

Isolatie met EPS bevordert de volksgezondheid

Een weging van de kosten en baten van het vrijkomen van pentaan bij de productie van EPS als isolatiemateriaal



Deze maatschappelijke kosten-batenanalyse is uitgevoerd in opdracht van de brancheverenigingen Stybenex, vereniging van EPS-fabrikanten en Stybenex Verpakkingen.

Auteur

prof. dr. Ira Helsloot

Januari 2026

De stichting Crisislab heeft als doelstelling de ontwikkeling en verspreiding van kennis op het domein van crisisbeheersing en veiligheidszorg. Voor Crisislab is een kernactiviteit het verrichten van empirisch gefundeerd onderzoek op het veiligheidsdomein, omdat momenteel feiten vaak ontbreken bij beleidsvorming en discussies op het terrein van het besturen van veiligheid. Op basis van dit onderzoek adviseren we overheden en bedrijven om tot redelijk en proportioneel veiligheidsbeleid te komen.

Inhoudsopgave

	Managementsamenvatting	4
1	Aanleiding en context	5
2	De mkba-aanpak op hoofdlijnen	7
3	Input en resultaten van de mkba	9
4	Het geheel overziend	15

Managementsamenvatting

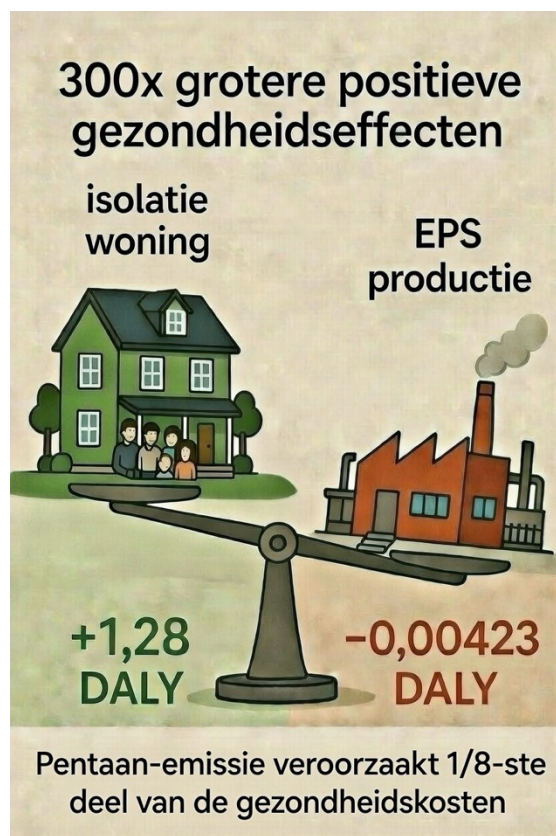
Bij de productie van EPS (piepschuim) komt pentaan vrij dat een negatief effect heeft op de volksgezondheid via twee mechanismen: pentaan leidt tot ozon-vorming op vooral zomerse dagen en pentaan is een broeikasgas. Over dit gezondheidseffect bestaan zorgen bij vergunningverleners. Het gebruik van EPS als isolatiemateriaal leidt echter tot gezondheidsvoordelen vanwege besparingen op energiegebruik en daardoor minder emissies.

Conform het rijksbeleid hebben de branchevereniging Stybenex en Stybenex Verpakkingen aan CrisisLab gevraagd een integrale maatschappelijke kosten-batenanalyse op te stellen voor productie en gebruik van EPS als isolatiemateriaal.

Deze maatschappelijke kosten-batenanalyse over de hele levenscyclus van EPS berekent dat de voordelen voor de volksgezondheid van EPS-gebruik als isolatiemateriaal tegen koude, uitgedrukt in gezonde levensjaren (DALY's), de nadelen met een factor van ongeveer 300 overtreffen.

Overigens blijkt in deze kosten-batenanalyse dat het negatieve effect van het vrijkomen van pentaan bij de productie van EPS met een factor acht ondergeschikt is aan het vrijkomen van vooral NOx bij de productie van energie nodig voor de EPS-productie.

Visueel samengevat:



1 Aanleiding en context

Er loopt een discussie tussen de EPS-branche en de vergunningverlenende overheden over de noodzaak, technische mogelijkheid en betaalbaarheid om in extra pentaan verwijderende technieken te investeren. Volgens rijksbeleid zouden de uitkomsten van een mkba in die discussie leidend moeten zijn.

1.1 Aanleiding

Een van de cruciale activiteiten in de Nederlandse energietransitie is het isoleren van woningen maar ook andere gebouwen. Daarbij zijn toepassingen van EPS (piepschuim) populair; niet alleen vanwege de goede isolerende werking maar ook vanwege beperkte kosten en makkelijke verwerkbaarheid. Het *gebruik* van EPS als isolatiemateriaal leidt tot gezondheidsvoordelen vanwege besparingen op energiegebruik in (vooral de) winter en zomer en daardoor minder emissies.

Bij de *productie* van EPS komt pentaan vrij. Pentaan heeft een negatief effect op de gezondheid door de vorming van ozon. De productie van EPS vergt zelf ook energie waardoor bij de opwekking ervan toxische emissies als NO_x en het broeikasgas CO₂ vrijkomen.

Net als voor bijna alle menselijke activiteiten geldt daarmee dat (de productie en gebruik van) EPS positieve en negatieve (gezondheids)effecten heeft.

Verscheidene vergunningverlenende lokale overheden en hun adviesdiensten 'duwen' vanwege de negatieve effecten op een vermindering van het vrijkomende pentaan bij de industrievestigingen in hun gemeenten. Dat is echter een te beperkt perspectief want ook de positieve effecten zouden moeten worden meegewogen in de lokale beslissingen. Volgens het vigerende kabinetsstandpunt uit 2015 over het bestuurlijk omgaan met risico's zou het openbaar bestuur op grond van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (mkba) moeten beslissen.

Derde uitgangspunt:

De overheid beslist op proportionele, goed afgewogen wijze over het omgaan met risico's, ook naar aanleiding van incidenten.

Proportioneel wil zeggen dat de maatschappelijke baten van de activiteit en van de feitelijk bereikte risicovermindering duidelijk opwegen tegen de kosten en mogelijke maatschappelijke bijwerkingen. Maatschappelijke kosten en baten zijn hier zowel materieel als immaterieel op te vatten.

Figuur 1: Derde uitgangspunt uit het kabinetsstandpunt 'Bestuurlijk balanceren met risico's en verantwoordelijkheden', 9 november 2015.

De vraag is daarmee zoals altijd hoe een mkba uitpakt. Voor de productie en gebruik van EPS t.b.v. isolatie is zo'n mkba nog niet gemaakt. Er is een principiële discussie mogelijk of bij regulering door de overheid het niet die overheid zelf moet zijn die zo'n mkba opstelt. In dit geval hebben Stybenex, de brancheorganisatie van EPS-fabrikanten, en Stybenex Verpakkingen aan Crisislab gevraagd om zo'n mkba op te stellen.

Op voorhand moet er geen misverstand over bestaan dat een dergelijke mkba altijd een integrale afweging is van kosten en baten en daarmee echt iets anders is dan 'alleen' een kosteneffectiviteitsberekening van bijvoorbeeld de investeringskosten om pentaanuitstoot te verminderen. De wetgever heeft ook nadrukkelijk gesteld dat een integrale afweging boven de kosteneffectiviteitsberekening gaat:

Besluit over maatregel nooit op basis van kosteneffectiviteit alleen

Bij het uiteindelijk vaststellen van milieumaatregelen kan kosteneffectiviteit worden gebruikt als 1 van de mee te wegen technische kenmerken. Dit in samenhang met andere elementen zoals:

- geografische ligging
- plaatselijke milieuomstandigheden
- resultaten van een integrale afweging van de milieueffecten

Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling om uitsluitend op basis van een toets van de kosteneffectiviteit te beslissen over het al dan niet nemen van een emissiebeperkende maatregel. Omgekeerd geldt dit ook. Het kan zijn dat het bedrijf kan aantonen dat bijvoorbeeld de technische kenmerken van een installatie toepassing van een specifieke maatregel onmogelijk maken. Het is dan niet de bedoeling het bedrijf te vragen een berekening van de kosteneffectiviteit te maken.

Figuur 2: Uitleg beperking kosteneffectiviteitsberekeningen (bron: Informatiepunt Leefomgeving, kosteneffectiviteit van luchtmissie bij milieubelastende activiteiten).

Crisislab gebruikt voor het opstellen van een mkba de systematiek die voor het risicomeningpaneel van de Stichting werkgroep BOVEN (Bestuurlijk Overleg voor een Veilige Energietransitie in Nederland) is ontwikkeld en door het RIVM is gereviewd. In hoofdstuk 2 wordt deze systematiek beschreven.

2 De mkba-aanpak op hoofdlijnen

In dit hoofdstuk wordt de systematiek die door Crisislab bij het opstellen van de mkba is gehanteerd, op hoofdlijnen beschreven.

2.1 Uitgangspunten voor de mkba

In deze mkba kijken we naar de maatschappelijke voor- en nadelen van EPS-productie en gebruik voor isolatie van woningen en andere gebouwen.

Het beschouwde voordeel van EPS-gebruik is het mindere energieverbruik van geïsoleerde gebouwen bij verwarming van die gebouwen. Daardoor komt er minder van het broeikasgas CO₂ vrij en minder van de gezondheid aantastende verbrandingsgassen van verwarmingsinstallaties. In deze mkba zullen we kijken naar NO_x en fijnstof als de bekende verbrandingsgassen met het grootste effect op de volksgezondheid.

In de mkba gaan we uit van doorsneewoningen die (dus) een gasgestookte HR-ketel als verwarmingsbron hebben.

Voor het gebruik kijken we in het bijzonder naar isolatie van bestaande ‘redelijk geïsoleerde’ woningen tot ‘goed geïsoleerde woningen’¹ (dus bij renovatie) omdat

- we officiële cijfers hebben van Milieu Centraal, Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) en CBS over de gasbesparing. Voor nieuwbouwwoningen die standaard geïsoleerd zijn, is alleen een berekende gasbesparing beschikbaar voor het denkbeeldige verschil tussen de woning zonder en met isolatie.
- het verschil in isolatie tussen beide niet zit in verschillende isolatiewaarde van het glas maar alleen in de dak-, vloer- en muurisolatie.

De mkba levert op deze wijze het beste inzicht op van de effecten van (EPS)-isolatie tegen koude. Merk op dat we een ander positief effect van EPS-gebruik daarmee buiten beschouwing laten, namelijk de isolatie tegen warmte waardoor minder koeling (bijv. airco) nodig is in de zomer. Over dit voordeel hebben we geen officiële data kunnen vinden die bruikbaar waren in de mkba. Evenzo is een (te) ingewikkeld te kwantificeren voordeel dat een goed geïsoleerd huis in de winter beter geventileerd zal worden omdat de ventilatieopeningen minder snel door de gebruiker zullen worden dichtgemaakt zodat de luchtkwaliteit in huis hoger blijft.

Het beschouwde nadeel van EPS-productie, dat dus in de mkba centraal staat, is enerzijds het vrijkomen van pentaan dat een effect op de volksgezondheid heeft via het ontstaan van ozon (en, zo zullen we zien, een marginaal effect als broeikasgas). Anderzijds

¹ We hanteren de definities van Milieu Centraal voor de begrippen ‘redelijk geïsoleerd’ en ‘goed geïsoleerd’.

nemen we ook de effecten van het broeikasgas CO₂ en de verbrandingsgassen (NO_x en fijnstof) mee die ontstaan bij de opwekking van de benodigde energie voor de gehele levenscyclus van EPS (productie, transport, verwerking en afvalwerking).

Cruciaal is het volgende inzicht: de gebruikte isolatie wordt natuurlijk maar een keer geproduceerd en houdt dan jaren zijn positieve waarde. In de mkba wordt uitgegaan cf. o.a. de publicaties van Milieu Centraal dat de isolatie 50 jaar blijft werken. Dit is overigens een conservatieve aanname voor de werkingsduur van EPS-isolatie volgens de levenscyclusanalyse opgesteld door SGS Intron (2025). Deze gaat uit van een werkingsduur van 75 jaar. Wij hanteren voor onze mkba de werkingsduur van 50 jaar omdat deze past bij de (ook conservatieve) aanname uit de bouwregelgeving dat woningen voor 50 jaar ontworpen worden.

2.2 Systematiek van de mkba

Door BOVEN (het Bestuurlijk Overleg voor een Veilige Energietransitie in Nederland, zie www.werkgroep-boven.nl) is specifiek voor de vergunningverlening van energietransitie activiteiten een ondersteunend instrument ontwikkeld. Dit zogenaamde risicomengpaneel brengt de meest recente kennis over de gezondheidsvoor- en nadelen van energieproductie (en dus -besparing), -transport en -opslag bij elkaar zodat het bevoegd gezag een geïnformeerde integrale afweging kan maken.²

De werkgroep BOVEN (Bestuurlijk Overleg voor een Veilige Energietransitie in Nederland) bestaat uit wethouders, burgemeesters en gedeputeerden. BOVEN zoekt naar manieren om het bestuurlijke perspectief op veiligheids- en gezondheidsrisico's te combineren met de bestuurlijke opgave om de energietransitie te realiseren. BOVEN doet dat door middel van het opstellen van handreikingen en het organiseren van bijeenkomsten. De werkzaamheden van de werkgroep worden mogelijk gemaakt door het ministerie van Klimaat en Groene Groei.³

Cruciaal is het inzicht dat elke activiteit risico's met zich meebrengt en dat dus ook de energietransitie (nieuwe) risico's met zich mee zal brengen. Door de energietransitie zullen echter andere (oude) risico's minder worden. Bij vergunningverlening moet dus niet alleen naar de nieuwe risico's gekeken worden maar ook naar de verdwijnende oude risico's.

Isolatie met EPS is zo'n activiteit van de energietransitie. De productie ervan (en dat is inclusief transport) brengt onvermijdelijk risico's met zich mee maar het gebruik als isolatiemateriaal zorgt voor minder volksgezondheidsrisico's door minder energiegebruik.

Het de systematiek van het risicomengpaneel maakt het mogelijk die gezondheidsvoor- en nadelen te vergelijken door het opstellen van een mkba. In een mkba moet er natuurlijk

² <https://werkgroep-boven.nl/hulp-bij-risicoafweging/>.

³ Zie www.werkgroep-boven.nl.

een 'gezamenlijke noemer' zijn om kosten-appels en baten-peren te kunnen vergelijken. BOVEN, en wij dus in deze mkba, gebruikt de DALY (disability adjusted life years), het aantal gewonnen of verloren gezonde levensjaren als gevolg van de activiteit. De DALY-systematiek is door de WHO geïntroduceerd, juist om de gezondheidseffecten van interventies te kunnen vergelijken.

In het achtergrond document bij het risicomengpaneel van BOVEN (Crisislab, 2023) zijn alle technische aannames beargumenteerd en van referenties voorzien.

Het ministerie van EZK heeft door het RIVM het risicomengpaneel laten reviewen met positief resultaat.

3 Input en resultaten van de mkba

In dit hoofdstuk worden de input voor en de resultaten van de door Crisislab opgestelde mkba beschreven.

3.1 Het modale rijtjeshuis

Een modaal rijtjeshuis in Nederland heeft typisch de volgende kenmerken:

- Vloeroppervlakte: $\sim 100 \text{ m}^2$ (gemiddeld voor een tussenwoning, excl. hoekwoningen).
- Buitenmuren (excl. ramen): $\sim 60 \text{ m}^2$ (voorgevel en achtergevel, elk $\sim 30 \text{ m}^2$ na aftrek van $\sim 20\text{-}25\%$ voor ramen, zijmuren gedeeld met burenen).
- Dakoppervlakte: $\sim 50 \text{ m}^2$ (schuin dak).

Referenties: Milieu Centraal, 'Isoleren en besparen', waar gemiddelde afmetingen van rijtjeshuizen worden genoemd en CBS (2023), 'Woningvoorraad in Nederland', voor typische afmetingen van rijtjeshuizen ($80\text{-}120 \text{ m}^2$).

De te bereiken isolatiewaarden (Rc-waarden⁴) bij renovatie tot 'goed geïsoleerd' zijn:

- Muren: $2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.
- Vloer: $3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.
- Dak: $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Referentie: richtlijnen van Milieu Centraal voor isolatiewaarden bij renovatie.

Energiebesparing bij het bereiken van de isolatiewaarde goed door (EPS-)isolatie:

Een redelijk geïsoleerd rijtjeshuis verbruikt $900 - 1.100 \text{ m}^3$ gas/jaar voor verwarming. Met goede isolatie (muren, vloer, dak) daalt dit naar $650 - 800 \text{ m}^3$, een besparing van $300 - 450 \text{ m}^3$ /jaar. In de mkba zullen we rekenen met een gemiddelde besparing van 375 m^3 /jaar.

Referentie: Milieu Centraal, 'Isoleren en besparen'.

3.2 Rekenstappen kosten

We onderscheiden twee hoofdtypen 'kosten' voor de isolatie met EPS:

- De stoffen die vrijkomen vanwege de energie die nodig is om de EPS te maken.
- Het vrijkomen van pentaan bij de EPS-productie.

⁴ De isolatiewaarde van het isolatiemateriaal zelf (Rd-waarde) is dan telkens $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ lager omdat de constructie een isolatiewaarde van $0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ heeft.

We zullen als eerste berekenen hoeveel energie nodig is voor de isolatie van een redelijk geïsoleerd huis naar een goed geïsoleerd huis.

Embodied energy EPS-isolatie. We moeten als eerste weten **hoeveel isolatie** (muren, dak en vloer) noodzakelijk is om de vereiste isolatiewaarde te bereiken.⁵ Hiervoor kan met verschillende typen EPS als isolatie worden gewerkt. Omdat deze verschillende typen een verschillende isolatiewaarde hebben, is er een andere totale hoeveelheid noodzakelijk. Wij gaan in deze mkba uit van het steeds gangbaarder grijze EPS met een lambda-waarde van $\approx 0,031-0,032$ (klassiek wit EPS heeft een lambda-waarde rond de $0,036 - 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).

Het totaal benodigde volume / gewicht aan grijs EPS is dan $17,5 \text{ m}^3 / 350 \text{ kg}$.

Referentie: Milieu Centraal, 'Isoleren en besparen'.

Om deze hoeveelheid EPS te maken, te transporteren, te verwerken en uiteindelijk te recyclen is energie nodig. Deze zogenaamde embodied energy ligt volgens de recente literatuur tussen de 80 en 100 MJ/kg zodat we het gemiddelde van 90 MJ/kg zullen hanteren.

Referentie: Een review van 223 waarden uit 156 Environmental Product Declarations (EPD's) voor isolatiematerialen in Cleaner Engineering and Technology (2021) vind een range van 44–78 MJ per functionele eenheid (FU: 1 m^2 isolatie met $R=1 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) voor EPS. Omgezet naar per kg (bij typische EPS-dichtheid 20 kg/m^3 en lambda $0,031-0,035$, wat $\approx 0,57-0,65 \text{ m}$ dikte per FU geeft), komt dit uit op 80–100 MJ/kg. Een vergelijkbare peer-reviewed survey uit Energy and Buildings (2018) komt uit op 80–95 MJ/kg voor EPS.

De embodied energy van de genoemde hoeveelheid van 350 kg EPS is dus $90 \text{ MJ/kg} \cdot 350 \text{ kg} = 31.500 \text{ MJ}$

Hierna zullen we berekenen wat de DALY-last van de benodigde energieproductie is.

Gezondheidskosten electriciteitsopwekking voor productie EPS. Om de isolatiematerialen te maken is energie nodig uit een elektriciteitscentrale. We gebruiken hier de gegevens uit het mengpaneel voor elektriciteitsproductie die o.a. uitgaat van de 2021 verhouding tussen gas- en kolencentrales en van TNO voor algemene industriële processen (dus voor energie opgewekt door een fabriek zelf).

Voor de **NOx-emissie** geldt dat we weten dat dat er ongeveer $0,00002 \text{ kg NOx/MJ}$ vrijkomt.

Referentie: Risicomengpaneel en TNO (2018), "Emissies van industriële processen".

⁵ Als detail: we gaan uit van gevelisolatie in de spouw met EPS-platen en dus niet van buitengevelisolatie of EPS-parels die in de spouw worden gespoten.

Volgens de ReCiPe 2016-methodiek en WHO-schattingen is de DALY-impact van NO_x ongeveer 0,002 DALY/kg NO_x (door directe blootstelling en indirect via ozonvorming).

Referentie: WHO (2016, 'Ambient Air Pollution') en ReCiPe 2016.

Daarmee zijn de NO_x-kosten van de opwekking van 31.500 MJ in totaal $31.500 \text{ MJ} * 0,00002 \text{ kg NO}_x/\text{MJ} * 0,002 \text{ DALY/kg NO}_x = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ DALYS}$.

De *CO₂-emissie* is 0,05 kg CO₂/MJ

Referentie: Ecoinvent-database en IPCC (2014), 'Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories'.

Voor de klimaatimpact van CO₂-emissies sluiten we aan bij de IPCC-inschatting van het effect van de klimaatverandering tot nu toe op de volksgezondheid. In zekere zin doen we dat 'tandenknarsend' want normaliter zitten wij op de lijn van wetenschappers als Bjorn Lomborg die grote twijfels hebben bij deze getallen. Zo kan o.i. overtuigend bewezen worden dat tot op heden klimaatverandering alleen maar een positief effect op de wereldwijde volksgezondheid heeft al was het alleen maar omdat er geen wetenschappelijke twijfel is dat het aantal overledenen vanwege koude nog steeds een ordegrrootte hoger is dan het aantal overledenen door hittestress. Om over dit (zo zal blijken marginale) aspect van de mkba geen discussie te laten ontstaan werken we toch met de IPCC-inschatting van 0,00001 DALY per ton CO₂.

Daarmee zijn de CO₂-kosten van de opwekking van 31.500 MJ in totaal $31.500 \text{ MJ} * 0,05 \text{ kg CO}_2/\text{MJ} * 0,00001 \text{ DALY/1000kg CO}_2 = 1,575 \cdot 10^{-5} \text{ DALYS}$

Referentie: WHO (2016), 'Ambient Air Pollution'.

De *fijnstofemissie* is hier conservatief gemodelleerd door aan te nemen dat alle energie uit een gangbaar industrieel proces komt (voor moderne elektriciteitscentrales is dit minder). De PM_{2.5}-emissie is dan 0,00001 kg PM_{2.5}/MJ.

Referentie: TNO (2018), 'Emissies van industriële processen' en Risicomengpaneel.

De kosten in DALY's van fijnstofemissie zijn 0,008 DALY/kg PM_{2.5}.

Referentie: WHO (2016) en ReCiPe 2016.

Daarmee zijn de fijnstofkosten van de opwekking van 31.500 MJ in totaal $31.500 \text{ MJ} * 0,00001 \text{ kg PM}_{2.5}/\text{MJ} * 0,008 \text{ DALY/kg PM}_{2.5} = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ DALYS}$

We zullen nu berekenen wat de DALY-last van het vrijkomende pentaan is via twee mechanismen:

Gezondheidskosten pentaan-emissies voor EPS: Voor EPS-productie is specifiek het vrijkomen van pentaan dat via het mechanisme ozon-vorming en via broeikaswerking effect heeft op de volksgezondheid. We berekenen het verlies aan DALY's per te isoleren woning daardoor als volgt:

Pentaan-gebruik: 5-7% van 350 kg = 17,5 -24,5 kg, we rekenen met gemiddeld 21 kg.
Pentaan-emissies: 50-80% van 21 kg = 10,5 -16,8 kg, we rekenen met gemiddeld 13,65 kg.

Referentie: PlasticsEurope, 'Eco-profiles for EPS'.

Nogmaals, we werken met de IPCC-inschatting van 0,00001 DALY per ton CO₂-emissie.

Verder is relevant dat pentaan een zesmaal hogere broeikaswerking heeft dan CO₂.

Het DALY verlies vanwege broeikaseffect is dus 13,65 kg pentaan × 6 kg CO₂-eq/kg = 81,9 kg CO₂-eq. In DALY's: 0,0819 ton × 0,00001 DALY/ton = 8,19 10⁻⁷ DALY's.

Referentie: IPCC AR5 (2013) en ReCiPe 2016.

Het effect van ozonvorming (vooral in de zomer) is serieuzer. Hier geldt dat pentaan telt als 0,2 ozon-equivalenten en een kilogram ozon leidt tot een verlies van 0,0002 DALY.

Het DALY-verlies vanwege ozon is dus 13,65 kg pentaan × 0,2 kg O₃-eq/kg = 2,73 kg O₃-eq. In DALY's: 2,73 kg × 0,0002 DALY/kg O₃-eq = 5,46 10⁻⁴ DALY's.

Referentie: ReCiPe 2016.

Het totale aantal verloren DALY's door vrijkomen van pentaan bij de EPS-productie voor het isoleren van een modaal rijtjeshuis van redelijk naar goed geïsoleerd wordt dus gedomineerd door het ozon-effect en is dus 5,46 10⁻⁴ DALY's.

Totale kosten productie EPS: Wanneer we alle kosten in DALY's optellen voor de productie van de grijze EPS-isolatie voor een modaal rijtjeshuis van redelijk geïsoleerd naar goed geïsoleerd zien we dat deze gedomineerd wordt door de NO_x- en fijnstofuitstoot en komt deze uit op ongeveer 4,32 10⁻³ DALYS.

Het pentaan-aandeel in de kosten is ongeveer 5,46 × 10⁻⁴ en daarmee ongeveer 1/8-ste van de totale kosten.

3.3 Rekenstappen baten

Gezondheidsbaten vermeden uitstoot NO_x: NO_x draagt bij aan luchtwegaandoeningen, hart- en vaatziekten en ozonvorming. Volgens de ReCiPe 2016-methodiek en WHO-

schattingen is de DALY-impact van NO_x ~0,002 DALY/kg NO_x (door directe blootstelling en indirect via ozonvorming vooral tijdens de zomer).

Referentie: WHO (2016), 'Ambient Air Pollution' en ReCiPe 2016.

NO_x-emissies bij gasverbranding: ~0,03 kg NO_x/m³ gas (gemiddeld voor moderne HR-ketels, gebaseerd op TNO-gegevens).

Referentie: TNO (2019), 'Emissies van huishoudelijke verwarmingssystemen'.

De NO_x-besparing door isolatie is dus een gasbesparing van 375 m³/jaar × 0,03 kg/m³ = 11,25 kg NO_x/jaar. Daarmee worden er de volgende DALY's bespaard: 11,25 kg × 0,002 DALY/kg = 0,0225 DALY/jaar.

Gezondheidsbaten vermeden uitstoot fijnstof:

Fijnstofbesparing (PM2.5): 375 m³ × 0,001 kg/m³ = 0,375 kg PM2.5/jaar.

Referentie: TNO (2019), 'Emissies van huishoudelijke verwarmingssystemen', en Ecoinvent-database.

Volgens de literatuur draagt de uitstoot van een kg fijnstof (PM2.5) bij aan een verlies van 0,008 DALY

Referentie: WHO (2016), 'Ambient Air Pollution' en ReCiPe 2016.

Daarmee zijn de baten van minder fijnstofuitstoot per geïsoleerd huis per jaar 0,375 kg × 0,008 DALY/kg = 0,003 DALY/jaar.

Gezondheidsbaten vermeden uitstoot CO₂:

Gasbesparing: 375 m³ gas/jaar. Daarmee is de CO₂-besparing 375 m³ / jaar × 1,78 kg/m³ = 668 kg / jaar .

Referentie: Milieu Centraal, 'Milieu-impact van aardgas'.

DALY's bespaard CO₂: 0,668 ton / jaar × 0,00001 DALY/ton = 6,68 10⁻⁶ DALY/jaar.

Referenties: Crisislab (2023), 'Technische Rapportage Risicomengpaneel' en WHO (2016), 'Ambient Air Pollution'.

Totale gezondheidsbaten door vermeden uitstoot:

Per jaar wordt door isolatie van een modaal rijtjeshuis 0,0255 DALY's/jaar bespaard. Hierin is de vermeden NO_x-uitstoot dominant.

Daarmee wordt over de aangenomen gebruiksduur van het geïsoleerde huis van 50 jaar in totaal 1,28 DALY's bespaard, voornamelijk door verminderde NO_x-emissie en in mindere mate fijnstof (PM_{2.5}).

4 Het geheel overziend

In dit afsluitende en samenvattende hoofdstuk worden de uitkomsten van de mkba samengevat en bediscussieerd.

4.1 De aanleiding voor deze mkba

Er loopt een discussie tussen de EPS-branche en verscheidende vergunningverlenende overheden over de noodzaak, technische mogelijkheid en betaalbaarheid om in extra pentaan verwijderende technieken te investeren. Volgens rijksbeleid zouden de uitkomsten van een integrale maatschappelijke kosten- en batenanalyse (mkba) in die discussie leidend moeten zijn. Een mkba onderscheidt zich daarmee van een 'simpele' kosten-effectiviteitsberekening die het bevoegd gezag als een van de perspectieven bij vergunningverlening mag hanteren.

Crisislab is gevraagd door Stybenex, vereniging van EPS-fabrikanten en Stybenex Verpakkingen om zo'n integrale mkba op te stellen.

4.2 Uitgangspunten voor de mkba

Als altijd is het cruciaal om precies te zijn over de uitgangspunten voor de mkba. Deze mkba kijkt naar de voor- en nadelen van het isoleren van een modaal rijtjeshuis dat met grijs EPS wordt geïsoleerd op zo'n wijze dat het daarmee van een 'redelijk geïsoleerd' naar een 'goed geïsoleerd huis' gaat (volgens de definities van Milieu Centraal).

De gezondheidskosten vanwege emissies (waaronder pentaan) die volgens de internationale literatuur samenhangen met het produceren, transporteren, verwerken en uiteindelijk recyclen van het EPS worden afgezet tegen de gezondheidsbaten die volgen uit minder emissie vanwege het mindere energieverbruik van de goed geïsoleerde woning gedurende de (conservatief ingestoken) aanname van 50 jaar gebruik van de woning.

De gezondheidskosten worden uitgedrukt in verloren of gewonnen levensjaren (disability adjusted life years, DALY's) conform de door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) aanbevolen systematiek. Voor de berekeningen van emissie-effecten gebruiken we de methoden en de kentallen uit het risicomengpaneel van BOVEN, het Bestuurlijk Overleg voor een Veilige Energietransitie in Nederland. Deze methode die de inzichten uit de internationale literatuur bijeenbrengt (zie www.werkgroep-BOVEN.nl) is door het RIVM gereviewd.

4.3 Conclusie van de mkba

Rekenend aan de kosten en baten van de isolatie van een modaal rijtjeshuis dat met grijs EPS wordt geïsoleerd en daarmee van een 'redelijk geïsoleerd' naar een 'goed geïsoleerd huis' gaat (volgens de definities van Milieu Centraal) levert dat de volgende bevindingen:

Per jaar wordt door isolatie van een modaal rijtjeshuis 0,0255 DALY's/jaar bespaard. Daarmee wordt over de aangenomen gebruiksduur van het geïsoleerde huis van 50 jaar in totaal 1,28 DALY's bespaard, voornamelijk door verminderde NO_x-emissie en in mindere mate fijnstof (PM_{2.5}).

Wanneer we alle kosten in DALY's optellen voor de productie van de grijze EPS-isolatie voor een modaal rijtjeshuis van redelijk geïsoleerd naar goed geïsoleerd zien we dat deze gedomineerd wordt door de NO_x- en fijnstofuitstoot en komt deze uit op $4,32 \cdot 10^{-3}$ DALYS. Het verlies aan DALY's door vrijkomend pentaan is $5,46 \cdot 10^{-4}$ DALY's.

De conclusie is dat de netto DALY-winst (over 50 jaar) ongeveer 1,28 DALY's is.

De conclusie is dus eenduidig: de productie van EPS ten behoeve van isolatie van een gasgestookte modale rijtjeswoning heeft een ongeveer 300 keer groter positief effect dan een negatief effect.



Van het negatieve effect wordt 'slechts' ongeveer 1/8^e veroorzaakt door pentaan. Opgelegde investeringen om het negatieve effect van pentaan nog verder te beperken mogen dus op grond van de uitkomsten van deze mkba nooit ten koste gaan van de EPS-productie (d.w.z. het bedrijfsproces mag er niet door bedreigd worden).

4.4 Discussie en kanttekeningen

Als eerste moet worden opgemerkt dat het volksgezondheidseffect van het warmhouden van een woning hoog is volgens de gehanteerde systematiek, het komt neer op ongeveer 5 gezonde levensjaren verlies per vijftig jaar als gevolg van met name luchtverontreiniging. Dit is een rechtstreeks gevolg van de internationaal gebruikelijke modellen waar we in eerder onderzoek kanttekeningen bij hebben geplaatst. Meer exact als achtergrond-informatie: het is een gevolg van het gebruik van de zogenaamde linear non-threshold modelering (LNT) voor bepaling van de dosis-effectcurve. Voor de relatieve uitkomst van de mkba maakt het echter niet uit want een in onze ogen realistischer modelering heeft hetzelfde effect aan de kostenzijde als aan de batenzijde.

Het is hopelijk evident dat de alle uitkomsten als 'ordegrootte' moeten worden gelezen. We rapporteren hierboven in drie cijfers significantie voor de reproduceerbaarheid van de mkba maar dit moet niet worden gezien als daadwerkelijke nauwkeurigheid. De opbrengsten van de internationale literatuur en de noodzakelijke aannames gebruikt voor het opstellen van een mkba als deze geven altijd een 'ongeveer' antwoord. De overall conclusie is echter hard: de negatieve effecten van het vrijkomen van pentaan (en andere verbrandingsgassen) vallen ruimschoots (met ongeveer een factor 300) weg tegen de positieve effecten van isoleren.

4.5 Betekenis van de mkba voor kosteneffectiviteitsberekening

Zoals gesteld is een mkba een zwaarder instrument met meer betekenis dan alleen een kosteneffectiviteitsberekening zoals bedoeld in de Omgevingswet.

De mkba is echter (evident) wel bruikbaar om zicht te krijgen op de kosteneffectiviteit van maatregelen. Dit is in feite een deelberekening binnen de mkba: het vrijkomen van een kg pentaan leidt tot een (conservatief want LNT-) gemodelleerd verlies aan DALY's van ongeveer $4 \cdot 10^{-5}$ DALY (gedomineerd door de ozon-lijn) en dus volgens de in Nederland gebruikelijke investeringsnormering van €70.000 per DALY⁶ voor de preventie van menselijke gezondheidsschade tot een maximaal redelijke investering van ongeveer €2,80 per kg vermeden kilo pentaan uitstoot.

De algemene grenswaarde voor kosteneffectiviteit van €8-€15 per kg vermeden uitstoot voor investeringen ter beperking van VOS-uitstoot volgens de Omgevingsregeling voor pentaan is daarmee onredelijk hoog vanuit het perspectief van preventie van menselijke gezondheidsschade (en niet onderbouwd door verwijzingen in bijvoorbeeld de Nota van Toelichting).

⁶ Zie bijvoorbeeld CE Delft (2023), *Handboek Milieuprijzen*,

Literatuur

CBS (2023), *Woningvoorraad in Nederland* via <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/82900NED>.

CE Delft (2023), *Handboek Milieuprijzen*.

Crisislab (2023), *Technische Rapportage Risicomengpaneel*, via <https://crisislab.nl/wordpress/wp-content/uploads/Technische-Rapportage-Risicomengpaneel.pdf>.

Ecoinvent Database via <https://ecoinvent.org/database/>.

Huijbregts et al., (2017), *ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*, The International Journal of Life Cycle Assessment, volume 22, pages 138–147.

IPCC (2014), 'Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', via <https://www.ipcc.ch/report/ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-2/>.

Milieu Centraal, *Milieu-impact van aardgas*, via <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/verwarmen-met-gas/>.

Milieu Centraal, *Isoleren en besparen* via <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/isoleren-en-besparen/>.

PlasticsEurope, *Eco-profiles for EPS* via <https://plasticseurope.org/sustainability/life-cycle-thinking/eco-profiles/>.

SGS INTRON (2025), Update branche-LCA van EPS van Stybenex naar bepalingmethode 1.2.

TNO (2018), *Emissies van industriële processen*.

TNO (2019), *Emissies van huishoudelijke verwarmingssystemen*.

WHO (2016), *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*, via <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511353>.