

Sluttbrukets betydning i energiplanlegging

Birger Bjørland

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2008

Hovedveileder: Gerard Doorman, ELKRAFT

Biveileder(e): Bjørn Harald Bakken, SINTEF Energiforskning AS

Oppgavetekst

Oppgaven innebærer å utvikle en avansert sluttbrukermodell i analyseverktøyet "eTransport" som kan ta hensyn til følgende forhold:

1. Kortsiktig fleksibilitet
 - a. Benyttet energi: Prisavhengig energisparing/komfortreduksjoner
 - b. Levert energi: Prisavhengig skift mellom ulike former levert energi (f.eks. el/ved/olje) dersom sluttbruker allerede har teknologi tilgjengelig
2. Langsiktig fleksibilitet
 - a. Investeringer i ny teknologi: Varmepumper, pelletsovner etc
 - b. Investeringer i bygningskropp: Ekstra isolasjon, nye vinduer etc

Oppgaven består av følgende deloppgaver:

1. Dybdeforståelse av begrepene nyttiggjort og levert energi for ulike kundegrupper og hvordan disse benyttes i prognoser
2. Utvikle, implementere og teste modul med kortsiktig fleksibilitet
3. Utvikle, implementere og teste modul med langsiktig fleksibilitet
4. Opsjon: Utvikle GUI modul i eTransport

Oppgaven gitt: 28. januar 2008

Hovedveileder: Gerard Doorman, ELKRAFT

Forord

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med masteroppgaven ved studiet Energi og Miljø, studieretning energibruk og energiplanlegging. Arbeidet er utført våren 2008 ved SINTEF Energiforskning. Professor Gerard Doorman har vært faglærer for oppgaven.

Formålet med denne oppgaven har vært å utvikle en mer avansert sluttbrukermodell i analyseverktøyet eTransport. Dette for å bedre kunne analysere virkningene av sluttbrukets kort- og langsiktige fleksibilitet ved planlegging av energiforsyninger til et gitt område. I denne forbindelse har modellen gått fra å finne en kostnadseffektiv løsning til en samfunnsøkonomisk optimal tilpasning.

Jeg vil benytte anledning til å rette en takk til mine to veiledere Gerard Doorman og Bjørn H. Bakken. En stor takk går også til Hans Ivar Skjelbred og Ove Wolfgang for god hjelp, både ved bruk av eTransport og forsering av andre ulike hindre på veien. Til slutt vil jeg også takke Liv Bjørland for nyttige kommentarer til den språklige utformingen av oppgaven.

Trondheim 22. juni 2008

Birger Bjørland

Sammendrag

Energi- og effektknapphet har i stor grad blitt kompensert for ved økt produksjon eller overføringskapasitet, og det har vært lite fokus på sluttbrukets betydning i tradisjonell energiplanlegging. Reduksjonspotensialet hos sluttbruker er stort, og ønsket om bedre kjennskap til virkningen av ulike tiltak har øket den siste tiden. Tiltak på produksjons- og infrastruktursiden har vanskelig for å konkurrere kostnadmessig med en spart KWh hos sluttbruker. Derfor ligger endringer og reduksjon av energibruken øverst på listen over tiltak for å legge om til bærekraftige energisystemer.

I denne oppgaven er det sett på hvordan en mer avansert sluttbrukermodell kan implementeres i eTransport, slik at sluttbrukertiltak som øker den kort- og langsiktige fleksibiliteten, kan analyseres.

eTransport er en nettverksmodell utviklet av SINTEF Energiforskning. Modellen gir brukeren muligheten til å analysere energi- og masseflyten fra kilde til sluttbruker via ulike energibærere og teknologier samtidig. Hovedmålet med modellen er å bistå utbyggingsplanleggere slik at de er i stand til å optimere investeringene i energiinfrastruktur og dekke sluttbrukeres etterspørsel på best mulig måte, både økonomisk og miljømessig.

I forbindelse med implementeringen av sluttbrukermodellen er det trukket opp et skille mellom levert- og nyttiggjort energi slik at det enklere er mulig å analysere tekniske installasjoner, effektiviseringstiltak og prisavhengig energisparing hos sluttbruker. Dette har resultert i modelleringen av 5 nye sub-moduler i eTransport. En for varme- og elsesesifikk last som bygger på samme prinsipp, to for investeringer i bygningskropp og en node som hjelper brukeren å skille sluttbrukerdelen fra resten av energisystemet.

Forandringene som er gjort i lastmodulene har ført til at lastprofilene som legges inn i de elastiske lastnodene, nå representerer nyttiggjort energi. Etterspørselen er gjort elastisk og kan nå ses på som den marginale nytten av forbruket. eTransport er dermed i stand til å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse der det foretas en avveining mellom nytten av forbruket og produksjonskostnadene. Dette gjøres ved at systemoptimaliseringen er satt opp som en kostnadsminimalisering, der forbruket kan reduseres til en angitt kostnad. Dette medfører at modellen har gått fra å finne en kostnadseffektiv til en samfunnsøkonomisk optimal tilpasning. Programmet er nå bygget opp slik at alle typer tiltak utenom prisavhengig energisparing kompenseres for ved hjelp av tilbudskurven. Dermed forandres ikke etterspørselskurven i eTransport ved investeringer i ny teknologi, effektiviseringstiltak eller ved skiftet mellom ulike energibærere. Testingen av de forskjellige komponentene som er lagt inn viser at de økonomiske resultatene som genereres stemmer overens med samfunnsøkonomisk teori. En vil dermed ta hensyn til hvordan det totale samfunnsøkonomiske overskuddet endres som følge av ulike tiltak, og på den måten få en mer korrekt samfunnsøkonomisk modell for utbyggingsplanlegging.

Executive summery

Scarcity of energy and effect is often compensated with higher production or transmission capacity, and there has been little attention on the end-user in traditional energy planning. The reduction potential is huge, and the desire for better knowledge about different end-user actions has a high priority in energy planning at the moment. Actions taken on the production and energy infrastructure can hardly compete on the level of cost with pr KWh decreased by the end-user. That's why we find reduction in the energy consumption, at the top of the list, of actions to be taken to create sustainable energy systems.

In this thesis it's been looked upon how an advanced end-user model can be implemented into eTransport to be able to analyze how end-user actions that increases short and long-term flexibility affect energy systems. eTransport is a network model developed by SINTEF energy research. The model gives the user the opportunity to analyze the energy- and mass flow from supplier to end-user through different energy carriers and technologies simultaneously. The main goal of the model is to assist the energy planner in order to optimize the investments in energy infrastructure and cover the energy demand in the best possible way, both environmentally and economically.

The implementation of the end-user model makes it possible is distinguished between delivered and useful energy. This makes it to easier to analyze the influence of different technologies, improving the energy efficiency and price dependent saving at the end user. This has resulted in the modeling of 5 new sub models in eTransport. One for heat- end el specific load that are based upon the same principal, two for investment in increased energy efficiency and one node to separate the end-user from the rest of the energy system.

Now the load profiles for the elastic loads represent the useful energy, as a consequence of the changes done in the load models. The demand is elastic and can now be looked upon as the marginal willingness to pay. eTransport is now able to carry out a socio economic analyze where there is a trade-off between benefit of the consumption and the production cost. This is done by cost minimization, where the demand can be reduced at a specific cost. This implies that the model has gone from finding the cost effective solution to a socio economic adaptation. The program is now constructed in a way where every action besides price dependent saving is compensated for in the supply curve. This implies that the demand curve in eTransport is unaltered for investments in new technologies, energy efficiency is increased or there is a switch between different energy carriers. The testing of the components in the model shows that the economical results comport with socio economic theory. Thereby the total socio economic surplus for the different actions has been taken into account in a correct way, and the model is now more socio economic correct.

Innhold

| | |
|---|------------|
| FORORD | I |
| SAMMENDRAG | II |
| EXECUTIVE SUMMERY | III |
| INNHold | IV |
| 1 INNLEDNING | 1 |
| 1.1 BAKGRUNN | 1 |
| 1.2 UTFORDRINGER I ARBEIDET | 1 |
| 2 BEGREPER | 2 |
| 2.1 ENERGISYSTEMET | 2 |
| 2.2 SLUTTBRUKERTILTAK | 2 |
| 2.3 ENERGI- OG EFFEKTKNAPPHEIT | 3 |
| 3 SKILLET MELLOM LEVERT OG NYTTIGGJORT ENERGI | 4 |
| 3.1 PRISAVHENGIG ENERGISPARING | 4 |
| 3.2 SKIFTE MELLOM ULIKE ENERGIBÆRERE OG INVESTERINGER I NY TEKNOLOGI..... | 4 |
| 3.3 TILTAK SOM GIR LIK NYTTE FOR REDUSERT FORBRUK..... | 4 |
| 4 PROGNOSE GENERELT | 6 |
| 4.1 STATISTISKE PROGNOSE | 6 |
| 4.1.1 Industrien | 7 |
| 4.1.2 Tjenesteytende | 7 |
| 4.1.3 Husholdninger | 7 |
| 4.2 KORRIGERING OG USIKKERHET | 7 |
| 4.3 SPESIFIKT OM EPLAN OG USELOAD | 8 |
| 5 ETRANSPORT | 10 |
| 5.1 OPPBYGNING | 11 |
| 5.2 TILSTANDER | 12 |
| 5.3 DRIFTSMODULER..... | 13 |
| 5.4 PUNKTER I ENERGISYSTEMET | 14 |
| 5.5 TERMINOLOGI | 16 |
| 5.6 PARAMETERE..... | 16 |
| 5.7 VARIABLER OG RESTRIKSJONER | 17 |
| 5.8 OBJEKTFUNKSJON | 17 |
| 6 ØKONOMISKE BETRAKTNINGER | 18 |
| 6.1 ETTERSPORELSKURVEN | 18 |
| 6.2 SLUTTBRUKEREN I ETRANSPORT | 19 |
| 6.2.1 Elastic heat load..... | 19 |
| 6.2.2 Delivered energy node | 22 |
| 6.3 TILBUDSKURVEN..... | 22 |
| 6.4 MINIMERING AV SYSTEMKOSTNADENE | 24 |
| 6.5 TILTAK SOM IKKE FORANDRER ETTERSPORELESEN AV NYTTIGGJORT ENERGI | 24 |
| 6.5.1 Insulation | 26 |
| 6.6 TILTAK SOM GIR LIK NYTTE..... | 27 |
| 7 TESTING AV DE NYE MODULENE | 28 |
| 7.1 TILTAK SOM MULTIPLISERER DEN TILFØRTE ENERGIEN MED EN FAKTOR..... | 28 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.2 | EKSEMPEL PÅ UTSETTELSE AV INVESTERING MED FLEKSIBEL LASTNODE..... | 30 |
| 7.2.1 | Forutsetninger for analysen | 30 |
| 8 | DET FØRSTE FORSØKET | 34 |
| 9 | DISKUSJON..... | 36 |
| 10 | KONKLUSJON | 38 |
| | REFERANSER..... | 39 |
| | VEDLEGG A. KILDEKODE FOR NYE KOMPONENTER I ETRANSPORT | 1 |
| A.1 | ELASTISK VARMELAST..... | 1 |
| A.1.1 | ”Pre-fil” Elastisk varmelast..... | 1 |
| A.1.2 | Modellfil for Elastisk varmelast..... | 1 |
| A.2 | DELIVERED ENERGY NODE..... | 3 |
| A.2.1 | ”Pre-fil” Delivered energy node..... | 3 |
| A.2.2 | modellfil for delivered energy node | 3 |
| A.3 | ADD NEWER INSULATION | 7 |
| A.3.1 | ”Pre-fil” add newer insulation..... | 7 |
| A.3.2 | Modellfil for add newer insulation | 7 |
| A.4 | UNIVERSAL FILEN | 8 |

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Energi- og effektknapphet har i stor grad blitt kompensert for ved økt produksjon eller overføringskapasitet, og det har vært lite fokus på sluttbrukets betydning i tradisjonell energiplanlegging. Ved å gi sluttbrukersiden mulighet og incentiver til respondere på prisvariasjonene kan forbruk reduseres, substitueres eller forskyves (Thomasgaard 2001). Dette vil kunne bidra til å sikre både effekt- og energibalansen. Reduksjonspotensialet hos sluttbruker er stort, men har hatt lite fokus frem til for et par år siden. Tiltak på produksjons- og infrastrukturen har vanskelig for å konkurrere kostnadmessig med en spart KWh hos sluttbruker. Derfor ligger endringer og reduksjon av energibruken øverst på listen over tiltak for å legge om til bærekraftige energisystemer (energi21 2007). Det er derfor viktig å kunne simulere hvilke tiltak som skal settes i verk for å oppnå et økonomisk, teknisk og miljømessig optimalt system.

Det området sluttbrukeren beveger seg innenfor er trukket opp av incentiver, motiver og ikke minst hindringer for omlegging, reduksjon eller mer effektive utnyttelse av energi. Derfor er disse rammebetingelsene svært sentrale for om sluttbruker oppfører seg optimalt (energi21 2007). Ønsket om å kunne simulere hvordan sluttbrukertiltak der endringer i rammebetingelser, investeringer og lokale forhold påvirker energisystemet som helhet, ligger bak ønsket om en mer avansert sluttbruker modell i eTransport. Mange ganger er det direkte konkurranse mellom effektivisering hos sluttbruker og utbygging av infrastruktur. Hvordan påvirker for eksempel tilknytningsplikten for fjernvarme satsningen på reduksjon av varmebehovet i bygg?

Det er økonomiske vurderinger som oftest ligger bak gjennomføringen av ulike sluttbrukertiltak. De fleste tiltak vil vurderes ut i fra bedriftsøkonomisk lønnsomhet. I mange tilfeller er det slik at kostnadene for hver enkeltstående aktør overstiger nytten, men at den totale nytteverdien innenfor et område likevel overstiger kostnadene. Det er derfor behov for energiplanlegging, der en overordnet plan ligger til grunn for å tilrettelegge, slik at det blir økonomisk mulig for aktørene å gjennomføre tiltakene.

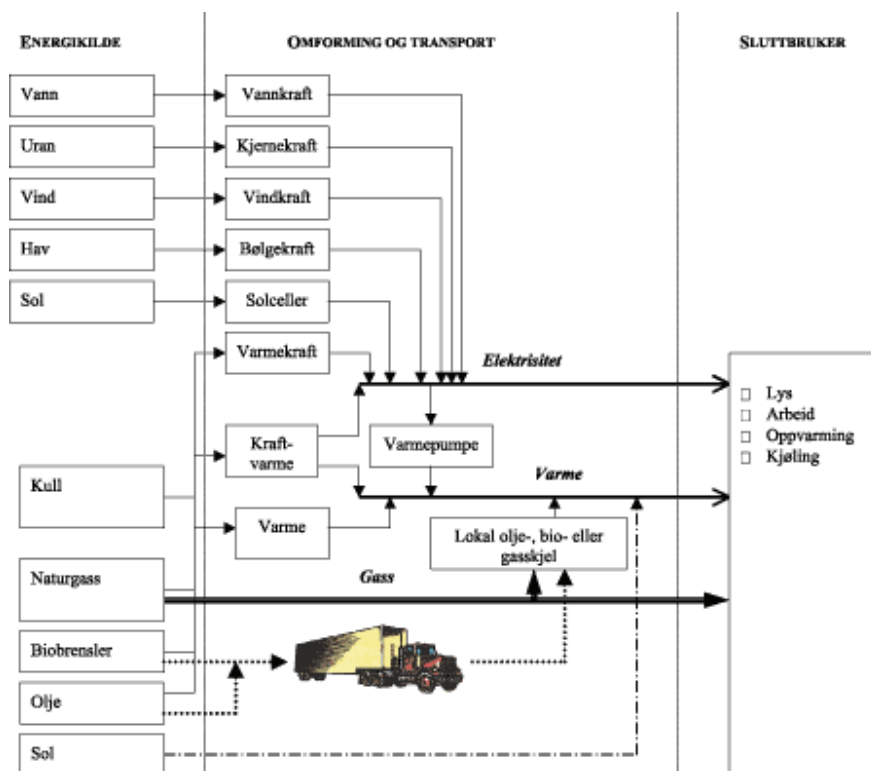
1.2 utfordringer i arbeidet

Den første utfordringen denne oppgaven bød på var å sette seg inn i samfunnsøkonomisk teori og klare å relatere dette til energimarkedet. Dette var et helt nytt fagfelt for meg og det tok en stund før begreper og ulike sammenhenger falt på plass. I tillegg kom utfordringen med å lære seg AMPL, programmeringsspråket som de ulike komponentene i eTransport er skrevet i. eTransport er et modulbasert verktøy dette gjør det enklere å gjøre forbedringer og videreutviklinger. For å få de nye komponentene var det likevel nødvendig å opparbeide seg et betydelig forståelse av hvordan verktøyet er bygget opp og hvordan samspeillet mellom de ulike komponentene fungerer.

2 Begreper

2.1 Energisystemet

Et energisystem kan betraktes som en verdikjede som tar for seg overføringen av energi fra kilde til sluttbruker, der primærenergien må omvandles til enten elektrisitet eller varme for at sluttbruker skal kunne nyttiggjøre seg av dem (OED 1998). Grovt sett kan en si at verdikjeden består av tre ulike deler. Der energisystemet består av energikilder, en omformings del, der konvertering, transport og lagring av ulike energibærere inngår, og til slutt en forbruks del der energien forbrukes.



Figur 2-1 Skjematisk framstilling av energisystemet (OED 1998)

2.2 Sluttbrukertiltak

I denne oppgaven er sluttbrukertiltak sett på som etablerte tekniske eller økonomiske systemer viss virkning gir en mer fleksibel, eventuelt en reduksjon i effekt- og energibruken (Thomasgaard 2001).

2.3 Energi- og effektknapphet

Det kan trekkes opp et skille mellom energi- og effektknapphet. Energiknapphet oppstår som følge av knapphet i forholdet mellom tilbud og etterspørsel over en viss periode, for eksempel et år. For sluttbrukers del er det da interessant å gjøre investeringer i ny teknologi eller bygningskropp, og kan ses på som tiltak som er med på å øke den langsiktig fleksibiliteten. Effektknapphet refererer til knapphet ved gitte tidspunkt, typisk morgen og ettermiddag på kalde vinterdager. Dette kan kompenseres ved prisavhengig energisparing eller skifte mellom ulike former for energibærere og refereres her som kortsiktig fleksibilitet. Effektknappheten påvirkes også ved å øke den langsiktige fleksibiliteten.

3 Skillet mellom levert og nyttiggjort energi

For et hvert energisystem er formålet å tilfredsstille sluttbrukers behov på en mest mulig rasjonell og miljøvennlig måte. Energitjenester som sluttbruker etterspør setter ulike krav til energikvalitet. Elspesifikt forbruk krever en høyverdig form for energi, mens oppvarming stiller lavere krav til kvalitet. Muligheten til å optimalisere forholdet mellom de ulike energibærerne er dermed tilstede for varmelasten, og i denne valgprosessen er det flere faktorer som spiller inn. Sett fra sluttbrukers side er pris, tilgjengelighet og teknisk utrustning med på å bestemme valget for hver enkelt kunde. Når energi forbrukes utnyttes det teoretiske energiinnholdet i ulik grad. Derfor skilles det mellom levert energi til sluttbruk og forbruk av nyttiggjort energi. Ved å skille mellom levert og nyttiggjort energi kan en belyse ulike forhold.

3.1 Prisavhengig energisparing

Prisavhengig energisparing tar hensyn til hvor mye nyttiggjort energi en forbruker ønsker å redusere som følge av en kompensasjon. Eksempler på dette kan være en komfortreduksjon eller tapte inntekter ved redusert produksjon. Når den nyttiggjorte energien reduseres vil dette medføre en reduksjon i behovet for levert energi.

3.2 Skifte mellom ulike energibærere og investeringer i ny teknologi

Ved endringer i energimiksen holdes den nyttiggjorte konstant, mens den leverte energien til sluttbruker kan variere. En har altså et prisavhengig skifte mellom ulike energibærere uten at den nyttiggjorte energien endres. Installasjonenes virkningsgrad forteller hvor mye av den tilførte energien som kan nyttiggjøres til forbruk. Utnyttelsesgraden varierer etter hvilke type tekniske installasjoner, samt energibærere som benyttes av sluttbruker. Elektrisitet har en utnyttelsesgrad på 100 %, mens ved ligger på 50 til 80 % (OED 1998). Med utgangspunkt i de to energibærerne og at den nyttiggjorte energien er uendret, vil en økt andel av elektrisitet gi en reduksjon i levert energi. Økt bruk av ved vil medføre en vekst i levert energi, selv om forbruket til nyttiggjort er uendret. For investeringer i ny teknologi kan en også se på etterspørselskurven for nyttiggjort energi som konstant, mens den leverte reduseres.

3.3 Tiltak som gir lik nytte for redusert forbruk

Investeringer i bygningskropp eller tekniske forbedringer som medfører at energien kan utnyttes mer effektivt, vil føre til endringer i etterspørselskurven etter nyttiggjort energi. Hvordan disse tiltakene kan kompenseres for ved hjelp av endringer i tilbudskurven forklares i kapittel 6.6.

Ved å benytte denne delingen av forbruket åpnes muligheten for å vurdere ulike sluttbrukertiltak opp mot økt produksjon eller utbygging av distribusjonsnettet. Nyttiggjort energi kan ses på som uavhengig av virkningsgrad, men den er imidlertid vanskelig å måle. Fordelen ved å benytte nyttiggjort energi er at forbruket ikke endrer seg

som følge av en annen energibæremiks eller teknologisammensetning. I dag bygger det statistiske datagrunnlaget stort sett på levert energi. Denne kan omgjøres til nyttiggjort ved å multiplisere den leverte energien med en faktor som tilsvarer virkningsgraden i de ulike tekniske systemene. Tabell 1 viser virkningsgradene for de ulike energibærerne benyttet for å omforme levert til nyttiggjort energi utgitt av (SSB 2000).

| | Industri | Tjenesteytende | Husholdninger |
|------------|----------|----------------|---------------|
| Lettolje | 0.8 | 0.75 | 0.7 |
| Tungolje | 0.85 | 0.85 | 0.7 |
| Parafin | 0.8 | 0.75 | 0.7 |
| Elkjel | 0.97 | 0.95 | 0.95 |
| Ved/bio | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| Fjernvarme | 1.00 | 0.98 | 0.89 |
| LNG | 0.93 | | |
| LPG | 0.95 | | |

Tabell 1 Virkningsgrader benyttet ved beregning av nyttiggjort energi (SSB 2000)

Usikkerheten øker imidlertid i tallmaterialet ved omregning. Omregningsfaktorene holdes konstant over et visst tidsrom, og dette medfører at den leverte energien påvirkes av:

- Endringer i nyttiggjort energi
- Endringer i sammensetningen av de ulike energibærerne
- Endringer i hvor stor andel de ulike sektorene får tilført

4 Prognoser generelt

I energiplanlegging er investeringskostnadene direkte knyttet opp mot størrelsen på lasten. Både dimensjoneringen og driften av energisystemet bygger på prognostiserte effekt- og energidata og er derfor av stor betydning for at investerings- og driftkostnader skal bli så realistiske som mulig. I dag finnes det mange metoder for å fremskrive energiforbruket og lastprofiler. Disse kan grovt deles opp i 3 metodikker (Pedersen 2007).

1. Statistiske analyser
2. Energi simuleringsprogram
3. Intelligente datasystemer

Statistiske analyser bygger på store mengder målte data av energikonsumet over tid. Denne statistikken bygger som oftest på levert energi, da denne er den enkleste å måle. Denne metoden brukes ofte for lastmodellering og energiberegninger som innbefatter flere typer kunder i et bestemt område.

Simuleringsprogram har behov for detaljerte inndata som typisk beskriver bygningsparametere og værprognoser. Denne metodikken er derfor ikke hensiktsmessig å bruke for annet enn planlegging av mindre utbygninger med stor detaljrikdom.

Intelligente datasystemer tar inn forbruk, klima, bygningsparametere og brukeradferd. Jo mer informasjon disse modellene får, desto bedre estimerer. Denne typen modeller kan benyttes på bygningsnivå og opp til nasjonalt nivå.

Dette er alle metodikker som søker å oppfylle energiplanleggerens krav til inndata. Det eksisterer dessverre ingen overensstemmelse om hvordan utdataene skal presenteres og hvilke aspekter som skal inngå. Dette har medført at energiplanleggeren selv må sette seg inn i standarder og normer i de ulike bransjer og miljøer. Det finnes et stort antall programmer som gir ut prognoser for energibruken og lastprofiler. Det er imidlertid vanskelig å finne ut hvilke forutsetninger som ligger til grunn og dermed hva som er inkludert i de energidata en får ut.

4.1 Statistiske prognoser

For eTransport vil statistiske prognoser være det mest aktuelle ettersom analyser av områder med en viss størrelse oftest er det mest aktuelle. Energisimuleringsprogram og intelligente datasystemer krever ofte et bedre datagrunnlag enn det som vanligvis kan oppdrives, eller det er for tidkrevende å anvende.

For å fremskrive energietterspørselen benyttes ofte energiindikatorer der det tas utgangspunkt i en energienhet, som for eksempel KWh, delt på en forklaringsfaktor. Ved å bruke dette til å fremskrive etterspørselen kan en ta hensyn til utviklingen av enkelte energiindikatorer. Ut i fra dette fremskrives trender som vil påvirke forbruket fremover. Vektingen av de ulike indikatorene varierer med sektor og ut i fra hvilke miljøer som har utført fremskrivningen. Bak de historiske dataene ligger det en rekke

faktorer som ikke kommer til syne eksplisitt, det være seg teknologiske begrensninger, markedsmekanismer og lover (Pedersen 2007). Disse faktorene har vært med på å forme fordelingen av de ulike energibærerne og endres stadig. Som følge av dette må de historiske trendene korrigeres. Et eksempel er reduksjon i etterspørselen ettersom nye byggeforeskrifter innføres. Ulike sektorer benytter ulike indikatorer. Det er her sett på tre hovedsektorer:

4.1.1 Industrien

I store deler av industrien er det en forholdsvis direkte sammenheng mellom produksjon og energietterspørsel, men heterogeniteten innenfor sektoren er høy. Dette fordrer at det enten gjøres enkeltstående analyser der detaljeringsgraden er høy eller det benyttes generelle tall for den spesifikke typen industri. Energieterspørselen i industrien avhenger av mange aspekter som energipriser, produksjonens miks og teknologi- og markedsutviklingen. I denne sektoren har IFE opparbeidet seg et godt datagrunnlag.

4.1.2 Tjenesteytende

For tjenesteytende sektor er det enda større usikkerhet knyttet til tilgjengelige data. Indikatorene baserer seg ofte på energibruk delt på antall ansatte, på bruttoprodukt (bruttoinntekt fra produksjon minus produktinnsats) eller areal. Valg av indikator varierer innenfor den tjenesteytende sektoren. Tidligere anvendte indikatorer har satt standarden for normene og spiller ofte en sentral rolle i utvelgelsesprosessen.

4.1.3 Husholdninger

For husholdningene er forklaringsfaktorer som boligareal, antall husstander, privat konsum og boligtype typiske. Innenfor denne sektoren er det enklere å trekke konklusjoner på et mer generelt grunnlag enn for de to overnevnte.

4.2 Korrigerings og usikkerhet

Temperaturkorrigering er en måte å utjevne forskjellene i statistikken fra år til år. Skal det gjøres korrigeringer av denne typen, er en avhengig av å benytte datagrunnlaget for nyttiggjort energi. Dette er gjort for at ikke miksen av energibærere og ulik utnyttelsesgrad skal påvirke det statistiske materialet. Det er naturlig å utarbeide prognoser ved å ta utgangspunkt i temperaturkorrigerte verdier. Det kan ofte være vanskelig å tyde ut fra prognosene hvilke korrigeringer som er gjort og hvordan disse er behandlet i modellen. Dette er også vanskelig å inspisere for brukeren. Denne kilden til usikkerhet kommer på toppen av usikkerheten i statistikken og modellberegningene.

Den nye energimerkeordningen for bygninger trer i full kraft august 2009. Den bygger på to ulike energiintensiteter. Nybygg skal tilfredsstille de nye minimumskravene som er basert på nyttiggjort energibehov, og er i Tabell 2 markert som Rr. Klassene som ligger

under denne standarden, er basert på en energiintensitet som refererer til tilført energi. Standarden beveger seg altså fra tilført til nyttiggjort energi og inkluderer både boliger og næringsbygg. Denne ordningen er med på til å redusere energietterspørselen i forhold til en ren trendprognose. Andre faktorer som virker i samme retning er varmpumpe og etterisolering. De er alle med på å redusere energibehovet i forhold til den trenden vi har sett de senere år. Dette kan kompenseres for i noen modeller.

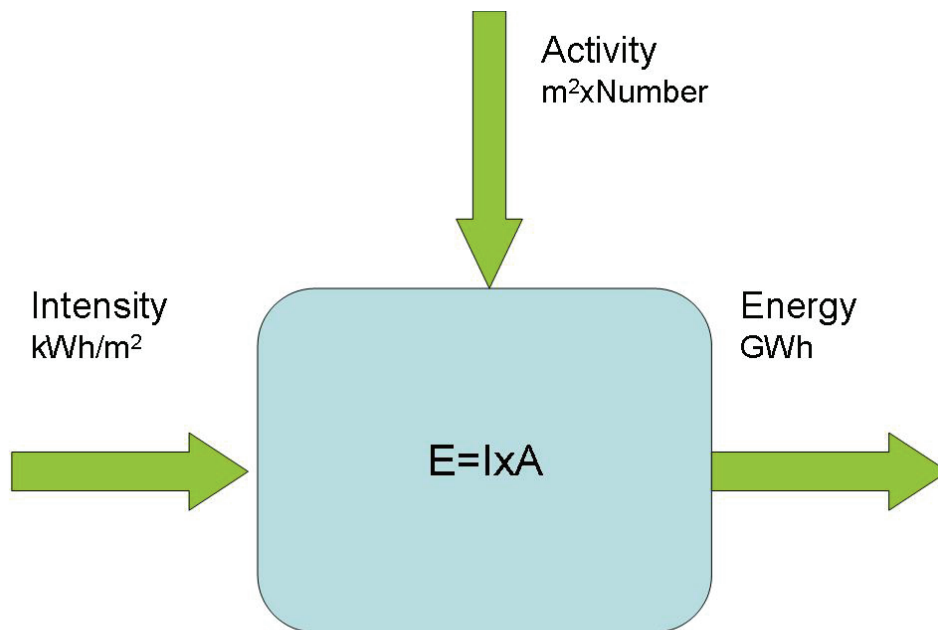
| Klasse | Skala | Boliger kWh/m ² | Yrkesbygg kWh/m ² |
|--------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| A | $\leq 0.5 \cdot R_r$ | 64 | 97 |
| B | $\leq 0.75 \cdot R_r$ | 95 | 145 |
| C | $\leq R_r$ | 127 | 194 |
| D | $\leq 0.5 \cdot (R_r + R_s)$ | 177 | 233 |
| E | $\leq R_s$ | 227 | 271 |
| F | $\leq 1.5 \cdot R_s$ | ≤ 341 | ≤ 407 |
| G | $> 1.5 \cdot R_s$ | > 341 | > 407 |

Tabell 2 Skala for den nye energimerkeordningen (Pettersen et al. 2005)

4.3 Spesifikt om ePlan og USELOAD

Lastprofilene som blitt benyttet i eTransport bygger ofte på statistiske analyser gjennomført i ePlan og USELOAD. Det er derfor valgt å gå nærmere inn på disse modellene.

ePlan er utviklet av SINTEF for estimering av energietterspørsel. Modellen finner forbruksprognoser for husholdninger og næringsbygg basert på historiske tidsserier for energiforbruk. Den benyttes for å trendfremskrive forbruksutviklingen og på denne måten danne grunnlag for et basissenario (Wachsfeldt and Satori 2007). Det er mulig å foreta beregninger som tar høyde for konsekvensene av eventuelle brudd med trendutviklingen, eksempelvis veksten i varmpumpebruk. For å få et mer nyansert bilde av trendene er energietterspørselen delt inn i to forklaringsfaktorer, aktivitet og energiintensitet. Eksempler på aktivitetsmål kan være oppvarmet areal i bygninger eller produksjonsverdi oppgitt i kroner. Til hvert av disse aktivitetsmålene tilhører det energiintensiteter, henholdsvis kWh/m² for bygningssektorene og kWh/kr for produksjonssektorene. Modellen kalibreres opp mot statistiske data og får på denne måten oversikt over hvordan energietterspørsel og forklaringsfaktorer har utviklet seg. Når modellen benyttes i prognoser, går en andre veien og finner energietterspørselen ut i fra energiintensiteter og aktiviteter.



Figur 4-1 Modellkonseptet for energietterspørselsmodellen ePlan (Grinden et al. 2007)

eTransport tar inn energietterspørsel per tidssteg og må derfor ha en modell som tar høyde for hvilke konsekvenser endringer i energietterspørselen får for belastningsfordelingen. Her benyttes programmet USELOAD. USELOAD er en datamodell som med grunnlag i typiske belastningskurver for bruk av ulikt elektrisk utstyr beregner totalbelastningen for ulike brukergrupper. Modellen er basert på statistiske metoder som ivaretar både klimakorrigering og samtidighetsforhold mellom ulike belastningstyper (Feilberg 2002).

Brukeren legger selv inn spesifikasjonene for de ulike brukergruppene. Der inngår blant annet det totale årlige energiforbruket og boligtype. Det velges en klimasone for området, og gjennomsnittstemperaturen for hver dag importeres under simuleringsperioden. Når en simulering utføres, deler modellen opp den estimerte belastningen i ulike former for sluttbruk og gir ut belastningsforløpet for ulike typer bygg. Belastningsforløpet kan da skisseres helt ned på timebasis.

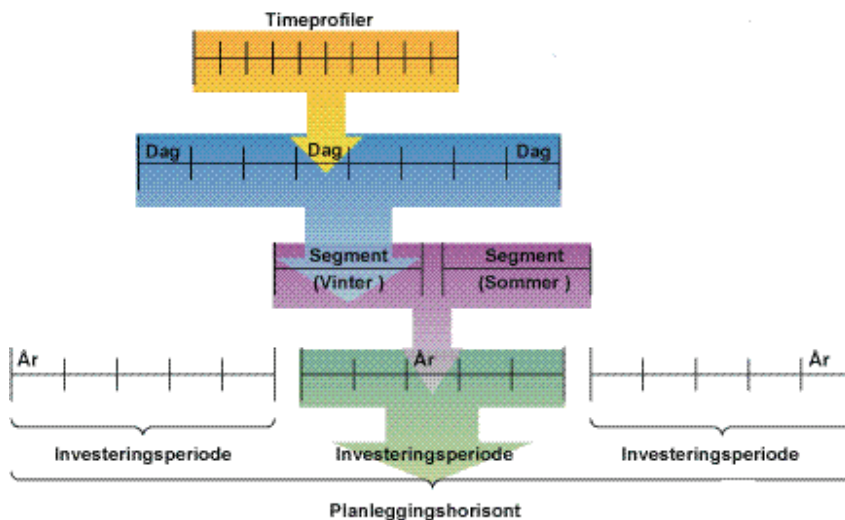
5 eTransport

Dette kapitlet vil først gi en generell beskrivelse av eTransport, som er analyseverktøyet som benyttes i denne oppgaven. Her legges det vekt på detaljer som er sentrale for utvidelse av verktøyet. Videre beskrives nye moduler som er lagt til verktøyet som en del av oppgaven. For en mer detaljert beskrivelse vises det til (Bakken et al. 2006)

eTransport er en datamodell for utbyggingsplanlegging som er spesielt utviklet for lokale energisystemer der investeringer i flere ulike energibærere og teknologier er aktuelle (Bakken et al. 2007; Bakken et al. 2006). Modellen er bygget på bottoms-up prinsippet, og tillater brukeren å inkludere ulike ferdigdefinerte komponenter fra et bibliotek for å bygge opp et energisystem hvor flere ulike komponentsammensetninger kan inngå. Dernest finner eTransport den mest kostnadseffektive måten å dekke lasten på. Hovedmålet er å gi et overordnet grunnlag for hvilke infrastruktur det skal investeres i. Dette medfører at investeringsavgjørelsen blir et sentralt punkt. Programmet rangerer de ulike alternativene og anbefaler en rekkefølge for når og hvor de ulike investeringene skal finne sted.

5.1 Oppbygning

eTransport søker å minimere de totale kostnadene samtidig som alle restriksjoner overholdes. For at dette skal kunne gjennomføres mest mulig effektivt er modellen delt inn i en driftsmodul og en investeringsmodul. Planleggingshorisonten for driftsmodulen er kort (1-3 dager) og benytter seg vanligvis av tidssteg på en time. Denne modulen finner optimal drift ved å minimere kostnadene for de gitte komponentsammensetningen time for time og benytter seg av lineær programmering. For hver last i systemet legges det inn en etterspørselsprofil. Denne gjentar seg så lenge en befinner seg innenfor samme segment og er som oftest døgnbasert. Ved overgangen til et nytt segment kan lastprofilen endres. Driftskostnadene for de ulike komponentsammensetningene kalkuleres gjentatte ganger for ulike dager, segmenter (for eksempel vinter og sommerlast) og investeringsperioder (for eksempel et 5års intervall). Disse kostnadene vektes så til årlige driftskostnader for de ulike periodene og komponentsammensetningene.



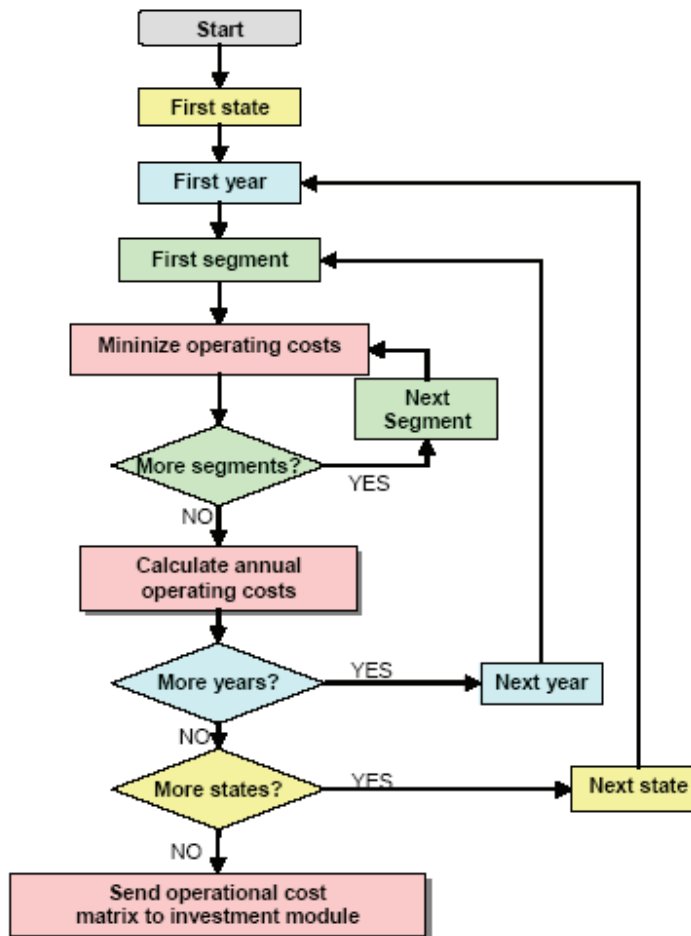
Figur 5-1 Tidsoppløsningen i eTransport

Driftskostnadene implementeres så i investeringsmodulen. Denne modulen benytter seg av dynamisk programmering og finner de aktuelle investeringsplaner ved å minimere kostnadene over analyseperioden. Modellen rangerer deretter alternativene etter kostnadskriteriene, der sluttbrukernes etterspørsel dekkes på best mulig måte, både økonomisk og miljømessig.

5.2 Tilstander

Brukeren har mulighet til å definere et sett med investeringsalternativer. For å identifisere hvilke alternativer som er aktive innenfor investeringsperioden, benytter eTransport seg av tilstander som beskriver den unike kombinasjonen av investeringsalternativer som er gjeldene for energisystemet til et gitt tidspunkt.

Er det definert N ulike investeringsalternativer gir dette 2^N unike kombinasjoner. De ulike tilstandene symboliserer starttilstanden for en investeringsperiode og påvirker driftsanalysen for den gitte perioden og de investeringene som er mulige i neste.



Figur 5-2 Viser flytdiagrammet for algoritmen som er benyttet for å fylle inn de årlige driftskostnadene.

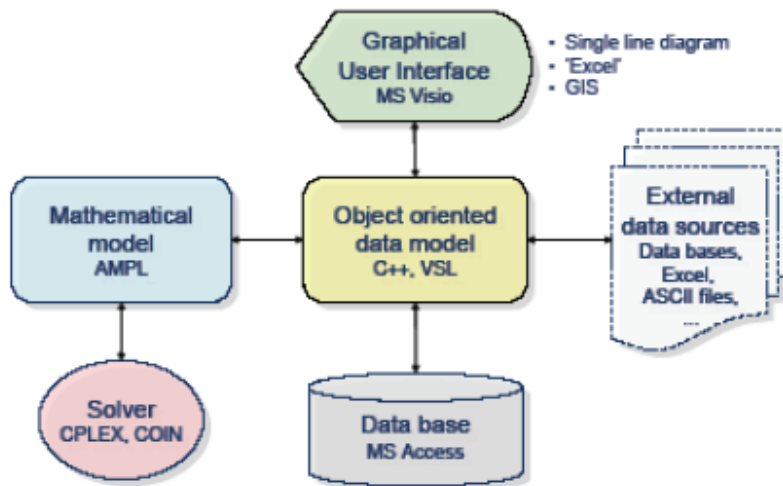
5.3 Driftsmoduler

eTransport er et resultat av at mange forskjellige bidragsytere har utviklet ulike funksjonaliteter. Derfor har det vært svært sentralt å kunne legge til frittstående komponenter i modellen. For å muliggjøre dette er driftsdelen av programmet modulbasert. Det vil si at hver eneste komponent i energisystemet har sin egen modul som inneholder en matematisk formulering for driftskostnadene.

Selv om mange komponenter er bygget opp etter noenlunde den samme strukturen, er det valgt å holde dem avskilt. Dermed kan en enklere erstatte en enkelt komponent eller gi den forbedret funksjonalitet. Disse kan så kobles sammen med de eksisterende komponentene ved hjelp av logiske koblinger. Det er bare gjort et unntak fra denne regelen. Lastene og markedene er modellert i samme fil, der de forskjellige markedene ligger som en underklasse i lastmodulene.

For hver modul er ligningene som beskriver energiflyten gjennom komponenten lineær og benytter seg av den gjennomsnittlige flyten innenfor hvert enkelt tidsintervall. Dette gjelder ikke for diskret transport og start- og stoppkostnader for ulike kraftstasjoner, der heltallsproblematikken kommer inn, og mixed integer programming må anvendes. Alle de ulike modulene er skrevet i AMPL som er et algebraisk modelleringspråk, utviklet for optimeringsproblemer. I AMPL er det mulig å formulere optimaliseringsproblemene som direkte inndata for algoritmer som igjen kan løses ved hjelp av en løser. (Fourer et al. 2002)

Figuren nedenfor viser eTransports struktur og koblingen mellom de matematiske modellene i AMPL med Coin eller Cplex som løser. Den viser videre hvordan disse resultatene blir sendt til investeringsmodulen som er implementert i C++. Hit kommer også informasjonen som er lagt inn av bruker fra det grafiske grensesnittet, utviklet i MS Visio. Data fra hver case blir lagret i en database.



Figur 5-3 Strukturen i eTransport (Bakken 2004)

5.4 Punkter i energisystemet

eTransport er en nettverksmodell der det ses på energiflyten fra kilde til sluttbruker via ulike energibærere. Nettverksmodellen består av uavhengige energikomponenter koblet sammen ved hjelp av kostnadsfrie tilkoblinger uten overføringsbegrensninger. Nettverkskomponenter for transport, omforming og lagring er definert som separate komponenter, der parametere for overføringskostnader samt overføringsbegrensninger kan legges inn. Det er altså to ulike typer tilkoblinger. Den logiske som det ikke er knyttet noen kostnad til, og den fysiske som representerer de virkelige nettverkskomponenter.

For å koble sammen alle komponentene i et spesifikt energisystem er det utviklet en AMPL modell som limer alle de ulike teknologimodulene sammen. Denne er kalt universalfilen. Her holdes det rede på de logiske koblingene samt flyten mellom de ulike komponentene. Forandringer i denne filen er kommentert i vedlegg A.

For å forstå hvordan komponentene i eTransport henger sammen vil det i dette delkapittelet gis en redegjørelse for hvordan flyten mellom dem modelleres og hvordan de er koblet sammen. Modulene er koblet sammen av generelle energiflytvariabler som identifiserer flyten mellom de ulike energikildene, nettverkskomponenter (transport, omforming og lagring) og energisluk (Bakken et al. 2006). Dette vil si at alle komponenter befinner seg innenfor en av de tre kategoriene nedfor.

- Supply_points hvor flyten går ut
- Network_nodes hvor flyten kan gå både inn og ut
- Load_points hvor flyten går inn

For å binde de tre komponenttypene sammen finnes det fire typer forskjellige koblinger. Koblingene er case-spesifikke og består av par som beskriver den mulige energiflyten mellom de ulike komponentene. Koblingen gjøres av brukeren i grensesnittet og legges derfra inn i run filen.

Supply2net : Nodepar (i, j) hvor $i \in \text{Supply_points}$ og $j \in \text{Network_nodes}$

Supply2load : Nodepar (i, j) hvor $i \in \text{Supply_points}$ og $j \in \text{Load_points}$

Net2net : Nodepar (i, j) hvor $i, j \in \text{Network_nodes}$

Net2load : Nodepar (i, j) hvor $i \in \text{Network_nodes}$ og $j \in \text{Load_points}$

En har nå spesifisert hvor energiflyten kan gå mellom de koblingspunktene som er spesifisert for energisystemet. For å beskrive den faktiske flyten mellom komponentene benyttes flytvariabler. Dette er beslutningsvariabler som er med i optimaliseringen.

Supply_flow_{ijt}: Energiflyten fra i til j ved tiden $t(i, j) \in \text{Supply2net}$ og $t \in \text{Time_steps}$

Local_flow_{ijt}: Energiflyten fra i til j ved tiden $t(i, j) \in \text{Supply2load}$ og $t \in \text{Time_steps}$

Net2net_flow_{ijt}: Energiflyten fra i til j ved tiden $t(i, j) \in \text{Net2net}$ og $t \in \text{Time_steps}$

Load_flow_{ijt}: Energiflyten fra i til j ved tiden $t(i, j) \in \text{Net2load}$ og $t \in \text{Time_steps}$

Et eksempel på en nettverksnode kan være etterisoleringsnoden der energiflyten beveger seg både inn og ut av komponenten. Den kommer inn gjennom e_i som er innmatingsnoden og forvinner ut gjennom e_o som er utmatingsnoden. I tillegg beskriver de to nodene i og j hvilke komponenter som er tilknyttet etterisoleringsnoden.



Figur 5-4 Hvordan etterisoleringskomponenten er modellert

5.5 Terminologi

Siden alle modulene i eTransport er koblet sammen via flytvariabler, har alle parameterne og variablene entydige navn, slik at de ikke overskrives når en annen komponent opprettes. For enklest mulig å gjøre rettelser i kildekoden samt det grafiske grensesnittet, starter vanligvis hver enkelt variabel og parameter med navnet på modulen. Dette fører til ganske lange navn, men gjør det lettere for andre å lese og forstå kildekoden uten inngående kjennskap til hele programmet.

I forrige kapittel ble bruken av nodesett diskutert og hvordan flytvariabler kan strømme gjennom dem. På denne måten sikrer en at flyten bare kan gå en vei slik at energien ikke kan sendes bakover i verdikjeden. For hver komponent som opprettes blir flere indekser definert. For å eksemplifisere dette er det her tatt utgangspunkt i etterisoleringsmodulen. Hver komponent som opprettes av denne typen har en tilhørende indeks p . I tillegg har den en indeks t for hvert tidssteg, samt en indeks for hver av de ulike nodene tilknyttet komponenten. Dette gir følgende indekser for etterisoleringskomponenten.

| | |
|------|---|
| p | etterisoleringskomponenter |
| t | tidssteg |
| i | noder som sier hvor energien kommer fra |
| ei | energiinnmatings noder |
| eo | energiutmatings noder |
| j | noder som sier hvor energien kommer til |

5.6 parametere

Det opereres med tre typer parametere i de nye modulene som er laget.

- Konstante parametere
 - Låst til en spesifikk verdi som omformingsfaktorer eller konstanter
- Innmatingsparametere
 - Case spesifikke verdier som brukeren selv må definere
- Beregnede parametere
 - Parametere beregnet ut fra inndata

De fleste parameterne er innmatingsparametere som brukeren kan legge inn via ett dialogvindu i eTransport. For mange parametere er det imidlertid deklarerte standardverdier. Dette er gjort for at beregningene skal kunne gjennomføres uten at alle verdier er oppgitt av brukeren. Det er her tatt utgangspunkt i den nye typen lastnoder for elektrisitet.

| Parameter | Beskrivelse | Enhet |
|-------------------------|--|-------|
| $El_load_max_t$ | Den maksimale etterspørselen etter elektrisitet for lasten l ved tiden t | MWh/h |
| $El_load_inelastic_t$ | Den uelastiske delen av etterspørselen | MWh/h |

| | | |
|-------------------------|--|---------|
| | etter elektrisitet for lasten l ved tiden t | |
| El_load_steps | Antallet trinn i den elastiske delen av Etterspørselsfunksjonen | |
| El_load_max_wtp | Den høyeste prisen kunden er villig til å betale for den elastiske delen av lasten | NOK/MWh |
| El_load_wtp_cc | Prisen som gir full dekning av hele etterspørselen | NOK/MWh |
| El_load_price_leap | Den faste endringen i prisen per trinn | NOK/MWh |
| El_load_deficit_penalty | Prisen på ikke levert energi | NOK/MWh |

5.7 Variabler og restriksjoner

I eTransport finnes det mange typer variabler og restriksjoner. Det være seg masseflyt, utslipp, energiflyt og start- og stoppkostnader. Alle modulene skrevet i forbindelse med denne oppgaven begrenser seg til variabler og restriksjoner som beskriver energiflyten mellom komponentene.

5.8 Objektfunksjon

Hovedobjektfunksjonen for driftanalysen befinner seg i universalfilen. Hver komponent har en sub-objektfunksjon som summerer opp driftskostnadene for de ulike flytvariablene. Deretter summeres og minimeres alle sub-objektfunksjonene i universalfilen som genererer matrisen med de årlige driftskostnadene. For mange av komponentene er denne sub-objektfunksjonen satt til null. Dette gjelder for eksempel for varmpumpe modulen. For boiler modulen ligger utgiftene knyttet til utslipp og oppstart inne i boilerens sub-objektfunksjon, mens kostnadene av driften regnes ut i kilden.

De totale systemkostnadene minimeres ved hjelp av ligning 1.

$$Cost = minimize \sum_{p \in Submodels} Objective_p$$

| | |
|--------------------------|---|
| Cost - | er totale driftskostnader |
| Sub_models- | er et sett av sub-moduler som er tilknyttet driftsmodulen |
| p- | er en indeks for forskjellige moduler (komponenter) |
| Objective _p - | er variable driftskostnader for hver komponent p |

6 Økonomiske betraktninger

Dette kapitlet omhandler hvordan overgangen fra en kostnadseffektiv til en samfunnsøkonomisk optimal tilpasning er gjennomført. Det er beskrevet hvordan komponentenes fysiske egenskaper kan tolkes i den matematiske modellen, og det er sett på hvordan ulike sluttbrukertiltak lar seg implementere i eTransport.

Dagens versjon av eTransport gjennomfører en systemoptimalisering av et matematisk optimaliseringsproblem med en numerisk løsning som resultat. Optimaliseringsproblemet er definert som en kostnadsminimering, der et uelastisk energibehov dekkes til minst mulig kostnad for hele systemet. Denne løsningen er per definisjon kostnadseffektiv.

En samfunnsøkonomisk optimal tilpasning er alltid kostnadseffektiv, men en kostnadseffektiv løsning er ikke nødvendigvis samfunnsøkonomisk optimal (Wolfgang 2006).

Dette kan eksemplifiseres ved å ta utgangspunkt i dagens versjon av lastnodene i eTransport. Et uelastisk forbruk legges inn som en parameter, og betalingsviljen kan sees på som uendelig for den gitte energimengden. For å sikre at lastnodene får tilført den spesifiserte mengden energi er det lagt inn en defisitparameter. Denne sikrer leveransen gjennom økonomiske sanksjoner som trår i kraft ved ikke levert energi. Denne kostnaden ligger inne i lastmodulenes objektfunksjon. Slik manipuleres programmet gjennom en restriksjon til å tro at den stive lasten skal dekkes. Dette medfører at forbruket dekkes så lenge kildene kan levere. Ut i fra dette finner modellen en kostnadseffektiv tilpasning som kan være samfunnsøkonomisk optimal, dersom det spesifiserte forbruket er det ”rette”. I en samfunnsøkonomisk analyse foretar en vanligvis en avveining mellom nytten av forbruket og produksjonskostnader. Derfor vil en kostnadsminimering der forbruket kan reduseres til en angitt kostnad, være samfunnsøkonomisk optimal. Dette kan gjøres ved å gi lasten et elastisk ledd, der betalingsviljen ikke lenger er tilnærmet uendelig. Dette medfører at objektfunksjonen i lasten må innholde et defisitledd og i tillegg et ekstra ledd, som uttrykker nytten av forbruket.

6.1 Etterspørselskurven

I økonomisk teori har et markedsgode en verdi som settes på grunnlag av konsumentenes preferanser. Det er antatt at konsumentene er nyttemaksimerende og dermed at etterspørselskurven er fallende (FIN 2005).

Når etterspørselen er uelastisk er det ikke naturlig å behandle den som marginal nytte, fordi konsumenten er villig til å betale en uendelig pris for forbruket. Konsumentoverskuddet angir hvor mye penger konsumenten sparer ved å forbruke energi istedenfor å foreta ytterligere forbruksreduksjoner. Ved uelastisk etterspørsel blir det derfor meningsløst å sette en verdi på konsumentoverskuddet. Når det legges inn en elastisitet, er det derimot normalt å betrakte etterspørselskurven som den marginale nytten av forbruket, der marginalnyttene representerer en velferdsending.

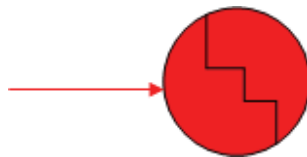
Med utgangspunkt i at konsumentene har et visst ønsket forbruk, men at dette kan reduseres med tap av nytte som konsekvens, vil en ved å legge dette inn i modellen være i

stand til å foreta en avveining mellom nytten av forbruket og produksjonskostnadene. Dette kan gjøres ved å dele forbruket i en uelastisk og en elastisk del, slik at prisavhengig energisparing kan inkluderes i analysen. Det er antatt at de tiltakene som ønskes modellert ved hjelp av elastisk etterspørsel er forbruksreducerende.

6.2 Sluttbrukeren i eTransport

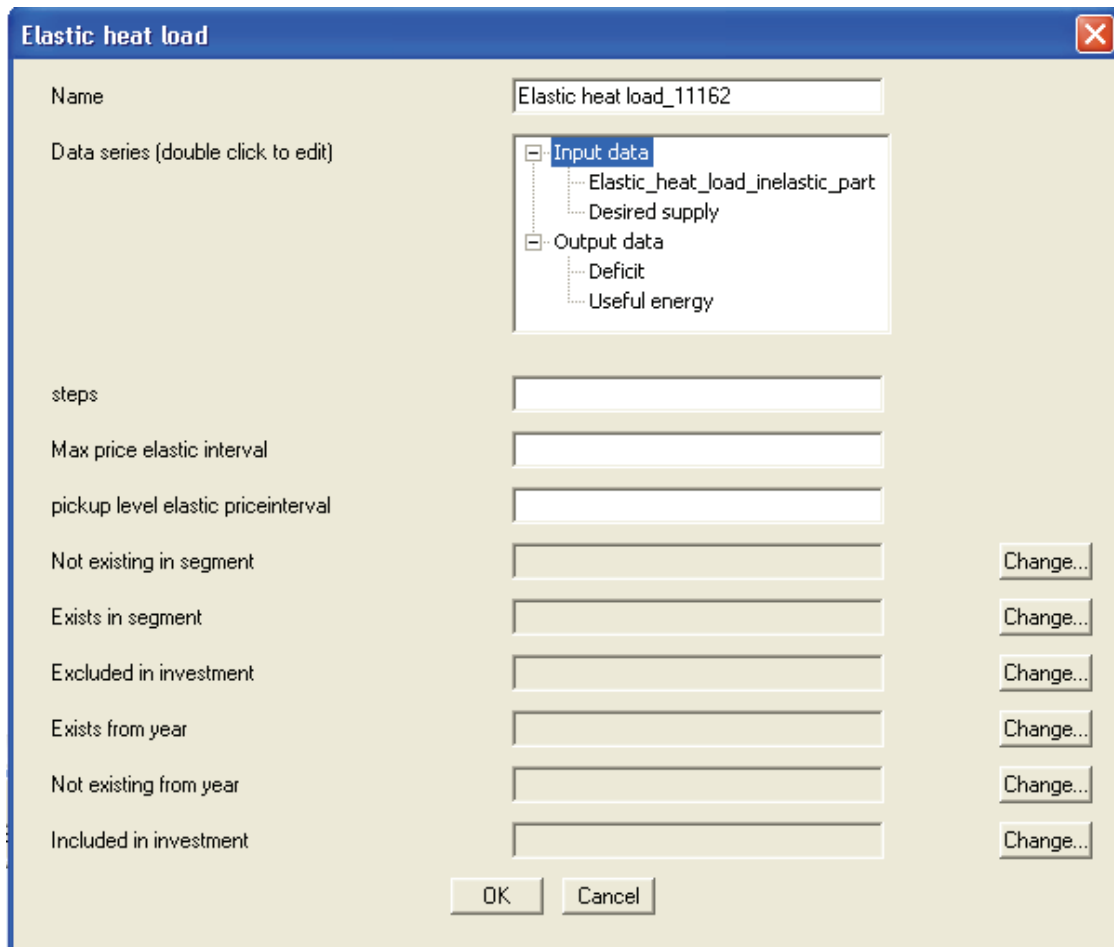
Som en del av denne masteroppgaven er det utviklet moduler for å kunne analysere sluttbrukertiltak i eTransport. Det er laget 5 nye moduler. En for varme- og elspesifikk last som bygger på samme prinsipp, to for investeringer i bygningskropp og en node som hjelper brukeren å skille sluttbrukerdelen fra resten av energisystemet. Som nevnt i kapittel 5.4 er modulene knyttet sammen ved hjelp av en universalmodul. Det har vært nødvendig å gjøre endringer og tilføyninger i universalfilen i forbindelse med implementeringen av de nye modulene. Universalfilen er i likhet med submodulene programmert i AMPL. Kildekode med kommentarer er lagt ved i vedlegg A.

6.2.1 Elastic heat load



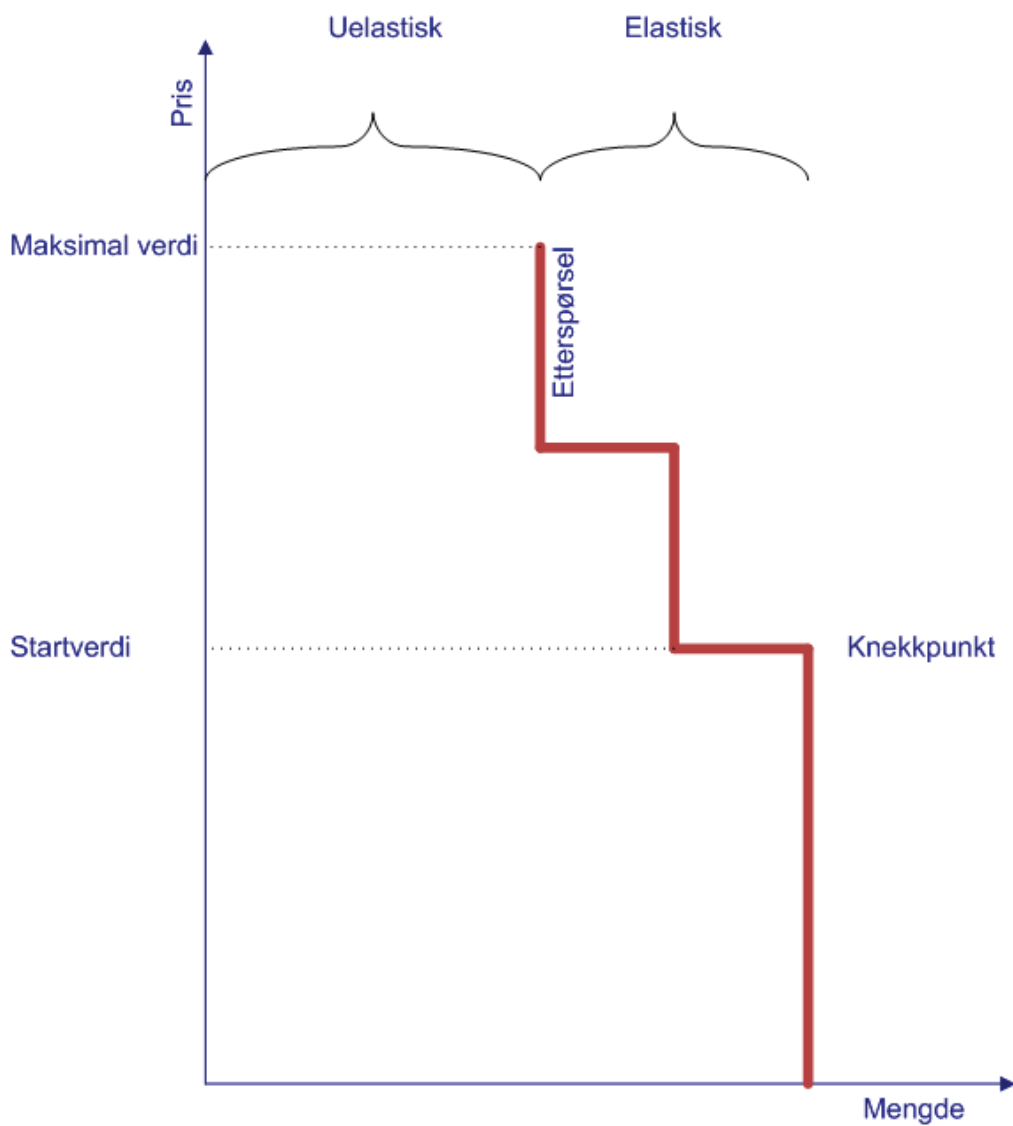
Figur 6-1 Den elastiske etterspørselsnoden slik den fremstår i brukergrensesnittet

Det er nå antatt at lastnodene i eTransport representerer det nyttiggjorte forbruket. For å kunne legge inn prisavhengig energisparing er det derfor antatt at lasten kan deles inn i to deler, en uelastisk og en elastisk. Den totale ønskede marginale etterspørselen legges inn som en dataserie av brukeren. Deretter kan brukeren velge om den uelastiske delen av lasten skal være en prosentandel av den totale lasten, eller om den skal legges inn som en egen dataserie. For hver last i systemet legges det inn en etterspørselsprofil. Denne gjentar seg så lenge en befinner seg innenfor samme segment og er som oftest døgnbasert. Ved overgangen til et nytt segment kan lastprofilen endres. Forholdet mellom den uelastiske og elastiske delen av lasten er dermed lik innenfor hvert segment. Innmating av de ulike dataene må gjøres for hvert enkelt segment over året, eller en kan benytte seg av default verdiene som ligger inne. Dialogvinduet i Figur 6-2 viser hvordan ulike parametere og dataserier legges inn i programmet av bruker.



Figur 6-2 Dialogvindu for den elastiske varmelasten

Det er naturlig at etterspørselskurven er vertikal opp til et viss pris, dette kan eksemplifiseres ved at kunden ikke ønsker en høyere temperatur enn 22 grader i boligen sin. Dette knekkpunktet inntreffer ved ulike priser, avhengig av hvilke forbruksgruppe en betrakter. Den prisfølsomme delen av lasten ligger innenfor et prisintervall definert av brukeren ved hjelp av en start- og en maksimalverdi. Dette prisintervallet strekker seg fra knekkpunktet til den maksimale verdien kunden er villig til å betale for den prisfølsomme delen av lasten. Det er valgt å gjøre kurven stykkevis lineær for det prisfølsomme forbruket. Dette gjøres ved at brukeren legger inn hvor mange trinn kurven skal bestå av, og ut i fra dette beregnes steglengden for både mengde og pris. Det vil si at det elastiske forbruket har ulike utkoblingspriser med tilhørende energimengder som kobles ut dersom prisen overstiger de gitte grensene. Dette er illustrert i Figur 6-3.

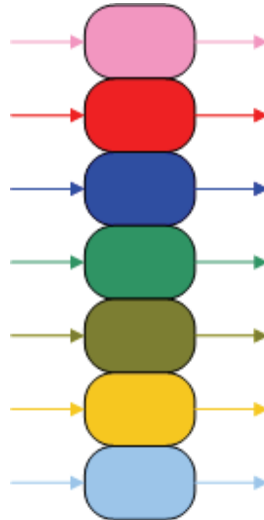


Figur 6-3 Forklaringsskisse for hvordan den nyttiggjorte etterspørselskurven genereres.

Den elastiske elektriske lasten fungerer på identisk måte som den elastiske varmelasten. Det taes derfor ikke med et eget kapittel om denne. Kildekoden for den elastiske varmelasten finnes i vedlegg A.

6.2.2 Delivered energy node

For at brukeren greit skal kunne skille sluttbrukerdelen fra resten av energisystemet, er det lagt inn en komponent som består av 7 forskjellige noder, en for hver av energibærerne i eTransport. Her har en mulighet til å lese av den leverte energien for hver enkelt energibærer. Dette gjøres ved å summere opp de ulike flytvariabler fra kilder og ulike nettverkskomponenter som kommer inn i hver enkelt node. Kildekoden finnes i vedlegg A.

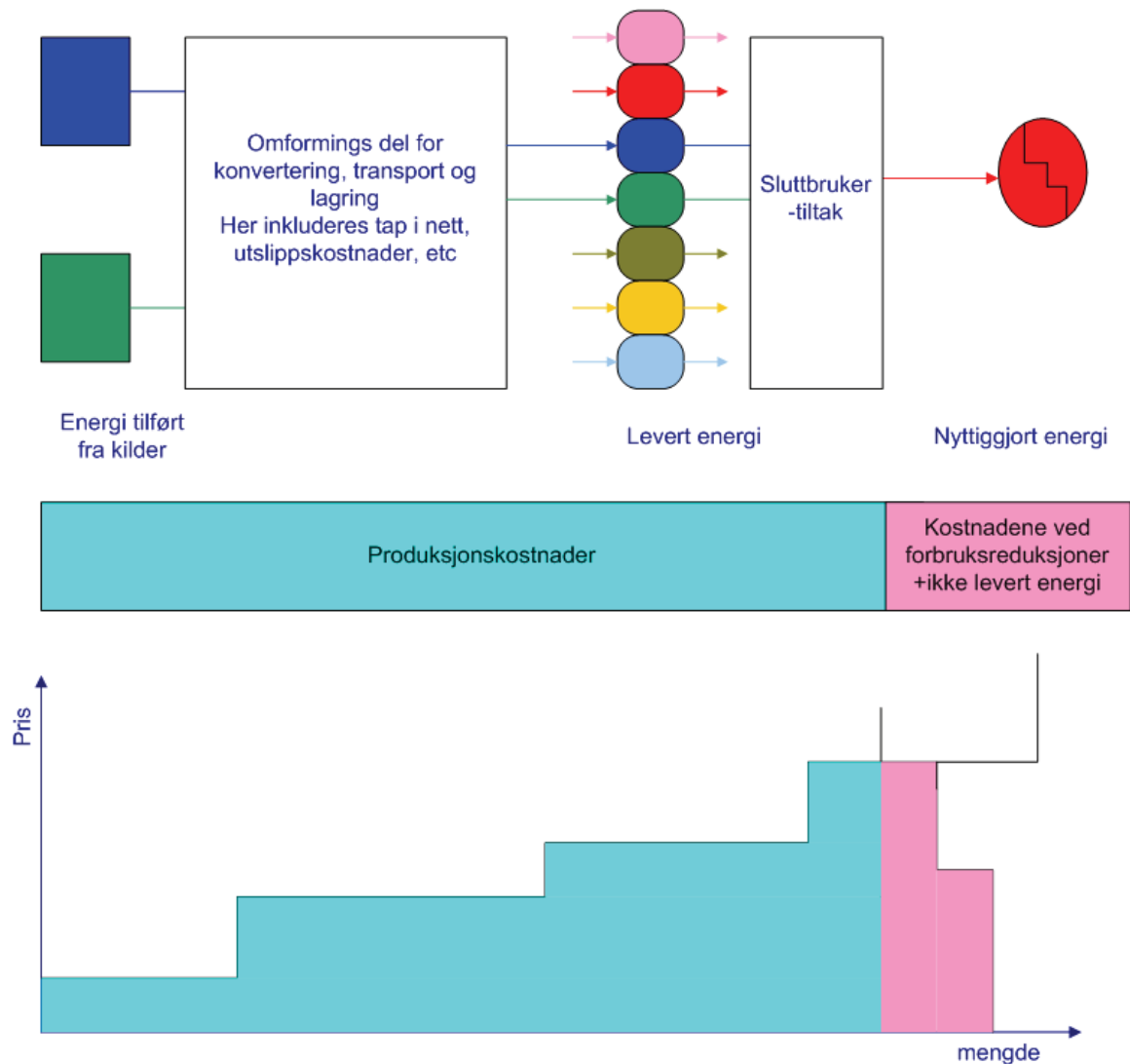


Figur 6-4 Delivered energy node slik den fremstår i brukergrensesnittet.

6.3 Tilbudskurven

Siden lasten i eTransport nå representerer forbruket av nyttiggjort energi, og denne ikke er påvirket av virkningsgrad, er det naturlig at investeringer i ny teknologi og skiftet mellom ulike energibærere hos sluttbruker ligger inne i tilbudskurven. Etterspørselkurven forandres dermed ikke ved denne typen tiltak. For investeringer som reduserer etterspørselen etter nyttiggjort energi kan denne logikken benyttes, men mengden nyttiggjort energi som vises i lasten blir dermed for stor.

Produksjonskostnadene i eTransport representerer den tilførte energien fra kildene, kostnader ved utslipp, tap i nett etc. Dermed slipper en å gjøre endringer i etterspørselkurven for alle typer sluttbrukertiltak, utenom endringer i elastisiteten. Dette er vist i Figur 6-5.



Figur 6-5 Viser hvordan alle tiltak utenom endringer i elastisitet kompenseres for ved hjelp av tilbudskurven.

I tilbudskurven tas det hensyn til:

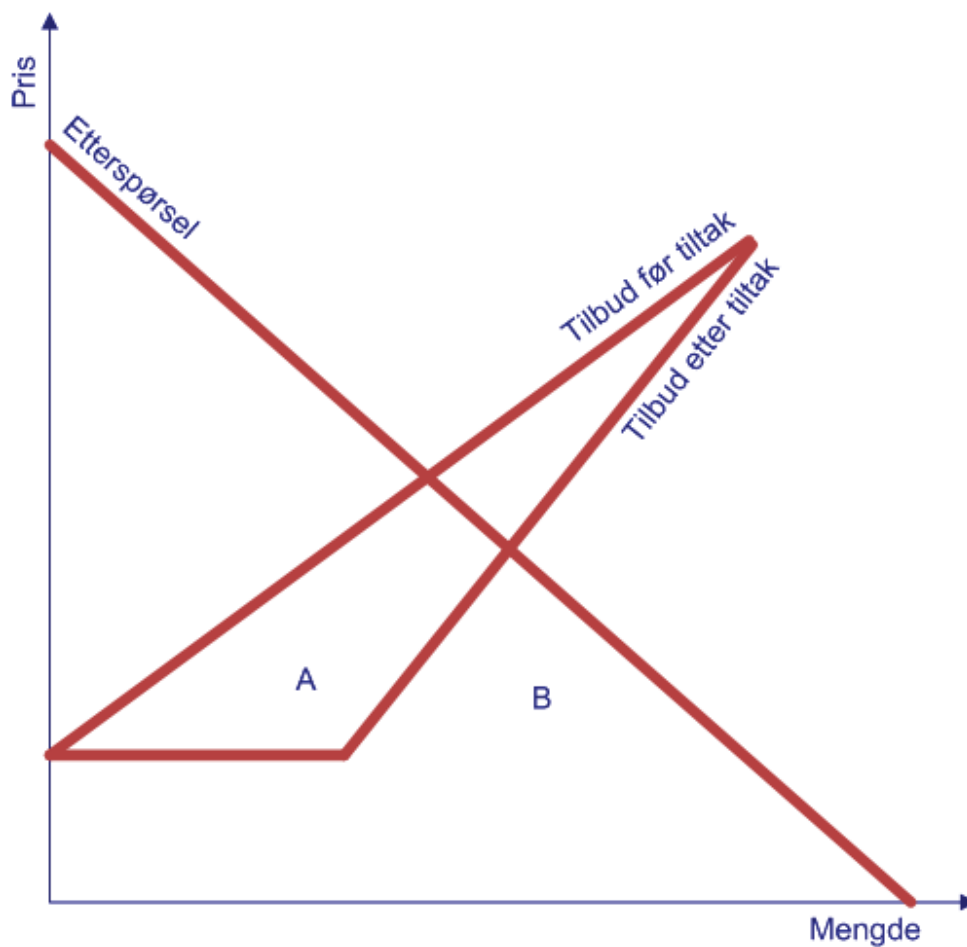
- Skiftet mellom ulike energibærere
- Investeringer i ny teknologi
 - Antatt at etterspørselskurven for nyttiggjort energi hos sluttbruker ikke endres.
- Investeringer i bygningskropp
 - Antatt at endringene i forbruket av nyttiggjort energi tas høyde for i tilbudskurven

6.4 Minimering av systemkostnadene

En kan beregne den totale virkningen på det samfunnsøkonomiske overskuddet i en partiell analyse ved å beregne endringen i konsument- og produsentoverskudd og så legge til arealet mellom etterspørselskurvene. Dette er diskutert i notatet *Støtte til forbrukerfleksibilitet – virkningen på samfunnsøkonomisk overskudd*. Med bakgrunn i de diskusjonene som gjøres der er det her valgt å benytte seg av minimering av systemkostnadene for at eTransport skal finne frem til den samfunnsøkonomisk optimale løsningen. Det viser seg nemlig at arealendringen ved å maksimere det totale samfunnsøkonomiske overskuddet er den samme som fremkommer ved å minimere systemkostnadene, men programmeringsteknisk er det mye enklere å minimere systemkostnadene.

6.5 Tiltak som ikke forandrer etterspørselen av nyttiggjort energi.

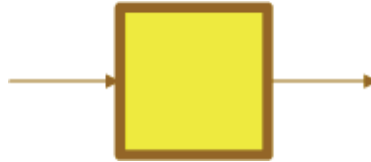
Ved å øke den langsiktige fleksibiliteten ved å investere i sluttbrukertiltak som gir ”gratis” energi, som for eksempel varmepumpe, er det antatt at etterspørselskurven for nyttiggjorte energien ikke endres. Det er derfor logisk at dette tiltaket kompenseres for ved hjelp tilbudskurven, slik det har blitt gjort tidligere. Varmepumpemodulen benytter seg av en konstant effektfaktor, som er gitt av bruker, og endringene i tilbudskurven kan illustreres på denne måten:



Figur 6-6 Viser hvordan investering i ny teknologi kan påvirke systemkostnadene

Etter tiltaket reduseres systemkostnadene med areal A. En vil her få en forbruksøkning så lenge en ikke har kommet til knekkpunktet i kurven. Etter knekkpunktet har ikke forbrukeren noe ønske om økt forbruk av nyttiggjort energi.

6.5.1 Insulation



Figur 6-7 Etterisoleringsnoden slik den fremstår i brukergrensesnittet

Sett at en forbruker ønsker å gjennomføre ulike sluttbrukertiltak, der hele etterspørselskurven flyttes parallelt innover mot venstre som følge av redusert energiforbruk. Dette er tiltak som gir lik nytte ved redusert energiforbruk.

Siden eTransport modellen ikke vet at den behandler energi, men bare finner beste løsning ut i fra et sett med ligninger og restriksjoner, har en friheten til å gjøre grep som ikke stemmer med vår fysiske virkelighet. I denne modulen er dette benyttet, og det vil si en har muligheten til å investere i en komponent som leverer gratis energi. Dette medfører i realiteten at lasten ikke reduseres, men at den leverte energien, som kommer inn i komponenten, adderes med en konstant energimengde bestemt av bruker. Dette bryter med termodynamikkens andre lov siden energi ikke kan oppstå eller forsvinne. I programmeringsmodulen kan det imidlertid betraktes som et energireducerende tiltak som ikke er forbundet med hverken faste eller variable driftskostnader. Denne typen tiltak er bare forbundet med en investeringskostnad. Det nyttiggjorte forbruket reduseres dermed ikke, men det manipuleres inn en reduksjon i lasten sett fra tilførselssiden i systemet. Slik kan investeringer i bygningskropp simuleres og sjekkes om de er samfunnsøkonomisk lønnsomme. En ønsker at modellen skal tro at etterspørselen er redusert, slik at endringene i systemkostnadene behandles på riktig måte økonomisk.

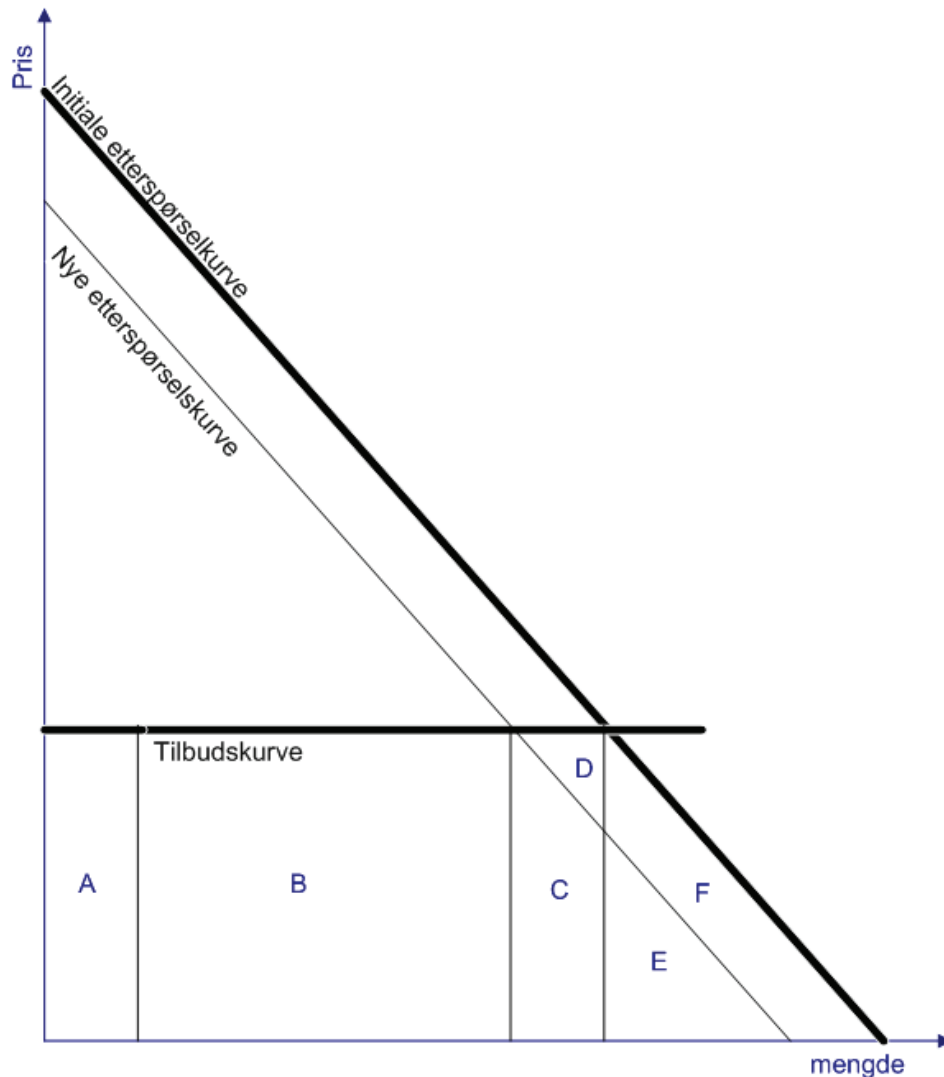
Problemet er at den opprinnelige etterspørselen fremdeles ligger inne. Glemmer en at dette tiltaket har endret etterspørselen etter nyttiggjort energi, blir det altså ukorrekt mengde en opererer med. Dette kunne gjøres ved å endre lasten, men ville vært mye mer tungvint. I tillegg gjør denne komponenten forandringen i etterspørselen lettere å oppfatte for brukeren.

Dette innebærer at den nyttiggjorte energien, som blir definert eksplisitt i lastnoden, ikke endres, men at det legges til et konstantledd som legges til den tilførte energien fra resten av systemet. Hvis sluttbruker investerer i en slik komponent, vil mengden levert energi dermed reduseres. Etterspørselen etter nyttiggjort energi i lastnodene vil være uendret og dekkes av tilført energi fra kildene samt den gratis energien som kommer fra det energireducerende tiltaket. Kostnadene av energiforbruket vil reduseres som følge av at de er regnet ut av den leverte energien i kildene. Dermed vil reduserte nettap også komme med her.

Etterisoleringskomponenten er en av de to komponentene, laget for å simulere tiltak, som reduserer etterspørselen etter nyttiggjort. Den andre er investeringer i nye vinduer. Det er ikke lagt inn mer en to komponenter som flytter etterspørselskurven.

Å legge til flere tiltak av denne typen vil være relativt enkelt, da utviklingen av en ”mal” allerede er gjort. Nedenfor er det vist hvordan en endring i etterspørselkurven kan uttrykkes ved hjelp av tilbudskurven. Det er her sett på tiltak som gir lik nytte for redusert forbruk. Energieffektiviteten er med andre ord øket.

6.6 Tiltak som gir lik nytte



Figur 6-8 viser hvordan tiltak som gir lik nytte kan kompenseres for med tilbudskurven

Anta at etterspørselen er redusert som følge av etterisolering. Behovet for nyttiggjort energi er dermed redusert hos forbrukeren selv om behovene er de samme som før. Et eksempel på dette kan være ønsket innetemperatur. Nyttien av forbruket kan dermed antas å være lik. De opprinnelige systemkostnadene er gitt ved arealet $A+B+C+D+E+F$.

Sammenlignet med situasjonen før isoleringen er den totale samfunnsøkonomiske gevinsten ved tiltaket gitt ved arealet $D+F$.

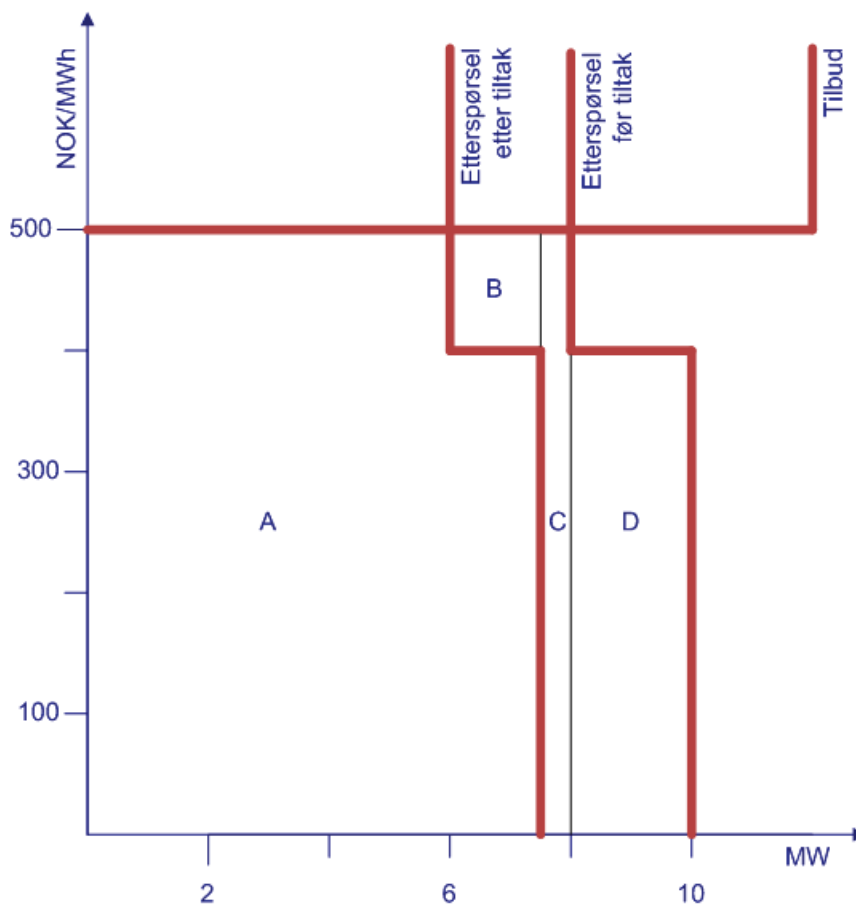
Arealet av F er identisk med arealet av C siden de to trekantene $C+E$ og $E+F$ er identiske.

Arealet A er identisk med D+C og dermed også D+F. Ut i fra dette kan en se at et skifte nedover i etterspørselskurven er identisk med et skifte i tilbudskurven. Det går altså frem at å flytte y-aksen mot høyre eller etterspørselskurven mot venstre er likeverdige. I betraktningene som er gjort her er det tatt utgangspunkt i et arbeidsnotat Increased energy efficiency (Doorman 2008).

7 Testing av de nye modulene

7.1 Tiltak som multipliserer den tilførte energien med en faktor

For tiltak som medfører at den nyttiggjorte energien ikke reduseres med en konstant, men en faktor vil dette føre til at enhetsprisen for økt produksjon blir lavere enn enhetsprisen for redusert forbruk. En har et negativt skifte i etterspørselskurven som er proporsjonalt med den mengden som forbrukes. Dette impliserer at en får en forbruksøkning. Det er her laget et eksempel for å vise hvordan eTransport behandler et slikt tiltak.



Figur 7-1 Systemkostnadene før og etter reduksjon i forbruket

Det er her antatt at en forbedret produksjonsmetode benyttes og at dette effektiviserer driften. Gevinsten av tiltaket eller reduksjonen av systemkostnadene blir dermed arealet

mellom de to etterspørselskurvene og tilbudskurven, B+C+D. Denne reduksjonen av systemkostnadene tilsvarer 1200NOK/h. Dette vil si at forbruket er redusert med 2.5MWh for prisintervallet fra 0 til 400 NOK/MWh og med 2MWh for prisintervallet fra 400 til 500 NOK/MWh. Dette viser seg å ikke bli riktig fordi forbruket har økt. Dette har skjedd som følge av at kostnadene ved økt produksjon er mindre enn kostnadene ved redusert forbruk.

Kilden leverer før tiltaket 8 MWh. Etter tiltaket er gjort vil dette tilsvare 6 MWh tilført og 2 MWh med ”gratis” energi. Den leverte energien fra kilden økes med 33,3 %, og enhetsprisen for økt produksjon er dermed 375NOK/MWh. Enhetsprisen sett fra lasten er imidlertid på 400 NOK/MWh, da denne bare ser en reduksjon i pris på 25 %. Dette tilsier at forbruket vil øke til det oppstår en ny likevekt. Dette inntreffer ved en tilført energi på 7,5 MWh, der mengden gratis energi er økt til 2.5 MWh. Dette medfører at systemkostnadene bare reduseres med areal C+D. Areal B blir en del av produksjonskostnadene. Dermed vil reduksjonene i systemkostnadene bli på 1050 NOK/h. Kilden ser en etterspørsel på 7,5 MWh, og produksjonskostnadene blir arealet A+B. Kostnadene ved redusert forbruk blir dermed null. Før tiltaket besto produksjonskostnadene av arealet A+B+C. Kostnaden ved ikke dekket etterspørsel var da representert ved areal D. Modellen finner altså først det optimale kvantum deretter regnes systemkostnadene ut.

| Reelle systemkostnader | | | | | |
|------------------------|------------|---------|---------|---------|---------------|
| | Produksjon | | Forbruk | | Systemkostnad |
| | Kvantum | Kostnad | Kvantum | Kostnad | |
| Før | 8 | 4000 | 8 | 800 | 4800 |
| Etter | 7,5 | 3750 | 10 | 0 | 3750 |
| Gevinst | | | | | 1050 |

Tabell 3 viser de reelle systemkostnadene før og etter et effektiviseringstiltak

Resultat som her er regnet ut for hånd stemmer overens med de tallene som eTransport gir ut.

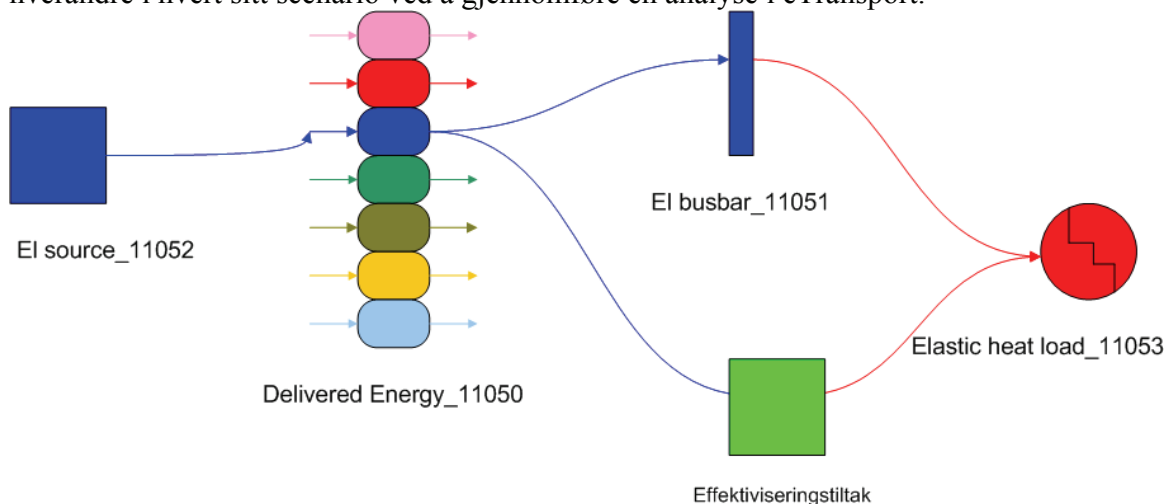
7.2 Eksempel på utsettelse av investering med fleksibel lastnode

For å teste og illustrere hvordan de nye modulene virker er det her laget et enkelt eksempel som i tillegg til å simuleres i eTransport, regnes ut for hånd. Her vurderes det hvordan en investering, som er med å øke den langsiktig fleksibiliteten, kan utsettes som følge av en elastisk etterspørselsnode.

7.2.1 Forutsetninger for analysen

I denne analysen ses det kun på ett investeringsalternativ, et tiltak med multipliserende faktor. Den andre muligheten er ”business as usual”. Det betyr at hele varmebehovet dekkes av elektrisitet. Dette er antatt å være den mest sannsynlige utviklingen og er derfor satt som benchmark som investeringsalternativet skal sammenlignes med.

I tillegg ses det på to ulike scenarier, ett der lasten er stiv og ett der lastnoden inneholder et elastisk lastelement. De to mulighetene for å dekke lasten blir vurdert opp mot hverandre i hvert sitt scenario ved å gjennomføre en analyse i eTransport.



Figur 7-2 Oppsettet av energisystemet slik det er gjort i eTransport

Det er valgt å bruke 2010 som referansetidspunkt for en analyseperiode på 15 år. Kalkulasjonsrenten er satt til 0 for å gjøre regneoperasjonen enklest mulig.

Kostnadselementene består av en investeringskostnad og driftskostnadene, som deles inn i variable og faste. De variable kostnadene regnes ut i driftmodulen. Dette er også gjort for hånd for å se om resultatene stemmer overens. I dette eksempelet er det ingen faste kostnader tilknyttet investeringen. Alle kostnader er verdsatt i kroner, og resultatet søker å gi den rimeligste måten å dekke energibehovet for varmelasten. Kraftprisen er satt til 300 NOK/MWh og stiger så med 30NOK/MWh for hver periode for å skape et incentiv til investering. En gjennomføring av tiltaket øker den tilførte energien med 20 % som følge av den gratis energien denne modulen tilfører. Virkningen av reduserte nettap er

ikke tatt med. Dette ville kommet med hvis det var lagt inn tap i overføringen, i og med at den leverte energien fra kilden reduseres.

Når analyseperioden tar slutt, vil anlegget ha en restverdi, gitt at den fysiske levetiden er lengre enn analyseperioden. Levetiden er her satt til 15 år som dermed sammenfaller med analyseperioden og den økonomiske levetiden. Dette er gjort av den enkle grunn at det gir enkle tall å regne på, og har ingen rot i virkeligheten. I eTransport blir restverdien av investeringen trukket fra ved analyseperiodens slutt. Restverdien neddiskonteres lineært over investeringens fysiske levetid og kommer dermed med i kostnadsanalysen. Dette skjer her for begge scenariene.

Investering i første periode

$$K_{\text{invest reelle}} = 7\text{MNOK} - 7\text{MNOK} * (1 - 15/15) = 6.6\text{MNOK}$$

Investering i andre periode

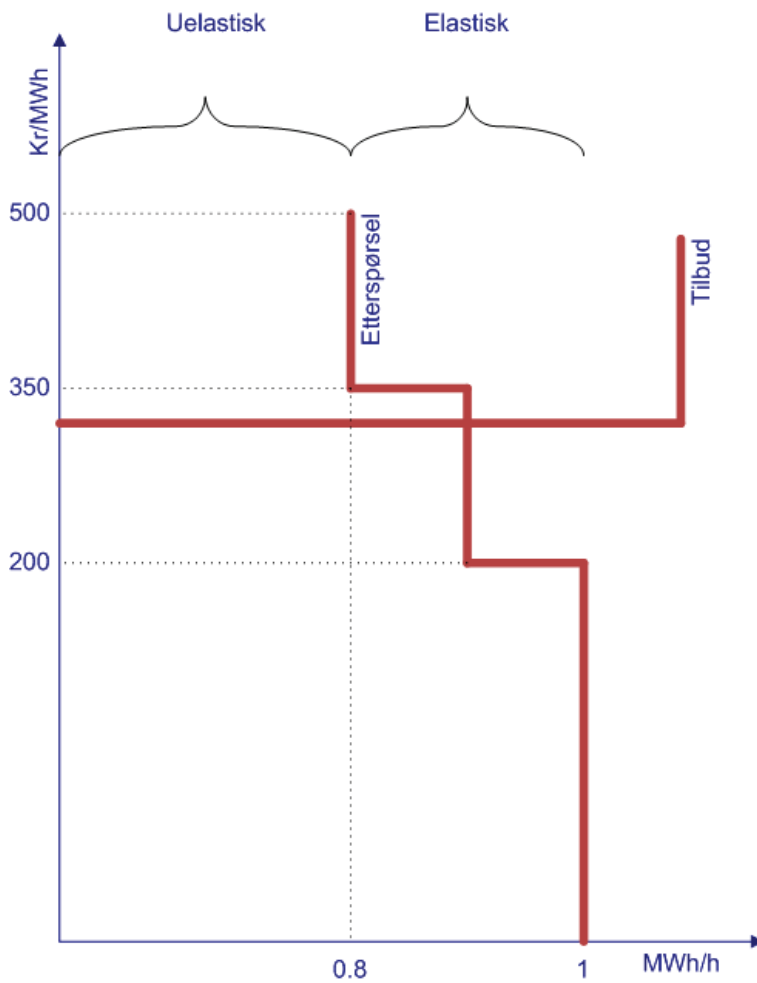
$$K_{\text{invest reelle}} = 7\text{MNOK} - 7\text{MNOK} * (1 - 10/15) = 4.2\text{MNOK}$$

Investering i tredje periode

$$K_{\text{invest reelle}} = 7\text{MNOK} - 7\text{MNOK} * (1 - 5/15) = 2.2\text{MNOK}$$

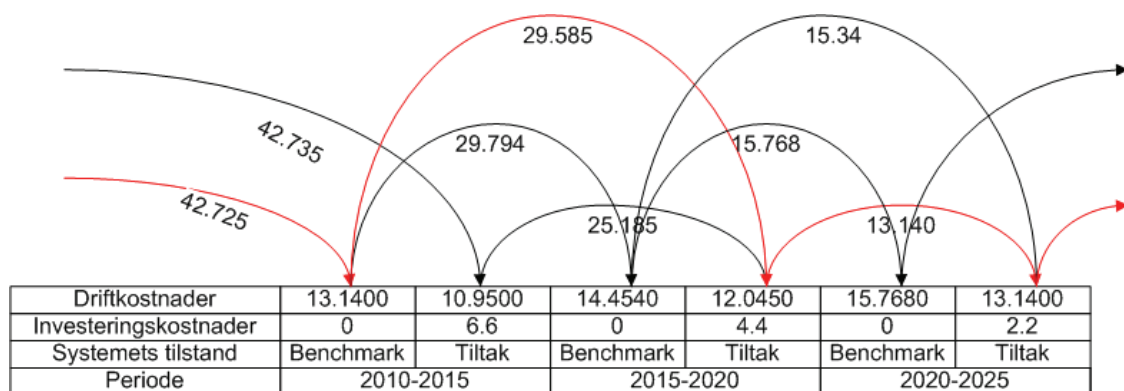
For scenariet med stiv last dekkes den nyttiggjorte etterspørselen uansett. Det vil si at den mottar 1MW kontinuerlig. For den elastiske etterspørselsnoden er kostnadene ved redusert forbruk av nyttiggjort energi, inkludert i objektfunksjonen.

Parametrene, lagt inn i den elastiske etterspørselsnoden, er vist grafisk. Det elastiske prisintervallet ligger mellom 200 og 500 kr/MWh og lasten mellom 0.8 og 1 MW. Det er bare benyttet to trinn da dette gjør det enklere å gjennomføre regningen for hånd.



Figur 7-3 Etterspørselskurven som er lagt inn for den elastiske scenariet

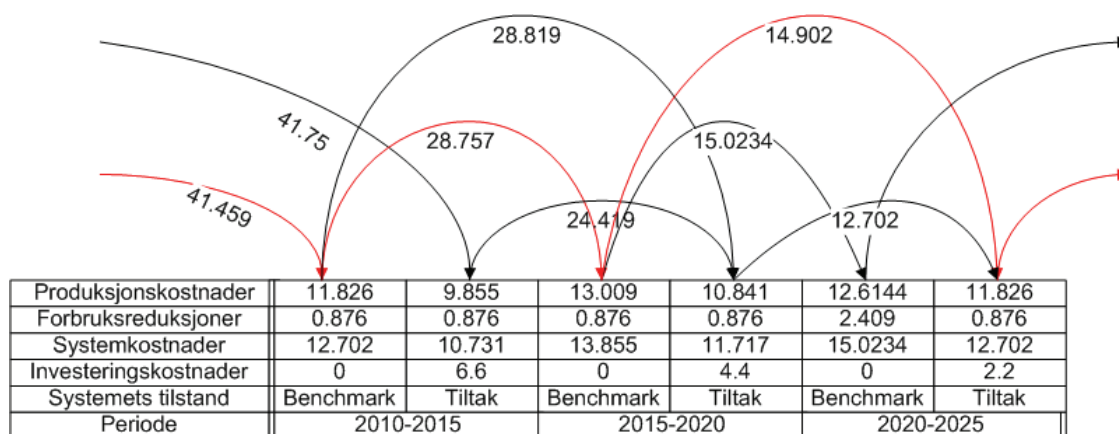
De samlede driftskostnadene for hver periode er regnet ut. Utregningen av driftskostnadene for første periode er her vist, for de andre periodene er tilsvarende gjort. $1\text{MW} \cdot 24\text{t/dag} \cdot 365\text{dager/år} \cdot 300\text{NOK/MWh} \cdot 5\text{år} = 13.14\text{MNOK}$



Figur 7-4 Løsning regnet ut for hånd med stiv etterspørselsnode (kostnadene er oppgitt i MNOK)

Det er her benyttet baklengs dynamisk programmering fra slutten av analyseperioden til starttilstanden. Minimum kostnad for energisystemet er 42.725MNOK og forekommer med investering i andre periode (illustrert med den røde pilen).

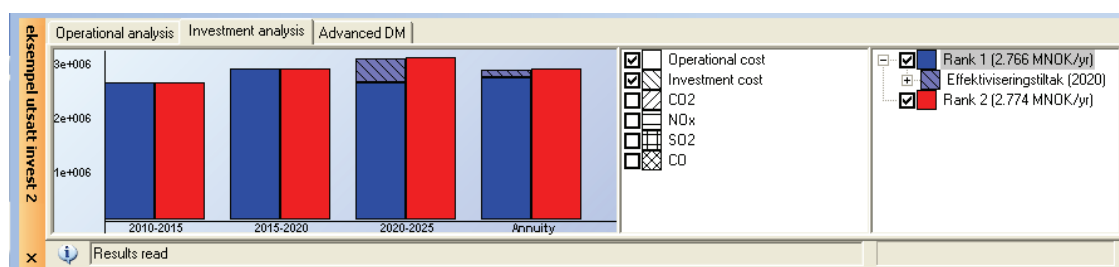
For den elastiske etterspørselsnoden ser resultat slik ut:



Figur 7-5 Løsning regnet ut for hånd for scenariet med elastisk etterspørselsnode (kostnadene er oppgitt i MNOK)

Prisen varierer mellom 300 og 360Kr/MWh. Dette medfører i tredje periode at kun 80 % av den ønskede lasten dekkes for benchmark alternativet. Da har forbruksreduksjonene en kostnad på 2.4 MNOK. For resten av periodene ligger forbruket på 90 %.

Med en elastisk etterspørselsnode finner investeringen sted i tredje periode, og kostnadene er redusert med 1.27 MNOK fra scenariet med den stive lasten. En ser her at det lønner seg å utsette investeringen. Dette var unngåelig siden etterspørselsnoden ble lagt inn med en elasticitet som bare medførte at forbruket kunne reduseres. Derfor ville de samlede systemkostnadene her bli like eller mindre.



Figur 7-6 Resultatvindu i eTransport som viser årlige kostnader for den elastiske scenariet.

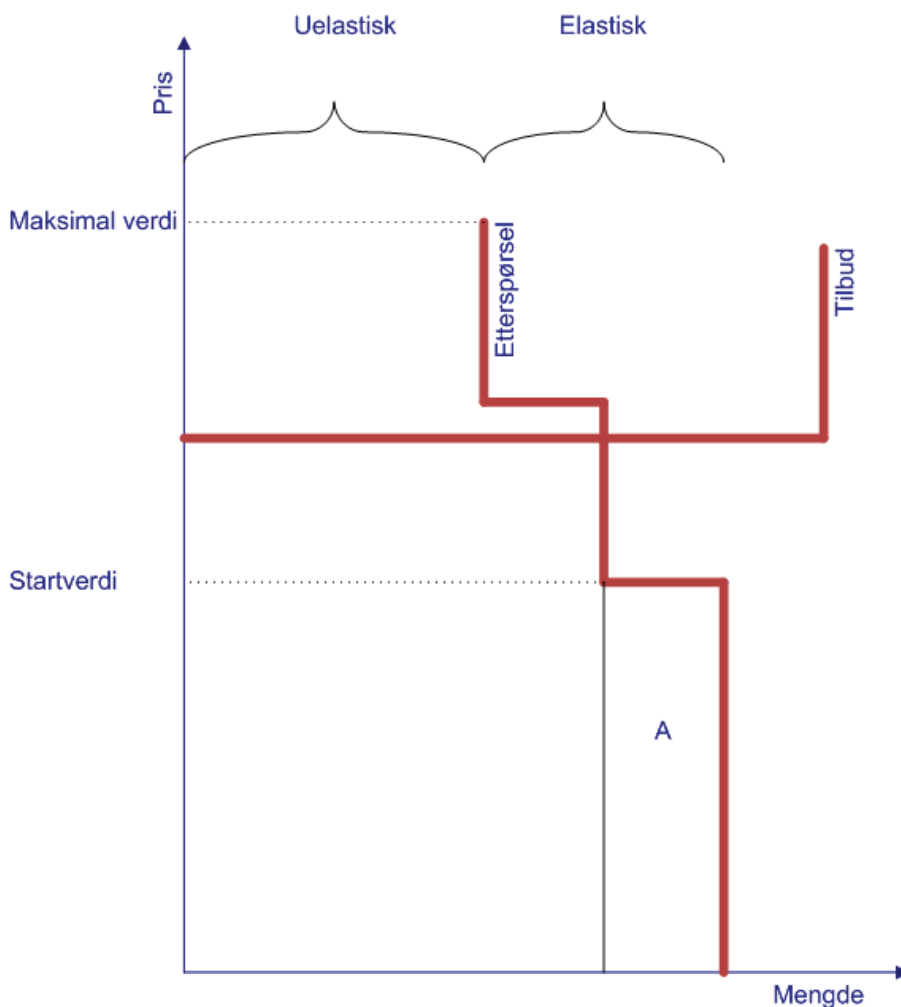
Figur 7-6 viser at det er samsvar mellom de resultatene som er regnet ut for hånd og det resultatet som finnes med eTransport. For det elastiske scenariet ser en at investeringene i effektiviseringstiltaket blir gjort i periode tre, og at dette alternativet koster 2.766 MNOK/år. I eksempelet regnet ut for hånd ble kostnadene

41.459MNOK/15år= 2.764 MNOK/år. Kostnadsforskjellen er antatt å komme fra ulik bruk av antallet desimaler.

8 Det første forsøket

Før avgjørelsen om å bruke minimering av systemkostnadene, ble en annen fremgangsmåte forsøkt benyttet. Denne fremgangsmåten ble antatt å ivareta alle endringer på en konsistent måte, noe som viste seg å være galt. Dette ble jeg ikke oppmerksom på før det var gått rundt 15 uker. Problemet mitt var at jeg ikke hadde god nok forståelse for den økonomisk teori. Nedenfor følger en kort innføring i hvordan jeg først implementerte den ”gale” måten å beregne kostnadene i forbindelse med utviklingen av den nye sluttbrukermodellen i eTransport.

I det første forsøket på å implementere en elastisk etterspørselnode ble det valgt å sette nytten av forbruket til arealet under den elastiske lasten som ikke ble dekket, representert ved areal A i Figur 8-1. Nyttverdien ble sett på som en ”inntekt” ved å sette et minus foran kostnadene i sub-objektfunksjonene i lastnodene.



Figur 8-1 Prinsipp-skisse for hvordan nytten av forbruket kan beregnes.

Nytten av det uelastiske forbruket ble satt til 0. Teoretisk vil det vært riktigere å verdsette denne delen av etterspørselen ved å definere et pristak. Dette er gjort i samkjøringsmodellen, der taket er satt til 300 øre/KWh. Logikken bak denne teorien var at nytten representerer et gode. Dette er et relativt begrep som representerer hvor mye vi verdsetter forbruket, som går med f. eks til en varm dusj. Å representere nytten av forbruket på denne måten ble gjort av praktiske hensyn da det grafiske grensesnittet rangerer de ulike investeringsalternativene etter kostnadene. Disse har i dag et positivt fortegn. Dette medfører at alternativer som inneholder elastiske laster, hvor nytten overstiger kostnadene, vil ende opp med negativt fortegn i resultatvinduet. Dette vil føre til rot i resultatfremvisningen, da begge typer laster kan inngå i en og samme case. Da testingen av lastmodulene skulle begynne kom det imidlertid frem at hvis det oppsto en økning i det uelastiske forbruket ville dette gi økte produksjonskostnader. Nytteverdien av denne forbruksøkning ville ikke fremkomme. Dette førte til at kostnadene over de ulike segmenter (sesonger) ikke ville bli tatt riktig hensyn til, når de ble lagt sammen over en investeringsperiode. Forandringer i etterspørselskurven må kunne sammenlignes på likt grunnlag for at modellen skal kunne fungere tilfredsstillende. Ut i fra denne modellering av nytten som var benyttet, ville nytten av forbruket være likt, gitt at prisen er den samme. Produksjonskostnadene ville derimot ha økt. Reduksjoner eller økninger som bare påvirket den elastiske delen av lasten ble behandlet korrekt, men med en gang det kom endringer i den uelastiske lasten skapte dette krøll i regnskapet.

9 Diskusjon

Ved å legge inn en elastisitet i lasten kan en gjøre en avveining mellom kostnadene av økt produksjon og kostnadene ved redusert forbruk. Forbruket kan dermed tilpasses til de ulike alternativene. Siden lastnodene skal kunne benyttes fra et lite boligområde til aggregerte lastnoder som søker å beskrive energibehovet for en hel landsdel, er utformingen av etterspørselskurven i stor grad overlatt til brukeren. Dette har ført til at de elastiske lastnodene er avhengig av mange innmatingsparametere. Dette er en svakhet med modelleringen, da brukeren ofte ikke sitter inne med inngående kunnskap til ulike sektors priselastisiteter og kanskje ikke har forutsetninger for å vurdere de parametrene som legges inn. Det bør derfor ved videre arbeid ses på muligheten for å redusere antallet innmatingsparametere og eventuelt legge in default verdier for ulike sektorer.

Alle komponentene i eTransport er forenklinger av virkeligheten. De fleste nettverkskomponentene som ligger inne er lineære og opererer med en konstant virkningsgrad, noe som fører til at driften av disse ikke kan optimaliseres. Dette har ført til at driftsmodulen i eTransport ofte beregner driftskostnadene for en spesifikk sammensetning av komponenter definert som et alternativ, istedenfor å foreta en optimalisering. Denne forenklingen er gjort på bakgrunn av at programmet benyttes til å simulere flere ulike energibærere og teknologier samtidig. Med det tidsperspektivet som eTransport har, vil energiplanlegging med denne detaljrikdommen heller ikke gi noen bedre resultater da det er alt for mange andre usikkerhetsmomenter. I tillegg vil beregningene ta lengre tid samtidig som dette vil stille større krav til brukeren. Modellen anses likevel for å være god nok til å vurdere investeringer på et tidlig tidspunkt og ut i fra dette bestemme hvilket alternativ det er verdt å undersøke nærmere. For å ta beslutninger om designen av energisystemet må en ta i bruk andre optimeringsverktøy. Det kan diskuteres om etterspørselastisiteten i dag innehar for mye usikkerhet til at kvaliteten på resultatene blir høynet ved innføringen av elastisitet i lastnodene, da det i dag er det vanskelig å si hvilken underliggende elastisitet som befinner seg i energimarkedet. Toveiskommunikasjon åpner for muligheten til å etablere en måledatabase som gjør det mulig å finne ut hvilke faktorer som påvirker energi og effektbruken i de ulike forbrukssektorene. Når dette datagrunnlaget kan legges inn i prognosene, vil det være lettere å utforme lastnodene på en tilfredsstillende måte. Denne kunnskapen kan benyttes for å utforme effektive virkemidler og til å hjelpe sluttbrukerne å gjøre optimale valg på grunnlag av presis dokumentasjon om nytteverdien av ulike sluttbrukertiltak. Ut i fra dette kan det sies at denne endringen kanskje ikke kommer til sin rett før det nødvendige datagrunnlaget er på plass. Det er naturlig å tro at en optimalisering av mengden nyttiggjort energi vil ha større utslag enn en optimalisering av de ulike tekniske komponentene som inngår i systemet.

Slik modellen nå fungerer vil en få en momentan tilpasning av forbruket time for time. På denne måten modelleres ikke tregheten i energisystemet som ofte forekommer ved varierende energipriser. Derfor kan det vurderes å legge inn en treghet i tilpasningen. Det kan imidlertid være vanskelig å anslå hvilke deler av forbruket som har en momentan tilpasning og hvilke deler av forbruket der tilpasningen avhenger av prisen over en lengre

periode. Å legge inn en slik treghet vil kanskje føre til at detaljgraden i programmet økes uten forbedring i resultatene.

Før måtte sensitivitetsanalyser gjennomføres ved å justere innmatingsparametrene av bruker. Med elastiske etterspørselsnoder ligger forholdene godt til rette for å gjennomføre sensitivitetsanalyser av forbruk og pris. Her burde det kanskje lages en funksjon som automatisk genererer sensitivitetsanalyser ut i fra det grunnlaget som en tilpasning av forbruket gir.

For hvert sluttbrukertiltak som legges til som investeringsalternativ (N), øker antallet ulike kombinasjoner med 2^N , så fremt ingen av alternativene utelukker andre. Ved å gi sluttbruker muligheten til å investere i ulike tiltak vil antallet kombinasjoner økes betraktelig. For et system med ti ulike lastnoder, der alle har muligheten for å investere i tre ulike sluttbrukertiltak hver, vil antallet kombinasjoner være over en milliard. Dette vil gi meget lang løsningsstid. Implementeringen av den mer avanserte sluttbruker modellen fører til lengre utregningstid. Det er vanskelig å vite om dette kommer til å by på problemer, da ingen store systemer har blitt testet. Det er ikke sett på alternative løsningsalgoritmer eller løsningsmetoder, da dette ligger utenfor oppgaven.

Testingen av de forskjellige komponentene viser at de økonomiske resultatene stemmer overens med samfunnsøkonomisk teori. Differansen mellom kostnadene for de ulike alternativene er lik endringene i det totale samfunnsøkonomiske overskuddet mellom dem. Investeringer i ny teknologi og skiftet mellom ulike energibærere vil ikke påvirke etterspørselen etter nyttiggjort energi, da denne ikke er avhengig av virkningsgraden. For effektiviseringstiltak vil derimot mengden av forbruket som vises i lastnodene være for høy, siden modellen kompenserer for slike tiltak ved hjelp av tilbudskurven istedenfor å redusere etterspørselen. Dette er en utfordring som bør løses før de nye modulene implementeres i programmet.

10 Konklusjon

Forandringene som er gjort i lastmodulene har ført til at lastprofilene som legges inn i de elastiske lastnodene, nå representerer nyttiggjort energi. Etterspørselen er gjort elastisk og kan nå ses på som den marginale nytten av forbruket. eTransport er dermed i stand til å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse der det foretas en avveining mellom nytten av forbruket og produksjonskostnadene. Dette gjøres ved at systemoptimaliseringen er satt opp som en kostnadsminimalisering, der forbruket kan reduseres til en angitt kostnad. Dette medfører at modellen har gått fra å finne en kostnadseffektiv til en samfunnsøkonomisk optimal tilpasning.

Det første forsøket på å implementere en avveining mellom nytten av forbruket og produksjonskostnadene endte opp med å ikke ivareta alle aspektene i optimaliseringen som ønskelig. Det ble antatt at en maksimering av nytten av det elastiske forbruket og en minimering av produksjonskostnadene ville gi ut den samfunnsøkonomiske optimale tilpasningen. Ved å verdsette nytten av kun det elastiske delen forbruket ble ikke forandringer i etterspørselskurven som oppstår over de forskjellige segmentene, tatt hensyn til på en korrekt måte. En økning i den uelastiske delen av forbruket ga da økte produksjonskostnader og ingen endringer i nytten av forbruket, så fremt prisen var den samme. Dermed måtte denne metoden forkastes.

Programmet er nå bygget opp slik at alle typer tiltak utenom prisavhengig energisparing, kompenseres for ved hjelp av tilbudskurven. Dermed forandres ikke etterspørselskurven i eTransport ved investeringer i ny teknologi, effektiviseringstiltak eller skifte mellom ulike energibærere. Testingen av de forskjellige komponentene viser at de økonomiske resultatene som genereres stemmer overens med samfunnsøkonomisk teori. Ved gjennomføring av effektiviseringstiltak vil derimot forbruket av nyttiggjort energi som kan leses av fra lastnodene være for høyt. Dette bør det gjøres noe med.

Referanser

- Bakken, B. H. (2004). "eTransport - integrated planning of energy distribution systems."
- Bakken, B. H., Skjelbred, H. I., and Wolfgang, O. (2007). "eTransport: Investment planning in energy supply systems with multiple energy carriers."
- Bakken, B. H., Wolfgang, O., Røystrand, J., and Skjelbred, H. I. (2006). "eTransport A novel tool for energy system planning."
- Doorman, G. (2008). "Arbeidsnotat: Increased energy efficiency."
- energi21, (2007). Fremtidens energisystemer[online]Tilgjengelig fra:
<http://www.energi21.no/wp-content/uploads/2008/02/5-fremtidens-energisystem.pdf>
- Feilberg, N. (2002). "USELOAD Version 6.5.2 User manual."
- FIN. (2005). "Veileder i samfunnsøkonomiske analyser."
- Fourer, R., Gay, D. M., and Kernighan, B. W. (2002). "AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming."
- Grinden, B., Feilberg, N., Wachenfeldt, B. J., and Wolfgang, O. (2007).
"Varmemarkedets utvikling og betydning for fleksibiliteten i energiforsyningen."
- OED, (1998). Energi- og kraftbalansen mot 2020[online]Tilgjengelig fra:
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11.html?id=141308>
- Pedersen, L., (2007). Load Modellinf of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems[online]Tilgjengelig fra:
<http://urn.ub.uu.se/resolve?urn=urn:nbn:no:ntnu:diva-1562>
- Pettersen, T. D., Myhre, L., and Wigenstad, T., (2005). Energimerking av boliger[online]Tilgjengelig fra:
<http://www.bygningsenergidirektivet.no/FileArchive/347/Rapport%20EPBD%20Energimerke%20boliger.pdf>
- SSB, (2000). Energistatistikk 2000[online]Tilgjengelig fra:
http://www.ssb.no/emner/10/08/10/nos_energi/nos_c703.pdf
- Thomasgaard, O. A., (2001). Sluttbrukertiltak for bedre effektbalanse[online]Tilgjengelig fra:
http://www.nve.no/modules/module_111/news_item_view.asp?iNewsId=1947&iCategoryId=863

Wachenfeldt, B. J., and Satori, I. (2007). "ePlan 2006 - Final report."

Wolfgang, O. (2006). "Analyse av bedriftsøkonomi i eTransport."

Vedlegg A. Kildekode for nye komponenter i eTransport

Kildekoden er skrevet i AMPL. Det er laget 5 nye komponenter. Her er bare tre av dem vist da kildekode for lastnodene og de investeringene som kan foretas i bygningskropp bygger på samme oppsett. Til hver komponent er det to filer, en modellfil og en "pre-fil. I "pre-filen" blir et sett av den aktuelle komponenten og et sett av inngangs og utgangsnoder til komponenten definert. I modellfilen blir parameter, variabler, objektfunksjon og restriksjoner definert. Setninger som begynner med # er kommentarer til kildekode som kommer under.

A.1 Elastisk varmelast

A.1.1 "Pre-fil" Elastisk varmelast

```
# set of elastic heat loads.
set Elastic_heat_loads default {};
#unity
param Elastic_heat_loads_unit{Elastic_heat_loads} symbolic default 'MW';
```

A.1.2 Modellfil for Elastisk varmelast

```
#check statement verifies that the El_load_step_unit is defined in the
universal file under point_unit.to avoid the use of
#different units.

check{ s in Elastic_heat_loads } :
    Elastic_heat_loads_unit[s] = Point_unit[s];

#Elastic heat markets is a subclass of elastic heat loads
set Elastic_heat_markets within Elastic_heat_loads default {};

#Parameters (input from user)
#takes in a whole data series for both the maximum desired load and the
inelastic part of the load.

param Elastic_heat_load_desired{l in Elastic_heat_loads,t in Time_steps}
default if t<= 24 then 0
        else Elastic_heat_load_desired[l,t-24];

param Elastic_heat_load_inelastic_part{l in Elastic_heat_loads,t in Time_steps}
default 0.80*Elastic_heat_load_desired[l,t];

#how many steps is there going to be in the demand curve for each load.
param Elastic_heat_load_n_steps{l in Elastic_heat_loads} default 2;

#gathers all the different loadsteps in a list.
set Elastic_heat_load_steps{l in Elastic_heat_loads} default
1..Elastic_heat_load_n_steps[l];

#the maximum price the consumer is willing to pay for the elastic loadpart
param Elastic_heat_load_wtp{l in Elastic_heat_loads} default 500;

#pick up level for what price the elastic heat load becomes elastic
param Elastic_heat_load_desired_upper_wtp{l in Elastic_heat_loads} default 200;

#Calculated parameters
```

```

#how much the price changes for each step in the price elastic part of the
demand curve
param Elastic_heat_load_price_leap{l in Elastic_heat_loads} =
(Elastic_heat_load_wtp[l]-
Elastic_heat_load_desired_upper_wtp[l])/Elastic_heat_load_n_steps[l];

#The price that the user pays for the load
param Elastic_heat_load_wtp_step{s in Elastic_heat_loads, l in
Elastic_heat_load_steps[l]}= Elastic_heat_load_wtp[l]-
Elastic_heat_load_price_leap[l]*s;

#How much the energy demand decreases for each step
param Elastic_heat_load_step_size{l in Elastic_heat_loads, t in Time_steps} =
(Elastic_heat_load_desired[l,t]-
Elastic_heat_load_inelastic_part[l,t])/Elastic_heat_load_n_steps[l];

#Constant parameter
#the value of lost load
param Elastic_heat_load_deficit_penalty default 100000;

#Variables
#how much of the inelastic part that is not covered
var elastic_heat_load_deficit{l in Elastic_heat_loads,t in Time_steps} >=0;

#the amount that maybe sold to the heat market
var elastic_heat_market_sold{l in Elastic_heat_markets, t in Time_steps} >=0
<=Elastic_heat_market_sale[l,t];

#How much energy that is used in each step
var elastic_heat_load{l in Elastic_heat_loads,s in Elastic_heat_load_steps[l],
t in Time_steps} >=0 <= Elastic_heat_load_step_size[l,t];

#objective
#the cost for consumer reduction, the energy not delivered and benefit from
energy sold to a heatmarket
subject to ELASTIC_HEAT_LOAD_objective:
objective["ELASTIC_HEAT_LOADS"] = sum {l in Elastic_heat_loads, s in
Elastic_heat_load_steps[l],t in Time_steps}
((Elastic_heat_load_step_size[l,t] -
elastic_heat_load[l,s,t])*Elastic_heat_load_wtp_step[l,s]
+Elastic_heat_load_deficit_penalty*elastic_heat_load_deficit[l,t]
-
if l in Elastic_heat_markets then Elastic_heat_market_price[l,t]*
elastic_heat_market_sold[l,t]);
#restrictions
#the loadflow into the heatload is the same as the one that is used
subject to elastic_heat_load_balance{ l in Elastic_heat_loads,t in Time_steps} :
sum{ (i,l) in Net2load } Connection_loss_factor[i,l]*load_flow[i,l,t] +
sum{ (i,l) in Supply2load } Connection_loss_factor[i,l]*local_flow[i,l,t] +
elastic_heat_load_deficit[l,t]=Elastic_heat_load_inelastic_part[l,t]+sum {s in
Elastic_heat_load_steps[l]} elastic_heat_load[l,s,t]
+sum{ (l,a) in Residential_heat_load_connect }
Energy_conversion_factor[Point_unit[a],Point_unit[l]]*
Residential_areas_heat_load[a,t]
+ if l in Elastic_heat_markets then elastic_heat_market_sold[l,t];
#variable
#the energy used by the heat load
var elastic_heat_load_useful_energy{l in Elastic_heat_loads,t in Time_steps}
=Elastic_heat_load_inelastic_part[l,t]+sum {s in
Elastic_heat_load_steps[l]}elastic_heat_load[l,s,t]-
elastic_heat_load_deficit[l,t];
#

```

A.2 Delivered energy node

A.2.1 "Pre-fil" Delivered energy node

```
#set of delivered energy components
set delivered_energy_nodes default {};

#t the sets of all the different energycarriers input points for one component
set delivered_energy_input_nodes_bio{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_dh{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_el{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_gas{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_oil{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_waste{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_input_nodes_hyd{delivered_energy_nodes} default {};

#the sets of all the different energycarriers output points for one component
set delivered_energy_output_nodes_bio{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_dh{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_el{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_gas{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_oil{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_waste{delivered_energy_nodes} default {};
set delivered_energy_output_nodes_hyd{delivered_energy_nodes} default {};

#set of all the energycarriers input and output points connected to delivered
energy components
set delivered_energy_points:= {delivered_energy_nodes union union{ p in
delivered_energy_nodes
delivered_energy_input_nodes_bio[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_bio[p]
union union{ p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_dh[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_dh[p] union union { p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_el[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_el[p]
union union{ p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_gas[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_gas[p] union union{ p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_oil[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_oil[p]
union union{ p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_waste[p] union union {p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_output_nodes_waste[p] union union{ p in delivered_energy_nodes}
delivered_energy_input_nodes_hyd[p]
union union {p in delivered_energy_nodes} delivered_energy_output_nodes_hyd[p]
}};
#unity
param delivered_energy_unit{ delivered_energy_nodes } symbolic default 'MW';
```

A.2.2 modellfil for delivered energy node

```
#check statement verifies that the delivered energy node is defined in the
universal file under point_unit.to avoid the use of
#different units
```

```
check {s in delivered_energy_nodes} :
delivered_energy_unit[s] = Point_unit[s];
```

```
#variables
```

```
#Amount of energy that enters into all the different input nodes
```

```
var delivered_energy_input_bio{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_dh{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_el{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_gas{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_oil{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_waste{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;
var delivered_energy_input_hyd{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;

# Amount of energy that enters into all the different input nodes
var delivered_energy_output_bio{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_dh{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_el{i in delivered_energy_nodes, t in Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_gas{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_oil{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_waste{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;
var delivered_energy_output_hyd{i in delivered_energy_nodes, t in
Time_steps}>=0;

#objective
#there is no cost attached to the use of this node
subject to delivered_energy_objective:
    objective ["DELIVERED_ENERGY"]=0;
#Restrictions
#energycarrier bio
#all the energy that comes into the bio node
subject to delivered_energy_bookkeeping_input_bio{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_bio[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_bio[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

#all the energy that leaves the bio node
subject to delivered_energy_bookkeeping_output_bio{n in delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_bio[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_bio[n,t]=
#To load
    sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
#To other components
    sum {(op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

#verifies the there is consistency between input and output
subject to delivered_energy_balance_bio{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_bio[n,t]=delivered_energy_output_bio[n,t];

#energycarrier dh

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_dh{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_dh[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_dh[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

subject to delivered_energy_bookkeeping_output_dh{n in delivered_energy_nodes,
```

```
op in delivered_energy_output_nodes_dh[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_dh[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum { (op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_dh{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_dh[n,t]=delivered_energy_output_dh[n,t];

#energycarrier electricity

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_el{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_el[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_el[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

subject to delivered_energy_bookkeeping_output_el{n in delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_el[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_el[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum { (op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_el{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_el[n,t]=delivered_energy_output_el[n,t];

#energycarrier gas

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_gas{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_gas[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_gas[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

subject to delivered_energy_bookkeeping_output_gas{n in delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_gas[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_gas[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum { (op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_gas{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_gas[n,t]=delivered_energy_output_gas[n,t];

#energycarrier oil

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_oil{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_oil[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_oil[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];
```

```
subject to delivered_energy_bookkeeping_output_oil{n in delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_oil[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_oil[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum {(op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_oil{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_oil[n,t]=delivered_energy_output_oil[n,t];

#energycarrier waste

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_waste{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_waste[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_waste[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

subject to delivered_energy_bookkeeping_output_waste{n in
delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_waste[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_waste[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum {(op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_waste{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:

    delivered_energy_input_waste[n,t]=delivered_energy_output_waste[n,t];

#energycarrier hyd

subject to delivered_energy_bookkeeping_input_hyd{n in delivered_energy_nodes,
ip in delivered_energy_input_nodes_hyd[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_input_hyd[n,t]=
#From supplies
    sum{ (s,ip) in Supply2net}
Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other net components
    sum{ (s,ip)in Net2net } Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];

subject to delivered_energy_bookkeeping_output_hyd{n in delivered_energy_nodes,
op in delivered_energy_output_nodes_hyd[n], t in Time_steps}:
    delivered_energy_output_hyd[n,t]=

        sum{ (op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +
        sum {(op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];

subject to delivered_energy_balance_hyd{n in delivered_energy_nodes,t in
Time_steps}:
    delivered_energy_input_hyd[n,t]=delivered_energy_output_hyd[n,t];
```

A.3 add newer insulation

A.3.1 "Pre-fil" add newer insulation

```
#set of insulation components
set add_newer_insulation default {};
#set of output points connected to one insulation component
set add_newer_insulation_output_points{add_newer_insulation} default {};
#set of input points connected to one insulation component
set add_newer_insulation_input_points{add_newer_insulation} default {};
#set of all the points connected to all insulation components
set add_newer_insulation_points := { add_newer_insulation union union{ p in
add_newer_insulation } add_newer_insulation_output_points[p]
union union{p in add_newer_insulation} add_newer_insulation_input_points[p]} ;
#unity
param add_newer_insulation_point_unit{ add_newer_insulation_points } symbolic
default 'MW';
```

A.3.2 Modellfil for add newer insulation

```
#check statement verifies that the add newer insulation unit is defined in the
universal file under point_unit to avoid the use of
#different units.
```

```
check {s in add_newer_insulation } :
add_newer_insulation_point_unit [s] = Point_unit[s];
```

```
#parameter(input from user)
#the efficiency of the action taken
param add_newer_insulation_efficiency{ p in add_newer_insulation} default 1.10;
```

```
#variables
var add_newer_insulation_input{ p in add_newer_insulation, t in Time_steps}>=0;
```

```
var add_newer_insulation_output{ p in add_newer_insulation, t in Time_steps}>=0;
```

```
#objective
#there is no cost attached to the use of this components
subject to add_newer_insulation_objective:
    objective ["ADD_NEWER_INSULATION"]=0;
```

```
#restrictions
#Energy input to component
```

```
subject to add_newer_insulation1 {p in add_newer_insulation,ip in
add_newer_insulation_input_points[p], t in Time_steps}:
add_newer_insulation_input[p,t] =
```

```
#from supplies
    sum { (s,ip) in Supply2net}
        Connection_loss_factor[s,ip]*supply_flow[s,ip,t]+
#from other network components
    sum { (s,ip) in Net2net}
        Connection_loss_factor[s,ip]*net2net_flow[s,ip,t];
```

```
#the output from the component p at the time t
subject to add_newer_insulation_outputt{p in add_newer_insulation, t in
Time_steps}:
    add_newer_insulation_output [p,t] = add_newer_insulation_efficiency[p] *
add_newer_insulation_input[p,t];
```

```
#Energy output from component
```



```
subject to add_newer_insulation_13 {p in add_newer_insulation, op in  
add_newer_insulation_output_points[p],t in Time_steps}:
```

```
add_newer_insulation_output[p,t] =  
#to load components  
    sum{(op,i) in Net2load} load_flow[op,i,t] +  
#to other network components  
    sum{(op,i) in Net2net} net2net_flow[op,i,t];
```

A.4 Universal file

```
#Birgers universal file  
#changes from the original one are commented  
  
#  
# Common model data  
param Infini default 1.0E20;  
  
    #parameters describing characteristics of gas  
param GAS_standcond_temp default 288.15;  
param GAS_standcond_pressure default 1.01325;  
param GAS_constant default 8314;  
  
set Week_type default { "NORMAL_WEEK" };  
set Day_type default { "NORMAL_DAY", "WEEKEND" };  
  
set Supply_types default  
    { "GAS", "HEAT", "EL", "WASTE", "WARM_WATER", "FUEL_GAS", "OIL"};  
  
set submodels := { "DISTRICT_HEATING", "WASTE_SUPPLY", "HEAT_LOAD",  
    "EL_SUPPLY", "OIL_SUPPLY", "GAS_SUPPLY", "EL_NET",  
    "EL_LOAD", "COMBINED_PLANT", "GAS_STORAGE",  
    "GAS_DIS_SUPPLY", "WARM_WATER_LOAD", "WARM_WATER_TANK",  
    "GAS_LOAD", "GAS_PIPE", "LNG_PLANT", "LNG_SHIP", "LNG_REGAS",  
    "DC_CONV", "BOILER", "CCO2_PLANT", "HEAT_PUMP", "HEAT_SUPPLY",  
  
    "CHP_PLANT", "HYD_MARKET", "HYD_PIPE", "HYD_ELEC", "HYD_REFORM", "HYD_MOTOR",  
    "HYD_BULK", "HYD_FUELCELL", "BIO_BULK", "BIO_MARKET", "BIO_SUPPLY",  
"GAS_NET",  
    "NEWGAS_PIPE", "GAS_COMPRESSOR", "GAS_VALVE", "GENERAL_STORAGE",  
"DELIVERED_ENERGY", "WINDOW",  
    "ELASTIC_HEAT_LOADS", "ADD_NEWER_INSULATION",  
"EL_STEP_LOAD", "ELASTIC_EL_SUPPLY"  
};  
  
#This new submodels are added "DELIVERED_ENERGY", "WINDOW", "ELASTIC_HEAT_LOADS",  
"ADD_NEWER_INSULATION", "EL_STEP_LOAD", "ELASTIC_EL_SUPPLY"  
  
set Network_nodes default { DH_Exchange_points union EL_busbars union  
    CP_points union Gas_storages union  
    Gas_harbours union Warm_Water_points union Gas_points  
    union LNG_points union LGS_points union LRG_points  
    union DC_points union Boiler_points union CCO2_points  
    union HP_points union CHP_points  
    union Hyd_pipes union HE_points union HR_points union  
  
Hyd_points  
    union Hyd_bulks union Hyd_fcpoints union Bio_bulks union  
GAS_pipes  
    union GAS_nodes union GAS_compressor_gaspoints union  
Valve_points  
    union GAS_compressors union Valves union General_storages  
union delivered_energy_points  
    union Window_points union add_newer_insulation_points  
};
```

```
#set off all nodes in network components. Added delivered_energy_points,
window_points, add_newer_insulation_points

# Modelled emissions and submodels where components emit
set emissions default { "CO2", "NOx", "SO2", "CO" };
set em_submodels default { "COMBINED_PLANT", "GAS_DIS_SUPPLY", "CCO2_PLANT",
"BOILER", "CHP_PLANT" };

param n_time_step;
#
#In hours;
param Time_step_len default 1;
# Default time unit is hour, i.e. there is 24 time units a day.
param Time_units_a_day := 24;
set Time_steps := 1 .. n_time_step ;

#what is this period
param Analysis_week_no default 1;
param Analysis_week_type symbolic in Week_type default "NORMAL_WEEK" ;
param Analysis_day_type symbolic in Day_type default "NORMAL_DAY" ;
param Analysis_start_hour in 1..24 default 1;

param week_day_type{d in 1..7} symbolic in Day_type
      default if d <=5 then "NORMAL_DAY"
      else "WEEKEND";

param ore_kWh2NOK_MWh := 10.;
#
#      Energi maales i kWh
#      Summer maales i 1000 NOK
#      Effekt maales i MW
#      Gass maales i m3
#      Olje maales i kg
#
param kJ2kWh := 1/3600;
param kWh2MWh := 1/1000;
#kJ/kg
param Standard_Oil_equivalent := 41868;
#kJ/kg
param Standard_Coal_equivalent := 29308;
#kJ/m3 at 1 atm and 288,25 Kelvin
param Standard_Gas_equivalent := 40300;
#
#kWh/kg
param Oil_powerplant_conv := Standard_Oil_equivalent*kJ2kWh;
#kWh/m3
param Gas_powerplant_conv := Standard_Gas_equivalent*kJ2kWh;
#kWh/m3
param Coal_powerplant_conv := Standard_Coal_equivalent*kJ2kWh;

set Energy_unit{s in Supply_types } default
  if s = 'EL' then {"KWH", "MWH", "MW"}
  else if s = 'GAS' then {"M3_GAS", "KWH"}
  else if s = 'HEAT' then {"KWH", "MW", "KJ"}
  else if s = 'WASTE' then {"KWH", "MWH", "MW"}
  else if s = 'WARM_WATER' then {"KWH", "MWH", "MW"}
  else if s = 'FUEL_GAS' then {"KWH", "MWH", "MW"}
  else {}
;

# Set of valid units for different energy types. Should be defined elsewhere.

set All_units := union{ s in Supply_types } Energy_unit[s];
set Energy_conversions := { All_units, All_units };

param Energy_conversion_factor{ (u1,u2) in Energy_conversions } :=
  if u1 <> "KJ" and u2 <> "KJ" then
    Energy_conversion_factor[u1,"KJ"]*
    Energy_conversion_factor["KJ",u2]
```

```

else if u1 <> "KJ" and u2 = "KJ" then
  1/Energy_conversion_factor[u2,u1]
else if u1 = "KJ" and u2 = "KJ" then
  1
else if u1 = "KJ" and u2 = "KWH" then
  kJ2kwh
else if u1 = "KJ" and u2 = "KW" then
  kJ2kwh/Time_step_len
else if u1 = "KJ" and u2 = "MWH" then
  kJ2kwh/1000
else if u1 = "KJ" and u2 = "MW" then
  (kJ2kwh/Time_step_len)/1000
else if u1 = "KJ" and u2 = "M3_GAS" then
  1/Standard_Gas_equivalent
;
#
#Exterernal conditions
param Outdoor_temp { Time_steps } default 0;

#set Load_point_lists{ Load_types } default {};
#set Load_points := union{ 1 in Load_types } Load_point_lists[1];

set Load_point_lists{ s in Supply_types } :=
  if s = 'WARM_WATER' then Warm_water_loads
  else if s = 'HEAT' then Heat_loads union Elastic_heat_loads
  else if s = 'EL' then EL_loads union EL_loads_step
  else if s = 'GAS' then Gas_loads
  else if s = 'HYDROGEN' then Hyd_markets
  else if s = 'BIO' then Bio_markets
  else {}
;
#Set of nodes in all load components. Added Elastic_heat_loads and
EL_loads_step
set Load_points := union{ 1 in Supply_types } Load_point_lists[1];

set Supply_point_lists{s in Supply_types } :=
  if s = 'EL' then EL_supplies union Elastic_el_supplies
  else if s = 'GAS' then Gas_supplies
  else if s = 'OIL' then Oil_supplies
  else if s = 'WASTE' then Waste_supplies
  else if s = 'HEAT' then Heat_supplies
  else if s = 'BIO' then Bio_supplies
  else {}
;
#set of nodes in all supply components. Added Elastic_el_supplies.
set Supply_points := union{ s in Supply_types } Supply_point_lists[s];

set Supply2net within { Supply_points, Network_nodes } default {};
set Net2load within { Network_nodes, Load_points } default {};
set Supply2load within { Supply_points, Load_points } default {};
set Net2net within { Network_nodes, Network_nodes } default {};

set All2all := Supply2net union Net2load union Net2net union Supply2load;

set All_points := Supply_points union Load_points union Network_nodes
  union Residential_areas union Warm_water_points;

param Point_unit{ p in All_points} symbolic within All_units default
  if p in Residential_areas then "KWH"
  else if p in EL_loads then EL_load_unit[p]
  else if p in Heat_loads then Heat_load_unit[p]
  else if p in EL_supplies then EL_supply_unit[p]
  else if p in EL_busbars then EL_net_unit[p]
  else if p in CP_points then CP_point_unit[p]
  else if p in Gas_supplies then Gas_supply_unit[p]
  else if p in Gas_storages then Gas_storage_unit[p]
  else if p in Gas_harbours then Gas_harbour_unit[p]
  else if p in Waste_supplies then Waste_supply_unit[p]
  else if p in DH_Exchange_points then DH_Exchange_point_unit[p]
  else if p in warm_water_loads then warm_water_load_unit[p]

```

```

else if p in Warm_water_points then Warm_water_unit[p]
else if p in Gas_points then Gas_pipe_unit[p]
else if p in LNG_points then LNG_point_unit[p]
else if p in LRG_points then LRG_point_unit[p]
else if p in LGS_points then LGS_point_unit[p]
else if p in Gas_loads then Gas_load_unit[p]
else if p in DC_points then DC_point_unit[p]
else if p in Heat_supplies then Heat_supply_unit[p]
else if p in GAS_nodes then GAS_net_unit[p]
else if p in GAS_pipes then GAS_pipe_unit[p]
else if p in GAS_compressor_gaspoints then "M3_GAS"
else if p in Valve_points then Valves_unit[p]
else if p in General_storages then General_storage_unit[p]
else if p in Elastic_heat_loads then Elastic_heat_loads_unit[p]
else if p in El_loads_step then El_load_step_unit[p]
else if p in Elastic_el_supplies then Elastic_el_supply_unit[p]
else "MW";

```

```

#The different nodes has to get the right unit. Added units for
Elastic_heat_loads,

```

```

#El_loads_step and Elastic_el_supplies all in KWH
#param Unit_conversion_factor{ (i,j) in All2all } :=
param Connection_loss_factor{ (i,j) in (All2all) } :=
Energy_conversion_factor[Point_unit[i],Point_unit[j]];

```

```

# Co
param Max_con_flow{ All2all } default Infini;
param Min_con_flow{ All2all } default 0;

```

```

var supply_flow{ (i,j) in Supply2net, Time_steps } >= Min_con_flow[i,j],
<= Max_con_flow[i,j];
var load_flow{ (i,j) in Net2load, Time_steps } >= Min_con_flow[i,j],
<= Max_con_flow[i,j];
var local_flow{ (i,j) in Supply2load, Time_steps } >= Min_con_flow[i,j],
<= Max_con_flow[i,j];
var net2net_flow{ (i,j) in Net2net, Time_steps } >= Min_con_flow[i,j],
<= Max_con_flow[i,j];

```

```

# emissions in submodels
var emit{ i in em_submodels, e in emissions } >= 0
;

```

```

# total emissions in kg
var emit_total{ e in emissions } >= 0
;

```

```

var objective{ submodels };

```

```

# A testvariable for multicriterium model
var noise {submodels} >= 0;

```

```

minimize cost:
sum { m in submodels } objective[m];

```

```

subject to total_emissions { e in emissions } :
emit_total[e] = sum { i in em_submodels} emit[i,e]
;

```

```

var GAS_node_pressure{i in GAS_nodes, t in Time_steps}
>=Min_pressure[i],
<=Max_pressure[i];

```