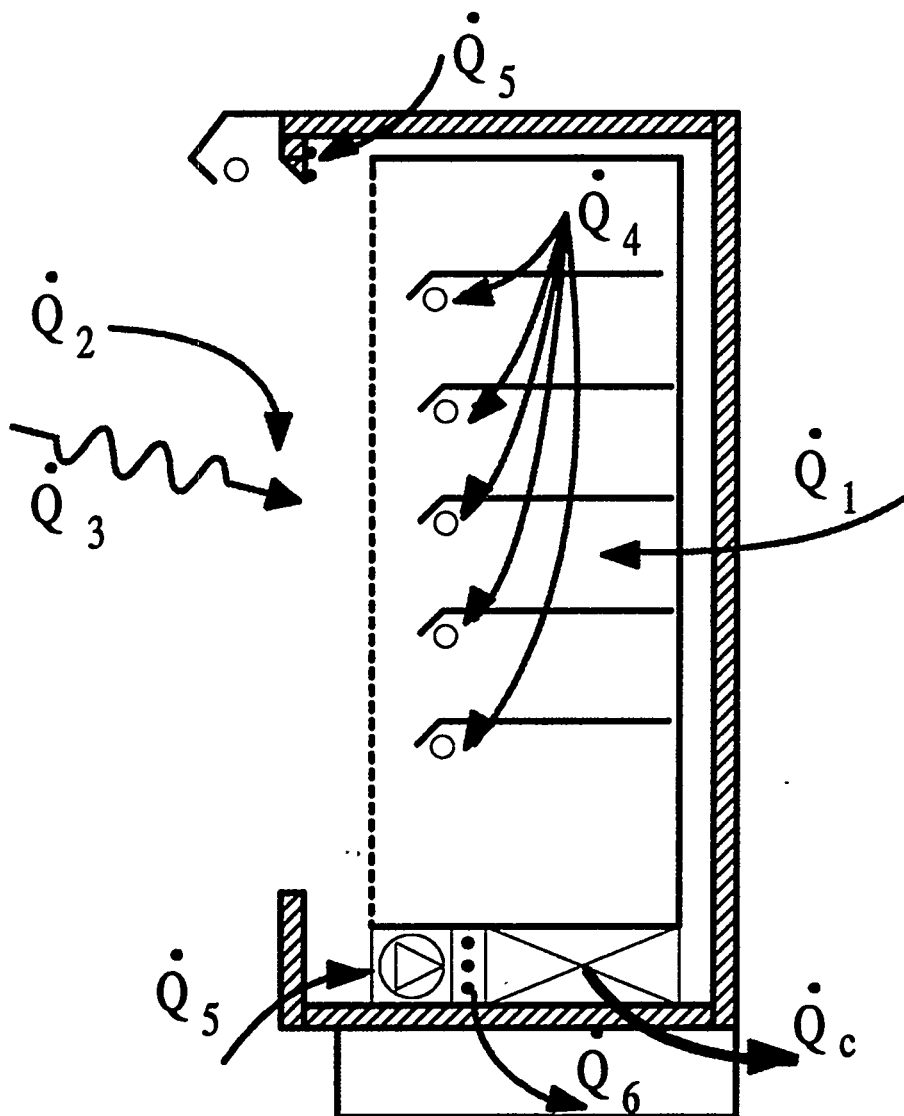


Per Fahlén

Butikskyla

MASTER

RECEIVED
MAR 31 2000
O.S.T.I



Per Fahlén

Butikskyla

Abstract

This report summarizes experience from SP research and assignments regarding refrigerated transport and storage of food, mainly in the retail sector. It presents the fundamentals of heat and mass transfer in display cabinets with special focus on indirect systems and secondary refrigerants. Moreover, the report includes a brief account of basic food hygiene and the related regulations. The material has been compiled for educational purposes in the Masters program at Chalmers Technical University.

Key words: display cabinet, indirect system, secondary refrigerant.

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2000:03
ISBN 91-7848-799-4
ISSN 0284-5172
Borås 2000

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2000:03

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax + 46 33 13 55 02

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

Innehåll	Sida
Abstract	2
Definitioner och beteckningar	4
Sammanfattning	4
1 Butikskyla	5
1.1 Livsmedel och mikrobiologi	5
1.2 Kylkonservering	9
1.3 Kylkedjan	10
1.4 Butiksklimat	12
1.5 Klimatiseringens energibalans	13
2 Kyltekniska installationer	14
2.1 Kylanläggningar	14
2.2 Köldmedier	17
2.3 Köldbärare	17
3 Kylmöbler	26
3.1 Teknik och ekonomi	26
3.2 Terminologi och klassificering	26
3.3 Temperaturer	28
3.4 Värmebalans och kyleffekt	28
3.5 Variationer i temperatur och kyleffekt	34
3.6 Luftkylare	36
3.7 Överföring av kyla till varorna	36
3.8 Luftridåer	40
4 Normer och rekommendationer	52
4.1 Livsmedelsstadgan	52
4.2 ATP	52
4.3 CEN	54
4.4 IIR	55
4.5 Övriga organisationer	55
5 Referenser	56

Definitioner

I första hand används definitioner enligt SS 1897.

Direkt system System i vilket förångare, kondensor e.d. står direkt i kontakt med det medium som skall kylas respektive värmas.

Indirekt system System i vilket förångare, kondensor e.d. *inte* står direkt i kontakt med det medium som skall kylas respektive värmas.

Beteckningar

c	Specifik värmekapacitet; J/kg/K	V	Volym; m ³
D	Ytterdiameter på rör; m	$\dot{V}$	Volymflöde; m ³ /s
d	Innerdiameter på rör; m	ν	Specifik volym; m ³ /kg
h	Specifik entalpi; J/kg/K	W	Arbete (mekaniskt eller elektr.); J
L	Längd; m	$\dot{W}$	Effekt (mekanisk eller elektr.); W
M	Massa; kg	X	Infiltrationskvot; kg/kg eller %
$\dot{M}$	Massflöde; kg/s	x	Ångkvot; kg ånga/kg torr luft
p	Tryck; Pa	α	Värmeövergångskoef.; W/m ² /K
Q	Värme; J	ε	Emissivitet; -
$\dot{Q}$	Värmeeffekt; W	φ	Relativt ångtryck; Pa/Pa eller %
$\dot{q}$	Specifik värmeeffekt; W/m ²	λ	Värmeledning; W/m/K
R	Gaskonstant; J/kg/K eller J/mol/K	μ	Viskositet (dynamisk); Pa·s
r	Specifik entalpi vid fasomv.; J/kg	η	Verkningsgrad; -
T	Absolut temperatur; K	ν	Viskositet (kinematisk); m ² /s
t	Celsiustemperatur; °C	θ	Temperaturdifferens; K
U	Värmegenomgångskoef.; W/(m ² ·K)	ρ	Densitet; kg/m ³
u	Hastighet; m/s	τ	Tid; s, min eller h
w	Hastighet; m/s		

Index och exponenter

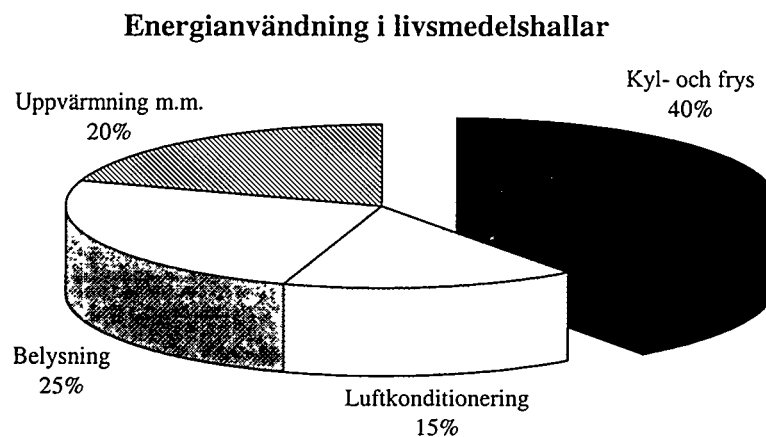
a	Luft ("air")	m	Medel
amb	Omgivning ("ambience")	o	Utanför ("outside")
b	Köldbärare ("brine")	p	Pump
c	Kylbatteri ("coil")	w	Vatten ("water")
e	Elektrisk	S	Sensibel (värme)
g	Gasfas (gaseous)	s	Fast fas (solidus)
h	Hydraulisk	0	Total (t.ex. totalt lufttryck)
i	Inuti ("inside")	1	Kondensorsida el. inloppssida
ko	Kylobjekt	2	Förångarsida el. utloppssida
L	Latent (värme)	'	Ångfas (omättad)
l	Vätskefas (liquidus)	"	Ångfas (mättad)

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar erfarenheter från SPs forskning och uppdragsverksamhet beträffande transport och lagring av kylda livsmedel, framförallt i butiksledet. Rapporten behandlar grundläggande värme- och massöverföring med särskild inriktning på indirekta system med köldbärare. Dessutom innehåller rapporten en kort redovisning av grundläggande krav på livsmedelshygien och tillhörande bestämmelser. Materialet har sammanställts i utbildningssyfte inom civilingenjörsprogrammet vid Chalmers Tekniska Högskola.

1 Butikskyla

I Sverige förbrukas ca. 7 TWh el per år för kylning av livsmedel, varav 4 TWh i hushållen. Tillsammans med värmepumpar och komfortkyla används 12-15 TWh, knappt 10 % av den totala elanvändningen, i olika typer av kylmaskiner. Ca. 5 % av den totala elanvändningen går således till livsmedelskyla och butikernas andel uppskattas till 20-30 %. Energi för kyl- och frysförvaring utgör också en betydande andel av livsmedelsbutikernas totala energianvändning (se figur 1.1). Det finns således all anledning att skärskåda hur el används i butiker för att kartlägga vilka åtgärder som kan vidtas för att effektivisera denna användning.



Figur 1:1. Typisk fördelning av energianvändningen i livsmedelshallar.

Ser man till det ekonomiska värdet av de produkter som hanteras inom sektorn kylda och frysta livsmedel rör det sig om enorma belopp. I Sverige omsattes 1994 ca 86 miljarder och inom EU ca 1800 miljarder på kylda och frysta livsmedel och detta är en sektor som hela tiden ökar. Kyltekniken medverkar till att förbättra livsmedelshygienen och minska svinet. Dessutom gör tekniken det möjligt att även i Sverige få tillgång till exempelvis färsk frukt året runt. Uppskattningsvis blir omsättningen år 2000 närmare 100 miljarder SEK/år i Sverige, 2000 miljarder SEK/år inom EU och närmare 10 000 miljarder SEK/år globalt.

1.1 Livsmedel och mikrobiologi

Hela kylbranschen har sin upprinnelse i behovet av att kylförvara livsmedel för att hindra eller minska nedbrytning p.g.a. mikrobiella, fysiologiska och kemiska förändringar i födoämnen. Kylförvaringen har två huvudsyften:

- Minska risken för spridning av sjukdom via födoämnen,
- Minska försämringen av matvarornas kvalitet.

Felaktig förvaringstemperatur är en av de största orsakerna till sjukdomsspridning via födoämnen. Även vid temperaturer nära 0 °C försämras matvaror genom tillväxt av mikroorganismer, påverkan av enzymer eller genom kemiska reaktioner. Låga förvaringstemperaturer kan sällan förhindra processerna, bara minska deras hastighet.

1.1.1 Mikrobiologiska aspekter

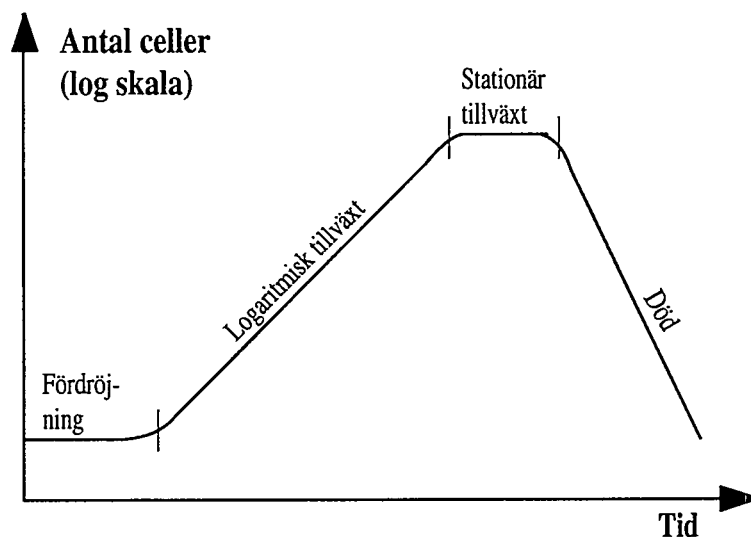
Det finns både nyttiga och skadliga mikroorganismer i födoämnen. T.ex. är vissa typer en nödvändig ingrediens vid framställningen av livsmedel som yoghurt, ost och vin, medan andra sprider sjukdomar. Mikroorganismerna brukar inordnas i fyra kategorier,

- Bakterier,
- Jästsvampar,
- Mögelsvampar,
- Virus.

1.1.2 Tillväxt

Bakterier är den vanligaste sjukdomskällan i livsmedel och har en högre potentiell tillväxthastighet än jäst och mögel. Bakterier har också möjlighet att föröka sig under mycket varierande klimatbetingelser. **Jäst** och **mögel** blir betydelsefulla under förhållanden som begränsar bakteriernas tillväxt, t.ex. i sura eller torra produkter. **Virus**, slutligen, är intercellulära parasiter som är beroende av en specifik värd. T.ex. kan inte människoburna virus som hepatit föröka sig utanför kroppen.

Bakterier, jäst och mögel finns överallt i vatten, jord, luft, växter och på huden och i inälvorna hos människor och djur. Eftersom så gott som all obehandlad mat innehåller dessa mikroorganismer är det oerhört viktigt att inte behandlad och obehandlad mat kommer i kontakt med varandra. Mikroorganismernas tillväxt följer i regel ett förlopp enligt figur 1.1:1.



Figur 1.1:1. Schematisk tillväxtkurva för mikroorganismer.

I början av förloppet finns en fördröjningsfas medan mikroorganismen anpassar sig till sin nya omgivning. Denna fas är mycket viktig eftersom maximal förvaringstid och maximal produktionstid direkt beror av fördröjningsfasens längd. När anpassningen är klar börjar perioden med maximal (logaritmisk) tillväxthastighet. Under denna fas kan man bara begränsa tillväxten genom drastiska bekämpningsmetoder. Tillväxten kan ske med en fördubbling var 20-30 minut under gynnsamma betingelser. Om alstring av toxiner och mognad av sporer är möjlig sker detta i slutet av tillväxtfasen. Under den stationära fasen töms maten på viktiga näringsämnen och inhibitiva biprodukter

börjar ansamlas och slutligen dör mikroorganismerna. Antalet mikroorganismer brukar mätas i enheten CFU (Colony Forming Units).

1.1.3 Tillväxtfaktorer

Tillväxtfaktorerna kan grupperas i **inre** och **yttre** faktorer. Inre faktorer beror på livsmedelsprodukten själv medan yttre faktorer beror av förvaringsomgivningen.

De **inre faktorerna** omfattar näringsämnen, inhibitorer, biologisk struktur, vattenaktivitet, pH samt förekomsten av rivaliserande mikroorganismer. Som alla levande organismer fordrar även mikroorganismerna **näring** för att överleva. Genom att utforma de tekniska systemen så att de lätt kan rengöras kan man begränsa näringstillgången och förhindra tillväxten av mikroorganismer. **Inhibitorer** kan förekomma naturligt eller tillsättas i form av konserveringsmedel. Konserveringsmedel är emellertid ingen ersättning för god hygien och med tiden kan mikroorganismerna utveckla resistens. **Rivaliserande mikroorganismer** tävlar om näringsämnena och kan även producera inhibitorer. **Vattnets aktivitet** är en viktig faktor för alla livsformer. Aktiviteten, a_w , kvantifierar tillgången på vatten inom ett matsystem och definieras (vid en given temperatur) som:

$$a_w = \frac{p_w[\text{lösning}(\text{mat})]}{p_w''} \quad (\text{ekv. 1.1:1})$$

där p_w är vattenångans tryck i lösningen (i detta fall den aktuella matprodukten) och p_w'' är vattenångans mättnadstryck vid den aktuella temperaturen. Tabell 1.1:1 visar att vattnets ångtryck måste ligga nära mättnad för att ge tillväxt för många olika typer av mikroorganismer och torkning är därför en möjlig metod för matbehandling.

Tabell 1.1:1. Ungefärliga miniminivåer för vattnets aktivitet för att mikrobiell tillväxt ska vara möjlig.

Organism	a_w	Livsmedel
Pseudomonad	0,98	Färsk frukt, grönsaker, kött
Salmonella spp, E. Coli	0,95	Många halvfabrikat
Listeria monocytogenes	0,93	
Bacillus cereus	0,92	Saltat smör, jäst korv
Staphylococcus aureus	0,86	
Mögel	0,84	Mjukt, fuktigt djurfoder
	0,80	Lönnsirap, sylt
	0,70	Sirap
Xerotrof mögel	0,65	Knäck
Osmofil jäst	0,62	
Gräns för mikrobiell tillväxt	0,60	Vetemjöl
	0,40	Fettfri tormjolk

Ofta sker den mikrobiella föroreningen på ytorna av t.ex. frukt, grönsaker m.m. men dessa naturliga ytor har en viss skyddande effekt. Tillväxt sker mycket lättare på snittytor och därför behöver dessa skyddas i förekommande fall. Kontroll av fukt har överlag stor betydelse för både smittorisk och varukvalitet.

En produkts **pH-värde** har, precis som a_w , stor betydelse för den mikrobiella tillväxten. För de flesta organismer är det gynnsammaste förhållandet i en neutral miljö, d.v.s. runt pH = 7. Få organismer växer i basisk miljö medan några, som jäst och mögel klarar sig i mycket sura omgivningar (se översikten i tabell 1.1:2).

Tabell 1.1:2. Ungefärliga områden för pH för att mikrobiell tillväxt ska vara möjlig.

Produkt	pH	Mikroorganism				
Juice, läsk	1					
Vinäger, persikor	2					
Tomater	3					
Ost, kål	4					
Kött, ärtor, majs	5	Jäst		Lac-		Cl.
Rent vatten	6		Mögel	tics ¹⁾	Ente-	Botuli-
Havsvatten	7				rics ²⁾	num
Äggvita	8					
Tvål	9					
Blekmedel, betong	10					
Kalk	11					
	12					

1) Lactics = mjölksyrebakterier.

2) Enterics = Escherichia coli m.fl. inom Enterobacteriaceae.

Av de **yttre faktorerna** för tillväxt är **temperatur**, **relativ fuktighet** och **syrehalten** de viktigaste. Detta innebär att luftbehandlingssystemen för värmning/kylning och befuktning/avfuktning är nyckelkomponenter i behandlingen av livsmedel.

Mikroorganismer klarar att föröka sig inom ett mycket brett **temperaturområde**. Tabell 1.1:3 ger en översikt över de ungefärligt lägsta temperaturer som gäller för olika organismers tillväxt. Man har tidigare trott att 7 °C skulle räcka för att hindra patogeners tillväxt. Emellertid har det visat sig att t.ex. *Listeria monocytogenes* kräver temperaturer under +4 °C, kanske t.o.m. under +1 °C eller lägre. Födoämnen som kan ge näring åt patogener får inte förvaras vid temperaturer mellan +4 och +60 °C under längre tid än 4 h.

Temperaturen används även för att klassificera mikroorganismer. De som klarar tillväxt över +45 °C kallas **termofiler** och deras tillväxt kan ske mycket snabbt vid gynnsamma betingelser (en ny generation var 10:e till 20:e minut mellan +55 och +65 °C). Termofiler växer inte eller dör helt och hållet vid kyl- och frysförhållanden. **Mesofiler** klarar sig bäst mellan +20 och +45 °C och många patogener i denna grupp har optimal tillväxttemperatur vid +37 °C, d.v.s. normal kroppstemperatur. Eftersom tillväxten sker mycket snabbt är det viktigt att nedkylningen av livsmedel sker snabbt. Långsam nedkylning kan medföra att mesofilerna anpassar sig till den nya temperaturen. **Psykrotrofer** är organismer som klarar att föröka sig ned till +5 °C, vissa ända ner till -5 °C. Psykrotrofer växer emellertid långsammare än termofiler och mesofiler. Eftersom många psykrotrofer har optimala tillväxtförhållanden i det mesofila området kan en till synes måttlig temperaturhöjning få ödesdigra konsekvenser. Tillväxthastigheten fördubblas sig ungefärligen med varje 2,8 K temperaturhöjning. Det är emellertid viktigt att komma ihåg att nedkylning och frysning inte är en säker metod för att döda mikroorganismer, det försämrar bara deras tillväxtmöjligheter.

Tabell 1.1:3. Lägsta temperaturer för att mikrobiell tillväxt ska vara möjlig.

Organism	Möjlig effekt	Min temp (°C)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Matburen sjukdom	10
<i>Salmonella</i> spp	Matburen sjukdom	5,5
<i>Clostridium botulinum</i> -proteolytisk -ej proteolytisk	Matburen sjukdom	10 3
<i>Lactobacillus</i> och <i>Leuconostoc</i>	Tillagad korv fördärvas	3
<i>Listeria monocytogenes</i>	Matburen sjukdom	1
<i>Acinetobacter</i> spp.	Färdiglagad mat fördärvas	-1
Pseudomonad	Rå fisk, kött, fågel och mejeriprodukter fördärvas	-1

Vatten och dess aktivitet har tidigare nämnts som en viktig inre faktor för organismers tillväxt. Därmed inser man att omgivningens **relativa fuktighet** blir en viktig yttre faktor. Dels kan mikroorganismer sprida sig med droppar i aerosoler och dels bidrar en hög relativ fuktighet till att upprätthålla en hög fukthalt i produkten. Droppskålar, kondensvattenledningar, kyltornsvatten m.m. är välkända potentiella smittohärdar (t.ex. för *Listeria* och *Legionella*). Hög fuktighet i lokaler kan också ge upphov till mögel och andra svampangrepp.

Slutligen kan man också klassificera mikroorganismerna efter deras behov av **syre** i aeroba och anaeroba. Strikt aeroba organismer, som mögel och pseudomonader, kräver syre för att växa medan strikt anaeroba, som *Clostridium* spp., inte kan växa i närvaro av syre. Fakultativa anaerober, t.ex. coliformer, kan växa med eller utan syre. I vissa fall används lagringsbehållare med minskad syrehalt för att förlänga den möjliga förvaringstiden för frukt genom att sakta ner mognadsprocessen. Vakuumpförpackning är en annan metod att kontrollera den yttre tillväxtfaktorn syre (hindrar tillväxt av strikta aerober som mögel och pseudomonader).

1.2 Kylkonservering

Konservering av livsmedel görs i första hand i form av helkonserv eller kylkonserv. Med **helkonserv** menas livsmedel som hermetiskt har inneslutits i förpackning och värmebehandlats så att mikroorganismer och enzymer inte kan göra livsmedlet otjänligt till människoföda eller i övrigt nämnvärt förändra livsmedlet vid förvaring under minst ett år i en temperatur av upp till +20 °C. **Kylkonserv** är en hermetiskt förpackad kylvara som behandlats så att den vid kylförvaring är hållbar under minst sex månader.

Enligt Livsmedelsverkets föreskrift SLV FS 1996:5 (ref. 13) avser **kylvara** ett livsmedel som för sin hållbarhet är beroende av att förvaras i kyla (<+8 °C) men som inte är fryst eller djupfryst. Med **fryst livsmedel** menas livsmedel som är fryst (<-10 °C) men inte djupfryst (<-18 °C). Regler om **djupfrysta livsmedel** finns i SLV FS 1993:16 (ref. 11).

Kylvara ska förvaras så att livsmedlets temperatur aldrig överstiger $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Exempel på kylvara är bl. a. mjölk, färskost, kött, flytande äggprodukter, färdiglagad mat som inte varmhålls, bakverk med vispad eller blåst grädde (med undantag av semlor!), kokta kräftdjur, fiskvaror, böngroddar, skurna grönsaker. Observera dock att temperaturen i köttfärs inte får överstiga $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ och att man rekommenderar max $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ för exempelvis marinerad, gravad och rökt fisk, max $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ för färsk fisk som inte är övertäckt med is m.m.

Endast vatten av dricksvattenkvalitet får användas vid rengöring, kylning eller annan behandling av livsmedel. Notera att även is betraktas som vatten av Livsmedelsverket, med åtföljande krav på vattenkvalitet vid framställning av is för kylförvaring av livsmedel.

1.3 Kylkedjan

Kylkedjan omfattar hela livsmedelshanteringen från tillverkning till konsumtion. Det är viktigt att varans temperaturkvalitet bibehålls i alla led, både i samband med **tillverkning, transport och förvaring**. I Sverige ger Livsmedelsverket ut föreskrifter men organisationer som Djupfrysningsbyrån i Helsingborg (DFB) och Deutsche Tiefkühl Institut (DTI) i Tyskland utarbetar egna tillämpningsregler (ref. 5). Eftersom det finns risk för temperaturhöjningar i varje led av kylkedjan krävs en lägre temperatur i början för att klara kravet i konsumentledet. Tabell 1.3:1 ger exempel på rekommenderade temperaturer i Sverige (Djupfrysningsbyrån) och Tyskland (DTI och DIN 8959). Enligt DTI krävs en marginal av 2-5 K från kedjans början till dess slut och man rekommenderar därför en systematiskt stegad temperaturnivå för att nå slutmålet med en maximal varutemperatur av $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ i butikens diskar för djupfrysta varor.

Tabell 1.3:1. Exempel på rekommenderade temperaturnivåer i kylkedjan för djupfrysta produkter.

Led i kylkedjan	Rekommenderad varutemperatur	
	DFB (SE)	DTI (DE)
Produktion/infrysning	$-18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-18\text{ }^{\circ}\text{C}$
Fryshus/produktionslager	$-23\text{ till }-26\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-28\text{ till }-30\text{ }^{\circ}\text{C}$
Fjärrtransport	$<-21\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Grossist	$-21\text{ till }-23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-25\text{ till }-27\text{ }^{\circ}\text{C}$
Närtransport	$<-18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Butik/storhushåll	$-18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Det bör observeras att varken transportutrustningar eller förvaringsanläggningar är normalt dimensionerade kapacitetsmässigt för att frysa in livsmedel utan bara för att bibehålla en temperaturnivå. Det är därför viktigt att man verkligen har den angivna temperaturmarginalen i kedjans första länk. Då kan man även utnyttja den stora termiska massan i varan för att utjämna mindre svängningar i samband med öppning av dörrar, avfrostning m.m. Om temperaturen blivit för hög tar det mycket lång tid att återställa nivån. T.ex. visar en undersökning av djupfrysta tårtor, som haft en temperatur av $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ när de ställdes in i ett frysrum med $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ att det tar mer än 2 dygn innan kärntemperaturen är $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ och 8 dygn innan den är nere i $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.3.1 Tillverkning

Tid och temperatur är alltid viktiga faktorer vid tillverkning, distribution och lagring av livsmedel. Forskning pågår hela tiden inom området **Tid-Temperatur-Tolerans** och generellt går utvecklingen mot att kräva lägre förvaringstemperaturer och snabbare temperatursänkingsförlopp.

Som exempel kan nämnas att vid frysning av ärtor tar det maximalt 3 h från skörden på fältet tills varan är färdigpackad vid djupfryst temperatur. Detta medför en hög varukvalitet och djupfrysta ärtor har t.ex. ett högre vitamininnehåll än 6 h gamla färska ärtor. Ett annat exempel är djupfryst spenat, som efter 10 månaders lagring har kvar 50-60 % av C-vitamininnehållet, medan färsk spenat bara har kvar 20-40 % redan dagen efter plockning.

Vid tillverkningen är snabbheten i infrysningsförloppet viktig för att undvika uttorkning av produkten. Snabb infrysning med hjälp av låg temperatur och hög värmeövergångskoefficient vid ytan ger stora temperaturgradienter internt i produkten. Däremot kommer ytemperaturen att ligga nära den omgivande luftens temperatur. Detta gör ångtrycksskillnaden mellan luft och produktyta liten och därmed också mängden fukt som lämnar varan.

1.3.2 Transport

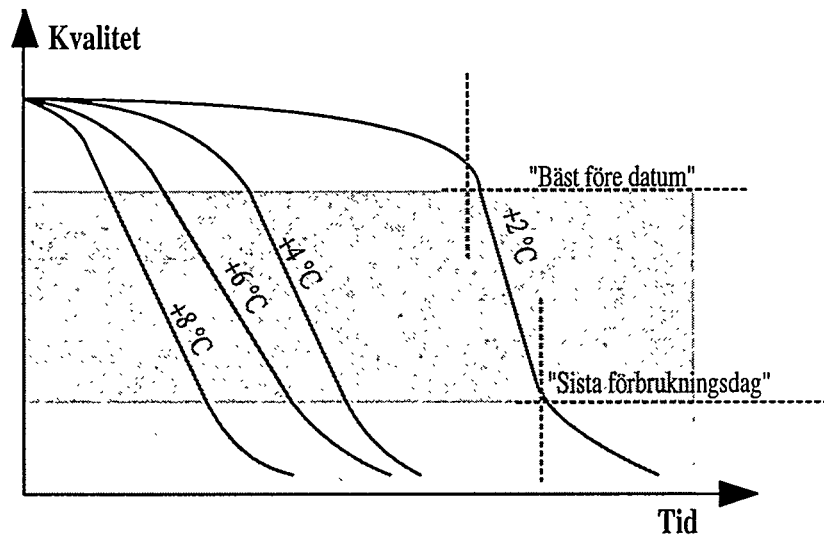
Både fjärrtransporter, över långa avstånd, och närtransporter ställer krav på lastfordonens utförande. SLV FS 1996:5 §31 föreskriver att livsmedel ska ha rätt temperatur innan transporten börjar och sedan bibehålla denna under hela transportförloppet. För fjärrtransporter av kylda och frysta livsmedel finns en internationell överenskommelse genom FN-organet WHO, det s.k. ATP-reglementet (se avsnitt 4.2 för ytterligare detaljer). Avtalet ställer krav på transportfordonens isolering och kylutrustning och refereras i Sverige av Livsmedelsverket i SLV FS 1995:18 (ref. 12).

1.3.3 Förvaring

Förvaringstemperaturen har, som redan tidigare framhållits, en avgörande betydelse för produktkvaliteten. Tabell 1.3:1 anger rekommenderade temperaturer både för transport och förvaring av djupfrysta livsmedel. Avsnitt 1.2 och 1.3.2 ger andra exempel, både för transport- och förvaringstemperaturer.

Produktkvalitet kan avse både objektiva och subjektiva mått. Beträffande hållbarhet (figur 1.3:1) finns två vanliga kriterier:

- Övre gräns = första iakttagbara förändring ("bäst före datum"),
- Undre gräns = acceptansgränsen ("sista förbrukningsdag")



Figur 1.3:1. Temperaturen betydelse för produktens kvalitet

Figuren visar att hållbarheten ökar markant bara med ett par graders temperatursänkning. Helst bör temperaturen vara lägre än $+4^{\circ}\text{C}$.

1.4 Butiksklimat

Butiksklimatet måste planeras utifrån tre, ofta motstridiga, krav på komfort. Dimensionering sker med hänsyn till:

- Kravet på varuklimat (regleras av Statens Livsmedelsverk)
- Kravet på arbetsklimat för butikspersonalen (regleras av Arbetsmiljöverket)
- Kravet på klimat för kundernas komfort (bestäms av kommersiella hänsyn)

Varuklimatet kan kontrolleras lokalt genom att förvara livsmedel i särskilda kylmöbler eller genom att styra klimatet i hela rum (mejeritorg, grönsakstorg etc.). I det första fallet har man problem med energiutbytet mellan kylmöblerna och butiksklimatet medan man i det andra fallet får bekymmer med den termiska komforten för kunder och personal. Beträffande personalen har man dessutom olika komfortkrav för stillasittande arbete (kassörskor m.m.) och rörligt arbete (lager, betjäningsskåp, att fylla på varor i hyllor m.m.). Dessutom varierar kraven med årstiden, speciellt beträffande kunderna. På vintern kan man som kund acceptera en betydligt lägre temperatur än sommartid genom skillnaden i ytterkläder. Personalen är däremot ofta klädd för inomhusarbete året runt.

Som exempel på motstridiga krav kan nämnas att högsta tillåten temperatur för styckning av kött är $+12^{\circ}\text{C}$ enligt Livsmedelsverket medan arbetsmiljökravet stipulerar en lägsta arbetstemperatur för personalen av $+16^{\circ}\text{C}$.

Beträffande allmänna frågeställningar om inneklimat hänvisas till det särskilda kursavsnittet om komfortkyla. Generellt kan man säga att en låg innetemperatur och låg luftfuktighet har en gynnsam inverkan på kylförvaringen av livsmedel, både beträffande temperaturkvalitet och energiåtgång. Det är ofta bättre att konditionera butiksluften med en klimatanläggning för kylning/avfuktning än att lägga detta extra kylbehov i anläggningarna för matvarukylning. Butiksplanering diskuteras i form av ett utdelat övningsexempel.

I vissa fall bygger man avgränsade butiksdelar med lägre temperatur än den övriga butikslokalen, t.ex. s.k. mejeritorg och grönsakstorg. Det är emellertid viktigt för kundens upplevelse av butiken att inte ha för extrema klimatskillnader och valet av lösning är en svår balansgång mellan tekniska och kommersiella aspekter.

Den populära installationen av luftfuktare i frukt- och grönsaksavdelningar är i stor utsträckning en kommersiell företeelse för att kunderna ska uppleva att något händer. Däremot kan den vara tveksam både av hygieniska och energimässiga skäl. Hög fuktighet och eventuellt bristfälligt behandlat vatten ger risk för mikrobiell tillväxt. Den tillsatta fukten ger också ökade ångtrycksskillnader inom lokalen och en stor del av fuktillskottet slutar som en ökad latent värmebelastning i kyldiskarna (faller ut som kondens eller frost i kylbatterierna).

1.5 Klimatiseringens energibalans

Allmänna frågeställningar om byggnaders klimatisering behandlas i det särskilda kursavsnittet om komfortkyla. Man bör dock observera de olika möjligheter som finns att utnyttja frikyla, antingen genom direkt intag av uteluft via ventilationssystemet eller indirekt via vätskekopplade system

Vintertid behöver kylbafflar för vätskekopplad luftkonditionering försörjas med en temperatur runt 14 °C. Med hänsyn till temperaturdifferenser i värmeväxlare skulle frikyla således kunna utnyttjas vid utetemperaturer lägre än +9 °C. Ett bra frikylsystem gör att en kylmaskin för luftkonditionering kan tas ur drift redan i oktober och vara avställd till april. Det finns även möjligheter att kombinera kylanläggningen för byggnadsklimatisering med den för livsmedelskylning (se avsnitt 2.1.1 och 2.1.3).

2 Kyltekniska installationer

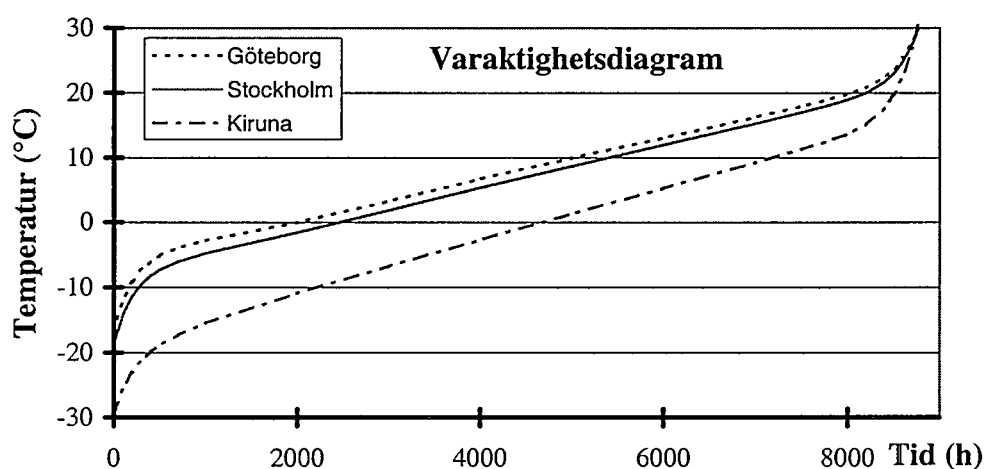
De kyltekniska installationerna står för en mycket stor andel av investeringen i en butik, ca. 20-25 % av det totala beloppet.

2.1 Kylanläggningar

Vid projektering och dimensionering av kylanläggningar är det viktigt att man först skaffar sig en god kännedom om det verkliga kylbehovet. Detta gäller såväl effekten och dess varaktighet som energi och temperaturnivå. Innan kylmaskinen dimensioneras bör man också undersöka vilka möjligheter man har att minska det aktiva kylbehovet genom förbättringar i kylmöblernas **omgivningsklimat**, utnyttjande av **frikyla** samt **lagring**. Förutsättningarna för frikyla och lagring påverkar också valet av **direkt** eller **indirekt** kylsystem. För att kunna ta ställning till eventuell **återvinning** av kondensorvärme behövs också en bra kartläggning av butikens värmebehov i form av effekt, varaktighet och temperatur (se även 2.1.3).

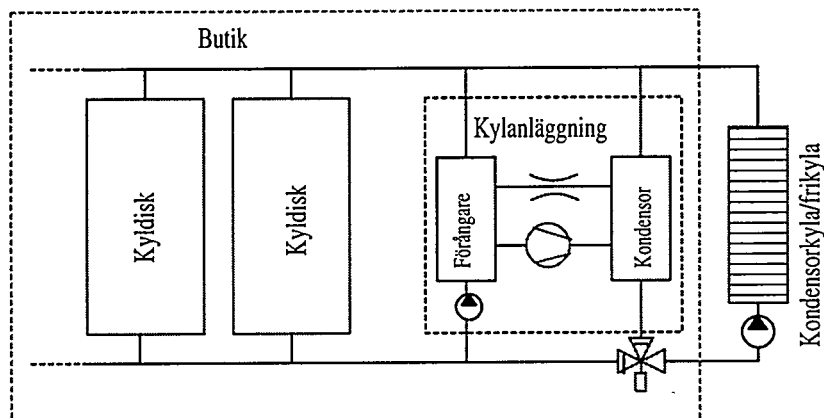
2.1.1 Frikyla

Som komplement/alternativ till kylmaskiner kan frikyla många gånger användas. Detta är en ofta bortglömd teknik som innebär att man utnyttjar uteluften för kylning under perioder när utetemperaturen är lägre än den som behövs i kylmöblen. Figur 2.1:1 visar varaktighetsdiagrammen för Göteborg, Stockholm och Kiruna. Dessa visar att under en mycket stor del av året är utetemperaturen lägre än den som tillämpas i kyldiskar och grönsaksdiskar. Att köra en kylmaskin för att hålla +8 °C i en kyldisk när det är -30 °C ute känns ganska onödigt.



Figur 2.1:1. Varaktighetsdiagram för Göteborg, Stockholm och Kiruna.

Förr utnyttjades frikyla, t.ex. i jordkällare och skafferier, med ventiler som kunde reglera tillförseln av kyla. I moderna system, i synnerhet indirekta, finns goda möjligheter att direkt transportera kyla från en kylmedelskylare till kylmöblerna utan att gå via kylmaskinen. Detta kan ge betydande energibesparingar. Figur 2.1:2 visar ett exempel på utförande.



Figur 2.1:2. Ett möjligt utnyttjande av frikyla i en anläggning med köldbärarsystem.

Köldbärarsystemets returledning kan även utnyttjas för konditionering av ventilationsluften med kylning sommartid och värmning vintertid (jämför med 1.5). Vid användning av frikyla kan man inte ha vatten som kylmedel för kondensorn utan samma köldbärare bör användas i hela systemet.

Kyldiskar behöver en försörjningstemperatur från -8 till 0 °C, och kan därför inte köras enbart på frikyla förrän utetemperaturen är ca. ytterligare 5 K lägre, d.v.s. lägre än ca -5 °C. Däremot kan man under lång tid köra frikyla kompletterad med kylmaskin även vid temperaturer upp till flera plusgrader. Figur 2.1:2 visar att man exempelvis i Kiruna skulle kunna använda enbart frikyla nästan halva året. En av fördelarna med frikyla är att antalet drifttimmar för kompressorerna minskar kraftigt. Detta ger inte bara minskat energibehov för driften utan bör också resultera i att kylmaskinen håller längre och kräver mindre underhåll.

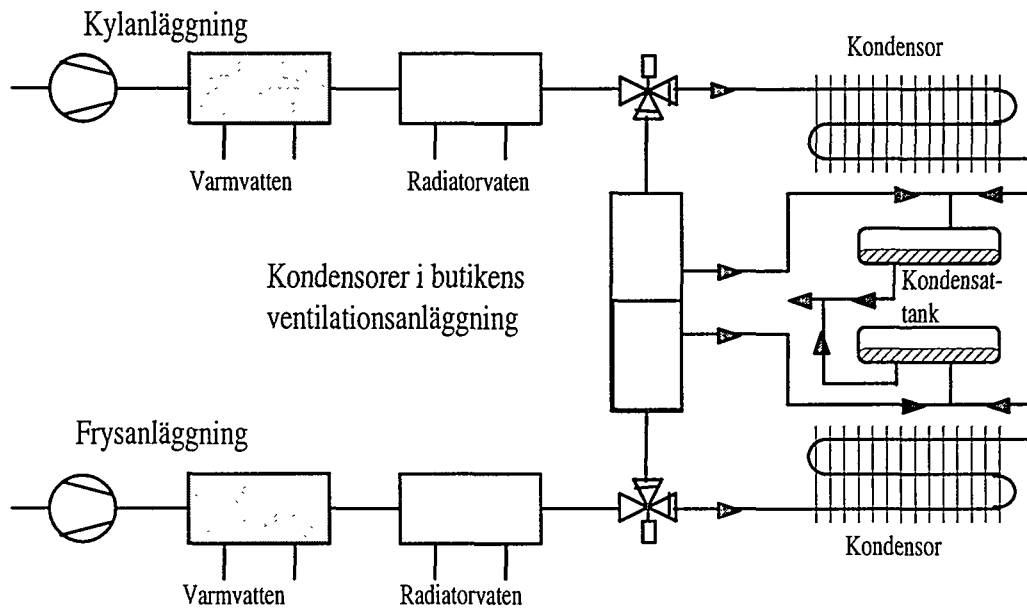
2.1.2 Lagring

Innan mekanisk kyla blev allmänt förekommande hade man stora kylager i form av isstackar. I dessa lagrades sjöis, som togs upp på vintern och täcktes med sågspån som isolering. Numera lagras kyla både i form av tankar med kall köldbärare och i tvåfas lager med is. För värmelagring, t.ex. av kondensorvärme, används i första hand rent vatten men det förekommer även experiment och pilotanläggningar med kemisk lagring i form av salter, klatrater m.m.

2.1.3 Värmeåtervinning

Om det finns en bra användning för värmen från kylmaskinens kondensor kan det vara en god idé att köra maskinen som värmepump vintertid. Detta är ett alternativ till frikyla men ofta är det svårt att hitta en bra värmesänka med tillräckligt utnyttjande i moderna byggnader, inklusive butiker (en butik behöver ju inte hållas särskilt varm vintertid, tvärtom mår ju verksamheten bäst av låga temperaturer). I vissa fall kan det därför vara bättre att installera en särskild värmepump för att täcka det behov som finns än att höja kylmedelstemperaturen för kylanläggningens kondensor till värmesänkans temperaturnivå.

Figur 2.1:3 visar ett exempel på värmeåtervinning där hetgasen nyttjas för värmning av tappvatten och radiatorer i några kontorsrum. Butikshallen värms via tilluftssystemet. Eftersom denna luft aldrig värms över $+20$ °C får man en låg kondensering. När inget värmebehov föreligger växlas köldmediet över till uteluftkylda kondensorer.



Figur 2.1:3. Exempel på värmeåtervinning med låg kondenseringstemperatur.

I många system med värmeåtervinning gör temperaturkravet för värmesänkan att man höjer upp kondensortemperaturen till denna nivå. Det är viktigt att verkligen kontrollera att inte denna höjning gör att driveffekten ökar mer än återvinningen sett över året. I första hand bör man arbeta med flytande kondensering och enbart arbeta mot återvinningstemperaturen när ett behov finns.

2.1.4 Direkta system

Traditionellt har kylbatterierna i kyldiskarna försörjts med kall köldmedievätska från en lokal eller central kylmaskin. Köldmedievätskan kyler batteriet genom att trycket sänks i ett stryporgan i anslutning till batteriet och köldmediet förångas sedan i batteriet vid det lägre trycket, s.k. direktexpansion. **Direkta kylsystem** cirkulerar ofta stora mängder köldmedium men minimerar antalet värmeväxlingar. Strävan mot att minska köldmediefyllningarna samt att kunna arbeta med naturliga köldmedier, vilka ofta är brännbara och/eller giftiga, har gjort att intresset alltmer ökar för s.k. indirekta system.

2.1.5 Indirekta system

De **indirekta kylsystemen** utnyttjar en central kylanläggning för att kyla ett sekundärt köldmedium, s.k. köldbärare. Köldbäraren pumpas sedan ut till de olika kylobjekten. Nackdelen är att man får en extra värmeväxling samt att man får ett extra pumparbete. Däremot har man större frihet att välja medium och det är lättare att lagra och reglera kyleffekten. Man kan inte generellt säga att indirekta system är effektivare än direkta eller tvärtom. Vilket som är lämpligast beror helt på förutsättningarna i den aktuella situationen, t.ex. beträffande kyl- och värmebehov, temperaturnivåer, varaktighet, tillgången på lämpliga komponenter, kostnadsläge etc.

2.2 Köldmedier

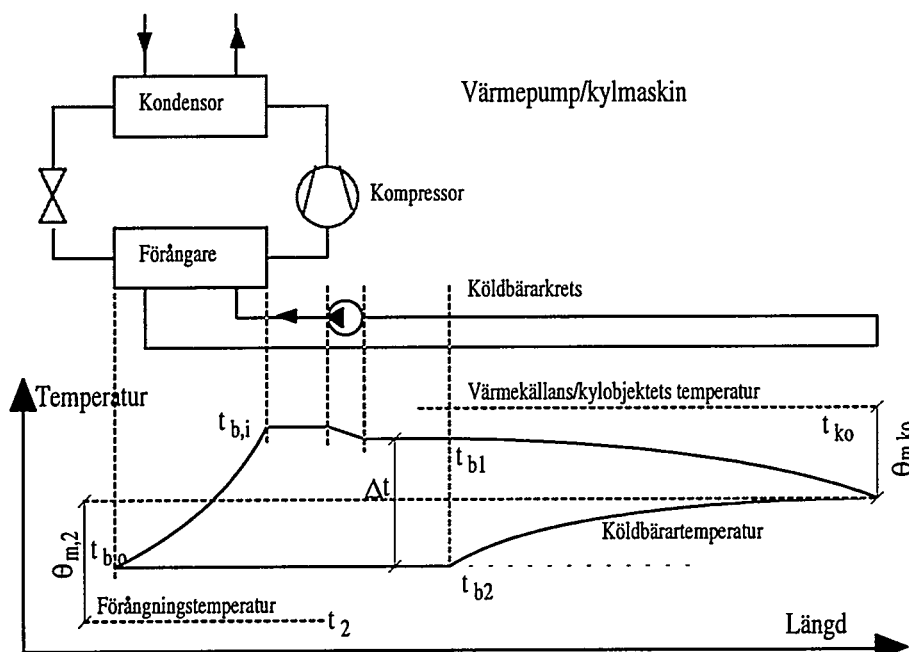
Köldmedier behandlas i ett särskilt kursavsnitt. Rent allmänt kan man säga att intresset för de s.k. naturliga köldmedierna, framförallt ammoniak, propan och koldioxid, ökar snabbt inom tillämpningen butikskyla. Speciellt gäller detta i samband med användning av indirekta system. Med indirekta lösningar kan man utnyttja särskilda maskinrum med fabriksbyggda enhetsaggregat med små köldmediefyllningar, och man är därmed inte lika sårbar när man använder brännbara och giftiga medier.

2.3 Köldbärare

Vid användning av indirekta system krävs någon form av köldbärare ("secondary refrigerant") för att distribuera kylan från kylanläggningen till kylstället. Två huvudkategorier av köldbärare används:

- **Utan fasomvandling, t.ex. vattenlösningar av**
 - oorganiska salter (kalciumklorid, natriumklorid, kaliumkarbonat)
 - organiska salter (formiater, acetater),
 - glykoler (etylen och propylen),
 - alkoholer (etyl och metyl),
 - övriga vattenlösningar (ammoniak, glycerin),
- eller **icke vattenlösliga organiska ämnen, t.ex.**
 - silikonoljor,
 - Dowtherm, Syltherm, Santotherm m.fl. produktnamn,
- **Med fasomvandling, t.ex.**
 - traditionella köldmedier (R404A, R134),
 - koldioxid (R744),
 - binäris (slurry av is/vatten/alkohol; "flo-ice", "sjapis"),

Figur 2.3:1 illustrerar temperaturprofilerna i ett köldbärarsystem när köldbäraren passerar genom förångaren och den yttre kretsen (värmekällan/kylstället).



Figur 2.3:1. Temperaturprofil i ett indirekt system med köldbärare.

Om vi för ögonblicket bortser från det värme som tillförs köldbärarsystemet via pump och isoleringsförluster kan den transporterade effekten tecknas som ($b = \text{brine} = \text{köldbärare enligt EN 255}$, $ko = \text{kylobjekt}$, $2 = \text{förångare}$):

- Transporterad: $\dot{Q}_b = \dot{M}_b \cdot \Delta h_b$ (ekv. 2.3:1)
- Upptagen (kylstället): $\dot{Q}_b = \dot{M}_b \cdot \Delta h_{b,ko}$ (ekv. 2.3:2)
- Avgiven (förångaren): $\dot{Q}_b = \dot{M}_b \cdot \Delta h_{b,2}$ (ekv. 2.3:3)

2.3.1 Utan fasomvandling

Utan fasomvandling kan ekvationerna 2.3.1-2.3. omskrivas med hjälp av temperatur-differenserna ($b = \text{brine}$, $ko = \text{kylobjekt}$):

- Transporterad: $\dot{Q}_b = (\rho \cdot c_p)_b \cdot \dot{V}_b \cdot \Delta t_b$ (ekv. 2.3:4)
- Upptagen/Avgiven: $\dot{Q}_b = (\alpha \cdot A)_{ko} \cdot \theta_{m,ko}$ (ekv. 2.3:5)

2.3.1.1 Transportkapacitet

Transportkapaciteten ges av värmekoefficienten $K_b = (\rho \cdot c_p)_b \text{ J/m}^3/\text{K}$. En bra köldbärare bör ha ett högt värde på K_b . Denna koefficient varierar mindre med temperaturen än densitet och specifik värmekapacitet gör var för sig eftersom densiteten minskar och värmekapaciteten ökar med temperaturen. För vattenlösliga köldbärare minskar värdet ju mindre andel vatten lösningen har och det är därför bra ur effektivitetssynpunkt att hålla uppe köldbärartemperaturen så att köldbärarens koncentration kan hållas låg. Som jämförelse är värdet på K_b för blandningar med fryspunkten -15°C $3664 \text{ kJ/m}^3/\text{K}$ för CaCl_2 , $4168 \text{ kJ/m}^3/\text{K}$ för etylalkohol och $1559 \text{ kJ/m}^3/\text{K}$ för Dow J.

2.3.1.2 Värmeöverföringskapacitet

Värmeöverföringskapaciteten ges av värmeövergångskoefficienten α_b , vilken kan härledas ur den dimensionslösa värmeövergångskoefficienten, Nu-talet. Vid turbulent flöde ($Re > 3000$ - 5000) gäller:

$$Nu = \frac{\alpha_b \cdot d_h}{\lambda_b} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \quad (\text{ekv. 2.3:6})$$

och med

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_b} \quad \text{och} \quad Pr_b = \frac{\nu_b}{a_b} = \frac{\nu_b \cdot \rho_b \cdot c_{pb}}{\lambda_b} \quad (\text{ekv. 2.3:7})$$

kan alla termofysikaliska egenskaper för köldbäraren sammanföras i en faktor, **värmeöverföringsfaktorn för turbulent flöde** (Melinder, ref. 8). Därmed kan värmeövergångskoefficienten skrivas som:

$$\alpha_b = F_{\alpha,turb} \cdot \frac{w^{0,8}}{d_h^{0,2}} \quad (\text{ekv. 2.3:8})$$

med

$$F_{\alpha,turb} = 0,023 \cdot \lambda_b^{0,7} \cdot (\rho \cdot c_p)_b^{0,3} \cdot v_b^{-0,5} \quad (\text{ekv. 2.3:9})$$

Ekv. 2.3.8 ger α_b uttryckt i strömningshastighet, värmeväxlargeometri och en konstant som innehåller köldbärarens termofysikaliska data. Därmed kan olika köldbärare jämföras vid samma yttre förutsättningar enbart via konstanten $F_{\alpha,turb}$.

På motsvarande sätt gäller vid laminärt flöde ($Re < 2000-3000$):

$$Nu = \frac{\alpha_b \cdot d_h}{\lambda_b} = 1,86 \cdot (Re \cdot Pr)^{1/3} \cdot \left(\frac{d_h}{L} \right)^{1/3} \quad (\text{ekv. 2.3:10})$$

och med utnyttjande av sambanden i ekv. 2.3:7 kan alla termofysikaliska egenskaper för köldbäraren sammanföras i **värmeöverföringsfaktorn för laminärt flöde** (Melinder, ref. 8). Därmed kan värmeövergångskoefficienten skrivas som:

$$\alpha_b = F_{\alpha,lam} \cdot \left(\frac{w}{d_h \cdot L} \right)^{1/3} \quad (\text{ekv. 2.3:11})$$

med

$$F_{\alpha,lam} = 1,86 \cdot \lambda_b^{0,7} \cdot (\rho \cdot c_p)_b^{0,3} \quad (\text{ekv. 2.3:12})$$

2.3.1.3 Tryckfall och pumparbete

Det är viktigt att ta hänsyn till det pumparbete som åtgår för att åstadkomma den önskade värmeöverföringen. Köldbärare med låg värmekoefficient kräver ett större volymflöde och därmed oftast ett större pumparbete. Samtidigt kan detta leda till förbättrad värmeövergång. Pumparbetet ges av volymflöde och friktionstryckfall och friktionstryckfallet vid rörströmning, Δp_f , brukar anges med hjälp av friktionsfaktorn f enligt:

$$\Delta p_f = f \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{L}{d_h} \quad (\text{ekv. 2.3:13})$$

Enligt VDI-Wärmeatlas gäller vid turbulent strömning i släta rör följande uttryck:

$$f = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (\text{ekv. 2.3:14})$$

medan Melinder (ref. 8) använder faktorn

$$f_I = f/2 \approx 0,092/Re^{0,2} \quad (\text{ekv. 2.3:15})$$

Skillnaden blir ca 14 % vid $Re = 4000$ och sambanden korsar vid $Re = 51094$.

Analogt med värmeöverföringsfaktorn i 2.1.3.2 kan man introducera en **tryckfallsfaktor för turbulent flöde**, F_{pturb} , med de termofysikaliska ämnesegenskaperna inbakade. Enligt Melinder blir

$$\Delta p_f = F_{pturb} \cdot w^{1,8} \cdot \frac{L}{d_h^{1,2}} \quad (\text{ekv. 2.3:16})$$

där

$$F_{pturb} = 0,092 \cdot \rho \cdot v^{0,2} \quad (\text{ekv. 2.3:17})$$

På samma sätt kan man utifrån tryckfallet vid laminär rörströmning ange en tryckfallsfaktor för laminärt flöde, F_{plam} , med

$$\Delta p_f = F_{plam} \cdot w \cdot \frac{L}{d_h^2} \quad (\text{ekv. 2.3:18})$$

och

$$F_{plam} = 32 \cdot \rho \cdot v \quad (\text{ekv. 2.3:19})$$

Det kan vara intressant att jämföra värmeöverföring och transportarbete för olika typer av köldbärare. För cirkulära rör med längden L gäller för den värmeöverförande arean $A_\alpha = \pi \cdot d \cdot L$ och för tvärsnittsarean $A = \pi \cdot d^2 / 4$ (motsvarande kan tecknas för andra geometrier med hjälp av periferin p och hydrauliska diametern d_h enligt $A_\alpha = p \cdot L$ och $A = p \cdot d_h / 4$). Därmed kan värmeöverföringen (θ_m = medeltemperaturdifferens) respektive pumparbetet per m rör tecknas som

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \alpha \cdot \pi \cdot d \cdot \theta_m \quad \text{och} \quad \frac{\dot{W}_{ep}}{L} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_p \cdot L} = \frac{\Delta p}{L} \cdot \frac{w \cdot \pi \cdot d^2}{4\eta_p} \quad (\text{ekv. 2.3:20})$$

Förhållandet mellan överförd värmeeffekt per m och motsvarande pumparbete är en form av godhetstal G för energieffektiviteten (jämför Stanton-talet eller Colburns j-faktor):

$$G = \frac{\dot{Q}}{L} / \frac{\dot{W}_{ep}}{L} = (\alpha \cdot \pi \cdot d \cdot \theta_m) / \left(\frac{\Delta p}{L} \cdot \frac{w \cdot \pi \cdot d^2}{4\eta_p} \right) \quad (\text{ekv. 2.3:21})$$

Utnyttjas ekvationerna 2.3:8 och 2.3:16 för det turbulenta fallet kan ovanstående skrivas som

$$G = \frac{F_{\alpha,turb}}{F_{p,turb}} \cdot \frac{4\eta_p \cdot \theta_m}{w^2} \quad (\text{ekv. 2.3:22})$$

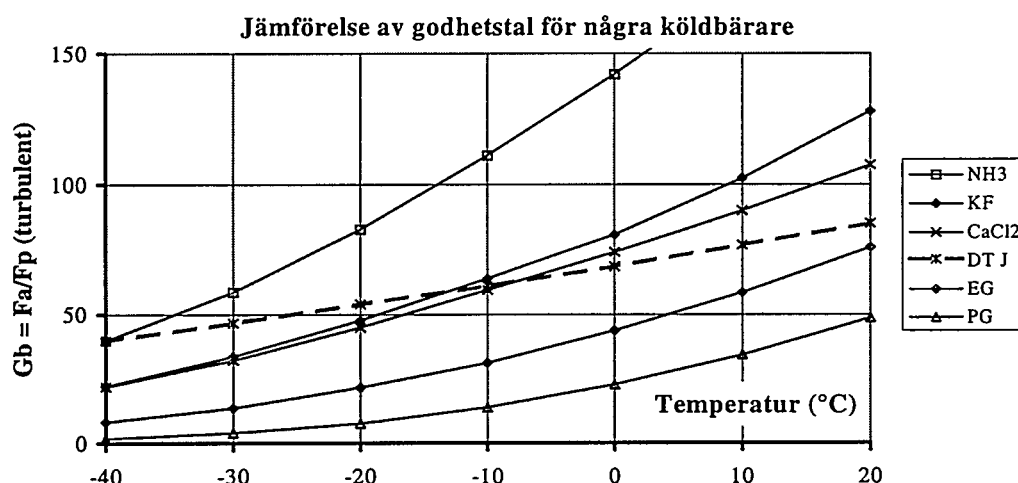
och med ekvationerna 2.3:11 och 2.3:18 för det laminära fallet som

$$G = \frac{F_{\alpha,lam}}{F_{p,lam}} \cdot (4\eta_p \cdot \theta_m) \cdot \left(\frac{d^2}{L \cdot w^5} \right)^{1/3} \quad (\text{ekv. 2.3:23})$$

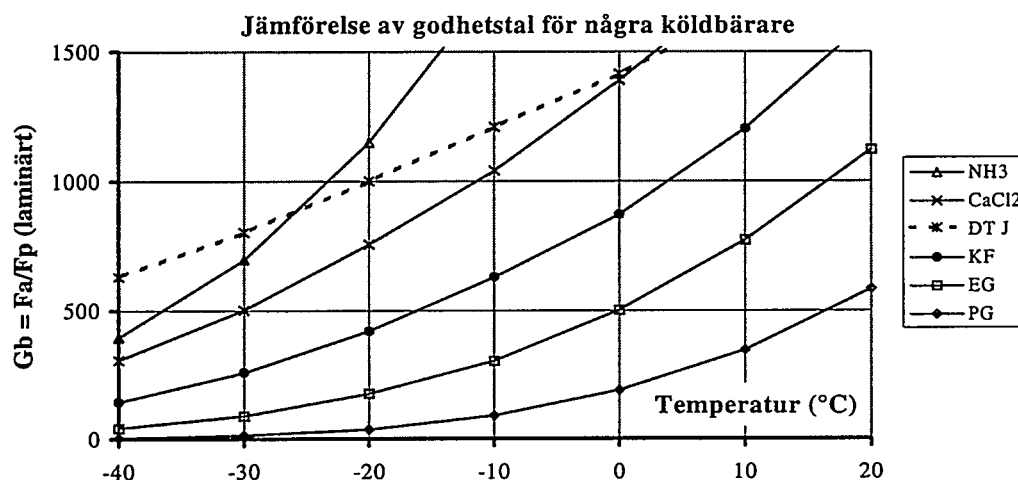
Vid samma yttre förutsättningar (hastighet, diameter, pumpverkningsgrad, tillgänglig temperaturdifferens etc.) bestäms godhetstalet av förhållandet mellan värmeöverfö-

rings- och tryckfallsfaktorer (G_b). Figurerna 2.3:2 och 2.3:3 visar förhållandet för några vanliga köldbärare. I samtliga fall avser värdena blandningar med en fryspunkt av $-40\text{ }^\circ\text{C}$ (värden från Melinder, ref. 8). En köldbärare, Dowtherm J, visar en karaktistik som avviker markant från de övriga. Denna vätska är till skillnad från övriga inte vattenbaserad och är speciellt utvecklad för lågtemperaturapplikationer. Notabelt är också ammoniaks goda värden, men trots detta är ammoniak/vatten sällsynt som köldbärare i praktiska installationer.

Figuren visar att godhetstalen blir en faktor 10 högre vid laminär strömning i förhållande till turbulent strömning. Tryckfallet växer snabbare än värmeöverföringen när hastigheten ökas, men å andra sidan krävs normalt mycket större värmeöverförande ytor i det laminära fallet. Med korta, smala kanaler kan man emellertid även vid laminär strömning få mycket höga värmeövergångskoefficienter.



Figur 2.3:2. $F\alpha/F_p$ för några köldbärare. Fryspunkt = $-40\text{ }^\circ\text{C}$, turbulent strömning (vattenbaserade: PG = propylenglykol, EG = etylenglykol, NH3 = ammoniak, CaCl2 = kalciumklorid; KF = kaliumformiat; ej vattenbaserad: DT J = Dowtherm J).



Figur 2.3:3. $F\alpha/F_p$ för några köldbärare. Fryspunkt = $-40\text{ }^\circ\text{C}$, laminär strömning (vattenbaserade: PG = propylenglykol, EG = etylenglykol, NH3 = ammoniak, CaCl2 = kalciumklorid; KF = kaliumformiat; ej vattenbaserad: DT J = Dowtherm J).

2.3.1.4 Sammanfattning

Köldbärarens viktigaste termofysikaliska egenskaper är dess densitet, specifika värmekapacitet, viskositet och värmekonduktivitet. Melinder (ref. 8) tillhandahåller ytterligare detaljer och specifika mediedata. Vattenbaserade köldbärare behöver ungefär samma volymflöde i en given applikation medan de icke vattenbaserade, lågtemperaturvätskorna kräver runt 2,5 till 3 gånger så stora flöden. Värmeöverföringen vid ett aktuellt volymflöde är bäst för ammoniak/vatten och saltlösningar medan icke-vattenbaserade vätskor ger sämst värmeövergångskoefficient, särskilt om strömningen blir laminär. Däremot är det mycket lättare att upprätthålla turbulent strömning vid låga temperaturer med dessa köldbärare. Även tryckfallet blir lägre för dessa än för de vattenlösliga köldbärarna.

2.3.2 Med fasomvandling

Transport av kyla genom pumpcirkulation av köldbärare med fasomvandling har i vissa fall tillämpats med utnyttjande av traditionella köldmedier som R11, R717 (ammoniak) m.fl. Intresset har emellertid ökat i takt med intresset för att arbeta med indirekta kylsystem. De två mest intressanta nya köldbärarna är R744 (koldioxid) och binäris. Binäris ("flo-ice", "ice slurry", "sjapis"...) är en blandning av is, vatten och ett fryspunktsnedsättande ämne, vanligtvis runt 10 % etanol. Den framställs genom att skrapa av is som fryser på en förångarplatta i en köldbärartank (t.ex. genom roterande knivar i en cylindrisk tank).

2.3.2.1 Transportkapacitet

Transportkapaciteten för köldbärare med fasomvandling ges av

$$\dot{Q}_b = \Delta h_b \cdot \rho_b \cdot \dot{V}_b \quad (\text{ekv. 2.3:24})$$

Om man jämför detta med ekv. 2.3:4 för enfastransport ser man att så länge som $\Delta h_b \geq c_{pb} \cdot \Delta t_b$ ger tvåfasmedierna en högre transportkapacitet vid samma massflöde. För vatten, som är ett mycket effektivt enfasmedium, är $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg}$ medan specifika entalpiändringen vid förångning av koldioxid är $230,5 \text{ kJ/kg}$ vid 0°C . Förångning av koldioxid motsvarar således en temperaturändring av 55 K för enfas-transport av vatten!

Koldioxid

Tabell 2.3:1 nedan visar en jämförelse mellan tvåfasmedierna koldioxid och R404A och en enfas, lågtemperaturköldbärare. Den höga volymetriska köldalstringen och låga specifika ångvolymen gör att man kan transportera stora kyleffekter i klena rör med koldioxid i jämförelse med alternativen. Nackdelen är att koldioxid ger höga tryck, runt 10 bar i fryssystem och 30 bar i kylsystem. Detta är lätt att hantera så länge temperaturen är låg och eftersom rördimensionerna blir små är den mekaniska hållfastheten inget problem. De stora problemen inträffar om temperaturen stiger till rumsnivå, t.ex. vid ett driftstopp eller i samband med avfrostning. Vid 20°C blir trycket 57 bar men för avfrostning behöver man inte högre temperatur än ca. $+5^\circ\text{C}$ (ca. 40 bar).

Tabell 2.3:1. Jämförelse av transportdata för tre köldbärare för låga temperaturer.

Egenskap	R744 (CO ₂): -40 °C	R404A: -40/-10 °C ⁷⁾	Dowtherm J: -40/-36 °C
Entalpiändring (kJ/kg)	322,03	157,94	
Specifik ångvolym (m ³ /kg)	0,03824	0,14335	
Specifik värmekapacitet (kJ/kg/K)			1,67
Densitet (kg/m ³)			911
Volymetrisk köldalstring (kJ/m ³)	8421	1102	¹⁾ 6090
Rördimension: ²⁾ Framledning (mm)	³⁾ 14,1	⁵⁾ 35	⁶⁾ 83,5
Rördimension: ²⁾ Returledning (mm)	⁴⁾ 32,8	80	⁶⁾ 83,5

1) Vid $\Delta t = 4\text{K}$. 2) Anläggning med 50 kW och lufttemperatur = -30 °C. 3) Hastighet = 1 m/s och cirkulationstal = 1,1. 4) Hastighet 7 m/s och cirkulationstal = 1,1. 5) Hastighet 0,5 m/s. 6) Hastighet 1,5 m/s. 7) Expansion från underkylningstemperaturen -10 °C.

Binäris

Ökningen av transportkapacitet med hjälp av binäris är direkt proportionell mot mängden is som kan transporteras i lösningen. Med 10 % is ökas kapaciteten från ca $4 \cdot \Delta t$ kJ/kg för vatten/etanol till $(4 \cdot \Delta t + 0,1 \cdot 333)$. Vid en temperaturändring av 5 K ökar kapaciteten från 20 till 53,3 kJ/kg. Mängden is gör också att man får en lagringskapacitet som ibland kan vara bra att utnyttja, t.ex. efter avfrostning eller vid inlastning av varma varor.

2.3.2.2 Värmeöverföringskapacitet

Värmeöverföringskapaciteten beror, enligt ekv. 2.3:5, både av värmeövergångskoefficienten α_b och den tillgängliga medeltemperaturdifferensen θ_m i värmeväxlaren. Eftersom temperaturfallet i köldbäraren, Δt_b , minskar för medier med fasomvandling ökar medeltemperaturdifferensen i värmeväxlaren. Därmed ökar värmeöverföringskapaciteten även om α_b inte skulle vara bättre.

Koldioxid

Koldioxid har utomordentliga värmeöverföringsegenskaper vid förångning, bättre än de flesta traditionella köldmedier. I kombination med det höga ångbildningsvärmets blir därmed värmeöverföringen mycket bra.

Binäris

Binäris ger en värmeöverföring i rör som motsvarar förångning av R134a. Vid en hastighet av 1 m/s och 10 % is i ett 22x0,6 mm kopparrör blir värmeövergångskoefficienten ca 3000 W/m²/K (rent vatten ger ett liknande värde) och vid 2 m/s nästan 5000 W/m²/K. Vid 20 % isinnehåll ökar motsvarande värden till 4500 respektive 7000 W/m²/K. Fördelen med binäris är emellertid inte bara höjningen av värmeöverföringskapaciteten utan kanske i första hand den förbättrade transportkapaciteten.

En nackdel med binäris är att fasomvandlingen sker vid en bestämd temperatur och man kan därmed inte anpassa framledningstemperaturen efter behovet i kylmöblerna. En annan nackdel är kostnaden och komplexiteten för systemet att producera is. Som alternativ till denna investering kan man överväga att använda pengarna till andra

åtgärder som effektiviserar anläggningen, t.ex. större kylbatterier, grövre och bättre isolerade rörsystem samt större kylmedelskylare.

2.3.2.3 Tryckfall och pumparbete

På samma sätt som för köldbärare utan fasomvandling kan man räkna fram mediespecifika tryckfallsfaktorer för turbulent och laminärt flöde även för köldbärare med fasomvandling. En principiell skillnad är emellertid att dessa faktorer kommer att vara olika i inkommande och utgående rör till värmeväxlaren (aggregationstillstånden är ju olika före och efter när man arbetar med fasomvandling). Eftersom en av finesserna med fasomvandling är att man kan minska flödet vid oförändrad effekt i jämförelse med enfasmedier kommer även tryckfall och pumparbete att minska vid oförändrade rördimensioner. I praktiken utnyttjar man vinsten till en del genom att använda klenare rördimensioner. Vid förångning måste emellertid utloppsröret ha en grövre dimension än inloppsröret.

Koldioxid

Koldioxid ger påtagligt lägre tryckfall än traditionella köldbärare, speciellt vid frystillämpningar. Vid $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan exempelvis vätskeledningen i ett koldioxid system ha en diameter som är $1/20$ av motsvarande för en icke-vattenbaserad köldbärare och återledningen för ånga ca $1/6$.

Binäris

Binäris är en icke-Newtonska vätska (Bingham vätska) och ger vid låga strömningshastigheter ett högre tryckfall än vatten men vid hastigheter över $1,5\text{ m/s}$ ett lägre. Medan vanligt vatten ger ett tryckfall av ca 500 Pa/m i ett kopparrör med dimensionen $22\times 0,6\text{ mm}$ visar undersökningar att binäris under motsvarande förhållande ger ett tryckfall som är ca 1000 Pa/m upp till iskoncentrationer av $10\text{ }\%$. Över $25\text{ }\%$ iskoncentration ökar tryckfallet ganska snabbt. Med tanke på att en iskoncentration av $10\text{ }\%$ motsvarar en minskad temperaturdifferens av drygt 8 K , och därmed motsvarande sänkning av flödet, är en fördubbling av tryckfallet ett ganska måttligt pris.

2.3.2.4 Kylförluster från distributionssystemet

Ett problem i stora system är värmeutbyte mellan distributionsrören och omgivningen ("kylförluster"). Utbytet bestäms av rörens dimension, deras isolering och temperaturskillnaden mellan medium och omgivning. Detta innebär att förlusterna blir mindre i system som klarar sig med klena rör och därmed har koldioxid ytterligare en fördel gentemot traditionella enfasiga köldbärare. Det innebär också att indirekta system med enfasiga köldbärare måste isoleras mycket noggrannare än system med direktexpansion.

DX-system ger i allmänhet mindre medeltemperaturdifferenser mellan omgivningen och rörsystemet än system med enfasig köldbärare. I DX-fallet har man ju en klen vätskeledning med relativt varmt kondensat och en returledning med kall gas. Gasen har en viss överhettning från början och ökar snabbt i temperatur om isoleringen skulle vara dålig. Därmed minskar temperaturdifferensen snabbt mot omgivningen och förlusten blir begränsad. En köldbärare ökar däremot ganska lite i temperatur, även vid stora förluster, p.g.a. det höga massflödet och den höga specifika värmekapaciteten. Därmed förlorar man kyla utefter hela rörlängden. Speciellt allvarligt är den om fukt tränger in i isoleringen. Det ställs mycket stora krav på val av material och arbetsutförande vid isolering av kylrör.

2.3.3 Övriga aspekter

Man måste också beakta andra aspekter än de rent värmetekniska vid val av köldbärare (analogt med de krav man har på köldmedier). Exempel på sådana aspekter är giftighet, nedbrytbarhet och andra miljöaspekter, brännbarhet, hanteringssäkerhet, korrosivitet, lubricitet och pris. Inom området livsmedelskyla måste man särskilt observera att vissa köldbärare, t.ex. etylenglykol, inte får användas där det finns risk för kontakt med matvarorna. Nedan ges några exempel på egenskaper för vattenlösliga köldbärare utan fasomvandling (LD50 = dödlig dos, råttor, oralt; BOD = syreförbrukning vid biologisk nedbrytning):

- **Etylenglykol:** Hälsovådligt (LD50 = 5 g/kg); syreförbrukande vid nedbrytning (BOD = 0,66 gO₂/g); inga speciella korrosionsproblem; både för kyl och frys (ej vanligt i Sverige men vanligt i Tyskland).
- **Propylenglykol:** Låg giftighet (LD50 = 20 g/kg); syreförbrukande vid nedbrytning (BOD = 0,85 gO₂/g); inga speciella korrosionsproblem; bara för kyl (hög viskositet).
- **Etylalkohol:** Hälsovådligt (LD50 = 7 g/kg); syreförbrukande vid nedbrytning; inga speciella korrosionsproblem; både för kyl och frys; brandfarlig och något hög viskositet.
- **Metylalkohol:** Hälsovådligt (LD50 = 6 g/kg); syreförbrukande vid nedbrytning; inga speciella korrosionsproblem; både för kyl och frys; brandfarlig.
- **Glycerin:** Låg giftighet (LD50 = 13 g/kg) och liten miljöbelastning; hög viskositet.
- **Ammoniak:** Giftigt (LD50 = 5000 ppm/1 h vid inandning); frätande (högt pH-värde); låg kokpunkt (fara för köldskador); elak lukt; aggressivt mot bl.a. koppar; teoretiskt mycket bra men förekommer inte i praktiken.
- **Kaliumkarbonat:** Hälsovådligt (LD50 = 2 g/kg); frätande (högt pH-värde), korrosion på vissa material; eutektisk punkt = -37,5 °C.
- **Kalciumklorid:** Hälsovådligt (LD50 = 1 g/kg); yttre korrosion, problem med korrosionsinhibitorer (används därför sällan i butiker); tänkbart för både kyl och frys.
- **Magnesiumklorid:** Hälsovådligt (LD50 = 3 g/kg); samma som kalciumklorid. Eutektisk punkt = -33,5 °C.
- **Natriumklorid:** Hälsovådligt (LD50 = 3 g/kg); samma som kalciumklorid. Eutektisk punkt = -20,7 °C.
- **Kaliumacetat** (handelsnamn, med viss inblandning av formiat, t.ex. "Temper", "Pekasol", "Tyfoxit"): Hälsovådligt (LD50 = 3 g/kg); uppgift finns om punktkorrosion; tänkbart för både kyl och frys; opålitliga termiska data; ökar starkt (tidigare huvudsakligen använd vid avisning).
- **Kaliumformiat** (handelsnamn t.ex. "Hycool", "Nordice"): Hälsovådligt (LD50 = 0.1 g/kg intravenöst); uppgift finns om punktkorrosion; tänkbart för både kyl och frys; opålitliga termiska data; ökar starkt.

De korrosiva saltlösningarna har i stor utsträckning försvunnit från marknaden, vilket är synd med tanke på deras goda termofysikaliska egenskaper. Med rätt materialval och rätt utförda system bör inte korrosionen vara något problem. Täta system hindrar luftens syre från att tränga in och därmed avstannar korrosionen. När nuvarande stränga krav för köldmedieläckage infördes visade det sig att det var fullt möjligt att bygga täta köldmediesystem. Detsamma bör gälla även för köldbärarsystemen.

3 Kylmöbler

Av en butiks totala energianvändning hänför sig ca. 30-40 % till hanteringen av kylda och frysta livsmedel. Exponeringen av varor mot kunden sker vanligtvis via olika typer av kyl- och frysmöbler:

- Kylmöbler: - Väggmöbler, flerplans, vertikala (ca. 1/3 av beståndet)
 - Betjäningsdiskar, gondoler (ca. 1/3 av beståndet)
- Frysmöbler: - Gondoler, boxar (ca. 1/3 av beståndet)

3.1 Teknik och ekonomi

Den mest problematiska kylmöbeln ur energisynpunkt är den vertikala flerplansdisken. Totalt uppskattas att det finns ca. 10 löpmil av denna typ installerad runt om i Sverige. Årligen byts runt 5-10 000 löpmeter och stora energivinster kan göras om man i samband med utbyte väljer energieffektiva lösningar. SP (Sveriges Provnings- och forskningsinstitut AB) provade 1994 sex typiska 5-plansdiskar med temperaturklass S1 och omgivningsklimat 2 och S7 (se tabell 5.3:1) och den årliga energiförbrukningen beräknades till ca 5000 kWh/löpmeter för den typiska disken. Med ett elpris av 0,6 SEK/kWh blir årskostnaden ca 3000 SEK/löpmeter, vilket är mycket högt i relation till investeringskostnaden (ca 10 000 SEK/löpmeter). I samband med en teknikupphandlingstävling 1996-1997 utvecklade Electrolux CR en disk som endast drog 1745 kWh/löpmeter/år. I en butik med 20 löpmeter disk kan man därmed göra en elbesparing värd ca. 40 000 SEK/år.

3.2 Terminologi och klassificering

Kylmöbler kan klassificeras på många sätt, t.ex. enligt allmän utformning, typ av öppning, tillgänglighet, inlastning av varor, kundbetjäning, temperaturnivå, varutyp, emballage, upplägningssystem, kyldistribution i disken, skydd av diskens öppning, placering av kylsystemet, enhetslängd och typ av front. Följande korta förklaringar är i första hand tänkta att illustrera de många olika krav som kan ställas på kylmöbler och deras funktion.

Allmän utformning

- *Horisontell disk*: Disk med en höjd < 1,2 m, t.ex. frysgondoler.
- *Vertikal disk*: Öppen disk med en höjd > 1,2 m, normalt med ett antal hyllplan (t.ex. 5 plans vertikal kyldisk).
- *Skyltdisk*: Öppet, horisontellt eller lätt lutande kylbord, där hela bordsytan kyla av en serpentinförångare.
- *Dörrdisk*: Vertikal disk med genomskinliga dörrar för självbetjäning.

Öppningstyp

- *Stängd disk*: Disk där varorna inte är åtkomliga utan att öppna en dörr/lucka.
- *Öppen disk*: Disk där varorna är åtkomliga, åtminstone av personalen, utan att öppna en dörr/lucka.

Tillgänglighet

Kravet på tillgänglighet bestämmer hur varorna ska kunna nås av kunder och personal (ovanifrån, framifrån, bakifrån).

Inlastning av varor

Kravet på att lätt kunna försörja disken med varor kan lösas med inlastning ovanifrån, framifrån eller bakifrån. I det senare fallet kan nämnas lösningar där disken lastas direkt från ett angränsande kylrum.

Kundbetjäning

- *Självbetjäning*: Disk där kunderna betjänar sig själva.
- *Personalbetjäning*: Disk där anställd personal överlämnar varor till kunderna.

Temperaturklass

- *Kyldisk*: Disk för kylda varor med en temperatur $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- *Frysdisk*: Disk för kylda/frysta varor med en
 - temperatur $< -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (frysta varor)
 - temperatur $< -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (djupfrysta varor)
 - temperatur $< -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (speciella varor, t.ex. sorbet och gräddglass)

Varutyp

Speciell utformning av disken krävs för olika varutyper, t.ex. frukt och grönt, konditorivaror, mjölkprodukter, färdiglagad mat, köttvaror, frysta och djupfrysta varor, glass och sorbet etc.

Emballage

I huvudsak skiljer man bara på färdigförpackade och oemballerade varor.

Kyldistribution

- *Konvektion*: Kylning med naturlig eller påtvingad konvektion.
- *Ledning*: Kylning via en kall yta genom direkt kontakt eller indirekt kontakt (t.ex. is).
- *Blandad*: Kylning med både konvektion och ledning.

Öppningsskydd

Kyldiskar kan vara helt utan skydd eller förses med olika anordningar för att hindra infiltration av varm luft och fukt, t.ex.:

- Förångare ("frostfällor").
- Luftridå (enkel luftridå, framtill och/eller baktill; dubbel; trippel).
- Bakre utblås.
- Blandad utblåsning (luftridå och bakre utblås i kaskad).
- Dörrar (av glas eller annat genomskinligt material, värmda eller ovärmda).

Placering av kylanläggningen

Kyldiskar kan vara utrustade med inbyggd (*lokal*) kylanläggning eller förses med kyla på distans från annan (*central*) kylanläggning.

3.3 Temperaturer

Enligt SLV FS 1996:5 §20 ska utrymme för kylförvaring och varmhållning vara försett med lätt synlig termometer som på ett tillfredsställande sätt visar temperaturen. I kyldiskar ska termometern vara placerad i höjd med högsta varunivå. I öppna kyldiskar ska dessutom den högsta tillåtna nivån för förvaring av livsmedlen vara tydligt märkt. Många undersökningar visar att det är mycket vanligt att temperaturkraven inte innehålls i praktiken. T.ex. redovisar undersökningar från Kanada att endast 3 % av djupfrysta varor klarade det stipulerade kravet på $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sommartid och 11 % vintertid. Sommartid var 53 % av varorna varmare än $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ingenting talar för att resultatet är särskilt mycket bättre i Sverige och med tanke på hur snabbt hållbarheten försämras med ökande temperatur är detta en mycket viktig kvalitetsfråga.

Kontinuerlig temperaturkontroll är viktig för uppföljningen av kylkedjans alla länkar. I fryshus, transportfordon och diskar har man normalt temperaturinstrument som visar lufttemperaturen någonstans i det kylda utrymmet. Många gånger låter man också olika typer av registrerande instrument medfölja ett varuparti. Data- och elektronikutvecklingen har gjort att det nu finns flerkanaliga små datainsamlare för fukt och temperatur till rimligt pris och med storlek som en filmrulle. Det finns även olika typer av s.k. "dummy" paket för att följa temperaturen inuti en matvara. Slutligen finns det ett flertal typer av temperaturkänsliga flytande kristaller, som kan sprejas på varupaket eller integreras i förpackningshöljet. Görs detta på standardemballaget har kunden möjlighet att själv få temperaturinformationen direkt för den aktuella varan.

3.4 Värmebalans och kyleffekt

Kylmöblernas värmebalans och deras effektbehov bestäms i första hand av

- Kravet på förvaringstemperatur (t_n),
- Omgivningsklimatet (t_{amb} , φ_{amb}),
- Kylmöbelns utförande.

Rigot (ref. 9) beskriver värmebalansen för olika typer av kylmöbler.

3.4.1 Värmebalans

Värme transporteras in i kylmöbeln beroende på två huvudorsaker:

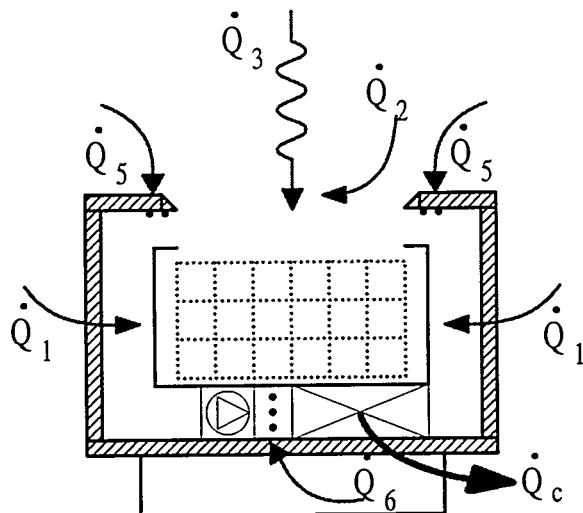
- Skillnaden i klimat mellan omgivningen och kylmöbelns inre,
- Internlast inuti kylmöbeln.

Klimatskillnader

- $\dot{Q}_1$: Värmetransport genom kylmöbelns *isolerade ytor*.
- $\dot{Q}_2$: Värmetransport genom kylmöbelns *öppning och luftfåra* (infiltration av varm, fuktig luft).
- $\dot{Q}_3$: Värmetransport genom *strålning* från omgivningen mot matens/kylmöbelns synliga ytor.

Internlaster

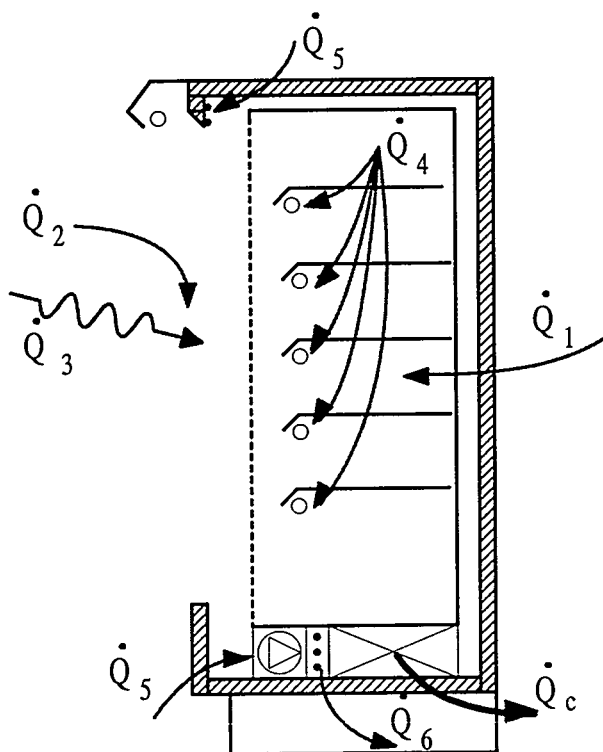
- $\dot{Q}_4$: Belysning inuti det kylda utrymmet.
- $\dot{Q}_5$: Fläktar och värmelister inuti det kylda utrymmet.
- $\dot{Q}_6$: Utrustning för avfrostning.



Figur 3.4:1. Värmebalans i en horisontell frysgondol.

Figur 3.4:1 visar värmebalansen för en horisontell frysgondol och figur 3.4:2 motsvarande för en vertikal kyldisk. Med angivna beteckningar kan den totala värmelasten skrivas som:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 \quad (\text{ekv. 3.4:1})$$



Figur 3.4:2. Värmebalans i en vertikal kyldisk.

3.4.2 Kyleffekt

För att kompensera den totala värmelasten enligt ekvation 3.4:1 måste motsvarande kyleffekt, $\dot{Q}_c$, tillföras i kylbatteriet så att $\dot{Q} + \dot{Q}_c = 0$ ($c = \text{"cooling coil"}$). I många applikationer måste kyldriften avbrytas i samband med avfrostning av kylbatteriet under tiden τ_d ($d = \text{"defrost"}$). Detta medför att man vid dimensionerade fall måste ha en högre kyleffekt tillgänglig än värmelastens medeleffekt enligt ($\tau_{fr} = \text{"frosting time"}$, d.v.s. drifttiden)

$$\dot{Q}_c = -\left(1 + \frac{\tau_d}{\tau_{fr}}\right) \cdot \dot{Q} \quad (\text{ekv. 3.4:2})$$

En hög kyleffekt sänker ytemperaturen och förvärrar därmed påfrysningen under driftsperioden. Det är att således viktigt av flera skäl att hålla avfrostningstiden kort, dels sänker det kyleffektbehovet genom ökad tillgänglig driftstid och dels minskar det påfrysningshastigheten under drift.

De olika delposterna för värmebalansen kan tecknas enligt följande (jämför 3.7 samt diskussionen om värmetransport i tidigare avsnitt av kursen):

$$\dot{Q}_1 = U_w \cdot A_w \cdot (t_{amb} - t_i) \quad (\text{ekv. 3.4:3})$$

där U_w = värmegenomgångstalet för kylmöbelns väggar, A_w är väggarnas yta, samt t_{amb} och t_i är omgivningens och möbelns interna temperatur ($w = \text{"wall"}$, $amb = \text{"ambient"}$).

$$\dot{Q}_2 \approx X \cdot \dot{M}_{a1} \cdot (h_{amb} - h_{a1}) \quad (\text{ekv. 3.4:4})$$

där X = infiltration av omgivningsluft (se 3.8, fig. 3.8:1), $\dot{M}_{a1}$ = det styrda massflödet i luftströmmen samt h_{amb} och h_{a1} specifika entalpierna i omgivningsluften och luften i strömmen ($a = \text{"air"}$).

$$\dot{Q}_3 = \varepsilon_e \cdot F_{amb,i} \cdot \sigma \cdot (T_{amb}^4 - T_i^4) \cdot A_{vo} \quad (\text{ekv. 3.4:5})$$

eller approximativt (jämför 3.7; ε_e = effektiv emissivitet; F = vinkelfaktor)

$$\dot{Q}_3 \approx \alpha_{r0} \cdot \varepsilon_e \cdot F_{amb,i} \cdot (t_{amb} - t_i) \cdot A_{vo} \quad (\text{ekv. 3.4:6})$$

($vo = \text{"visual opening"}$). Vinkelfaktorn $F_{amb,i}$ kan beräknas med approximativa formler eller läsas i diagram. Som en tumregel anger Rigot (ref. 9) följande värden:

- $F_{amb,i} \approx 1$ (horisontella kylmöbler),
- $F_{amb,i} \approx 0,65$ (vertikala kylmöbler),

Strålningsutbytet har mycket stor betydelse för synliga matvarors temperaturkvalitet i öppna kyldiskar. För att minska detta kan man använda förpackningsmaterial med låg absorbtans, tak- och väggmaterial i omgivningen med låg emittans, strålningsskärmar m.m.

De elektriska internlasterna $\dot{Q}_4$, $\dot{Q}_5$ och $\dot{Q}_6$ ges direkt av de inmatade eleffekterna. I fallet avfrostning gäller detta för elavfrostning. För andra typer av avfrostning får beräkningen anpassas till den specifika metoden (se avsnittet om avfrostning i kompendiet om luftkylare). I allmänhet tar elavfrostning mycket längre tid än intern avfrostning med värme och kräver mer energi (enligt Rigot förbrukar intern värmeavfrostning typiskt bara 60 % av vad elavfrostningen gör).

EXEMPEL

Antag att vi har en 2,5 m lång vertikal kyldisk med höjden 2 m och 5 hyllplan. Öppningsytan är $1,35 \text{ m}^2$ per löpmeter (m_L). Disken är avsedd att klara en produkttemperatur av $+4/+6 \text{ }^\circ\text{C}$ (mjölkprodukter) i ett dimensionerande omgivningsklimat av $t_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ / $\phi_{amb} = 60 \text{ \%RH}$ (jämför klimatklasserna i tabell 4.3:1). Omgivningens väggar och tak antas ha temperaturen $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Övriga data:

- $U_{w1} = 0,6 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $A_{w1} = 10,25 \text{ m}^2$ (isolerad bakre vägg),
- $U_{w2} = 1,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $A_{w2} = 3,4 \text{ m}^2$ (gavlar),
- $\dot{M}_{a1} = 0,3 \text{ kg/s/m}_L$,
- $X = 0,155$ (vertikal luftfridå, $H = 1,35 \text{ m}$, $u_{a1} = 1,5 \text{ m/s}$),
- $A_{vo} = 1,35 \cdot 2,5 = 3,38 \text{ m}^2$ ($vo = \text{visual opening}$),
- $\alpha_{ro} = 5,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $\epsilon_e = 0,81$, $F_{amb,i} = 0,65$ (vertikal disk),
- $h_{amb} = 55,7 \text{ kJ/kg}$ ($t_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ / $\phi_{amb} = 60 \text{ \%RH}$),
- $h_{ai} = 14,0 \text{ kJ/kg}$ ($t_{ai} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ / $\phi_{ai} = 80 \text{ \%RH}$),
- $\dot{W}_{ef} = 3 \cdot 55 \text{ W} = 165 \text{ W}$ (tre fläktar á 55 W), $\dot{W}_{es} = 60 \text{ W}$ (värmelister),
- $\dot{W}_{ebel} = 8 \cdot 40 \text{ W} = 320 \text{ W}$ (åtta 1,2 m lysrör, $\phi 38 \text{ mm}$),
- $\dot{W}_{e,d} = 0 \text{ W}$ (naturlig stoppavfrostning 0,5 h, sex gånger per dygn).

	Kyldiskens värmebalans	Beräkning	Effekt (W)
$\dot{Q}_1$	-Värmeledning i bakdelen	$Ekv, 3.4:3$ $0,6 \cdot 10,25 \cdot (25-4)$	129
	-Värmeledning i gavlar	$Ekv, 3.4:3$ $1,2 \cdot 3,4 \cdot (25-4)$	86
$\dot{Q}_2$	-Infiltration av omgivningsluft	$Ekv, 3.4:4$ $0,155 \cdot 0,3 \cdot (55,7 - 14,0) \cdot 10^3$	1939
$\dot{Q}_3$	-Strålning	$Ekv, 3.4:6$ $5,5 \cdot 0,81 \cdot 0,65 \cdot (30-4) \cdot 3,38$	254
$\dot{Q}_4$	-Belysning	320	320
$\dot{Q}_5$	-Fläktar och värmelister	165 + 60	225
$\dot{Q}_6$	-Avfrostning (naturlig)	0	0
$\dot{Q}$	-Total värmelast	$\dot{Q} = \sum_{j=1}^6 \dot{Q}_j$	2953 [W]

Den kyleffekt som behövs för att klara detta dimensionerade fall ges av ekv.3.4:2:

$$\dot{Q}_c = -\left(1 + \frac{\tau_d}{\tau_{fr}}\right) \cdot \dot{Q} = -\left(1 + \frac{6 \cdot 0,5}{24 - 6 \cdot 0,5}\right) \cdot 2953 = 3375 \text{ W}$$

Uttryckt i specifik effekt per löpmeter blir $\frac{\dot{Q}_c}{L} = \frac{3375}{2,5} = 1350 \text{ W/m}_L$.

Tabellerna 3.4:1 och 3.4:2 ger nyckeltal för olika typer av kylmöbler (Rigot, ref. 9).

Tabell 3.4:1. Typiska specifika kyleffekter, $\dot{Q}_c/L$, för kyldiskar (i W per löpmeter).

Omgivningsklimat: $t_{amb} = 25 \text{ °C}$ / $\phi_{amb} = 60 \text{ \%RH}$.

Kyldisk: $t > 0 \text{ °C}$ (typisk förågnings- temperatur, $t_2 = -10 \text{ °C}$)	Produkt- temperatur $t_i \text{ (°C)}$	Specifik kylef- fekt $\dot{Q}_c/L$ (W/m _L)
Betjäningsdisk i glas - Kyldistribution via naturlig konvektion - Exponeringsyta = $0,8 \text{ m}^2/\text{m}_L$ - Överbyggnad i planglas	+4/+2	200/220
Betjäningsdisk i glas - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Exponeringsyta = $0,8 \text{ m}^2/\text{m}_L$	+4/+2	250/280
Horisontell självbetjäningsdisk - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Exponeringsyta = $0,9 \text{ m}^2/\text{m}_L$ - Horisontell, turbulent, asymmetrisk luftström	+2/+0	400/430
Vertikal självbetjäningsdisk - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Exponeringsyta = $1,3 \text{ m}^2/\text{m}_L$ - Vertikal, turbulent, symmetrisk luftström 4 hyllplan plus bottentråget - H = 2 m	+6/+4	1200/1300

Tabell 3.4:2. Typiska specifika kyleffekter, $\dot{Q}_c/L$, för frysdiskar (i W per löpmeter).
Omgivningsklimat: $t_{amb} = 25\text{ °C}$ / $\varphi_{amb} = 60\text{ \%RH}$.

Frysdisk: $t < -18\text{ °C}$ (typisk förågnings- temperatur, $t_2 = -35\text{ °C}$)	Produkt- temperatur $t_i\text{ (°C)}$	Specifik kylef- fekt $\dot{Q}_c/L$ (W/m _L)
Självbetjäningsgondol - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Horisontell, laminär, asymmetrisk luftström - Exponeringsyta = $0,8\text{ m}^2/\text{m}_L$	-18/-20	420/450
Självbetjäningsgondol - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Horisontell, laminär, asymmetrisk luftström - Exponeringsyta = $1,1\text{ m}^2/\text{m}_L$	-23/-25	630/670
Vertikal självbetjäningsdisk - Kyldistribution via påtvingad konvektion (2 förågnare) - Vertikala, turbulenta, luftströmmar (3 strömmar varav en med omgivningstemp.) - Exponeringsyta = $1\text{ m}^2/\text{m}_L$ 4 hyllplan plus bottentråget - H = 2 m	-18/-20	1900/2100 (max omgiv- ningsklimat: 24 °C/55 %RH)
Vertikal självbetjäningsdisk med glasdörrar - Kyldistribution via påtvingad konvektion - Exponeringsyta = $0,84\text{ m}^2/\text{m}_L$ - Vertikal, turbulent inre luftström 4 hyllplan plus bottentråget - H = 2 m - Glasdörrar - trippelglas varav ett uppvärmt	-23/-25	800/860

3.5 Variationer i temperatur och kyleffekt

Kyldiskar dimensioneras för att klara en viss kombination av varutemperaturklass och klimatklass. Eftersom både användningen och omgivningsförutsättningarna kan variera inom vida gränser under året kommer även kylmöbelns temperatur att variera. Vid ogynnsamma förutsättningar, då belastningen överstiger diskens kapacitet, kommer temperaturen att stiga över de föreskrivna gränserna. Detta kan exempelvis bero på:

- Inlastning av för varma varor
- Felaktig eller ojämn lastning
- Extremt omgivningsklimat (mycket kunder, hög utetemperatur, otillräcklig luftkonditionering, ångbefuktning i lokalen m.m.)
- Brister i kylanläggningen
- Ogynnsam placering av disken (t.ex. i förhållande till lokalens luftkonditionering)

Under övriga tider finns normalt överkapacitet för kylanläggningen och effekten till kylmöbeln måste regleras. Traditionellt sker detta med till-från reglering med vanliga termostater. Det finns emellertid mycket att vinna med en genomtänkt styrstrategi, speciellt i samband med användningen av nattäckning. Genom att ackumulera kyla i varulagret under natten kan man klara hela dagdriften utan avfrostning. I kyldiskar, vilka arbetar med temperaturer över noll, kan sedan den ackumulerade frosten i kylbatteriet användas för att kyla disken under natten. Med en bra nattgardin minskar kyleffektbehovet till bara 20 % av behovet vid dagdrift (ca. 40 % i medel över dygnet). Vid ett genomförande av denna typ av strategi gäller det emellertid att inte låta varutemperaturen variera utanför tillåtna gränser, vare sig uppåt eller nedåt eller i tid och position i kylmöbeln.

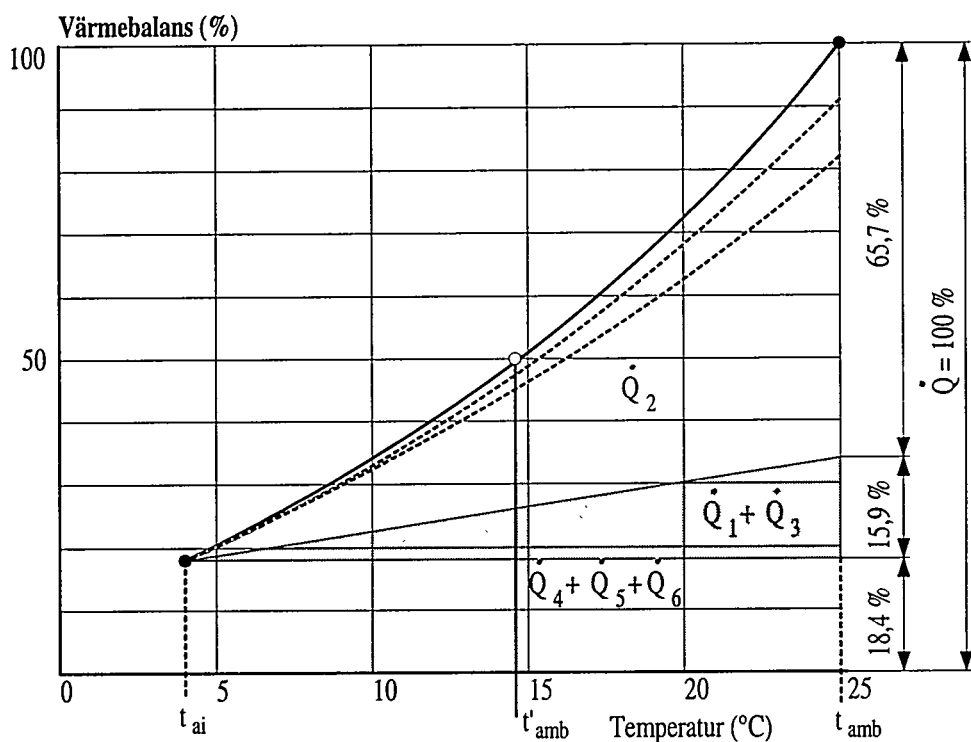
Om vi tittar tillbaka på exemplet med en vertikal kyldisk i 3.4 såg vi att värmebalansen dominerades av infiltrationstermen. I klimatet $t_{amb} = 25\text{ °C}$ och $\phi_{amb} = 60\text{ \%RH}$ hade vi följande resultat:

- Värmeledning: $\dot{Q}_1 = 7,3\text{ \% av } \dot{Q}$
- Infiltration: $\dot{Q}_2 = 65,7\text{ \% av } \dot{Q}$
- Strålning: $\dot{Q}_3 = 8,6\text{ \% av } \dot{Q}$
- Belysning: $\dot{Q}_4 = 10,8\text{ \% av } \dot{Q}$
- Fläkt och värmelist: $\dot{Q}_5 = 7,6\text{ \% av } \dot{Q}$
- Avfrostning: $\dot{Q}_6 = 0\text{ \% av } \dot{Q}$

Av dessa poster kan man notera att elförbrukarna $\dot{Q}_4$ och $\dot{Q}_5$ är konstanta, oberoende av omgivningsklimatet. Avfrostningen, $\dot{Q}_6$, är i detta fall oberoende men är i allmänhet beroende av t.ex. omgivningens fuktillstånd och temperaturnivån i disken. Endast i de fall som avfrostningen styrs på tid och inte efter behov kan posten betraktas som huvudsakligen klimatberoende.

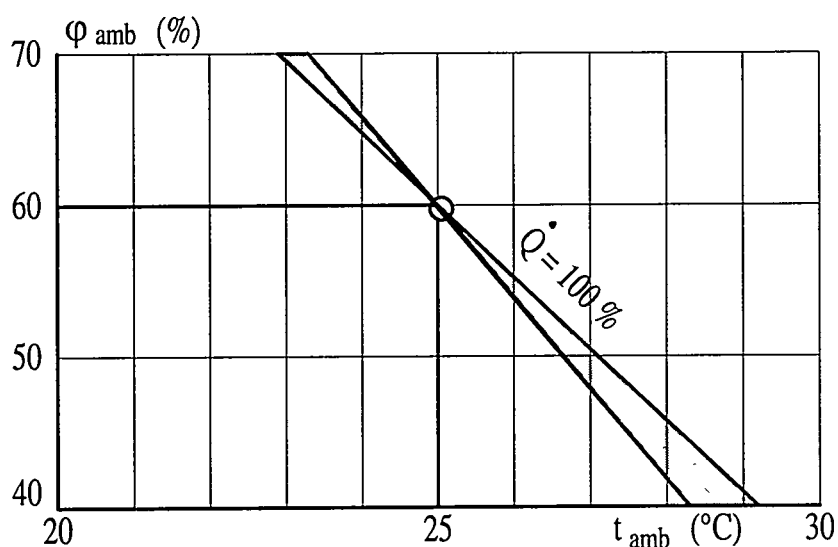
Posterna $\dot{Q}_1$ och $\dot{Q}_3$ är direkt proportionella mot temperaturdifferensen ($t_{amb} - t_{ai}$) och omfattar endast sensibelt värme. $\dot{Q}_2$, slutligen, vilket också är den i särklass största posten, är proportionell mot entalpidifferensen ($h_{amb} - h_{ai}$). Posten står för nästan 2/3 av värmelasten och omfattar både sensibelt och latent värme. Rigot (ref. 9)

redovisar värmebalansen och omgivningsklimatets inverkan på kyleffektbehovet i ett diagram motsvarande figur 3.5:1.



Figur 3.5:1. Illustration av hur värmebalansen ändrar sig med klimatet.

Figur 3.5:1 visar att med samma disk kan effektbehovet halveras genom att sänka omgivningstemperaturen från 25 °C till 14 °C. Rigot använder också begreppet ekvivalent omgivningsklimat. Kombinationer av temperatur och fuktighet som ger samma kyleffektbehov sägs ge samma ekvivalenta klimat. Figur 3.5:2 ger en möjlighet att på ett enkelt sätt kunna jämföra olika klimat.



Figur 3.5:2. Ekvivalentt omgivningsklimat.

3.6 Luftkylare

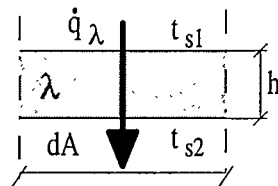
Luftkylaren utgör tillsammans med luftridån den viktigaste komponenten i en kylmöbel. Beträffande allmän teori hänvisas till kompendiet "Luftkylare med påfrysning och avfrostning" (ref. 6).

3.7 Överföring av kyla till varorna

Överföring av kyleffekten till varorna kan ske genom ledning, konvektion och strålning (jämför behandlingen av värmeöverföring i kurskompendiet samt avsnittet om luftkylare). **Ledning** sker inuti ett ämne, **konvektion** mellan en fluid och en fast kropp och **strålning** mellan två kroppar.

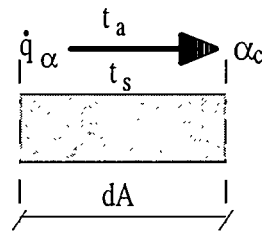
Ledning

$$\dot{q}_\lambda = \lambda \cdot \frac{(t_{s1} - t_{s2})}{h} \quad (\text{ekv. 3.7:1})$$



Konvektion (c = convection)

$$\dot{q}_\alpha = \alpha_c \cdot (t_a - t_s) \quad (\text{ekv. 3.7:2})$$



$$Nu = 0,664 \cdot Re_L \cdot Pr^{1/3} \quad (\text{ekv. 3.7:3})$$

Påtvungad konvektion längs en plan platta

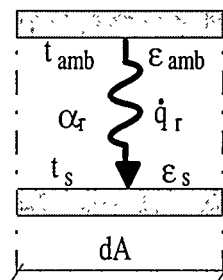
($Re_L < 10^5$, $Pr > 0,6$).

Strålning (r = radiation)

$$\dot{q}_r = \alpha_{r0} \cdot (t_{amb} - t_s) \quad (\text{ekv. 3.7:4})$$

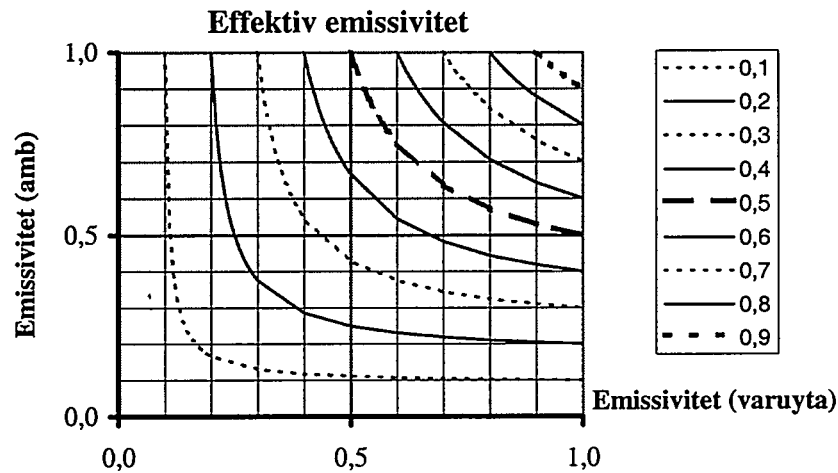
med

$$\alpha_{r0} = \sigma \cdot (T_{s1} + T_{s2}) \cdot (T_{s1}^2 + T_{s2}^2) \approx 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad (\text{ekv. 3.7:5})$$

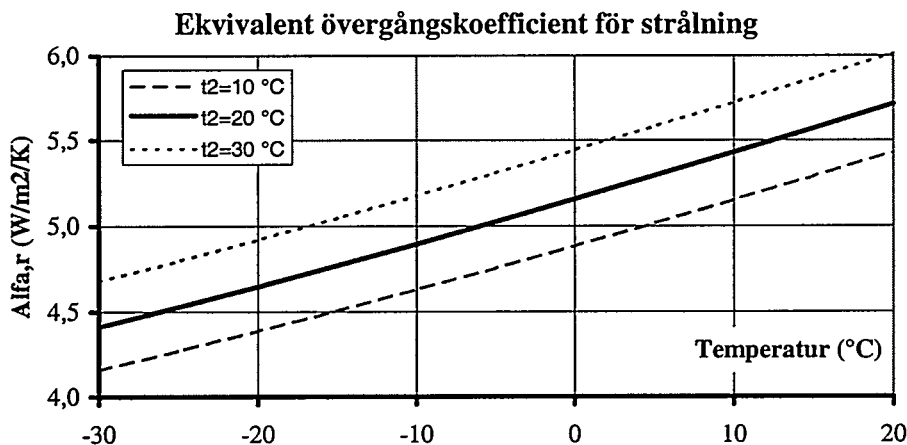


Vid strålning anger T_m den absoluta medeltemperaturen av T_{amb} och T_s (amb = ambience = omgivning och s = surface = yta). Stefan-Boltzmanns konstant har värdet $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$. Figur 3.7:2 ger en uppfattning om hur den ekvivalenta övergångskoefficienten för strålning varierar. Övergångskoefficienten α_{r0} förutsätter svartkroppsstrålning mellan oändliga ytor. Det verkliga α_r måste modifieras med en effektiv emissivitet, ϵ , och en vinkelfaktor, $F_{amb,s}$ enligt $\alpha_r = \epsilon \cdot F_{amb,s} \cdot \alpha_{r0}$. Figur

3.7:1 visar den effektiva emissiviteten för lika stora, parallella ytor. I många fall kan omgivningens yta anses vara oändligt stor i jämförelse med ytan på ett varupaket. I detta fall blir den effektiva emissiviteten lika med varuytans emissivitet.

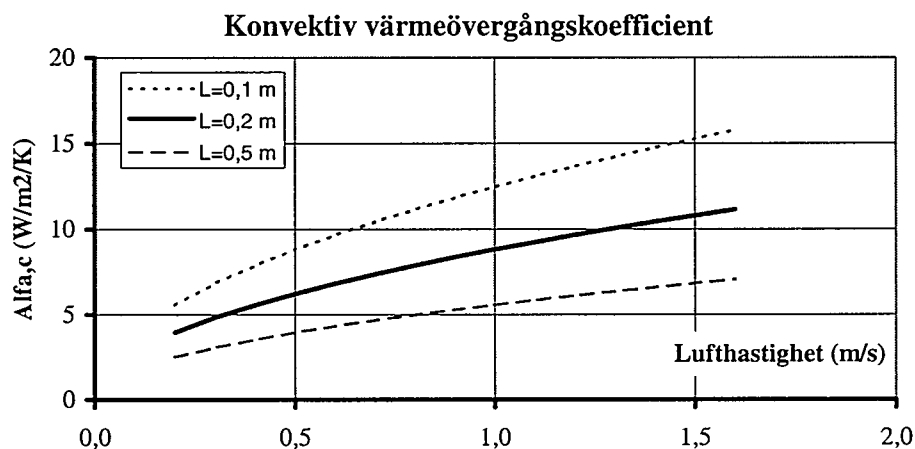


Figur 3.7:1. Den effektiva emissiviteten för parallella, lika stora ytor.



Figur 3.7:2. Den ekvivalenta värmeövergångskoefficienten $\alpha_{r,0}$ för strålning som funktion av kylobjektets temperatur med omgivningstemperaturen som parameter.

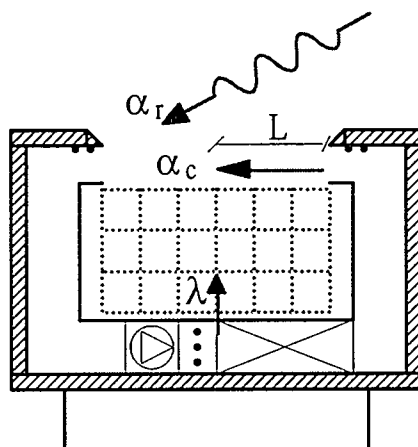
Den konvektiva värmeövergångskoefficienten beräknas på traditionellt sätt efter de strömningstekniska förutsättningar. Vid horisontell anblåsning av matvaror, t.ex. översta lagret i en frysgondol eller varorna på ett hyllplan i en vertikal kyldisk, kan teorin för värmeöverföring vid strömning över plana plattor tillämpas. Figur 3.7:3 visar konvektionstalet som funktion av anblåsningshastigheten. Observera att i verkligheten är geometrin långt ifrån de idealiserade förutsättningar för figuren, men det är ändå intressant att jämföra storleksordningarna på strålnings- och konvektionskoefficienterna. Det är uppenbart att man inte kan negligera någon av dem.



Figur 3.7:3. Den konvektiva värmeövergångskoefficienten α_c som funktion av anblåsningshastigheten med kylobjektets längd som parameter.

Luften som distribuerar kylan kylv först i ett flänsbatteri och leds sedan in över matvarorna. Lufthastigheten kan i vissa fall vara låg, <0,2 till 0,3 m/s. Vid så låga hastigheter börjar de naturliga drivkrafterna bli av samma storleksordning som de påtvingande och man ligger strömningstekniskt i ett gränsområde. Strömningshastigheten blir en kompromiss med beaktande av följande aspekter:

- Hög hastighet för att få bra värmeöverföring,
- Låg hastighet i öppningar för att inte orsaka infiltration,
- Låg hastighet i diskar med opaketerade livsmedel för att undvika uttorkning och/eller oxidering.



Figur 3.7:4. Illustration av värmetransport genom konvektion, strålning och ledning.

I uppläggningsdiskar för färsk matvaror, där man särskilt vill undvika uttorkning, kan man arbeta med egenkonvektionsbatterier, genom kontaktkylning eller en kombination av dessa metoder. Vid kontaktkylning kan man låta is växa till på ett svagt lutande bord. Lutningen gör att eventuellt smältvatten kan rinna av och tas om hand. Isen/vattnet ger bra kontakt mot matvarorna, håller uppe luftfuktigheten och innehåller dessutom en stor mängd ackumulerad kyla. En nackdel med ren kontaktkyla är att man riskerar stora temperaturskillnader i produkten mellan den kylda undersidan och ovansidan, som utsätts för strålning och luft av högre temperatur ("huvudet i solen och fötterna på isen").

3.8 Luftridåer

Luftridån har en nyckelfunktion i öppna kyl- och frysdiskar. Att utan isolerande väggar kunna skilja två luftvolymen, som kan ha en temperaturskillnad av mer än 50 K, är en utmaning. Problemen har något olika karaktär för **horisontella** diskar, typ frysgondoler, och **vertikala** diskar.

Horisontella diskar fungerar som bassänger för den kalla luften, vilken har högre densitet än omgivningsluften. I en ideal situation har man ett stabilt jämviktsläge då fukt- och värmetransporten i första hand sker genom diffusion. Detta är en mycket sämre transportmekanism än konvektion och därmed blir förlusten måttlig. Den ideala situationen existerar emellertid sällan i praktiken och det är stor skillnad på en disk som är tom och en som är fullt lastad. Dessutom behövs mycket små störningar för att rubba jämvikten (personer som rör sig, ventilationsluft etc.). Oavsett hur stabil skiktning man har i disken kommer det höga vattenångtrycket i omgivningsluften hela tiden att driva in fukt i disken och denna fukt kondenserar eller fryser på kalla ytor i disken eller matvarorna. Eftersom kylbatteriet är den kallaste komponenten kommer merparten att hamna där.

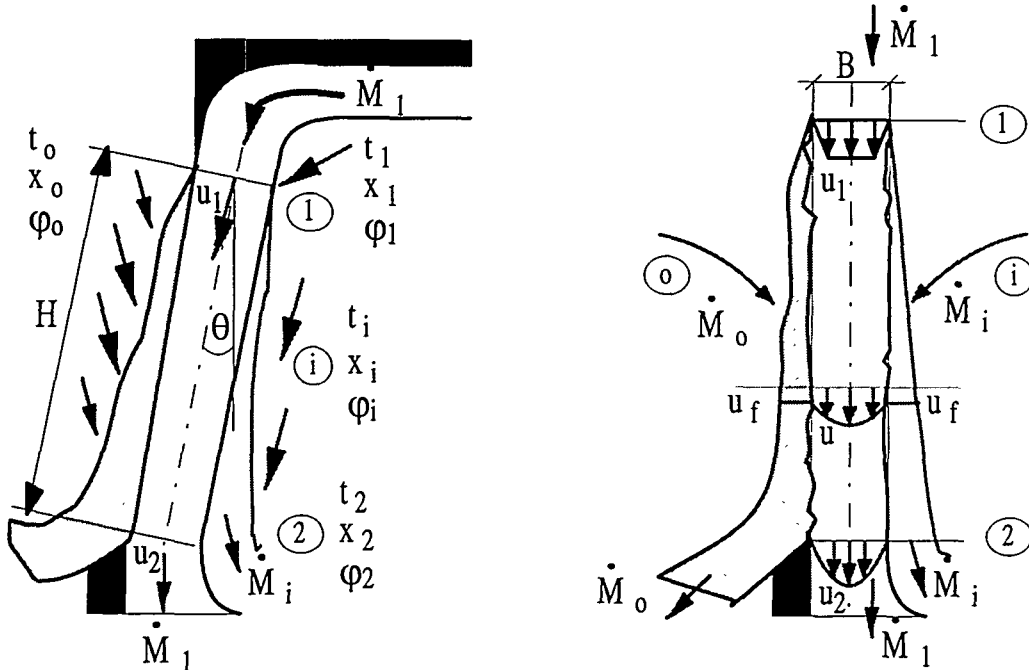
Vertikala diskar saknar naturliga möjligheter att innesluta den kalla luften. Luften "rinner" ut, driven av densitetsskillnaderna mellan luften i och utanför disken. För att hindra detta förses diskarna med en eller flera luftridåer. Luftridåernas funktion påverkas emellertid både av hur disken är lastad och strömningar i omgivningen. Luftvolymen i disken är omvänt proportionell mot lastvolymen och den interna strömningen blir mer instabil i stora, tomma volymer än när den styrs upp av varorna i en fullt lastad disk. Dessutom fungerar matvarorna som ett stort kylager och förhindrar plötsliga temperaturvariationer. Eftersom lufthastigheten i ridån hålls låg för att minska medejekteringen av rumsluft ligger hastigheten strax över komfortområdet (0,1-0,3 m/s). Därmed inser man att drag eller andra små luftrörelser i omgivningen lätt kan störa ridån. Teorin för icke-isoterma luftridåer är komplex, kräver mycket forskning och utveckling och är förmodligen, tillsammans med kylbatteriet, den viktigaste faktorn för att nå en bra funktion i disken.

3.8.1 Klassning och viktiga egenskaper

Luftridåer kan utformas på olika sätt beroende på applikation och kan klassas enligt:

- Kall, varm eller med omgivningstemperatur (isoterm)
- Öppen eller sluten (återluft) krets
- Enkel eller multipel (en eller flera parallella ridåer)
- Fri eller styrd strömning i utloppsdonen
- Horisontell, vinklad eller vertikal (uppåt eller nedåtriktad) ridå
- Utloppsdonen placerade inuti eller utanför det kylda utrymmet eller vid lastgränsen
- Enkel eller komplex (t.ex. bakre kaskadkoppling)
- Laminär eller turbulent
- Symmetrisk eller asymmetrisk

Figur 3.8:1 visar den klassiska, symmetriska ridån med sluten cirkulation och ett longitudinellt inloppsdon (1) efter diskens hela längd samt motsvarande utloppsdon (2).



Figur 3.8:1. Lätt lutande och vertikal symmetrisk luftridå.

Luftridån karakteriseras av följande storheter:

- Höjden H (motsvarar kylmöbelns öppning, som skiljer in- och utloppsdonen)
- Längden L (motsvarar kylmöbelns längd parallellt med öppningen)
- Bredden B (motsvarar den fria öppningsbredden i utloppsdonet)
- Temperatur t_o och fuktighet x_o i luften utanför ridån (o = "outside") och temperatur t_i och fuktighet x_i i luften innanför ridån (i = "inside")
- Massflödet $\dot{M}_1$ i utlopps- och inloppsdonens öppningar (lika i fallet med sluten cirkulation).

3.8.2 Den enkla ridåns funktion

Den kalla luften vid tillståndet (1) blåses ut med hastigheten u_1 genom öppningen med bredden B ("breadth") och längden L ("length"). Det massflöde, $\dot{M}_1$, som injekteras i ridån ges av

$$\dot{M}_1 = u_1 \cdot \rho_1 \cdot B \cdot L \quad (\text{ekv. 3.8:1})$$

Ridån, med höjden H , separerar luften inuti kylmöbeln (i = "inside") från luften utanför (o = "outside") över möbelns längd L , vilket motsvarar möbelns öppningsyta $H \cdot L$. Genom friktion och turbulens i gränsskiktet mellan ridån och de interna och externa luftvolymerna (med "friktionshastigheten" u_f) medejekteras/infiltreras luftflödena $\dot{M}_i$ och $\dot{M}_o$ i det ursprungliga ridåflödet $\dot{M}_1$.

Dessa tilläggsflöden ökar det totala massflödet i ridån från inloppet mot utloppet enligt:

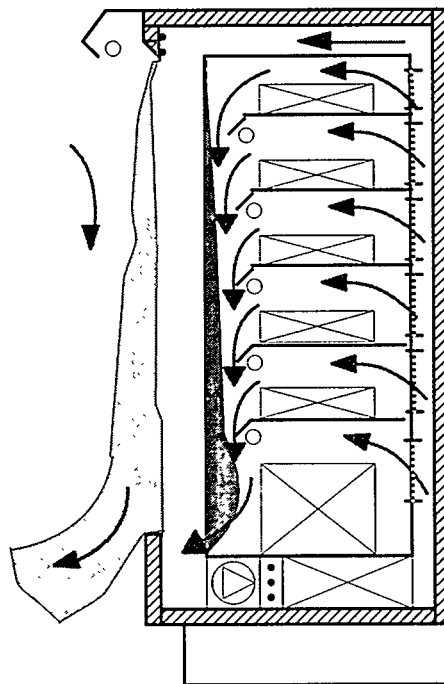
$$\dot{M}_{tot} = \dot{M}_1 + \dot{M}_o + \dot{M}_i \quad (\text{ekv. 3.8:2})$$

Samtidigt ökar ridåns bredd (B') och dess ursprungliga hastighet (u_1) minskar (till u). Genom infiltrationen ökar inloppstemperaturen från t_1 till t_2 och ångkvoten från x_1 till x_2 . Ju mindre dessa tilläggsflöden är desto bättre är ridån (mindre kallluft läcker ur möbeln och mindre varmluft ersätter denna kallluft). I ett slutet system blir naturligtvis massflödet i utloppet, $\dot{M}_2$, lika med massflödet i inloppet, $\dot{M}_1$.

Utformningen av luftridån innehåller två motstridiga krav,

- Högt flöde för att förbättra värmeöverföringen i luftkylaren,
- Begränsat flöde för att minska infiltrationen.

Det gäller således att i varje applikation hitta det optimala flödet. Genom att använda inblåsning genom hålplåtar i kylmöbelns bakkant är det möjligt att separera flödet i ridån från flödet genom kylbatteriet (se figur 3.8:2). Bakkantsinblåsningen gör också att man skapar ett lätt mottryck mot ridån, vilket motverkar tendensen för ridån att tryckas in i disken (jämför figur 3.8:8). Genom att öka ridåns bredd B kan man minska inloppshastigheten, men för horisontella frysgondoler kommer det ökade utrymme som inloppet kräver i praktiken att minska det nyttiga lastutrymmet.

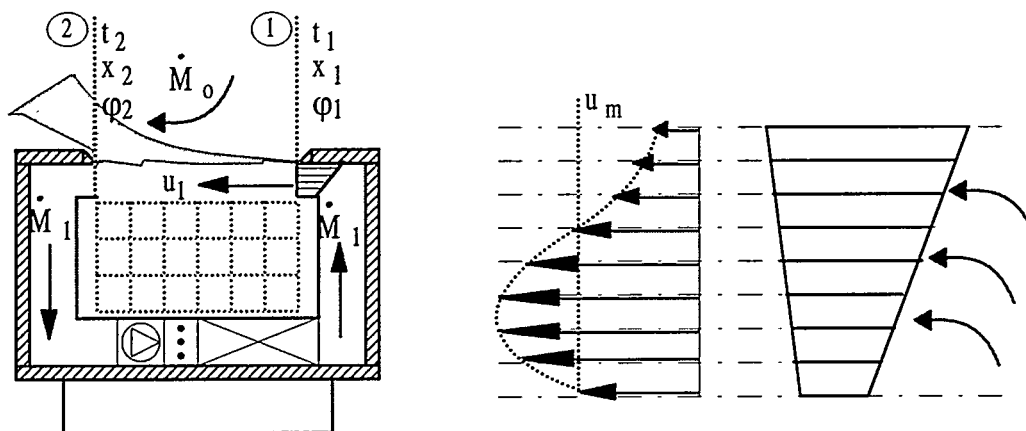


Figur 3.8:2. Kaskadridå med luftinblåsning i bakkant.

3.8.3 Asymmetriska ridåer

Ett sätt att förbättra ridåns funktion är att arbeta med asymmetriska hastighetsprofiler. Därmed kan man uppnå en lägre "friktionshastighet" mellan ridån och intilliggande luftvolymen. En bra ridå ska ha följande egenskaper:

- Vara ganska tjock (för att transportera ett tillräckligt stort volymflöde med en låg medelhastighet u_m),
- Ge en låg hastighet mot den yttre luftvolymen (för att minska infiltrationen).
- Ge en hög hastighet mot den inre luftvolymen (för att ge hög värmeöverföring mot de synliga paketen).



Figur 3.8:3. Asymmetrisk inblåsning.

Flera metoder kan användas för att skapa asymmetriska profiler, t.ex. ledskenor, snedskurna "honungskakor", styrplåtar före inloppsmunstycket m.m. Strömningen i en optimal, asymmetrisk ridå bör vara laminär och flödet vara mindre än cirka 250 kg/h/m_L. Hastighetsgradienten bör vara måttlig både inuti ridån och vid dess gränssytor för att minska turbulensen och inblandningen av luft från angränsande skikt.

3.8.4 Enkel teori

Vi förutsätter i samtliga fall att stationära förhållanden råder i kylmöbelen (1 = inlopp, 2 = utlopp, i = inuti disken, o = utanför disken, 3 = tillskott för synliga paket genom strålning).

3.8.4.1 Horisontella frysgondoler, asymmetrisk ridå

Om vi betraktar den horisontella frysgondolen i figur 3.8:3, lastad till övre lastlinjen, kan vi ställa upp de stationära fukt- och värmebalanserna:

$$\text{Fukt:} \quad \dot{M}_1 \cdot x_1 + \dot{M}_o \cdot x_o = \dot{M}_1 \cdot x_2 + \dot{M}_o \cdot x_2 \quad (\text{ekv. 3.8:3})$$

$$\text{Värme:} \quad \dot{M}_1 \cdot h_1 + \dot{M}_o \cdot h_o + \dot{Q}_3 = \dot{M}_1 \cdot h_2 + \dot{M}_o \cdot h_2 \quad (\text{ekv. 3.8:4})$$

d.v.s.

$$h_2 - h_1 = \frac{\dot{M}_o}{\dot{M}_1} \cdot (h_o - h_2) + \frac{\dot{Q}_3}{\dot{M}_1} \quad (\text{ekv. 3.8:5})$$

Förhållandet mellan $\dot{M}_o$ och $\dot{M}_1$ kallas infiltrationsgraden X och kan beräknas med hjälp av ekvation 3.8:5,

$$X = \frac{h_2 - h_1}{h_o - h_2} - \frac{\dot{Q}_3}{\dot{M}_1 \cdot (h_o - h_2)} \quad (\text{ekv. 3.8:6})$$

eller på ett ännu lättare sätt ur ekvation 3.8:3 enligt

$$X = \frac{x_2 - x_1}{x_o - x_2} \quad (\text{ekv. 3.8:7})$$

eller

$$X = \frac{t_2 - t_1}{t_o - t_2} \quad (\text{ekv. 3.8:8})$$

Infiltrationsgraden är ett kvalitetsmått för lufttridån, ju mindre infiltration desto effektivare ridå. Med ledning av uppmätta temperaturer och/eller ångkvoter kan således infiltrationsgraden beräknas. En bra lufttridå ska ge låga värden för X ($0,05 < X < 0,2$).

3.8.4.2 Vertikala kyldiskar, symmetrisk ridå

Med förutsättningar enligt figur 3.8:1 kan vi teckna fukt- och värmebalanserna på samma sätt som för den horisontella disken (**N.B.** $\dot{M}_i = \dot{M}_o$ med symmetrisk ridå):

$$\text{Fukt:} \quad \dot{M}_1 \cdot x_1 + \dot{M}_o \cdot x_o + \dot{M}_i \cdot x_i = \dot{M}_1 \cdot x_2 + \dot{M}_o \cdot x_2 + \dot{M}_i \cdot x_2 \quad (\text{ekv. 3.8:9})$$

d.v.s.

$$\dot{M}_1 \cdot x_1 + \dot{M}_o \cdot (x_o + x_i) = \dot{M}_1 \cdot x_2 + 2\dot{M}_o \cdot x_2 \quad (\text{ekv. 3.8:10})$$

Den symmetriska, vertikala lufttridån utsätts för infiltration från två sidor och infiltrationsgraden kan tecknas på två sätt ($\dot{M}_i = \dot{M}_o$ i fallet symmetrisk ridå):

$$X = \frac{\dot{M}_o}{\dot{M}_1} = \frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_1} \quad (\text{ekv. 3.8:11})$$

och med X från ekvation 3.8:11 insatt i ekvation 3.8:10 erhålls

$$x_1 + X \cdot (x_o + x_i) = x_2 \cdot (1 + 2X) \quad (\text{ekv. 3.8:12})$$

Om vi antar att det saknas fukttillskott på insidan blir $x_i = x_l$. När varorna är paketerade gäller antagandet om fukttillskott ganska bra men i verkligheten har man istället vanligtvis ett fuktbortfall p.g.a. av kondensering i luftkylaren. Vi antar emellertid att ångkvoterna är lika och erhåller:

$$X \cdot (x_o + x_1 - 2x_2) = x_2 - x_1 \quad (\text{ekv. 3.8:13})$$

och

$$X = \frac{x_2 - x_1}{(x_o - x_2) - (x_2 - x_1)} \quad (\text{ekv. 3.8:14})$$

Värme: $\dot{M}_1 \cdot h_1 + \dot{M}_o \cdot h_o + \dot{M}_i \cdot h_i = \dot{M}_1 \cdot h_2 + 2\dot{M}_o \cdot h_2$ (ekv. 3.8:15)

eller $\dot{M}_1 \cdot h_1 + \dot{M}_o \cdot (h_o + h_i) = h_2 \cdot (\dot{M}_1 + 2\dot{M}_o)$ (ekv. 3.8:16)

Med infiltrationsgraden X får vi:

$$h_1 + X \cdot (h_o + h_i) = h_2 \cdot (1 + 2X) \quad (\text{ekv. 3.8:17})$$

eller

$$X = \frac{h_2 - h_1}{(h_o - h_2) - (h_2 - h_1)} \quad (\text{ekv. 3.8:18})$$

Ekvationerna 3.8:14 och 18 ger två uttryck med samma form för infiltrationsgraden X . Infiltrationsgraden är påtagligt konstant för en given möbel i en given applikation och uttrycken ovan gör det möjligt att skatta utloppstillståndet (2) om övriga tillstånd är kända (kan ritas in i den fuktiga luftens tillståndsdigram).

Observera att när vi försummat andra värmertilskott än bidragen från infiltration i ekv. 3.8:15 kommer även dessa tillskott att räknas som infiltration i en verklig disk. Därmed blir värdet på X överskattat om man utgår från entalpierna h_1 , h_2 och h_o . Om man har en uppfattning om diskens kyleffektbehov och luftflödet i ridån kan man emellertid skatta övriga värmertilskott $\dot{Q}_3$ utifrån

$$\dot{Q}_3 = \dot{Q}_c - X \cdot \dot{M}_1 \cdot (h_o - h_2) \quad (\text{ekv. 3.8:19})$$

Genom att sedan använda värdet på $\dot{Q}_3$ i energibalansen i ekv.3.8:15 kan man passningsräkna sig fram till ett bättre värde på X .

3.8.4.3 Vertikala kyldiskar, bakkantsinblåsning

Vi begränsar oss i detta fall till energibalansen. Med förutsättningar enligt figur 3.8:2 kan vi teckna värmebalansen på ett liknande sätt som för den symmetriska ridån. I detta fall har vi emellertid inte något cirkulerande flöde inuti disken. Antag att bakkantsflödet $\dot{M}_i = k \cdot \dot{M}_2$ och flödet i ridån $\dot{M}_1 = (1 - k) \cdot \dot{M}_2$. Om vi även tar hänsyn till övriga värmertilskott (t.ex. strålning), $\dot{Q}_3$, kan värmebalansen tecknas:

Värme: $\dot{M}_1 \cdot h_1 + \dot{M}_o \cdot h_o + \dot{M}_i \cdot h_i + \dot{Q}_3 = \dot{M}_2 \cdot h_2 + \dot{M}_o \cdot h_2$ (ekv. 3.8:20)

Med insättning av relationen mellan luftflödena får vi följande uttryck för infiltrationsgraden X :

$$X = \frac{1}{(1 - k)} \cdot \left[h_2 - h_1 \cdot (1 - k) - h_2 - h_i \cdot k - \frac{\dot{Q}_3 \cdot (1 - k)}{\dot{M}_1} \right] \quad (\text{ekv. 3.8:21})$$

Om vi antar att specifika entalpin för bakkantsflödet är lika med inloppsentalpin i ridån (litet värmetilskott inne i hyllplanen), d.v.s. $h_i \approx h_1$, får vi

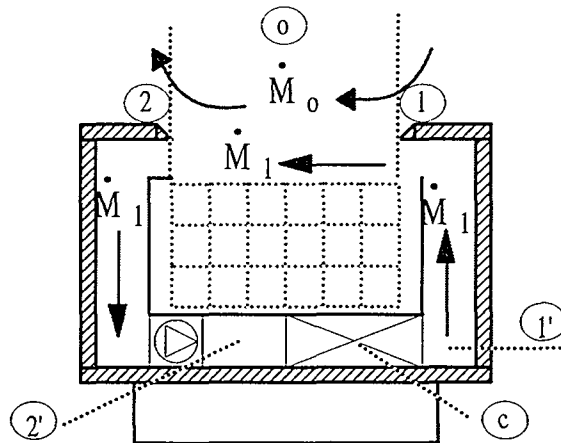
$$X = \left(\frac{h_2 - h_1}{h_o - h_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - k} \right) - \frac{\dot{Q}_3}{\dot{M}_1 \cdot (h_o - h_2)} \quad (\text{ekv. 3.8:22})$$

3.8.5 Luftens tillståndsförändring

Med ledning av det förenklade teoretiska resonemanget i 3.8.4 har Rigot (ref. 9) gjort en beskrivning av luftens förändring i tillståndsdigrammet för fuktig luft. Tillståndsparmetrarna är relaterade till varandra genom de tidigare angivna ekvationerna.

3.8.5.1 Horisontella kyldiskar, asymmetrisk ridå

Figur 3.8:4 visar beteckningarna för de representerade tillståndspunkterna o (omgivningen; "outside"), c (kylbatteriet; "cooling-coil"), $1'$ (luften efter kylbatteriet), 1 (inloppsdonet), 2 (utloppsdonet) och $2'$ (efter fläkten).



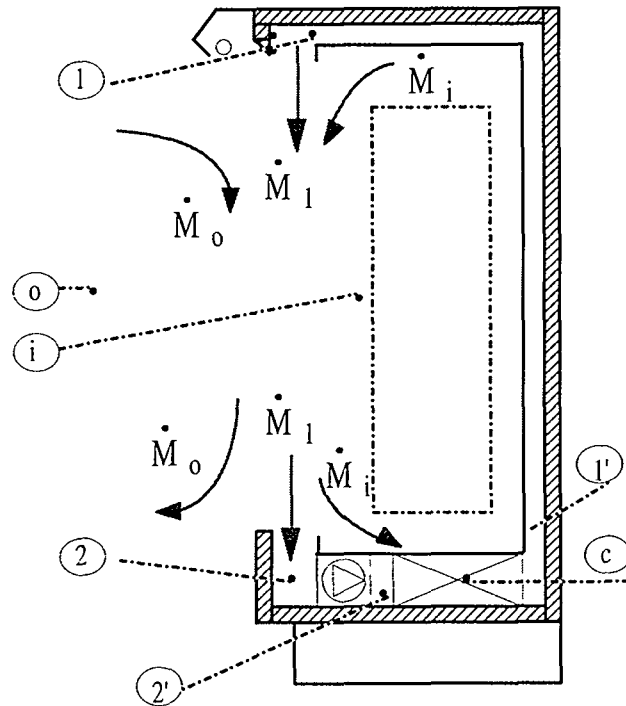
Figur 3.8:4. Tillståndsförändring; beteckningar vid asymmetrisk, horisontell inblåsning.

Luftkylaren: Luftens tillstånd förändras i luftkylaren efter den rätta linje som förbinder tillståndet ($2'$) med tillståndet på batteriytan (c). Figuren visar ett exempel med direktförångning; med ett köldbärarkylt batteri ändras punkten (c) till en kurva efter mättnadslinjen enligt batteritemperaturens ändring. Hur långt tillståndet ändras i riktning mot (c) bestäms av förhållandet mellan luftens värmekapacitetsflöde och batteriets kyleffekt:

$$\dot{Q}_c = \dot{M}_1 \cdot (h_{2'} - h_{1'}) \quad (\text{ekv. 3.8:23})$$

3.8.5.2 Vertikala kyldiskar, symmetrisk ridå

Figur 3.8:6 visar, på samma sätt som figur 3.8:4, beteckningarna för de representerade tillståndspunkterna i fallet med en vertikal, asymmetrisk ridå.



Figur 3.8:6. Tillståndsändring; beteckningar vid asymmetrisk, vertikal inblåsning.

Luftkylaren: Luftens tillstånd förändras i luftkylaren efter den räta linje som förbinder tillståndet (2') med tillståndet på batteriytan (c); figuren visar ett exempel med direktförångning. Tillståndet ändras i riktning mot (c) i relation till förhållandet mellan luftens värmekapacitetsflöde och batteriets kyleffekt;

$$\dot{Q}_c = \dot{M}_1 \cdot (h_{2'} - h_{1'}) \quad (\text{ekv. 3.8:29})$$

Inloppskanalen: Luften värms av varorna och av värmeinläckning från omgivningen. Temperaturen ökar men ångkvoten x_f är konstant;

$$\dot{Q}_{in} = \dot{M}_1 \cdot (h_1 - h_{1'}) \quad (\text{ekv. 3.8:30})$$

Luftridån: Luftens tillstånd ändras utefter den räta linjen (1)-(2). Punkten (2) svarar mot blandningen i ridån av kylsluft (1), den utifrån kommande omgivningsluften (o) och den inuti disken medejkterade luften (i). Specifika entalpin i punkten (2) ges av

ekvation 3.8:17 enligt:

$$h_2 = \frac{h_1 + X \cdot (h_o + h_i)}{1 + 2X} \quad (\text{ekv. 3.8:31})$$

och effekten som

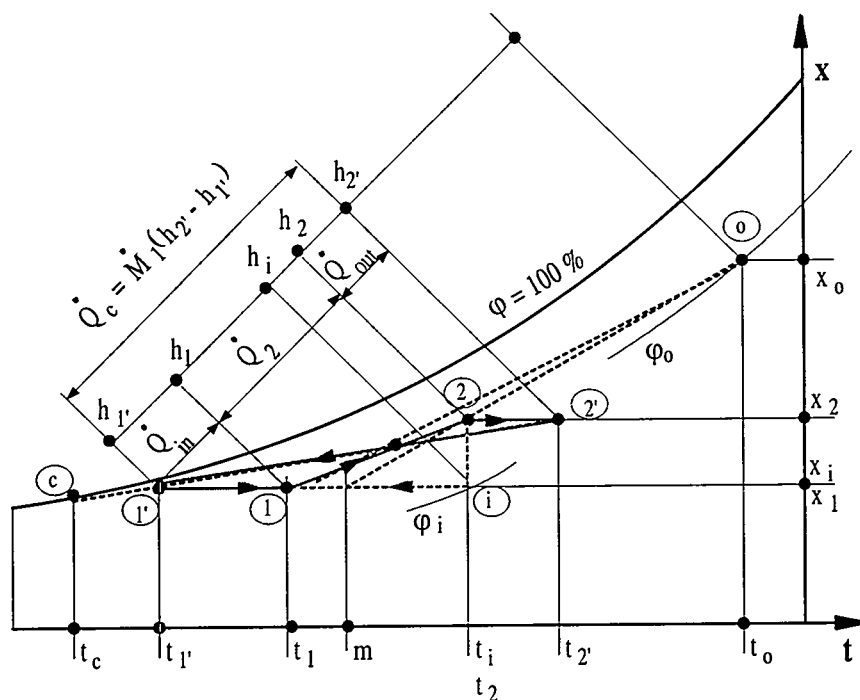
$$\dot{Q}_2 = \dot{M}_1 \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{ekv. 3.8:32})$$

Utløppskanalen: Luften värms av varorna, av värmeinläckning från omgivningen samt eventuella värmelister m.m. Temperaturen ökar men ångkvoten x_2 är konstant;

$$\dot{Q}_{out} = \dot{M}_1 \cdot (h_{2'} - h_2) \quad (\text{ekv. 3.8:33})$$

Den slutna cykeln: Med beteckningar enligt figur 3.8:4 visar figur 3.8:5 nedan tillståndsändringarna för kylluftens slutna cykel (jämför ekv. 3.8:28):

$$\dot{Q}_{in} + \dot{Q}_1 + \dot{Q}_{out} - \dot{Q}_c = 0$$



Figur 3.8:7. Tillståndsändring för den slutna cykeln i en vertikal kyldisk.

3.8.6 Visualisering av luftridåer

Luftridåns mycket viktiga funktion är inte helt lätt att studera eftersom den inte är fysiskt påtaglig för observatörens ögon och händer. Det finns emellertid ett antal hjälpmedel, både för fullskalestudier och för modellförsök.

3.8.6.1 Kyldiskar i full skala

De vanligaste metoderna i fullskaleförsök är:

- **Visualisering med rök**
Med hjälp av ampuller med ogiftig rök, som man släpper in på lämpligt ställe i luftströmmen, kan luftrörelserna göras synliga. Synligheten förbättras om man utnyttjar en anpassad belysning. Det finns även aggregat som kan producera rök kontinuerligt ("cloud-maker").
- **Visualisering med såpbubblor och helium**
Ett kommersiellt tillgängligt system, EMIBUL, kan producera 4-5 mm stora såpbubblor, genom uppblåsning med helium. Om dessa injekteras i luftinblåset kan man följa luftströmningen, och även mäta hastighet och riktning med fotografiska metoder. I ett fotografi, som exponerats under viss tid ser man hastighetsvektorer som bubbelspår (både längd och riktning). Vid visualisering kan man även använda stroboskop för att "frysa" en bild av strömningen.
- **Indirekt visualisering**
I laboriemiljö kan man kartlägga luftridån genom helfältsmätning. Genom ett nätverk av givare för temperatur, hastighet, tryck och fuktighet kan man indirekt skapa sig en bild av händelseförloppet i ridån.
- **Termografering och lasertomografi**
Både termografering och lasertomografi är utomordentligt värdefulla hjälpmedel. De kan användas både för visualisering och kvantitativa mätningar. Lasertomografi är emellertid i första hand ett hjälpmedel för exklusiv laboriemiljö, både på grund av dess kostnad och på grund av installations- och hanteringskrav.

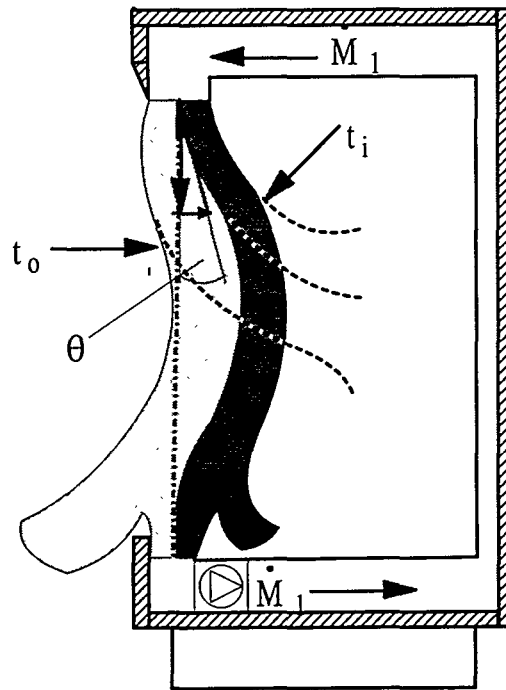
3.8.6.2 Kyldiskar i reducerad skala

Den vanligaste metoden vid modellförsök är:

- **Hydrauliska analogier**
Likformighetslagarna för strömning gör att man kan arbeta med verklighetens Reynolds-tal vid mindre fysiska dimensioner om man ersätter luft med vatten. I strömningsrännor med genomskinliga väggar kan förloppen visualiseras genom injektering i vattnet av luft, mikroskopiska styrenkuler, färgade spårämnen m.m. Resultaten kan dokumenteras genom termografering, videoinspelningar etc.

3.8.7 Deformation av vertikala luftridåer

Vertikala ridåer påverkas av en litet tryck som orsakas av temperaturskillnaden mellan utsidan (t_o) och insidan (t_i) av ridån. De skilda temperaturerna gör att luftens densitet blir olika och detta genererar en tryckskillnad som tenderar att trycka ridån in i disken (se figur 3.8:8). Ångtrycksskillnaden mellan ut- och insida tenderar att förstärka denna effekt.



Figur 3.8:8. Deformation av en vertikal, symmetrisk ridå.

Man kan motverka ridåns deformation, t.ex. genom:

- Kaskadinblåsning (se figur 3.8:2).
- Placering av hyllor så att de motverkar deformationen.
- Kompakt lastning av disken (avsaknad av luckor där luften kan tryckas in; en tom disk fungerar dåligt, bland annat p.g.a. detta fenomen).
- Tillräckligt hög hastighet i ridån.
- Dubbla luftridåer.

4 Normer och rekommendationer

Lagstiftningen beträffande kylförvaring av livsmedel varierar mellan olika länder, även inom EU. Generellt kan sägas att många EU-länder har strängare regler än Sverige. Beträffande svenska regler för kyl- och fryshantering av livsmedel är Statens Livsmedelsverk ansvarig myndighet. Som tidigare nämnts utfärdar även andra organisationer, t.ex. Djupfrysningsbyrån, olika typer av rekommendationer. Referenserna 10-13 är några av de föreskrifter som finns i Sverige (se även 1.3 och 4.1).

4.1 Livsmedelsstadgan

I Sverige finns ett antal nationella lagar, förordningar och föreskrifter som behandlar hantering av livsmedel. Några exempel listas nedan:

- SLV FS 1980:6 Statens livsmedelsverks tillämpningskungörelse med föreskrifter och allmänna råd om transport av lättfördärliga livsmedel (ref. 10).
- SLV FS 1993:16 Statens livsmedelsverks kungörelse med föreskrifter och allmänna råd om hantering av djupfrysta livsmedel (ref. 11).
- SLV FS 1995:18 Bilaga 1-3 till överenskommelsen om internationell transport av lättfördärliga livsmedel och om speciell utrustning för sådan transport (ATP) (ref. 12).
- SLV FS 1996:5 Statens livsmedelsverks kungörelse med föreskrifter och allmänna råd om hantering av livsmedel (ref. 13).

I första hand anger föreskrifterna vilka temperaturkrav som gäller för olika produkter och vilka hygieniska villkor som gäller i övrigt.

4.2 ATP

Enligt SLV FS 1996:5 §31 ska livsmedel hålla sin föreskrivna temperatur innan transporten börjar och sedan bibehålla denna under hela transportförloppet. För fjärtransporter av kylda och frysta livsmedel finns en internationell överenskommelse genom FN-organet WHO, det s.k. ATP-reglementet ("Agreement on Trade with Perishable foodstuffs" eller "Accord relatif aux Transports internationaux de denrées Périssables et aux engins spéciaux à utiliser pour ces transports", d.v.s. kort och gott "avtal om handel med lättfördärliga livsmedel"). Avtalet ställer krav på transportfordonens isolering och kylutrustning och refereras i Sverige av Livsmedelsverket i SLV FS 1995:18 (ref. 12). Transportfordon klassas med bokstavsbeteckningar enligt följande:

Kyld/Mekaniskt kyld/Uppvärmad utrustning + Isolering + Temperaturklass.

T.ex. **ATP: FNA** (mekaniskt kyld utrustning, normal isolering, temperaturklass A; se nedanstående förklaringar).

Isolerad utrustning (I): Utrustning vars karosseri är byggt av isolerade väggar. Totala värmegenomgångskoefficienten (U-värdet) ska understiga följande värden:

<i>Beteckning</i>	<i>Förklaring</i>	<i>U-värde</i>
N	Normal isolering	$<0,70 \text{ W/m}^2/\text{K}$
R	Förstärkt ("reinforced") isolering	$<0,40 \text{ W/m}^2/\text{K}$

Kyld utrustning (R): Isolerad utrustning som vid en utetemperatur av +30 °C, med hjälp av en köldkälla (is, eutektiska plattor, m.m.), kan sänka temperaturen i den tomma karossen till följande värden:

<i>Beteckning</i>	<i>Högsta temperatur</i>
Klass A	+7 °C
Klass B	-10 °C (krav på isolation R)
Klass C	-20 °C (krav på isolation R)
Klass D	0 °C

Mekaniskt kyld utrustning (F): Isolerad utrustning som vid en utetemperatur av +30 °C, med hjälp av egen kylanordning, kan sänka temperaturen i den tomma karossen till ett önskat, konstant värde inom följande intervall:

<i>Beteckning</i>	<i>Högsta temperatur</i>
Klass A	+12 till 0 °C
Klass B	+12 till -10 °C (krav på isolation R)
Klass C	+12 till -20 °C (krav på isolation R)
Klass D	mindre än 0 °C
Klass E	mindre än -10 °C (krav på isolation R)
Klass F	mindre än -20 °C (krav på isolation R)

Uppvärmad utrustning (C): Isolerad utrustning som, med hjälp av egen uppvärmningsanordning, kan höja temperaturen i den tomma karossen till +12 °C och vidmakthålla denna temperatur vid följande utetemperaturer:

<i>Beteckning</i>	<i>Utetemperatur</i>
Klass A	-10 °C
Klass B	-20 °C (krav på isolation R)

Varans temperaturkvalitet: Vid transport får enligt SLV FS 1995:18 livsmedlets temperatur inte i någon punkt av lasten överstiga nedanstående värden (gäller även vid lossning):

<i>Livsmedel (frysta eller djupfrysta)</i>	<i>Max varutemperatur</i>
• Glass	-20 °C
• Fryst eller djupfryst fisk, fiskprodukter, blötdjur och kräddjur och alla andra djupfrysta livsmedel	-18 °C
• Fryst smör	-10 °C
• Övriga frysta livsmedel	-12 °C
 <i>Livsmedel (varken frysta eller djupfrysta)</i>	
• Organ	+3 °C
• Smör	+6 °C
• Vilt	+4 °C
• Mjölk för omedelbar förtäring	+4 °C
• Mjölk för industriellt bruk	+6 °C

- Mjölksprodukter (yoghurt, kefir, grädde) +4 °C
- Fisk, blötdjur, kräftdjur Måste alltid ligga i is
- Köttprodukter +6 °C
- Kött (annat än organ) +7 °C
- Fjäderfä och kaniner +4 °C

4.3 CEN

Den europeiska standardiseringsorganisationen CEN utfärdar standarder beträffande t.ex. provning av kyldiskar, krav på temperaturregistrerande instrument, provning av luftkylare (jämför kompendiet om luftkylare) m.m. Provningsstandarden för kyldiskar, EN 441, omfattar följande 12 delar:

- CEN, 1995. **EN 441: Refrigerated display cabinets**
 - Part 1: Terms and definitions
 - Part 2: General mechanical and physical requirements
 - Part 3: Linear dimensions, areas and volumes
 - Part 4: General test conditions
 - Part 5: Temperature test
 - Part 6: Classification according to temperatures
 - Part 7: Defrosting test
 - Part 8: Water vapour condensation test
 - Part 9: Electrical energy consumption test
 - Part 10: Test for the absence of odour and taste
 - Part 11: Installation, maintenance and user's guide
 - Part 12: Measurement of the heat extraction rate of the cabinets when the condensing unit is remote from the cabinet

EN 441 behandlar bl.a. kyldiskars funktion i laboratorium. Vid provningen lastas diskarna enligt givna anvisningar med simulerade matpaket, vars termofysikaliska data ska likna magert nötkött. Kylbehov och tillförd el mäts under givna betingelser samtidigt som man mäter temperaturen inuti utvalda matpaket ("mätpaket") och omgivningsklimatet. Diskarna klassas dels efter den maximalt tillåtna varutemperaturen och dels efter hur strängt omgivningsklimatet är. Tabell 4.3:1 nedan redovisar de olika klasserna.

Tabell 4.3:1. Klassindelning beträffande varutemperatur och omgivningsklimat enligt EN 441.

Varutemperatur			Omgivningsklimat		
Klass	Max (°C)	Min (°C)	Klass	Temp (°C)	Fukt (% RH)
L1	-15	-	1	16	80
L2	-12	-	2	22	65
M1	+5	-1	3	25	60
M2	+7	-1	4	30	55
H	+10	+1	5	40	40
S1	+8	-1	6	27	70
			S7	20	51

L (low), M (medium) och H (high) är standardklasser för varutemperaturen men det finns även utrymme för specialklasser (i Sverige har t.ex. S1 använts vid en tävling för energieffektiva diskar). Även för omgivningsklimatet lämnar standarden möjligheter för specialklasser och i Sverige används S7 som typiska höst/vinter/vår förhållanden. Exempelvis ska en disk i klassen M1/4 klara av att hålla varutemperaturen mellan -1 och +5 °C med ett omgivningsklimat av 30 °C/55 %RH.

4.4 IIR

IIR, International Institute of Refrigeration, är kylteknikernas internationella samarbetsorgan. Organisationen arbetar med forskning, utbildning, miljöfrågor och olika former av rekommendationer, t.ex.

- IIR, 1979. Recommendations for chilled storage of perishable produce. (International Institute of Refrigeration, Paris.)
- IIR, 1986. Recommendations for the processing and handling of frozen foods. (3rd edition, International Institute of Refrigeration, Paris.)

IIR ordnar årligen ett stort antal vetenskapliga konferenser, publicerar en vetenskaplig tidskrift (International Journal of Refrigeration) och har en utmärkt databas, FRIDOC.

4.5 Övriga organisationer

Det finns många organisationer, som utarbetar normer, rekommendationer, handböcker m.m. eller på annat sätt påverkar förutsättningarna för kyltekniskt arbete. I Sverige finns t.ex.

- Svenska Kyltekniska Föreningen (organisation för Sveriges kyltekniker)
- KYS (kylbranschens samarbetsstiftelse; utger t.ex. svensk kylnorm)
- KYL (kylentreprenörernas förening)
- SVEP (svenska värmepumpsföreningen; tillverkare och importörer)
- Föreningen V (ventilations- och luftkonditioneringsföretag)
- VVS-tekniska föreningen

I Europa finns motsvarande organisationer av vilka de viktigaste är

- CECOMAF (kylbranschens organisation; certifierar produkter av typen luftkylare, vätskekylaggregat, kondensorer m. m. tillsammans med EUROVENT)
- EUROVENT (ventilations- och luftkonditioneringsbranschen)
- ASERCOM (kompressortillverkarnas organisation)
- REHVA (VVS-teknik och luftkonditionering)

och i USA

- ASHRAE (VVS-teknik, luftkonditionering och kylteknik)
- ARI (kylteknik)

Många av de internationella produktstandarderna från CEN och ISO har sitt ursprung i dokument från t.ex. ASHRAE, ARI, CECOMAF, EUROVENT etc.

5 Referenser

1. ASHRAE Handbook - Refrigeration - Systems and Applications. (ASHRAE, Atlanta, Georgia.) USA.
2. Axell, M, Fahlén, P, 1995. Evaluation of commercial refrigerated display cabinets - Experience from laboratory tests according to prEN 441. (XIVth International Congress of Refrigeration, augusti 1995, Haag.) Holland.
3. Axell, M, Andersson, G, Fahlén, P, 1998. Den energieffektiva kyldisken. Klimat 21 dagen den 3 december 1998, Stockholm.)
4. Djupfrysingsbyrån, 1998. Regelsamling för hantering av djupfrysta livsmedel. Helsingborg.
5. DTI, 1998. Empfehlungen des Deutschen Tiefkühlinstitutes zur Temperatursicherung in der Tiefkühlkette. Tyskland.
6. Fahlén, P, 2000. Luftkylare med påfrysning och avfrostning. (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB, Borås.)
7. Löndahl, G, 1996-1998. Kyltekniska föreningen informerar (ett antal fakta- och informationsblad). (Svenska Kyltekniska Föreningen, 1998, Stockholm.)
8. Melinder, Å, 1994. Termodynamiska egenskaper för köldbärare - Tabeller och diagram. (Svenska Kyltekniska Föreningen, Stockholm.)
9. Rigot, G, 1990. Meubles & Vitrines Frigorifiques. (Pyc Édition, 5, avenue de Verdun, BP 105, 94 208 Ivry-sur-Seine Cedex.) Frankrike.
10. Statens Livsmedelsverk, 1980. SLV FS 1980:6 Statens livsmedelsverks tillämpningskungörelse med föreskrifter och allmänna råd om transport av lättfördärliga livsmedel.
11. Statens Livsmedelsverk, 1993. SLV FS 1993:16 Statens livsmedelsverks kungörelse med föreskrifter och allmänna råd om hantering av djupfrysta livsmedel.
12. Statens Livsmedelsverk, 1995. SLV FS 1995:18 Bilaga 1-3 till överenskommelsen om internationell transport av lättfördärliga livsmedel och om speciell utrustning för sådan transport (ATP).
13. Statens Livsmedelsverk, 1996. SLV FS 1996:5 Statens livsmedelsverks kungörelse med föreskrifter och allmänna råd om hantering av livsmedel.