



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



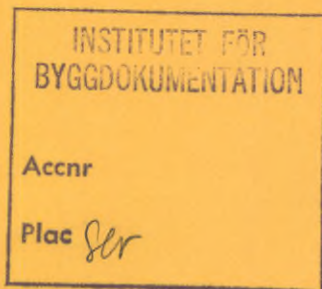
Rapport

R15:1986

Smältvärmelagers tillämpningar

**Hans Johnsson
Johnny Kellner
Lars Malmström**

*K
9/11*



Byggeforskningsrådet

R15:1986

SMÅLTVÄRMELAGERS TILLÄMPNINGAR

Hans Johnsson
Johnny Kellner
Lars Malmström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831422-6
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,
Stockholm.

REFERAT

I projektet har olika system för uppvärmning och kylning i vilka salt används som latent värmelagringsmedium sammanställt och analyserats.

Det finns idag ett flertal kommersiellt tillgängliga salter för smältvärmelagring (latent lagring) av värme och/eller kyla inom intervallet -30°C till $+95^{\circ}\text{C}$. Smältvärmelager kan i princip användas vid alla typer av värmelagring i aktuellt temperaturintervall.

Kostnadsmässigt kan dock smältvärmelager i de flesta fall inte konkurrera med konventionella värmelager t ex varmvattenackumulatorer. I tillämpning där skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur i lagret av systemtekniska skäl måste vara låg ($\Delta t < 30\text{K}$) är dock smältvärmelager konkurrenskraftiga.

En viktig slutsats i rapporten är att lagring av kyla med smältvärmelager i många fall uppvisar en mycket god ekonomi. Ganska få anläggningar finns dock i drift.

Kartläggningen beträffande smältvärmelager visar att det bör finnas många tillämpningar där smältvärmelager troligen är lönsamma.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R15:1986

ISBN 91-540-4528-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLL

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	6
1. INLEDNING	8
2. BAKGRUND	9
2.1 Kort beskrivning av smältvärmelagring	9
2.2 Indelning i områden	9
3. SYSTEMLÖSNINGAR	10
3.1 Nattel och/eller effektutjämnning	10
3.1.1 Allmänt	10
3.1.2 Lagring av nattel i villa med vattenburet system	10
3.1.3 Lagring av nattel och/eller effektutjämnning i gruppcentral	13
3.2 Spillvärme	15
3.2.1 Allmänt	15
3.2.2 Lagring av spillvärme från dag till natt; industrilokaler med luftburet system	15
3.2.3 Lagring av spillvärme från dag till natt; industrilokaler med vattenburet system	18
3.3 Frånluftvärme	20
3.3.1 Allmänt	20
3.3.2 Lagring av frånluftvärme från dag till natt	20
3.4 Värmepump	22
3.4.1 Allmänt	22
3.4.2 Lagring av värme före uteluftvärmepump	22
3.4.3 Lagring av värme efter uteluftvärmepump för gruppcentral	24
3.5 Vedbaserad uppvärmning	26
3.5.1 Allmänt	26
3.5.2 Lagring av värme från braskamin för villa	26
3.6 Kyla	28
3.6.1 Allmänt	28
3.6.2 Lagring av kyla i komfortkylanläggning för t ex kontor	29

3.6.3	Lagring av kyla i kyl/frysanläggning för industri	31
3.6.4	Kombinerad lagring av kyla och värme i komfortkylanläggningar	33
3.6.5	Passiv lagring av kyla i varma klimat	35
4.	KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	37
5.	REFERENSER	39
BILAGA 1	Tekniska data för salter från Calor	40
BILAGA 2	Tekniska data för salter från Cristopia	41

FÖRORD

Detta arbete har finansierats genom anslag från Statens Råd för Byggnadsforskning till VBB AB. Initiativtagare till projektet har varit Wiktor Raldow, forskningssekreterare hos BFR.

Studiens inriktning har främst varit att undersöka olika teknikområden där latent saltvärmelagring kan bli aktuell.

Rapporten behandlar olika systemtillämpningar för både värmning och kylning. Latent lagring för kylning har systemtekniskt ej studerats i större omfattning i Sverige. Den genomgång som presenteras i denna rapport ger dock indikationer på att kylning är den kanske intressantaste teknikutvecklingen för smältvärmelagring.

Författarna vill tacka den av BFR tillsatta referensgruppen för värdefulla råd och bidrag till rapporten. Referensgruppen har bestått av Tekn dr Bo Carlsson, inst för fysikalisk kemi KTH, Prof Björn Karlsson, Linköpings Universitet och Tekn dr Mats Westermark, Scandiaconsult.

Stockholm november 1985

SAMMANFATTNING

Det finns idag ett flertal kommersiellt tillgängliga salter för smältlagring (latent lagring) av värme och/eller kyla inom intervallet från -30°C till $+95^{\circ}\text{C}$. Smältvärmelager kan i princip användas för alla typer av värmelagring inom detta temperaturintervall.

Kostnadsmässigt kan dock smältvärmelager i de flesta fall inte konkurrera med konventionella värmelager t ex varmvattenackumulatorer. I tillämpning där skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur i lagret av systemtekniska skäl måste vara låg ($\Delta t < 30\text{K}$) är dock smältvärmelager konkurrenskraftiga.

Följande områden har särskilt studerats:

- Lagring av nattel och/eller effektutjämning
- Lagring av spillvärme
- Lagring av frånluftvärme
- Lagring i samband med värmepumpar
- Lagring i samband med vedeldning
- Lagring av kyla

En viktig slutsats i rapporten är att lagring av kyla med smältvärmelager vid många tillämpningar uppvisar en mycket god ekonomi. Ganska få anläggningar finns dock i drift. Vid nybyggnad består vinsterna i huvudsak i att investeringskostnaderna minskar. I befintliga kylanläggningar kan man genom att installera ett smältvärmelager öka kapaciteten. En speciell tillämpning i samband med kyla, där smältvärmelager kan utnyttjas, är kylning av byggnader i varma klimat med stora skillnader mellan natt- och dagtemperatur. Eventuellt kan detta vara en marknad för svensk export av trähus, där lagret kan ersätta den termiska massan i huset.

För lagring av spillvärme finns intressanta lagringstillämpningar, främst inom industrin. Återbetalningstiden blir dock vanligen längre än 5 år vilket ofta är en alltför lång tid för industrisektorn.

I rapporten redovisas ett system för lagring av frånluftvärme från dag till natt i ventilations-system där ventilationen är avstängd under natten. Systemet som i princip är en frånluftvärmepump kombinerad med ett smältvärmelager möjliggör dygnet-runt-drift av värmepumpen trots att venti-

lationen är avstängd under natten. Merkostnaden för lagret är låg jämfört med kostnaden för värmepumpen.

Smältvärmelager i kombination med konventionella värmepumpsystem, t ex uteluftvärmepumpar, tycks ganska sällan vara lönsamma.

Studien har visat att det bör finnas ett flertal tillämpningar där smältvärmelager är lönsamma. Redovisning av praktiska erfarenheter saknas dock i många fall. I och med att nya anläggningar byggs och provas är det viktigt att erfarenheterna analyseras och sammanställs.

1. INLEDNING

Utvecklingen av system där smältvärmelager ingår har tidigare främst varit inriktad på solvärmetillämpningar. Det finns dock många andra områden där latent lagring av värme eller kyla kan vara en tillämplig teknik.

Syftet med projektet är att göra en sammanställning över, och analysera, olika system för uppvärmning och kylning i vilka salt används som latent lagringsmedium.

Projektet inriktar sig främst mot uppvärmning resp kylning av bebyggelse. Tillämpningar av latent smältvärmelagring i t ex kemiska processanläggningar har därför ej tagits med.

Solvärmetillämpningar har ej heller behandlats i denna rapport, eftersom dessa system utförligt finns behandlade i svenska och utländska forskningsrapporter.

2. BAKGRUND

2.1 Kort beskrivning av smältvärmelagring

Principen för att lagra värme i salt går ut på att utnyttja fasomvandlingsenergin för en saltlösning, s k latent värmelagring. Temperaturen för denna fasomvandling (fast-flytande) varierar för olika saltyper.

I bilaga 1 och 2 visas data för kommersiellt tillgängliga salter från två olika tillverkare.

Vid kontakt med dessa leverantörer uppges priset för salterna inkl kapsling vara ca 130 kr/kWh. I detta pris har även förutsatts att en viss lagring, motsvarande ett t på 40°C över smälttemperaturen sker. I de flesta fall blir de totala kostnaderna för lagret högre än 130 kr/kWh p g a tillkommande kostnader för reglerutrustning, rör m m. För en typisk installation hamnar totalkostnaden i dagsläget ofta i intervallet 300-400 kr/kWh.

Man kan alltså även lagra värme i salt genom uppvärmning över smältpunkten, s k sensibel värmelagring. Det är dock så att fasomvandlingsenergin i de flesta fall är stor i förhållande till den sensibla värmen.

Som en jämförelse kan nämnas att i ett is-vattenlager fasomvandlingsenergin mellan is och vatten motsvarar en temperaturskillnad i den ingående mängden vatten på 80°C.

2.2 Konkurrerande system

Smältvärmesystem som utnyttjar salter har i olika tillämpningar några konkurrerande system av vilka de främsta är:

- a Sensibla lager, t ex en vattenackumulator eller lagring i en byggnadsstomme, bjälklag
- b Is-vattenlager

2.3 Indelning i områden

För att få en klarare bild av de olika system som redovisas har en uppdelning i områden gjorts enligt följande.

- Lagring av nattel och/eller effektutjämning
- Lagring av spillvärme
- Lagring av frånluftvärme
- Lagring av värme i samband med värmepump
- Lagring av värme från vedeldning
- Kyla

3. SYSTEMLÖSNINGAR

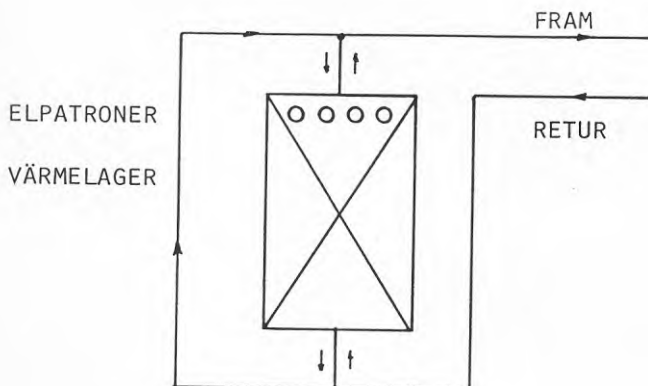
3.1 Nattel och/eller effektutjämning

3.1.1 Allmänt

Under den tid på året, eventuellt hela året, då differentierad eltaxa dag/natt tillämpas, kan ett smältvärmelager utnyttjas för att lagra energi från natt till dag. Samma typ av system kan även utnyttjas för effektutjämning.

3.1.2 Lagring av nattel i villa med vattenburet system

Principkopplingsschema:



Figur 3.1

Beskrivning:

Lagringsbehållare och elpanna byggs ihop till en enhet som är av ungefär samma storlek som en konventionell villaelpanna.

Fyra driftfall kan urskiljas:

- a Lagring av värme; detta sker då billig elenergi finns och det inte finns något uppvärmningsbehov.

- b Lagring av värme samt uppvärmning; detta sker då det finns billig elenergi samtidigt som uppvärmningsbehov föreligger, dock inte av maxeffekt.
- c Uppvärmning från lager; detta sker då elenergin är dyr och det finns energi lagrad samtidigt som uppvärmningsbehov föreligger.
- d Direktuppvärmning; detta sker då uppvärmningsbehov föreligger och lagret antingen är urladdat eller fulladdat samtidigt som elenergin är billig.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 55-80°C. Saltet genomgår fasomvandling vid 64°C.

Utnyttjande:

Under tiden oktober-april. Detta ger maximalt 212 fullständiga cykler. Antag $0,95 \times 212 = 201$.

Möjlig marknad:

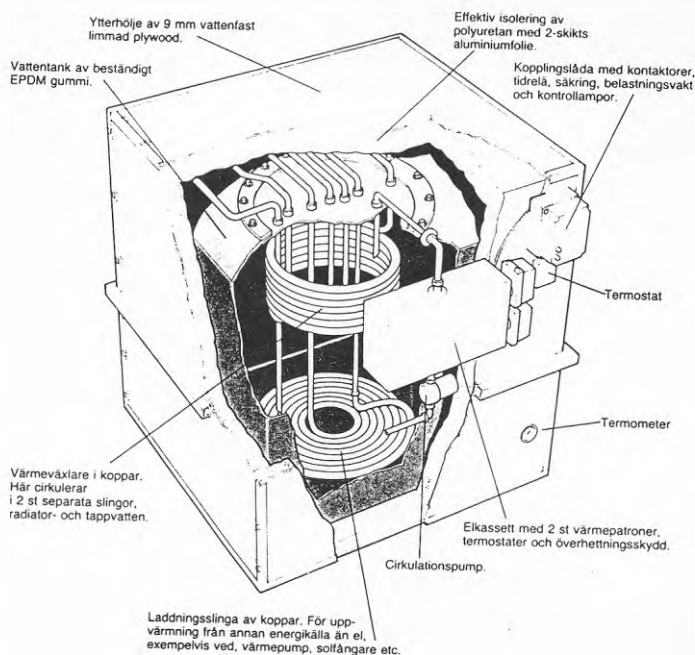
Om systemet är ekonomiskt konkurrenskraftigt finns en stor villamarknad där det som totallösning kan konkurrera med värmepumpinstallationer och konventionella elpannor.

Teknikläge:

Det engelska företaget Calor säljer ett system som är mycket likt det ovan beskrivna.

Konkurrerande system:

Ett flertal system med varmvattenackumulator finns på marknaden. För villor finns det kompletta system med inbyggda elpatroner som ersätter elpanna och varmvattenberedare. Exempel på fabrikat är Trelleborgs Energibox och Watt värmeackumulator från Tibnor Energi. Figur 3.2 visar en skiss på Trelleborgs Energibox.



Tekniska data		Lagringskapacitet kWh (40–90°C)	Bredd/mm	Längd/mm	Höjd/mm
Volym	Vikt/kg				
1,5 m ³	150	85	1 200	1400	1 600
2,5 m ³	250	145	1 200	2 600	1 400

Figur 3.2 Ackumulatör för lagring av nattel

Utvärdering:

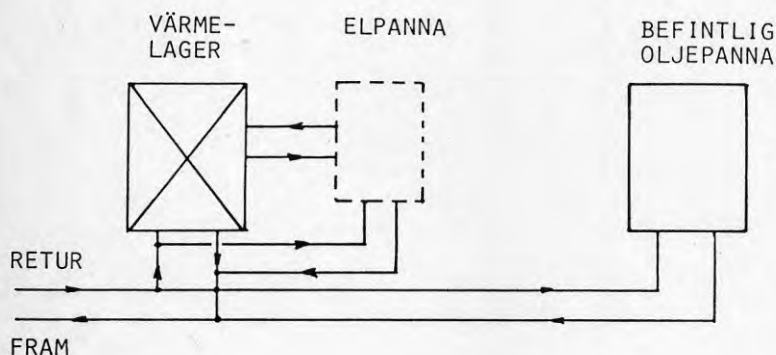
En jämförelse mellan ett smältvärmelager och Trelleborgs Energibox visar att, vid samma mängd lagrad energi, blir lagringsvolymen 0,8 m³ i ett smältvärmelager istället för 1,5 m³ i Trelleborgs Energibox.

En ökning i volym av Trelleborgs Energibox till 2,5 m³, vilket ger en ökad lagringskapacitet av 60 kWh kostar ca 3 000 kr. Fylls den mindre tanken (1,5 m³) med t ex Cristopia saltbollar (se bilaga 2) skulle en ökad lagringskapacitet på ca 80 kWh uppnås till en kostnad av ca 17 000 kr, vilket är avsevärt dyrare än den något större tanken. Det minskade volymbehovet kan knappast kompensera den höga merkostnaden.

Bedömningen blir därför att någon större marknad för smältvärmelager för lagring av nattel på detta sätt inte kan påräknas.

3.1.3 Lagring av nattel och/eller effektutjämning i gruppcentral och fjärrvärmesystem

Principkopplingsschema:



Figur 3.3

Beskrivning:

Saltlagret och elpannan installeras i en gruppcentral i kombination med en befintlig oljepanna.

Ett antal olika driftfall, på liknande sätt som enligt punkt 3.1.2, kan förekomma. Uppvärmning sker i första hand med hjälp av lagret som laddas av nattel. Uppvärmning under natten sker med el. Oljepannan får svara för spetslast samt tillsatsvärme under dagen. Lagret kommer också att minska behovet av installerad effekt och underlätta driften.

Lagring av nattel i gruppcentral skiljer sig från fallet med lagring i villa genom att returtemperaturerna kan bli höga, vilket minskar den utnyttjningsbara temperaturdifferensen. Låga temperaturdifferenser gör smältvärmelager mer konkurrenskraftiga jämfört med varmvattenackumulatorer.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 65–85°C med en fasomvandlingstemperatur på 78°C.

Utnyttjande:

Fullt utnyttjande beräknas kunna ske under oktober - april, vilket ger 212 fullständiga cykler. Antag $0,95 \times 212 = 201$.

Konkurrerande system:

En icke trycksatt vattenackumulator är huvudkonkurrenten. Vid mycket höga returtemperaturer blir den utnyttjningsbara temperaturdifferensen liten. Trycksatta system där man kan utnyttja högre temperaturer än 100°C blir då alternativet.

Möjlig marknad:

Hetvattenackumulatorer installeras i allt fler fjärrvärmesystemen.

Teknikläge:

Ingen anläggning uppförd eller planerad i Sverige.

Utvärdering:

Kostnaden för stora hetvattenackumulatorer är mycket låg jämfört med dagens smältvärmelager. En hetvattenackumulator kostar ca 500 kr/m^3 och lagringskapaciteten är drygt 50 kWh/m^3 ($\Delta t = 50^{\circ}\text{C}$). Detta motsvarar 10 kr/kWh . Kostnaden för ett motsvarande smältvärmelager kan uppskattas till ca 130 kr/kWh som normalpris. Vid dessa något större anläggningar blir kostnaden troligtvis något lägre, ca 110 kr/kWh , för själva smältvärmelagret. Kostnader för lagringstank och kringutrustning tillkommer dock.

De jämförelsevis höga kostnaderna för smältvärmelager jämfört med ackumulatorer gör att det rimligen inte kan finnas någon marknad för smältvärmelager i denna typ av applikationer.

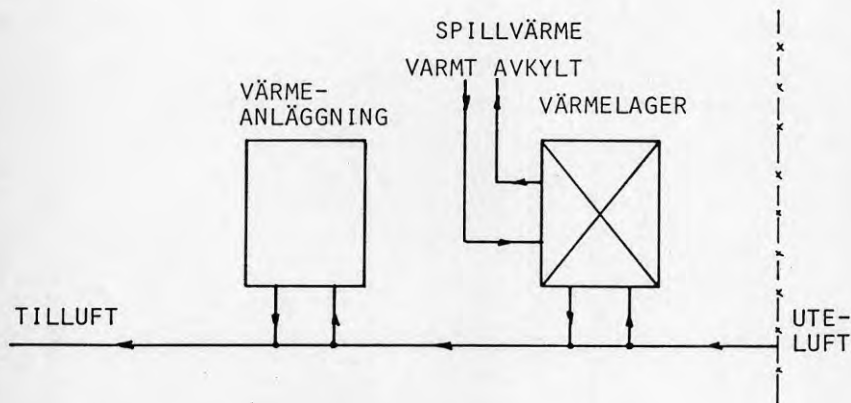
3.2 Spillvärme

3.2.1 Allmänt

I många industrier uppstår normalt värmeöverskott under drift medan behov av uppvärmning föreligger då verksamheten ligger nere. Med hjälp av smältvärmelager kan värme lagras antingen från dag till natt eller från arbetsvecka till helg.

3.2.2 Lagring av spillvärme från dag till natt; industrilokaler med luftburet uppvärmningssystem

Principkopplingsschema:



Figur 3.4

Beskrivning:

Smältvärmelagret installeras i anslutning till den befintliga värmeanläggningen och utnyttjas tillsammans med denna.

Under arbetstid tillgänglig spillvärme lagras i smältvärmelagret. Vid värmebehov tas värme i första hand från lagret och i andra hand produceras värmen i den befintliga värmeanläggningen. Lagring av spillvärmeöverskottet sker från dag till natt.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 25-37°C med fasomvandling vid 31°C.

Utnyttjandening:

Fullt utnyttjande beräknas kunna ske under oktober - april. Med 5 dagars arbetsvecka kan ca 150 cykler påräknas.

Konkurrerande system:

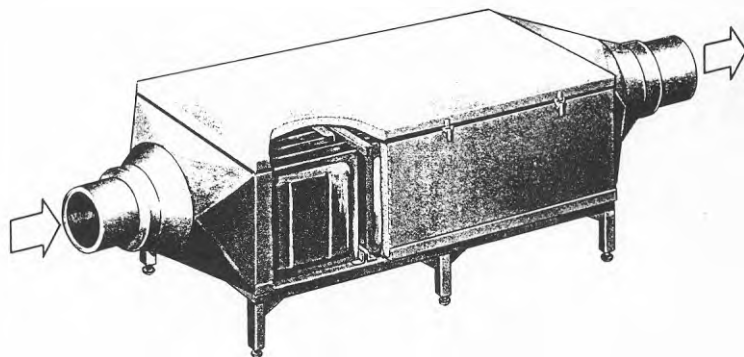
För befintliga anläggningar finns det knappast några lagringssystem som kan konkurrera. Vid nyproduktion kan en liknande lagerkapacitet erhållas genom lagring i t ex hålbjälklag.

Möjlig marknad:

Den möjliga marknaden för ett system av antydd typ är tämligen stor. Energibesparingspotentialen här av LiTH uppskattats till flera TWh/år.

Teknikläge:

Alfa-Laval ECS AB har utvecklat en lagringsenhet för luftvärmewäxling. Det finns ett mindre antal anläggningar i drift. Figur 3.5 visar denna lagringsenhet.



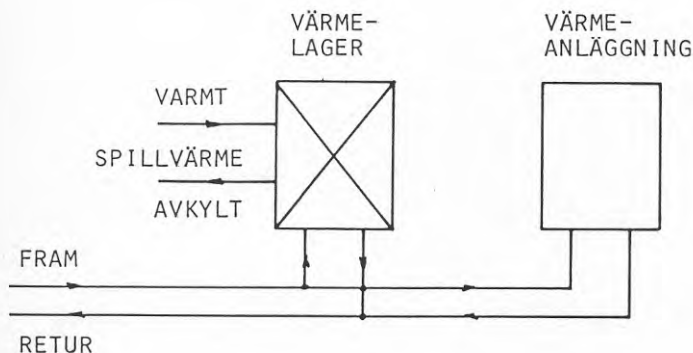
Figur 3.5

Utvärdering:

Systemet från Alfa-Laval ECS kan lagra ca 50 kWh per cykel och kostar komplett ca 300 kr/kWh. Priset bör kunna sänkas vid serieproduktion. Vid en alternativ produktionskostnad av 30 öre/kWh och 150 cykler erhålls en återbetalningstid av drygt 6 år. Denna återbetalningstid är alltför lång för att någon större marknad för denna typ av system skall kunna uppstå. Kan priset halveras bör dock marknaden bli betydande.

3.2.3 Lagring av värme från dag till natt; industrilokaler med vattenburet uppvärmningssystem

Principkopplingschema:



Figur 3.6

Beskrivning:

Smältvärmelagret installeras i anslutning till den befintliga värmeanläggningen och utnyttjas tillsammans med denna. Ett exempel kan vara att spillvatten med en temperatur av ca 40°C finns tillgängligt under ca 6 timmar per dygn. Under denna tid laddas lagret. Under dygnets övriga timmar sker urladdning. Vid dessa låga temperaturer måste ett lågtemperatursystem utnyttjas. Fläktluftvärmare och värmebatterier för tilluftsaggregat kan dimensioneras för mycket låga temperaturer.

Lagringstemperatur:

Lagringstemperaturen är beroende av spillvärmemetemperaturen, dock i praktiken inom intervallet 30-50°C. Vid högre temperaturer konkurrerar vattenlager.

Utnyttjande:

Lagret bör kunna utnyttjas med 150 cykler/år.

Möjlig marknad:

Marknaden är troligen betydligt mindre än den för luftburna system, men ändå i absoluta tal stor.

Teknikläge:

Ingen anläggning är uppförd eller planerad i Sverige.

Utvärdering:

Systemet är i vissa tillämpningar konkurrenskraftigt. I de flesta fall är dock varmvattenackumulator ett billigare alternativ.

3.3 Frånluftvärme

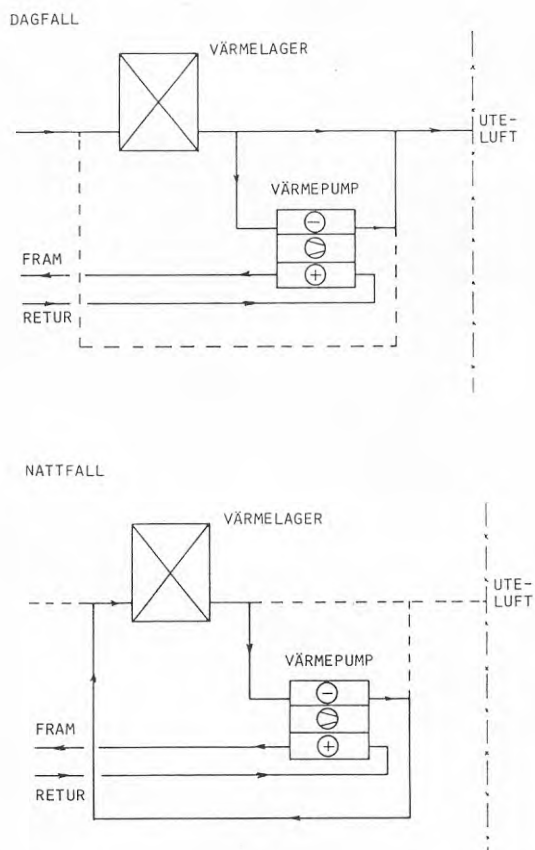
3.3.1 Allmänt

I frånluftssystem och från-/tillluftssystem där värmewäxlare inte installerats och där drift endast sker under dagtid kan ett smältvärmelager utnyttjas för att öka drifttiden för en frånluftsvärmepump.

Systemet blir speciellt intressant vid höga frånluftstemperaturer, vilket är vanligt inom industrin.

3.3.2 Lagring av frånluftvärme från dag till natt

Principkopplingsschema:



Figur 3.7

Beskrivning:

Smältvärmelagret kopplas in enligt figur 3.7. Lagring sker av det värmeöverskott som inte utnyttjas av värmepumpen. Detta sker då verksamheten är igång, dvs under dagtid. Natttid tas värme från lagret till frånluftsvärmepumpen.

Figuren visar ett system med förångare och smältvärmelager luftberörda. Systemet kan också utföras med en mellankrets innehållande köldbärarlösning.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 0-40°C med en fasomvandlingstemperatur på 10-40°C, beroende på frånluftstemperaturen.

Utnyttjande:

Fullt utnyttjande kan påräknas under oktober - april. Utnyttjas veckans vardagar medför detta ca 150 cykler.

Konkurrerande system:

En konventionell uteluftvärmepump konkurrerar med detta system. Värmefaktor och energiproduktion vid låga utetemperaturer blir dock lägre.

Ett konkurrerande system är också en vattenackumulatör. En annan variant är ett is-vattenlager som även har möjlighet att ge kyla.

Möjlig marknad:

Systemet är möjligt att installera i de flesta byggnader där ventilationssystemet är avstängt under natten.

Teknikläge:

Inget system av denna typ finns ännu installerat.

Utvärdering:

Kostnaden för lagret är ganska låg jämfört med värmepumpen. En värmepump av aktuell typ kostar ca 5 000 kr/kW. Ett smältvärmelager för lagring av den kylenergi som en värmepump med värmeeffekten 1 kW behöver för 12 timmars drift kostar ca 2 000 kr. Lagerkostnaden inkl kringutrustning har då antagits till 300 kr/kWh. Av detta skäl förefaller systemet vara mycket intressant.

Systemet passar i kontor, skolor och industrier som vanligen endast utnyttjas under dagtid. Denna kategori av fastigheter har inte räntebidrag som bostadssektorn. Detta försämrar konkurrenskraften för alla kapitalintensiva system inklusive konventionella värmepumpar utan lagring.

En viss marknad för denna typ av system kan påräknas. Storleken är dock svårbedömd p g a den osäkra kostnadsbilden.

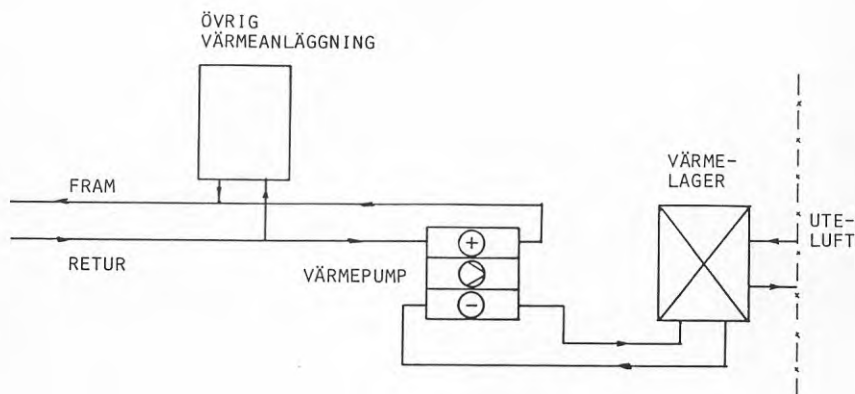
3.4 Värmepump

3.4.1 Allmänt

Användande av lager i värmepumpsystem medför vissa fördelar. Driften blir jämnare och gångtiderna för värmepumpen längre. Lagret ger även möjlighet att utnyttja värme- och kylenergi när den behövs istället för när den alstras. I och med detta erhålls ett större energiutnyttjande.

3.4.2 Lagring av värme före uteluftvärmepump

Principkopplingsschema:



Figur 3.8

Beskrivning:

Smältvärmelagret lagrar energi från uteluft vid något varmare tillfällen till perioder då värmepumpen annars inte skulle drivas p g a för kall väderlek.

När det är tillräckligt varmt ute lagras energi i smältvärmelagret samtidigt som värmepumpen är i drift. När det är för kallt för värmepumpen att arbeta direkt mot uteluften tas värme från lagret så länge det är möjligt. När lagret är urladdat måste el eller oljepanna utnyttjas.

Med ett smältvärmelager förlängs drifttiden för värmepumpen och värmefaktorn förbättras. Detta gynnar driftekonomin.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet -10 till +7°C med en fasomvandlingstemperatur på ca 0°C.

Utnyttjande:

Lagret utnyttjas främst under för- och eftervin-
ter, men även under midvintern då temperaturen
pendlar. Såväl temperatursvängningar på några
dygn som från dag till natt kan utnyttjas. Det
kan antas att lagring motsvarande 60 fulla cykler
för lagret kan utnyttjas. Siffran är dock mycket
osäker.

Konkurrerande system:

Markvärmelager kan utnyttjas på liknande sätt.

Möjlig marknad:

I de fall då uteluftvärmepump eller värmepump
med likartad tillgänglighet av värmekällan instal-
leras kan ett lager av ovan beskriven typ instal-
leras. En lönsamhet i samma storleksordning som
hos värmepumpen krävs dock.

Teknikläge:

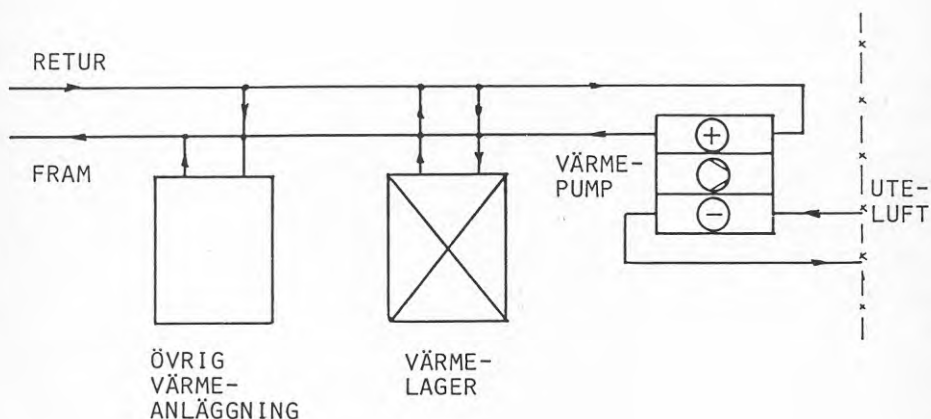
Ingen anläggning av denna typ är ännu planerad
eller uppförd.

Utvärdering:

Produktutvecklingen gör att uteluftvärmepumpar
på ett allt bättre sätt klarar att arbeta vid
låga utetemperaturer. Detta minskar lönsamheten
för system av denna typ. Ingen marknad för smält-
värmelager i denna applikation kan påräknas.

3.4.3 Lagring av värme efter uteluftvärmepump för gruppcentral

Principkopplingsschema:



Figur 3.9

Beskrivning:

Smältvärmelagret lagrar energi efter värmepumpen vid de tillfällen värmepumpen kan gå med hänsyn till utelufttemperaturen. Det är alltså genom värmepumpen som lagret laddas.

När utelufttemperaturen blir för låg för effektivt utnyttjande av värmepumpen tas värme från lagret.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 55-70°C med en fasomvandlingstemperatur på 64°C.

Utnyttjande:

Lagret kan utnyttjas i ungefär samma utsträckning som i exempel 3.4.2, d v s ca 60 cykler eller något mindre.

Möjlig marknad:

Den möjliga marknaden är gruppcentraler eller motsvarande med uteluftvärmepump där stora svängningar i värmelasten förekommer.

Utvärdering:

Systemet kan ge drifttekniska fördelar. Ett smältvärmelager bör i denna tillämpning kunna konkurrera med vattenackumulatorer. Det är dock osäkert hur mycket lagret i praktiken kan utnyttjas. En ekonomisk utvärdering kan knappast göras i detta skede. En kombination med lagring av nattel kan förbättra systemekonomin ytterligare.

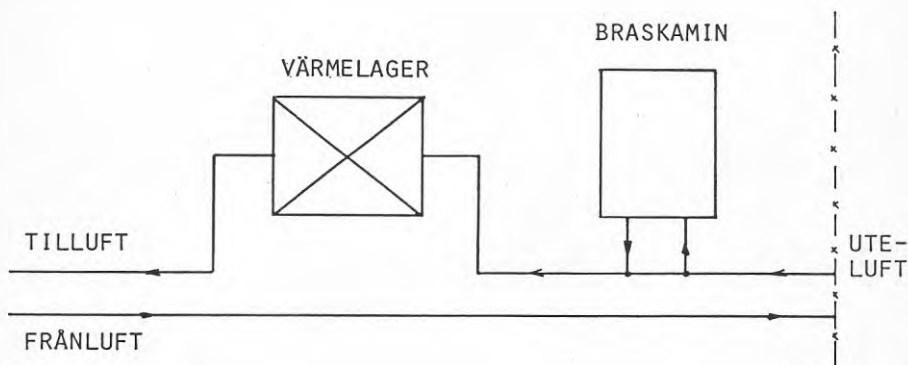
3.5 Vedbaserad uppvärmning

3.5.1 Allmänt

För att utnyttja vedeldning på ett bekvämt sätt bör eldning kunna ske under korta perioder men värme levereras kontinuerligt. Detta kan åstadkommas med någon typ av lager.

3.5.2 Lagring av värme från braskamin för villa

Principkopplingsschema:



Beskrivning:

Smältvärmelagret installeras i kombination med en braskamin enligt figur 3.10. Eldning behöver ske i braskaminen maximalt 2 gånger per dag. Luften efter braskaminen har en temperatur på ca 70°C och kyls i lagret till ca 30°C varefter den förs in som tilluft. När braskaminen inte är i drift värms luften antingen i lagret, eller om detta är urladdat, av en elvärmare, som också måste finnas.

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 20-35°C med en fasomvandlingstemperatur på 27°C.

Utnyttjande:

Utnyttjande sker under tiden oktober - april. Under tre månader eldas en brasa per dygn och under övriga fyra månader två brasor per dygn. Detta ger ca 320 lagercykler per år.

Konkurrerande system:

En vattenackumulator eller ett stenmagasin för lagring av värme är tänkbara konkurrenter.

Möjlig marknad:

Den villamarknad, som har möjlighet att installera braskamin och härtill någon typ av lager, är stor.

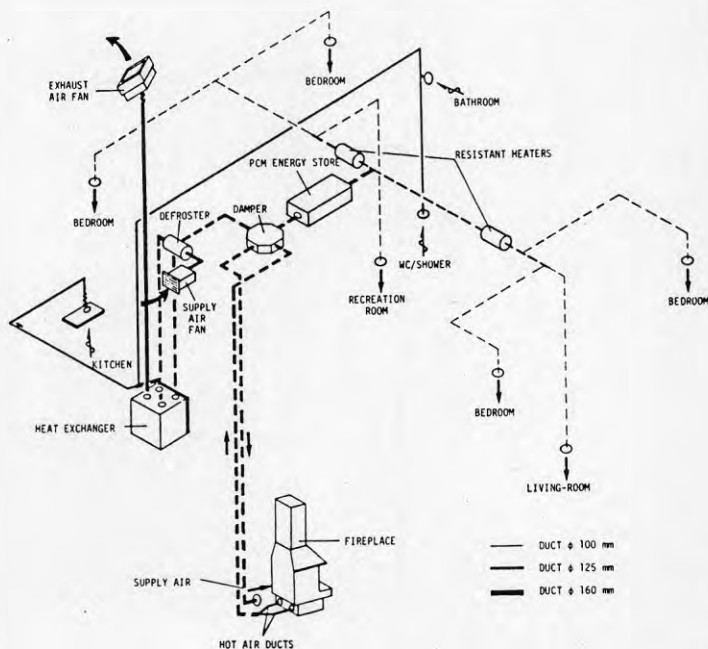
Teknikläge:

Braskaminer med små varmvattenlager finns på marknaden.

Utvärdering:

Smältvärmelager i kombination med braskamin gör, jämfört med sensibel värmelagring, att temperaturen blir jämnare och att övertemperaturer kan undvikas. Det är dock svårt att göra en ekonomisk utvärdering av dessa komfortmässiga fördelar.

Systemet kan kombineras med ytterligare komponenter, t ex enligt figur 3.11



Figur 3.11

3.6 Kyla

3.6.1 Allmänt

Möjligheten att lagra kyla i smältvärmelager har tidigare inte studerats i någon större utsträckning. I smältvärmelager kan kyla lagras vid både lägre och högre temperaturer än 0°C, vilket ofta medför bättre systemlösningar än is-vattenlager.

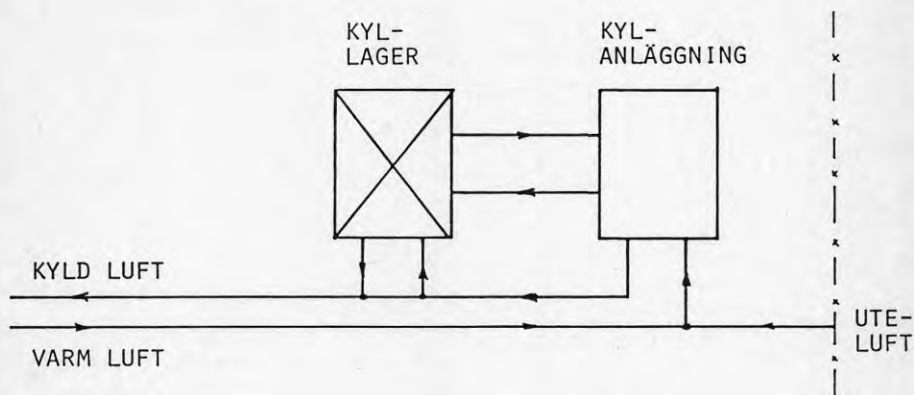
Kylanläggningar måste dimensioneras efter det maximala kyleffektbehovet. Ofta är emellertid kylbehovet starkt varierande och maximala kyleffekten utnyttjas normalt endast under mycket korta tider. Ett lager kan jämna ut kyleffekttoppar och det blir då möjligt att installera en mindre kylmaskin som kan gå med maximal last under större del av tiden.

En sådan systemlösning skiljer sig ganska väsentligt från värmelagring. Vid värmeproduktion klaras toppeffekten i regel med hjälp av en oljepanna, åtminstone vid större anläggningar. En oljepanna är relativt billig per installerad effekt-enhet, medan i en kylmaskin produktionen per effekt-enhet är lika dyr när det gäller baslast som topplast.

Ett användningsområde är nya anläggningar där smältvärmelagret kan ingå i kylsystemet redan från början. Ett annat är att öka kyleffekten i en befintlig konventionell kylanläggning. I stället för en ny kylmaskin installeras ett smältvärmelager i systemet. Den befintliga kylmaskinen svarar då för baslastbehovet medan smältvärmelagret klarar toppar i kyleffektbehovet.

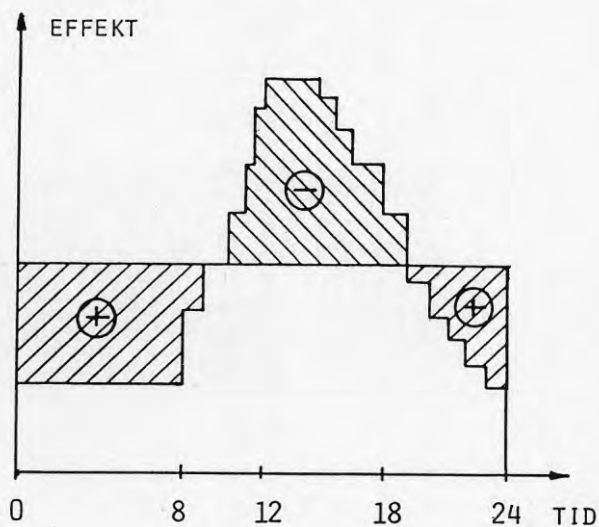
3.6.2 Lagring av kyla i komfortkylanläggning för t ex kontor

Principkopplingsschema:



Beskrivning:

Kylanläggningen körs vid full effekt hela dygnet. Vid lågt kylbehov laddar kylanläggningen ett smältvärmelager. Vid höglast tas kyla dels från kylanläggningen, dels från smältvärmelagret. Figur 3.13 visar i princip hur effektuttaget ur lagret kan variera under ett dygn.



Figur 3.13

Lagringstemperatur:

Lagring sker i temperaturintervallet 7-17°C med en fasomvandlingstemperatur på 12°C.

Utnyttjande:

Fullt utnyttjande beräknas ske maj - september. Med en cykel per dygn under vardagar ger detta ca 105 fullständiga cykler.

Konkurrerande system:

Det enda lagringsalternativet är ett is-vattenlager där den utgående temperaturen styrs genom shuntning.

Möjlig marknad:

Om lönsamheten kan visas vara tillräckligt god bör det finnas en stor marknad för komfortkylsystem med smältvärmelager. Kontor, men även affärer, restauranger, datacentraler etc, hör till tänkbara avnämare.

Teknikläge:

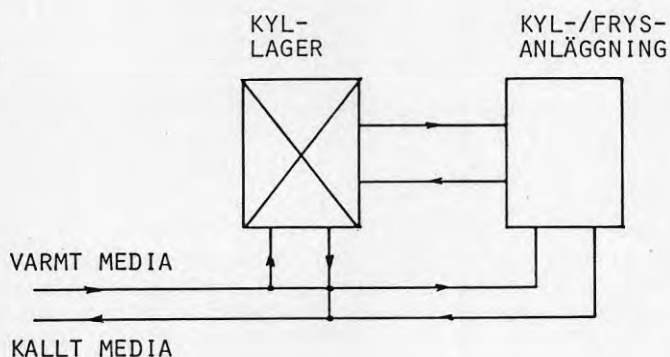
Någon anläggning i Sverige och ett antal anläggningar utomlands, bl a i Frankrike, utnyttjar system av beskriven typ. Cristopia Energilagring AB säljer denna typ av system både i Sverige och utomlands.

Utvärdering:

Vid en urladdningstid på 8 timmar minskar ett lager med kapaciteten 1 kWh det installerade effektbehovet med 0,13 kW. Med kostnaden 300 kr per lagrad kWh innebär detta att en sänkning av installerad kyleffekt med 1 kW kostar ca 2 300 kr. Kostnaden för kylanläggningar är i de flesta fall högre. Marknaden för denna typ av lagringssystem torde därför vara betydande.

3.6.3 Lagring av kyla i kyl-/frysanläggning för industri

Principkopplingsschema:



Figur 3.14

Beskrivning:

Den konventionella kyl-/frysanläggningen dimensioneras för kontinuerlig drift. Under låglastperioder lagras kyla i lagret. Vid höglast klaras effekttoppar genom tillskott från lagret.

Utnyttjande:

Det kan antas att lagret utnyttjas med en cykel per arbetsdag. Under övrig tid hålls kylan konstant. Detta ger ca 200 fullständiga cykler per år.

Konkurrerande system:

Här finns inget konkurrerande system. Alternativet är att installera en större kylanläggning. En sådan blir dock inte lika väl utnyttjad under låglastperioder.

Möjlig marknad:

Marknaden är t ex anläggningar för industriprocesskyla, kyla för livsmedel samt lagring av andra frysta/kyllda produkter.

Teknikläge:

System av beskriven typ finns redan i flera anläggningar både i Sverige och utomlands. Bl a Cristopia Energilagring AB säljer smältvärmelager för denna typ av system.

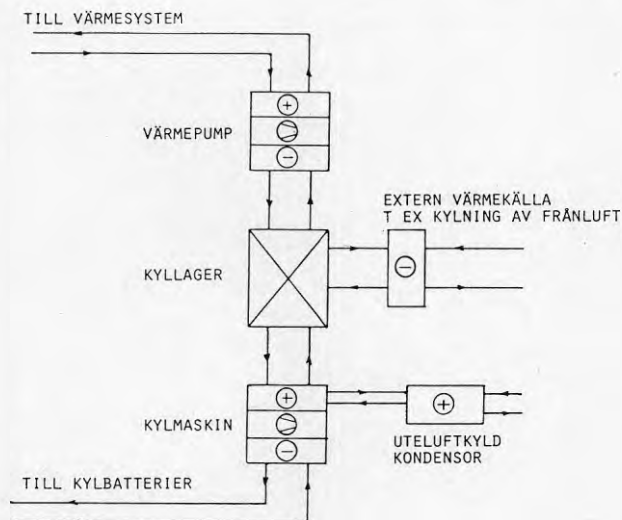
Utvärdering:

Jämfört med en komfortkylanläggning är effekttopparna i en kyl-/frysanläggning både kortare i tiden och högre.

Vid snabbinfrysning av ett varulager på t ex 4 timmar minskar ett lager med kapaciteten 1 kWh det installerade effektbehovet med 0,25 kW. Med en kostnad av 300 kr per lagrad kWh innebär detta att en installerad kyleffekt på 1 kW kostar 1 200 kr. Detta är avsevärt lägre än kostnaden för 1 kW kyleffekt i en konventionell kylanläggning. Det bör därför finnas en betydande marknad för system av denna typ.

3.6.4 Kombinerad lagring av kyla och värme i komfortkylanläggningar

Principkopplingsschema:



Figur 3.15

Beskrivning:

Systemet installeras enligt figur 3.15. Anläggningen består av en kylmaskin som dels kyler lokaler och/eller maskiner utrustade med kyla dels kyler frånluften för att återvinna värme. Ett smältvärmelager inkopplat efter kylmaskinens förångare utjämnar främst dygnsvariationer. På kondensorsidan är kylmaskinen kopplad till värmesystemet (värmning av tilluft, radiatorer och tappvarmvatten) och en utomhusförångare. Utomhusförångaren utnyttjas vid höga kylbehov och låga värmebehov.

Lagringstemperatur:

Värmelagring sker i temperaturintervallet 25-45°C med en omvandlingstemperatur på 33°C. Kyl-lagring sker i temperaturintervallet 0-15°C med en omvandlingstemperatur på ca 5°C.

Utnyttjande:

Anläggningens värmelager antas utnyttjas under större delen av uppvärmningssäsongen.

Konkurrerande system:

Systemet kan alternativt utföras med is-vattenackumulator. Även lagring i byggnadsstommen, av t ex Strängbetongs Termodecksystem konkurrerar.

Möjlig marknad:

Främst kontors- och affärslokaler utgör möjlig marknad för systemtypen.

Teknikläge:

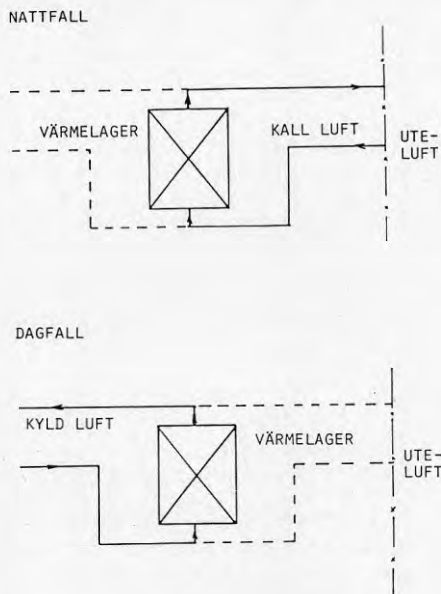
Några anläggningar med denna typ av smältvärmelager är under byggnad.

Utvärdering:

Ett flertal liknande system med is-vattenackumulator har installerats i Sverige. Is-vattenackumulatorer tycks ligga på ungefär samma kostnadsnivå som smältvärmelager baserade på salt. Installationstekniskt har saltlager vissa fördelar, varför konkurrenskraften bör vara god. Det bör därför finnas möjligheter att en stor del av nyproduktionen av kontors- och affärslokaler kan förses med denna typ av system. Det är även möjligt att introducera systemet i befintliga anläggningar.

3.6.5 Passiv lagring av kyla i varma klimat

Principkopplingsschema:



Figur 3.16

Beskrivning:

Systemet enligt figur 3.16 är avsett för klimat där kylbehov föreligger under långa tider men där utetemperaturen på natten är låg. Under natten förs uteluft genom lagret. På dagen sker kylning av byggnaden genom att rumsluften cirkulerar genom saltlagret. Luftcirkulationen sker med hjälp av en fläkt. Styrning av luftströmmarna sker genom spjäll.

Lagringstemperatur:

Lagring av kyla sker i temperaturintervallet 15-30°C med en omvandlingstemperatur på 20-25°C. En förutsättning för att systemet skall fungera är att utetemperaturen är minst ca 10°C lägre än omvandlingstemperaturen under minst 6 natt-timmar.

Konkurrerande system:

En tung byggnadsstomme kan ge liknande kyleffekt. Se t ex BFR R105:1904 "En jämförelse mellan en lätt byggnad med aktiv värmelagring och en tung byggnad".

Möjlig marknad:

Marknaden för denna systemtyp finns i länder med varmt inlands klimat. Systemet kan utnyttjas som ett alternativ till tung byggnadsstomme och skulle därför kunna användas i svenska trähus som exporteras till t ex Algeriet.

Teknikläge:

Ingen anläggning av denna typ är byggd eller planerad.

Utvärdering:

Systemet är helt beroende av klimatet. Under tider då temperaturen under natten inte sjunker tillräckligt, t ex på grund av molnighet, fungerar systemet inte. Systemet är dock billigt och ger nästan inga driftkostnader. Drift av fläktar skulle med fördel kunna göras med hjälp av solceller där el saknas.

4. KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Kartläggningen av tänkbara system visar att det finns många tillämpningar där smältvärmelager är lönsamma. Redovisning av praktiska erfarenheter saknas dock i flera fall. I och med att nya anläggningar byggs och provas är det viktigt att erfarenheterna analyseras för en erfarenhetsåterföring.

Det finns idag ett flertal kommersiellt tillgängliga salter för smältvärmelagring (latent lagring) av värme och/eller kyla inom intervallet från -30°C till $+95^{\circ}\text{C}$. Smältvärmelager kan i princip användas i hela detta temperaturintervall.

Kostnadsmässigt kan smältvärmelager i de flesta fall inte konkurrera med konventionella värmelager, t ex varmvattenackumulatörer. I tillämpning där skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur i lagret av systemtekniska skäl måste vara låg ($\Delta t < 30\text{K}$) är dock smältvärmelager konkurrenskraftiga.

Smältvärmelager i kombination med kylanläggningar förefaller i många fall vara lönsamma. Vid nybyggnad uppstår vinsterna i huvudsak genom att investeringskostnaderna minskar. I befintliga kylanläggningar kan installation av ett smältvärmelager öka kapaciteten.

De tillämpningar med smältvärmelager i kombination med spillvärme som redovisas är i många fall intressanta. Dessa tillämpningar finns främst i industrin. Återbetalningstiden blir dock vanligen längre än 5 år vilket ofta bedöms som en alltför lång tid.

Under pkt 3.3.2 redovisas ett system, som i princip är en frånluftvärmepump kombinerad med ett smältvärmelager. Detta möjliggör dygnet-runt-drift av värmepumpen trots att ventilationen är avstängd under natten. Merkostnaden för lagret är låg jämfört med kostnaden för värmepumpen.

Smältvärmelager i kombination med konventionella värmepumpsystem, t ex uteluftvärmepumpar, är sällan lönsamma.

I Sverige har ett flertal anläggningar med isackumulatörer för kombinerad lagring av värme och kyla installerats. Saltsmältvärmelager bör i sådana anläggningar kunna bli konkurrenskraftiga alternativ.

Vår marknadsbedömning beträffande kemisk latent smältvärmelagring kan sammanfattas enligt följande.

Gradering

Lagring av nattel i villa med vattenburet system	4
Lagring av nattel och/eller effektutjämnning i gruppcentral	4
Lagring av spillvärme från dag till natt; industrilokaler med luftburet system	1
Lagring av spillvärme från dag till natt; industrilokaler med vattenburet system	2
Lagring av frånluftvärme från dag till natt	2
Lagring av värme före uteluftvärmepump	4
Lagring av värme efter uteluftvärmepump för gruppcentral	3
Lagring av värme från braskamin för villa	3
Lagring av kyla i komfortkylanläggning för t ex kontor	1
Lagring av kyla i kyl/frysanläggning för industri	1
Kombinerad lagring av kyla och värme i komfortkylanläggningar	1
Passiv lagring av kyla i varma klimat	2

1. Omedelbar marknad
2. Trolig marknad, behöver undersökas
3. Kanske en viss marknad
4. Troligen ingen marknad

5. REFERENSER

1. Opportunities in Thermal Storage R & D, Special Report, juli 1984
2. Proceedings of the DOE Physical and Chemical Energy Storage Annual Contractor's Review Meeting, 12-14 September 1983, Arlington, Virginia
3. Alfa-Laval ECS AB, Energilagringsmodul; samtal och broschyrmaterial
4. Calor Alternative Energi, Calortherm; broschyrmaterial
5. Cristopia Energilagring AB; samtal och broschyrmaterial
6. Tibnor Energi, Watt Värmeackumulator; samtal och broschyrmaterial
7. Isakson P, Rapport 105:1984 BFR, En jämförelse mellan en lätt byggnad med aktiv värmelagring och en tung byggnad

Products and Applications

All Calortherm products are identified by a number suffix which refers to the transformation temperature in °C. Thus sodium sulphate decahydrate or Glaubers Salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) transforms at 31°C (88°F approx.) when stabilised and is therefore designated Calortherm 31. Calor has extended the range of Calortherm products to include materials

which each change phase at a different temperature to suit different applications.

The materials, with suggested working temperature ranges and applications are listed in the following table, together with the volume of water required to store the equivalent quantity of energy over a similar temperature range.

Product	Transformation temperature - °C (°F)	Suggested working range - °C (°F)	Approx. no. of litres per - kWh	Equivalent water volume factor	Suggested applications
CALORTHERM 7	7.5 (46)	2.5 - 20 (36 - 68)	14	3.3	Cool stores to replace on-peak air conditioning or chillers Heat Pump input storage systems
CALORTHERM 18	18 (65)	10 - 30 (50 - 86)	12	3.4	Energy saving & temperature regulation in greenhouses Passive solar heat collection & storage
CALORTHERM 31	31 (88)	20 - 50 (68 - 122)	9	3.0	Active solar heating storage systems
CALORTHERM 48	48 (118)	35 - 55 (95 - 131)	9	4.5	Heat pump output storage
CALORTHERM 58	58 (136)	40 - 65 (104 - 149)	8	4.2	Off peak electric heat storage
CALORTHERM 70	70 (158)	40 - 85 (104 - 185)	7	2.6	Medium-temperature heat recovery

Applications shown in the table are suggestions for guidance only. Calor Alternative Energy can advise on other uses in response to specific enquiries.

CALOR Alternative Energy

Calor Alternative Energy, Appleton Park,
Riding Court Road, Datchet, Slough SL3 9JG.
Telephone: Slough 40000.

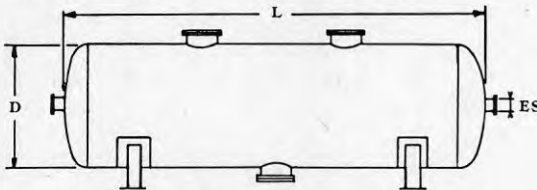
The information given in this leaflet is accurate as far as can be reasonably ascertained. However, in the interests of continued improvements, specifications and appearance may be changed without notice.

Tekniska data för 1 m³ STL

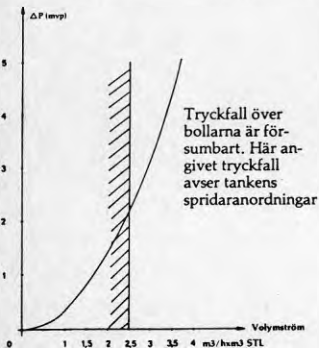
Fasomvandlingstemp.	Smältvärme E kWh/m ³	Obunden värme		Värmeöverföring		Vatteninnehåll liter/m ³	Användningstemperatur °C
		Fast tillstånd Ek kW/°C.m ³	Flytande tillstånd Ef kW/°C.m ³	Kristallisation Kk kW/°C.m ³	Fusion Kf kW/°C.m ³		
N 33	44,6	0,7	1,08	1,60	2,2	378	-40°C
N 29	39,3	0,8	1,15	1,60	2,2	378	
N 26	47,6	0,85	1,2	1,60	2,2	378	
N 21	39,4	0,7	1,09	1,60	2,2	378	
N 18	47,5	0,9	1,24	1,60	2,2	378	
N 15	46,4	0,7	1,12	1,60	2,2	378	
N 12	47,7	0,75	1,09	1,60	2,2	378	
N 10	49,9	0,7	1,07	1,60	2,2	378	
N 08	50,5	0,9	1,25	1,60	2,2	385	
N 06	44,6	0,75	1,1	1,60	2,2	378	
N 03	48,3	0,8	1,2	1,60	2,2	378	
00	48,4	0,7	1,1	1,60	2,2	378	
27	44,5	0,86	1,04	1,60	2,2	378	
57	30	0,97	1,1	1,60	2,2	385	
64	68	1,01	1,07	1,60	2,2	385	
89	40	1,12	1,19	1,60	2,2	385	

Tekniska data

Behållaren: Stål - utväldigt rostskyddsfärg, alla standardtryckområden.

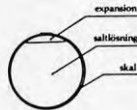


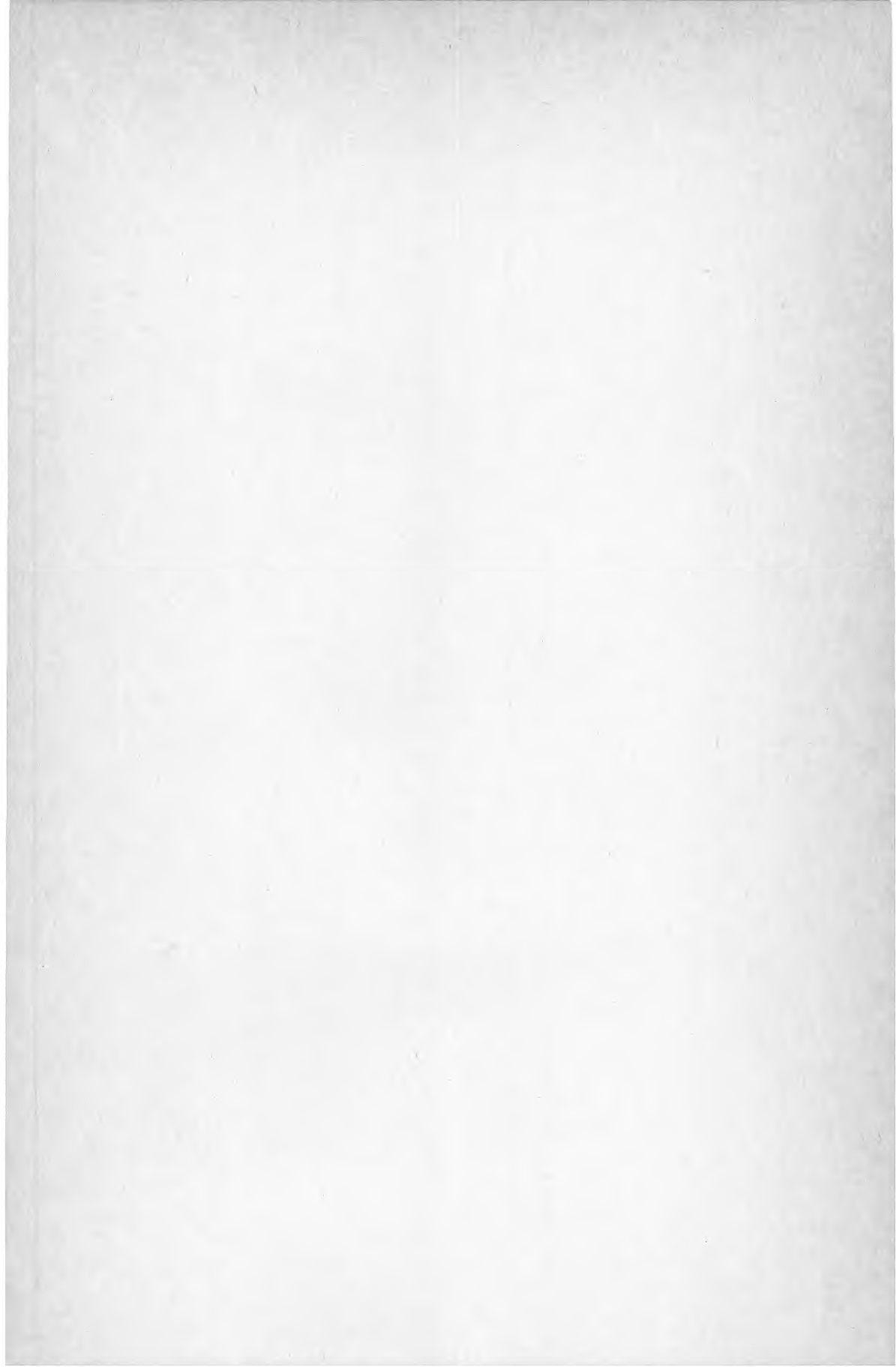
Typ	Vikt kg	Vikt inkl. bollar	D	Måttabell (mm)		ES	Antal stöden
				L	L		
02	400	2.900	950	3.000	60	2	
05	1.000	7.000	1.250	4.200	100	2	
10	1.600	16.000	1.600	5.300	125	2	
15	2.000	20.000	1.800	6.000	175	3	
20	2.500	27.000	1.900	7.100	200	3	
30	4.400	42.000	2.100	9.100	250	4	
50	7.600	70.000	2.500	10.780	300	4	
75	11.400	105.000	3.000	11.200	350	5	
100	14.800	140.000	3.000	14.800	400	6	



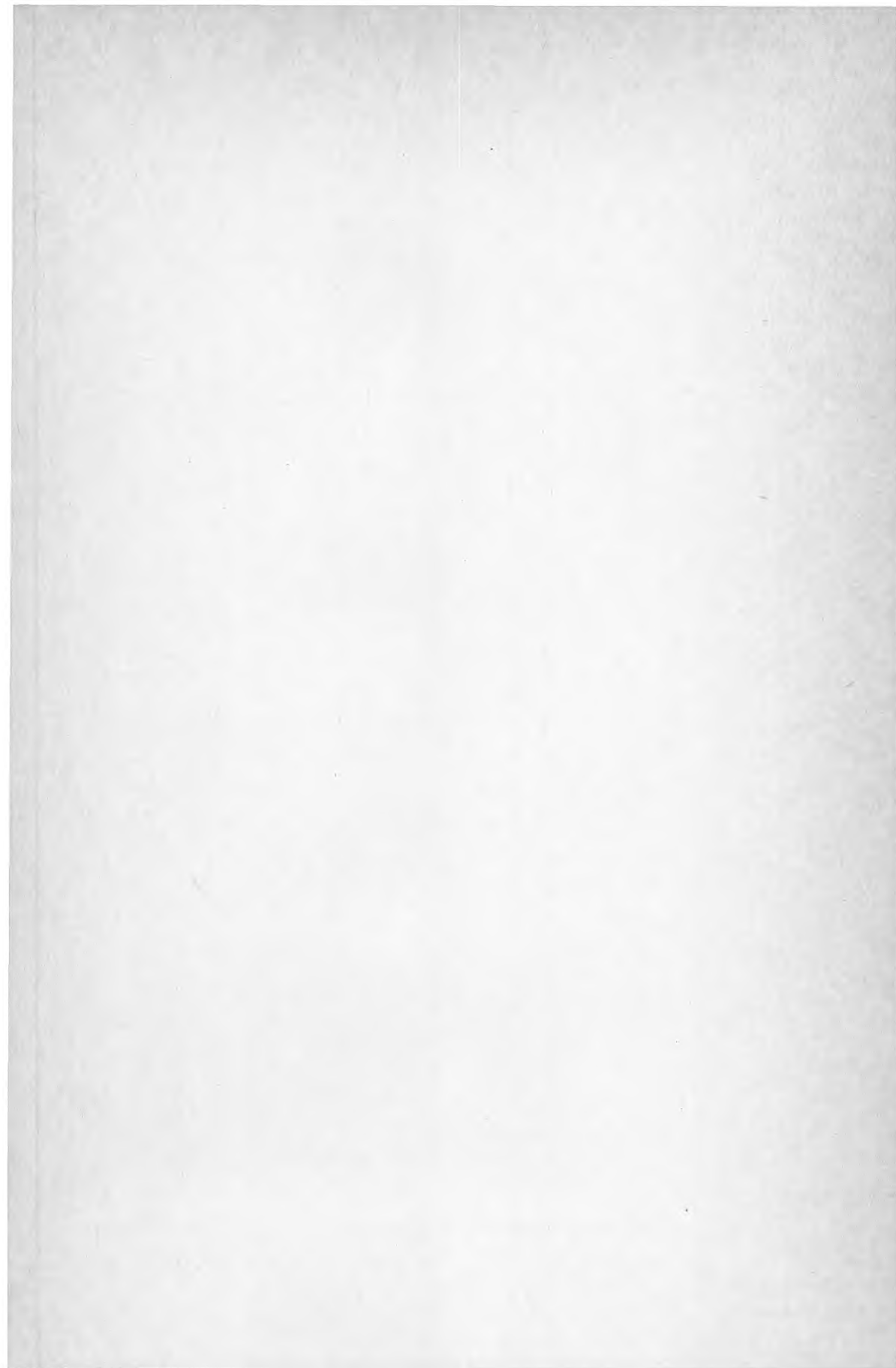
Observera att värmemediets (kylmediets) volymström ej bör understiga 2,5 m³/h och m³ tankvolym.

Bollarna: levereras i stängda polytelensäckar om 30 à 40 kg.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831422-6
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,
Stockholm.**

R15: 1986

ISBN 91-540-4528-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706015

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms