



Strategisk energiplanlægning

ADAPT-energisystemanalyse

ADAPT: ANALYSEVÆRKTØJ FOR ET
SAMFUNDSØKONOMISK EFFEKTIVT ENERGISYSTEM

STATUSNOTAT

December 2014

Indledning/sammenfatning

Energinet.dk's beregningsværktøj, ADAPT, har til formål, at belyse konsekvenser af rammebetingelser samt konsekvenser af en række forskellige valg frem mod 2050 for det danske energisystem inkl. transportsektoren. Konsekvenserne opgøres i værktøjet for energisystemets enkelte produktionsteknologier og forbrugstyper og sammenfattes i en vurdering af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger for det samlede system.

Værktøjet anvendes ved at sammenholde samlede samfundsøkonomiske nettoomkostninger fra beregninger med forskellige rammebetingelser eller ændringer/udbygninger af energisystemet. Et eksempel blandt mange på mulig anvendelse er udbygning af energisystemet med havmøller. Teknologidata og forventningerne til elprisen peger på, at havmøller isoleret set er en god investering i 2035. Til vurdering af den optimale havmøllekapacitet er der imidlertid behov for værktøjets beregning af de samlede samfundsøkonomiske nettoomkostninger ved forskellige kapaciteter, idet elprisen, forbruget og øvrig produktion er påvirket af havmøllekapaciteten.

På samme måde anvendes værktøjet til vurdering af samfundsøkonomisk mest effektive kapaciteter af en række forbrugs- og produktionsteknologier såsom varmepumper, elbiler, vindkraft, solceller, solvarme, korttids-varmelagre og kraftvarme. Da værktøjet omfatter hele energisystemet inkl. transportsektoren, er det desuden muligt at vurdere den mest effektive anvendelse af det danske biomassepotentiale og som konsekvens heraf produktionskapacitet for VE-gas og herunder opgradering af biogas ved rensning for CO₂ eller metanisering. Også den mest effektive udbygning af nye el-forbindelser til udlandet kan vurderes med værktøjet.

Endelig kan nævnes, at værktøjet er blevet anvendt til vurdering af konsekvenser af forskellige rammebetingelser, herunder specielt forskellige brændsels- og CO₂-priser samt i hvilken takt omstillingen til vedvarende energi i vore nabolande kan forventes at ske.

1. Rammebetingelser

Beregninger med værktøjet tager udgangspunkt i en række rammebetingelser, der overordnet fastlægger de samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger. Rammebetingelsernes konsekvenser for energisystemet vurderes desuden ved følsomhedsanalyser.

Rammebetingelserne omfatter:

- Fastlagte politiske mål
- Udvikling i nabolande
- Brændsels- og CO₂-priser
- Teknologidata

I nedenstående er rammebetingelsernes forskellige dele kort omtalt.

Fastlagte politiske mål

Det brede politiske mål om uafhængighed af fossile brændsler i 2050 er en væsentlig rammebetingelse for modellen. For 2050 er der derfor særligt fokus på vurdering af den optimale fordeling af de begrænsede danske biomasseressourcer.

I henhold til regeringsgrundlaget er regeringens mål, at produktionen af el og varme skal være uafhængig af fossile brændsler allerede i 2035. For 2030 er det desuden regeringens mål, at oliefyr skal være udfaset samt at kul skal være udfaset på de centrale kraftværker. Disse mål er lagt ind i den nuværende opstilling af værktøjet som en valgmulighed, så betydningen af målene kan sammenholdes med alternativer.

Alle tiltag i vedtagne energiforlig og love er desuden indarbejdet i modellen.

Udvikling i nabolande

Input til ADAPT er opstillet, så der kan regnes på scenarier med forskellige hastigheder af omstilling til vedvarende energi i vore nabolande. Modellen omfatter scenarierne "Moderat", "Høj" og "Ekstra høj" omstillingshastighed, hvor høj omstillingshastighed anvendes som referencesituation.

Omstillingshastigheden giver sig udtryk i ændret valg af teknologi og har betydning for brændsels- og CO₂-priser som beskrevet nedenfor og dermed også for elpriserne i nabolandene. ADAPT baserer sine opgørelser for kraftvarmesektoren på simuleringer med SIVAEL-modellen, der på timebasis beregner fordelingen af el og fjernvarme på de forskellige forbrugs- og produktionsenheder samt, hvad angår el, også på udlandsforbindelser.

SIVAEL-modellen omfatter Danmark og gør brug af randbetingelser mod nabolande i form af elpriser, der varierer time for time. Disse randbetingelser er blevet beregnet for hver af ovennævnte omstillingshastigheder med en selvstændig model (BID), der omfatter et stort antal lande omkring Danmark og tager hensyn til landenes særlige forhold og udvikling.

Brændsels- og CO₂-priser

IEA udarbejder årligt prognoser for brændsels- og CO₂-priser. Prognoserne omfatter fossile brændsler og rækker frem til 2035. Til brug i ADAPT suppleres IEA's prisprognoser med prognoser for priser på biomasse, der er udarbejdet af EA Energianalyse og DTU. For perioden fra 2035 til 2050 er i værktøjet anvendt en ekstrapolering af prisudviklingen.

Hastigheden af omstillingen giver sig udtryk i forskellige brændsels- og CO₂-priser såvel i nabolandene som i Danmark. En oversigt over datagrundlaget for scenarierne fremgår af Tabel 1.

Omstillingshastighed	Moderat	Høj (reference)	Ekstra høj
Brændselspriser, fossile brændsler og CO ₂ -pris	IEA: Current Policies	IEA: New Policies	IEA: 450 PPM
Brændselspriser, biomasse	EA/DTU: Low demand	EA/DTU: Medium demand	EA/DTU: High demand

Tabel 1 Anvendte brændselspriser. Ved "IEA" henvises til IEA's World Energy Outlook 2012, og ved EA/DTU henvises til EA Energianalyse og DTU's rapport, "Analysis of biomass prices", 2013. Da IEA's fremskrivninger kun går til 2035, fremskrives priserne anvendt herfra til 2050 ved ekstrapolering af udviklingen 2030-2035.

Ved moderat omstillingshastighed er priserne på fossile brændsler relativt høje, mens priserne på biomasse og CO₂-kvoter er forholdsvis lave. Ved ekstra høj omstillingshastighed gør det modsatte forhold sig gældende, det vil sige relativt høje biomasse- og CO₂-priser, mens priserne på fossile brændsler er forholdsvis lave.

Teknologidata

Investeringsomkostninger, drift- og vedligeholdelsesomkostninger, virkningsgrader og levetider er hentet fra Teknologikataloget – 2012 og er suppleret med den seneste viden fra 2013 og 2014 vedrørende havmøller, solceller og opgradering af biogas. Teknologikataloget – 2012 og de nye data er udarbejdet/fastlagt i et samarbejde mellem Energistyrelsen og Energinet.dk.

2. Produktionsteknologier og forbrugstyper

Værktøjet omfatter alle nuværende teknologier samt en række teknologier, der forventes at blive samfundsøkonomisk konkurrencedygtige inden 2050. En oversigt over teknologierne fremgår af Tabel 2.

For hver af disse teknologier beregnes produktion/forbrug og der udregnes balancer for el, gas, fjernvarme og biomasse inkl. affald. For hver teknologi er desuden opstillet et regnskab med opgørelse af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger som beskrevet i afsnit 3.

Sektor	Teknologi	Kategori
El	Vindkraft	Land- og havmøller
	Solceller	
	Bølgekraft	
	Termisk produktion (kondens)	Olie og gas
	Klassisk forbrug	
El og fjernvarme	Central kraftvarme	Kul, naturgas, VE-gas og biomasse
	Decentral kraftvarme	Naturgas, VE-gas, biomasse og affald
	Varmepumper	Centrale områder og decentrale områder
Fjernvarme	Kedler	Olie, naturgas, VE-gas og biomasse
	Fjernvarmeforbrug	
El, gas og fjernvarme	Elektrolyse	
	Biogas (VE-gas)	Med og uden opgradering samt med metanisering
Gas og fjernvarme	Forgasning	Produktion af VE-gas og biofuel
Varme	Individuel opvarmning	Olie, naturgas, el (varmepumper og el-varme) og biomasse
	Procesvarme	
El, gas og transport	Let vejtransport	
	Tung vejtransport	
	Bane	
	Skibstrafik	
	Flytransport	

Tabel 2 Oversigt over opdeling af produktionsteknologier og forbrugstyper ved beregningen af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger i ADAPT.

3. Samfundsøkonomiske nettoomkostninger

Den samfundsøkonomiske gevinst ved en given ændring af energisystemet beregnes som summen af konsumentoverskud, producentoverskud og flaskehals-

indtægter. Da der kun sker en sammenstilling af beregningssituationer, hvor slutforbruget har samme værdi for forbrugerne, er det alene slutforbrugernes omkostninger der medregnes til konsumentoverskuddet.

I ADAPT udregnes ændringen af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger ved en given ændring af energisystemet som ændringen af det samfundsøkonomiske overskud med modsat fortegn.

Årlige samfundsøkonomiske nettoomkostninger beregnes for hver teknologi og summeres til et samlet beløb. Vurderinger af energisystemets effektivitet baseres på de samlede nettoomkostninger.

Omkostningerne omfatter annuierede investeringsomkostninger for eksisterende og nye anlæg. Der anvendes en rente på 4 % i overensstemmelse med retningslinjerne for samfundsøkonomiske analyser. Beregningen af investeringsomkostningerne og teknologiernes drifts- og vedligeholdelsesomkostninger er baseret på kataloget af teknologidata som beskrevet i afsnit 1.

Energiomsætningen ved den enkelte teknologi beregnes fordelt på brændsler (se Tabel 2), så det er muligt at beregne brændsels- og CO₂-omkostningerne baseret på priserne i det aktuelle scenarie, jf. afsnit 1. Analogt med brændselsomkostningerne medregnes indtægter fra produktion af el, varme, VE-gas og biofuel.

Simuleringen af kraftvarmesystemet med SIVAEL resulterer blandt andet i elpriser på timebasis. Disse beregnede priser danner grundlag for beregningen af omkostninger og indtægter, så det er priserne i de aktuelle timer, hvor den enkelte teknologi er i drift, der indgår i beregningen.

4. Samfundsøkonomisk effektivisering

Med ADAPT kan energisystemet søges optimeret ved minimering af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger. Dette kan foretages både ved at gennemregne forskellige konfigurationer af energisystemet og sammenligne nettoomkostninger samt ved automatisk at gennemregne et stort antal situationer med udvalgte variationer af en række parametre.

Da beregningstiden for den enkelte situation er stor og da visse parametre har et diskret udfaldsrum omfatter værktøjet ikke en matematisk optimeringsalgoritme. En liste med parametre, der tidligere har været anvendt, ses i Tabel 3.

Nr.	Parameter	Omfang
1	Produktionskapacitet for centrale og decentrale kraftvarmeanlæg	I alt 4 situationer omfatter: ingen reduktion, udtag af ét af to centrale anlæg samt udtag af gruppen af små naturgasfyrede decentrale anlæg. Der regnes ikke på en forøgelse af den samlede kapacitet og heller ikke alle kombinationer er undersøgt; eksempelvis er der ikke regnet på udtag af centrale anlæg i Øst-danmark.
2	Udbygning af el-udlandsforbindelser	Der regnes på alle 16 kombinationer af udbygning af DK1-NO, DK1-DE og DK2-SE med 700 MW samt etablering af en 1400 MW forbindelse til UK.
3	Havmøller	Varieres i et interval omkring kapaciteten fastlagt i Energinet.dk's centrale analyseforudsætninger.
4	Solceller	
5	Centrale VP	
6	Decentrale VP	
7	Elektrolyse, kap.	
8	Elektrolyse, prisniv.	
9	Individuelle VP	
10	Varmelager, FV	

Tabel 3 Parameteroversigt med omfang af automatisk beregning

For parametrene 1 og 2 gennemløbes lister af beregningssituationer og den samfundsøkonomisk bedste fra listen for parameter 1 anvendes i det videre forløb for parameter 2. Den bedste beregningssituation efter parameter 1 og 2 anvendes for de resterende parametre, 3-10, der med faste trin varieres op eller ned baseret på sammenligning med resultatet fra beregningen umiddelbart før. Parametrene 3-10 varieres efter tur med fast antal step ad gangen. Efter den sidste parameter startes forfra med parameter 1.

Udgangsniveau/startværdi for parametrene er Energinet.dk's centrale analyseforudsætninger. Beregningsprocessen afsluttes, når der ikke længere forekommer betydende ændringer af de samlede samfundsøkonomiske nettoomkostninger.

5. Simulering af kraftvarmesektoren

Energinet.dk råder over en række værktøjer til analyse af el- og varmesektoren i Danmark og for elsektorens vedkommende også i regionen omkring Danmark, hvor der er samhandel med el. Blandt værktøjerne har SIVAEL gennem en år-række været en meget vigtig simuleringssmodel til detaljerede studier af den danske kraftvarmesektor.

ADAPT gør brug af SIVAEL til sikring af konsistent balancering af forbrug og produktion. På timebasis beregnes el- og fjernvarmeproduktionens fordeling på produktionsanlæg på basis af anlæggenes marginale samfundsøkonomiske omkostninger. Da modellen tager hensyn til omkostninger ved start/stop af produktionsanlæg beregnes produktionsfordelingen time for time for én uge ad gangen.

Modellen finder den løsning, der mest effektivt tilfredsstiller el- og varmebehovet, herunder prisfleksibelt elforbrug. Løsningen sikrer samtidig optimal eludveksling med nabolande i hver time baseret på varierende elpriser i nabolandene, der påføres modellen som randbetingelse. Elpriserne i nabolandene beregnes med simuleringssmodellen, BID, der blandt andet simulerer samspillet mellem de danske prisområder og prisområderne i nabolandene.

Danmark simuleres på el-siden som det er aktuelt med to prisområder forbundet med den elektriske storebæltsforbindelse og forbundet til nabolandenes prisområder som forudsat i Energinet.dk's centrale analyseforudsætninger. På varmesiden beregnes fordelingen af produktionen på de ca. 50 største fjernvarmeområder plus ca. 10 aggregerede varmeområder, der repræsenterer øvrige små fjernvarmeområder.

Alle kraftvarmeanlæg, herunder industriel kraftvarme, med en el-effekt større end 10 MW er simuleret som enkeltanlæg i SIVAEL. Mindre anlæg er aggregeret i grupper efter brændsel. Centrale kraftværksblokke er typisk udtagsværker, der kan levere kraftvarme men også el alene ved kondensdrift. Decentrale kraftvarmeanlæg simuleres som modtryksanlæg med fast forhold mellem el- og varmeproduktionen.

I alle fjernvarmeområder er installeret varmekedler til dækning, når behovet er større end kraftvarmeanlæggenes kapacitet og som reserve ved havari eller revision af kraftvarmeanlæg. Der er desuden for en række fjernvarmeområder forudsat at være solvarme, store varmepumper, elkedler og varmeakkumulatører. De store varmepumper og elkedler regnes at agere fleksibelt i forhold til elprisen, idet den optimale drift af kraftvarmeanlæg, solvarme, varmekedel, varmepumpe/elkedel og akkumulator søges bestemt.

Vindkraft og produktion fra solceller (og solvarme) er baseret på sammenhørende historiske tidsserier fra 2008. Den fluktuerende produktion er opdelt efter placering i Øst- og Vestdanmark.

Elforbrug til individuelle varmepumper til opvarmning og til procesvarme regnes delvist prisfleksibel. Elforbrug til elektrolyse og elbiler regnes at være fleksibel.