

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming

Eindrapport

Referentienummer 93-099
Dossiernummer 112325-24104
Datum maart 1993
NP

Auteur
P.J. Collet

Trefwoorden

- kantoorgebouwen
- air-conditioning
- stadsverwarming
- warmte/krachtkoppeling
- koude-opslag
- warmte-opslag
- warmtepompen
- absorptiekoeling
- compressiekoeling
- collectieve koeling
- energie
- kosten
- milieu

Bestemd voor
NOVEM BV, Sittard
project no. 92/EO767/221242/01/01

Samenvatting

De inhoud van dit rapport betreft een studie naar de effecten van gecombineerde koude- en warmte-opslag op de kosten, het energieverbruik, het CFK-gebruik en de NO_x- en CO₂-emissies die zijn verbonden aan de koudevoorziening van kantoorgebouwen die zijn aangesloten op stadsverwarming. Dit betreft stadsverwarming met warmteproductie op basis van warmte/krachtkoppeling, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen grootschalige STEG W/K-centrales en wat kleinschaliger (maar toch nog centrale) gasmotor W/K-installaties.

Met gecombineerde koude- en warmte-opslag wordt in dit verband bedoeld op het gebruik van eenzelfde opslagreservoir voor zowel koude-opslag in de zomer als warmte-opslag in de winter.

Afhankelijk van de beschouwde koude- of warmte-opwekkingsinstallaties zijn de voordelen van opslag met name een gevolg van piekscheren en belastingverschuiving. Dit geldt voor zowel koude-opwekking (kleinere en daardoor goedkopere koelmachines, verlaging van elektriciteitskosten bij compressiekoeling) als warmte-opwekking (hogere baten van elektriciteitsopwekking bij warmte/krachtkoppeling, hogere energierendementen, verminderd bedrijf van pieklastketels en lagere onderhoudskosten als gevolg van het vermijden van deellastbedrijf).

Belangrijk voor het beoordelen van de mérites van gecombineerde koude- en warmte-opslag is het systeem van koudevoorziening waarbij koude-opslag wordt toegepast. Dit betreft met name de keuze tussen compressiekoeling en absorptiekoeling en tussen koude-opwekking per gebouw en collectieve koudevoorziening. De (verwachte) voordelen van absorptiekoeling betreffen (naast een vermindering van het gebruik van CFK's) met name brandstofbesparingen en emissiereducties wanneer de aandrijfwarmte wordt verkregen op basis van warmte/krachtkoppeling. De voordelen van collectieve koudevoorziening ten opzichte van koude-opwekking per gebouw betreffen naast additionele energiebesparingen en emissiereducties, ook kostenvoordelen waarvan door gecombineerde koude- en warmte-opslag in versterkte mate wordt bijgedragen.

Ter beperking van de omvang van deze studie is uitgegaan van een referentiesituatie waarbij de betreffende warmte/krachtinstallaties reeds van warmtebuffers zijn voorzien. Hierdoor hoeft niet diepgaand te worden ingegaan op aspecten die als motivatie dienen voor de toepassing van warmtebuffering, een in de praktijk al min of meer geaccepteerde techniek. Overeenkomstig deze opzet zijn de kwantitatieve vergelijkingen van kosten, energieverbruik en emissies betrokken op uitsluitend koudevoorziening. Kostenvoordelen als gevolg van het gebruik van een koudebuffer voor warmte-opslag doeleinden worden hierbij in mindering gebracht op de kosten van koudevoorziening. Bij collectieve koudevoorziening betreft dit een vergoeding die wordt gerelateerd aan de vermeden kosten van een separate warmtebuffer. Bij koude-opwekking per gebouw komt deze vergoeding overeen met een reductie op de (eenmalige) aansluitkosten op het stadsverwarmingsnet (overeenkomstig de door warmte-opslag verkregen verlaging van het warmte-aansluitvermogen).

Er is verder gekozen voor een evaluatiemethodiek waarbij rekening wordt gehouden met (grote) onzekerheden die er bestaan ten aanzien van uitgangsgegevens die voor

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

toepassingen in de praktijk als representatief zijn te beschouwen. Deze onzekerheden betreffen met name de kosten van koelmachines, buffers en koudedistributiesystemen, maar hiernaast ook energietarieven (met name warmtetarieven) en belastingpatronen en de hieruit af te leiden installatiecapaciteiten. Rekening houdend met deze onzekerheden, is de evaluatiemethodiek afgestemd op het op inzichtelijke wijze trekken van conclusies die ook bij een eventuele aanpassing van uitgangsgegevens houdbaar blijven.

In dit verband is veel aandacht besteed aan het motiveren van de keuze van de uitgangsgegevens (bijlagen 1 en 2) en aan het weergeven van de uitgevoerde berekeningen (bijlagen 3 en 4) en de hieruit verkregen resultaten (bijlage 5). Dit betreft berekeningen in het kader van kwantitatieve vergelijkingen die zijn gericht op specifieke aspecten van koude- en warmte-opslag in relatie tot de betreffende koude- en warmtevoorzieningstechnieken. Als achtergrond voor deze kwantitatieve evaluatie is in bijlage 6 een meer algemene beschouwing gegeven over (alle) hierbij betrokken aspecten.

Op grond van de op deze wijze verkregen vergelijkingsuitkomsten zijn de volgende conclusies te trekken.

- De voordelen van gecombineerde koude- en warmte-opslag zijn het duidelijkst aanwezig in die gevallen waarbij de koelbehoefte relatief groot is. Dit impliceert in het algemeen collectieve koudevoorziening, waarbij de kosten van het koudedistributiesysteem uiteraard niet te hoog mogen zijn.
- Collectieve koudevoorziening met compressiekoeling is in economisch opzicht te prefereren boven absorptiekoeling. Ook voor wat betreft energiebesparingen en emissiereducties (betrokken op uitsluitend koude-opwekking) kan compressiekoeling onder bepaalde omstandigheden gunstiger zijn dan absorptiekoeling.
- Hoewel nog niet gekwantificeerd in het kader van deze studie, worden belangrijke additionele voordelen verwacht bij inzet van centrale koelmachines (met name compressiekoelmachines) als warmtepompen voor (aanvullende) warmtevoorziening. Dit betreft met name additionele brandstofbesparingen en milieuvoordelen in een (toekomstige) situatie, waarbij het warmte/kracht potentieel uit hoofde van een beperkte elektriciteitsvraag, niet toereikend is om in de totale warmtebehoefte te voorzien.
- Toepassing van gecombineerde koude- en warmte-opslag bij koude-opwekking per gebouw (met een vloeroppervlak kleiner dan 10000 m²) is in de Nederlandse situatie economisch onaantrekkelijk. Dit geldt in (zeer) versterkte mate bij toepassing van absorptie- in plaats van compressiekoeling, met name als gevolg van hoge investeringen bij een lage aandrijftemperatuur van 88 °C. Naast een te hoge terugverdiensijd voor de eigenaar/gebruiker van het kantoorgebouw, is bovendien sprake van een forse inkomstenderving voor het energiedistributiebedrijf (op de in- en verkoop van elektriciteit en warmte).

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Mede naar aanleiding van deze conclusies worden een aantal aanbevelingen gedaan voor de uitvoering van vervolgonderzoek. Dit betreft met name:

- een nadere bevestiging van bovenstaande conclusies door een verdere toetsing van uitgangsgegevens;
- een studie naar de effecten van warmtepompbedrijf voor aanvullende warmtevoorziening;
- een marktstudie betreffende de mogelijkheden voor collectieve koudevoorziening in Nederland;
- oriënterende studie(s) gericht op het selecteren van veelbelovende (nieuwe) apparatuurontwikkelingen (betreffende bijvoorbeeld ijsslurry-opslag);
- voorbereiding van een demonstratieproject, betreffende bijvoorbeeld gecombineerde koude- en warmte-opslag in het kader van collectieve koudevoorziening.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	6
2	Opzet en methodiek van de kwantitatieve evaluatie	9
2.1	Definitie van vergelijkingsgevallen	9
2.2	Evaluatiemethodiek	11
2.2.1	Kostenvergelijkingen	11
2.2.2	Energie- en emissievergelijkingen	13
3	Vergelijksuitkomsten	15
3.1	Optimale methode van koudevoorziening	15
3.2	Effect van herkomst aandrijfwarmte voor absorptiekoeling	19
3.3	Effect van gecombineerde koude- en warmte-opslag	20
4	Conclusies en aanbevelingen	22
4.1	Conclusies	22
4.2	Aanbevelingen	22
5	Literatuur	25
6	Verantwoording	27
<i>Bijlage 1</i>	<i>Gegevens voor de evaluatieberekeningen (met 4 figuren)</i>	
<i>Bijlage 2</i>	<i>Warmte- en koudebehoeften kantoorgebouw (bijdrage Tebodin)</i>	
<i>Bijlage 3</i>	<i>Energie- en emissieberekeningen</i>	
<i>Bijlage 4</i>	<i>Kostenberekeningen</i>	
<i>Bijlage 5</i>	<i>Overzicht van berekeningsuitkomsten</i>	
<i>Bijlage 6</i>	<i>Algemene beschouwing over korte-termijn koude- en warmte-opslag in het kader van energievoorzieningstechnieken.</i>	

1 Inleiding

De toepassing van korte-termijn warmte- of koude-opslag heeft meestal als belangrijkste doelstelling het verlagen van de kosten van warmte- of koudevoorziening. Hoewel minder evident, lijkt het ook mogelijk om hiermee (significante) energiebesparingen en milieuverbeteringen te verkrijgen.

– Kostenvoordelen –

De voordelen van warmte- en koude-opslag zijn met name een gevolg van 'piekscheren' en 'belastingverschuiving'. Dit zijn verschillende benamingen voor in feite dezelfde verandering in de bedrijfswijze van de opwekkingsinstallatie. Gedurende perioden met een lage vraag wordt extra warmte- of koude geproduceerd die (via opslag) beschikbaar is voor gebruik gedurende perioden met een hoge vraag.

Piekscheren houdt in dat het bedrijf van de warmte- of koude-opwekkingsinstallatie over een etmaal wordt 'uitgesmeerd'. Hierdoor kan worden volstaan met een kleiner opwekkingsvermogen, met als gevolg een verlaging van de kosten van de opwekkingsinstallatie.

Belastingverschuiving houdt in dat het bedrijf van de warmte- of koude-opwekkingsinstallatie (gedeeltelijk) wordt verschoven naar uren waarin de economische randvoorwaarden gunstiger zijn. Dit is met name van voordeel bij processen waarmee elektriciteit wordt geconsumeerd (elektrische koelmachines of warmtepompen) of geproduceerd (warmte/krachtkoppeling). In het algemeen is het elektriciteitsstarief overdag hoger dan 's nachts en in de weekends. Voor elektrische koelmachines is het dan van voordeel dat het bedrijf zoveel mogelijk 's nachts plaatsvindt. Voor warmte/krachtkoppeling geldt het omgekeerde.

Tegenover deze kostenvoordelen voor het opwekkingsproces staat uiteraard als na-deel de additionele kosten van een opslagreservoir met toebehoren.

– Energiebesparingen en milieuvoordelen –

Ten aanzien van de mogelijkheden om met korte-termijn opslag energiebesparingen en milieuvoordelen te verkrijgen, wordt een onderscheid gemaakt tussen directe- en indirecte effecten.

Tot de directe effecten behoort bijvoorbeeld de verbetering van het gemiddelde energieconversierendement als gevolg van het vermijden van deellastbedrijf van het betreffende warmte- of koudeproductie proces. Ook kan door belastingverschuiving worden bereikt dat meer elektriciteit wordt afgenomen van hoge-rendementscentrales en minder van lage(re)-rendements (pieklust-)centrales.

Van indirecte effecten is sprake wanneer de kostenvoordelen van opslag de toepassing van energiebesparende en/of milieuverbeterende processen financieel over de streep trekken. Hierbij wordt met name gedacht aan de toepassing van absorptiekoeling in combinatie met warmte/krachtkoppeling en aan elektrische warmtepompen die voor zowel warmte- als koude-opwekking worden ingezet.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

De inhoud van dit rapport betreft een studie naar het potentiële belang van kortetermijnopslag voor de warmte- en koudevoorziening van kantoorgebouwen met volledige air-conditioning. Dit betreft met name gebouwen die zijn aangesloten op stadsverwarming met warmte-opwekking op basis van warmte/krachtkoppeling. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen grootschalige STEG W/K-centrales en wat kleinschaliger gasmotor W/K-installaties.

De studie is vooral gericht op de toepassingsmogelijkheden van opslagreservoirs die worden benut voor zowel koude-opslag in de zomer als warmte-opslag in de winter. Hiermee wordt beoogd een belangrijk deel van de opslagkosten af te schrijven op zowel warmte- als koudevoorziening.

Belangrijk voor een beoordeling van de mérites van gecombineerde koude- en warmte-opslag is echter het systeem van koudevoorziening waarvan koude-opslag onderdeel vormt. Dit betreft met name de keuze tussen compressiekoeling en absorptiekoeling en tussen koude-opwekking per gebouw en collectieve koudevoorziening. De belangrijkste overweging om voor absorptiekoeling te kiezen is de mogelijkheid om hiermee energiebesparingen en milieuverbeteringen te bevorderen (wanneer de benodigde aandrijfwarmte wordt geproduceerd op basis van warmte/krachtkoppeling). Door over te gaan op collectieve koudevoorziening zijn (extra) energiebesparingen en milieuvoordelen te verkrijgen. Bovendien kunnen de (kosten-)voordelen van gecombineerde koude- en warmte-opslag hierdoor in versterkte mate tot uitdrukking komen.

Door het mede in beschouwing nemen van deze techniekveranderingen ontstaat echter gemakkelijk een situatie waarbij men door de bomen het bos niet meer ziet. Om dit te vermijden is een algemene beschouwing over koude- en warmte-opslag in relatie tot genoemde koude- en warmtevoorzieningstechnieken gedelegeerd naar bijlage 6. Deze beschouwing heeft tot doel inzicht te geven in (alle) aspecten die hierbij een rol kunnen spelen, zonder dat het echter de bedoeling is dat ook alle hiermee samenhangende effecten kwantitatief worden geëvalueerd. Wat wél kwantitatief wordt geëvalueerd (om tot gefundeerde conclusies te komen) blijkt uit de inhoud van de volgende hoofdstukken.

Hoofdstuk 2 betreft een beschrijving van de opzet en de evaluatiemethodiek voor de uitvoering van de kwantitatieve vergelijkingen. Dit betreft een bepaling van het effect van koude- en warmte-opslag (in relatie tot genoemde koudevoorzieningsmethoden) op de kosten, het primaire energieverbruik en de emissies van (uitsluitend) koudevoorziening. Ter beperking van de omvang van deze studie wordt er van uitgegaan dat in de referentiesituatie de betreffende warmte/krachtinstallaties reeds met warmtebuffers zijn uitgevoerd. Hierdoor hoeft niet diepgaand te worden ingegaan op de aspecten die als motivatie dienen voor de toepassing van warmte-opslag, een in de praktijk al min of meer geaccepteerde techniek. Overeenkomstig deze opzet worden kostenvoordelen als gevolg van het gebruik van een koudebuffer voor warmte-opslag doeleinden in mindering gebracht op de kosten van koudevoorziening. Bij collectieve koudevoorziening betreft dit een vergoeding die wordt gerelateerd aan de vermeden kosten van een separate warmtebuffer. Bij koude-opwekking per gebouw komt deze vergoeding overeen met een reductie op de (eenmalige) aansluitkosten op het stadsverwarmingsnet (overeenkomstig de door warmte-opslag verkregen verlaging van het warmte-aansluitvermogen).

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

In bijlage 1 zijn de voor deze kwantitatieve evaluatie aangehouden uitgangsgegevens nader gemotiveerd en omschreven. De gegevens betreffende de warmte- en koude-behoeften van kantoorgebouwen zijn hierin ontleend aan de uitkomsten van berekeningen die door Tebodin zijn uitgevoerd (bijlage 2) en waarbij gebruik is gemaakt van weersgegevens die door TNO Bouw zijn aangeleverd. In de bijlagen 3 en 4 zijn de energie- en kostenberekeningen weergegeven. Bijlage 5 geeft een totaal overzicht van de verkregen berekeningsuitkomsten.

In hoofdstuk 3 worden aan de hand van geselecteerde berekeningsuitkomsten de vergelijkingsuitkomsten besproken. Hoofdstuk 4 bevat de hieruit resulterende (hoofd)-conclusies en worden aanbevelingen gedaan voor de uitvoering van vervolgonderzoek.

2 Opzet en methodiek van de kwantitatieve evaluatie

De opzet en de methodiek van de kwantitatieve evaluatie worden in dit hoofdstuk op beknopte wijze beschreven. Dit betreft een definitie van de onderscheiden vergelijkingsgevallen en een toelichting op de gekozen evaluatie- en berekeningsmethodieken. Voor een nadere onderbouwing van het gestelde in dit hoofdstuk wordt verwezen naar de bijlagen.

2.1 Definitie van vergelijkingsgevallen

De kwantitatieve evaluatie betreft een bepaling van de kosten, het brandstofverbruik en de emissies (CO_2 en NO_x) die zijn verbonden aan de koudevoorziening van (referentie-)kantoorgebouwen die zijn aangesloten op stadsverwarming. Meer in het bijzonder gaat het hierbij om de besparingen (of meerwaarden) ten opzichte van een referentiesysteem van koudevoorziening.

Het referentie-kantoorgebouw heeft een bruto vloeroppervlak van circa 10000 m² en is goed geïsoleerd.

Het referentiesysteem van koudevoorziening omvat een elektrisch aangedreven compressiekoelmachine zonder koude-opslag, die in eigendom en beheer is van de eigenaar of gebruiker van het kantoorgebouw. Het elektriciteitsverbruik voor koude-opwekking wordt afgerekend tegen een typisch grootverbruikerstarief.

De elektriciteit wordt geleverd door een energiedistributiebedrijf dat tevens het stadsverwarmingssysteem in eigendom en beheer heeft. De geleverde warmte wordt geproduceerd door warmte/krachtkoppeling, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen twee mogelijkheden.

- Warmteproductie door een STEG W/K-centrale die wordt geëxploiteerd door een elektriciteitsproducent die warmte levert aan het energiedistributiebedrijf.
- Warmteproductie door een centrale gasmotor W/K-installatie die door het energiedistributiebedrijf wordt geëxploiteerd.

Hierbij wordt verondersteld dat in beide gevallen de toepassing van een warmtebuffer economisch verantwoord is. In het geval van de gasmotor W/K-installatie heeft de warmtebuffer dezelfde lokatie als de opwekkingsinstallatie. In het geval van de STEG W/K-centrale wordt verondersteld dat de buffercapaciteit voor een deel bij de STEG W/K-centrale staat opgesteld en voor een deel is gedistribueerd over een aantal lokaties binnen het verzorgingsgebied. Deze decentralisatie heeft tot gevolg dat de kosten per m³ buffervolume omhoog gaan, maar hier staat tegenover dat het hulpketelvermogen en de diameters van de transportleidingen kunnen worden verminderd.

Ten opzichte van de op deze wijze gedefinieerde referentiesituatie(s) worden een aantal variantmethoden van koudevoorziening geëvalueerd.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Hierbij wordt een hoofdonderscheid gemaakt tussen (handhaving van) koude-opwekking per gebouw en het overgaan op collectieve koudevoorziening. In het laatste geval wordt verondersteld dat het verzorgingsgebied van de centrale koude-opwekkingsinstallatie 10 referentiegebouwen omvat (dus een totaal van 100000 m² vloeroppervlak)

Voor ieder van deze twee mogelijkheden worden de volgende variantsystemen van koudeproductie onderscheiden.

- compressiekoeling zonder koudeopslag;
- compressiekoeling met separate koude-opslag;
- compressiekoeling met (gecombineerde) koude- en warmte-opslag;
- absorptiekoeling zonder koude-opslag;
- absorptiekoeling met separate koude-opslag;
- absorptiekoeling met (gecombineerde) koude- en warmte-opslag.

Compressiekoeling zonder koude-opslag vertegenwoordigt alleen bij collectieve koudevoorziening een variantsysteem. Bij koude-opwekking per gebouw vertegenwoordigt deze techniek het referentiesysteem.

Verder worden ten aanzien van de lokatie van de buffers en de centrale koude-opwekkingsinstallatie de volgende veronderstellingen gemaakt.

Bij koude-opwekking per gebouw is de buffer opgesteld in of bij het betreffende kantoorgebouw. Gebruikmaking van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden impliceert in dit geval een vermindering van het aansluitvermogen op het stadsverwarmingsnet.

Bij collectieve koudevoorziening en stadsverwarming met gasmotor W/K-installatie, wordt verondersteld dat de centrale koude-opwekkingsinstallatie (met eventuele koudebuffer) dezelfde lokatie heeft als het W/K-station. Dit betekent dat bij gebruikmaking van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden, de separate warmtebuffer van de W/K-installatie kan worden geëlimineerd.

Bij collectieve koudevoorziening en stadsverwarming met warmte afkomstig van een STEG W/K-centrale, wordt uitgegaan van een opstelling van de centrale koude-opwekkingsinstallatie (met eventuele koudebuffer) ter plaatse van één van de decentrale warmtebuffers van het stadsverwarmingssysteem. Ook in dit geval betekent gebruikmaking van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden dat de separate warmtebuffer kan worden geëlimineerd. Eenvoudigheidshalve wordt voor evaluatiedoeleinden verondersteld dat de lokatie en de capaciteit van de buffer dezelfde is als bij stadsverwarming met gasmotor W/K-installatie.

Hoewel slechts van indirect belang voor de kwantitatieve vergelijkingen wordt verder verondersteld dat het voorzieningsgebied van het centrale koude- en warmte-opwek-

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

kings-/distributiestation aanzienlijk meer warmte- dan koude-afnemers telt en dat dit behalve kantoren ook woningen betreft. Dit laatste heeft tot consequentie dat de bedrijfstijd van de warmte-afname aanzienlijk hoger zal zijn dan voor de betreffende kantoorgebouwen alleen. Dit aspect is van belang bij een eventueel gebruik van een centrale koelmachine als warmtepomp voor warmtevoorzieningsdoeleinden.

Tenslotte wordt in het kader van de toepassing van absorptiekoeling uitgegaan van een aandrijftemperatuur die bij koude-opwekking per gebouw lager is dan bij collectieve koudevoorziening (88 °C in vergelijking met 110 °C). De lagere temperatuur bij koude-opwekking per gebouw wordt noodzakelijk geacht om de energiebesparingen en emissiereducties van absorptiekoeling niet verloren te doen gaan door een verhoging van de aanvoertemperatuur van het warmtedistributienet. Dit heeft echter wel tot gevolg dat de investeringen voor de absorptiekoelmachine belangrijk hoger zijn dan bij de hogere aandrijftemperatuur in het geval van collectieve koudevoorziening. Een dergelijke temperatuurverhoging hoeft niet noodzakelijkerwijs nadelig te zijn. Dit is zonder meer duidelijk in het geval van warmteproductie door een gasmotor W/K-installatie die naast de absorptiekoelmachine is opgesteld. Of dit ook het geval is bij warmtelevering door een STEG W/K-centrale, is echter nog de vraag. Hierbij wordt gedacht aan de mogelijkheid van een periodieke verhoging van de aanvoertemperatuur in de transportleidingen (met name in gevallen met koude-opslag, waardoor de duur van deze perioden kan worden beperkt).

2.2 Evaluatiemethodiek

2.2.1 Kostenvergelijkingen

De gekozen methodiek voor het maken van kostenvergelijkingen is afgestemd op het duidelijk aangeven van de relatie tussen de (veronderstelde) uitgangsgeschiedenis en de berekeningsuitkomsten die dienen ter onderbouwing van de conclusies van deze studie.

Dit hangt samen met de onzekerheid die er bestaat ten aanzien van waarden van de uitgangsgeschiedenis die als typerend voor toepassingen in de praktijk kunnen worden beschouwd.

Deze onzekerheid geldt met name de investeringen voor koelmachines en buffers. Uit figuur 3 van bijlage 1 blijkt dat voor koelmachines de investeringsopgaven uit verschillende literatuurbronnen een factor 2 à 3 uit elkaar kunnen liggen. Ook over de investeringen voor buffers bestaat onzekerheid, vooral ten aanzien van de kleinere buffervolumes bij koude-opwekking per gebouw. In dit verband is het ook onduidelijk welk kostenvoordeel moet worden toegekend aan het gebruik van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden en welke kosten voor aanpassing van de buffer hiermee gemoeid zijn. Tenslotte is het voor de economische haalbaarheid van opslagsystemen van belang om vast te stellen welke relatie bestaat tussen een gegeven verlaging van het maximaal benodigde koude- of warmtevermogen en de hiervoor benodigde opslagcapaciteit. Dit dient te worden afgeleid uit de koude- en warmtebelastingpatronen op de heetste respectievelijk koudste dag van het jaar. Uit de in bijlage 1.1 gegeven toelichting op de uitgangsgeschiedenis blijkt dat over de hiervoor gehanteerde belastingpatronen nog duidelijk vragen kunnen worden gesteld.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Rekening houdend met deze onzekerheden is gekozen voor een evaluatiemethodiek die in het volgende puntsgewijs is omschreven.

- De voor vergelijkingsdoeleinden te gebruiken berekeningsuitkomsten betreffen de kosten van uitsluitend koudevoorziening. Hierbij gaat het met name om investerings- en energiekostenverschillen ten opzichte van het referentiesysteem. De waarden worden opgegeven per m² vloeroppervlak van het referentie kantoorgebouw.
- Bij koude-opwekking per gebouw gaat het om de kosten voor de eigenaar of gebruiker van het kantoorgebouw. Omdat kostenvoordelen in bepaalde gevallen gepaard gaan met inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf, worden ook deze inkomstendervingen opgegeven.
- Bij collectieve koudevoorziening wordt uitgegaan van exploitatie door het energiedistributiebedrijf (dat tevens elektriciteit en warmte levert). Uit vergelijkingsoverwegingen wordt ook hier een opgave gedaan van inkomstendervingen uit de in- en verkoop van elektriciteit. In feite dient deze inkomstenderving echter te worden verrekend met de berekende besparing op de energiekosten voor koudevoorziening. Deze 'besparing' betreft het verschil met de elektriciteitskosten voor de koudegebruiker in de referentiesituatie.
- De investeringsberekeningen worden uitgevoerd voor een 'laag' en een 'hoog' niveau van de koelmachinekosten.
- Het 'lage' niveau van de absorptiekoelmachines is bij koude-opwekking per gebouw betrokken op een aandrijftemperatuur van 88 °C en bij collectieve koudevoorziening op een aandrijftemperatuur van 110 °C.
- Bij gebruik van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden wordt een zogenaamde warmte-opslagvergoeding in mindering gebracht op de kosten van koudevoorziening. Bij koude-opwekking per gebouw wordt dit bepaald door de verlaging van het warmte-aansluitvermogen af te rekenen tegen (eenmalige) aansluitkosten van 80 f/kW_e. Bij collectieve koudevoorziening wordt de warmte-opslagvergoeding gelijk gesteld aan 70% van de investering van een separate koudebuffer (er wordt rekening gehouden met mogelijke nadelen die zijn verbonden aan het niet beschikbaar zijn van warmtebuffercapaciteit in de zomer). In beide gevallen wordt voor de aanpassing van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden een toeslag van 20% op de investering van een separate koudebuffer in rekening gebracht.
- De kosten van elektriciteit voor compressiekoeling worden bij koude-opwekking per gebouw bepaald op basis van een typisch grootverbruikerstarief. De kosten van elektriciteit bij collectieve koudevoorziening worden bepaald op basis van de kosten die door de SEP in rekening worden gebracht aan het energiedistributiebedrijf. Hierbij wordt verondersteld dat de vermogensafname ten behoeve van koeling niet kan samenvallen met de landelijke verrekeningspieken en dat daarom de elektriciteitskosten uitsluitend worden bepaald door de brandstofkosten per kWh_e.

- De kosten van warmte voor absorptiekoeling zijn ‘minimum’ kosten die uitsluitend de marginale warmteproductiekosten betreft. De verkoop van deze warmte levert onder deze omstandigheden dus geen voordeel op voor het energiedistributiebedrijf.
- Verschillen in onderhoudskosten worden buiten beschouwing gelaten.

Voor wat betreft de overige kenmerken van de (kosten)evaluatiemethodiek wordt verwezen naar de inhoud van de bijlagen 1 en 3.

2.2.2 Energie- en emissievergelijkingen

Evenals voor de kostenvergelijkingen wordt ook de evaluatiemethodiek voor de energie- en emissievergelijkingen puntsgewijs beschreven.

- De berekeningsuitkomsten betreffen het primaire energieverbruik en de emissies (CO_2 en NO_x) voor uitsluitend koudevoorziening. Hierbij gaat het met name om verschillen ten opzichte van het referentiesysteem van koudevoorziening. Deze verschillen worden aangegeven in zowel energie- of gewichtseenheden per m^2 vloeroppervlak als in percentages van de referentiewaarden.
- Bij compressiekoeling worden de brandstof- en emissiehoeveelheden bepaald op basis van elektriciteitsopwekking door gasgestookte centrales. Voor elektriciteitsproductie overdag wordt hierbij een rendement van 40% en voor elektriciteitsproductie 's nachts een rendement van 50% verondersteld. Deze rendementswaarden zijn betrokken op centraal opwekkingsvermogen dat wordt bij- of afgeschakeld bij incrementele veranderingen in het landelijke belastingniveau. Dezelfde waarden worden aangehouden voor de vergelijkingsgevallen met stadsverwarming op basis van een gasmotor W/K-installatie. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het bedrijf van de W/K-installatie niet wordt beïnvloed door de elektriciteitsbehoefte voor koeling.
- Bij absorptiekoeling wordt een onderscheid gemaakt tussen een aantal mogelijkheden voor wat betreft de herkomst van de hiervoor beschikbare aandrijfwarmte. In ieder van deze gevallen worden waarden vastgesteld van het specifieke brandstofverbruik (in termen van een bijstookfactor) en de specifieke emissies (per GJ warmte). De betreffende warmtebronnen zijn de volgende.
 - Restwarmte uit de rookgassen van een STEG W/K-centrale. De bijstookfactor en de specifieke emissies zijn in dit geval zeer laag, in hoofdzaak overeenkomend met het betreffende elektriciteitsverbruik van de circulatiepompen van het stadsverwarmingssysteem.
 - Condensatiewarmte van de STEG W/K-centrale. De bijstookfactor en de specifieke emissies worden in dit geval afgeleid uit de derving van elektriciteitsproductie als gevolg van een verhoging van de condensatiedruk van de stoomturbine. Bij koude-opwekking per gebouw wordt deze derving gerelateerd aan een warmteleveringstemperatuur van $90\text{ }^\circ\text{C}$ en bij collectieve koudevoorziening aan een warmteleveringstemperatuur van $112\text{ }^\circ\text{C}$.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

- Warmte afkomstig van een gasmotor W/K-installatie. In dit geval worden de 'bijstookfactor' en de specifieke emissies bepaald op basis van een vergelijking tussen de totale elektriciteitsproductie van de gasmotor W/K-installatie en de hierdoor vermeden elektriciteitsproductie door een gasgestookte centrale. Omdat de specifieke NO_x-emissie van een gasmotor hoger is dan van een gasgestookte centrale, leidt dit tot een toename in plaats van een reductie van deze emissies.
In alle gevallen is sprake van warmteproductie gedurende de plateau-uren, hetgeen betekent dat het rendement van de elektriciteitscentrale op 40% wordt gesteld.
- De thermische verliezen van koudebuffers en koudedistributieleidingen worden buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat de uitkomsten van de betreffende koudevoorzieningssystemen enigszins geflatteerd zullen zijn.

3 Vergelijkingsuitkomsten

Het bespreken van de vergelijkingsuitkomsten geschiedt op basis van een beantwoording van een aantal specifieke vraagstellingen. In ieder van deze gevallen wordt ter onderbouwing van de discussie een selectie gemaakt van de hiervoor relevante vergelijkingsuitkomsten. Deze worden ontleend aan een totaaloverzicht van meer gedifferentieerde berekeningsuitkomsten die zijn weergegeven in bijlage 5.

3.1 Optimale methode van koudevoorziening

Dit betreft de vraagstelling wat voor de toepassing van gecombineerde koude- en warmte-opslag de interessantste methode van koudevoorziening vertegenwoordigt.

Hierbij gaat het met name om twee keuzestellingen: tussen koude-opwekking per gebouw en collectieve koudevoorziening en tussen compressiekoeling en absorptiekoeling.

Tabel 1 *Vergelijking van koude-opwekking per gebouw met collectieve koudevoorziening en van compressiekoeling met absorptiekoeling*

Techniekopties met koude- en warmte-opslag	Investeringsverschil f/m^2		Energiekostenverschil $f/m^2.a$	Brandstofbesparing en CO ₂ -reductie	NO _x -reductie
	Hoge koelmachinekosten	Lage koelmachinekosten			
Collectieve koudevoorziening (exploitatie door energiedistributiebedrijf)					
- Compressiekoeling	- 9.8	2.4	- 1.16 (1.12)	27%	27%
- Absorptiekoeling met condensatiewarmte STEG W/K	- 2.6	3.0	- 1.17 (1.12)	20%	20%
Koude-opwekking per gebouw (exploitatie door eigenaar/gebruiker kantoorgebouw)					
- Compressiekoeling	1.8 (5.1)	3.6 (5.1)	- 0.38 (0.38)	8%	8%
- Absorptiekoeling met condensatiewarmte STEG W/K	10.4 (3.9)	18.9 (3.9)	- 1.21 (1.12)	36%	36%

Opmerking: De tussen haakjes geplaatste waarden betreffen inkomstendervingen van het energiedistributiebedrijf (verminderde warmte-aansluitvergoeding en/of op de in- en verkoop van elektriciteit).

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

In tabel 1 zijn de hiervoor relevante vergelijkingsuitkomsten weergegeven. Dit betreft koudevoorzieningsopties die zijn onderscheiden naar koudevoorziening per gebouw of collectieve koudevoorziening en naar compressiekoeling of absorptiekoeling. In alle gevallen is sprake van de toepassing van gecombineerde koude- en warmte-opslag. In het geval van absorptiekoeling is de aandrijfwarmte afkomstig van de condensatiewarmte van een STEG W/K-centrale.

– Kostenvergelijkingen collectieve koudevoorziening –

Uit de opgave van investeringsverschillen in tabel 1 blijken relatief (zeer) gunstige uitkomsten voor collectieve koudevoorziening, tenminste wanneer wordt uitgegaan van investeringen van 8 f/m^2 voor het koudedistributiesysteem. Ter beoordeling van deze veronderstelling kan worden gekeken naar het percentage dat dit bedrag vertegenwoordigt van de investering voor een centrale koelmachine zonder opslag. Bij lage koelmachinekosten is dit circa 100% en bij hoge koelmachinekosten circa 45% van de koelmachineinvestering. Dit laatste is duidelijk hoger dan de 20% à 30% die wordt aangehouden voor berekeningsvoorbeelden in Recknagel [9] (blz. 1644).

Het investeringsvoordeel voor collectieve koudevoorziening is het hoogst bij toepassing van compressiekoeling op het hoge niveau van de koelmachinekosten (investeringsverlaging van 9.8 f/m^2). In dit geval zou bij een investeringsverschil gelijk nul, de investeringsruimte voor het koudedistributiesysteem meer dan tweemaal zo hoog mogen zijn als de veronderstelde waarde. Bij toepassing van absorptiekoeling op het hoge niveau van de koelmachinekosten is het investeringsvoordeel veel lager: 2.6 f/m^2 .

Op basis van het lage niveau van de koelmachinekosten is sprake van een meer- in plaats van een minder-investering. Het verschil tussen deze meerinvestering voor compressiekoeling (2.4 f/m^2) en absorptiekoeling (3 f/m^2) is ook veel kleiner. Om in deze gevallen het verschil ten opzichte van de referentie-investering tot nul terug te brengen, zou de investering voor het koudedistributiesysteem slechts 5.6 f/m^2 respectievelijk 5.0 f/m^2 mogen bedragen.

Hierbij dient overigens te worden opgemerkt dat bovenstaande bedragen gelden ten opzichte van referentie-investeringen die zijn betrokken op de koelmachine voor een kantoorgebouw met een vloeroppervlak van 10000 m^2 . Voor kleinere kantoorgebouwen zijn de referentie-investeringen per m^2 hoger en neemt het investeringsvoordeel (of de investeringsruimte voor het koudedistributiesysteem) hiermee overeenkomstig toe.

Behalve een investeringsverschil is ook sprake van verschillen in de jaarlijkse bedrijfskosten.

Voor wat betreft de energiekosten is in beide gevallen sprake van sterke verlagingen ten opzichte van de energie(= elektriciteits-)kosten voor de koudegebruiker. Voor het energiedistributiebedrijf, als exploitant van de collectieve koudevoorziening, staat hier echter een forse inkomstenderving (op de in- en verkoop van elektriciteit) tegenover. Er kan gemakkelijk worden ingezien dat voor zowel compressiekoeling als absorptiekoeling, de netto uitkomsten van energiekostenverschil en inkomstenderving relatief klein zijn.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Voor wat betreft het totale verschil in de jaarlijkse bedrijfskosten is dan nog geen rekening gehouden met het effect van bijvoorbeeld extra onderhoudskosten voor het opslagsysteem of mogelijk lagere waterkosten voor de koeltoren (bij een lager watertarief). Naar verwachting blijft het dan echter gaan om relatief geringe kostenverschillen.

– Kostenvergelijkingen koude-opwekking per gebouw –

Tegenover de relatief gunstige uitkomsten voor collectieve koudevoorziening staan duidelijk ongunstige uitkomsten voor de kostenvergelijkingen die zijn betrokken zijn op koude-opwekking per gebouw.

Uit de investeringsbedragen in tabel 1 blijkt dat in alle gevallen sprake is van een (forse) meerinvestering. Op het hoge niveau van de koelmachinekosten bedraagt deze meerinvestering 1.8 f/m^2 voor compressiekoeling en 10.4 f/m^2 voor absorptiekoeling. Op het lage niveau van koelmachinekosten gaat het om meerinvesteringen van 3.6 f/m^2 respectievelijk 18.9 f/m^2 . Hierbij is dan al rekening gehouden met investeringsreducties van 5.1 f/m^2 of 3.9 f/m^2 tengevolge van verminderingen van het aansluitvermogen op het stadsverwarmingsnet. Deze laatste kostenbedragen vertegenwoordigen echter inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf, waarbij het zeer de vraag is of overeenkomstige kostenverlagingen hier tegenover kunnen worden gesteld (door bijvoorbeeld een verkleining van leidingdiameters bij een nieuw aan te leggen leidingsysteem).

Opvallend is dat op het lage niveau van de koelmachinekosten de investeringsvergelijking aanzienlijk slechter uitvalt voor absorptiekoeling dan voor compressiekoeling. Dit is een gevolg van de lage aandrijftemperatuur voor absorptiekoeling, hetgeen gepaard gaat met relatief hoge investeringen voor de koelmachine. Dit ondanks het feit dat de betreffende absorptiekoelmachines speciaal voor aandrijving met lage-temperatuurwarmte zijn ontworpen.

Uit de getallen in tabel 1 blijkt echter dat er (voor de gebruiker van het kantoorgebouw) wel apprecieerbare besparingen zijn te verkrijgen op de energiekosten. Bij compressiekoeling is dit $0.38 \text{ f/m}^2 \cdot \text{a}$ en een gevolg van belastingverschuiving bij koude-opslag. Bij absorptiekoeling is sprake van een veel hogere energiekostenbesparing van $1.21 \text{ f/m}^2 \cdot \text{a}$, waarvoor het echter wel nodig is dat de aandrijfwarmte wordt geleverd tegen een marginale kostprijs van 1.6 f/GJ_t . Ondanks de hoge energiekostenbesparing voor de koudegebruiker, zal, wanneer ook rekening wordt gehouden met verhoogde waterkosten voor de koeltoren (voor absorptiekoeling is het waterverbruik ongeveer 2x zo hoog als voor compressiekoeling), de terugverdientijd zeer waarschijnlijk niet beneden de 10 jaren komen. Voor het energiedistributiebedrijf gaat dit dan gepaard met een forse inkomstenderving op de in- en verkoop van elektriciteit (naast de eenmalige inkomstenderving op de warmte-aansluitkosten).

– Brandstofbesparingen en emissiereducties –

Uit tabel 1 blijkt dat de gunstige financiële uitkomsten voor collectieve koudevoorziening met compressiekoeling gepaard gaan met brandstofbesparingen en emissiereducties van 27% ten opzichte van de referentiesituatie. Dit is een gevolg van zowel belastingverschuiving door koude-opslag als de hogere COP van de koelmachine bij collectieve koudevoorziening. Dit percentage is hoger dan de 20% die geldt voor absorptiekoeling met aandrijfwarmte afkomstig van de condensatiewarmte van een

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

STEG W/K-centrale en levering op een temperatuurniveau van 110 °C. Compressiekoeling is op deze basis dus zowel ten aanzien van kosten als ten aanzien van brandstofbesparingen en CO₂- en NO_x-emissiereducties, te prefereren boven absorptiekoeling.

Bij koude-opwekking per gebouw zijn de brandstofbesparingen en emissiereducties bij compressiekoeling beperkt tot slechts 8%. Bij absorptiekoeling ligt dit percentage op 36%. Het verschil met absorptiekoeling bij collectieve koudevoorziening is een gevolg van het lagere temperatuurniveau van de geleverde aandrijfwarmte (88 °C). De verbetering ten opzichte van compressiekoeling bij collectieve koudevoorziening bedraagt echter slechts 8 procentpunten.

Het bovenstaande betreft een beschouwing van energiebesparingen en emissiereducties die uitsluitend zijn betrokken op koudevoorziening.

Een bijdrage tot de energiebesparingen en emissiereducties die mogelijk van aanzienlijk groter belang zou kunnen zijn, betreft het effect van gebruikmaking van koelmachines voor warmteproductie in de winter. Hoewel een kwantitatieve evaluatie van dit aspect buiten het kader van deze studie valt, lijkt het van voldoende belang om hier toch in het kort wat dieper op in te gaan.

Hierbij wordt in de eerste plaats verwezen naar hetgeen hierover al in bijlage 6.1 is vermeld. Hierin wordt opgemerkt dat bij het beoordelen van het effect van gebruikmaking van de koelmachine voor warmte-opwekkingsdoeleinden, rekening dient te worden gehouden met de vooropgestelde aanwezigheid van STEG of gasmotor warmte/krachtinstallaties. Er dient te worden afgevraagd of in deze situatie met warmtepompbedrijf in plaats van warmte/krachtbedrijf, additionele energiebesparingen en emissiereducties zijn te behalen. In de context van deze studie wordt niet verder gegaan dan te suggereren dat deze mogelijkheid wel degelijk aanwezig is. In [10] (met name aan de hand van figuur 17) wordt aangegeven hoe met een elektrisch aangedreven hoge-COP-compressiewarmtepomp energiebesparingen mogelijk zijn die vergelijkbaar of hoger zijn dan met warmtekracht koppeling. Uit een bij TNO nog in uitvoering zijnde studie zal blijken dat dit voordeel nog aanzienlijk kan toenemen wanneer rekening wordt gehouden met het effect van belastingpatronen en hieruit resulterende bedrijfstijden voor warmte/krachtkoppeling ten behoeve van ruimteverwarming. Interessanter is echter een beschouwing in het kader van de energiebesparingsmogelijkheden op lange termijn. Zonder elektrische warmtepompen is de landelijke elektriciteitsbehoefte (veel) te klein om met warmte/krachtkoppeling in de totale ruimteverwarmingsbehoefte te voorzien. In dit licht bezien zouden de additionele energiebesparingsmogelijkheden niet in vergelijking met warmte/krachtkoppeling maar in vergelijking met ketelverwarming dienen te worden beoordeeld.

Het potentiële belang van warmtepompbedrijf kan verder nog worden aangegeven door de bedrijfstijden voor warmte- en voor koude-opwekking te vergelijken. In een situatie met koude-opslag zal bij collectieve koudevoorziening de bedrijfstijd van de koelmachine circa 600 vollasturen per jaar bedragen. Bij de inzet van deze machine voor warmtepompbedrijf, zal wanneer het warmte-afnamegebied ook woningen omvat, de bedrijfstijd voor warmte-opwekking gemakkelijk enkele duizenden vollasturen per jaar kunnen bedragen. Het zal zonder meer duidelijk zijn, dat met name wanneer de brandstofbesparingen worden bepaald ten opzichte van ketelverwarming, deze gemakkelijk een veelvoud kunnen bedragen van de brandstofbesparingen betrokken op uitsluitend koude-opwekking.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Uitgaande van de op deze wijze veronderstelde wenselijkheid van warmtepompbedrijf, is het in het kader van deze studie van belang om aan te geven welke van de beschouwde techniekopties hiervoor de gunstigste perspectieven biedt.

Voor wat betreft de keuze tussen koude-opwekking per gebouw en collectieve koudevoorziening, lijkt de laatste optie duidelijk de voorkeur te verdienen. Een belangrijk argument dat hiervoor pleit, is dat met een collectief systeem niet alleen de warmtebehoefte van de betreffende kantoorgebouwen, maar ook andere aangesloten warmte-afnemers kunnen worden bediend. Wanneer dit ook woningen en gebouwen met een min of meer permanente bezetting betreft, dan zou de bedrijfstijd van het warmtepompbedrijf in aanzienlijke mate kunnen toenemen.

Voor wat betreft de keuze tussen compressie- en absorptiekoeling wordt slechts opgemerkt dat bij absorptiekoeling sprake is van een temperatuursdegradatie van de aandrijfwarmte die de inpassing in wat hogere-temperatuur stadsverwarmingssystemen zou kunnen bemoeilijken. Dit is echter duidelijk een effect dat nog nader dient te worden bestudeerd.

3.2 Effect van herkomst aandrijfwarmte voor absorptiekoeling

Dit betreft de vraag in welke mate de energiekostenverschillen, brandstofbesparingen en emissiereducties van absorptiekoeling afhankelijk zijn van de herkomst van de aandrijfwarmte.

Tabel 2 Vergelijking van de effecten van verschillende warmtebronnen voor absorptiekoeling

	Energiekostenverschil f/m ²	Brandstofbesparing en CO ₂ -reductie	NO _x -reductie
Absorptiekoeling met aandrijfwarmte afkomstig van:			
- Rookgaswarmte STEG W/K	- 1.35 (1.12)	88%	88%
- Condensatiewarmte STEG W/K en koude-opwekking per gebouw (90 °C)	- 1.21 (1.12)	36%	36%
- Condensatiewarmte STEG W/K en collectieve koudevoorziening (112 °C)	- 1.17 (1.12)	20%	20%
- Gasmotor W/K	- 0.89 (1.12)	63%	- 200% (toename!)

Opmerking: De tussen haakjes geplaatste waarden betreffen inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Uit de berekeningsuitkomsten in tabel 2 blijkt dat de voordelen het grootst zijn (88%) wanneer de warmte wordt teruggewonnen uit de restwarmte van de rookgassen van een STEG W/K-centrale. Dit betreft echter een hoeveelheid warmte die relatief klein is ten opzichte van de hoeveelheid condensatiewarmte (naar schatting hooguit 10% of 15%). Om het voordeel van 88% toe te kunnen rekenen aan absorptiekoeling, dient in de betreffende zomerperiode de bestaande warmtebehoefte (voor andere dan koelingsdoeleinden) lager te zijn.

Voor aandrijving met condensatiewarmte van een STEG W/K gelden de eerder genoemde, veel lagere brandstofbesparings- en emissiereductiepercentages. Dit betreft 36% bij koude-opwekking per gebouw (aandrijftemperatuur 88 °C) en 20% bij collectieve koudevoorziening (aandrijftemperatuur 110 °C). Hierbij is er echter wel van uitgegaan dat de gedeelde elektriciteitsproductie als gevolg van een verhoging van de condensatietemperatuur geldt voor een STEG W/K-installatie met een stoomturbine die is ontworpen voor een lage condensatietemperatuur (circa 40 °C). In gevallen waarbij de ontwerptemperatuur hoger is zal de gedeelde elektriciteitsproductie minder zijn, wat impliceert dat de brandstofbesparing als gevolg van absorptiekoeling hoger zal zijn.

Voor wat betreft de energiekostenbesparingen zijn de verschillen tussen de voorgaande vormen van warmteproductie niet groot. Na verrekening van de inkomstenderving voor in- en verkoop van elektriciteit (1.12 f/m².a) is de netto besparing relatief gering (0.23 f/m².a voor rookgaswarmte en 0.09 en 0.05 f/m².a voor condensatiewarmte).

Voor warmte afkomstig van een gasmotor W/K-installatie zijn de brandstofbesparingen en CO₂-emissie reducties relatief hoog (63%), maar is ook sprake van een sterke toename van de NO_x-emissies (200%). Dit laatste ondanks een optimistisch gekozen waarde van 70 g/GJ_b voor de specifieke NO_x-emissie van de gasmotor. Verder zijn de relatief hoge brandstofbesparingen en CO₂-reducties vooral een gevolg van een klein verschil tussen de veronderstelde waarden van het (marginale) referentie rendement van elektriciteitsopwekking overdag (40%) en van het elektrische rendement van de gasmotor W/K-installatie (37%). Bij een verschil van 7 in plaats van 3 procentpunten zouden de brandstofbesparingen en CO₂-reducties afnemen tot slechts 18%.

Er is in dit geval ook sprake van een toename van de energiekosten (netto toename van 0.23 f/m².a), met name als gevolg van de variabele onderhoudskosten voor de gasmotor (zie bijlage 1.3.1).

3.3 Effect van gecombineerde koude- en warmte-opslag

De bespreking van het effect van gecombineerde koude- en warmte-opslag is in hoofdzaak beperkt tot de toepassing bij collectieve koudevoorziening met koude-opwekking op basis van compressiekoeling. Uit het voorgaande wordt afgeleid dat deze methode van koudevoorziening als meestbelovend uit de bus komt.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Tabel 3 Effecten van koude- en warmte-opslag bij collectieve koudevoorziening op basis van compressiekoeling

	Investeringsverschil f/m^2		Brandstof- besparing/ CO ₂ - en NO _x - reducties
	Hoge koel- machinekosten	Lage koel- machinekosten	
Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling			
- zonder koude-opslag	- 6.7	2.1	17%
- met separate koude- opslag	- 7.1	5.1	27%
- met koude- en warmte-opslag	- 9.8	2.4	27%

Uit tabel 3 blijkt dat de combinatie van koude- en warmte-opslag ten opzichte van separate koude-opslag een investeringsvoordeel oplevert van $2.7 f/m^2$.

Bij lage koelmachinekosten betekent dit een verlaging van de meerinvestering van $5.1 f/m^2$ naar $2.4 f/m^2$, maar is toch nog sprake van een geringe meerinvestering ($0.3 f/m^2$) ten opzichte van de collectieve koudevoorziening zonder koude-opslag ($2.1 f/m^2$).

Bij hoge koelmachinekosten blijkt echter ook een duidelijk investeringsvoordeel ten opzichte van collectieve koudevoorziening zonder koude-opslag ($3.1 f/m^2$ als verschil tussen $-6.7 f/m^2$ en $-9.8 f/m^2$). Opgemerkt wordt dat indien bij hoge koelmachinekosten de bufferkosten te optimistisch (dat wil zeggen te laag) zouden zijn ingeschat, het investeringsvoordeel van gecombineerde opslag toeneemt, terwijl toch sprake blijft van een minder-investering ten opzichte van de referentiesituatie.

Ten aanzien van de energiebesparingen en emissiereducties blijkt uit tabel 4 dat van het totale voordeel van 27%, 10 procentpunten zijn te beschouwen als een direct effect van koude-opslag en 17 procentpunten als een gevolg van het overgaan van koude-opwekking per gebouw naar collectieve koudevoorziening (potentieel indirect effect van opslag).

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Benadrukt dient te worden dat de uitkomsten van kwantitatieve vergelijkingen zijn gebaseerd op uitgangsveronderstellingen die nog nader getoetst dienen te worden. Ten aanzien van de volgende conclusies wordt echter verwacht dat deze ook bij eventuele wijzigingen in de gegevensveronderstellingen stand zullen houden.

- **De voordelen van gecombineerde koude- en warmte-opslag zijn het duidelijkst aanwezig in die gevallen waarbij de koelbehoefte relatief groot is. Dit impliceert in het algemeen collectieve koudevoorziening, waarbij de kosten van het koudedistributiesysteem uiteraard niet te hoog mogen zijn.**

Gebruikmaking van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden geeft een investeringsvoordeel van $f\ 2.7$ per m^2 vloeroppervlak. De investeringsvoordelen ten opzichte van installaties zonder koude-opslag zijn voor ieder vergelijkingsgeval echter verschillend. In het geval van collectieve koudevoorziening met compressiekoeling is sprake van een investeringsvoordeel van $3.1\ f/m^2$ bij 'hoge' koelmachinekosten en een investeringsnadeel van $0.3\ f/m^2$ bij 'lage' koelmachinekosten. Ter illustratie van de betekenis van deze bedragen zou een vergelijking kunnen worden gemaakt met een veronderstelde investering van $8\ f/m^2$ voor een koudedistributiesysteem.

- **Collectieve koudevoorziening met compressiekoeling is in economisch opzicht te prefereren boven absorptiekoeling. Ook voor wat betreft energiebesparingen en emissiereducties (betrokken op uitsluitend koude-opwekking) kan compressiekoeling onder bepaalde omstandigheden gunstiger zijn dan absorptiekoeling.**

Het economische voordeel van compressiekoeling betreft met name een hogere investeringsreductie voor collectieve koeling met gecombineerde opslag. Bij 'hoge' koelmachinekosten is sprake van een investeringsreductie van $9.8\ f/m^2$ voor compressiekoeling tegenover $2.6\ f/m^2$ voor absorptiekoeling (bij een aandrijftemperatuur van $110\ ^\circ C$). Verschillen in de jaarlijkse bedrijfskosten zijn van marginale betekenis.

Tegenover brandstofbesparingen en emissiereducties van 27% voor compressiekoeling (waarvan 10 procentpunten als gevolg van belastingverschuiving bij koude-opslag) staan besparingen/reducties die voor absorptiekoeling sterk afhankelijk zijn van de herkomst van de aandrijfwarmte:

- 88% bij terugwinning van restwarmte uit de rookgassen van een STEG W/K-centrale (het is echter de vraag hoe vaak sprake is van een 'overschot' van deze relatief kleine hoeveelheid restwarmte);
- 20% bij benutting van condensatiewarmte van een STEG W/K (hierbij wordt uitgegaan van een condensatietemperatuur van $112\ ^\circ C$ en de aanwezigheid van een voor lage condensatietemperaturen ontworpen stoomturbine);

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

- bij warmte afkomstig van een gasmotor W/K-installatie: 63% brandstofbesparing en CO₂-reductie; de NO_x-emissies nemen echter toe met 200%; bovendien gelden deze waarden voor (zeer) gunstig veronderstelde bedrijfseigenschappen van de gasmotor.

Met betrekking tot de CFK-problematiek is absorptiekoeling duidelijk in het voordeel, tenzij compressiekoeling plaatsvindt met gebruikmaking van een CFK-vervangend koelmedium.

- **Hoewel nog niet gekwantificeerd in het kader van deze studie, worden belangrijke additionele voordelen verwacht bij inzet van centrale koelmachines (met name compressiekoelmachines) als warmtepompen voor (aanvullende) warmtevoorziening.**

Dit betreft met name additionele brandstofbesparingen en milieuvoordelen in een (toekomstige) situatie, waarbij het warmte/krachtpotentieel uit hoofde van een beperkte elektriciteitsvraag, niet toereikend is om in de totale warmtebehoefte te voorzien. In deze situatie kunnen de potentiële brandstofbesparingen en emissiereducties als gevolg van warmtepompbedrijf een veelvoud bedragen van de besparingen/reducties die zijn geassocieerd met koude-opwekking.

- **Toepassing van gecombineerde koude- en warmte-opslag bij koude-opwekking per gebouw (met een vloeroppervlak kleiner dan 10000 m²) is in de Nederlandse situatie economisch onaanvaardbaar.**

Dit geldt in (zeer) versterkte mate bij toepassing van absorptie- in plaats van compressiekoeling, met name als gevolg van hoge investeringen bij een lage aandrijftemperatuur van 88 °C (meerinvesteringen van 10.4 f/m² bij 'lage' en 18.9 f/m² bij 'hoge' koelmachinekosten). Naast een te hoge terugverdientijd voor de eigenaar/gebruiker van het kantoorgebouw (meer dan 10 jaren), is bovendien sprake van forse inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf (3.9 f/m² lagere warmte-aansluitvergoeding en 1.12 f/m².a lagere inkomsten op de in- en verkoop van elektriciteit).

4.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen betreffen met name de uitvoering van de volgende vervolgstudies.

- Aanvullend onderzoek ter nadere bevestiging van de voorgaande conclusies. Dit betreft vooral een toetsing van de veronderstelde kosten van koelmachines, buffers en koudedistributiesystemen.
- Een studie naar de effecten van het gebruikmaken van koelmachines als warmtepompen voor aanvullende warmtevoorziening. Dit geldt met name voor systemen met collectieve koudevoorziening, waarbij een vergelijking dient te worden gemaakt tussen compressie- en absorptiemachines.
- Een marktstudie gericht op het vaststellen van het toepassingspotentieel voor collectieve koudevoorziening in Nederland.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

- Een oriënterende studie naar de voordelen van latente koude-opslag, in het bijzonder op basis van een ijsslurry. Dit omvat mede een bepaling van ijsslurysystemen met de gunstigste toepassingsperspectieven, mede in het kader van het initiëren van veelbelovende nieuwe apparaatontwikkelingen.
- Een (engineering-)studie als voorbereiding tot een demonstratieproject betreffende de collectieve koudevoorziening. Er dient ernstig te worden overwogen om ook uit het oogpunt van brandstofbesparingen en emissiereducties voor compressie- in plaats van absorptiekoeling te kiezen.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

5 **Literatuur**

- [1] Fortuin, J.B., A Darmoutomo, P. Corneth,
De haalbaarheid van aan warmte/kracht-systemen gekoppelde
absorptiekoelinstallaties,
Tebodin rapport, januari 1991.
- [2] Fortuin, J.B., J. van Seeters,
Vervolgonderzoek naar de toepasbaarheid van absorptiekoeling in combinatie
met warmte/krachtkoppeling,
Tebodin rapport no 320089, november 1992.
- [3] Webci en Wubo,
DACE prijzenboekje,
Tebodin, mei 1991.
- [4] Bresser, H, W. van der Veen
Vergelijking van centrale verwarming met stadsverwarming en kleinschalige
warmtekoppeling,
VROM-publicatiereeks lucht nr 94, juli 1991.
- [5] Algemene Energieraad
Advies over energiebesparing bij ruimteverwarming, AER, advies van de
Minister van Economische Zaken, november 1991.
- [6] Anon.,
Cool storage saving money and energy,
EPRI Journal, July/August 1992.
- [7] Energietarieven NV Gemeenschappelijk Energiebedrijf Zuid-Holland West,
9-12-92.
- [8] Wilson, L.V., B. Nugent,
Primary cooling systemes: A comparative analysis,
ASHRAE Journal, January 1993.
- [9] Recknagel, Sprenger, Honmann, Schramek,
Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik,
Oldenbourg, 92/93.
- [10] Collet, P.J.,
Thermodynamische ruimteverwarming in Nederland,
TNO-IMET rapport no 92-425, december 1992.
- [11] Collet, P.J.,
Perspectieven voor korte-termijn koudeopslag,
RCC Koude & Luchtbehandeling, juli/augustus 1991.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

- [12] Collet, P.J.,
Decentrale warmtebuffering,
Symposium 'Technologische ontwikkelingen stadsverwarming', Arnhem,
5 november 1991.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

NOVEM BV, Sittard

....

Namen en functies van de medewerkers

P.J. Collet –stafmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

– Tebodin

– TNO Bouw

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

1 juli 1992 – 1 april 1993

Ondertekening

Goedgekeurd door



P.J. Collet
onderzoekleider



F.M. van Bergen
afdelingshoofd

Bijlage 1 Gegevens voor de evaluatieberekeningen

Inhoudsopgave

- 1.1 Koude- en warmtebehoefte
 - 1.1.1 Inleiding
 - 1.1.2 Koudebehoefte per gebouw
 - 1.1.3 Koudebehoefte bij collectieve koudevoorziening
 - 1.1.4 Warmtebehoefte per gebouw
 - 1.1.5 Warmtebehoefte bij collectieve warmtevoorziening
- 1.2 Rendementen en emissies van elektriciteits- en warmte-opwekking
 - 1.2.1 Rendementen elektriciteitsopwekking
 - 1.2.2 Emissies elektriciteitsopwekking
 - 1.2.3 Specifiek brandstofverbruik warmte-opwekking
 - 1.2.4 Emissies warmte-opwekking
- 1.3 Energieprijzen
 - 1.3.1 Elektriciteitsprijzen
 - 1.3.2 Warmteprijzen
- 1.4 Installatiecapaciteiten
 - 1.4.1 Koelmachines
 - 1.4.2 Buffers
- 1.5 Installatiekosten
 - 1.5.1 Koelmachines
 - 1.5.2 Buffers
 - 1.5.3 Koudedistributiesystemen
 - 1.5.4 Warmte-opslagvergoeding
- 1.6 Bedrijfseigenschappen van installaties
 - 1.6.1 Compressiekoelmachines
 - 1.6.2 Koudebuffers
 - 1.6.3 Koudedistributiesysteem

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

1.1 Koude- en warmtebehoefte

1.1.1 Inleiding

De voor de energiekostenberekeningen gebruikte koude- en warmtebehoeftegegevens zijn voor een belangrijk deel afgeleid uit de resultaten van berekeningen die door Tebodin zijn uitgevoerd. Deze zijn weergegeven in bijlage 2 en betreffen de koude- en warmtebehoefte van een kantoorgebouw met goede isolatie en een bruto vloeroppervlak van 10754 m². De hierbij aangehouden weersgegevens die typerend zijn voor Nederlandse klimaatomstandigheden zijn voor een deel toegeleverd door TNO Bouw.

1.1.2 Koudebehoefte per gebouw

– Zonder koude-opslag –

Uit de gegevens in tabellen 2 en 3 van bijlage 2 zijn de volgende voor de evaluatieberekeningen gebruikte gegevens afgeleid.

Maximale koudebelasting	45 W _k /m ² .a
Som van de maandelijks (koude-)piekbelastingen	264 W _k .mnd/m ²
Jaarlijkse koudebehoefte	0.075 GJ _k /m ² .a (= 2085 kWh _k .a)

De gehele koudebehoefte treedt op gedurende daguren van werkdagen.

– Bij separate koude-opslag –

In figuur 1a is het koudebelastingpatroon weergegeven voor de warmste dag in het jaar (afgeleid uit bijlage 2, tabel 2, maand augustus).

Uit deze figuur blijkt tevens dat voor een reductie van de maximale koudebelasting met 33% (15 W_k/m²), de te bufferen koudehoeveelheid overeenkomt met 4 vollasturen van de belastingreductie.

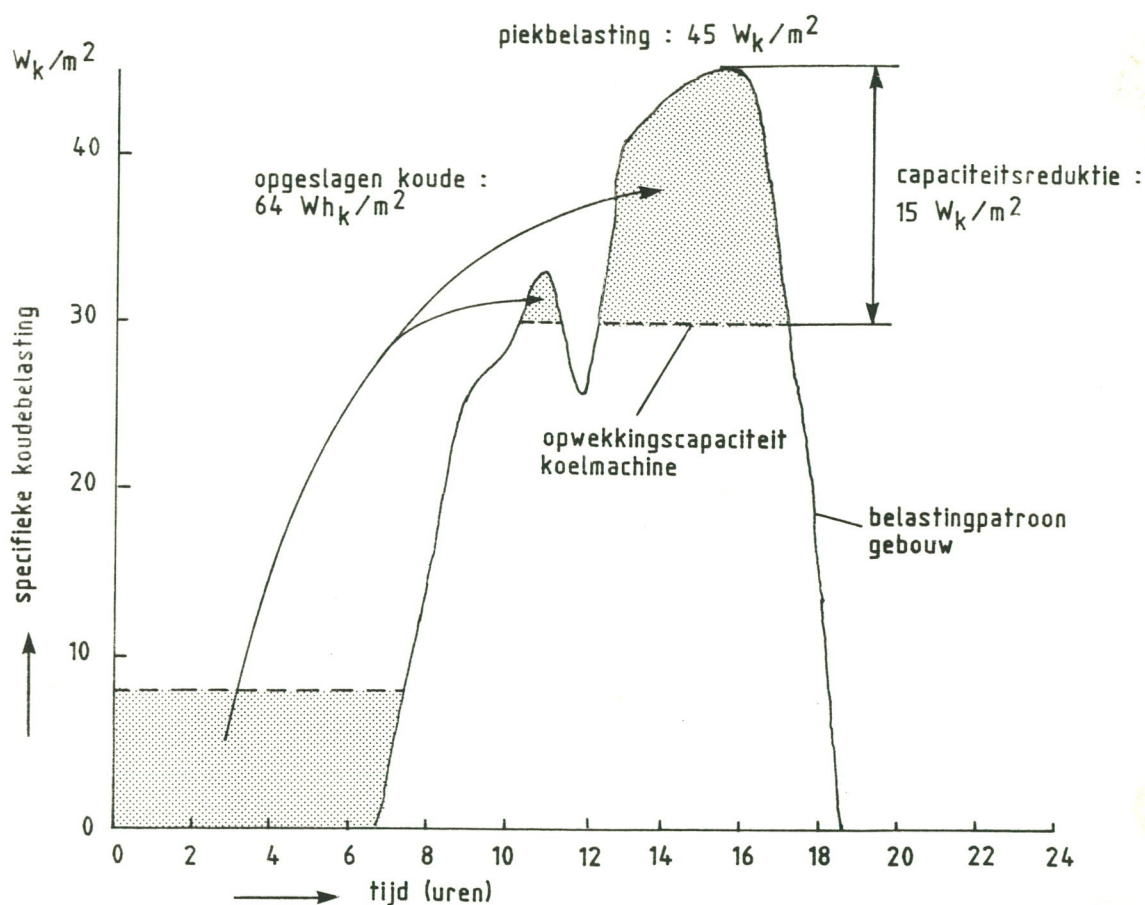
Benodigde koude-opslag:	60 Wh _k /m ²
Maximale koudebelasting: 45 - 15 =	30 W _k /m ²

Voor het bepalen van de mogelijke besparingen op het jaarlijkse energieverbruik en (bij elektrische koelmachines) de elektriciteitskosten, is het verder van belang te weten hoeveel koude via opslag gedurende de nachturen in plaats van de daguren kan worden geproduceerd. Uit de opgaven van de maandelijks koudeverbruiken en de koudebelastingpatronen op gemiddelde dagen van iedere maand (bijlage 2, tabel-

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

len 1 en 3), kan worden afgeleid dat bij een opslaghoeveelheid van 60 Wh_k , circa 40% van de koudeproductie kan plaatsvinden gedurende de nacht- in plaats van de dagen.

Verschuiving koudeproductie van dag naar nacht: $0.4 \times 0.075 = 0.03 \text{ GJ}_k/\text{m}^2 \cdot \text{a}$.



Figuur 1a Dagbelastingpatroon koudebehoefte referentiegebouw (opgave Tebodin, voor heetste dag van een Nederlands referentiejaar)

Voor het bepalen van de jaarlijkse elektriciteitskosten, met name de aan het elektriciteitsbedrijf te betalen vermogensvergoedingen, is het tenslotte van belang te weten wat de som is van de maandelijkse belastingreducties per jaar. Uit de opgaven van de belastingpatronen op de warmste dagen van iedere maand (bijlage 2, tabel 2), kan worden afgeleid dat in ieder van de 7 maanden met een koudebehoefte deze belastingreductie circa $15 \text{ W}_k/\text{m}^2$ bedraagt.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Som van de maandelijkse belastingreducties: $7 \times 15 = 105 \text{ W}_k \cdot \text{mnd}/\text{m}^2$

Som van de maandelijkse piekbelastingen: $266 - 105 = 161 \text{ W}_k \cdot \text{mnd}/\text{m}^2$

– Bij gecombineerde koude- en warmte-opslag –

Wanneer in dit geval wordt verondersteld dat koude-opslag alleen plaatsvindt gedurende de maanden mei tot en met oktober, dan kan uit bijlage 2, tabel 1 worden afgeleid dat de koudehoeveelheid die gedurende de nacht- in plaats van de daguren kan worden geproduceerd met 3% (van de totale koudehoeveelheid wordt verminderd. In het kader van deze studie wordt dit verschil ten opzichte van het voorgaande verwaarloosd.

Het aantal maanden met een belastingreductie wordt verminderd van 7 naar 6.

Som van de maandelijkse (koude-)piekbelastingen: $161 + 15 = 176 \text{ W}_k \cdot \text{mnd}/\text{m}^2$

1.1.3 Koudebehoefte bij collectieve koudevoorziening

– Zonder koude-opslag –

In figuur 1b is een koudebelastingpatroon weergegeven dat qua vorm is ontleend aan een brochure van Tokyo Gas. Dit belastingpatroon geldt voor de maand augustus (vermoedelijk op de warmste dag) en betreft het Shinjuku stadskoelingsproject met een afnamegebied bestaande uit merendeels kantoren, een aantal hotels en mogelijk enkele shopping centres. Dit afnamegebied omvat een totaal vloeroppervlak van 2.200.000 m², dus meer dan 20 maal het oppervlak dat voor deze studie is gekozen.

Hoewel de vorm van dit belastingpatroon geldt voor Japanse weerscondities en bezettingsduren (en ook niet is beperkt tot uitsluitend kantoorgebouwen), wordt het bij gebrek aan beter toch aangehouden voor deze studie.

Voor het maken van een vergelijking met koude-opwekking per gebouw is het van belang om vast te stellen welke gelijktijdigheidsfactor van toepassing is. In Recknagel [9], blz. 1643, wordt voor stadskoeling een gelijktijdigheidsfactor van 0.7 aangegeven. Voor deze evaluatie wordt een waarde van 0.8 gekozen. Deze keuze wordt mede gemotiveerd door een verhouding tussen een hoeveelheid koelenergie (tussen 07.00 en 18.00 uur) en een gesommeerd aansluitvermogen dat dan min of meer gelijk is aan de verhoudingswaarde die geldt voor koude-opwekking per gebouw. De verliezen van het koudedistributiesysteem worden in het kader van deze studie verwaarloosd.

Maximale koudebelasting: $0.8 \times 45 = 36 \text{ W}_k/\text{m}^2$

Jaarlijkse koudebehoefte: $0.075 \text{ GJ}_k/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

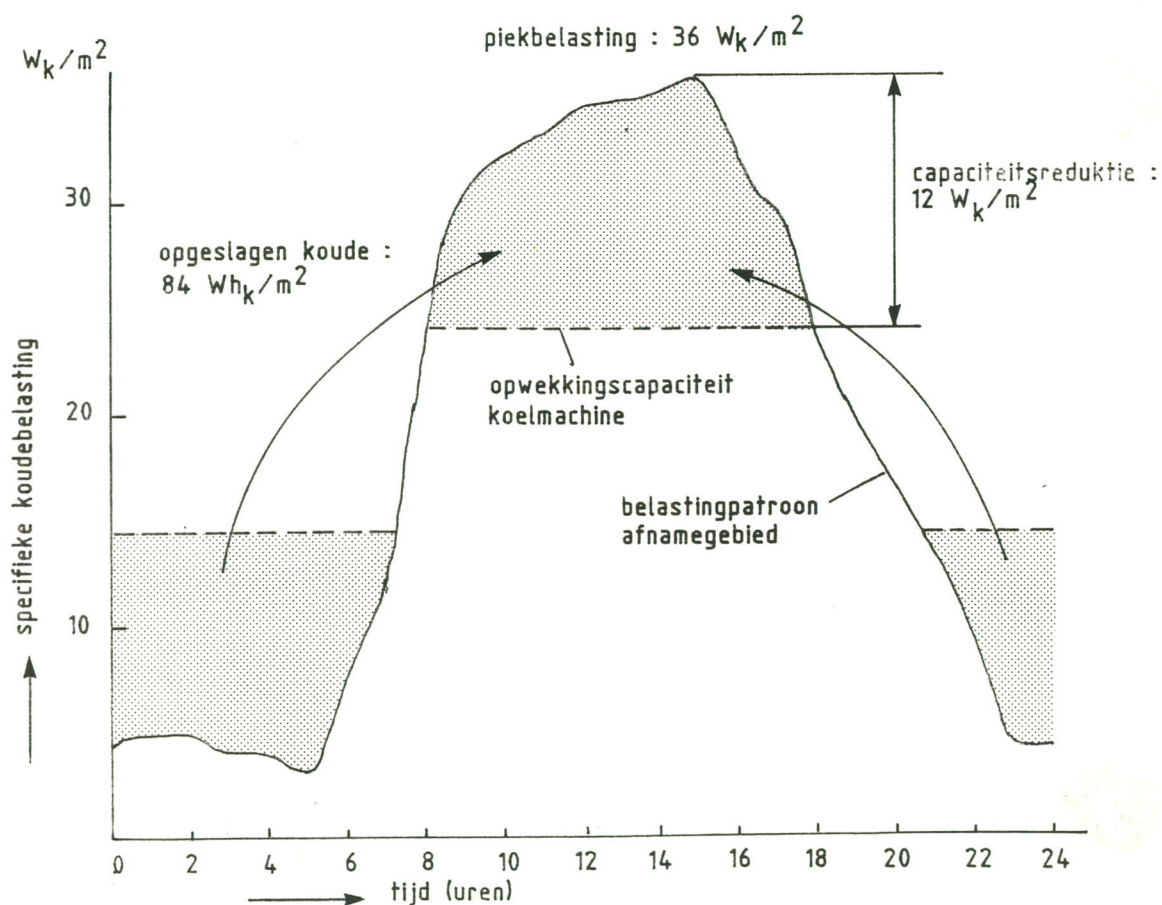
Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

– Bij separate koude-opslag –

Uit figuur 1b blijkt dat voor een 33% ($12 \text{ W}_k/\text{m}^2$) reductie van de maximale koudebelasting de te bufferen koudehoeveelheid overeenkomt met 7 vollasturen van de belastingreductie.

Benodigde koude-opslag: $7 \times 12 = 84 \text{ Wh}_k/\text{m}^2$

Maximale koudebelasting: $36 - 12 = 24 \text{ W}_k/\text{m}^2$



Figuur 1b Dagbelastingpatroon stadskoeling (afgeleid uit opgave Tokyo Gas)

Omdat onvoldoende informatie beschikbaar is om het aandeel van de jaarlijkse koudeproductie die door koude-opslag van dag- naar nachturen kan worden verschoven, wordt hiervoor een (stel)waarde geschat. Uitgaand van 40% voor de relatief kleinere opslagcapaciteit bij koude-opwekking per gebouw (overeenkomstig 4 in plaats van 7 vollasturen) wordt dit aandeel op 60% gesteld.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Verschuiving koudeproductie van dag naar nacht: $0.6 \times 0.075 = 0.045 \text{ GJ}_k/\text{m}^2.\text{a}$

– Bij gecombineerde koude- en warmte-opslag –

De invloed van gecombineerde opslag op de omvang van de verschoven koude-productie wordt verwaarloosd (in analogie met koude-opwekking per gebouw).

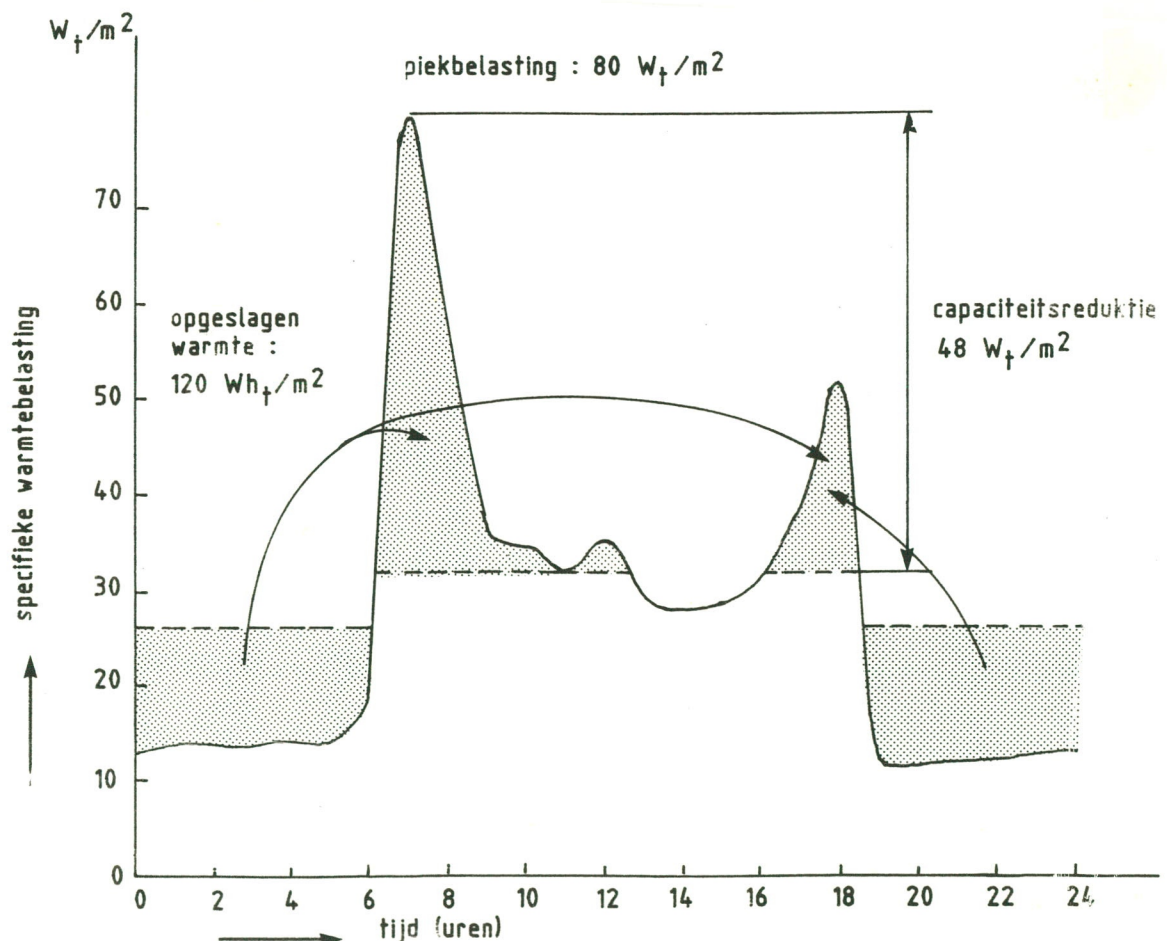
1.1.4 Warmtebehoefte per gebouw

– Zonder warmte-opslag –

Uit gegevens voor de warmtebehoefte op de koudste dag in het jaar (bijlage 2, tabel 4, maand december) kan worden afgeleid dat de maximale warmtebelasting circa $80 \text{ W}_t/\text{m}^2$ bedraagt.

– Met warmte-opslag –

In figuur 2 is op non-dimensionele basis het warmtebelastingpatroon weergegeven voor de betreffende koudste dag van het jaar.



Figuur 2 Dagbelastingpatroon warmtebehoefte (opgave Tebodin voor referentiegebouw op de koudste dag van een Nederlands referentiejaar)

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Hieruit kan worden afgeleid dat voor een reductie van de maximale warmtebelasting met 60% ($48 \text{ W}_t/\text{m}^2$) de te bufferen warmtehoeveelheid overeenkomt met 2.5 vollast-uren van de belastingreductie.

$$\text{Warmte-opslaghoeveelheid:} \quad 48 \times 2.5 = 120 \text{ Wh}_t/\text{m}^2$$

1.1.5 Warmtebehoefte bij collectieve warmtevoorziening

Uit de betreffende gegevens voor de koudste dag van het jaar kan ook worden afgeleid dat de totale warmtebehoefte op deze dag $650 \text{ Wh}_t/\text{m}^2$ bedraagt.

Wanneer wordt verondersteld dat voldoende warmte-opslagcapaciteit beschikbaar is om volledige belastingvereffening over een etmaal te verkrijgen, dan is de bijbehorende warmtebelasting:

$$650 / 24 = 27 \text{ W}_t/\text{m}^2$$

Op basis van een veronderstelde gelijktijdigheidsfactor van 0.8 bedraagt de maximale warmtebelasting:

$$0.8 \times 80 = 64 \text{ W}_t/\text{m}^2$$

De maximale belastingreductie die met warmte-opslag kan worden verkregen bedraagt dan:

$$64 - 27 = 37 \text{ W}_t/\text{m}^2 \text{ (58\%)}$$

1.2 Rendementen en emissies van elektriciteits- en warmte-opwekking

1.2.1 Rendementen elektriciteitsopwekking

– *Electriciteit afkomstig van gasgestookte elektriciteitscentrales* –

Belangrijk voor deze studie zijn de rendementen van elektriciteitscentrales die tengevolge van **veranderingen** in het landelijke belastingpatroon worden bij- of afgeschakeld.

Voor belastingveranderingen gedurende de nacht zal dit typisch een (basislast) STEG-centrale met een hoog rendement ($> 50\%$) betreffen. Overdag (op werkdagen) is de plateaubelasting aanzienlijk hoger en zal bij- of afschakeling een midden- of pieklastcentrale betreffen met rendementen die bijvoorbeeld (gemiddeld) zo'n 10 procentpunten lager kunnen liggen (combi- of gasturbinecentrales). Voor deze studie zullen de volgende rendementswaarden worden aangehouden, waarbij eenvoud-

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

digheidshalve geen verschil wordt gemaakt voor elektriciteitslevering voor koude-opwekking per gebouw of voor collectieve koelsystemen.

Dag-(plateau-)rendement: 50%

Nacht-(dal-)rendement: 40%

– *Elektriciteit van STEG of gasmotor warmte/kracht installaties* –

Er wordt geen verschil gemaakt met elektriciteit afkomstig van elektriciteitscentrales. Er wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de op basis van deze rendementen te bepalen brandstofbesparingen van warmte/krachtkoppeling geheel worden toegeerekend aan warmteproductie.

1.2.2 Emissies elektriciteitsopwekking

– *Elektriciteit afkomstig van elektriciteitscentrales* –

De NO_x-emissies van gasgestookte elektriciteitscentrales worden voor alle typen gesteld op 45 g/GJ_b. Evenals voor alle andere gasgestookte energieconversie-installaties bedragen de CO₂-emissies 56 kg/GJ_b.

– *Elektriciteit afkomstig van warmte/kracht koppeling* –

STEG W/K-centrales:	NO _x -emissies:	45 g/GJ _b
---------------------	----------------------------	----------------------

Gasmotor W/K-installaties:	NO _x -emissies:	70 g/GJ _b
----------------------------	----------------------------	----------------------

De laatste veronderstelling (ontleend aan [2]) is een zeer optimistische voor gasmotoren zonder katalytische NO_x-reductie.

1.2.3 Specifiek brandstofverbruik warmte-opwekking

– *Warmte afkomstig van STEG W/K-centrales* –

Een onderscheid wordt gemaakt tussen restwarmte uit de rookgassen (nadat deze de afgasketel van het stoomgedeelte zijn gepasseerd) en condensatiewarmte van stoom nadat deze in de stoomturbine is geëxpandeerd.

Het extra brandstofverbruik voor restwarmtebenutting van rookgassen is zeer laag. Dit betreft in hoofdzaak de voor warmtetransport en distributie benodigde pomp-energie. Hieraan wordt een specifiek elektriciteitsverbruik van 2% van de getransporteerde warmte toegekend. Met het toekennen van deze toch nog relatief hoge waarde wordt rekening gehouden met een betrekkelijk lage uitkoeling van het stadsverwarmingswater dat voor absorptiekoeling wordt benut (een nog hogere waarde is ook mogelijk).

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Omrekening van dit elektriciteitsverbruik tot een brandstofverbruik leidt op basis van een rendement van 40% voor elektriciteitsopwekking tot een zogenaamde bijstookfactor van:

$$0.02 / 0.4 = 0.05 \text{ GJ}_b/\text{GJ}_t$$

Het extra brandstofverbruik dat is verbonden aan de benutting van condensatiewarmte is aanzienlijk hoger. Dit hangt samen met de derving van elektriciteitsproductie die een gevolg is van een verhoging van de condensatietemperatuur van de stoomcyclus. Dit betreft een verhoging van een waarde van bijvoorbeeld 40 °C bij warmte-afgifte aan de omgeving (koeltoren, oppervlaktewater) tot een waarde die nodig is om de warmte op een voor absorptiekoeling bruikbaar temperatuurniveau te brengen.

– Koude-opwekking per gebouw –

In deze studie wordt bij koude-opwekking per gebouw uitgegaan van de toepassing van een Ebara/Carrier absorptiekoelmachine met een lage aandrijftemperatuur van 88 °C. De condensatietemperatuur van de STEG W/K-centrale zou in dit geval circa 90 °C moeten bedragen.

Uit een h-s diagram van stoom kan worden afgeleid dat de hiermee overeenkomende condensatietemperatuursverhoging van 50 K gepaard gaat met een gederfde elektriciteitsproductie van circa 12% van de condensatiewarmte (bij een verondersteld rendement van 80% voor de stoomturbine + generator). Om het effect te verdisconteren van een stapsgewijze opwarming van het stadsverwarmingswater (door aftap van stoom op verschillende drukk niveaus) wordt verondersteld dat deze elektriciteitsderving met een kwart kan worden verlaagd. Te zamen met 2% pompenergie leidt dit bij een rendement van 40% voor elektriciteitsopwekking tot een bijstookfactor van:

$$(0.75 \times 0.12 + 0.02) / 0.4 = 0.28 \text{ GJ}_b/\text{GJ}_t$$

In het bovenstaande is dan nog geen rekening gehouden met het negatieve effect van extra warmtedistributieverliezen en een extra derving van elektriciteitsproductie wanneer de aanvoertemperatuur van het stadsverwarmingswater omwille van absorptiekoeling hoger moet zijn dan anders het geval zou zijn.

Hiertegenover staat dat de bijstookfactor ook lager kan uitvallen wanneer de STEG W/K-centrale speciaal voor uitsluitend warmte/krachtbedrijf is ontworpen en daardoor niet is voorzien van de lage-drukstoomturbine trappen die benodigd zijn voor een efficiënte stoomexpansie naar een condensatietemperatuur van 40 °C. In dit geval zal de derving van elektriciteitsproductie aanzienlijk geringer kunnen zijn.

– Collectieve koudevoorziening –

In dit geval wordt verondersteld dat de aandrijftemperatuur van de centrale absorptiekoelmachine 110 °C bedraagt. Hierbij wordt tevens verondersteld dat een dergelijke temperatuursverhoging tijdelijk is en alleen de voor absorptiekoeling bestemde warmte betreft (een zeer optimistische veronderstelling die nader getoetst dient te worden).

centrale. De specifieke NO_x-emissies voor warmteproductie door een gasmotor W/K-installatie bedragen dan:

$$\frac{\eta_c}{\eta_t} \times \left(\frac{e}{\eta_c} - \frac{e'}{\eta_c'} \right) = \frac{0.37}{0.48} \times \left(\frac{70}{0.37} - \frac{45}{0.40} \right) = 59 \text{ g/GJ}_t$$

1.3 Energieprijzen

1.3.1 Elektriciteitsprijzen

Vaststelling van elektriciteitsprijzen wordt in het kader van deze studie beperkt tot uitsluitend de elektriciteitskosten voor aandrijving van compressiekoelmachines. Voor de bepaling van een door warmte-opslag verkregen verhoging van de baten van elektriciteitsopwekking door warmte/kracht koppeling is een zodanige methodiek gekozen dat hiervoor geen vaststelling van elektriciteitsprijzen hoeft plaats te vinden.

– Voor koude-opwekking per gebouw –

De onderstaande elektriciteitsprijzen zijn ontleend aan tarieven van het GEB-ZHW [8]. Dit betreft grootverbruikerstarieven voor middenspanningslevering in de bedrijfsklasse 1000 - 2000 h.

- Prijs per kW (maanden maart t/m oktober) 10.3 f/kW per maand
- Basistarief gedurende plateau-uren: 8.3 ct/kWh
- Basistarief gedurende daluren 1.4 ct/kWh
- Brandstofkosten plateau-uren: 5 ct/kWh
(brandstof kostenverschil tussen plateau- en daluren wordt verwaarloosd)

– Voor collectieve koudevoorziening –

In dit geval wordt uitgegaan van een elektriciteitsprijs die een energiedistributiebedrijf, als exploitant van een collectief koudevoorzieningssysteem, zou betalen aan de SEP.

In principe omvat deze prijs een vermogensvergoeding voor elektriciteitsafname die samenvalt met de landelijke belastingpiek(en) en een kWh-prijs die uitsluitend de brandstofkosten betreft.

In de huidige situatie valt de landelijke belastingpiek nog buiten de zomerperiode en wordt dienovereenkomstig de vermogensvergoeding op nul gesteld.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

- Kosten per kW 0
- Brandstofprijs 5 ct/kWh
- *Collectieve koudevoorziening in combinatie met centrale gasmotor W/K –*

Als hierboven. Er wordt verondersteld dat de centrale gasmotor W/K-installatie uitsluitend in bedrijf is wanneer de terugwinbare warmte benut kan worden en dat hierbij de kostenbesparingen geheel worden toegerekend aan warmtelevering.

1.3.2 Warmteprijsen

— *Voor koude-opwekking per gebouw –*

De warmteprijs die door stadsverwarmingsbedrijven aan afnemers in rekening wordt gebracht is doorgaans afgeleid uit de kosten voor de gebruiker bij warmte-opwekking door middel van een gasgestookte ketelinstallatie.

Wanneer ten doel wordt gesteld de toepassing van absorptiekoeling te bevorderen dan zou een lagere prijs kunnen worden overwogen. Als minimum zou kunnen gelden de variabele kosten die het energiedistributiebedrijf zou moeten maken om de warmte te kunnen leveren.

Voor warmte afkomstig van een STEG W/K-centrale wordt deze minimum prijs afgeleid uit de meerdere brandstofkosten overeenkomstig de bijstookfactor voor warmte-opwekking (zie 1.2.3) en een gasprijs van 17.6 ct/m³ (= 5.6 fl/GJ) overeenkomstig het zone e tarief.

Op basis van een bijstookfactor van 0.05 (warmte uit rookgassen):

$$0.05 \times 5.6 \text{ fl/GJ}_b = 0.3 \text{ fl/GJ}_t$$

Op basis van een bijstookfactor van 0.28 (condensatiewarmte):

$$0.28 \times 5.6 \text{ fl/GJ}_b = 1.6 \text{ fl/GJ}_t$$

Voor warmte afkomstig van een gasmotor W/K-installatie wordt de minimum prijs afgeleid uit variabele kosten die behalve de meerdere brandstofkosten ook de variabele onderhoudskosten van de gasmotor W/K-installatie betreffen. De meerdere brandstofkosten worden afgeleid uit de brandstofkosten van de gasmotor W/K-installatie (op basis van een gasprijs tegen zone d tarief: 18.6 ct/m³ = 5.88 fl/GJ) waarop de brandstofvergoeding voor elektriciteitsproduktie (5 ct/kWh_e = 13.88 fl/GJ_e) in mindering wordt gebracht. De variabele onderhoudskosten worden gesteld op 1.4 ct/kWh_e = 3.89 fl/GJ_e. Voor een gasmotor W/K-installatie met een elektrisch rendement

$\eta_e \times 100 = 37\%$ en een thermisch rendement $\eta_t \times 100 = 48\%$ volgt dan een minimum warmteprijs van:

$$\frac{\eta_e}{\eta_t} \times \left(\frac{5.88}{0.37} - 13.88 \right) + 3.89 = \frac{0.37}{0.48} \times (15.89 - 13.88) = 4.55 \text{ fl/GJ}_t$$

Noot: Op basis van de rendementen uit [2] (elektrisch rendement = 33%, thermisch rendement 43%) bedraagt de warmteprijs 6.2 fl/GJ_t

– Voor collectieve koudevoorziening –

Overeenkomstig de in het voorgaande berekende minimumprijzen.

- Voor warmte afkomstig van de rookgassen van een STEG W/K: 0.3 fl/GJ_t
- Voor warmte afkomstig van de condensatiewarmte van een STEG W/K is overeenkomstig de hogere bijstookfactor van 0.35 de minimum warmteprijs: 2 fl/GJ_t
- Voor warmte afkomstig van een gasmotor W/K-installatie is de minimum warmteprijs 4.55 fl/GJ_t

1.4 Installatiecapaciteiten

1.4.1 Koelmachines

In bijlage 2 zijn voor het betreffende kantoorgebouw een koelcapaciteit opgegeven die 1.37 maal zo hoog is als de maximale koelbelasting (664/485) en een verwarmingscapaciteit die 1.32 maal zo hoog is als de maximale warmtebelasting (1149/868). Omdat een nader onderzoek naar de achtergronden voor de bepaling van deze toeslagfactor buiten het kader van deze studie valt, wordt eenvoudigheidshalve voor evaluatiedoeleinden uitgegaan van een toeslagfactor van 1.33 voor zowel de benodigde koel- als warmtecapaciteit. Voor de bepaling van brandstofverbruik en energiekosten wordt echter uitgegaan van de uit de belastingpatronen afgeleide gegevens.

De benodigde koelcapaciteiten worden dus bepaald door de uit de belastingpatronen afgeleide vermogenswaarden (zie 1.1) te verhogen met 33%.

– Koude-opwekking per gebouw –

- koelmachinecapaciteit zonder koude-opslag: $1.33 \times 45 = 60 \text{ W}_k/\text{m}^2$
- koelmachinecapaciteit met koude-opslag: $1.33 \times 30 = 40 \text{ W}_k/\text{m}^2$
- vermindering warmte-aansluitcapaciteit door warmte-opslag:
 $1.33 \times 48 = 64 \text{ W}_t/\text{m}^2$

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

– *Collectieve koudevoorziening* –

- koelmachinecapaciteit zonder koude-opslag: $1.33 \times 36 = 48 \text{ Wk/m}^2$
- koelmachinecapaciteit met koude-opslag: $1.33 \times 24 = 32 \text{ W}_k/\text{m}^2$
- vermindering maximale warmte-opwekkingscapaciteit door warmte-opslag:
 $1.33 \times 37 = 49 \text{ W}_t/\text{m}^2$

1.4.2 Buffers

Voor de bepaling van het benodigd reservoirvolume wordt uitgegaan van koud- en warmwateropslag met temperatuurstratificatie.

– *Koude-opwekking per gebouw* –

Voor de bepaling van het buffervolume dat benodigd is voor koude-opslag wordt uitgegaan van de onderstaande bedrijfsgegevens. Evenals bij de bepaling van het koelmachinevermogen, is de opslagcapaciteit die is afgeleid uit het in figuur 1a aangegeven belastingpatroon ($60 \text{ Wh}_k/\text{m}^2$) vermenigvuldigd met een toeslagfactor van 1.33.

- benodigde koude-opslagcapaciteit $80 \text{ Wh}_k/\text{m}^2$
- hoogste koudwatertemperatuur 15°C
- laagste koudwatertemperatuur 5°C
- opslageffectiviteit 0.85

Benodigd buffervolume:

$$\frac{80 \text{ Wh}_k/\text{m}^2 \times 3.6 \text{ MJ/kWh}}{0.85 \times (15 - 5) \times 4.185 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}} = 0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Uitgaande van dit volume wordt de beschikbare warmte-opslagcapaciteit berekend op basis van de volgende bedrijfsgegevens:

- hoogste warmwatertemperatuur 75°C
- laagste warmwatertemperatuur 40°C
- opslageffectiviteit 0.85
- toeslagfactor 1.33

Beschikbare warmte-opslagcapaciteit:

$$\frac{0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0.85 \times (75 - 40) \times 4.185 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}}{1.33 \times 3.6 \text{ MJ/kWh}} = 210 \text{ Wh}_t/\text{m}^2$$

Uit figuur 2 blijkt dat dit ruimschoots voldoende is om de aansluitcapaciteit op het stadsverwarmingssysteem met 60% te verminderen.

– Collectieve koudevoorziening –

De bepaling van het benodigde buffervolume en de beschikbare warmte-opslagcapaciteit geschiedt analoog aan de voorgaande berekeningen voor koude-opslag per gebouw.

In dit geval is de uit figuur 1b afgeleide opslagcapaciteit echter $84 \text{ Wh}_k/\text{m}^2$ en de benodigde opslagcapaciteit $1.33 \times 84 = 112 \text{ Wh}_k/\text{m}^2$.

Benodigd buffervolume:

$$\frac{112 \text{ Wh}_k/\text{m}^2 \times 3.6 \text{ MJ/kWh}}{0.85 \times (15 - 5) \times 4.185 \text{ MJ/m}^3} = 0.0113 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Beschikbare warmte-opslagcapaciteit (bij hoogste warmwatertemperatuur = 90°C en laagste warmwatertemperatuur = 50°C):

$$\frac{0.0113 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 0.85 \times (90 - 50) \times 4.185 \text{ MJ/m}^3 \cdot \text{K}}{1.33 \times 3.6 \text{ MJ/kWh}} = 335 \text{ Wh}_t/\text{m}^2$$

In feite is deze capaciteit (aanzienlijk) meer dan benodigd zou zijn voor de warmtevoorziening van de aangesloten kantoorgebouwen. Wanneer echter wordt uitgegaan van additionele warmte-afnemers (zonder koudebehoefte) die zijn aangesloten op het betreffende (tussen-)station, dan is het gerechtvaardigd om de volledige warmtevergoeding (betrokken op opslagvolume) in mindering te brengen op de kosten van koudevoorziening.

1.5 Installatiekosten

1.5.1 Koelmachines

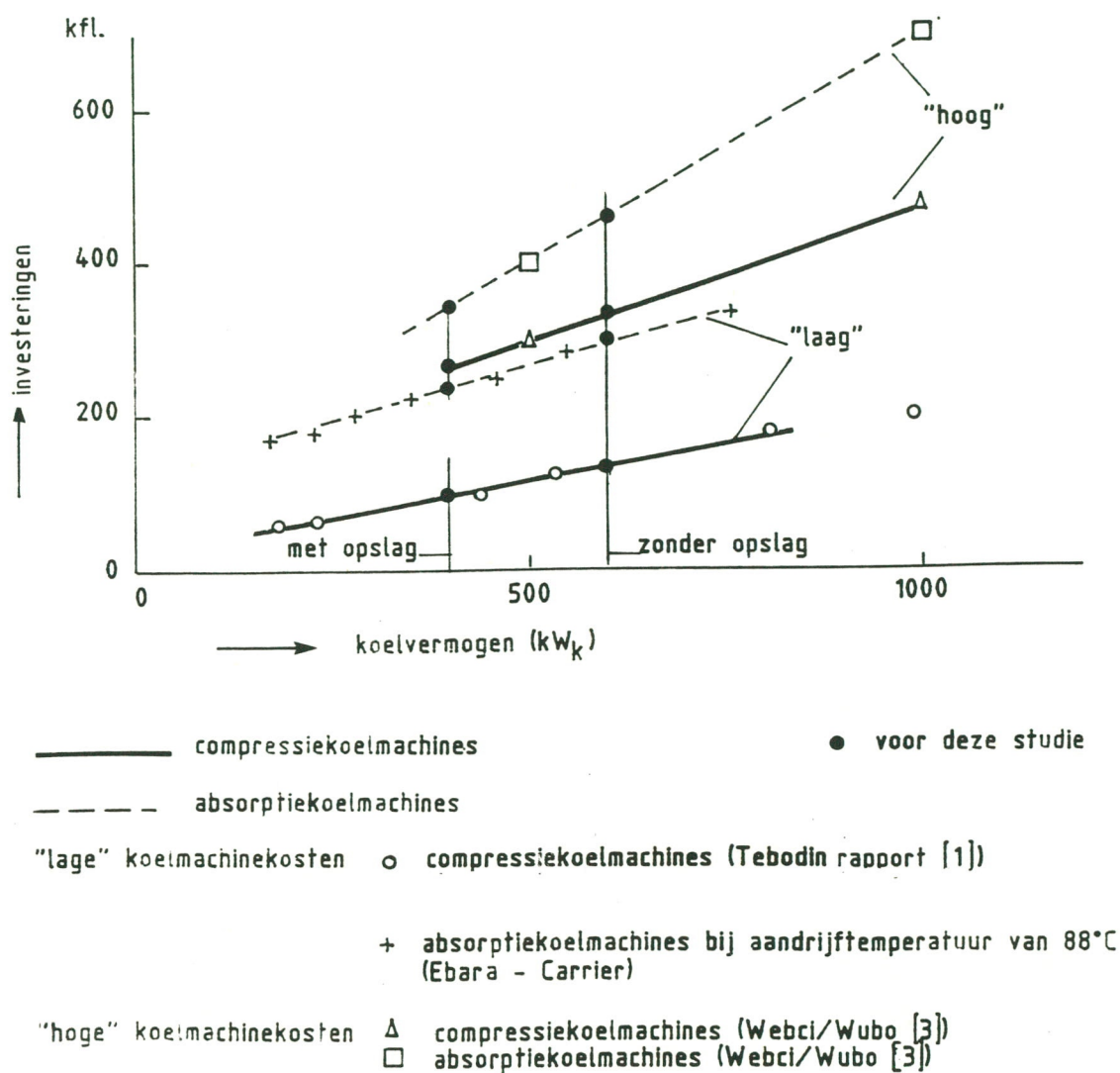
Uit figuur 3 blijkt dat er grote verschillen bestaan in de kosten die als typerend zijn te beschouwen voor compressie- en absorptiekoelmachines. Om deze reden worden de kostenberekeningen uitgevoerd voor zowel een 'laag' als een 'hoog' niveau van deze kosten.

Dit betreft de investeringskosten van koelinstallaties inclusief de kosten van koeltorens, montage, engineering en inbedrijfstelling.

Het 'lage' kostenniveau is ontleend aan kostengegevens uit het Tebodin rapport [1] en latere opgaven van Ebara-Carrier.

De gegevens uit [1] betreffen koelmachinekosten volgens de opgave van fabrikant 3 (met de laagste kostenopgave) voor compressie- en absorptiekoelmachines met koeltorens en watergekoelde condensoren.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

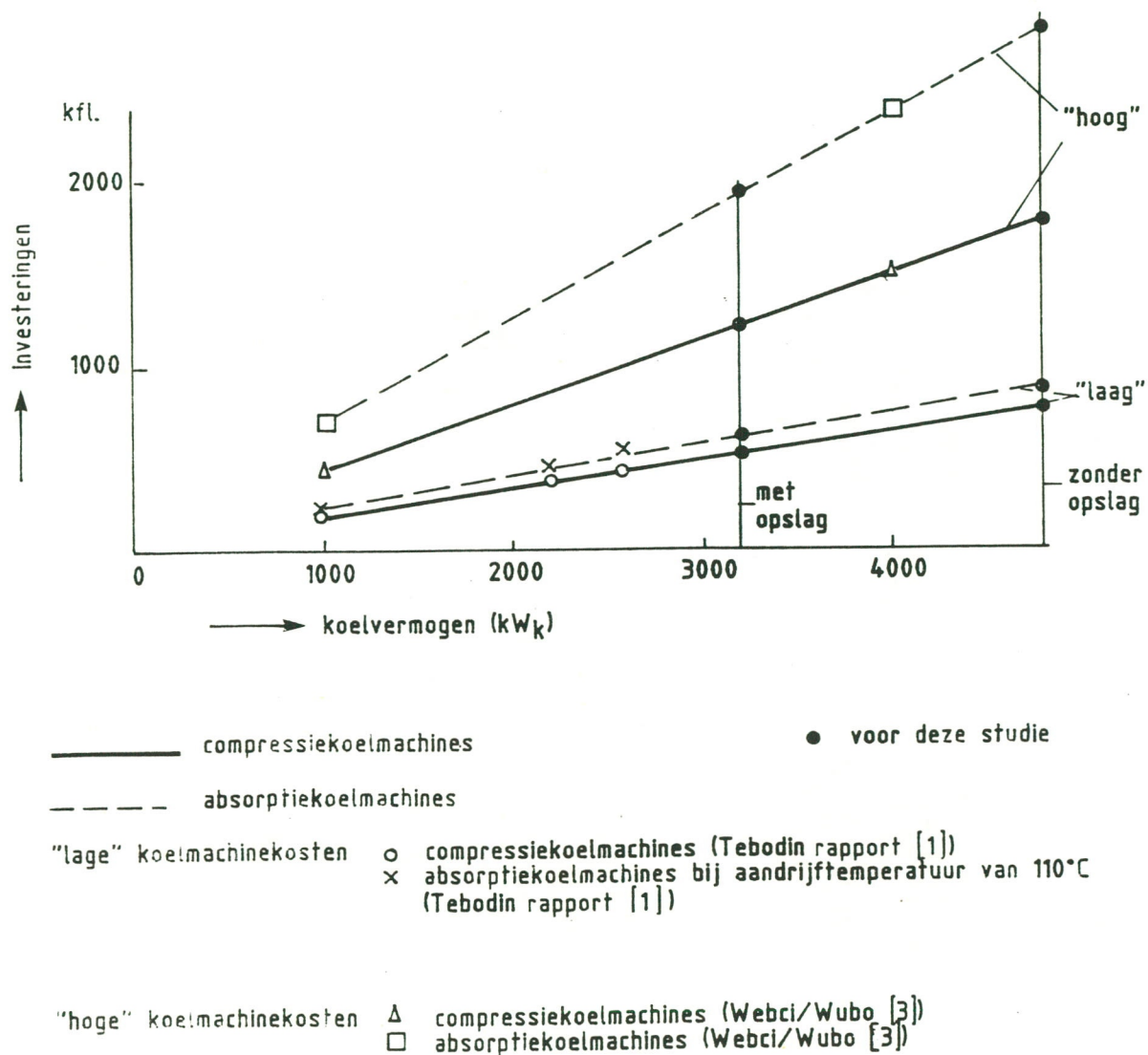


Figuur 3a Investerings koelmachines koude-opwekking per gebouw

De kosten van de absorptiekoelmachines die gelden bij een aandrijftemperatuur van 110 °C worden aangehouden voor toepassingen bij collectieve koudevoorziening. Een dergelijk temperatuurniveau vormt geen probleem bij warmteproductie door een naast de koelmachine opgestelde gasmotor W/K-installatie. Het is echter nog de vraag of een dergelijk temperatuurniveau ook haalbaar is bij warmteproductie door een STEG W/K-centrale. De kosten die gelden voor absorptiekoelmachines bij een aandrijftemperatuur van 88 °C (ontleend aan Ebara-Carrier gegevens voor alleen de koelmachine en verhoogd met overige installatiekosten conform de rekenwijze uit [1]) worden aangehouden voor koeling per gebouw.

Het 'hoge' kostenniveau is ontleend aan kostengegevens uit het DACE-prijzenboekje dat is samengesteld door Webci-Wubo [3]. Dit betreft zeer summier gegevens zonder nadere toelichting op herkomst of bedrijfscondities.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

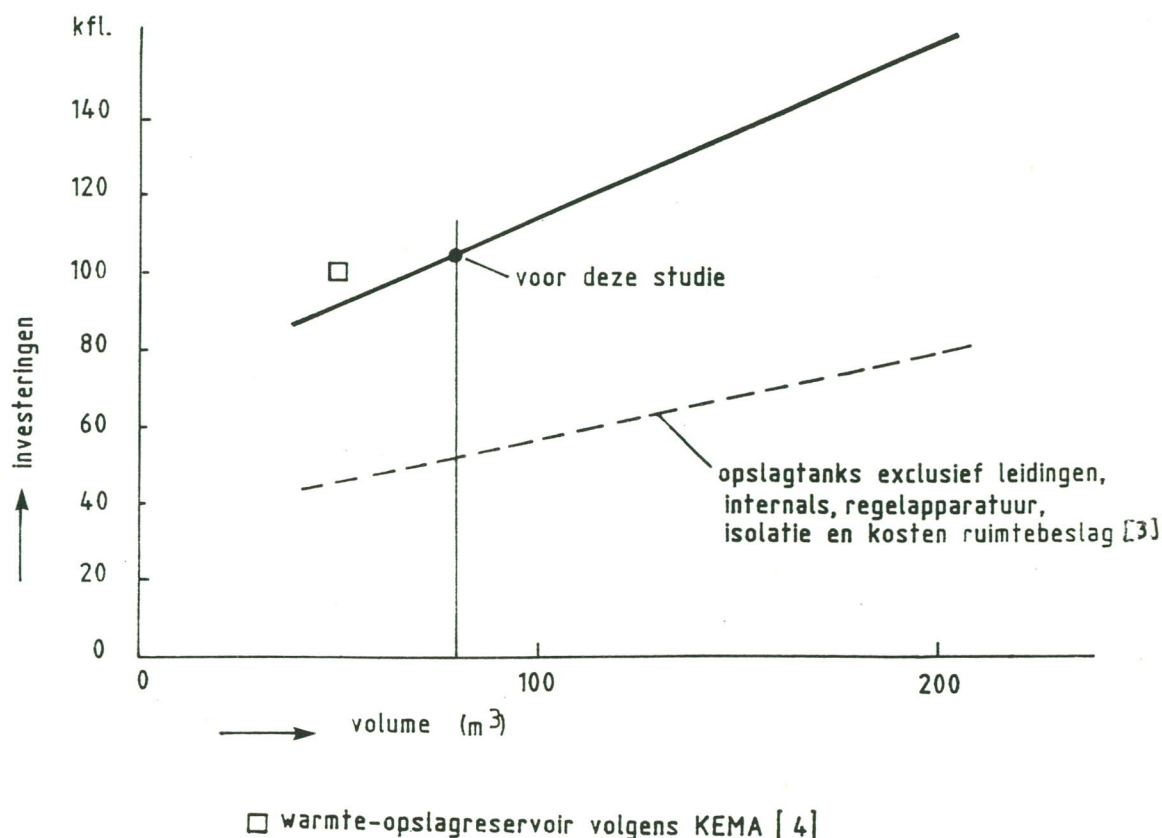


Figuur 3b Investerings koelmachines collectieve koudevoorziening

Volledigheidshalve wordt vermeld dat in [1] de jaarlijkse onderhoudskosten voor compressiekoelmachines werden gesteld op 3% van de 'lage' investeringen. In [2] werden voor absorptiekoelmachines de onderhoudskosten gelijk verondersteld aan die van compressiekoelmachines van gelijk vermogen (in afwijking van [1]). Eenvoudigheidshalve worden in het kader van deze studie (verschillen in) de onderhoudskosten buiten beschouwing gelaten.

1.5.2 Buffers

De voor de studie aangehouden investeringen voor koudebuffers zijn aangegeven in figuur 4.

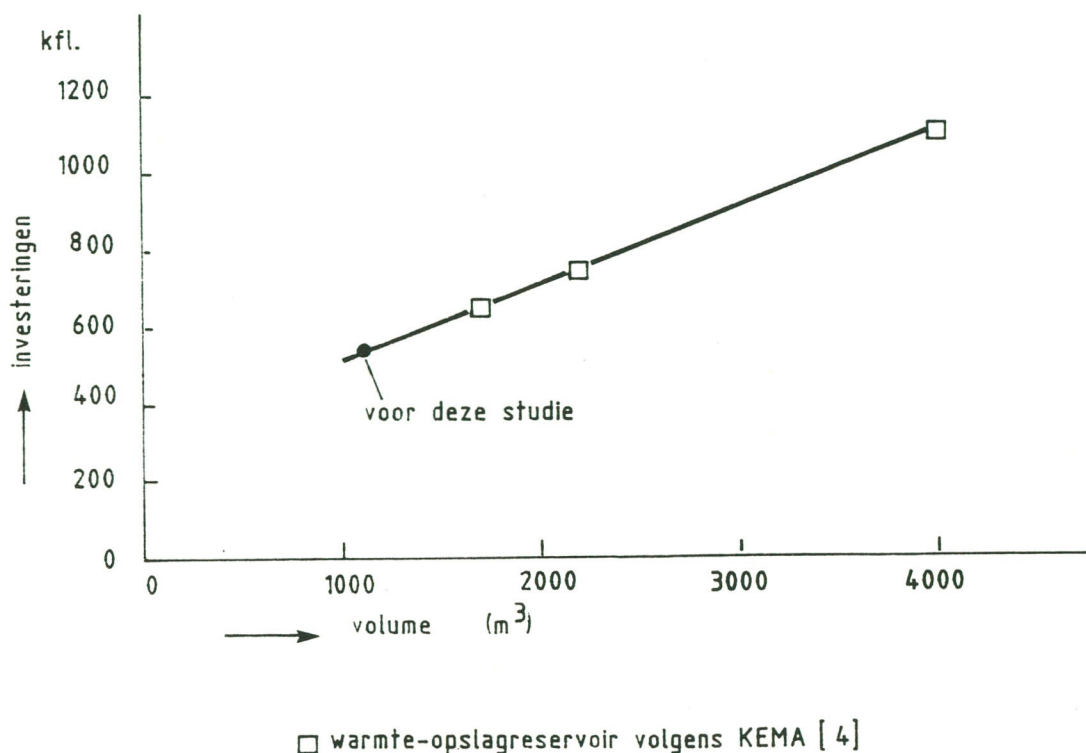


Figuur 4a. Investering separate koude- of warmtebuffers voor koude-opwekking per gebouw (toeslagfactor van 20% voor gecombineerde koude-/warmte-opslag)

De investeringen voor kleinere buffers zijn afgeleid uit gegevens uit [3] voor opslagtanks inclusief montage ter plaatse maar exclusief leidingen, internals, regelapparatuur, isolatie en kosten ruimtebeslag. In deze studie is ter verdiscontering van de hiermee samenhangende kosten voor een koudebuffer het investeringsniveau verdubbeld. Dit blijkt redelijk overeen te stemmen met de kosten die in [4] zijn opgevoerd voor een warmtebuffer met een volume van 50 m³.

Voor grotere buffers ten behoeve van collectieve koudevoorziening is gebruik gemaakt van kostengegevens betreffende warmtebuffers voor stadsverwarming (KEMA [4]). Eenvoudigheidshalve wordt verondersteld dat er geen verschil is in de kosten van (separate) koude- en warmtebuffers van gelijk volume. Voor buffers ten behoeve van koude-opslag in de zomer en warmte-opslag in de winter wordt een toeslag van 20% in rekening gebracht.

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport



Figuur 4b Investeringsen separate koude- of warmtebuffers voor berekeningen collectieve koudevoorziening (toeslagfactor van 20% voor gecombineerde koude-/warmte-opslag)

De jaarlijkse onderhoudskosten worden eenvoudigheidshalve in deze studie buiten beschouwing gelaten. Ter oriëntatie wordt vermeld dat wanneer deze onderhoudskosten op 2% van de investeringen van de koudebuffer worden gesteld, de betreffende meerkosten circa 0.2 fl/m².a bij koude-opwekking per gebouw en circa 0.1 fl/m².a bij centrale koudevoorziening zouden bedragen.

1.5.3 Koudedistributie systeem

De investeringen ten behoeve van een koudedistributiesysteem voor 10 referentiegebouwen (van ieder 10.000 m²) worden gesteld op 8 fl/m² (dus een totaal van fl 800.000). De jaarlijkse onderhoudskosten worden gesteld op 2% van deze investering.

Hierbij gaat het om stelwaarden die in de praktijk uiteraard sterk kunnen variëren. Met name de investeringen zullen afhankelijk zijn van onder andere de ligging van de gebouwen ten opzichte van het centrale koude-opwekkingsstation en van de aard van de bebouwing (bestaande bouw of nieuwbouw, benodigde kunstwerken). De veronderstelde investering is gelijk aan de investering die in [5] is aangehouden voor een warmtedistributiesysteem.

1.5.4 Warmte-opslagvergoeding

Dit betreft de vergoeding die, bij gebruik van een koude-opslagreservoir voor warmte-opslagdoeleinden, in mindering mag worden gebracht op de kosten van koudevoorziening.

Bij koude-opwekking per gebouw wordt deze vergoeding afgeleid van de verminderde aansluitkosten bij verlaging van de warmte-aansluitcapaciteit. Deze aansluitkosten worden gesteld op 80 f per kW_t als eenmalige uitgave voor de eigenaar/exploitant van het kantoorgebouw. Deze vermindering kan worden opgevat als een verlaging van de initiële investeringen.

Bij collectieve koudevoorziening wordt de vergoeding afgeleid uit de vermeden investering voor een separate warmtebuffer. Hierbij wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de investering per m³ reservoirvolume voor een separate warmtebuffer gelijk is aan die voor een separate koudebuffer. Tevens wordt verondersteld dat het niet beschikbaar zijn van warmte-opslagmogelijkheden in de zomermaanden een kosten-nadeel vormt, die de warmte-opslagvergoeding tot slechts 70% van de vermeden investering voor een separate warmtebuffer terugbrengt. Eerder was verondersteld dat de aanpassing van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden een meerinvestering van 20% vereist. Dit betekent dus dat de netto reductie op de investeringen ten behoeve van koudevoorziening slechts 50% van de investering voor een koudebuffer bedraagt.

Benadrukt wordt dat het bovenstaande in sterke mate veronderstellingen betreft die in een vervolgstudie nader onderzocht dienen te worden.

1.6 Bedrijfseigenschappen van installaties

1.6.1 Compressiekoelmachines

– Bij koude-opwekking per gebouw / zonder koude-opslag –

Op basis van gegevens uit [1], [2] en [8] wordt voor compressiekoelmachines van enkele honderden kW_k tot 1 MW_k de COP-waarde gesteld op 4 GJ_k/GJ_e (ruwe veronderstelling). Dit betreft watergekoelde koelmachines met warmte-afgifte via een koeltoren.

– Bij collectieve koudevoorziening / zonder koude-opslag –

Afgaande op gegevens uit [8] wordt voor compressiekoelmachines van meerdere MW_k de COP-waarde gesteld op 4.8 GJ_k/GJ_e (eveneens een ruwe veronderstelling). De hogere waarde ten opzichte van kleinere koelmachines wordt verklaard door onder andere de toepassing van centrifugaal- in plaats van zuigercompressoren.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

– Bij koude-opwekking per gebouw / met koude-opslag –

Verhogingen van de COP-waarde bij toepassing van koude-opslag zijn (onder andere) te verwachten als gevolg van het vermijden van deellastbedrijf en een toename van het aandeel van de koudeproductie dat 's nachts (bij lagere buitenluchttemperatuur) plaatsvindt. Tussenschakeling van een isolatiewarmtewisselaar heeft echter een COP-verlagend effect.

Het kwantificeren van een eventuele verbetering door vermijden van deellastbedrijf wordt bemoeilijkt door het feit dat het koelmachinevermogen in de situatie met koude-opslag kleiner is dan in de situatie zonder koude-opslag. Dit betekent dat het voordeel van een gemiddeld hoger compressorrendement afgewogen dient te worden tegen het COP-verlagend effect van gemiddeld hogere temperatuursverschillen in verdamper en condensor. Deze afweging dient te geschieden in het kader van een ontwerp-optimalisatie van de betreffende koelmachine(s), iets wat buiten het kader van deze studie valt. Er wordt echter verwacht dat een eventueel netto positief effect van marginale betekenis zal zijn.

Het effect van een lagere buitenluchttemperatuur gedurende de nacht is in principe eenduidiger te bepalen. Uit de temperatuursgegevens in bijlage 2 (average temperatures) kan worden afgeleid dat over een koelseizoen (april tot en met oktober) het gewogen gemiddelde verschil (gewogen op basis van koelbelasting) tussen de dag- en nachtwaarden van de natte-boltemperatuur 2.2 K bedraagt. Het hiermee overeenkomende voordeel zal vrijwel zeker wegvallen tegen het nadelige effect van een extra temperatuursverschil tengevolge van de tussenschakeling van een isolatiewarmtewisselaar.

Geconcludeerd wordt daarom dat een eventueel netto positief effect niet of nauwelijks de (overige) energieverliezen van een koude-opslag zal kunnen goedmaken (zie ook 1.6.2). Omdat in het kader van deze studie ook de opslagverliezen buiten beschouwing worden gelaten, wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de COP-waarde dezelfde is als in de situatie zonder koude-opslag (4).

– Bij collectieve koudevoorziening / met koude-opslag –

Dat wat in het voorgaande gesteld is voor koude-opwekking per gebouw geldt in min of meer dezelfde mate voor compressiekoeling bij collectieve koudevoorziening. De COP-waarde blijft dus 4.8.

Absorptiekoelmachines (alle gevallen)

Uitgaande van de gegevens uit [1] en diverse bedrijfsinformatie wordt de COP van absorptiekoelmachines in alle gevallen gesteld op 0.7 GJ_k/GJ_r. In afwijking van [1] wordt het elektriciteitsverbruik van randapparatuur verwaarloosd.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

1.6.2 Koudebuffers

Voor de energie- en emissieberekeningen zijn in principe de thermische opslagverliezen en de additioneel benodigde pompenergie van belang. Zoals gesteld in het voorgaande worden in het kader van deze studie deze opslagverliezen verwaarloosd.

1.6.3 Koudedistributiesysteem

Dat wat gesteld is voor koudebuffers geldt ook voor een koudedistributiesysteem.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag bij kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Bijlage 2 Warmte- en koudebehoeften kantoorgebouw (bijdrage Tebodin)

Deze bijlage bevat de bijdrage van Tebodin aan deze studie. Dit betreft een opgave van (temperatuurs-)gegevens die typerend zijn voor het Nederlandse klimaat en de hiermee berekende waarden van de warmte- en koudebehoeften van een kantoorgebouw met een vloeroppervlak van 10754 m² en met goede isolatie. Een deel van de temperatuursgegevens is aangeleverd door TNO Bouw.

Uit de aangegeven warmte- en koudehoeveelheden en belastingen zijn de in bijlage 1.1 weergegeven evaluatiegegevens afgeleid. De handgeschreven getallen zijn toegevoegd om deze afleiding nader te verduidelijken.

WEERDATA

AVERAGE TEMPERATURES

Maandgemiddelde waarden van de buitenluchttemperatuur gedurende daguren (07:00 - 19:00h) en gedurende nachturen (19:00 - 07:00h), op basis van het CARRIER-referentiejaar voor De Bilt (periode 1931-1960).

	jan		feb		maart		april		mei		juni	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	2,47	1,56	2,26	1,13	6,42	4,48	10,11	7,23	14,58	10,95	17,42	13,62
nacht	1,64	0,94	0,60	-0,05	3,66	2,68	6,02	4,91	9,88	8,47	12,75	11,35

	juli		augustus		september		oktober		november		december	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	18,69	15,43	18,40	15,46	16,06	13,38	11,73	9,93	6,85	5,77	4,61	3,84
nacht	14,70	13,49	14,24	13,30	12,07	11,07	8,91	8,13	5,36	4,70	3,73	3,19

DESIGN TEMPERATURES - MAXIMA

Maximum waarden van de buitenluchttemperatuur per maand (april t/m oktober) gedurende daguren (07:00 - 19:00h) en gedurende nachturen (19:00 - 07:00h), op basis van het CARRIER-referentiejaar voor De Bilt (periode 1931-1960).

	jan		feb		maart		april		mei		juni	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	-	-	-	-	-	-	19,9	17,2	22,5	18,5	24,1	19,7
nacht	-	-	-	-	-	-	15,4	14,4	18,0	16,5	19,7	17,9

	juli		augustus		september		oktober		november		december	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	24,7	19,7	24,7	19,7	23,6	19,1	21,0	17,6	-	-	-	-
nacht	20,2	18,2	20,2	18,2	19,1	17,4	16,5	15,2	-	-	-	-

DESIGN TEMPERATURES - MINIMA

Minimum waarden van de buitenluchttemperatuur per maand (oktober t/m april) gedurende daguren (07:00 - 19:00h) en gedurende nachturen (19:00 - 07:00h), op basis van opgave TNO.

	jan		feb		maart		april		mei		juni	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	-3,22	-8,3	-0,19	-5,4	-2,08	-7,46	8,13	7,68	-	-	-	-
nacht	-3,66	-8,6	-0,56	-6,4	-3,5	-8,49	6,59	5,94	-	-	-	-

	juli		augustus		september		oktober		november		december	
	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb	db	nb
dag	-	-	-	-	-	-	7,01	6,45	0,48	-3,12	-6,48	-10,69
nacht	-	-	-	-	-	-	5,96	5,08	-0,16	-4,23	-8,74	-12,39

BEREKENINGSRESULTATEN

Gebouwkeuze : Kantoorgebouw 3; 10754 m² , goed geïsoleerd

Koelcapaciteit : 664,5 kW

Verwarmingscapaciteit : 1149,2 kW

VRAAG 1:

Benodigde warmte- en koudehoeveelheden in GJ per maand, totaal en onderscheiden naar dag/nacht periode.

Dag is van 07:00 - 19:00 h, nacht is van 19:00 - 07:00 h.

		jan	feb	maart	april	mei	juni
warmte (GJ)	dag	259,5	226,3	138,1	52,0	0,0	0,0
	nacht	58,5	53,4	33,5	13,3	16,6	4,6
	totaal	318,0	279,7	171,6	65,3	16,6	4,6
koude (GJ)	dag	0,0	0,0	0,0	24,2	101,4	149,1
	nacht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	totaal	0,0	0,0	0,0	24,2	101,4	149,1

		juli	aug	sept	okt	nov	dec
warmte (GJ)	dag	0,0	0,0	0,0	36,3	127,0	199,1
	nacht	0,8	2,1	12,5	1,4	24,1	41,4
	totaal	0,8	2,1	12,5	37,7	151,1	240,5
koude (GJ)	dag	182,1	179,7	124,0	46,5	0,0	0,0
	nacht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	totaal	182,1	179,7	124,0	46,5	0,0	0,0

Jaar totaal:

1300 GJ_t

807 GJ_k

TABEL 1 : VERBRUIKSCIJFERS BIJ GEMIDDELDE WEERGEGEVENS

$$l = \frac{807}{10754} = 0.075 \text{ GJ}_{k/m^2}$$

Koudebehoefte in april: $\frac{24.2}{807} \times 100 = 3\%$ van totale koudebehoefte.

VRAAG 2a. EN 2b.:

Uurlijks gemiddeld benodigd koelvermogen in kW, voor de dagen met het hoogste uurlijks gemiddeld benodigd koelvermogen per maand en in het jaar.

uur	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	10	24	24	0	0
8	33	95	136	150	149	119	50
9	119	180	266	275	275	219	131
10	145	205	291	301	302	246	159
11	179	262	341	351	355	307	192
12	152	211	261	272	278	237	167
13	254	339	418	429	437	385	260
14	281	365	444	455	463	410	286
15	301	385	463	476	482	429	302
16	303	390	469	479	485	429	300
17	210	270	350	361	365	305	219
18	50	109	148	163	165	130	56
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0

TABEL 2 : BENODIGD KOELVERMOGEN OP WARMSTE DAGEN PER MAAND

Piekbelastingen

W_k / m^2 : 28 36 43 44 45 40 28

Gesommeerd : 264 $W_{k,max} / m^2$

VRAAG 2c.:

Uurlijks gemiddeld benodigd koelvermogen in kW, voor dagen met het gemiddeld uurlijks benodigd koelvermogen per maand.

uur	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	2	0	0	0
8	0	14	86	121	111	45	0
9	0	90	160	190	186	126	18
10	9	117	183	212	211	156	50
11	31	139	203	231	231	177	72
12	0	92	155	183	183	129	27
13	55	158	222	248	251	193	91
14	66	166	231	257	258	204	101
15	72	173	236	264	263	205	100
16	71	172	236	263	261	201	91
17	1	103	169	196	191	130	12
18	0	0	2	31	23	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0

TABEL 3 : BENODIGD KOELVERMOGEN OP GEMIDDELDE DAGEN PER MAAND

VRAAG 3a.:

Uurlijks gemiddeld benodigd verwarmingsvermogen in kW, voor dagen met het hoogste uurlijks gemiddeld benodigd verwarmingsvermogen per maand en in het jaar.

uur	oktober	november	december	januari	februari	maart	april
0	16	75	144	100	49	71	0
1	20	79	152	104	55	77	0
2	23	80	153	107	59	82	0
3	26	86	150	109	62	87	0
4	29	88	156	110	66	91	0
5	29	89	152	115	70	94	0
6	38	119	198	151	93	123	7
7	301	567	868	697	527	618	207
8	168	391	637	493	349	428	78
9	73	230	390	309	203	257	8
10	66	219	374	293	189	242	5
11	55	218	348	277	175	225	0
12	101	262	383	327	229	274	59
13	48	205	318	268	176	214	0
14	44	194	302	261	177	201	0
15	41	188	312	274	176	194	0
16	42	189	336	267	173	204	0
17	97	220	419	319	228	264	41
18	233	354	563	451	366	402	199
19	0	45	124	79	23	40	0
20	0	43	125	82	30	53	0
21	0	46	130	82	37	63	0
22	0	58	135	85	45	74	0
23	0	61	138	86	51	85	0

dag.totaal: 7008 kWh

TABEL 4 : BENODIGD VERWARMINGSVERMOGEN OP KOUDSTE DAGEN PER MAAND

Max. warmtebelasting : $868 \text{ kW}_t / 10754 \text{ m}^2 = 80 \text{ W}_t / \text{m}^2$

Max. dagbehoefte : $7008 \text{ kWh}_t / 10754 \text{ m}^2 = 651 \text{ Wh}_t / \text{m}^2$

VRAAG 3b.:

Uurlijks gemiddeld benodigd verwarmingsvermogen in kW, voor dagen met het gemiddeld uurlijks benodigd verwarmingsvermogen per maand.

uur	oktober	november	december	januari	februari	maart	april
0	0	26	43	60	63	35	10
1	0	29	46	63	68	41	17
2	0	33	48	66	71	45	22
3	0	35	50	67	74	48	26
4	4	38	51	70	77	51	29
5	6	40	53	71	79	54	32
6	7	51	71	95	100	66	32
7	206	338	405	488	504	372	253
8	70	204	256	325	348	237	108
9	0	101	145	189	200	118	24
10	0	79	132	178	180	92	2
11	0	60	117	162	158	68	0
12	0	102	160	203	196	105	23
13	0	43	101	146	136	41	0
14	0	38	95	140	127	31	0
15	0	41	99	140	124	28	0
16	0	50	107	145	129	29	0
17	0	116	166	209	194	94	9
18	154	259	307	348	341	249	165
19	0	3	23	39	34	0	0
20	0	7	27	43	40	7	0
21	0	13	31	47	47	16	0
22	0	18	36	52	53	23	0
23	0	22	39	56	58	30	3

TABEL 5 : BENODIGD VERWARMINGSVERMOGEN OP GEMIDDELDE DAGEN PER MAAND

Bijlage 3 Energie- en emissieberekeningen

Inhoudsopgave

- 3.1 Overzicht berekeningsgegevens:
- 3.2 Berekeningen
 - 3.2.1 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling zonder koude-opslag
 - 3.2.2 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met (separate) koude-opslag
 - 3.2.3 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 3.2.4 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling zonder koude-opslag
 - 3.2.5 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met separate koude-opslag
 - 3.2.6 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 3.2.7 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling zonder koude-opslag
 - 3.2.8 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met separate koude-opslag
 - 3.2.9 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 3.2.10 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling zonder koude-opslag
 - 3.2.11 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met separate koude-opslag
 - 3.2.12 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

3.1 Overzicht berekeningsgegevens

Koudehoeveelheden (bijlage 1.1.2 en 1.1.3)	
— koudebehoefte referentiegebouw (dagbehoefte)	0.075 GJ _k /m ² .a
— koudelevering via opslag:	
— bij koude-opwekking per gebouw (40%)	0.030 GJ _k /m ² .a
— bij collectieve koudevoorziening (60%)	0.045 GJ _k /m ² .a
(verschillen tengevolge van gecombineerde opslag worden verwaarloosd)	
Rendementen elektriciteitsopwekking (bijlage 1.2.1)	
dag-(plateau-)rendement	40%
nacht-(dal-)rendement	50%
Specifieke emissies elektriciteitsopwekking (bijlage 1.2.2)	
— CO ₂	56 kg/GJ _b
— NO _x	45 g/GJ _b
'Bijstookfactor' warmte-opwekking (bijlage 1.2.3)	
— rookgaswarmte STEG W/K	0.05 GJ _b /GJ _t
— condensatiewarmte STEG W/K	
— bij koude-opwekking per gebouw	0.28 GJ _b /GJ _t
— bij collectieve koudevoorziening	0.35 GJ _b /GJ _t
— warmte van gasmotor W/K-installatie	0.16 GJ _b /GJ _t
(op basis van rendementsgegevens uit [2])	0.41 GJ _b /GJ _t
Specifieke emissies warmte-opwekking (bijlage 1.2.4)	
— CO ₂	bijstookfactor 56 kg/GJ _t
— NO _x	
— warmte afkomstig van STEG W/K:	bijstookfactor 45 g/GJ _t
— warmte afkomstig van gasmotor W/K:	59 g/GJ _t
COP-waarden koelmachines (bijlage 1.2.6)	
— compressiekoeling bij koude-opwekking per gebouw	4 GJ _k /GJ _e
— compressiekoeling bij collectieve koudevoorziening	4.8 GJ _k /GJ _e
— absorptiekoeling bij koude-opwekking per gebouw	0.7 GJ _k /GJ _t
— absorptiekoeling bij collectieve koudevoorziening	0.7 GJ _k /GJ _t

3.2 Berekeningen

3.2.1 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling zonder koude-opslag

Dit betreft het referentiegeval voor alle te evalueren (opslag-)opties

Gegevens:

— benodigde koudeproductie	0.075 GJ _k /m ² .a
— COP-koelmachine	4 GJ _k /GJ _e
— rendement elektriciteitsopwekking (daguren)	40%
— specifieke CO ₂ -emissies elektriciteitsopwekking	56 kg/GJ _b
— specifieke NO _x -emissies elektriciteitsopwekking	45 g/GJ _b

$$\text{Brandstofverbruik } \frac{0.075}{4 \times 0.4} = 0.0469 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a}$$

$$\text{CO}_2\text{-emissies: } 0.0469 \times 56 = 2.63 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a}$$

$$\text{NO}_x\text{-emissies: } 0.0469 \times 45 = 2.11 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$$

3.2.2 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met (separate) koude-opslag

— Additionele/gewijzigde gegevens:	
koudelevering via opslag (nachtproductie)	0.030 GJ _k /m ² .a
rendement elektriciteitsopwekking 's nachts	50%

$$\text{Brandstofbesparing } 0.0469 - \left(\frac{0.075 - 0.030}{4 \times 0.4} + \frac{0.030}{4 \times 0.5} \right) = 0.0038 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a} \quad (8\%)$$

$$\text{CO}_2\text{-reductie: } 0.0038 \times 56 = 0.211 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a} \quad (8\%)$$

$$\text{NO}_x\text{-reductie: } 0.0038 \times 45 = 0.170 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a} \quad (8\%)$$

3.2.3 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag

Gelijk 3.2.2

3.2.4 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling zonder koude-opslag

(Additionele/gewijzigde) gegevens

— COP-koelmachine		0.7 GJ _k /GJ _t
— bijstookfactoren warmte-opwekking		
— rookgaswarmte STEG W/K		0.05 GJ _b /GJ _t
— condensatiewarmte STEG W/K		0.28 GJ _b /GJ _t
— warmte van gasmotor W/K		0.16 GJ _b /GJ
— specifieke emissies		
— CO ₂	bijstookfactor	56 kg/GJ _b
— NO _x (warmte van STEG W/K)	bijstookfactor	45 g/GJ _b
(warmte van gasmotor W/K)		59 g/GJ _b

Warmteverbruik absorptiekoeling: $0.075/0.7 = 0.107 \text{ GJ}_t/\text{m}^2 \cdot \text{a}$

Brandstofbesparingen:

- rookgaswarmte STEG W/K: $0.0469 - 0.107 \times 0.05 = 0.0415 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (88%)
- condensatiewarmte STEG W/K: $0.0469 - 0.107 \times 0.28 = 0.0169 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (36%)
- warmte van gasmotor W/K: $0.0469 - 0.107 \times 0.16 = 0.0298 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (63%)
- (bij een lager rendement van de gasmotor W/K-installatie, zoals
aangegeven in bijlage 1.2.3: $0.0469 - 0.107 \times 0.36 = 0.0084 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (18%))

CO₂-reducties:

- rookgaswarmte STEG W/K: $2.63 - 0.107 \times 0.05 \times 56 = 2.33 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (88%)
- condensatiewarmte STEG W/K: $2.63 - 0.107 \times 0.28 \times 56 = 0.95 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (36%)
- warmte van gasmotor W/K: $2.63 - 0.107 \times 0.16 \times 56 = 1.67 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (63%)

NO_x-reductie:

- rookgaswarmte STEG W/K: $2.11 - 0.107 \times 0.28 \times 45 = 1.87 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (88%)
- condensatiewarmte STEG W/K: $2.11 - 0.107 \times 0.28 \times 45 = 0.76 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (36%)
- warmte van gasmotor W/K: $2.11 - 0.107 \times 59 = -4.21 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ (-200%)
(dus toename)

3.2.5 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met separate koude-opslag

Gelijk 3.2.4

3.2.6 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag

Gelijk 3.2.4

3.2.7 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling zonder koude-opslag

Gewijzigd gegeven
— COP-koelmachine

4.8 GJ_k/GJ_e

$$\text{Brandstofbesparing } 0.0469 - \frac{0.075}{4.8 \times 0.4} = 0.0078 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a} \text{ (17\%)}$$

CO₂-reductie: $0.0078 \times 56 = 0.44 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (17\%)}$
NO_x-reductie: $0.0078 \times 45 = 0.35 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (17\%)}$

3.2.8 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met separate koude-opslag

Gewijzigd gegeven
— koudelevering via opslag

0.045 GJ_k/m²·a

$$\text{Brandstofbesparing } 0.0469 - \left(\frac{0.075 - 0.045}{4.8 \times 0.4} + \frac{0.045}{4.8 \times 0.5} \right) = 0.0125 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a} \text{ (27\%)}$$

CO₂-reductie: $0.0125 \times 56 = 0.70 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (27\%)}$
NO_x-reductie: $0.0125 \times 45 = 0.56 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (27\%)}$

3.2.9 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag

Gelijk 3.2.8

3.2.10 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling zonder koude-opslag

Gelijk aan 3.2.4 met uitzondering van aandrijving met condensatiewarmte van STEG W/K.

Gewijzigd gegeven:

— bijstookfactor condensatiewarmte STEG W/K

0.35 GJ_b/GJ_t

$$\text{Brandstofbesparing: } 0.0469 - 0.107 \times 0.35 = 0.0094 \text{ GJ}_b/\text{m}^2 \cdot \text{a} \text{ (20\%)}$$

$$\text{CO}_2\text{-reductie: } 2.63 - 0.107 \times 0.35 \times 56 = 0.53 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (20\%)}$$

$$\text{NO}_x\text{-reductie: } 2.11 - 0.107 \times 0.35 \times 45 = 0.42 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a} \text{ (20\%)}$$

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

3.2.11 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met separate koude-opslag

Gelijk 3.2.10

3.2.12 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag

Gelijk 3.2.10

Bijlage 4 Kostenberekeningen

Inhoudsopgave

- 4.1 Overzicht van berekeningsgegevens
 - 4.1.1 Ten behoeve van investeringsberekeningen
 - 4.1.2 Ten behoeve van energiekostenberekeningen
- 4.2 Berekeningen
 - 4.2.1 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling zonder koude-opslag
 - 4.2.2 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met separate koude-opslag
 - 4.2.3 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 4.2.4 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling zonder koude-opslag
 - 4.2.5 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met separate koude-opslag
 - 4.2.6 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 4.2.7 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling zonder koude-opslag
 - 4.2.8 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met separate koude-opslag
 - 4.2.9 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag
 - 4.2.10 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling zonder koude-opslag
 - 4.2.11 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met separate koude-opslag
 - 4.2.12 Collectieve koudevoorziening / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag

4.1 Overzicht van berekeningsgegevens

4.1.1 Ten behoeve van investeringsberekeningen

Koelmachinevermogens (bijlage 1.4.1)		
— koude-opwekking per gebouw	/ zonder koude-opslag	60 W_k/m^2
	/ met koude-opslag	40 W_k/m^2
— collectieve koudevoorziening	/ zonder koude-opslag	48 W_k/m^2
	/ met koude-opslag	32 W_k/m^2
Investeringsgegevens koelmachines		fig. 3
Buffervolumes (bijlage 1.4.2)		
— koude-opwekking per gebouw		0.008 m^3/m^2
— collectieve koudevoorziening		0.0113 m^3/m^2
Investeringsgegevens buffers		fig. 4
Warmtecapaciteitsreducties bij warmte-opslag (bijlage 1.4.1)		
— bij koude-opwekking per gebouw		64 W_t/m^2
— bij collectieve koudevoorziening		49 W_t/m^2
Warmte-opslagvergoeding (bijlage 1.5.4)		
— bij koude-opwekking per gebouw (vermeden aansluitvergoeding)	80 f/kW_t	
— bij collectieve koudevoorziening (vermeden investering separate warmtebuffer als percentage van investering koude-opslagbuffer		70%
Investing koudedistributiesysteem		8 f/m^2

4.1.2 Ten behoeve van energiekostenberekeningen

Elektriciteitsprijzen (bijlage 1.3.1)		
— koude-opwekking per gebouw:		
— vermogensvergoeding (per maand)		10.3 f/kW_e
— basistarief gedurende plateau-uren		8.3 ct/ kWh_e
— basistarief gedurende daluren		1.4 ct/ kWh_e
— brandsoftarief		5.0 ct/ kWh_e
— collectieve koudevoorziening:		
— brandsoftarief		5.0 ct/ kWh_e

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Warmteprijzen (bijlage 1.3.2)

— koude-opwekking per gebouw	
— warmte uit rookgassen STEG W/K	0.3 f/GJ _t
— condensatiewarmte STEG W/K	1.6 f/GJ _t
— warmte van gasmotor W/K	4.55 f/GJ _t
— collectieve koudevoorziening	
— warmte uit rookgassen STEG W/K	0.3 f/GJ _t
— condensatiewarmte STEG W/K	2.0 f/GJ _t
— warmte van gasmotor W/K	4.55 f/GJ _t

COP-koelmachines

— compressiekoeling / koude-opwekking per gebouw	4.0 GJ _k /GJ _e
— compressiekoeling / collectieve koudevoorziening	4.8 GJ _k /GJ _e
— absorptiekoeling / koude-opwekking per gebouw	0.7 GJ _k /GJ _t
— absorptiekoeling / collectieve koudevoorziening	0.7 GJ _k /GJ _t

Koudebehoefte gegevens (bijlage 1.1.2)

— jaarlijkse koudebehoefte	0.075 GJ _k /m ² .a
— som van de maandelijks (koude-)piekbelastingen bij koude-opwekking per gebouw:	
— zonder koude-opslag	266 W _k .mnd/m ²
— met separate koude-opslag	161 W _k .mnd/m ²
— met koude- en warmte-opslag	176 W _k .mnd/m ²

4.2 Berekeningen

4.2.1 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling zonder koude-opslag (referentiegeval)

Investerings

— Koelmachine vermogen per m ²	60 W _k /m ²
— Koelmachine vermogen gebouw	600 kW _k
— Koelmachine investering (fig. 3a) 'laag'	137 kf
— Koelmachine investering (fig. 3a) 'hoog'	328 kf
— Koelmachine investering per m ² 'laag'	13.7 f/m ₂
— Koelmachine investering per m ² 'hoog'	32.8 f/m ₂

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Jaarlijkse elektriciteitskosten

Gegevens:

— som van de maandelijkse (koude-)piekbelastingen	266 W_k .mnd/m ²
— jaarlijkse koudebehoefte	0.075 GJ_k /m ² .a (=20.85 kWh_k /m ² .a)
— COP-compressiekoelmachine	4 GJ_k /GJ _e
— elektriciteitsprijzen:	
— vermogensvergoeding (per maand)	10.3 f/kW_e
— basistarief gedurende plateau-uren	8.3 ct/ kWh_e
— brandsoftarief	5.0 ct/ kWh_e

Elektriciteitskosten voor koeling:

— vermogensvergoeding	$\frac{0.266}{4} \times 10.3 =$	0.69 f/m^2 .a
— basis kWh-kosten	$\frac{20.83}{4} \times 0.083 =$	0.43 f/m^2 .a
— brandstofkosten	$\frac{20.83}{4} \times \frac{0.083}{0.05} =$	0.26 f/m^2 .a
	+	$\frac{1.38}{1} f/m^2$.a

Netto inkomsten energiedistributiebedrijf (uit in-/verkoop van elektriciteit)

Inkoopkosten (uitsluitend brandstofkosten):	0.26 f/m^2 .a
Netto inkomsten: 1.38 - 0.26 =	1.12 f/m^2 .a

4.2.2 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met separate koude-opslag

Investerings

Koelmachine

— Koelmachine vermogen per m ²	40 W_k /m ²
— Koelmachine vermogen gebouw	400 kW_k
— Koelmachine investering (fig. 3a) 'laag'	99 kf
— Koelmachine investering (fig. 3a) 'hoog'	272 kf
— Koelmachine investering per m ² 'laag'	9.9 f/m_2
— Koelmachine investering per m ² 'hoog'	27.2 f/m_2

Buffer

— Buffervolume per m ²	0.008 m ³ /m ²
— Buffervolume gebouw	80 m ³
— Buffer investering	104 kf
— Buffer investering per m ²	10.4 f/m^2

Totale investering per m²

— 'laag': 9.9 + 10.4 =	20.3 f/m^2
— 'hoog': 27.2 + 10.4 =	37.6 f/m^2

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m²

— 'laag': 20.3 - 13.7 =	6.6 f/m^2
— 'hoog': 37.6 - 32.8 =	4.8 f/m^2

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Jaarlijkse elektriciteitskosten

(Additionele/alternatieve) gegevens:

— som van de maandelijkse (koude-)piekbelastingen	161 W_k .mnd/a
— jaarlijkse koudebehoefte	20.83 $kWh_k/m^2.a$
— verschoven koudeproductie	8.33 $kWh_k/m^2.a$
— COP-compressiekoelmachine	4 GJ_k/GJ_e

Elektriciteitsprijzen:

— vermogensvergoeding (per maand)	10.3 f/kW_e
— basistarief gedurende plateau-uren	8.3 ct/ kWh_e
— basistarief daluren	1.4 ct/ kWh_e
— brandstoftarief	5.0 ct/ kWh_e

Elektriciteitskosten voor koeling:

— vermogensvergoeding	$\frac{0.161}{4} \times 10.3 =$	0.41 $f/m^2.a$
— basis kWh-kosten	$\frac{(20.83 - 8.33)}{4} \times 0.083 + \frac{8.33}{4} \times 0.014 =$	0.29 $f/m^2.a$
— brandstofkosten	$\frac{20.83}{4} \times 0.05 =$	0.26 $f/m^2.a$
	+	0.96 $f/m^2.a$

Verschil met referentie (besparing): $1.38 - 0.96 =$ 0.42 $f/m^2.a$

Derving netto inkomsten energiedistributiebedrijf

(ten opzichte van referentie): $1.12 - (0.41 + 0.29) =$ 0.42 $f/m^2.a$

4.2.3 Koude-opwekking per gebouw / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag

Investerings

Additionele gegevens:

— toeslag voor aanpassing koudebuffer	20%
— vermeden warmte-aansluitvermogen	64 W_t/m^2
— warmte-aansluitkosten	80 f/kW_t

Verschillen ten opzichte van voorgaande:

— investering buffer: $1.2 \times 10.4 =$	12.5 f/m^2
— vermeden warmte-aansluitkosten: $0.064 \times 80 =$	5.1 f/m^2

Totale investering per m^2

— 'laag': $9.9 + 12.5 - 5.1 =$	17.3 f/m^2
— 'hoog': $27.2 + 12.5 - 5.1 =$	34.6 f/m^2

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m^2

— 'laag': $17.3 - 13.7 =$	3.6 f/m^2
— 'hoog': $34.6 - 32.8 =$	1.8 f/m^2

4.2.6 Koude-opwekking per gebouw / absorptiekoeling met koude- en warmte-opslag

Investerings

Additionele gegevens:

— toeslag voor aanpassing koudebuffer	20%
— vermeden warmte-aansluitvermogen	49 W_t/m^2
— warmte-aansluitkosten	80 f/kW_t

Verschillen ten opzichte van voorgaande:

— investering buffer: $1.2 \times 10.4 =$	12.5 f/m^2
— vermeden warmte-aansluitkosten: $0.049 \times 80 =$	3.9 f/m^2

Totale investering per m^2 :

— 'laag': $24 + 12.5 - 3.9 =$	32.6 f/m^2
— 'hoog': $34.6 + 12.5 - 3.9 =$	43.2 f/m^2

Meerinvestering ten opzichte van referentie

— 'laag': $32.6 - 13.7 =$	18.9 f/m^2
— 'hoog': $43.2 - 32.8 =$	10.4 f/m^2

Jaarlijkse warmtekosten (voor koeling): zie uitkomsten 4.2.4

Verschil met referentie (besparing):

— warmte uit rookgassen STEG W/K : $1.38 - 0.03 =$	1.35 $f/m^2.a$
— condensatiewarmte STEG W/K : $1.38 - 0.17 =$	1.21 $f/m^2.a$
— warmte van gasmotor W/K : $1.38 - 0.49 =$	0.89 $f/m^2.a$

Derving inkomsten energiedistributiebedrijf: idem.

4.2.7 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling zonder koude-opslag

Investerings

Koelmachine

— Koelmachine vermogen per m^2	48 W_k/m^2
— Koelmachine vermogen (centrale installatie)	4800 kW_k
— Koelmachine investering (fig. 3b) 'laag'	783 kf
— Koelmachine investering (fig. 3b) 'hoog'	1808 kf
— Koelmachine investering per m^2 'laag'	7.8 f/m_2
— Koelmachine investering per m^2 'hoog'	18.1 f/m_2

Koudedistributiesysteem

8.0 f/m^2

Totale investering per m^2

— 'laag': $7.8 + 8.0 =$	15.8 f/m^2
— 'hoog': $18.1 + 8.0 =$	26.1 f/m^2

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m²

- 'laag': 15.8 - 13.7 = 2.1 f/m²
- 'hoog': 26.1 - 32.8 = -6.7 f/m²

Jaarlijkse elektriciteitskosten

Gegevens:

- jaarlijkse koudebehoefte 0.075 GJ_k/m².a
(=20.85 kWh_k/m².a)
- COP-compressiekoelmachine 4.8 GJ_k/GJ_e

Elektriciteitsprijzen:

- brandstofstarief 5.0 ct/kWh_e

Verschil met referentie (besparing): 1.38 - 0.22 = 1.16 f/m².a

Jaarlijkse elektriciteitskosten voor koeling:

Brandstofkosten $\frac{20.83}{4.8} \times 0.05 = 0.22 \text{ f/m}^2 \cdot \text{a}$

Inkomstenderving uit in-/verkoop van elektriciteit

Zie 4.2.1 1.12 f/m²

4.2.8 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met separate koude-opslag

Investeringskosten

Koelmachine

- Koelmachine vermogen per m² 32 W_k/m²
- Koelmachine vermogen (centrale installatie) 3200 kW_k
- Koelmachine investering (fig. 3b) 'laag' 543 kf
- 'hoog' 1232 kf
- Koelmachine investering per m² 'laag' 5.4 f/m²
- 'hoog' 12.3 f/m²

Buffer

- Buffervolume per m² 0.0113 m³/m²
- Buffervolume centrale installatie 1130 m³
- Buffer investering (fig. 4b) 538 kf
- Buffer investering per m² 5.4 f/m²

Koude distributie systeem

8.0 f/m²

Totale investering per m²

- 'laag': 5.4 + 5.4 + 8.0 = 18.8 f/m²
- 'hoog': 12.3 + 5.4 + 8.0 = 25.7 f/m²

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m ²	
— 'laag': 18.8 - 13.7 =	5.1 f/m ²
— 'hoog': 25.7 - 32.8 =	- 7.1 f/m ²

Jaarlijkse elektriciteitskosten

Zie uitkomsten 4.2.7

Verschil met referentie (besparing): 1.38 - 0.22 =	1.16 f/m ² .a
---	--------------------------

Inkomstenderving uit in-/verkoop van elektriciteit

Zie 4.2.1	1.12 f/m ²
-----------	-----------------------

4.2.9 Collectieve koudevoorziening / compressiekoeling met koude- en warmte-opslag

Investeringen

Verschillen ten opzichte van voorgaande:	
— investering buffer: 1.2 × 5.4 =	6.5 f/m ²
— warmte-opslagvergoeding: 0.7 × 5.4 =	3.8 f/m ²

Totale investering per m ²	
— 'laag': 5.4 + 6.5 + 8.0 - 3.8 =	16.1 f/m ²
— 'hoog': 12.3 + 6.5 + 8.0 - 3.8 =	23.0 f/m ²

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m ²	
— 'laag': 16.1 - 13.7 =	2.4 f/m ²
— 'hoog': 23.0 - 32.8 =	- 9.8 f/m ²

Jaarlijkse elektriciteitskosten

Zie uitkomsten 4.2.7	0.22 f/m ² .a
----------------------	--------------------------

Verschil met referentie (besparing): 1.38 - 0.22 =	1.16 f/m ² .a
---	--------------------------

Inkomstenderving uit in-/verkoop van elektriciteit

Zie 4.2.1	1.12 f/m ²
-----------	-----------------------

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Meerinvestering ten opzichte van referentie per m²

- 'laag': 16.7 - 13.7 = 3.0 f/m²
- 'hoog': 30.2 - 32.8 = - 2.6 f/m²

Jaarlijkse warmtekosten (voor koeling): zie uitkomsten 4.2.10

Verschil met referentie (besparing):

- warmte uit rookgassen STEG W/K: 1.38 - 0.03 = 1.35 f/m².a
- condensatiewarmte STEG W/K: 1.38 - 0.21 = 1.17 f/m².a
- warmte van gasmotor W/K: 1.38 - 0.49 = 0.89 f/m².a

Inkomstenderving uit in-/verkoop van elektriciteit

Zie 4.2.1 1.12 f/m²

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Bijlage 5 Overzicht van berekeningsuitkomsten

Inhoudsopgave

- 5.1 Investerings bij koude-opwekking per gebouw
- 5.2 Jaarlijkse energiekostenverschillen, brandstofbesparingen en emissiereducties bij koude-opwekking per gebouw
- 5.3 Investerings bij collectieve koudevoorziening
- 5.4 Jaarlijkse energiekostenverschillen, brandstofbesparingen en emissiereducties bij collectieve koudevoorziening

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Tabel 5.1 Investerings bij koude-opwekking per gebouw

	Investerings ten behoeve van koudevoorziening (f per m ² vloeroppervlak)				
	Koel- machine	Buffer	Warmte- opslag- vergoe- ding ¹⁾	Totale inves- tering	Meerinves- tering (t.o.v. refe- rentie)
Lage koelmachinekosten					
Compressiekoeling					
- zonder opslag (referentie)	13.7	0	0	13.7	n.v.t.
- met separate koude- opslag	9.9	10.4	0	20.3	6.6
- met koude- en warmte- opslag	9.9	12.5	- 5.1	17.3	3.6
Absorptiekoeling					
- zonder opslag	30.0	0	0	30.0	16.3
- met separate koude- opslag	24.0	10.4	0	34.4	20.7
- met koude- en warmte- opslag	24.0	12.5	- 3.9	32.6	18.9
Hoge koelmachinekosten					
Compressiekoeling					
- zonder opslag (referentie)	32.8	0	0	32.8	n.v.t.
- met separate koude- opslag	27.2	10.4	0	37.6	4.8
- met koude- en warmte- opslag	27.2	12.5	- 5.1	34.6	1.8
Absorptiekoeling					
- zonder opslag	46.4	0	0	46.4	13.6
- met separate koude- opslag	34.6	10.4	0	45.0	12.2
- met koude- en warmte- opslag	34.6	12.5	- 3.9	43.2	10.4

¹⁾Tevens inkomstenderving voor het energiedistributiebedrijf (stadsverwarming)

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Tabel 5.2 Energiekostenverschillen, brandstofbesparingen en emissiereducties bij koude-opwekking per gebouw

	Energie- kosten- verschil f/m ² .a	Brandstof- besparing GJ _b /m ² .a (% ref.)	CO ₂ - reductie kg/m ² .a (% ref.)	NO _x - reductie g/m ² .a (% ref.)
T.o.v. referentiewaarde:	1.38	0.047	2.63	2.11
Compressiekoeling				
- met separate koude-opslag	- 0.42 (0.42)	0.004 8%	0.21 8%	0.17 8%
- met koude- en warmte-opslag	- 0.38 (0.38)	0.004 8%	0.21 8%	0.17 8%
Absorptiekoeling met of zonder opslag en warmte afkomstig van:				
- rookgaswarmte STEG W/K	- 1.35 (1.12)	0.041 88%	2.33 88%	1.87 88%
- condensatiewarmte STEG W/K	- 1.21 (1.12)	0.017 36%	0.95 36%	0.76 36%
- gasmotor W/K	- 0.89 (1.12)	0.030 63%	1.67 63%	- 4.21 - 200% toename!

Noot: De tussen haakjes aangegeven kostenverschillen vertegenwoordigen inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf (uit de in- en verkoop van elektriciteit).

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Tabel 5.3 Investerings bij collectieve koudevoorziening

	Investerings ten behoeve van koudevoorziening (in f per m ² vloeroppervlak)					
	Koel- machine	Buffer	Warmte- opslag- vergoe- ding ¹⁾	Koude- distri- butie- systeem	Totale investe- ring	Meer- investe- ring t.o.v. referentie
Lage koelmachinekosten (referentie-investering 13.7 f/m ² , zie tabel 5.1)						
Compressiekoeling						
- zonder opslag	7.8	0	0	8.0	15.8	2.1
- met separate koude-opslag	5.4	5.4	0	8.0	18.8	5.1
- met koude- en warmte-opslag	5.4	6.5	- 3.8	8.0	16.1	2.4
Absorptiekoeling						
- zonder opslag	8.8	0	0	8.0	16.8	3.1
- met separate koude-opslag	6.0	5.4	0	8.0	19.4	5.7
- met koude- en warmte-opslag	6.0	6.5	- 3.8	8.0	16.7	3.0
Hoge koelmachinekosten (referentie-investering 32.8 f/m ² , zie tabel 5.1)						
Compressiekoeling						
- zonder opslag	18.1	0	0	8.0	26.1	- 6.7
- met separate koude-opslag	12.3	5.4	0	8.0	25.7	- 7.1
- met koude- en warmte-opslag	12.3	6.5	- 3.8	8.0	23.0	- 9.8
Absorptiekoeling						
- zonder opslag	28.5	0	0	8.0	36.5	3.7
- met separate koude-opslag	19.5	5.4	0	8.0	32.9	0.1
- met koude- en warmte-opslag	19.5	6.5	- 3.8	8.0	30.2	- 2.6

¹⁾ Dit zijn géén inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport

Tabel 5.4 Energiekostenverschillen, brandstofbesparingen en emissiereducties bij collectieve koudevoorziening

	Energie- kosten- verschil f/m ² .a	Brandstof- besparing GJ _p /m ² .a (% ref.)	CO ₂ - reductie kg/m ² .a (% ref.)	NO _x - reductie g/m ² .a (% ref.)
T.o.v. referentie waarde:	1.38	0.047	2.63	2.11
Compressiekoeling				
- zonder koude- opslag	- 1.16 (1.12)	0.0078 17%	0.44 17%	0.35 17%
- met koude- en warmte-opslag	- 1.16 (1.12)	0.0125 27%	0.70 27%	0.56 27%
Absorptiekoeling met of zonder opslag en warmte afkomstig van:				
- rookgaswarmte STEG W/K	- 1.35 (1.12)	0.041 88%	2.33 88%	1.87 88%
- condensatiewarmte STEG W/K	- 1.17 (1.12)	0.0094 20%	0.53 20%	0.42 20%
- gasmotor W/K	- 0.89 (1.12)	0.030 63%	1.67 63%	- 4.21 - 200% toename!

Noot: De tussen haakjes aangegeven kostenverschillen vertegenwoordigen inkomstendervingen voor het energiedistributiebedrijf (uit de in- en verkoop van elektriciteit).

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Bijlage 6 Algemene beschouwing over korte-termijn koude- en warmte-opslag

Inhoudsopgave

- 6.1 Inleiding
- 6.2 Koude-opslag in relatie tot compressiekoeling
- 6.3 Koude-opslag in relatie tot absorptiekoeling
- 6.4 Warmte-opslag in relatie tot warmte/krachtkoppeling en
stadsverwarming
- 6.5 Gecombineerde koude- en warmte-opslag
- 6.6 Collectieve koudevoorziening

6.1 Inleiding

De inhoud van deze bijlage betreft een algemene beschouwing over koude- en warmte-opslag in relatie tot de voor deze studie relevante koude- en warmtevoorzieningstechnieken. Dit geschiedt in het kader van de volgende indeling in onderwerpen.

- Koude-opslag in relatie tot compressiekoeling.
- Koude-opslag in relatie tot absorptiekoeling; dit omvat mede een vergelijking tussen absorptie- en compressiekoeling.
- Warmte-opslag in relatie tot warmte/krachtkoppeling en stadsverwarming.
- Gecombineerde koude- en warmte-opslag, met name de verschillen ten opzichte van separate koude- en warmte-opslag.
- Collectieve koudevoorziening, als alternatief op koude-opwekking per gebouw, in het algemeen en in relatie tot koude- en warmte-opslag.

6.2 Koude-opslag in relatie tot compressiekoeling

– Kostenaspecten –

Zoals reeds aangegeven in de inleiding wordt korte-termijn koude-opslag meestal toegepast met het oog op de kostenvoordelen als gevolg van piekscheren en belastingverschuiving.

Het principe van piekscheren is aangegeven in figuur 1a van bijlage 1. Het hierin aangegeven belastingpatroon vertegenwoordigt (in principe) de koudebehoefte van een kantoorgebouw op de dag dat deze behoefte maximaal is. Bij toepassing van koude-opslag kan met een lager koelmachinevermogen worden volstaan en in het piekdeel van de koudebehoefte worden voorzien door suppletie uit het koude-opslagreservoir.

Verlaging van het koelmachinevermogen biedt de mogelijkheid tot verlaging van de koelmachinekosten. Hier tegenover staan echter de additionele kosten van een koude-opslagreservoir. In het geval van koudwateropslag heeft een dergelijk reservoir een relatief lage opslagcapaciteit per m³ buffervolume (als gevolg van een relatief klein verschil tussen hoogste en laagste opslagtemperatuur). De additionele kosten van het opslagreservoir zijn hierdoor meestal (belangrijk) hoger dan de vermindering van de koelmachinekosten. Door te kiezen voor ijsopslag is het opslagvolume aanzienlijk te verminderen. Omdat de kosten van een ijsproducerende koelmachine echter in het algemeen belangrijk hoger zijn dan van een waterkoelend apparaat, is op basis van de huidige stand van zaken geen werkelijke verlaging van de totale investeringen te verwachten.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Om de economische haalbaarheid van (uitsluitend) koude-opslag te kunnen realiseren, is het onder deze omstandigheden noodzakelijk om door belastingverschuiving een belangrijke verlaging op de exploitatiekosten te bewerkstelligen.

Bij elektrisch aangedreven koelmachines is dit in principe mogelijk als gevolg van een vermindering van de elektriciteitskosten. Door verkleining van de koelmachinekosten vermindert het elektrisch aandrijfvermogen en dus ook de hiermee overeenkomende vermogensvergoeding. Ook kan als gevolg van een verschil tussen de dag- en de nachtwaarde van het kWh-tarief een kostenverlaging worden verkregen (meer nacht- en minder dagbedrijf). De grootte van deze kostenbesparingen is echter afhankelijk van de elektriciteitstarieven. In landen met een zomerpiekende elektriciteitsvraag (bijvoorbeeld de VS) zijn de tarieven zodanig dat een vermogensreductie in deze periode belangrijke kostenvoordelen oplevert. Dit is in veel mindere mate het geval in Nederland met een (voorlopig nog) winterpiekende elektriciteitsvraag.

– Energiebesparings- en milieu-effecten –

Ten aanzien van de directe effecten van koude-opslag op het primaire energieverbruik voor compressiekoeling, zijn zowel positieve als negatieve invloedsfactoren te onderkennen.

Ten aanzien van het elektriciteitsverbruik voor koudeproductie zijn (in principe) het vermijden van deellastbedrijf en een verlaging van de condensatietemperatuur bij nachtbedrijf als positieve factoren te noemen. Het vermijden van deellastbedrijf impliceert een hoger gemiddeld compressorrendement, maar hier staat echter tegenover dat als gevolg van een verkleining van de verdamper en de condensor (overeenkomstig de verlaging in koelmachinevermogen), de temperatuursverschillen voor warmte-overdracht in deze componenten gemiddeld hoger zullen zijn. Wat zwaarder weegt voor het energieverbruik zal afhankelijk zijn van de ontwerpoptimalisatie en het type regeling van de koelmachine. Het voordeel van een lagere condensatietemperatuur bij nachtbedrijf geldt voor koelmachines met luchtgekoelde condensoren (of met koeltoren) en is een gevolg van een buitenluchttemperatuur die 's nachts lager is dan overdag.

Tot de negatieve invloedsfactoren behoren de thermische verliezen en de extra benodigde pompenergie voor het opslagreservoir. Ook is meestal sprake van toepassing van een zogenaamde isolatie-warmtewisselaar, waarmee de (atmosferische) druk in een opslagreservoir wordt gescheiden van de meestal hogere drukken van het koud-watercircuit. Dit impliceert een verlaging van de verdampertemperatuur als gevolg van een extra temperatuursverschil voor warmte-overdracht.

Wanneer bovendien sprake is van een ijsopslagsysteem, dan is bij de meest toegepaste systeemuitvoeringen sprake van een aanzienlijk lagere verdampingstemperatuur, soms in combinatie met additionele ontdooiingsverliezen. Dit betreft echter systemen met ijsvorming op gekoelde warmtewisselaaroppervlakken, die mede hierdoor minder geschikt zijn voor alternatief gebruik ten behoeve van warmte-opslag. Er zijn echter ook ijsopslagsystemen denkbaar die wel hiervoor geschikt zijn en waarbij genoemde nadelen worden geminiseerd. Dit betreft processen met ijsslurryvorming als gevolg van direct-contact warmtewisseling in onderkoeld water of bij het zogenaamde vacuümvriesproces [11].

Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op stadsverwarming
Eindrapport

Ten aanzien van het netto effect van bovenstaande factoren kan zeer in het algemeen worden gesteld dat voorzover er sprake is van een potentiële elektriciteitsbesparing, deze van marginale betekenis zal zijn.

Dit hoeft echter niet te gelden voor de primaire energiebesparing als gevolg van belastingverschuiving van dag- naar nachturen. Dit geldt met name wanneer het totale vermogen van de kolengestookte elektriciteitscentrales kleiner is dan de minimale landelijke elektriciteitsbelasting. Dit betekent dat ook 's nachts gasgestookte elektriciteitscentrales in bedrijf zijn en dat dit uiteraard de elektriciteitscentrales met het hoogste rendement zullen zijn. Hier staat tegenover dat een verlaging van het elektriciteitsverbruik overdag betekent dat minder elektriciteit wordt geproduceerd door (pieklast-) centrales met een lager rendement. Verschuiving van elektriciteitsverbruik van dag- naar nachturen impliceert hierdoor een besparing op het primaire energieverbruik.

De indirecte energiebesparingseffecten als gevolg van koude-opslag bij compressiekoeling betreffen met name de mogelijkheid om de koelmachine voor warmteproductie in de winter te benutten. Hierbij moet echter worden aangetekend dat deze besparingsmogelijkheid moet worden beoordeeld in relatie tot de energiebesparingen door middel van de reeds aanwezige mogelijkheid van warmteproductie door middel van warmte/krachtkoppeling. Een belangrijke overweging voor het energiebesparingspotentieel op lange termijn is dat de totale warmtebehoefte te groot is om hierin uitsluitend op basis van warmte/krachtkoppeling te voorzien.

Ten aanzien van milieuconsequenties van koude-opslag bij compressiekoeling kan worden gesteld dat in het kader van elektriciteitsopwekking door gasgestookte elektriciteitscentrales of STEG W/K-installaties, de veranderingen in CO₂- en NO_x-emissies evenredig zijn met de primaire energiebesparingen. Bij elektriciteitsopwekking door gasmotor W/K-installaties geldt dit ook voor de CO₂-emissies, maar is sprake van een (relatief) aanzienlijke toename voor wat betreft de NO_x-emissies. Dit nadeel geldt echter voor de methode van warmte/krachtkoppeling en mag niet zonder meer worden toegeschreven aan koude-opslag.

Ten aanzien van de betekenis van koude-opslag voor de CFK-problematiek kan worden gesteld dat een verkleining van het koelmachinevermogen een overeenkomstige reductie van de koelmiddelinhoud impliceert. Hiernaast bestaat ook de mogelijkheid van een indirect effect wanneer de kostenvoordelen van koude-opslag de toepassing van collectieve koeling financieel over de streep trekken. Dit biedt de mogelijkheid voor toepassing van alternatieve koudemiddelen die uit veiligheidsoverwegingen niet in gebouwen toelaatbaar zouden zijn.

6.3 Koude-opslag in relatie tot absorptiekoeling

Dat wat in het voorgaande is gesteld voor koude-opslag bij compressiekoeling geldt in belangrijke mate ook voor koude-opslag bij absorptiekoeling.

Een belangrijk verschil betreft echter het effect van belastingverschuiving. In combinatie met warmte/krachtkoppeling is het van belang dat warmte/krachtbedrijf zoveel mogelijk plaatsvindt gedurende de piekuren van de landelijke elektriciteitsbelasting

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

(dus geen verschuiving van dag- naar nachtbedrijf). In hoeverre met deze belasting-verschuiving kostenvoordelen zijn te behalen is echter afhankelijk van de tariefstelling voor elektriciteitsverbruik (met name of hiermee een vermogensvergoeding is gemoed).

Er kan worden opgemerkt dat in dit verband koude-opslag eenzelfde functie vervult als warmte-opslag. De mogelijkheid dat koude-opslag toch extra voordelen biedt doet zich voor wanneer voor aandrijving van de absorptiekoelmachine een hogere aandrijftemperatuur gewenst is dan kan worden betrokken uit een reservoir met warmte-opslag bij atmosferische druk ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Gedurende de beperkte periode dat de absorptiekoelmachine bij het opladen van de koudebuffer in (vollast)bedrijf is, kan de aandrijftemperatuur (tijdelijk) boven deze waarde worden verhoogd. Deze bedrijfswijze lijkt vooral interessant voor collectieve koudevoorziening, waarbij de koude-opwekkingsinstallatie staat opgesteld naast een gasmotor W/K-installatie, of waarbij deze alleen via transportleidingen is verbonden met een STEG W/K-installatie.

Indien de toepassing van koude-opslag (mede) op deze basis de toepassing van absorptiekoeling financieel over de streep trekt, dan is het gerechtvaardigd om de eventuele energiebesparingen en emissieverlagingen te beschouwen als indirecte voordelen van koude-opslag. Over de marktomvang van gevallen die door opslag financieel over de streep worden getrokken, kan in het kader van deze studie echter geen uitspraak worden gedaan.

Tenslotte dient nog te worden opgemerkt dat de indirecte energiebesparingsvoordelen als gevolg van het gebruik van absorptiekoelmachines voor warmte-opwekking in de winter, minder waarschijnlijk lijken dan voor compressiekoelmachines. Dit hangt samen met de temperatuursdegradatie van de aandrijfwarmte van een absorptie-warmtepomp, waardoor deze mogelijkheid in sterkere mate afhankelijk is van een laag temperatuurniveau van de warmtebehoefte. Dit betreft echter een problematiek die nadere studie vereist.

Voor wat betreft milieu-effecten kan worden opgemerkt dat naast een verlaging van CO_2 - en NO_x -emissies conform de energiebesparingen, ook een CFK-vermindering kan worden verkregen door toepassing van absorptiekoelmachines met als stofpaar lithium bromide en water. In relatie tot een eventuele toepassing van ijsopslag dient echter te worden beseft dat dit stofpaar (in een gesloten cyclus) ongeschikt is voor ijsproductie. In principe zou dan kunnen worden overgegaan op water en ammoniak als stofpaar, maar dit introduceert (mogelijke) veiligheidsproblemen die dezelfde zijn als voor compressiekoeling.

Aspecten die verder nog een keuzebepaling tussen compressie- en absorptiekoeling kunnen beïnvloeden zijn de volgende:

- de investeringen voor absorptiekoelmachines zijn in het algemeen hoger dan voor compressiekoelmachines, met name naarmate de aandrijftemperatuur lager is;
- de COP van ééntraps absorptiekoelmachines is ongeveer gelijk aan $0.7\text{ kW}_k/\text{kW}_t$ en wordt slechts weinig beïnvloed door veranderingen in verdampings- en condensatietemperaturen (in tegenstelling tot compressiekoelmachines); de COP van tweetraps absorptiekoelmachines kan hoger zijn dan $2\text{ kW}_k/\text{kW}_t$, maar dit vergt relatief hoge aandrijftemperaturen (meestal 160 à $180\text{ }^{\circ}\text{C}$) en hogere investeringen.

6.4 Warmte-opslag in relatie tot warmte/krachtkoppeling en stadsverwarming

De voordelen van warmte-opslag bij warmte/krachtkoppeling zijn tot op zekere hoogte vergelijkbaar met de in het voorgaande aangegeven voordelen van koude-opslag. Er zijn echter ook duidelijke verschillen te onderkennen.

– Kostenaspecten –

De voordelen van piekscheren betreffen vermogensreducties die zowel de warmte/krachtinstallatie (bij levering van eenzelfde aandeel van de totaal benodigde warmte) als de pieklastketel betreffen.

Een verschil met koude-opslag is dat een reductie van het warmte/krachtvermogen niet noodzakelijkerwijs hoeft te resulteren in een (significant) kostenvoordeel. Dit is met name het geval wanneer de elektrische vermogensvergoeding al voldoende hoog is om de investerings- en onderhoudskosten van de warmte/krachtinstallatie meer dan goed te maken.

Belastingverschuiving biedt de mogelijkheid om (bij een warmtevolgende bedrijfswijze) deellastbedrijf van de warmte/krachtinstallatie te vermijden. Dit impliceert verlagingen van zowel de brandstofkosten (hogere energierendementen) als van de variabele onderhoudskosten. Bovendien kan het bedrijf worden verschoven naar perioden waarin de baten van elektriciteitsopwekking het hoogst zijn. Dit zijn met name de daguren van werkdagen waarin de landelijke verrekeningspieken zouden kunnen optreden.

Naast deze voordelen die betrekking hebben op warmte-opwekking, is het bij stadsverwarming ook mogelijk om met warmte-opslag de kosten van de warmtetransportleidingen te verlagen. Door warmtebuffers decentraal op te stellen binnen het verzorgingsgebied, kunnen bij een eveneens decentrale opstelling van de pieklastketels, de leidingdiameters in belangrijke mate worden verminderd. Het hieruit resulterende kostenvoordeel dient echter te worden afgewogen tegen hogere specifieke kosten van de warmtebuffer (per m³ buffervolume).

Ten aanzien van de kosten per kWh opslagcapaciteit kan verder nog worden opgemerkt dat deze voor een warmtebuffer lager zullen zijn dan voor een koudwaterbuffer met dezelfde totaalcapaciteit. Dit is het gevolg van een voor warmte-opslag aanzienlijk groter verschil tussen hoogste en laagste opslagtemperatuur.

– Energiebesparings- en milieu-effecten –

Energiebesparingen die zijn toe te schrijven aan warmte-opslag zijn met name een gevolg van het vermijden van deellastbedrijf. Hiernaast zijn ook extra energiebesparingen te verwachten als gevolg van een verminderd aandeel van de pieklastketel in de totale warmtevoorziening.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

Gedecentraliseerde warmte-opslag bij stadsverwarming geeft als gevolg van een verkleining van de leidingdiameters (met name bij een nieuw aan te leggen leidingnet) een verlaging van de warmteverliezen. Bij een bestaand leidingnet zal als gevolg van relatief overgedimensioneerde leidingen de benodigde pompenergie lager zijn. Naar verwachting gaat het hierbij echter slechts om marginale voordelen.

Tegenover deze positieve invloedsfactoren staan als nadelen de warmteverliezen van het opslagreservoir en mogelijk een toename van de benodigde pompenergie.

De aan warmte-opslag toe te schrijven vermindering van CO₂- en NO_x-emissies is in principe overeenkomstig de aan warmte-opslag toe te schrijven energiebesparingen.

6.5 Gecombineerde koude- en warmte-opslag

Hiermee wordt bedoeld op een opslagconcept waarbij éénzelfde opslagreservoir wordt gebruikt voor zowel koude-opslag in de zomer als warmte-opslag in de winter.

Uitgaand van een systeem van koudevoorziening met koude-opslag zijn over het gebruik van de koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden de volgende opmerkingen te maken.

- De buffer dient voor wat betreft de aard van het opslagmedium geschikt te zijn voor zowel koude- als warmte-opslag. In het geval van koud- en warm-wateropslag levert dit in principe geen problemen. Wel bestaat de mogelijkheid dat als gevolg van een veel lager temperatuursverschil bij koudwater-opslag het buffervolume overbemeten zal zijn voor warmte-opslag (een oplossing voor dit probleem is over te gaan van koud-wateropslag naar ijsslurryopslag).
- De koudebuffer dient te worden aangepast voor warmte-opslag. Dit vergt minimaal de toevoeging van (warmte-)aansluitleidingen en additionele regelapparatuur. De hiermee gemoeide kosten zullen in de regel echter slechts een (klein) deel zijn van de kosten van een separate koude- of warmtebuffer.
- Bij koude-opwekking per gebouw zullen de baten van warmte-opslag (voor de eigenaar/gebruiker van het kantoorgebouw) het gevolg zijn van een vermindering van het maximaal benodigde warmtevermogen. Dit betekent (bijvoorbeeld) een overeenkomstige vermindering van de eenmalige aansluitvergoeding. Het is echter zeer de vraag of de hiermee gepaard gaande inkomstenderving voor het stadsverwarmingsbedrijf gecompenseerd zal kunnen worden door even hoge kostenbesparingen. Deze (potentiële) kostenbesparingen betreffen onder andere een verlaging van de kosten van leidingaanleg (kleinere leidingdiameters), vermindering van de benodigde pompenergie (bij een bestaand leidingsysteem), verminderd bedrijf van de pieklastketel en/of een verminderde behoefte aan centrale opslagcapaciteit.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

- In het geval van collectieve koudevoorziening (zie 6.6), waarbij een energiedistributiebedrijf voor zowel de koude- als de warmtevoorziening zorgdraagt, zijn de kostenvoordelen van gecombineerde opslag rechtstreeks te bepalen in termen van vermeden kosten van een separate warmtebuffer. Van een dergelijke warmtebuffer is bijvoorbeeld sprake in gevallen waarbij de centrale koude-opwekkingsinstallatie wordt opgesteld bij een gasmotor warmte/krachtstation. Uit het gestelde in 6.3 blijkt dat dit ook het geval kan zijn bij stadsverwarming met warmtelevering door een STEG W/K-centrale en met decentrale warmtebuffers die verspreid staan opgesteld binnen het verzorgingsgebied.
- Gebruikmaking van een koudebuffer voor warmte-opslagdoeleinden impliceert een beperking van de beschikbaarheid voor warmte-opslag gedurende de zomer. Dit kan (met name) een nadeel zijn voor stadsverwarming met een STEG W/K-centrale, waarbij warmte-opslag (mede) dient om bij intermitterend bedrijf van de STEG installatie de duur van iedere bedrijfsperiode te verlengen.

6.6 Collectieve koudevoorziening

Collectieve koudevoorziening is een optie die zich meestal pas voordoet in situaties waarbij meerdere koudegebruikers tegen concurrerende kosten kunnen worden aangesloten op een koudedistributienet. Dit wordt in hoofdzaak bepaald door een afweging tussen de lagere kosten van (grootschalige) koude-opwekking tegen de additionele kosten van het koudedistributiesysteem. Naast economische factoren kunnen echter ook energiebesparingen en milieu-effecten een (steeds belangrijker) rol spelen bij de keuzebepaling tussen koude-opwekking per gebouw en collectieve koudevoorziening.

De overwegingen die bij deze keuzebepaling een rol spelen (en nog niet betrokken zijn op koude-opslag) zijn de volgende.

- De specifieke kosten van de (grotere) koelmachines (in f/kW_k) zijn lager.
- Het maximaal benodigde koude-opwekkingsvermogen is lager (tengevolge van het gelijktijdigheidseffect en een verminderde behoefte aan reservevermogen).
- Hogere COP van de koelmachines. Bij compressiekoeling is dit met name een gevolg van de toepassing van centrifugaalcompressoren [9] en mogelijk een lagere condensatietemperatuur (bij beschikbaarheid van een natuurlijke koelwaterbron).
- Verminderde ruimtebehoefte bij de afnemers.
- Grotere bedrijfszekerheid van de koudevoorziening. Dit is met name een gevolg van een verbeterd toezicht (hoger geschoold personeel) en de toepassing van meerdere koelmachines.

*Studie naar gecombineerde warmte- en koude-opslag voor kantoorgebouwen aangesloten op
stadsverwarming
Eindrapport*

- Verhoogde veiligheid door verbeterd toezicht en ruimere mogelijkheden voor invoering van veiligheidsmaatregelen. Dit schept ook mogelijkheden voor de vervanging van CFK's door bijvoorbeeld ammoniak als koelmiddel (dit laatste elimineert echter de praktische toepassingsmogelijkheid van centrifugaalcompressoren).
- Tegenover bovenstaande voordelen staan uiteraard als nadelen de additionele kosten en energieverliezen van een koudedistributiesysteem. Deze kosten kunnen echter meevallen als gevolg van lage leidingtemperaturen (géén of minder behoefte aan thermische isolatie en expansievoorzieningen) en gelijktijdige aanleg met warmtedistributieleidingen (aan het bezwaar van grote leidingdiameters als gevolg van een klein verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur zou tegemoet kunnen worden gekomen door het verpompen van een ijsslurry). De economische toepasbaarheid blijft echter sterk afhankelijk van de aansluitdichtheid van het (koude-)verzorgingsgebied.
- Er bestaat een noodzaak voor de één of andere vorm van gemeenschappelijke exploitatie van de koudevoorziening (bijvoorbeeld door een energiedistributiebedrijf).

Overwegingen die betrokken zijn op koude-opslag zijn de volgende.

- De specifieke kosten van (grotere) koudebuffers (in f/m^3) zijn eveneens aanzienlijk lager. Wanneer deze schaalafhankelijke kostenreducties in sterkere mate gelden voor buffers dan voor koelmachines, dan betekent dit tevens een verbetering van de economische toepasbaarheid van koude-opslag.
- Bij toepassing van absorptiekoeling is een hogere aandrijftemperatuur mogelijk. Dit is zonder meer duidelijk bij een opstelling van de centrale koelmachine ter plaatse van een gasmotor W/K-station. Het is echter ook denkbaar bij warmtelevering door een STEG W/K-centrale (zie 2.1).