KVANTIFIERING AV MILJØULEMPER
VED ULIKE ENERGITEKNOLOGIER

Delprosjekt 10:

Planleggningsmetodikk. Uttesting av energi/miljøplanleggings-modellen MARKAL

Juni 1992

Profu
Göteborg

ENERGIDATA
Trondheim

Sammanfattning

Projeket har syftat till att testa MARKAL-modellen som ett verktyg för strategisk energi/miljö-planering i Norge samt att ge Norges Vassdrags- och Energiverk en inblick i modellens möjligheter och begränsningar. (MARKAL är en modell för strategisk energiplanering som utvecklats inom IEA under slutet av 70-talet).

För att genomföra ovanstående har en databas byggts upp för energi/miljö-systemet i Larvik/Lardal, vilken analyserats med modellen. Förutom de resultat som redovisas i denna rapport, finns genom databasen en möjlighet att i de nationella MARKAL-studierna som pågår i Norge, använda basen för att verifiera de nationella resultaten mot den kommunala basen. Detta är en viktig möjlighet eftersom de hårt aggregerade data som används i nationella studier har en tendens att "medelvärdera" bort alla de egenheter som kan finnas i energisystemen på kommunal nivå.

Inom projektet har analyserats två olika scenarier: ett grundfall och ett scenarie med halvering av CO_2-emissionerna till år 2005. Grundfallet är den utveckling som energi-systemet i Larvik/Lardal enligt beräkningarna får, med de energiprisantaganden som i dagsläget betraktas som de mest troliga.

Resultatet från analysen är en illustration till hur modellen används och vilka resultatet den ger och inte en detaljerad energiplan för Larvik/Lardal.

Modellen ger en mångfald av resultat, och som exempel redovisas nedan kortfattat några:

* De två största förändingarna vad gäller tillförda bränslen är att elanvändningen minskar kraftigt genom besparingar och introduktion av naturgas. Naturgasen kommer kring 2010 att i grundfallet att stå för 20% av de till kommunen tillförda bränslena.

* Med de kostnadsantaganden som gjorts kring fjärrvärmen blir det inte aktuellt med fjärrvärmeproduktion i Larvik/Lardal i de två analyserade scenarierna.

* Den viktigaste förändringen vad gäller uppvärmningen av bostäder och service är att man med lönsamhet kan spara 10-30% av **netto**energiefterfrågan och att gas-eldning och värmepumpar blir intressanta alternativ kring sekelskiftet.

* I båda scenarierna kommer emissionerna av CO_2, svavel och NO_x att minska genom övergång från olja och fotogen till naturgas och värmepumpar.

Innehållsförteckning

Sammanfattning

1. Inledning

2. MARKAL-modellen

3. Resultat
3.1 Tillförd energi
3.2 El- och fjärrvärmeproduktion
3.3 Energi-tillförsel/sparande i olika efterfrågeområden
3.4 Emissioner
3.5 Kort resultatdiskussion

4. Beräkningsförutsättningar
4.1 Energiefterfrågan
4.2 Bränslepriser
4.3 Kostnader, prestanda och emissioner
4.4 Skatter och avgifter

Appendix 1: Systemkonceptet för energi och miljö
Appendix 2: Beskrivning av energibesparingar i MARKAL
Appendix 3: Miljörepresentation i MARKAL
Appendix 4: Vattenkraftmodellering i MARKAL

1. Inledning

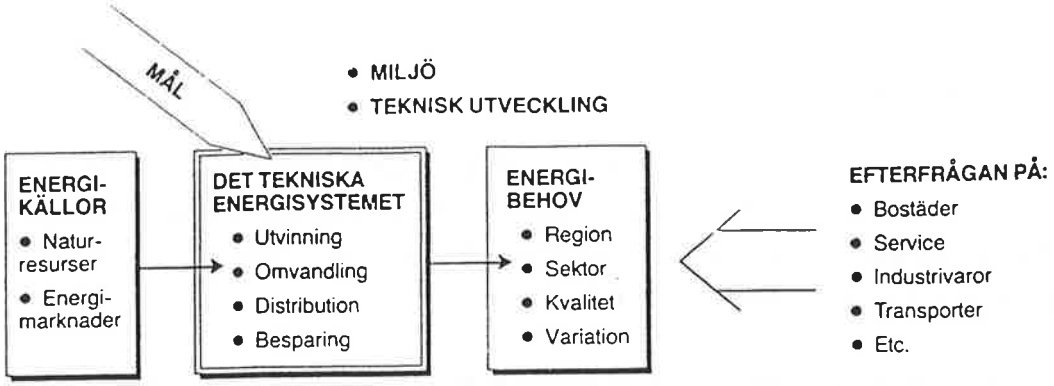
Kommunbaserad energi/miljö-planering med MARKAL i Larvik/Lardal har genomförts som ett sammarbete mellan Profu AB (Göteborg) och Energidata A/S (Trondheim) och med ekonomiska resurser från Norges Vassdrags- och Energiverk (NVE). Projektets har haft en dubbel målsättning:

1. Ge en belysning av MARKAL-modellens möjligheter och begränsningar som ett verktyg för strategisk energi/miljö-planering i Norge.

2. Att bygga upp en kommunal MARKAL-databas som kan användas i det nationella arbetet med MARKAL i Norge. Larvik/Lardal-basen kan här användas för att jämföra de hårt aggregerade resultaten på nationell nivå med resultaten i Larvik/Lardal.

Arbetet har i huvudsak varit uppdelat så att Energidata har stått för framtagning av data som är specifika för Larvik/Lardal medan Profu kompletterat dessa med resterande indata samt byggt upp MARKAL-databasen över det kommunala energi/miljö-systemet. Energidata och NVE har stått för den granskning och rimlighetsbedömning av indata som är nödvändig vid arbetet med att validera databasen och därmed har de ersatt den process som brukar användas i systemkonceptet (se appendix 1).

Projektet dokumenteras genom denna rapport och genom databasen och indatapärmen som finns på NVE.



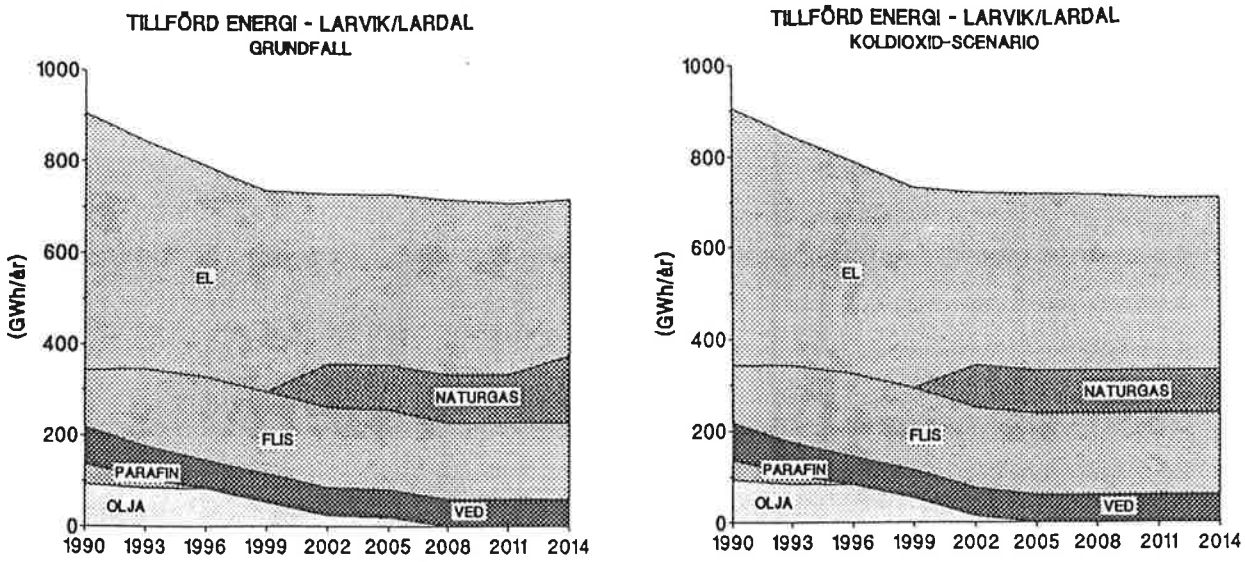
Figur 2.1: Schematisk beskrivning av MARKAL-modellens perspektiv på det tekniska energisystemet

Vid modellarbetet för Larvik/Lardal har en "meny" bestående av ett stort antal olika små- och storskaliga energiomvandlingstekniker specificerats med avseende på investerings- och driftkostnader, verkningsgrad, tillgänglig kapacitet och emissions-koefficienter för svavel, NO_x, CO_2 etc. För fjärrvärmeproduktion och för pannor i blockcentraler, industrier och enskilda hus finns ett flertal olika teknikval och bränslen att välja mellan. Bebyggelsen har delats upp i ett tiotal grupper med avseende på typ (småhus, radhus, flerbostadshus, lokaler) och ålder. Nettoenergibehovet för varje grupp har beräknats externt och anger i modellen det energibehov som skall täckas av de i menyn specificerade energiteknikerna och bränslena (alternativt hushållning). Behovet av hushållsel och driftel för lokaler specificeras separat i modellen. Industrin har delats in i två grupper och energibehoven för varje grupp har prognostiserats externt.I studien har antagits att nettoenergiefterfrågan är konstant under den studerade perioden.

Vid MARKAL-beräkningen (optimeringen) väljs från den ursprungliga "menyn" de omvandlingstekniker och bränslen som till lägsta totala kostnad tillgodoser de olika gruppernas energibehov under de mål (energimål och miljömål) som ställts upp. Man kan alltså säga att resultaten från datorkörningarna visar hur energimarknader och energibehov bäst skall knytas ihop, med hänsyn till uppställda mål, miljökrav och tillgänglig teknik.

MARKAL-modellen är alltså, som tidigare nämnts, inte något prognosinstrument, utan resultaten visar istället den totalekonomiskt bästa utvecklingen av energisystemet. Denna utveckling är inte alltid den mest troliga, eftersom olika aktörer bedömer t.ex. investeringar på olika sätt. Detta gör inte resultaten mindre intressanta, tvärtom ger de information om den "ideala" utvecklingen som man kan ha som planeringsmål i kommunen.

Eftersom energisystemets omgivning är fylld av osäkerheter (bränslepriser, teknikutveckling, miljökrav och andra politiska beslut, etc.) är det framför allt den samlade informationen från ett antal körningar med olika kombinationer av förutsättningar som ger den värdefulla kunskapsuppbyggnaden. I denna utredning har två olika scenarier studerats.

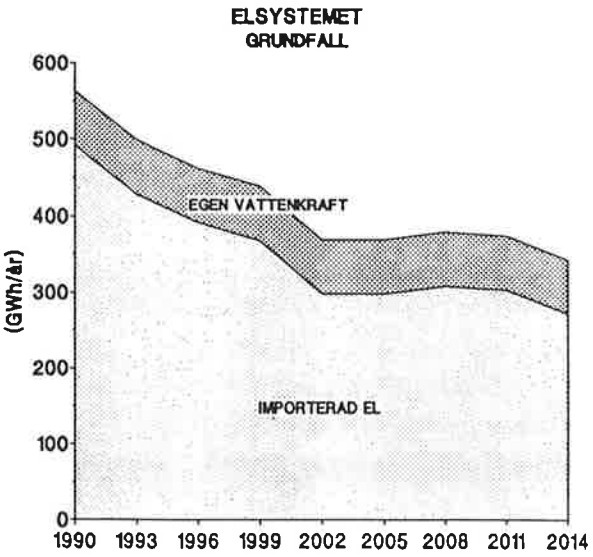


Figur 3.1: Tillförda bränslen, båda scenarierna.

3.2 El- och fjärrvärme produktion

Elproduktion

I studien har antagits att hela vattenkraftproduktionen i Siljanvassdraget ingår i kommunens energisystem. Med detta antagande producerar Larvik/Lardal idag ca 70 GWh el per år, vilket antagits oförändrat under tidsperioden. Resterande el "importeras" till kommunen från andra producenter. Som framgår av figur 3.2 kommer andelen (med de antaganden om elefterfrågan som ligger i basen) att öka genom att den totala efterfrågan minskar. Se också avsnittet om hushållsel och driftel nedan.

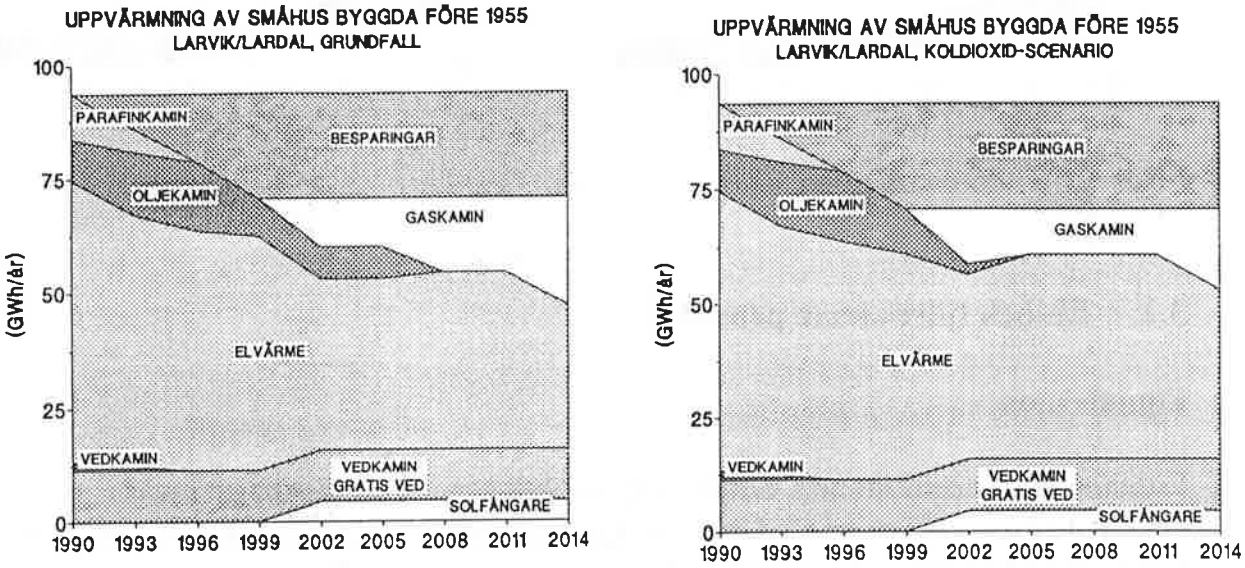


Figur 3.2: Elsystemets utveckling under perioden, grundfallet.

Naturgasen införs successivt från sekelskiftet och år 2008 täcker gasen nästan 25 % av behovet efter besparingar.

I scenariot med begränsning av koldioxidemissionerna är utvecklingen likartad men oljeanvändningen upphör här redan några år in på 2000-talet. Dessutom täcker här elvärmen en större del av energibehovet, medan naturgasanvändningen är mindre.

Utvecklingen i småhusen byggda före 1955 framgår av figur 3.3



Figur 3.3: Uppvärmning och sparande i småhus byggda före 1955, båda scenarier

Radhus-uppvärmning och tappvarmvatten

Även radhusen värms idag till största delen med el, ca 75 % av energibehovet. På sikt minskar denna andel drastiskt, framför allt som en följd av att naturgas introduceras. Naturgasen täcker mot slutet av perioden 70 % av det energibehov som återstår efter besparingar. Energisparandet är även i denna typ av bebyggelse stort. Här sker sparandet i två steg. Vid sekelskiftet nås en nivå som är optimal fram till år 2005. När energipriserna stiger ytterligare blir det lönsamt att införa ytterligare ett "sparpaket. Mot slutet av den studerade perioden har nästan 30 % av det ursprungliga värmebehovet sparats bort.

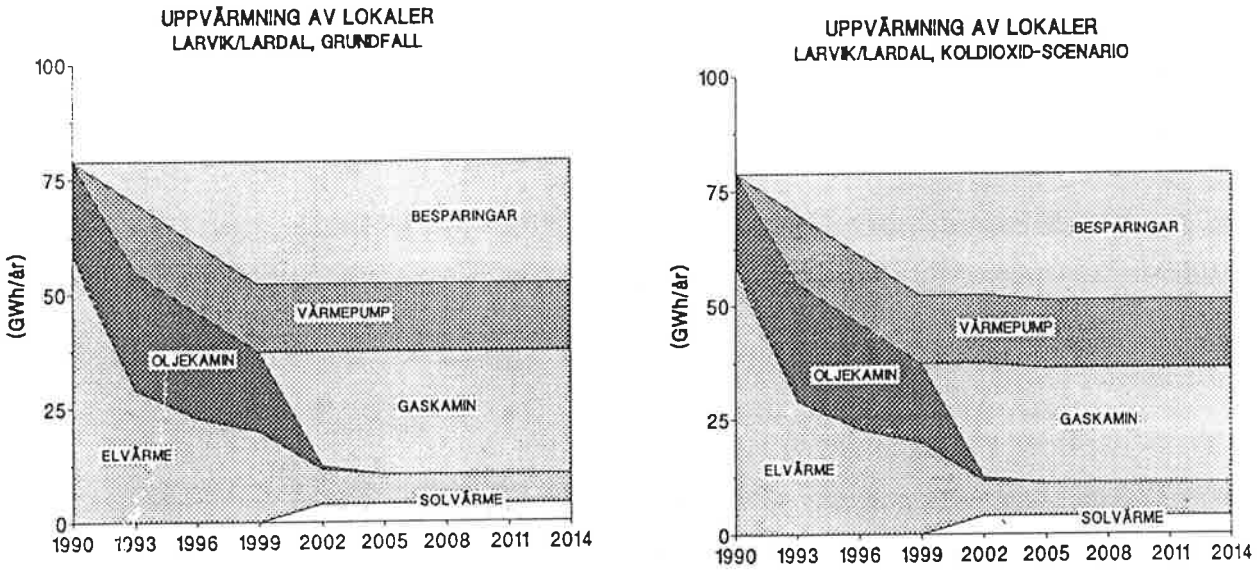
Parafinkaminerna försvinner snabbt liksom vedeldningen i de fall då veden måste köpas. (Är veden gratis blir det även här lönsamt att fortsätta utnyttja denna.) En bit in på 2000-talet kan solvärme bli ett konkurrenskraftigt alternativ.

I scenariot med koldioxidbegränsningar sker i stort sett samma förändringar. Här täcker dock elvärmen en större del av värmebehovet, medan naturgasen täcker motsvarande mindre del. Skillnaderna är dock relativt små. Utvecklingen i småhusen byggda före 1955 framgår av figur 3.4

Lokaler

Larvik/Lardal:s lokaler värms idag till 75 % med el och 25 % med olja. I lokalerna finns stora energieffektiviseringsmöjligheter. Dessa införs i stor utsträckning vilket leder till att uppvärmningsbehovet minskar med hela 33 % redan i grundfallet. Elvärme-användningen minskar drastiskt och istället kommer värmepumpar och efter sekelskiftet även naturgas. Tillsammans täcker dessa nästan 80 % av det kvarvarande uppvärmningsbehovet mot slutet av den studerade perioden.

I koldioxid-scenariot är utvecklingen nästan identisk, men här införs något mer besparingar.



Figur 3.6: Uppvärmning och sparande i lokaler, båda scenarier

Bostäder och lokaler-hushållsel och driftel

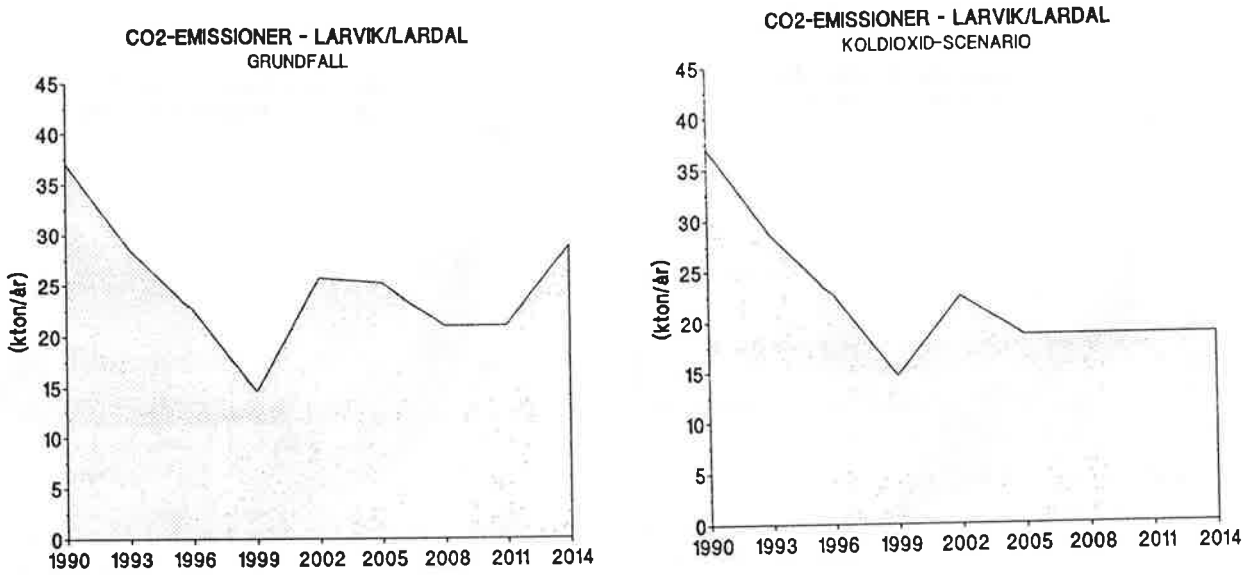
Nettoenergibehovet av hushållsel och driftel har antagits vara konstant under hela den studerade perioden. I modellen finns olika "paket" av sparåtgärder inlagda som alternativ. Dessa har i stor utsträckning valts in vid optimeringen vilket leder till att tillförseln av el till dessa användningsområden minskar med drygt 13 % fram till sekelskiftet. Resultaten är identiska för de båda scenarierna eftersom elpriset är identiskt och koldioxidbegränsningen inte påverkar denna användning (CO_2 = 0 för el).

Historiskt sett har ökningen av elanvändningen i de flesta länder i stort sett varit proportionell mot BNP-tillväxten. Denna ökning av elanvändningen har inträffat trots att det sker en kontinuerlig effektivisering av elanvändningen. Ökningen kan förklaras med både större apparater och nya användningsområden. Detta är viktigt att tänka på när man tittar på dessa resultat.

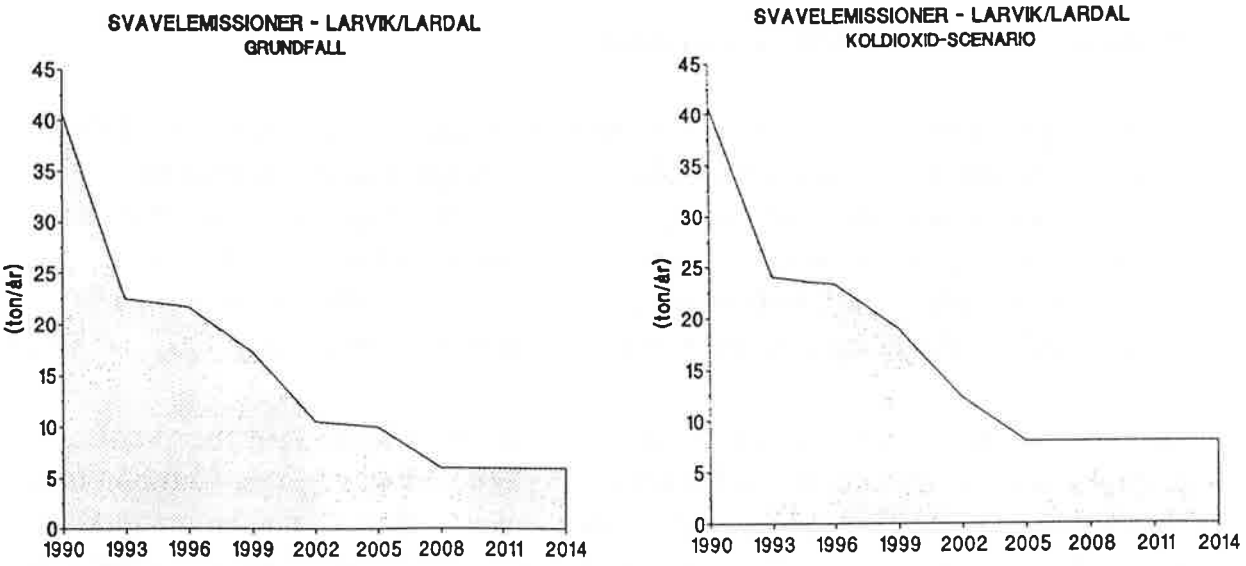
I koldioxid-scenariot är den slutliga nivån på svavelemissionerna något högre än i grundfallet på grund av större biobränsleanvändning. Skillnaderna är dock försumbara.

NOx

Kväveoxidemissionerna är i båda scenarierna i stort sett konstanta under hela den studerade perioden. Detta kan förklaras med att den totala bränsleanvändningen i det närmaste är konstant. Det är endast fördelningen mellan olika bränslen som ändras. (Emissionskoefficienterna för de aktuella förbränningsanläggningarna varierar inte heller så mycket mellan de olika bränslena.)



Figur 3.8: Koldioxidemissioner, båda scenarierna



Figur 3.9: Svavelemissioner, båda scenarierna

4. Beräkningsförutsättningar

De indata som används för beräkningarna är till stor del hämtade från den kartläggning som Energidata A/S utförde under 1991 i Larvik/Lardal. Kartläggningen ingick i ett omfattande energiplaneringsprojekt. Förutom dessa data har även hämtats information från svenska källor, främst uppgifter som är relaterade till fjärrvärmeproduktion. En stor del av använda beräkningsförutsättningar redovisas nedan. För fullständig redovisning hänvisas till den databas som byggts upp över Larvik/Lardal och den indatapärm med underlagsrapporter som sammanställts efter projektet. I projektet har använts 7% real-ränta och kalkylerna inkluderar moms.

4.1 Energiefterfrågan

Energiefterfrågan för olika grupper och kategorier redovisas i tabell 4.1 nedan. Mängden tillförd energi har kartlagts och utifrån dessa har nettoenergiefterfrågan beräknats. Som framgår fördelas nettoenergiefterfrågan ungefär enligt följande: bostäder-50%, service-20% och industri-30%. Nettoenergiefterfrågan har för samtliga grupper och kategorier antagits vara konstant under den studerade perioden. Det finns ingenting i modellen som hindrar att man låter nettoenergiefterfrågan förändras med tiden.

Tabell 4.1: Sammanställning av nettoenergiefterfrågan i olika kategorier.

Uppvärmning och tappvarmvatten	**Nettoenergiefter-frågan (GWh/år)**
Samtliga småhus	196
Samtliga radhus	39
Samtliga flerfamiljshus	12
Samtliga lokaler	76
Träindustri	78
Övrig industri	67
Hushållsel	
Samtliga småhus	92
Samtliga radhus	20
Samtliga flerfamiljshus	12
Driftel	
Lokaler	69
Träindustri	35
Övrig industri	72

Anläggning	Investering (kr/kW)	Fast omkostnad (kr/kW)	Rörlig omkostnad (kr/MWh)	Verknings-grad	Elkvot
Vindkraft-land	7000		70		
Vattenkraft					
KVV-Kombi	7500	150	30	0,85	0,90
KVV-Fastbränsle	14500	255	20	0,85	0,55
KVV-Gasturbin	4700	34	15	0,85	0,60
KVV-Diesel	10000	200	30	0,85	1,20
KVV-CFB	20300	510	20	0,85	0,55
KVV-Bränslecell	10500	260	30	0,85	1,00
HVC-Gas/Eo1	1000		20	0,88	
HVC-Elpanna	750	35	15	0,98	
HVC-Solfångare	13000	140		1,00	
HVC-Fastbränsle	8550	255	20	0,85	
HVC-Värmepump	1500	60		3,00	
HVC-Avfall	11500	295	50	0,90	

Följande begränsningar har använts på anläggningarna:

Vindkraft - högst 20 GWh producerat
Solfångare - högst 20 GWh producerat
Värmepump - högst 40 GWh producerat
Avfallsförbränning högst 8 GWh producerat

Dessutom har antagits att 10% av eventuell fjärrvärmeproduktionen måste ske med hetvattenpanna som eldas med lätt/tung olja eller gas för att spegla behovet av topplast och lastreglering.

Eftersom det idag inte finns några fjärrvärmeanläggningar har antagits att om anläggningar byggs kommer dessa att ha relativt hårda emissionskrav. Följande emissionsdata har antagits:

Bränsle/Teknik	**Svavel (mg/MJ,br)**	**NO_x (mg/MJ,br)**	**CO_2 (g/MJ,br)**
Lätt olja/Topplast	50	100	74
Tung olja/Topplast	100	150	78
Kol/Baslast	50	100	86
Torv/Baslast	50	100	100
Flis/Baslast	10	100	0
Naturgas/Baslast	0	80	55

Fjärrvärme-distribution	Småhus	Radhus	Flerfamiljshus	Lokaler	Industri
Investering/driftkostnad stamnät (kr/MWh)	-	500/4	500/4	500/4	500/4
Begränsning stamnät (GWh/år)	-	-	-	-	-
Investering/driftkostnad steg 1 (kr/MWh)	-	2000/6,5	1200/6	1000/6	900/4
Begränsning steg 1 (GWh/år)	-	8	6	25	38
Investering/driftkostnad steg 2 (kr/MWh)	-	3000/17	2000/15	2000/15	2000/10
Begränsning steg 2 (GWh/år)	-	8	6	25	38

För samtliga kostnadsklasser har antagits en livslängd på 33 år för investeringar.

Gas-distribution	Småhus	Radhus	Flerfamiljshus	Lokaler	Industri
Investering/driftkostnad steg 1 (kr/MWh)	1000/3,6	750/3,6	750/3,6	750/3,6	400/3
Begränsning steg 1 (GWh/år)	27	8	6	25	38
Investering/driftkostnad steg 2 (kr/MWh)	3000/7,8	1750/7,8	1750/7,8	1750/3,6	750/6,5
Begränsning steg 2 (GWh/år)	82	8	6	25	38

För samtliga kostnadsklasser har antagits en livslängd på 33 år för investeringar.

För fjärrvärme- och gasdistribution har antagits att kostnadsklass 1 endast får användas för antingen fjärrvärme eller gas eftersom de kan antas gälla för samma geografiska område.

För högspännings-distributionen har antagits en rörlig omkostnad på 30 kr/MWh och för lågspännings-distribution 30+70 = 100 kr/MWh.

4.4 Skatter och avgifter

I samtliga kostnader ingår moms. För energibärarna ingår dessutom miljö-skatter/avgifter enligt gällande bestämmelser för 1992.

Appendix 1:	Systemkonceptet för energi och miljö
Appendix 2:	Beskrivning av energibesparingar i MARKAL
Appendix 3:	Miljörepresentation i MARKAL
Appendix 4:	Vattenkraftmodellering i MARKAL

Appendix 1: Systemkonceptet för energi och miljö

I kapitel 2 nämndes "systemkonceptet för energi och miljö" mycket kortfattat. I detta appendix redovisas denna metod utförligare.

Systemkonceptet

Metoden kan integrerat hantera:

* Utveckling av energisystemet
* åtgärder för samtidigt minska emissionerna

Genom att behandla dessa två frågor som ett gemensamt problem är det möjligt att studera samordnade lösningar och indentifiera samordningsvinster. Idén bakom de nya metoderna har fått namnet "systemkonceptet". Systemkonceptet har utnyttjats i flera kommuner som ett hjälpmedel i den strategiska energi/miljö-planeringen. I en helhetslösning eftersträvas samordning mellan åtgärder för att utveckla energisystemet och åtgärder som reducera emissionerna. I planeringen är denna samordning både möjlig och mycket lönsam. Vid genomförandet kan dock finnas hinder i det miljöjuridiska regelverket.

Det finns ingen mirakelteknik som gör det möjligt att minska alla miljörisker utan extra kostnad. Varje lösning måste bygga på en avvägning mellan kostnader, miljörisker och kraven på en tillförlitlig energiservice. Kunskaperna om miljöriskerna har byggts upp efterhand och ofta tvingat fram åtgärder i befintliga system. Behovet av investeringar i energisystemet kommer att vara stort i de flesta länder under de närmaste decenierna, samtidigt som det pågår ett intensivt forsknings- och utvecklingsarbete för att ta fram miljövänlig teknik. En intressant fråga för framtiden är därför vilka möjligheter som finns att för framtiden samordna miljö- och energiåtgärderna och vilka vinster av en sådan samordning ger.

Samordningsvinster

Gemensamma lösningar för att utveckla energisystemet och minska utsläppen innebär ur ett energperspektiv att det totala spektrat av miljörisker beaktas vid all verksamhet i energisystemet, och ur ett miljöperspektiv att man beaktar hela energisystemets effekter på miljön samt samordnar åtgärder inom systemet. Det senare innebär att man söker nå miljömålen inte genom reglering av enskilda anläggningar utan genom att låta beslutsfattarna i energisystemet välja åtgärder inom en större grupp åtgärder. Detta ger större möjligheter att hitta kombinationer som sänker de totala kostnaderna för miljökontroll. Maximering av utsläppen inom en "bubbla" över ett helt fjärrvärmesystem eller över en kommun eller miljöavgifter på utsläppen är exempel på olika sätt att realisera en sådan samsyn.

Tre typer av samordningsvinster kan förväntas:

* **Energiflöden och teknik (rummet).** En kostnadseffektiv åtgärd inom energisystemet kan innebära att förändra energiflöden och omvandlingstekniker i helt andra delar av energisystemet än varifrån den ursprungliga belastningen kom. Kraftvärme är ett exempel där energiflöden inom två olika delsystem (el och fjärrvärme) kan samordnas för att de både öka effektiviteten och minska de totala emissionerna. Hushållningsåtgärder är ett annat exempel.

* **Dynamik (tiden).** Förändringar i energisystemet kan koordineras med mer rigorösa åtgärder för att kontrollera miljöpåverkan. En sådan samordning är naturligtvis viktig när det gäller att utnyttja ny omvandlingsteknik. Samordningen kan innebära att miljöåtgärder senareläggs och vinsten måste då vägas mot effekten av detta i miljön.

* Gemensam kontroll av **flera belastningfaktorer.** När det gäller emissioner kan man räkna med betydande kostnadsreduktioner vid gemensam kontroll av flera ämnen (exempelvis svavel+NO_x) jämfört med individuell kontroll av var ämne för sig. Många nya tekniker medger en sådan genemsam kontroll.

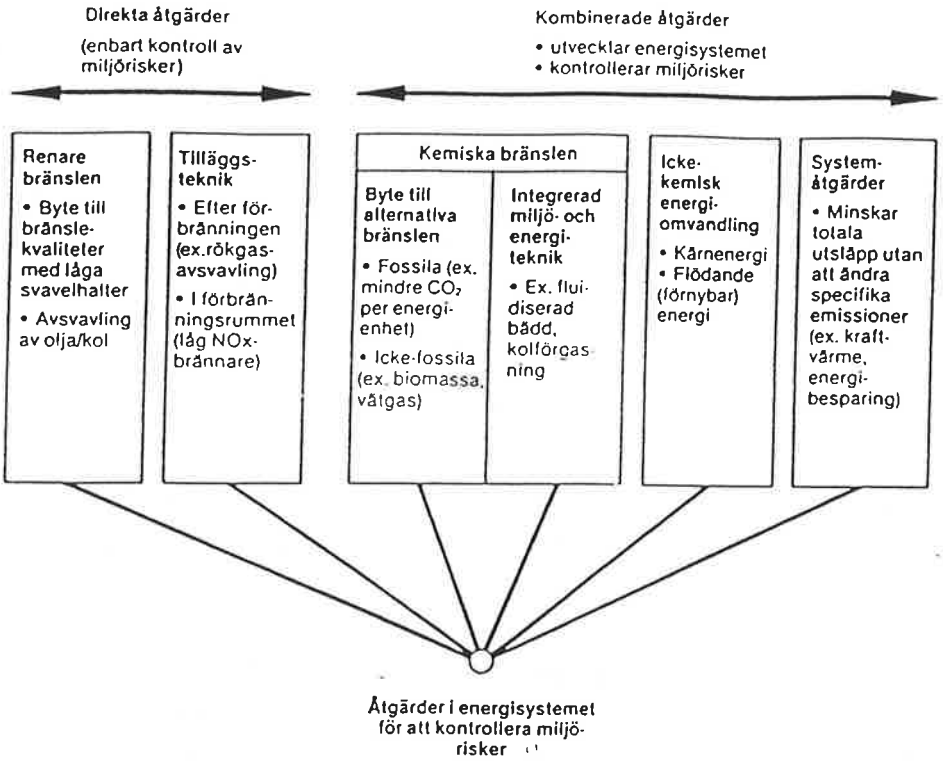
De tre typerna av samordningsvinster visar att problemet att integrera energi- och miljöperspektivet har två dimensioner, som är viktiga att hålla isär. De två första samordningsvinsterna beror på kopplingen energi-miljö: en ändring i energisystemet medför en ändring i miljöbelastningen. Den tredje vinsten beror på avvägningen mellan olika miljörisker.

Åtgärder i energisystemet

Figur A11 ger an klassificering av tekniska åtgärder för att minska emissioner av skadliga ämnen från energisystemet. Åtgärderna kan delas upp i två huvudgrupper:

* Direkta kontrollåtgärder
* Kombinerade åtgärder

De direkta kontrollåtgärderna är enbart inriktade på att reducera emissioner. I flera fall - som exempelvis vid rökgasavvsvavling - leder de till en lägre effektivitet i energisystemet. Fördelen är att åtgärderna kan användas i det befintliga systemet, men möjligheterna att utnyttja samordningsvinsterna är små eller obefintliga. De kombinerade åtgärderna har dubbel funktion: de bidrager till utvecklingen av energisystemet och kontrollen av emissionerna från det samma.



Figur A11: Åtgärder för emissionsreduktion i MARKAL

De kombinerade åtgärderna kan kraftigt sänka marginalkostnaderna för miljökontroll, men blir i de flesta fall endast aktuella vid nyinvestering. Tidsfaktorn är därför mycket viktig när man diskuteterar rollfördelningen mellan direkta och kombinerade åtgärder. De modellberäkningar som gjorts på de svenska energisystemet och några kommunala energisystemet visar på kostnadsreduktioner med upp till 60% genom att utnyttja de möjligheter till samordning mellan energiutveckling och miljökontroll som de kombinerade åtgärderna erbjuder.

Nedan följer en kort presentation av de olika åtgärdsklasserna i figuren:

Direkta åtgärder:

Renare bränslen. I denna klass av åtgärder ingår t.ex användning av lågsvavlig olja och kol istället för motsvarande bränsle med högre svavelhalt.

Tilläggsteknik. Denna klass motsvarar åtgärder i och efter förbränning i befintlig teknik, exempelvis låg-NO_x brännare och rökgasavsvavling.

Kombinerade åtgärder:

Byte till **alternativa bränslen.** Byte från kol eller olja till gas ger med dagens teknik möjlighet att minska energitillförseln 10-15%. Samtidigt minskar också emissionerna av svavel, NO_x och CO_2. Förbränning av biomassa ger inte något nettotillskott av CO_2 till atmosfären förutsatt att det sker en kontinuerlig återplantering.

Integrerad energi- och miljöteknik. Fluidiserad bädd och kolförgasning med kombinerad cykel är exempel på denna typ av teknik. Med dessa tekniker kan utsläppen av såväl svavel som kväveoxider minskas. På sikt är också bränsleceller en intressant teknik med potentialt goda miljöegenskaper.

Icke kemsik energiomvandling. Denna klass av åtgärder omfattar kärnenergi och förnyelsebara energikällor utom biomassa. De medför inga (eller mycket små) risker som är förknippade med emissioner till atmosfären såsom växhuseffekt, ozon och surt regn. Användningen av kärnenergi medför emellertid olycks- och avfallsrisker.

Systemåtgärder. Systemåtgärder är en intressant klass av åtgärder, som bland annat omfattar kraftvärme och energibesparingar. Med systemåtgärder miskar de totala utsläppen från systemet utan att de specifika emissionerna ändras i någon punkt i systemet. (De specifika emissionerna definieras som emissionern per energienhet tillfört bränsle). Systemåtgärder leder ofta till en effektivisering av energisystemet och kan därför användas för att reducera flera olika miljöpåfrestningar samtidigt.

Genomförande

Systemkonceptet för energi och miljö bygger på ett etappvis genomförande. Tre klart avgränsade etapper skisseras, se figur A12

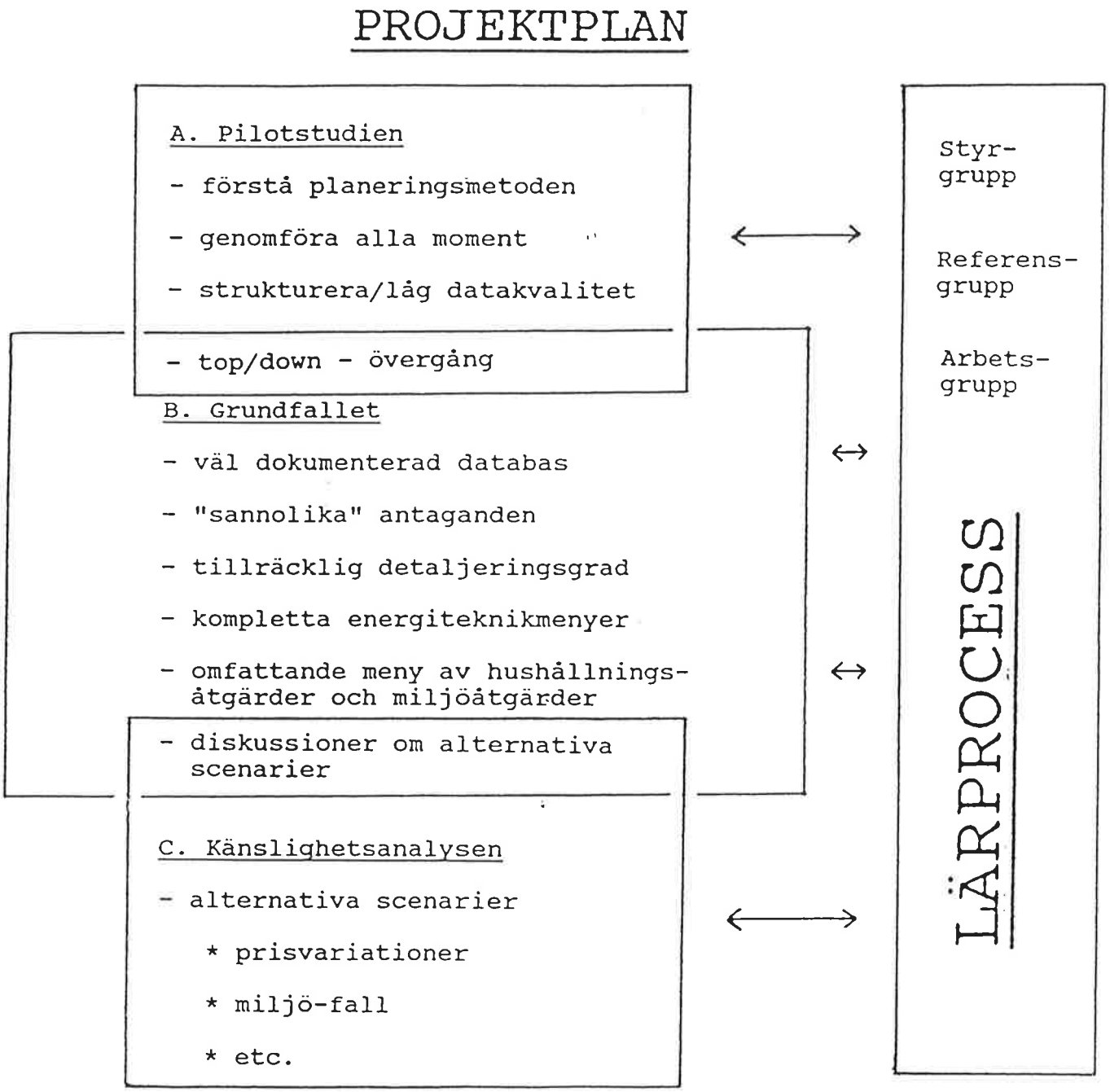
* Pilotstudien
* Grundfallet
* Känslighetsanalysen

Pilotstudien görs med mycket förenklade indata för att främst användas som ett diskussionsunderlag och för att visa hur det fortsatta arbetet bör bedrivas. I den utsträckning som pilotstudiens resultat är tillräckligt underbyggda och tillförlitliga kan de naturligtvis inkluderas i projektets slutliga resultatflora.

Grundfallet beräkans sedan med förfinade indata för det fall som bedöms som mest intressant/sannolikt. För att sedan få en uppfattning om systemets robusthet mot olika förändringar i förutsättningarna genomförs en **känslighetsanalys**.

Det slutgiltiga resultatet av projeketet blir sedan en sammanvägning av erfaranheterna från de tre etapperna. Där skiljer vi på stabila och icke stablia lösningar/teknikval. De stabila lösningarna är robusta mot stora variationer i energipriser och miljökrav och medför relativ "enkla" beslut medan de icke-stablia lösningarna endast är intressanta under speciella förutsättningar, vilka måste analyseras i detalj för att finna omslags-punkter, alternativlösningar et cetera.

Viktigt att poängtera är att arbetsmetodiken är en succesiv process. Det betyder att man hela tiden under arbetets gång anpassar arbetet efter de resultat som kommer fram, förändringar i omvärlden och samspelet med andra projekt. Detta arbetssätt kräver täta avrapporteringar till lämpligt sammansatta projektgrupper som hela tiden följer arbetet. I dessa grupper initierar metoden en **lärprocess**.

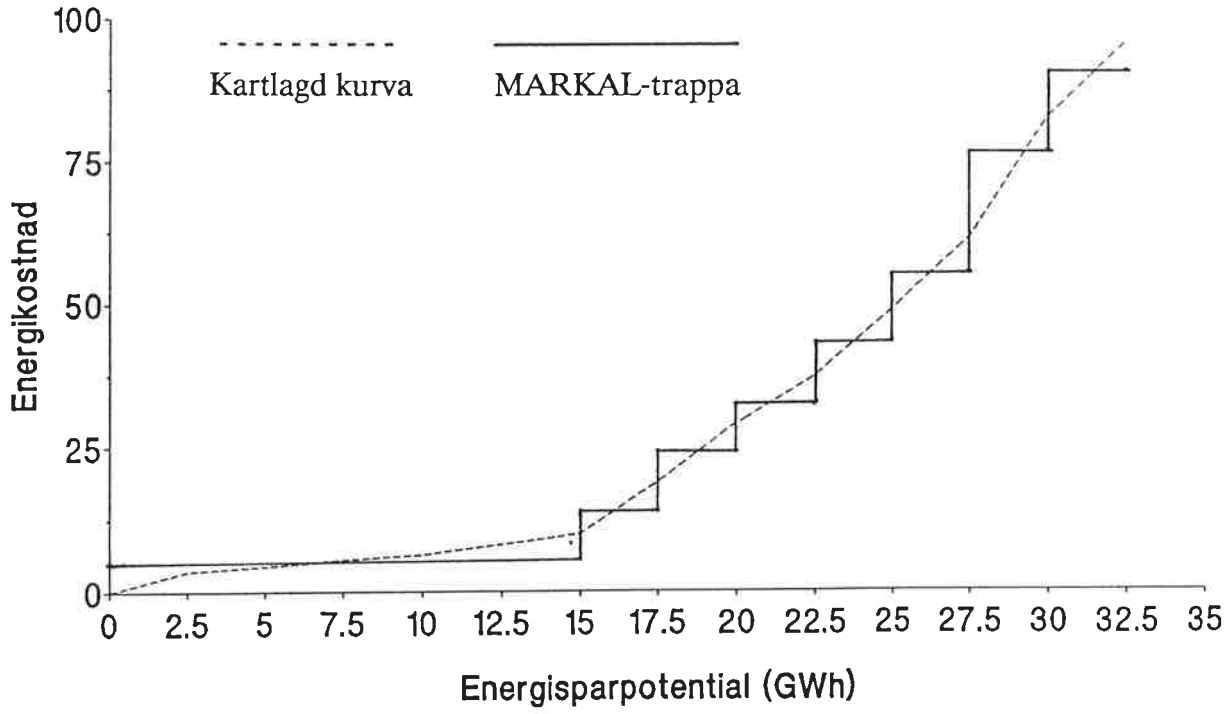


Figur A12: Principiell projektplan för systemkonceptet

Appendix 2: Beskrivning av energibesparingar i MARKAL

Vid optimering i MARKAL sker en samtidig avvägning mellan sparande och val av tillförselalternativ för att tillgodose den angivna nettoenergiefterfrågan. Detta innebär att besparingsnivån blir en ekonomisk avvägning mellan vad det kostar att genomföra besparingen (främst kapitalkostnad) och vad den tillförda energin kostar. Modellen känner här av alla de kostnader som den tillförda energin kan innehålla: kapitalkostnad, verkningsgrad, omkostnader, distributionskostnader, miljökostnader, bränslepriser etc. Observera att besparingen avser nettoenergiefterfrågan och att den "besparing" som byte till effektivare omvandlingsteknik innebär istället bli ett beräkningsresultat på tillförselsidan.

I beskrivningen hanteras ett stort antal sparåtgärder som är möjliga i en viss typ av bebyggelse eller verksamhet. Av praktiska skäl aggregeras av åtgärderna till ett antal "paket" där likartade åtgärder beskrivs ur energi- och ekonomisk synpunkt. Ett exempel framgår av figur A21 som visar effektiviseringens utbudskurva och den trappfunktion (i detta fall med åtta steg) som lagts in i MARKAL.



Figur A21: Utbudskurvan för energieffektivisering av uppvärmning och tappvarmvatten. Dels kartlagd kurva och dels spartrappan i MARKAL

Modelltekniskt hanteras energibesparingarna i modellen på samma sätt som vanliga energiomvandlingstekniker varför beskrivningen är både enkel och strukturerad.

Appendix 3: Miljörepresentation i MARKAL

Följande beskrivning av hur emissioner, reningstekniker och emissions-restriktioner/avgifter/skatter hanteras i MARKAL utgör en allmän genomgång av modellens möjligheter utan att redovisa hur detta i detalj görs i modellen. För detaljerad beskrivning hänvisas istället till programmets manual och det kursmaterial som tagits fram av Profu AB.

MARKAL är ett mycket flexibelt verktyg för analys av det tekniska energisystemet och det finns också flera sätt att hantera miljödata i modellen. Metoden att på ett strukturerat och flexibelt sätt använda miljöndelen i MARKAL har utvecklats av Energisystemteknik på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg och har används i ett flertal kommunala och nationella projekt i Sverige.

Emissioner

Modellen tillåter att emissioner av ett valfritt antal ämnen knyts till någon av följande:

Bränslen
Processer
Storskalig energiomvandling
Småskalig omvandling

Bränsleemissioner, innebär bland annat att man kan beskriva emissioner som uppstått vid utvinning eller omvandling utanför det studerade systemet (t.ex transportemissioner för biobränslen eller emissioner från el som producerats genom omvandling som medfört emissioner). Denna möjlighet är också det vanligaste sättat att att beskriva CO_2-emissioner, eftersom dessa är direkt kopplad till bränslevalet och eventuella restiktioner/avgifter/skatter endast kan lösas med bränslebyte och/eller energieffek-tivisering, men inte genom reningstekniker eller byte av omvandlingsteknik.

Processemissioner, används för att beskriva emissioner från processer (t.ex raffinaderier eller annat typ av förbehandling) som ligger i det studerade systemet.

Emissioner från storskaliga energiomvandlingsanläggningar, avser emissioner från el- eller fjärrvärmeproduktionsanläggningar.

Emissioner från småskalig energiomvandling, t.ex emissioner från individuella ved- och oljekaminer.

Reningstekniker

I modellen kan också beskrivas befintliga och potentiella reningstekniker, vilka kan kopplas till anläggningarna för att minska emissionerna av t.ex svavel och NO_x. Reningsteknikerna beskrivs med både tekniska och ekonomiska termer, varför det eventuella användandet av reningstekniker blir ett resultat av optimeringen. En pricipiell redogörelse för vilka andra olika principer som modellen hanterar för att klara emissionskrav redovisas i appendix 1. Även tekniker för samtidig rening av flera ämnen kan beskrivas.

Miljö-restriktioner/skatter/avgifter

Även på denna punkt har MARKAL stor flexibilitet i sin beskrivning. Restriktionerna kan exempelvis utformas som något av följande alternativ:

* Absoluta krav, dvs att emissionerna av ett vissa ämne från energisystemet måste ligga under en viss absolut gräns, t.ex 500 ton per år. Gränsen kan naturligtvis varieras under olika år i den studerade perioden. Modellen hanterar även krav på flera ämnen samtidigt.

* Relativa krav, t.ex att tillåten emissionsmängd relateras till mängden tillfört bränsle eller mängden producerad energi. Denna typ av restriktion används bland annat för svavel och NO_x för fjärrvärmesystemen i Sverige.

* Emissionsskatter, om en emission innebär någon form av kostnad kan detta hanteras modellen.

* Det är även möjligt att kombinera skatten med någon form av återbetalning (miljöavgiftkoncept).

* Förutom ovanstående fyra alternativ kan man även använda kombinationer av dessa.

Ovanstående restriktionern kan även utformas för att gälla för olika geografiska områden och/eller olika sektorer, t.ex industri, bostadsuppvärmning och transporter.

I MARKAL finns dessutom möjlighet att studera en minimering av emissionerna genom byte av optimeringens målfunktion från lägsta kostnad (under givna förutsättningar) till emissionsminimering med eller utan begränsningar i den totala ekonomiska budgeten.

Appendix 4: Vattenkraftmodellering i MARKAL

MARKAL-modellen är ett verktyg för strategisk planering av stora och komplexa energisystem. I de norska energisystemen spelar vattenkraften en dominerande roll, varför här kortfattat redogörs för vilka möjligheter modellen erbjuder vad gäller beskrivningen av vattenkraft.

Modellen har fyra principiellt olika metoder för att beskriva vattenkraften och de energiförutsättningar som gäller för denna. Dessutom kan dessa metoder kombineras i beskrivningen. Metoderna är att:

1. Ange tillgänglig effekt för respektive säsong.
2. Ange tillgänglig energi för respektive säsong.
3. Specificering av förhållandet mellan utnyttjad energi för olika säsonger.
4. Fixering av hur driften sker under olika säsonger.
5. Kombinationer av dessa.

Utifrån dessa begränsningar beräknar MARKAL den för det totala systemet optimala driften och eventuella utbyggnadsstorleken.

I korthet innebär de fyra metoderna följande:

1. När enbart den befintliga vattenkrafteffekten eller alternativ den utbyggbara effekten anges, får modellen frihet att genom optimeringen avgöra hur kraftverket bör köras under de olika säsongerna och ifall det ur systemets synpunkt är lönsamt att bygga ut. Metod ett innebär att man förutsätter att det finns stora vattenmagasin, vilka gör att man har full frihet att välja när kraften skall tas ut.

2. Metod två reglerar vattenkraften med övre och eventuella undre begränsningar för hur energi ka] tas ut under respektive säsong. Metod två ger genom användning av nedre begränsning möjlighet att beskriva begränsningar i magsinsstorlek. Mellan dessa begränsningar bestämmer modellen hur energi bör tas ut.

3. Metod tre är egentligen en mer avancerad variant av metod två och innebär att, istället för att anges hur mycket energi som skall tas, anges förhållandet mellan energiuttaget under olika säsonger. Som exempel kan man ange att produtionen under det som definierats som vinter är 60% av årsproduktionen.

4. För metod 1-3 gavs frihet till modellen att inom givna ramar optimera produktionen under olika säsonger. Metod fyra innebär att man låser produktionen under säsongerna och att anläggningen bara levererar det man bestämt.

Ovastående metoder kan kombineras för att få fram en beskrivning över ett eller flera vattenkraftverk i det studerade systemet.

I databasen för Larrvik/Lardal har använts enklast möjliga beskrivning av vattenkraften, vilket innebär att metod 1 ensamt har använts och att modellen utifrån detta beräknat vilken energiproduktion som blir aktuell för respektive säsong. Genom att kostnaden för vattenkraften i det befintliga verket under alla årstider antagits vara lägre än för importerad el, kommer energiproduktionen därigenom bli den förväntade.