

Levenscyclusanalyse van asfaltverhardingen

Ing. Joke Anthonissen

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen, Universiteit Antwerpen

Dr. Ing. Wim Van den bergh

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen, Universiteit Antwerpen

Prof. Dr. Johan Braet

Faculteit Toegepaste Economische Wetenschappen, Universiteit Antwerpen

Samenvatting

Binnen de wegenbouwsector zijn asfaltwerken een zeer belangrijke economische factor met een voorlopig ongedefinieerde ecologische impact op het milieu. Aan het MIB lab (Applied Engineering Laboratory for Sustainable Materials, Infrastructure & Buildings) van de faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen aan de Universiteit Antwerpen wordt er onderzoek verricht naar de milieu-impact van asfaltverhardingen. In een eerste studie (master thesis [1]) werden vier softwaretools (asPECT, DuboCalc, Changer, Highways Agency Carbon Calculation Tool) gebruikt voor de beoordeling van de CO₂ equivalent (CO₂ eq) uitstoot ten gevolge van asfaltproductie. De resultaten van deze studie geven een eerste indruk van de meest milieubelastende processen bij asfaltproductie. Doch is de evaluatie van CO₂ eq uitstoot ontoereikend in het kader van een levenscyclusanalyse (LCA). Daarom wordt er een volledige LCA studie van asfaltverhardingen uitgevoerd (doctoraatsstudie). Voor de LCA berekeningen zal de software SimaPro gebruikt worden, waardoor het mogelijk is om meerdere impactcategorieën in beschouwing te nemen, bijvoorbeeld toxiciteit, vermesting, verzuring, smogvorming e.d. Er geldt geen beperking tot louter de beoordeling van de broeikasgassen of tot de productie van asfalt.

In deze studie wordt het milieueffect van een case berekend met een vereenvoudigde software tool asPECT en met de LCA-software SimaPro. De resultaten worden vergeleken. Er wordt onder meer gefocust op de asfaltproductie bij verlaagde temperatuur en het gebruik van asfaltgranulaat in nieuwe asfaltmengsels.

De resultaten die in deze bijdrage besproken worden, geven een eerste indicatie van de materialen of processen die een significante milieulastverhoging veroorzaken bij de aanleg van asfaltverharding. Bovendien worden er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd opdat de invloed van een aantal keuzes op de resultaten bestudeerd kan worden.

1. Inleiding: het gebruik van asfaltgranulaat

Binnen de asfaltsector is asfaltgranulaat (AG) het belangrijkste recyclagemateriaal. In 2012 was er in België ongeveer 1,5 miljoen ton asfaltgranulaat beschikbaar, waarvan 61 % hoogwaardig werd hergebruikt in nieuwe hot mix (HMA; > 150 °C) en warm mix asfalt (WMA; 100 à 150 °C) [2]. Met een totale jaarproductie van 5,6 miljoen ton hot mix en warm mix, resulteert dit in om en bij de 49 % van de nieuwe mengsels waarin AG verwerkt is [2]. Het gebruik van AG wordt aangemoedigd door het economische voordeel dat eraan verbonden is. Een studie in 2008 toonde aan dat het toepassen van 50 % AG in een nieuw asfaltmengsel een afname van de productiekosten betekent van 10 €/ton [3]. Bovendien levert de verkoop van kwalitatief AG voor hergebruik tot 10 €/ton op terwijl de storkosten voor AG kunnen oplopen tot 100 €/ton.

De milieu-impact van het gebruik van AG werd in België echter nog niet grondig onderzocht. Met de invoering van het Kyoto-protocol in 1997 zijn er voor industrielanden voor het eerst concrete en bindende reductiedoelstellingen voor de uitstoot van broeikasgassen. Dit heeft geleid tot een toegenomen aandacht voor de milieuzorg. Op dit gebied is er wel een trend om de CO₂-emissies voor wegenwerken in rekening te brengen, maar heden staat de opname van een CO₂-vereiste in bestekken nog in de kinderschoenen. In België en Nederland werd er reeds een aanzet gegeven voor de beschouwing van milieu-impacts (beperkt tot CO₂ eq-uitstoot) voor asfaltproductie [1], [4]–[6]. Internationaal wordt echter erkend dat CO₂-equivalenten te beperkt zijn om de milieu-impact te evalueren [7].

2. Levenscyclusanalyse

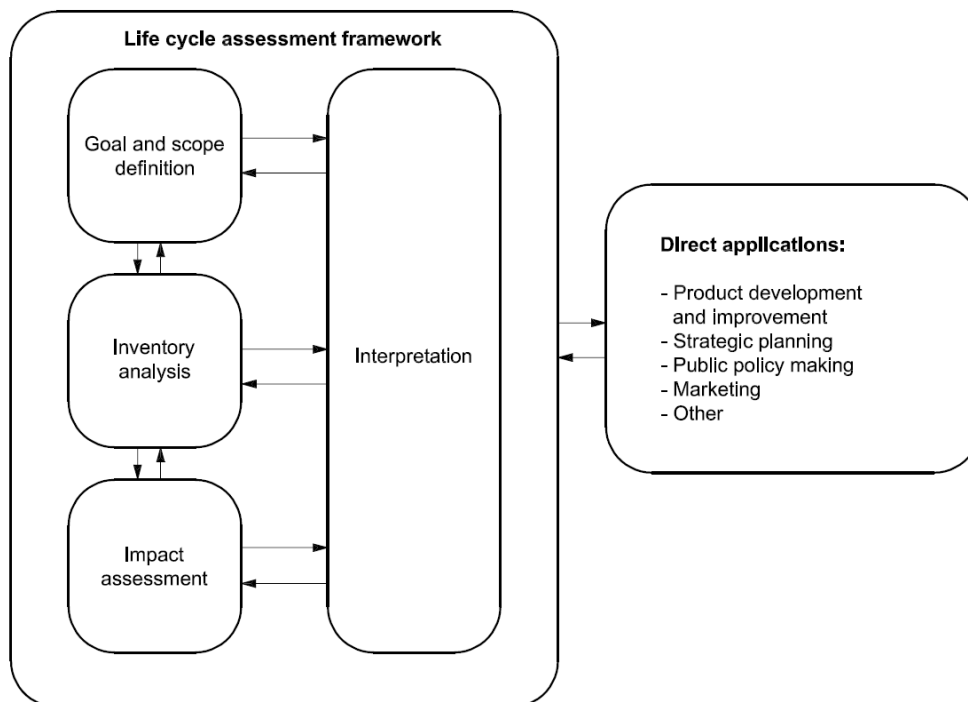
De internationale standaard ISO 14040:2006(E) definieert levenscyclusanalyse (LCA) als volgt: “LCA addresses the environmental aspects and potential environmental impacts (e.g. use of resources and the environmental consequences of releases) throughout a product's life cycle from raw material acquisition through production, use, end-of-life treatment, recycling and final disposal (i.e. cradle-to-grave).” De levenscyclusanalyse is een methode om informatie te verzamelen over het milieueffect van een product. Bij de analyse wordt rekening gehouden met alle activiteiten die plaatsvinden tijdens de levenscyclus van een product: van de ontginning van de grondstoffen tot de recyclage of afbraak.

Een levenscyclusanalyse is opgebouwd uit vier verschillende stadia (zie Figuur 1):

- Bepaling van doel en reikwijdte;
- Inventarisatie of de stoffenlijst;
- Effectbeoordeling en
- Interpretatie.

Naast de verschillende stadia in de LCA, zijn er ook verschillende fasen in de levenscyclus van een product te onderscheiden. In de geregistreerde Belgische norm NBN EN 15804 [9] worden volgende fasen onderscheiden: productie fase; constructie proces; gebruiksfase en einde levensduur.

Naargelang welke fasen mee in beschouwing genomen worden, worden er verschillende LCA types gedefinieerd, bijvoorbeeld: ‘Cradle-to-gate’ (enkel productie fase) en ‘Cradle-to-grave’ (alle vier fasen hierboven gedefinieerd).



Figuur 1: Verschillende stadia in een LCA [8]

3. Het gebruik van vereenvoudigde software tools voor de beoordeling van milieu-impact

Er zijn talrijke software tools op de markt die ingezet kunnen worden om de milieu-impact van bepaalde materialen, processen en of bedrijven te beoordelen. Een aantal van deze tools is gebaseerd op de LCA-methodologie, maar werd vereenvoudigd voor een specifieke sector. Zo is er een aantal tools, die werden ontwikkeld voor de evaluatie van de milieu-impact van wegverhardingen: asPECT (GB), ECORCE (FR), PaLATE (US), HA CCT (GB), DuboCalc (NL), Changer (Internationaal), Koolstofteller (BE).

Enkele van deze vereenvoudigde tools werden gebruikt in voorgaande studies [1], [4]. Hierbij werd geconcludeerd dat iedere tool beperkingen heeft. asPECT, Koolstofteller, HA CCT en Changer zijn beperkt tot de beoordeling van CO₂ eq. Zoals eerder aangehaald, blijven milieu-impacts echter niet beperkt tot broeikasgassen, waardoor de analyse met deze tools steeds onvolledig zal zijn.

Anderzijds is het in Koolstofteller, ECORCE, HA CCT, Changer, PaLATE niet mogelijk om materialen toe te voegen aan de database. Dit zorgt er voor dat specifieke bestanddelen zoals additieven en vulstoffen (die niet standaard in de database staan) niet correct in rekening gebracht kunnen worden.

DuboCalc is een software tool waarbij de milieueffecten van grond-, weg-, en waterbouwkundige projecten via de schaduwprijsmethode tot één getal worden omgerekend, namelijk de MilieuKostenIndicator (MKI). Deze tool neemt naast broeikasgassen ook andere milieu-impacts in rekening. Verder beschikt de tool over een uitgebreide database waarin aan

ieder materiaal een factor toegewezen is die de milieueffecten weergeeft. Het nadeel van DuboCalc voor het gebruik in België is dat de asfaltmengsels in de bibliotheek van de tool niet overeenkomen met de asfaltmengsels die courant gebruikt worden in België. De MKI-waarde is verder ook moeilijk te vergelijken met resultaten van andere tools.

Bij analyses waarin twee of meerdere situaties met elkaar vergeleken worden, is het belangrijk om deze vergelijking met dezelfde software tool te doen. Vaak wordt er gebruik gemaakt van aannames en veronderstellingen die kunnen verschillen voor de diverse tools. Tenslotte geldt hier ook het belang van de interpretatie van de resultaten. Het is belangrijk om de gebruikte software, de aannames en beperkingen van de studie mee te vermelden bij de resultaten.

In voorgaande studie [1] werd ook een aantal factoren met een belangrijke invloed op het global warming potential aangeduid:

- Vochtgehalte van de los gestorte aggregaten en asfaltgranulaat;
- Brandstoftype;
- Continuïteit van de asfaltproductie en
- Afstelling van de droogtrommel.

4. Het gebruik van SimaPro voor de beoordeling van milieu-impact

Het gebruik van SimaPro biedt meer vrijheid in vergelijking met de vereenvoudigde tools. Het is hierdoor mogelijk om zelf de systeemgrenzen te bepalen en de effectbeoordelingsmethode te kiezen. Welke processen worden in beschouwing genomen en welke vallen buiten het doel en de reikwijdte van een bepaalde analyse? Welke (bestaande) methode wordt gekozen om over te gaan van de stoffenlijst tot de milieu-impacts? SimaPro bevat bovendien een uitgebreide database met materialen en processen en de daarmee gerelateerde milieu-impacts, maar laat ook toe om zelf materialen toe te voegen. De gebruiker van de software kan daardoor zelf de meest geschikte data bron kiezen.

Anderzijds zorgt de keuzevrijheid er ook voor dat het gebruik van SimaPro kennis en ervaring over de levenscyclusanalyse methodologie vereist voor het berekenen van cases.

5. Case en scenario's

In deze bijdrage wordt een eenvoudige, fictieve case uitgewerkt.

- Toplaag, mengsel AB-4C (AC 10 surf 50/70);
- 1800 m², 4 cm dik, 180 ton asfaltmengsel;
- Aanvoer grondstoffen per vrachtwagen (50 à 70 km);
- 35 km van asfaltcentrale tot werf.

Binnen deze case werden er drie basisscenario's gedefinieerd waarbij de asfaltproductie verschilt:

- Scenario 1: (REF) hot mix, referentie; productietemperatuur 160 °C;
- Scenario 2: (AVT) warm mix of asfalt bij verlaagde temperatuur met chemisch additief; productietemperatuur 130 °C;
- Scenario 3: (AG) hot mix met 30 % asfaltgranulaat; productietemperatuur 160 °C.

De milieu-impact van basisscenario's 1 en 2 wordt berekend met asPECT. Met SimaPro wordt het milieueffect van de drie scenario's berekend. Bovendien worden er met SimaPro gevoeligheidsanalyses uitgevoerd waarbij default aannames van de baselinescenario's gewijzigd worden opdat het effect van alternatieve aannames op de resultaten onderzocht kan worden.

6. Uitwerking met asPECT

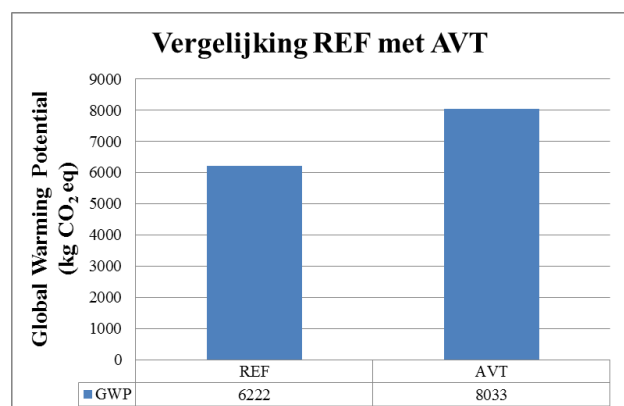
De analyse in asPECT is beperkt tot de productie van het asfaltmengsel en de constructie van de weg. Bovendien worden identieke processen (bv. transport tussen asfaltcentrale en de werf; de energie voor het aandrijven van motoren om te doseren en te mengen; spreiden van het asfaltmengsel op de werf; e.d.) niet in beschouwing genomen omdat de interesse uitgaat naar het verschil tussen basisscenario 1 en basisscenario 2. Daarom worden enkel volgende processen in rekening genomen:

- Ontginnen en/of productie van grondstoffen;
- Transport van grondstof naar asfaltcentrale;
- Energie voor opslag van materialen;
- Energie voor drogen en verwarmen van grondstoffen en
- Verdichting van het wegdek.

Er werden data uit de database van asPECT gebruikt. Ontbrekende data werden uit de ecoinvent database genomen en toegevoegd aan de database in asPECT.

Figuur 2 toont aan dat het global warming potential van scenario AVT groter is dan dat van scenario REF. Desondanks de afname van de productietemperatuur met 30 °C, wordt er meer CO₂ eq uitgestoten. De oorzaak hiervan ligt bij het chemisch additief, welke verantwoordelijk is voor 4060 kg CO₂ eq per ton chemisch additief. Zelfs wanneer dit additief slechts in zeer kleine hoeveelheid wordt toegevoegd aan het asfaltmengsel, resulteert dit in een forse stijging van de uitstoot.

Ten opzichte van het referentie scenario stijgt de GWP van het scenario met asfalt bij verlaagde temperatuur en chemisch additief met 29 %.



Figuur 2: Resultaten voor scenario REF en AVT met asPECT

7. Uitwerking met SimaPro

Voor de uitwerking van de drie scenario's in de SimaPro software werd er uitsluitend gebruik gemaakt van data uit de ecoinvent database. ReCiPe Europe (H) [10]–[12] werd gekozen als effectbeoordelingsmethode.

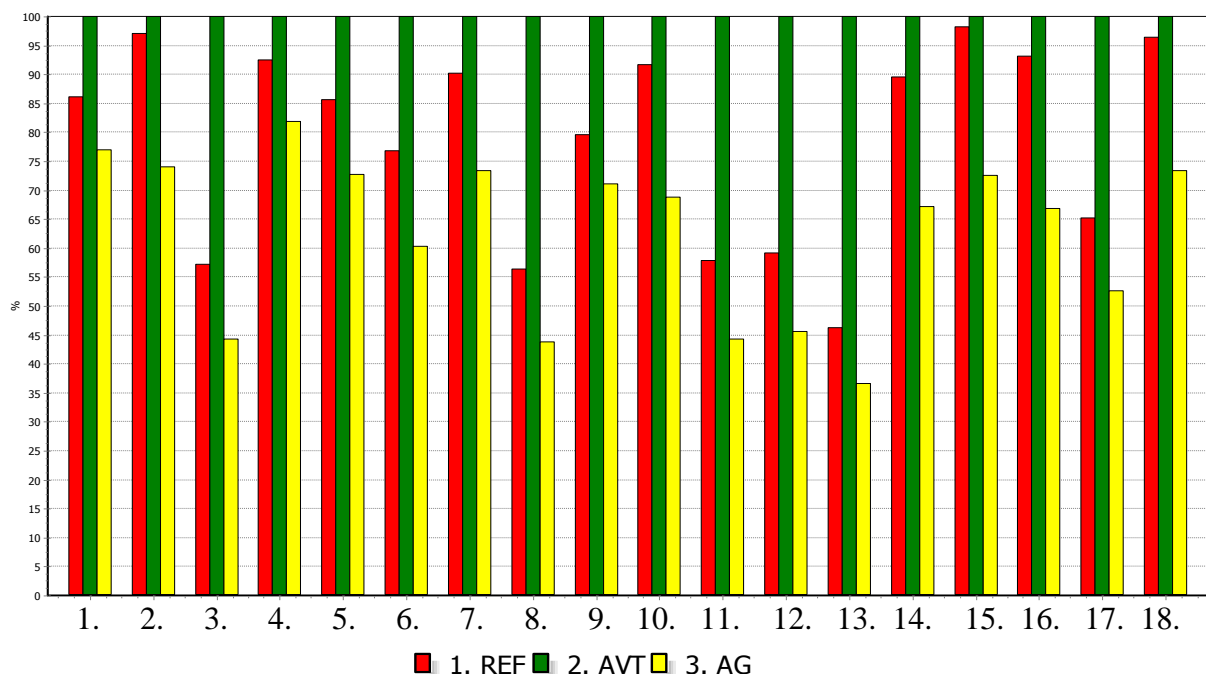
In tegenstelling tot de uitwerking in asPECT worden nu niet alleen de processen in rekening gebracht die verschillend zijn voor de drie scenario's, maar worden meerdere processen

tijdens de asfaltproductie en de wegconstructie in rekening gebracht. Volgende processen worden in beschouwing genomen:

- Ontginnen en/of productie van grondstoffen;
- Transporteren van grondstof naar asfaltcentrale;
- Energie voor de warme opslag van bitumen;
- Mechanische energie voor transporteren, zeven, doseren en mixen;
- Energie voor drogen en verwarmen van grondstoffen;
- Aanbrengen van kleeflaag;
- Transporteren van asfaltmengsel en werktuigen naar werf;
- Spreiden van het asfaltmengsel en
- Verdichten van het wegdek.

In Figuur 3 worden de gekarakteriseerde resultaten weergegeven per impactcategorie voor de drie basisscenario's. In totaal worden er 18 impactcategorieën in beschouwing genomen. Van links naar rechts op de figuur zijn dat de volgende:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Toename van het broeikaseffect (GWP) | 10. Ecotoxiciteit (bodem) |
| 2. Ozonlaagaantasting | 11. Ecotoxiciteit (zoetwater) |
| 3. Humane toxiciteit | 12. Ecotoxiciteit (zeewater) |
| 4. Fotochemische-oxidantvorming | 13. Bezetting van landbouwgrond |
| 5. Vorming van fijn stof | 14. Bezetting van stadgrond |
| 6. Ioniserende straling | 15. Natuurlijke landtransformatie |
| 7. Verzuring van de bodem | 16. Uitputting van water |
| 8. Vermesting (zoetwater) | 17. Uitputting van metalen |
| 9. Vermesting (zeewater) | 18. Fossiele uitputting |



Figuur 3: Resultaat per impactcategorie (karacterisatie) voor scenario's REF, AVT en AG met SimaPro

We zien dat de ranking van de drie scenario's voor iedere impactcategorie gelijk is; volgens toenemende impact AG, REF en AVT. Omdat deze ranking voor iedere impactcategorie geldt, zal dit ook resulteren in dezelfde ranking van de totale single score milieu-impact.

Het verschil in GWP (1) tussen REF en AVT berekend met SimaPro (zie Figuur 3) bedraagt 16%, terwijl het verschil tussen beide, berekend met asPECT 29% bedraagt ten opzichte van het GWP van REF.

Uit de resultaten bekomen met SimaPro kan men echter veel meer afleiden. Zo zien we dat in de impactcategorieën gerelateerd aan toxiciteit (humane, zoetwater en zeewater) de impact van AVT steeds minstens 69 % hoger is ten opzichte van REF. Dit laat toe te concluderen dat het chemisch additief, dat gebruikt werd om de asfaltproductie bij verlaagde temperatuur mogelijk te maken, een bepaalde toxiciteit heeft. Verder zien we ook een significante toename van de impact van scenario AVT ten opzichte van REF in categorieën (8) zoetwater vermisting (+77%) en (15) bezetting van landbouwgrond (+116%).

Als scenario AG vergeleken wordt met REF zijn de grootste verschillen (in het voordeel van AG) te vinden in volgende impactcategorieën: uitputting van water, bezetting van stads- en landbouwgrond, en ecotoxiciteit van de bodem.

Het dient opgemerkt te worden dat in deze studie geen additief wordt toegevoegd aan het mengsel met asfaltgranulaat. Het toevoegen van een additief zou de resultaten kunnen beïnvloeden.

In andere cases zijn de resultaten vaak niet zo eenduidig en zijn de verschillende scenario's anders gerangschikt in de verschillende categorieën. In dat geval kan men op basis van deze resultaten niet besluiten dat een bepaald scenario beter is voor het milieu dan een ander scenario.

Gevoeligheidsanalyses

Omdat bij het maken van een LCA altijd keuzes en aannames worden gemaakt, is het belangrijk om aan te geven hoe de resultaten uit de impact assessment geïnterpreteerd moeten worden. De invloed van een gemaakte aanname wordt geanalyseerd met een gevoeligheidsanalyse. In deze bijdrage worden verschillende gevoeligheidsanalyses besproken waarbij er telkens minstens twee alternatieven voor een bepaalde keuze onderzocht worden.

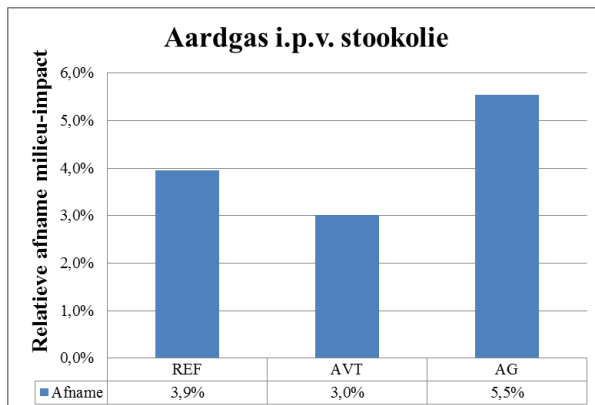
Alle resultaten die hieronder weergegeven worden, zijn relatieve afnames van de totale impact op het milieu (single score) van de beschouwde processen ten opzichte van het meest milieubelastende alternatief.

Brandstoftype

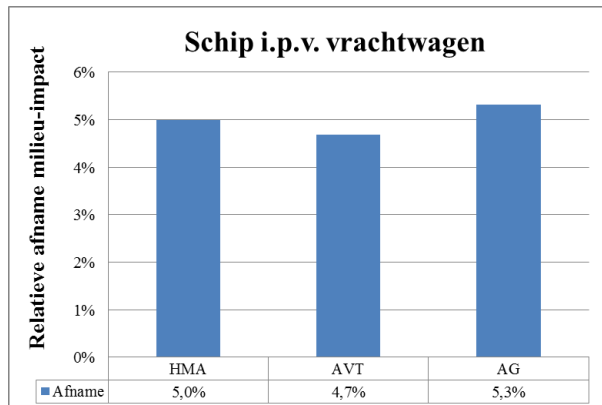
Zoals aangehaald in een voorgaande studie [1] kan een aanpassing van het type brandstof voor warmteproductie een grote invloed hebben op de resultaten. In deze casestudie werd aardgas als default brandstoftype gebruikt voor het drogen en verwarmen van de aggregaten. Voor de gevoeligheidsanalyse wordt nagegaan wat de relatieve afname van de totale impact op het milieu kan zijn indien de asfaltcentrale overschakelt van stookolie naar aardgas voor het drogen en verwarmen van de aggregaten en de verwarmde opslag van bitumen. In Figuur 4 zien we dat de relatieve afname van de impact voor de scenario's verschilt en tussen de 3 % en 6 % ligt.

Uit de berekeningen blijkt dat scenario AG het meeste energie verbruikt voor het drogen en verwarmen van de aggregaten en de opslag van de bitumen omwille van het relatief hoge vochtgehalte van het asfaltgranulaat (5 %). Ook het relatieve aandeel van de impact van deze energie tot de totale impact op het milieu is het grootst voor scenario AG met 8 % in vergelijking met 9 % voor REF en 7 % voor AVT.

Uit de berekeningen blijkt dat de ranking van de drie scenario's (op basis van de totale milieu-impact) niet wijzigt bij een ander brandstofalternatief en dus is de ranking van de drie scenario's niet afhankelijk van het brandstoftype.



Figuur 4: Gevoeligheidsanalyse brandstoftype



Figuur 5: Gevoeligheidsanalyse transportmethode

Transportmethode

De invloed van de keuze voor een bepaalde transportmethode (grondstoffen naar de asfaltcentrale) wordt geanalyseerd door twee alternatieven met elkaar te vergelijken. De vrachtwagen met laadvermogen van meer dan 28 ton, die gebruikt wordt als default in deze case, wordt vervangen door een schip. De transportafstanden worden geacht gelijk te blijven zodat enkel de invloed van het alternatieve transportmiddel te zien is. In Figuur 5 zien we dat de relatieve afname van de impact rond de 5 % schommelt.

De relatieve afname is het grootst voor scenario AG. Ondanks dat er in dit scenario het minste transport (uitgedrukt in ton*kilometer) nodig is (omwille van de kortere afstand voor de aanvoer van asfaltgranulaat – 35 km – in vergelijking met de aanvoer van nieuwe materialen), is het relatieve aandeel van de impact van dit transport tot de totale impact op het milieu het grootst. Het relatieve aandeel van het transport voor de aanvoer van grondstoffen bedraagt voor AG, REF en AVT respectievelijk 13 %, 12 % en 11 %. Het relatieve aandeel van de milieu-impact van het transport is het grootst voor AG hoewel de tonkilometer transport het kleinst is doordat de totale milieu-impact van AG het laagst is. Het is belangrijk om bekomen resultaten met enige voorzichtigheid te interpreteren.

Uit de berekeningen blijkt dat de ranking van deze drie scenario's (op basis van de totale milieu-impact) niet wijzigt bij een ander transportmethode (maar dezelfde transportafstand) en dus is de ranking van de drie scenario's niet afhankelijk van de transportmethode.

Levensduur

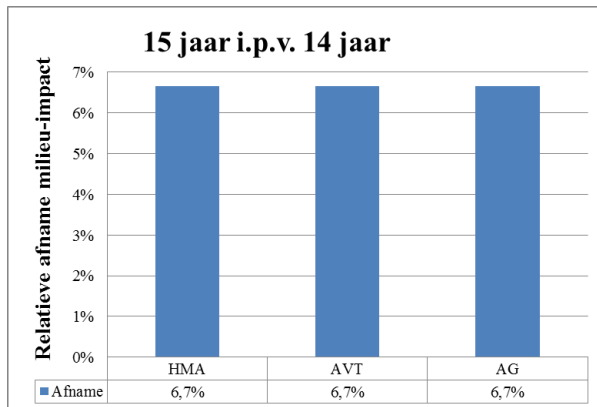
De levensduur van een asfaltverharding is een belangrijke parameter. Als default aanname werd gekozen voor een levensduur van 14 jaar voor de toplaag. Deze wordt vergeleken met een alternatief waarbij de levensduur van de toplaag met één jaar toeneemt. De totale milieu-impact per jaar wordt berekend. Indien de levensduur met één jaar toeneemt bedraagt de relatieve afname van de impact per jaar in de drie verschillende situaties 6,7 % (zie Figuur 6).

Weersomstandigheden

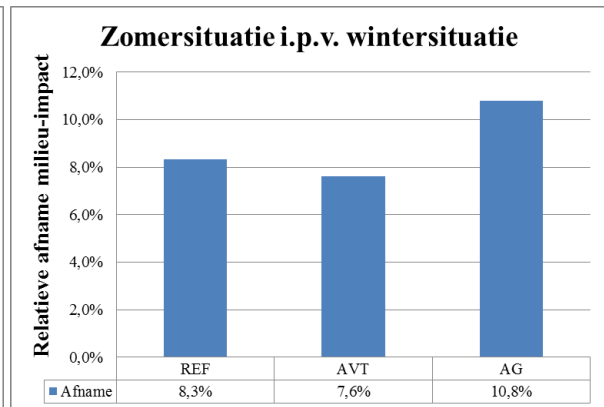
De weersomstandigheden hebben voornamelijk tijdens de opslag een invloed op de temperatuur en het vochtgehalte van aggregaten die blootgesteld worden aan de buitenomgeving. Zowel de temperatuur als het vochtgehalte van de aggregaten heeft een invloed op de energieconsumptie voor het drogen en verwarmen van de aggregaten. Een zomersituatie waarbij de aggregaten 20 °C zijn en 2 % vocht bevatten voordat ze worden

behandeld, wordt vergeleken met een wintersituatie waarbij de aggregaten 0 °C zijn en 9 % vocht bevatten. Figuur 7 toont de relatieve afname van de milieu-impact, welke afhankelijk van het scenario 7 % tot 11 % bedraagt.

Uit de berekeningen blijkt dat de ranking van deze drie scenario's (op basis van de totale milieu-impact) niet wijzigt bij andere weersomstandigheden en dus is de ranking van deze drie scenario's niet afhankelijk van de weersomstandigheden.



Figuur 6: Gevoeligheidsanalyse levensduur



Figuur 7: Gevoeligheidsanalyse weersomstandigheden

Effectbeoordelmingsmethode (LCIA-methode)

Tenslotte werd er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij vijf alternatieven voor de LCIA-methode onderzocht werden: ReCiPe Midpoint (H) (default); Ecological Scarcity 2006; Greenhouse Gas Protocol; USEtox Recommended; EPD(2008). Voor deze case was de ranking van de scenario's steeds gelijk in iedere impact categorie. Hierdoor kunnen we besluiten dat de ranking van meest belastend naar minder belastend (AVT, REF, AG) onafhankelijk is van de gekozen effectbeoordelmingsmethode.

8. Conclusies

Bij alle resultaten getoond in deze bijdrage is het belangrijk te realiseren dat ze zijn gekomen door een beperkt aantal processen in rekening te brengen. De beschouwde case is beperkt tot de ontginning en productie van grondstoffen, de productie van asfalt en de constructie van de weg. In een volledige LCA studie moet dit uitgebreid worden met de gebruiksfase en de processen aan het einde van de levensduur. Hierdoor zijn alle resultaten die in deze bijdrage getoond werden, uitsluitend geldig voor de huidige case.

Een vergelijking van de uitwerking van de case met asPECT en SimaPro toont de voor- en nadelen van beide software programma's aan. Het voordeel van het gebruik van SimaPro is de keuzevrijheid van de systeemgrenzen, de LCIA-methode, de databronnen en dergelijke meer. Daartegenover is het voor de uitwerking van een case in SimaPro vereist om enige voorkennis en ervaring te hebben wat betreft het gebruik van de software en de LCA methodologie. Dit is noodzakelijk om relevante keuzes te maken tussen verschillende alternatieven.

asPECT is echter een tool die gebruikt kan worden door mensen uit de wegenbouwsector met kennis van de verschillende processen voor de constructie van een wegverharding, maar zonder of met beperkte kennis van LCA.

De ranking van de twee scenario's berekend in asPECT komt overeen met de ranking in SimaPro. Toch kan SimaPro niet vervangen worden door dergelijke vereenvoudigde tool. Global warming potential dekt slechts een deel van de totale milieu-impact. Daardoor zullen in andere situaties de resultaten bekomen met de twee programma's niet overeenkomen omdat er andere belangrijke impacts zijn die niet in rekening worden genomen in de vereenvoudigde tool.

Uit de resultaten van SimPro blijkt ook dat materialen die slechts in een kleine hoeveelheden aanwezig zijn, soms onverwachts, een grote impact teweeg kunnen brengen. Daarom is enige voorzichtigheid aangewezen en mogen bijvoorbeeld additieven nooit verwaarloosd worden louter op basis van de relatieve hoeveelheid (massa of volume) in een mengsel.

Gevoeligheidsanalyses zijn aangewezen om meer robuuste conclusies te kunnen trekken uit gevonden resultaten. Doch blijft een grondige analyse van de resultaten altijd noodzakelijk voor de communicatie van bepaalde conclusies.

Tenslotte zijn de belangrijkste conclusies opgesomd.

- Wees voorzichtig met de interpretatie van resultaten.
- Er is meer nodig dan de beoordeling van CO₂ equivalenten voor een eerlijke vergelijking van de milieu-impact tussen verschillende situaties.
- Een kleine hoeveelheid van een materiaal kan een grote impact hebben. Verwaarloos daarom geen bestanddelen op basis van de fysieke hoeveelheid.

9. Referenties

- [1] A. Van Dessel and D. Ven, "Vooronderzoek naar de CO₂-reductie en de energiewinst bij gebruik van asfalt bij verlaagde temperatuur (AVT)," Artesis Hogeschool Antwerpen, 2012.
- [2] European Asphalt Pavement Association, "Asphalt in Figures 2012," Brussels, Belgium, 2012.
- [3] T. Van Houtven, "Economische studie aB³," Hogeschool Antwerpen, 2008.
- [4] L. Gonda, "Evaluation de l'empreinte écologique de la production d'asphalte," Université Libre de Bruxelles, 2011.
- [5] Rijkswaterstaat, "Duurzaam avontuur," 2011.
- [6] M. van den Berk, "Bouwstenen voor de LCA van Asfalt in Nederland," Breukelen, Nederland, 2004.
- [7] "Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations," *Off. J. Eur. Union L124*, vol. 56, no. 4 MAy 2013, 2013.
- [8] International Organization for Standardization, "ISO 14040:2006(E) - Environmental management - Life cycle assessment - principles and framework," Geneva, Switzerland.
- [9] NBN EN 15804, "Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen voor producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten." 2012.
- [10] M. Goedkoop, R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs, and R. van Zelm, "ReCiPe 2008 Report I: Characterisation," Netherlands, 2013.
- [11] A. W. Sleeswijk, L. F. C. M. van Oers, J. B. Guinée, J. Struijs, and M. A. J. Huijbregts, "Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000," *Sci. Total Environ.*, vol. 390, no. 1, pp. 227-40, Feb. 2008.
- [12] PRé, "SimaPro Database Manual - Methods Library," 2013.