

Krav på kylaggregat

För lägre kostnader,
ökad energieffektivitet och
förbättrad driftsäkerhet





Kraven har tagits fram av:

Rune Hardell, EnerGia
Lars Johansson, EC-Power
Marie Rådmann, energirådgivare i
Mariestads och Töreboda kommuner
Zdenko Turkowitch, Findus
Ragnar Uppström, energirådgivare i
Möndals stad
Kenneth Weber, ETM Kylteknik

Förord

När du handlar upp ett nytt kylaggregat har du en unik möjlighet att påverka energiförbrukningen under alla de år som utrustningen kommer att vara i drift. Du kan uppnå både god funktion och långsiktigt gynnsam ekonomi genom att välja en energieffektiv lösning.

Denna broschyr är en omarbetad version av de krav för kylkompressorer som publicerades av Nutek i juni 1997. Kraven kan användas vid upphandling av kylkompressorsystem till industrin. De hjälper dig att nå hög energieffektivitet i alla kylinstallationer.

Inledningsvis behandlas de grundfrågor du bör ställa dig när du står i begrepp att handla upp en ny kylkompressor. Det är viktigt att välja en genomtänkt systemlösning och att kylsystemet kan anpassas efter ett behov som kan förändras med tiden. Energimässiga konsekvenser av olika reglersätt behandlas kortfattat i kapitlet "Reglermetoder".

Energimyndigheten har utarbetat riktlinjer för att uppnå hög energieffektivitet i såväl processkyla (kyl och frys inom industrin) som komfortkyla i byggnader. För det senare hänvisas till "Kalkylera med LCCenergi", se referens 1.

CFC har på senare tid fasats ut till förmån för ett ökat användande av NH₃ (ammoniak) som köldmedium. Många mindre kylsystem för direktexpansion med CFC eller HCFC har ersatts av gemensamma, centrala, indirekta kylsystem med NH₃ som köldmedium. Fokus i denna broschyr ligger därför på energieffektivisering av indirekta system.

I indirekta system finns risk för högre kondenseringstemperatur och lägre förångningstemperatur på grund av den extra värmeväxling som införs, med ökad energianvändning som följd. Systemen ställer även krav på låga tryckfall i värmeväxlaren, på grund av pumparbetet, samt på goda dellastegenskaper eftersom ett lägre antal kompressorer kan medföra mer dellastkörning.

Ett viktigt instrument i en upphandling är beräkning av livscykelkostnaderna (LCC). I en LCC-kalkyl summeras investeringskostnaderna för en utrustning med beräknat nuvärde av energi- och underhållskostnaderna under utrustningens hela livslängd. Med en LCC-kalkyl får du en säkrare uppfattning om den kompletta kostnadsbilden när du jämför offerter, än genom att bara se på angiven investeringskostnad.

Kraven i denna skrift är i första hand för upphandling av kylkompressorer och kompletta vätskekylaggregat i storleksklassen 90-600 kW kyleffekt. Kraven är dock relativt generella och kan med fördel även användas för andra aggregatstorlekar, köldmedier (andra än NH₃) och i andra branscher än livsmedelsindustrin. Kraven är även relevanta för värmepumpsapplikationer.

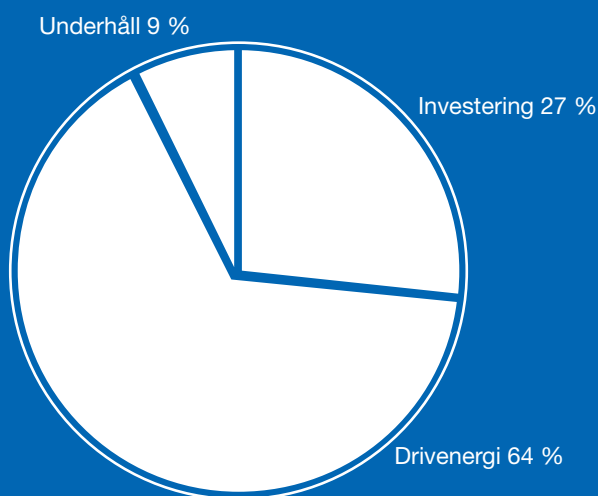
Syftet är att de angivna kraven ska hjälpa till att uppnå bästa möjliga totalekonomi för varje genomförd kylinstallation. Kapitlet "Kravspecifikation" kan gärna ingå i förfrågningsunderlaget vid en upphandling av kylanläggningar.

Innehåll

Driften fem-tio gånger dyrare än investeringen.....	4
Ersätta eller nyprojektera	5
Reglermetoder	6
Välj med hjälp av LCC-kalkyl	7
Hur beräknas LCC?.....	8
Exempel på en LCC-beräkning?	10
Kravspecifikation	13
Övriga energiaspekter	16
Referenser	19

Driften fem till tio gånger dyrare än investeringen

Kostnad för ett vätskekylaggregat



Figur 1. Fördelningen av de totala kostnaderna under en 15-årsperiod för ett vätskekylaggregat med en kyleffekt av 190 kW vid 8 000 drifttimmar per år¹. Energikostnaderna svarar för den helt övervägande delen.

Kyl- och frysanläggningar inom livsmedelsindustri använder cirka 0,6 TWh el per år för främst infrysning, frys- och kylagring, kylning av produkter, avfuktning och klimatkyla.

När en kyl- eller frysanläggning ska bytas eller kompletteras med nya komponenter har du ett utmärkt tillfälle att ta reda på dina förutsättningar och hur du kan påverka energibehovet för kylanläggningen. En dyrare investering i en mer energieffektiv utrustning kan vägas mot nuvärdet av minskade framtida energi- och underhållskostnader.

Figur 1 visar investeringskostnad för ett 190 kW-vätskekylaggregat jämfört med nuvärdet av kostnaderna för energi och underhåll under en 15-årsperiod.

¹Beräknat inköpspris: 0,8 mkr, underhållskostnad: 25 kkr/år, elpris: 0,35 kr/kWh, kalkylperiod: 15 år, reell kalkylränta: 4 procent, medel-COP_{kyla}: 3,2. COP_{kyla} är köldfaktor vid aktuell last och driftförhållande, det vill säga avgiven kyleffekt (Q2) dividerad med tillförd eleffekt (P_{el}).

Ersätta eller nyprojektera?

När du ska köpa en ny eller komplettera din gamla kylanläggning bör du börja med att ställa dig ett antal frågor:

Kan kylbehovet lösas på annat sätt, helt eller delvis? Frikyla med hjälp av direkt uteluft, indirekt via utomhusplacerade fläktkylare, evaporativ kylning, sjövattnen, åvatten, grundvattnen, djupborrade hål?

Vilken kyleffekt behöver du egentligen? Kan kyleffektbehovet och den interna värmelasten minska från bland annat belysningen? Se Energimyndighetens krav för belysning i verkstadsindustri, referens 5.

Vilken lägsta temperatur behöver jag kyla till och hur förändras den under dygnet/året? Tillåten temperaturavvikelse?

Vilken förångningstemperatur behöver du för att åstadkomma efterfrågade temperaturer? Vilka möjligheter finns för att höja förångningstemperaturen? Försök finna de svaga länkarna, till exempel underdimensionerade kylbatterier. Använd flytande förångningstemperatur om kyllasten varierar.

Kan kondensorvärmens utnyttjas vid låg temperatur, till exempel för uppvärmning av produktionshallar med golvvärme, förvärmning av ventilationsluft eller vatten?

Kan spillvärmens från kompressorn användas för uppvärmningsändamål? Värme från oljekylare, värmepump kopplad till kylkompressorns tryckgasledning, hetgasvärmväxling eller kondensorvärme?

Vilken kondenseringsstemperatur kan jag acceptera vid dimensionerande förhållanden? Vad finns det för möjlighet att sänka kondenseringsstemperaturen generellt eller under del av dygnet/året? Försök finna de svaga delarna, exempelvis underdimensionerade kondensorer. Använd flytande kondensering.

Hur varierar kyleffektbehovet? Vilken reglerbarhet kräver jag? Hur ser belastningsprofilen ut över dygnet/året? Vilka eleffekter kräver hjälpsystemen (på köldbärarsida och kondensorsida)? Se även riktlinjer för energieffektiv projektering i "Kalkylera med LCCenergi", referens 1, och Energimyndighetens krav på pumpar respektive fläktar, referens 3 och 4.

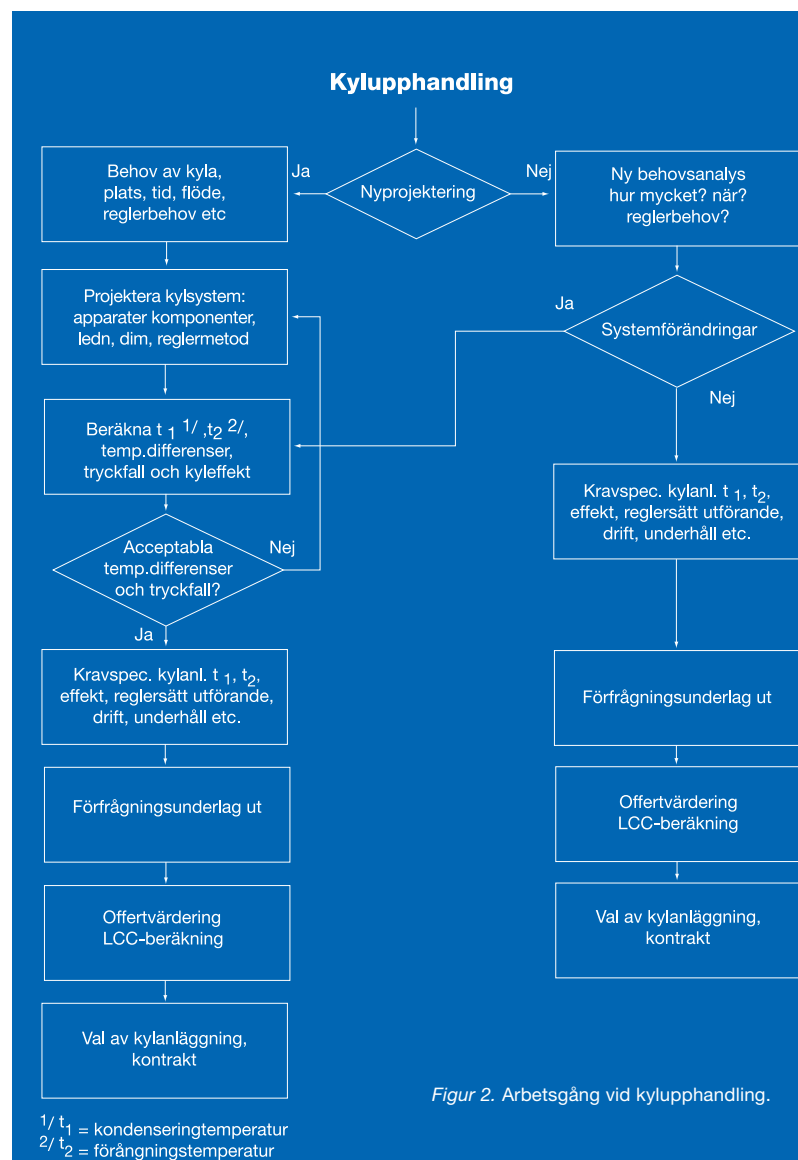
Vilken COP_{kyla} kommer anläggningen att ha? Vilken är driftkostnaden? Notera att COP inte är konstant utan förändras med belastningen, förångnings- och kondenserings-temperaturen.

Vilka övriga drift- och underhållskostnader kommer anläggningen att ha?

Vilka möjligheter finns att mäta tillförd elenergi och avgiven kylenergi? Tillförd elenergi kan mätas med fast installerad elmätare. Avgiven kyla kan mätas med direkt metod (skillnad mellan flöde och temperatur) eller indirekt metod (mätning och kalkylering av kylprocessen).

Läs mer under "Specifika krav på kylaggregat" i slutet av den här broschyren om frågorna rör livsmedelsindustri.

Figur 2 visar arbetsgången vid kylupphandling. I kapitlet "Kravspecifikation" finns många av de uppgifter som beställaren ska lämna samt de krav du kan ställa på kylleverantören.



Figur 2. Arbetsgång vid kylupphandling.

Reglermetoder

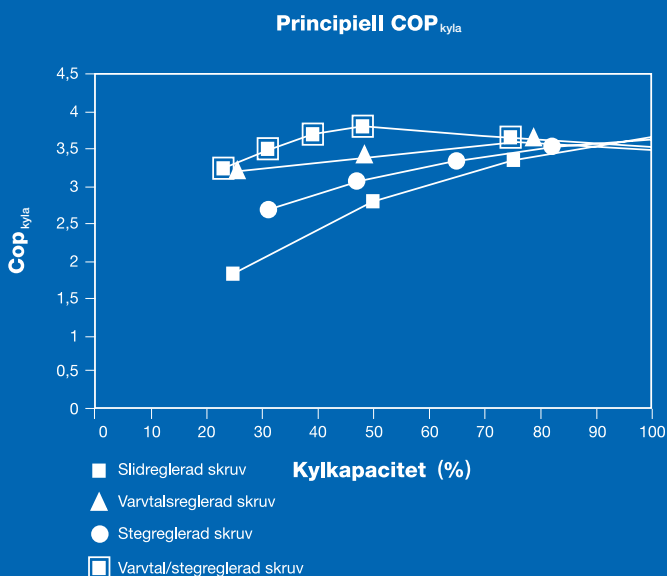
Reglering av kyleffekten för displacementkompressorer¹ kan ske på flera sätt. Den enklaste är on/off-drift. Den lämpar sig i små anläggningar, men även i större om lagringskapaciteten på den kalla sidan är god (exempelvis i fryslager).

Antal start och stopp måste begränsas med hänsyn till slitage och kylprocessens stabilitet. Antal starter för kompressorer med tillförd eleffekt < 100 kW bör begränsas till 10 st./h och 3 st./h vid större kompressorer. Flera kompressorer kan även arbeta tillsammans och i sekvens (on/off).

Flercylindriga kolvkompressorer brukar regleras i steg genom ventilavlastning. Kompressionen i en eller flera cylindrar förhindras genom att sugventilerna låses i öppet läge. Metoden ger tämligen goda dellastegenskaper men medför normalt ingen steglös reglering.

Skruvkompressorer regleras vanligen genom så kallad slidreglering vilket innebär att en rörlig slid "förflyttas" utmed skruvpaketet. Det gör att suggasen leds in till skruven på olika avstånd från utloppet. Ju närmare utloppet desto lägre kapacitet. Metoden medför reglerförluster, i synnerhet vid kapaciteter under 70 procent. Reglermetoden ger steglös reglering inom reglerområdet cirka 100-25 procent.

Både kolv- och skruvkompressorer kan med fördel regleras genom varvtalsreglering, dock inom bestämda gränser. För lågt varvtal kan medföra dålig smörjning för kolvkompressorer och stort återläckage av köldmedium för skruvkompressorer, med dålig verkningsgrad som följd. Vissa skruvkompressorer är från början konstruerade för varvtalsstyrning och har därmed ett större reglerområde (högre utgångsvarvtal och mindre rotordiameter).



Figur 3. COP_{kyla} (kyleffekt/eleffekt) för fyra kompressortyper med olika regelsätt vid förångningstemperatur: -11°C , kondenseringstemperatur: $+22^{\circ}\text{C}$ och med köldmedium NH_3

Figur 3 visar hur köldfaktorn COP_{kyla} varierar för tre olika kompressortyper och regelsätt. I köldfaktorn COP_{kyla} ska även eventuell frekvensomriktare inräknas.

Av figuren framgår att kolvkompressorn har något bättre verkningsgrad (bättre COP_{kyla}) vid maxlast än motsvarande skruvkompressor och den varvtalsstyrda skruvkompressorn har bättre dellastegenskaper än den slidreglerade.

En kolvkompressor som varvtalsregleras ner till 50 procent och därefter stegregleras (vid 50 procents varvtal) får dellastegenskaper enligt den övre kurvan.

Valet av kompressortyp och reglermetod beror på inköpspris, reglerbehov (belastningsprofil), krav på reglernoggrannhet, underhållskostnader och COP_{kyla} . De flesta ovanstående parametrar kan utvärderas med hjälp av så kallad LCC-analys som beskrivs i nästa kapitel "Välj med hjälp av LCC-kalkyl".

¹En kompressor där gasen komprimeras genom att den stängs in i ett rum som minskar sin volym, till exempel kolv-, skruv- och rotationskompressorer.



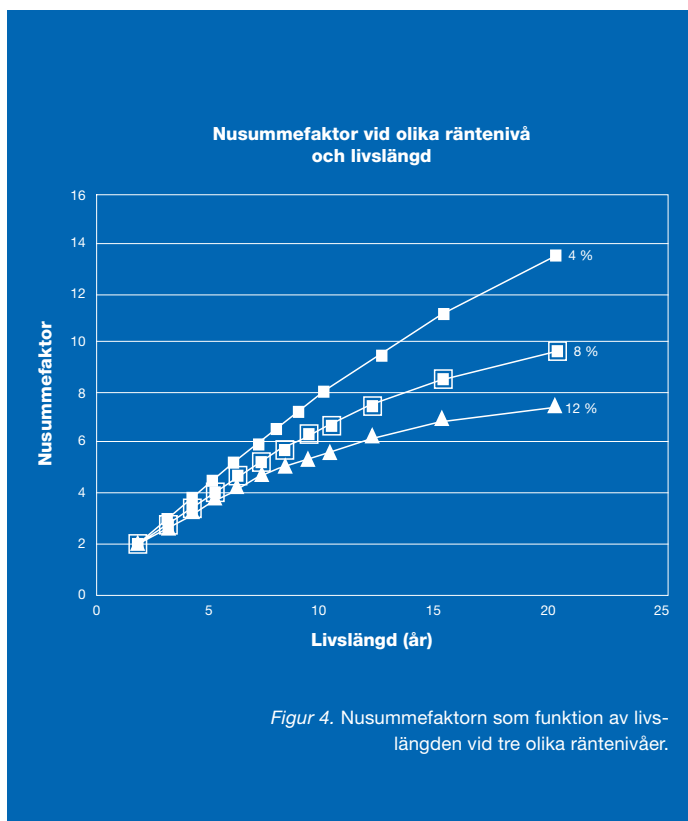
Välj med hjälp av LCC-kalkyl

När kyleffektbehovet definierats och en projektering av kylsystemet har genomförts, så återstår att handla upp utrustningen. En offertförfrågan utarbetas och skickas till aktuella offertgivare. Offerterna som kommer in baserar sig på uppgifter från både beställare och leverantör. I kapitlet "Kravspecifikation" redogörs för de olika uppgifter som ska ingå i en offert.

Tänk så noggrant som möjligt igenom vilka behov det nya kylsystemet ska tillgodose. Nödvändiga luft- och vätskeflöden, temperaturnivåer, temperaturdifferenser och utnyttjandetider bör definieras.

Inkomna offerter ska sedan värderas. Energikostnaderna under kompressorns livslängd är i regel mycket större än investeringskostnaden som tidigare påpekats, se figur 1. Gör du den ekonomiska värderingen av offerterna med hjälp av beräknad livscykelkostnad (LCC), så ligger de totala kostnaderna under systemets hela livslängd till grund för valet av leverantör.

Hur beräknas LCC?



De tre viktigaste komponenterna är:

- Energikostnader under kompressorns livslängd
- Investeringskostnaderna för kylsystemet
- Underhållskostnader (inklusive stilleståndskostnader), det vill säga service- och reparationskostnader, under kompressorns livslängd.

Energi- och underhållskostnader kan givetvis variera under årens lopp. Det är mycket svårt att förutsäga hur stora variationerna blir. För enkelhets skull antas att kostnaderna för elenergi och underhåll är lika stora varje år. Energi- och underhållskostnaderna under kompressorns livslängd, kanske 15 år, räknas sedan om till dagens värde med hjälp av den så kallade nusummefaktorn. De kan då jämföras med investeringskostnaderna som uppstår första året.

Nusummefaktorn bestäms av kompressorns ekonomiska livslängd n (år) och av kalkylräntan r_k (angiven i procent).

Nusummefaktorn = $[1 - (1 + 0,01 \times r_k)^{-n}] / (0,01 \times r_k)$. Nusummefaktorns värde vid olika kalkylräntor och ekonomiska livslängder framgår av figur 4 och tabell 1.

Figur 4. Visar att en låg räntenivå leder till högre värden på nusummefaktorn. Det betyder att nuvärdet blir högre på framtida kostnader för energi och underhåll. I tabell 1 redovisas värdet på nusummefaktorn för ett antal olika livslängder och räntenivåer.



Nusummefaktor												
År	Kalkylränta i procent											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
2	2,00	1,97	1,94	1,91	1,89	1,86	1,83	1,81	1,78	1,76	1,74	1,63
3	3,00	2,94	2,88	2,83	2,78	2,72	2,67	2,62	2,58	2,53	2,49	2,28
4	4,00	3,90	3,81	3,72	3,63	3,55	3,47	3,39	3,31	3,24	3,17	2,85
5	5,00	4,85	4,71	4,58	4,45	4,33	4,21	4,10	3,99	3,89	3,79	3,35
6	6,00	5,80	5,60	5,42	5,24	5,08	4,92	4,77	4,62	4,49	4,36	3,78
7	7,00	6,73	6,47	6,23	6,00	5,79	5,58	5,39	5,21	5,03	4,87	4,16
8	8,00	7,65	7,33	7,02	6,73	6,46	6,21	5,97	5,75	5,53	5,33	4,49
9	9,00	8,57	8,16	7,79	7,44	7,11	6,80	6,52	6,25	6,00	5,76	4,77
10	10,00	9,47	8,98	8,53	8,11	7,72	7,36	7,02	6,71	6,42	6,14	5,02
15	15,00	13,87	12,85	11,94	11,12	10,38	9,71	9,11	8,56	8,06	7,61	5,85
20	20,00	18,05	16,35	14,88	13,59	12,46	11,47	10,59	9,82	9,13	8,51	6,26

Tabell 1. Nusumme faktorn vid olika kalkylräntor och ekonomiska livslängder.

Formeln för att beräkna livscykelkostnaden (LCC) är:

$$LCC_{\text{tot}} = \text{investering} + LCC_{\text{energi}} + LCC_{\text{underhåll}}$$

$$LCC_{\text{energi}} = \text{årlig energikostnad} \times \text{nusumme faktorn}$$

$$LCC_{\text{underhåll}} = \text{årlig underhållskostnad} \times \text{nusumme faktorn}$$

Utförligare beskrivning av hur du beräknar LCC finns i referens 1. Förväntas till exempel energipriset öka med 2 procent per år, så minskar man den antagna kalkylräntan med 2 procent vid beräkning av nusumme faktorn. På motsvarande sätt kan hänsyn även tas till årliga procentuella ökning av underhållskostnaderna.

Exempel på LCC-beräkning

Här är ett enkelt exempel på en LCC-beräkning. Olika alternativa lösningar analyserades vid en energikartläggning av kylsystem vid ett livsmedelsföretag med avseende på COP_{kyla} och reglerbarhet. Kyllasten varierade starkt och maxkapaciteten utnyttjades bara kortvarigt. Eftersom kyllasten varierade mellan 25–100 procent ville man prova en lösning med varvtalsreglerad kompressor.

Tabellen nedan visar erforderlig kyleffekt, drifttider och eleffektbehov vid angivna temperaturer under ett driftår. Två olika alternativ analyseras. En slidreglerad kompressor jämfördes med en varvtalsstyrd skruvkompressor.

Kyleffektbehovet varierar enligt nedan. Eleffektbehovet för drivmotorn beräknades för de båda alternativen. Förångningstemperatur och kondenseringsstemperatur antas vara konstanta vid samtliga driftfall, $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$

Last	Kyleffekt kW	Drifttid h/år	Slidreglering		Varvtalsreglering	
			Eleffekt [kW]	Energi [MWh]	Eleffekt [kW]	Energi [MWh]
25 %	110	500	61	31	34	17
50 %	220	5 760	79	455	64	369
75 %	330	2 000	99	198	92	184
100 %	440	500	122	61	126	63
Summa MWh:			745		633	

I exemplet antas att energipriset är 0,35 kr/kWh, den ekonomiska livslängden 15 år och räntenivån 4 procent. Kostnadsbilden för de två alternativen blir då:

Alternativ 1. Slidreglering.

Investeringskostnad	350 000 kr
Energikostnad/år	261 000 kr
Underhållskostnad/år	12 000 kr
Summa driftkostnader	273 000 kr

Livscykelkostnaden (LCC) under den ekonomiska livslängden redovisas nedan. Investering och nuvärdet av de sammanlagda energi- och underhållskostnaderna under den ekonomiska livslängden 15 år och med räntenivån 4 procent blir med nusummeffaktorn $I = 11,12$:
 $LCC = 350\,000\text{ kr} + 11,12 \times 273\,000\text{ kr} = 3\,386\,000\text{ kr}$

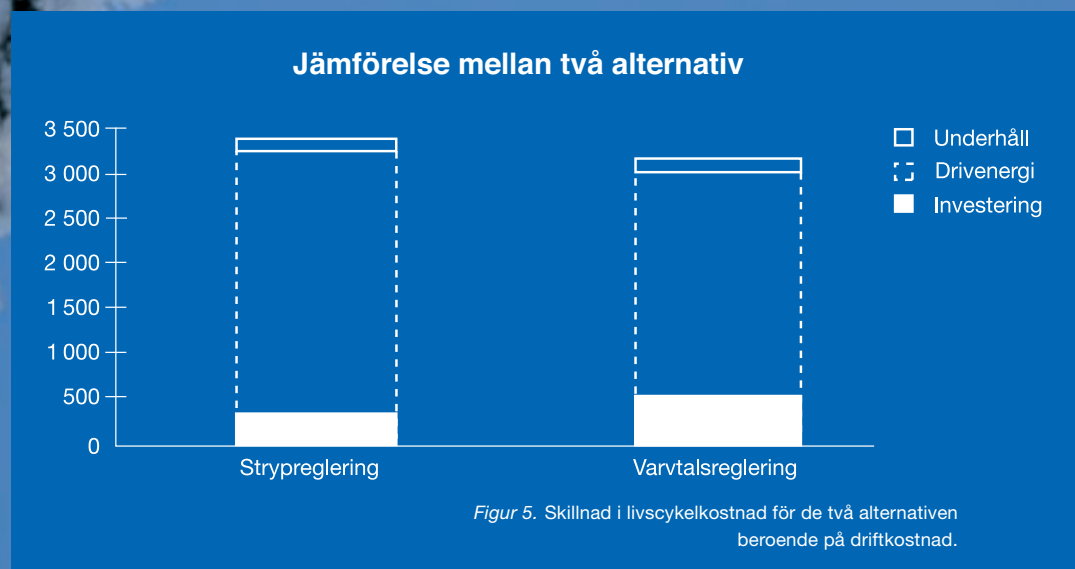
Alternativ 2. Varvtalsreglering.

Investeringskostnad	565 000 kr
Energikostnad/år	221 000 kr
Underhållskostnad/år	12 000 kr
Summa driftkostnader	233 000 kr

$LCC = 565\,000\text{ kr} + 11,12 \times 233\,000\text{ kr} = 3\,156\,000\text{ kr}$

Genom en tilläggsinvestering på 215 000 kr minskar de årliga driftkostnaderna med 40 000 kr/år. Det motsvarar en minskning av de totala livscykelkostnaderna under en 15-årsperiod med 230 000 kr.

Figur 5 visar livscykelkostnad för en slidreglerad skruvkompressor respektive varvtalsstyrd skruvkompressor under en 15-årsperiod. Användning av LCC-kalkyler vid jämförelser mellan olika tekniska lösningar leder i allmänhet till att effektiviteten i utrustningen värderas på ett mer korrekt sätt än när beställaren utan ytterligare analys väljer den leverantör som erbjuder lägst pris.





Kravspecifikation

Här följer ett antal krav på kylanläggningar som med fördel kan användas som en del av offertförfrågan inför en upphandling. Kraven är av teknisk, systemmässig och ekonomisk natur.

De är skrivna så en väl fungerande kommunikation mellan beställare och leverantör upprättas. Det krävs för att den färdiga kylinstallationen ska bli driftsäker och energieffektiv.

Allmänna krav

Varje offert ska innehålla en LCC-kalkyl med: investeringskostnader för aktuell utrustning, nuvärde av beräknade energikostnader under den ekonomiska livslängden, och nuvärde av beräknade underhållskostnader under den ekonomiska livslängden.

Principerna för en LCC-kalkyl framgår i förenklad form av kapitlet "Välj med hjälp av LCC-kalkyl" ovan och i mer detaljerad form i kapitlet "Övriga energiaspekter" samt i referens 1.

Nedan framgår vilka uppgifter som behövs för att offertgivaren eller leverantören ska kunna genomföra en LCC-kalkyl. I tabellen anges även de uppgifter du som beställare måste lämna redan i offertförfrågan.

Investeringar:	Leverantör	Beställare
Anskaffningspris för utrustning	x	
Pris på montage och installation etc.	x	
Förråd, reservdelar, förbrukningsmaterial	x	
Drift och underhåll, kostnader per år		
Underhåll förebyggande, mantimmar/år	x	
Underhåll avhjälpande, mantimmar/år	x	
Arbetskostnader, kr/mantimme		x
Förbrukningsmaterial, kr/år	x	
Summerade underhållskostnader, kr/år	x	
Effektbehov vid respektive lastfall, kW	x	
Drifttid för respektive lastfall, h		x
Totalt årligt energibehov, kWh	x	
Energipris, kr/kWh		x
Totala energikostnader, kr/år	x	
Stilleståndskostnader, kr/h		x
Stilleståndskostnader, kr/år	x	
Övriga kostnader för drift och underhåll, kr/år	x	
Underlag nuvärdeskalkyl		
Räntenivå, procent		x
Ekonomisk livslängd, år		x

Specifika krav

Nästa sidas kravspecifikation har utarbetats av beställargruppen för effektivare kylkompressorer som består av representanter för svensk livsmedelsindustri.

Kravspecifikationen gäller framför allt vätskekylaggregat med vätskekyld kondensor och förångare som arbetar mot en variabel kyllast samt har basdata enligt nästa sida. Kraven kan delvis även användas för andra applikationer.

Basdata

- Köldmedium (NH₃) _____
- Dimensionerande sammanlagt kyleffektbehov _____ kW
- Antal kompressorer _____ st, storlek _____
- Dimensionerande förångningstemperatur _____ °C
- Dimensionerande kondenseringsstemperatur _____ °C
- Utgående köldbärartemperatur _____ °C
- Dimensionerande utetemperatur torr/våt torr _____ °C, våt _____ °C
- Högsta kondenseringsstemperatur som anläggningen ska kunna drivas vid* _____ °C
- Lägsta kondenseringsstemperatur som anläggningen ska kunna drivas vid _____ °C
- Differens mellan förångningstemperatur och utgående köldbärartemperatur (Θ_{ut}) _____ °C
- Differens mellan kondenseringsstemperatur och utgående värmebärartemperatur _____ °C
- Köldbärarens sammansättning _____
- Värmebärarens sammansättning _____

Garanterade värden ska kunna uppfyllas även vid garantitidens utgång efter normal skötsel. Hänsyn ska dock tas till den normala försämringen av nedsmutsning och olja på värmväxlarytor. Värdena kontrolleras vid såväl slutbesiktning som garantibesiktning.

Med begreppet COP_{kyla} menas den till förångaren upptagna värmen dividerad med eleffekten som tillförts kompressorernas drivsystem. I eleffekten ingår eventuell frekvensomriktare, all hjälpeffekt för kylfläktar, eventuella oljepumpar och värmare etc. Cirkulationspumpar på anläggningens värmebärarsida och köldbärarsida ingår inte. De behandlas separat, se referens 3 och 4.

Förångnings- och kondenseringsstryck förutsätts vara konstanta inom reglerområdet om inte annat anges.

Nedanstående villkor ska vara uppfyllda vid dimensionerande förhållanden om inte annat anges:

1. Kompressorernas kyleffekt ska kunna regleras från 100 till ≤ 25 procent.
2. Kylsystemets kapacitet (vid mer än en kompressor) ska kunna följa behovet inom området 10-100 procent.
3. COP_{kyla}, definierad som kyleffekt dividerad med eleffekt, får inte minska med mer än 10 procent vid nedreglering till 50 procent av maximal kapacitet.

4. COP_{kyla} ska anges vid 100, 75, 50, 25 procents samt minimilast. Dellastverkningsgraden inom systemets hela arbetsområde ska redovisas i kurvform vid steglös reglering.
5. COP_{kyla} anges om möjligt vid dellast enligt ovan även vid glidande kondenserings- och förångningstemperatur, som inträffar vid praktisk drift. Temperaturer och övriga förutsättningar ska anges.
6. Anläggningen ska utformas så en högsta kondenserings-temp av +35 °C inte överskrids vid exempelvis en torr utetemperatur av +30 °C och våt utetemperatur av +19 °C. Anpassa gradtalen efter de lokala förhållandena.
7. Kondenseringsstemperaturen ska kunna sänkas till lägst +10 °C vid en förångningstemperatur ≤ -11 °C när yttre förhållanden medger detta eller belastningen är låg. "Glidande kondensering" ska kunna användas.
8. Värde för förångningstemperaturen ska lätt kunna anpassas till rådande behov inom ett spann av ± 5 °C. Glidande förångningstemperatur ska kunna användas där lasten varierar.
9. Skillnaden mellan förångnings- och utgående köldbärartemperatur får ej överstiga 3 °C vid ΔT 4 °C på köldbärarsidan (vätska in-vätska ut), det vill säga $\Theta_{ut} \leq 3K$ vid full last.
10. Differensen mellan kondenserings- och utgående värmebärartemperatur får ej överstiga 3 °C vid ΔT 5 °C på värmebärarsidan (vätska ut-vätska in), det vill säga $\Theta_{ut} \leq 3K$ vid full last.
11. Tryckfallet över förångarens vätskesida får högst uppgå till 40-60 kPa³ vid maximalt flöde (ΔT 4 °C).
12. Tryckfallet över kondensorns vätskesida får högst uppgå till 30-55 kPa⁴ vid maximalt flöde (ΔT 5 °C).
13. Drifttillgängligheten under tre månaders drift ska anges och definieras (riktvärde: > 96 procent).
14. Underhållsintervall och aktuella åtgärder ska specificeras (riktvärde: 40 000 h). Ange beräknad stopptid och kostnad vid varje underhållstillfälle.
15. Serviceintervall och aktuella åtgärder anges (exempelvis oljedränering, filterbyten, oljebyten etc.). Ange beräknad kostnad, tidsåtgång och stopptid.
16. Aggregatet ska ha dubbla säkerhetsventiler med växventil.
17. Bullernivån i kompressorrummet bör inte överstiga 85 dB(A). Tillsyn bör kunna utföras utan hörselskydd. Beakta risk för missljud från ventiler och armaturer.



rer, exempelvis ”klapprande” backventiler. Ljudeffektnivån från vätskekylaggregatet ska anges. Offertgivare ska redovisa vilka åtgärder som kan vidtas för att minska bullret ytterligare.

18. En samordnad funktionsprovning ska utföras.

19. Garantitiden ska vara två år.

20. Mätutrustning ska finnas för tillförd eleffekt/ elenergi (elmätare) samt kyleffekt/kylenergi på köldbärarsida. Kyleffekt/kylenergi kan mätas med energimätare anpassad för kyländamål eller genom indirekt metod, baserad på mätning av eleffekt samt tryck och temperaturer i köldmediekretsen. Ange mätnoggrannhet och monteringskrav (raksträckor, givarplacering med mera).

21. Ström- och spänningskurva mot elnätet ska vara så sinusformad som möjlig. Ange halten övertoner.

22. Ange aktiv och reaktiv eleffekt.

²Drivs anläggningen med en högre kondenserings temperatur än den dimensionerande, så reduceras den avgivna kyleffekten eller så stoppas anläggningen. Det kan inträffa om utetemperatur är högre än den dimensionerande. Ange därför den högsta temperatur som anläggningen ska kunna drivas vid.

³Ökad turbulens medför ökat tryckfall. Det förbättrar värmeöverföringen men ökar elförbrukningen för pumpar. Ett högre tryckfall kan vara bra vid risk för nedsmutsning av värmeytor, eftersom skjuvkrafterna ökar och värmeväxlarytorna håller sig renare. Välj så lågt tryckfall som möjligt med hänsyn till samtliga parametrar.



Övriga energiaspekter

Energianvändningen för en kylanläggning påverkas av en rad faktorer. Kompressorns COP_{kyla} är bara en av många parametrar (verkningsgrader) som påverkar energianvändningen i en anläggning. Kravspecifikationen i föregående kapitel behandlar endast den kylalstrande delen i anläggningen. Den måste dock ses som ett system, så börja med att analysera:

1. Kan kylbehovet minskas eller lösas på annat sätt?
2. Kan energianvändningen som används till det efterfrågade kylbehovet minskas? Beakta nedanstående:
 - Intern värmelast i kyl/frys-rum och kylda lokaler, effektiv belysning etc. Se Energimyndighetens krav för belysning, referens 5.
 - Önskad luftväxling i kylda utrymmen vid in- och uttransport av varor, med påföljande påfrostningsproblematik och ökat kylbehov.
 - Avfrostningssystemets effektivitet.

- Avluftning och oljedränering av köldmediekretsarna. Luft stör kylprocessen (icke kondenserbara gaser) och olja isolerar och minskar den värmeöverförande arean i en förångare. Sörj för god oljeavskiljning. Välj om möjligt automatisk oljeåterföring.
- Kondenseringstemperaturen ska vara så låg som möjligt. Glidande kondensering.
- Förångningstemperaturen ska vara så hög som möjligt. Glidande förångningstemperatur.
- Undersök elanvändning för hjälpsystem noga. Varvtalsreglera pumpar och fläktar i så stor utsträckning som möjligt. Stäng av fläktar och pumpar när de inte behövs.
- Energiåtervinning via oljevärmeväxlare, hetgasvärmeväxlare, värmepump och kondensorer.
- Service och underhåll för att upprätthålla energieffektiviteten – kompressorservice, rengöring av värmeväxlarytor etc.
- Återkommande mätningar och uppföljningar av prestanda.

Sänkt kondenserings-temperatur (t_1) respektive höjd förångningstemperatur (t_2) är en ibland förbisedd möjlighet att förbättra energieffektiviteten. I kylprocessen svarar varje temperatur mot ett bestämt tryck. Minskad skillnad mellan t_1 och t_2 medför lägre tryckuppsättning för kompressorn och därmed ett lägre effektbehov.

Vid större förändringar i temperaturnivåer kan vissa delar i anläggningen behöva kontrolleras och modifieras. Expansionsanordningen kan till exempel kräva ett visst minsta differenstryck för att fungera tillfredsställande.

Förändringen av COP_{kyla} (den specifika energiförbrukningen) vid en mindre ändring av kondenserings- och förångningstemperaturen kan sammanfattas grovt enligt nedan. Den gäller generellt för olika köldmedia och kompressortyper.

En sänkning av kondenserings-temperaturen minskar energiförbrukningen med cirka 1-4 procent per grad sänkning.

En höjning av förångningstemperaturen minskar energiförbrukningen med cirka 2-4 procent per grad höjning.

Vid höjning av kondenserings-temperaturen respektive sänkning av förångningstemperaturen sker motsvarande ökning av energiförbrukningen.

Allmänt sett kan sägas att kondenserings-temperaturen främst påverkar kraftförbrukningen (det vill säga motoreffekten och därmed elbehovet) och förångningstemperaturen påverkar kyleffekten. COP_{kyla} är den parameter som avgör elenergiförbrukningen i förhållande till kylenergibehovet.

I figur 6 illustreras hur en förändring av kondenserings-temperaturen (t_1) påverkar den specifika energiförbrukningen (COP_{kyla}), effektbehovet (P) och kyleffekten (Q_2). Exemplet avser en kylkompressor med kyleffekten 333 kW och COP_{kyla} på 4,1 vid det

angivna driftfallet (-10 °C/+30 °C). Förångningstemperaturen (t_2) är konstant -10 °C.

Antag att kondenserings-temperaturen (t_1) är 30 °C och minskas till 27 °C. Av diagrammet framgår att COP_{kyla} ökar till 110 procent, det vill säga med en faktor 1,1. Detta innebär att elanvändningen (P) minskar med 10 procent.

I diagrammet anges även besparingen i procent per grad i intervall om 5 grader inom området 10-50 °C. Besparingen i ovanstående exempel kan även beräknas genom att avläsa besparingen per grad i intervallet 25-30 °C (3,2 procent/grad) och multiplicera med sänkningen av kondenserings-temperaturen (3 °C).

COP_{kyla} , det vill säga energiförbrukningen, minskar med $3 \times 3,2$ procent = 9,6 procent.

Minskas t_1 från +30 °C till +10 °C halveras energiförbrukningen.

I figur 7 till höger framgår hur prestanda förändras vid ändring av förångningstemperaturen (t_2) för en skruvkompressor med som köldmedium. Kondenserings-temperaturen förutsätts vara konstant +30 °C. Diagrammet används på samma sätt som figur 6 på sidan 16.

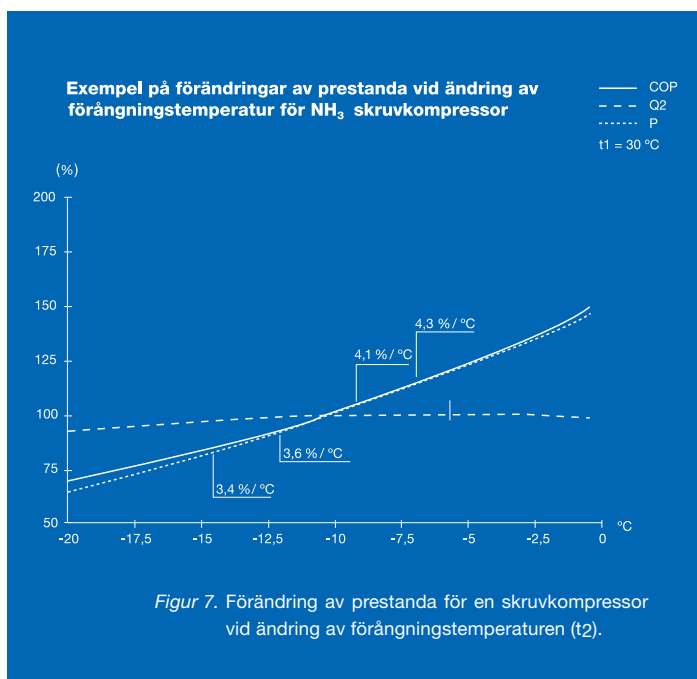
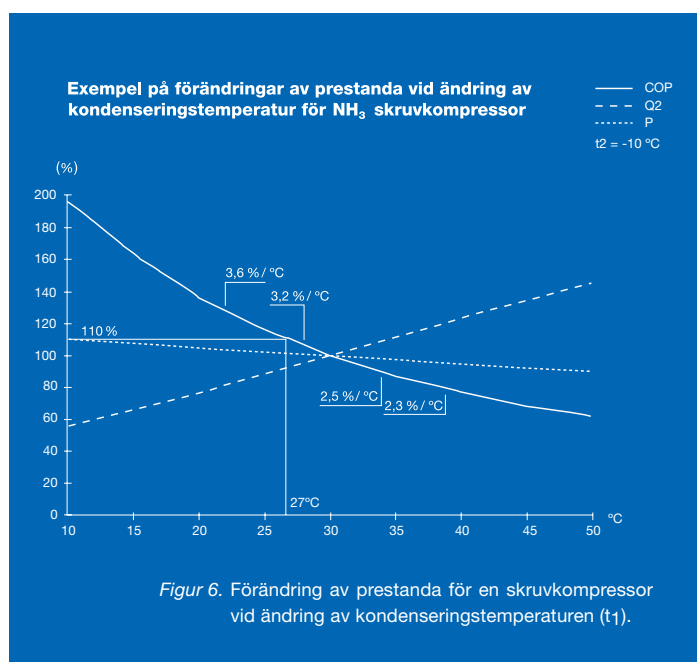
Vid ökning av förångningstemperaturen ökar även kyleffekten och därmed även kondensoreffekten. Detta kan medföra (om kondensorn är maximalt utnyttjad) att kondenserings-temperaturen ökar eftersom värmeväxlarytorna på kondensorsidan blir hårdare belastade.

Kondenserings-temperaturen kan exempelvis sänkas genom att kondensorernas värmeväxlaryta ökar eller kylningen av befintliga kondensorer förbättras. På motsvarande sätt kan förångningstemperaturen ökas genom att värme-

växlarytorna görs större. Temperaturen kan enklast förändras genom att börvärdet för utgående köldbärare och kondensortrycksreglering (pressostater) ändras.

Se även skriften "Energieffektiva kyl- och värmepumpanläggningar – Riktlinjer" utgiven av Kylbranschens Samarbetsstiftelse, referens 6.

Förhoppningsvis främjar dessa krav en lägre energianvändning för kylprocesser. Ställs inga krav så hamnar ofta fokus enbart på inköpspris vilket innebär att driftkostnaderna åsidosätts.





Referenser

1. Kalkylera med LCCenergi, utgåva 2, Industrilitteratur (2004).
2. Högeffektiva elmotorer. Energimyndigheten (2005).
3. Krav på pumpar, Energimyndigheten (2006).
4. Krav på fläktar, Energimyndigheten (2006).
5. Belysning i verkstadsindustri – Programkrav, Energimyndigheten (1994).
6. Energieffektiva kyl- och värmepumpanläggningar.

Mer information

Energirådgivare

Diskutera gärna ditt företags energisituation med kommunens energirådgivare. De ger opartisk och lokalt anpassad information och rådgivning till allmänheten, organisationer samt små- och medelstora företag. Kontaktuppgifter till alla kommunala energirådgivare och regionala energikontor finns på Energimyndighetens webbplats www.stem.se.

Energimyndigheten

Energimyndigheten ska verka för en effektiv och hållbar energianvändning med låg negativ inverkan på hälsa, miljö och klimat. På myndighetens webbplats www.stem.se finns information om energieffektivisering för företag, till exempel fler krav vid upphandlingar av olika energiförbrukande system.

Krav på kylaggregat

Driftkostnaden för en kylanläggning är upp till tio gånger högre än investeringskostnaden, sett till anläggningens hela livslängd.

När du handlar upp ett nytt system har du en unik möjlighet att påverka energiförbrukningen och därmed driftkostnaden under alla år som det är i bruk.

Denna broschyr innehåller krav du kan ställa vid en upphandling samt information om hur du uppnår en energieffektiv och genomtänkt systemlösning.

Broschyrserien omfattar hittills:

- Krav på fläktar
- Krav på kylaggregat
- Krav på pumpar
- Krav på tryckluftssystem

Alla trycksaker kan beställas via Energimyndighetens publikationsservice:

Energimyndigheten
Förlaget
Box 310
631 04 Eskilstuna
Telefon: 016-544 20 00
Telefax: 016-544 22 59
E-post: forlaget@stem.se

De finns även för nedladdning i PDF-format på Energimyndighetens webbplats www.stem.se.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Tel. 016-544 20 00, Fax. 016-544 20 99, www.stem.se