

**DWTC/SSTC**  
**Eindrapport**  
**Executive Summary**

**MARKAL, EEN MODEL TER ONDERSTEUNING VAN  
HET BROEIKASGASBELEID**

*partners*

**CES-KULeuven**  
**VITO**

*coordinator:*

**Prof. Stef Proost**  
Katholieke Universiteit Leuven  
CES  
69 Naamsestraat  
B-3000 Leuven  
Belgium  
Tel: + 32 16 326812  
Fax: + 32 16 326796  
e-mail: [stef.proost@econ.kuleuven.ac.be](mailto:stef.proost@econ.kuleuven.ac.be)

# Executive Summary

## 1. DOELSTELLING EN ONDERZOEKSSTRATEGIE

### 1.1. Doelstelling

In het licht van het Kyoto protocol dat door de EU werd onderschreven zullen de klimaatsverandering en de beleidsimplicaties op nationaal en internationaal vlak voor de beleidsmakers een prioriteit blijven. Een juiste inschatting van het reductiepotentieel in België, een optimale sectorale verdeling en een goede inschatting van de kosten van de emissiereductie zijn cruciale gegevens om het beleid uit te stippelen. De belangrijkste doelstelling van dit project is juist om het beleid i.v.m. klimaatswijziging met het MARKAL model te ondersteunen. Meer concreet kan het project bijdragen tot de volgende doelstellingen:

- Inschatten van de potentiële lange termijn broeikasgas-emissiedoelstellingen voor de Belgische economie.
- Bepalen in welke sectoren prioritair acties dienen ondernomen te worden.

### 1.2. Onderzoeksstrategie

Het uiteindelijke doel wordt gerealiseerd door het MARKAL model voor België beschikbaar te stellen om beleidsprioriteiten te definiëren op nationaal en internationaal vlak.

MARKAL is een technisch-economisch model, waarin voor het hele energiesysteem technologische informatie (rendement van installaties, investeringskosten, variabele kosten, emissies, enz) wordt samengebracht op eenvoudige maar consistente wijze. Alle energie vraag- en aanbodsactiviteiten en technologieën met hun respectievelijke emissies en de schade die hierdoor wordt veroorzaakt kunnen in het systeem worden voorgesteld, met een typische tijdshorizon van 40 jaar. Het is een dynamisch optimaliseringsmodel dat toelaat lange termijn scenario's voor de energiesector en de broeikasgas emissies te ontwikkelen aan de laagste kost, dat toelaat de impact van reeds getroffen maatregelen te kwantificeren en de kosten en technologische opties van strengere emissiereducties te evalueren. Het model laat tevens toe de rol van nieuwe technologieën voor broeikasgas reducties in te schatten en helpt de richting voor R&D bepalen. Tenslotte is het model geschikt om de verdeling van de lasten tussen sectoren van een land of tussen verschillende landen op een doorzichtelijke wijze te benaderen. In vergelijking met ad hoc modellen, die specifiek voor één bepaald land of één bepaalde sector werden ontwikkeld en die gebaseerd zijn op een andere modelleringstechniek heeft de benadering van MARKAL drie belangrijke voordelen:

- MARKAL is transparant en bevordert de communicatie tussen experts met verschillende sectoriele of technologische achtergronden (waar economen en ingenieurs elkaar begrijpen)
- De resultaten zijn gemakkelijk verifieerbaar en kunnen gerelateerd worden aan assumpties m.b.t. technologische data en economische parameters
- De resultaten zijn internationaal vergelijkbaar: vermits verschillende landen hetzelfde model hanteren kunnen de resultaten onmiddellijk vergeleken worden met die van andere landen.

De eerste Belgische versie werd ontwikkeld door CES-KULeuven en VITO in het eerste Global Change programma van de DWTC-SSTC en werd reeds regelmatig ingezet voor beleidsondersteuning.

Momenteel wordt het model gebruikt in 30 landen voor beleidsanalyse. Dit is een gezamenlijk initiatief dat gecoördineerd wordt door het ETSAP netwerk. Het ETSAP netwerk (Energie Technology Systems Analysis Programme) is een samenwerkingsverband binnen het Internationaal Energie Agentschap (IEA) dat zich toelegt op "Energieopties voor duurzame ontwikkeling". Het ETSAP netwerk is belast met het onderhoud van de MARKAL model software (database systeem en modelspecificaties) en organiseert jaarlijks twee workshops waarin de ervaringen met casestudies van een twintigtal landen worden uitgewisseld. De resultaten van gemeenschappelijke studies worden gepresenteerd op internationale fora die worden georganiseerd door de IEA en kunnen bijdragen in de onderhandelingen binnen de United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC). Het internationale netwerk verzorgt de continue verbetering en ontwikkeling in verschillende richtingen en ontwikkelt momenteel een nieuwe versie van MARKAL, namelijk TIMES.

MARKAL is een partieel evenwichtmodel van het energiesysteem. Daardoor is het complementair met andere modellen die voor beleidsstudies worden ingezet. Het MARKAL model is complementair met drie andere types van modellen:

- Gedetailleerde sectoriele modellen: een model voor één bepaalde sector kan meer gedetailleerd zijn in de technologieën of het gedrag van de economische agenten (bvb micro-simulatiemodellen die het gedrag van een honderdtal huishoudens beschrijven); dit type modellen is in staat op correctere wijze andere beleidsinstrumenten met een typische korte termijn impact (normen, informatieverspreiding) te evalueren. De resultaten van deze modellen kunnen gebruikt worden als invoergegevens voor MARKAL.
- Nationale algemeen evenwichtsmodellen: dit zijn modellen die de macro-economische impact van een CO2 politiek kunnen inschatten (vb GEM-E3 voor de EU). Deze modellen worden gebruikt om bvb de optimale besteding van een CO2 taks te bepalen of de dubbel dividend theorie te onderzoeken, het tewerkstellingseffect te kwantificeren, enz. Deze modellen leveren ook een voorspelling voor de vraag naar energiediensten die als invoer voor MARKAL/TIMES gebruikt kan worden.
- Internationale energie-economie modellen: deze modellen evalueren de wereldimpact van CO2 reductie opties in termen van lastenverdeling, klimaatschade, uitputting van energiebronnen, enz. (bvb CWS model van CES-KULeuven en UCL, DICE model van Nordhaus, MERGE model van Manne & Richels en GEM-E3 voor de EU) - MARKAL/TIMES kan invoer leveren voor deze modellen en zelf gebruik maken van sommige resultaten (bvb feedback op prijs van basisgoederen)

Het MARKAL model is nuttig voor de volgende problemen:

- Het zoeken naar minimale kosten oplossingen voor de vermindering van de CO2 emissies en de verdeling van de lasten.
- Het becijferen van verkennende energie en emissiebalansen.
- De rol van nieuwe technologieën inschatten en de R&D prioriteiten helpen bepalen.
- De impact en de kosten inschatten van verschillende types van regulering.

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd rond drie elementen om de doelstelling te bereiken:

- Het onderhoud van het MARKAL model.
- De ontwikkeling van het model
- De ontwikkeling van beleidscenario's en beleidsanalyse met MARKAL.

De bekomen resultaten worden verder toegelicht.

## 2. RESULTATEN

### 2.1. Uitbreiding, onderhoud en kwaliteitscontrole van de database

Een regelmatig onderhoud van de database is noodzakelijk om permanent een versie van Markal beschikbaar te hebben. De technologische database is het fundament van het MARKAL model en zowel de technologische als de economische parameters dienen regelmatig bijgewerkt te worden. In de Belgische Markal worden ongeveer tweehonderd technologieën beschreven. Deze hebben zowel betrekking op reeds geïmplementeerde technologieën en technologieën in de ontwikkelingsfase en de beschrijvende gegevens zijn van technische en economische aard. Het onderhoud en ontwikkeling van de database is een belangrijk onderdeel van het project om het potentieel van technologische ontwikkelingen op lange termijn mee te rekenen. VITO heeft zich hoofdzakelijk met het onderhoud en de ontwikkeling van de database bezig gehouden.

Een eerste taak bestaat er in de parameters van reeds beschreven technologieën bij te werken aan de vernieuwde omstandigheden en om gegevens met betrekking tot technologieën in ontwikkeling te transformeren naar geschikte data voor het model. Vervolgens, vermits de industrie een belangrijke energiegebruiker is en tevens veel CO<sub>2</sub> emissies uitstoot, om het model verder op te splitsen en meer de detailleren en in het bijzonder om het potentieel en de bijhorende investerings- en variabele kosten van energiebesparende technologieën in te schatten.

#### 2.1.1. *De elektriciteitssector.*

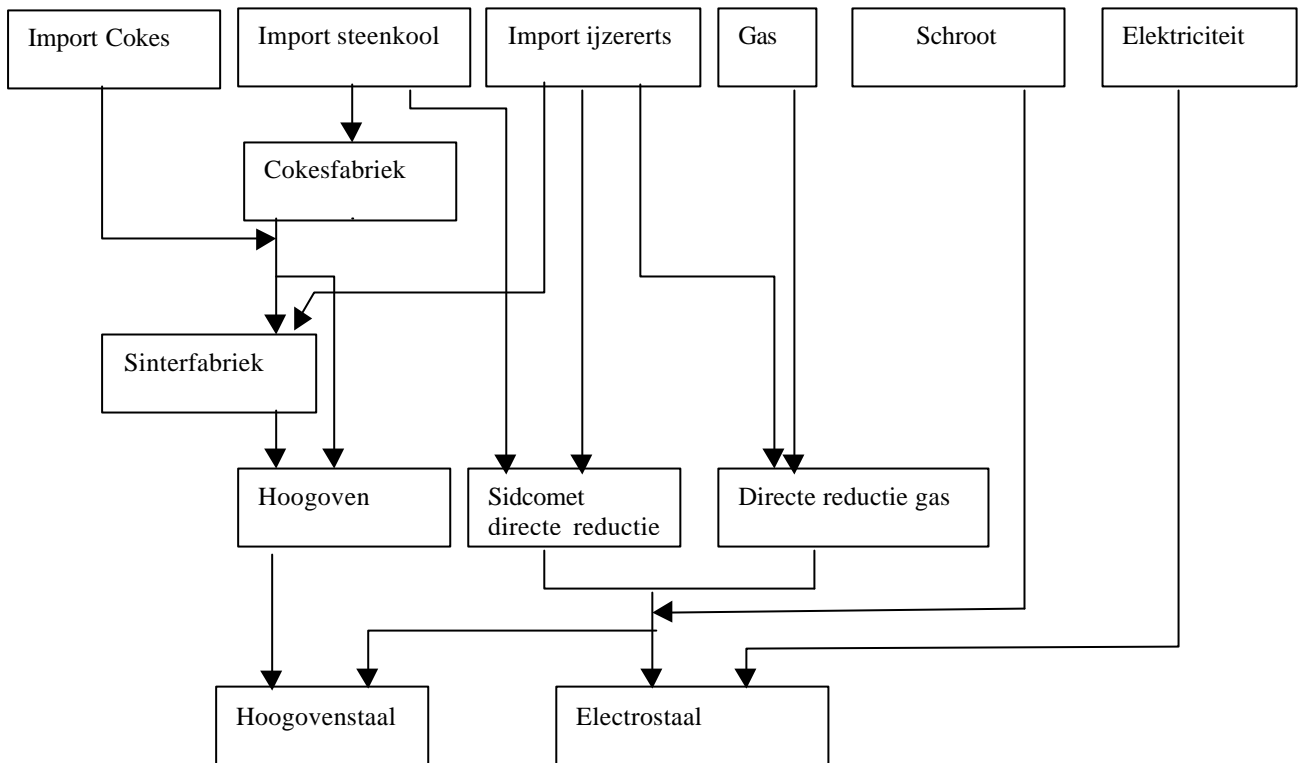
De gegevens voor de elektriciteitssector werden bijgewerkt op basis van data die door de Ampère commissie werden bijeengebracht. Op basis van de rapporten van de Ampère commissie en met consultatie van experts uit de sector en leden van de commissie werd een volledige database ontwikkeld met potentiële technologieën voor elektriciteitsproductie. De faculteit toegepaste wetenschappen van de KULeuven heeft hieraan ook meegewerkt. Belangrijke wijzigingen hadden betrekking op nucleaire energie, brandstofcellen, windmolens, STEG'S, steenkoolcentrales en co-generatie.

#### 2.1.2. *De industrie*

De meeste energie-intensieve sectoren werden verder gedetailleerd en de technische cijfers en economische cijfers werden herwerkt. Een korte beschrijving van de staalsector wordt hieronder weergegeven als illustratie voor dit soort werk. De staalproductie vertegenwoordigt meer dan 40 % van de industriële CO<sub>2</sub> emissies in België. Het stroomdiagram geeft een indruk van de structuur in MARKAL.

Het model kent drie verschillende reductieprocessen. Het klassieke hoogovenprocédé is de meest courante technologie. De inputstromen zijn sinter en cokes. Om hoogwaardig staal te produceren moet men beschikken over hoogwaardige coke die lokaal kan geproduceerd worden of geïmporteerd. Daarnaast kan ook directe reductie op basis van gas worden toegepast. Deze techniek wordt in België niet toegepast (wel in Duitsland) maar vormt een theoretisch alternatief. Het derde procédé is directe reductie op basis van steenkool, namelijk het sidcomet procédé dat in België wordt geïmplementeerd.

## Steel production in the Belgian Markal database



Een ander alternatief in de staalproductie is het gebruik van schroot. Afhankelijk van de gewenste staalkwaliteit kan een hoeveelheid schroot in hoogovenstaal gemengd worden. Schroot is ook de basisgrondstof voor elektrostaal.

Een aantal secundaire stromen werden niet op het stroomdiagram weergegeven. In de hoogoven wordt hoogovengas geproduceerd. Dit laagcalorisch afvalgas wordt gebruikt in de elektriciteitsproductie. In de cokes fabriek wordt hoogcalorisch hoogovengas geproduceerd als bijproduct. Dit gas kan verschillende toepassingen hebben in de staalindustrie zelf (verwarming cowpers) en in de elektriciteitsproductie. In de hoogovens wordt ook een beperkte hoeveelheid steenkool rechtstreeks toegevoegd. Alle energiebehoeften worden ook niet weergegeven. Zo worden bij alle deelprocessen kleine hoeveelheden elektriciteit verbruikt. In de database worden deze stromen wel meegerekend.

### 2.1.3. De residentiële sector

De basisgegevens voor het bepalen van de nuttige energievraag in de residentiële sector werden volledig herwerkt en bijgewerkt op basis van een studie over de warmtevraag in gebouwen van Prof. Hens, van het laboratorium van bouwfysica van de KULeuven en gegevens van de volkstelling van 1991. Dit heeft geleid tot een volledig vernieuwde procedure om de warmtevraag te berekenen: steunende op aannames m.b.t. de karakteristieken van het woningbestand, de bevolking en de samenstelling van de gezinnen, vertrekkende van de warmtevraag voor verschillende types van woningen en de samenstelling van het woningenbestand. Ook de maatregelen om de woningen beter te isoleren werden herwerkt.

### 2.1.4. De transportsector

Het wegvervoer in België heeft veruit het grootste energieverbruik van de gehele transportsector en werd daarom dan ook in detail gemodelleerd. Zowel klassieke brandstoffen (benzine, diesel en LPG) als meer geavanceerde technologieën (elektrische wagens, hybride wagens, ethanol, methanol,

aardgas, en brandstofcellen) werden in de database ingevoerd. Voor de klassieke wagens werden de Europese emissienormen voor verschillende polluenten expliciet ingevoerd door verschillende technologieën te definiëren in functie van deze normen (Euro 0, Euro 1, Euro 2, Euro 3 en Euro 4). Brandstofzuinige wagens, in overeenstemming met de ACEA belofte van de autoproducenten aan de Europese commissie, werden eveneens ingevoerd. Voor bussen en vrachtwagens werden eveneens verschillende technologieën op basis van verschillende brandstoffen en verschillende Europese emissie normen ingevoerd.

### Overzicht van de transportsector in Markal.

Vraag categorie	Eenheid	Aantal technologieën
Wagens voor korte afstand 14400 km	Miljard km	17
Wagens voor lange afstand 22400 km	Miljard km	19
Bussen	Miljard km	13
Vrachtwagens	Miljard km	11
Passagierstreinen	Miljoen km	2
Goederentreinen	Miljoen km	2
Vrachtschepen	Miljoen km	1

#### 2.1.5. *Kwaliteitscontrole*

Binnen de ETSAP worden nationale databases regelmatig onderworpen aan een vergelijkend onderzoek. Deze internationale audits zijn bijzonder nuttig voor de algemene kwaliteit van de nationale databases en in het bijzonder om de internationale consistentie van de gegevens te garanderen.

## 2.2. Ontwikkeling van het model

### 2.2.1. *Ontwikkeling van STOCHASTISCHE MARKAL*

Deze versie van Markal kan ideale strategieën ontwikkelen om zich in te dekken wanneer informatie over de noodzaak van CO2 reducties of de beschikbaarheid van goedkope koolstofvrije technologieën slechts later beschikbaar komt. Er werd besloten om deze versie te ontwikkelen vermits er in België geen ander model bestaat dat deze onzekerheden kan incalculeren. Analyses op basis van deterministische scenario's en gevoeligheidsanalyses, dit is de klassieke benadering die tot nu toe in België met Markal werd gevolgd, leveren belangrijks inzichten maar de resultaten zijn voor beleidsmakers niet altijd nuttig als de resultaten sterk afwijken en de beleidsmakers slechts één stel acties kan ondernemen.

De experimentele versie van MARKAL-STOCHASTIC werd binnen de ETSAP ontwikkeld door de Nederlandse en Canadese partners op basis van de "multi-stage stochastische programmeringmethodologie". Deze versie werd aangepast voor de Belgische situatie. Op basis van een literatuurstudie over de onzekerheid over het broeikas effect werden aan verschillende scenario's waarschijnlijkheden toegekend. Voor 2010 werd uitgegaan van de Kyoto verbintenissen. Voor de periode 2010 - 2030 werden vier verschillende cumulatieve restrictieniveaus voor de CO2 emissies opgelegd. Slechts in 2010 zou er zekerheid bestaan welke cumulatieve restricties in de periode 2010-2030 zouden moeten worden aangehouden. Tussen 2000 en 2010 blijft er onzekerheid omtrent de te realiseren reducties voor de periode 2010-2030. Het model geeft dan één enkel pad voor de periode tot 2010 en vier mogelijke paden voor de periode 2010-2030. Het pad voor de periode voor 2010 is de indekkingstrategie en dit wordt vergeleken met de deterministische oplossing.

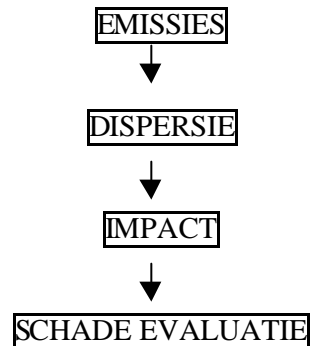
### 2.2.2. *Integreren van secundaire baten*

Het model werd geherformuleerd om beter rekening te kunnen houden met secundaire baten van CO2 emissiereducties, vermits broeikasgasemissies regelmatig verantwoord worden door de secundaire

baten die er door zouden worden gerealiseerd. Onder secundaire baten worden verstaan, de vermindering van externe kosten als gevolg van de vermindering van andere pollutanten en/of macro-economische effecten (vb tewerkstellingseffect). Deze secundaire baten komen voornamelijk toe aan het land waarin de reductie plaats vindt, in tegenstelling tot de baten van de bestrijding van het broeikas effect die meer verspreid en zich bovendien over een langere termijn situeren.

De volgende lokale milieuproblemen werden beschouwd: depositie van verzurende emissies, luchtverontreiniging door verzurende emissies en ozonconcentraties. Energie gerelateerde emissies van NOX, SO2, VOS en fijn stof werden hierbij verrekend. NOX emissies komen hoofdzakelijk van verbrandingsprocessen. VOS emissies komen slechts gedeeltelijk van energie gerelateerde toepassingen (transport, raffinaderijen); ander bronnen van VOS emissies zijn het gebruik van solventen in de metaalindustrie en in verschillende chemische producten (verf, inkt, lijm).

De benadering die gevolgd werd om de secundaire baten van de vermindering van lokale pollutie te verrekennen vertrekt van schadefuncties voor individuele schadegevallen die ontwikkeld werden in het ExternE project. Dit is een Europees onderzoeksproject om de schade van pollutie te bepalen. De methode wordt geïllustreerd met de volgende figuur uit het ExternE.



Op de Markal database werden hiervoor de volgende aanpassingen toegepast:

- Emissiecoëfficiënten voor NOX, SO2, VOS en PM werden toegevoegd.
- Distributiecoëfficiënten voor deze pollutanten. Deze geven de relatie tussen emissie enerzijds en depositie en concentratie anderzijds waarbij ook het transport wordt in rekening genomen.
- Monetaire evaluatie van de impact van de depositie/concentratie

De laatste twee parameters werden afgeleid van de ExternE studie. Ze werden gebruikt om een schadeinschatting per eenheid van emissie te bepalen in België.

Markal werd aangepast om de baten en kosten van lokale pollutie mee in de evaluatie te betrekken. Men heeft hier de keuze tussen twee opties:

- De milieuschade van een bepaald scenario wordt a-posteriori bepaald, d.w.z. zonder terugkoppeling naar de objectieffunctie.
- De milieuschade wordt integraal in de objectieffunctie geïntegreerd en maakt dus deel uit van het optimalisatieproces.

In de eerste benadering wordt gewoon de milieuschade van scenario's bepaald. In de tweede benadering wordt een term toegevoegd in de objectieffunctie die de som is van alle schade van verschillende pollutanten.

De nieuwe modelspecificaties werden uitgetest in een referentiescenario en een scenario met CO2 emissiebeperking. In het referentiescenario merkt men reeds verschillen met een scenario zonder integratie van milieuschade. De totale kosten, met inbegrip van de milieuschade, zijn lager, maar de investeringen, vaste en variabele kosten zijn hoger. Ook de CO2 emissies zijn lager. Als de CO2 emissies in het referentiescenario lager zijn is het niet verwonderlijk dat de marginale CO2 emissiereductiekost in een scenario met CO2 beperking eveneens lager is. Dit toont aan dat secundaire

baten niet verwaarloosbaar zijn en dat er rekening mee moet worden gehouden om een optimaal broeikasgasbeleid te ontwikkelen.

Beide ontwikkelingen werden uitgevoerd door CES-KULeuven.

### **2.3. Scenario ontwikkeling en beleidsanalyse met MARKAL.**

De beleidsanalyse werd toegespitst op de identificatie van verschillende opties om de Kyoto doelstelling voor broeikasgassen te realiseren, zowel wat betreft de technologische oplossingen en de beleidsinstrumenten. Dergelijke studies impliceren de volgende stappen:

- De ontwikkeling van lange termijn vooruitzichten (30-40 jaar), en dit in overeenstemming met andere middellange termijn vooruitzichten (Planbureau, EU)
- Het maatregelenpakket waarover reeds beslissingen werden genomen in Markal invoeren.
- De concrete beleidsvragen interpreteren en analyseren en vertalen in Markal.
- Rapportering naar de beleidsmakers.

Verschillende studies werden gemaakt voor de Federale regering in 1999 en 2000. De resultaten worden hierbij bondig samengevat, vertrekkende van het basisscenario dat werd gebruikt in alle andere studies.

#### *2.3.1. Het basisscenario*

Ter voorbereiding van de specifieke studies werd een basisscenario ontwikkeld. Hierin werd een pad vastgelegd voor de vraag naar energie en broeikasgasemissies in België tot 2030, op basis van assumpties over de energieprijzen en de economische groei. Deze assumpties zijn afgeleid uit een studie die in 1999 op basis van het POLES model door de EU DG onderzoek (DGRES) werd gerealiseerd. Voor de OESO landen werd uitgegaan van een gemiddelde economische groei van 2.5% tot 2005, 2.1% tussen 2005-2020 en 1.6% nadien. De olieprijs stijgt tot 2010, gegeven de beperkte voorraden en de vooruitzichten voor de economische groei. Olie en aardgasprijs evolueren in dezelfde richting. De gemiddelde groei voor België bedraagt daardoor 2.1% tot 2010 en 1.8% nadien.

De finale energievraag stijgt met 1.1% tot 2010 en 0.9% nadien. De groei is het hoogste in de transportsector. De elektriciteitsvraag stijgt sneller dan de vraag naar brandstoffen en vanaf 2000 is er een verschuiving naar warmte die geproduceerd wordt in WKK installaties. Tot 2010 is er een verschuiving van steenkool naar gas, voornamelijk door de vervanging van oude steenkoolcentrales door gasgestookte centrales. Nadien, als de nucleaire centrales worden gesloten en vervangen door nieuwe steenkoolcentrales, keert deze tendens om. Het aandeel van olieproducten blijft belangrijk omdat ze de belangrijkste energievorm in de transportsector blijft. Hernieuwbare energie breekt niet door aan deze energieprijzen.

Deze gegevens resulteren in een stijging van de energiegebonden broeikasgasemissies. In 2010 is het niveau 16 % hoger dan in 1990 en dit blijft stijgen, vooral na 2025 als steenkoolcentrales de nucleaire centrales vervangen. Om de Kyoto doelstelling te realiseren zal België tegen 2010 zijn broeikasgasemissies met 20 % moeten reduceren in vergelijking met het basisscenario.



### 2.3.2. *Beleidsstudies*

#### **a) Kyoto doelstelling**

Het doel van de studie was om maatregelen en beleidsinstrumenten te evalueren om de broeikasgassen te reduceren tot het niveau van het Kyoto protocol (-7.5% ten opzichte van 1990). Hierbij golden drie beperkingen: de doelstelling moest realiseerbaar zijn met maatregelen die konden worden genomen door Belgische beleidsmakers. De vermindering van broeikasgassen moest ook na 2010 aangehouden worden. De nucleaire capaciteit mag niet worden opgevoerd tussen 1990 en 2030.

In het basisscenario moeten de BKG emissies met 20 % gereduceerd worden. De specifieke maatregelen die sinds 1990 werden genomen geven slechts een vermindering van 1.8 % in 2010.

De goedkoopste methode om het emissieobjectief te realiseren is een broeikasgastaks. De kost per ton CO<sub>2</sub> equivalent bedraagt dan 1830 Bef in 2010 en stijgt nadien sterk. Deze stijging komt door de investering in steenkoolcentrales en de beperking op nieuwe nucleaire centrales. De totale verdisconteerde kost tussen 2010 en 2030, in termen van consumenten en producenten surplus bedraagt 4 % van het bruto nationaal produkt (BNP) in 1990. Het macro-economische effect van de Kyoto doelstelling blijft beperkt.

In 2010 vinden de belangrijkste reducties plaats in de energiesector (-41%), in de industrie (-25.9%) en in de residentiële en tertiaire sectoren (-18.3 %); de vermindering in de transportsector blijft beperkt tot 2.6 %. De Kyoto doelstelling wordt gerealiseerd door een resem maatregelen die het verbruik van energie beperken, technologische veranderingen, en omschakeling van energiedragers. De vraag naar energiediensten vermindert met 8.5 % in de industrie en in de residentiële en tertiaire sector en met 2.9 % in de transportsector. Er is een verschuiving van vaste en vloeibare brandstoffen naar gas en in beperkte mate ook naar hernieuwbare energiebronnen. Efficiëntere en energiebesparingstechnologieën worden in verschillende sectoren ingezet. WKK dringt verder door in de industrie en in de residentiële en handelssector.

Het inzetten van andere beleidsinstrumenten zoals een energietaks of normeringen verhoogt de kost om Kyoto te realiseren. Een energietaks sluit een optie uit omdat brandstofsubstitutie er niet door gestimuleerd wordt. Het totale welvaartsverlies stijgt met 4.2 % voor de periode 2010-2030 in vergelijking met een BKG taks. Het gebruik van normen verdubbelt het welvaartsverlies; de vermindering van de energievraag is kleiner omdat de overblijvende emissies niet belast worden en daarom is het moeilijker om het globale doel te bereiken.

Indien de nucleaire oplossing wel wordt toegelaten, wordt het verlies verminderd met 23 %. De impact hiervan is beperkt tot 2010 maar wordt zeer significant vanaf 2025 als de oude nucleaire centrales worden uit dienst genomen. De reductie wordt verschoven naar de elektriciteitssector, zodat de andere sectoren minder moeten reduceren.

#### **b) Accijnsbeleid.**

In 2000 werd door CES een specifiek beleid geëvalueerd in opdracht van het Federaal Ministerie van Leefmilieu: de harmonisatie van de accijnzen in de EU en een stijging van de accijnzen tot het niveau van de buurlanden. Dit beleid draagt bij tot een vermindering van de CO<sub>2</sub> emissies in België maar is onvoldoende om de Kyoto doelstelling te realiseren. Bovendien tonen de resultaten aan dat door dit beleid (een energiebelasting) de kosten om de CO<sub>2</sub> doelstelling te realiseren stijgen in vergelijking met een CO<sub>2</sub> taks.

#### **c) Reductiepotentieel voor technologische en beleidsmaatregelen.**

Voor het Federaal Ministerie van economische zaken werd door VITO een inschatting gemaakt van het reductiepotentieel van een aantal exogeen gedefinieerde maatregelen. Het type maatregelen wordt samengevat in de volgende tabel. De simulatieperiode is 2000-2030. In deze studie werd Markal gebruikt zonder kostenoverwegingen.

Sector	Maatregel	Cumulatieve CO2 reductie
Centrale elektriciteits-productie	1000 MW additionele nucleaire centrale	85
	Nieuwe steenkoolcentrales vervangen door STEG	142.5
	Beperken steenkoolcentrales tot 1200 MW	62.4
WKK	WKK volgens nationaal uitrustingsplan	57
	WKK additioneel 1200 MW 1995 - 2005	117.5
	Verlaagde leveringsprijs gas WKK toepassingen	270
	Sterk verlaagde leveringsprijs gas WKK toepassingen	211
Hernieuwbare	Additioneel windenergie	10.5
	35.000 ha biomass	4.5
	70.000 ha biomass	27
Belastingen	Eu voorstel harmonisering belastingen	122
	Hogere accijnzen	355
	Belasting op laagspanning (1 Bef/ Kwh)	55.5
	Belasting op laagspanning (1Bef/Kwh) en hoogspanning ((0.1 Bef/Kwh)	207.5
Transport-sector	Verhoging rijtaks	29.5
	Verhoging kostprijs motorbrandstoffen	160
	ACEA verbintenis voor efficiënte voertuigen	122.5
	Hybride tractie	76.5
Andere	Verbetering efficiëntie inde industrie	27.3
	Verbetering efficiëntie elektrische toestellen	27.5
	Totaal	363

### 2.3.3. Studie voor de Ampère Commissie

Deze studie heeft betrekking op de elektriciteitssector en werd uitgevoerd door CES. Naast een volledige update van de Markal database voor deze sector, werden de technologische keuzen voor de sector voor de periode 2005/2010 geëvalueerd, onder verschillende beperkingen, o.a. de Kyoto beperking, de nucleaire optie.

De studies werden ofwel gezamenlijk door de partners uitgevoerd ofwel door de partners afzonderlijk, maar in beide gevallen werd geprofitteerd van de voordelen van het samenwerkingsverband.

## 2.4. Deelname in het ETSAP netwerk

Deze activiteit heeft enerzijds betrekking op deelname aan de ETSAP workshops, de voorstelling van de Belgische onderzoeksresultaten en de integratie van de resultaten voor België in gezamenlijke studies van ETSAP. Anderzijds heeft deze activiteit betrekking op de ontwikkeling van het Markal model. Deze deelname is erg belangrijk omdat binnen de ETSAP een nieuwe Markal model, namelijk TIMES, wordt ontwikkeld en CES-KULeuven en VITO hierbij betrokken zijn. Het nieuwe model vertrekt opnieuw van het Markal paradigma (optimalisering onder hypothese van perfecte vooruitzichten) maar is veel flexibeler en laat toe het model beter te ontwikkelen.

## 3. BEOORDELING EN PERSPECTIEVEN

### 3.1. Beoordeling

Het onderhouden van de Markal expertise en Markal beschikbaar maken voor beleidsstudies was de belangrijkste doelstelling van het team. Deze doelstelling werd ten volle gerealiseerd want Markal werd het belangrijkste onderzoeksinstrument ter ondersteuning van het broeikasgasbeleid in België en is het referentiemodel voor energiestudies.

De tweede doelstelling was om het Markal model zelf beter te ontwikkelen. Ook deze doelstelling werd gerealiseerd. De stochastische versie is wellicht de meest complexe, maar relatief moeilijk om voor beleidstudies te worden ingezet. De uitbreiding naar Markal-Micro (elastische vraagfuncties) was zeer succesvol en was een belangrijke aanwinst voor Markal. Hetzelfde geldt voor de uitbreiding van de objectieffunctie met de secundaire baten. Deze verbeteringen werden standaard in Markal en doorgegeven aan alle ETSAP partners. Om dit te realiseren was het belangrijk om deel uit te maken van het ETSAP consortium en te beschikken over een stabiel onderzoeksteam. Lange termijn contracten waren hiervoor zeer nuttig.

### **3.2. Perspectieven**

Zowel CES-KULeuven en VITO houden de mogelijkheid open om het model verder te ontwikkelen en nog beter te maken om klimaat- en energiepolitiek te evalueren. Eén aandachtspunt is de bijdrage in de ontwikkeling van TIMES, het nieuwste Markal model. Een tweede belangrijk element is de uitbreiding van het model naar niet energiegebonden emissies van broeikasgassen zodat alle broeikasgasemissies in het model op een consistente wijze behandeld worden. Gezien het belang van de flexibele mechanismen in de internationale onderhandelingen over het klimaatbeleid is het eveneens belangrijk om de internationale dimensie in het model te ontwikkelen. De liberalisering van de Europese energiemarkten is ook een nieuw gegeven dat vraagt om de ontwikkeling van de internationale dimensie.