

# Modelleren van gedrag, technologiekeuze en kostendata in EVIV-LEAP



Studie uitgevoerd in opdracht van  
MIRA, Milieurapport Vlaanderen

Onderzoeksrapport

MIRA/2013/05, januari 2013



# Modelleren van gedrag, technologiekeuze en kostendata in EVIV-LEAP

Johan Couder

MTT  
Universiteit Antwerpen

**Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA,  
Milieurapport Vlaanderen**

MIRA/2013/05

Januari 2013



## **Documentbeschrijving**

### **Titel**

Modelleren van gedrag, technieken en kostendata in EVIV-LEAP

Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen. Dit rapport is ook beschikbaar via [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be).

### **Samenstellers**

Johan Couder  
MTT, Universiteit Antwerpen

### **Wijze van refereren**

Couder J. (2013) Modelleren van gedrag, technologiekeuze en kostendata in EVIV-LEAP. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2013/05, Universiteit Antwerpen.

### **Vragen in verband met dit rapport**

Vlaamse Milieumaatschappij  
Milieurapportering (MIRA)  
Van Benedenlaan 34  
2800 Mechelen  
tel. 015 45 14 61  
[mira@vmm.be](mailto:mira@vmm.be)

D/2013/6871/026  
ISBN 9789491385117  
NUR 973/943

## **Woord vooraf**

Er is binnen MIRA nood aan een rekenmodel dat geschikt is om op lange termijn (tot 2050) en over alle energievraag- en aanbodsfuncties in Vlaanderen heen invulling te geven aan beleidsvragen. Zo een rekenmodel moet ook in staat zijn om specifieke uitdagingen voor Vlaanderen te duiden met betrekking tot energiegebruik, energieproductie en de daarmee gepaard gaande emissies. Dit rekenmodel moet tot slot interacties toelaten met stakeholders, experts en scenariobouwers.

Het tijdens deze onderzoeksopdracht gebouwde en in dit rapport voorgestelde EVIV-LEAP model vormt de solide basis van een dergelijk rekenmodel.

## Inhoudstafel

Inhoudstafel figuren .....	5
Inhoudstafel tabellen.....	6
Samenvatting .....	7
<b>1 Doelstellingen van het EVIV-LEAP model.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Het modelleren van gedragsaspecten in EVIV-LEAP .....</b>	<b>13</b>
2.1 Gedragsfactoren bij huishoudens.....	13
2.2 Gedragsfactoren bij handel & diensten .....	16
2.3 Gedragsfactoren bij personenvervoer .....	19
2.4 Gedragsfactoren bij vrachtvervoer .....	22
2.5 Gedragsfactoren voor industrie .....	24
<b>3 Technologiekeuze via voorraadanalyse in EVIV-LEAP .....</b>	<b>29</b>
3.1 Beschrijving van voorraadanalyse in LEAP .....	29
3.2 Overlevingsfuncties in EVIV-LEAP .....	31
3.3 Het gebruik van MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) voor het bepalen van "Sales" .....	33
<b>4 Kostendata in EVIV-LEAP .....</b>	<b>38</b>
4.1 Het werken met kostendata in LEAP .....	38
4.1.1 Het invoeren van kostendata .....	38
4.1.2 Het werken met leercurven .....	39
4.1.3 Stand van zaken wat betreft kostendata .....	41
4.2 Kostendata voor de sector huishoudens in EVIV-LEAP.....	41
4.2.1 Isolatiekosten bij renovatie .....	41
4.2.2 Isolatiekosten bij nieuwbouw .....	43
4.2.3 Kosten voor installaties .....	43
4.3 Kostendata voor transport .....	46
4.3.1 Investerings- en werkingskosten in LEAP .....	46
4.3.2 Total Cost of Ownership (TCO) bij het bepalen van de marktaandeelen	46
4.4 Kostendata voor de opwekking van elektriciteit en/of warmte .....	48
4.4.1 Kostendata in LEAP .....	48
4.4.2 Kostendata bij gebruik van MCDA.....	51
<b>5 Conclusies.....</b>	<b>54</b>
<b>Referenties .....</b>	<b>56</b>
<b>Afkortingen .....</b>	<b>57</b>

## Inhoudstafel figuren

Figuur 1: Definiëren van scenario's via de afzonderlijke "key assumptions" module in EVIV-LEAP .....	9
Figuur 2: Import van elektriciteit in het referentiescenario indien geen bijkomende investeringen in capaciteit na 2015 (Vlaanderen, 2010-2030) .....	10
Figuur 3: Energiebalans Vlaanderen volgens EVIV-LEAP (Vlaanderen, 2010).....	11
Figuur 4: Voorbeeld van de emissies van broeikasgassen, in GWP (per energiedrager) door de vraagsectoren in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2012).....	12
Figuur 5: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij huishoudens .....	14
Figuur 6: Energiefuncties of -diensten voor huishoudens (HH) in EVIV-LEAP.....	15
Figuur 7: Verdeling van het energiegebruik voor huishoudens over energiefuncties en energiedragers (Vlaanderen, 2010).....	16
Figuur 8: Voorbeeld van de evolutie van de toegevoegde waarde (TW) in handel & diensten in referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030).....	17
Figuur 9: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij handel & diensten .....	18
Figuur 10: Verdeling van het energiegebruik van de horeca sector over energiefuncties en energiedragers (Vlaanderen, 2010) .....	19
Figuur 11: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij personenvervoer .....	21
Figuur 12: Energiegebruik van personenvervoer met de auto, per energiedrager (Vlaanderen, 2010).....	22
Figuur 13: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij vrachtovervoer .....	24
Figuur 14: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij industrie .....	26
Figuur 15: Energiefuncties van industriële sectoren in EVIV-LEAP.....	27
Figuur 16: Voorbeeld in EVIV-LEAP van energiegebruik per energiefunctie en per energiedrager voor chemie (Vlaanderen, 2010) .....	27
Figuur 17: Voorbeeld van jaarlijkse nieuwe aankopen in de voorraadanalyse voor verwarmingsinstallaties bij huishoudens .....	31
Figuur 18: Voorbeeld van het invoeren van een exponentiële overlevingsfunctie voor auto's in EVIV-LEAP.....	33
Figuur 19: Voorbeeld van het invoeren van aankoopkosten van auto's per type technologie in EVIV-LEAP.....	38
Figuur 20: Voorbeeld van het invoeren van o.m. kostengegevens van een geavanceerde superkritische (ASC) kolencentrale met CCS (carbon capture and storage) in EVIV-LEAP .....	39
Figuur 21: Evolutie van de investeringskosten voor centrales in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030) .....	40
Figuur 22: Voorbeeld van totale, niet-verdisconteerde investeringskosten voor ventilatiesystemen in woningen in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030) .....	45
Figuur 23: Voorbeeld van totale, verdisconteerde investeringskosten voor ventilatiesystemen in woningen in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030) .....	45

## Inhoudstafel tabellen

Tabel 1: Kenmerken van de typewoning, voor en na renovatie (Vlaanderen, 2012) .....	42
Tabel 2: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 1 (Vlaanderen, 2012) .....	42
Tabel 3: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 2 (Vlaanderen, 2012) .....	43
Tabel 4: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 3 (Vlaanderen, 2012) .....	43
Tabel 5: Investerings- en werkingskosten voor verwarmingsinstallaties in woningen (UK, 2012).....	44
Tabel 6: Investerings- en werkingskosten voor ruimtekoeling .....	44
Tabel 7: Investerings- en werkingskosten van ICE, PHEV, BEV en FCV auto's en bussen (UK, 2011) .....	46
Tabel 8: Investerings- en werkingskosten vrachtwagens en treinen (UK, 2011) .....	46
Tabel 9: Leercurve-effecten of jaarlijkse kostendalingen .....	47
Tabel 10: Kosten en TCO van auto's in 2030 (exclusief taksen), in 1 000 EUR.....	48
Tabel 11: Specifieke investeringskosten voor elektriciteitscentrales (2015-2030).....	49
Tabel 12: Specifieke werkingskosten voor centrales (2015-2030).....	50
Tabel 13: Specifieke investeringskosten voor WKK en EFW (energy from waste) centrales (2015- 2030).....	51
Tabel 14: Specifieke werkingskosten voor WKK en EFW (energy from waste) centrales (2015-2030)	51
Tabel 15: LCOE voor geselecteerde centrales in België .....	53



## Samenvatting

De oorspronkelijke opzet van de onderzoeksopdracht was het omvormen van een bestaand energieboekhouding simulatie model voor het Belgisch energiesysteem (SEPIA-LEAP) naar een model voor het gehele Vlaamse energiesysteem, met uitbreidingen voor wat betreft het met elkaar in verband brengen van een aantal gedragsvariabelen, het gebruik van voorraadanalyse, en het invoeren van kosteninformatie.

Door een samenloop van omstandigheden, die we kort in het eerste hoofdstuk en iets meer uitgebreid in de conclusies bespreken, is de opdracht noodgedwongen omgevormd tot het in eerste instantie vanaf nul opbouwen van een volledig nieuw model voor het Vlaamse energiesysteem, EVIV-LEAP. In de mate van het mogelijke zijn bij de bouw van het nieuwe model de oorspronkelijk voorziene uitbreidingen van het oude model in het nieuwe model geïncorporeerd.

Het eerste hoofdstuk bespreekt punt voor punt de vooropgezette doelstellingen van deze onderzoeksopdracht, in welke mate aan deze doelstellingen is voldaan, en geeft kort aan wat de redenen zijn waarom niet altijd 100 % aan de verwachtingen is voldaan of kon worden voldaan.

Het tweede hoofdstuk bespreekt de gedragsvariabelen in EVIV-LEAP voor de verschillende vraagsectoren (huishoudens, handel & diensten, industrie en transport). Hoewel landbouw integraal in EVIV-LEAP is opgenomen, zijn voor deze sector nog geen expliciete gedragsvariabelen voorzien, buiten de activiteiten landbouwareaal en veestapel. We tonen schematisch de oorspronkelijke opzet van hoe we dachten gedragsvariabelen met elkaar in verband te kunnen brengen, en bespreken in hoeverre we daar in EVIV-LEAP tot dusver zijn geslaagd. Waar relevant illustreren we het hoofdstuk met concrete resultaten van het model.

Het derde hoofdstuk behandelt de keuze van technologieën. EVIV-LEAP maakt extensief gebruik van voorraadanalyse. We geven eerst een technische beschrijving van hoe dit technisch is geïmplementeerd in het softwarepakket LEAP. Vervolgens gaan we dieper in op overlevingsfuncties, een cruciaal onderdeel van voorraadanalyse. We eindigen met het beschrijven van een ietwat experimentele techniek bij het bepalen van de marktaandelen van nieuwe aankopen of “sales” in de voorraadanalyse, met name multicriteria decision analysis of MCDA. Na een theoretische uitleg geven we een praktische toepassing in EVIV-LEAP.

Het vierde hoofdstuk gaat dieper in op de kosteninformatie die tot dusver in EVIV-LEAP is opgenomen. Na een korte uitleg over hoe we kosten praktisch inbrengen in zowel de vraag- als aanbodsectoren van EVIV-LEAP, bespreken we voor huishoudens, mobiliteit en productie van elektriciteit en/of warmte in detail de beschikbare kostendata. We leggen tevens een verband met de MCDA techniek besproken in hoofdstuk 3.

In de conclusies geven we aan op welke vlakken de huidige versie van EVIV-LEAP een succes is, waarom bepaalde doelstellingen niet zijn gerealiseerd in de mate die we eerst hadden vooropgesteld, en geven we aan in welke richting EVIV-LEAP verder moet, met name de bouw van concrete energie- en klimaatscenario's voor Vlaanderen, bij voorkeur in overleg met stakeholders en experts.

## 1 Doelstellingen van het EVIV-LEAP model

Het EVIV-LEAP model is een koppeling van het voor deze onderzoeksopdracht zelfgebouwde rekenblad model EVIV (Energie Vraag In Vlaanderen) aan een voor het Vlaamse energiesysteem volledig nieuw ontwikkeld “energy accounting” energiemodel, waarbij gebruik is gemaakt van het bekende energieboekhouding softwarepakket LEAP (Long range Energy Alternatives Planning System) van het Stockholm Environment Institute (SEI).

De oorspronkelijke doelstellingen van de onderzoeksopdracht waren dat het model aan de volgende randvoorwaarden moet voldoen:

- 1 Het is volledig conform met de vereisten opgelegd door MIRA (indeling in MIRA (deel)sectoren, met inbegrip onderscheid ETS / non - ETS).
- 2 Het kent een vrij hoge mate van aggregatie, om de scenariobouwers / experts niet te overbelasten met het invoeren van te veel parameters. De waarden van de geaggregeerde parameters kunnen door de scenariobouwers desnoods uit bestaande, meer gedetailleerde modellen worden gehaald. Het model volgt daarom eerder een “top-down” dan wel een “bottom-up” benadering, met als voordeel dat hierdoor de energiebalans van MIRA in het basisjaar exact kan worden gerepliceerd.
- 3 Het laat toe om maatregelen op te splitsen in a) volumemaatregelen (minder activiteiten); b) structurele maatregelen (bijvoorbeeld verschuiving naar diensteneconomie), c) technologische opties (verbeterde energie efficiëntie) en d) decarbonisatie (koolstofvrije of -neutrale energiebronnen). Met a) en b) kan het model expliciet rekening houden met aanpassingen in levensstijl / gedrag; en met c) en d) met wijzigingen in technologie.
- 4 Het houdt rekening met het feit dat Vlaanderen een kleine, open economie is, met sterke import- en exportstromen en veel transitvervoer.
- 5 Het laat toe om resultaten qua energiegebruik te tonen in vorm van een energiebalans voor elk van de toekomstige jaren binnen de tijdshorizon, met uitsplitsing in primair energiegebruik; productie, eigen gebruik en verliezen van energiesector, finale vraag per (deel)sector, en internationale bunkers.
- 6 Het laat toe om emissies te tonen (grafisch en in tabelvorm), zowel van de afzonderlijke stoffen als geaggregeerd (bijvoorbeeld in termen van GWP).

Oorspronkelijk was voorzien dat EVIV-LEAP een aanpassing en uitbreiding van een bestaand model voor het Belgische energiesysteem zou zijn (SEPIA-LEAP, gebouwd in opdracht van het Belgisch wetenschapsbeleid). De nadruk in dit project zou daarom in eerste instantie liggen bij het beschrijven van:

- mogelijke nieuwe verbanden tussen gedragsvariabelen in de vraagsectoren;
- de uitbreiding van het gebruik van voorraadanalyse, met inbegrip van het gebruik van meer realistische overlevingsfuncties; en experimenteren met een nieuwe techniek (multi criteria decision analysis of MCDA) voor het bepalen van de “Sales” in de voorraadanalyse;
- het opnemen van, waar mogelijk, kosteninformatie in het model.

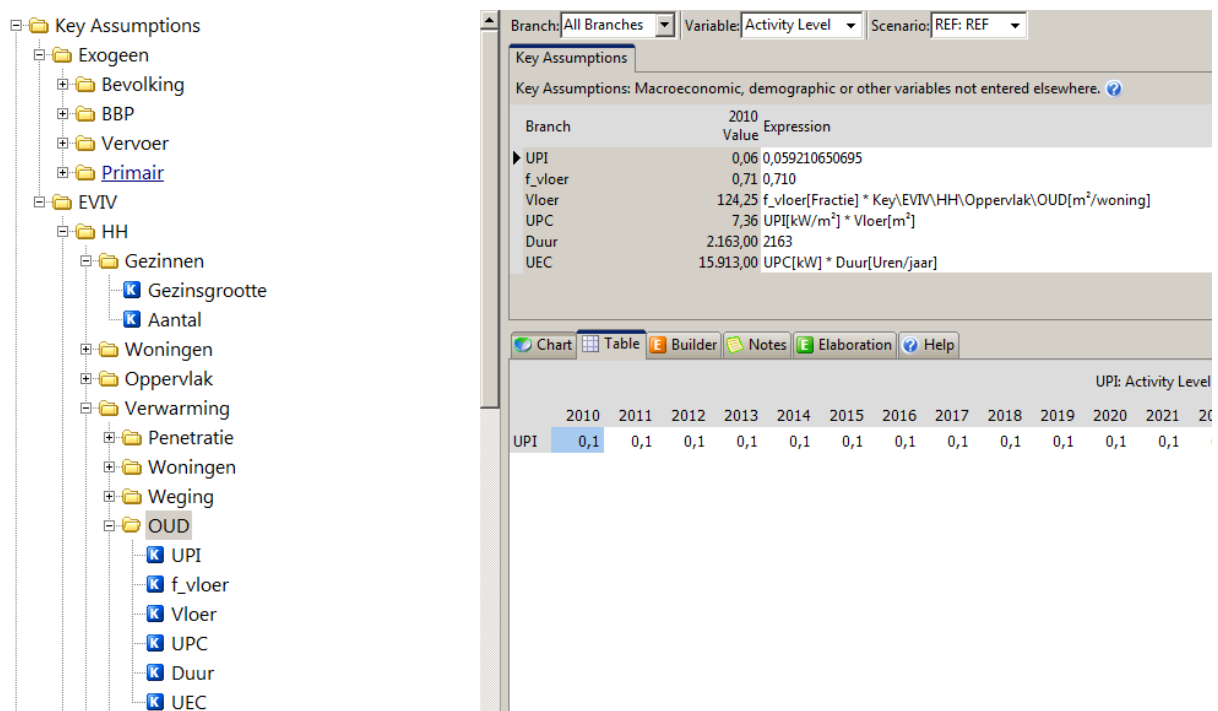
Tijdens het onderzoek bleek dat een eenvoudige omzetting en uitbreiding van het Belgisch model (SEPIA-LEAP) naar het Vlaamse energiesysteem heel wat problemen opleverde. Een van de oorzaken is de significante afwijkingen in de methodologiën en terminologieën gebruikt voor de Vlaamse energiebalansen (zowel van VITO en MIRA) en de IEA energiebalans waarop we ons voor het Belgisch energiesysteem hebben gebaseerd. Bovendien konden we voor België beroep doen op gedetailleerde IEA energiebalansen voor de elektriciteitssector, wat niet het geval was voor Vlaanderen. Een andere oorzaak is dat het SEPIA-LEAP model veel geaggregeerder is dan wat vereist is in EVIV-LEAP (gezien de relatief gedetailleerde MIRA indeling in sectoren). Bovendien zorgde in de loop van het project een bug in de toenmalige versie van het LEAP softwarepakket voor een fatale crash van het tot dan toe reeds sterk aangepaste en uitgebreide SEPIA-LEAP model, waardoor veel tijd en werk verloren is gegaan. Het was daarom noodzakelijk om, tegen de oorspronkelijke bedoelingen in en op zeer korte tijd, een *volledig nieuw* model voor het Vlaamse energiesysteem m.b.v. LEAP te bouwen. Dit heeft zeer veel inspanningen gevergd. Hierdoor kon niet volledig worden voldaan aan de oorspronkelijke verwachtingen.

De sectorindeling van MIRA wordt in EVIV-LEAP zeer getrouw gevolgd. Alle MIRA (deel)sectoren worden volledig gesimuleerd in EVIV-LEAP, met inbegrip van de landbouwsector. Grote uitzondering is de staalsector, waarvan we een deel (waaronder de cokesovenfabriek) naar de transformatiesector hebben moeten plaatsen. Dit komt omdat de staalsector relatief grote hoeveelheden cokesovengas (eigen gebruik) en vooral hoogovengas (dat in de klassieke thermische centrale “Knippegroen” nabij Zelzate wordt verbrandt) produceert. In LEAP is het niet mogelijk om productie van secundaire energiedragers in de energievraag module te plaatsen. De indeling in ETS en niet-ETS bedrijven vereist in wezen informatie op het niveau van individuele bedrijven. Dergelijke mate van detail was niet haalbaar in dit project. In het beste geval kunnen we de LEAP resultaten exporteren naar Excel en hierop ex post een soort “verdeelsleutel” toepassen.

Via een combinatie van top-down en bottom-up analyse zijn we er in geslaagd om een (aangepaste) versie van de MIRA / VITO energiebalans voor Vlaanderen vrij nauwgezet te reconstrueren. Dit vergde in het EVIV deel het veelvuldig gebruik van een techniek die men “matrix balancing” of ook wel RAS noemt, waarbij de cellen van een matrix worden ingevuld op basis van gekende kolom- en rijtotalen. In wezen zijn vanuit de energiebalans Vlaanderen enkel de kolomtotalen (totaal energiegebruik per energiedrager, per sector) gekend. De rijtotalen (energiegebruik per energiefunctie, per sector) hebben we bijna altijd moeten schatten op basis van veelal buitenlandse literatuurgegevens. Bijkomend probleem is dat in principe er oneindig veel combinaties mogelijk zijn bij het opvullen van de cellen van de matrix. Het is daarom wellicht aangewezen om in toekomstige stakeholder oefeningen met EVIV-LEAP experts te betrekken die eventueel betere of aanvullende informatie kunnen bezorgen omtrent zowel rijtotalen (energiegebruik per energiefunctie) als over de gebruikte startwaarden voor de cellen van de matrix.

Hoewel het EVIV-LEAP model nog grotendeels een bottom-up benadering volgt, werden praktisch alle scenario variabelen i.v.m. het simuleren van de energievraag waarvan de waarden door stakeholders (en eventueel experts) moeten worden vastgelegd overzichtelijk in een afzonderlijke LEAP module “key assumptions” geplaatst. Bij elke variabele kan de modelgebruiker via de tab “notes” achterhalen wat de precieze betekenis is van de variabele. Hierdoor is voor een groot deel tegemoet gekomen aan de eis om de bouw van scenario’s voor stakeholders zo gebruiksvriendelijk mogelijk te houden. De module “key assumptions” bevat tevens de waarden van de exogene variabelen (verloop van bevolking, toegevoegde waarde per sector, persoon- en tonkilometer, en variabelen i.v.m. landbouwareaal en veeteelt).

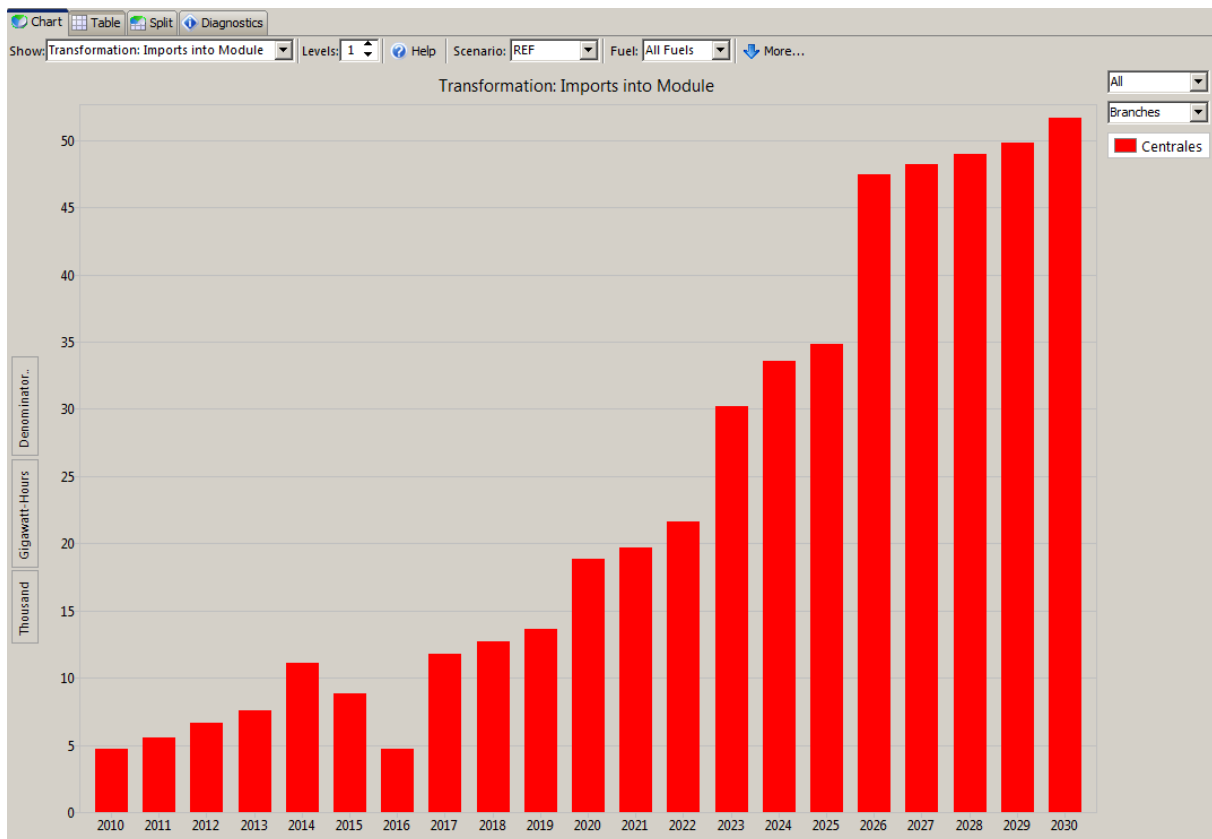
Figuur 1: Definiëren van scenario’s via de afzonderlijke “key assumptions” module in EVIV-LEAP



Het opsplitsen van maatregelen in volumemaatregelen, structurele en technische maatregelen en maatregelen i.v.m. brandstoffenmix is eigen aan de LEAP methodologie, en is bijgevolg zonder meer van toepassing in EVIV-LEAP.

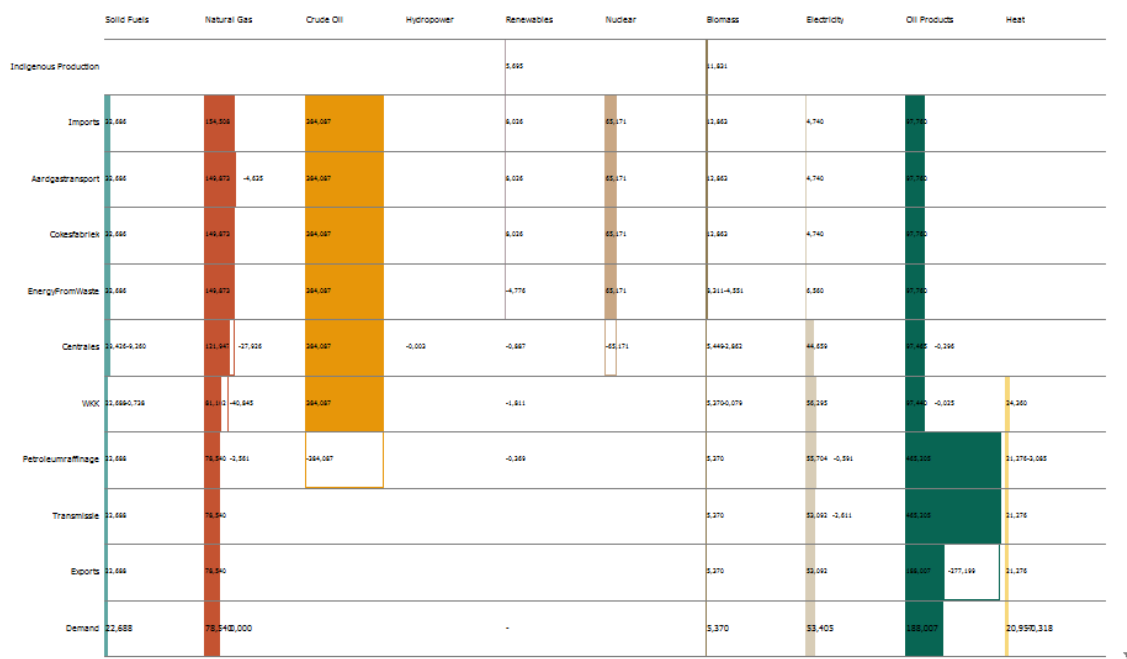
EVIV-LEAP simuleert enkel het Vlaamse energiesysteem. De invoer en uitvoer van energiedragers in EVIV-LEAP wordt voor een groot stuk bepaald door de capaciteiten die men voorziet zowel in de transformatie module als in de energiebronnen module van LEAP. Dit wil zeggen, indien bijvoorbeeld de gebruiker opzettelijk niet genoeg capaciteit (rekening houdend met reservecapaciteit) voorziet in de transformatiemodule voor de opwekking van elektriciteit om aan de binnenlandse vraag te voldoen, dan kan LEAP automatisch de vereiste hoeveelheid elektriciteit laten importeren. Of indien de vraag naar biomassa het potentieel aan binnenlands geproduceerde biomassa overstijgt, zal LEAP automatisch de vereiste hoeveelheid biomassa importeren. Het is in LEAP mogelijk om import- en exportquota's vast te leggen, ongeacht de door LEAP zelf voorgestelde of door de gebruiker vooropgestelde beschikbare capaciteiten of potentiëlen. LEAP zal er steeds automatisch voor zorgen dat de energieboekhouding van het Vlaamse energiesysteem in evenwicht blijft.

*Figuur 2: Import van elektriciteit in het referentiescenario indien geen bijkomende investeringen in capaciteit na 2015 (Vlaanderen, 2010-2030)*



Het voorstellen van de resultaten (in tabelvorm en grafisch) van energiegebruik en emissies is eigen aan LEAP, en zonder meer van toepassing in EVIV-LEAP.

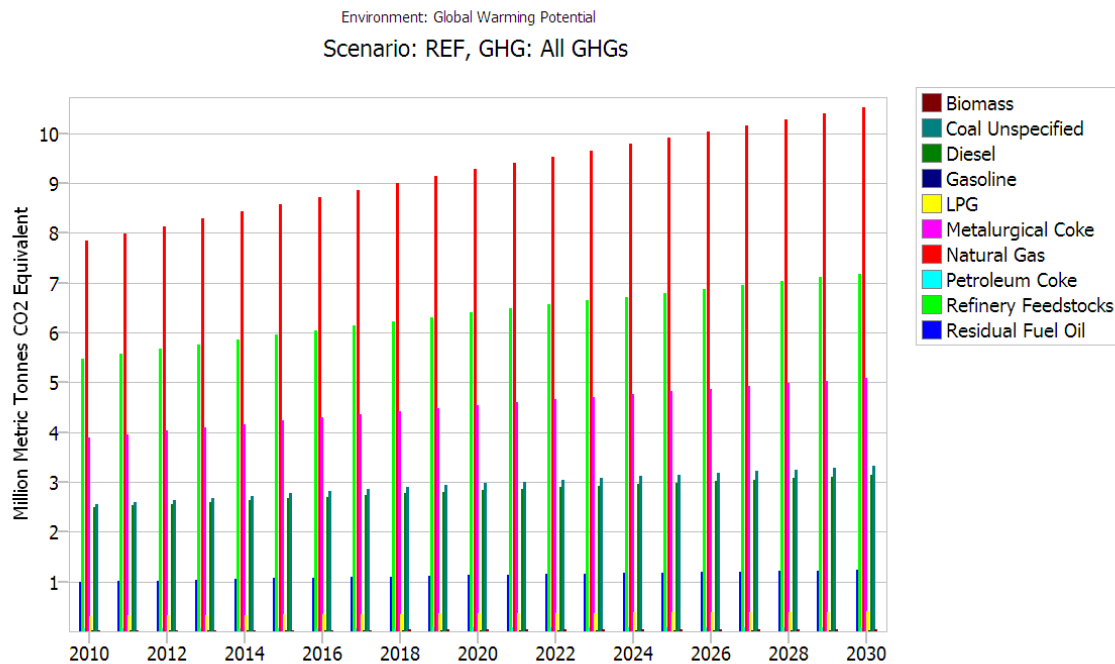
Figuur 3: Energiebalans Vlaanderen volgens EVIV-LEAP (Vlaanderen, 2010)



De energiebalans volgens EVIV-LEAP is zeer getrouwe weergave van de Energiebalans Vlaanderen volgens MIRA of VITO (op enkele nog wat kleinere details na).

LEAP bevat een databank (TED of "Technology Database" genaamd), met voor alle relevante energiedragers o.m. emissiefactoren of kenmerken (bijvoorbeeld koolstof- of zwavelinhoud) op basis waarvan verschillende emissies worden berekend, zowel van broeikasgassen (door LEAP indien gewenst automatisch omgezet naar GWP), als van verzurende depositie of troposferisch ozon. Er zijn nog enkele moeilijk op te lossen problemen i.v.m. de definitie van energiedragers in de energiebalans en in LEAP. Problematisch is vooral het gebruik van "andere brandstoffen" in de energiebalans van VITO, omdat de definitie van deze energiedrager verre van eenduidig is. Naargelang de sector waarin deze energiedrager voorkomt, kan hij de ene keer betrekking hebben op huishoudelijk en gelijkgesteld afval, en de andere keer op restgassen of bijproducten uit de chemische industrie! Een kleiner probleem is dat een aantal energiedragers (koolteer, cokesovengas en hoogovengas) niet standaard zijn opgenomen in de TED databank van LEAP. LEAP laat wel toe om voor deze energiedragers substituten te voorzien. Voor broeikasgassen selecteren we systematisch de IPCC emissiefactoren, zoals opgenomen in TED. Het is echter mogelijk dat, omwille van processpecifieke omstandigheden, sommige emissies in Vlaanderen afwijken van de emissies berekend m.b.v. de IPCC factoren. Bovendien is de energiedrager "andere brandstoffen" in de energiebalans van VITO zo dubbelzinnig, dat we onmogelijk kunnen weten welke emissiefactoren we hierop moeten toepassen. Het systematisch opsporen en corrigeren van afwijkingen in EVIV-LEAP t.o.v. de geïnventariseerde emissies voor Vlaanderen hebben we wegens tijdsgebrek niet kunnen uitvoeren tijdens deze opdracht.

Figuur 4: Voorbeeld van de emissies van broeikasgassen, in GWP (per energiedrager) door de vraagsectoren in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2012)



Er zijn in de loop van het project grote hoeveelheden data verzameld. Al deze data gedetailleerd beschrijven, is hier niet haalbaar. De verzamelde en verwerkte gegevens zijn opgenomen in het EVIV-deel (rekenbladen), en maken integraal deel uit van het EVIV-LEAP model aan de opdrachtgever bezorgd (zowel de EVIV rekenbladen als het LEAP model omgezet naar rekenbladvorm).

Dit rapport heeft niet de bedoeling om het EVIV-LEAP model tot in detail te beschrijven. De beste manier om de werking van EVIV-LEAP te achterhalen, is het model zelf gebruiken. We beperken ons tot de grote lijnen, met aandacht voor de mate waarin de oorspronkelijke doelstellingen werden bereikt, en waarom bepaalde zaken in deze fase vooralsnog niet mogelijk waren. Men moet hierbij rekening houden dat EVIV-LEAP een vanaf de grond opgebouwd *nieuw* model is, en niet de oorspronkelijk voorziene aanpassing en uitbreiding van het bestaande SEPIA-LEAP model voor België.

## 2 Het modelleren van gedragsaspecten in EVIV-LEAP

Voor de vraagsectoren (huishoudens, handel & diensten, transport, industrie en landbouw) beoogt EVIV-LEAP rekening te houden met een aantal “gedragsfactoren”. Dit wil zeggen dat de transitie naar een koolstofarm energiesysteem in Vlaanderen niet alleen plaatsgrijpt via zuiver technologische veranderingen, maar ook via aanpassingen van de levensstijl. Voor elk van de vraagsectoren geven we kort aan welke deze gedragsfactoren zijn. We geven tevens schematisch weer welke verbanden tussen deze factoren we oorspronkelijk in het EVIV-LEAP model wilden opnemen. Een aantal van deze verbanden werden uiteindelijk niet weerhouden, voornamelijk omdat bij grondig literatuuronderzoek is gebleken dat ze ofwel niet relevant zijn, ofwel zeer moeilijk te implementeren zijn. Een andere reden is dat door de noodzaak om EVIV-LEAP volledig vanaf nul te bouwen er niet voldoende tijd was om bepaalde verbanden nog mee op te nemen.

### 2.1 Gedragsfactoren bij huishoudens

De belangrijkste gedragsvariabelen bij huishoudens zijn:

- De keuze voor alternatieve vormen van samenwonen, zoals bijvoorbeeld kangoeroe wonen.
- Sloop van oude (i.e. uit het basisjaar overlevende) woningen (heeft vooral invloed op het aantal nieuw te bouwen woningen).
- Renovatie van niet gesloopte, uit het basisjaar overlevende woningen (heeft vooral invloed op de isolatiekwaliteit van bestaande woningen).
- De keuze om bij nieuwbouw in “ecowijken” te wonen (bepaalt vooral het gebruik van lokale warmte- en elektriciteitsnetten).
- De keuze voor kleinere woningen bij nieuwbouw, en/of om minder gebruiksoppervlakte te klimatiseren (verwarmen, koelen, ventileren), ook en vooral bij bestaande al dan niet gerenoveerde woningen (heeft vooral te maken met “comfort”).
- Het aantal vollast uren per energiefunctie (laat in geval van verwarming en ruimteteoeling tevens toe om rekening te houden met klimatologische omstandigheden).

EVIV-LEAP voorziet de mogelijkheid om het aantal leden per gezin in de toekomst te variëren. Eerder dan een afname van de gezinsverdunning, biedt dit de mogelijkheid om onrechtstreeks alternatieve vormen van samenwonen (zoals kangoeroe wonen) te simuleren.

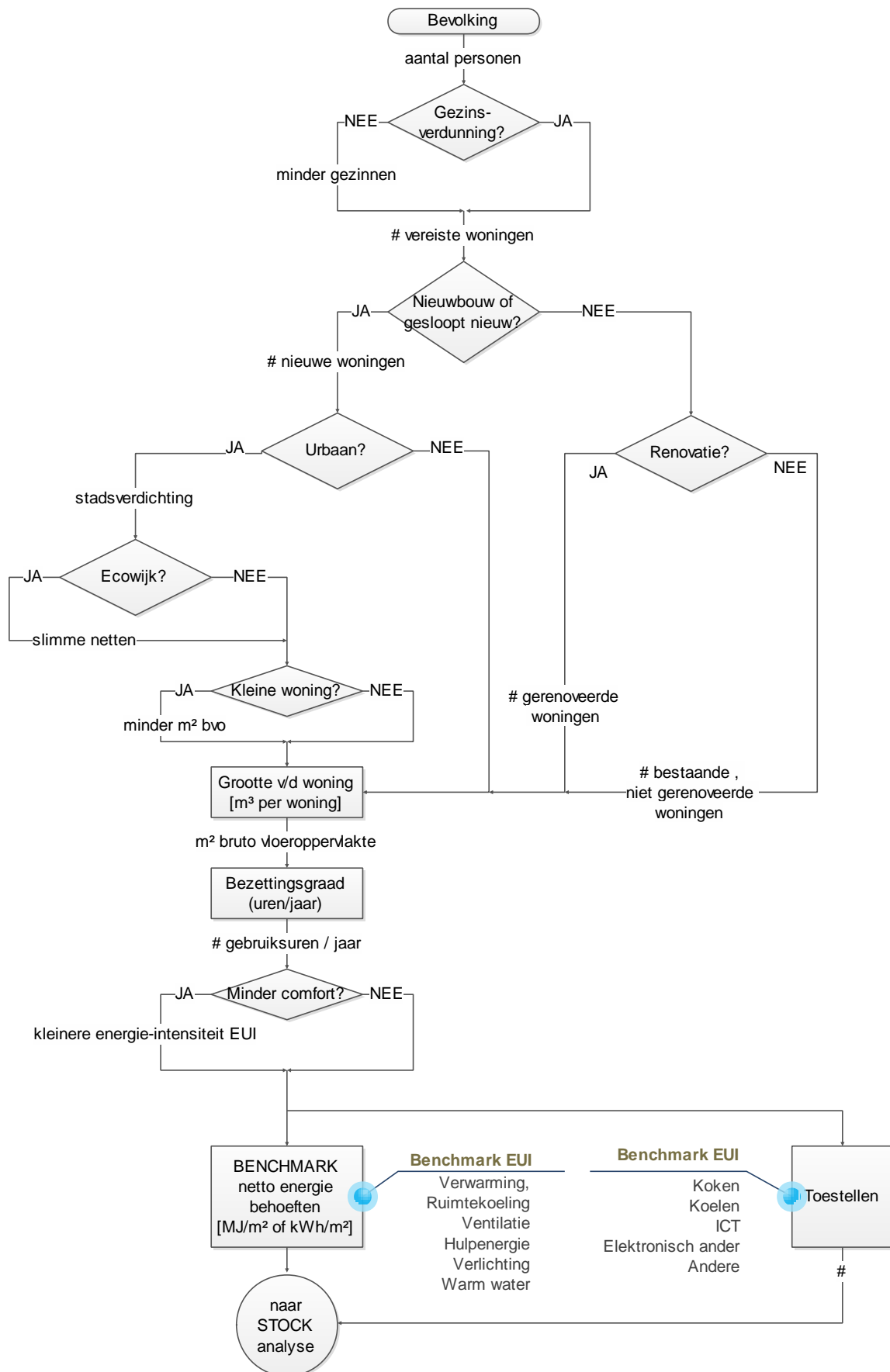
Een voor de hand liggende groep gedragsfactoren heeft betrekking op het feit of gezinnen al dan niet opteren voor nieuwbouw of renovatie. In geval van nieuwbouw kunnen ze kiezen om uitdrukkelijk in “ecowijken” te gaan wonen. Wonen in ecowijken betekent vooral wonen in geconcentreerde wijken met energie- of koolstofneutrale gebouwen, met als belangrijkste kenmerk dat de energielevering hoofdzakelijk afkomstig is van lokale warmte- en elektriciteitsnetten.

Met de variabele “stadsverdichting” of “urbanisatie” was het oorspronkelijk de bedoeling dat de modelgebruiker kon kiezen tussen “stad” ( urbaan) of “platteland” (ruraal) bij nieuwbouw. Deze keuze zou ook een invloed hebben op de variabele personenmobiliteit. In een sterk verstedelijkte regio als Vlaanderen bleek dit onderscheid uiteindelijk niet zo zinvol. Uit de literatuur blijkt trouwens dat er significante verschillen bestaan in de definities van stedelijk, semi-stedelijk en ruraal, en dat wat in Vlaanderen als “platteland” wordt beschouwd sterk kan verschillen naargelang de auteur. Nader onderzoek wees bovendien uit dat de band tussen “verplaatsingsbehoeften” en het al dan niet in stedelijk gebied wonen veel minder sterk is dan we oorspronkelijk hadden gedacht (in feite is er nauwelijks correlatie).

Een andere gedragsvariabele is het uitdrukkelijk kiezen voor minder woonoppervlakte (of kleinere woningen) bij nieuwbouw.

Met de variabele “keuze voor minder comfort” zou het model automatisch de energie-intensiteiten (zoals bijvoorbeeld kWh/m<sup>2</sup> voor verwarming) met een bepaalde factor verminderen. Omwille van de transparantie van het model leek het beter om een daling van de energie-intensiteiten t.g.v. een bewuste keuze voor minder comfort rechtstreeks door de gebruiker te laten vastleggen bij de opbouw van scenario's, weliswaar ten koste van “gebruikersgemak”.

Figuur 5: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij huishoudens





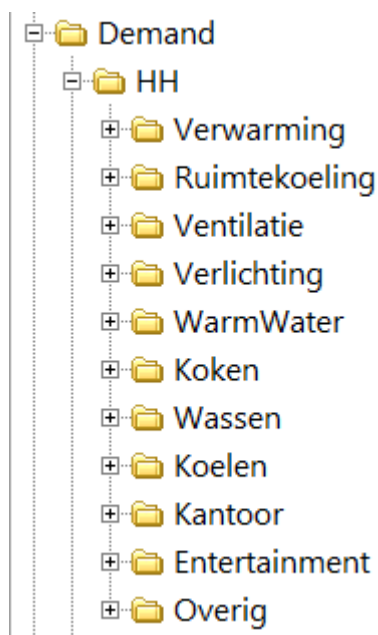
Figuur 5 geeft de oorspronkelijk voorziene verbanden tussen de gedragsfactoren bij huishoudens.

De belangrijkste afwijkingen in het huidige EVIV-LEAP model t.o.v. het oorspronkelijk schema zijn samengevat als volgt.

- De keuze om nieuwbouw woningen te situeren in “urbaan” of “ruraal” gebied is niet langer weerhouden. De modelgebruiker kan wel opteren om nieuwbouw te situeren in “ecowijken”, ongeacht of deze zich al dan niet in stedelijk gebied bevinden. EVIV-LEAP maakt een uitdrukkelijk onderscheid tussen “ecowoningen” en “conventionele” woningen.
- De modelgebruiker kan niet alleen de grootte van de nieuwbouw woning variëren in functie van bewoonbare vloeroppervlakte, maar kan ook voor alle woningen (zowel bestaande als nieuwe) specificeren welk gedeelte van die oppervlakte verwarmd, gekoeld en/of geventileerd wordt. Dit biedt twee mogelijkheden. Ten eerste, rekening houden met de zogenaamde “rebound effecten”, waarbij t.g.v. een verbetering van de isolatiekwaliteit van de gebouwschil en/of van het verwarmingssysteem de bewoners een groter deel van het gebouw beginnen te verwarmen. Ten tweede, vrijwillig “inboeten aan comfort” door opzettelijk een kleiner deel van de woning te klimatiseren.
- Bezettingsgraad of gebruiksuren per jaar is vervangen door vollast uren per energiefunctie. Dit laat voor verwarming en ruimtekoeling onrechtstreeks toe om rekening te houden met jaarlijkse graaddagen, zowel voor verwarming (“heating degree days” of HDD) als ruimtekoeling (“cooling degree days” of CDD). Het laat ook toe om bepaald bewonersgedrag te simuleren, bijvoorbeeld een verlaging van de set-temperatuur en/of het programmeren van de kamerthermostaat zal resulteren in minder vollast uren voor ruimteverwarming.
- Energie-intensiteiten per energiefunctie, met inbegrip van kleinere energie-intensiteiten t.g.v. inboeten aan comfort, moeten rechtstreeks door de modelgebruiker worden vastgelegd (in de afzonderlijke LEAP module “key assumptions”).
- De in EVIV-LEAP weerhouden energiefuncties of -diensten wijken lichtjes af van deze in het oorspronkelijk schema. De gebouw-gebonden energiefuncties zijn verwarming, ruimtekoeling, ventilatie en verlichting. Hulpenergiegebruik is geïntegreerd in de hierboven vermelde energiefuncties. Gezinsgebonden energiefuncties zijn warm water, koken, wassen (kledij), koelen (en vriezen van producten), “kantoor” toestellen (PC, laptop), “entertainment” toestellen (TV) en overige (elektrische) toestellen.

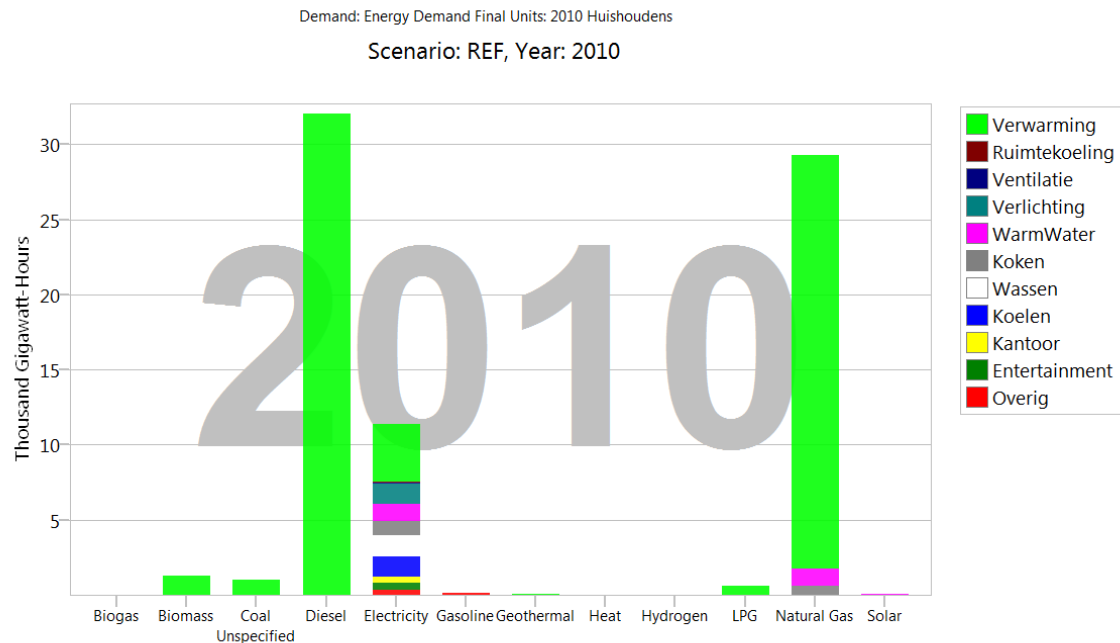
De keuze van type installatie voor verwarming, koeling e.d. gebeurt via stockanalyse (zie het hoofdstuk over bijzondere technieken in EVIV-LEAP).

Figuur 6: Energiefuncties of -diensten voor huishoudens (HH) in EVIV-LEAP



Omdat verwarming, ruimtekoeling, ventilatie en verlichting sterk verbonden zijn met de karakteristieken van de woning, maakt EVIV LEAP voor deze diensten een uitdrukkelijk onderscheid tussen oude of bestaande (uit het basisjaar overlevende), gerenoveerde en nieuwbouw woningen. Warm water, koken e.d. zijn eerder gebonden aan kenmerken van het gezin, waardoor onderscheid tussen bestaande, gerenoveerde en nieuwe woningen voor deze functies niet relevant is.

Figuur 7: Verdeling van het energiegebruik voor huishoudens over energiefuncties en energiedragers (Vlaanderen, 2010)



De gecombineerde top-down en bottom-up benadering laat EVIV-LEAP toe om met grote nauwkeurigheid het energiegebruik te reconstrueren, zowel per energiefunctie als per energiedrager. We merken nogmaals uitdrukkelijk op dat gegevens over gebruik per energiefunctie volledig ontbreken in de energiebalans Vlaanderen, zodat de overeenstemming enkel slaat op het totale gebruik per energiedrager. De figuur toont bijvoorbeeld duidelijk het grote aandeel van verwarming. Dit aanzienlijke aandeel is mede het gevolg van de verplichting om conform te blijven met de Energiebalans Vlaanderen. Wij hebben sterke vermoedens dat met name het aandeel huisbrandolie / diesel in de Energiebalans Vlaanderen sterk overschat is.

## 2.2 Gedragsfactoren bij handel & diensten

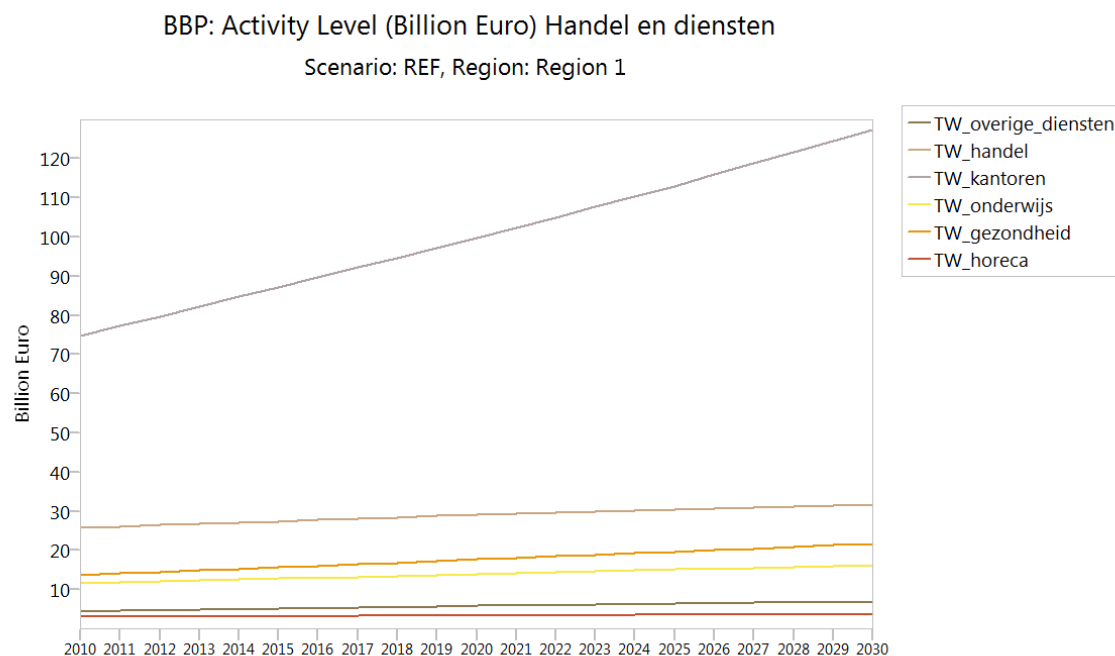
Voor handel & diensten volgen we voor elk van de zes MIRA deelsectoren (horeca, gezondheidszorg, onderwijs, kantoren, handel en overige dienstverlening) dezelfde procedure.

De belangrijkste gedragsvariabelen voor handel & diensten zijn:

- de toegevoegde waarde (TW);
- het aantal benodigde werknemers per eenheid toegevoegde waarde;
- het gemiddeld aantal werknemers per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte;
- de keuzes voor sloop, renovatie en ecowijken bij nieuwbouw (zoals bij woningen);
- het deel van de vloeroppervlakte dat wordt verwarmd, gekoeld en/of geventileerd;
- het aantal vollast uren per energiefunctie.

Als indicator voor de activiteiten in de sectoren van handel & diensten geldt de “Toegevoegde Waarde” of TW. Dit is nodig om de link te kunnen leggen met het Bruto Binnenlands Product of BBP. Een belangrijke gedragsvariabele is daarom de vooropgestelde of gewenste groei van de TW in de deelsectoren van handel & diensten (H&D). Op zich is er geen rechtstreeks verband tussen energiegebruik en toegevoegde waarde in handel & diensten. Twee gedragsvariabelen zorgen voor de omzetting van de activiteiten in termen van TW naar activiteiten in termen van bruto vloeroppervlakte (bvo) in m<sup>2</sup>. De eerste variabele is “productiviteit”, of het aantal werknemers die nodig zijn per eenheid TW. Een verhoging van de productiviteit (minder werknemers voor dezelfde hoeveelheid TW) is mogelijk, zoals bijvoorbeeld in het verleden is gebeurd met de verregaande informatisering van administratieve functies (kantoorfuncties). Een tweede variabele geeft aan hoeveel werknemers een gebouw in H&D gemiddeld bevat (om technische redenen gebruiken we in het bijgevoegd schema de reciproke). Deze twee variabelen samen, in samenhang met de geprojecteerde TW, laten toe om te bepalen hoeveel gebouwen nodig zijn in H&D in een bepaald jaar.

*Figuur 8: Voorbeeld van de evolutie van de toegevoegde waarde (TW) in handel & diensten in referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030)*

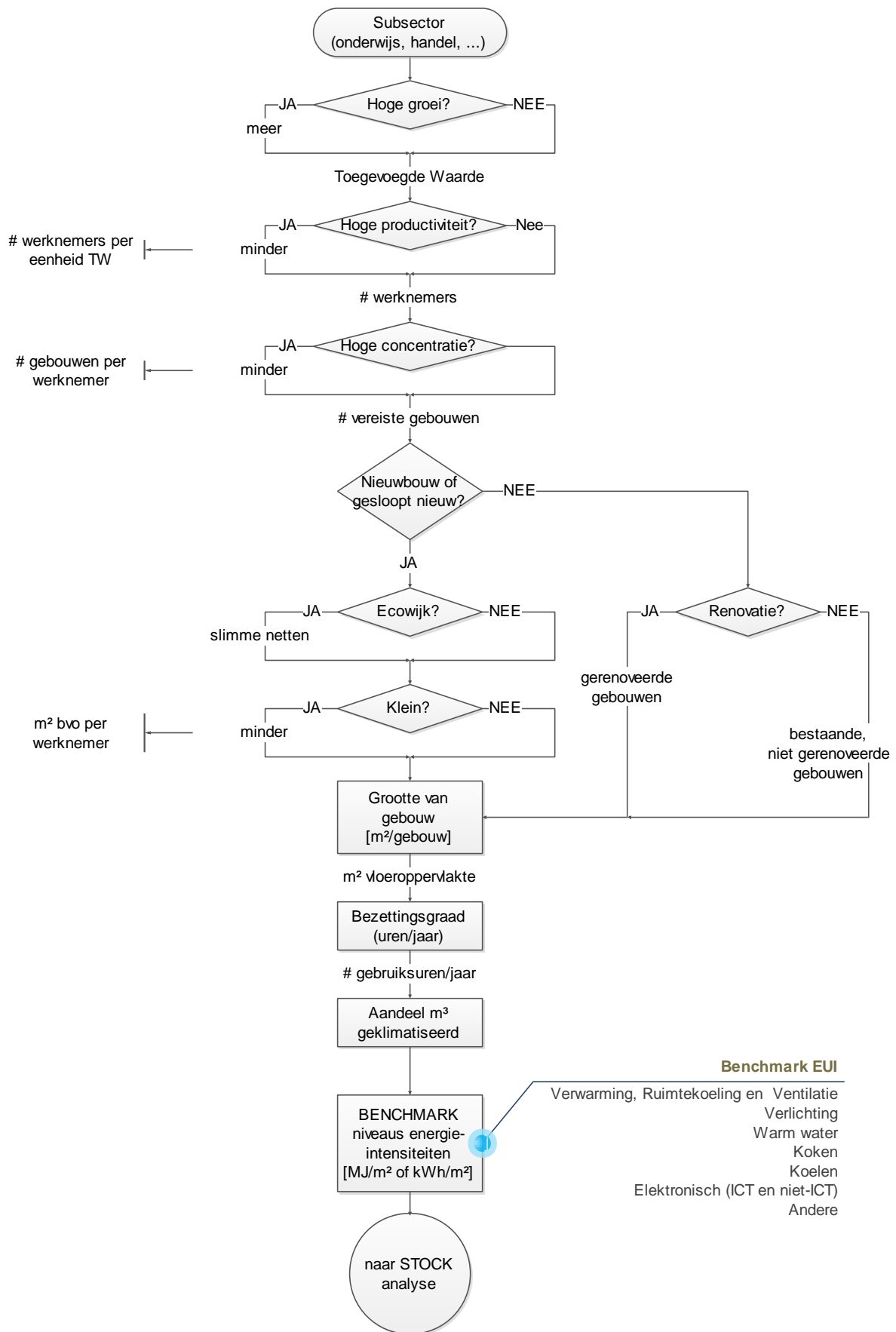


Naar analogie met woningen laten een aantal gedragsvariabelen toe om te opteren voor nieuwbouw (al dan niet na sloop), voor renovatie, en in het geval van nieuwbouw voor ecowijken en voor kleine of grote gebouwen (als functie van het aantal voorziene m<sup>3</sup> bruto vloeroppervlakte per werknemer). Op basis van gemiddelde bestaande groottes en de keuze van grootte voor nieuwbouw kennen we uiteindelijk de totale bruto vloeroppervlakte in de (deel)sector van handel & diensten.

Bijkomende variabelen, zijn gebruiksduur (aantal uren per jaar) en aandelen van vloeroppervlakte die worden verwarmd, gekoeld en/of geventileerd.

Voor de verschillende energiefuncties (klimatisatie, verlichting, warm water, etc.) en gebouwtypes (ecowijk, nieuwbouw, gerenoveerd, niet gerenoveerd) wordt het (netto) energiegebruik bepaald door energie-intensiteiten of EUIs (end-use intensities), uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. De keuze van de installaties voor verwarming, ruimtekoeling e.d. en van (elektrische) toestellen gebeurt via stockanalyse (zie hoofdstuk over bijzondere technieken in EVIV-LEAP).

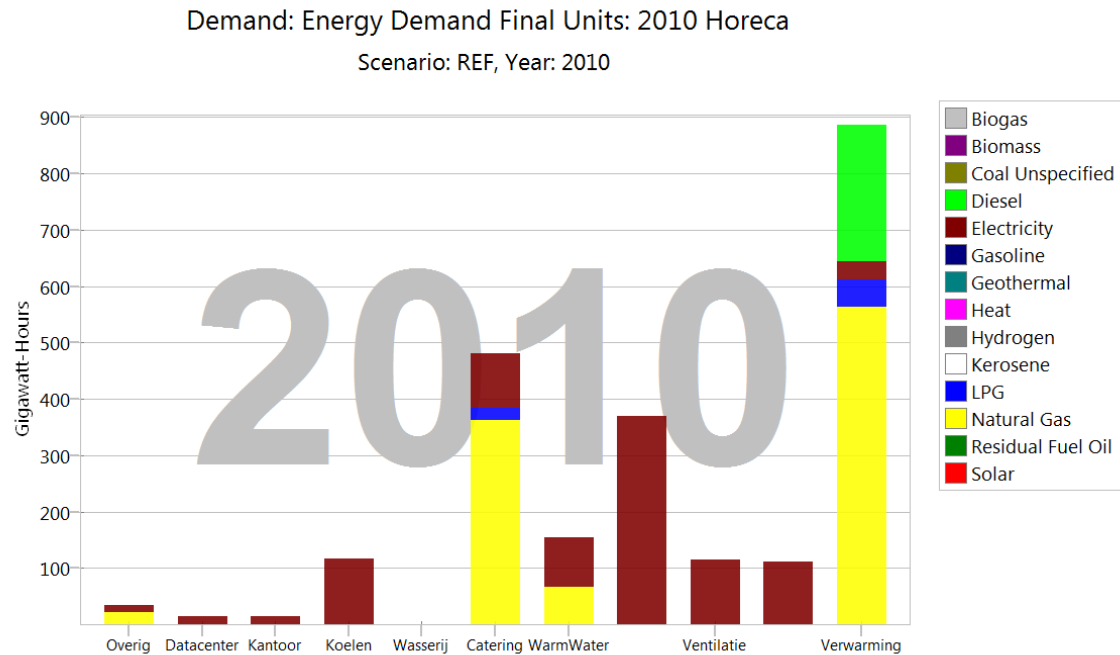
Figuur 9: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij handel & diensten



De afwijkingen in het huidige EVIV-LEAP model t.o.v. het oorspronkelijk schema zijn zeer beperkt:

- Bezettingsgraad of gebruiksuren per jaar is vervangen door vollast uren, per energiefunctie.
- De energiefuncties of -diensten zijn nagenoeg dezelfde als deze voor woningen. Alleen is de “entertainment” functie vervangen door “datacenter” (servers).

Figuur 10: Verdeling van het energiegebruik van de horeca sector over energiefuncties en energiedragers (Vlaanderen, 2010)



Figuur 10 toont bij wijze van voorbeeld de verdeling van het energiegebruik per functie en energiedrager voor de horeca in het basisjaar 2010. We hebben deze keer – puur illustratief – de functies op de horizontale as geplaatst en de energiedragers op de verticale as. Hoewel de energiefuncties nagenoeg dezelfde zijn als deze voor woningen, is hun verdeling opmerkelijk verschillend. De verdeling per energiefunctie is zoals voor alle andere sectoren noodgedwongen voor het grootste deel gebaseerd op buitenlandse literatuurgegevens, en daarom onderhevig aan grote onzekerheden. De totalen per energiedrager stemmen overeen met deze van de Energiebalans Vlaanderen, op minieme afwijkingen na (vooral t.g.v. afrondingsfouten).

### 2.3 Gedragsfactoren bij personenvervoer

De belangrijkste gedragsvariabelen bij personenvervoer zijn:

- Keuze om minder personenkilometer af te leggen (bijvoorbeeld t.g.v. “telewerken”);
- Keuze van wegtype ( urbaan, ruraal, snelweg) en van spoortype (city, intercity);
- Modale verschuivingen (van gemotoriseerd vervoer naar niet-gemotoriseerd vervoer, van privé naar publiek vervoer, en voor publiek vervoer van weg naar spoor);
- Energiezuinig rijden of “eco-rijden” op de weg (mits aanpassing van de “fuel efficiencies” per modus en wegtype);
- Gedeeld rijden of “carpooling” (mits aanpassing van de gemiddelde bezettingsgraad).

Het aantal personenkilometer is een exogene variabele. EVIV-LEAP maakt geen onderscheid tussen personenkilometer afgelegd door inwoners van Vlaanderen en niet-inwoners van Vlaanderen. Dit maakt het moeilijk om de gedetailleerde onderzoeksresultaten van het verplaatsingsgedrag van Vlamingen direct in verband te brengen met het aantal personenkilometer in EVIV-LEAP. Het

modelleren van het verplaatsingsgedrag van de bewoners van omliggende regio's of landen viel buiten het bestek van deze opdracht.

De oorspronkelijke bedoeling was om een band te vinden tussen personenvervoer en woningen via een variabele "urbanisatie-percentages". De veronderstelling dat meer urbanisatie automatisch minder personenvervoer zou betekenen, kan niet hard worden gemaakt. De variabele "stedelijke verdichting" is zoals eerder vermeld niet weerhouden in de huidige versie van EVIV-LEAP. We maken – in tegenstelling tot het Belgisch SEPIA-LEAP model – voor wegvervoer (zowel personen als goederen) wel een expliciet onderscheid tussen de wegtypes urbaan, ruraal en snelwegen; en voor spoorvervoer tussen "city" en "intercity" vervoer. De waarden van deze variabelen (aandelen van elke weg- of spoortype) kunnen eventueel door stakeholders, al dan niet in samenspraak met experts, via de "key assumptions" module in LEAP worden vastgelegd.

De oorspronkelijke gedragsvariabele "keuze voor telewerk" is niet expliciet opgenomen in de huidige versie van EVIV-LEAP, maar kan wel worden gesimuleerd door het aantal personenkilometer te verminderen. De reden dat we deze gedragsvariabele nog niet uitdrukkelijk hebben opgenomen is dat we het aantal personenkilometer moeten kunnen uitsplitsen in woon-werk verkeer en andere vormen van verkeer. Dit bleek met de beschikbare tijd en middelen niet mogelijk.

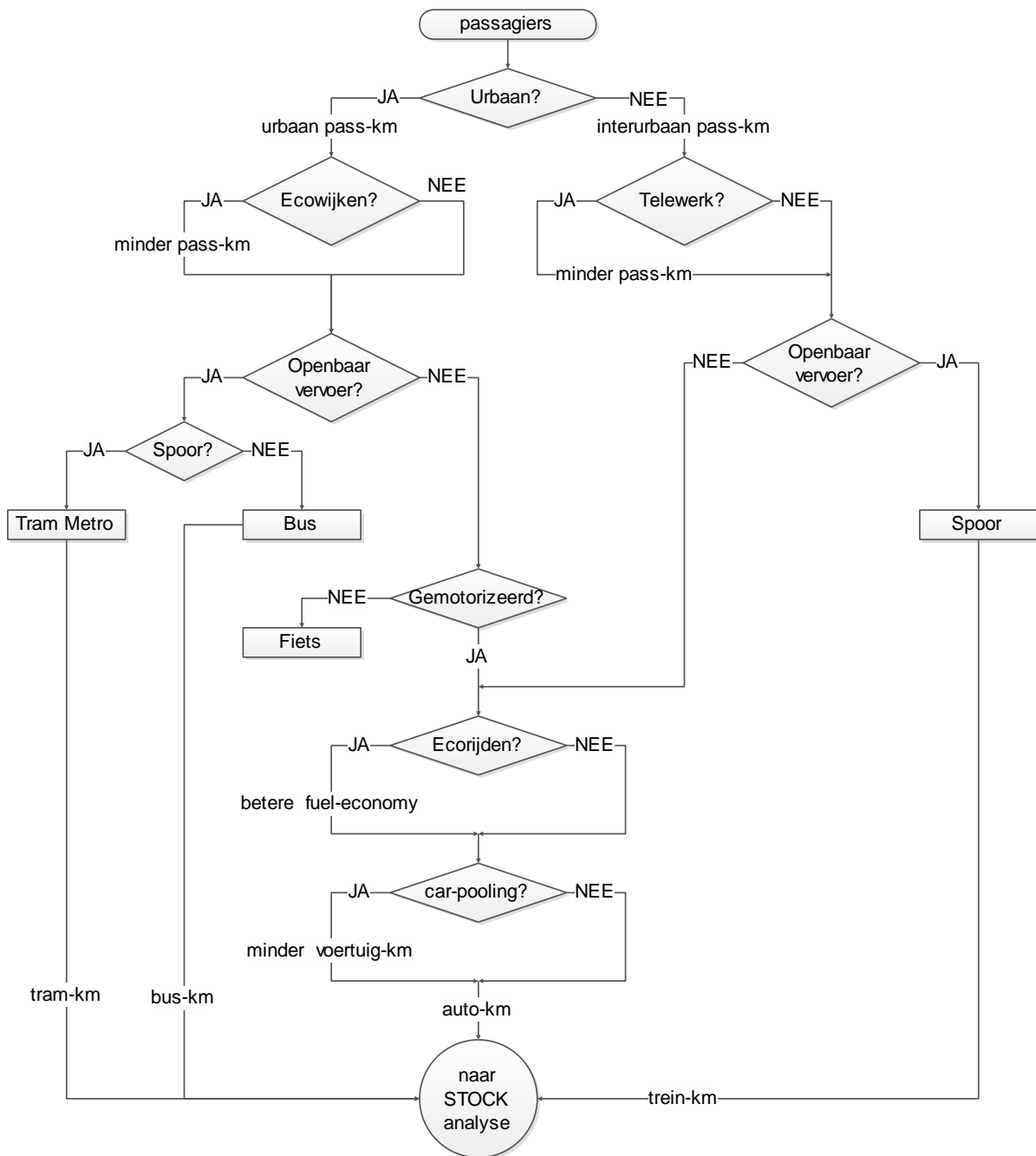
Typische gedragsvariabelen voor personenvervoer zijn de modale verschuivingen ("modal shifts"), met voor personenvervoer keuzes tussen privé en publiek vervoer, en voor publiek vervoer tussen weg (bus, autocar) en spoor (tram, trein). Een keuze voor minder gebruik van motorfiets of auto, en meer van fiets of te voet, bij gelijkblijvend aantal personenkilometer, vertaalt zich in EVIV-LEAP door een vermindering van het aantal "gemotoriseerde" personenkilometer. Voor goederenvervoer moeten de modelgebruikers expliciete keuzes maken tussen weg, spoor en binnenschip.

EVIV-LEAP houdt rekening met een mogelijke toename van "eco-rijden", door de modelgebruiker toe te laten de "fuel efficiencies" aan te passen, en dit zowel per voertuigtype als per wegtype. De belangrijkste reden om dit in EVIV-LEAP niet te "automatiseren" is dat de literatuur het verband tussen ecorijden en verminderd energiegebruik aangeeft als moeilijk kwantitatief te schatten.

Een belangrijke gedragsvariabele is "bezettingsgraad", i.e. het aantal personen per voertuig. Dit maakt het mogelijk om o.m. rekening te houden met "carpooling", waarvan een toename betekent dat de gemiddelde bezettingsgraad zal toenemen, waarbij als gevolg hiervan het aantal voertuigkilometer zal afnemen (bij gelijkblijvend aantal personenkilometer).

Figuur 11 geeft de oorspronkelijk bedoelde verbanden tussen de gedragsfactoren bij personenvervoer.

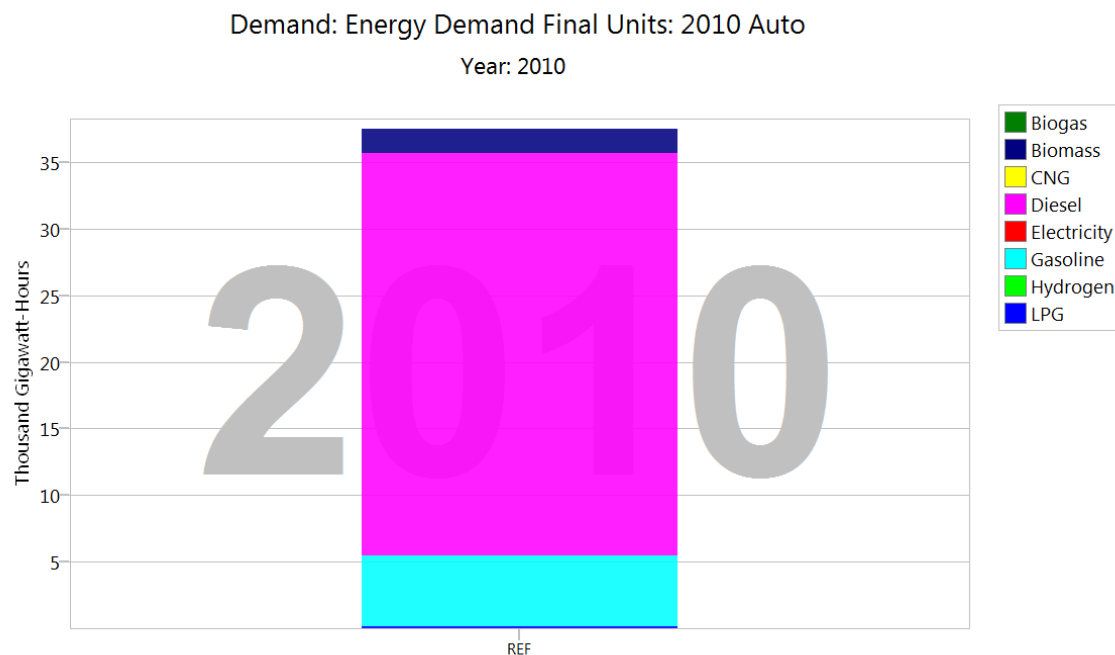
Figuur 11: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij personenvervoer



De afwijkingen in het huidige EVIV-LEAP model t.o.v. het oorspronkelijk schema zijn als volgt:

- Het aantal persoonkilometer hangt niet af van waar men woont (stad, platteland, ecowijk), maar kan wel door de modelgebruikers worden verminderd t.g.v. bewuste (ecologische) keuzes.
- Gedragselementen zoals ecorijden en carpooling worden door de modelgebruikers onrechtstreeks in rekening gebracht door het verbeteren van de "fuel efficiency" c.q. het verminderen van de bezettingsgraad (per voertuigtype en wegtype). Afzonderlijke variabelen die deze gedragingen sturen zouden het model minder transparant maken, en wiskundige verbanden tussen ecorijden en betere "fuel economy" of tussen carpooling en minder voertuig-km kunnen niet op ondubbelzinnige wijze uit de literatuur worden gehaald.

Figuur 12: Energiegebruik van personenvervoer met de auto, per energiedrager (Vlaanderen, 2010)



EVIV-LEAP laat o.m. toe om per modus en per energiedrager het energiegebruik te tonen. Met “biomass” wordt in deze figuur de biobrandstoffen biodiesel en bio-ethanol bedoeld (bijgemengd bij normale diesel c.q. benzine). Een probleem met de huidige implementatie van LEAP is dat biodiesel als dusdanig nog niet expliciet in de databank van brandstoffen is voorzien.

## 2.4 Gedragsfactoren bij vrachtvervoer

De belangrijkste gedragsvariabelen bij goederenvervoer zijn:

- Keuze om minder tonkilometer af te leggen (bijvoorbeeld t.g.v. een “dematerialisatie” van de economie);
- Keuze van wegtype (urbaan, ruraal, snelweg) en van spoortype (city, intercity treinen);
- Modale verschuivingen (tussen wegvervoer, spoorvervoer en vervoer per binnenschip);
- Energiezuinig rijden of “eco-rijden” op de weg (mits aanpassing van de “fuel efficiencies” per modus en wegtype);
- Betere logistiek (mits aanpassing van de gemiddelde bezettingsgraad).

De variabele die de activiteiten van het vrachtvervoer weergeeft is het aantal ton-km. Deze is op zich een exogene variabele (gezien België / Vlaanderen een transitland is, zou het endogeniseren van deze variabele een transportmodel voor Vlaanderen en de buurlanden of voor de EU vereisen, wat niet voorzien is binnen EVIV-LEAP).

Oorspronkelijk was een “gedragsvariabele” voorzien die de mogelijke “dematerialisatie” van de economie zou vertegenwoordigen. Dematerialisatie betekent o.m. dat men minder materiaal gebruikt per product, dat men producten veel beter hergebruikt, materialen intensief recycleert etc. Een mogelijk gevolg van dematerialisatie is een vermindering van het aantal tonkilometer. Literatuuronderzoek leert dat het verband tussen dematerialisatie en minder tonkilometer moeilijk te kwantificeren is. Deze variabele is daarom voorlopig niet in EVIV-LEAP opgenomen. De modelgebruikers kunnen wel “handmatig” het aantal tonkilometer in hun scenario’s beperken.

Het oorspronkelijk voorziene onderscheid tussen korte en lange afstanden, en de mogelijke verbanden met “stedelijke verdichting” en/of ecowijken zijn niet weerhouden in de huidige versie van



EVIV-LEAP. Zoals voor personenvervoer maakt EVIV-LEAP wel een onderscheid tussen wegtype (urbaan, ruraal, snelweg) en spoortype (city, intercity). De modelgebruikers hebben o.m. de vrijheid om te veronderstellen dat lichte vrachtwagens eerder terug te vinden zullen zijn op urbane en rurale wegen, en zware vrachtwagens op snelwegen, maar dergelijke veronderstellingen zijn niet “hard wired” in EVIV-LEAP.

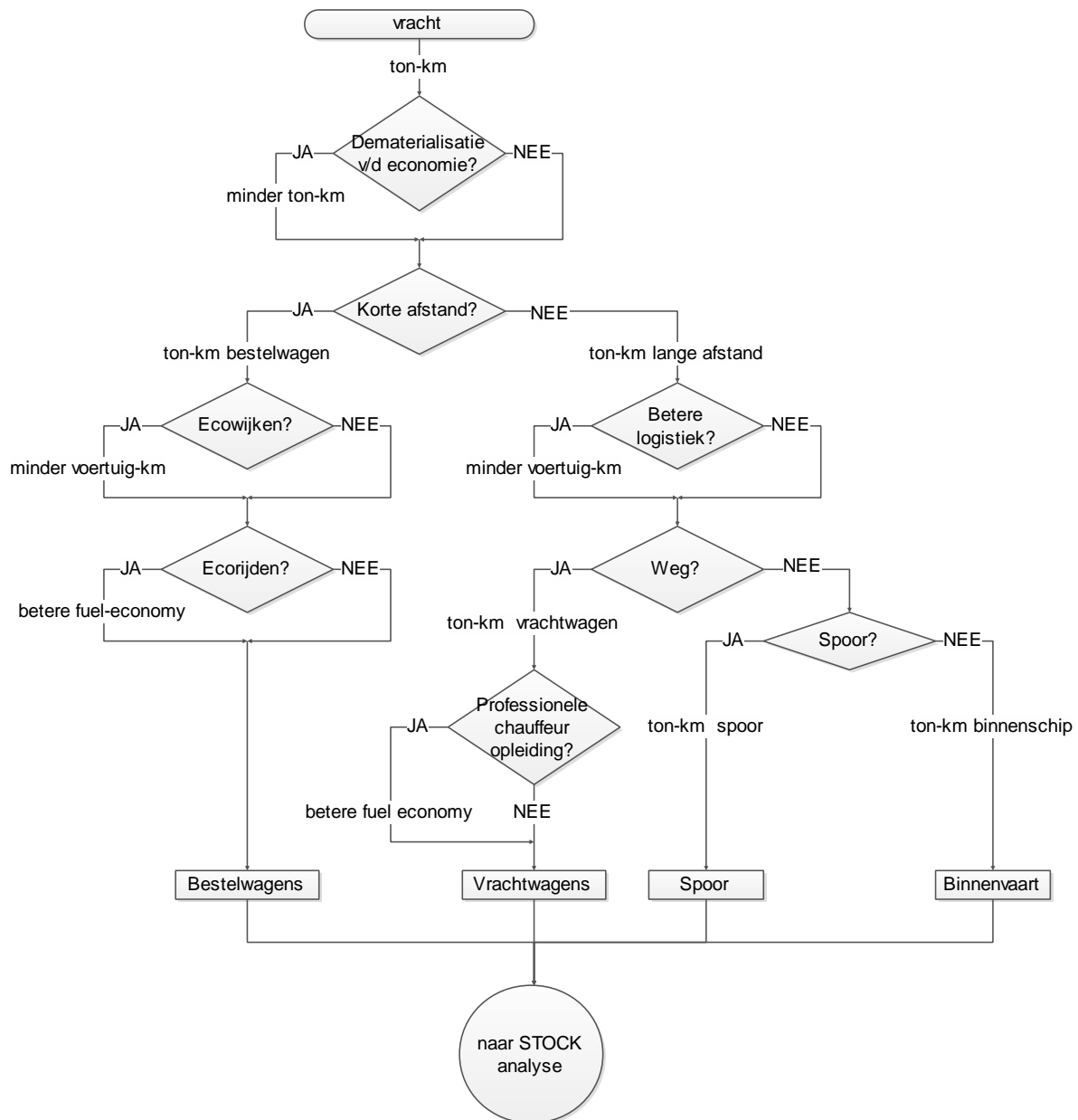
Een belangrijke gedragsvariabele is zoals voor alle vervoer de modale keuzes, met voor goederenvervoer de expliciete keuze tussen wegvervoer, spoorvervoer en vervoer per binnenschip.

Een andere relevante gedragsvariabele is een verbetering van de logistiek, die voor een vermindering van het aantal voertuigkilometer zorgt. Dit gebeurt in EVIV-LEAP door het aanpassen (verhogen) van de bezettingsgraad, i.e. van het aantal vervoerde ton goederen per voertuig (per modus en per wegtype).

Tot slot kan een verbeterde professionele opleiding van de vrachtwagenchauffeurs zorgen voor een betere “fuel economy” van zware vrachtwagens (heavy duty truck of HDT) en lichte vrachtwagens of bestelwagens gebruikt voor goederenvervoer (light duty trucks of LDT).

Figuur 13 geeft de oorspronkelijke verbanden tussen de gedragsfactoren bij vrachtvervoer.

Figuur 13: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij vrachtvervoer



De afwijkingen in het huidige EVIV-LEAP model t.o.v. het oorspronkelijk schema zijn als volgt:

- Een dematerialisatie-variabele die wiskundig het verband legt tussen dematerialisatie van de economie en een verminderd aantal tonkilometer is niet weerhouden. De modelgebruikers kunnen wel handmatig het aantal tonkilometer in hun scenario's verminderen.
- Het onderscheid tussen korte en lange afstanden en de invloed van stedelijke verdichting is vervangen door de keuze tussen wegtype ( urbaan, ruraal, snelweg) en spoortype (city, intercity).

## 2.5 Gedragsfactoren voor industrie

De belangrijkste gedragsvariabelen voor industrie zijn:

- De toegevoegde waarde (TW) per industriële sector.

Zoals bij handel & diensten worden de activiteiten in eerste instantie weergegeven door de toegevoegde waarde van elk van de negen industriële (deel)sectoren in de MIRA energiebalans. De groei (positief of negatief) van de industriële activiteiten is deels afhankelijk van eerder gemaakte

keuzes in het desbetreffend scenario, met name de groeipercentages in de deelsectoren van handel & diensten, en de vooropgezette groei van het Bruto Binnenlands Product (BBP). Hoewel de globale industriële groei in termen van toegevoegde waarde hierdoor vastligt, er is binnen de industrie nog steeds een verschuiving mogelijk tussen de verschillende deelsectoren, waarvan de ene sector al iets minder energie-intensief is (in termen van energiegebruik per toegevoegde waarde) dan de andere.

Oorspronkelijk waren voor de industrie veel meer gedragsvariabelen voorzien. Geen enkele van deze variabelen bleek echter op realistische manier te implementeren.

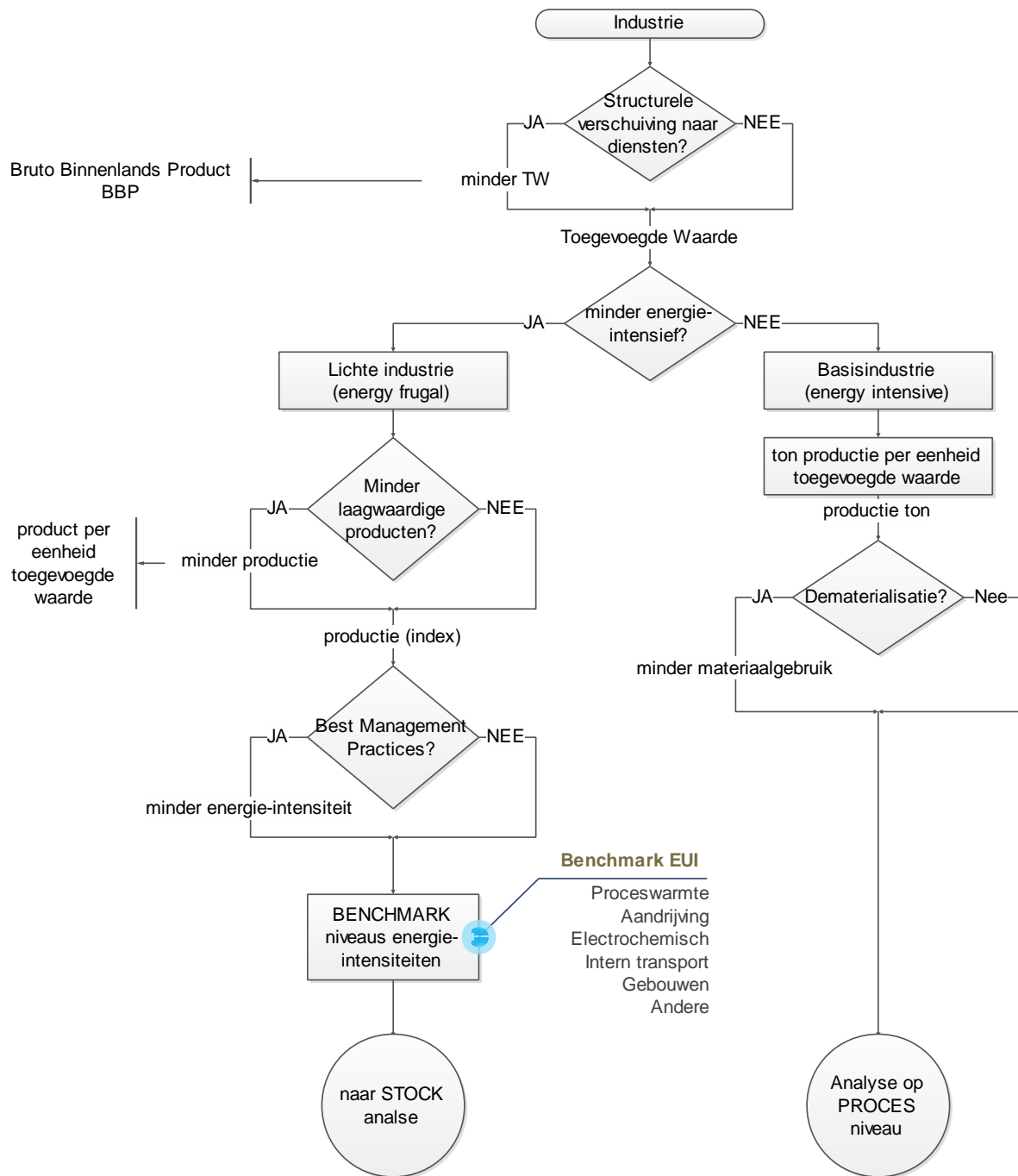
De bedoeling was dat EVIV-LEAP de mogelijkheid zou voorzien om te opteren voor meer hoogwaardige producten, i.e. producten met grote toegevoegde waarde. Dit zou betekenen dat een sector in principe evenveel toegevoegde waarde zou kunnen genereren, ondanks een kleinere productie in termen van fysieke eenheden. De maat voor industriële activiteiten zou dan worden omgezet van toegevoegde waarde naar een meer zinvolle productie-index (op het aggregatieniveau van EVIV-LEAP heeft productie in termen van fysieke eenheden geen zin omwille van de enorme diversiteit aan producten). Een toename van toegevoegde waarde zou niet automatisch een toename van de productie-index betekenen. Het uitwerken van een dergelijke index bleek met de beschikbare tijd en middelen niet mogelijk, en het is zeer de vraag of een dergelijke methode überhaupt wel zinvol is. Men mag ook niet vergeten dat “hoogwaardige” producten niet noodzakelijk minder energie-intensief zouden zijn dan laagwaardige producten.

Een tweede gedragsvariabele zou het al dan niet toepassen van energie management technieken zijn. Het gebruik van “best management practices” zou voor een vermindering van de energie-intensiteiten of EUIs (Energy Use Intensities) zorgen. Uit literatuuronderzoek blijkt dat het quasi onmogelijk is om dergelijk verband op een ondubbelzinnige manier te kwantificeren.

Het oorspronkelijk voorziene onderscheid tussen energie-intensieve en minder energie-intensieve sectoren, die wel aanwezig was in het oorspronkelijke SEPIA-LEAP model voor het Belgisch energiesysteem, is evenmin weerhouden, omwille van een groot aantal redenen. De door de opdrachtgever gestelde eis dat de MIRA indeling van (9) sectoren moet worden gevolgd zou betekenen dat we voor elke industriële deelsector nog eens een verder onderscheid moesten maken tussen ETS en niet-ETS bedrijven. Voor een aantal sectoren (staal, non-ferro, chemie, papier, niet-metaal mineralen) betekende dit de facto werken op het niveau van individuele processen van individuele bedrijven. Dit was een onmogelijke opdracht, gezien het relatief korte tijdsbestek waarin we het *volledige* energiesysteem voor Vlaanderen moesten heropbouwen en vooral het grote gebrek aan systematische en betrouwbare informatie op bedrijfsniveau. In principe is het wel mogelijk om een deel van de benodigde informatie uit de emissiejaarverslagen te halen, maar het vergaren en verwerken van deze data alleen al zou werk voor vele maanden betekenen.

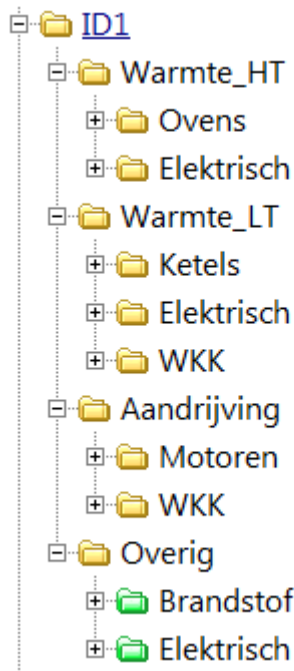
We hebben daarom gekozen voor een haalbare “second-best” solution. Voor elke industriële sector definiëren we vier energie-functies (hoge temperatuur warmte, lage temperatuur warmte, aandrijving, en overige), waarvoor we de energie-intensiteiten in termen van kWh per toegevoegde waarde bepalen. In hoeverre gedragsaspecten zoals “best management practices”, “meer hoogwaardige producten” en/of dematerialisatie van de economie voor een verandering van de energie-intensiteiten zorgen, laten we over aan de discretie van de modelgebruikers. Een kwantificering van dergelijke verbanden is vandaag de dag zeker niet aan de orde.

Figuur 14: Oorspronkelijk schema van gedragsfactoren bij industrie



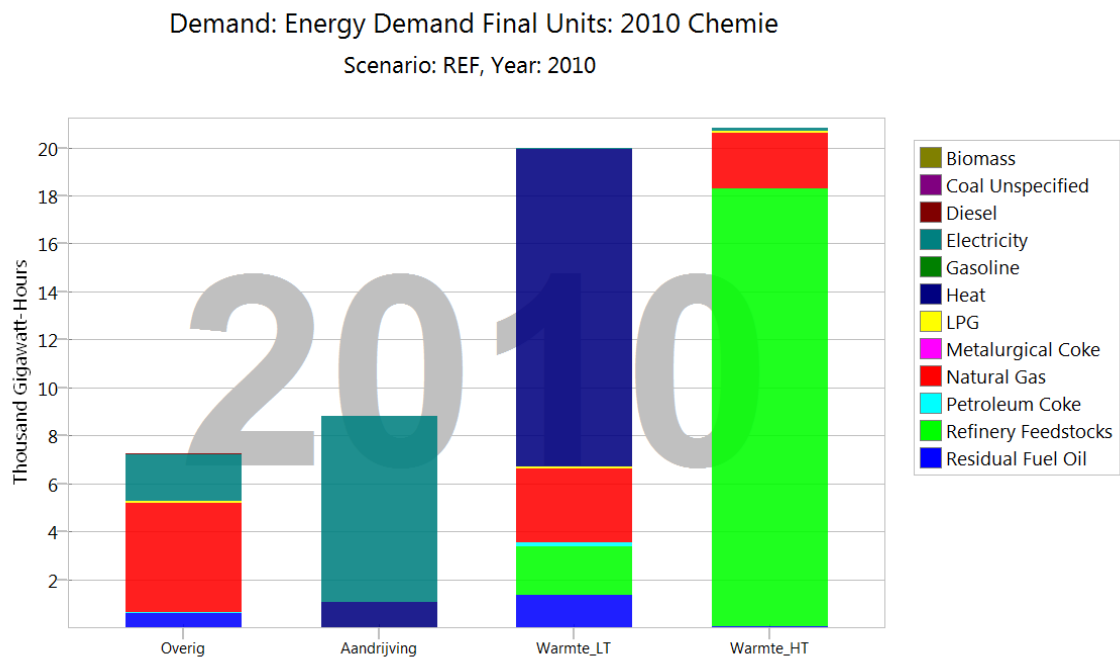
De beschrijving van de industriële sectoren in de huidige versie van EVIV-LEAP wijkt sterk af van het oorspronkelijk schema. Enkel structurele verschuivingen en rechtstreekse aanpassingen van de energie-intensiteiten per energiefunctie zijn weerhouden. De energiefuncties zelf zijn beperkt tot hoge temperatuur proceswarmte (ovens, fornuizen e.d.), lage temperatuur proceswarmte (vooral stoomsystemen), aandrijving en overige.

Figuur 15: Energiefuncties van industriële sectoren in EVIV-LEAP



Bijzonder aan EVIV-LEAP, zeker t.o.v. andere energiemodellen, is dat expliciet rekening wordt gehouden met het gebruik van elektriciteit voor de voortbrenging van zowel hoge als lage temperatuur proceswarmte. Nog origineler dat in het EVIV-LEAP model ook het gebruik van WKK voor directe aandrijving (b.v. van grootschalige compressoren) i.p.v. enkel de opwekking van elektriciteit is opgenomen.

Figuur 16: Voorbeeld in EVIV-LEAP van energiegebruik per energiefunctie en per energiedrager voor chemie (Vlaanderen, 2010)



Bij aandrijving is het donkerblauwe (onderste) deel “kracht”, hoewel in de legende “heat” staat. Dit komt doordat “kracht” niet expliciet is voorzien in de databank van energiedragers van LEAP, maar

heeft verder geen consequenties. Op dezelfde wijze is bij hoge temperatuurproceswarmte (afgekort Warmte\_HT) “refinery feedstocks” een substituuat voor wat in de MIRA / VITO energiebalans “andere brandstoffen” heet (en waarvan de precieze betekenis overigens zeer onduidelijk is). Opvallend is verder het relatief grote aandeel van WKK voor de productie van lage temperatuur proceswarmte in de chemische industrie.

### 3 Technologiekeuze via voorraadanalyse in EVIV-LEAP

Bij het bouwen van scenario's is de keuze van technologieën een zeer belangrijk aspect. De penetratie van nieuwe, meer energiezuinige en duurzame technologieën gebeurt doordat de actoren in de verschillende sectoren bij de vervanging van oude technologieën en bij de uitbreiding van de activiteiten (of bevolking) systematisch kiezen voor alternatieven die op het vlak van energiegebruik en impact op het klimaat beter scoren.

In het EVIV-LEAP model is de toepassing van voorraadanalyse die we in het bestaande model voor het Belgisch energiesysteem (SEPIA-LEAP) hebben gebruikt, zeer sterk uitgebreid. Voorraadanalyse wordt in EVIV-LEAP in bijna alle (deelsectoren) toegepast, met uitzondering van enkele kleinere deelsectoren waarvan de meesten slechts een fractie van het totale finale energiegebruik in Vlaanderen vertegenwoordigen. De MIRA sectoren waarvoor we *geen* voorraadanalyse gebruiken zijn:

- binnenscheepvaart en (binnenlandse) luchtvaart
- landbouw, bosbouw en visvangst
- niet-energetisch energiegebruik in de industrie.

We gebruiken evenmin voorraadanalyse voor “overige” energiediensten bij huishoudens, handel & diensten en industrie, maar wel voor al de andere energiediensten van deze sectoren.

Er is i.v.m. het aspect “sales” van de voorraadanalyse tevens geëxperimenteerd met het toepassen van een in SEPIA-LEAP (Belgisch energiesysteem) niet eerder gebruikte techniek, met name (multi criterion decision analysis of MCDA), en dit met matig succes.

#### 3.1 Beschrijving van voorraadanalyse in LEAP

Vorraadanalyse is een functie die is ingebouwd in de tool LEAP. De vergelijkingen zijn als volgt:

$$Stock_{t,y,v} = Sales_{t,v} \times Survival_{t,y-v}$$

$$Stock_{t,y} = \sum_{v=1}^V Stock_{t,y,v}$$

Met:

- t is het type technologie;
- v is de “vintage”, dit is het jaar waarin de technologie werd toegevoegd;
- y is het kalenderjaar;
- “Sales” is het aantal apparaten, toestellen, voertuigen, installaties e.d. die in een bepaald jaar (nieuw) worden aangekocht;
- “Stock” is het aantal apparaten etc. die in een bepaald jaar aanwezig zijn;
- “Survival” is de fractie van apparaten etc. die overleven (i.e. nog in gebruik zijn) een aantal jaar na hun aankoop;
- V is het maximum aantal “vintage” jaren. In LEAP is V wel beperkt tot maximaal 30 jaren.

De invoer van de variabele “Survival” of “overleving” moet gebeuren aan de hand van een “overlevingsprofiel” (zie volgend hoofdstuk). Voor “Sales” hebben we geëxperimenteerd met MCDA.

Na verloop van jaren zal, omwille van verouderingsverschijnselen, de energie-intensiteit (de geconsumeerde energie per eenheid apparaat etc) verslechteren. LEAP houdt hier mee rekening middels een zogenaamde “degradatiefactor”:

$$EnergyIntensity_{t,y,v} = EnergyIntensity_{t,y} \times Degradation_{t,y-v}$$

De degradatiefactor is gelijk aan 1 wanneer  $y=v$ , d.w.z. het jaar waarin het (nieuwe) apparaat etc. werd aangekocht. Het invoeren van de degradatiefactor in het LEAP model gebeurt aan de hand van een degradatieprofiel.

Voor mobiliteit of transport zijn de vergelijkingen gelijkaardig, op enkele subtiele verschillen na. LEAP spreekt van “brandstof- of energiegebruik per eenheid afgelegde afstand” eerder dan van energie-intensiteit. Bovendien is het mogelijk dat bij het verouderen van het voertuig de jaarlijkse afgelegde afstanden met dat voertuig (“mileage”) verminderen. De formules spreken voor zich:

$$FuelEconomy_{t,y,v} = FuelEconomy_{t,y} \times FeDegradation_{t,y-v}$$

$$Mileage_{t,y,v} = Mileage_{t,y} \times MlDegradation_{t,y-v}$$

In de stock-analyse gebruikt LEAP voor het bepalen van het (jaarlijks) energiegebruik en de emissies de volgende vergelijkingen:

$$EnergyConsumption_{t,y,v} = Stock_{t,y,v} \times EnergyIntensity_{t,y,v}$$

$$Emission_{t,y,v,p} = EnergyConsumption_{t,y,v} \times EmissionFactor_{t,y,p} \times EmissionDegradation_{t,y-v,p}$$

En voor mobiliteit of transport:

$$EnergyConsumption_{t,y,v} = Stock_{t,y,v} \times Mileage_{t,y,v} \times FuelEconomy_{t,y,v}$$

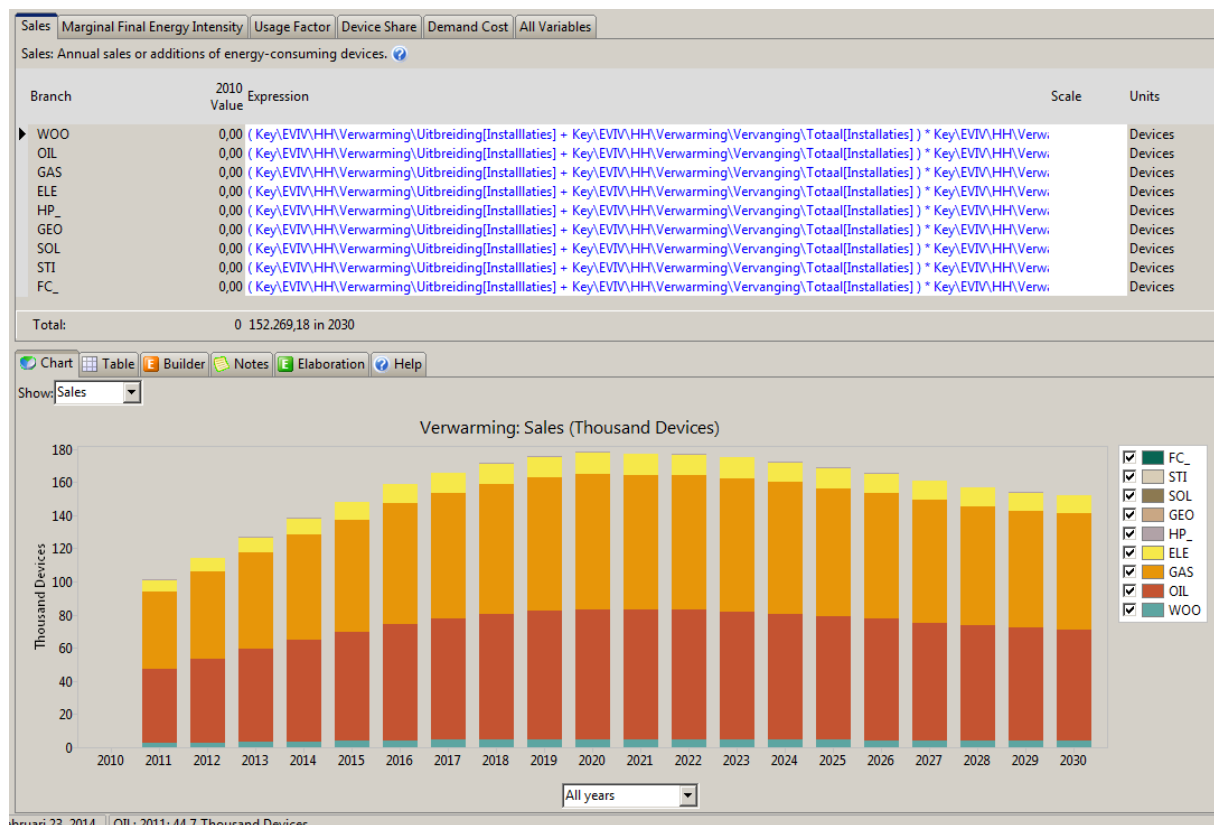
$$Emission_{t,y,v,p} = Stock_{t,y,v} \times Mileage_{t,y,v} \times EmissionFactor_{t,y,p} \times EmissionDegradation_{t,y-v,p}$$

Met:

- p is “polluent” of vervuilende stof (broeikasgassen e.a.);
- “Emission Degradation” is een factor die in rekening brengt dat bij het verouderen van een technologie (of voertuig) de emissiefactoren kunnen verslechteren (i.e. meer emissies produceren per eenheid activiteit dan voorheen).



Figuur 17: Voorbeeld van jaarlijkse nieuwe aankopen in de voorraadanalyse voor verwarmingsinstallaties bij huishoudens



De figuur toont bij wijze van voorbeeld het gebruik van voorraadanalyse voor verwarmingsinstallaties bij huishoudens, in het referentiescenario. Het referentiescenario is per definitie een scenario waarin men veronderstelt dat de verdeling van technologieën constant blijft. Vandaar dat er in het referentiescenario geen sprake is van verkopen van nieuwe technieken zoals Stirling motoren (STI) of brandstofcellen (FC), gezien deze in het basisjaar (zo goed als) niet voorkomen. Er is ook geen noemenswaardige verschuiving tussen de bestaande technieken. De verkopen dienen enkel om de voorraden op peil te houden, rekening houdend met afschrijvingen (vervangingsinvesteringen) en de toename van het aantal gezinnen / woningen (uitbreidingsinvesteringen).

In de volgende hoofdstukken zullen we achtereenvolgens de begrippen “Survival” en “Sales” uit de voorraadanalyse nader bekijken.

### 3.2 Overlevingsfuncties in EVIV-LEAP

In de voorraadanalyse van LEAP is het zogenaamde “overlevingsprofiel” een cruciale input. Het loont daarom om wat dieper op dit begrip in te gaan.

In overlevingsanalyse hanteert men een waarschijnlijkheidsfunctie  $f(t)$  die op een bepaald tijdstip (of nauwkeuriger de leeftijd van het apparaat) de kans aangeeft dat het apparaat “faalt” (of “sterft”). Deze waarschijnlijkheidsfunctie noemt men de “failure distribution”, of ook wel de “leeftijd – betrouwbaarheidsrelatie”. De functie geeft immers aan hoe “betrouwbaar” het apparaat nog is op een bepaalde leeftijd.

Op basis van de “failure distribution” kan men de *cumulatieve* kans op falen definiëren. Voor discrete verdelingen is deze gelijk aan  $F(t) = \sum_{i=0}^t f(i)$ . Voor continue verdelingen wordt dit  $F(t) = \int_0^t f(u)du$ .

De overlevingsfunctie of “survival function”, zoals we die moeten invoeren in de voorraadanalyse in EVIV-LEAP, geeft aan wat de kans is dat een apparaat, toestel, voertuig etc. nog overleeft na een zekere leeftijd  $t$ . De overlevingsfunctie wordt wiskundig gedefinieerd als  $S(t) = 1 - F(t)$ .

Hoewel niet strikt vereist in LEAP, maakt overlevingsanalyse tevens veelvuldig gebruik van de zogenaamde “hazard rate” of “gevaarfunctie”. Deze functie is een maat voor de waarschijnlijkheid dat een apparaat, toestel etc. faalt op een bepaalde leeftijd  $t$ , in acht genomen dat dit apparaat etc. al heeft overleefd tot op een leeftijd van minstens  $t$ . De “hazard rate” is m.a.w. een voorwaardelijke waarschijnlijkheid, en wordt wiskundig gedefinieerd als  $h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)}$

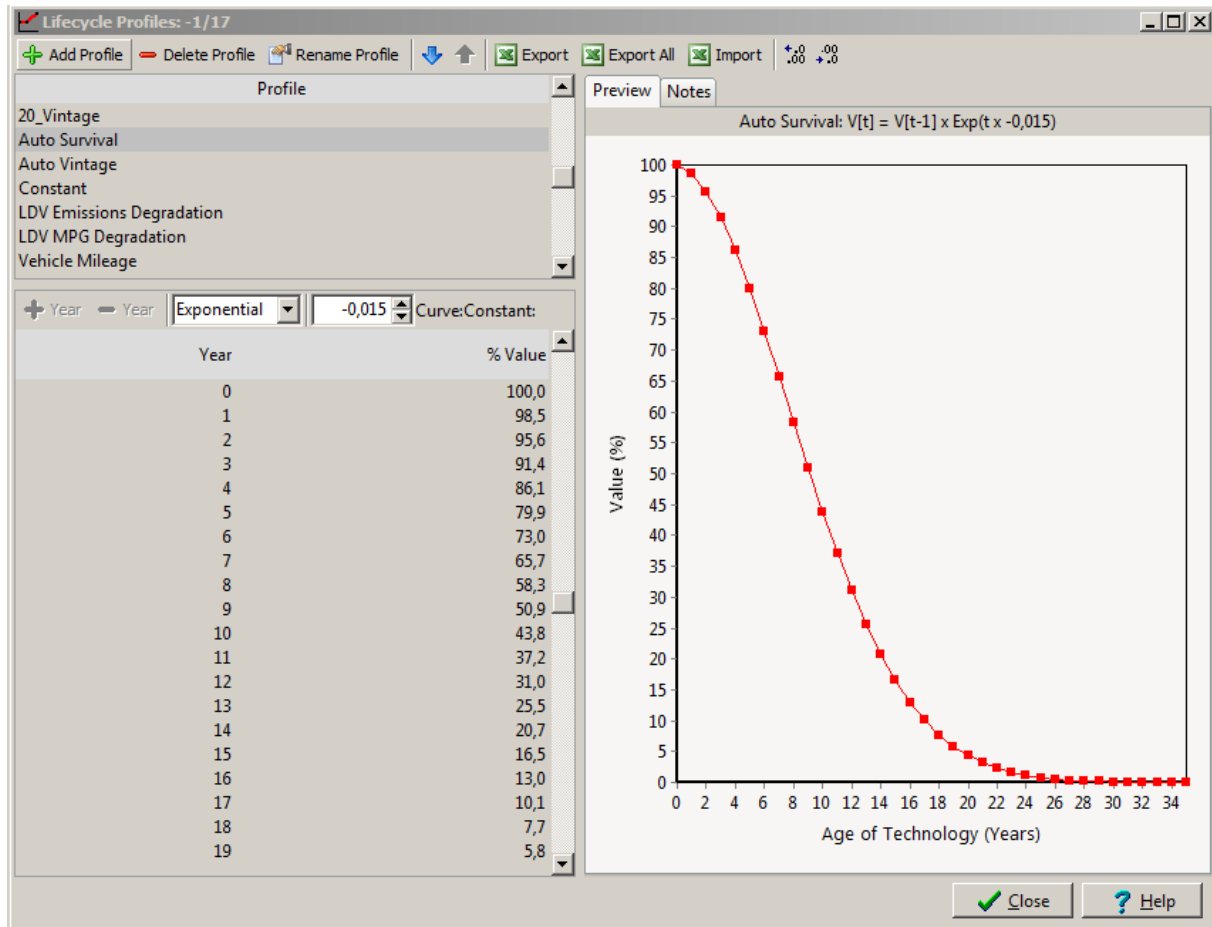
De overlevingsfunctie zal verschillen van (type) technologie tot technologie. In feite kan men deze functie alleen maar empirisch bepalen, na de feiten. In de literatuur circuleren heel wat mogelijke waarschijnlijkheidsverdelingen die kunnen fungeren als overlevingsfunctie. Een aantal gekende of veel gebruikte verdelingen zijn de exponentiële verdeling, de Weibull verdeling, de log-logistische verdeling en de log-normale verdeling.

- De Weibull verdeling is gedefinieerd als  $S(t) = e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$ . De parameter  $\alpha$  noemt men de “vorm” parameter, en de parameter  $\beta$  de “schaal” parameter.
- De log-logistische overlevingsfunctie is gedefinieerd als  $S(t) = \frac{1}{1+\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}$ . De parameters  $\alpha$  en  $\beta$  hebben dezelfde betekenis als bij de Weibull functie.

Door de gebruikers van EVIV-LEAP te laten “spelen” met de  $\alpha$  en  $\beta$  parameters kunnen zij in principe een invloed uitoefenen op de snelheid waarmee nieuwe technologieën hun intrede doen. Hierbij moeten we opmerken dat overlevingsfuncties slechts in beperkte mate te sturen zijn door gebruikers. Dit wil zeggen, actoren kunnen wel beslissen om een bepaalde (energieverslindende) technologie vervroegd af te schrijven, maar zij kunnen niet (altijd) verhinderen dat een apparaat, toestel, voertuig e.d. voortijdig stuk gaat of verloren gaat door ongelukken.

Het invoeren van overlevingsfuncties in LEAP is op zich geen probleem, vermits de tool daar uitdrukkelijk is op voorzien. Een gebruiker van LEAP kan zoveel soorten overlevingsprofielen invoeren als hij / zij wil.

Figuur 18: Voorbeeld van het invoeren van een exponentiële overlevingsfunctie voor auto's in EVIV-LEAP



Het vinden van betrouwbare overlevingsfuncties voor diverse technologieën is heel wat minder evident. De literatuur hieromtrent is relatief beperkt. De literatuurbronnen die wij hebben gehanteerd zijn voor huishoudelijke toestellen:

- Lutz, J.D., Hopkins, A., Letschert, V., Franco, V.H., and Sturges, A. (2011): Using national survey data to estimate lifetimes of residential appliances, in: HVAC & R Research, Sep 1, 2011.
- Welch, C. and Rogers, B. (2010): Estimating the Remaining Useful Life of Residential Appliances, in: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp. 2-316 - 2-327.
- NAHB (2007): Study of Life Expectancy of Home Components, National Association of Home Builders, February 2007.

Voor personen- en vrachtovervoer hebben we ons gebaseerd op de overlevingsfuncties in het Belgische mobiliteitsmodel TREMOVE.

Voor industrie hebben we voornamelijk gebruik gemaakt van Young (2007).

Voor bijna alle apparaten, machines e.d. zijn we verplicht om bijna uitsluitend een beroep te doen op (buitenlandse) literatuurgegevens, bij gebrek aan concrete, recente data voor Vlaanderen. Alle hier vermelde informatie is opgenomen in de EVIV rekenbladen en maakt integraal deel uit van het model.

### 3.3 Het gebruik van MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) voor het bepalen van "Sales"

Bij de aankoop ("Sales" in LEAP) van nieuwe apparaten, toestellen, machines, installaties, voertuigen etc. moet de consument of gebruiker een keuze maken tussen verschillende mogelijkheden of "alternatieven". Deze keuze zal gebeuren aan de hand van een aantal kenmerken of "attributen" van de alternatieven. Een belangrijk kenmerk zal prijsgerelateerd zijn, bijvoorbeeld de naakte

aankoopprijs, of misschien iets gesofisticeerder zoals bij de aankoop van een auto de “total cost of ownership” of TCO. Andere kenmerken zijn bijvoorbeeld prestatievermogen, of de sociale status (zoals snelle exclusieve sportwagens versus modale gezinsauto).

Het was oorspronkelijk de bedoeling om op basis van dergelijke overwegingen in het EVIV rekenbladmodel jaarlijks de marktaandelen van verschillende technologieën (bijvoorbeeld conventionele auto’s versus hybride of elektrische wagens) bij nieuwe aankopen te bepalen. Dit zou concreet aan de hand van “multi-criteria decision analysis” of MCDA gebeuren. De op deze wijze vastgelegde marktaandelen zouden we dan in LEAP importeren, waar ze dienen als input voor de voorraadanalyses.

Om didactische redenen zullen we wat volgt deze techniek uitleggen aan de hand van een opzettelijk zeer algemeen gehouden voorbeeld.

Stel, we hebben  $n=3$  ( $j=1,2,3$ ) opties of alternatieven (dit kunnen technologieën zijn zoals soorten verwarmingsinstallaties, types voertuigen, industriële procesinstallaties zoals motoren voor aandrijving, etc.) Deze alternatieven worden elk beoordeeld door de koper (consument, gebruiker, industrieel) op  $m=4$  ( $i=1,2,3,4$ ) attributen. Tot een van deze kenmerken zal bijna altijd een prijs gerelateerd kenmerk behoren, zoals aankoopprijs of investeringskosten, of totale kosten onder de vorm van LCC (‘life cycle cost’) of TCO (‘total cost of ownership’). Een ander type attribuut waar we in EVIV zeker altijd rekening mee moeten houden is een “maat voor de duurzaamheid” van een optie of alternatief. Zo mogen we veronderstellen dat een technologie op hernieuwbare energie algemeen als duurzamer zal worden beschouwd dan een gelijkaardige technologie op fossiele brandstoffen. Tussen de attributen (soms ook wel ‘criteria’ genoemd) moeten we een verder onderscheid maken tussen “kosten criteria” en “baten criteria”. Kostenattributen of -criteria, zoals aankoopprijs, zijn attributen waarvoor geldt: “minder is beter”. Omgekeerd gelden voor batenattributen of -criteria, zoals duurzaamheid: “meer is beter”. Laten we in ons voorbeeld veronderstellen dat er twee batencriteria zijn ( $i=1,2$ ) en twee kostencriteria ( $i=3,4$ ). Het is duidelijk dat we aan elk attribuut  $i$  van een alternatief  $j$  een “score” kunnen / moeten toekennen. Deze score,  $x_{ij}$ , kan zeer concreet of kwantitatief zijn, bijvoorbeeld de aankoopprijs, maar ook min of meer een kwalitatieve beoordeling, bijvoorbeeld 1 = goed, 2 = minder goed, 3 = slecht, 4 = zeer slecht. Door de alternatieven en hun attributen te combineren, bekommen we een beslissingsmatrix  $[x_{ij}]$ . Het element  $x_{ij}$  in de  $i^e$  rij en  $j^e$  kolom van de matrix  $[x_{ij}]$  is dan gewoon de “score” voor attribuut  $i$  van alternatief  $j$ .

Beslissingsmatrix		schaal					
		gewicht	optie 1	optie 2	optie 3	Min	max
Baat	attribuut 1	0,20	10,00	7,00	16,00	7,00	16,00
Baat	attribuut 2	0,30	0,50	0,90	0,14	0,14	0,90
Kost	attribuut 3	0,15	24,00	107,00	35,00	24,00	107,00
Kost	attribuut 4	0,35	11,00	18,00	27,00	11,00	27,00
		1,00					

Het gekleurde (schaduw) deel is de eigenlijke input.

Vooraleer stapsgewijze de procedure voor het berekenen van de marktaandelen in de nieuwe aankopen te bespreken, zijn nog twee zaken te vermelden i.v.m. attributen of criteria. Het is in zekere zin vanzelfsprekend dat niet alle attributen voor iedereen even zwaar zullen doorwegen. Voor gezinnen uit lagere inkomensklassen zullen prijsoverwegingen wellicht het belangrijkste zijn, terwijl voor milieubewuste gezinnen eerder het kenmerk duurzaamheid zal doorwegen. We houden hiermee rekening door aan elk attribuut of criterium  $i$  een gewicht  $w_i$  toe te kennen. Het spreekt vanzelf dat de som van de gewichten wel gelijk aan 1 moet zijn, of  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ .

Een tweede zaak is dat de scores die men toekent aan een bepaald attribuut of criterium binnen een bepaalde "range" vallen. In feite hoeft de gebruiker van de MCDA techniek zich hier geen zorgen om te maken, omdat de techniek automatisch een schaal bepaalt op basis van de door de gebruiker toegekende scores. Dit wil zeggen, op basis van de scores zoekt het programma zelf naar de minimum en maximum scores, en deze bepalen de schaal voor het desbetreffende attribuut of criterium.

We zijn nu klaar om in vier stappen het proces te beschrijven voor het bepalen van de marktaandelen (i.e. aandelen van de opties of alternatieven) bij nieuwe aankopen.

In een eerste stap construeren we de genormaliseerde beslissingsmatrix  $(x_{ij}) \rightarrow (x_{ij}^N)$ . Het bepalen van de elementen van de genormaliseerde beslissingsmatrix verschilt naargelang het baten- of kosten criteria betreft.

Voor batencriteria is de berekening als volgt:  $x_{ij}^N = \frac{x_{ij} - x_i^{MIN}}{x_i^{MAX} - x_i^{MIN}}$ , met  $i' \in \{1,2\}$

Voor kostencriteria hanteren we de volgende formule:  $x_{ij}^N = \frac{x_i^{MAX} - x_{ij}}{x_i^{MAX} - x_i^{MIN}}$ , met  $i'' \in \{3,4\}$

Voor ons voorbeeld geeft dit de volgende genormaliseerde beslissingsmatrix:

Genormaliseerde beslissingsmatrix			scale				
		gewicht	optie 1	optie 2	optie 3	min	max
Baat	attribuut 1		0,33	-	1,00	-	1,00
Baat	attribuut 2		0,47	1,00	-	-	1,00
Kost	attribuut 3		1,00	-	0,87	-	1,00
Kost	attribuut 4		1,00	0,56	-	-	1,00

In een tweede stap berekenen we de gewogen genormaliseerde beslissingsmatrix:

$$(x_{ij}^w) = w_i(x_{ij}^N)$$

In een derde stap bepalen we de gewogen, genormaliseerde totaalscores van de alternatieven:

$$x_j^* = \sum_{i=1}^m x_{ij}^w, \text{ met } j \in \{1, 2, 3\}$$

In ons voorbeeld leveren stap 2 en 3 het volgende resultaat op:

Gewogen, genormalizeerde beslissingsmatrix						scale		
		gewicht	optie 1	optie 2	optie 3	min	max	som
Baat	attribuut 1		0,07	-	0,20			
Baat	attribuut 2		0,14	0,30	-			
Kost	attribuut 3		0,15	-	0,13			
Kost	attribuut 4		0,35	0,20	-			
			0,71	0,50	0,33			1,54

In een vierde en laatste stap normaliseren we de totaalscores berekend in stap 3:

$$x_j^{N*} = \frac{x_j^*}{\sum_j x_j^*}, \text{ met } \sum_{j=1}^n x_j^{N*} = 1$$

De aldus verkregen fracties vermenigvuldigen met 100 levert de gewenste marktaandelen op. In ons voorbeeld wordt dit:

<b>Genormalizeerde scores</b>		<b>46,2%</b>	<b>32,4%</b>	<b>21,5%</b>		<b>100,0%</b>
-------------------------------	--	--------------	--------------	--------------	--	---------------

Concreet betekent dit dat, gegeven de “gemiddelde” scores toegekend aan de attributen van de drie verschillende opties of alternatieven, 46,3 % van de actoren op zoek naar een nieuwe technologie alternatief 1 zullen kiezen, 32,4 % alternatief 2 en tot slot 21,5 % alternatief 3.

Het is duidelijk dat de marktaandelen zullen verschillen naargelang a) de gewichten worden aangepast (bijvoorbeeld in een transitie naar een duurzame samenleving kan duurzaamheid waarden beginnen doorwegen dan kostenelementen), en b) de “gemiddelde” scores die men toekent aan de attributen. In sommige gevallen zullen deze scores min of meer “objectief” zijn, bijvoorbeeld de LCC of levenscyclus kosten. In andere gevallen, zoals duurzaamheid, zijn de scores vrij subjectief. We benadrukken daarom dat de methode van MCDA slechts zinvol is in het kader van een oefening met belanghebbenden of “stakeholders”. Het zijn immers zij, en niet de modelbouwer(s), die mede moeten bepalen hoe “duurzaam” een bepaald alternatief al dan niet is. Trouwens, ook de gehanteerde criteria of attributen zelf zouden normaliter deel moeten uitmaken van een deliberatieproces met alle betrokken stakeholders.

Het grote voordeel van deze techniek is dat – zoals de naam het zegt – de marktaandelen niet bepaald worden door slechts 1 criterium, zoals (minimalisatie van) de kosten bij de traditionele engineering-optimalisatiemodellen zoals MARKAL, TIMES of PRIMES. Indien nodig kunnen de resultaten van deze conventionele modellen worden gesimuleerd, simpelweg door aan het kostencriterium het gewicht 1 toe te kennen, en aan alle andere criteria of attributen het gewicht 0. We merken wel op dat MCDA geen optimalisatieroutine is.

Er zijn ook enkele “nadelen”. Zoals eerder vermeld vereist deze techniek interactie met stakeholders. Gezien het toenemend belang van “participatieve processen” in het energie- en klimaatbeleid zien we dit eerder als voordeel dan als nadeel, maar sessies met stakeholders maken het bouwen van scenario’s veel arbeidsintensiever. Een ander nadeel is dat het niet zo eenvoudig is om deze EVIV techniek zomaar toe te passen binnen de LEAP tool. De eigenlijke MCDA moeten we uitvoeren in een EVIV rekenblad (in Excel), om dan vanuit LEAP een externe link te leggen met het rekenblad.

Tot zover de theorie. We tonen nu het voorbeeld van een concrete toepassing, met name de keuze van verwarmingsinstallaties bij huishoudens.

Figuur: Beslissingsmatrix in MCDA voor verwarmingstechnieken bij huishoudens

Decision matrix		weights								scale		
			Ketel hout	Ketel olie	Ketel gas	Elektrisch	Warmte pomp	Geo-thermisch	Stirling	Brandstof cel	min	max
benefit	Klimaatvriendelijkheid	0,20	80,00	10,00	20,00	0,00	100,00	90,00	10,00	10,00	0,00	100,00
benefit	Milieuvriendelijkheid (ECO-indicator 99)	-	1,60	5,60	5,40	22,00	6,60	8,80	5,40	1,00	1,00	22,00
benefit	Elektrificatie samenleving	-	0,00	0,00	0,00	100,00	70,00	60,00	0,00	0,00	0,00	100,00
cost	Investeringskost	0,30	8112,00	5201,00	3047,00	3641,00	11898,00	58915,00	12071,00	12122,00	3047,00	58915,00
cost	Beschikbaarheid	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	500,00	500,00	0,00	500,00
cost	Inertie (1- huidige penetratie)	0,40	95,00	70,00	40,00	99,00	99,00	100,00	100,00	100,00	40,00	100,00
		1,00										

De batencriteria zijn klimaatvriendelijkheid (minder bijdrage tot uitstoot van broeikasgassen), milieuvriendelijkheid (een eco-score voor de ECO-indicator 99), en de mate waarin de techniek bijdraagt tot een elektrificatie van de samenleving (van belang in scenario's waarin men aanstuur op het gebruik van zoveel mogelijk groene stroom).

De kostencriteria zijn investeringskosten (i.e. aankoopkosten), beschikbaarheid (in een bepaald jaar), en een criterium dat we "inertie" hebben genoemd (gedefinieerd als 1 minus de huidige penetratiegraad van die technologie), en dat moet toelaten rekening te houden dat bij veel mensen er een zeker weerzin is tegen verandering.

Toepassing van MCDA in EVIV, volgens de hierboven vermelde regels, geeft de volgende marktaandelen:

	Ketel hout	Ketel olie	Ketel gas	Elektrisch	Warmte pomp	Geo-thermisch	Stirling	Brandstof cel
<b>Normalized scores</b>	15,0%	16,1%	22,2%	10,7%	14,8%	6,9%	7,2%	7,2%

Een consultatie met stakeholders was in dit project niet voorzien. Onze persoonlijke ervaring tijdens dit experiment is dat de resultaten vrij verrassend zijn, en niet echt overeenkomen wat we a priori wensten of dachten te bereiken toen we de waarden voor de gewichten en de scores in de beslissingsmatrix invoerden. Met de huidige techniek blijkt het tevens zeer moeilijk om een bepaalde optie volledig uit te sluiten, hoewel hier in principe wel een mouw moet aan te passen zijn (ten koste van meer complexiteit).

De vraag is daarom of het niet gewoon beter is de stakeholders tijdens de consultatie te laten beslissen over de gewenste marktaandelen, zonder gebruik van MCDA, of met MCDA hooguit als een hulpmiddel.

## 4 Kostendata in EVIV-LEAP

### 4.1 Het werken met kostendata in LEAP

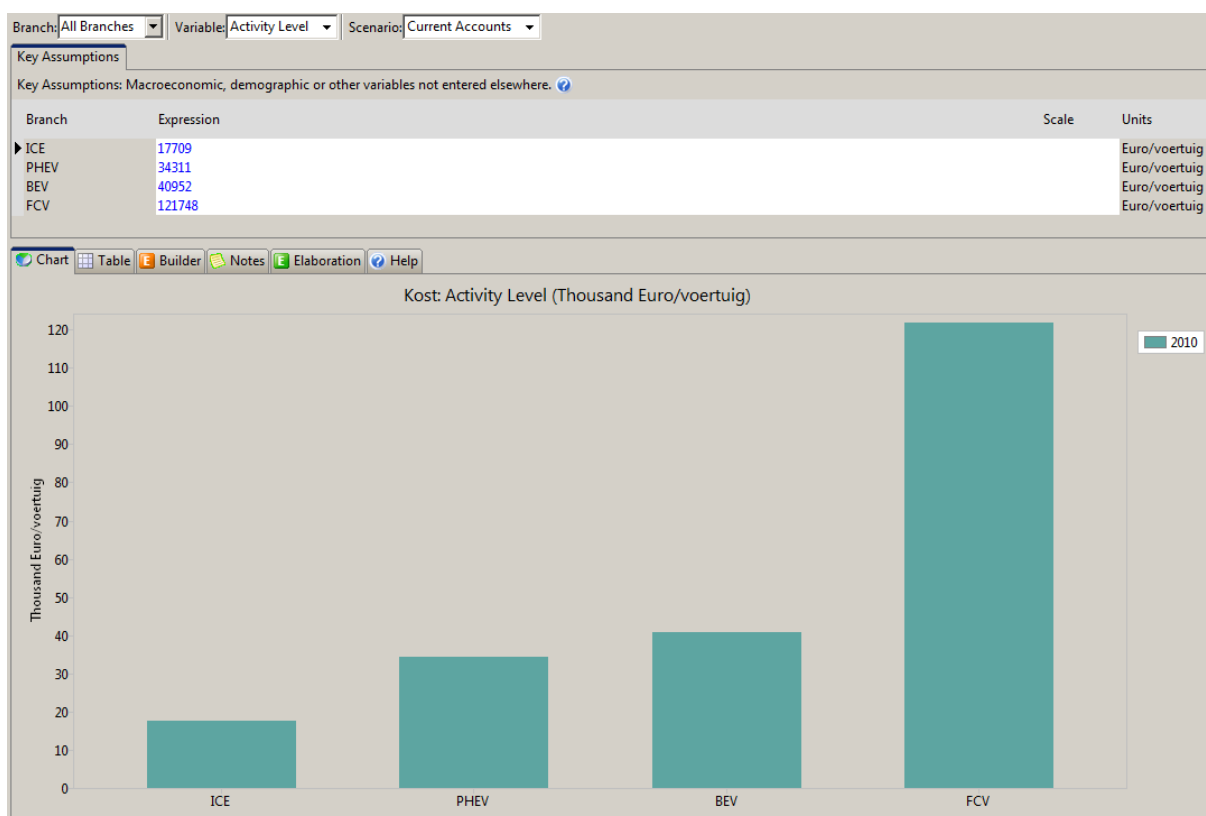
#### 4.1.1 Het invoeren van kostendata

Een wezenlijke kritiek op het SEPIA-LEAP model (voor het Belgisch energiesysteem) was het ontbreken van kostendata.

De faciliteiten voor het invoeren van kostendata zijn nochtans standaard voorzien in het LEAP softwarepakket, en vereisen geen bijzondere aanpassingen van de gebruikte methoden.

Omdat we in EVIV-LEAP voor bijna alle relevante vraagsectoren extensief gebruik maken van voorraadanalyse, is de meest eenvoudige methode om voor elk type vraagtechnologie (installatie, systeem, apparaat, voertuig e.d.) naast de jaarlijkse marktaandeelen ook de jaarlijkse specifieke aankoopkosten of investeringskosten (per installatie, toestel, apparaat e.d.) in te voeren.

Figuur 19: Voorbeeld van het invoeren van aankoopkosten van auto's per type technologie in EVIV-LEAP

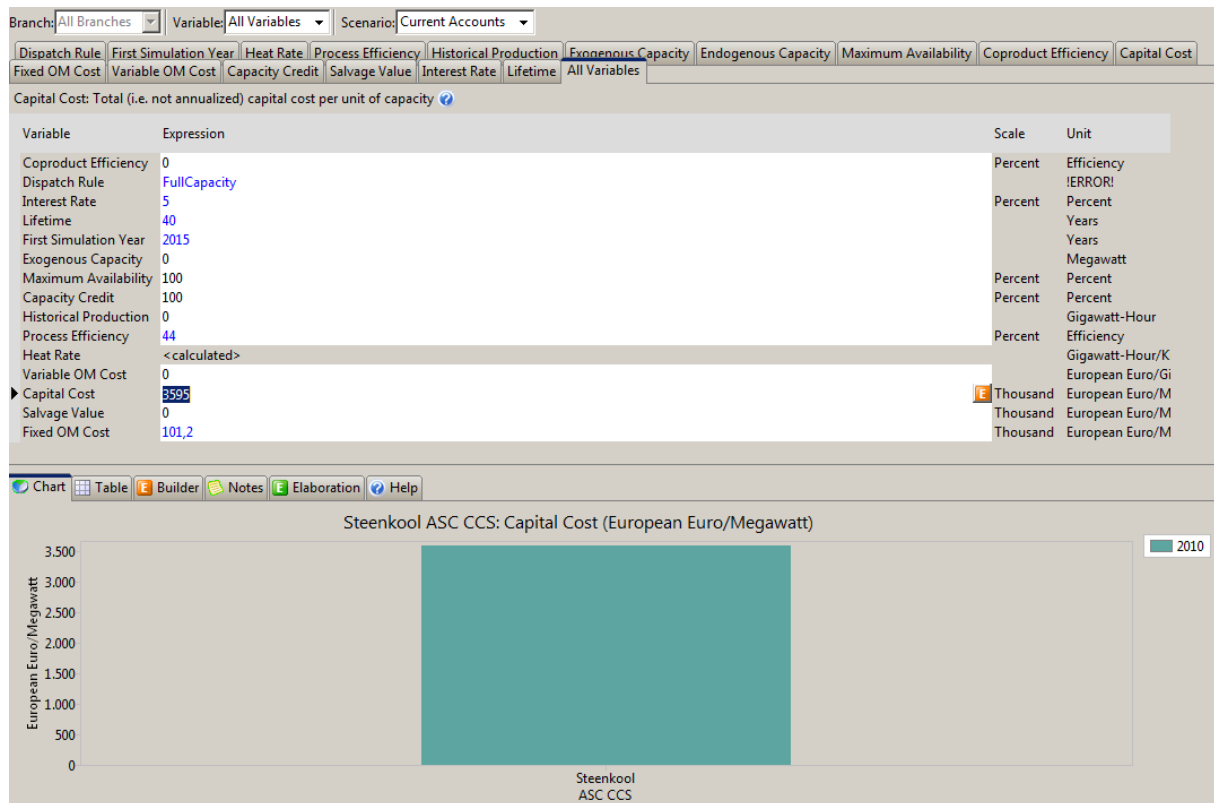


ICE = internal combustion engine, PHEV plug-in hybrid electric vehicle, BEV = battery electric vehicle, FCV = fuel cell vehicle

Voor aanbodtechnologieën zijn de voorzieningen in LEAP nog veel ruimer. Mogelijkheden zijn niet enkel het invoeren van de specifieke investeringskosten (bijvoorbeeld in 1000 euro per MW capaciteit), maar ook van specifieke vaste en variabele werkingskosten ("operations & maintenance" of O&M), de restwaarde op het einde van de levensduur, van een delgingsfactor per technologie, en van de verwachte levensduur. We kunnen tevens ingeven vanaf welk jaar een (nieuwe) technologie beschikbaar is.



Figuur 20: Voorbeeld van het invoeren van o.m. kostengegevens van een geavanceerde superkritische (ASC) kolencentrale met CCS (carbon capture and storage) in EVIV-LEAP



#### 4.1.2 Het werken met leercurven

De meeste experts erkennen dat kosten voor nieuwe technologieën bij de aanvang relatief hoog zijn, maar geleidelijk afnemen naarmate zowel producenten als consumenten er meer vertrouwd mee raken. Dergelijke kostendalingen worden traditioneel in modellen verrekend bij middel van leercurven. De vergelijking van de leercurve voor een specifieke technologie is als volgt:

$$C(x) = C(1) \times x^{-b}$$

Hierbij is  $C(x)$  de (productie)kost per eenheid output, voor de  $x^e$  eenheid.  $C(1)$  is de (productie)kost per eenheid product, voor de allereerste eenheid die wordt geproduceerd. De variabele  $x$  is het cumulatieve aantal van (reeds) geproduceerde eenheden, en de parameter  $b > 0$  is de kostenelasticiteit van de output. De parameter  $b$  noemt men ook de "learning rate" of "ervaringsparameter". Een van de voordelen van dergelijke specificatie van de leercurve is dat men deze makkelijk kan lineariseren door de natuurlijke logaritmes te nemen. De vergelijking van de log-lineaire leercurve is als volgt:

$$\ln C(x) = \ln C(1) - b \times \ln(x)$$

Het is op basis van deze vergelijking dat we duidelijk kunnen zien dat de parameter  $b$  wel degelijk een "kostenelasticiteit" is.

Bij het meerekenen van leercurve effecten in modellen hanteert men meestal het begrip "learning rate" of LR. Om deze te definiëren, moeten we eerst een ander begrip verklaren, namelijk de "progress ratio" of PR.

De "progress ratio" of PR is het tempo waartegen of de mate waarin de (productie)kosten verminderen voor elke verdubbeling van de cumulatieve geproduceerde output. Wiskundig is de PR als volgt af te leiden:

$$PR = \frac{C(2x)}{C(x)} = \frac{C(1) \times (2x)^{-b}}{C(1) \times (x)^{-b}} = 2^{-b}$$

Het is gebruikelijk om de LR uit te drukken als percentage. Een PR van 80 % betekent dat de eenheidskosten nog maar 80 % zijn van de oorspronkelijke eenheidskosten bij elke verdubbeling van de geproduceerde output. Met andere woorden, hoe hoger de PR, hoe “lager het leren”. Typische waarden voor PR zijn tussen de 55 à 60 % en 94 à 96 %, met de modus ergens rond 81 à 82 %.

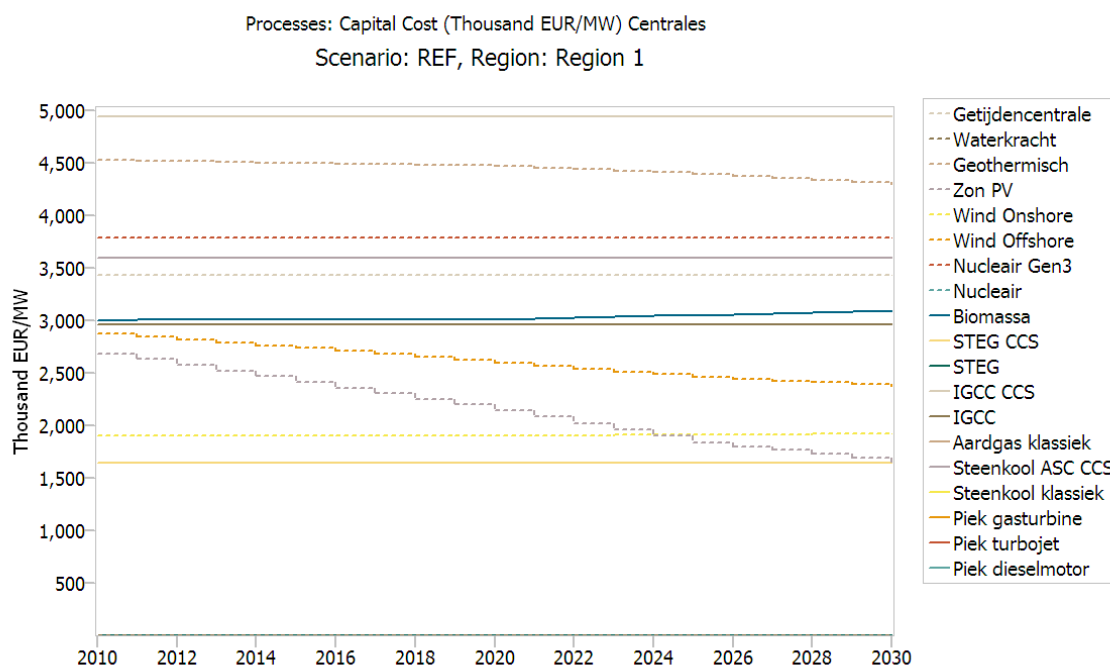
Het meest gehanteerde begrip bij het definiëren van leercurven is de “learning rate” of LR. De LR wordt als volgt gedefinieerd:

$$LR = 1 - PR = 1 - 2^{-b}$$

Zoals voor de PR wordt de learning rate of LR ook meestal als percentage uitgedrukt. De learning rate of LR geeft de procentuele reductie aan van de eenheidskost (kost per eenheid geproduceerde output) voor elke verdubbeling van de cumulatieve geproduceerde output. Als de PR gelijk is aan 80 %, dan is de LR gelijk aan 20 %, of voor elke verdubbeling van de (cumulatieve) output dalen de kosten per eenheid output met 20 %.

Voor energiesectoren hanteert men als vuistregel meestal een LR gelijk aan 20 %, wat overeenstemt met een ervaringsparameter gelijk aan  $b = 0,3219$ .

*Figuur 21: Evolutie van de investeringskosten voor centrales in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030)*



De learning rate zal sterk verschillen van technologie tot technologie. In principe is het mogelijk om in LEAP rechtstreeks te werken met leercurven, door gewoon de relevante vergelijkingen in te brengen. De waarden voor LR die we in de literatuur hebben teruggevonden zijn opgenomen in de rekenbladen van het EVIV model. Voorlopig hanteren we in LEAP een pragmatische methode, en lezen we de op basis van voornoemde literatuurwaarden berekende kostengegevens voor toekomstige jaren rechtstreeks in vanuit EVIV. Een van de redenen hiervoor is dat voor veel marktrijpe technologieën een leercurve niet relevant is, terwijl voor veel nieuwe technologieën de LR niet gekend of erg onzeker is. Tot slot heeft het SEPIA project ons geleerd dat men de evolutie van de kosten aan het oordeel

van stakeholders en experts moet onderwerpen, en dat het zeker geen resultaat van een black box oefening mag zijn.

#### **4.1.3 Stand van zaken wat betreft kostendata**

In principe hoeven we enkel op zoek te gaan naar relevante kostendata voor alle mogelijke technologieën, in alle vraag- en aanbodsectoren.

De huidige stand van zaken (d.d. december 2012) wat betreft het verzamelen en verwerken van kostendata in EVIV-LEAP is wat de vraagsectoren betreft als volgt.

- Huishoudens. Er zijn in EVIV-LEAP kostendata opgenomen, zowel wat betreft isolatiekosten van gerenoveerde gebouwen, als van specifieke aankoop- en werkingskosten van installaties voor verwarming, ruimtekoeling en ventilatie;
- Handel & diensten. Het EVIV rekenbladmodel bevat data over specifieke kosten van verwarmingsinstallaties, maar deze zijn (nog) niet in LEAP opgenomen omwille van grote onzekerheden over de betrouwbaarheid van de data. Omwille van de grote verscheidenheid wat betreft geometrie en isolatiekwaliteit van gebouwen in handel & diensten, zijn relevante isolatiekosten van renovatie moeilijk te achterhalen;
- Mobiliteit: Er zijn in EVIV-LEAP kostendata opgenomen voor de aankoopkosten (per type technologie) van auto's, bussen, lichte en zware vrachtwagens, en treinen;
- Industrie. Er zijn voorlopig geen kostendata beschikbaar voor installaties (ovens, ketels, motoren e.d.) in industrie;
- Landbouw. Er zijn voorlopig geen kostendata ingevoerd in EVIV-LEAP.

Wat betreft de aanbodsectoren zijn kostendata opgenomen voor de volgende technologieën:

- Alle mogelijke types elektriciteitscentrales;
- WKK-eenheden;
- Installaties voor de omzetting van afval en biomassa naar energie (Waste to Energy WtE of Energy From Waste EFW).

Alle verzamelde kosteninformatie, ook deze niet rechtstreeks opgenomen in LEAP, is beschikbaar in de EVIV rekenbladen, die aan de opdrachtgever werden bezorgd.

Een uitgebreide beschrijving van een groot deel van de beschikbare informatie is reeds beschikbaar in het tussentijds rapport afgeleverd in april 2012. We herhalen in de volgende hoofdstukken enkel de kosten die we daadwerkelijk hebben weerhouden voor scenario-analyses in LEAP.

## **4.2 Kostendata voor de sector huishoudens in EVIV-LEAP**

### **4.2.1 Isolatiekosten bij renovatie**

De studie van Lechtenböhmer en Schüring (2011) bepaalt op basis van technische analyses voor verschillende woningtypes en renovatietypes de materiaal- en arbeidskosten, voor vier verschillende gebouwschilcomponenten en voor drie verschillende bouwnormen. Ze bestuderen eerst de kosten voor de energetische renovatie van de volgende vier elementen van de gebouwschil: dak, gevel, vloer en vensters, en dit voor twee verschillende woningtypes en twee verschillende bouwperiodes in de EU. Zij beschouwen de volgende twee woningtypes: een- en tweegezinswoningen enerzijds en grote appartementsblokken anderzijds. De bouwperiodes zijn woningen gebouwd voor 1975 (met onderscheid tussen reeds en nog niet gerenoveerde woningen) en woningen gebouwd na 1975. Ze onderscheiden tot slot voor renovatie drie verschillende bouwnormen:

- Bouw norm 1: vergelijkbaar met de in 2011 best beschikbare bouw norm;
- Bouw norm 2: een meer geavanceerde norm. De Europese Richtlijn inzake EPB zal bij veronderstelling de verspreiding van deze norm bevorderen;
- Bouw norm 3: lage energie woningen (LEW).

Op basis van hun kostendata voor o.m. landen in de West-Europese gematigde klimaatzone zoals België hebben wij de isolatiekosten geschat bij de renovatie van een bestaande “typewoning” in Vlaanderen, waarbij we rekening houden met de verdeling van bouwtypes en bouwperiodes in Vlaanderen, maar ook met de reeds aangebrachte isolatie.

In de eerste plaats berekenen we een aantal kenmerken van de typewoning, met name de geometrie, en de U-waarden van de bouwcomponenten voor en na renovatie, volgens de 3 bouwnormen van Lechtenböhmer en Schüring (2011).

*Tabel 1: Kenmerken van de typewoning, voor en na renovatie (Vlaanderen, 2012)*

component	oppervlak type woning [m <sup>2</sup> ]	U-waarde typewoning [W/(m <sup>2</sup> .K)]	U-waarde norm 1 [W/(m <sup>2</sup> .K)]	U-waarde norm 2 [W/(m <sup>2</sup> .K)]	U-waarde norm 3 [W/(m <sup>2</sup> .K)]
dak	76	0,70	0,25	0,23	0,16
gevel	154	1,25	0,41	0,38	0,20
grondvlak	56	1,05	0,44	0,41	0,28
ramen	31	2,41	1,84	1,68	1,30

Vervolgens berekenen we, op basis kostenfuncties afgeleid uit Lechtenböhmer en Schüring (2011), de kosten voor het isoleren van de bouwcomponenten volgens de 3 verschillende bouwnormen, en van daaruit de totale isolatiekosten per typewoning.

*Tabel 2: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 1 (Vlaanderen, 2012)*

component	verschil in U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	kost [€/m <sup>2</sup> ]	totale kosten [Euro]
dak	0,45	0,00	-
gevel	0,84	71,56	11.036
grondvlak	0,61	25,50	1.431
ramen	0,57	290,10	9.066
			21.532

De totale kosten voor het isoleren van een bestaande typewoning naar de huidig geldende best beschikbare bouw norm is ongeveer 21.532 euro. In acht genomen dat veel daken al geïsoleerd zijn, en de royale subsidieregelingen, zijn de isolatiekosten voor het dak de facto nul. Indien we, zoals in TABULA (referentie) een isolatiekost veronderstellen van 22 euro/m<sup>2</sup> voor het dak, dan stijgen de totale isolatiekosten naar 23 212 euro per typewoning.

Tabel 3: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 2 (Vlaanderen, 2012)

component	verschil in U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	kost [€/m <sup>2</sup> ]	totale kosten [Euro]
dak	0,47	0,00	-
gevel	0,87	73,51	11.337
grondvlak	0,64	26,23	1.472
ramen	0,73	315,42	9.857
			22.666

Isoleren bij renovatie tot aan het niveau van bouw norm 2 kost nauwelijks iets meer dan isoleren tot het niveau van bouw norm 1, en dit omdat, ondanks alles, heel wat woningen in Vlaanderen toch al gedeeltelijk (vooral het dak) geïsoleerd zijn. In feite is bouw norm 1 nog nauwelijks relevant voor Vlaanderen.

Tabel 4: Isolatiekosten voor typewoning bij renovatie norm 3 (Vlaanderen, 2012)

component	verschil in U-waarde [W/(m <sup>2</sup> .K)]	kost [€/m <sup>2</sup> ]	totale kosten [Euro]
dak	0,54	0,00	-
gevel	1,05	84,92	13.097
grondvlak	0,77	29,41	1.650
ramen	1,11	363,37	11.355
			26.103

Het isoleren van een bestaande typewoning tot lage energiewoning (LEW) kost ongeveer 26 103 euro, wat ‘slechts’ een 4 000 euro meer is dan isoleren naar de huidige geldende bouwnormen. Indien we, zoals in TABULA, de kost voor het isoleren van het dak naar lage energiewoningnormen gelijkstellen aan 30 euro/m<sup>2</sup>, dan stijgen de totale kosten naar 28 393 euro.

De details van alle berekeningen en veronderstellingen zijn terug te vinden in de rekenbladen van het EVIV model.

Gezien we in de LEAP scenario's voor elk jaar het aantal woningen dat wordt gerenoveerd om te voldoen aan een bepaalde bouw norm kennen, moeten we dit aantal enkel nog vermenigvuldigen met de overeenstemmende totale isolatiekosten per typewoning.

#### 4.2.2 Isolatiekosten bij nieuwbouw

Volgens CLIMACT zouden de meerkosten voor een nieuwe lage energiewoning t.o.v. de E80 (E-peil) norm ongeveer 6 500 euro per woning bedragen; en van een passiefhuiswoning t.o.v. de E80 norm ongeveer 22 500 euro per woning.

#### 4.2.3 Kosten voor installaties

Voor de kosten van verwarmingsinstallaties baseren we ons grotendeels op het Engelse DECC.

Tabel 5: Investerings- en werkingskosten voor verwarmingsinstallaties in woningen (UK, 2012)

installatie	investeringskosten	jaarlijkse werkingskosten
	[€/eenheid]	[€/eenheid]
vaste brandstof ketel	8 112	360
olie ketel	5 201	199
gas ketel (oud)	3 047	199
gas ketel (nieuw)	3 047	199
elektrische weerstand	3 641	217
warmtepomp Lucht	10 230	88
warmtepomp Bodem	11 898	78
geothermisch	58 916	1 233
stirlingmotor micro-WKK	12 071	199
brandstofcel micro-WKK	12 122	199
lokaal warmtenet WKK gas	21 204	535
lokaal warmtenet WKK vaste brandstof	28 725	1 139
stadsverwarming van centrale	94	94

Bron: UK, DECC

De goedkoopste opties zijn gas- of olietetels. Warmtepompen zouden wat betreft de aankoopkosten tot 3 maal duurder zijn, en micro-WKK (Stirling motoren of brandstofcellen) zelfs tot vier maal duurder. DECC voorziet enkel voor warmtepompen leercurve effecten, maar dan nog zouden de investeringskosten voor een lucht/water warmtepomp slechts dalen tot 8 860 euro per installatie in 2030; en van een bodem/water warmtepomp tot 11 364 euro in 2030. Daar staat tegenover dat de jaarlijkse werkingskosten van warmtepompen minder dan de helft van deze van gas- en olietetels bedragen.

Volgens TABULA zou een condenserende combi-boiler ongeveer 3 500 euro/stuk kosten, wat goed overeenstemt met de Engelse data.

Tabel 6: Investerings- en werkingskosten voor ruimteteoeling

	investeringskosten	werkingskosten
	[€/eenheid]	[€/eenheid]
elektrische air conditioning (oud)	1 868	113
elektrische air conditioning (nieuw)	1 868	113
absorptie koeling	1 868	113

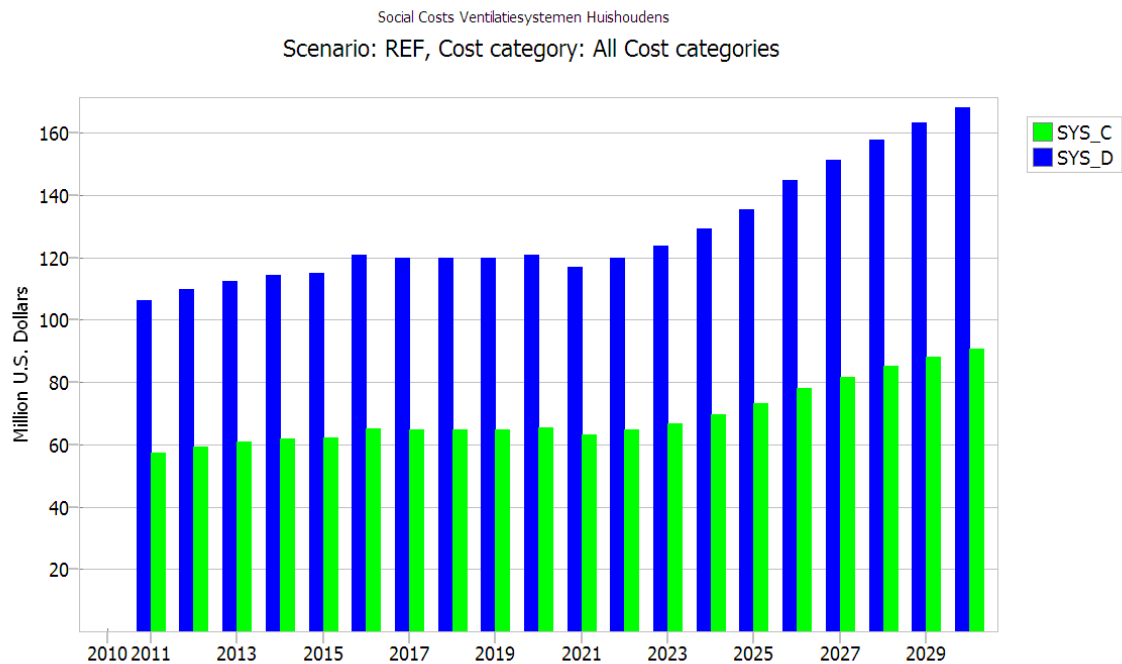
Bron: UK, DECC

Op basis van leercurve effecten zouden de investeringskosten voor (nieuwe) air conditioning dalen naar 1 150 euro in 2030.

Volgens TABULA kost een zonneboiler voor de productie van warm water gemiddeld ongeveer 5 500 euro/stuk. Voor zonneboilers geldt een vuistregel van 1 tot 1,5 m<sup>2</sup> collectoroppervlak per bewoner; met een opslagvat van 50 tot 60 liter per m<sup>2</sup> zonnecollector. Op basis van leveranciersinformatie mag men voor 3 à 4 m<sup>2</sup> collectoroppervlakte rekenen op materiaalkosten van 3000 à 4000 euro (Belsolar geeft een interval van 3000 à 5000 euro), plus 500 à 750 euro installatiekosten (exclusief BTW).

Voor een ventilatiesysteem type C rekt Tabula op een investeringskost van 2 500 euro/stuk; en voor een ventilatiesysteem type D (gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning) op 4 500 euro/stuk.

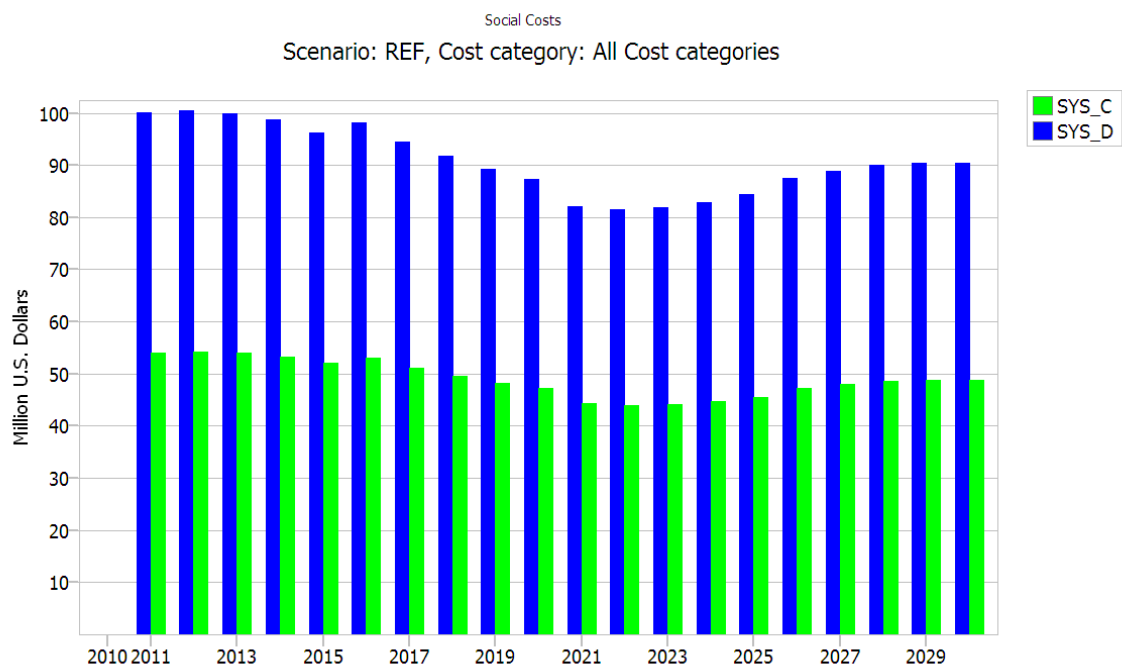
Figuur 22: Voorbeeld van totale, niet-verdisconteerde investeringskosten voor ventilatiesystemen in woningen in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030)



Sys\_C = ventilatiesysteem C; Sys\_D = gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning

Het omzetten van niet-verdisconteerde naar verdisconteerde kosten gebeurt in LEAP met de druk van een knop.

Figuur 23: Voorbeeld van totale, verdisconteerde investeringskosten voor ventilatiesystemen in woningen in het referentiescenario (Vlaanderen, 2010-2030)



Sys\_C = ventilatiesysteem C; Sys\_D = gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning

De veronderstelde delgingsfactor in het referentiescenario is 3 %.

### 4.3 Kostendata voor transport

#### 4.3.1 Investerings- en werkingskosten in LEAP

We beschikken voor het wegvervoer over kostendata voor 4 types voertuig technologieën: internal combustion engine (ICE), plug-in hybrid electric vehicle (PHEV), battery electric vehicle (BEV) en fuel cell vehicle (FCV).

Tabel 7: Investerings- en werkingskosten van ICE, PHEV, BEV en FCV auto's en bussen (UK, 2011)

		investerings- kosten 2010 [€/veh]	werkings- kosten 2010 [€/veh]	investerings- kosten 2030 [€/veh]	werkings- kosten 2030 [€/veh]
auto	ICE	17 709	2214	16 602	2214
	PHEV	34 311	3320	26 563	2214
	BEV	40 952	2214	33 204	2214
	FCV	121 748	23243	70 835	12175
bus	ICE	261 205	27670	223 574	27670
	HEV	301 050	27670	250 137	27670
	BEV	489 206	42058	344 215	32097
	FCV	1165 460	104039	879 906	63088

ICE = internal combustion engine, PHEV plug-in hybrid electric vehicle, BEV = battery electric vehicle, FCV = fuel cell vehicle; HEV = Hybrid Electric Vehicle

Bron: UK, DECC

De DECC gegevens houden rekening met leercurven, maar in alle gevallen blijven wat betreft aankoopkosten ICE voertuigen de goedkoopste optie, en brandstofcellen de duurste.

Voor vrachtwagens en treinen maakt DECC enkel een onderscheid tussen dieseltreinen en elektrische treinen.

Tabel 8: Investerings- en werkingskosten vrachtwagens en treinen (UK, 2011)

		investerings- kosten 2010 [€/veh]	werkings- kosten 2010 [€/veh]	investerings- kosten 2030 [€/veh]	werkings- kosten 2030 [€/veh]
vrachtwagen	diesel	78 583	16 602	74 156	16 602
	elektrisch	183 729	34 311	486 992	23 243
passagierstrein	diesel	137 243	809 071	117 321	690 643
	elektrisch	368 564	809 071	315 438	690 643
goederentrein	diesel	2817 913	34 311	2644 145	34 311
	elektrisch	4980 600	24 350	3726 596	24 350

Het blijkt zeer moeilijk om in de literatuur kostendata te vinden voor vrachtwagens, treinen en binnenschepen, andere dan deze op diesel of elektriciteit.

#### 4.3.2 Total Cost of Ownership (TCO) bij het bepalen van de marktaandeelen

Indien men gebruik wenst te maken van "multi criteria decision analysys" of MCDA bij het bepalen van de jaarlijkse marktaandeelen, dan is "Total Cost of Ownership" of TCO wellicht een beter criterium dan aankoopkosten. We baseren ons voor de TCO van auto's op een studie van McKinsey (2010).



De TCO omvat bij McKinsey de aankoopprijs en de lopende kosten.

- De aankoopprijs is de som van alle kosten om het geassembleerd voertuig te leveren aan de klant voor een bepaalde aandrijving en marktsegment. Het is de som van kosten van de onderdelen, de assemblage kosten, de SG&A (Selling, General and Administrative) uitgaven, en de marge.
- De lopende kosten bestaan uit 1) de onderhoudskosten voor onderdelen en onderhoud specifiek voor elk voertuig en aandrijving combinatie; en 2) de brandstofkosten gebaseerd op de energiezuinigheid van het voertuig en de kilometrage, met inbegrip van alle kosten om de brandstof aan de pomp / oplaadpunt te leveren en kapitaal kosten op investeringen voor de productie, distributie en verkoop van brandstof; of voor BEVs/PHEVs, voor de oplaad infrastructuur.

McKinsey onderscheidt 3 grote marktsegmenten:

- A/B marktsegment. A is het segment van de City 3-deurswageng (type Hyundai i10 of Smart); B is het segment van de Super-mini 5 deurswageng (type Toyota Yaris of Merceda A).
- C/D marktsegment. C is het segment van de Medium 5 deurswageng (type Honda Civic of Ford Focus). D is het segment van de Upper medium 4 deur sedan (type Renault Laguna, Honda FCx of Mercedes C).
- J marktsegment. J is het segment van de SUVs (type Hyndai Tucson of Ford Explorer).

In de McKinsey studie is er geen verdiscontering van de kasstromen over de jaren en geen restwaarde na 15 jaar. De tijdswaarde van geld is niet in rekening gebracht. Alle taksen op voertuigen en brandstof (inclusief BTW) zijn op nul gezet om er voor te zorgen dat de vergelijkingen de werkelijke kosten van het rijden reflecteren en inkomsten neutraal zijn voor de overheden

Verder gelden nog de volgende aannames bij het berekenen van de TCO:

- Gemiddelde levensduur van het voertuig: 15 jaar;
- Gemiddelde jaarlijks afgelegde afstand: 12 000 km;
- De gecombineerde energiezuinigheid is het afstand gewogen gemiddelde van ECE-15 en EUDC cycli. ECE-15 is de United Nations Economic Commission for Europe specification for urban driving cycle simulation. EUDC is de Extra Urban Driving Cycle – specification for European urban driving cycle simulation;
- Geen verkoopstaks (tax-free base model run);
- Assemblagekosten en SG&A kosten (inclusief distributie) bedragen 13,5 % van de aankoopprijs van een ICE auto.

Tot slot houdt McKinsey rekening met leercurve effecten of met jaarlijkse kostendalingen voor specifieke onderdelen.

Tabel 9: Leercurve-effecten of jaarlijkse kostendalingen

	learning rate [%]	jaarlijkse verbetering [%]
FC stack	15 %	2,2 % (*)
H <sub>2</sub> tank	15 %	2,2 % (*)
FC periferie	15 %	2,2 % (**)
EV-specifieke onderdelen	10 %	2,3 % (**)
Batterij	7 %	1,5 %
ICE-specifieke onderdelen	-	1,5 %
Technische pakketten	-	1,5 %

(\*) Jaarlijkse verbetering van 2020-2050 op toegepaste leercurve

(\*\*) Jaarlijkse verbetering is 5 % en 1,5 % van 2020-2030 en vanaf 2030 respectievelijk.

ICE-specifieke onderdelen zijn ICE, generator, brandstoftank en uitlaat

Bron: McKinsey (2010), A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis

De berekeningen van McKinsey leveren voor 2030 de volgende TCO op.

Tabel 10: Kosten en TCO van auto's in 2030 (exclusief taksen), in 1 000 EUR

	voertuig	aankoopprijs	onderhoud	energiekosten	infrastructuur	TCO
A/B segment	FCEV	16,0	2,5	4,4	1,2	24,0
	BEV	15,2	2,2	2,7	2,5	22,6
	PHEV	13,7	2,8	3,4	1,4	21,3
	ICE - benzine	11,1	3,0	4,1	0,5	18,7
	ICE - diesel	11,2	3,0	4,1	0,4	18,7
C/D segment	FCEV	25,7	4,2	5,2	1,4	36,5
	BEV	26,3	3,6	3,2	2,5	35,6
	PHEV	25,0	4,9	3,7	1,4	35,0
	ICE - benzine	21,1	5,4	5,3	0,6	32,3
	ICE - diesel	21,6	5,6	5,2	0,5	32,9
J segment	FCEV	32,7	5,3	6,2	1,7	45,9
	BEV	37,3	5,2	3,9	2,5	48,9
	PHEV	34,7	6,7	5,1	1,4	47,9
	ICE - benzine	28,3	7,0	6,9	0,8	42,9
	ICE - diesel	29,1	7,4	7,2	0,7	44,4

Bron: McKinsey (2010), A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis

Volgens de McKinsey studie zal over de volgende 40 jaar geen enkele aandrijving an sich voldoen aan alle criteria (economisch, technologisch en duurzaamheid). Omdat verschillende aandrijvingen tegemoet komen aan de noden van verschillende consumenten, zal men daarom evolueren van een enkele aandrijving (ICE) naar een portfolio van aandrijvingen, waarin BEVs en FCEVs een complementaire rol spelen. BEVs zijn ideaal geschikt voor kleinere auto's en kortere afstanden. FCEVs zijn ideaal voor medium tot grote auto's en langere afstanden, terwijl PHEVs een intermediaire oplossing bieden.

#### 4.4 Kostendata voor de opwekking van elektriciteit en/of warmte

##### 4.4.1 Kostendata in LEAP

Er is zeker geen gebrek aan kostendata voor elektriciteitscentrales, en in iets mindere mate voor warmtekrachtkoppeling (WKK).

De belangrijkste databronnen die we hebben geconsulteerd zijn:

- PB (2011): Electricity Generation Cost Model - 2011 Update Revision 1, prepared for the Department for Energy and Climate Change, Parsons Brinckerhoff, London, August 2011;
- IEA (2010): Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition. IEA (2010): Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition;
- IEA (2011): World Energy Outlook 2011, 9 November 2011;
- Roadmap 2050 A practical guide to a prosperous low-carbon Europe Technical Analysis.

De meeste van deze literatuurgegevens zijn uitvoerig besproken in het tussentijds rapport van april 2012. Alle relevante informatie is bovendien beschikbaar in de EVIV rekenbladen.

De kosten die we in LEAP hebben ingevoerd zijn gebaseerd op Parsons Brinckerhoff (BP). Het recente CLIMACT project, dat eveneens een rekenbladbenadering gebruikt, baseert zich daarentegen op de Europese Roadmap 2050.

Tabel 11: Specifieke investeringskosten voor elektriciteitscentrales (2015-2030)

type centrale	2015 [1000 €/MW]	2020 [1000 €/MW]	2025 [1000 €/MW]	2030 [1000 €/MW]
Nuclear III PWR (multiple units)	3 787	3 787	3 787	3 787
Coal ASC with FGD & CCS	3 595	3 595	3 595	3 595
IGCC	2 959	2 959	2 959	2 959
IGCC with CCS	4 942	4 942	4 942	4 942
CCGT gas with CCS	1 642	1 642	1 642	1 642
Onshore Wind > 5MW	1 879	1 875	1 884	1 894
Onshore Wind 50 kW - 5MW	1 909	1 904	1 914	1 924
Offshore Wind < 100MW	1 948	1 754	1 665	1 606
Offshore Wind > 100MW	2 880	2 594	2 463	2 376
Offshore Wind Round 3	2 855	2 550	2 420	2 336
Hydropower	5 685	5 770	5 855	5 943
Tidal range	3 438	3 438	3 438	3 438
Geothermal	4 528	4 473	4 401	4 301
Solar PV < 50 kW	3 309	2 644	2 268	2 043
Solar PV > 50 kW	2 685	2 146	1 840	1 658
Dedicated Biomass > 50MW	3 006	3 014	3 054	3 095
Dedicated Biomass 5 - < 50MW	4 158	4 168	4 223	4 280
Biomass Co-firing	203	199	199	199
Biomass Conversion	775	771		
Bioliquids	736	1 064	1 065	1 068

Bron: PB (2011): Electricity Generation Cost Model - 2011 Update Revision 1, prepared for the Department for Energy and Climate Change, Parsons Brinckerhoff, London, August 2011

De BP gegevens maken voor een aantal HEB (hernieuwbare energiebronnen) een onderscheid naargelang de grootte (in termen van elektrisch vermogen). Ze houden voor de HEB centrales uitdrukkelijk rekening met leercurve effecten of jaarlijkse kostendalingen. Voor biomassa centrales zouden de investeringskosten in de loop der jaren niet dalen maar zelfs lichtjes toenemen.

Tabel 12: Specifieke werkingskosten voor centrales (2015-2030)

centrale	2015 [1000 €/MW]	2020 [1000 €/MW]	2025 [1000 €/MW]	2030 [1000 €/MW]
Nuclear III PWR (multiple units)	94	94	94	94
Coal ASC with FGD	53	53	53	53
Coal ASC with FGD & CCS	86	86	86	86
IGCC	75	75	75	75
IGCC with CCS	96	96	96	96
CCGT gas	34	34	34	34
CCGT gas with CCS	48	48	48	48
Pumped Storage	43	43	43	43
OCGT	35	35	35	35
Onshore Wind > 5MW	73	74	74	75
Onshore Wind 50 kW - 5MW	60	61	63	63
Offshore Wind < 100MW	164	158	154	150
Offshore Wind > 100MW	194	185	180	178
Offshore Wind Round 3	203	165	146	134
Hydropower	54	55	55	56
Tidal range	47	47	47	47
Geothermal	241	244	248	251
Solar PV < 50 kW	31	31	31	31
Solar PV > 50 kW	26	26	26	26
Dedicated Biomass > 50MW	178	175	175	175
Dedicated Biomass 5 - < 50MW	206	204	205	205
Biomass Co-firing	41	43	43	44
Biomass Conversion	60	61	-	-
Bioliquids	211	213	215	216

Bron: PB (2011): Electricity Generation Cost Model - 2011 Update Revision 1, prepared for the Department for Energy and Climate Change, Parsons Brinckerhoff, London, August 2011

PB voorziet geen noemenswaardige kostendalingen voor nucleaire, klassiek thermische, STEG centrales en biomassa centrales. Voor geothermie centrales nemen de jaarlijkse werkingskosten met de tijd toe.

Tabel 13: Specifieke investeringskosten voor WKK en EFW (energy from waste) centrales (2015-2030)

	2015	2020	2025	2030
WKK / EFW	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]
ACT CHP	7 303	6 993	7 051	7 111
Biomass CHP	5 149	5 101	5 110	5 119
Geothermal CHP	5 696	5 625	5 514	5 411
Energy from Waste EfW CHP	6 260	6 229	6 253	6 278
Bioliquids CHP	1 156	1 145	1 148	1 150
Anaerobic Digestion (AD)	4 889	4 838	4 873	4 908
Advanced Conversion Technology	7 284	6 975	7 034	7 093
Landfill Gas	1 745	1 744	1 755	1 765
Sewage Gas	4 464	4 453	4 510	4 568

ACT = Advanced Conversion Technologies

Bron: PB (2011): Electricity Generation Cost Model - 2011 Update Revision 1, prepared for the Department for Energy and Climate Change, Parsons Brinckerhoff, London, August 2011

In EVIV-LEAP beschouwen we WKK en EFW (energy from waste) als afzonderlijke sectoren binnen de transformatiemodule van LEAP. PB verwacht geen grote kostenveranderingen voor dit soort eenheden.

Tabel 14: Specifieke werkingskosten voor WKK en EFW (energy from waste) centrales (2015-2030)

	2015	2020	2025	2030
WKK / EFW	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]	[1000 €/MW]
ACT CHP	504	486	470	453
Biomass CHP	240	244	246	250
Geothermal CHP	241	245	248	251
Energy from Waste EfW CHP	610	618	625	633
Bioliquids CHP	211	213	215	216
Anaerobic Digestion (AD)	334	339	344	349
Advanced Conversion Technology	443	421	413	398
Landfill Gas	136	139	140	141
Sewage Gas	134	135	138	140

ACT = Advanced Conversion Technologies

Bron: PB (2011): Electricity Generation Cost Model - 2011 Update Revision 1, prepared for the Department for Energy and Climate Change, Parsons Brinckerhoff, London, August 2011

In de meeste gevallen nemen voor groene WKK en EFW de jaarlijkse werkingskosten lichtjes toe in de loop der jaren.

#### 4.4.2 Kostendata bij gebruik van MCDA

Indien stakeholders en/of experts gebruik wensen te maken van MCDA bij het bepalen van de aandelen van de verschillende types centrales, dan is de "levelized cost of electricity" of LCOE wellicht een beter criterium dan enkel investerings- en werkingskosten.

De LCOE laat toe om de eenheidskosten van verschillende technologieën met elkaar te vergelijken. Dit begrip gaat er van uit dat de productiekosten zeker zijn en de elektriciteitsprijzen stabiel, of m.a.w. er zijn bij veronderstelling geen specifieke markt- of technologische risico's. Omdat in reële, en zeker

vrijgemaakte energiemarkten, deze veronderstellingen niet gelden, zullen de werkelijke financiële kosten voor een elektriciteitsproducent afwijken van de LCOE. Ondanks deze tekortkoming zijn de meeste analisten het eens dat de LCOE de meest transparante maat is voor het vergelijken van de kosten van verschillende technologieën voor de opwekking van elektriciteit.

De LCOE is per definitie gelijk aan de huidige waarde van de som van de verdisconteerde kosten gedeeld door de totale productie, waarbij deze laatste wordt aangepast aan zijn economische tijdswaarde. Anders gezegd, de LCOE is de prijs voor elektriciteit die ervoor zorgt dat de twee bovenvernoemde verdisconteerde “kasstromen” aan elkaar gelijk zijn. Of nog anders gezegd, indien de prijs van elektriciteit gelijk zou zijn aan de “levelised” gemiddelde levensduurkosten, dan zou de investeerder “break-even” draaien op het project. De gelijkwaardigheid tussen elektriciteitsprijzen en LCOE is gebaseerd op twee belangrijke veronderstellingen:

- De interestvoet voor het verdisconteren van zowel kosten als baten is stabiel en varieert niet tijdens de levensduur van het project. IEA gebruikt traditioneel in zijn analyses een interestvoet van 5 % of 10 %.
- De elektriciteitsprijs is stabiel en verandert niet gedurende de levensduur van het project. Alle output, eenmaal geproduceerd, wordt onmiddellijk aan deze prijs verkocht.

De eerste vergelijking drukt de gelijkheid uit tussen de huidige waarde van de som van verdisconteerde opbrengsten (linkerzijde van de vergelijking) en de huidige waarde van de som van verdisconteerde kosten (rechterzijde). Alle variabelen zijn “reëel” of zijn m.a.w. gezuiverd van inflatie.

$$\sum_t \frac{Electricity_t \times P_{electricity}}{(1+r)^t} = \sum_t \frac{Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t}{(1+r)^t}$$

- $Electricity_t$  = de hoeveelheid elektriciteit geproduceerd in jaar t
- $P_{electricity}$  = de constante prijs van elektriciteit
- $\frac{1}{(1+r)^t}$  = de discountfactor voor jaar t
- $Investment_t$  = de investeringskosten in jaar t
- $O\&M_t$  = de werkings- en onderhoudskosten in jaar t
- $Fuel_t$  = de brandstofkosten (energiekosten) in jaar t
- $Carbon_t$  = de koolstofkosten of CO<sub>2</sub> kosten in jaar t
- $Decommissioning_t$  = de ontmantelingskosten of kosten voor uit gebruik stellen in jaar t

Uit de eerste vergelijking volgt dat

$$P_{electricity} = \frac{\sum_t \frac{Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Carbon_t + Decommissioning_t}{(1+r)^t}}{\sum_t \frac{Electricity_t}{(1+r)^t}}$$

Met natuurlijk  $P_{electricity} = LCOE$

De tweede vergelijking wordt o.m. door het IEA gebruikt om de LCOE te berekenen van diverse technologieën, op basis van de investeringskosten, kosten voor werking en onderhoud, brandstofkosten, koolstofkosten en ontmantelingskosten.

Er bestaat vaak enige terughoudendheid over het verdisconteren van een fysieke output, met name de productie van elektriciteit. Waar het om gaat is dat een MWh geproduceerd dit jaar niet dezelfde economische waarde heeft als een MWh geproduceerd volgend jaar. De substitutie van fysieke output (electriciteit) door zijn economische waarde (prijs) is enkel mogelijk omdat men veronderstelt dat de nominale, onverdisconteerde prijs dezelfde blijft gedurende heel de looptijd van de elektriciteitscentrale. Het is alleen omwille van de wiskundige omzetting (zie boven) dat het lijkt alsof een fysieke output wordt verdisconteerd.

Het IEA (2010) publiceert regelmatig de LCOE voor verschillende technologieën en landen. Deze zijn mee opgenomen in de EVIV rekenbladen. We tonen hier uitsluitend de resultaten voor België.

Tabel 15: LCOE voor geselecteerde centrales in België

type centrale	levensduur [jaren]	netto capaciteit [MWe]	LCOE 5 % delging [€/MWh]	LCOE 10 % delging [€/MWh]
Nucleair EPR-1600	60	1 600	47,267	84,485
Steenkool SC	40	750	63,724	77,743
Steenkool SC	40	1 100	63,430	77,418
Single Shaft CCGT	30	850	69,445	76,086
CCGT (STEG)	30	400	71,109	77,054
CCGT (STEG)	30	420	66,611	71,658
CCGT (STEG)	30	420	69,135	75,010
Onshore wind	30	6	74,043	105,456
Onshore wind	25	2	80,839	113,622
Offshore wind	25	3,6	145,693	201,885

Steenkool SC = steenkool superkritisch; CCGT = combined cycle gas turbine of STEG

Bron: IEA (2010): Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition. IEA (2010): Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition

Een grotere delgingsfactor (10 % i.p.v. 5 %) doet niet alleen de LCOE toenemen, maar kan tevens zorgen voor verschuivingen in de rangorde. In LEAP kan men voor elke technologie afzonderlijk een delgingsfactor invoeren.

Ongeacht de delgingsfactor is wind, en vooral offshore wind, volgens het IEA de duurste technologie. Bij een delgingsfactor van 5 % zijn nucleaire centrales het goedkoopst in termen van LCOE. Steenkoolcentrales zijn iets goedkoper dan gasgestookte en onshore windcentrales, maar liggen feitelijk qua LCOE vrij dicht bij elkaar. Gasgestookte centrales hebben de laagste LCOE bij een delgingsfactor van 10 %, maar liggen zeer dicht bij de steenkoolcentrales. Nucleaire maar vooral windcentrales zijn merkkelijk duurder, en offshore is zelfs een factor 2,6 duurder in vergelijking met steenkoolcentrales. Het is wellicht daarom niet te verwonderen dat optimalisatiemodellen die zich uitsluitend op kostencriteria baseren, resoluut kiezen voor STEGs en steenkoolcentrales.

Voor een aantal (nieuwe) technologieën heeft IEA geen specifieke data voor België. Voor de volledigheid zijn in de EVIV rekenbladen de LCOEs mee opgenomen zoals vooropgesteld door een aantal organisaties waaronder het Europese Eurelectric, het Amerikaanse EPRI (Electric Power Research Institute) of het Australische ESAA (Electricity Supply Association of Australia).

## 5 Conclusies

De huidige incarnatie van het EVIV-LEAP model geeft een gedetailleerde en plausibele bottom-up beschrijving van het *volledige* energiesysteem Vlaanderen. Voor elke vraagsector is de finale vraag niet alleen gemodelleerd per energiedrager, maar ook per energiefunctie of -dienst, en voor elke energiefunctie, per type technologie. Dit is het minimum minimum dat men van een bottom-up energiemodel kan en mag eisen, en hierin is EVIV-LEAP volledig geslaagd.

Het is in feite schier onmogelijk om op basis van een bottom-up benadering bijna exact de energiebalans van een land of regio te benaderen. Dank zij het gebruik van matrix-balancing methoden in de EVIV rekenbladen en langdurige inspanningen bij het vergaren van de nodige informatie, is dit in EVIV-LEAP toch in zeer grote mate gelukt voor het referentiejaar 2010. Er zijn nog enkele problemen met het incorporeren van de zeer vaag gedefinieerde “andere brandstoffen” in de energiebalans Vlaanderen.

De indeling in sectoren volgens MIRA is in zeer grote mate overgenomen in EVIV-LEAP. Voor de staalsector hebben we noodgedwongen een uitzondering moeten maken. In de MIRA energiebalans wordt de geïntegreerde staalfabriek van Arcelor-Mittal in Gent integraal bij de staalsector gevoegd. Een dergelijke benadering is in LEAP niet mogelijk, omdat de vraagmodule de productie van energiedragers (in concreto cokesoven- en hoogovengas) niet toelaat. In de plaats daarvan hebben we gebruik moeten maken van de VITO energiebalans, waar de cokesovenfabriek in de transformatiesector is ondergebracht. De gevraagde indeling in ETS en niet-ETS sectoren was en is praktisch niet te realiseren. In feite zijn er geen ETS en niet-ETS sectoren, maar wel ETS- en niet-ETS bedrijven binnen de MIRA sectoren. Een verdere uitsplitsing van de MIRA sectoren zou op zich al de complexiteit van het EVIV-model sterk hebben doen toenemen, en zou het nog vele malen moeilijker hebben gemaakt om de energiebalans Vlaanderen exact te reproduceren. Meer relevant is dat een dergelijke uitsplitsing in een bottom-up model zou betekenen dat we gedetailleerde informatie moeten hebben van de ETS bedrijven binnen elke sector. Een beperkt deel van die informatie zouden we eventueel kunnen opvragen uit de milieujarverslagen, maar het vergaren en verwerken van die informatie vraagt alleen al vele mensmaanden. Die tijd was niet beschikbaar in dit project. Bovendien bevatten de milieujarverslagen geen informatie over elektriciteitsgebruik, wat voor de goede werking van EVIV-LEAP absoluut noodzakelijk is. En last but not least hebben we moeten vaststellen dat, indien informatie op het niveau van een bedrijf toch te verkrijgen was (Arcelor-Mittal), deze totaal niet in overeenstemming te brengen was met deze van de energiebalans. Zo vermeldt Arcelor-Mittal in haar milieujarverslag voor het jaar 2009 een elektriciteitsgebruik enkel voor haar staalfabriek in Gent dat een factor groter is dan het totale elektriciteitsgebruik in de volledige staalsector (elektrostaal in Genk inbegrepen) in de Energiebalans Vlaanderen! Dit soort anomalieën maakt van elke poging om een onderscheid te maken tussen ETS en niet-ETS bedrijven een oefening in het bepalen van de kwadratuur van de cirkel. We besluiten daarom dat aan de eis om EVIV-LEAP zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de MIRA indeling van sectoren, binnen de grenzen van het redelijke, is voldaan.

Oorspronkelijk was voorzien dat EVIV-LEAP “slechts” een aanpassing en uitbreiding van een bestaand model (SEPIA-LEAP) voor het Belgisch energiesysteem zou zijn. Dit is om een aantal redenen niet mogelijk gebleken. Het SEPIA-LEAP model is gebaseerd op de IEA energiebalans voor België. Deze kijkt op een aantal punten sterk af van de energiebalans Vlaanderen, o.m. wat betreft de behandeling van hernieuwbare energiebronnen (HEB), maar ook inzake de definities van energiedragers (zoals afval en biomassa). We konden voor SEPIA-LEAP bovendien beschikken over gedetailleerde elektriciteitsbalansen (centrales en WKK), wat niet het geval was voor Vlaanderen. Bij de bouw van SEPIA-LEAP in opdracht van het Belgisch wetenschapsbeleid hadden we veel meer vrijheid wat betreft de indeling in sectoren, en mochten we meer geaggregeerd werken (bijvoorbeeld, handel & diensten is in SEPIA-LEAP één sector, en is niet verder ingedeeld in de 6 deelsectoren van MIRA). Tot slot is in de loop van het project al het reeds gedane werk voor de aanpassing van SEPIA-LEAP praktisch volledig teniet gedaan door een ernstige “bug” in het softwarepakket LEAP. Dit maakte het noodzakelijk om EVIV-LEAP, het model voor het Vlaamse energiesysteem, *helemaal vanaf de grond* opnieuw op te bouwen. Gezien de grote complexiteit van het EVIV-LEAP model, mogen we van een succes spreken dat dit, weliswaar met de nodige vertraging, toch is gelukt.

Het Belgische SEPIA-LEAP model bevat een aantal variabelen die toelaten het gedrag van de actoren (huishoudens, bedrijven, etc.) te modelleren. Al deze variabelen zijn integraal overgenomen in het nieuwe EVIV-LEAP. De aanvankelijke bedoeling om een aantal van deze variabelen met elkaar te



verbinden, is slechts in beperkte mate geslaagd. Een belangrijke reden hiervoor is dat een aantal verbanden die we in het projectvoorstel hadden voorgesteld, na grondige literatuurstudie uiteindelijk niet erg realistisch bleken. Een andere reden is dat sommige verbanden wel plausibel zijn, maar dat gewoon niet geweten is hoe men deze verbanden wiskundig moet uitdrukken. Omdat we van EVIV-LEAP geen black-box model willen maken, hebben we geopteerd voor de oplossing waarin dergelijke verbanden aan het oordeel van de stakeholders / experts wordt overgelaten. Voor een aantal verbanden tot slot ontbrak de tijd om ze in te voeren. Ten opzichte van het Belgische SEPIA-LEAP is het Vlaamse EVIV-LEAP een verbetering, doordat heel wat gedragsvariabelen (zoals ventilatiebehoefte, behoefte aan verlichting, vollast uren ...) wel in EVIV-LEAP en niet in SEPIA-LEAP zijn opgenomen. De opbouw van scenario's is in EVIV-LEAP ook veel gebruiksvriendelijker dan in SEPIA-LEAP, o.m. door alle scenario-gerelateerde gebruikersinput in een aparte module "key assumptions" te plaatsen. We kunnen echter niet ontkennen dat het in verband brengen van een groot aantal gedragsvariabelen in EVIV-LEAP voorlopig weinig succesvol is.

Voor praktisch alle relevante vraagsectoren gebeurt de technologiekeuze op basis van een voorraadanalyse. Dit is een meer realistische benadering dan deze waarin elk jaar de aandelen van een technologie in bepaalde zichtjaren door de modelgebruiker wordt vastgelegd. In EVIV-LEAP worden enkel de marktaandelen van de *nieuwe* aankopen door de modelgebruiker vastgelegd. De aandelen van een technologie in een bepaald jaar hangen niet alleen af van die aankopen (uitbreidings- en vervangingsinvesteringen), maar ook van de mate waarin oude technologieën worden afgeschreven. We merken op dat dergelijk extensief gebruik van gesofisticeerde voorraadanalyse in energiemodellen eerder regel dan uitzondering is. De meeste modellen gebruiken voorraadanalyse bijna uitsluitend voor voertuigen (auto's) en eventueel (huishoudelijke) toestellen. De betere modellen gebruiken ook voorraadanalyse voor motoren in industrie, maar niet voor ovens / fornuizen en ketel- of stoomsystemen in industrie, wat wel het geval is in EVIV-LEAP. Ten opzichte van SEPIA-LEAP maakt EVIV-LEAP niet alleen veel meer gebruik van voorraadanalyse, ook de overlevingsfuncties in EVIV-LEAP zijn veel realistischer. De in EVIV gebruikte MCDA techniek voor het bepalen van de marktaandelen van nieuwe aankopen levert gemengde resultaten op. Het grote voordeel is dat men rekening kan houden met andere criteria louter dan enkel kosten, maar in feite kunnen we deze techniek pas in zijn volle waarde beoordelen in een concrete oefening met stakeholders / experts. Dat was in dit project niet voorzien.

De grootste tekortkoming van het Belgische SEPIA-LEAP is het ontbreken van kosteninformatie. Voor EVIV-LEAP hebben we zeer veel kosteninformatie verzameld en verwerkt. Deze data zijn beschikbaar in de EVIV-rekenbladen. Een selectie van die data is ingevoerd in het LEAP model, en dient om de kosten van de verschillende scenario's door te rekenen. Voor een aantal sectoren ontbreken nog de nodige data, of zijn ze niet ingevoerd in LEAP. Dit is vooral het geval voor de industrie, landbouw, en in iets mindere mate voor handel & diensten. Het is bijgevolg zeker niet zo dat op dit ogenblik scenario's in EVIV-LEAP een volledig kostenplaatje opleveren voor het gehele energiesysteem Vlaanderen. Zoals gebruikelijk is hier de term "kosten" benut voor de "uitgaven" die doelgroepen verrichten om bepaalde activiteiten te verrichten. Een meer correcte terminologie zou erin bestaan steeds de term uitgaven te gebruiken (zo ook inkomsten ipv baten), en kosten voor te behouden voor de ruimere betekenis waarin de uitgaven worden verhoogd met de eraan verbonden externe kosten (milieuschade, klimaatverandering, e.d.). Ook de cijfers die door internationale bronnen worden vermeld ivm de "kosten" van bepaalde productietechnieken (zoals nucleaire) centrales moeten aan een kritische review worden onderworpen, zowel op het vlak van de loutere uitgaven, als van de bijkomende risico's en lange-termijn effecten (afval, proliferatie van de technologie).

We besluiten met de opmerking dat EVIV-LEAP een versie 1.0 is. Er zijn nog heel wat zaken die aangevuld, aangepast of uitgebreid kunnen worden. Toch vormt EVIV-LEAP 1.0 al een solide basis voor het uitvoeren van scenario-oefeningen. Door tijdsgebrek zijn we in dit project niet veel verder geraakt dan een referentie-scenario, en het uittesten van verschillende deelaspecten van het model. De volgende stap is ongetwijfeld de bouw van volwaardige scenario's, liefst met hulp van stakeholders en experts. Op basis van hun feedback kan er zeker nog heel wat aan het model worden verbeterd en uitgebreid.

## Referenties

- AEA (2009): Review of cost assumptions and technology uptake scenarios in the CCC transport MACC model, Final Report to the Committee on Climate Change, Issue Number 5, Oxfordshire, June 2009.
- BIM (2009) Wat is het gemiddelde verbruik van huishoudapparaten (ELEK 05), Infofiches-energie.
- Ecofys (2007) sustainable heat and cold 2008-2020: potential, barriers and policy.
- Eichhammer et al. (2009): Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries, Final Report for the European Commission Directorate-General Energy and Transport, EC Service Contract Number TREN/D1/239-2006/S07.66640.
- Elementenergy (2011): Influences on the Low Carbon Car Market from 2020-2030, Final Report for Low Carbon Vehicle Partnership, Cambridge, July 2011.
- Energy Information Administration, Office of Energy Markets and End Use, Forms EIA-871A, C, and E of the 2003 Commercial Buildings Energy Consumption Survey.
- Fleiter et al (2010): Electricity demand in the European service sector: A detailed bottom-up estimate by sector and by end-use, in: Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings, IEECB, Frankfurt, April 13th-14<sup>th</sup>.
- Fraunhofer (2011): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010, Bericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi), Karlsruhe, August 2011.
- GERTEC (s.d.): WP2 Report about the regional cooling market of city of Münster and district of Steinfurt, Germany, Intelligent Europe coolregion.
- Giacomo Catenazzi (2009): Advances in techno-economic energy modeling Costs, dynamics and hybrid aspects, A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich for the degree of Doctor in Sciences.
- Griffith et al. (2008): Methodology for Modeling Building Energy Performance across the Commercial Sector, Technical Report NREL/TP-550-41956, NREL, March 2008.
- Grinden, B. and Feilberg, N. (2008): Analysis of Monitoring Campaign in Europe, REMODECE-D10, Intelligent Energy - Europe (IEE).
- Heylen, K. en Winters, S. (2009): Isolatie-niveau van private huurwoningen en woonuitgaven, Steunpunt Ruimte en Wonen, Heverlee, Februari 2009.
- Hoevenagel, R. (2012): Energiebesparingsmonitor gebouwde omgeving: U-bouw, Resultaten van de negende meting (2011), Stratus, in opdracht van Agentschap NL.
- JRC (2011): Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, Version 3c, July 2011, European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, 2011.
- Kolli Z. (2011) Cars Longevity: A Biometric Approach.
- Lechtenböhmer S. and Schüring A. (2011): The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU, in: energy Efficiency (2011) 4, pp. 257-270.
- Lutz, J.D., Hopkins, A., Letschert, V., Franco, V.H., and Sturges, A. (2011): Using national survey data to estimate lifetimes of residential appliances, in: HVAC & R Research, Sep 1, 2011.
- MARIE (2012): Regional Benchmarking Analysis Of the Demand Side For Energy Efficiency in Buildings, WP4/Task 4.1 Innovative Measures and Tools for Increasing Energy Efficiency in Buildings, Mediterranean Building Rethinking for Energy Efficiency Improvement, April 2012.
- Mata E., Sasic Kalagasidis A. and Johnsson F. (2010): Assessment of retrofit measures for reduced energy use in residential building stocks – Simplified costs calculations, paper SB10mad sustainable building conference.
- McKinsey (2010), A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis.
- Meijer Energie & Milieumanagement B.V. (2008).
- Mobius Consult. Meijer Energie & Milieumanagement B.V. (2008).
- NAHB (2007): Study of Life Expectancy of Home Components, National Association of Home Builders , February 2007.
- NEMS (2012) Commercial Demand Module, U.S. Energy Information Administration | Assumptions to the Annual Energy Outlook 2012.
- Offer G.J., Howey D., Contestabile M., Clague R. and Brandon N.P. (2009): Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system, in: Energy Policy.

OIVO (2009): Elektrische huishoudtoestellen, Studie uitgevoerd met de steun van de FOD Wetenschapsbeleid in het kader van PODO II, Februari 2009.

Polly B., Gestwick M., Bianchi M., Anderson R., Horowitz S., Christensen C. and Judkoff R. (2011): A Method for Determining Optimal Residential Energy Efficiency Retrofit Packages, prepared for Building America Building Technologies Program Office of Energy Efficiency and Renewable Energy US-DOE, prepared by the National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, CO, April 2011.

Pulakka S., Vares S., Rekola M. and Häkkinen T. (2010): The significance of refurbishment of external walls in European context in terms of environmental and economic impacts, SUSREF, Deliverable D 5.2 Sustainable Refurbishment, 30.11.2010.

Reijnga T., Teeuw P and Woudenbergh T. (2007) WP2 Report about the regional cooling market in The Netherlands, Intelligent Energy coolregion, june 2007.

Renders N., Duerinck J., Altdorfer F. en Baillot Y. (2011): Potentiële emissiereducties van de verwarmingssector tegen 2030, studie uitgevoerd in opdracht van FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de voedselketen en Leefmilieu, 9 januari 2011.

Risch A. and Salmon C. (2010): French residential energy demand: micro-econometric analysis of Household multi-fuel energy consumption, IREGÉ, Université de Savoie, France.

SAIC (2009): Development of Issues Papers for GHG Reduction Project Types: Boiler Efficiency Projects, Prepared for California Climate Action Registry, Science Applications International Corporation, January 7, 2009.

SEI (2007): A study on the costs and benefits of hybrid electric and battery electric vehicles in Ireland, 2007 Edition, Version 1.

UK Department of Energy and Climate Change: Energy Consumption in the UK, Service sector data tables, 2011 update, Publication URN 11D/805, Workbook published July 2011.

Versele A., Vanmaele B., Waumans B., Kein R. and Breesch H. (2010): Analysis of the optimal economical energy performance level for a retrofitted dwelling, in: ..., Catholic University College Ghent, Department of Industrial Engineering, Research group Sustainable Building, Ghent, Belgium.

VITO (2011): Inventaris duurzame energie in Vlaanderen 2010 DEEL I: hernieuwbare energie, Mol, 2011.

Vrijders J. and Delem L. (2009?): Economical and environmental impact of low energy housing renovation, BBRI.

Welch, C. and Rogers, B. (2010): Estimating the Remaining Useful Life of Residential Appliances, in: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, pp. 2-316 - 2-327.

Wenzel T.P., Koomey J.G., Rosenquist G.J., Sanchez M. and Hanford J.W. (1997): Energy Data Sourcebook for the U.S. Residential sector, LBL-40297, Energy Analysis Program Environmental Energy Technologies Division Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, September 1997.

Young, D. (2007): Major Appliance replacement in Canada, Canadian Building Energy End-Use Data and Analysis Centre CBEEEDAC.

Zero Carbon Hub (2009): Defining a fabric energy efficiency standard for zero carbon homes, Task Group Recommendations, London, November 2009.

## Afkortingen

ABWR: advanced boiling water reactor

AC: air cooled

AHU: air handling unit

APWR: advanced pressurized water reactor

BBP: bruto binnenlands product

BBRI: Belgian building research institute

BEV: battery electric vehicle

CAPEX: capital expenditures

CCGT: combined cycle gas turbine

CCS: Carbon capture and storage

EPRI: electric power research institute

ESAA: electricity supply association of Australia

EU: Europese Unie

FCEV: fuel cell electric vehicle  
GEV: grid electric vehicle  
ICE: internal combustion engine  
IEA: international energy agency  
IGCC: integrated gasification combined cycle  
kW: kilowatt  
LCC: life cycle cost  
LCOE: levelized cost of electricity  
LE: low energy of lage energie woning  
LEAP: long range energy analysis and planning  
LMF: light metal framework  
LR: learning rate  
MCDA: multi criteria decision analysis  
MW: megawatt  
OPEX: operating expenses  
PCC: pulverized coal combustion  
PE: polyetheen  
PH: passiefhuis  
PHEV: plug-in hybrid electric vehicle  
PR: progress ratio  
PV: fotovoltaïsch  
SC: supercritical  
SFP: specific fan power  
STEG: stoom- en gasturbine  
TCO: total cost of ownership  
TW: toegevoegde waarde  
USC: ultra supercritical  
VLE: very low energy of zeer lage energie woning  
WACC: weighted average capital costs  
WC: water cooled  
WKK: warmtekrachtkoppeling