



**Isolatiescan CV en warmtapwater
circulatieleidingen in bestaande bouw**



Voorstudie ST-43



**Isolatiescan CV en warmtapwater circulatieleidingen in
bestaande bouw**
**Onderzoek naar een eenvoudige benadering en besparingstool voor
eigenaren en beheerders**

TVVL Voorstudie ST-43

Eindconcept

**INHOUDSOPGAVE****Blz.****Verantwoording 4****SAMENVATTING 5**

1.	Inleiding	7
1.1	Doelstelling.....	7
1.2	Achtergrond	7
1.3	Werkwijze Isolatiescan	8
2.	Systemen voor CV- en warmtapwatercirculatie	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Warmtapwatercirculatiesysteem.....	9
2.3	Collectief verwarmingssysteem met stooklijn	11
2.4	Verwarmingssysteem op hoge temperatuur	12
3.	Rekenregels energie- en kostenbesparing	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Rekenregels energiegebruik en -besparing.....	13
3.3	Rekenregels kostenbesparing	15
3.4	Rekenregels investering	15
3.5	Bepaling terugverdientijd.....	16
3.6	Rekenregels verlaging aanvoertemperatuur warm tapwater.....	16
3.7	Bepaling terugverdientijd voor leidingisolatie	16
3.8	Vereiste invoergegevens voor het rekentool.....	17
4.	Algemene leidinggegevens.....	18
4.1	Inleiding	18
4.2	Warmtedoorgangscoefficient U.....	18
4.3	Equivalente leidinglengte en toeslagfactor.....	21
4.4	Aandeel niet geïsoleerde leiding en degradatiefactor isolatie	21
4.5	Gemiddelde omgevingstemperatuur Tomg	22
4.6	Specifieke kosten per m leiding	22
4.7	Specifieke investeringskosten per type appendage.....	22
4.8	Energiedrager en warmteopwekker	23
5.	Toepassing voor warmtapwatercirculatiesysteem	24
5.1	Inleiding	24
5.2	Specifieke gegevens voor warmtapwatercirculatiesysteem.....	24
5.2.1	Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w	24
5.2.2	Opwekkingsrendement η_{opw}	24
5.2.3	Lengte L van de verschillende leidingen	25
5.3	Rekenvoorbeelden terugverdientijd voor leidingen	28
5.3.1	Rekenvoorbeeld nieuwbouw	28
5.3.2	Rekenvoorbeeld bestaande bouw	28
6.	Toepassing voor verwarmingssysteem met stooklijn	29
6.1	Inleiding	29
6.2	Specifieke gegevens voor verwarmingssysteem met stooklijn.....	29
6.2.1	Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w	29
6.2.2	Opwekkingsrendement η_{opw}	30
6.2.3	Lengte L van de verschillende leidingen	31
6.3	Rekenvoorbeelden terugverdientijd voor leidingen	32
6.3.1	Rekenvoorbeeld nieuwbouw	32



6.3.2	Rekenvoorbeeld bestaande bouw	32
7.	Toepassing voor verwarmingssysteem op hoge temperatuur	33
7.1	Inleiding.....	33
7.2	Specifieke gegevens voor verwarmingssysteem op hoge temperatuur.....	33
7.2.1	Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w	33
7.2.2	Opwekkingsrendement η_{opw}	33
7.2.3	Lengte L van de verschillende leidingen	33
7.3	Rekenvoorbeelden terugverdiëntijd voor leidingen.....	33
7.3.1	Rekenvoorbeeld nieuwbouw	33
7.3.2	Rekenvoorbeeld bestaande bouw	34
8.	Conclusies en aanbevelingen.....	35
9.	Referenties	37
Bijlage 1.	Vragenlijst installatie- en gebouwgegevens	38
Bijlage 2.	Vragenlijst installatie- en gebouwgegevens	39



VERANTWOORDING

Aan de totstandkoming van deze rapportage van de Expertgroep Sanitaire Technieken hebben meegewerkt:

Leden van het projectteam:

Arie van Dommelen

Arjan Jansen Aquative B.V.

Martin van den Bos GIB B.V.

Marco Sterkenbos Inco B.V.

Ben Voorneveld Combi Isolatie

Irene van Veelen ISSO

Met een bijzondere bijdrage van:

Walter van der Schee Climate en Sanitary Consulting

Het project is financieel mede mogelijk gemaakt door Stichting PIT

Auteur

Ir. J (Hans) van Wolferen Van Wolferen research

Coördinatie TVVL

Elmer van Krimpen

Community Manager Kennisontwikkeling





SAMENVATTING

De doelstelling van dit project is te onderzoeken of het op eenvoudige wijze mogelijk is om, met makkelijk te achterhalen kenmerken, inzichtelijk te maken welke potentiële energiebesparing behaald kan worden door het (na-)isoleren of opnieuw en beter isoleren van CV- en warmtapwatercirculatieleidingen in bestaande bouw.

Aan de hand van deze kenmerken opstellen van een eenvoudige isolatiescan voor gebouw eigenaren of -beheerders en installateurs voor het bepalen van investering, energiebesparing en terugverdientijd.

Dit betreft installaties in de volgende typen gebouwen: woongebouw, zorgcomplex, hotel, ziekenhuis en kantoren (alleen cv).

De conclusies ten aanzien van de bepalingsmethode zijn:

- Voor een eerste beoordeling van de haalbaarheid van isolatie kan men zich beperken tot de goed bereikbare leidingen. Als isolatie daarvan zinvol is kan bij de verdere uitwerking door een installateur/adviseur bezien worden of bochten, splitsingen en appendages worden meegenomen.
- Voor de bepaling van de terugverdientijd van isolatiemaatregelen voor goed bereikbare leidingen is een eenvoudige methode vastgesteld en zijn de vereiste gegevens beschikbaar of kunnen eenvoudig worden vastgesteld. Dit kan in een eenvoudig besparingsstool worden uitgewerkt. Bouwjaar, type gebouw en toepassing zijn hierbij niet onderscheidend.
- Maar ook zonder tool spreken de conclusies ten aanzien van de terugverdientijd voor verschillende situaties die hieronder gegeven worden voor zich.
- De gegevens van de leidinglengten zijn voor de terugverdientijd van ondergeschikt belang. De leidinglengten zijn wel vereist voor het bepalen van de investering en hiervan kan op basis van het schouwen van de installatie en de gebouw- en installatiekenmerken een schatting worden gemaakt. Maar in de praktijk kan bij een acceptabele terugverdientijd een installateur/adviseur gevraagd worden een offerte te maken, waarbij deze gegevens worden vastgesteld.
- De bepaling van het warmteverlies van appendages (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp) en van de toeslagfactor voor beugeling volgens ISSO 55 zijn niet goed bruikbaar, omdat onbekend is voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte en toeslagfactor zijn bepaald.

De terugverdientijd van het isoleren van goed bereikbare leidingen is, bij toepassing van gasketels met een verbruik tot 170.000 m³/jaar:

- Warmtapwatercirculatiesysteem
 - o Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 1 jaar, voor alle diameters.
 - o Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 1,5 en 5 jaar. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de terugverdientijd korter.
- Collectief verwarmingssysteem met stooklijn
 - o Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 3 jaar, voor alle diameters voor nieuwbouw bij een ontwerptemperatuur van 55/45 °C.
 - o Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 4 en 15 jaar bij een ontwerptemperatuur van 80/60 °C. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt terugverdientijd terugverdientijd korter.
- Collectief verwarmingssysteem op hoge temperatuur



- Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 1 jaar voor alle diameters, bij een ontwerptemperatuur van 70/40 °C.
- Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 1 en 4 jaar bij een ontwerptemperatuur van 90/70 °C. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de terugverdientijd korter.

De aanbevelingen zijn:

- Beschikbaar maken van het eenvoudige besparingstool en/of de conclusies ten aanzien van de terugverdientijd die hierboven gegeven zijn.
- Onderzoeken voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte is bepaald voor de bepaling van het warmteverlies van appendages (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp).
- Onderzoeken voor welke isolatiedikte de toeslagfactor voor beugeling is bepaald.



1. INLEIDING

1.1 Doelstelling

Onderzoeken of het op eenvoudige wijze mogelijk is om, met makkelijk te achterhalen kenmerken, inzichtelijk te maken welke potentiële energiebesparing behaald kan worden door het (na-)isoleren of opnieuw en beter isoleren van CV- en warmtapwatercirculatieleidingen in bestaande bouw.

Aan de hand van deze kenmerken opstellen van een eenvoudige isolatiescan voor gebouweigenaren of -beheerders en installateurs voor het bepalen van investering, energiebesparing en terugverdientijd (TVT).

Dit betreft installaties in de volgende typen gebouwen: woongebouw, zorgcomplex, hotel, ziekenhuis en kantoren (alleen cv).

1.2 Achtergrond

Warme CV- en warmtapwaterleidingen zijn in bestaande bouw meestal weggewerkt in schachten en in verlaagde plafonds in verblijfs- en verkeersruimten. De isolatie is soms verouderd, onvolledig of helemaal afwezig. Dit heeft de volgende nadelen:

1. overmatige opwarming van het gebouw, warme gangzones;
2. onbedoelde opwarming van het drinkwater (denk aan Legionella hotspots);
3. hoog energiegebruik;
4. problemen in de capaciteit van de opwekking, waardoor ingrepen worden gedaan in de aanvoertemperatuur en pompcapaciteit of extra vermogen wordt geplaatst.
5. ongewenst extra afkoelen van het warmtapwater waardoor de vereiste temperatuur van het warmtapwater bij het tappunt niet wordt bereikt.

Het doel is om op een laagdrempelige manier *inzichtelijk* te maken wanneer en hoe na-isolatie of verbeterde isolatie kan worden aangebracht en wat dit oplevert aan energie- en kostenbesparing. Het doel is om met eenvoudig te bepalen installatiegegevens de besparing met een voldoende mate van betrouwbaarheid te bepalen. Hierbij kan worden uitgegaan van een aantal standaard gebouwtypen. Of dit mogelijk is wordt in dit project onderzocht.

De werkzaamheden zijn uitgevoerd in nauwe samenwerking met een projectteam, dat door de TVVL is samengesteld. Dit team bestaat voornamelijk uit deskundigen uit de praktijk. De deskundigen zijn bij voorkeur werkzaam bij een isolatiebedrijf, leverancier van leidingsystemen, technisch beheerder en bouwkundig (adviseur of architect). De projectteamleden leveren de praktijkinformatie.

Op basis van de grootste groep gebouwen en de daarin voorkomende bouwkundige situaties worden praktische voorstellen voor na-isoleren gegeven. Met een "Isolatie scan" (rekentool) kan de investering, energiebesparing en TVT worden berekend.

De isolatiescan wordt gebaseerd op relevante en makkelijk te achterhalen parameters, zoals:

- | | |
|----------------------------------|---|
| - bouwjaar of jaar van renovatie | i.v.m. type bestaande isolatie |
| - gebouwvorm | compact, vertakt, laag, hoog etc. |
| - aantal tappunten (tapwater) | i.v.m. inschatten leidinglengtes en diameters |
| - vloeroppervlak (CV) | i.v.m. inschatten leidinglengtes en diameters |
| - materiaal | isolatiemateriaal |
| - staat van de isolatie | goed / gebrekkig / afwezig |



2. SYSTEMEN VOOR CV- EN WARMTAPWATERCIRCULATIE

2.1 Inleiding

Voor verwarming en warmtapwater worden de volgende collectieve systemen toegepast:

- Warmtapwatercirculatiesysteem
- Collectief verwarmingssysteem met stooklijn
- Collectief verwarmingssysteem op hoge temperatuur

Hieronder worden deze systemen toegelicht.

2.2 Warmtapwatercirculatiesysteem

Warmtapwatercirculatiesystemen worden toegepast in gebouwen met een groot warmtapwatergebruik, zoals:

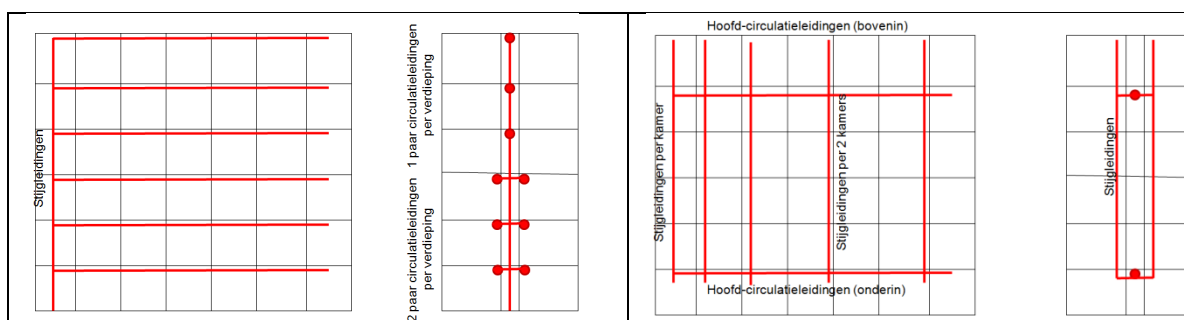
- Woongebouwen
- Hotels
- Verzorgingstehuizen
- Ziekenhuizen
- Sportvoorzieningen

Warmtapwatercirculatiesystemen bestaan uit een meestal vertakkend net van aanvoer- en retourleidingen, waarmee het warme tapwater wordt rondgepompt door een gebouw. Het drinkwater wordt verwarmd met bijvoorbeeld ketels, warmtepompen of warmtenetten. In de meeste systemen worden voorraadvaten toegepast om pieken in de tapvraag op te vangen. De meeste tappunten zijn met uittapleidingen aangesloten op het circulatiesysteem. Hiermee wordt een korte wachttijd aan de tappunten bereikt.

De aanvoerleidingen hebben een relatief grote diameter om voldoende tapwater te kunnen leveren. De retourleidingen zijn relatief dun en uitsluitend bedoeld om door circulatie te voorkomen dat het water te veel afkoelt. De retourtemperatuur dient bij normaal bedrijf 60 °C of hoger te zijn om microbiologische verontreiniging zoals Legionella te voorkomen. De aanvoertemperatuur ligt 5 tot 10 K hoger.

Voor de hoofdstructuur van een warmtapwatercirculatiesysteem zijn er de volgende opties:

1. 1 paar stijgleidingen per gebouw(deel) met 1 paar circulerende leidingen per verdieping (meestal boven het verlaagd plafond van de centrale gang).
2. 1 paar stijgleidingen per gebouw(deel) met 2 paar circulerende leidingen per verdieping (meestal boven het verlaagd plafond van de kamers aan weerszijden van de centrale gang)
3. 1 paar hoofd circulerende leidingen onder of bovenin het gebouw met 1 paar circulerende stijgleidingen per aansluiting
4. 1 paar hoofd circulerende leidingen onder of bovenin het gebouw met 1 paar circulerende stijgleidingen per 2 aansluitingen (dubbele aansluiting)





Figuur V-1 Hoofdstructuur leidingnet – optie 1 en 2 (links) en optie 3 en 4 (rechts)

Voor de wijze van aansluiting van de tappunten op de aanvoerleidingen zijn twee opties:

1. Uittapleidingen vanaf de aanvoerleidingen tot de tappunten.
2. Aanvoerleidingen doorgetrokken tot de tappunten (doorlussen).

Deze optie wordt vooral toegepast met hoofdstructuur 1, met 1 paar circulerende leidingen per verdieping. Het doel hiervan is de wachttijd aan de tappunten te verkorten. Het nadeel is dat het warmteverlies toeneemt.

Daarom is het zinvol om bij renovatie te bezien of ombouw naar uittapleidingen mogelijk is.

Het leidingpaar kan op twee manieren zijn uitgevoerd:

1. Aanvoer en retour als aparte leiding; apart geïsoleerd
2. Retour in aanvoerleiding (buis-in-buis of inliner systemen); gezamenlijk geïsoleerd

De leidingen worden geïsoleerd om overmatig warmteverlies te voorkomen. Hiermee wordt het volgende bereikt:

- Lager temperatuurverschil tussen aanvoer en retour en/of een lagere stroomsnelheid.
- Hoger rendement van de installatie.
- Voorkomen ongewenste opwarming.

De warmte wordt meestal afgegeven in schachten en/of boven verlaagde plafonds in binnenruimten. Hierdoor kan het plaatselijk opwarmen tot boven 25 °C.

Drinkwaterleidingen die hetzelfde tracé volgen warmen hierdoor teveel op.

Van warmtapwatercirculatiesystemen in nieuwbouw zijn alle relevante ontwerpgegevens bekend en is de berekening van het warmteverlies daardoor goed mogelijk. Die berekening is vereist voor de juiste dimensionering en bepaling van de gewenste stroomsnelheid om aan de eis van 60 °C op alle retourleidingen te voldoen. In nieuwbouw heeft men ook alle vrijheid om de gewenste isolatie toe te passen met als enige beperking de bouwkundige ruimte. Ook de kosten van isolatie zijn relatief laag, omdat men snel kan werken, in vergelijking met bestaande bouw.

In bestaande bouw is de situatie uiteenlopend, met de volgende aandachtspunten:

- Bereikbaarheid, bouwkundige situatie.
De bereikbaarheid is goed als de leidingen zich bijvoorbeeld bevinden in een schacht die over de volle hoogte eenvoudig kan worden benaderd (bv afgesloten door een paneel) of boven het verlaagde plafond, mits direct in het zicht.
Leidingen in een gesloten (gemetselde) schacht of boven het verlaagde plafond maar “verstopt” achter andere leidingen e.d. kunnen niet worden geïsoleerd, tenzij men tot serieuze renovatie overgaat. Dan ontstaat een situatie die met nieuwbouw vergelijkbaar is. De meerkosten hiervan kunnen sterk uiteenlopen.
- Huidige isolatie van de leidingen.
De meeste bestaande warmtapwatercirculatiesystemen zijn min of meer geïsoleerd. Dat betekent dat de besparing minder groot zal zijn dan in vergelijking met ongeïsoleerde leidingen en extra kosten in verband met het verwijderen van de bestaande isolatie.
De aanwezigheid en staat van de isolatie kan bij goed bereikbare leidingen eenvoudig worden vastgesteld.
- Huidige isolatie van bochten, splitsingen, appendages.
Dit is meestal minder goed verzorgd.
- Beschikbare informatie.
Van bestaande installaties is niet altijd een installatietekening beschikbaar met alle



gegevens. Omdat de leidingen zijn weggewerkt is het niet eenvoudig om snel een compleet beeld te krijgen van de installatie.

Voor een eerste beoordeling van de haalbaarheid van isolatie kan men zich beperken tot de goed bereikbare leidingen. Als isolatie daarvan zinvol is kan bij de verdere uitwerking door een adviseur of installateur worden gezien of bochten, splitsingen en appendages worden meegenomen.

2.3 Collectief verwarmingssysteem met stooklijn

Collectieve verwarmingssystemen met stooklijn worden in het algemeen toegepast in utiliteitsgebouwen, zoals kantoren, hotels, ziekenhuizen en verzorgingstehuizen. In woongebouwen worden ze toegepast als collectief verwarmingssysteem. In gestapelde bouw wordt dit systeem toegepast in combinatie met warmtapwatercirculatiesystemen of lokale warmtapwaterbereiding met bijvoorbeeld geisers. Als alternatief hiervoor worden vooral individuele combi-ketels toegepast.

Collectieve verwarmingssystemen bestaan uit een vertakkend net van aanvoer- en retourleidingen, waarmee het cv-water wordt rondgepompt van de warmteopwekkers naar de radiatoren, convectoren, plafond- of vloerverwarming waarmee de warmte wordt afgegeven. De aanvoer- en retourleidingen liggen in de regel naast elkaar. Traditionele systemen hebben een ontwerptemperatuur van 90/70 of 80/60. Moderne systemen hebben een lagere ontwerptemperatuur van 70/40. Systemen met plafond- of vloerverwarming hebben een ontwerptemperatuur van 55/45 of lager. De aanvoertemperatuur wordt volgens een stooklijn bepaald; de warmteafgifte in de vertrekken wordt met thermostatische afsluiters (TRA) geregeld.

Het warmteverlies van de leidingen van een verwarmingssysteem is afhankelijk van de buitentemperatuur, omdat de aanvoertemperatuur met een stooklijn geregeld wordt. Het warmteverlies treedt voornamelijk op in het stookseizoen; dit verlies is in veel gevallen een bijdrage aan de (gewenste) warmtelevering.

De positie van de leidingen bepaalt in hoeverre het warmteverlies bijdraagt aan de verwarmingsbehoefte. Hiervoor is een eerste onderscheid mogelijk tussen drie typen distributiesysteem:

1. CV-leidingen langs de gevel met daarop aangesloten de radiatoren/convectoren. Dit type systemen is tot en met de jaren '60 toegepast. De warmteafgifte van de radiatoren wordt in meestal met een TRA geregeld. Het gevolg is dat alle warmteafgifte van het leidingsysteem nuttig is, tenzij de stooklijn zeer hoog is afgesteld. Isolatie levert in deze situaties geen vermindering van de totale warmtebehoefte op.
2. CV-leidingen in centrale schachten en in verlaagde plafonds. Verdeling verticaal in centrale schacht(en), horizontale verdeling in verlaagde plafonds naar gevel en daarvandaan onderaf voeden naar bovengelegen radiatoren/convectoren. Dit type systemen is tot 2000 veel toegepast. Ook hier wordt de warmteafgifte meestal met een TRA geregeld. Het warmteverlies van de verticale leidingen in centrale schacht(en) en horizontale leidingen boven het verlaagd plafond treedt op een ongewenste plaats op. Dit leidt tot ongewenste opwarming in gangen en andere inpandige ruimten en leidt maar gedeeltelijk tot vermindering van de warmtevraag. Isolatie hiervan kan dus zinvol zijn.



3. CV-leidingen in centrale schachten en via verdelers in de vloer naar de radiatoren/convectoren aan de gevel of de plafond- of vloerverwarming. Dit type systemen is vanaf 2000 veel toegepast met lage aanvoertemperaturen. Ook hier wordt de warmteafgifte meestal met een TRA geregeld. Het warmteverlies van de leidingen in de vloer leidt maar gedeeltelijk tot vermindering van de warmtevraag. De leidingen in de vloer zijn niet achteraf te isoleren. Het warmteverlies van de verticale leidingen in centrale schacht(en) is lager dan bij hoge-temperatuur systemen. Maar ook hier treedt het verlies op een ongewenste plaats op en leidt maar gedeeltelijk tot mindering van de warmtevraag. Isolatie hiervan kan dus zinvol zijn.

Voor systeem 2 en 3 geldt dat de warmteverliezen op jaarbasis veel lager zijn dan voor warmtapwatercirculatiesystemen, omdat de cv-temperatuur door de stooklijnregeling gemiddeld veel lager is dan bij de constante temperatuur voor tapwater. Omdat de warmteafgifte in het stookseizoen optreedt is deze deels nuttig. Isolatie van de cv-leidingen zal daarom vooral van belang zijn om ongewenste opwarming van (in pandige) ruimten en mogelijk drinkwaterleidingen te voorkomen.

2.4 Verwarmingssysteem op hoge temperatuur

Collectieve verwarmingssystemen op hoge temperatuur worden toegepast in woongebouwen als collectief verwarmingssysteem en als warmtebron voor wamtapwaterbereiding met een afleverzet. Deze systemen worden meestal op een constante temperatuur bedreven: 70/40 voor moderne systemen met een goed-geïsoleerde afleverzet; 90/70 voor oudere systemen. Bij een ouder systeem met 90/70 bedrijf dient eerst de vraag te worden gesteld of verlaging van de bedrijfstemperatuur en vervanging van de oude afleverzets door (beter geïsoleerde) types voor 70/40 bedrijf haalbaar is. Voor de structuur en diameters van het verwarmingssysteem heeft dit in de regel geen directe gevolgen omdat het verwarmingsvermogen hiervan niet veranderd.

De CV-leidingen lopen meestal omhoog in (warme) meterkasten, waarin zich de afleverzet bevindt. De drinkwaterleiding en watermeter bevindt zich in de koude meterkast die meestal naast de warme kast is geplaatst.

De leidingen worden geïsoleerd om overmatig warmteverlies te voorkomen. Hiermee wordt tevens ongewenste opwarming van de meterkasten en van het drinkwater voorkomen.

De leidingen in meterkasten zijn goed bereikbaar. Voor een eerste beoordeling van de haalbaarheid van isolatie kan men zich beperken tot de goed bereikbare leidingen. De haalbaarheid van isolatie is vergelijkbaar met warmtapwatercirculatiesystemen.



3. REKENREGELS ENERGIE- EN KOSTENBESPARING

3.1 Inleiding

De rekenregels voor de energie- en kostenbesparing t.g.v. vermindering van het energiegebruik door isolatie van het circulatiesysteem zijn hieronder uitgewerkt. Hierbij is een eventuele vermindering van pompenergie buiten beschouwing gelaten.

Bij deze energiebesparing zijn de volgende kanttekeningen te maken:

- Het warmteverlies van een warmtapwatercirculatiesysteem of een collectief verwarmingssysteem op hoge temperatuur is vrijwel constant gedurende het jaar. In het stookseizoen vermindert het warmteverlies in sommige gevallen de verwarmingsvraag, zij het dan op een wellicht ongewenste plaats. Buiten het stookseizoen veroorzaakt het warmteverlies ongewenste opwarming en een hogere koelvraag van het gebouw.
- Het warmteverlies van een verwarmingssysteem met een stooklijn is afhankelijk van de buitentemperatuur. Het warmteverlies treedt voornamelijk op in het stookseizoen. Hierdoor kan vermindering van de verwarmingsvraag optreden, afhankelijk van de aard van het distributiesysteem.

De bepaling van de energie- en kostenbesparing gebeurt in zes stappen

1. Vaststellen eenvoudig te bepalen installatiegegevens m.b.v. een vragenlijst voor het verzamelen van de benodigde gegevens
2. Omzetten van deze gegevens in invoergegevens voor de bepaling van de energie- en kostenbesparing
3. Bepaling energiegebruik en -besparing
4. Bepaling kostenbesparing
5. Bepaling investering
6. Bepaling terugverdientijd

Hieronder worden de rekenregels voor de bepaling van de energie- en kostenbesparing, investering en TVT (stap 3 - 6) gegeven.

Hierbij worden ook de meer gedetailleerde installatiegegevens in de rekenregels meegenomen. Omdat deze gegevens in veel situaties niet eenvoudig beschikbaar zijn wordt afgesloten met een bepaling van de TVT voor leidingisolatie.

Deze rekenregels zijn in principe gelijk voor verwarming en warmtapwater en vormen de harde kern van de rekentool.

3.2 Rekenregels energiegebruik en -besparing

De energiebesparing door leidingisolatie betreft de vermindering in primair energiegebruik voor warmtapwater of verwarming. Afhankelijk van het type warmteopwekker gaat het om de volgende energiedragers:

- Gas bij toepassing van bv. gasketels
- Warmte bij aansluiting op een warmtenet

Voor het bepalen van het warmteverlies wordt de methode van ISSO 55 [1] als uitgangspunt genomen. Het energiegebruik en de energiebesparing worden bepaald door de volgende gegevens van de leidingen en appendages:

- Lengte L_i van de verschillende leidingen i in m
- Equivalente leidinglengte $L_{eq;i,j}$ van de in leiding i voorkomende verschillende appendages j (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp), in m



- Warmtedoorgangscoefficient $U_{oud;i}$ en $U_{nieuw;i}$ van de verschillende leidingen i in $W/m.K$ voor en na isolatie
- Toeslagfactor voor beugeling en onvolkomen afwerking van de isolatie
- Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w van de verschillende leidingen in $^{\circ}C$
- Gemiddelde omgevingstemperatuur T_{omg} in $^{\circ}C$
- Opwekkingsrendement η_{opw}

Het oorspronkelijke warmteverlies $Q_{s;oud}$ in kWh per jaar wordt volgens ISSO 55 bepaald volgens:

$$Q_{s;oud} = 8,760 * \sum_i \{ (L_i + \sum_j L_{eq;oud;i,j}) * U_{oud;i} * f_{toeslag;oud;i} \} * (T_w - T_{omg}) \quad (1)$$

De eerste sommatie \sum_i betreft alle leidingen i ; de tweede sommatie \sum_j betreft alle appendages j in leiding i .

Bij deze methode dient de volgende kanttekening te worden gemaakt.

De wijze van gebruik van zowel de equivalente leidinglengte als de toeslagfactor heeft tot gevolg dat het verlies van appendages en beugeling afhankelijk zijn van de *op de leiding* toegepaste isolatie. En dat is niet correct. Een ongeïsoleerde afsluiter heeft een verlies dat niet afhankelijk is van de isolatie van de leiding.

Dit knelpunt is besproken met de auteur van ISSO 55. Hieruit blijkt dat niet bekend is op welke isolatiedikte van de leiding de equivalente leidinglengte betrekking heeft. Omdat deze aanpak al enige tijd geleden is ontwikkeld mag worden aangenomen dat het om een niet of matig geïsoleerde leiding gaat. Maar ook dan is het verschil in uitkomst groot: bij een isolatie van 10 mm is het verlies 30 tot 50 % van een niet geïsoleerde leiding.

Gezien deze feiten is deze aanpak in deze vorm niet bruikbaar. Een alternatief is het toepassen van de equivalente leidinglengte en toeslagfactor op een eenduidig gedefinieerd referentieverlies, bijvoorbeeld dat van een matig of niet geïsoleerde leiding. Hierin zit wel het effect van de diameter, wat correct lijkt, maar wordt de invloed van meer of minder isolatie omzeild.

Hieronder is dit in een vergelijking weergegeven, waarbij $U_{ref;i}$ de warmtedoorgangscoefficient zonder isolatie betreft.

$$Q_{s;oud} = 8,760 * \sum_i \{ L_i * U_{oud;i} + L_i * U_{ref;i} * (f_{toeslag;oud;i} - 1) + \sum_j L_{eq;oud;i,j} * U_{ref;i} \} * (T_w - T_{omg}) \quad (2)$$

Omdat niet bekend is voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte en toeslagfactor zijn bepaald dient dit te worden vastgesteld voordat deze methode kan worden gebruikt. Nader onderzoek naar de juiste waarde en referentie voor de equivalente leidinglengte voor verschillende appendages is daarom gewenst.

Voor de isolatiescan is het tevens gewenst dat andere aspecten worden gewaardeerd, zoals hieronder uitgewerkt:

- Isolatie geheel afwezig.
Bepaal de warmtedoorgangscoefficiënt zonder isolatie; geen verdere correctie vereist.
- Isolatiemateriaal deels beschadigd of ontbrekend.
Het deel van de leiding dat niet-geïsoleerd is wordt weergegeven met een factor f_{noiso} , met een waarde tussen 0 en 1. De vaststelling van deze waarde gebeurt in paragraaf 4.4. Bepaal nu afzonderlijk het verlies van het leidingdeel zonder isolatie en het deel met isolatie.
- Isolatiemateriaal gedegrademd of verouderd of verkruid.
Hierdoor daalt de isolatiewaarde, wat kan worden weergegeven met een



degradatiefactor f_{deg} die weergeeft in welke mate de isolatie gedaald is ten opzichte van de oorspronkelijke waarde. De vaststelling van deze waarde gebeurt in paragraaf 4.4.

Hieronder is deze benadering in een vergelijking uitgewerkt:

$$Q_{ls;oud} = 8,760 * \sum_i \{ L_{;i} * (1 - f_{noiso;i}) * (U_{oud;i} - f_{deg} * (U_{oud;i} - U_{noiso;i})) + L_{;i} * f_{noiso;i} * U_{noiso;i} + L_{;i} * U_{ref;i} * (f_{toeslag;oud;i} - 1) + \sum_j L_{eq;oud;i,j} * U_{ref;i} \} * (T_w - T_{omg}) \quad (3)$$

Voorgesteld wordt de methode van ISSO 55 toe te passen met de hierboven gegeven aanvullingen.

Het warmteverlies na besparende maatregelen $Q_{ls;nieuw}$ in kWh per jaar wordt bepaald volgens:

$$Q_{ls;nieuw} = 8,760 * \sum_i \{ L_{;i} * U_{nieuw;i} + L_{;i} * U_{ref;i} * (f_{toeslag;nieuw;i} - 1) + \sum_j L_{eq;nieuw;i,j} * U_{ref;i} \} * (T_w - T_{omg}) \quad (4)$$

Hierbij is er van uitgegaan dat in de nieuwe situatie:

- Alle leidingdelen volledig geïsoleerd zijn (dus: $f_{noiso} = 0$);
- De isolatie niet gedegradeerd is (dus: $f_{deg} = 0$);
- Mogelijk nieuwe waarden voor de toeslagfactor en de equivalente lengtes t.g.v. isolatie.

Vergelijking 4 is een aangepaste versie van vergelijking 3, met $f_{noiso} = 0$ en $f_{deg} = 0$

De energiebesparing ΔE in kWh per jaar wordt bepaald volgens:

$$\Delta E = (Q_{ls;oud} - Q_{ls;nieuw}) / \eta_{opw} \quad (5)$$

Als voor de warmteopwekking een combinatie van opwekkers met verschillende energiedragers wordt toegepast, zoals warmtepompen met gasketels als bijstook, dan wordt de energiebesparing over deze opwekkers verdeeld op basis van het aandeel F_j in de warmtelevering. De energiebesparing in kWh per jaar wordt per opwekker j bepaald volgens:

$$\Delta E = F_j * (Q_{ls;oud} - Q_{ls;nieuw}) / \eta_{opw;j} \quad (6)$$

3.3 Rekenregels kostenbesparing

Voor de kostenbesparing wordt er van uitgegaan dat de verandering energiegebruik niet tot een ander tarief of vastrecht leidt. In dat geval wordt de kostenbesparing ΔK in € per jaar bepaald volgens:

$$\Delta K = \Delta E * \text{tarief} \quad (7)$$

Het tarief wordt gegeven in €/kWh.

3.4 Rekenregels investering

De investering Inv wordt uitgedrukt in de specifieke investeringskosten per m leiding $Inv;spec;l;i$ in € en de specifieke investeringskosten per appendage $Inv;spec;a;i,j$. Deze kosten omvatten materiaalkosten en arbeidskosten en kunnen verschillend zijn voor de verschillende leidingen en appendages.



$$\text{Inv} = \sum_i \{ L_i * \text{Inv};\text{spec};i + \sum_j \text{Inv};\text{spec};a;i,j \} \quad (8)$$

3.5 Bepaling terugverdientijd

De eenvoudige terugverdientijd (TVT) in jaren laat inflatie en tariefveranderingen voor energie buiten beschouwing en wordt bepaald volgens:

$$\text{TVT} = \text{Inv} / \Delta K \quad (9)$$

3.6 Rekenregels verlaging aanvoertemperatuur warm tapwater

In aanvulling op deze resultaten kan bepaald worden hoe groot het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour $\Delta T_{w;\text{nieuw}}$ wordt in de nieuwe situatie.

Hierbij wordt er van uitgegaan dat de pompinstelling gelijk blijft en het oude temperatuurverschil tussen aanvoer en retour $\Delta T_{w;\text{oud}}$ bekend is.

$$\Delta T_{w;\text{nieuw}} = \Delta T_{w;\text{oud}} * Q_{l;\text{nieuw}} / Q_{l;\text{oud}} \quad (10)$$

3.7 Bepaling terugverdientijd voor leidingisolatie

Uit het bovenstaande blijkt dat de methode veel invoergegevens van de installatie vergt. Dat zal voor meeste gebouwgegevens te hoog gegrepen zijn.

Voor een eerste indruk van de haalbaarheid van isolatie van leidingen wordt de volgende aanpak gevolgd:

1. Beperk de methode tot isolatie van de leidingen en laat appendages en beugeling buiten beschouwing.
Motivatie: de TVT voor leidingisolatie is naar verwachting gunstiger dan voor appendages ed. Als besloten wordt tot het inschakelen van een installateur dan kan die kijken naar de verdere mogelijkheden.
2. Beperk de methode tot het bepalen van de TVT en laat in eerste instantie de totale investering- en besparingsomvang achterwege.
Motivatie: de eerste twee punten zorgen ervoor dat de totale leidinglengte geen invloed heeft op de TVT.

Met de U-waarden en gemiddelde specifieke investeringskosten voor leiding i wordt een eenvoudige TVT bepaald volgens:

$$\text{TVT}_i = \text{Inv};\text{spec};i / (\text{tarief} * 8,760 * (U_{\text{oud};i} - U_{\text{nieuw};i}) * (T_w - T_{\text{omg}}) / \eta_{\text{opw}}) \quad (11)$$

Hierbij zijn geen gegevens over de totale lengte vereist. De lengte is uiteraard van belang om de totale investering en kostenbesparing in te schatten.

Ter informatie wordt de vermindering van de warmteafgifte per meter leiding i bepaald volgens:

$$\Delta P_i = (U_{\text{oud};i} - U_{\text{nieuw};i}) * (T_w - T_{\text{omg}}) \quad (12)$$



3.8 Vereiste invoergegevens voor het rekentool

Samenvattend zijn de volgende invoergegevens voor het uitgebreide rekentool vereist:

1. Lengte L_i van de verschillende leidingen in m
2. Equivalente leidinglengte $L_{eq;i,j}$ van in de leiding i voorkomende verschillende appendages j , in m
3. Toeslagfactor voor beugeling en onvolkomen afwerking van de isolatie
4. Warmtedoorgangscoefficient $U_{oud;i}$ en $U_{nieuw;i}$ van de verschillende leidingen in $W/m.K$ voor en na isolatie
5. Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w van de verschillende leidingen in $^{\circ}C$
6. Gemiddelde omgevingstemperatuur T_{omg} in $^{\circ}C$
7. Temperatuurverschil tussen aanvoer en retour $\Delta T_{w;oud}$ in K
8. Opwekkingsrendement η_{opw}
9. Energiedrager(s); opties: gas, warmte
10. Energietarief in $\text{€}/kWh$
11. Specifieke investeringskosten per m leiding $Inv;spec;l;i$ in €
12. Specifieke investeringskosten per type appendage (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp) $Inv;spec;a;i,j$ in €

Voor de invoergegevens onder pt 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11 en 12 worden methoden en waarden gegeven in hoofdstuk 4.

De overige gegevens onder pt 1, 5, 7 en 8 zijn specifiek voor warmtapwater en verwarming en worden gegeven in hoofdstuk 5, 6 en 7.

Voor de bepaling van de TVT voor leidingisolatie zijn de volgende invoergegevens vereist:

1. Warmtedoorgangscoefficient $U_{oud;i}$ en $U_{nieuw;i}$, voor leiding i , in $W/m.K$ voor en na isolatie
2. Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w van de verschillende leidingen in $^{\circ}C$
3. Gemiddelde omgevingstemperatuur T_{omg} in $^{\circ}C$
4. Opwekkingsrendement η_{opw}
5. Energiedrager(s); opties: gas, warmte
6. Energietarief in $\text{€}/kWh$
7. Specifieke investeringskosten per m leiding $Inv;spec;l;i$ in €



4. ALGEMENE LEIDINGGEGEVENS

4.1 Inleiding

Hieronder wordt aangegeven op welke wijze de algemene leidinggegevens worden bepaald, zoals de warmtedoorgangscoefficient, de equivalente leidinglengte en toeslagfactor, de gemiddelde omgevingstemperatuur, de specifieke investeringskosten per m leiding en de specifieke investeringskosten per type appendage

4.2 Warmtedoorgangscoefficient U

De warmtedoorgangscoefficient U per leidingdeel wordt bepaald volgens onderstaande vergelijking:

$$U = 1 / \left(\sum_j \left[\frac{1}{2\pi \times \lambda_{k,j}} \times \ln \left(\frac{D_{u,j}}{d_{u,j}} \right) \right] + \frac{1}{\pi \times h_a \times D_{u,out}} \right) \quad (13)$$

waarin:

- U is de warmtedoorgangscoefficient, in W/(m.K);
- $\lambda_{k,j}$ is de warmtegeleidingcoefficient van laag j , in W/(m.K), volgens Tabel V-1 ;
- $D_{u,j}$ is de buitenmiddellijn van laag j , volgens de (ontwerp)gegevens van het distributiesysteem, in m;
- $d_{u,j}$ is de binnenmiddellijn van laag j , volgens de (ontwerp)gegevens van het distributiesysteem, in m;
- $D_{u,out}$ is de buitenmiddellijn van de isolatie, volgens de (ontwerp)gegevens van het distributiesysteem, in m;
- h_a is de warmteoverdrachtcoefficient aan de buitenzijde van de leiding(isolatie) ten gevolge van straling en convectie, in W/(m².K), volgens Tabel V-2 .



De warmtegeleidingcoëfficiënt is hieronder gegeven bij twee temperaturen van 60 °C (HT) en 40 (LT). Voor warmtapwater wordt HT gebruikt; voor verwarming kan, afhankelijk van de stooklijn, de LT of HT waarde van toepassing zijn.

Materiaal	Gangbare dikte (mm)	Warmtegeleidingcoëfficiënt (W/m.K)	
		LT 40 °C	HT 60 ¹ / 62,5 ² °C
Leidingmateriaal			
PE-X [1]			0,41 ²
PP-R [1]			0,24 ²
PB [1]			0,22 ²
Koper [1]		360	360
Isolatiemateriaal			
Minerale wol zonder aluminium folie [x]	25 / 30 / 40 / 50	0,036 - 0,038	0,038 - 0,040 ¹
PE [x]	9 / 13 / 19	0,038 - 0,040	0,040 - 0,043 ¹
Elastomeren [x]	9 / 13 / 19	0,038	0,040 ¹
PIR / PUR met aluminium folie [x]	15 / 20 / 25 / 30 (iedere dikte mogelijk)	0,025 - 0,026	0,029 - 0,030 ¹
Phenolschuim [x]	15 / 20 / 25 / 30 (iedere dikte mogelijk)	0,024	0,026 ¹

Tabel V-1 Dikte en warmtegeleidingcoëfficiënt voor verschillende leiding- en isolatiematerialen. Referentie [x] betreft gegevens van leveranciers, waarin een spreiding van ca. 0,02 kan optreden, waarbij de afwerking een rol speelt.

De waarde van de warmteoverdrachtcoëfficiënt aan de buitenzijde van de leiding(isolatie) is afhankelijk van de isolatie en afwerking en is hieronder gegeven.

Leidingmateriaal	Warmteoverdrachtcoëfficiënt (W/m ² .K)
Ongeïsoleerde koperen (stalen?) leiding	10
Ongeïsoleerde kunststof leiding	14
Geïsoleerde leiding zonder aluminium afwerking	9
Geïsoleerde leiding met aluminium afwerking	7,5

Tabel V-2 Warmteoverdrachtcoëfficiënt aan buitenzijde bij een watertemperatuur van 62,5 °C [1].

Hieronder zijn voor koper en stalen leidingen met minerale wol de U-waarde bepaald . Voor uiteenlopende leidingen van kunststof kunnen vergelijkbare gegevens worden bepaald. De leidingdiameter, de isolatiewaarde- en dikte zijn de meest bepalende factoren voor de U-waarde; het buismateriaal is van geringe invloed.



Laag 1	buis	$\lambda_{k,1}$	390	W/m.K	Koperen buis			
Laag 2:	isolatie	$\lambda_{k,2}$	0,038	W/m.K				
		h_a	10	7,5	W/m2.K	ongeïsoleerd of geïsoleerd		
Type	$D_{u,1}$	dikte	$d_{u,1}$	U	W/m.K			
	mm	mm	mm	isolatie	dikte	in mm		
				0	10	20	30	40
DN10	12	1,00	10,0	0,377	0,184	0,144	0,124	0,111
DN15	18	1,00	16,0	0,565	0,235	0,178	0,150	0,133
DN20	22	1,00	20,0	0,691	0,269	0,199	0,166	0,146
DN25	28	1,50	25,0	0,880	0,318	0,230	0,189	0,165
DN32	35	1,50	32,0	1,100	0,375	0,266	0,216	0,187
DN40	42	1,50	39,0	1,319	0,432	0,301	0,242	0,208
DN50	54	2,00	50,0	1,696	0,528	0,361	0,286	0,243
DN65	76,1	2,00	72,1	2,391	0,705	0,468	0,364	0,305
DN80	88,9	2,00	84,9	2,793	0,807	0,530	0,409	0,340
	108	2,50	103,0	3,393	0,959	0,622	0,475	0,393
	133	3,00	127,0	4,178	1,157	0,743	0,562	0,460

Tabel V-3 U-waarden koperen buis met minerale wol.

Laag 1	buis	$\lambda_{k,1}$	50	W/m.K	Stalen draadbuis			
Laag 2:	isolatie	$\lambda_{k,2}$	0,038	W/m.K				
		h_a	10	7,5	W/m2.K	ongeïsoleerd of geïsoleerd		
Type	$D_{u,1}$	dikte	$d_{u,1}$	U	W/m.K			
	mm	mm	mm	isolatie	dikte	in mm		
				0	10	20	30	40
DN10	17,2	2,35	12,5	0,540	0,229	0,173	0,146	0,130
DN15	21,3	2,65	16,0	0,669	0,263	0,195	0,163	0,144
DN20	26,9	2,65	21,6	0,845	0,309	0,225	0,185	0,162
DN25	33,7	3,25	27,2	1,058	0,365	0,259	0,211	0,183
DN32	42,4	3,25	35,9	1,331	0,435	0,303	0,243	0,209
DN40	48,3	3,25	41,8	1,516	0,482	0,332	0,265	0,226
DN50	60,3	3,65	53,0	1,893	0,578	0,391	0,308	0,260
DN65	76,1	3,65	68,8	2,389	0,705	0,468	0,364	0,305
DN80	88,9	4,05	80,8	2,791	0,807	0,530	0,409	0,340
DN100	114,3	4,50	105,3	3,587	1,008	0,653	0,497	0,410
Dn 125	139,7	4,85	130,0	4,384	1,210	0,775	0,585	0,479

Tabel V-4 U-waarden stalen buis met minerale wol.

In Duitsland is vastgelegd dat de isolatiedikte minimaal gelijk is aan de diameter, met een minimum van 20 mm [2; zie ook bijlage 2]. In bovenstaande tabellen zijn deze punten groen gemarkeerd. Wat hierbij opvalt is dat het deze vuistregel leidt tot een bij benadering gelijk verlies per meter.



4.3 Equivalente leidinglengte en toeslagfactor

ISSO 55 geeft de volgende richtwaarden voor de equivalente leidinglengte voor de verschillende appendages (afsluiter, eerklep, regelafsluiter, flens, pomp).

Appendage	Leq [m]
Afsluiter, keerklep of regelafsluiter niet geïsoleerd	5
Afsluiter, keerklep of regelafsluiter geïsoleerd	3
Flens niet geïsoleerd	3
Flens geïsoleerd met kappen	0,5
Pomp niet geïsoleerd	7
Pomp geïsoleerd	0

Tabel V-5 Equivalente leidinglengte van appendages (richtwaarden volgens ISSO 55 [1])

De waarde van de toeslagfactor voor onvolkomen afwerking van isolatie en beugeling ftoeslag bedraagt volgens ISSO 55:

- 1,15 zonder geïsoleerde beugeling
- 1,10 met geïsoleerde beugeling

Zoals opgemerkt is onbekend voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte en toeslagfactor zijn bepaald. Voordat deze benadering en waarden bruikbaar zijn voor het bepalen van het warmteverlies moeten deze uitgangspunten worden vastgesteld.

4.4 Aandeel niet geïsoleerde leiding en degradatiefactor isolatie

In paragraaf 2 zijn twee nieuwe factoren geïntroduceerd waarvan de waarde moet worden vastgesteld.

Aandeel niet geïsoleerde leiding fnoiso.

- Als bochten en aftakkingen niet of matig geïsoleerd zijn kan fnoiso op 10% (0,1) worden gesteld.
- Sommige soorten isolatie, zoals PE, krimpen; bij krimp kan fnoiso op 5% (0,05) worden gesteld.
- Bij andere, grotere vormen van ontbrekende, beschadigde of verwijderde isolatie dient een schatting van het totaal ontbrekende aandeel te worden gegeven.
De resulterende waarde van fnoiso is de som van de verschillende bijdragen; de waarde ligt tussen 0 (isolatie overal aanwezig zonder beschadiging of krimp) en 1 (geen isolatie aanwezig).

Degradatiefactor fdeg.

De degradatiefactor fdeg geeft de mate waarin de isolatie gedaald is ten opzichte van de oorspronkelijke waarde. Hiervoor zijn geen goed bruikbare gegevens gevonden.



4.5 Gemiddelde omgevingstemperatuur Tomg

In het algemeen bedraagt de gemiddelde omgevingstemperatuur Tomg ca. 20 °C. Boven verlaagde plafonds en in schachten is het in de regel warmer dan in de ruimten: plus 2 K. Voor zorgcomplexen is deze in de regel hoger en bedraagt ca. 24 °C.

4.6 Specifieke kosten per m leiding

De specifieke kosten voor het isoleren per m leiding Inv;spec;l betreft zowel de materiaalkosten als arbeidskosten, waarbij de arbeidskosten dominant zijn.

Hieronder zijn enige richtprijzen gegeven, gebaseerd op de prijslijst van Isolatiebedrijf Hanenberg BV [3] voor wolschalen in een gangbare, eenvoudige uitvoering. Hierbij is vermeld dat dit de prijzen zijn per strekkende meter of per bocht; een verloop of een T-stuk telt als een halve meter; een kopplaat als een kwart meter. De prijzen zijn gebaseerd op normale werkomstandigheden, een goede bereikbaarheid en normale werktijden.

Wol-schalen, gecacheerd met alu-folie, draad, alu-tape				
2020		Prijs in Euro/m, excl BTW		
		Dikte van de isolatie in mm		
DN	Duit	25	30	40
10	18	9,50	10,80	-
15	22	9,80	11,10	13,60
20	28	10,10	11,30	14,10
25	35	10,40	11,70	14,50
32	42	11,00	12,40	15,20
40	48	11,20	12,60	15,50
50	60	12,40	13,70	17,00
65	76	13,70	15,50	19,10
80	89	14,90	16,80	20,70
100	114	16,70	18,90	22,70

Tabel V-6 Richtprijzen isolatie

Voor andere isolatiematerialen licht de prijs hoger.

Het verwijderen van oude isolatie is niet inbegrepen in deze prijzen. Hiervoor wordt een richtprijs van 5,00 Euro/m aangehouden.

4.7 Specifieke investeringskosten per type appendage

Specifieke investeringskosten per type appendage (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp) Inv;spec;a;i,j in €.

Hiervoor zijn geen bruikbare richtprijzen beschikbaar.



4.8 Energiedrager en warmteopwekker

- Gas bij toepassing van bv. gasketels
- Warmte bij aansluiting op een warmtenet

Het tarief wordt gegeven €/m³ (gas), in €/kWh (elektrisch) of €/MJ (warmte).

De meest toegepaste energiedrager is gas. Tot een verbruik van 170.000 m³/jaar geldt hiervoor een uniforme belasting en ODE. Voor het meerverbruik zijn deze opslagen aanzienlijk lager.

In 2020 gelden de volgende tarieven:

Tot 170.000 m³/jaar 0,60 à 0,65 Euro/m³

Boven 170.000 m³/jaar 0,28 Euro/m³

De elektriciteitstarieven zijn afhankelijk van het contract, waarbij grootverbruikers een relatief laag tarief betalen. Hiervoor zijn geen goede richtwaarden beschikbaar.

De opgegeven tarieven worden omgerekend naar €/kWh.



5. TOEPASSING VOOR WARMTAPWATERCIRCULATIESYSTEEM

5.1 Inleiding

Hieronder volgen eerst de specifieke gegevens voor het warmtapwatercirculatiesysteem. Vervolgens is voor verschillende diameters de TVT voor leidingen bepaald.

5.2 Specifieke gegevens voor warmtapwatercirculatiesysteem

5.2.1 Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w

Dit betreft het gemiddelde van de gemeten aanvoer en retourtemperatuur.

Dit is in eenvoudig te bepalen. In de meeste installaties zijn meetopnemers geplaatst bij de gezamenlijke aanvoer/ en retourleidingen..

Indien onbekend wordt bij niet of matig geïsoleerde leidingen een gemiddelde bedrijfstemperatuur van 65 °C aangehouden (70 aanvoer, 60 retour).

5.2.2 Opwekkingsrendement η_{opw}

Voor de bepaling van het opwekkingsrendement η_{opw} , inclusief de verliezen van de warmwatervoorraad en van het leidingwerk en de eventuele externe warmtewisselaar, wordt de aanpak van NEN 7120 (EPG) [4] gevolgd.

Bepaal het opwekkingsrendement η_{opw} volgens:

$$\eta_{opw} = \eta_{sto} \times \eta_{opw;0} \quad ()$$

waarin:

- $\eta_{opw;0}$ is het dimensieloze opwekkingsrendement voor warm tapwater, van de warmteopwekker, zonder correctie van verliezen van de warmwatervoorraad en van het leidingwerk en de eventuele externe warmtewisselaar;
- η_{sto} is het dimensieloze rendement voor warm tapwater ten gevolge van de verliezen van de warmwatervoorraad en van het leidingwerk en de eventuele externe warmtewisselaar.

De rekenwaarde voor het dimensieloze rendement voor warm tapwater ten gevolge van de verliezen van de warmwatervoorraad en van het leidingwerk en de eventuele externe warmtewisselaar, $\eta_{w;gen;sto}$, bedraagt:

- 0,90 voor installaties met minimaal 20 mm isolatie rond de warmwatervoorraad, het leidingwerk en een eventueel aanwezige externe warmtewisselaar;
- 0,80 voor installaties met minimaal 10 mm isolatie rond de warmwatervoorraad en het leidingwerk en geen isolatie van een eventueel aanwezige externe warmtewisselaar;
- 0,50 voor installaties zonder isolatie rond de warmwatervoorraad, het leidingwerk en een eventueel aanwezige externe warmtewisselaar.

Het ongecorrigeerde opwekkingsrendement van een toestel voor warmtapwaterbereiding wordt in principe bepaald door het vollastrendement bij bedrijfstemperaturen van 60 °C /80 °C. De rekenwaarden voor het ongecorrigeerde opwekkingsrendement van met gas en met olie gestookte ketels zijn gegeven in tabel 19.19.



Tabel 19.19 — Opwekkingsrendement van warmteopwekkers voor indirecte verwarming van warm tapwater van met gas of met olie gestookte ketels

Warmteopwekkingsinstallatie voor warmtapwaterbereiding	Opwekkingsrendement $\eta_{W;gen;0;gi}$
Een of meer centrale verwarmingstoestellen, geplaatst binnen de begrenzing van de energieprestatieberekening	
a) conventionele ketel	0,75
b) VR-ketel	0,80
c) HR-100-, HR-104-ketel	0,85
d) HR-107-ketel	0,90
Een of meer centrale verwarmingstoestellen, geplaatst buiten de begrenzing van de energieprestatieberekening	
a) conventionele ketel	0,70
b) VR-ketel	0,75
c) HR-100-, HR-104-ketel	0,80
d) HR-107-ketel	0,85
waarin:	
conventioneel	is een met gas gestookte ketel zonder nadere aanduiding, of een met olie gestookte ketel;
VR	is een met gas gestookte ketel met een vollastrendement van ten minste 88,5 % / 88,7 % op onderwaarde;
HR-100, -104, -107-ketel	is een met gas gestookte ketel met deellastrendement van ten minste 100 %, 104 % respectievelijk 107 % op onderwaarde.

Tabel V-7 Opwekkingsrendement van warmteopwekkers

Het opwekkingsrendement η_{opw} bedraagt hiermee voor goedgeïsoleerde vaten en een moderne HR-ketel ca 80% op bovenwaarde.

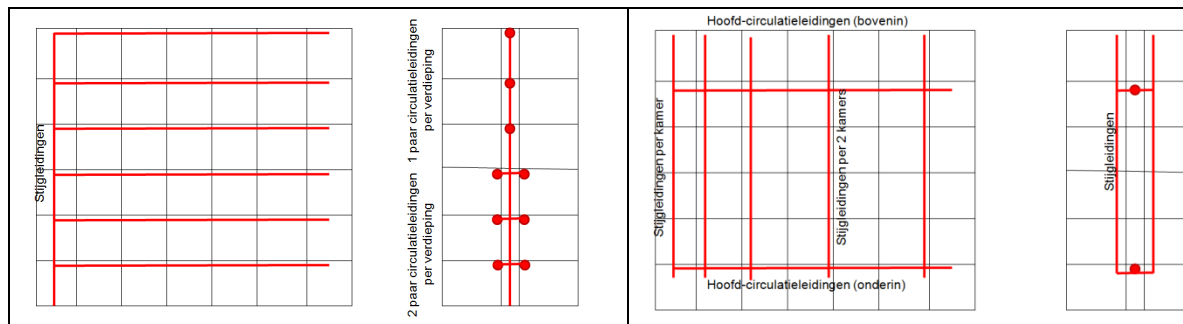
5.2.3 Lengte L van de verschillende leidingen

Indien de leidinglengten niet eenvoudig uit tekeningen of (oude) leidingoverzichten bekend zijn kan de volgende benadering worden gevolgd.

Stap 1. Stel de structuur van het leidingnet vast.

Voor de hoofdstructuur van het leidingnet zijn er de volgende opties:

1. 1 paar stijgleidingen per gebouw(deel) met 1 paar circulerende leidingen per verdieping (meestal boven het verlaagd plafond van de centrale gang).
2. 1 paar stijgleidingen per gebouw(deel) met 2 paar circulerende leidingen per verdieping (meestal boven het verlaagd plafond van de kamers aan weerszijden van de centrale gang)
3. 1 paar hoofd circulerende leidingen onder of bovenin het gebouw met 1 paar circulerende stijgleidingen per aansluiting
4. 1 paar hoofd circulerende leidingen onder of bovenin het gebouw met 1 paar circulerende stijgleidingen per 2 aansluitingen (dubbele aansluiting)



Figuur V-2 Hoofdstructuur leidingnet – optie 1 en 2 (links) en optie 3 en 4 (rechts)

Het woord aansluitingen wordt hier gebruikt voor een appartement (woongebouw, zorgcomplex) of een kamer (hotel, ziekenhuis),

Voor de wijze van aansluiting van de tappunten op de aanvoerleidingen zijn twee opties:

1. Uittapleidingen vanaf de aanvoerleidingen tot de tappunten.
2. Aanvoerleidingen doorgetrokken tot de tappunten (doorlussen).

Deze optie wordt vooral toegepast met hoofdstructuur 1, met 1 paar circulerende leidingen per verdieping. Het doel hiervan is de wachttijd aan de tappunten te verkorten.

Daarom is het zinvol om bij renovatie te bezien of ombouw naar uittapleidingen mogelijk is. Dit is niet uitgewerkt in het rekenmodel.

Het leidingpaar kan op twee manieren zijn uitgevoerd:

1. Aanvoer en retour als aparte leiding; apart geïsoleerd
2. Retour in aanvoerleiding (buis-in-buis of inliner systemen); gezamenlijk geïsoleerd

Stap 2. Bepaal de volgende gebouwgegevens:

- Lengte gebouw L_g in m
- Hoogte per verdieping H_v in m
- Aantal verdiepingen N_v
- Aantal aansluitingen per verdieping (per zijde) A_a
- Aantal zijden (1 of 2) A_z - alleen voor hoofdstructuur optie 3 en 4
- Lengte doorgetrokken aanvoerleidingen tot de tappunten - indien van toepassing L_c

Hiermee kan de lengte van het circulatiesysteem worden bepaald.

De lengte van het paar hoofddistributieleidingen (L_1) in m bedraagt:

$$L_1 = N_v * H_v \quad \text{hoofdstructuur 1 en 2}$$

of

$$L_1 = L_g \quad \text{hoofdstructuur 3 en 4}$$

De lengte van het paar overige circulatieleidingen L_2 in m bedraagt:

$$L_2 = N_v * L_g \quad \text{hoofdstructuur 1}$$

of

$$L_2 = N_v * L_g * 2 \quad \text{hoofdstructuur 2}$$

of

$$L_2 = A_a * A_z * N_v * H_v \quad \text{hoofdstructuur 3}$$

of

$$L_2 = A_a * A_z * N_v * H_v / 2 \quad \text{hoofdstructuur 4}$$



Indien de aanvoerleidingen zijn doorgelust tot de tappunten bedraagt de totale lengte van het paar doorgetrokken circulatieleidingen L3 in m:

$$L3 = Aa * Az * Nv * Lc$$

De som van L1, L2 en L3 is de totale lengte L van het paar circulatieleidingen.



5.3 Rekenvoorbeelden terugverdientijd voor leidingen

5.3.1 Rekenvoorbeeld nieuwbouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor nieuwbouw, bij isolatie met 30 m steenwol. De TVT ligt in dit geval ver onder 1 jaar.

		Van 0 naar 30 mm isolatie								
Variabele										
Tw	[gr.C]	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η_{opw}	[-]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uoud	[W/m.K]	0,670	0,840	1,060	1,330	1,520	1,890	2,390	2,790	3,590
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	11,10	11,30	11,70	12,40	12,60	13,70	15,50	16,80	18,90
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE ;spec	[kWh/m]	249,8	322,8	418,3	535,6	618,4	779,5	998,3	1173,2	1524,1
ΔK ;spec	[Euro/m]	16,70	21,58	27,97	35,81	41,34	52,12	66,74	78,44	101,90
TVT	[jaar]	0,66	0,52	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
ΔP ;spec	[W/m]	22,8	29,5	38,2	48,9	56,5	71,2	91,2	107,1	139,2

Tabel V-8 Voorbeeld TVT voor nieuwbouw

5.3.2 Rekenvoorbeeld bestaande bouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor bestaande bouw, bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 m steenwol. De TVT ligt in dit geval tussen 1,5 en 5 jaar. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de TVT korter.

		Van 10 naar 30 mm isolatie			Inv,spec	5 Euro/m opslag voor verwijderen				
Variabele										
Tw	[gr.C]	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η_{opw}	[-]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Uoud	[W/m.K]	0,263	0,309	0,365	0,435	0,482	0,578	0,705	0,807	1,008
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	16,1	16,3	16,7	17,4	17,6	18,7	20,5	21,8	23,9
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE ;spec	[kWh/m]	49,3	61,2	75,7	94,6	107,1	133,3	167,8	195,9	252,0
ΔK ;spec	[Euro/m]	3,30	4,09	5,06	6,32	7,16	8,91	11,22	13,10	16,85
TVT	[jaar]	4,89	3,98	3,30	2,75	2,46	2,10	1,83	1,66	1,42
ΔP ;spec	[W/m]	4,5	5,6	6,9	8,6	9,8	12,2	15,3	17,9	23,0

Tabel V-9 Voorbeeld TVT voor bestaande bouw



6. TOEPASSING VOOR VERWARMINGSSYSTEEM MET STOOKLIJN

6.1 Inleiding

Hieronder volgen eerst de specifieke gegevens voor het verwarmingssysteem met stooklijn. Vervolgens is voor verschillende diameters de TVT voor leidingen bepaald.

6.2 Specifieke gegevens voor verwarmingssysteem met stooklijn

6.2.1 Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w

Dit betreft het gemiddelde van de aanvoer en retourtemperatuur over het gehele jaar. Voor de stooklijn wordt een lineaire benadering gevolgd:

$$T_w = 20 + (T_{w;nom} - 20) * (T_{bu} - T_{bu;grens}) / (-10 - T_{bu;grens})$$

Met 20 °C als ondergrens voor T_w .

Het aantal uren per buitentemperatuur per jaar is afgeleid uit NEN 5060:2018. Hierbij zijn de uren in de drie zomermaanden juni, juli augustus niet meegerekend.

Hiermee wordt de gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w bepaald. Omdat het hier gaat om de gemiddelde temperatuur op jaarbasis is dit een relatief lage waarde.

θ_{buiten} °C	$N_{\theta i}$ h	θ_{buiten} °C	$N_{\theta i}$ h	θ_{buiten} °C	$N_{\theta i}$ h
19	76	9	376	-1	142
18	130	8	484	-2	95
17	160	7	456	-3	49
16	215	6	358	-4	45
15	207	5	399	-5	29
14	220	4	324	-6	11
13	303	3	304	-7	14
12	372	2	236	-8	5
11	367	1	301	-9	4
10	424	0	183	-10	0

Tabel V-10 Aantal uren per buitentemperatuur per jaar, exclusief de uren in de zomermaanden, volgens NEN 5060:2018

Voorbeelden van de resulterende gemiddelde cv-watertemperatuur op jaarbasis (betrokken op een vol jaar) zijn hieronder gegeven.



T _{w;nom} °C	T _{bu;grens} °C	T _{w;grens} °C	T _{w;gem} °C
80 (90/70)	18	30 (35/25)	40,1
70 (80/60)	18	30 (35/25)	37,5
50 (55/45)	18	27,5 (30/25)	31,2
50 (55/45)	15	27,5 (30/25)	29,6

Tabel V-11 Gemiddelde cv-watertemperatuur $T_{w;gem}$ als functie van de gemiddelde cv-ontwerptemperatuur $T_{w;nom}$, de stookgrens van de buitentemperatuur $T_{bu;grens}$ en de cv/temperatuur bij de stookgrens $T_{w;grens}$.

6.2.2 Opwekkingsrendement η_{opw}

Voor de bepaling van het opwekkingsrendement η_{opw} wordt de aanpak van NEN 7120 (EPG) gevolgd.

Verwarmingssysteem	Opwekkingsrendement $\eta_{H;gen}$	
Collectieve cv-systemen		
Temperatuurniveau	LT	HT
Collectieve verwarming, exclusief waakvlam, eventueel in de uitvoering van gebouwgebonden warmtelevering op afstand:		
a) conventionele ketel	0,70	0,70
b) VR-ketel	0,75	0,75
c) HR-100-ketel	0,875	0,85
d) HR-104-ketel	0,90	0,875
e) HR-107-ketel	0,925	0,90

Tabel V-12 Opwekkingsrendement

Hieronder is de indeling in hoge- en lagetemperatuur systemen (HT en LT) toegelicht.

Gemiddelde ontwerp-temperatuur warmteafgifte °C	Indeling voor de warmte-opwekker	Voorbeelden ^b $\theta_{sup} / \theta_{ret}$ °C
$\theta_{em;avg} > 50$ ^a	HT	90/70, 80/60, 70/50 Verwarmingssystemen met radiatoren en/of convectoren.
$\theta_{em;avg} \leq 50$ ^a	LT	70/30, 60/40, 55/45 Alle LT-systemen waaronder vloer- en wandverwarming en betonkernactivering, eventueel gecombineerd met LT-radiatoren en/of LT-convectoren

Tabel V-13 Indeling hoge en lage temperatuur systemen



Het opwekkingsrendement η_{opw} bedraagt hiermee voor een moderne HR-ketel ca 90% op bovenwaarde.

6.2.3 Lengte L van de verschillende leidingen

Indien de leidinglengten niet eenvoudig uit tekeningen of (oude) leidingoverzichten bekend zijn kan de volgende benadering worden gevolgd.

De positie van de leidingen bepaalt in hoeverre het warmteverlies bijdraagt aan de verwarmingsbehoefte. Dit is in paragraaf 2.3 uitgewerkt met een onderscheid tussen drie typen distributiesysteem:

1. CV-leidingen langs de gevel met daarop aangesloten de radiatoren/convectoren.
Isolatie levert in deze situaties geen vermindering van de totale warmtebehoefte op.
2. CV-leidingen in centrale schachten en in verlaagde plafonds.
Verdeling verticaal in centrale schacht(en), horizontale verdeling in verlaagde plafonds naar gevel en daarvandaan onderaf voeden naar bovengelegen radiatoren/convectoren.
Dit type systemen is tot 2000 veel toegepast.
Ook hier wordt de warmteafgifte meestal met een TRA geregeld.
Het warmteverlies van de verticale leidingen in centrale schacht(en) en horizontale leidingen boven het verlaagd plafond treedt op een ongewenste plaats op. Dit leidt tot ongewenste opwarming in gangen en andere inpandige ruimten en leidt maar gedeeltelijk tot vermindering van de warmtevraag. Isolatie hiervan kan dus zinvol zijn.
3. CV-leidingen in centrale schachten en via verdelers in de vloer naar de radiatoren/convectoren aan de gevel of de plafond- of vloerverwarming.
Dit type systemen is vanaf 2000 veel toegepast met lage aanvoertemperaturen.
Ook hier wordt de warmteafgifte meestal met een TRA geregeld. Het warmteverlies van de leidingen in de vloer leidt maar gedeeltelijk tot vermindering van de warmtevraag.
De leidingen in de vloer zijn niet achteraf te isoleren.
Het warmteverlies van de verticale leidingen in centrale schacht(en) is lager dan bij hoge-temperatuur systemen. Maar ook hier treedt het verlies op een ongewenste plaats op en leidt maar gedeeltelijk tot mindering van de warmtevraag.
Isolatie hiervan kan dus zinvol zijn.

Voor systeem 2 en 3 is de volgende benadering van de leidinglengte opgesteld:

Stap 2. Bepaal de volgende gebouwgegevens:

- Hoogte per verdieping H_v in m
- Aantal verdiepingen N_v
- Aantal verticale schachten N_s
- Aantal aansluitingen per verdieping per schacht N_a (alleen systeem 2)
- Afstand tussen schacht en radiator/convector L_a (alleen systeem 2)

Hiermee kan de lengte van het verwarmingssysteem worden bepaald.
De lengte van het paar hoofddistributieleidingen (L_1) in m bedraagt:

$$L_1 = N_s * N_v * H_v \quad \text{systeem 2 en 3}$$

De lengte van het paar overige circulatieleidingen L_2 in m bedraagt:

$$L_2 = N_s * N_v * N_a * L_a \quad \text{systeem 2}$$



De som van L1 en L2 is de totale lengte L van het paar circulatieleidingen.

6.3 Rekenvoorbeelden terugverdientijd voor leidingen

6.3.1 Rekenvoorbeeld nieuwbouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor nieuwbouw voor een ontwerptemperatuur van 55/45 °C, bij isolatie met 30 m steenwol. De TVT ligt in dit geval tot maximaal 3 jaar.

		Van 0 naar 30 mm isolatie			Tw;nom 55/45					
Variabele										
Tw	[gr.C]	31,2	31,2	31,2	31,2	31,2	31,2	31,2	31,2	31,2
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η _{opw}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uoud	[W/m.K]	0,670	0,840	1,060	1,330	1,520	1,890	2,390	2,790	3,590
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	11,10	11,30	11,70	12,40	12,60	13,70	15,50	16,80	18,90
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE;spec	[kWh/m]	55,3	71,4	92,6	118,5	136,8	172,5	220,9	259,6	337,2
ΔK;spec	[Euro/m]	3,70	4,77	6,19	7,92	9,15	11,53	14,77	17,35	22,54
TVT	[jaar]	3,00	2,37	1,89	1,57	1,38	1,19	1,05	0,97	0,84
ΔP;spec	[W/m]	5,7	7,3	9,5	12,2	14,1	17,7	22,7	26,7	34,6

Tabel V-14 Voorbeeld TVT voor nieuwbouw

6.3.2 Rekenvoorbeeld bestaande bouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor bestaande bouw voor een ontwerptemperatuur van 80/60 °C, bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 m steenwol. De TVT ligt in dit geval tussen 4 en 15 jaar. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de TVT korter. Overigens kan de werkelijke energiebesparing lager en de TVT langer zijn omdat een deel van het warmteverlies nuttig is/was.

		Van 10 naar 30 mm isolatie			Inv,spec	5 Euro/m opslag voor verwijderen				
Variabele										
Tw	[gr.C]	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η _{opw}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Uoud	[W/m.K]	0,263	0,309	0,365	0,435	0,482	0,578	0,705	0,807	1,008
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	16,1	16,3	16,7	17,4	17,6	18,7	20,5	21,8	23,9
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE;spec	[kWh/m]	17,0	21,2	26,2	32,7	37,0	46,1	58,0	67,7	87,1
ΔK;spec	[Euro/m]	1,14	1,41	1,75	2,19	2,48	3,08	3,88	4,53	5,82
TVT	[jaar]	14,13	11,52	9,54	7,96	7,11	6,07	5,29	4,82	4,10
ΔP;spec	[W/m]	1,8	2,2	2,7	3,4	3,8	4,7	6,0	7,0	9,0

Tabel V-15 Voorbeeld TVT voor bestaande bouw



7. TOEPASSING VOOR VERWARMINGSSYSTEEM OP HOGE TEMPERATUUR

7.1 Inleiding

Hieronder volgen eerst de specifieke gegevens voor het verwarmingssysteem op hoge temperatuur. Vervolgens is voor verschillende diameters de TVT voor leidingen bepaald.

7.2 Specifieke gegevens voor verwarmingssysteem op hoge temperatuur

7.2.1 Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w

Dit betreft het gemiddelde van de (gemeten) constante aanvoer- en retourtemperatuur over het stookseizoen.

$T_{w;nom}$ °C	$T_{w;gem}$ °C
90/70	80
80/60	70
70/40	55

Tabel V-16 Gemiddelde cv-watertemperatuur $T_{w;gem}$ als functie van de gemiddelde cv-ontwerptemperatuur $T_{w;nom}$

7.2.2 Opwekkingsrendement η_{opw}

Voor de bepaling van het opwekkingsrendement η_{opw} wordt de aanpak van NEN 7120 (EPG) gevolgd voor het warmtapwatercirculatiesysteem, zoals gegeven in paragraaf 5.2.2.

7.2.3 Lengte L van de verschillende leidingen

De CV-leidingen lopen meestal omhoog in (warme) meterkasten, waarin zich de afleverset bevindt.

Stap 2. Bepaal de volgende gebouwgegevens:

- Hoogte per verdieping H_v in m
- Aantal verdiepingen N_v
- Aantal verticale schachten N_s

Hiermee kan de lengte van het verwarmingssysteem worden bepaald.

De totale lengte van het paar hoofddistributieleidingen (L) in m bedraagt:

$$L = N_s * N_v * H_v$$

7.3 Rekenvoorbeelden terugverdiëntijd voor leidingen

7.3.1 Rekenvoorbeeld nieuwbouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor nieuwbouw voor een ontwerptemperatuur van 70/40 °C, bij isolatie met 30 m steenwol. De TVT is in dit geval korter dan 1 jaar, zoals bij het warmtapwatercirculatiesysteem.



		Van 0 naar 30 mm isolatie			Tw;nom 70/40					
Variabele										
Tw	[gr.C]	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η _{opw}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uoud	[W/m.K]	0,670	0,840	1,060	1,330	1,520	1,890	2,390	2,790	3,590
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	11,10	11,30	11,70	12,40	12,60	13,70	15,50	16,80	18,90
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE;spec	[kWh/m]	172,7	223,1	289,2	370,3	427,5	538,9	690,2	811,1	1053,7
ΔK;spec	[Euro/m]	11,55	14,92	19,34	24,76	28,58	36,03	46,14	54,23	70,45
TVT	[jaar]	0,96	0,76	0,61	0,50	0,44	0,38	0,34	0,31	0,27
ΔP;spec	[W/m]	17,7	22,9	29,7	38,0	43,9	55,4	70,9	83,3	108,3

Tabel V-17 Voorbeeld TVT voor nieuwbouw

7.3.2 Rekenvoorbeeld bestaande bouw

Hieronder is een rekenvoorbeeld van de TVT gegeven voor bestaande bouw voor een ontwerptemperatuur van 90/70 °C, bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol. De TVT ligt in dit geval tussen 1 en 4 jaar. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de TVT korter.

		Van 10 naar 30 mm isolatie			Inv,spec 5 Euro/m opslag voor verwijderen					
Variabele										
Tw	[gr.C]	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Tomg	[gr.C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20
η _{opw}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
D ref		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
D iso;oud	[mm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Uoud	[W/m.K]	0,263	0,309	0,365	0,435	0,482	0,578	0,705	0,807	1,008
D iso;nieuw	[mm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Unieuw	[W/m.K]	0,163	0,185	0,211	0,243	0,265	0,308	0,364	0,409	0,497
Tarief	[Euro/m ³]	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Inv,spec	[Euro/m]	16,10	16,30	16,70	17,40	17,60	18,70	20,50	21,80	23,90
Resultaat										
Tarief	[Euro/kWh]	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
ΔE;spec	[kWh/m]	58,4	72,5	89,7	112,1	127,0	158,0	198,9	232,1	298,7
ΔK;spec	[Euro/m]	3,91	4,85	6,00	7,49	8,49	10,56	13,30	15,52	19,97
TVT	[jaar]	4,12	3,36	2,78	2,32	2,07	1,77	1,54	1,40	1,20
ΔP;spec	[W/m]	6,0	7,5	9,2	11,5	13,0	16,2	20,4	23,9	30,7

Tabel V-18 Voorbeeld TVT voor bestaande bouw



8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De conclusies ten aanzien van de bepalingsmethode zijn:

- Voor een eerste beoordeling van de haalbaarheid van isolatie kan men zich beperken tot de goed bereikbare leidingen. Als isolatie daarvan zinvol is kan bij de verdere uitwerking door een installateur/adviseur bezien worden of bochten, splitsingen en appendages worden meegenomen.
- Voor de bepaling van de terugverdientijd van isolatiemaatregelen voor goed bereikbare leidingen is een eenvoudige methode vastgesteld en zijn de vereiste gegevens beschikbaar of kunnen eenvoudig worden vastgesteld. Dit kan in een eenvoudig besparingstool worden uitgewerkt. Bouwjaar, type gebouw en toepassing zijn hierbij niet onderscheidend.
- Maar ook zonder tool spreken de conclusies ten aanzien van de terugverdientijd voor verschillende situaties die hieronder gegeven worden voor zich.
- De gegevens van de leidinglengten zijn voor de terugverdientijd van ondergeschikt belang. De leidinglengten zijn wel vereist voor het bepalen van de investering en hiervan kan op basis van het schouwen van de installatie en de gebouw- en installatiekenmerken een schatting worden gemaakt. Maar in de praktijk kan bij een acceptabele terugverdientijd een installateur/adviseur gevraagd worden een offerte te maken, waarbij deze gegevens worden vastgesteld.
- De bepaling van het warmteverlies van appendages (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp) en van de toeslagfactor voor beugeling volgens ISSO 55 zijn niet goed bruikbaar, omdat onbekend is voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte en toeslagfactor zijn bepaald.

De terugverdientijd van het isoleren van goed bereikbare leidingen is, bij toepassing gasketels met een verbruik tot 170.000 m³/jaar:

- Warmtapwatercirculatiesysteem
 - o Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 1 jaar, voor alle diameters.
 - o Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 1,5 en 5 jaar. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de terugverdientijd korter.
- Collectief verwarmingssysteem met stooklijn
 - o Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 3 jaar, voor alle diameters voor nieuwbouw bij een ontwerptemperatuur van 55/45 °C.
 - o Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 4 en 15 jaar bij een ontwerptemperatuur van 80/60 °C. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de terugverdientijd korter.
- Collectief verwarmingssysteem op hoge temperatuur
 - o Bij isolatie met 30 mm steenwol is de terugverdientijd minder dan 1 jaar voor alle diameters, bij een ontwerptemperatuur van 70/40 °C.
 - o Bij vervanging van 10 mm isolatie door isolatie met 30 mm steenwol ligt de terugverdientijd tussen 1 en 4 jaar bij een ontwerptemperatuur van 90/70 °C. Als de bestaande isolatie deels ontbreekt of van mindere kwaliteit is wordt de terugverdientijd korter.



De aanbevelingen zijn:

- Beschikbaar maken van het eenvoudige besparingstool en/of de conclusies ten aanzien van de terugverdientijd die hierboven gegeven zijn.
- Onderzoeken voor welke isolatiedikte de equivalente leidinglengte is bepaald voor de bepaling van het warmteverlies van appendages (afsluiter, keerklep, regelafsluiter, flens, pomp).
- Onderzoeken voor welke isolatiedikte de toeslagfactor voor beugeling is bepaald.



9. REFERENTIES

1. ISSO 55 Leidingwaterinstallaties voor woon- en utiliteitsgebouwen
ISSO, Rotterdam, 2019
2. EnergieEinsparVerordnung EnEV 2016
3. Prijslijst Isolatiebedrijf Hanenberg BV, vanaf 1-7-2020
Waalwijk
4. NEN 7120 + C2/A1 – Energieprestatie van Gebouwen – bepalingmethode
NEN, Delft, juni 2017



BIJLAGE 1. VRAGENLIJST INSTALLATIE- EN GEBOUWGEGEVENS

Hieronder is de vragenlijst uitgewerkt voor de bepaling van de TVT voor leidingisolatie

Voor de bepaling van de TVT voor leidingisolatie zijn de volgende invoergegevens vereist.

Algemene gegevens:

1. Gemiddelde bedrijfstemperatuur T_w van de verschillende leidingen in $^{\circ}\text{C}$
2. Gemiddelde omgevingstemperatuur T_{omg} in $^{\circ}\text{C}$
3. Opwekkingsrendement η_{opw}
4. Energiedrager(s); opties: gas, warmte
5. Energietarief in $\text{€}/\text{kWh}$

Gegevens per leiding i

6. Warmtedoorgangscoefficient $U_{oud;i}$ en $U_{nieuw;i}$, voor leiding i , in $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ voor en na isolatie, volgens paragraaf 4.2.
7. Specifieke investeringskosten per m leiding $Inv_{spec;i}$ in € , volgens paragraaf 4.6.



BIJLAGE 2. VRAGENLIJST INSTALLATIE- EN GEBOUWGEGEVENS

1. In Fällen des § 10 Absatz 2 und des § 14 Absatz 5 sind die Anforderungen der Zeilen 1 bis 7 und in Fällen des § 15 Absatz 4 der Zeile 8 der Tabelle 1 einzuhalten, soweit sich nichtfrei aus anderen Bestimmungen dieser Anlage etwas anderes ergibt.

Tabelle 1

Wärmedämmung von
Wärmeverteilungs- und
Warmwasserleitungen,
Kälteverteilungs- und
Kaltwasserleitungen sowie
Armaturen

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Wärmeverteilungsleitungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

Soweit in Fällen des § 14 Absatz 5 Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen an Außenluft grenzen, sind diese mit dem Zweifachen der Mindestdicke nach Tabelle 1 Zeile 1 bis 4 zu dämmen.

2. In Fällen des § 14 Absatz 5 ist Tabelle 1 nicht anzuwenden, soweit sich **Wärmeverteilungsleitungen** nach den Zeilen 1 bis 4 in beheizten



Räumen oder in Bauteilen zwischen beheizten Räumen eines Nutzers befinden und ihre Wärmeabgabe durch freiliegende Absperreinrichtungen beeinflusst werden kann. In Fällen des § 14 Absatz 4 ist Tabelle 1 nicht anzuwenden auf Warmwasserleitungen **bis zu einem Wasserinhalt von 3 Litern**, die weder in den Zirkulationskreislauf einbezogen noch mit elektrischer Begleitheizung ausgestattet sind (Stichleitungen) **und sich in beheizten Räumen befinden**.

3. Bei Materialien mit anderen Wärmeleitfähigkeiten als $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ sind die Mindestdicken der Dämmschichten entsprechend umzurechnen. Für die Umrechnung und die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials sind die in anerkannten Regeln der Technik enthaltenen Berechnungsverfahren und Rechenwerte zu verwenden.
4. Bei Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen dürfen die Mindestdicken der Dämmschichten nach Tabelle 1 insoweit vermindert werden, als eine gleichwertige Begrenzung der Wärmeabgabe oder der Wärmeaufnahme auch bei anderen Rohrdämmstoffanordnungen und unter Berücksichtigung der Dämmwirkung der Leitungswände sichergestellt ist.



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

