

# Integraal ontwerp van industriële hallen

Industriële hallen bestaan vaak uit een enkele bouwlaag met rechthoekige gebouwworm en eenvoudige constructie. Door de relatief coulante eisen aan het binnenklimaat verschilt de ontwerpaanpak nogal van die van de gebruikelijke werkwijze bij kantoorgebouwen. De eenvoud in geometrie en mogelijke constructies stelt ontwerpers in staat om energieprestaties te beoordelen door het gestructureerd analyseren van slechts een beperkt aantal parameters. Dit artikel bespreekt de voordelen van deze aanpak aan de hand van ontwerptrends voor een opslagloods in Amsterdam.

Dr. B. (Bruno) Lee, prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen; Technische Universiteit Eindhoven

De industriële sector is een van 's werelds grootste energiegebruikers. In Europa was deze sector verantwoordelijk voor 11% van de totale energievraag in 2011 [1]. De energie is nodig voor fabrieksmatige processen en ruimteconditionering van gebouwen. Industriële hallen hebben vaak een groot volume, en staan meestal los van omringende gebouwen. Ze bieden onderdak aan verschillende sectoren, waaronder opslag en logistiek. Een inventarisatie van 15 fabriekshallen in de V.S. laat zien dat ongeveer 15% van de totale energie wordt gebruikt in niet-industriële processen, waarvan meer dan 80% nodig is voor verlichting, verwarming, koeling en ventilatie van de binnenruimte [2]. Verlichtingsenergie kan een grote post bedragen in ruimten met een lage proceslast. Bij hogere proceslast kan de energievraag voor koeling ook substantieel zijn, hoewel de comforteisen begrijpelijkerwijs niet zo streng zijn als voor, bijvoorbeeld, kantoorgebouwen. Door het grote totale vloeroppervlak van industriële hallen heeft een besparing op de energievraag voor verlichting en ruimteverwarming/koeling een grote

impact, omdat zelfs een bescheiden percentage besparing al vertaald kan worden naar een relatief grote economische opbrengst voor de bedrijfseigenaar. Voor wat betreft energiebesparing op gebouwniveau is op dit gebied nog relatief weinig onderzocht. Er is behoefte aan een methode voor het integraal en objectief beoordelen van verschillende gebouwaspecten om zo betere ontwerpbeslissingen voor fabriekshallen te kunnen maken. Dit artikel gaat uit van een integrale aanpak waarbij de gezamenlijke impact van verschillende bouwparameters wordt onderzocht. Computersimulatie wordt gebruikt om energieprestaties te voorspellen, met als doel betere beredeneerde ontwerpbeslissingen te kunnen nemen. De ontwerpopties worden onderbouwd door het analyseren van trends uit een grote dataset van simulatieresultaten.

### ■ DE CASE STUDY

Het onderzoek richt zich op een fictieve representatieve opslagloods (proceslast 5 W/m<sup>2</sup>), met afmetingen 100 m (L) x 40 m (B) x 6 m (H). Zowel met beton- als staalconstructies

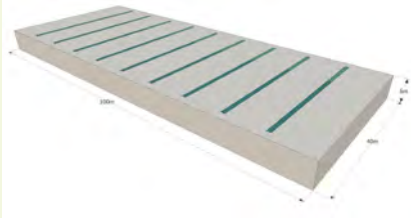
kan voor nieuwe hallen luchtdicht gebouwd worden. Infiltratie vindt daarom met name plaats door openstaande deuren, iets wat per geval sterk kan verschillen. Er wordt hier uitgegaan van een constante infiltratiewaarde van 0.2 ACH [3]. In het gebouwsimulatiemodel wordt thermische isolatie beschreven door middel van warmteweerstand (in m<sup>2</sup>K/W). Staalplaten worden gemodelleerd zonder warmteweerstand en dikte. Beton wordt gevarieerd per dikte (in m) met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 2,1 W/m-K, een soortelijke warmte van 1 kJ/kg-K, en een dichtheid van 2.400 kg/m<sup>3</sup>.

Zoals figuur 1 toont, bestaat de mogelijkheid om daglicht in te brengen via dakramen. In dit onderzoek gebruiken we de richtlijnen van CIBSE [4]. Verder gaan we uit van TL-verlichting met een geïnstalleerd vermogen van 9 W/m<sup>2</sup> met dimbare eigenschappen volgens Rubinstein et al. [5].

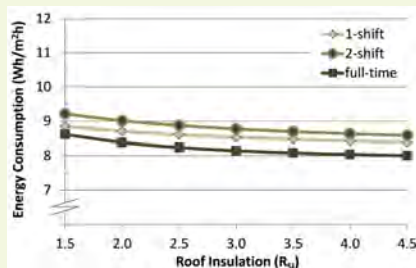
De ontwerpvariabelen in dit onderzoek zijn geselecteerd op basis van een gevoeligheidsanalyse. Alleen de eigenschappen met een relatief grote invloed op energieprestatie

Parameters	Range	Niveaus
Isolatie (warmteweerstand, dak)	1.5 – 4.5 m <sup>2</sup> K/W	7
Isolatie (warmteweerstand, gevel)	1.5 – 4.5 m <sup>2</sup> K/W	7
Constructietype (dak)	Staal of Beton	2
Constructietype (gevel)	Staal of Beton	2
Dakraam (in % dakoppervlak)	0 – 15 %	4
Zonneluchtcollectoren* (in % van zuidgevel)	0 – 100 %	6

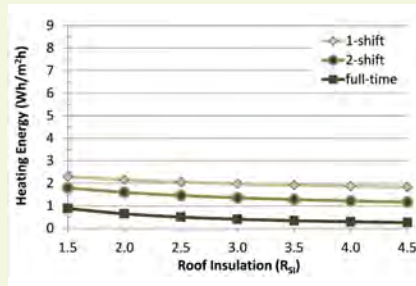
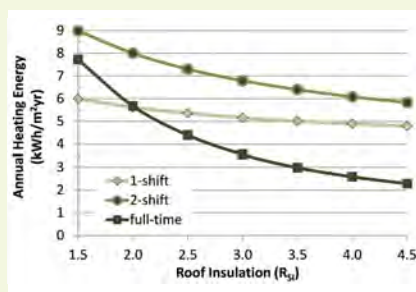
-Tabel 1- Overzicht van ontwerpparameters; \*transpired solar collectors



-Figuur 1- Grafische weergave van een typische industriële hal met dakramen



-Figuur 2- Verband tussen dakisolatie en energievraag voor drie gebruiksprofielen



-Figuur 3- Jaarlijkse verwarmingsvraag (a) en gemiddelde uurlijkse verwarmingsvraag (b) voor verschillende waarden voor dakisolatie

worden meegenomen (tabel 1). Door alle mogelijke eigenschappen te combineren zijn in totaal meer dan 4.000 ontwerpconfiguraties mogelijk.

In de ontwerpfase bestaat er altijd onzekerheid over het gebruiksprofiel van de opslagloods. Uitgaande van acht-uur durende shifts zijn drie gebruiksprofielen opgesteld:

- 1 shift: maandag - zaterdag, 08:00 - 18:00, inclusief pauzes, totaal 2.610 uur per jaar;
- 2 shifts: maandag - zaterdag, 06:00 - 22:00, totaal 5.008 uur per jaar;
- fulltime: totaal 8.760 uur per jaar.

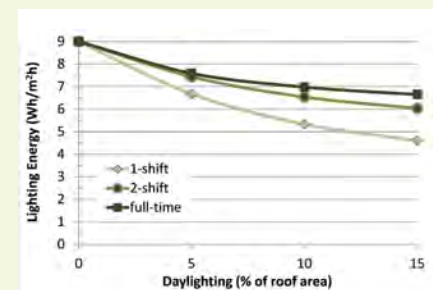
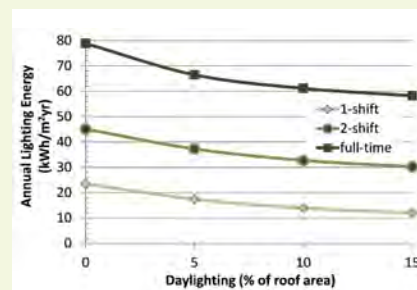
## RESULTATEN EN DISCUSSIE

Er zijn in totaal 4.704 mogelijke gebouwconfiguraties per gebruiksprofiel. De energieprestatie van al deze combinaties is doorgerekend. Het totale jaarlijks energiegebruik wordt gewoonlijk uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup>. Echter, door de grote variatie in gebruiksduur kunnen er grote verschillen optreden per gebruikstype. Het jaarlijkse energiegebruik wordt daarom gecorrigeerd voor de gebruiksduur (bijvoorbeeld 5.008 uur voor twee shifts), en uitgedrukt in Wh/m<sup>2</sup>-h. Deze gemiddelde waarde geeft nuttige informatie voor de ontwerpers omdat energie wordt uitgedrukt in een uurlijkse eenheid die makkelijk te vergelijken is met andere operationele kosten.

De trend voor energievraag als een functie van dakisolatie is weergegeven in figuur 2. Wat direct opvalt, is dat de uurlijkse energiebehoefte het grootst is voor 2-shift gebruik van de loods. Echter, voor beter inzicht is het ook nodig om

de individuele bijdragen voor verwarming, koeling en verlichting apart te analyseren. Figuur 3 vergelijkt de jaarlijkse verwarmingsvraag en gemiddelde uurlijkse verwarmingsvraag voor verschillende opties van dakisolatie. Over het algemeen is de behoefte aan verwarming relatief laag voor het 1-shift gebruik, dat plaatsvindt gedurende de warmste uren van de dag. Dit effect is terug te zien in de jaarlijkse energievraag voor verwarming. Bij fulltime gebruik vinden veel werkuren 's nachts plaats. Warmteverlies naar buiten is dan het grootst, maar het continue gebruik zorgt tegelijkertijd voor proces-gerelateerde warmteafgifte. Met weinig isolatie is de verwarmingsvraag tijdens fulltime gebruik hoger dan voor 1-shift gebruik. Dit komt met name door de langere openingstijden (8.760 vs 2.160 uur). Echter, de energievraag voor verwarming daalt erg snel bij toenemende isolatie (zelfs onder de waarde voor 1-shift gebruik) doordat de non-stop proceswarmte beter binnen gehouden kan worden.

Een vergelijkbare trend is waarneembaar voor 2-shift gebruik, waar de warmtevraag ook sterk afhankelijk is van de isolatiewaarde. Echter, doordat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten 's nachts groter is dan bij voltijsbedrijf is het effect niet zo uitgesproken. Na de correctie voor gebruikstijd valt op dat 1-shift gebruik de hoogste warmtevraag heeft, en fulltime gebruik de laagste. Verlichtingsenergie volgt een ander patroon. In tegenstelling tot verwarming, waarbij geproduceerde warmte vertraagd wordt opgeslagen/afgegeven, is de bijdrage van daglicht instantaan. Daglicht draagt bij aan een significante energiebesparing voor verlichting, waarbij een daglichtopening van slechts 5% al een behoorlijk effect heeft. Gedurende de dag zorgen extra dakramen vaak voor een niet zo relevante verlichtingssterkte boven de grenswaarde van 500 lux [6], maar zijn ze zeker nuttig rond zonsopgang en zonsondergang. De keuze voor het gebruiksprofiel heeft een directe invloed op het aantal bruikbare daglichturen. Figuur 4 laat zien dat bij een



-Figuur 4- Jaarlijkse energievraag voor verlichting (a) en gemiddelde uurlijkse verlichtingsvraag (b) voor verschillende waarden voor dakraamoppervlak

groter oppervlak aan dakramen meer energie bespaard kan worden bij fulltime gebruik dan bij 2-shift of 1-shift bedrijf. Dit komt door het grotere aantal nuttige daglichturen.

Na correctie voor bedrijfstijd is te zien dat het langere gebruik van daglicht niet opweegt tegen de verlichting die benodigd is om ook 's nachts te kunnen werken. Bij 1-shift gebruik is de gemiddelde uurlijkse verlichtingsvraag het laagst.

De energievraag voor koeling en ventilatie zijn verwaarloosbaar in deze case study. Wanneer de bijdragen voor verwarming en verlichting worden opgeteld kan dus de energievraag uit figuur 3 worden gereconstrueerd. Wat opvalt, is dat fulltime bedrijf de laagste energievraag voor verwarming en de hoogste vraag voor verlichting heeft, terwijl bij 1-shift bedrijf het omgekeerde het geval is. Door dit effect is de gemiddelde uurlijkse energievraag het hoogst voor een 2-shift schema, ongeacht welke waarde voor dakisolatie wordt gekozen.

#### CONCLUSIE

De totale impact van verschillende ontwerpparameters kan enkel in kaart worden gebracht door een integrale analyse van de verschillende opties. De resultaten uit dit artikel geven blijk

van de voordelen van zulk soort aanpak. Door de generieke eigenschappen van industriële hallen en het gebrek aan invloed van omringende gebouwen kunnen de resultaten die worden verkregen voor een voorbeeld eenvoudig vertaald worden naar andere gevallen met min of meer gelijke constructies en bedrijfswijze. Zie Lee [7] voor uitgebreidere analyses en een verkenning van andere ontwerpopties en klimaten.

#### DANKBETUIGING

Dit artikel beschrijft enkele resultaten van een promotieonderzoek [8]. Het is uitgevoerd onder projectnr. M81.1.08318 in het kader van het onderzoeksprogramma van het Materials innovation institute M2i ([www.m2i.nl](http://www.m2i.nl)).

#### LITERATUUR

1. Eurostat, 2013. Final energy consumption, by sector. Eurostat, European Union <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdpc320>, accessed Oct 21, 2013
2. ORNL, 2012. U.S. Manufacturing Energy Use and GHG Emissions Analysis. Oak Ridge National Laboratory

3. ISSO, 2002. Handboek Installatietechniek. Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties
4. CIBSE, 1999. Lighting Guide 10: Daylighting and Window Design. The Society of Light and Lighting, Chartered Institution of Building Services Engineers
5. Rubinstein F., Xiaolei L., Watson D.S., 2010. Using Dimmable Lighting for Regulation. Capacity and Non-Spinning Reserves in the Ancillary Services Market. A Feasibility Study. PIER Buildings End-Use Energy Efficiency Program
6. CEN, 2002. EN 12464-1, Light and Lighting—Lighting of Work Places—Part 1: Indoor Work Places. Comité Européen de Normalisation
7. Lee, B., Trcka, M. and J.L.M. Hensen 2014. "Building energy simulation and optimization: A case study of industrial halls with varying process loads and occupancy patterns", Building Simulation, June 2014, Volume 7, Issue 3, pp 229-236.
8. Lee, B. 2014. Building energy simulation based assessment of industrial halls for design support. Proefschrift: Technische Universiteit Eindhoven

# GEZOCHT:

ALGEMEEN DIRECTEUR, ACADEMICUS  
WERKTUIGBOUW OF BIOSYSTEMS ENGINEERING,  
ALLROUNDER, EXPORT-ERVARING, TALEN, 40+,  
INNOVATOR, ONDERNEMER, TOEKOMSTIG  
MEDE-EIGENAAR...

## Voor:

Prachtbedrijf, kassenbouw, klimaatbeheersing, Randstad, sterke internationale focus, Europa, Amerika, Azië, Midden-Oosten, flinke omzet, groeiperspectief.

**Info:** [tdsearch.nl/vacatures](http://tdsearch.nl/vacatures) 088 0222150

Ten Doeschate   
executive search  
bestuursadvies Search