

<b>OSLO:</b> Postboks 4464 Nydalen, 0403 Oslo Telefon: 22 02 63 00  <b>LILLEHAMMER:</b> Elvegata 19, 2609 Lillehammer Telefon: 61 27 59 00  <b>SKIEN:</b> Lyngbakkveien 5, 3736 Skien Telefon: 35 58 85 00  Epost: firmapost@erichsen-horgen.no www.erichsen-horgen.no Foretaksreg.: NO 929 308 697 MVA	<b>KJØLEANLEGG FOR ISVANN</b>
	FoU-prosjekt nr. 50179
	RAPPORTTITTEL Kjøleanlegg for isvann
	OPPDRAKSGIVER Statsbygg
UTARBEIDET AV Jon Kåre Beisvåg Ida Bryn Odd-Erik Høye Kåre Langlie	PROSJEKTANSVARLIG I STATSBYGG Oddbjørn Evensen, Faglig ressurscenter Drift og vedlikehold Hilde Rustad, Faglig ressurscenter drift og vedlikehold
	DATO 20.03.2014

## SAMMENDRAG

Mange av Statsbyggs bygg har kjøleanlegg for kjøling av ventilasjonsluft og edb-rom. Det benyttes fortrinnsvis separate kjølemaskiner for komfort- og teknisk kjøling. De fleste av disseanleggene er dimensjonert med isvannstemperatur tur/retur 7°C/12°C. Statsbygg ønsket i detteprosjektet å få vurdert om dette er optimale temperaturforhold med hensyn på følgende faktorer:

- Kondens (fuktighet og korrosjon på batterier og rør)
- Energiforbruk (kjølemaskin, pumper og vifter)
- Anleggskostnader (rør, batterier, pumper, kjølemaskin)

Det var ønske om å sammenligne følgende temperaturforhold: 7 °C/12 °C, 10 °C/15 °C (eventuelt 10 °C/17 °C) og 12 °C /17 °C. Prosjektet viser at dagens løsning med henblikk på temperaturnivå og isolasjon medfører betydelig korrosjonsrisiko og kostnader. Forutsatt at det videre benyttes stålrør er prosjektets hovedanbefalinger er følgende:

- Øke temperaturnivået på isvannsanlegget til 10 °C /17°C.
- Ventilere tekniske rom og kulverter godt.
- Foreta jevnlig kontroll av isolasjon
- Stålrør korrosjonsmales
- Rørføringer må monteres slik at isolasjonen kan inspiseres og eventuelt skiftes.
- Det legges stor vekt på kontroll av håndtverksmessig utførelse av isolasjonen.

## INNHALDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING .....	3
2 ANBEFALINGER .....	3
3 LITTERATURSTUDIE .....	4
4 SYSTEMER .....	5
5 INNEKLIMA .....	7
6 KONDENS .....	8
7 KORROSJON .....	11
8 RØRKVALITET OG ISOLASJON .....	14
9 BYGG OG TEKNISKE ANLEGG.....	16
10 DIMENSJONERING - BEREGNINGER.....	17
11 ENERGIFORBRUK TIL DRIFT AV KJØLEANLEGGET .....	18
12 KOSTNADER .....	20

## 1 INNLEDNING

Mange av Statsbyggs bygg har kjøleanlegg for kjøling av ventilasjonsluft og edb-rom. Det benyttes fortrinnsvis separate kjølemaskiner for komfort- og teknisk kjøling. De fleste av disseanleggene er dimensjonert med isvannstemperatur tur/retur 7 °C/12 °C. Statsbygg ønsket i detteprosjektet å få vurdert om dette er optimale temperaturforhold med hensyn på følgende faktorer:

- kondens (fuktighet og korrosjon på batterier og rør)
- energiforbruk (kjølemaskin, pumper og vifter)
- anleggskostnader (rør, batterier, pumper, kjølemaskin)

Det var ønske om å sammenligne følgende temperaturforhold: 7 °C /12 °C, 10 °C /15 °C (eventuelt 10 °C /17 °C) og 12 °C /17 °C.

## 2 ANBEFALINGER

Prosjektet viser at dagens løsning med henblikk på temperaturnivå og isolasjon medfører betydelig korrosjonsrisiko og kostnader. Forutsatt at det videre benyttes stålrør er prosjektets hovedanbefalinger følgende:

- Øke temperaturnivået på isvannsanlegget til 10 °C/17 °C
- Ventilere tekniske rom og kulverter godt.
- Foreta jevnlig kontroll av isolasjon
- Stålrør korrosjonsmales
- Rørføringer må monteres slik at isolasjonen kan inspiseres og eventuelt skiftes.
- Det legges stor vekt på kontroll av håndverksmessig utførelse av isolasjonen.

Fordi den gjennomsnittlige duggpunktstemperaturen i Norge er svært lav anbefales det at en løsning tilsvarende HygroWick og eventuelt en diffusjonsåpen hygroskopisk løsning prøves ut i et begrenset omfang for det anbefalte temperaturnivået. Det er mulig at de anbefalte tiltak i kombinasjon med nye isolasjonsløsninger kan eliminere behovet for utskifting av isolasjon på sikt.

Plastrør synes å ha godt potensiale, men en har kort erfaring med dem. Det bør benyttes plastrør i et begrenset antall bygg som gis god oppfølging og erfaringshøsting i noen år i ettertid.

For øvrig viser prosjektet at energikostnadene til kjøleanlegg kan bli betydelige. Det ligger et stort potensiale i å utvikle systemløsninger slik at elektrisitetsbruk til transport av isvann, drift av vifter og kjølemaskiner reduseres.

### 3 LITTERATURSTUDIE

Generelt har det tidligere vært sparsomt med litteratur/fagbøker som har behandlet vannbårne klimakjøleanlegg mht. systemløsninger, temperaturnivåer, isolering og kondensproblematikk på røroverflater. Problemene med kondens og korrosjon er imidlertid vel kjent og en rekke artikler behandler temaet.

#### **Fagartikler på området Teknisk Isolering i tidsskriftet Dansk VVS 11/99**

Her beskrives utførelse av kjølerørisolering ut fra hensynet til minst mulig risiko for kondens på røroverflate. I artikkelen "HygroWick fjerner kondens på kolde rør" beskrives et prinsipp som drenerer vekk kondensvannet på innsiden av isolasjonene.

#### **Fagartikler i tidsskriftet Isoliertechnik 3/98, 1/99 og 2/99**

I 1/99 finnes en artikkel som har tittelen "Kalteisolierungen – mit oder ohne Dampfbremse". Det er med hensikt sagt "Dampfbremse" og ikke dampspørre fordi som det hevdes her: "Det er i praksis egentlig ikke mulig å forhindre fuktopptak i kjøleisolering selv med i utgangspunktet diffusjonstett mantling. Dette pga. "kostnadsgunstige" montaseløsninger, og skader på isolasjonen som det øyensynlig er umulig å unngå. Korrosjonsbeskyttelse av røroverflater eller bruk av korrosjonssikre materialer anses derfor alltid nødvendig. Det sies videre at med isolasjonstyper med lukket cellestruktur og stor diffusjonsmotstand kan det diskuteres nødvendigheten av yttermantling som ekstra dampbremse. Artikkelen beskriver for øvrig resultatene fra en omfattende undersøkelse av diffusjonsmotstand for aktuelle isolasjonstyper for kjølerør.

#### **Statsbyggs håndbok om vannbåren energi (Varme og kjøling), mars 1998**

Behandler distribusjonssystemer i varme- kjøleanlegg med konstante volumstrømmer og variable volumstrømmer (Mengderegulering). Håndboken er i første rekke ment som hjelp til riktig valg av systemløsninger. Temperaturnivåer behandles i mindre grad.

#### **Ventøk 5.4 Isvannssystemet, 1998**

Her beskrives også distribusjonssystemer for anlegg med både konstante og variable volumstrømmer. Dessuten omhandles bl.a. temperaturnivåer og isolering. Det påvises betydelige fortrinn med høyere temperaturer enn de tidligere tradisjonelle mht. driftsøkonomi og kondensproblematikk.

#### **Fagartikkel i VVS Teknisk Magasin 8/97: "Erfaringer fra større og mindre fjernkjøleanlegg"**

Her påpekes bl.a. at kjølesentraler for klimakjøling i bygninger ofte er betydelig overdimensjonert, med små temperaturdifferanser tur/retur som følge (Anlegg med konstant volumstrøm).

#### **Fagartikkel i VVS Magasin 8/97 "Anleggseksempler på fjernkjøling"**

Det konkluderes med overdimensjonering og små temperaturdifferanser. Problemer med stålrør/isolering/kondens i gangbare kulverter har i nyere anlegg (Gardermoen bl.a.) ført til

bruk av samme type som i fjernvarmeanlegg, dvs. stålrør prefabrikkert med polyuretanisolering innkapslet i kappe av polyetylen.

#### **Prenøk 5.19 Praktisk isolering av varme- og kjølerør, 1998**

#### **Fagartikkel "Nye dimensjonerende vanntemperaturer" i VVS Teknisk Magasin 2/95**

Her foreslås "nye" temperaturnivåer for varme- og kjøleanlegg. Denne bygger på en mer grunnleggende vurdering i "Kostnader og temperaturnivåer i varme- og kjøleanlegg".

#### **Fagartikkel "Kostnader og temperaturnivåer i varme- og kjøleanlegg" i VVS Teknisk Magasin 8/94**

Her presenteres bl.a. konsekvenser for anleggskostnader i kjøleanlegg som følge av endringer i temperaturer og – differanser.

#### **Sammenfatning litteratur:**

Prosjektering av klimakjøleanlegg har til nå for den alt overveiende blitt prosjektert for 14 °C/16 °C for kjøletak og konvektorer og 7 °C/12 °C kjølebatterier i ventilasjonsanlegg og viftekonvektorer.

Da det ikke har vært særlig utbredt med temperaturkompensering har nok overflatetemperaturen på kjølerørene vært lavere enn duggpunktstemperaturen til omgivende luft en stor del av driftstiden for svært mange kjøleanlegg. Dette kommer da også klart frem ved påvisningen av korrosjonsskader ved undersøkelser av eksisterende anlegg som beskrevet i kapittel 7. Da det i litteraturen er dokumentert at temperaturdifferansen tur/retur ofte er liten er problemet gjerne tilstede også på returledningene.

Det er derfor svært gode grunner for anbefalingene i litteraturen om høyere turtemperatur og – differanser – også av hensyn til kondensproblematikken.

## **4 SYSTEMER**

Kjøleenhetene i klimakjøleanlegg kan i hovedsak deles inn i kjøletak og konvektorer, kjølebatterier for ventilasjonsanlegg, viftekonvektorer og dataromskjølere. Tabell 1 viser en oversikt over de mest brukte temperaturnivå for disse komponentene i dag. Kjøletak og konvektorer har fått et høyere temperaturnivå enn de andre komponentene fordi de ikke har noen drenering og kondens må derfor ikke forekomme. I ventilasjonsanlegg ønsker en et lavt temperaturnivå for bl.a. å kunne avfukte ventilasjonsluften. En viktig årsak til ønske om avfukting av ventilasjonsluften er at en da reduserer risikoen for kondens på lokale kjøleenheter. En annen årsak er at luftkvaliteten oppleves bedre med tørr enn med fuktig luft.

Tabell 1 Tradisjonelt temperaturnivå for ulike kjøleenheter

Komponent	Temperaturnivå
Kjøletak og konvektorer	14 °C/16 °C
Kjølebatterier i sentrale ventilasjonsaggregater	7 °C/12 °C
Viftekonvektorer (Fancoils) i butikksentrer og hotell	7 °C/12 °C
Dataromskjølere	7 °C/12 °C

Valget av lavt temperaturnivå for viftekonvektorer skyldes sannsynligvis at lavt temperaturnivå gir mindre og rimeligere enheter.

I denne rapporten vurderes blant annet heving av temperaturnivået i kjøleinstallasjoner for å redusere kondens- og korrosjonsrisikoen. Konsekvensen av midlere høyere temperaturnivå for kjøleenhetene er at komponentene blir større og at vi får mindre kondensutfelling. Følgende tre temperaturnivåer sammenlignes økonomisk, energimessig og risikomessig i forhold til kondens:

Alternativ 1: 7 °C/12 °C

Alternativ 2: 12 °C/17 °C

Alternativ 3: 10 °C/17 °C

I Tabell 2 er mulige fordeler og ulemper satt opp for de ulike temperaturnivåene. En gjennomregning av et eksempel vil indikere størrelsen på de økonomiske og energimessige konsekvensene.

Tabell 2 Fordeler og ulemper ved ulike temperaturnivåer

Temperaturnivå	Fordeler	Ulemper
Alternativ 1: 7 °C/12 °C	<b>Viftekonvektorer</b> Høy effekt ved liten størrelse på viftekonvektorer. <b>Ventilasjon</b> Gir mulighet for avfukning av ventilasjonsluft <b>Kjøletak og konvektorer</b> Kan benytte returvann fra viftekonvektorer og ventilasjon til kjøletak.	<b>Kostnader</b> Høye årskostnader <b>Kondens</b> Store kondensproblemer
Alternativ 2: 12 °C/17 °C	Vurdering i forhold til alternativ 1 <b>Ventilasjon</b> Redusert periode med mye fukt og derved redusert risiko for mikrobiell vekst. <b>Kondens</b> Sterkt redusert kondensrisiko. Under uteluftens duggpunktstemperatur kun 7 % av året. <b>Kostnader</b> Reduserte årskostnader <b>Energi</b> Lengre periode med frikjøling og bedre effektfaktor	<b>Ventilasjon</b> Redusert avfukning av ventilasjonsluft Høyere trykkfall over ventilasjonsbatteri Større ventilasjonsbatteri <b>Viftekonvektorer</b> Redusert ytelse og evt. større viftekonvektorer. <b>Kjøletak og konvektorer</b> Nødvendig å heve temperaturen på lokalkjøleanlegget i perioder med høy luftfuktighet og temperatur på uteluft. Gir derved periodevis redusert kapasitet på det lokale kjøleanlegget.
Alternativ 3: 10 °C/17 °C	<b>Kostnader</b> Reduserte årskostnader For øvrig en mellomting mellom alternativ 1 og 2.	En mellomting mellom alternativ 1 og 2.

## 5 INNEKLIMA

Fukt er den faktoren det knyttes sterkest mistanke til mhp dårlig inneklime i bygg i dag. Tradisjonelt har problemene vært beskrevet i forbindelse med fuktskader i bygget.

Klimakjøleanlegget kan også utgjøre en risiko på flere måter:

Kondens på rør kan i tillegg til korrosjon gi vannskade og vekst av mikroorganismer. Fordi rørene går skjult oppdages skadene i mange tilfeller ikke før de er svært omfattende. Skadene kan derfor bli kostbare å utbedre.

Fukt kan føre til vekst av mikroorganismer. Det er vel kjent at mikroorganismer kan gi helseskader/plager for folk som utsettes for dem. Dette fører til redusert produktivitet og økt sykefravær.

Lav temperatur på kjølebatteriet i ventilasjonsanlegget gir høy kondensutfelling. Dette fører til lengre perioder med fukt i ventilasjonsanlegget. Risikoen for mikrobiell vekst er den samme i ventilasjonsanlegget som bygget for øvrig, men konsekvensen kan bli større ved

at eventuelle mikrober spres i hele bygget. Et viktig tiltak mot denne risikoen er å heve temperaturen på kjølebatteriet og derved redusere perioden med kondens.

Høyere temperaturnivå vil føre til høyere luftfuktighet på luften som tilføres rommet. Dette gir noe redusert komfort og opplevd luftkvalitet.

## 6 KONDENS

Kondens er vann som felles ut av luften når luften kjøles ned til en temperatur som er lavere enn luftas duggpunktstemperatur. Når luft passerer en kald flate kjøles luften lokalt ned ved flaten. Dersom flatetemperaturen er lavere enn duggpunktstemperaturen for luften vil dugg/kondens dannes på flaten.

Risikoen for kondens er derfor avhengig av:

Lufttemperatur

Fuktinnhold i luften

Strømningsforhold i rommet

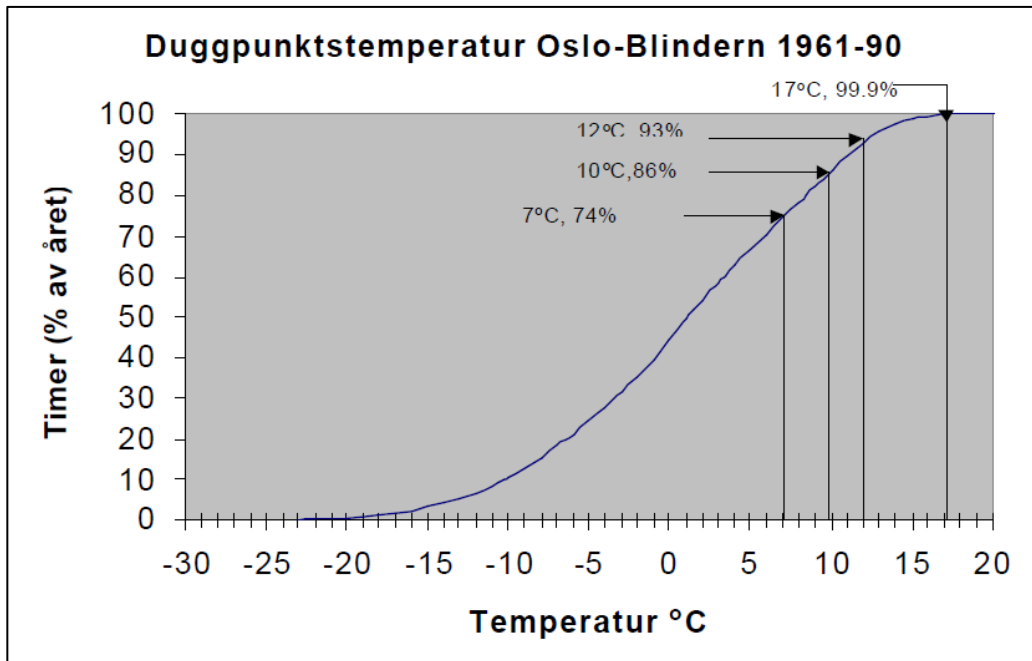
Overflatetemperaturer

En del av disse parameterne varierer over tid og de kan påvirkes. For klimakjøleanlegg har temperaturene 7/12 °C vært mye brukt. For slike anlegg vil en få kondensrisiko på turløpningen for duggpunktstemperaturer over 7 °C, mens det på returledningen oppstår kondens ved duggpunktstemperaturer over 12 °C.

### 6.1 Temperaturnivå og varighet på duggpunktetsrisiko

Hvis vi regner at røranlegget er plassert i et rom som er godt ventilert med uteluft og det ikke er noen fuktavgivelse i rommet vil duggpunktstemperaturen i rommet bli den samme som for uteluften. Varighetskurven for duggpunktstemperaturen i Oslo på Blindern er vist i Figur 1.





Figur 1 Duggpunktstemperatur for Oslo - Blindern (Kilde DNMI)

Verdiene er ifølge DNMI konservative fordi de er basert på flest dagobservasjoner. Høyeste målte duggpunktstemperatur i perioden er 20.1 °C. Som det fremgår overstiger duggpunktstemperaturen 7 °C 26 % av tiden, 10 °C 14 % av tiden, 12 °C 7 % av tiden og 17 °C 0.1 % av tiden. Dette viser at en ved å øke vanntemperaturen fra 7 til 10 °C nesten halverer perioden med risiko for dugg på røret uten isolasjon og ved 12 °C er perioden redusert til 1/3 i forhold til ved 7 °C

En løsning med en turtemperatur på 10 °C vil derfor kunne henimot halvere tiden hvor kondens dannes og derved redusere korrosjonsrisikoen i forhold til en løsning med turtemperatur på 7 °C.

For systemløsninger der en regulerer turtemperaturen etter retur temperaturen slik at turtemperaturen holdes høyest mulig vil gevinsten av dette kondensmessig være begrenset fordi det sannsynligvis vil være sammenfall mellom behov for lav turtemperatur og høy duggpunktstemperatur ute. En slik løsning kan derimot ha andre gunstige effekter som redusert energibehov.

## 6.2 Tekniske rom, føringer og sjakter

I tekniske rom kan det ofte være varmt og en del vannsøl knyttet til drenering. Dette fører til at disse rommene har høyere duggpunktstemperatur enn andre rom. God ventilasjon er et viktig tiltak for å både redusere overtemperatur og for å fjerne fukttilførsel i tekniske rom. På samme måte bør også føringsveier og sjakter ventileres.

Dersom anlegget har ventilasjonskjøling vil en ved høye temperaturer og fuktighet på uteluften også avfukte en god del. Dette er igjen selvsagt avhengig av temperaturnivået på ventilasjonskjølesystemet. En viktig årsak til at 7 °C er benyttet på kjøleanlegg er at det gir gode muligheter for avfukning av lufta. Dersom en velger å heve vanntemperaturen får en derved mindre avfukning på ventilasjonen i bygget.

## 6.3 Isolasjon

Isolasjon på kjølerør har i hovedsak to funksjoner:

- Å redusere at temperaturen på vannet stiger unødvendig
- Å hindre kondens på utsiden av isolasjonen

Det er i dag vanlig å dimensjonere kjøleisolasjon slik at en ikke får kondens på utsiden av røret ved en gitt temperatur og fuktighet.

Isolasjonsleverandørene anbefaler også at isolasjonen dimensjoneres slik at langtidsoppfukning unngås. En anbefaler maksimalt 5 % oppfukning etter 10 år. Når leverandørene regner bruker de gjerne en gjennomsnittlig temperatur på 20°C og 50 % RF. Dette gir en gjennomsnittlig duggpunktstemperatur på 9 °C. Kurven fra DNMI viser imidlertid at duggpunktet for uteluften ligger under 1 °C 50 % av året og over 9 °C ca. 15 % av året. For godt ventilerte områder er det derfor kun risiko for oppfukning av isolasjonen for anlegg med lavere medietemperatur enn 1 °C. Langtids oppfukning gjennom isolasjonen er der derfor ikke relevant for de temperaturer vi opererer med i isvannsanlegg. Det høye kravet til permeabilitet er derfor heller ikke nødvendig.

Som omtalt i kapittel 7 viser erfaringer at det ofte samler seg vann under cellegummi og at den sjelden tørkes opp slik at røret korroderer. Dette skyldes at damp trenger inn til røret gjennom sprekker/skader i isolasjonen med svært lav diffusjonsmotstand. Inne ved røret kondenserer dampen og fordeler seg under isolasjonen langs rørflaten. Isolasjonen er svært diffusjonstett og vannet hindres i å fordampe. Slik bygges det opp stadig mer vann under isolasjonen for hver gang luftas duggpunktstemperatur ligger under overflatetemperaturen på røret. Når utførelsen er dårlig forverrer den diffusjonstette isolasjonen situasjonen.

Det faktum at vi i Norge i store deler av året har et svært tørt klima gjør at en kan vurdere å undersøke en diffusjonsåpen isolasjon kombinert med økt temperatur på isvannet. Det er avgjørende at isolasjonen er tykk nok til å absorbere all periodisk fukt og at den ikke gir grunnlag for muggvekst.

Ved DTU er det utviklet et kjøleisolasjonsprinsipp kaldt HygroWick som drenerer ut kondensen inne i isolasjonen. Prinsippet går ut på å legge et hygroskopisk materiale rundt røret og som føres ut gjennom isolasjonen og diffusjonssperren. Det hygroskopiske materialet fungerer som en veke og må føres ut under røret eller komponenten. Prinsippet er beskrevet i Dansk VVS/VVB nr 11 1999. Det hygroskopiske materialet er her beskrevet sammen med mineralull isolasjon med diffusjonssperre utenpå.

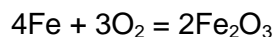
I Norge er det praksis for å bruke cellegummi med høy diffusjonstetthet. Konklusjonen vi kan trekke her basert på klimadata fra DNMI er at en ikke har behov for så høy diffusjonstetthet for luftkjøleanlegg med mindre anlegget er plassert i rom med høy fuktavgivelse. Videre bør det vurderes å benytte et vekeprinsipp tilsvarende Hygrowick i kombinasjon med cellegummisolasjon. Valg av hygroskopisk materiale og hvor mye av materialet som må stikke ut gjennom cellegummien må utredes og utprøves.

Rørisolasjon belegges ofte med aluminiumsmantel. Aluminiumen har lavere emmisivitet enn andre materialer og vil redusere overflatetemperaturen på isolasjonen. I tekniske rom og sjakter med liten ventilasjon vil det kunne bli stillestående luft i deler av rommet. Dette vil også redusere overflatetemperaturen på røroverflaten. God ventilasjon og god plass mellom rørene vil forbedre dette.

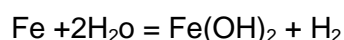
## 7 KORROSJON

### 7.1 Generelt

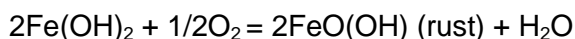
Når stål rustet, kobber irrer eller andre metaller nedbrytes på lignende måte, kalles fenomenet korrosjon. Korrosjon oppstår når materialet reagerer kjemisk med omgivelsene og danner mer stabile forbindelser. Følgende kjemiske reaksjon vil bl.a. foregå når jern er i kontakt med luft:



Ved vanlig temperatur og tørr luft går prosessen meget langsomt. Når jern kommer i kontakt med vann, vil bl.a. følgende dannes:



I kontakt med oksygen (i lufta og i vannet) vil jern (II) hydroksydet oksyderes til det man vanligvis betegner som rust:



Ovennevnte reaksjonslikninger beskriver bare bruttoforløpet av korrosjonsprosessen og gir ingen opplysninger om det detaljerte reaksjonsforløpet som ofte er svært komplisert.

Det har vist seg at de fleste korrosjonsprosesser er av elektrokjemisk natur. Det betyr at det oppstår katodiske og anodiske områder på en metalloverflate, slik at det foregår en elektrontransport gjennom metallet, mens det samtidig finner sted en ionetransport i et elektrolytisk overflatesjikt som vanligvis består av vann.

Det finnes et utall måter som kan gi anode/katode forhold på metalloverflaten. Utfellinger på metalloverflaten, dvs. at det dannes områder med edlere- og uedlere partikler, kan bevirke at det oppstår anode/katode forhold på metalloverflaten. Slike forhold kan også oppstå som følge av forskjeller i miljøet på overflaten.

En enda sterkere korrosjon vil oppstå dersom to ulike metaller koples sammen i et miljø inneholdende oksygen og vann. Jo lengre de to metallene står fra hverandre i spenningsrekka, desto sterkere blir vanligvis korrosjonen av det mest uedle metallet. For eksempel vil jern ( $E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44 \text{ V}$ ) korrodere kraftigere i kontakt med kobber ( $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ V}$ ) enn i kontakt med nikkel ( $E_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}}^0 = -0,25 \text{ V}$ ) under ellers like forhold.

## 7.2 Korrosjon forårsaket av kondensering på røroverflaten

Rør i isvannsanlegg isoleres for å forhindre kondens og for å begrense kuldetap. For å forhindre kondensering, må isolasjonstykkelsen være tilstrekkelig til holde isolasjonens ytre overflate over duggpunktstemperaturen for den omgivende luft. I tillegg må isolasjonsmaterialet enten være damptett eller dersom isolasjonen er dampgjennomtrengelig, må denne ha en damptett kappe.

Overflatetemperaturen på kalde rør vil i perioder være under duggpunktstemperaturen for den omgivende luft. Dersom isolasjonen er skadd eller isolasjonen er for tynn vil disse rørene i perioder kunne utsettes for kondens ved at vandamp trenger inn til røroverflaten som en følge av vandamptrykket. Vannet kan trenge inn gjennom en liten skade i isolasjonen. Ved røroverflaten kondenserer vannet og trekkes inn under isolasjonen. Fordi isolasjonen er diffusjonstett hindres denne fuktigheten i å tørke ut og vannansamlingen blir varig. Kondensering eller vannansamling på røroverflaten over et lengre tidsrom vil medføre alvorlig korrosjon på røret.

I luftkjøleanlegg har det tradisjonelt vært vanlig å benytte sorte stålrør eller kombinasjonen sorte stålrør/pressfitting system (galvanisert stål, Mannesmann) rustbehandlet og isolert med neoprencellegummi. Før neoprencellegummi ble introdusert, ble det bl. a. benyttet isopor-skåler i kombinasjon med asfalt-tettingsmasse. De senere års erfaring med kjøleanlegg som har vært i drift en tid, viser at det har oppstått til dels betydelige korrosjonsskader på deler av isvannsrørene som følge av kondensering på røroverflaten.

### 7.3 Anleggsbefaring

For å verifisere eventuelt avkrefte ovennevnte påstand, har vi derfor foretatt befarings av kjøleanleggene tilhørende; Norges Bank Hovedkontor, Aker Brygge, byggetrinn 2 og DNMI (Det norske meteorologiske institutt), alle anlegg beliggende i Oslo. Kjøleanleggene tilhørende Norges Bank har vært i drift i ca.13 år, Aker Brygge Btr.2 i ca. 10 år og DNMI i 12 år.

Ved befaringsene er det foretatt inspeksjon av rør/flenser etc. i ulike typer kjølekurser ved stikkprøvemessig å demontere en del av isolasjonen på: rette strekk, ved klammer, inntil komponenter etc. Foruten registrering av korrosjonsomfanget med bilde, er rørdimensjon/-materiale, evt. priming, isolasjonstype/-tykkelse, medietemperatur og ved spesielle forhold romtemperatur og relativ fuktighet registrert. Bildene med kommentarer finnes i vedlegg.

### 7.4 Erfaringer

Stikkprøvekontroll av ovennevnte anlegg viser at det er til dels betydelige korrosjonsskader på deler av isvannsanlegget, se vedlagte illustrasjoner og tekst. Alle de undersøkte anleggene hadde stålrør isolert med cellegummi.

Befaringene viste generelt følgende:

- Jo lavere isvannstemperatur, desto større sannsynlighet for korrosjonsskader.
- Jo bedre ventilert et område er desto mindre korrosjonsskader på rørene.
- Fysiske skader på cellegummi samt limskjøter som sprekker opp er et stort problem.

For øvrig registrerte vi at det er mye korrosjon i forbindelse med:

- Fysiske skader på cellegummi og langsgående limskjøter som har sprukket opp.
- Rør som ikke er primet.
- Undersiden av horisontale rør. Kondensvann samler seg her.
- Turrør i forhold til returrør.
- Flenser og utstyr.
- Oppheng og tverrgående limskjøter.
- Ventilspindler.
- Måleuttak.
- Vertikale rør hvis det er skade på isolasjonen.
- Dårlig ventilerte tekniske rom, sjakter og føringsveier.
- 

Av momenter som er viktige i forbindelse med bruk av neoprencellegummi kan nevnes:

- Det er viktig med korrekt isolasjonstykkelse i forhold til medietemperatur, romluftstemperatur og relativ fuktighet.
  - Ved mantling av cellegummi i eksempelvis kjølesentral, bør skinner benyttes idet boring av hull for popnagler ofte skader isolasjonen.
  - Ved aluminiumsmantling må det benyttes tykkere isolasjon for å unngå kondens på isolasjonsoverflaten.
-

- Ved brann vil det oppstå ulmebrann i cellegummien, som vil utskille klorider som bl.a. er ugunstig for datautstyr.
- Generelt må skjøter, punkter rundt armatur/utstyr sjekkes bedre.
- En viktig årsak til at det er mye utette skjøter skyldes bruk av for mye lim.
- Det er viktig at det ikke benyttes tape over skjøter. Det vil hindre gasser i å slippe ut.
- Et problem for isolatøren er bl.a. at det brukes ventiler med korte halsar med dårlig plass til montasje av isolasjonen.
- Det synes å være viktig å kjøpe komplette pakker fra en leverandør slik at materialer, lim og røroppheng passer sammen.

Ved bruk av cellegummi/stålrør bør det utføres jevnlig kontroll og påregnes utskifting av cellegummi etter en viss tid. Det må derfor etableres tilgjengelighet for både rør og isolasjon i sjakter og tekniske rom.

## 8 RØRKVALITET OG ISOLASJON

Foruten temperatur og relativt fuktighetsnivå til den omgivende luft samt medietemperaturen i røret, vil valg av rørtype/-kvalitet og isolasjonstype/-tykkelse være viktige parametere i arbeidet med å forhindre kondensering/korrosjon på kjølerørsledninger.

Vi har foretatt en kort vurdering av noen aktuelle rørtyper egnet for bruk i kjølerørsanlegg, og listet opp en del fordeler og ulemper ved de ulike typene.

Følgende rør-/isolasjonstyper er vurdert:

- Sorte stålrør/galvaniserte pressfittingsrør (Mannesmann) i kombinasjon med neoprencellegummi.
- Plastrør (Polypropylen PP), type Fusiotherm, faser-kompositt i kombinasjon med neoprencellegummi.
- Syrefaste stålrør i kombinasjon med neoprencellegummi.
- Preisolerte stålrør, sorte stålrør isolert med polyuretanskum med kappe av PEH-, aluminiums- eller stålmantel.

### 8.1 Sorte stålrør/galvaniserte pressfittingsrør i kombinasjon med neoprencellegummi

Fordeler:

- Stor slagfasthet og stivhet.
  - Liten lengdeutvidelse.
  - Generelt gode branntekniske egenskaper. Ikke brennbar.
  - Ingen avgasser.
  - Galvaniserte pressfittingsrør (Mannesmann) DN 10-50, lette og raske å montere.
  - Lave investeringskostnader.
  - Miljøvennlig, resirkulerbart
-

**Ulemper:**

- Sorte stålrør, DN 65 og oppover er relativt tidkrevende å montere på grunn av stor tyngde, behov for sveising og solid klamring. (Nye hurtigkulingssystemer reduserer montasjetiden).
- Branntekniske forholdsregler må ivaretas ved sveising i eksisterende bygg.
- I kombinasjon med neoprencellegummi; erfaringsmessig relativt store korrosjonskader som følge av kondens.
- Vannbehandling påkrevd for å hindre korrosjon på innsiden av rør.

**8.2 Plastrør i kombinasjon med neoprencellegummi****Fordeler:**

- Korrosjonsfritt, utvendig og innvendig. Ingen groing/algevekst innvendig i følge leverandør.
- Montasjevennlig, liten tyngde, enkel å bearbeide. Enkelt å anslutte et mindre rør.
- Avgir ikke skadelige gasser verken ved fusjonsveising eller brann. Ved brann dannes det vann og CO<sub>2</sub>.
- Lyddempende materiale.
- Miljøvennlig, gjenvinnbar Polypropylen.
- Akseptabel lengdeutvidelse (i størrelsesorden tilsvarende kobber-rør).

**Ulemper:**

- Begrenset slagfasthet og stivhet i forhold til stålrør, krever noe tettere klamring.
- Branntekniske gjennomføringer noe mer omfattende enn ved sorte stålrør.
- Største dimensjon DN 100.
- Relativt nytt produkt (10 år i Europa), Lite erfaringsdata over tid foreligger.
- Kombinasjon med neoprencellegummi vil sannsynligvis gi kondens på innsiden av isolasjon.

**8.3 Syrefaste stålrør i kombinasjon med neoprencellegummi.****Fordeler:**

- Stor slagfasthet og stivhet.
- Liten lengdeutvidelse.
- Generelt gode branntekniske egenskaper. Ikke brennbart.
- Ingen avgasser.
- Korrosjonsbestandig, utvendig og innvendig.
- Tynnveggede rør, liten tyngde.
- Lang levetid, lave vedlikeholdskostnader.

**Ulemper:**

- Høye materialpriser og investeringskostnader.
  - Dimensjoner over DN 50 må sveises. Det stilles store krav til utførelse av sveisearbeidene.
  - Rørene er tidkrevende å montere.
-

- Branntekniske forholdsregler må ivaretas ved sveising i eksisterende bygg.
- Tynnveggede rør vil lettere kunne overføre støy fra utstyr tilknyttet kjølerørsanlegget.
- Kombinasjon med neoprencellegummi vil sannsynligvis gi kondens på innsiden av isolasjon.

Det finnes varierende rørkvaliteter mellom syrefaste rør og sorte stålrør. Betrachtingene for syrefaste rør og sorte stålrør må derfor ses som to ytterpunkter hvor det er mulig å finne gode løsninger som ligger mellom.

#### 8.4 Preisolerte stålrør

Disse er ofte bygd opp av sorte stålrør isolert med polyuretanskum med kappe av PEH-, aluminiums- eller stålmantel.

Fordeler:

- Stor slagfasthet og stivhet.
- Liten lengdeutvidelse på stålrør.
- Lang levetid, lave vedlikeholdskostnader.
- Gode erfaringer fra kuldeanlegg.
- Korrosjons- og kondensproblemer på røroverflaten eliminert, bl.a som følge av at klamring av rør utføres på utvendig kappe.
- Avgir ikke skadelige gasser.

Ulemper:

- Høy investeringskostnad.
- Redusert montasjevennlighet, tyngde øker med i størrelsesorden 15% i forhold til sorte stålrør, omkretsen øker.

Arbeidskrevende montasje av mantel og polyuretanskum i anlegg med mye deler. Stiller store krav til utførelse.

- Polyuretanskum ikke godkjent i forbindelse med rømningsveier.
- Lite miljøvennlig pga. helseskadelige stoffer i polyuretanskummet og at isolasjonen gjør røret vanskelig gjenvinnbart.
- Vannbehandling påkrevd for å hindre korrosjon på innsiden av rør.

I praksis vil vi anta at preisolerte stålrør egner seg for bruk i distribusjonsnett, mens stålrør med polyuretanskum og stålmantel isolert og mantlet på stedet er mest aktuell i forbindelse med arbeider i kjølesentraler etc.

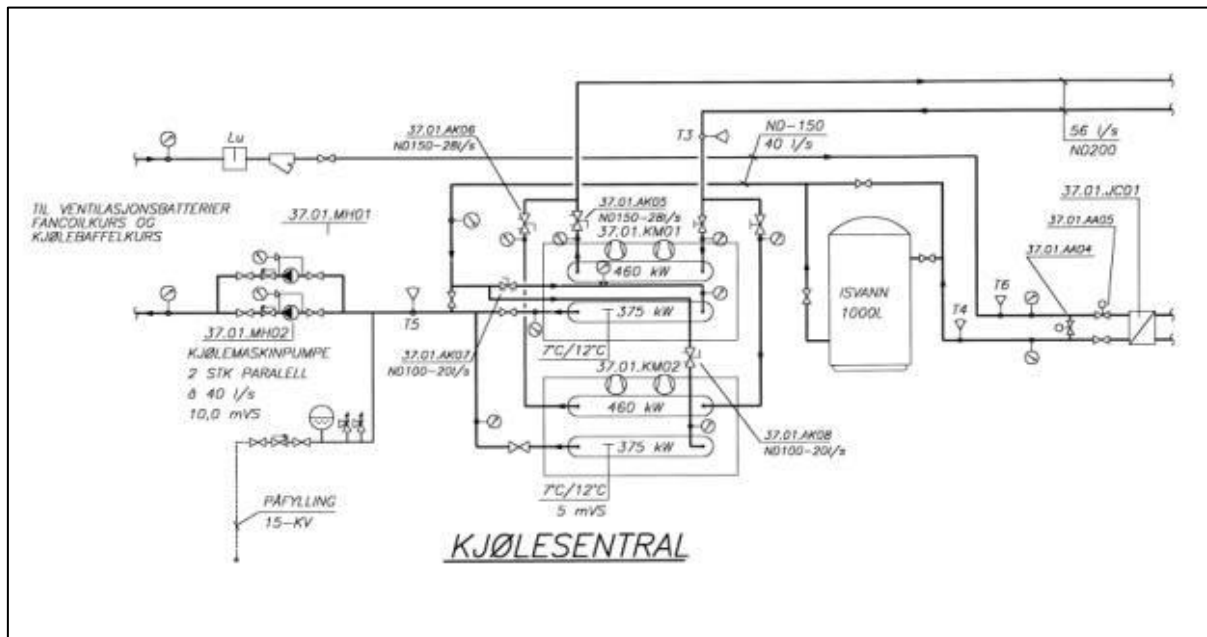
## 9 BYGG OG TEKNISKE ANLEGG

Brynsalleen 2 er benyttet som eksempel. Det er et kontorbygg bygget for et datafirma med mye varmeavgivende utstyr. Bygget består av 6 etasjer pluss messanin over bakken samt en underetasje og to kjelleretasjer. Brutto kontorareal utgjør ca 8000 m<sup>2</sup>.



### 9.1 35 Kuldeanlegg og 37 Luftkjøleanlegg

Bygget er utstyrt med 2 stk. parallellkoblede isvannsmaskiner for betjening av 2 stk. ventilasjonsaggregater (prosjektert luftmengde  $10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ), lokalkjøleanlegg (bl.a. kombibaffel i hvert kontor) samt separat fancoil kurs (kjøling av datarom etc.). Oppbyggingen av anlegget er vist i Figur 2. Ventilasjonsaggregatene er plassert i hhv. 1.kjeller og messaninetasje. Isvannsmaskinene som er plassert i kjølesentral i 1.kjeller er tilknyttet tørrkjølere på tak. Det er installert varmeveksler/frikjølingsveksler for betjening av kjølebehovet vinterstid. Isvannsanlegget er tradisjonelt oppbygget med ledningsnett bestående av sorte stålrør for dimensjon DN65-DN200.



Figur 2 Prinsippskjema for kjøleanlegget

For mindre dimensjoner er det benyttet galvaniserte Mannesmann rør. Av armatur/utstyr kan nevnes isvannstank, pumper, filter, mikrobobleutskiller, stenge- og strupeventiler, reguleringsventiler, ekspansjonsanlegg etc. Rør og utstyr er isolert med neoprencellegummi. Før isolasjonen er påsatt er rørene behandlet med rustbeskyttende maling.

### 10 DIMENSJONERING - BEREGNINGER

Erfaringene fra tradisjonelle kjøleanlegg som har vært i drift en stund, dvs. anlegg bestående av sorte stålrør/Mannesmann rør isolert med neoprencellegummi, viser at det er til dels betydelige utvendige korrosjonskader på stålrørene som følge av kondensering. Årsakene til dette er mange, men i hovedsak viser det seg at jo lavere væsketemperatur i røret og

høyere relativ fuktighet i romluften desto større risiko er det for at det skal oppstå kondensskader over tid.

For å forebygge slike skader kan det derfor bli aktuelt å endre temperaturnivåene i kjøleanlegget, benytte andre typer rørmaterialer; eksempelvis plastrør (PP), syrefaste rør eller preisolerte rør (stålrør isolert med polyuretanskum og PEH-/aluminiums-/stålmantel), endre isolasjonstykkelse/krav til utførelse eller rett og slett påregne at isolasjon /rørmaterialet må oppgraderes etter en viss tid.

Som en del av vurderingen av årskostnadene for ulike alternativer fremkommet av ovennevnte parametre, har vi med utgangspunkt i den isvannsbaserte delen av kjøleanlegget i Brynsalleen 2 (hovedsakelig bestående av kjølesentralen), foretatt databeregninger av røranlegget for å finne investeringskostnadene, ved hhv. temperatur 7/12 °C, 12/17 °C og 10/17 °C. Anlegget er opprinnelig designet for 7/12 °C.

For å beregne røranlegget har vi benyttet dataprogrammet PFDIM. Programmet leser inn et kart over rørnett, beregner vannmengden i alle rørene og dimensjonerer rørene iht. en maksimal rørmotstand. I beregningene har vi benyttet 20mmVS/m. Foruten beregning av totaltrykkfallet i systemet, innstillingsverdier for strupeventiler/radiatorventiler, vannvolum etc. foretar programmet en masse- og kostnadsberegning av rør, stenge- og strupeventiler etc. basert på summerte masser og innlagte enhetspriser på rør og armatur. PFDIM tar hensyn til at vannet forandrer tetthet og viskositet når temperaturen varierer i rørnett. Rørmotstander og støttap i avgreininger beregnes ved bruk av bl.a. Coolebrokes formel.

Beregningene er foretatt med tekniske data (ruhetsfaktor, innvendig diameter etc.) for normaltykke sorte stålrør. Aktuelle rørdiameter i beregningen har vært DN65-200. I beregningen er det benyttet gjennomsnittlige enhetspriser for ferdig lagte og isolerte sorte stålrør, ventiler etc. fra tilsvarende anlegg.

Ved de alternative temperaturnivåene 12/17 °C og 10/17 °C er det forutsatt bruk av samme isolasjonstykkelse som ved 7/12 °C.

## 11 ENERGIFORBRUK TIL DRIFT AV KJØLEANLEGGET

Energiflyten i et bygg avhenger av en rekke forhold, blant annet vil driftstider for tekniske anlegg, interne belastninger, fasadeutforming o.l ha stor betydning. For å kunne vurdere hvordan valgt temperaturnivå på isvannsanlegget vil kunne påvirke det årlige energiforbruket er det foretatt simuleringer for anleggene i kontorbygget Brynsallen 2.

### 11.1 Meteorologiske data

Ved beregning av energibudsjettet for kjøling er det forutsatt at uteforholdene er i tråd med et normalår.

### 11.2 Kjølebehov og årlig energiforbruk til drift av kjølesentralen

I forhold til det som kan betraktes som et gjennomsnittlig kontorbygg har Brynsallen 2 en relativ stor intern varmebelastning, dette som følge av mye datateknisk utstyr. Samlet har bygget et kjølebehov ved dimensjonerende forhold på 750 kW. Av dette er det en konstant kjølebelastning på 80 kW. Når utetemperaturen tillater det utnyttes tørrkjølerne som er plassert på taket av bygget til frikjøling.

Det sentrale isvannsanlegget er dimensjonert for en turtemperatur på 7°C og en returtemperatur ved dimensjonerende forhold på 12°C.

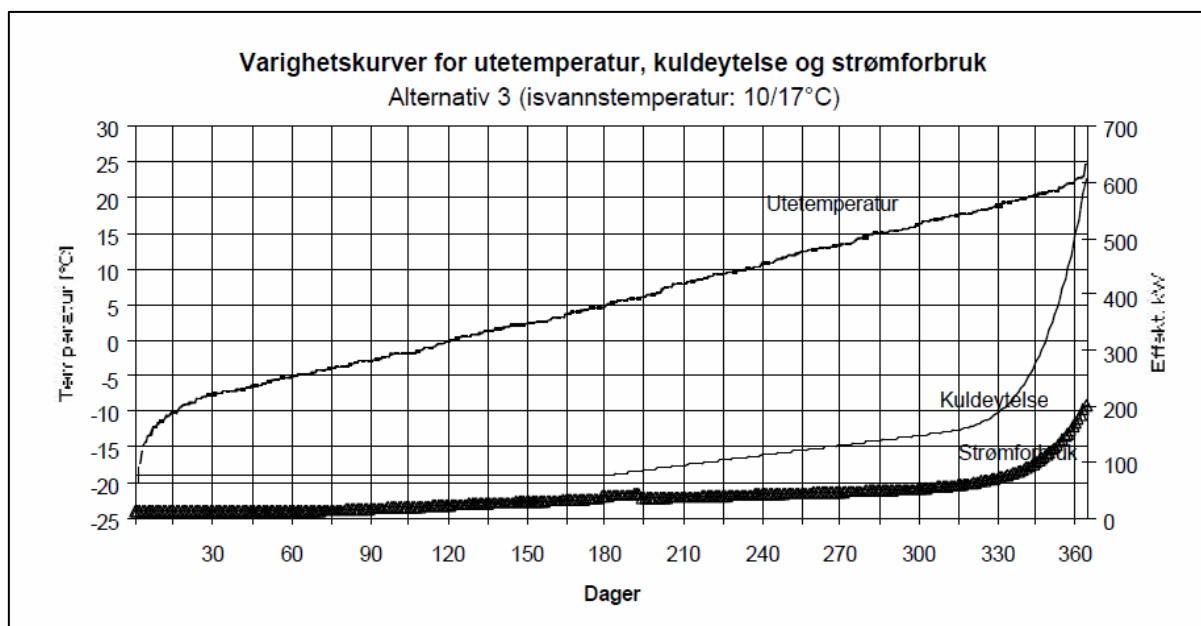
Med unntak av sirkulasjonspumpen i isvannskretsen for lokal kjøling på hvert enkelt kontor er samtlige sirkulasjonspumper i kontinuerlig drift. Årlig energiforbruk til drift av sirkulasjonspumper, kjølemaskiner og tørrkjølervifter for tre alternative temperaturnivåer på isvannskretsen er vist i Tabell 3. Det er forutsatt at systemløsningen er lik for alle tre alternativene. Varighetskurven for effektbehovet i anlegget som er vist i Figur 2 Figur 2 viser hvordan døgnmiddeltemperaturen på uteluften, byggets kjølebehov og energiforbruket til drift av kjøleteknisk utstyr varierer over året.

	<b>Alternativ 1</b> <b>7/12 °C</b> <b>[kwh]</b>	<b>Alternativ 2</b> <b>12/17 °C</b> <b>[kwh]</b>	<b>Alternativ 3</b> <b>10/17 °C</b> <b>[kwh]</b>
- drift av sirkulasjonspumper:	160.400	160.400	131.300
- drift av vifter på tørrkjølere:	61.200	56.700	60.400
- drift av kjølemaskiner:	215.700	151.000	166.800
Årlig strømforbruk (samlet) [kwh]	437.300	368.100	358.500

Energiforbruket faller ved økende temperaturnivå pga:

- Gunstigere driftsforhold ved frikjøling
- Høyere fordampertemperatur
- Mindre kondensutfelling ved ventilasjonkjøling

Energiforbruket faller ved økende temperaturforskjell mellom tur og retur pga:  
reduert pumpet vannmengde



Figur 3 Varighetskurve for utetemperatur, kuldeytelse og strømforbruk for alternativ 3

## 12 KOSTNADER

Årskostnadene for de ulike alternativene mhp temperaturnivå og materialvalg vil være retningsgivende for hvilken løsning som bør velges. Årskostnadene er beregnet på grunnlag av investeringskostnader, vedlikehold og energi.

### 12.1 Investeringskostnader

Det er beregnet investeringskostnader for levering og montering ledningsnett, armaturer, isolasjon, kjølebatterier og kjølemaskiner. Det er medtatt kostnader for isvannsdelen av anlegget som varierer i dimensjon avhengig av temperaturnivå. Konvektorkurs er derfor utelatt, mens kostnadene for kjølebatterier er medtatt.

Figur 1 viser de deler av anlegget som omfattes av beregningene.

For vurdering av kostnadene for levering og montering av plastrør og syrefaste rør i forhold til sorte stålrør/galvaniserte pressfittingsrør (Mannesmann), har vi benyttet påslagsprosjenter innhentet fra ulike rørentreprenører. Det er forutsatt at det benyttes samme type isolasjon (neoprencellegummi) for sorte stålrør, plastrør og syrefaste rør.

Rørentreprenører har liten erfaring med bruk av preisolerte stålrør for luftkjøleanlegg. Prisen på preisolerte rør er derfor beregnet på grunnlag av materialkostnader for preisolerte rør,

rørmontasjekostnader for sorte stålrør og kostnader for skjøting og muffing av kappe på preisolerte rør.

Summering av ovennevnte kostnader for de ulike rørdimensjoner gir en overslagsmessig gjennomsnittlig påslagsprosent for preisolerte stålrør i forhold til stålrør isolert med neoprencellegummi på 40%.

Det må bemerkes at kostnadstallene og påslagsprosentene for de ulike rørtypene benyttet i beregningene er indikasjonsverdier som vil kunne variere til dels betydelig fra prosjekt til prosjekt. Ved beregning av årskostnaden for investeringene er det regnet med en kalkulasjonsrente på 7% og en levetid på 18 år. Dette gir en annuitetsfaktor på 0.1. Resultatet av beregningene for de ulike alternativene er satt opp i Tabell 4.

## 12.2 Vedlikehold

For anlegg med sorte stålrør isolert med cellegummi anbefales jevnlig kontroll og utskifting av isolasjon. I ASHRAE håndboken fra 1997 oppgis den eneste sikre løsningen for å begrense risikoen ved kondens og korrosjon til å være utskifting av isoleringen med jevne mellomrom. Her oppgis at jo bedre diffusjonstetthet og håndtverk desto lengre tid kan det gå mellom hver utskifting. Det er imidlertid viktig å være klar over at dette er utviklet for å dekke hele USA, med betydelig forskjeller i lufttemperatur og fuktighet. Det er sannsynlig at duggpunktstemperaturen for uteluften ligger høyere enn temperaturen på isvannet store deler av året.

### 12.2.1 Plast-, syrefaste- og preisolerte stålrør

Alminnelige vedlikeholdskostnader for rørtekniske anlegg regnes ofte til 2 % av investeringskostnadene i snitt over anleggets levetid. Da vil en ha en variasjon fra år til år med enkelte større utskiftings. Vi forutsetter derfor 2 % vedlikehold for plast, syrefaste og preisolerte rør.

### 12.2.2 Sorte stålrør

Dersom vi har et anlegg med sorte stålrør der vi vil ta høyde for kontroll og utskifting av isolasjonen med jevne mellomrom vil kostnadene bli høyere. Ferdig montert isolasjon utgjør ca 25% av kostnadene for et kjølerørsanlegg. I tillegg vil vi ha kostnader for prøvetaking, demontering og priming av rør. Hyppigheten på utskiftings vil være avgjørende for hvor kostbart dette blir, men det er blitt antydning behov med 5-10 års mellomrom. Midlet over tid kan vi derfor regne at vedlikeholdskostnadene for et alminnelig kjølerørsanlegg med sorte stålrør med jevnlig kontroll og utskifting av isolasjon blir på 4 %.

Dersom en har god kontroll med luftfuktigheten, dvs god ventilasjon og kjølt luft samt i alle

tekniske rom og sjakter samt god utførelse av isoleringen kan det være mulig også for sorte stålrør å komme ned på 2 % vedlikehold. For å illustrere hva vedlikeholdet kan utgjøre har vi regnet på hhv 2 og 4 % vedlikehold for sorte stålrør og 2 % for de øvrige løsningene.

De årlige kostnadene vises i Tabell 4 for de ulike alternativene.

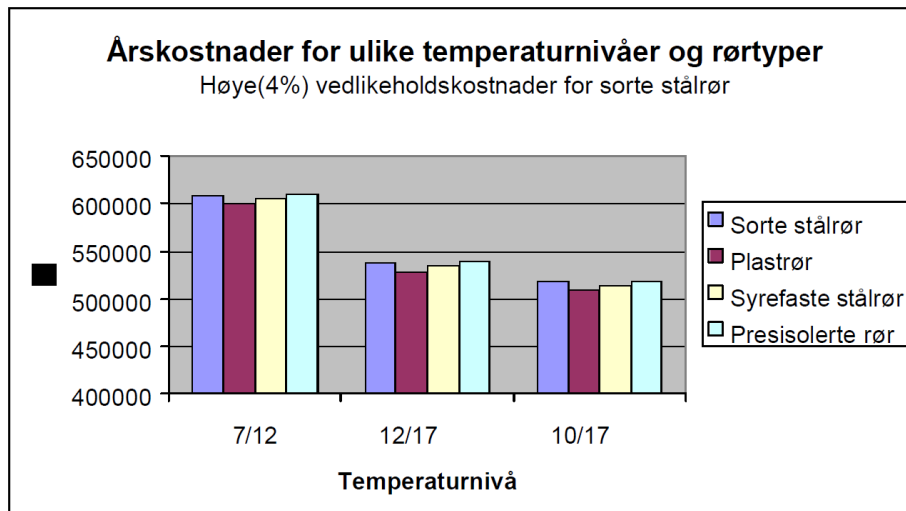
### 12.3 Årskostnader

De samlede kostnadene er satt opp i Tabell 3. Energikostnadene er hentet fra kapittel 11 Energiforbruk til drift av kjøleanlegget. Som det fremgår utgjør energikostnadene en betydelig del av årskostnadene for anlegget. Tiltak for å sikre energiriktig drift er derfor avgjørende for å redusere årskostnadene.

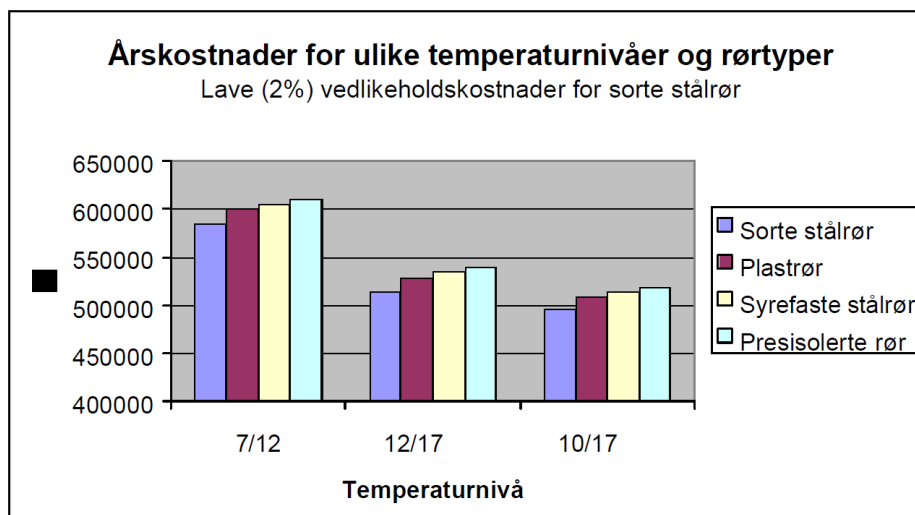
Tabell 3 Kostnader

Temperatur/returr (°C)	Rørtype/isolering	Vedlikehold % av investering	Sum Investering s Kostnader isvannsdeler kr	Årlig energikostnad for hele kjølenlegget (0.50 kr/kW) kr	Årlig vedlikehold alt I: Sorte stålrør: Høyt): 4% Andre: 2% kr	Årlig vedlikehold alt II: Sorte stålrør: Lavt): 2% Andre: 2% kr	Årskostnader Høyt årlig vedlikehold Alt I Kr
7/12	Sorte stålrør / Mannesmann Cellegummi	Høyt: 4 Normalt: 2	1 227 200	437 352	49 088	24 544	609 160
12/17	Sorte stålrør / Mannesmann Cellegummi	Høyt: 4 Normalt: 2	1 213 000	368 131	48 520	24 260	537 951
10/17	Sorte stålrør / Mannesmann Cellegummi	Høyt: 4 Normalt: 2	1 145 100	358 552	45 804	22 902	518 866
7/12	Plastrør PP Fusiotherm	2	1 354 850	437 352	27 097	27 097	599 934
12/17	Plastrør PP Fusiotherm	2	1 340 650	368 131	26 813	26 813	529 009
10/17	Plastrør PP Fusiotherm	2	1 257 700	358 552	25 154	25 154	509 476
7/12	Syrefaste Stålrør	2	1 402 700	437 352	28 054	28 054	605 676
12/17	Syrefaste Stålrør	2	1 388 500	368 131	27 770	27 770	534 751
10/17	Syrefaste Stålrør	2	1 299 900	358 552	25 998	25 998	514 540
7/12	Preisolerte Stålrør	2	1 439 900	437 352	28 798	28 798	610 140
12/17	Preisolerte Stålrør	2	1 425 700	368 131	28 514	28 514	539 215
10/17	Preisolerte Stålrør	2	1 332 750	358 552	26 655	26 655	518 482

Figur 4 Årskostnader for ulike rørtyper og temperturnivåer, Høye vedlikeholdskostnader sorte stålør.



Figur 5 Årskostnader for ulike rørtyper og temperturnivåer, Normale vedlikeholdskostnader sorte stålør.



Forskjellen mellom figurene ligger i vedlikeholds nivået for sorte stålør på hhv 4 og 2 %.

Som det fremkommer er det temperturnivået som er mest utslagsgivende for årskostnadene. Høyere temperturnivå gir betydelig reduksjon i årskostnadene.

Av rørtyperne gir sorte stålør lavest årskostnad dersom vedlikeholds nivået kan holdes likt for alle rørtyperne. Om vi forutsetter økte vedlikeholdskostnader på sorte stålør til 4 % får de tilnærmet samme årskostnad som preisolerte stålør. Med antatt økte vedlikeholdskostnader for sorte stålør kommer plastrør ut med de laveste årskostnadene.

## RÅDGIVERE MED SPISSKOMPETANSE

Erichsen & Horgen er et rådgiverselskap med spisskompetanse innen VVS, energi og klimateknikk, særlig for bygg i kaldt klima. Våre ingeniører leverer i tillegg et bredt spekter av tilgrensende spesialiserte tjenester for bygge- og eiendomsbransjen.

Vi yter rådgivning og prosjektering for alle prosjektfaser fra utvikling og utredning av muligheter, via detaljering av planer til bygging/implementering og drift.

Årlig utføres flere hundre store og små oppdrag innenfor følgende områder:

- Inneklima
- Dagslys
- Energibruk
- Miljø
- Bygningsfysikk
- Brannteknikk
- Sanitær og utendørs VVS
- Varmeanlegg
- Gass varmeanlegg
- Medisinsk gass og trykkluft
- Kuldeanlegg
- Luftbehandlingsanlegg
- Luftkjøleanlegg
- Automatikk og SD-anlegg
- Avfallsug og støvsugeranlegg