

## 1 Inleiding

De mens heeft niet alleen warmte nodig om te leven, hij heeft ook warmte nodig om in de wereld om hem heen de voorwaarden van leven te scheppen. Hoewel het een enorme sprong is van kampvuur tot hedendaagse energievoorziening, de noodzaak om de warmte optimaal te gebruiken is onveranderd. Het principe van het berenvel van weleer is hetzelfde als de industriële thermische isolatie van vandaag: het beheersen van de warmtestroom.

Het beheersen van de warmtestroom is steeds belangrijker geworden. Enerzijds omdat de kosten van energie steeds hoger zijn geworden, anderzijds worden er steeds hogere eisen gesteld aan het beheersen van de temperatuur in de procesindustrie en aan veiligheid.

Een moeilijk onderdeel van warmtebeheersing is dat warmte voor het blote oog onzichtbaar is. Warmte verdwijnt ongemerkt en het is niet altijd even gemakkelijk om te ontdekken waar warmte weglekt.

Ondanks het belang ervan vormen isolatiewerkzaamheden vaak een sluitpost in nieuwbouwprojecten. De werkzaamheden moeten worden uitgevoerd in de meest hectische tijd van een constructieperiode: tussen de werktuigbouwkundige oplevering en de start-up van de fabriek.

Om de gedachten te bepalen: in de petrochemische industrie beslaat de post "isolatie" circa 3 - 5% van de totale projectkosten. In het onderhoudsbudget van dergelijke fabrieken kan die kostenpost oplopen tot 5 - 8%.

Momenteel bestaat de neiging om, in het kader van kostenbesparing, isolatiewerkzaamheden te minimaliseren. Dit is echter een kortetermijnoplossing. Niet alleen accumuleren de reparatiekosten van isolatie volgens een progressieve lijn, het energieverlies wat daardoor optreedt kan enorme proporties aannemen.

In deze brochure zal aangegeven worden wat het effect van warmte- of koude-isolatie is op de energie-efficiency van leidingen en apparaten. Ook worden adviezen gegeven met betrekking tot de kwaliteit en uitvoering van isolatie.

## 2 Ongeïsoleerde leidingen en appendages

In de huidige procesindustrie wordt gewerkt met temperaturen die variëren van ruwweg  $+1000^{\circ}\text{C}$  tot  $-200^{\circ}\text{C}$ . Hoe hoger de bedrijfstemperatuur, hoe groter de warmtestroom van het object naar de omgeving, hoe groter dus ook het potentiële energieverlies.

Uitgaande van een warmteopwekking met een rendement van 90%, 8700 bedrijfsuren per jaar en een aardgasprijs van  $f\ 0,20/\text{m}^3$ , kan het volgende als voorbeeld dienen.

Het energieverlies van een ongeïsoleerde stoomleiding, DN 200, met een temperatuur van  $200^{\circ}\text{C}$  kan oplopen tot circa  $3800\ \text{W/m}$ . Dit komt overeen met een niet meer terug te winnen verlies per meter leiding van  $4200\ \text{m}^3/\text{a}$  aardgas (ofwel

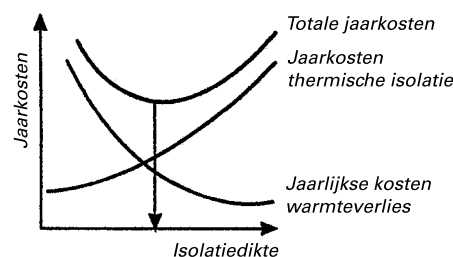
per meter leiding  $f\ 840,-/\text{a}$ ), het jaarlijks energieverbruik van een grote eengezinswoning.

Wordt diezelfde leiding geïsoleerd met 30 mm minerale wol, dan wordt het energieverlies teruggebracht naar  $247\ \text{W/m}$  (ofwel  $300\ \text{m}^3/\text{a}$  aardgas), bij een isolatiedikte van 80 mm is het energieverlies nog maar  $109\ \text{W/m}$  (gelijk aan  $130\ \text{m}^3/\text{a}$  aardgas). Hieruit blijkt de energie-efficiency van thermische isolatie.

Het warmteverlies van een ongeïsoleerde afsluiter komt overeen met 1 m ongeïsoleerde leiding van dezelfde diameter, een flensverbinding met de helft daarvan.

In de utiliteitsbouw heeft men omwille van verlaging van de investerings- en onderhoudskosten de neiging om afsluiters en flenzen niet te isoleren. Dit kan dus leiden tot aanzienlijke warmteverliezen ten koste van de gebruikers.

In theorie kan de isolatiedikte worden opgevoerd totdat het energieverlies minimaal is, maar dan nemen de kosten onevenredig toe. De kunst is om tot een optimale dikte van de isolatielaag te komen. Dit wordt weergegeven door *figuur 1*.



*Figuur 1 Bepaling economische isolatiedikte*

## 3 Economische isolatiedikte

Voor het bepalen van de optimale isolatiedikte zijn veel factoren van invloed.

Natuurlijk de energieprijzen en de kosten van de isolatie, maar daarnaast ook de bedrijfstemperatuur, de complexiteit van de te isoleren leidingen, aantal jaarlijkse bedrijfsuren, toekomstige onderhoudskosten, veiligheidsaspecten, etc. Daarnaast moet de ontwikkeling van de energiekosten in de toekomst worden overwogen. De kosten van een in later stadium aan te brengen extra isolatie zijn een veelvoud van de initiële isolatiekosten.

Soms ook worden door de overheid subsidies gegeven of fiscale maatregelen toegestaan op investeringen in energiebesparende maatregelen.

Al deze overwegingen dienen te worden meegenomen in de beginfase van een project.

De isolatiedikte kan worden bepaald aan de hand van:

- standaardtabellen, maar deze zijn niet nauwkeurig en alleen geschikt voor kleine onderhoudswerkzaamheden
- tabellen, specifiek opgesteld voor een project op basis van

relevante data. Deze tabellen worden met behulp van een computerprogramma opgesteld.

Er zijn diverse computerprogramma's op de markt voor het berekenen van isolatiediktes waarvan sommige toch wel in een erg vereenvoudigde uitvoering. Als voorbeeld moge dienen de warmteovergangscoefficiënt van de isolatieafwerking. Als niet de correcte waarde wordt ingevuld, kan de berekende isolatiedikte tot bijna de helft teruggebracht worden, maar treedt, bijvoorbeeld bij koude-isolatie, na ingebruikname meteen oppervlaktecondensatie op.

De Commissie Isolatie Nederlandse Industrie (CINI) heeft een Windows-programma ontwikkeld waarin op eenvoudige wijze alle relevante informatie voor isolatieberekeningen kan worden ingevoerd en uitgelezen.

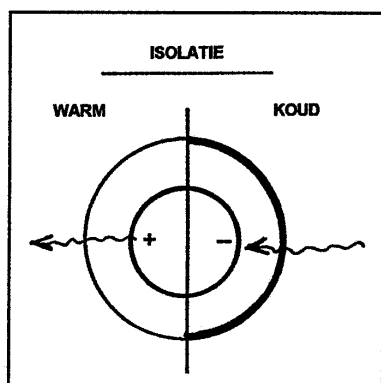
De rekenregels voor economische isolatiedikte gaan in bepaalde gevallen niet op. Uitzonderingen zijn bijvoorbeeld lange stoomleidingen met hogedruk (HD) stoom, waarvan de temperatuur niet beneden een kritisch grens mag dalen of een leiding met incidenteel stilstaande producten die kunnen stollen.

## 4 CINI

CINI is een acroniem van Commissie Isolatie Nederlandse Industrie en is een samenwerkingsverband van een aantal grote Nederlandse industrieën in samenwerking met de Vereniging van Ondernemers in het Thermisch Isolatiebedrijf (VIB) en Novem, met als doelstelling het bevorderen van vak- en doelgericht uitvoeren van isolatiewerkzaamheden op economische grondslag in de industrie in de ruimste zin.

De stichting heeft in 1993 het CINI Handboek "Isolatie voor de Industrie" uitgegeven en in 1999, in samenwerking met het Engelse softwarebureau HTFS, het "Thermal Insulation Calculation Program".

Het handboek wordt jaarlijks bijgewerkt en uitgebreid en is behalve in de Nederlandse taal ook verschenen in het Engels en Duits. Het geeft naast talrijke materiaalspecificaties en montage-instructies veel constructieschetsen van zowel warme als koude isolatietoepassingen. Binnenkort zal het handboek ook op internet ter beschikking komen.



Figuur 2 Warmtestromen

## 5 Ontwerp van isolatiesystemen

Er zijn twee belangrijke natuurkundige effecten bij isolatie:

1. vereffening van temperatuurverschillen. Is het object warmer dan de omgeving, dan is de richting van de warmtestroom van het te isoleren object af en wordt warmte-isolatie toegepast. Is daarentegen de richting van de warmtestroom naar het object toe, dus is het object kouder dan de omgeving, dan wordt koude-isolatie toegepast
2. met de warmtestroom treedt ook transport van waterdamp op.

Er is een essentieel verschil tussen warmte- en koude-isolatie. Met name bij koude-isolatie moet zowel het binnendringen van de warmtestroom als de waterdamp gekeerd worden en daarom moet de buitenlaag van koude-isolatie dampdicht zijn. Bij warmte-isolatie is deze noodzaak niet aanwezig; daar moet de isolatie alleen beschermd worden tegen het binnendringen van (regen)water.

In een vroeg stadium dient rekening te worden gehouden met het toepassen van isolatie en de daarvoor benodigde ruimte. Uitgaande van de stelregel dat de minimum vrije ruimte om een geïsoleerde leiding 50-75 mm is, dient met een voorlopig ontwerp de breedte van bijvoorbeeld pijpenbruggen te worden bepaald.

Afhankelijk van de bedrijfstemperaturen zal het meest geschikte isolatiemateriaal gekozen moeten worden. Elk materiaal heeft zijn eigen specifieke thermische, mechanische en chemische eigenschappen. Voor een overzicht wordt opnieuw verwezen naar het CINI Handboek. Afhankelijk van de locatie zal de weersbestendige afwerking gekozen moeten worden. Zo zal een leiding op een meter boven de bestrating een andere afwerking vereisen dan een leiding in een pijpenbrug, een vat onder een overkapping zal anders worden afgewerkt dan een in de buitenlucht. De waterdichte afwerking is van essentieel belang.

De isolatiewaarde, of liever de warmtegeleidingcoëfficiënt van isolatiemateriaal, varieert van 0,02 - 0,05 W/mK (bij 50°C). De warmtegeleidingcoëfficiënt van water is 0,55 W/mK. Het zal duidelijk zijn dat vochtaccumulatie in het isolatiemateriaal tot gevolg heeft dat de isolerende eigenschap sterk afneemt en bovendien de verdamping van vocht tot extra energieverlies leidt.

## 6 Montage

De applicatie van isolatiematerialen moet vakkundig worden uitgevoerd. Er mogen geen open naden zijn tussen de isolatieschalen of -dekens en het isolatiemateriaal moet zodanig worden bevestigd dat het na verloop van tijd niet wegzakt. Ogenscheinlijk voor de hand liggende regels, maar in de praktijk moet hier nog steeds aandacht aan worden besteed tijdens de montage en voordat de afwerklag wordt aangebracht. Het aanbrengen van de juiste afwerking op de juiste wijze

vereist eveneens het nodige vakmanschap om tot een waterdicht resultaat te komen.

Voor het aanbrengen van koude-isolatie is nog meer aandacht nodig. Het aanbrengen van de opeenvolgende lagen zonder open naden, maar vooral het installeren van de dampremmende lagen is van essentieel belang. Door de optredende onderdruk in het isolatiesysteem tijdens bedrijf, wordt door elke opening in de dampremmende laag waterdamp naar binnen gezogen. Bij systemen boven 0°C treedt accumulatie van vocht op met als gevolg energieverlies. Bij bedrijfstemperaturen onder 0°C treedt bevrozing op met als gevolg het kapot drukken van het isolatiesysteem.

Slechte koude-isolatie van een leiding die een onderkoelde vloeistof transporteert, is de reden dat de vloeistof geheel of gedeeltelijk verdampt en zo transportproblemen veroorzaakt. Niet alleen vakmanschap, maar ook goede inspectie is hierbij noodzakelijk.

De oude stelregel "Geen isolatie is beter dan slechte isolatie" uit de dagen dat energiekosten nog niet zo zwaar meespeelden, is achterhaald in die zin dat geen isolatie een niet reële oplossing is vanuit het energiestandpunt, maar slechte isolatie noch vanuit het energiestandpunt, noch vanuit het onderhoudsstandpunt een acceptabele situatie is. Niet correct aangebrachte of slecht onderhouden isolatie kan resulteren in enorme kosten.

## 7 Belangrijke facetten

### 7.1 Kwaliteit

De kwaliteit van ontwerp en montage van isolatiesystemen is vastgelegd in het CINI Handboek. Daarmee is een norm aangegeven voor de diverse onderdelen van isolatiesystemen, die dient als leidraad voor zowel opdrachtgever, uitvoerende en inspecterende partijen.

### 7.2 Onderhoud

Isolatiematerialen zijn zachte of kwetsbare materialen en worden afgewerkt met eveneens relatief kwetsbare materialen. Daarom behoeven isolatiesystemen na installatie op regelmatige perioden inspectie en onderhoud. Er dient streng op toegezien te worden dat er niet op de isolatie gelopen wordt, ook niet tijdens onderhoudsstops. Als door een mechanische beschadiging water kan binnen dringen in een warmte-isolatiesysteem neemt het energieverlies ongemerkt toe. Het verdient daarom aanbeveling dat onderhoudsdiensten regelmatig inspecties laten uitvoeren om de kwaliteit van isolatiesystemen te controleren. Dat is de enige manier om energieverlies te lokaliseren en te voorkomen.

Onderhoud aan warmte-isolatie kan worden uitgevoerd tijdens bedrijf, soms met aangepaste voorzieningen, tenzij de bedrijfstemperatuur te hoog is. Inspectie aan HD-stoomleidingen kan alleen maar worden uitgevoerd als de leiding buiten bedrijf is. Ook zijn onderhoudswerkzaamheden vaak moeilijk te plannen omdat dit soort leidingen niet vaak buiten bedrijf gesteld kan worden. Soms leidt dit er toe dat bij een 'Stoomwezen'-inspectie op zeker gespeeld wordt en de gehele leiding ontmanteld en na inspectie of reparatie opnieuw geïsoleerd wordt.

Onderhoud aan koude-isolatie kan alleen maar tijdens plantstops correct uitgevoerd worden. Wel kunnen tijdens bedrijf inspecties worden uitgevoerd aan de primaire dampremmende laag en eventuele beschadigingen kunnen direct hersteld worden zodat de schade beperkt blijft. Tijdens een eerstvolgende stop kunnen dergelijke punten afdoende gerepareerd worden.

Bij het vaststellen van beschadigingen aan isolatiesystemen tijdens inspecties moet tevens de vraag worden gesteld wat de oorzaak van de beschadiging is. Op basis van die bevindingen moeten reparaties en/of verbeteringen worden uitgevoerd. Isolatieafwerking weer herstellen in de vorm zoals het was, is op de lange termijn zinloos.

### 7.3 Corrosie onder isolatie (CUI =corrosion under insulation)

Het is momenteel alom geaccepteerd dat te isoleren oppervlakken volledig worden geconserveerd. Voor de meeste industriële systemen wordt daarmee de inspectie-interval vergroot, waardoor het plaatselijk of geheel verwijderen van isolatie uitgesteld kan worden.

Corrosie onder isolatie blijft echter een fenomeen waar goed aandacht aan besteed dient te worden. Vooral leidingen en apparaten in het temperatuurgebied tussen -10°C en +120°C en intermitterende systemen zijn erg kwetsbaar voor corrosie. Zelfs bij Chroom-Nikkel stalen leidingen kan door vochtinwerking stresscorrosie optreden, in het bijzonder in zilte omgevingen. Ook daarom is het noodzakelijk dat het isolatiesysteem droog blijft en daarop dient regelmatig geïnspecteerd te worden.

### 7.4 Isolatiematrassen

Ten behoeve van operatie of onderhoud is het soms nodig dat regelmatig de isolatie van bepaalde onderdelen verwijderd moet worden. Dit kan worden uitgevoerd in wegneembare kappen om bijvoorbeeld afsluiters en flenzen. Maar voor bepaalde delen, zoals turbines, pompen, mangatdeksels, instrumentatie etc. kan overwogen worden om isolatiematrassen toe te passen. Het voordeel hiervan is dat matrassen volledig op maat gemaakt worden waarbij de matras de vorm van het object zo dicht mogelijk benadert en daarmee een optimale isolatie geeft die zeer frequent en gemakkelijk aangebracht en verwijderd kan worden.

Isolatiematrassen zijn er een duidelijk voorbeeld van dat in de praktijk van het isoleren de initiële investering wat hoger is, maar de onderhoudskosten beduidend lager uitvallen.

### 7.5 Ondersteuning

Ondersteuning van leidingen zijn nog steeds een bron van energieverlies. Bij warme leidingen steekt een stalen voet door de isolatie en deze rust op de ondersteuningsconstructie. Veel warmte gaat ongezien verloren.

Bij koude-isolatie springt de ondersteuning wat sneller in het oog, omdat daar condensatie of ijsvorming optreedt als een steunpunt niet goed is geïsoleerd.

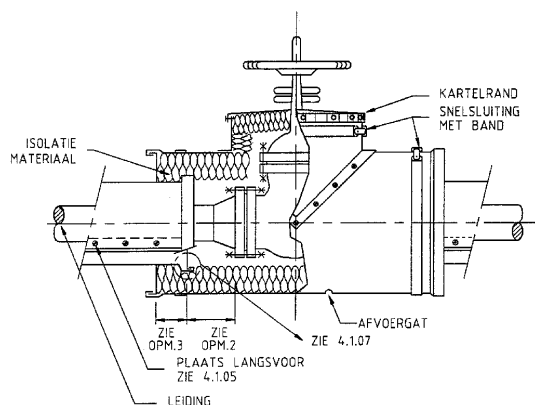
Hoewel er voor beide gevallen prefab-ondersteuning in de handel verkrijgbaar zijn, is in de praktijk de toepassing nog beperkt.

CINI is momenteel bezig dit aspect nader te onderzoeken.

## 7.6 Condensatie / regenwater

Bij geïsoleerde objecten waarvan de bedrijfstemperatuur niet zo hoog is, bestaat de kans dat aan de binnenzijde van de afwerkbeplating condensatie optreedt. Vooral in de ochtenduren of bij regen, als de buitentemperatuur daalt onder de 'binnen'-temperatuur, kan condensvorming optreden. Bij het nieuwe onderdeel "Tankisolatie", dat dit jaar wordt toegevoegd aan het CINI Handboek is dit fenomeen meegenomen. Ook bij isolatiesystemen op warme leidingen wordt hier en daar aangeraden om de afwerkbeplating te voorzien van afvoergaten aan de onderzijde, zoals ook aangegeven voor koude-isolatie. Bij deze laatste wordt uiteraard de dampdichte laag in tact gelaten. Op deze manier kan water, dat via lekken in de beplating het systeem is binnengedrongen, afgevoerd worden.

Een ander alternatief is om onder bepaalde omstandigheden beplating op horizontale leidingen of vlakken te vervangen door andere producten. Ondanks alle voorzorgen en onderhoud is het een utopie te veronderstellen dat beplating te allen tijde waterdicht is. Proeven zijn gedaan om warme-isolatie af te werken met een mastieklaag zoals bij koude-isolatie of met rubber mastic band of glasvezelversterkte polyester laminaten. Het blijkt dat deze materialen goed voldoen en op langere termijn de isolatie een goede bescherming geven. Hoewel de initiële investering hoger is, zijn de 'life time costs' van dergelijke systemen zeker concurrerend met de traditionele systemen.



Figuur 3 Isolatie-detail van afwerking warmte-isolatie op een afsluiter volgens het CINI Handboek

## 8 Tips om schade aan isolatiesystemen / energieverlies te voorkomen:

- uit onderhoudspunt is het beter om isolatie voor persoonlijke bescherming zoveel mogelijk te vermijden. Beter is het om fysieke barrières te plaatsen in de vorm van geperforeerde plaat of een handrailing, waardoor corrosie onder isolatie niet kan optreden en de leiding of het onderdeel altijd toegankelijk is voor inspectie
- op 'oversteekplaatsen' in pijpentracés, overwegen om een bordes te plaatsen of de zachte isolatie te vervangen door harde/vormvaste isolatie met aan de bovenzijde een vormvaste afwerkplaat

- handrailingen op geïsoleerde tankdaken dienen niet op de dakrand te worden gemonteerd met kans op inwateren. Zij behoren aan de zijkant van de regenrand te worden aangebracht
- gebruik van prefab-bochten op leidingen geeft een robuuster isolatiesysteem. Uit segmenten samengestelde bochten kunnen na verloop van tijd openspannen met inwateren tot gevolg
- op het laagste punt van warmte-isolatiesystemen één of meer draingaten aanbrenge, zodat binnengedrongen water niet accumuleert, bijvoorbeeld in afsluiterboxen, de onderste bocht van een standleiding etc.
- niet vochtabsorberend isolatiemateriaal gebruiken in flensboxen bij kans op lekkende flenzen en een draingat of een lekdectiepijpje toepassen in geval van explosie- of brandgevaarlijke media bij de flenzen de isolatie weglaten
- correcte plaatsing van pijpsteunen en, waar mogelijk, pijphangers vervangen door pijpsteunen
- geen brandweeroefeningen houden op geïsoleerde tanks, vaten of leidingen
- creëer een hoge standaard van 'house keeping' en gevoel van verantwoordelijkheid voor de fabriek bij het personeel. Dit resulteert in een goede, kostenbesparende wijze van werken.

## 9 Detectie van warmteverliezen

Leidingen en apparaten met een temperatuur hoger dan de omgevingstemperatuur, verliezen energie. Door het aanbrenge van isolatie is dat energieverlies op een economische wijze te beperken. Het is dus aan te raden om regelmatig te controleren of ergens in de loop van de tijd de kwaliteit van de isolatie achteruit is gegaan, of waar ongemerkt energieverliezen optreden.

Warmteverliezen zijn in de praktijk te detecteren door:

- het uitvoeren van inspecties en controleren of de afwerking van de isolatie onbeschadigd is
- met de hand voelen of de isolatiebeplating warmer is dan normaal: dit wijst op water in de isolatie
- met behulp van speciale camera's kunnen infrarood foto's gemaakt worden, waarop door kleurverschillen abnormale situaties zichtbaar worden. Het maken van deze foto's en de interpretatie daarvan is specialistenwerk.

Bij koude-isolatie kunnen slechte plekken herkend worden aan het zichtbaar zijn van condensatie- of aanvriespunten.

## 10 Referenties

- Stichting Isolatie Nederlandse Industrie, CINI Handboek, 1999