALYSIS; PLANNING; PRESENT WORTH METHOD; PROBABILITY; SENSITIVITY ANALYSIS; SYSTEMS ANALYSIS

Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory, (Risø Bibliotek, Forskningscenter Risø),
 P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.
 Telephone 02 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116, Telefax: 02 36 08 09