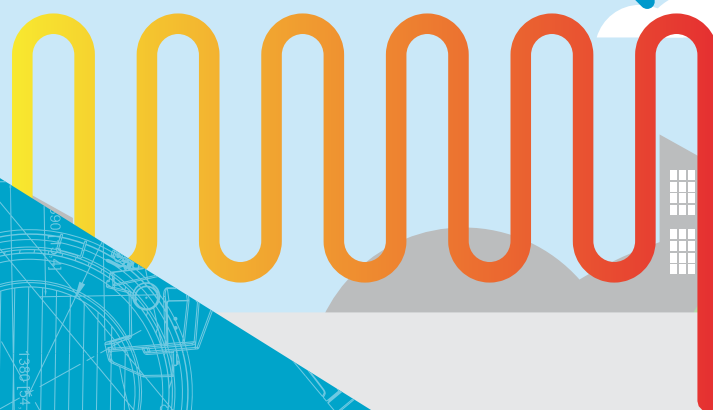


+ MEER DAN EEN COMPRESSOR

*Atlas Copco*



Hoe restwarmte van  
luchtcompressoren kan  
worden gebruikt om energie  
te besparen en de CO2-  
voetafdruk te verkleinen

WHITE PAPER

# In deze white paper worden de mogelijkheden voor het gebruik van restwarmte uit luchtcompressoren aangegeven, de bestaande terugwinningsmethoden bekeken en het onaangesproken potentieel voor CO2-verlaging en energiebesparingen voor compressorgebruikers beschreven.

Om de financiële voordelen te illustreren die investeringen in warmteterugwinningstechnologie kunnen opleveren, geven we ook voorbeelden van casestudy's in praktische toepassingen.

## 1.

### Terugwinning van restwarmte uit compressoren – het onaangesproken potentieel

De essentiële rol van perslucht als vierde nutsvoorziening voor de industrie is goed bekend, net als de statistieken waaruit blijkt dat perslucht doorgaans zo'n 12% – in sommige gevallen zelfs 40% – van de totale energiekosten van productieprocessen voor zijn rekening neemt.

Even belangrijk, maar niet algemeen erkend, is het feit dat maar liefst 94% van de stroomvoorziening van een compressor wordt omgezet in warmte die wordt weggeleid van het compressieproces. Zonder enige vorm van terugwinning gaat het hier om restwarmte die verloren gaat via straling in de atmosfeer of via koelsystemen van compressoren.

Maar dat hoeft niet zo te zijn. In werkelijkheid kan al deze warmte worden ingezet om energiegebruik en -kosten aanzienlijk te verlagen en tegelijkertijd de CO2-uitstoot te beperken, zodat bedrijven hun doelstellingen voor CO2-verlaging gemakkelijker kunnen verwezenlijken. Bovendien is de technologie direct beschikbaar – tot wel 90% van alle industriële compressoren kunnen worden uitgerust met systemen voor het terugwinnen van restwarmte.

Capaciteit (cfm)	Nominaal motorvermogen (kW)	Jaarlijkse beschikbare warmte (bedrijf: 2000 uur/jaar) (kWh)
90	15	24.000
125	22	35.200
350	55	88.000
700	110	176.000
1.000	160	256.000
1250	200	320.000
1.550	250	400.000

Afb. 1. Tabel van beschikbare compressorwarmte, uitgedrukt in kWh, gerelateerd aan compressorcapaciteit en motorvermogen

## 2.

### Hoe warmte kan worden teruggewonnen uit compressoren

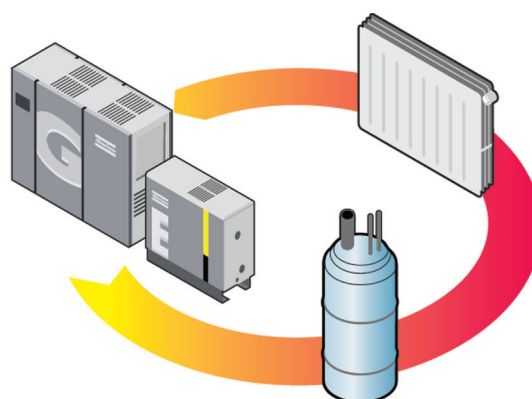
Het comprimeren van lucht genereert warmte. Dit is een natuurlijk gevolg van het samenpersen van meer luchtmoleculen in dezelfde ruimte. Het probleem is dat we perslucht moeten koelen voordat we deze kunnen gebruiken. In veel systemen wordt de perslucht tussen compressietrappen en ook aan het einde van het proces gekoeld. Tussenkoelers verwijderen warmte tussen de eerste en tweede trap en nakoelers verwijderen warmte na de tweede trap.

#### Totale energie die door een compressorunit wordt overgebracht:

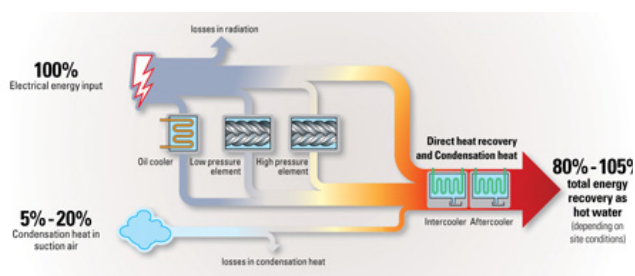
- Warmte van het element **9%**
- Warmte van de oliekoeler **72%**
- Warmte afgevoerd in de omgevingslucht **2%**
- Warmte van de nakoeler **13%**
- Resterende warmte in de perslucht **4%**

#### Totale terug te winnen energie

# 94%



## Energie-overbrenging



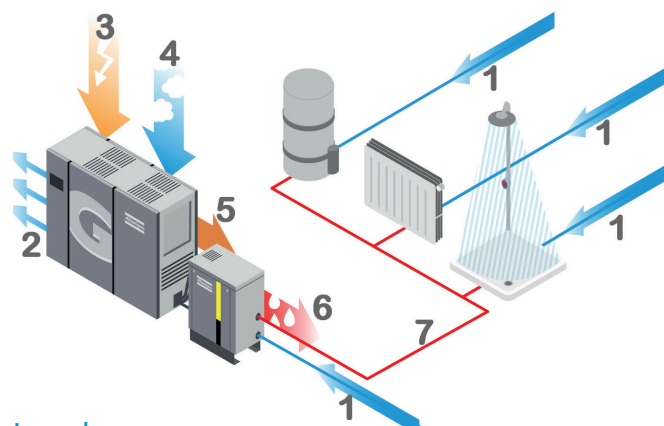
Afb. 2. Totale energie die door een compressorunit wordt overgebracht

Koelers gebruiken lucht, water of olie om warmte uit perslucht te verwijderen. Ze werken op basis van een systeem met warmteuitwisseling. De lucht brengt warmte over op het koelmedium in een koeler die ontworpen en afgestemd is op de stroomsnelheid van de compressor en de vereiste energieoverdracht.

In luchtcompressoren worden verschillende soorten koelssystemen gebruikt. De voordelen van elke methode zijn afhankelijk van het type compressor en de toepassing van de teruggewonnen warmte. Bij watergekoelde compressoren kan de warmteterugwinning bijvoorbeeld worden toegepast als een systeem met geringe temperatuurstijging/hoge waterstroming of het tegenovergestelde, als een systeem met grote temperatuurstijging/lage waterstroming.

Warmteterugwinning uit persluchtinstallaties levert mogelijk niet altijd warmte op wanneer die nodig is of in voldoende mate. De hoeveelheid teruggewonnen energie varieert in de tijd als de compressor werkt met een variabele belasting. Voor een haalbare terugwinningsoplossing is een overeenkomstige relatief stabiele vraag naar warmte-energie nodig. Over het algemeen wordt teruggewonnen energie uit restwarmte het beste gebruikt als aanvulling op de energievoorziening van het systeem. Op die manier wordt de beschikbare energie altijd benut wanneer de compressor in bedrijf is.

## Zelfstandige warmteterugwinningseenheden



### Legenda:

- 1) Koud water
- 2) Perslucht
- 3) Elektrisch vermogen
- 4) Lucht
- 5) Oliecircuit
- 6) Warmteterugwinning
- 7) Warm water

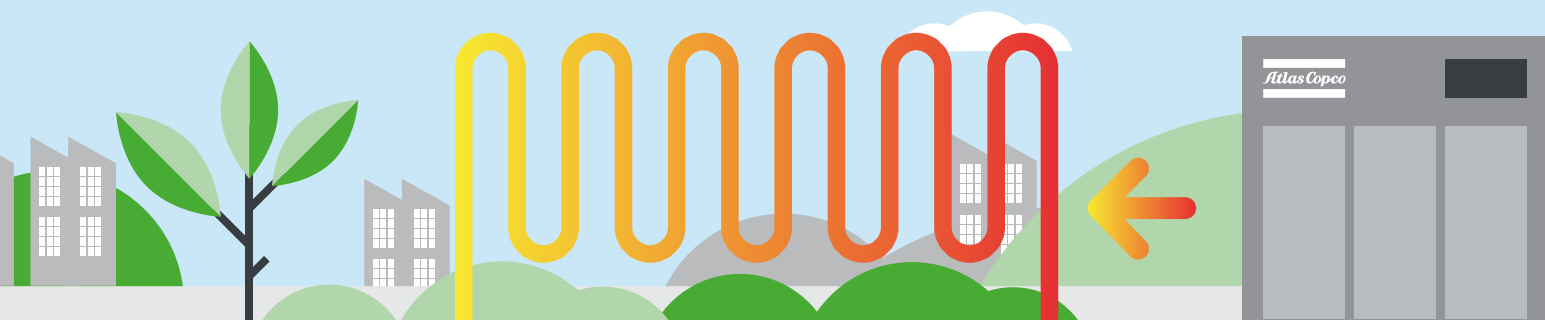
Afb. 3. Warmteterugwinningssysteem van oliegeïnjecteerde schroefcompressor met zelfstandige warmteterugwinningseenheid

De regelunit voor warmteterugwinning wordt tussen de compressor en koel- en verwarmingssystemen geïnstalleerd. Warm water tot 90 °C kan uit het persluchtsysteem worden teruggewonnen. Deze warmte, die via een warmtewisselaar wordt overgebracht naar een koudwatercircuit, kan worden gebruikt voor sanitaire doeleinden en verwarming, maar is vooral geschikt voor procesverwarmingstoepassingen.

## Niveaus van warmteterugwinning

**Luchtgekoelde systemen** zijn conventioneel in kleine en middelgrote compressorsystemen. Ze koelen perslucht met behulp van een luchtstroom met een lagere druk. Deze verwarmde lucht kan vervolgens worden gebruikt om gebouwen te verwarmen. Energiebesparingen zijn mogelijk omdat er minder verwarming via externe bronnen moet worden gekocht. Het voorbehoud bij dit voordeel is dat besparingen alleen in de koudere maanden van het jaar volledig gerealiseerd kunnen worden.

**Oliegekoelde systemen** gebruiken een oliestroom om warmte uit de perslucht te verwijderen. In een gesloten systeem kan de olie terug naar het productieproces worden geleid. Warmte wordt via een warmtewisselaar in het productieproces overgebracht, waardoor de behoefte aan elektrische of gasverwarming afneemt.



**Watergekoelde systemen** kunnen open of gesloten zijn, met circulerend of niet-circulerend water. Een gesloten systeem met circulerend water biedt de meeste voordelen. Water circuleert tussen de koeler van de luchtcompressor en een proceswarmtewisselaar. Dit resulteert in een overdracht van overtollige warmte van de compressor naar het productieproces, waardoor minder verwarming nodig is. In een gesloten systeem wordt de waterkwaliteit strikt gecontroleerd met behulp van additieven, om de opbouw van minerale afzettingen te voorkomen. Als zodanig is het systeem efficiënt en schoon en kan het gedurende langere tijd zonder tussenkomst operationeel blijven.

In ieder geval vermindert het terugwinnen van warmte uit perslucht de behoeften voor aankoop van energie. Deze vermindering leidt tot een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot en lagere bedrijfskosten. Omdat energie duur is, kunnen deze besparingen een belangrijke rol spelen bedrijven te helpen hun doelstellingen voor CO<sub>2</sub>-verlaging te verwezenlijken en hun winstgevendheid te verbeteren.

## Energie terugwinnen in een luchtgekoeld systeem

Luchtgekoelde, omkaste schroefcompressoren zijn zeer geschikt voor warmteterugwinning voor ruimteverwarming of ander gebruik van hete lucht, zoals industriële droging, voorverwarming van aangezogen lucht voor oliebranders of andere toepassingen waarvoor warme lucht nodig is. Omgevingslucht wordt verwarmd door deze door de nakoeler en de olienkoeler van het systeem te leiden, op die manier wordt warmte onttrokken aan zowel de perslucht als het smeermiddel dat de compressor smeert en koelt. In de regel is ongeveer 15 kW/h energie beschikbaar per 100 cfm (bij vollast).

Veel omkaste compressoren zijn veelal in afgesloten ruimten ondergebracht en beschikken al over warmtewisselaars en ventilatoren. De enige aanpassingen die nodig zijn voor het warmteterugwinningssysteem, zijn het aanbrengen van leidingen en mogelijk een extra ventilator om de belasting op de leidingen aan te kunnen en tegendruk op de koelventilator van de compressor te elimineren.

Deze warmteterugwinningssystemen kunnen worden gemoduleerd met een eenvoudige, scharnierende ventilatieopening met thermostaatregeling. Als er geen verwarming nodig is, bijvoorbeeld tijdens de zomermaanden, kan de hete lucht naar buiten worden geleid. De ventilatieopening kan ook thermostatisch worden geregeld voor een constante temperatuur in de verwarmde ruimte.

Een beperkende factor is de afstand tussen de compressoren en het gebouw dat verwarmd moet worden. Afhankelijk van de nabijheid van de compressorunit tot het gebouw of de ruimte waar de verwarming nodig is, kunnen potentiële warmteverliezen tijdens de overdracht evenwel worden beperkt door het isoleren van de leidingen of, waar mogelijk, door het verplaatsen van de compressorinstallatie. Bovendien kan de mogelijkheid tot warmteterugwinning beperkt zijn tot de koudere perioden van het jaar. Terugwinning van energie via lucht komt vaker voor bij kleine en middelgrote compressoren.

Enige voorzichtigheid is vereist als de toegevoerde lucht voor de compressor niet van buitenaf komt en de teruggewonnen warmte in een andere ruimte wordt gebruikt. Deze situatie kan leiden tot een daling van de statische druk in de afgesloten ruimte en de efficiëntie van de compressor verminderen. Als buitenlucht wordt gaangezogen, kan enige retourlucht nodig zijn om schade aan de compressor door vrieslucht te voorkomen.

Water verwarmen. Met behulp van een warmtewisselaar is het ook mogelijk om restwarmte af te voeren uit de olienkoelers van de omkaste watergekoelde zuiger- of schroefcompressoren voor de productie van warm water. Afhankelijk van het ontwerp kunnen warmtewisselaars zowel niet-drinkbaar als drinkbaar water verwarmen. Als er geen warm water nodig is, wordt het smeermiddel vervolgens naar de standaard olienkoeler geleid.

## Energie terugwinnen in een watergekoeld systeem

Het koelwater van een watergekoelde compressor met een temperatuur van maximaal 90 °C kan een warmwaterverwarmingssysteem aanvullen. Als het warme water in plaats daarvan voor wassen, schoonmaken of douchen wordt gebruikt, is nog steeds een warmwaterboiler met een normale basisbelasting vereist. De uit het persluchtsysteem teruggewonnen energie vormt een extra warmtebron die de belasting op de boiler vermindert, verwarmingsbrandstof bespaart en mogelijk kan leiden tot het gebruik van een kleinere boiler.

Warmteterugwinning voor ruimteverwarming komt niet zo vaak voor bij watergekoelde compressoren omdat een extra fase van warmteuitwisseling vereist is en de temperatuur van de beschikbare warmte lager is. Omdat veel watergekoelde compressoren echter een grote capaciteit hebben, kan warmteterugwinning voor ruimteverwarming toch een aantrekkelijke kans bieden. Het terugwinningsrendement bedraagt doorgaans 50 tot 60%.

Standaard olievrije, watergekoelde compressoren kunnen eenvoudig worden aangepast voor warmteterugwinning. Zoals eerder gezegd kunnen tot 90% van alle industriële compressoren worden uitgerust met systemen voor het terugwinnen van restwarmte. Deze systemen zijn de ideale oplossing voor integratie in een warmwaterverwarmingssysteem, omdat ze de watertemperatuur (90 °C) leveren die nodig is voor een efficiënte warmteterugwinning.

De hoge aanvankelijke watertemperatuur betekent dat restenergie kan worden gebruikt om de temperatuur van het retourwater van een warmwaterboiler te verhogen. Hierbij kan de gebruikelijke warmtebron periodiek worden uitgeschakeld en worden vervangen door het restwarmteterugwinningssysteem van de compressor.

Restwarmte van compressoren in de procesindustrie kan ook worden gebruikt om de temperatuur van het proces te verhogen. Warmte uit water kan worden verdeeld naar afgelegen gebouwen met behulp van leidingen met relatief kleine diameter (40-80 mm) zonder aanzienlijke warmteverliezen.

Bij oliegesmeerde compressoren daarentegen is de olie, die wordt gebruikt tijdens het compressieproces, een factor die de mogelijkheden voor hoge koelwatertemperaturen beperkt. Ook bij centrifugaalcompressoren zijn de temperatuurniveaus over het algemeen lager vanwege de lagere drukverhouding per compressietrap, waardoor de mate van terugwinning beperkt is.

Het terugwinnen van restenergie uit water biedt de beste resultaten met compressoren met een elektrisch motorvermogen van meer dan 10 kW en vereist een complexere installatie dan voor het terugwinnen van restenergie bij luchtcooling. Conventioneel bestaat de essentiële apparatuur uit vloeistofpompen, warmtewisselaars en regelventielen. Met de komst van de zelfstandige, volledig geassembleerde retrofit-unit voor warmteterugwinning, ontworpen met een compacte verticale configuratie om de vloer ruimte zo klein mogelijk te houden, hebben industrieën meer mogelijkheden de kosten van traditionele energiebronnen te verlagen en de impact van hun CO<sub>2</sub>-uitstoot te minimaliseren.

### 3.

#### Hoeveel energie kan worden bespaard

Bij het berekenen van de energiebesparingen en de terugverdiendtijd voor warmteterugwinningssystemen is het van cruciaal belang om warmteterugwinning te vergelijken met de huidige energiebron voor het genereren van thermische energie, die een goedkope fossiele brandstof kan zijn, zoals aardgas. De vergelijkingen in het tekstvak in afb. 4 illustreren de jaarlijkse energie- en kostenbesparingsmogelijkheden door warmte uit een luchtgekoelde schroefcompressor terug te winnen t.b.v. ruimteverwarming. In de gevallen waar de bestaande verwarming minder dan 85% efficiënt is, zijn proportioneel hogere besparingen mogelijk.

#### Het terugwinningspotentieel berekenen

De natuurkundige wetten bepalen dat bijna alle energie die aan een compressorinstallatie wordt geleverd, in warmte wordt omgezet. Hoe meer energie kan worden teruggewonnen en gebruikt in andere processen, hoe hoger de algehele efficiëntie van het systeem.

##### Teruggewonnen energie in kWh/jaar:

$$W = [(K1 \times Q1 + (K2 \times Q2)] \times TR$$

$$\text{Besparingen per jaar: } W \times ep / \eta$$

TR = Aantal uren vraag naar teruggewonnen energie (uren/jaar)

K1 = Deel van TR met belaste compressor (uren/jaar)

K2 = Deel van TR met niet-belaste compressor (uren/jaar)

Q1 = Beschikbaar koelvermogen bij belaste compressor (kW)

Q2 = Beschikbaar koelvermogen bij niet-belaste compressor (kW)

Ep = Energieprijsniveau (€/kWh)

η = Efficiëntie normale warmtebron (%)

Afb. 4. Vergelijking voor de berekening van de teruggewonnen energie



# 4.

## Toepassingen van teruggewonnen warmte

Teruggewonnen warm water uit de werking van de compressor wordt gebruikt in veel industriële toepassingen:

### Levensmiddelenindustrie

Zuivelprocessen: pasteurisatie, blancheren, reiniging en steriel maken van kookgerei, drogen van producten

### Chemische industrie

Thermische stoomkrakers, reboilers en stripping, heat tracing, vochtigheidsregeling

### Farmaceutische industrie

Gistingstemperatuurregeling, droog- en sterilisatieprocessen, CIP-reinigingsmethode (Clean in Place), SIP (Sterilization in Place), direct contact-sterilisatie in bioreactoren en vergisters, dampbarrières tegen bacteriën

### Textielindustrie

Kleuren van stoffen, behandeling van garen en vezels

### Pulp en papier

Bleken, kookketels, pulpmachines en black liquor-verdampers.

### Elektronica

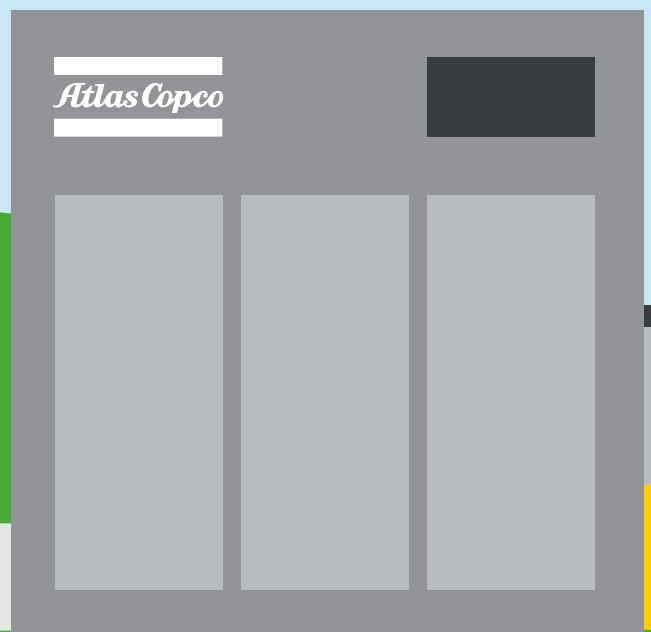
Vochtigheidsregeling bij montage van elektronische onderdelen en productie van chips

### Bewegingstoepassingen

Stoomturbines

In veel gevallen kan de mate van warmteterugwinning meer dan 90% zijn als de energie die wordt teruggewonnen door afkoeling van de compressorinstallatie efficiënt kan worden gebruikt. De functie van het koelsysteem, de afstand tot het verbruikspunt en de mate en continuïteit van de warmtebehoefte zijn allemaal doorslaggevende factoren.

Bij grote thermische stromen is zelfs de verkoop van teruggewonnen warmte-energie een mogelijkheid die niet mag worden genegeerd. De elektriciteitsleverancier zou een potentiële klant kunnen zijn, met wie kan worden onderhandeld over investeringen in, onderaannemingscontracten voor en levering van teruggewonnen energie. Een andere mogelijkheid voor besparingen is het coördineren van warmteterugwinning uit verschillende processen.



# Casestudy's van warmteterugwinning uit perslucht

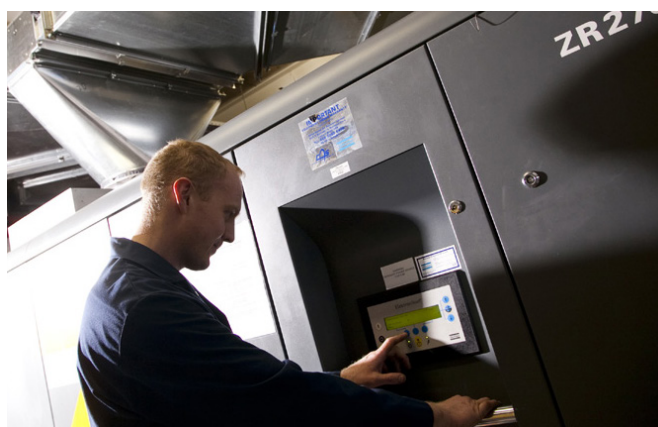
## Automobieltextielfabrikant in Midlands

Door het gebruik van een oliekoelvloeistof in hun ER-S5 warmteterugwinningsunit kon een in de Midlands (VK) gevestigde automobieltextielfabrikant warmte terugwinnen van de luchtcompressor. Hete olie uit de luchtkoeler zorgde voor de overdracht van energie in het terugwinningsproces via een warmtewisselaar met stalen platen. Dit leverde een continue voorziening van warm proceswater op, zonder de aankoop van extra energie. Met deze terugwinningmethode kon het bedrijf zijn CO2-uitstoot met 260.000 ton per jaar verlagen.



## Verpakkingsfabriek in Noord-Ierland

Een verpakkingsfabriek in Noord-Ierland vond een andere manier om teruggewonnen energie te benutten. Greiner Packaging gebruikt zijn overvloedige warmte al bijdrage aan het centrale verwarmingssysteem van een lokale middelbare school. Dungannon Integrated College telt 600 leerlingen en spendeert jaarlijks £ 40.000 aan verwarming. Hier installeerde Atlas Copco olievrije schroefcompressoren uit de Z-serie met waterkoelers voor warmteterugwinning. Tot 80% van de stroomvoorziening wordt teruggewonnen in de vorm van warm water. De school heeft ook zijn CO2-voetafdruk met 200 ton verkleind door de aankoop van energie te verminderen.



Deze casestudy's laten zowel de ecologische als financiële mogelijkheden zien om te investeren in warmteterugwinning uit perslucht. De meeste industriële bedrijven moeten de voordelen van de technologie nog omarmen en realiseren. Geschat wordt dat 90% van alle industriële luchtcompressoren die worden gebruikt, kunnen worden uitgerust met warmteterugwinningssystemen. En, zoals hierboven vermeld, kan 70-94% van de energievoorziening van een luchtcompressor worden teruggewonnen.

**Om het enorme onaangesproken potentieel van warmteterugwinning uit perslucht te illustreren, is berekend dat deze technologie 1,99% van het totale industriële elektriciteitsverbruik in een land als het Verenigd Koninkrijk kan besparen. Voor wie dit cijfer niet overtuigend genoeg vindt: dit komt overeen met het elimineren van de uitstoot van 913.000 diesel-/benzineauto's per jaar of het terugwinnen van de energie die nodig is om 1,544 miljoen huishoudens een jaar van stroom te voorzien.**



# 5.

## Rendement op investeringen

Een centrale compressorinstallatie die 500 kW verbruikt gedurende 8.000 bedrijfsuren per jaar vertegenwoordigt een jaarlijks energiegebruik van 4 miljoen kWh. De mogelijkheden voor het terugwinnen van aanzienlijke hoeveelheden restwarmte via warme lucht of warm water zijn zeer reëel. Maar liefst 94% van de aan de compressor toegevoerde energie kan worden teruggewonnen in de vorm van warm water uit olievrije schroefcompressoren. Dit feit illustreert dat besparingsmaatregelen snel een substantieel rendement opleveren.

Investeringen in warmteterugwinningssystemen worden meestal snel terugverdiend, binnen 1-3 jaar. Bovendien leidt het terugwinnen van energie met behulp van een gesloten koelsysteem tot betere bedrijfsomstandigheden, een grotere betrouwbaarheid en langere levensduur van de compressor dankzij een gelijkmatig temperatuurniveau en een hoge koelwaterkwaliteit, om maar een paar voordelen te noemen.

Scandinavische landen lopen enigszins voor op dit gebied en warmteterugwinning is er al geruime tijd de standaard voor compressorinstallaties. De meeste middelgrote tot grote compressoren van de grote leveranciers zijn nu aangepast voor de montage van standaarduitrusting voor het terugwinnen van restwarmte of de toevoeging van een zelfstandige, plug-and-play warmteterugwinningseenheid.

# 6.

## Kleinere CO2-voetafdruk

Grote fabrikanten van compressorapparatuur proberen voortdurend de CO2-voetafdruk van hun klanten te verkleinen in elke fase van de levensduur van een compressor: van de ontwerpfase tot de productie, de distributie, het gebruik, de verwijdering en het recyclen van de apparatuur. Deze inspanning is gerechtvaardigd omdat de typische CO2-voetafdruk van een luchtcompressor, het energiegebruik voor de werking ervan, 99% van de CO2-uitstoot uitmaakt.

Alle industriële gebruikers van compressoren worden aangemoedigd ISO50001 na te leven om een consistent energiebeheer tot stand te brengen en een onaangesproken energie-efficiëntie te realiseren. Het hoofddoel van deze norm is het continu verbeteren en identificeren van energiegerelateerde prestaties en het vinden van mogelijkheden om het energiegebruik te verlagen via een systematische aanpak en vastgelegde procedures.

Aangezien het energiegebruik doorgaans meer dan 80% van de lifecycle cost van een compressor vertegenwoordigt, hebben energiebesparingen die worden bereikt door het gebruik van warmteterugwinningssystemen in persluchtinstallaties een aanzienlijke impact, niet alleen op het behoud van het milieu en de planeet, maar in belangrijke mate ook op de bedrijfsresultaten van industriële gebruikers.







**Atlas Copco Compressors Nederland**  
Merwedeweg 7, 3336 LG Zwijndrecht  
industriecompressoren@nl.atlascopco.com  
[www.atlascopco.com/nl-nl/compressors](http://www.atlascopco.com/nl-nl/compressors)

**Atlas Copco**