



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

R103:1989

Ammoniak som köldmedie i värmepump

Anders Hill

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Acnr	
Plac	ser

R/
TL

Byggeforskningsrådet

R103:1989

AMMONIAK SOM KÖLDMEDIE I VÄRMEPUMP

Anders Hill

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
870699-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till Theorell+VBB Energikonsulter AB, Stockholm.

REFERAT

CFC köldmedium som hittills varit det helt dominerande köldmediet för värmepumpar har visat sig ha skadliga effekter på ozonskiktet.

Denna rapport behandlar ett alternativ med en ammoniakvärmepump som levererar ca 40-gradig värme kopplad i serie med en vattenvärmepump som kan leverera hög tempertur vilket inte en ren ammoniakvärmepump kan. Vattenvärmepumpar kräver dock stora kompressorer.

Syfte: Att undersöka vilka lämpliga vattenkompressorer som finns på marknaden i dag.

Metod: Kontakt har tagits med kompressortillverkare i Sverige och Europa för att undersöka om de har lämpliga kompressorer eller har intresse att utveckla sådana.

Resultat: Kompressorerna som kan köpas i dag för denna tillämpning tillverkas i små serier och är därför dyra. Om man räknar i kr/kW värmeeffekt minskar kostnaden per kW med ökande storlek. Enligt tillverkarna kan vid stora serier kompressorkostnaderna sänkas kraftigt.

Slutsats: Billigare kompressorer krävs för att ammoniak-vattenvärmepumpen ska bli konkurrenskraftig.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R103:1989

ISBN 91-540-5120-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
Figurförteckning	2
Tabellförteckning	2
Referenser	18
<u>Förord</u>	3
<u>Sammanfattning</u>	4
<u>Avhandling</u>	
1. Vilka krav bör ställas på ett "bra" köldmedium?	6
1.1 Vattens egenskaper som köldmedium.	6
2. Begränsningar med vatten som köldmedium.	7
3. Köldmediets inverkan på systemvalet.	8
4. Krav på kompressorn vatten som köldmedium.	8
5. På marknaden förekommande användbara kompressorer.	9
5.1 Turbokompressorer	9
5.2 Skruvkompressorer	11
5.3 Radialkompressorer	12
6. Tillverkare som kontaktades för prisuppskattningar.	13
7. Storlekar, priser, möjliga driftstemperaturer.	14
8. Slutsatser.	16

Figurförteckning.

Figur 1	Flödesschema över ett värmepumpsystem där köldmediet är det samma som värmebäraren.	Sidan 8
Figur 2	Fyrstegsturbokompressor.	Sidan 10
Figur 3	Tvästegsskruvkompressor.	Sidan 11
Figur 4	Kombinationskompressor, lågtryckskompression med turbokompressor, mellan- och högtryckskompression med skruvkompressor.	Sidan 12
Figur 5	Radialkompressor	Sidan 13
Figur 6	Gaskompression från 0,1 bar till 1,1 bar med enstegs skruvkompressor.	Sidan 14

Tabellförteckning.

Tabell 1	Kompressorpris som funktion av storlek och driftsfall.	Sidan 5
----------	--	---------

Förord.

Efter alla larmrapporter om skadeverkningar från utläckande CFC-köldmedier har studier av olika typer av alternativa köldmedier påbörjats, men också alternativa processer.

Ett sätt att helt slippa ifrån CFC-köldmedier utan att behöva göra avkall på driftsprestanda och ändå kunna lita till känd teknik skulle kunna vara att använda t ex ammoniak. Avgiven temperatur från en sådan värmepump skulle emellertid bli mycket begränsad. För att övervinna detta skulle en kaskadkopplad anläggning kunna byggas, med ammoniak i första steget, medan vanligt vatten får tjäna som köldmedium i det andra steget.

Både för och nackdelar med vatten som köldmedium är känt sedan tidigare. En av nackdelarna är att det krävs mycket stora (och dyra) kompressorer.

Syftet med denna studie är att undersöka om det finns lämpliga kompressorer för lågtrycksvattenånga på marknaden. Vidare är syftet att undersöka priser och möjliga prestanda. Även kompressortillverkarnas intresse för att utveckla, för processen, lämpliga kompressorer skulle undersökas. Slutligen är avsikten att göra några jämförande studier avseende såväl tekniska som ekonomiska prestanda.

Sammanfattning.

Syftet med denna studie beskrivs i förordet på sidan 2 ovan. För att få uppgifter avseende priser och prestanda på kompressorer kontaktades 9 olika tillverkare. Beträffande skruvkompressorer togs först en kontakt med Svenska Rotormaskiner som har övergripande kunskap om vem av licenstagarna som gör vad. Vi fick därifrån ett antal namn och adresser till företag som skulle kunna vara oss behjälpliga. Vad beträffar turbokompressorer så kontaktades ett svenskt (ABB-Stal) och ett Schweiziskt (Sulzer) företag.

I studien koncentrerades ansträngningarna till driftsfall där annars köldmediet CFC-12 används. (70°C respektive 80°C i kondenseringstemperatur.) Detta därför att det är i första hand detta köldmedium som är aktuellt att byta ut. Dels därför att det tillhör de för ozonskiktet "farligaste" men också för att de flesta av de riktigt stora värmepumparna använder CFC-12. Även ett driftsfall med något högre kondenseringstemperatur har undersökts (160°C), dels för att det i industrin kan vara aktuellt med lågtrycksånga för de stora energibehoven dels för att dessa temperaturer passar bra med vatten som köldmedium.

För att vattenången inte skall få en alltför låg dencitet har förångningstemperaturen +40°C valts. Detta är också en temperatur som är möjlig att uppnå med CFC-22 och eventuellt med ammoniak.

I det driftsfall där 160°C i kondenseringstemperatur valdes, har förångningstemperaturen 70°C valts. Detta därför att denna process då kan kopplas i kaskad med någon av de föregående.

De tillverkare som kontaktades visade ett stort intresse till ide'n med vattenångkompressorer i värmepump sammanhang. De hävdade också alla att de hade dylika kompressorer på sitt produktprogram. Det var emellertid bara två företag av de tillfrågade som gav oss några prisindikationer. Ett företag lämnade budgetpriser ett annat gav en prisuppskattning på ett tidigare offererat objekt, som inte stämde riktigt med de driftsfall som efterfrågades i denna studie. Priserna som visas i tabellen nedan härrör sig alltså från endast en tillverkare.

Man kan emellertid klart se att priserna är så höga att de inte kan konkurrera med priserna på de värmepumpar som använder CFC-köldmedier. De offererade kompressorpriserna överstiger vida de priser som ett komplett värmepumpaggregat i dag betingar. Det framgår också dels att de är mycket beroende av storlek samt av förångningstemperatur.

Det framgår klart av tabellen nedan att kompressorpriset per avgiven kW värme är mycket beroende av kompressorstorleken. En kompressor som skulle avge ca 1 MW värme, i de aktuella driftsfallen, kostar endast hälften av vad motsvarande aggregat med en kapacitet på 100 kW skulle göra. (Med "kostar" avses pris per levererad kW)

Det kan ur tabellen också klart utläsas (inte särskilt förvånande) att med en högre förångningstemperatur fås en väsentligt lägre kostnad. Trots att aggregatet som offererats för en förångningstemperatur på 70°C och en kondenserings-temperatur på 160°C är en tvåstegskompressor, medan de övriga är enstegskompressorer, är kostnaden per kW avgiven energi mindre än hälften av den billigaste för en förångnings-temperatur på 40°C.

Driftsfall	Värmeeffekt [kW]	Pris [kr/kW]
40°C till 70°C	105	10 000
40°C till 70°C	1 000	5 800
40°C till 80°C	112	9 000
40°C till 80°C	1 114	5 400
70°C till 160°C	2 000	2 400

Det framgick också tydligt av rundringningarna att de tillfrågade kompressortillverkarna hade ett stort intresse av att följa "CFC-debatten" och så snart en marknad för den efterfrågade kompressortypen visar sig är man beredd att sätta igång med utvecklingen och optimeringen av kompressorer för ändamålet. För dagen var emellertid intresset ljust och man får hålla sig till de industri och processgaskompressorer som finns på marknaden. Detta visade sig också genom att de endast var en av de tillfrågade som lade ner tid på att räkna igenom våra driftsfall för att sedan räkna fram budgetpriser.

Med de priser som har delgivits oss har det inte funnits anledning att göra några beräkningar för att jämföra vattenvärmepumpen med befintliga anläggningar.

Avhandling

1. Vilka krav bör ställas på ett "bra" köldmedium?

Många olika egenskaper kan önskas hos ett köldmedium. De nedan uppräknade är emellertid de viktigaste.

- a, Icke korrosivt
- b, Stabilt, dvs sönderfaller inte vid de aktuella tryck och temperatur.
- c, Kan arbeta tillsammans med smörjmedlet.
- d, Icke brandfarligt eller explosivt.
- e, Lätt att upptäcka vid läckage.
- f, Miljövänligt, dvs ingen skadlig inverkan på miljön om (när) det skulle läcka ut.

Förutom dessa villkor (de flesta hämtade ur "Kylteknikern" av Matts Bäckström) önskar man att köldmediet har högt ångbildningsvärme, att värmekapacitiveteten för vätskan är jämförelsevis låg.

- h, Dessutom är det naturligtvis viktigt att det erforderliga arbetstrycket inte är för högt eller för lågt.

1.1 Vattens egenskaper som köldmedium.

Nedanstående kommentarer syftar till motsvarande bokstavsbeteckningar i kapitlet ovan.

- a, Vattnet är att betrakta som korrosivt mot vissa material, men i frånvaro av syre och met ett klokt materialval är korrosion inget problem. Det är bland annat därför viktigt att systemet byggs helt tätt och att konstruktionen blir sådan att eventuellt inläckande luft kan avskiljas. (Att denna luftavskiljningsdel skall vara av rostfritt material är naturligtvis av stor betydelse.)

Det förtjänar också att i detta sammanhang påpeka att vi här talar om rent vatten och att vid öppna/halvöppna, så kallade integrerade system, är det viktigt att det använda vattnet får en adikvat vattenbehandling.

- b, Vatten kan betraktas som helt stabilt inom de tryck och temperaturer som är aktuella.
- c, De smörjmedel som normalt används passar inte tillsammans med vatten. Man är därför hänvisade till kompressor-konstruktioner som har lagringen helt skild från köldmediet. Dessa kallas ibland för torra kompressorer. T ex turbokompressorer med atmosfäriska lager eller synkroniserade skruvkompressorer.

- d, Vatten är att betrakta som icke explosivt eller brandfarligt.
- e, Vatten är vårt viktigaste födoämne och kan alltså inte betraktas som giftigt.
- f, Eftersom processen till största delen kommer att arbeta under atmosfärstryck kommer läckage att visa sig i form av inläckande luft. Denna måste omhändertas och pumpas ut ur systemet.
- g, Vatten har mycket högt ångbildningsvärme per kg räknat. Då de intressanta processerna arbetar med förångning under mycket låga tryck blir emellertid densiteten på gasen mycket låg. Relativt stora gasvolymmer måste därför komprimeras, vilket naturligtvis är en nackdel.
- h, Några problem med högt arbetstryck kommer inte att bli besvärande, däremot kommer de låga förångningstrycken att ställa vissa speciella krav på konstruktionen.

2. Begränsningar med vatten som köldmedium.

Den första begränsningen som uppenbarar sig vid en studie av vatten som köldmedium är att förångningstemperaturen inte kan vara under 0 °C. Det är överhuvud taget svårt med låga förångningstemperaturer eftersom det innebär mycket låga tryck och låg densitet på köldmediet. Konsekvensen av detta är att erforderlig kompressor blir dyr. För att kompensera för den låga tätheten måste stora gasvolymmer komprimeras, därmed fordras kompressorer med stor slagvolym. Kvoten mellan hög och lågtryck är också av stort intresse vid val av kompressor.

Som exempel kan nämnas att med vatten som köldmedium, 40 °C som förångningstemperatur och 70 °C som kondenserings-temperatur fordras 11 kompressionssteg med en turbo-kompressor. (En maximal preferihastighet av 200 m/s har då antagits. Om de hållfasthetsmässiga problemen kan lösas och preferihastigheter nära ljudhastigheten kan användas kan antalet erforderliga steg minska till 3.)

Med en skruvkompressor kan kompressionen klaras i ett steg. Det som händer med allt för stora tryckuppsättningar i ett steg är att den volymetriska verkningsgraden försämras. Problem med allt för höga hetgastemperaturer kan klaras med kylning genom vatteninsprutning.

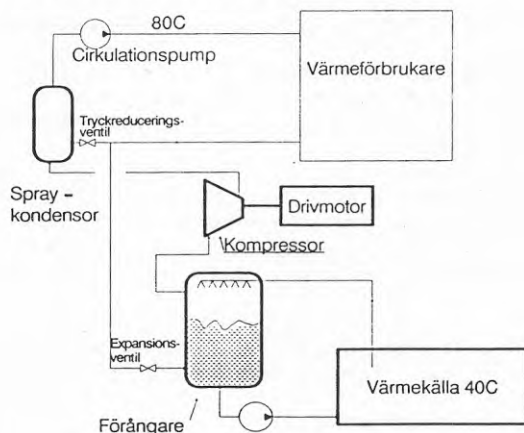
3. Köldmediets inverkan på systemvalet.

Om vatten används som köldmedium kan detta i många fall integreras med köldbäraren (värmekällan) och värmebäraren (värmesänkan). Detta illustreras i figurerna nedan.

Investeringsbehovet för värmeväxlarna kan därför bli avsevärt lägre för en värmepump med vatten som köldmedium. I en "normal" kondensator för t ex ett CFC-köldmedium ingår en hel del material för att skilja köldmediet från värmebäraren, medan med vatten som köldmedium kan detta i många fall tillföras värmebäraren mer eller mindre direkt.

I andra fall, där detta inte är möjligt, kan det istället vara möjligt att spara material i förångarenheten. Om t ex vatten används som värmekälla kan detta sprayas in i ett tryckkärl där undertryck råder. Vattnet förångas då och sugas av med kompressorn som på så vis använder värmekällan som köldmedium.

Det är alltså uppenbart att investeringskostnaderna för kompressorenheten blir högre men också att investeringbehovet för kondensator och förångare kan bli lägre.



4. Krav på kompressorn.

De krav som ställs på en kompressor som skall arbeta med vatten som köldmedium har i många stycken berörts ovan. Man kan sammanfatta de viktigaste egenskaperna enligt nedan.

Kompressorn måste vara kapabel att komprimera stora gasvolymer.

Den skall också klara stora tryckkvoter. (Tryckdifferansen mellan hög och lågtryckssidan är inte stor. Den är snarare mycket liten, ofta mindre än en bar. Däremot är kvoten mellan hög- och lågtrycket mycket stor, ofta i storleksordningen 10)

Vidare skall den, åtminstone delvis, arbeta vid undertryck. Detta ställer speciella krav på tätningar, packboxar och dylikt.

Kompressorn bör nog också, åtminstone delvis, vara utförd i korrosionshårdigt material.

Smörjning och eventuell tätning skall vara utförd så att smörjegenskaperna inte förstörs av köldmediet.

På grund av de stora tryckförhållandet mellan hög och lågtryckssidan blir gasen mycket överhettad under kompressionen. För att begränsa hetgastemperaturen bör kompressorn vara försedd med någon form av gaskylning. Det kan t ex lösas genom vatteninsprutning (d v s insprutning av vatten i vätskefas) eller genom att kompressorn görs med flera kompressionssteg med mellankylning. Den senare metoden används vanligen med turbokompressorer medan den förra är vanlig både vid turbo- och skruvkompressorer.

5. På marknaden förekommande användbara kompressorer.

De på marknaden förekommande kompressorer som är intressantast att använda i den här aktuella applikationen är turbokompressorer, skruvkompressorer, möjligen också radialkompressorer (Av den typ som används för luftkompression i reningsverk.)

Även ejektorer är naturligtvis användbara. För att få en någorlunda acceptabel värmefaktor måste flera ejektorer kopplas i serie. Ejektorn är en billig kompressor och arbetar bra även vid de låga tryck som här är aktuella. Den låga totalverkningsgrad, som dessvärre blir resultatet, innebär emellertid att ejektorn inte är aktuell annat än om ånga kan fås till en väsentligt lägre kostnad än mekanisk energi.

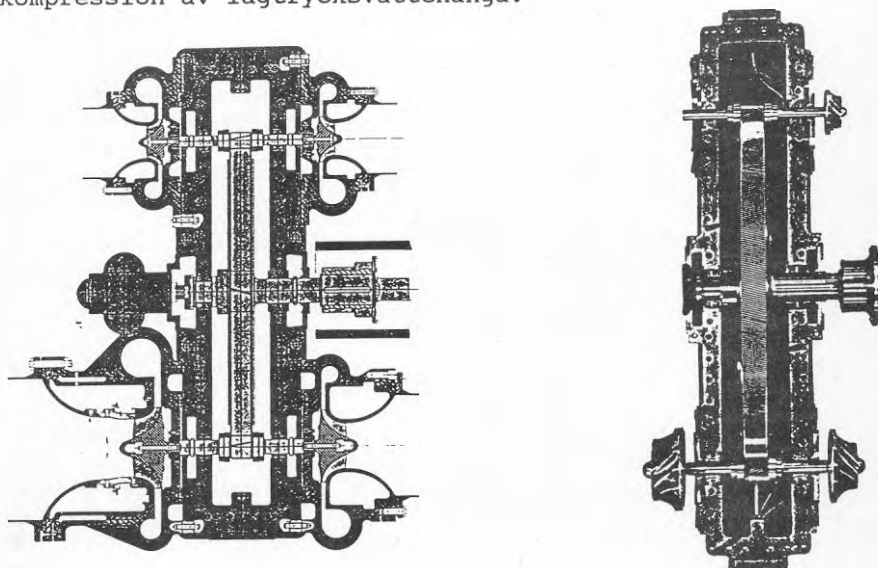
5.1 Turbokompressorn.

Turbokompressorn, som räknas till de dynamiska kompressorerna, passar bra för uppgifter där stora gasflöden erfordras. Ur denna synvinkel passar de mycket bra för kompression av vatten av lågt tryck.

En nackdel är att de inte klarar särskilt stora

tryckförhållanden. Som ett exempel kan nämnas att för en värmepumpprocess med vatten som köldmedium och en förångningstemperatur på 40°C och en kondenseringstemperatur på 80°C skulle kompressionen behöva ske i 14 steg om maximalt tillåten pereferihastighet är 200 m/s. Man kan emellertid tänka sig högre pereferihastigheter, ända upp till 400 m/s. Detta är strax under ljudhastigheten och borde vara nära det som av praktiska skäl bör betecknas som det maximalt tillåtna. Med denna pereferihastighet sjunker antalet nödvändiga kompressionssteg till ca 4. Detta gör kompressorn väsentligt billigare men samtidigt försämras verkningsgraden och risken för erosion på skovlarna ökar.

Vilken den optimala pereferihastigheten är kan inte utredas i denna lilla studie, men det kan emellertid konstateras att turbokompressorerna med de erforderliga fyra stegen finns på marknaden. (fig 2) Vissa anpassningar av befintliga aggregat fordras emellertid om de skall kunna användas för kompression av lågtrycksvattenånga.



Figur 2a visar ett tvärsnitt av en fyrstegsturbokompressor. Væxellådan i mitten med drivaxeln i centrum, de fyra turbokompressorerna utplacerade runt væxellådan konstruktionen tillåter att kompressorhjulens pereferihastighet optimeras parvis. I Figur 2b visas ett fotografi av en dylik kompressor med ena högtrycksturbinhjulet demonterat.

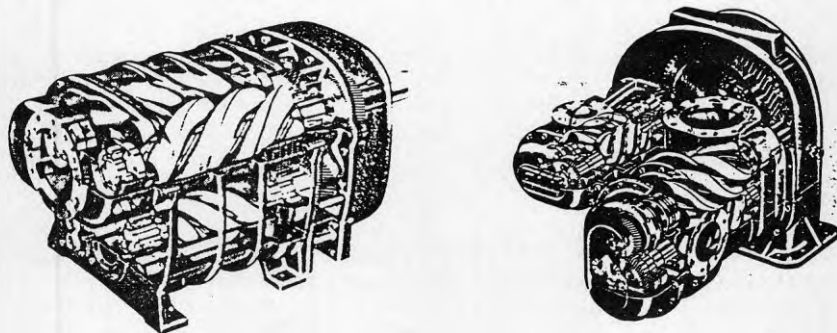
5.2 Skruvkompressorer.

Skruvkompressorer finns av flera olika typer på marknaden. Den vanligast förekommande typen är den så kallade SRM-skruven. Den bygger på Svenska patent från Svenska Rotor Maskiner och tillverkas av licenstillverkare över hela världen.

Dessa skruvkompressorer kan grupperas i två grupper, med respektive utan synkroniseringshjul. De som inte är utrustade med synkroniseringshjul drivs bara på den ena rotorn, denna rotor driver sedan i sin tur den andra rotorn. För att minska friktion och slitage är dessa ofta försedda med oljeinsprutning. Oljan fungerar också som kylning och som tätning mellan de två rotorerna.

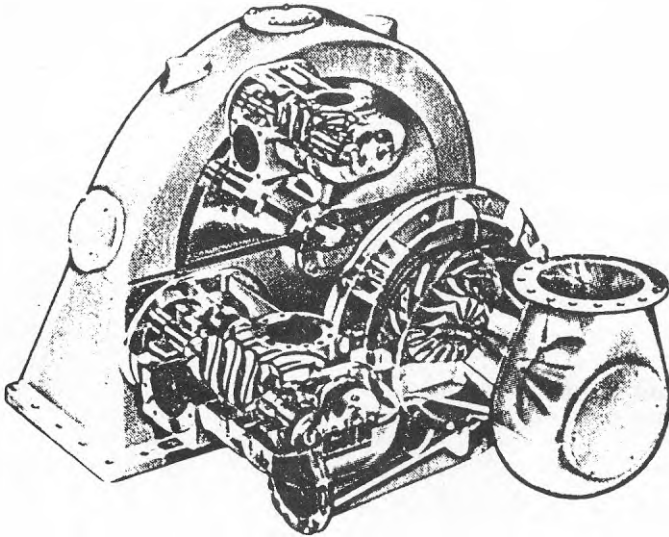
Med vatten som köldmedium är det inte lämpligt att använda oljeinsprutning. Att ersätta oljan med vatteninsprutning skulle inte heller lösa smörjproblemen, åtminstone inte så länge man använder stålrotorer. Kanske skulle situationen vara annorlunda om t ex teflonbelagda rotorer kunde användas.

För tillfället verkar det vara lämpligast att lösa de aktuella driftsfallen genom att välja en skruvkompressor med synkroniseringshjul. Dessa arbetar med ett visst spel mellan rotorerna som därför inte behöver någon oljeinsprutning. Lagersmörjning samt smörjning av synkroniseringshjulen sker i separat utrymme som inte kommer i kontakt med köldmediet. Kylning av den komprimerade gasen görs genom vatteninsprutning. Med en skruvkompressor kan hela kompressionen ske i ett steg. Dessa kompressorer finns i storlekar upp till ca 90000 m³/h. Det finns emellertid också flerstegskompressorer på marknaden (fig 3) dessa ger bättre verkningsgrad.



Figur 3 visar två olika tvåstegsskruvkompressorer. Samma funktion kan naturligtvis också uppnås med två separata enheter.

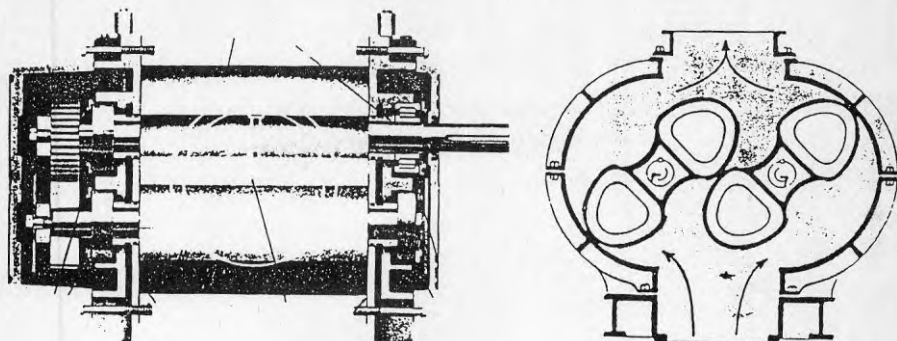
Det finns också kombinerade enheter d v s sådana som har lågtryckskompressor i form av en turbokompressor medan högtrycksteget sköts av en skruvkompressor. (fig 4).



Figur 4 visar en trestegskompressor där lågtryckskompressorn utgörs av en turbokompressor medan mellan och högtrycks-kompressionen åstadkomms med skruvkompressorer.

5.3 Radialkompressorer

Dessa fungerar ungefär som en kugghjulspump, se fig 5. Karaktäristiskt för dessa är att de är oljefria och klarar stora volymflöden. Så långt passar de bra för vårt ändamål, tyvärr klarar de inte så stora tryckdifferenser med acceptabel verkningsgrad. Det skulle alltså behövas många kopplade i serie för att överbrygga de nödvändiga tryckdifferenserna. De blir inte tillräckligt kostnadseffektivt.



Figur 5 Radialkompressor (kallas i vissa kretsar för "blåsmaskin")

6. Tillverkare som kontaktades för prisuppskattningar

Nio olika företag har kontaktats för att få deras synpunkter på tekniska lösningar och prestanda, möjlighet till leverans ur dagens sortiment, prisuppskattning, möjlig prisreducering vid stora serier etc.

De flesta av dessa företag sa sig ha möjlighet att leverera kompressorer efter de efterfrågade driftsfallen. När det gällde prisuppskattningar var det emellertid svårare att få besked. Då de efterfrågade driftsdata inte är vanligt förekommande var de tvungna att låta teknikerna räkna en hel del för att få fram vilken kompressor som skulle offereras, vid vilket varvtal den skulle köras etc. Tydligt innebar detta mer arbete än vad man först trodde, endast tre av de tillfrågade företagen svarade nämligen på våra frågor angående kostnader.

En annan bidragande orsak till det ljumma intresset är säkert att en del av företagen inte tror att det är en kommande marknad och därför prioriterar andra mer närliggande uppgifter framför våra frågor.

Det finns inte många företag i Sverige som tillverkar den här typen av kompressorer och följaktligen var många av de tillfrågade företagen belägna geografiskt långt härifrån. Det ökar inte heller angelägenhetsgraden.

Det förtjänar emellertid att förtydliga att vid samtliga kontakter med tillverkarna visade de stort intresse och var mycket tillmötesgående. De flesta företag underströk också att de har tekniken och kunskapen att ta fram kompressorer på mycket kort tid om det "blev allvar av". Det påpekades också

att man snabbt skulle optimera lämpliga komponenter om man bedömde att det fanns en marknad.

De Svenska företag som kontaktades var:

ABB Stal
Atlas Copco,
Power Engineers (Tjeckisk kompressor)
Svenska Rotormaskiner.

Tyskland:

MAN GHH
Aerzener Maschinenfabrik

Japan:

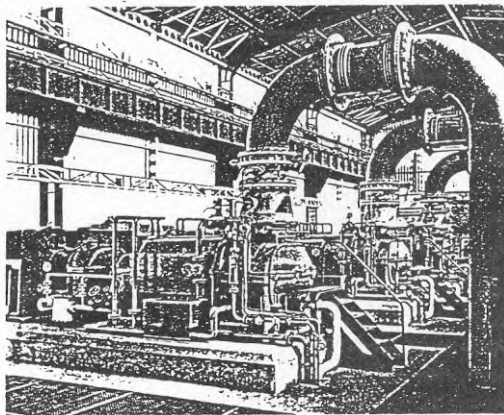
MYCOM (Dels deras kontor i Belgien, dels i Sverige)
Kunikiko Nishitani KB Steel Ltd

Schweiz:

SULZER

7. Storlekar, priser, möjliga driftstemperaturer.

Värmepumpar med vatten som köldmedium finns inte i någon större utsträckning på marknaden. Ångkompression förekommer emellertid i vissa industrier. De sker normalt från lite högre tryck och temperaturer än vad som här åsyftas, men som processkompressorer förekommer också kompression från mycket låga tryck t ex som vakuumpumpar för olika medier, se fig 6.



Figur 6 visar tre stycken skruvkompressorer som komprimerar processgas från 0,1 bar till 1,1 bar absolut. Varje kompressor har en kapacitet på 37 000 m³/h.

Denna marknad är alltså begränsad men kompressorerna finns

att få i nästan vilka storlekar som helst. Serierna är små och varje kompressor är mer eller mindre individuellt optimerad för sitt driftsfall. De är robusta grundenheter som anpassas individuellt för sin uppgift. En konsekvens av detta är att priserna för kompressorerna blir höga men också att det är robusta konstruktioner.

Om en ny marknad skulle öppna sig för dessa komponenter, en marknad som nöjde sig med några standarddriftsfall, skulle kompressorerna kunna göras enklare och billigare. Stora serier skulle naturligtvis också kunna sänka tillverkningskostnaderna. Ingen av de tillverkare vi varit i kontakt med har emellertid vågat sia om hur mycket lägre kostnaden skulle kunna bli.

Av de prisuppgifter vi fått från tillfrågade tillverkare kan man snabbt dra tre slutsatser. (Ingen av dessa slutsatser är särskilt förvånande.) 1, Kompressorpriserna är väsentligt högre än när konventionella köldmedier används. (Volymflöden och tryckförhållanden är ju väsentligt större.) 2, Priserna är mycket beroende på kompressorstorlek. 3, Prisbilden blir mycket "behagligare" om förångningstemperaturen kan höjas en aning. Det kan också konstateras att en stor spridning föreligger mellan de priser som inkommit.

De uppgivna priserna för en enstegsskruvkompressor var: 215 kr per volymflöde (m³/h) för en kompressor på 28 000 m³/h samt 360kr per volymflöde för en med en kapacitet på 2 800 m³/h.

En tvåstegskompressor (egentligen två skruvkompressorer) som komprimerar 7 300 m³/h från 0.3 bar till 6 bar kostar enligt uppgift 600 kr/volymflöde.

Tabellen nedan anger uppgivna priser per kW avgiven effekt och avser komplett kompressoraggregat inkluderande såväl drivmotor som stativ smörjsystem, vatteninsprutningsutrustning och automatik.

De uppgivna värmefaktorerna är fullt i klass med vad man kan förvänta sig med en värmepump med CFC-köldmedier. (Med vatten klarar man emellertid mycket högre temperaturer.)

Driftsfall	Värmeeffekt [kW]	Pris [kr/kW]
40°C till 70°C	105	10 000
40°C till 70°C	1 000	5 800
40°C till 80°C	112	9 000
40°C till 80°C	1 114	5 400
70°C till 160°C	2 000	2 400

Tabell 1 Prisexempel på kompressoraggregat för vattensånga.

Vilka temperaturer som är möjliga med vatten som köldmedium är svårt att definiera helt entydigt. Att förånga under 0°C är naturligtvis inte särskilt lämpligt men gränsen skall nog dras vid betydligt högre förångningstemperaturer än så. Ju lägre förångningstemperatur desto dyrare kompressor. Många bedömare vi talat med anser att trycken och densiteten på vattenångan blir alltför låg redan vid ca +40°C. Det kan konstateras att tekniken passar väl för förångningstemperaturer runt 100°C och att i första hand dylika applikationer bör prioriteras vid en ekonomisk bedömning. Samtidigt kan konstateras att tekniken fungerar lika bra vid lägre förångningstemperaturer, även om ekonomin blir lidande. Den lägsta lämpliga förångningstemperaturen är således en funktion av energi och kompressorpriser. Vad beträffar kondenseringstemperaturen ligger den maximala temperaturen på betryggande avstånd över vad som är nödvändigt i de flesta applikationer. Temperaturer på flera hundra grader celsius är fullt möjligt.

8. Slutsatser

Värmepumpar med vatten som köldmedium är inte bara tekniskt möjligt utan också kommersiellt tillgänglig teknik. Det finns ett flertal tillverkare av kompressorer, användbara för vattenångkompression vid såväl över- som undertryck.

Den utrustning som erbjuds är emellertid dyr och möjligen väl exklusiv för uppgiften. Kompressorer optimerade för de aktuella driftfallen finns inte i någon större serietillverkning eftersom marknaden inte efterfrågat sådana. Däremot finns det kompressorer som utan problem klarar de efterfrågade driftfallen.

Man kan också konstatera att kompressorpriset per avgiven kW värme är mycket beroende av kompressorstorleken. Större kompressorer ger mycket lägre relativ kostnad.

Tyvärr har vi inte inom detta projekts ram lyckats få några säkra indikationer på vad som skulle gå att åstadkomma prismässigt om efterfrågan var stor. De tillfrågade leverantörerna gav intrycket av att utvecklingen kunde gå mycket snabbt om efterfrågan fanns, men för dagen hade man inga planer att starta dylik utveckling.

Möjligen kan mycket billigare kompressorer konstrueras efter andra koncept, mera ändamålsenliga för den här aktuella uppgiften. Kanske flerstegsaxialturbiner eller något helt nytt koncept.

Med dagens prisbild är det alltså inte aktuellt med vatten som köldmedium i de driftsområden där CFC-köldmedierna traditionellt används. Däremot visar denna studie att vid värmepumpapplikationer med högre förångningstemperaturer kan vatten vara ett utmärkt köldmedium även ekonomiskt.

För att vatten skall kunna konkurrera som köldmedium även vid lägre förångningstemperaturer krävs billigare kompressorer. Det vore emellertid intressant ur demonstrationssynpunkt att bygga en fungerande värmepump med vatten som köldmedium. Den skulle t ex kunna använda kyltornsvatten som köldmedium för att därigenom visa på en mycket stor marknad för värmeåtervinning där också möjligheten till integrerade system utnyttjas. Detta kunde då kanske tjäna som inspiration för svenska kompressortillverkare att utveckla billiga och ändamålsenliga kompressorer.

Referenser.

Denna rapport har sammanställts bl a med hjälp av följande personer och material.

1. Kylteknikern Matts Bäckström
2. Open-Cykle Heat Pumps For DHC Applications
F.E. Becker och J.C. Balsavich Tecogen Inc. Waltham, Mass.
3. Oil-free Screw Compressors MAN GHH.
4. Screw compressors for process gas MAN GHH.
5. Multi-shaft turbo Compressors MAN GHH.
6. Screw compressor applications, especially in the chemical
and petrochemical industries. K.D. Lelgemann MAN GHH.
7. Gas engine vapour compression in the Dortmunder Kronen
brewery. A. Ziemann Maschinenfabrik für Brauereianlagen,
MAN GHH, Kronen Dortmunder Privatbrauerei.
8. Diskussioner/samtal med bland andra (ingen speciell
ordning): Bertil Karlsson ABB Stal, Sven Andersson Zander
och Ingerström, Crister Ame'n Atlas Copco Compressor AB,
Ingenjörfirman Stadeus AB, Robert Engström Hammar & Co
AB, Berth Gustavsson Power Engineers, Lars Sjöholm Svenska
Rotormaskiner, samt ett antal personer inom VBB Koncernen.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 870699-7 från
Statens råd för byggnadsforskning till Theorell + VBB Energikonserter
AB, Stockholm.

R103: 1989

ISBN 91-540-5120-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709103

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 33 kr exkl moms